

2001, 2002년 발생 지진의 발진기구 특성 Focal Mechanisms of earthquakes occurred in 2001, 2002,

신진수* 강익범* 박윤경**

Shin, Jin Soo Kang, Ik Bum Park, Yun Kyung

ABSTRACT

The focal mechanisms of the earthquakes occurred in 2001 and 2002 are analyzed to understand the regional stress and tectonics in and around Korean Peninsula. The forty-three fault plane solutions are derived using the polarities of first arrival P-waves recorded at KIGAM, KMA and KEPRI stations. The result suggest that thrust motion with significant amount of strike slip component is dominant mode of faulting. The larger population of mechanism is characterized by WNW-ESE striking nodal planes. NE-SW direction is interpreted as dominant compressional axis orientation of stress field. These solutions are similar to those of medium size earthquakes studied previously, which is known as typical regional tectonic stress orientation in and around Korean Peninsula.

1. 서론

지진의 발진기구(Focal Mechanism) 분석은 지진 발생의 원인이 되는 주응력장의 방향을 파악하고 기존의 단층 또는 지표상의 선구조 등과 응력장과의 관계를 규명하는 중요한 과정으로써 미래에 발생할 수 있는 지진과 단층운동의 특성을 예측하는데 활용된다.

우리나라에서는 지진기록의 미비로 인하여 발진기구에 대한 체계적인 연구가 진행되지 않았으나 Jun⁽¹⁾이 1963년 이후 한반도 주변에서 발생한 규모 5.1 이상의 7개 지진의 발진기구를 분석하여 이 지역의 응력장 분포에 대한 해석을 시도한 이후 여러 가지 연구가 진행되어 왔다. 특히 1996년 영월 지진 발생 이후 국내에 많은 지진관측소가 운영되면서 최근에는 발진기구 분석에 필요한 양질의 지진기록이 제공되고 있어 보다 정확한 발진기구 분석이 가능한 환경이 조성되고 있다. 박창업등⁽²⁾은 영월 지진의 진원단층면 방향을 상당수의 기상청, 지질자원(연)등의 관측소 기록을 사용하여 결정하였으며 여기에 관련된 응력축의 방향이 현재 한반도에 작용하는 판구조적 응력장과 일치함을 보였다. 전명순 등⁽³⁾은 이제까지 연구된 중규모의 22개 지진의 발진기구를 종합 분석하여 한반도의 전체적인 응력장 해석을 실시한바 있다.

* 한국지질자원연구원 선임연구원

** 전남대학교 지구환경학과 박사과정

여기에서는 2001년과 2002년에 한반도에서 발생한 미소 지진 가운데 기록이 양호한 43개 지진을 선별하여 격자시험방법⁽⁴⁾으로 발진기구를 분석하였다. 종합된 결과는 우리나라 주변의 판구조적 응력장과 암석권 내의 암질 불균질성등에 의한 응력방향 변화등의 관점에서 토의 되었다.

2. 지진 자료 및 분석

2001년과 2002년도에 지질자원(연) 지진 관측망에 기록된 규모 1.5 이상의 지진 개수는 총 113개이다. 이들 대부분은 규모 3.5 미만의 미소 지진들이고 한 두개의 규모 4.0 이상의 지진은 동해해상에서 발생하였다. 발진 기구 분석을 위하여 이들 지진에 대한 지질자원(연), 기상청, 한전 전력연구원 등의 모든 관측소 기록을 수집하였다. 하지만 지진의 규모가 작아서 초동 P파의 극성 분석이 가능한 관측소의 수가 극히 제한적인 경우가 많았고 3.0 이상의 적절한 크기의 지진이라도 해상에서 발생한 경우 관측소 방위각이 한 곳으로 집중되어 P파의 극성 변화를 관찰되지 않아 발진기구 분석이 불가능 하였다.

진원의 단층면 및 응력 축 방향을 결정에 격자시험방법을 사용하였다. 이 방법은 단층의 주향, 경사 및 변위 이동 방향을 일정간격으로 증가시키면서 관측지점들에서 이론적인 극성값을 계산한 후 관측값과 비교하여 최종적인 해를 구하는 과정으로 구성되어있다. 여기서 주향, 경사 및 변위의 범위는 0°도에서부터 각각 360°, 90° 그리고 360°이다. 실제 계산에서는 각의 증분의 1°로 하여 한 개의 지진 기록에서 발진기구를 구하기 위한 계산회수는 $360 \times 90 \times 360 \times n$ (관측소 수)가 된다. 이론적인 극성값 계산을 위해서는 우선 진원과 관측소 사이의 방위각과 이 관측소에 도달하는 초동 P파의 출발각(take-off angle)이 필요하다. 출발각은 지각의 속도구조 모델내의 파선 추적에 의해 구해진다. 이번 연구에서 각 관측소에 도달하는 초동 P파의 출발각은 Kim⁽⁵⁾의 한반도 지각모델을 수정하여 사용하였다. Kim⁽⁵⁾의 모델은 지각이 균질한 층상구조로 제시되었기 때문에 모든 초동 P파의 파선이 진원에서 상향 출발하게 계산되는 단점을 지니고 있다. 이 점을 보완하기 위하여 원 층상 모델을 층내에서 수직적으로 지진파 속도 값이 변화하도록 수정하였다.

3. 발진기구 특성

초동 P파의 극성 변화로부터 총 43개 지진의 발진기구 해를 구하였다. 그림 1. 과 그림 2 에 진앙위치와 계산된 결과가 제시되어 있다. 본래의 Langston(1982)의 격자시험 방법은 극성 뿐만 아니라 진폭비를 사용하도록 고안되어 있으나 이번에는 극성 자료만을 사용하였기 때문에 한 개의 지진에 대하여 단층 해가 하나의 면으로 정해지지는 않는다. 즉 어떤 각 구간내의 주향방향이 모두 단층면이 발진기구의 해가 될 수 있다. 경사각과 출발각 해 역시 마찬가지 경우이다. 따라서 여기서 제시된 단층면과 응력축 방향을 발진기구 해의 구간에서 중앙값이다.

그림 1과 2에서 볼 수 있듯이 많은 지진이 경우가 주향이동 성분이 있는 역단층에서 발생한 것으로 나타난다. 이는 1996년 영월지진과 이전의 중규모 지진의 발진기구 해와 일치하는 결과로 이러한 운동이 우리나라 지진의 일반적인 특징으로 볼수 있다. 중부 내륙에서 발생한 2001년 10월 1일, 2002년 10월 20일 지진의 경우에는 전단층 운동 메카니즘을 나타내는데 이는 지역적인 현상으로 판단된다. 하지만 이러한 것이 미소지진에서 일시적으로 나타나는 형상이지 또는 이 지역

의 지하구조에 기인하는 것인지는 향후 더 많은 지진기록 분석을 수행하여 밝혀야 할 것이다.

경상분지에서 양산단층과 울산단층이 교차하는 지점에서 2001년 2월 10일, 3월 11일, 10월 26일 그리고 2002년 2월 7일 발생한 지진은 약간의 주향성분이 있는 역단층 형태이고 단층면 해의 방향이 이 지역의 선구조 방향과 유사한 양상을 보인다. 이들 지진의 응력은 북동과 남서의 같은 경향이다. 여기서 지역에서 지진 발진기구가 지표의 단층 또는 선구조와 같은 경향을 지니는 것은 지진을 발생시킨 지하의 단층이 지표 단층과 같은 방향성을 지니는 것으로 유추 할 수 있다.

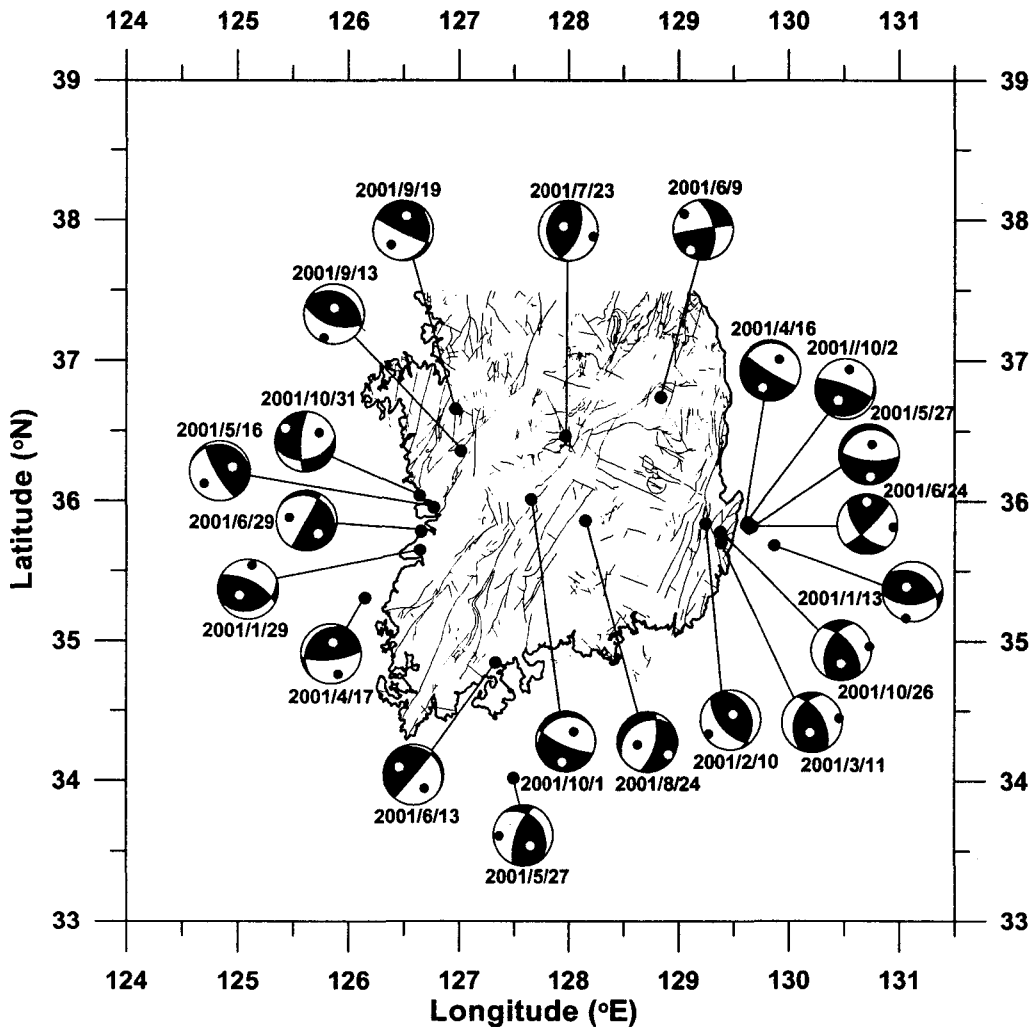


Figure 1. Epicenter distribution(solid small circle) and lower hemisphere focal mechanism solutions for 21 earthquakes occurred in 2001. Compressional quadrants are shaded. Small circles in open and shaded quadrants indicate the positions of pressure and tension axis, respectively.

2001년 4월 16일, 5월 27일, 10월 2일 동해의 거의 같은 지점에서 발생한 지진들의 발진기구는 수직 경사단층 특성을 보이고 있다. 이는 세 지진인 같은 메카니즘에서 발생한 것으로 여겨지며 이 지역의 지질구조를 반영하고 있는 것으로 볼수 있다. 그러나 같은 지점에서 발생한 2001년 6월 24일 지진과 2002년 7월 9일 지진들의 발진기구의 경우 주향이동이 우세한 단층운동으로 보이면 단층면 해의 방향도 앞 결과와 일치하지 않는다. 유사한 지역에서 발생한 지진들이 상이한 발진기구 특성을 보이는 것은 이 지역이 복잡한 지하구조에 기인한다고 생각할 수 있으나 향후 이에 대한 깊은 연구가 필요할 것이다.

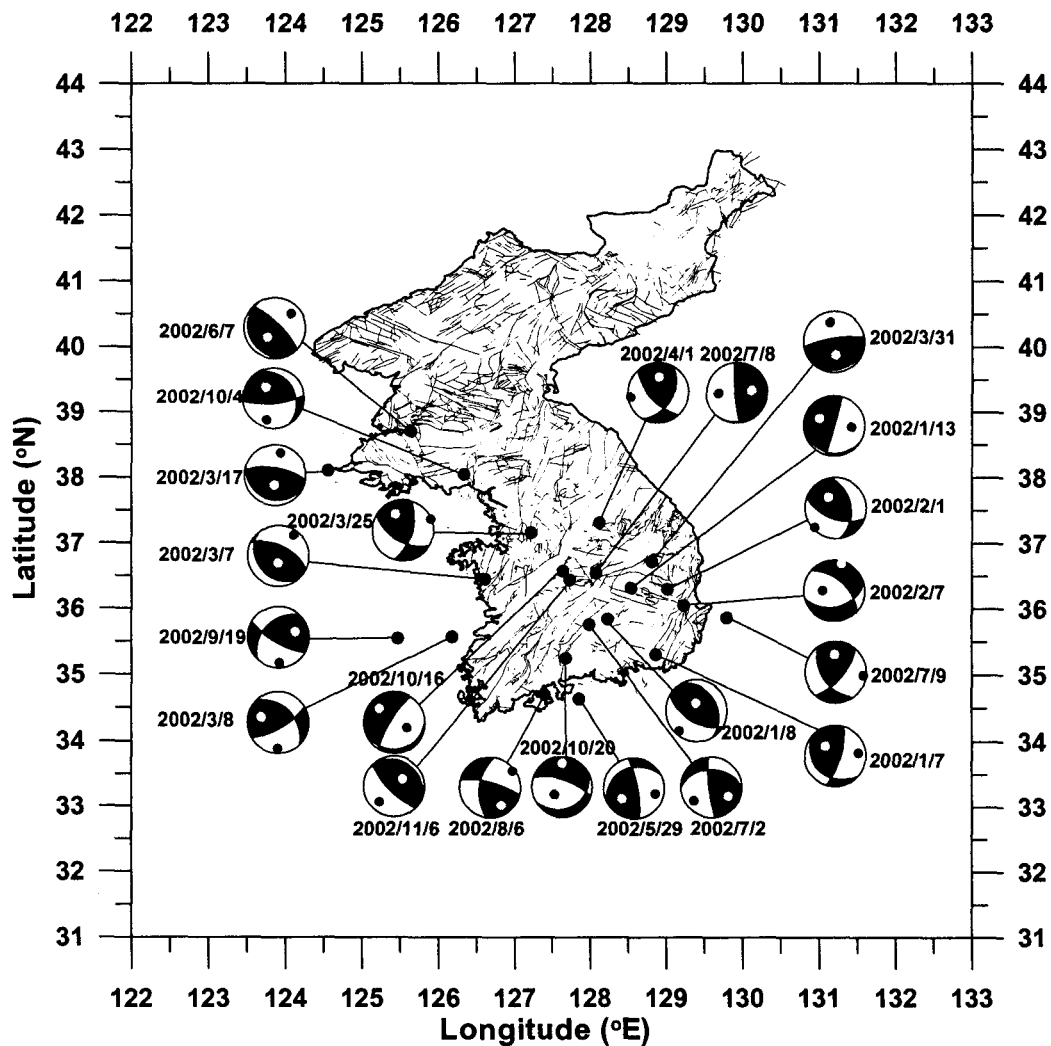


Figure 2. Epicenter distribution (solid small circle) and lower hemisphere focal mechanism solutions for 23 earthquakes occurred in 2002. Compressional quadrants are shaded. Small circles in open and shaded quadrants indicate the positions of pressure and tension axis, respectively.

그림 3은 분석된 43개 지진의 단층면 방향과 응력축 방향을 도시한 것이다. 전체적으로 단층면 해 분포는 서북서-동남동 방향이 우세하다. 비록 계산된 단층면해가 실제 지진과 관련된 단층의 주향 방향이 아닐 수는 있지만 이 결과만으로 볼 때 한반도에서 지진과 관련된 단층의 방향성은 개략적으로 북서-남동 방향일 것으로 추측된다. 응력축의 우세 방향은 북동-남서 방향으로 이전에 중규모 지진들의 발진기구 분석⁽³⁾과 일치한다. 단층면 해 방향과 응력축 방향 분포가 이곳의 수렴되지 않고 일부 산만하게 분포하는 것은 미소 지진발생이 지역적인 응력장의 불균질성에 기인하는 것으로 생각 할 수 있다.

4. 결론 및 토의

2001년도와 2002년도에 발생한 지진의 발진기구 분석에서 나타난 단층면해의 방향은 서북서에서 동남동 방향이 우세하다. 그러나 각각의 지진과 진앙 위치 부근에서의 기존 단층과의 관계를 밝히기는 거의 불가능하다. 이는 우선 분석 대상이 미소 지진들로 지진 자체가 지표 단층과 연계성을 지니는지 알수가 없다, 또한 계산된 진앙위치의 오차가 약 2 km 내외 일 것으로 추측되기 때문에 우리나라와 같이 조밀한 선구조 분포가 있는 경우에 미소지진과 지표 선구조와 관계를 규명하는 것은 더욱더 어려워진다.

박창업⁽²⁾등은 미소지진의 계산된 원인단층면과 응력방향은 그 지역에 실제로 가해진 지구조적 주 압력방향과 다를 수 있다고 제시하였다. 따라서 미소지진 분석에서 얻어진 응력방향은 지구조적인 응력방향의 근사값으로 해석될 수 있다. 한 지역의 주 응력방향과 장래에 발생할 수 있는 큰 지진의 발진 기구특성을 알기위하여서는 많은 수의 미소 지진 분석을 수행하고 여기에 통계적인 접근이 필요하다.

여기에서 분석된 발진기구에서 보면 주향 이동 성분이 포함된 역단층이 우세하게 나타난다. 이는 이전에서 연구된 중규모 지진들의 발진기구와 대체적으로 일치하는 결과이다, 일부 정단층 성분이 있는 발진 기구 결과가 있지만 이는 국지적인 응력장의 불균질성에 기인하는 지역적인 현상으로 이해된다. 전체적인 응력 방향은 북동에서 남서 방향으로 중 북동부와 한반도에 작용하는 판구조적 응력방향과 같은 방향이나 분석된 43개 지진의 응력방향들이 북동-남서 방향으로 잘 수렴하는 모습을 보이지는 않는다. 한반도와 그 주변의 응력장은 유라시아판에 남동쪽으로 섭입하는 태평양판과 남동쪽에서 섭입하는 인도판의 활동과 연관이 있는 것으로 연구되고 있다. 향후 한반도에서 발생하는 지진에 대한 지속적인 발진기구 연구가 계속되어 더 많은 정보가 수집되면 이들 한반도 주변에서 이들 세 판의 활동에 의한 응력장 분포가 보다 정량적으로 규명될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업인 “지진원 및 지진파 전달특성 연구” 과제에 지원으로 이루어졌으며 이에 감사한다.

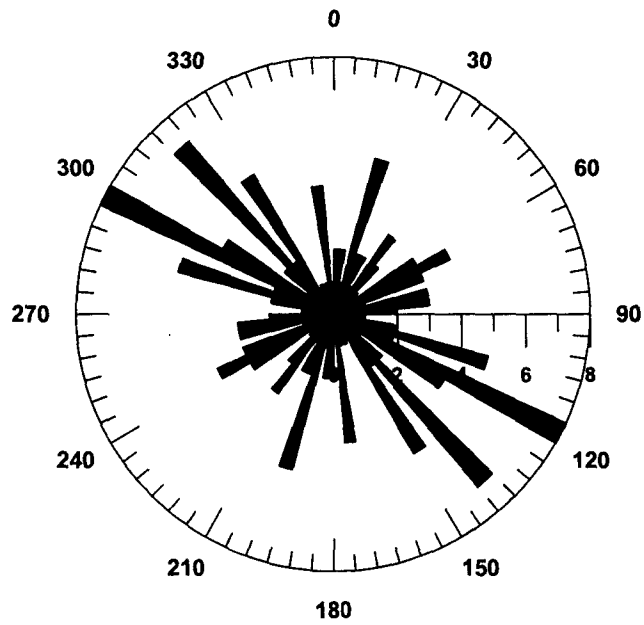


Figure 3. Bidirectional rose diagram of focal mechanism nodal planes strike direction.

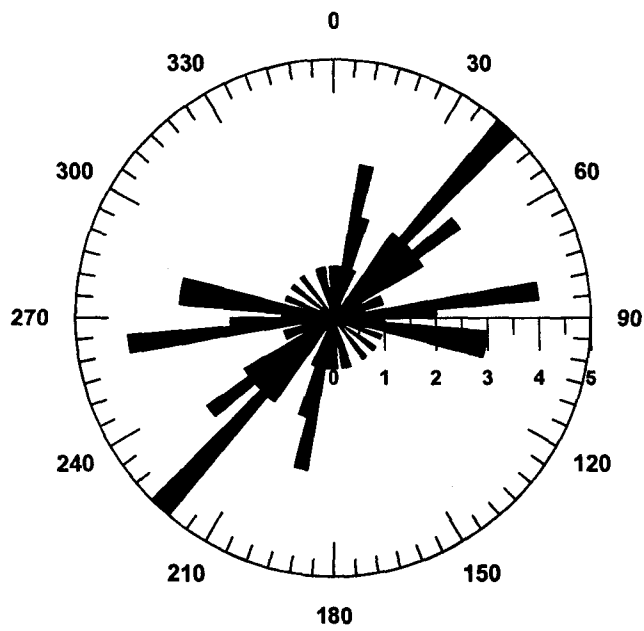


Figure 4. Bidirectional rose diagram of azimuth angle of focal mechanism pressure axis

참고문헌

1. Jun, M. S., Source parameters of shallow intraplate earthquakes in and around Korean Peninsula and their tectonic implications. Ph. D. Thesis, University of Uppsala, 1990.
2. 박창업, 신진수, 지현철, 강익범, 류용규, 1996년 12월 13일 영월지진의 진원단층면 방향, 지구 물리, 제1권 1호, p 23-30, 1998.
3. 전명순, 전정수, 제일영, 한반도 지진의 메카니즘 특성, 한국지진공학회 1999년도 추계학술논문집, 3권 2호, p 58-63, 1999
4. Langston, C. A., Single station fault plane solutions, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 72, p 729-744, 1982.
5. Kim, S. K., A study on the crustal structure of the Korean Peninsula, Journal of the Geological Society of Korea, Vol. 31, p 393-403, 1995.