

한반도 및 인근의 지진 메카니즘 특성

전명순

한국지질자원연구원 지진연구센터, junms@kigam.re.kr

Earthquake Mechanism in and around the Korean Peninsula

Myung-Soon Jun

Earthquake Research Center, KIGAM

요약 : 최근 한반도 및 인근에서 발생한 지진 중, 그 메카니즘이 Waveform Modelling 혹은 Moment Tensor Inversion 등 정량적인 방법에 의해 밝혀진 Mw 5.0 이상의 9개 지진의 발생 원인을 분석한 결과 한반도 및 인접지역에서 발생한 지진의 대부분은 주향 이동 단층 운동에 의한 메카니즘과 다소의 역단층 운동이 첨가된 단층운동 특성을 보여 준다. 한반도 및 주변에서 단층작용을 일으킨 주응력 방향은 거의 수평한 동북동-서남서 방향으로 같은 판내 지역인 북동부 중국 지역의 주응력 방향과 매우 유사하고 동해 동부와는 상당한 차이를 보인다. 이는 한반도 및 그 주변에서 지진을 일으키는 주응력은 동쪽에서 유라시아판 밑으로 침강하는 태평양판의 영향뿐만 아니라 서남쪽에서 충돌하는 인도판의 영향도 상당히 작용하는 것으로 해석된다.

주요어 : 한반도, 지진 메카니즘, 주 응력

Abstract : In and around the Korean Peninsula, 9 intraplate earthquake mechanisms since 1936 were analyzed to understand the regional stress orientation and tectonics. These earthquakes are largest ones in this century and may represent the characteristics of earthquake in this region. Focal mechanism of these earthquakes show predominant strike-slip faulting with small amount of thrust components. The average P-axis is almost horizontal ENE-WSW. This indicate that not only the subducting Pacific Plate but also the indenting Indian Plate controls earthquake mechanism in the far east of the Eurasian Plate.

Keywords : Korean Peninsula, earthquake mechanism, principle stress

1. 서론

한반도는 유라시아 판의 동남부에 위치하면서 판 경계로부터 수백 Km 떨어진 판 내 지역에 해당한다. 이런 판 내에서 발생하는 판 내부 지진(intra-plate earthquake)은 판 경계부에서 발생하는 지진과 비교하면 지진이 시간적 지역적으로 불규칙하고 산만하게 발생하고 빈도가 상대적으로 낮고, 크기도 작다. 이는 판 내부의 경우 단층의 활동 주기

가 길어 수 만년 혹은 수 십 만년에 한번씩 움직이면서 지진을 발생시키는 것으로 추측된다. 한반도 및 인근 지역에서 발생한 지진 중 메카니즘이 정량적으로 밝혀진 Mw 5.0 이상인 자료들을 종합하여 한반도 및 주변에서 지진을 일으키는 주응력 방향을 파악하고 이를 판구조론적 관점에서 토의코자 한다.

2. 지진자료

지구 내부에 대한 이해가 증대되고, 관측 기술의 발달과 함께, 1960년대에 전 세계적으로 WWSSN 지진 관측망이 설치되면서 일관성 있는 지진자료의 획득이 가능하게 되었다. 이런 자료를 이용해, 큰 지진의 경우 원거리(Teleseismic) 지진 기록으로부터 초동의 polarity를 읽어 단층면 해(Fault Plane Solution)를 구해 지진의 발생 메카니즘을 이해하게 되었다. 이들 자료는 현재 우리가 이해하는 판구조론을 뒷받침하는 결정적인 자료로 활용되었다. 그러나 한반도 근처에서 발생하는 지진들은 크기가 작아서 원거리 지진기록은 매우 불량하여 이런 방법을 적용하는데 한계가 있다. 이런 경우는 근거리에서 조밀한 양질의 지진 관측망이 필요하나 한반도에서 양질의 Digital 지진관측은 1990년대에 시작되었으며 지진관측소 숫자도 매우 적은 실정에서 한반도 인근의 지진 발생 메카니즘에 관한 연구는 매우 제한적 일 수밖에 없다.

본 연구에서는 한반도 및 인근지역에서 발생한 지진 중, 메카니즘이 waveform modelling 이나 waveform inversion을 통해 정량적으로 밝혀진 지진 중 그 규모가 Mw 5.0 이상인 지진들을 분석하였다. 이를 통해 한반도 및 그 주변에서 발생하는 지진의 특성을 밝히고 이를 판구조론적 관점에서 토의코자 한다.

지진에 따른 피해를 최소화하기 위해서는 지진의 발생원인을 규명하고, 발생 특성을 분석하여 정확한 지진위험도 및 최대발생가능 지진의 위치 및 규모 등을 결정하여야 하며, 내진설계를 위한 기본 입력자료가 필요하다. 한반도에서 20세기에 발생해 피해를 일으킨 것으로 확인된 지진은 1936. 7. 4 지리산 쌍계사에서 발생했던 지진과 1978. 10. 7에 충남 홍성에서 발생했던 지진이다. 남북 분단이후, 북한에서는 1952. 3. 19 (M 6.5) 평남에서 발생한 지진을 비롯해 상당 규모의 피해지진이 발생했을 가능성(1980. 1. 8 의주지진 및 1982. 2. 14 안악지진)이 있으나 자세한 자료는 확인된 바 없다. Shimazaki(1984)는 1936년 당시의 Wichert 지진계에 기록된 지리산 쌍계사 지진의 대구와 부산의 지진 기록 중 P파와 S파를 modelling한 synthetic seismogram으로부터 지진 메카니즘을 추정했다. 비록 매우 제한적인 숫자의 지진자료를 사용하였으나 분석방법이 정량적이고 그 결과가 Jun(1990)이 분석한 한반도 주변의 주 응력 방향(principle stress axis)과 유사하여 신빙성 있는 자료로 판단된다. Jun(1990)은 1960년 이후 한반도 및 동해와 황해에서 발생한 지진 중 비교적 규모가 큰 8개 지진의 원거리 지진자료를 Modelling이나 Moment Tensor Inversion에 의해 지진 메카니즘을 구했다. 또한 김성균등(1996)은 Waveform Inversion을 통해 황해남부 지진의 메카니즘을 구했다. Kang and Baag(2004)은 Grid Search Algorithm으로부터 구하고 이를 Harvard 대학의 Centroid Moment Tensor (CMT)와 비교 검토하였다.

이렇게 정량적인 방법에 의해 지진 메카니즘이 구해진 크기 Mw 5.0 이상의 지진 9

개에 대한 분석을 하고자 한다. Table 1은 본 연구에 사용한 9개 지진의 지진원 요소를 보여주고 Figure 1은 이들 지진의 지역적 분포와 단층면 해를 보여준다.

Table 1. Earthquake parameters of 9 events in and around the Korean Peninsula.

No.	Date	Location		Mag.	Nodal plane 1		Nodal plane 2		P-axis		T-axis	
		ϕ °N	λ °E		ϕ_s	δ	ϕ_s	δ	Az.	Dip.	Az.	Dip.
1	1936.07.04	35.20	127.60	M_w 5.1*	14	64	121	60	67	3	335	42
2	1963.09.06	36.47	130.76	M_w 5.7**	32	69	129	72	260	2	351	28
3	1963.09.07	36.53	130.79	M_w 5.8**	25	61	122	79	250	12	347	29
4	1976.10.06	35.31	124.18	M_w 5.4**	200	62	307	61	253	1	163	43
5	1980.01.07	40.22	125.02	M_w 5.1**	216	62	309	84	79	15	176	24
6	1981.04.15	35.78	130.10	M_w 5.2**	312	75	219	79	266	3	175	19
7	1982.02.14	38.46	125.65	M_w 5.3**	245	44	101	52	72	71	174	4
8	1994.07.25	35.00	124.51	M_w 5.5***	215	37	327	74	83	22	200	49
9	2004.05.29	336.6	130.05	M_w 5.1****	337	56	178	36	76	10	210	77

* Shimazaki(1982), ** Jun(1990), *** 김성균 외(1996), **** Kang and Baag(2004)

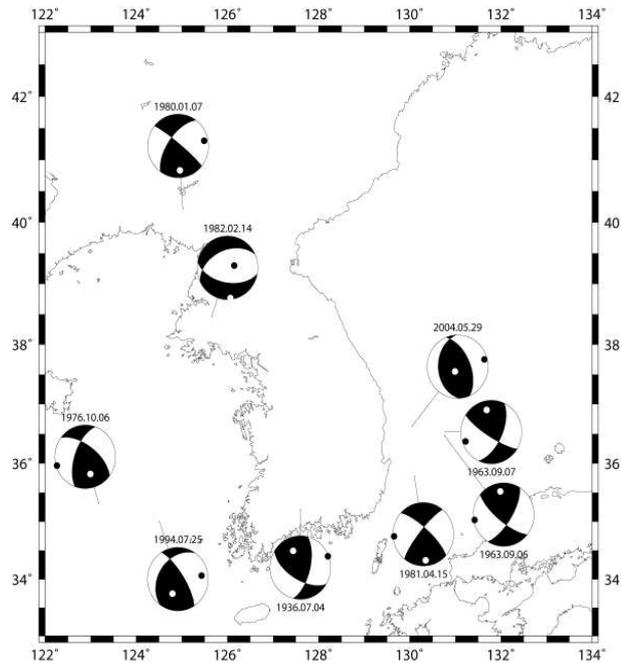


Figure 1. Epicentral distribution of studied earthquakes and their simplified mechanism diagram.

3. 한반도 및 주변 지진의 메카니즘 특성

Figure 1에서 직선이 가르키는 지점은 지진의 진앙을, beach ball은 lower-hemisphere equal area projection에 의한 지진의 단층면 해(Fault Plane Solution)을 나타낸 것이다. Beach ball에서 검은 부분은 압축(compression)을 현

부분은 확장(dilatation)을 나타내고, 검은 부분 내의 작은 점(open circle)은 신장력(T-axes)의 위치를 흰 부분 내의 작은 점(solid circle)은 압축력(P-axes)의 위치를 나타낸다. 대부분의 지진이 주향이동(strike-slip) 단층 운동에 의한 메카니즘에 다소의 역단층(thrust) 운동이 첨가된 단층운동 특성을 보여준다. 그러나 중부 동해 안에서 역단층(thrust)운동에 의한 지진이 나타나고 황해도 지역에서 정단층(normal faulting) 운동에 의한 메카니즘이 나타나는데 이는 지역적인 현상으로 판단된다.

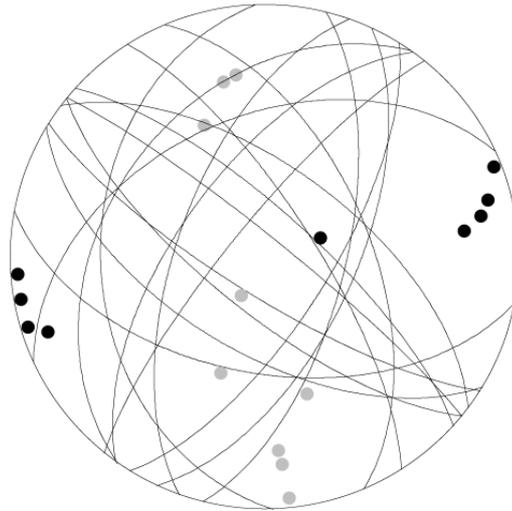


Figure 2. Composite Fault Plane solution of studied earthquakes

Figure 2는 이들 9개 지진의 단층면과 주 응력축(Principal stress axis)의 방향을 한꺼번에 표시한 것이다. 그림에서 압축력(P-axes)의 위치는 검은 점으로 신장력(T-axes)의 위치는 회색으로 표시했다. 그림에서와 같이 한반도 및 인근에서 발생하는 지진은 그 주 응력방향이 거의 수평한 동북동-서남서 방향의 압축력(compressional forces)에 의한 것으로 나타난다.

Kang and Choi(1993)는 1936년 지리산 쌍계사 지진부터 1987년까지 한반도에서 발생한 19개 지진의 메카니즘을 발표한 바 있다. 이들이 어떤 자료를 어떻게 분석하였는지 자세한 기술은 없으나 P와의 초동(polarity)을 분석하여 단층면해(fault plane solution)를 구한 것으로 추측된다. 이들 지진의 메카니즘 특징은 주향이동(strike-slip)이 우세하고 동서 방향의 주응력 방향을 제시하고 있어 본 연구에서 나타난 한반도 주변의 일반적인 지진 특성과 일치한다.

Jun(1990)은 한반도 주변 및 동해의 동부 일본 해안에서 발생한 지진과 중국 북동지역에서 발생한 지진의 메카니즘으로부터 주응력축의 방향을 비교 하였다. 한반도 및 주변에서 지진을 발생시킨 주응력 방향은 거의 수평한 동북동-서남서 방향을 나타내는 반면, 같은 판내 지역인 중국 북동부의 자료와 비교하면 주응력 방향이 매우 유사하고 동해 동부와는 상당한 차이를 보인다. 이는 한반도 및 그 주변에서 지진을 일으키는 주응력은 동쪽에서 유라시아판 밑으로 침강하는 태평양판의 영향뿐만 아니라 서남쪽에서 충돌하는

인도판의 영향도 상당히 작용하는 것으로 해석된다.

3. 결론

일반적으로 지진활동이 빈발하지 않고 그 분포도 산만한 한반도 및 인근에서 1936년 이후 발생한 Mw 5.0 이상의 크기를 가진 9개 지진의 메카니즘 특성을 분석하였다. 이 지역이 일반적으로 지진활동이 심하지 않은 판 내부 지역임을 감안하면 이들 9개 지진은 이 지역의 지진 특성을 나타낸다고 할 수 있다. 이들 지진의 메카니즘 특성은 주향이동 단층작용에 의한 지진이 우세하고 일부 역단층 운동이 가미된 특징을 갖는다. 이런 자료를 같은 판 내 지역인 동해 동부와 중국 북동부와 비교하면 한반도 인근에 작용하는 주응력 방향은 중국 북동부와 매우 유사하고 동해 동부와는 상당한 차이를 보인다. 이는 한반도 및 그 주변에서 지진을 일으키는 주응력은 동쪽에서 유라시아판 밑으로 침강하는 태평양판의 영향 뿐만 아니라 서남쪽에서 충돌하는 인도판의 영향도 상당히 작용하는 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김성균, 김민선, 서구원, 1996, 지진파형 역산에 의한 황해남부 지진의 메카니즘 한국지구과학회지, 17권, 326-329.
- CMT, 2004, <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>
- Jun, M. S.(1990), "Source parameters of shallow intraplate earthquakes in and around the Korean Peninsula and their tectonic implication", Ph. D. Thesis, Uppsala University.
- Kang, S. D. and Y. C. Choi,(1993), "On the seismicity of Korea", in Continental Earthquakes, selected papers of the second International Conference on Continental Earthquakes, pp. 185-193.
- Kang, T.S., and C. E. Baag(2004), "The 29 May 2004, Mw=5.1, offshore Uljin earthquake, Korea", *Geoscience Jour.*, Vol. 8, No.2, p.115-123.
- Shimazaki K.(1984), "Mid-plate, plate-margin, and plate-boundary earthquakes and stress transmission in far east", in A collection of papers of international symposium on continental seismicity and earthquakes prediction(ISCSEP), pp.132-147.