

한반도 지진의 메카니즘 특성 Earthquake Mechanism of Korean Peninsula

전명순* 전정수* 제일영*
Jun, Myung-Soon Jeon, Jeong-Soo Che, Il-Young

ABSTRACT

In and around the Korean Peninsula, 22 intraplate earthquake mechanisms since 1936 were analyzed to understand the regional stress orientation and tectonics. These 22 earthquakes are largest ones in this century and may represent the characteristics of earthquake in the region.

Focal mechanism of earthquakes in the region show predominant strike-slip faulting with small amount of thrust components. The average P-axis is almost horizontal ENE - WSW.

Studied data are compared with neighboring intraplate region in order to understand the tectonic regime in far east Asia. In northeastern China, strike-slip faulting is dominant and nearly horizontal average P-axis in ENE - WSW is very similar with the Korean Peninsula. On the other hand, in the eastern part of East Sea, thrust faulting is dominant and average P-axis is horizontal with ESE - WNW. This indicate that not only the subducting Pacific Plate in east but also the indenting Indian Plate controls earthquake mechanism in the far east of the Eurasian Plate.

1. 서론

최근 한반도 주변에서 발생하고 있는 지진들은 지역적으로 산만하게 분포하고 크기가 작은 판내지진(intra-plate earthquakes)의 특징을 보인다. 이런 지역에서 지진을 일으키는 주응력 방향을 파악하고 발생 메카니즘을 규명하는 것은 장래 발생할 지진의 특성을 예측 할 수 있는데 중요한 의미를 갖는다.

1960년대에 전세계에 WWSSN 지진관측망이 설치된 이래, 큰 지진의 경우 원거리(Teleseismic) 지진자료로부터 초동의 polarity를 읽어 단층면해(Fault Plane Solution)를 구해 지진 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 지진관측망이 필요하나 한반도에서 초보적인 지진관측은 1980년대에 시작되었으며 지진관측소 숫자도 매우 적은 실정에서 한반도 인근의 지진 발생 메카니즘에 관한 연구는 매우 제한적 일 수밖에 없다.

본 연구에서는 이제까지 발표된 한반도 주변의 지진 메카니즘을 종합하여 한반도 및 그 주

* 한국자원연구소

변에서 발생하는 지진의 특성을 밝히고 이를 동아시아의 판구조론적 관점에서 토의코져 한다.

2. 지진자료

한반도 및 그 주변의 지진 발생 메카니즘이 정량적으로 규명된 것은 Jun(1990), Jun and Kim(1990) 및 Jun(1993)등이 원거리 지진자료 Modelling이나 Moment Tensor Inversion에 의해 구한 것이다. 이들은 1960년 이후 한반도 및 인근에서 발생한 지진 중 비교적 규모가 큰 8개 지진의 원거리 자료를 이용하여 구하였다. 그 밖의 지진들은 지진의 규모가 작아서 원거리 지진기록이 불량하고 근거리 기록은 양질의 자료가 없어서 정량적인 지진발생 메카니즘을 규명하기에 어려움이 있었다. 본 연구에서는 이제까지 밝혀진 한반도 및 주변에서 발생한 지진 중 메카니즘이 밝혀진 것들을 종합하고 판구조론적 관점에서 토의코져 한다.

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 상당 규모의 피해지진이 발생했을 가능성(1980. 1. 8 대관지진 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), Jun and Kim(1990)이 분석한 한반도 주변의 주 응력 방향(principle stress axis)과 유사하여 신빙성 있는 자료로 판단된다. 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 P파의 초동(polarity)을 분석하여 단층면해(fault plane solution)를 구한 것으로 추측된다. 이들 지진의 특징은 주향이동(strike-slip)이 우세하고 동서 방향의 주 응력 방향을 제시하고 있어 한반도 주변의 일반적인 지진 특성과 일치한다. 이들 19개 지진 중 본 연구에서는 Shimazaki(1984), Jun(1990) 및 Jun and Kim(1990) 이 분석한 자료를 이용하였고 그 밖의 지진은 Kang and Choi(1993)의 자료를 이용하였다. 또한 박창업 등(1997)은 1996. 12. 13 영월지진에 대해 한반도 및 일본의 자료를 이용하여 격자시험방법을 적용하여 지진 메카니즘을 구했으며, 이는 신빙성 있는 자료로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 Jun(1990, 1993), Jun and Kim(1990), Shimazaki(1984), Kang and Choi(1993) 및 박창업 등(1997)의 자료를 이용하여 한반도 및 인근에서 발생한 총 22개 지진의 메카니즘 특성을 분석하였다. Table 1은 본 연구에 사용한 지진들의 22개 지진의 진원특성을 Figure 1은 이들 지진의 지역적 분포와 단층면 해를 보여준다.

3. 한반도 및 주변 지진의 메카니즘 특성

Figure 1에서 작은 점(solid circle)은 지진의 진앙을, beach ball은 lower-hemisphere equal area projection에 의한 지진 메카니즘을 나타낸 것이다. 그림에서 진앙부근에 표시된 숫자는 Table 1의 event 번호를 나타낸다. Beach ball에서 검은 부분은 압축(compression)을 흰 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 동해안에서 역단층(thrust)운동에 의한 지진이 나타나고 황해도 지역에서 정단층(normal faulting) 운동에 의한 메카니즘이 나타나는데 이는 지역적인 현상으로 판단된다.

Table 1. Source mechanism of 22 earthquakes.

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	1973.11.24	40.25	125.13	M_L 4.0**	30	70	125.5	75	76.2	3	168	25
5	1976.10.06	35.31	124.18	M_w 5.4*	199.5	61.8	306.8	61	253	1	163	43
6	1978.08.29	39.18	124.50	M_L 4.6**	30	75	120.5	84	74.5	5.5	166	15.6
7	1978.11.23	38.37	125.65	M_L 4.5**	43	75	308.5	75	86	22	176	11
8	1979.12.25	38.82	126.28	M_L 3.7**	220	70	318	70	268.5	1	358	29
9	1980.01.07	40.22	125.02	M_w 5.1*	215.7	62.3	309.1	83.6	79	15	176	24
10	1980.07.25	38.88	125.75	M_L 3.6**	213	65	308	79	258	10.5	353	25
11	1980.09.20	38.30	130.70	M_w 4.9*	210	60	66	35.5	316	14	83	67
12	1981.04.15	35.78	130.10	M_w 5.2*	312	75	219	79	266	3	175	19
13	1981.11.19	40.42	127.53	M_L 3.4**	218.5	80	124	70	262.5	22	169.5	7
14	1982.02.14	38.46	125.65	M_w 5.3*	245.2	43.8	100.6	52	72	71	174	4
15	1982.02.28	37.00	129.52	M_L 4.6**	33	75	128.2	70	261.2	4	170.5	26
16	1982.03.27	37.58	125.10	M_L 3.7**	31	70	126.5	75	78.5	3.5	170	25
17	1982.08.28	37.13	125.90	M_L 4.2**	37.5	70	137	65	267.8	3.5	176	33
18	1983.01.10	38.79	125.67	M_L 3.7**	78	59	174	80	220	29	121.8	14
19	1983.09.17	38.33	126.07	M_L 4.0**	214	85	123	75	259	14	167	10
20	1983.10.11	38.83	125.65	M_L 3.8**	83.5	80	175.5	80	220	14	310	1
21	1987.04.30	39.48	124.15	M_L 3.6**	215	70	123	85	256	18	350	10
22	1996.12.13	37.30	128.80	M_L 4.5***	181	50	292	65	58	8	158	30

* Jun and Kulhánek(1990), ** Kang and Choi(1993), *** 박창엽 외(1997), **** this study

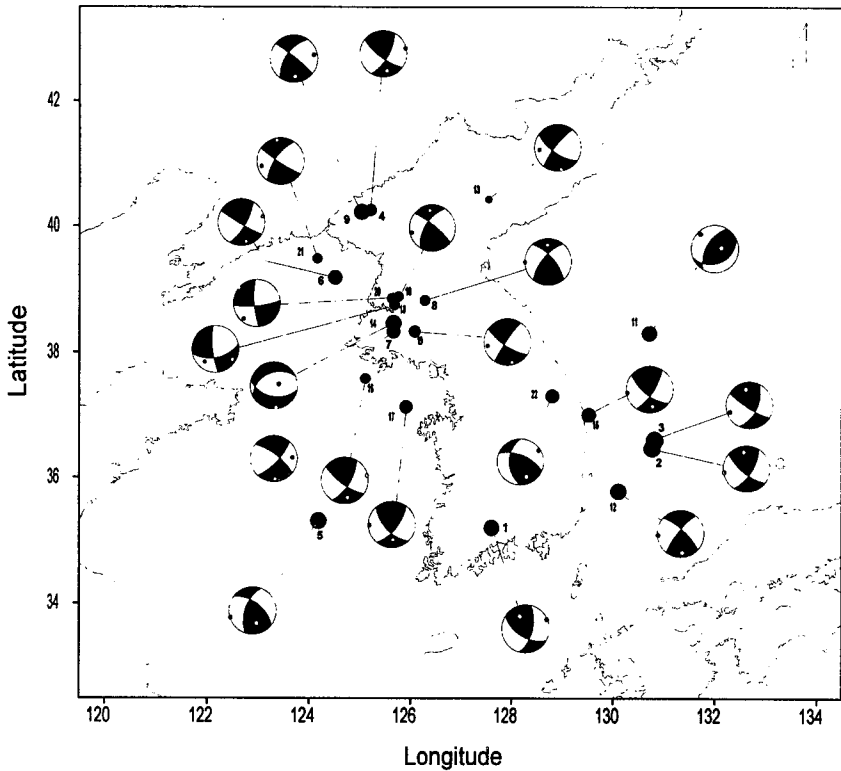


Figure 1. Epicentral distribution(solid circles) and fault plane solutions(lower-hemisphere equal-area projection) for major 22 events from 1936 - 1996. Solid and open quadrants correspond to compression and dilatation; small solid circles in open quadrants and open circles in solid quadrants show the position of P- and T- axes respectively.

Figure 2는 lower-hemisphere equal area projection에 의한 22개 지진의 주응력축(principle stress axis)의 분포를 보여준다. 그림에서 21개 지진은 주향이동 혹은 역단층운동을 보여 압축력(P-axes)의 위치를 검은 점으로 표시했고, 정단층 운동을 보인 한 지진은 그 신장력(T-axes)의 위치를 원(open circle)으로 표시했다. 그림 2에서 보는 바와 같이 한반도 및 인근에서 지진을 일으키는 주응력축의 방향은 거의 수평한 동북동-서남서 방향의 압축력(compressional force)에 의한 것으로 나타난다. 이는 Jun(1990)이 한반도 주변에서 최근 발생한 가장 큰 7개 지진들의 Moment Tensor 성분을 중첩하여 얻은 P-axes 방향인 $N71^{\circ}E$ 와 매우 유사하다.

Figure 3은 22개 지진과 한반도 인근에서 발생한 32개 지진의 주응력 방향을 진앙지와 함께 표시한 것이다. 주향이동과 정단층운동은 open circle로 역단층운동을 보이는 지진은 solid circle로 진앙지에 표시하였다. 또한 주향이동 혹은 역단층운동을 보이는 지진은 압축력(P-axes)의 방향을 진앙지 위에 선으로 표시했고 정단층 운동을 보인 지진은 신장력(T-axes)의 방향을 화살표로 표시했다.

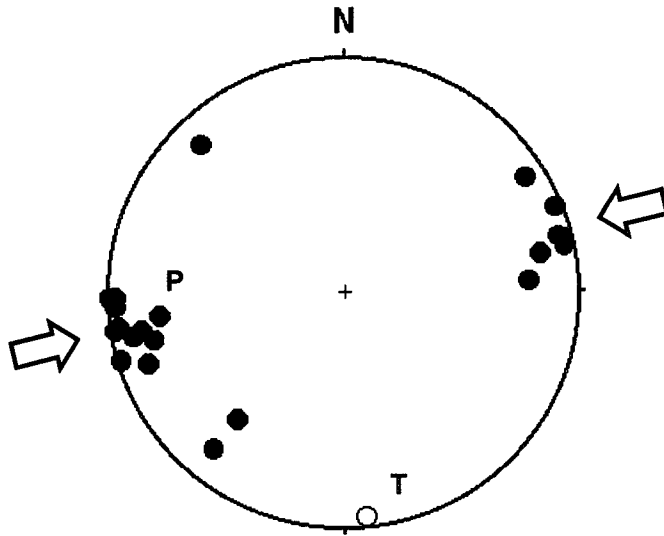


Figure 2. Lower-hemisphere equal-area projection of the P(solid circle) and T(open circle) axes for 22 events form 1936-1996.

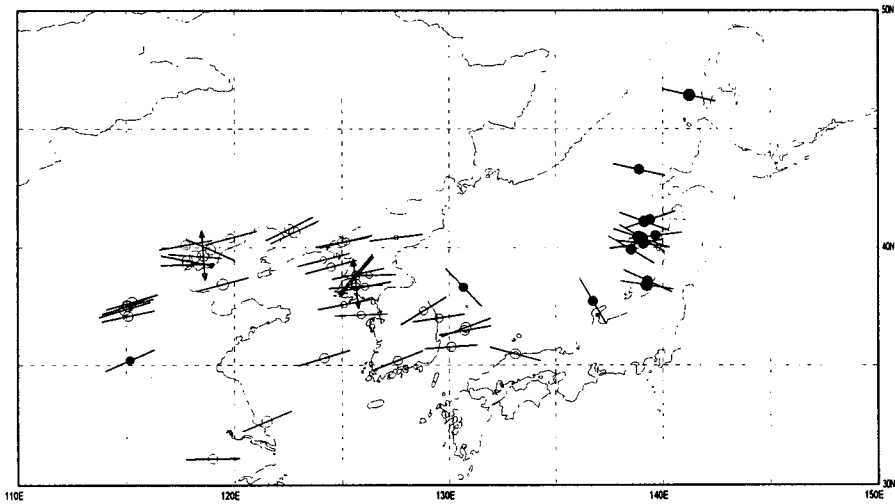


Figure 3. Distribution of maximum stress axis for the 22 events from 1936-1996 in and around the Korean Peninsula, and comparison with 32 shallow earthquakes in neighboring region. Epicenters associated with strike-slip and normal-fault mechanisms are denoted by open circles and those associated with thrust-fault mechanisms by solid circles. The horizontal projection of P-axis for strike-slip and thrust-fault mechanisms are indicated by lines through epicentral symbols. For normal faults, the T-axis is represented by outward pointing arrows.

4. 토의 및 결론

일반적으로 지진활동이 빈발하지 않고 그 분포도 산만한 한반도 및 주변지역에서 1936년 이후 발생한 22개 지진의 메카니즘 특성을 분석하였다. 이들 지진의 메카니즘 특성은 주향이동 단층작용에 의한 지진이 우세하고 일부 역단층 운동이 가미된 특징을 갖는다. 이는 판구조론적 관점에서 일반적인 판내지진의 특징에 속한다.

한반도 및 주변에서 단층작용을 일으킨 주응력 방향은 거의 수평한 동북동 - 서남서 방향을 나타낸다. 이런 자료를 같은 판내 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

1. 박창업, 지현철, 강익범, 신진수(1997), "1996년 12월 13일 영월지진의 진원요소", 한국지진공학회 1997년도 춘계학술논문집 1권 1호, pp.15-20.
2. Jun, M. S.(1993), "Source properties of earthquakes in and around the Korean Peninsula", in Proceeding of Seismology in East Asia, pp. 170-173.
3. Jun, M. S.(1990), "Body-wave analysis for shallow intraplate earthquakes in the Korean Peninsula and Yellow Sea", Tectonophysics, Vol. 192, pp.345-357.
4. 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.
5. Jun, M. S. and Kim, W. Y.(1990). Source mechanism of shallow earthquakes in the western Sea of Japan and their tectonic implication, Ph. D. Thesis Uppsala University.
6. 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.
7. 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.