

1996년 12월 13일 영월지진의 진원요소

Source parameters of December 13, 1996 Yeongweol Earthquake

박창업* 지헌철** 강익범** 신진수***
Baag, Chang-Eob Chi, Heon Cheol Kang, Ik-Bum Shin, Jin Soo

ABSTRACT

Source parameters of the December 13, 1996 Yeongweol earthquake are estimated using the grid test technique. Thirty polarities of P waves recorded at KMA, KIGAM, KSRS and JAPAN stations are used for the event. The obtained fault plane solution shows predominantly strike-slip motion with small amount of thrust component. The orientation of the fault is $180 \pm 10^\circ$ in strike, $50 \pm 5^\circ$ in dip and $150 \pm 5^\circ$ in rake, or $292 \pm 3^\circ$ in strike, $65 \pm 5^\circ$ in dip and $30 \pm 10^\circ$ in rake. These solutions are very similar to those of earthquakes occurred at Sagju, Pohang and offshore Gunsan. The compressional axis of stress field is trending from ENE to WSW, which is consistent with the previously defined typical regional tectonic stress orientation in and around Korean Peninsula. From the result of this study and other source mechanisms around the Korean Peninsula, we are of opinion that tectonic stress around the Korean Peninsula may be more attributed to the collision of Indian plate with the Eurasian plate than subduction of Pacific and Philippine plates.

1. 서론

한반도와 그 주변부에서 발생한 지진에 대한 진원요소는 김상조(1982), Jun(1990)등에 의해 비교적 규모가 컸던 몇 개의 지진 기록을 이용하여 추정된바 있으나 아직 까지 활발한 연구가 진행되지 못하고 있다. 이는 한반도에서 진원요소 추정이 가능한 규모의 지진의 발생 횟수가 작았다는 것뿐만 아니라 지진 관측망이 미비하여 양질의 자료를 획득이 용이하지 못했다는데 큰 원인이 있었다. 기존의 기상청 관측망과 더불어 최근 한국자원연구소가 설치하거나 인수 및 관리하는 관측망에 규모 3.0 이상의 지진이 매년 1회 이상 기록되면서 이 지진 기록으로부터 진원요소를 구하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 예로 지헌철등(1996)은 경상분지 내에서 발생하는 소규모 지진의 진원요소를 분석하여 이 지역의 지진활동 특성에 대해 기술하였다.

1996년 12월 13일 강원도 영월에서 발생한 지진은 그 규모가 4.5 이상으로 한반도 내의 여러 관측소에서 기록되었다. 이 지진 기록은 진원요소 결정에 유용한 정보를 담고 있다. 영월 지진은 한반도에서 계기지진 기록이 시작된 이후 몇 안되는 중규모 지진기록으로 이 지진의 분석은 최근 한반도와 그 주변부의 지진활동 특성을 규명하는데 활용될 수 있을 것이다. 영월 지진의 다각적

* 서울대학교 교수, 정희원

** 자원연구소 선임연구원, 정희원

*** 서울대학교 연구원, 정희원

연구의 일환인 본 연구에서는 각 관측소에서 기록된 초동 P파의 극성을 이용하여 단층진원의 방향을 찾고 나아가 이와 관련된 주응력 방향을 추정하고자 한다. 이 결과와 JUN(1990)에 의해서 구해진 다른 지진들의 진원요소를 종합하면 한반도와 그 주변부의 현재 응력장 상태와 그에 대한 판구론적 해석이 진일보 할 것이다.

2. 지진 기록

여러 관측소에서 기록된 P파나 S파의 극성 분석은 지진의 진원요소 결정에 이용될수 있다. 이번 연구에서는 9개의 기상청 관측망(KMA) 기록, 10개의 한국자원연구소 관측망 기록(KIGAM), 8개의 KSRS 관측망 기록, 그리고 일본에서 기록된 5개의 기록을 포함, 총 33 개의 관측소 기록을 수집하였다 (그림 1, 도표 1). 영월지진이 기록된 일본 관측소등의 위치는 대마도와 혼슈섬 서단

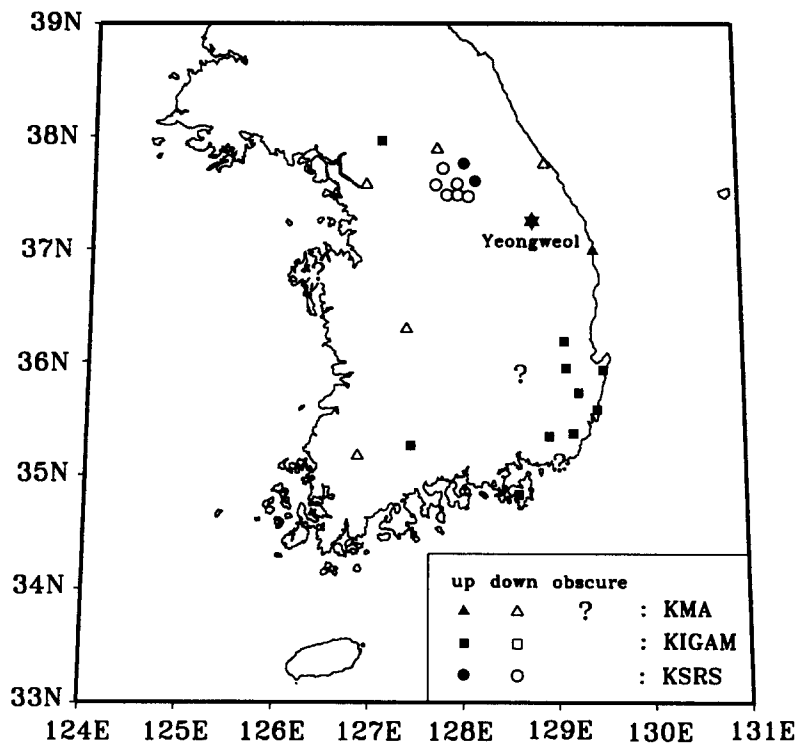


Figure 1. Location map for KMA (triangle), KIGAM (rectangular) and KSRS (circle) seismic stations, and the epicenter (star) of December 13, 1996 Yeongweol earthquake. Solid and open symbols represent compressional and dilatational motions, respectively, of the first arrival P wave. The locations of JAPAN stations are not represented.

단부에 위치하고있다. 그런데 일본에서의 기록과 대부분의 한국자원연구소 관측망 기록은 진원점을 중심으로 방위각 160도에서 180도 범위에 그리고 KSRS 기록은 280도에서 310도 범위에 탑재되어 있고 또한 각 관측망내에서는 극성도 거의 변화가 없을 뿐만 아니라 기상청 기록 중 P파의 초동 방향을 판별하기 어려운 기록이 있어 전체적으로 한 개의 수렴된 발진구조를 구하기 위한 양질의 자료가 되지는 못한다.

도표 1. 영월지진 기록 관측소 목록

station	location	epicentral distance (km)	azimuth (degree)	take-off angle (degree)	polarity of P-wave	remark
CHS	36.17N 129.09E	122.8	166.1	72.2	UP	KIGAM Stations
DKJ	35.94N 129.11E	148.6	167.8	59.6	UP	
HAK	35.92N 129.50E	161.5	155.6	57.1	UP	
MKL	35.73N 129.24E	174.6	165.6	56.7	UP	
BBK	35.57N 129.43E	195.8	161.9	50.7	UP	
KMH	35.34N 128.92E	212.8	175.0	50.8	UP	
MAK	35.36N 129.18E	212.7	169.8	50.8	UP	
GRE	35.25N 127.44E	250.9	208.4	50.8	UP	
KJM	34.83N 128.59E	269.6	183.3	50.6	UP	
PCH*	37.96N 127.13E	163.5	299.3	57.2	UP	
KANG	37.75N 128.90E	57.8	17.2	88.2	DOWN	KMA stations
ULSN	35.98N 129.42E	69.4	115.4	84.3	UP	
CHUN	37.88N 127.73E	112.4	310.6	74.2	DOWN	
DAEG	35.88N 128.62E	152.1	183.1		?	
DACS	36.28N 127.40E	155.2	231.5	58.6	DOWN	
SEOU	37.56N 126.96E	158.4	283.9	58.6	DOWN	
SEOS	36.78N 126.45E	206.9	255.3		?	
KWAN	35.17N 126.88E	283.8	215.0	50.8	DOWN	
PUSA	35.10N 129.03E	240.5	173.		?	
ICN	37.48N 126.63E	189.7	278.4	50.6	DOWN	
KSRS-W11	37.48N 127.95E	75.7	289.9	83.7	DOWN	KSRS stations
KSRS-W17	37.48N 127.84E	85.2	287.6	80.7	DOWN	
KSRS-LP1	37.58N 127.95E	80.1	297.1	81.7	DOWN	
KSRS-LP2	37.76N 128.03E	85.7	311.1	80.7	UP	
KSRS-LP3	37.60N 128.15E	66.8	306.0	88.1	UP	
KSRS-LP4	37.47N 128.07E	65.7	291.8	88.0	DOWN	
KSRS-LP5	37.57N 127.72E	98.5	291.2	77.7	DOWN	
KSRS-LP6	37.72N 127.80E	99.3	301.5	77.7	DOWN	
JAPAN-191	34.19N 129.29E	347.0	171.9	50.3	UP	JAPAN Stations
JAPAN-195	32.63N 129.80E	522.3	169.3	49.1	UP	
JAPAN-617	34.23N 131.06E	391.7	147.3	50.3	UP	
JAPAN-618	33.71N 130.79E	434.4	154.3	50.1	UP	
JAPAN-620	34.52N 129.39E	303.4	169.1	50.4	UP	

* 여진기록 사용

3. 진원요소 추정

이들 자료를 이용한 단층진원 방향 추정은 Langston(1982)의 격자 시험 방법을 이용하여 수행되었다. 이는 단층의 주향, 경사 및 레이크를 일정한 간격으로 증가시키면서 각 관측지점에서의 이론적 극성을 구한 후 관측치와 비교하여 이론치와 관측치가 일치하는 단층의 방향을 해로 결정하는 방법이다. 이를 위해서는 우선 진원점과 각 관측점 사이의 방위각과 이 관측점에 도달하는 초동 P파의 출발각(take-off angle)이(도표1) 필요하다. 이번 연구에서는 각 관측소에 도달하는 초동 P파의 출발각은 Kim(1995)의 한반도 지각모델을 이용하여 구하여졌다. 또한 실제 계산은 주향, 경사 그리고 레이크를 각각 3° 씩 증가 시켜 총 $120 \times 30 \times 120$ 번 수행한 후 관측 결과를 만족하는 단층면과 이동 방향을 결정하였다(그림 2).

그림 2-(a)는 초동 P파의 극성 기록 판별이 용이한 한국자원연구소 관측망과 KSRS 관측망에서 기록된 자료만으로 진원요소를 추정한 결과이다. 극성의 기록의 반구상에 고루 분포하지 못한 이유로 해서 이들 자료를 만족하는 매우 많은 단층의 방향이 있어 이 결과만으로는 영월 지진의 원인이 된 단층 활동을 추론하기가 어렵다. 그림 2-(b)는 앞에서 이용한 자료에 기상청 자료 중 극성이 불명확한 서산, 대구, 부산 관측소의 기록을 제외한 서울, 인천, 춘천, 강릉, 대전,

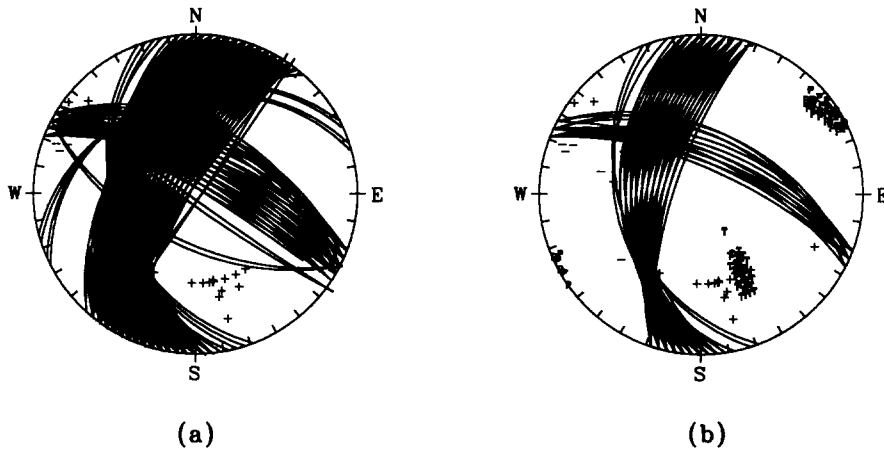


Figure 2. Fault plane solutions for Yeongweol earthquake: (a) is obtained from the data recorded at KIGAM, KSRS and JAPAN stations and (b) from the data recorded at KIGAM, KSRS, JAPAN and KMA stations. The characters, P and T represent the orientation of compressional and dilatational stress-axis, respectively.

울산, 광주 관측소 자료를 더하여 얻어진 결과이다. 비록 5개의 자료만이 더해졌지만 관측소가 각 방위각으로 산개하여 있어 더 나은 결과를 얻을 수 있다.

격자 시험 결과 영월 지진은 주향이 약 170도에서 200도, 경사가 약 50도 내외인 면과 주향이 약 290도에서 300도, 경사가 약 60도 내외인 면으로 이루어진 이중 우력(double couple)에 의한 것으로 나타났다. 이에 관련된 응력은 북동과 남서 방향으로의 압축 응력이, 그리고 남동과 북서 방향으로의 인장 응력이 작용한 것으로 생각된다. 이 응력에 의해 단층은 약간의 스러스트 운동이 포함된 주향이동을 이룬다.

4. 토 의

JUN(1990)은 1963년 이후 한반도 주변부에서 발생한 지진 중 규모 5.1 이상의 여덟 개의 지진의 외국 기록을 분석하여 진원 요소를 추정하였다. (그림 3) 추정 결과 이들 중 여섯 개의 지진이 약간의 스러스트 성분이 포함된 주향이동 단층에 의한 것이었다. 일반적으로 한반도에서와 같이 판내부에서 발생하는 중규모 이상의 지진은 주로 주향이동단층이나 스러스트 단층 작용의 형태로 나타나는데 이 번의 영월 지진도 JUN(1990)의 결과와 같이 이와 유사한 결과를 보인다. 특히 영월 지진은 발진기구가 1976년 10월 황해 군산 앞바다와 1980년 1월 평남북도 삭주에서 발생한 지진과 거의 유사한 양상을 띤다. 또한 1981년 4월 포항에서 발생한 지진과도 발진기구가 유사하게 나타난다.

이번 연구와 JUN(1990)의 결과를 종합해 보면 한반도에서의 주 압축응력 방향은 동북동 방향에서 서남서 방향이다. 이 응력장의 방향은 중국 동부 (전명순, 1994)와 유사한 것으로 판구론적인 관점에서 한반도와 그 주변의 응력장은 유라시아판의 동쪽과 남동쪽 방향에서 섭입하는 태평양판이나 필리핀판 보다는 남서쪽에서 충돌하는 인도판의 활동과 더 연관이 큰 것으로 보인다. 이 후 고성능의 고정 지진관측망이 증대되어 지진자료의 지속적인 수집과 분석을 통해 이런 응력장 분포에 대한 더 많은 정보가 얻어지면 한반도에서의 지진활동의 특성을 밝히는 데 큰 도움을 줄 것이다.

5. 참고 문헌

1. 김상조, 김소구 (1982), " 한국지진의 메카니즘 분석", 대한광상학회지, 제 19권, pp 165-170.
2. 전명순(1976), "한반도 및 주변의 지진특성", 지진연구논문집, 제 1권 1호, pp 63-75.
3. 지헌철, 전정수, 신인철 (1996), "경상분지에서의 지진연구 (III)", 한국자원연구소 연구보고서 KR-96(C)-4.
4. JUN, M. S.(1990), "Source parameters of shallow intraplate earthquake in and around the Korean Peninsula and their tectonic implication", Ph. D. Thesis, Uppsala University.
5. Kim, S. K.(1995), " A study on the crustal structure of the Korean Peninsula", Jour. Geol. Soc. Korea., Vol. 31, pp 393-403.
6. Langston, C. A.(1982), "Single-station fault plane solutions", Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 72, pp 729-744.

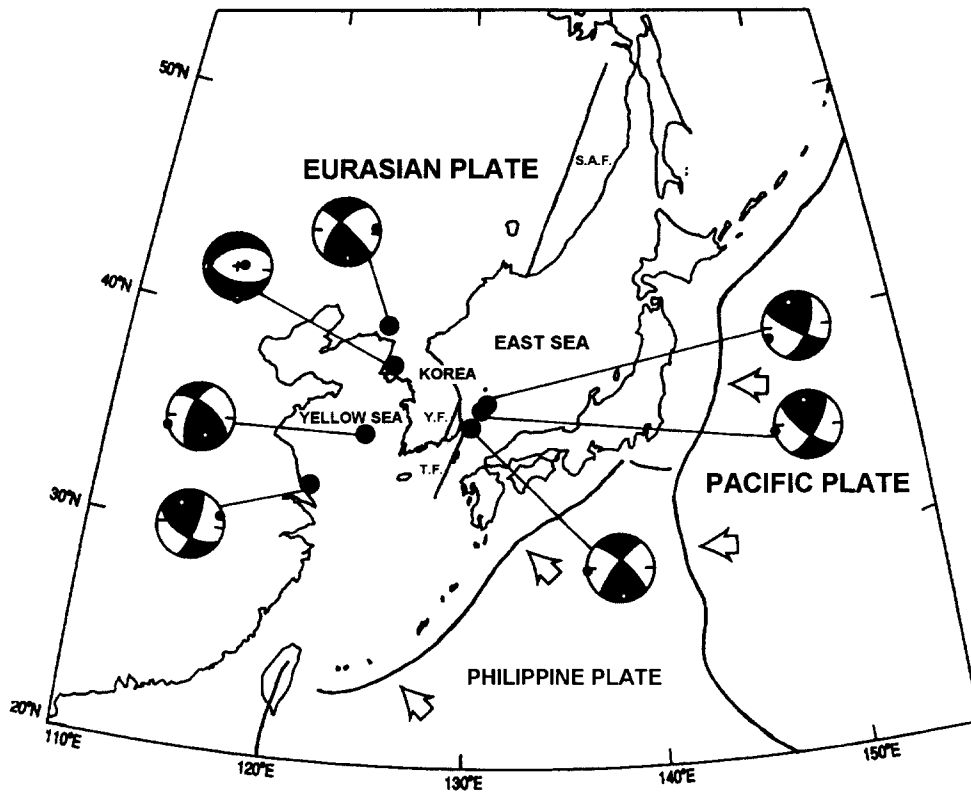


Figure 3. Epicenter locations (small solid circle) and focal mechanism of seven earthquakes in and around Korean Peninsula. Solid and open quadrants correspond to compression and dilatation, respectively. Faults : Y. F. - Yangsan fault, T. F. - Tsushima fault, S. A. F. - Sikote-Alin fault. (After Jun (1990))