

1996년 12월 13일 영월지진의 진원단층면 방향

박창업* · 신진수** · 지현철*** · 강익범*** · 류용규****

서울대학교 지질학과* · 한국전력연구원** · 한국자원연구소*** · 기상청 지진과****

요 약

격자 테스트 방법을 이용하여 1996년 12월 13일에 일어난 규모 4.5의 영월 지진의 진원단층 방향을 추정하였다. 국내의 기상청, 한국자원연구소, 원주 KSRS 관측망과 일본내 관측망에서 기록된 30개의 P파 극성 자료를 이용하였다. 격자 테스트 방법으로부터 계산된 진원단층면의 방향은 스투스트가 포함된 주향 이동 단층임을 보여준다. 즉 진원단층의 방향은 $180 \pm 20^\circ$ 주향, $50 \pm 5^\circ$ 경사, $150 \pm 5^\circ$ 면선각(rake), 또는 $292 \pm 3^\circ$ 주향, $65 \pm 5^\circ$ 경사, $30 \pm 10^\circ$ 면선각이 된다. 이들 단층 방향은 1980년 1월 7일 삭주, 1981년 4월 15일 포항, 및 1976년 10월 6일 군산 앞바다에서 일어난 지진과 유사하다. 응력의 주 압축 방향은 동북동-서남서의 경향을 가지며, 이는 이전 연구에서 구해진 한반도 및 주변부의 광역의 지구조적 응력 방향과 유사하다.

주요어: 1996년 영월 지진, 진원단층 방향, 격자 테스트, P파 극성 자료, 지구조적 응력 방향

Baag, Chang-Eob, Shin, Jin Soo, Chi, Heon Cheol, Kang, Ik-Bum and Ryoo, Younggyu, 1998, Fault-plane solutions of the December 13, 1996 Yeongweol earthquake, Journal of the Korean Geophysical Society, v. 1, n. 1, p. 23-30.

ABSTRACT: Fault-plane solutions of the December 13, 1996 Yeongweol earthquake with magnitude 4.5 is obtained 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 strike-slip motion with significant amount of thrust component. The orientation of the fault is $180 \pm 20^\circ$ 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 similar to those of earthquakes occurred at Sagju (Jan. 7, 1980), Pohang (Apr. 15, 1981) and offshore Gunsan (Oct. 6, 1976). The compressional axis of the 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.

Key words: 1996 Yeongweol Earthquake, fault plane solution, grid test, P polarity, tectonic stress

(Baag, Chang-Eob, Department of Geological Science, Seoul National University; Shin, Jin Soo, Korea Electric Power Research Institute; Chi, Heon Cheol and Kang, Ik-Bum, Korea Institute of Geology, Mining and Materials; Ryoo, Younggyu, Department of Earthquake Observation, Korea Meteorological Administration. email: baagce@plaza.snu.ac.kr)

1. 서 론

우리 나라 및 동중국 지역에서 지진을 발생시키는 근원의 응력은 일반적으로 인도 대륙과 유라시아 대륙과의 충돌에 기인한다고 알려져 있다.

그러하여 우리 나라에서는 응력이 대략 동서방향이 될 수가 있으며, 만일 암석권 내의 불균질성을 고려한다면 지역에 따라서는 이 방향과 달라질 수도 있다. 우리 나라의 기존 단층과 응력장과의 관계를 알기 위해서는 일차적으로 지진을 일으킨

원단층면의 방향을 추정해야 한다.

한반도와 그 주변부에서 발생한 지진에 대한 진원단층면 방향에 대한 연구는 김상조·김소구 (1982), Jun (1990), Jun (1991), Jun·Kulhanek (1991), Kim·Kim (1998) 등에 의해 비교적 규모가 컸던 몇 개의 지진 기록을 이용하여 추정된 바 있으나 아직까지 활발한 연구가 진행되지 못하고 있다. 이는 한반도에서 진원요소 추정이 가능한 규모의 지진 발생 횟수가 작았다는 것뿐만 아니라 지진 관측망이 미비하여 양질의 자료획득이 용이하지 못했다는 데 큰 원인이 있었다. 기존의 기상청 관측망과 더불어 최근 한국자원연구소가 설치하거나 인수 및 관리하는 관측망에 규모 3.0 이상

의 지진이 매년 1회 이상 기록되면서 이 지진 기록으로부터 진원요소를 구하려는 연구가 진행되고 있다. 그 예로 지현철 외(1996)은 경상분지 내에서 발생하는 소규모 지진의 진원요소를 분석하여 이 지역의 지진활동 특성에 대해 기술하였다.

1996년 12월 13일 강원도 영월부근(37.3° N, 128.8° E)에서 발생한 지진은 그 규모가 4.5 이상으로 한반도 내의 여러 관측소에서 기록되었다. 이 지진의 본진 발생 후 수 차례의 여진도 일어났다. 본진으로 말미암아 진양 부근에는 피해가 발생하였고 전국적으로 그 진동을 감지할 수 있었다. 영월 지진은 한반도에서 계기지진 기록이 시작된 이후 몇 안 되는 중규모 지진기록으로 이 지

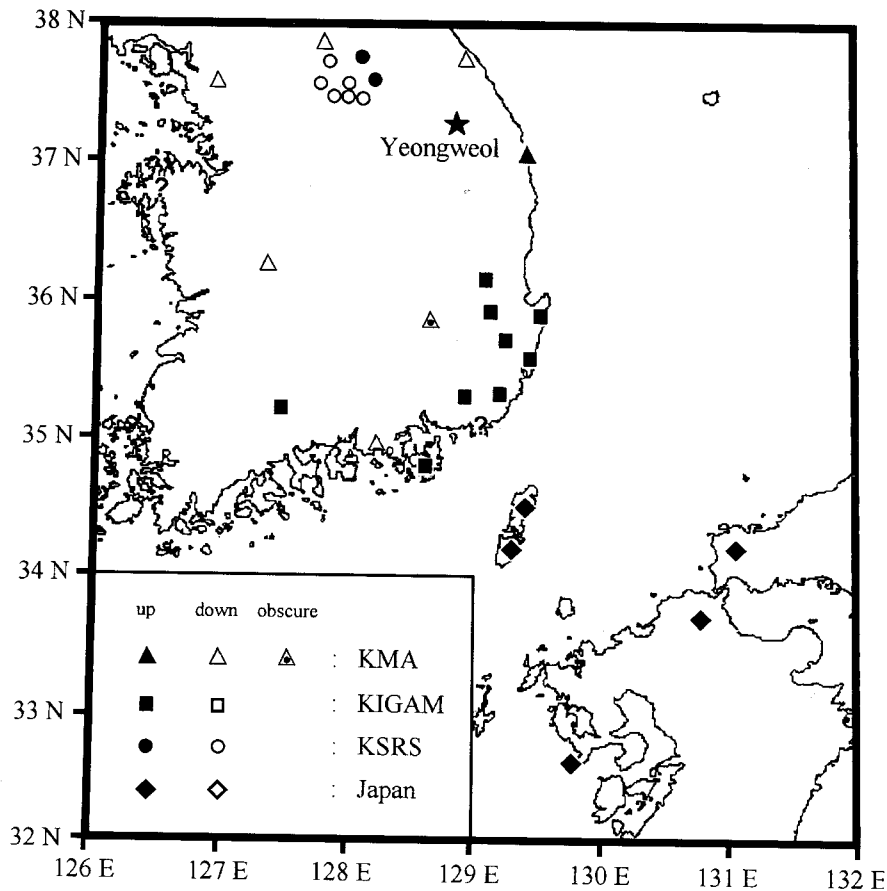


Fig. 1. Location map for KMA (triangle), KIGAM (rectangular), KSRS (circle) and Japan (diamond) seismic stations, and the epicenter (star) of December 13, 1996 Yeongweol earthquake. Solid and open symbols represent compressional and dilatational motions, respectively, of the first arrival P wave.

Table 1. List of Stations and P-wave first motion's polarities from the Dec. 13, 1996 Yeongweol earthquake.

station	location	epicenter 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	
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	KIGAM Stations
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	
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	KMA stations
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-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 stations
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-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 Stations
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	

* Aftershock data

진의 분석은 최근 한반도와 그 주변부의 지진활동 특성을 규명하는데 활용될 수 있을 것이다. 영월 지진의 다각적 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 판구조론적 해석에 도움이 될 것이다.

2. 지진 기록

여러 관측소에서 기록된 P파나 S파의 극성 분석은 지진의 진원방향 결정에 이용될 수 있다. 이번 연구에서는 9개의 기상청 관측망(KMA) 기록, 10개의 한국자원연구소 관측망 기록(KIGAM), 8개의 KSRS (Korea Seismic Research Stations) 관측망 기록, 그리고 일본에서 기록된 5개의 기록을 포함, 총 33개의 관측소 기록을 수집하였다(Fig. 1, Table 1). 영월지진이 기록된 일본 관측소들의 위치는 대마도와 혼슈섬 서단부에 위치하고 있다. 그런데 일본에서의 기록과 대부분의 한국자원연구소 관측망 기록은 진원점을 중심으로 방위각 160도에서 180도 범위에 그리고 KSRS 기록은 280도에서 310도 범위에 협재되어 있고, 각 관측망 내에서는 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.

3. 진원단층면 방향 추정

이들 자료를 이용한 진원단층면 방향 추정은 Langston (1982)의 격자 시험 방법을 이용하여 수행되었다. 단 본래의 방법은 파의 진폭을 비교할 수 있도록 고안되었으나, 이 연구에서는 P파의 극성만을 자료로 사용하기 때문에 관측점에서의 변위에 대한 Langston (1982)의 수식(1)을 다음과 같이 변형하였다.

$$u \propto \sum_{i=1}^3 C_i(p) A_i(\phi; \phi_s, \lambda, \delta). \quad (1)$$

여기서 u 는 관측점에서의 P파의 수직 성분 변

위 또는 속도를 나타낸다. 첨자 $i=1,2,3$ 은 세 가지 기본 단층을 가리키며 각각 수직 주향이동 단층, 수직 경사이동 단층, 및 45° 각도의 경사 이동 단층을 뜻한다. $C_i(p)$ 는 이들 세 기본 단층에 대한 Green 함수로써 수직 방사형태(vertical radiation pattern) 함수를 나타낸다. 식(1)의 우변은 사실상 변위 포텐셜과도 비례한다. 각각의 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_1(p) &= -p^2, \\ C_2(p) &= 2\epsilon p \left(\frac{1}{\alpha^2} - p^2\right)^{1/2}, \\ C_3(p) &= p^2 - 2\left(\frac{1}{\alpha^2} - p^2\right). \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 p 는 파선 매개변수(ray parameter), α 는 P파의 전파속도이다. 위로 출발하는 파선에 대해서는 $\epsilon=-1$, 아래로 출발하는 파선에 대해서는 $\epsilon=+1$ 의 값을 입력한다. 수평방사형태(horizontal radiation pattern) 함수 A_i 는 단층의 주향 방향각 ϕ_s , 관측점 방위각 ϕ , 단층 경사각 δ , 단층 상반의 면선각(rake) λ 의 함수로써 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_1 &= \sin 2(\phi - \phi_s) \cos \lambda \sin \delta \\ &\quad + \frac{1}{2} \cos 2(\phi - \phi_s) \sin \lambda \sin 2\delta, \\ A_2 &= \cos(\phi - \phi_s) \cos \lambda \cos \delta \\ &\quad - \sin(\phi - \phi_s) \sin \lambda \cos 2\delta, \\ A_3 &= \frac{1}{2} \sin \lambda \sin 2\delta. \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에 단층의 주향, 경사, 및 변위 방향을 일정한 간격으로 증가시키면서 대입하고 식(2)에 각 관측지점에 해당하는 파선 매개 변수를 대입하여 식(1)에서 P파의 이론적인 극성을 얻는다. 이들 극성과 관측치의 극성을 비교하여 일치하는 단층의 방향을 결정한다. 이를 위해서는 우선 진원점과 각 관측점 사이의 방위각과 이 관측점에 도달하는 초동 P파의 출발각(take-off angle)이 필요하다. 출발각 θ 는 지각의 속도구조 모델내의 파선 추적에 의해 구할 수 있고, 또 식

$$p = \frac{\sin \theta}{\alpha_0} \quad (4)$$

에 의해 파선 매개 변수가 구해진다. 여기서 α_0

는 진원점에서의 P파 속도이다. 이 연구에서는 파선 추적에 의한 출발각 계산을 검토하기 위해 일부 P파의 도달 시간 자료를 이용하였다. 즉 P파의 이론적인 도달시간 t 는

$$t = px + \sum_j \Delta z_j \left(\frac{1}{\alpha^2} - p^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

로 나타내어질 수 있다. 여기서 x 는 진앙 거리, j 는 파선이 지나가는 층의 일련 번호, Δz_j 는 층의 두께이다. 이론적으로 계산된 도달시간 t 값과 관측된 도달시간 T 와의 차이가 최소가 되는 p 값을 구하고 이를 식(4)에 대입하여 출발각 θ 를 구한다. 이번 연구에서는 각 관측소에 도달하는 초동 P파의 출발각(Table 1)은 Kim (1995)의 한반도 지각 모델을 이용하여 구하였다. 또한 식(1)의 계산은 주향, 경사 그리고 면선각을 각각 3° 씩 증가시켜 총 120×30×120번 수행한 후 관측 결과를 만족하는 단층면과 이동 방향을 결정하였다. 계산 과정 중 중요한 부분을 Fig. 2에 순서대로 나타내었다. 계산 결과는 Fig. 3에 주어져 있다.

Fig. 3의(a)는 초동 P파의 극성 기록 판별이 용이한 한국자원연구소 관측망과 KSRS 관측망에서 기록된 자료만으로 진원요소를 추정 한 결과이다. 극성 기록이 반구상에 고루 분포하지 못해서 이들 자료를 만족하는 매우 많은 단층의 방향이 있어 이 결과만으로는 영월지진의 원인이 된 단층 활동을 추론하기가 어렵다. Fig. 3의 (b)는 앞에서 이용한 자료에 기상청 자료 중 극성이 불명확한 서산, 대구, 부산 관측소의 기록을 제외한 서울, 인천, 춘천, 강릉, 대전, 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 영월지진은 주향이 180° ± 2° 0', 경사가 약 50° ± 5° 인 단층면에서의 면선각(rake)이 150° ± 5° 인 경우와, 주향이 292° ± 3°, 경사가 65° ± 5° 인 면에서의 면선각이 30° ± 10° 인 경우로 이루어진 이중 우력(double couple)에 의한 것으로 나타났다. 이에 관련된 응력은 동북동-서남서 방향으로는 압축 응력이, 그리고 남남동-북북서 방향으로는 인장 응력이 작용한 것으로 해석된다. 이들 응력에 의해 단층은 스톨스트 운동이 포함된 주향이동을 이룬다.

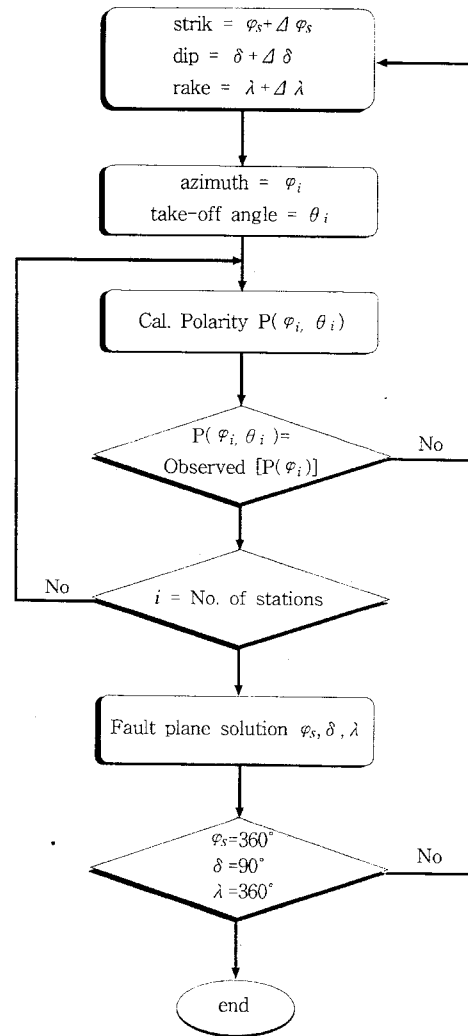


Fig. 2. Flow chart of the computational process for fault plane solution. The technique is modified from the original grid test (Langston, 1982) for use of polarity data only.

4. 기존 단층 및 응력 방향과의 관계

영월 지진의 진앙(37.3° N, 128.8° E) 부근에는 북북동(N10° ~ 20° E)-남남서 방향의 단층 또는 구조선들이 분포해 있다. 이 방향의 구조선은 연구에서 구해진 지진 단층 주향 170° 내지 200° (즉 N10° W ~ N20° E)의 방향과 거의 일치한다.

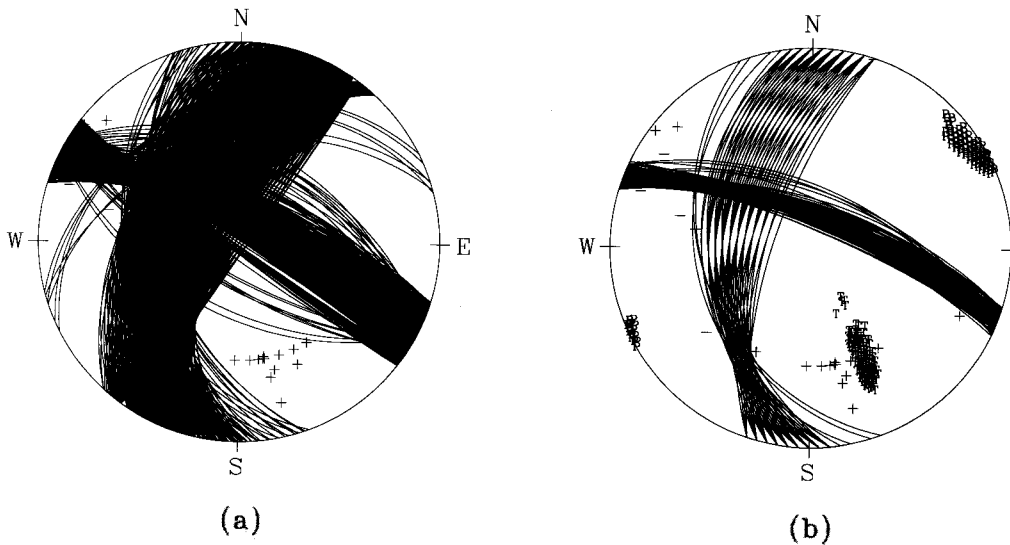


Fig. 3. Fault plane solutions for the December 13, 1996 Yeongweol earthquake; the solution (a) is obtained from the data recorded at KIGAM, KSRS and JAPAN stations and (b) from the data recorded at KIGAM, KSRS, JAPAN and KMA stations. The characters, P and T represent the orientation of compressional and dilatational stress-axis, respectively.

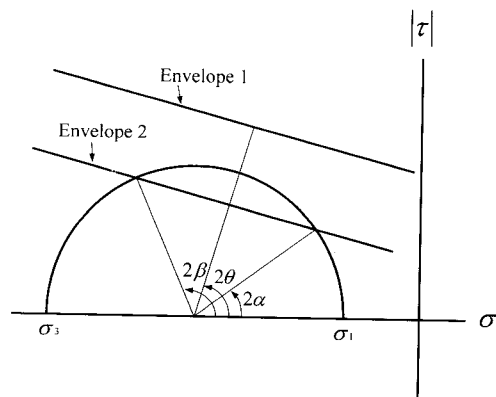


Fig. 4. Schematic diagram for the criteria of Mohr-Coulomb failure and frictional sliding along pre-existing fault. Compressive stress is assigned to have negative value. Envelope 1 indicates rock failure criterion, and Envelope 2 represents the criterion for frictional sliding along pre-existing fault. Corresponding angles are given as θ , α , and β .

그러나 이 사실은 영월지진이 기존에 알려진 단층에서 일어났다고 할 충분한 증거가 되지 못하는 듯 한다. 현재까지 발견이 되지 않은 북북동 주향의 단층 또는 이 연구에서 계산된 진원의 보조 단층면 (auxiliary fault plane)이 실제 단층면이 될 수도 있기 때문이다.

일반적으로 P파의 초동 극성 또는 진폭 분석에 의해 얻어진 진원단층면의 방향과 그에 따른 압축 및 인장방향으로, 진앙 부근에 가해진 응력(stress)의 방향을 정확히 알기는 어렵다. Byerlee (1978)에 의하면 약 200 MPa의 압력(지하 약 6Km 깊이)의 지역을 경계로 그보다 큰 압력과 작은 압력 하에서 기존 단층면에서의 전단 강도는 각각

$$\begin{aligned} |\tau| &= 50 + 0.6\sigma_n, & \sigma_n &\geq 200\text{MPa} \\ |\tau| &= 0.85\sigma_n, & \sigma_n &\leq 200\text{MPa} \end{aligned} \quad (6)$$

으로 나타내어진다. 이들 두 경우 모두 Mohr-Coulomb의 파괴 곡선(failure or sliding envelope)을 적용하여 분석하면, 단층지역 내에서 식(6)에 의해 형성된 이론적 전단 파괴(sliding)면의 각도가

기존의 단층의 방향과 일치해야만 단층이 움직인다. 즉 Fig. 4에서, 곡선이 Mohr의 원(circle)을 만 난다고 해서 모든 단층이 움직이는 것이 아니라, 단층면이 그 지역의 최대 압축 응력 방향(σ_3)과 α 또는 β 의 각도를 이루고 있는 단층만 움직이게 된다. 이 경우에 이들 각도에 대한 정보 없이 단층면 방향과 그 상반의 면선각만의 정보로부터 최고 압축 응력 방향을 알아내기가 어렵다. 그러므로 이 연구에서 계산된 진원단층면의 방향으로 부터 얻어진 주 압축방향은 실제 이 지역에 가해진 지구조적 주 압력 방향과는 다를 수 있다. 영월 지진의 경우에는 진원의 깊이가 7km 보다 더 깊기 때문에(김우한 외, 1997; 김성균 외, 1997) 식(6)의 첫 번째 식이 적용이 되어, 각도 α 및 β 가 θ 값과 비슷하게 될 가능성이 있다. 그러므로 이 연구에서 얻어진 응력 방향은 지구조적인 응력 방향의 근사값으로 해석될 수도 있다. 장래 이 지역에서 일어날 많은 지진에 대한 연구결과를 평균

하게 되면 지구조적 압력 방향을 더 정확히 추정할 수 있을 것이다.

5. 토 의

Jun (1990)은 1963년 이후 한반도 주변부에서 발생한 지진 중, 규모 5.1 이상의 일곱 개 지진의 외국 기록을 분석하여 진원 요소를 추정하였다 (Fig. 5). 추정 결과 이들 중 여섯 개의 지진이 약간의 슬러스트 성분이 포함된 주향이동 단층에 의한 것이었다. 일반적으로 한반도에서와 같이 판내부에서 발생하는 중규모 이상의 지진은 주로 주향이동단층이나 슬러스트 단층 작용의 형태로 나타나는데 영월지진도 Jun (1990)의 결과와 같이 이와 유사한 결과를 보인다. 특히 영월지진은 진원 단층면 방향이 1976년 10월 황해 군산 앞바다와 1980년 1월 평남북도 삭주에서 발생한 지진과 거의 유사한 양상을 띤다. 또한 1981년 4월 포항에

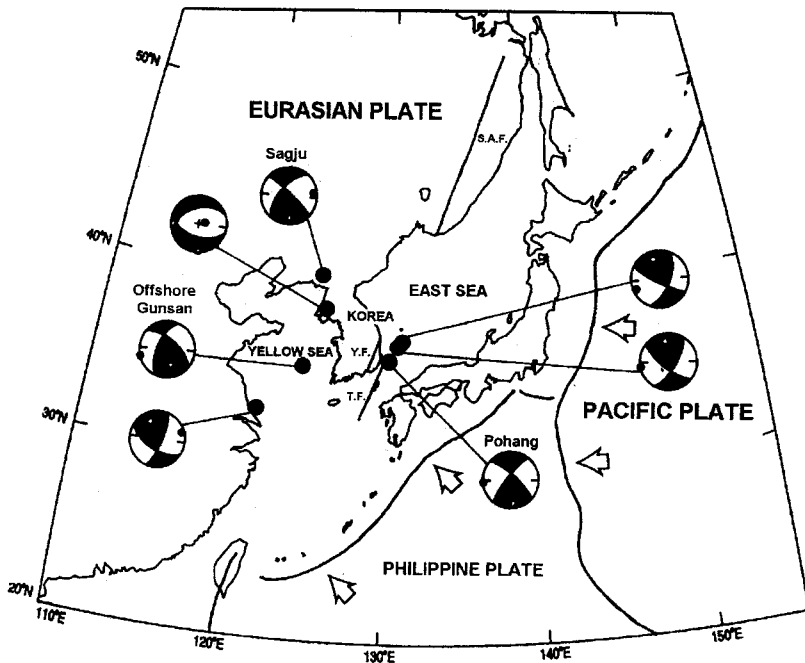


Fig. 5. Epicenter locations (small solid circle) and focal mechanism of seven earthquakes in and around Korean Peninsula (from Jun, 1990). Solid and open quadrants correspond to compression and dilatation, respectively. Initial letters Y.F., T.F., and S.A.F. represent Yangsan Fault, Tsushima Fault, and Sikote-Alin Fault, respectively.

서 발생한 지진과도 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 인도 대륙의 북상에 의한 아시아 지역의 응력 방향을 판구조론적인 관점에서 예측한 Eguchi (1983)의 결과와 일치한다. 한반도와 그 주변의 응력장은 유라시아판의 동쪽과 남동쪽 방향에서 섭입하는 태평양판이나 필리핀판 보다는 남서쪽에서 충돌하는 인도판의 활동과 더 연관이 있을 것으로 보인다. 이 후 고성능의 고정 지진관측망이 증대되어 지진자료의 지속적인 수집과 분석을 통해 이런 응력장 분포에 대한 더 많은 정보가 얻어지면 한반도에서의 지진 활동의 특성을 밝히는데 큰 도움을 줄 것이다.

사 사

이 연구는 1997년 교육부 학술 연구 조성비(기초 과학 BSRI-97-5406)에 의하여 연구되었다. 원고 및 그림 수정에 수고한 서울대학교 지질과학과 대학원의 신동훈에게 감사한다.

참고 문헌

김상조, 김소구, 1982, 한국지진의 메카니즘 분석, 대한광상학회지, 19, 165-170.
 김성균, 전명순, 김우한, 조봉곤, 김준경, 1997, 영월 지진과 최근 한반도의 지진 활동, 도 한국지진공학회, 춘계 학술 발표회 논문집, 1, 3-14.
 김우한, 지현철, 전명순, 김성균, 1997, 파형 분석에 의한 1996년 12월 13일 영월 지진의 특성, 한국

지진공학회, 논문집, 1, 19-24.
 전명순, 1994, 한반도 및 주변의 지진특성, 한국지진공학회, 지진연구논문집, 1, 63-75.
 지현철, 전명순, 신인철, 1996, 경상분지에서의 지진 연구(III), 한국자원연구소 연구보고서 KR-96(C)-4.
 Byeree, J.D., 1978, Friction of rock, Pure and Applied, Geophysics, 116, 615-626.
 Eguchi, T., 1983, Tectonic stress field in East Eurasia, Physics of the Earth and Planetary Interior, 33, 318-327.
 Jun, M. S., 1990, Source parameters of shallow intraplate earthquake in and around the Korean Peninsula and their tectonic implication. Ph. D. Thesis, University of Uppsala.
 Jun, M. S., 1991, Body wave analysis for shallow intraplate earthquakes in the Korean Peninsula and Yellow Sea, Tectonophysics, 192, 345-357.
 Jun, M. S. and Kulhanek, O., 1991, Source parameters of earthquakes in and around the Korean Peninsula deduced from spectral analysis, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 65, 225-266.
 Kim, S. K., 1995, A study on the crustal structure of the Korean Peninsula, Journal of the Geological Society of Korea, 31, 393-403.
 Kim, S. K. and Kim, M. S., 1998, Source parameters of the southern Yellow Sea earthquake occurred on July 25, 1994, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2, 113-118.
 Langston, C. A., 1982, Single-station fault plane solutions, Bulletin of the Seismological Society of America, 72, 729-744.

1998년 10월 17일 원고접수

1998년 12월 20일 원고채택