

오대산지진(2007/01/20)의 지진원 특성에 관한 연구

김준경*

세명대학교 자원환경공학과

A Study for Earthquake Parameter of Odaesan Earthquake

Jun Kyoung Kim*

Dept. of Resources & Geotechnics Eng., Semyung University

2007년 1월 20일 발생한 오대산지진과 관련된 지진원 상수(지진원기구, 진원깊이, 규모, 지진원 특성 등)를 지진모멘트 텐서 방법을 이용하여 분석하였다. 3개의 지각속도 모델에 의한 각각의 지각반응을 분석을 위한 그린함수로 이용하였다. 분석된 6개의 지진모멘트 텐서 성분을 조합한 결과 오대산지진은 거의 북북동 방향의 주향을 가진 주향단층의 운동에 의해 발생된 것으로 해석된다. 진원깊이는 약 11 km의 값을 가지고 있으며 6개의 지진모멘트 성분을 분석한 결과 CLVD 성분이 약 7%의 값을 가지고 있어 순수 단층면위의 미끄러짐 현상에 의해 발생된 것으로 해석되었다. 지진원기구의 주향이 오대산 단층의 주향과 일치하고 있고, 또한 진앙도 오대산 단층의 지표 연장선과 밀접한 관계를 보여주고 있으므로 오대산 단층이 지진유발 단층인 것으로 해석된다.

주요어 : 모멘트 텐서 지진원 이론, 짝힘

The seismic source parameters of the Odaesan earthquake on 20 January 2007, including focal depth, focal mechanism, magnitude, and source characteristics, are analysed using seismic moment tensor inversion. The Green's function for different 3 crust models representing the southern Korean Peninsula are used. Final results show that the event, considering 6 seismic moment tensor elements, is caused by the typical strike slip fault with nearly NNE strike. The focal depth is estimated to be about 11km and 6 seismic moment tensor elements with 7.2% CLVD value shows typical double couple seismic source. The consistent characteristics of the strike and epicenter of the event with Odaesan fault imply that Odaesan earthquake is mainly caused by movement of the Odaesan fault.

Key words : moment tensor source representation theorem, double couple force

서 론

일반적으로 천발지진일 경우 관측파형으로 부터 구한 지진원 관련 상수들이 진앙 지역의 제 4기 지표지질 현상과 대체로 유사한 특성을 보이나, 어떤 경우에는 지진 분석 결과가 제시한 지진원 발생모델 보다 진앙의 지표 부근에서 훨씬 복잡한 구조지질적 특성을 보여 주기도 한다. 또한 최근 지진모멘트 텐서를 이용한 지진원 대표 이론을 적용하여 지각의 천부에서 발생한 다양한 지진을 분석한 결과 non double couple 성분이 지진원의

성분중에서 상당한 부분을 차지하고 있는 경우를 자주 보여 주었다. 이 경우 지진발생의 성인이 단순히 단층면 위의 slip 현상으로 설명할 수 없음이 확인되고 있다. 본 연구는 오대산 지진의 지진원 특성을 보다 상세하게 규명하기 위해 여러 가지 지진원 모델중에서 특히 모멘트 텐서 지진원 대표이론 (Moment Tensor Source Representation Theorem)을 적용하였다. 이 분야에 대한 이론은 Backus and Mulcahy(1977) 및 Gilbert and Dziewonski(1975) 등에 의해 제시되었다.

본 연구는 지진모멘트 텐서 지진원대표 이론을 이용하

*Corresponding author: kjk-512@semyung.ac.kr

여 2007년 1월 20일 발생한 오대산지진의 지진원 기구, 지진원깊이 및 지진원 특성 등과 같은 지진원 상수들을 분석하였다. 오대산 지진은 강원도 평창군 진부면 진부리 일대의 6번 국도 부근에서 발생한 것으로 보고되었다(KMA, 2007). 본 지진은 울진지진(2004/05/29) 및 영월지진(1996/12/13)과 더불어 최근 한반도를 포함한 주변 지역에서 발생한 지진중에서 중규모의 지진에 해당되기 때문에 진앙부근 지역을 포함하여 한반도 내륙의 지진지체구조 특성을 이해하기 위해 대단히 중요하다.

지진모멘트텐서 지진원 대표이론을 적용하는 연구방법은 국내에서는 Kim and Kraeva(1998)에 의해 연구되었고, 하나의 광대역 관측소 자료만을 이용하는 방법을 적용하여 국내에서 발생한 중소규모의 지진에 대해 분석하였다. 또한 김준경 외(2007)은 유사한 방법을 이용하여 오대산지진과 같은 국내에서 발생한 중규모 지진에 대해 적용하였다. 또한 오대산지진에 대하여 그 지체구조적 중요성이 부각되어 최근 경재복 외(2007), 강태섭(2007), 연관희와 박동희(2007)에 의해서도 역시 연구가 되어 왔다. 본 연구에서 얻어진 지진원 관련 상수 값 결과를 기존 연구 결과와 비교하여 분석하였다.

지진모멘트텐서를 이용한 지진원 모델

지진원이 등가의 double coupled body force로 대표할 수 있고 지진모멘트텐서가 2차 텐서라고 가정할 경우 지진원에 대한 지구물질의 동탄성학적인 반응은 다음과 같은 식으로 표현 가능하다.

$$U_k(\vec{x}, t) = G_{kj}(\vec{x}, t; \vec{o}, \vec{o}) * M_{ij}(o, t) \tag{1}$$

여기서, U_k ; the displacement in the k -th direction,
 G_{kj} ; the elasto-dynamic Green's function,
 M_{ij} ; a set of time dependent moment tensors,
 $*$; convolution operator

k ; vertical ($k=1$), radial ($k=2$), 그리고 tangential ($k=3$) 성분 지반진동을 나타낸다.

식(1)에서 primed 변수는 관측소 좌표계를 나타내고, unprimed 변수는 지진원 좌표계를 나타낸다.

위 식을 이용하여 관측된 지진파형으로부터 역산을 통하여 지진원에 대한 정보를 분석할 경우 크게 두 가지로 분류된다. 한 가지 방법은 시간영역에서 이루어지는 방법이고 다른 방법은 주파수 영역에서 이루어지는

역산 방법이다. 시간영역에서 이루어지는 역산 방법은 $M_{ij}(O, t)$ 성분이 모두 동일한 지진원 시간이력(source time function)을 가지고 있다고 가정한다. 본 연구에서는 시간영역에서 관측파형을 역산하는 방법을 적용하였다.

연구자료

Table 1에는 기상청(KMA, 2007), 한국지질자원연구원(KIGAM, 2007) 및 미국지질조사연구소(USGS, 2007) 등 3개 기관이 결정한 오대산 지진의 진앙위치가 제시되어 있고 Fig. 1은 본 연구를 위해 사용된 지반진동을 측정할 지진관측소 및 진앙위치를 나타내고 있다. 본 연구에서는 한국지질자원연구원이 결정한 진앙위치를 사용하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 한국기상청

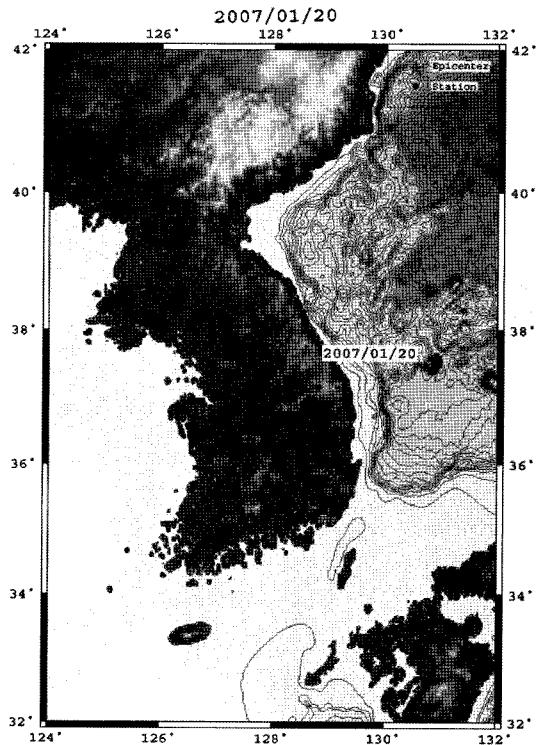


Fig. 1. Location map of the epicenter and seismic stations.

Table 1. Epicenter location.

Agency	Epicenter		Remarks
	Lat.	Long.	
KMA(2007)	37.68	128.59	
KIGAM(2007)	37.6889	128.5841	
USGS(2007)	37.643	128.472	

및 한국지질자원연구원이 결정한 진앙위치는 서로 비슷한 위치에 있으나 미국지질조사연구소가 결정한 진앙은 다소 떨어져 있다.

지진모멘트텐서 분석을 위해 관측된 지반진동 자료중에서 S/N 비가 비교적 양호한 19개 지반진동을 선택하였고 Table 2에서는 19개 지반진동 자료의 관측소 이름 및 각각의 관측소에 대한 진앙거리를 나타내고 있다. 오

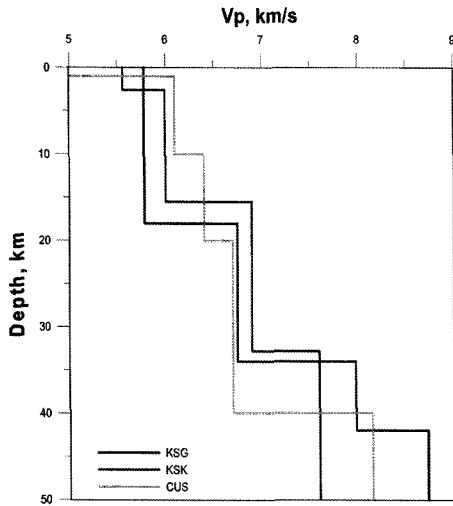


Fig. 2. Crustal velocity models for the Southern Korean Peninsula.

Table 2. Seismic stations and epicentral distances.

Name of Seismic Stations	Epicentral Distances (km)
BGD(보길도)	432.4515
BRD(백령도)	349.4277
BUS(부산기상청)	274.8932
CHC(춘천)	68.54976
CHJ(충주)	105.4476
DAG(대구)	214.9370
DGY(대관령)	7.947642
GKPI(경북대학교)	199.7405
HDB(효동리)	229.2392
JJU(제주)	507.2624
KSA(간성)	105.4236
KWJ(광주기상청)	314.8987
NPR(나포리)	238.4143
SEO(서울기상청)	148.7623
SES(서산)	213.8259
SND(상동)	62.78923
TJN(대전)	181.4254
ULJ(울진기상대)	131.7172
ULL(울릉도)	206.0185

대산 지진의 진앙으로부터 가장 가까운 관측소는 DGY(대관령)이며 거리가 약 8 km이고, 가장 먼 관측소는 JJU(제주도)이고 거리가 약 507 km이다. 또한 진앙을 중심으로 관측소의 방위각을 살펴보면 Fig. 1에 제시되어 있는 바와 같이 ULL(울릉도) 관측소까지 포함하여 관측소가 대부분의 관측소가 주로 제 3 및 4분면에 위치하고 있고 KSA(간성) 관측소가 유일하게 제 1 및 2사분면 사이에 위치하고 있어 방위각 분포의 집중현상을 다소 완화시킬 수 있었다.

본 연구에서는 식(1)에서 제시되어 있는 바와 같이 각각의 지진파 전파경로 특성을 대표하고 있는 지각반응에 해당하는 $G(f)$ 를 미리 계산하기 위해 국내 지각모형을 비교적 잘 대표하고 있는 김성균과 정부홍(1985)에 의한 지각속도구조 모델(이하 KSK)과 Sang Jo Kim and So Gu Kim(1983)에 의한 지각속도구조 모델(이하 KSG) 또한 국내 지각모형과 비교적 유사하다고 알려져 있는 유현재(개인서신) 지각모형(이하 YHJ)을 포함하여 모두 3 종류의 지각속도구조 모델을 이용하였다. Fig. 2는 3 종류의 지각모형을 보여주고 있다. KSK지각모형과 KSG지각모형은 3층의 지각구조를 이루고 있고, YHJ지각모형은 보다 많은 얇은 층으로 구성된 지각구조를 이루고 있다. KSK지각모형과 KSG지각모형은 지각두께가 각각 약 30 km 및 약 40 km이고 상부 맨틀로 추정되는 부분의 속도가 각각 7.5 km/sec 및 8.5 km/sec 의 값을 가지고 있어 차이가 대단히 큰 것이 특징적이다.

연구결과

진원심도 분석

위에서 제시된 3종류의 지각모형을 이용하여 우선 이론적인 지각반응함수 $G(f)$ 를 계산하였고 이를 이용하여 관측파형의 역산을 통해 진원심도를 분석하였다. 지진원심도를 분석하는 과정은 지진모멘트텐서 지진원 모델을 이용할 경우 식(1)에서 제시된 바와 같이 비선형성을 갖고 있기 때문에 각각의 심도에 따라 역산을 반복하고, 역산결과 중에서 관측파형과 이론파형이 가장 잘 일치하는 경우에 해당하는 진원심도가 가장 적합하다고 분석한다. 관측파형과 이론파형이 일치하는 정도에 대한 관계식은 식(2)에 제시되어 있다.

$$\text{Variance Reduction} = \left[1 - \frac{\sum (d_i - s_i)^2}{\sum (d_i)^2} \right] \quad (2)$$

여기서 d_i 는 관측파형자료이고, s_i 는 이론파형이다.

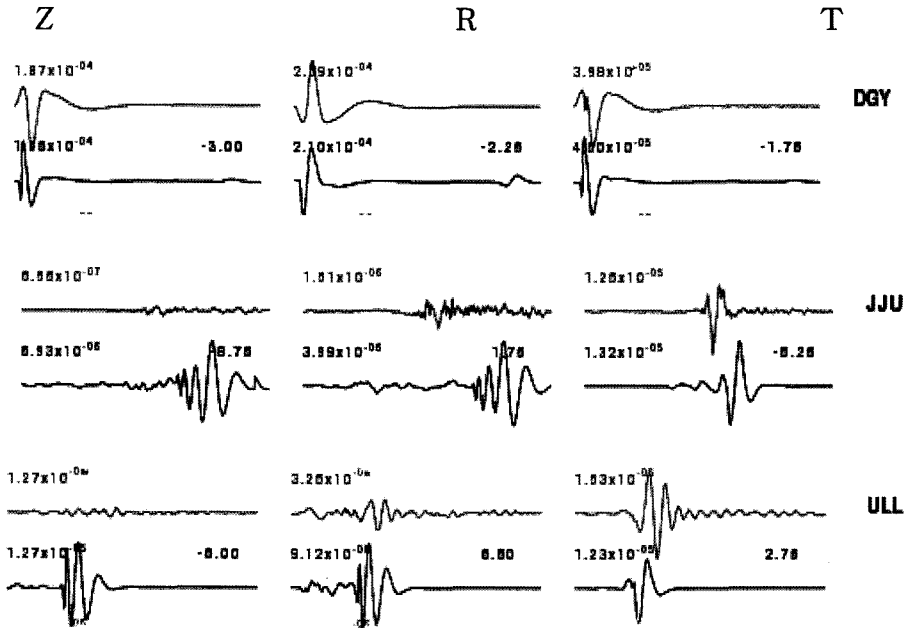


Fig. 3. Comparison of observed (upper) and theoretical (bottom) waveforms.

본 연구에서는 관측된 지반진동 자료중에서 S/N 비가 비교적 양호한 19개 지반진동을 선택하였고 시간대역에서 지진모멘트분석을 시도하였다. Fig. 3은 분석결과를 이용하여 관측 및 이론파형 비교를 시도하였고 가로축은 시간을 나타내고 있고 왼쪽으로부터 수직성분, radial 성분 및 tangential 성분 파형을 나타내고 있다. 파형의 오른쪽 끝에는 관측소 이름이 제시되어 있다. 각각의 관측소에서 위부분은 실제 관측된 파형이고 아래 부분은 이론파형을 나타낸다. 결과중에서 일치 정도가 가장 낮은 DGY, ULL 및 JJU 등 3개 관측소에 대해 파형일치 정도를 보여주고 있다. 또한 이 경우 진원심도 값이 2km로 분석되어 기존 연구 결과와 차이가 큰 값을 보여 주었다.

Fig. 3에서 나타난 바와 같이 DGY 관측소에서 관측된 파형은 바로 아래에 제시된 이론파형에 비해 상대적으로 비정상적인 파형을 보여주고 있다. 이는 진앙거리가 약 7km이고 진원에 아주 가깝고 중규모의 지진이기 때문에 관측소 sensor가 상한값의 지반진동값에 대해 비선형적으로 작동하였을 가능성이 있음을 암시하고 있다. 따라서 일반적으로 예측가능한 이론파형과 전혀 다른 특징을 보여주고 있어 다음 차례의 분석에서 제외하였다.

또한 ULL 및 JJU 관측소의 경우 역시 파형일치 정도가 아주 낮음을 보여주고 있다. 특히 ULL(울릉도) 관측

소의 위치는 내륙지각 구조를 벗어나 울릉분지 내부에 위치하고 있어 내륙 지각구조 모델을 이용하여 역산을 할 경우 파형일치가 낮은 것으로 해석된다. 또한 Herrmann(2007)에 의하면 ULL(울릉도) 및 JJU(제주도) 관측소는 내륙에서 벗어나 해양으로 치우쳐 있어 특히 진앙거리가 길 경우 특히 표면파 파형분석이 쉽지 않기 때문에 해당 관측소를 제외시키는 것이 분석효과를 높일 수 있다고 제시하였다. 또한 관측파형에서 비교적 잡음이 많은 CHNB, HDB 및 GSU 관측소 등도 다음의 분석에서 제외하였다.

Fig. 4는 위에서 제시된 관측파형을 제외한 후 파형역산을 통해 지진원심도를 분석한 결과를 보여주고 있다. 가로축은 진원심도를 나타내고 세로축은 식(2)에서 제시된 일치정도를 나타내며 0과 1사이의 값을 가진다. 앞서 제시된 3종류의 지각모델 경우에 대해 분석을 수행하였고 한국지질자원연구원 진앙위치 및 YHI 지각모델을 이용한 경우 파형일치 정도가 최대값을 보여 주었다. 물론 3종류의 지각모델에 대해 서로 약간 다른 파형일치 정도를 나타내고 있으나 일정값 이상을 유지하고 있음을 보여주었다. Fig. 4를 살펴보면 최대값을 중심으로 양방향으로(진원깊이 감소 및 증가) 감소하는 기울기가 가장 급하고 또한 일치정도가 가장 큰 값을 보여주고 있어 진원심도를 쉽게 구할 수 있었다. 물론 다른 2가

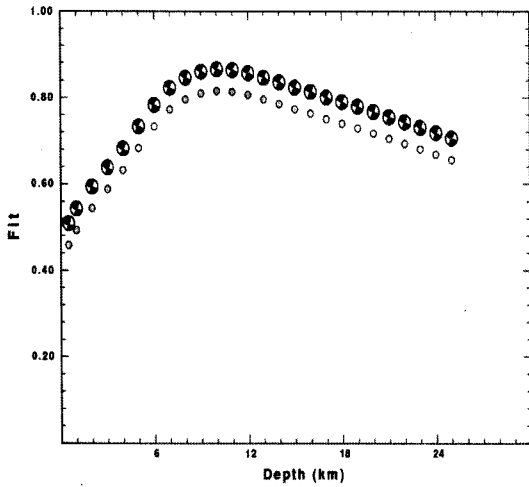


Fig. 4. Focal depth va. variance reduction.

Table 3. Comparison of focal depth.

Agency	Focal Depth (km)	Remarks
This Study	11	
KMA(2007)	-	
KIGAM(2007)	13.1	
USGS(2007)	10	

지 모델에 대해서도 역시 유사한 특징을 보여 주었다. 따라서 지진원 심도는 3종류의 지각모델에 대하여 모두 공

통적으로 약 10-11 km의 범위에서 일치정도가 최대값을 가지고 있어 대단히 일관성 있는 결과를 보여 주었다.

역산한 결과 얻어진 진원깊이를 사용하여 각각의 관측소에서 이론파형을 계산하였고 이론파형과 관측파형을 비교하여 Fig. 5에 제시하였다. 가로축, 각각의 성분, 관측 및 이론 파형의 순서는 Fig. 3과 동일하다. 특히 수직성분 파형을 살펴보면 진원거리에 따라 P파 및 S파의 도달시간 간격이 서로 차이가 있음을 보여주고 있다. 진원거리가 긴 경우 tangential 성분 파형은 러브 파형을 나타내는데 관측 및 이론파형이 아주 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다.

본 연구에서 분석된 진원심도는 Table 3에서 기존 연구결과와 비교하여 제시하였다. KIGAM(2007) 및 USGS(2007)에서 제시된 결과와 유사한 결과를 보여 주고 있다.

지진원기구 분석

위에서 제시된 3종류의 지각모델 이용하여 분석을 수행하였다. 지진모멘트텐서 지진원 모델을 이용할 경우 지진원기구를 분석하는 과정은 지진원 심도를 분석하는 과정과 달리 선형성을 갖고 있다. 따라서 각각의 진원심도를 약 1 km 씩 증가시키면서 각각 주어진 진원심도에서 주향, 경사 및 rake 각도를 5°씩 증가시켜 가면서 격자망탐색 (grid search) 방법을 이용하여 지진원 기구

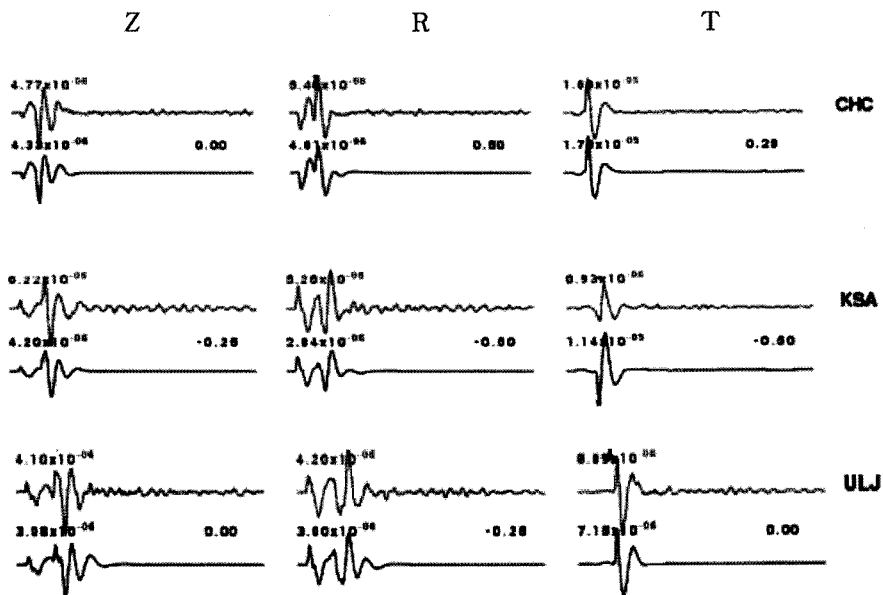


Fig. 5. Comparison of observed(upper) and theoretical(bottom) waveforms.

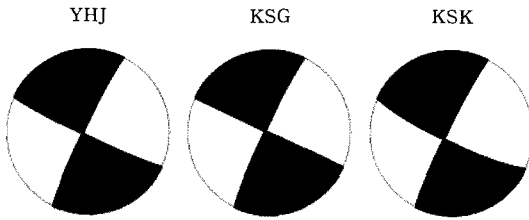


Fig. 6. Comparison of focal mechanisms for 3 crustal velocity models with epicenter of KIGAM.

Table 4. Comparison of focal mechanism.

Agency	Crustal Model	Focal Mechanism(°)	
KIGAM	YHJ	STRIKE	115
		DIP	85
		RAKE	-5
	KSG	STRIKE	295
		DIP	90
		RAKE	5
	KSK	STRIKE	115
		DIP	80
		RAKE	-5

를 분석하였다. 이 경우 식(2)에서 제시된 일반적으로 관측파형과 이론파형이 가장 잘 일치하는 경우에 해당하는 지진원기구가 가장 적합하다고 해석한다.

Fig. 6에서 그리고 Table 4에서 한국지질자원연구원이 결정한 진앙위치를 이용하여 3종류의 지각모델을 이용하여 역산을 수행한 결과 얻어진 지진원기구를 나타내고 있다. 본 연구로부터 얻어진 지진원기구중에서 가장 일치정도가 높은 것은 YHJ 지각구조 모델을 사용하여 분석한 결과이며 단층면의 주향, 경사 및 rake angle이 각각 115°, 85°와 -5° 결과를 보여 주고 있다. Fig. 6과 Table 4에서 제시된 바와 같이 3가지 결과를 비교하면 단층면의 주향, 경사각 및 rake angle이 상호 약간의

Table 5. Comparison of magnitudes for different crustal models.

Crustal Model	Magnitude (M_w)	Remarks
YHJ	4.55	
KSG	4.54	
KSK	4.43	

차이가 있지만 3종류의 지각모델 모두에 대해 공통적으로 전형적인 주향단층의 경향을 보여주고 있다. 본 연구 결과는 USGS(2007) 및 KIGAM(2007)의 연구결과와 대체로 일치하고 있다.

KIGAM(2007)이 제시한 결과에 의하면 진앙을 지질도와 겹쳐 분석하였을 때 진앙위치는 오대산 단층과 잘 일치하고 있음을 보여주었다. 또한 오대산 단층의 주향은 본 연구로부터 얻어진 지진원기구의 주향과 거의 일치하고 있고 지표에서 발견된 단층의 기하학적 규모가 주변지역에서 가장 크다. 그리고 지체구조적으로 비교적 활발하지 않고 마그마 활동이 최근 거의 발견되지 않은 지역에서 중규모 지진이 발생할 경우 지진의 발생원인중에서 가장 큰 가능성이 있는 원인은 단층면위 미끄러짐일 가능성이 가장 크다고 할 수 있다. 따라서 오대산 지진의 지진유발 단층은 오대산 단층일 가능성이 대단히 크다.

지진모멘트 규모 분석

3종류의 지각구조모델을 이용하여 오대산지진의 지진모멘트 성분을 분석한 결과가 Table 5에 제시되어 있고 지진규모는 4.43에서 4.55의 값을 가지고 있어 대체로 편차가 작고 일관성 있는 결과를 보여 주었다. 본 연구로부터 얻어진 결과중에서 가장 일치정도가 높은 것은 YHJ의 지각구조 모델을 사용하여 역산한 결과이며 이 경우 지진규모는 4.55이다. 기존 연구결과와 비교하면 USG(2007)의 결과와 보다 유사하나 KMA(2007) 및 KIGAM(2007)이 제시한 값보다 작은 값을 보여주고 있다. 하지만 규모 종류가 다를 경우 직접적인 비교는 의미가 적다.

지진모멘트텐서 성분 분석

오대산 지진원 특성을 고려하여 isotropic 특성에 대한 가능성을 배제하고 순수한 deviatoric 지진원으로 간주하여 지진모멘트텐서 성분분석을 다시 수행하였다. 결과는 Table 6에 제시되어 있다. Table 6에서 제시된 바와 같이 순수한 deviatoric 지진원으로 간주하여 분석한 경우는 일반 지진원으로 가정하여 격자망탐색 방법을 이용한 결과와 비교하면 지진원기구가 서로 일치하고 있다. 물론 진원심도, 지진규모 등의 지진원 상수값도 잘 일치하고 있다. 파형일치정도는 일반적인 지진원으로 가

Table 6. Seismic source parameters(deviatoric seismic source assumed).

Focal Depth (km)	Focal Mechanism			Magnitude (M_w)	Degree of Waveform Fittness	CLVD (%)
	Strike	Dip	Rake Angle			
10.0	115.	88.	-6.	4.54	0.913	7.2

정하여 분석한 결과와 비교하면 약간 향상되었다.

순수한 deviatoric 지진원으로 간주하여 분석결과 얻어진 지진모멘트텐서 성분을 double couple 및 CLVD 성분으로 분해하였고 각각 92.8% 및 7.2%의 값을 얻었다. CLVD 성분값은 고유의 지진원의 물리적인 특성을 가지고 있고 주로 지질구조에 마그마가 갑자기 관입하여 지진이 발생하였을 경우를 대표한다. 순수한 deviatoric 지진원으로 간주하고 지진모멘트텐서 성분을 분석할 때 다른 여러 가지 분해의 경우도 있으나 주로 double couple 및 CLVD 성분으로 분해하고 있다. 이와 같이 2개 지진원 특성으로 분해할 경우 CLVD 성분값의 크기는 non double couple의 특성을 가진 정도를 의미한다. 따라서 CLVD 성분값은 약 7.2%의 값을 보여 주었기 때문에 오대산 지진은 거의 순수한 double couple에 의한 지진으로 해석된다.

결 론

지진모멘트텐서 지진원 모델을 이용하여 진원심도, 지진원기구, 지진원특성 및 규모를 분석하여 기존의 연구결과와 비교하였다. 진원심도를 분석한 결과 3종류의 지각모델에 대해 서로 약간 다른 최적의 심도를 나타내고 있으나 대체적으로 지진원 심도는 약 11km에서 최적값을 보여 주었다. 본 연구결과에서 분석된 진원심도는 KIGAM(2007) 및 USGS(2007)의 기존 결과와 거의 일치하고 있다.

3가지 종류의 지각모델에 대한 분석 결과 주향, 경사각 및 rake 각도는 약간씩 차이는 존재하나 전체적으로 주향단층 경향을 보여주고 있고, 오대산 단층의 주향과 대체로 일치하고 있다. 또한 KIGAM(2007)이 제시한 결과에 의하면 진앙을 지질도와 겹쳐 분석하였을 때 진앙위치는 오대산 단층과 잘 일치하고 있음을 보여주었다.

오대산 단층은 주변지역의 지표에서 발견된 단층중에서 가장 뚜렷하고 기하학적 규모가 가장 크다. 그리고 지체구조적으로 비교적 활발하지 않고 마그마 활동이 최근 거의 발견되지 않은 지역에서 중규모 지진이 발생할 경우 지진의 발생원인중에서 가장 큰 가능성이 있는 원인은 단층면위 미끄러짐일 가능성이 가장 크다고 할 수 있다. 따라서 오대산 지진의 지진유발 단층은 오대산 단층일 가능성이 대단히 크다.

또한 오대산지진으로부터 관측된 파형을 이용하여 지진모멘트텐서 성분값을 구하였고 얻어진 성분값을 이용하여 순수한 deviatoric 지진원으로 간주하고 6개 지진

모멘트텐서 성분을 분석하였다. CLVD 성분값은 약 7.2%의 값을 보여 주었기 때문에 오대산 지진은 순수한 double couple에 의한 지진 즉 순수하게 단층면의 미끄러짐 현상에 의한 지진임을 암시하고 있고 기존 연구결과를 한 번 더 확인을 시켜주고 있다.

특히 2007년 본지진 후에 발생한 몇 개의 여진에 대해서도 지진모멘트텐서 성분값 분석을 시도하여 그 결과까지 포함하여 종합적으로 분석한다면 오대산지진 진앙부근 지역 및 오대산단층의 지체구조적 현상을 보다 심도있게 분석가능 하다고 해석된다. 따라서 향후 연구에서는 더욱 정교한 방법과 주변에서 발생했던 지진의 특성을 이용하여 분석하고 그 결과들을 비교하면 보다 신뢰성 있는 결과들을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2007년도 기상지진개발사업단의 “기상지진기술개발사업(CARTER 2007 -5109)”에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강태섭, 2007, 오대산지진에 대한 한반도 남부지역의 장주기 지반운동 모의, 한국지진공학회 2007년도 Workshop 발표집, 17-25.
- 경재복, 허서운, 도지영, 조덕래, 2007, 2007년 1월 20일 오대산 지진(M=4.8)의 진도, 단층면해 및 단층과의 관계 분석, 한국지진공학회 2007년도 학술대회 논문집, 3-14.
- 김성균, 정부홍 1985, 한국 남부지역의 지각구조, 광산지질, 18, 151-157.
- 김준경, 유성화, 오태석, 2007, 모멘트텐서 방법을 이용한 울진지진 연구, 한국지진공학회 2007년도 학술대회 논문집, 55-64.
- 연관희, 박동희 2007, 오대산지진에 대한 추계학적 지진동 평가, 한국지진공학회 2007년도 Workshop 발표집, 26-41.
- Backus & Mulcahy, 1977, Moment tensors and other phenomenological descriptions of seismic sources, II, discontinuous displacements, Geophys. J. R. astro. Soc, 47, 301-329.
- Gilbert, F and Dziewonski, A. M., 1975, An application of normal mode theory to the retrieval of structure parameters and source mechanism from seismic structure, Phil. Trans. R. Soc. , A278, 187-269.
- KIGAM, 2007, <http://quake.kigam.re.kr>
- KMA, 2007, http://kmaneis.go.kr/depth04_6.htm.
- Kim and Kraeva, 1998, Source parameter determination of local earthquakes in Korea using moment tensor inversion of single station data, Bulletin of Seismological Society of America, Vol 89(4), pp1077-

1082.

Robert Herrmann, 2007, Crustal structure earthquake sources and seismic networks, KMA/METRI-KINS Joint Workshop on the Earthquake Mitigation, pp.35-55.

Sang Jo Kim, and So Gu Kim., 1983, A Study on the Crustal Structure of South Korea by using Seismic Waves, 광산지질 16편 1호, pp. 51-66.

USGS, 2007, http://neic.usgs.gov/neis/FM/neic_jbai_q.html.

김준경

세명대학교 자원환경공학과

390-711 충북 제천시 신월동 21-1

Tel: 043-649-1319, 019-407-3926

Fax: 043-648-7853

E-mail: kjk-512@semyung.ac.kr

2007년 11월 22일 원고접수, 2007년 12월 15일 게재승인