

2007년 1월 20일 오대산 지진($M_L = 4.8$)의 진도, 단층면해 및 단층과의 관계

경재복* · 허서윤 · 도지영 · 조덕래

한국교원대학교 지구과학교육과, 363-791 충청북도 청원군 강내면 다락리 산 7

Relation of Intensity, Fault Plane Solutions and Fault of the January 20, 2007 Odaesan Earthquake ($M_L = 4.8$)

Jai Bok Kyung*, Seo Yun Huh, Ji Yong Do, and Deokrae Cho

Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,
Chung-Buk 363-791, Korea

Abstract: The Odaesan earthquake ($M_L = 4.8$) occurred near Mt. Odae, Jinbu-Myon, Pyongchang-Gun, Kangwon Province on January 20, 2007. It has a shallow focal depth about 10 km. Its felt area covers most of the southern peninsula except some southern and western inland area. The maximum MM intensity was VI in the areas including Jinbu, Doam, Kangreung, Jumunjin, and Pyongchang. In these areas, there was a very strong shaking that caused several cracks on the walls of buildings and houses, slates falling off the roof, tiles being off the wall, things falling off the desk, and rock falling from the mountains. In order to get fault plane solutions, grid searches were performed by fitting distributions of P-wave first-motion polarities and SH/P amplitude ratios for each event. The results showed that the main shock represented right-lateral strike-slip sense and two aftershocks, reverse sense. It seems that the seismogenic fault may be the NNE-SSW trending Weoljeongsa fault near the epicenter based on the distribution of epicenters (foreshock, main shock, and aftershocks), damage area, and fault plane solution. The distribution of the epicenters indicates that the length of the subsurface rupture is estimated to be about 2 km.

Keywords: Odaesan earthquake, intensity, fault plane solution, strike-slip sense, seismogenic fault

요약: 2007년 1월 20일 평창군 진부면 오대산 일대에서 발생한 오대산 지진($M_L = 4.8$)은 천발지진(진원깊이 약 10 km)으로서 감진구역이 남한 남서부 일부를 제외한 전역에 이르렀다. 본진에 의한 최대 진도는 VI으로 VI에 해당하는 지역은 평창군 진부면, 도암면, 강릉, 주문진, 평창을 포함하는 지역으로서 강한 지진동과 함께 건물 실내외부 벽의 균열발생, 지붕의 기와나 스텔트의 낙하 및 이동, 실내외 벽 타일의 떨어짐, 선반위 물체의 떨어짐, 도로의 낙석 등이 발생하였다. P파 초동극성과 SH/P 진폭비 자료를 이용한 단층면해는 본진의 경우 북북동-남남서 주향의 주향이동 단층운동을 나타내며, 2회의 여진은 남북 내지 북북동-남남서 주향의 역단층 운동이 우세함을 보인다. 전진, 본진 및 여진의 분포, 피해 지역 분포, 단층면해 등을 종합적으로 고려할 때 진앙지 부근에 우세하게 발달하고 있는 북북동-남남서 주향의 월정사단층이 가진 단층의 역할을 했을 것으로 추정된다. 여진 분포로 짐작컨대 subsurface에서의 이 단층의 파쇄 길이는 약 2 km로 판단되며, 추후 이 단층에 대한 고지진학적 조사가 필요하다.

주요어: 오대산 지진, 진도, 단층면해, 주향이동 단층 운동, 기진 단층

*Corresponding author: jbkyung@knue.ac.kr

Tel: 82-43-230-3742

Fax: 82-43-232-7176

서 론

한반도와 같은 판 내부에서 발생하는 지진은 판 경계에서 이차적으로 전달된 응력이 기존의 약대나 단층을 따라 축적되었다가 탄성한계를 초과하면 취성 파쇄 형태로 파괴가 일어나면서 축적된 변형에너지가 지진파를 통해 지표로 발산된다. 판 내부 지진의 경우 활성적인 약대나 단층의 활성도가 아주 높지 않으면 대부분의 경우 지진 재래주기가 수백~수천년으로 길어 단기적으로 볼 때, 공간적으로 지진대를 따라 뚜렷하게 밀집하여 분포하는 양상을 나타내지 않고 매우 불규칙한 분포를 나타낸다.

한반도에서 발생하는 지진은 유라시아 판 남서부에서 인도-오스트레일리아 판과의 충돌에 의해 유라시아 판 내부로 전달되는 응력과 태평양 판 및 필리핀해 판이 유라시아 판 하부로 섭입하면서 전달되는 응력이 동북동-서남서 방향으로 상호 작용하여 한반도 내의 주요 약대를 재활성화 시키면서 발생한다고 생각된다(Kyung et al., 1996).

최근 2007년 1월 20일 강원도 평창군 진부면 일대에서 발생한 오대산 지진($M_L = 4.8$)은 1996년 12월 13일 영월지진($M_L = 4.5$)과 더불어 역사적으로 한반도에서 지진활동 빈도가 많지 않은 지역에서 발생한 대표적인 중규모 지진이다. 오대산 지진은 그 규모가 파괴적이지는 않지만, 남한 남부의 일부를 제외한 대부분의 남한 지역에서 감지되어 본 지진의 진도평가를 보다 상세하게 할 필요성이 제기되었고, 본진과 여진의 분포 및 단층면해를 구함으로써 지진의 특성뿐만 아니라 지표에 분포하는 단층의 활성도 규명에 기본 자료로 활용하고자 한다.

지진기록의 초동과 진폭은 단층운동 방향에 따라 일정한 규칙성을 가지고 분포하므로, 지표면의 관측소에 기록된 지진파를 이용하여 지진원에서의 단층의 운동특성을 분석하고 지진을 발생시킨 응력장의 방향을 추정할 수 있다. 또한 이러한 자료를 종합하여 광역적인 지체 구조 운동을 기술할 수 있다. 한반도 각 지역에서 발생한 지진에 대한 단층면해는 Jun(1990) 이후 여러 연구자들에 의해 다양한 방법으로 연구되어 왔다(예: 김준경, 1991; 박창업 외, 1998; 이기화와 정태웅, 1999; 정태웅과 김우한, 2000; 경제복 외, 2001; Kang and Baag, 2004; Park, 2005; Kang and Shin, 2006). 한반도와 그 주변지역에서 발생한 주요 지진 및 미소지진들에 대한 기존 연구들의 단층면해

를 보면 북북동-남남서 방향의 주향이동 운동, 북북서-남남동 혹은 남북 방향의 주향이동성 역단층 운동이 우세한 단층운동 특성을 보여주며, 주 압축 응력장은 동북동-서남서 또는 동서 방향을 나타낸다.

1905년 이후 남한에서 발생한 규모 4.0 이상 지진의 등진도도 평가는 주로 사람이 느낀 지진동에 대하여 통신 및 설문에 기초하여 여러 연구자들에 의해 평가되어져 왔다. 즉, 1936년의 쌍계사지진($M = 5.0$)은 Hayata(1940), 1978년 홍성지진($M = 5.0$)은 Lee(1984), 1996년 동해지진($M = 4.2$)은 경제복과 한세섭(1996), 1996년 영월지진($M = 4.5$)은 경제복(1996), 1997년 경주지진은 경제복과 이희욱(1998) 등에 의해 평가되어 왔다. 최근 가속도계가 남한 전 지역에 다수 설치되어 최대 가속도 값을 관측함으로써 해당 지역의 진도를 구하지만, 아직 그 분포가 충분하지 않아, 특정 진앙지 중심으로 수십 km 이내의 상세한 지진동 조사가 어렵다. 또한, 가속도 설치 지점의 기반 조건에 따라 상당한 차이를 보일 수 있다.

본 연구는 오대산 지진에 따른 진도 평가를 전국적인 통신망(communication system)에 기초하여 보다 상세하게 실시하고자 하였으며, 본진과 여진의 단층면해를 구하고 진앙중심 반경 20 km 이내 지역에 분포하는 신기 지구조선을 항공사진 판독으로 분석한 결과와 대비함으로써 기진 단층의 추정과 추후 이 지역 일대의 활성단층 특성 규명에 기여하고자 하였다.

지진 개황 및 진원 요소

오대산 지진은 강원도 북동부 산악지역인 원주-강릉 사이의 강원 평창군 진부면, 진부리 일대에서 발생하였으며, 진앙은 오대산으로부터 약 10 km 남남동 방향에 위치하고 있다(Fig. 1). 지진 발생 후 각 기관에서 발표한 진원요소는 Table 1과 같다.

본진(main shock)의 경우 각 기관이 구한 진앙에 어느 정도 차이를 보인다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 기상청(KMA)과 한국지질자원연구원(KIGAM)이 결정 한 진앙 위치차는 약 2 km 이내이다. 그러나, 미국지질조사국(USGS) 결정 진앙은 KMA 및 KIGAM 결정 진앙과 남서서 방향으로 약 10 km 떨어져 나타나 상당한 차이를 보인다. 이는 원거리 관측망 자료를 이용한 USGS와 근거리 국지 관측망 자료를 이용한 KMA와 KIGAM이 각각 다른 자료셋의 사용과 분석 방법의 차이에 기인한다고 볼 수 있다.

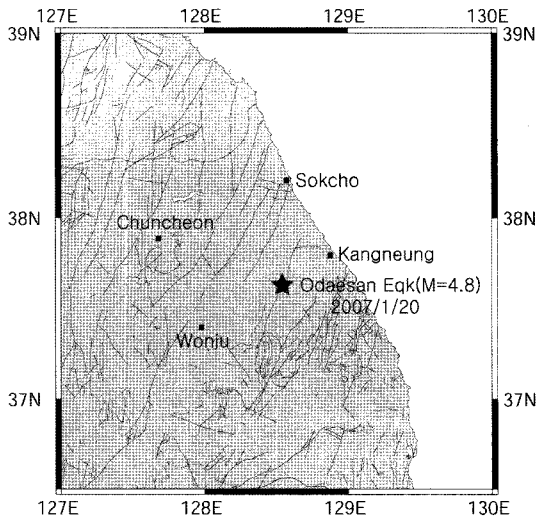


Fig. 1. Epicenter of Odaesan earthquake ($M_L=4.8$) on the fault map (KIGAM, 2001).

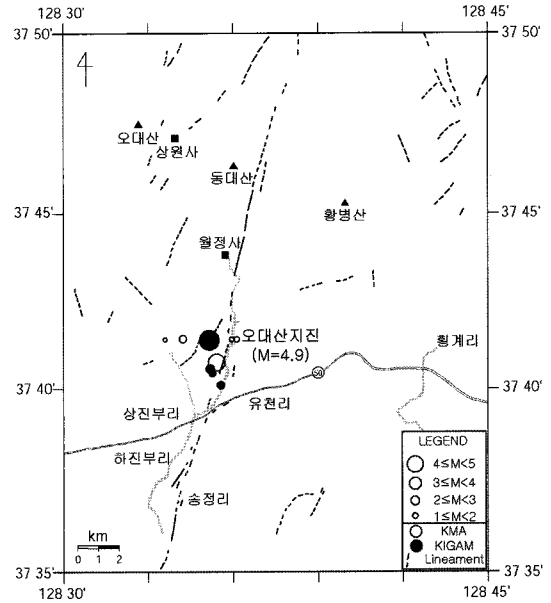


Fig. 2. Epicentral distribution of Odaesan earthquakes including one foreshock and four aftershocks determined by KMA (open circles) and KIGAM (closed circles).

본진의 진원 깊이도 기관에 따라 약간의 차이가 있지만 10-13.1 km로 지각의 얇은 깊이에서 발생한 천발지진이다.

전진(foreshock)의 경우 본진 하루 전 발생한 KMA의 보고만 있으며, KMA 결정 본진(mainshock) 으로부터 북서쪽으로 약 2 km, KIGAM 본진으로부터 서쪽으로 약 1.2 km에 위치한다. 여진의 경우 본진 발생 후 당일 3회, 익일 1회 발생한 것으로 보고 되고 있다. 여진의 진앙은 KIGAM과 KMA 결정 진앙 위치 간에 약 2 km 정도의 차이를 보이고 있다. 이는 각 기관이 분석에 사용한 관측점 자료, 지각속도 구조, 진앙결정 프로그램 등이 다르기 때문에 나

타날 수 있는 오차라고 평가된다.

Fig. 3은 KMA 자료를 사용하여 각 지진의 규모-시간관계를 나타낸다. 본 지진의 진앙과 남쪽으로 약 50여 km 떨어진 곳에서 1996년 발생했던 영월 지진 ($M_L=4.5$)과 비교할 때, 영월지진은 전진 발생 없이 규모 2.5 이상의 여진이 본진 발생 후 1개월 이내에 13회 관측(경제북, 1996)된 것에 비하여 오대산 지진의 여진은 규모 1.1 이상이 4회만 관측되어 비슷한 규모의 본진으로서 상당히 대비된다. 이는 관측망이

Table 1. Reported earthquake parameters

No.	Sta.	Origin time (Local time)		Epicenter		Depth (km)	Magnitude	Remark
		Date	Time	Lat. (°N)	Lon. (°E)			
1	KMA	07/01/19	09:06:23	37.69	128.57	-	2.0	Fore shock
	KIGAM	-	-	-	-	-	-	
2	KMA	07/01/20	20:56:51	37.68	128.59	10	4.8 M_L	Main shock
	KIGAM	07/01/20	20:56:53	37.69	128.58	13.1	4.9 M_L	
	USGS	07/01/20	20:58:54	37.640	128.47	10	4.4 mb	
3	KMA	07/01/20	21:08:53	37.69	128.60	-	1.34	
	KIGAM	07/01/20	21:08:54	37.675	128.594	-	1.9	
4	KMA	07/01/20	21:20:56	37.69	128.60	-	1.19	After shock
	KIGAM	07/01/20	21:20:57	37.676	128.588	-	1.5	
5	KMA	07/01/20	21:28:53	37.69	128.61	-	1.60	
	KIGAM	07/01/20	21:28:03	37.677	128.586	-	2.0	
6	KMA	07/1/21	07:36:02	37.69	128.56	-	1.14	

충분하지 않던 시기에 발생한 영월지진의 국지 지진 규모 산정에서 현재 보다 낮게 평가되었을 가능성을 배제할 수 없다. 다음 장에서 다루게 될 진앙지 부근에서의 피해 및 감진 정도도 영월지진의 경우가 오대산 지진 보다 훨씬 크게 나타난다.

피해 및 감진구역 조사방법

진도는 어떤 지점에서 지진동에 의해 생긴 인체 감각이나 주위의 물체, 구조물 또는 자연계에의 직접적인 영향의 정도로부터 지진동의 세기를 표현한 것이다. 각 지점의 진도는 계기에 기록된 최대 가속도 값을 통해 구하거나(Wald et al., 1999), 사람이 느낀 각 지점의 지진동, 피해정도에 따라 구할 수 있다. 최근 남한 전역에 걸쳐 수십 개의 가속도계가 설치 운영되고 있어 지진 발생시 각 지점의 최대 가속도 값을 구할 수 있다. 그러나 가속도계의 분포가 충분하지 않고 진앙을 중심으로 수십 km 이내 지역의 경우 상세 피해 및 지진동의 조사가 보다 정확한 진도 평가에 도움이 된다고 사료되어, 오대산 지진이 전국 각 지역에서 감지된 피해 및 진동 정도를 통신망을 통해 지진발생 직후 20일 이내에 실시하였으며 다음과 같은 과정을 거쳐 이루어졌다.

진앙을 중심으로 반경 약 20 km 이내 지역

2차에 걸친 현지방문을 통해 피해 상황을 조사하고 각 지역의 진동정도를 등급화 하였으며, 진앙 지역 10 km 이내 지역 4개 고등학교 학생들에게 설문지를 통한 설문조사를 실시하였다.

기타지역

진앙으로부터 가까운 지역은 좁은 간격으로 조사하였으며 멀수록 조사지역의 간격을 넓게 하여 약 100여 지점의 감진 정도가 파악되었다. 전국적으로 고른 밀도분포로 조사하였으며 시, 읍, 면 지역은 최소한 2지점 이상, 광역시의 경우 4지점 이상의 감진정도를 조사하였다. 즉, 전화문의를 통한 각 지역의 공공기관(읍, 면사무소, 군청, 시청의 방재담당 직원, 보건소) 및 일반주민과의 인터뷰(100여 지역) 가 있었으며, 전국 각급 학교에의 교사(100명)에 대한 통신망을 통한 설문지 조사가 병행되었다. 또한, 인터넷에 올라온 각 지역민들의 감진 정도 자료, 각 지방 신문에 게재된 각 지역의 감진 보고 자료도 참조하였다.

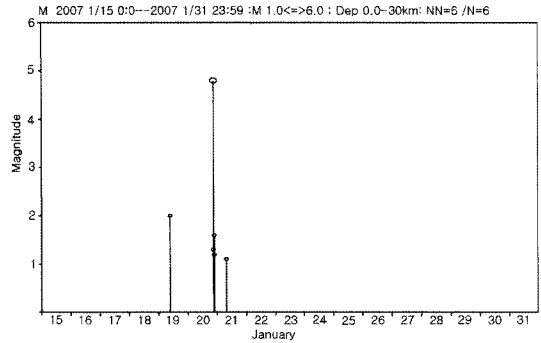


Fig. 3. Temporal distribution of earthquake occurrences.

지역에 따른 감진 정도와 진도계급

주 피해 지역은 경사가 급한 산악지역의 협소한 골짜기를 따라 발달된 소규모 촌락지역으로서 비교적 저층건물과 오래된 가옥들이 많이 분포하고 있다. 가장 피해가 크고 지진동이 심했던 지역은 평창군 진부면 하진부리와 상진부리, 평창군 도암면 유천리-횡계리에 이르는 지역으로, 보다 상세한 기록은 Appendix I에 기술하였다. 특히, 이 일대에서는 폭탄이 터지는 듯한 굉음과 함께 가옥, 건물들이 심하게 흔들리고, 벽체에 균열이 발생하였으며, 벽 타일이 떨어지고, 지붕의 기와가 수십장 떨어지고, 물건들이 선반에서 떨어지고, 산에서의 낙석, 콘크리트 바닥 균열, 수영장 물이 흔들리는 진동, 하늘에서 이상한 불빛이 지나가는 현상 등이 나타났다.

본문에서는 오대산 지진에 의한 각 지역의 진도를 평가하기 위해 수정 Modified Mercalli 진도 계급(Richter, 1958)을 적용하였다. 다만 근래 남한지역에는 고층아파트가 많이 건설되어 아파트의 저층과 고층 사이에는 사람이 느끼는 감진정도에 있어 약간의 차이가 나타나, 고층 거주 사람들이 더 민감하게 느낄 수 있으나 본 진도 평가에서는 그 차이를 두지 않았다.

MM 진도 기준과 본 지진의 지역별 MM 진도는 다음과 같다.

VI: 모든 사람이 느끼고 많은 사람들이 놀라 옥외로 달려나간다. 사람들의 걸음이 불안정해진다. 창문, 접시, 유리가 심하게 진동하며 깨지기도 한다. 장식품, 책 등이 선반에서 떨어진다. 액자들이 벽에서 떨어진다. 가구가 움직이거나 넘어진다. 약한 벽토나

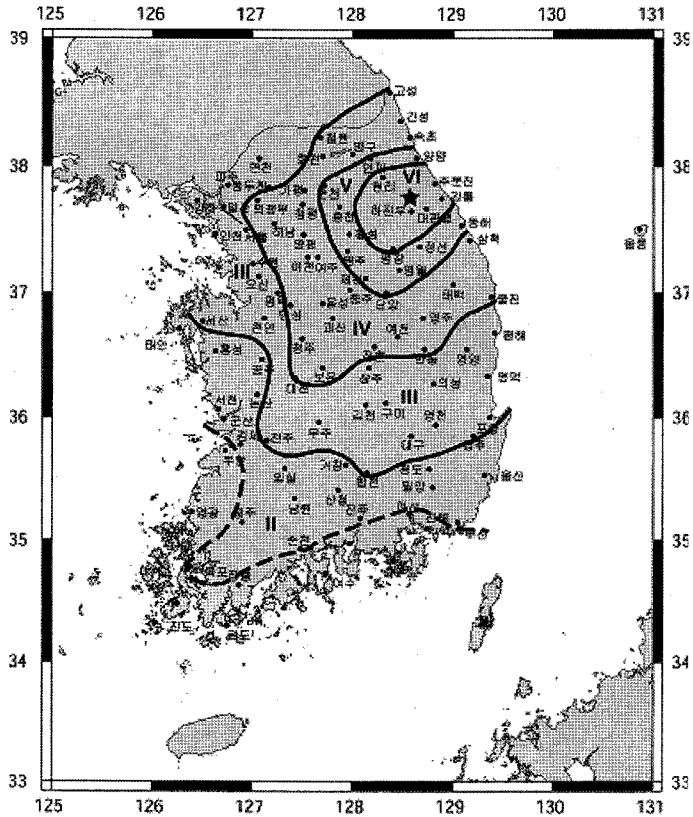


Fig. 4. Modified Mercalli isoseismal map for the January 20 2007 Odaesan earthquake ($M_L = 4.8$).

석조 D에 금이간다. 지역: 진부, 횡계, 평창, 강릉, 주문진, 현리, 오대산, 대관령.

V: 옥외에서 느껴지며 방향을 알 수 있다. 누워 있는 사람이 깨어 일어날 정도의 진동이며, 액체가 진동하며 약간 넘치기도 한다. 작은 불안정한 물체는 이동하거나 넘어진다. 문이 진동으로 열리거나 닫히거나 함. 지역: 양양, 정선, 영월, 태백, 제천, 단양, 원주, 춘천, 인제, 동해, 홍천, 횡성

IV: 매달려 있는 물체가 흔들리고 무거운 트럭이 통과하는 듯한 진동. 무거운 포탄이 벽을 칠 때의 충격과 같은 느낌. 창문, 접시, 문이 진동하며, 유리나 도기가 울리며 부딪히는 소리가 난다. 정지해 있는 자동차가 흔들림. 지역: 속초, 고성, 간성, 철원, 양구, 화천, 포천, 의정부, 청평, 가평, 청주, 충주, 제천, 성남, 안성, 문경, 이천, 여주, 온양, 대전, 괴산, 삼척, 원덕, 울진, 영주, 안동, 점촌, 태백.

III: 실내에서 느껴지며 매달려 있는 물체가 흔들린다. 가벼운 트럭이 통과하는 듯한 진동, 진동시간을 측정할 수 있으나 많은 사람들은 지진으로 인식하지

못하기도 함. 지역: 연천, 파주 동두천, 강화, 일산, 서울, 인천, 오산, 평택, 천안, 서산, 전주, 상주, 김천, 대구, 영천, 영양, 평해, 포항, 경주, 김천, 합천.

II: 정지해 있는 사람, 빌딩 상층 등 지진동을 감지하기 쉬운 장소에 있는 사람에 의해 감지되는 정도의 지진. 지역: 홍성, 공주, 김제, 광주, 목포, 순천, 산청, 목포, 청도, 울산, 부산, 거창.

Fig. 4는 위 결과를 종합하여 구한 오대산 지진의 등진도도 분포이다. 최대 진도계급은 진양부근에서 VI을 나타내며 진양지로 부터 멀어질수록 진도는 작아지되 거의 원형에 가까운 등진도선을 보여주고 있으며, 특정 방향으로의 신장이나 지체구조와의 관련성을 보여주고 있지는 않다. 다만, 민감한 사람이 느끼는 미세진동 정도에 해당하는 진도 II의 경우 확실하게 그 범위를 확정하기 어렵지만 광주, 목포 방향으로 신장되어 나타난다. 영월지진과 규모는 비슷하지만 등진도 분포(경제복, 1996)를 비교해 보면 영월지진은 최대 진도 VII로서 제주도 까지 감진되었으

나, 오대산 지진의 최대진도계급은 1계급 낮은 VI 이며, 감진 면적 또한 남한 남부 및 서부는 무감으로 나타나 작게 나타난다. 진원 깊이를 고려할 수 있지만 여진의 횡수도 오대산 지진의 경우 훨씬 적게 나타나, 이는 관측망이 충분하지 않던 시기에 발생한 영월지진의 국지 지진 규모 산정에서 현재 보다 낮게 평가되었을 가능성을 배제할 수 없다.

지진동의 감지는 저층보다 고층으로 올라갈수록 감진 정도가 약간 크게 나타났다. 지진동의 대부분은 진양 주위 지역에서 수직 및 수평진동을 느꼈으나 멀어질수록 주로 수평진동을 많이 느꼈다. 또한 실내와 야외를 비교할 때 실내에서 많은 사람들에게 의해 민감하게 잘 느껴졌으며 동일지역에서도 야외에 있는 사람은 진도 VI 이외의 지역에서는 느끼지 못한 경우가 많았다.

단층면해 분석

지구 내부에서 발생하는 대부분의 지진은 응력 작용 하에 단층운동을 수반한다. 지진발생 후 각 관측소에 기록된 지진 자료의 해석을 통해 지진을 일으킨 단층운동의 특성과 응력 방향을 추정할 수 있는 진원기구해(focal mechanism solution) 또는 단층면해(fault plane solution)를 구할 수 있다. 단층면해는 근거리 관측소 자료가 많을 경우 P파의 초동 극성이나 P파 및 S파의 극성 및 진폭비 또는 관측된 파형 분석을 통해 얻어진다.

단층면해는 진원 반구의 아래쪽을 진원구(focal sphere)로 정의하고 진양에서 P파가 관측소로 나아가는 사출각(take-off angle)과 P파 초동의 극성 분포로부터 서로 수직인 두 절단면으로 구한다. 즉, 이 두 면이 구해지면 각각 단층면(fault plane)과 보조면(auxiliary plane)이 추정되어 단층의 기하가 밝혀지는 것이다.

Snoko et al.(1984)는 단층면해를 구하기 위해 P파, SV파, SH파의 극성과 각각의 진폭비(SH/P, SV/P, SV/SH)를 이용하는 방법을 개발하였고, 단층면해를 구하는 FOCMEC(FOCAL MECHANISM determination)이라는 공개 프로그램을 제작하였다(Snoko, 2003).

진폭비를 사용하면 각 지진별 단층면해를 구하는데 필요한 자료의 수가 증가하는데, P파의 초동극성은 단순히 상하동의 2성분인데 반해 진폭비는 연속적인 값이므로 진원구에 관측소의 위치를 더욱 정확하게 놓을 수 있다는 잇점도 있다(Hardebeck and Shearer,

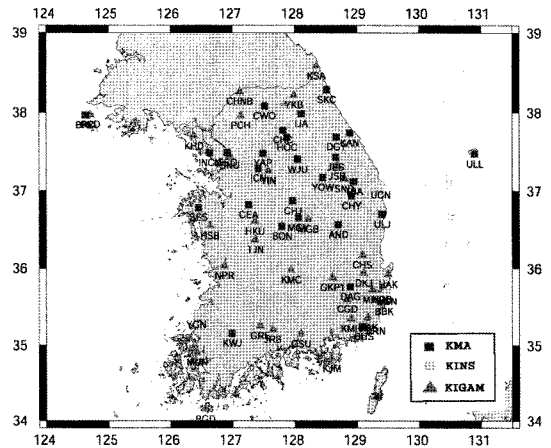


Fig. 5. Location of seismic stations used in this study.

2003). 만약 3성분 지진 자료를 가지고 있다면, SH/P 진폭비는 거의 독립적인 자료로 간주되므로, P파의 초동극성만으로 계산된 단층면해의 범위를 줄이기 위해서 SH파의 극성과 SH/P 진폭비를 추가하여 신뢰도가 높은 구속조건으로 이용할 수 있다.

이 연구에서는 FOCMEC 프로그램(Snoko, 2003)을 이용하여 단층면해를 구하였다. 이 방법을 통하여 B축(주 압력축 P축과 주 장력축 T축에 직교하는 축; 혹은 두 절단면을 만나는 Null축의 trend와 plunge를 각각 0에서 360도, 0에서 90도까지의 범위에서 격자 탐색하고, B축과 직교하는 A축(한 절단면의 축)을 0도에서 180도까지 격자 탐색하되 각각 5도 간격의 각도 폭으로 하였으며, 결정되는 절단면 중에서 P파 초동 극성 자료와 SH/P 진폭비를 만족하는 단층면해를 결정하였다. 자유표면 보정은 P파의 상하동 성분 최대값에 대한 Radial 성분 최대값의 역정점 값을 걸 보기 반사각으로 하여 행하였다.

2007년부터 1월 남한 오대산 일대에서 발생한 본진 포함 6개의 지진에 대하여 기상청, 한국지질자원연구원, 한국원자력안전기술원 관측망(Fig. 5)에 기록된 파형 자료를 분석한 결과, P파의 초동 극성이 뚜렷하게 구분되는 지진파를 사용하여 본진과 2개 여진의 단층면해를 구하였다.

Table 1은 이 연구에 사용된 7개 지진에 대한 지진원 요소이며 한국지질자원연구원에서 발표한 것이다. 지진의 깊이는 진양에 비하여 지각구조의 불완전성에 따른 불확실성이 높은 관계로 모든 지진에 대하여 10 km로 가정하고 단층면해를 계산하였다.

단층면해를 구하기 위해 사용되는 사출각이 지각 속도 구조 모델에 의존하기 때문에, 단층면해는 그 계산에 사용되는 지각 속도 구조 모델의 영향을 받을 수 있다. 그동안 많은 연구에도 불구하고 한반도 지표 아래의 속도 구조가 명확하게 확립되지 않아 특정지역의 실제적인 속도 구조를 사용하는 것은 어렵다. 한반도 지역의 지각 속도 구조 모델은 이기화 (Lee, 1979), 김상조와 김소구(1983), 김성균 외(1985), 김성균(1995) 등이 있다. 본 연구에서는 남한 지역에서 평균적으로 사용될 수 있는 김성균(1995) 모델을 사용하였다.

단층면해 결과

오대산 일대 3개의 지진에 대해 1차적으로 P파 초동 극성 자료만을 이용해 단층면해를 구하였으며, 그 결과 해의 범위가 넓고 개수가 많은 1개의 여진에 대해 SH/P 진폭비를 추가하여 FOCMEC 프로그램에서 해의 수렴 정도를 증가시켰다. 일반적으로 미소 지진의 경우, 양호한 P파 초동이 기록된 관측소의 수가 제한적이기 때문에 한 개의 지진에 대한 해의 범위가 넓을 수 있다. 따라서 P파 초동 극성 자료만을 이용한 단층면해가 여러 개인 지진의 경우, SH/P 진폭비를 추가하여 해의 범위를 축소시켰다. 3개 지진에 대한 P파 초동극성 및 SH/P 진폭비를 이용한 결과는 다음과 같다.

오대산 본진

2007년 1월 20일 20시 56분에 강원도 평창군 진부면 진부리 일대에서 발생한 본진(M=4.9 by KIGAM)에 대한 P파 초동을 이용하여 단층면해를 구하기 위해 초동 극성 인식이 양호한 24개 관측소의 P파 초동 자료를 이용하였다. Table 2는 P파 초동의 극성과 사용된 관측소에 대한 자료이다.

Table 3은 단층면으로 추정되는 63개 해의 중앙값

Table 2. List of polarities for the January 20, 2007 Odaesan earthquake

Station	Distance (km)	Azimuth (degree)	Take-off angle (degree)	Polarities	
				P	SH
AND	124.8	175	59.6	up	
CHC	68.5	278.5	59.6	down	
CHJ	105.4	211	59.6	down	
CWO	103.6	295.3	59.6	up	
DGY	8	88.8	141.8	down	
ICN	112.3	247.2	59.6	down	
SES	213.8	242.8	48	down	
SEO	148.8	261.9	59.6	down	
SKC	66.9	355.3	97.7	up	
ULJ	131.7	146	59.6	up	
WJU	56.7	236.2	98.9	down	
YOW	58.3	191.3	98.7	up	
CHY	88.4	160.4	59.6	up	
HOC	62.1	269.7	98.2	down	
TBA	70.8	152.5	59.6	up	
JES	29.6	165.9	103.6	up	
KAN	27.6	77.4	104.4	down	
YAP	42.5	257.1	59.6	down	
GKPI	200.1	179.4	48	up	
JSB	42.5	167.5	100.8	up	
KSA	102.3	348.7	59.6	up	
MGB	120.9	195.9	59.6	up	
SND	62.2	162.2	98.2	up	
UCN	97.7	133.4	59.6	up	

에 해당하는 2개의 절단면, P축 및 T축의 특성, P파 초동극성 자료의 수에 대한 자료이다. Fig. 6의 좌측 그림은 계산 결과 나온 단층면해이며, 두 절단면의 주향/경사/면선각은 각각 110/75/3 과 19/87/165를 나타내어 거의 수직단층의 우수주향이동 단층 운동으로 추정되며, 이러한 운동을 일으킨 주 압축 응력 방향은 동북동-서남서 방향으로 나타난다.

여진

4회 발생한 여진 중 여진 1(M=1.9 by KIGAM)

Table 3. Parameters for focal mechanism solution of main shock (M_L=4.8), and two aftershocks

Event	Nodal plane 1			Nodal plane 2			P-axis		T-axis		Data
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake	Azimuth	Dip	Azimuth	Dip	
main shock	110	75	3	19	87	165	241	7	149	13	24
*aftershock 1	185.7	39.7	57.6	45.2	57.4	113.9	118.3	9.4	4.5	67.7	11
**aftershock 2	120.8	60.2	19.3	20.9	73.3	148.8	73.2	8.5	337.5	33.6	12

*No. 3 in Table 1, **No. 5 in Table 1

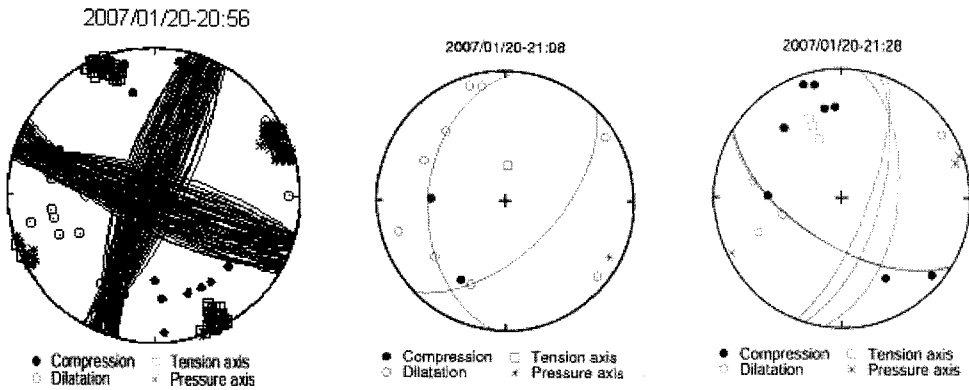


Fig. 6. Focal mechanism (lower hemisphere projection) obtained by inversion of P polarities for the main shock (left), for aftershock 1 (M_L 1.9 by KIGAM) (center), and for aftershock 2 (M_L 2.0 by KIGAM) (right).

은 2007년 1월 20일 21시 08분에 강원도 평창군 진부면 진부리 일대에서 발생하였으며, 11개 관측소의 P파 초동을 이용하여 단층면해를 구하였다. Table 4는 P파 초동의 극성과 사용된 관측소에 대한 자료이다. 계산 결과 나온 단층면해는 Fig. 6의 중앙에 제시되어 있으며, Table 3은 단층면으로 추정되는 2개의 절단면, P축 및 T축, P파 초동극성 자료의 수를 본진 자료와 함께 나타내었다. 이를 스테레오넷에 나타내면 단층면해의 결과 두 절단면의 주향/경사/면선 각은 각각 186/40/58과 45/57/114이다. 따라서 거의 북북동방향과 남북방향의 두 절단면에 의한 역단층 운동을 나타낸다.

여진 2($M = 2.0$ by KIGAM)는 2007년 1월 20일 21시 28분에 발생했으며, 단층면해를 구하기 위해 12개 관측소 자료를 이용하였다. Table 5는 사용된 관

측소의 P파 초동의 극성, SH 극성, SH/P 진폭비에 대한 자료이다. 계산 결과는 Fig. 6의 우측 그림에 제시되었으며, 2개의 절단면, P축, T축은 본진과 함께 Table 3에 제시되었다. 2 절단면의 주향/경사/면선 각은 각각 121/60/19과 21/73/149 으로서, 북북동 방향과 북서-남동방향의 두 절면에 의한 역단층성 단층 운동을 나타낸다.

지진의 규모가 매우 작아 사용할 수 있는 관측소 자료가 충분하지 않은 약점은 있지만, 두 절단면 중 한면의 주향은 본진의 북북동 주향의 절단면과 거의 일치하는 경향을 나타낸다. 일반적으로 여진의 단층 운동은 본진과 같을 수 있지만 다른 경우도 상당히 많다. 오대산 본진에 이어 나타나는 여진의 역단층 운동 양식은 남한의 여러 지역에서 발생하는 미소지진들의 운동양식과 상당히 유사하다.

Table 4. Input data used in focal mechanism analysis for aftershock 1 of event 2007/01/20 with origin time 21:08:53 ($M_L = 1.9$ by KIGAM)

Station	Location		Azimuth	Take-Off Angle	P-Polarity
	Latitude (°N)	Longitude (°E)			
BON	36.5482	127.7981	209.7	59.6	Up
CEA	36.8231	127.2575	231.8	59.6	Down
CWO	38.0833	127.5167	295.9	59.6	Down
IJA	37.9867	128.1110	309.3	99.1	Down
MGY	36.6552	128.0608	202.9	59.6	Down
WJU	37.4034	128.0526	237.9	98.9	Down
KAN	37.7425	128.8893	73.9	104.7	Down
KHD	37.7009	126.3792	271.5	48.0	Up
JSB	37.3146	128.6876	168.3	101.1	Down
SND	37.1549	128.7984	162.6	98.4	Down
YKB	38.2226	127.9925	319.1	59.6	Down

Table 5. Input data used in focal mechanism analysis for aftershock 2 of event 2007/01/20 with origin time 21:28:03 ($M_L=2.0$ by KIGAM)

Station	Location		Azimuth	Take-Off Angle	P-Polarity	SH-Polarity	log (SH/P) ratio
	Latitude (°N)	Longitude (°E)					
CHC	37.7775	127.8145	280.3	59.6	Down	-	-
DGY	37.6904	128.6742	74.7	140.0	Down	-	-
ICN	37.2907	127.4167	248.1	59.6	Down	-	-
IJA	37.9867	128.1111	310.6	99.2	Up	-	-
SKC	38.2899	128.5219	355.8	59.6	Up	-	-
TBA	37.1226	128.9523	151.4	59.6	Up	-	-
WJU	37.4034	128.0526	237.8	99.0	Down	Down	0.3759
KHD	37.7009	126.3792	271.7	48.0	Up	-	-
JSB	37.3146	128.6876	166.4	101.1	Up	-	-
KSA	38.5926	128.3538	349.1	59.6	Up	-	-
SND	37.1549	128.7984	161.2	98.4	Up	-	-
YKB	38.2226	127.9925	320.1	59.6	Up	Down	0.0339

지질구조와의 관계

본진의 진앙과 전진, 여진이 분포하는 지역은 경기 육괴 남부 지역으로서 주로 주라기 대보화강암이 분포하는 곳이다. 그러나, 진앙지로부터 약 8 km 북쪽의 월정사에서 북쪽으로 갈수록 경기변성암복합체와 대보화강암이 북북동-남남서 방향의 월정사 단층으로 접하고 있다(한국지질자원연구원, 2001).

이 지역의 선구조선 및 신기 단층 규명을 위해 국토지리원 발행(1982년도 및 2005년도) 항공사진(1:20,000) 약 100매를 대역하여 상세 선구조선의 분포를 분석하여 나타내었다(Fig. 2, Fig. 7). Fig. 7에서 보는 바와 같이 이 지역에서 확실도나 길이에서 가장 뚜렷하게 나타나는 선구조선은 북북동-남남서 방향의 구조선으로서 이 구조선은 그림의 북부와 남부에도 계속 이어져 연장선이 매우 뚜렷한 구조선이며, 월정사 단층으로 명명되었다(국립지질광물연구소, 1975). 이 외에도 상원사 부근에는 북동-남서방향의 구조선이 단속적으로 발달하고 있으며, 황병산 북동부에는 북동-남서, 북서-남동 방향의 구조선이 발달하고 있다. 진양지 부근에는 길이가 짧은 북동-남서방향의 구조선이 발달하고 있지만, 진양지 일대를 지배하는 구조선은 북북동-남남서 방향의 구조선이다.

여진의 분포는 그 수가 적어 진원에서의 파쇄단층의 규모나 방향에 대한 정보를 얻기 힘들지만 KIGAM이 구한 여진의 분포(Fig. 5)는 거의 남북에 가까운 분포를 보이고 있고, 본진 및 여진의 단층면해(Fig. 7)의 절단면의 한 면은 남북 혹은 북북동- 남

남서 방향의 주향을 나타내고 있어, 이 지역에 가장 지배적인 북북동-남남서 방향의 월정사 단층이 기인 단층일 가능성이 가장 크다고 할 수 있다. 따라서, 추후 이 단층에 대하여 활성단층 규명을 위한 고지진학적 상세 조사가 필요하다고 본다.

또한, 더 규모가 작은 여진 관측의 어려움과 진앙의 오차가 있어 확실하게 단정할 수는 없지만, Fig. 5에 나타난 본진과 여진의 분포 길이를 볼 때 지하 subsurface에서의 파쇄단층의 길이가 약 2 km로 추정할 수 있다. 전 세계적인 subsurface에서의 단층길이와 규모 관계 경험식들(Wells and Coppersmith, 1994)에 의하면 규모 4.8의 경우 약 1.5 km의 파쇄길이(rupture length)를 나타낸다. 따라서 오대산 지진에 의한 지표면의 파쇄 흔적은 없지만, subsurface에서의 파쇄 길이는 전 세계적인 평균값의 범주에 들어간다고 볼 수 있다.

결론

본 연구는 2007년 1월 20일 발생한 오대산 지진($M_L=4.8$)에 따른 진도 평가를 현지 방문 및 통신망을 통한 설문 조사에 기초하여 실시하고자 하였으며, 본진과 여진의 단층면해를 구하고 진앙중심 반경 20 km 이내 지역에 분포하는 단층과 선구조선을 항공사진 판독으로 분석한 결과와 대비함으로써 기인 단층의 추정과 추후 이 지역 일대의 활성단층 특성 규명에 기여하고자 하였다.

1. 본 지진은 중규모 지진으로서 1회의 전진과 4회

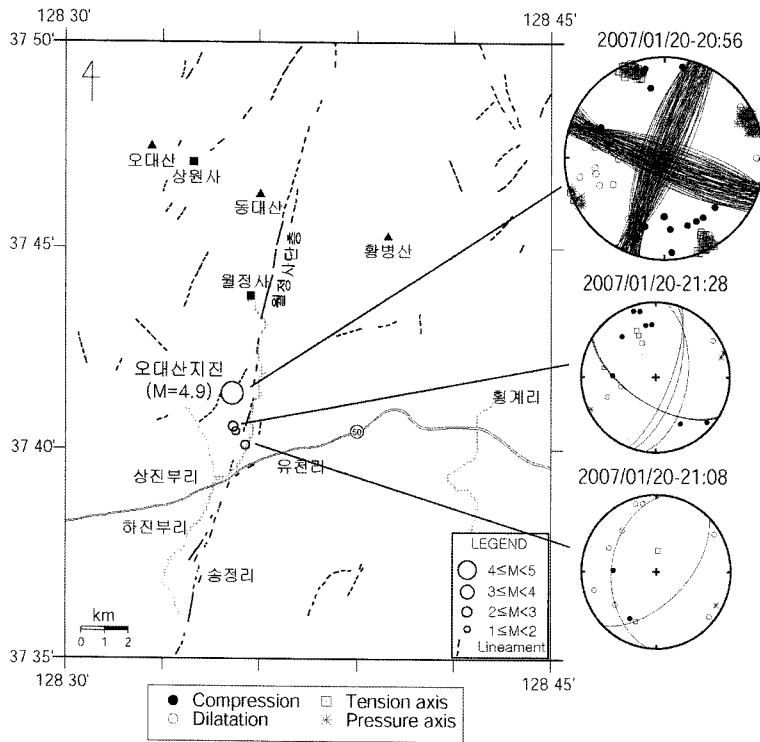


Fig. 7. Distribution of earthquake epicenters, main faults and lineaments, and fault plane solutions.

의 여진을 동반하면서 발생하였다. 약 100여 지점의 감진 정도를 파악하여 등진도도를 작성한 결과, 최대 진도계급은 진앙 부근에서 VI을 나타내며 진앙지로부터 멀어질수록 진도는 작아지되 거의 원형에 가까운 등진도선을 보여주고 있으며, 특정 방향으로의 신장이나 지체구조와의 관련성을 보여주고 있지는 않다. 진도 II의 경우 확실하게 그 범위를 확정하기 어렵지만 광주, 목포 방향으로 신장되어 나타난다.

2. 최대 진도 VI인 지역은 평창군 진부면, 도암면, 강릉, 주문진, 평창을 포함하는 지역으로서 강한 지진동과 함께 건물 실내외부 벽의 균열발생, 지붕의 기와의 낙하 및 이동, 실내외 벽 타일의 떨어짐, 선반 본진 및 위 물체의 떨어짐, 산악지역에 낙석 등이 발생하였다.

3. 항공사진 판독에 의하면 진앙지 부근에 우세한 구조선은 북북동-남남서 주향의 단층이다. P파 초동을 이용하여 구한 본진의 단층면에는 북북동-남남서 방향의 주향이동 단층 운동, P파 초동 및 SH/P 진폭비를 이용하여 구한 2개의 여진은 이 방향에 거의 평행한 역단층 운동이 우세하게 나타났다. 두 단층질

면 중 한 단층면은 이 지역에 우세하게 분포하고 있는 북북동-남남서 방향의 월정사 단층과 거의 동일한 주향방향을 보여 이 단층이 기진단층의 역할을 했을 것으로 추정되며, 추후 활성단층 규명을 위한 고지진학적 상세 조사가 필요하다.

4. 여진의 분포는 규모가 작은 여진 관측의 어려움과 진앙의 오차가 있어 뚜렷한 경향성을 나타내지는 못하고 있지만, 피해지역 분포나 KIGAM이 결정한 여진 진앙분포는 NNE-SSW 방향으로 분포하는 이 지역의 월정사단층에 잘 대비된다. 본진과 여진의 분포 길이를 볼 때 subsurface에서의 파쇄단층의 길이는 약 2 km로 추정된다.

사 사

본 논문에 사용된 지진자료를 제공해주신 기상청(KMA)과 한국지질자원연구원(KIGAM)에 깊은 감사사를 드립니다. 본 논문 심사를 통해 많은 조언을 해주신 김성균 교수와 익명의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

- 경제복, 이기화, 1996, 1996년 12월 13일 영월지진의 피해 및 진도 분석. 지질공학, 6(3), 165-184.
- 경제복, 이희옥, 1998, 1997년 6월 26일 경주지진의 진도 분석 및 지진지질학적 의의. 지질공학, 8(1), 13-24.
- 경제복, 정태웅, 이재구, 이덕기, 이은아, 2001, 남한 중부 지역에서 발생한 미소지진의 단층면해와 응력장 해석. 한국지구과학회지, 22(4), 292-300.
- 경제복, 한세섭, 1996, 1996년 1월 24일 동해지진(M=4.2)의 진도 평가. 한국지구과학회지, 17(4), 349-356.
- 국립지질광물연구소, 1975, 한국지질도 오대산 도폭(1:50,000).
- 김상조, 김소구, 1983, 지진파를 이용한 남한의 지각구조 연구. 광산지질, 16(1), 51-61.
- 김성균, 1995, 한반도의 지각에 관한 연구. 지질학회지, 31(4), 393-403.
- 김성균, 정부흥, 1985, 한반도 남부지역의 지각구조. 광산지질, 18, 151-157.
- 김준경, 1991, 초동극성 분포를 이용한 흥성지진의 Focal Mechanism 연구. 지질공학, 1(1), 121-136.
- 박창업, 신진수, 지현철, 강익범, 류용규, 1998, 1996년 12월 13일 영월지진의 원인단층면 방향. 지구물리, 1(1), 23-30.
- 이기화, 정태웅, 1999, 1996년 양산단층 일대의 미소지진을 이용한 복합단층면해. 지구물리, 2(4), 235-240.
- 정태웅, 김우환, 2000, 1997년 6월 26일 경주지진의 단층면해 비교해석. 지구물리, 3(4), 245-250.
- 한국지질자원연구원(KIGAM), 2001, 강릉-속초 지질도폭(1:250,000).
- Hardebeck, J.L. and Shearer, P.M., 2003, Using S/P amplitude ratios to constrain the focal mechanism of small earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, 6, 2434-2444.
- Hayata, K., 1940, Report of Ssanggye-sa strong earthquake on the southern foot of Mount Chiri (in Japanese). Bulletin of the Meteorological Observatory of the Government General of Korea, 1, 145-157.
- Lee, K., 1984, A study on the intensity attenuation in the Korean peninsula. Journal of Geological Society of Korea, 20 (2), 140-146.
- 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, Uppsala, Sweden.
- Kang, T.S. and Baag, C.E., 2004, The 29 May 2004, Mw=5.1, offshore Uljin earthquake, Korea. Geosciences Journal, 8 (2), 115-123.
- Kang, T.S. and Shin, J.S., 2006, The offshore Uljin, Korea, earthquake sequence of April 2006 seismogenes the western margin of the Ulleung Basin. Geosciences Journal, 10, 159-164.
- Kyung, J.B., Oike, K. and Hori, T. 1996, Temporal variations in seismic and volcanic activity and relationship with stress fields in East Asia. Tectonophysics, 267, 331-342.
- Lee, K.H., 1979, On the crustal structure of the Korean Peninsula. Journal of the Geological Society of Korea, 15, 253-258.
- Park, J.C., 2005, A study on crustal thickness and focal mechanism in the southern part of the Korean peninsula using phase identification method. Ph.D. thesis, Gyeongsang National University, Gyeong-Nam, Korea, 128 p.
- Snoke, J.A., 2003, FOCMEC: Focal mechanism determination. Virginia On-line: <http://www.geol.vt.edu/outreach/vtso/focmec>.
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. and Bollinger, G.A., 1984, A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. Earthquake Notes, 55, 15.
- Wald, D.J., Heaton, T., Kanamori, P., Maechling, P., and Quitoriano, V., 1999, Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity and modified Mercalli intensity in California. Earthquake Spectra, 15, 557-564.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. Bulletin of Seismological Society of America, 84, 974-1002.

2007년 3월 5일 접수

2007년 3월 21일 수정원고 접수

2007년 3월 21일 채택

Appendix 1. 강원도 오대산 지진에 의한 진도 VI 지역의 피해 및 감진 정도

지역	피해 및 감진 정도
평창군 도암면	<ul style="list-style-type: none"> - 차항리: 덤뜨차가 집을 들이받는 느낌. 차항2리: 갑자기 파광팡 하는 소리와 함께 집 전체가 흔들려 수백 명의 주민들이 베란다로 나오거나 밖으로 뛰어나왔음. 폭탄을 터뜨린 때의 충격. 탱크 지나가는 듯한 굉음과 함께 1분여간 심하게 흔들림. - 병내리: 학교 균열 - 황계리: 지붕기와 30~40여장 집 뒤로 낙하. 용평리조트: 지진의 여파로 정전이 발생, 곤돌라가 10여분 동안 운행이 정지. - 유천리: 우사 벽 균열, 주택 화장실 벽 균열 및 타일 탈락. - 대관령 휴게소: 건물이 심하게 흔들림.
평창군 진부면(읍)	<ul style="list-style-type: none"> - 상진부1리: 주택의 기와가 밀림. 상진부3리: 책, 화분, 컵 떨어짐. 약 15초 흔들림. 벽의 실금이 뚜렷하게 벌어짐. 진동에 모두 놀라 뛰어나갈 정도. 산에서 돌이 떨어짐. 지붕의 기와 파손. 주택이 전체적으로 뒤틀리고, 벽에 금이 감. 목욕탕이 한쪽으로 밀리고 타일이 깨짐. - 하진부: 선반위 물건 떨어지고, 모두 놀라 뛰어나갈 정도의 진동. 수영장의 물이 흔들림. 창문이 깨짐. 벽에 균열이 조금 감(12/3반). 벽 균열이 심해짐. 떨어진 물건-시계, 액자, 책, 온수기. 지진 2~3일 전에도 진동 느낌. 진부초등학교 천장 턴버클 파손. 하진부1리: 마을회관의 단층 벽체 균열이 지진으로 더 벌어짐. 하진부2리: 당초 벽체 균열이 있는 상태에서 지진으로 더 벌어짐. 하진부3리: 가스통 폭탄이 터지는 느낌. 하진부6리: 주택의 일부 지붕 및 벽체에 금이 감. 진부초교 체육관 타일 떨어짐. - 두이리: 건물이 심하게 흔들리고 식탁그릇이 떨어져 깨짐. - 교촌리: 천장, 벽 살짝 금이 감. 시대아파트-균열이 생기거나 기존균열 커짐. 8리-유리창에 금이갔음(아파트6층). - 송정1리: 주택의 슬라브 지붕에 금이가고 건물 벽 틈이 벌어짐. 송정4리: 책떨어짐, 10초 흔들림, 우르릉 소리. - 거문리: 모두 놀라 뛰어나갈 정도. 화장품 떨어짐. 거문초등학교 벽체 균열. - 송정리: 화분 떨어짐. - 기운리: 비누, 치약 떨어짐. - 신기리: 유리창이 금이 감. - 마평1리: 마을회관 벽체에 금이 심하게 감. - 월정사: 흔들담의 균열, 박물관 벽체 미세균열, 입구 바닥의 균열
평창군 봉평면	<ul style="list-style-type: none"> - 몸이 심하게 흔들리고 좌우로 왔다 갔다 함. 오토바이타고 가다가 넘어질 뻔 함. 몸 균형을 잡지 못함. - 창동리: 폭발이 난 듯 붕소리가 나고 집 전체가 흔들림. 폭음, 모두 뛰어나갈 정도. 어지러움, 바닥, 기둥 심하게 흔들리고 천장이 무너지는 것 같아 밖으로 뛰어나옴, 두 번 느낌. 액자 시계 꽃병이 떨어짐 - 목어리: 보드가 쓰러짐. - 원길리: 벽에 트럭이 들이 받는 것 같음. 피아노 위 작은 화분 손전등이 떨어짐. - 원길2리 74.2번지: 하늘에 이상한 불빛이 지나갔다고 함. - 장평리: 창문 심하게 흔들리고, 액자, 컵 떨어지고, 진동에 놀라 모두 뛰어나갈 정도. 무거운 트럭이 지나가는 듯한 진동.
평창군 면면면	<ul style="list-style-type: none"> - 휘닉스 파크: 모두 놀라 뛰어나갈 정도 진동. 액자 떨어짐.
평창군 대화면	<ul style="list-style-type: none"> - 상안미리: 경로당 벽체 균열.
평창군 용평면	<ul style="list-style-type: none"> - 속사1리: 실내 벽체 균열. - 속사2리: 책, 그릇 떨어짐. - 이북정1리: 유리창 파손. - 장평1리: 실외 벽체 균열.
평창읍	<ul style="list-style-type: none"> - 평창군청: 책상이 흔들려 손으로 붙잡고 있어야 했음. - 평창시내: 진열대가 심하게 흔들리면서 상품들이 우수수 바닥으로 떨어짐. 건물에 큰 차가 부딪힌 것처럼 큰 소리로 났었고 탱크 지나가는 것처럼 진동도 심했음.
홍천군 일부	<ul style="list-style-type: none"> - 여러 대의 차가 기둥에 부딪히는 느낌. 바닥과 창문이 흔들림. - 서석면: 10층에 거주. 침대가 폭 주저앉는 느낌. - 동면: 단독주택2층. 트럭이 집을 들이박는 듯 한 느낌. - 두촌면: 창문이 흔들리고 뒤편이 와서 광 부딪히는 느낌. - 내면 창촌리: 콘크리트 바닥이 금이 감. - 내면 자운4리: 집 벽돌이 떨어짐. - 내면 광원리: 지붕이 흔들리고, 땅에 심한 진동 느낌.
강릉시	<ul style="list-style-type: none"> - 전쟁이 난 줄 알았다. 집이 흔들리고 식탁의 접이 굴러 떨어짐. 10초 남짓 건물 벽과 바닥이 진동하면서 소리가 나고 방안에 있던 화분이 이리저리 흔들릴 정도. 마치 바로 옆에서 탱크가 지나가는 것처럼 느껴짐. - 두두두두 공사하는 소리로 들림. 밖을 보니 차가 흔들리고 먹고 있던 물이 쏟아짐. - 쿵 하는 소리와 함께 건물이 순간적으로 흔들리면서 진동 갖이 떨어지고 컴퓨터 모니터와 책상에 꽂혀 있던 책이 떨어짐. - 안목항구: 땅과 주택이 흔들리자 해변지역 횡집 손님들이 놀라 자리에서 일어나거나 밖으로 뛰쳐나오기도 함. - 포남동: 방바닥이 흔들리면서 집기류도 떨리고 멀미가 나는 듯 함. - 교1동: 굉 하는 소리와 함께 아파트가 잠시 흔들림.
주문진	<ul style="list-style-type: none"> - 강릉과 별 차이 없음. 건물이 울리고 창문이 덜컹덜컹 거리고 주위 탱크가 지나가듯 소리가 남. 벽 균열은 없음.
인제 현리	<ul style="list-style-type: none"> - 집이 매우 세게 흔들림. 굉하는 소리와 함께 부르르 창문, 벽, 집이 흔들림(약 10초).