

1996년 12월 13일 영월지진의 진도평가와 한반도의 지진에너지감쇠 특성

Evaluation of intensity of 13 December 1996 Yeongweol earthquake and attenuation properties of Korean Peninsula

조봉곤¹⁾ 김성균²⁾ 김우한³⁾ 김준경⁴⁾ 박창업⁵⁾
Jo, Bong-Gon Kim, Seong-Kyun Kim, Woo-Han Kim, Joon-Kyong Baag, Chang-Up

ABSTRACT

For 262 locations throughout the southern part of Korean peninsula, intensities of 13 December 1996 Yeongweol earthquake are estimated to make an isoseismal map and investigate attenuation properties in the southern part of Korea. Due to the inherent uncertainties in the estimation of intensities, obtained intensity map show quite scattered pattern of intensity distribution. Estimated intensities range from III to possibly VIII. In case of intensity larger than VI, considerable damages such as fracturing of walls are reported. One of the most significant feature of the intensity map is, considering its magnitude 4.7 reported by KMA, the felt area is appeared to be unusually large covering most of the Korean peninsula except Cheju island. This result indicates either the magnitude is underestimated or the focus of this earthquake is much deeper. Assuming shallow (less than 10km) intraplate earthquake, we obtained average magnitude 5.6 by using the area encircled by isoseismal contour lines from intensity IV to intensity VII. This ambiguity can be clarified if more reliable focal depth is estimated by using teleseismic earthquake records in the future.

1. 서론

최근 우리 나라는 이웃 중국이나 일본에 비해서 지진활동이 미진한 편이었으나 판구조론적 환경이나 역사지진의 연구결과(Kyung, 1989; Kyung et al., 1996; Zhao et al., 1990)에 의하면 지진발생의 가능성이 적지 않은 것으로 알려져있다. 그 동안 우리 나라에서는 지진관측망의 미비로 체계적인 지진관측이 이루어지지 못하였으나 기상청의 지진관측망과 이동식 관측망에 의한 국지 지진관측의 결과에 의하면 소규모 미진은 상당히 빈번하게 발생하고 있으며 진앙근처에서 사

1 전북대학교 부교수, 정회원

2 전남대학교 교수, 정회원

3 경상대학교 부교수, 정회원

4 세명대학교 부교수, 정회원

5 서울대학교 교수, 정회원

람이 감지할 수 있으며 지진메카니즘의 계산이 가능한 규모 3.0 정도의 지진도 매년 10회 이상 관측이 되고 있다. 이는 우리 나라의 지진관측망의 미약한 점을 감안한다면 규모 3.0 내외의 지진이 우리 나라에서도 수십회 정도 기록될 가능성이 있음을 시사하여 주는 것이다. 그러나 상당한 지진피해를 유발할 수 있는 규모 4.5이상의 지진은 매우 드물게 발생하였다. 이러한 지진은 한반도의 지진활동의 특성과 지진학적 연구에 매우 유용한 자료를 제공하여줄 수 있으므로 학문적으로 그 가치가 매우 크다고 할 수 있다. 1905년 우리 나라에서 지진관측이 시작된 이후 우리 나라에서 발생한 대표적인 중규모 이상의 지진으로는 1936년 쌍계사지진, 1978년 홍성지진, 1981년 포항지진, 그리고 1996 동해지진이 있으며 이번 영월지진은 이러한 몇 안되는 대표적 지진의 하나이며 특히 1996년 동해지진과 발생시기 및 위치가 매우 유사하여 의의가 더욱 크다고 할 수 있다.

이러한 관점에서 1996년 12월 13일 발생한 영월지진은 그 지진학적 연구가치가 매우 높다고 생각되나 불행하게도 아직 우리 나라에는 이를 제대로 관측할 수 있는 지진관측망이 구축되어있지 않은 실정이다. 따라서, 우리는 이번 지진에 대한 다각적인 연구의 일환으로서 진도평가를 실시하고 이 자료를 통해서 이번 지진의 제반 특성을 이해하고 특히, 지진피해 저감대책의 수립에 기본 자료가 되는 등진도도를 작성하고 이번 지진의 지진학적 특성과 한반도의 지진파전달 특성을 규명하고자 한다. 이 연구에서는 진도평가를 위해서 전화 및 우편물을 통한 전국적인 설문 조사를 실시하였으며 감진 지역의 면적을 이용한 지진규모의 결정과 지역적인 지진파의 에너지 감쇠 특성을 분석하였다. 이 연구결과는 이 지역일대의 지진활동의 특성의 이해와 우리 나라에서의 지진피해 저감대책의 수립과 내진 설계의 기초자료로서 활용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

3. 자료

진도 현장에서의 진동의 특성과 진동에 의해서 유발된 제반현상에 대한 자료의 정성적 평가에 의해서 이루어진다. 이러한 진도평가의 기본자료를 수집하기 위해서 이번 연구에서는 별도의 설문지(부록 1)를 작성하고 이를 이용해서 전화와 우편물을 통해서 자료를 수집하였으며 진앙과 인접한 지역에 대해서는 현지를 직접 방문하여 설문조사를 실시하고 피해상황을 확인하였다. 설문조사대상지역은 전국을 대상지역으로 하였으며 평균 1개 군에 2개 정도를 선정하였다. 설문에 응한 262개 지역의 자료가 이번 연구에서 진도평가에서 사용되었다.

4. 분석

설문조사에서 나타난 이번 영월지진의 효과는 매우 다양하게 나타나고 있으며 그 대표적인 현상들을 열거하면 다음과 같다.

- 심한 진동을 느낌.
- 굉음과 함께 진동이 시작됨.
- 파도치는 듯한 움직임.
- 송아지가 놀라서 뛰어나감.
- 정전.
- 건물 샹시가 이완됨.
- 벽과 선반의 물체가 흔들리거나 떨어짐.
- 내벽에 균열이 발생함.
- 벽의 타일이 떨어져나감.

· 담장이 무너짐.

그 밖에도 사면의 낙석현상, 사무실 천장의 석고보드의 낙반, 심한 공포감, 서있기 어려울 정도의 흔들림 등 크고 작은 진동과 다양한 현상들이 발생하였다. 이러한 지진효과들을 통한 진도결정에는 MMI 진도계급이 가장 보편적으로 사용되어지고 있다. 이 연구에서도 MMI진도계급을 진도평가의 기준으로 사용하였다. 그러나 일반적으로 진도계급표는 가장 대표적인 현상들의 대부분을 평가기준으로 제시하고 있으며 주관적인 평가에 의존해야하는 경우가 많아서 이를 실제 현상들에 적용하기가 모호한 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 MMI진도계급표의 내용 중에서 이번 설문조사에서 주로 나타나는 현상들을 발췌하고 모호성을 극복하기 위해서 각 진도계급 간의 분명하게 대비되는 현상을 도표로 작성하여 진도평가의 정확성과 객관성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 다음 도표는 위 내용을 종합하여 나타낸 것이다.

도표 1. 진도평가의 대표적 기준표

MMI 진도	평 가 기 준
II	실내에서 극히 일부만이 느낌
III	실내에서 소수가 느낌 메달린 물체가 약하게 움직임
IV	실내에서 대다수가 느낌 작은 물체가(그릇 등) 움직임 실외에서는 감지불가
V	실내의 모든 사람이 느낌 실외의 모든 사람이 느낌 건물전체가 흔들림 물체가 깨어지거나 전도 또는 추락함 가벼운 물체의 위치이동
VI	다수의 사람이 놀라거나 뛰어나감 똑바로 걷기가 힘들다 약한 건물의 회벽이 떨어지거나 균열이감 무거운 물체의 위치이동이나 전도
VII	모든 사람이 불안감을 느낌 대부분이 서있기가 곤란함 운전 중에 지진을 느낌 회벽이 대부분 붕락하고, 벽에 작은 균열이 생김 느슨한 적재물 또는 담장의 붕락
VIII	모든 사람이 공포감을 느낌 차량의 운전이 곤란함 우물수위의 변화 일반건물의 일부 붕괴, 뒤틀림, 담장의 붕괴 사면이나 지표의 균열 굴뚝이나 탑의 붕괴 무거운 가구의 심한 위치이동이나 전도

여기서 한가지 특기할 사항은 이번 설문조사에서 "폭발음과 같은 굉음이 들렸다"는 내용이 빈번하게 나타나고 있는데 이러한 내용이 MMI 진도표에는 포함되어있지 않다. 이러한 보고가 진앙에서 100km이상 떨어진 곳에서도 나타나고 있는 점으로 미루어볼 때 이는 주로 지진동에 의한 건물의 충격으로 발생하는 소리인 것으로 해석되어진다. 따라서 이러한 경우는 건물전체의 진동을 수반하는 것이므로 진도 V로 평가하였다.

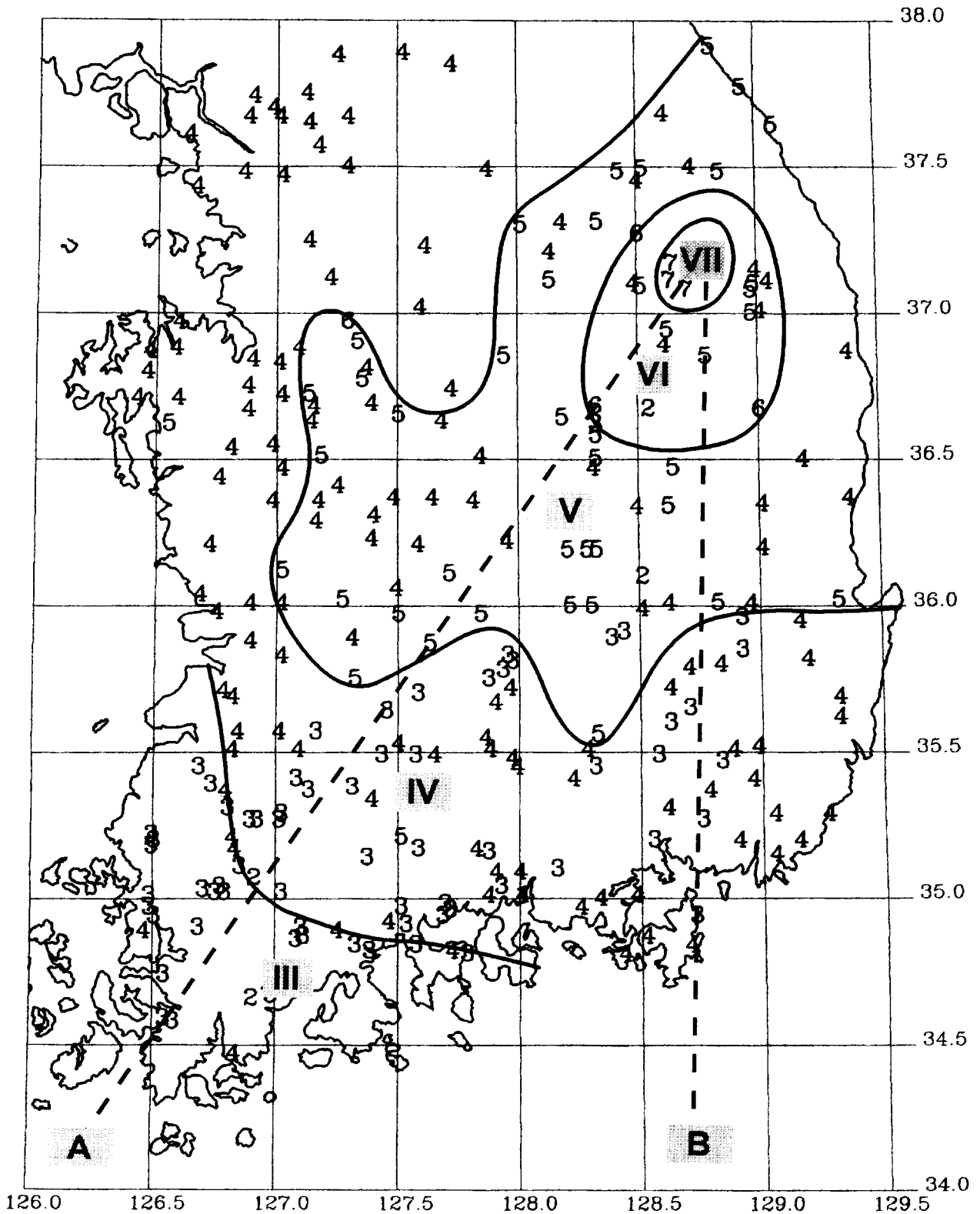


Figure 1. Intensity map of 13 December 1996 Yeongweol earthquake.

그림 1.은 위 기준을 적용하여 진도평가를 한 결과를 지도상에 표시한 것으로 숫자는 그 위치에서의 진도 값을 나타내며 등고선은 각 각 진도구간의 경계를 표시하고 있다. 이 등고선에 의해서 둘러싸인 각 진도구간에 표시된 값은 그 구간에서 나타나는 진도의 하한 값을 의미한다. 일반적으로 특정지역에서 나타나는 지진효과는 그 지역의 암반이나 토양 층의 특성, 그리고 건물의 구조 및 주변환경 등 다양한 요소에 의해서 영향을 받으므로 지진외적인 많은 변수들의 효과가 포함되어 있어서 이러한 진도 평가는 본질적으로 오차를 포함하고 있다. 그림에서 각 등진도 등고선은 대체로 남쪽 또는 남서 방향으로 완만한 경사를 보여주고 있으며 거의 한반도 전역에서 3 이상의 진도를 보여주고 있다. 이는 기존의 영월지진과 유사한 규모를 가진 지진에 대해 작성된 등진도도(Lee, 1984; Hayata, 1940, Kyong, 1996)에 나타난 것과 비교할 때 현저하게 감진 지역의 면적이 넓게 나타남을 의미한다. 이 그림에서 진도 V이상의 감진 지역의 평균반경을 계산한 결과 약 131km로 나타났다. 그러나 규모가 보다 큰 5.0으로 보고된 1996년 쌍계사 지진(Hayata, 1940)의 경우는 약 90km, 그리고 1978년 홍성지진(Lee, 1984)의 경우는 약 40km로 영월지진에 비해 크게 못 미치고 있음은 이 등진도도에서 나타난 가장 특징적인 현상이다. 기본적으로 지진파의 전파거리는 지진의 규모에 비례하나 그 밖에도 진원의 깊이, 응력강하의 크기, 그리고 매질의 탄성에 의해서 결정되어진다(Hanks et al., 1981, 1992; Boatwright, 1982). 그러나 같은 한반도 남부 지역에서 유사한 탄성을 갖는다면 지진파의 전파거리는 주로 지진의 실제 에너지를 반영하는 규모나 진원의 깊이 또는 응력강하량의 크기에 의해서 결정되어진다고 할 수 있다. 일반적으로 지하 심부에서는 천부에 비해 정수압이 높기 때문에 응력강하가 크게 나타난다. 따라서 영월지진에서 지진파의 전파거리가 현저하게 크게 나타난 것은 영월지진의 규모가 실제보다 낮게 평가 평가되었거나 진원의 깊이가 기상청에서 보고한 15km보다 훨씬 깊기 때문일 가능성이 크다. 그러나 진원의 심도는 김성균(개인연락)의 계산에 의해서 얻어진 18km와 거의 비슷하므로 영월지진의 규모가 과소평가 되었을 가능성이 보다 크다고 할 수 있다. Hanks(1992)는 감진 지역의 면적과 지진모멘트와의 사이에 일정한 관계식이 성립함을 보여주었으며 또한 이러한 관계식이 판내부지진과 판외부지진 사이에 현격한 차이가 있음을 발견하였다. 그리고 미국의 주요 판내부지진과 판경계지진의 자료를 사용하여 진도별 감진 면적과 지진모멘트를 나타내는 곡선을 제시하였다. 우리는 지진의 심도가 비교적 정확하다는 가정 하에 이 연구결과를 영월지진에 대하여 적용하여 지진의 규모의 산정을 시도하였으며 도표 2. 는 이 결과를 요약한 것이다. 이 도표에서 진도VII에 의해서 계산된 규모 값을 제외하면 모두 규모 5.4~5.5의 유사한 값으로 나타나고 있다. 여기서, 진도 VII의 감진 면적은 단지 3개의 데이터에 의해서 결정된 것이므로 정밀도가

도표 2. 감진면적 대 지진규모의 관계식을 이용한 규모산정결과

MMI 진도	평균반경(km)	log(감진면적)	규모
IV	270	5.3	5.4
V	135	4.7	5.4
VI	46	3.8	5.5
VII	15	2.7	5.8

매우 낮을 것임을 감안하면 이 방법에 의한 영월지진의 규모는 약 5.4가 됨을 알 수 있다. 이 규모는 판내부지진의 곡선을 사용하여 계산된 것으로 판경계지진의 곡선을 사용하면 규모가 7.0 이상으로 계산된다. 이는 한반도가 유라시아판의 가장자리에 있으나 판내부 환경하에 있음을 잘 반영하며 판내부지진이 응력강하가 크다는 연구결과(Kanamori et al., 1975)와도 잘 일치한다. 그러나 이 결과를 보다 정밀하게 검증하기 위해서는 보다 양질의 원거리 지진관측망을 이용한 진원의 위치 결정과 규모산정이 이루어져야 할 필요가 있다.

참고문헌

1. J.B. Kyong(1989), The characteristics of the seismicity of the Korean Peninsula, Ph.D Thesis of Seoul National University.
2. J.B. Kyong, K. Oike, and T. Hori(1996), Temporal variation of seismic and volcanic activity and relationship with stress field in East Asia, Tectonophysics(in press).
3. Z.X. Zhao, K. Oike, K. Matsumura, and Y. Ishkawa(1990), Stress field in the continental part of China derived from temporal variations of seismic activity, Tectonophysics, 178, pp.357-372.
4. K. Lee(1984), A study on intensity attenuation in the Korean Peninsula, Jour. Geol. Soc. Korea, 20(2), pp.140-146.
5. K. Hayata(1940), Report of Ssanggye-Sa strong earthquake on the southern foot of Mount Chiri, Bull. Meteorological Observatory of the Government General of Korea, 1, pp.145-157.
6. 경제북, 한세섭(1996), 1996년 1월 24일 동해지진(M=4.2)의 진도평가, 대한지구과학회지, 17(4), pp.349-356.
7. T.C. Hanks, and R.K McGuire(1981), The character of high-frequency strong ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 71, pp.2071-2095.
8. T.C. Hanks, and A.C. Johnston(1991), Common features of the excitation and propagation of strong ground motion for North American earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 82(1), pp.1-23.
9. J. Boatwright(1982), A dynamic model for far-field acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 72, pp.1049-1068.
10. H. Kanamori, and D.L. Anderson(1975), Theoretical basis of some empirical relations in seismology, Bull. Seism. Soc. Am., 65, 1073-1095.

(부 록)

1996년 12월 13일 영월 부근 발생 지진에 의한 피해 및 유감 정도 설문 조사서

• 이 설문 조사 자료는 국내 지진연구에 귀중한 자료로 이용될 예정이므로 많은 협조 바랍니다.
(한국지진공학회 및 방재과제 참여 연구회 연구원 일동.)

설문자	이름 : _____	소속 : _____	설문형식 (전화/직접방문)
설문 대상자 (이 난은 원하지 않으시면 적지 않 아도 무방합니다.)	이름 : _____	전화번호 : () - _____	직업 : _____
	주소 : _____		
	연령 : 만 세		성별 : 남 / 여
지진발생 당시 설문자 위치	<input type="checkbox"/> 건물안(층수 : _____ 층) <input type="checkbox"/> 야외 : _____ <input type="checkbox"/> 자동차내 <input type="checkbox"/> 기타 : _____	지진의 움직임 양상	- 움직인 시간 : _____ 분 _____ 초 - 움직인 정도 : _____ - 움직인 방향 : 바닥과 평행 / 직각방향 / 어느 정도의 각도 _____ - 기타 : _____
주변 동물의 이상 행동	동물 이름 : _____	마릿수 : _____	반응 : _____
건물내 집기의 움직임	집기위치 및 집기 이름: - 이름 : _____ - 위치 : _____ - 기타 : _____	움직임 양상: - 시간 : _____ 분 _____ 초 - 움직인 방향 : 바닥과 평행 / 직각방향 / 어느 정도의 각도 _____도 - 집기가 움직인 형태 : _____ - 기타 : _____	건축양식 : 한옥 / 양옥 / 벽돌집 / 블록집 / 철근 콘크리트 / 철골구조 / 기타 : _____ 건축연도 : _____ 년 (지은지 _____ 년)
건물내 피해위치 및 피해양상	<input type="checkbox"/> 내벽 : 허물어짐 / 금이감 _____ cm / 비틀어짐 / 조각이 떨어짐 / <input type="checkbox"/> 천장 : 허물어짐 / 금이감 _____ cm / 비틀어짐 / 조각이 떨어짐 / <input type="checkbox"/> 담 : 허물어짐 / 금이감 _____ cm / 비틀어짐 / 조각이 떨어짐 / <input type="checkbox"/> 기타 : _____		
지표 징후	피해 위치 <input type="checkbox"/> 주위 지표 : _____ <input type="checkbox"/> 사면 : _____ <input type="checkbox"/> 도로 : _____ <input type="checkbox"/> 논, 밭 : _____ <input type="checkbox"/> 기타 : _____	피해 양상 <input type="checkbox"/> 주위지표 깨짐 : 깊이 _____ cm, 넓이 _____ cm <input type="checkbox"/> 지표가 갈라진 징후 : 깊이 _____ cm, 넓이 _____ cm <input type="checkbox"/> 지표경사면 흘러내림 : _____ <input type="checkbox"/> 지진발생 당시 지표에서 물이 솟아오름 <input type="checkbox"/> 기타 : _____	사진 촬영 가능 여부 <input type="checkbox"/> 가 <input type="checkbox"/> 불가

“설문 조사에 참여해 주셔서 감사드립니다.”