

20C 한반도 지진활동 특성과 영월지진(1996년12월13일)의 피해 및 진도 분석

Characteristics of Seismic Activity in the 20th century and Analysis on the Damage and Intensity of Yeongweol Earthquake(December, 13, 1996)

경 재 복* 이기화** 한세섭***

Kyung, Jai-Bok Lee, Kie-wha Han, Seh-Sub

ABSTRACT

The earthquake data($M \geq 4.0$) for post-1900 in the Korean Peninsula show temporal variation with active and quiet periods. The pattern is quite similar to northeastern China and Inner Zone of Southwest Japan. Yeongweol earthquake occurred in the seismic gap region of the Korean Peninsula. This is the first medium-size earthquake in inland region of the southern peninsula since 1978. The intensity based on the felt area estimation of about 400 places shows MMI III-VII in inland region, II on Cheju Island and I on Ulreung Island. The isoseismal of MMI VII shows an elongated circle in the direction of NE-SW and covers some parts of Jungdong-myon, Yeongweol-kun, Sindong-eup and Nam-myun, Jeongseon-kun. There occurred quite strong shaking, numerous cracks on the walls of buildings, falling and movement of slate and tiles on the roofs, falling of tiles from the wall and falling of materials from desks, rock falling from mountain and collapse of gravel layers on the river side. The least square fitting of the intensity data of the Yeongweol earthquake by a popular intensity attenuation relation yields the following:

$$I = I_0 + 1.82249 - 0.65295 \cdot \ln R - 0.00707 \cdot R$$

* 한국고원대학교 부교수, 정회원

** 서울대학교 교수, 정회원

*** 한국 기상청

1. 서론

유라시아판 동부에 위치한 한반도는 중국 북동부 지역과 일본 남서부 내대와 함께 공통의 기진(起震) 응력장을 형성하는 구역으로서 지진활동도(Fig.1)는 지역에 따라 차이가 나타나지만 장·단기적인 지진 활동이 매우 유사한 활동 양상을 나타낸다(Kyung et al., 1986). 근래 1994년 이후 이 지역에서의 지진 활동이 뚜렷하게 증가하고 있으며 우리 나라 및 인근 해역에서도 비교적 규모는 작으나 여러 차례의 지진이 발생하였다. 1996년도 12월 13일 영월 및 정선 일대에서 발생한 지진은 1978년 홍성지진(M=5.0) 이후 내륙지방에서 처음 발생한 중규모 지진으로서 그 의미가 매우 크다고 볼 수 있다.

본 연구는 20C 한반도 지진활동의 특성을 파악하고 남한 전 지역에서 감지된 본 지진의 각 지역에서의 감진 및 피해 정도에 의해 감진 구역을 보다 상세하게 등급화하여 본 지진의 진도를 평가하고자 한다. 이러한 진앙 거리에 따른 감진구역 및 진도 평가는 진도 감쇄에 따른 지진 위험도 평가 등에 매우 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 20C 한반도 지진활동 특성

한반도 내륙과 인근 해역에서 발생한 규모 4이상의 지진활동의 시공간적 분포(Fig.2)를 도시하면 다음과 같은 특성을 파악할 수 있다.

- 1) 시간적으로 지진활동이 활동기(1925-1953년, 1974년-현재)와 비활동기(1900년-1924년, 1954년-1973년)가 반복되면서 발생하고 있다(Fig.5, Fig.6).
- 2) 한반도의 지진 활동기를 통해 지진 공백역으로 나타나는 곳은 남한 중부 및 동부 내륙지역(34°N - 38°N , 127°E - 129.5°E)이다(Fig.3, Fig.4).
- 3) 영월지진은 이러한 지진 공백역에서 발생한 지진이며 활동기가 지속되는 동안 이 공백역에서 발생할 가능성이 높다(Fig.3, Fig.4).
- 4) 한반도의 지진활동은 중국북동부 지역과 일본 남서부내대와 시간적으로 매우 유사한 활동양상을 나타낸다.

3. 영월지진: 여진분포 및 단층면해의 예비적 결정

지진의 요소인 진앙, 발생 시각, 발생 깊이, 규모 등을 결정하기 위해 영월 지진이 관측된 한국 기상청(11지점), IRIS(인천관측점), 한국교원대학교 관측망(2지점)에 기록된 지진 기록을 기초로 하였다(Fig.7). 본 지진 및 여진에 대한 진앙 및 발생 시각 결정은 HYPO71(Lee and Lahr, 1975)의 알고리즘을, 지진의 규모(M)는 Kanbayashi and Ichikawa(1977)의 식을 이용하였다. 여기서 결정된 영월 지진(M=4.5 : 기상청발표)의 지진 요소는 다음과 같다.

진 앙: $37^{\circ} 15.75'$, $128^{\circ} 42.13'$, 진원깊이: 약 8km, 발생시각: 1996년 12월 13일 13시 10분 17.17초
규모 2.5 이상의 지진에 대하여 본진발생을 전후하여 약 1개월 동안 영월 북동부 일대에서 발생한 지진의 시간적인 발생양식을 보면 여진은 약 13회 기록되었다(Fig.8, Fig.9). 규모 2.5 이하의 미소 지진의 경우 기상청 관측망 및 교원대 관측점의 공간적 배열상 관측하기 어려웠기 때문에 본 지진의 전진이나 여진이 훨씬 더 많이 발생했을 가능성을 배제할 수 없다. 각 관측소에 도달한 P파의

초동극성만을 이용하여 단층면해를 구해 보면 N36° E와 E-W방향의 두 면을 얻을 수 있으며 P축은 거의 동서방향이며 단층 운동은 정단층에 가깝다. 그러나 이 결과는 기상청 관측자료의 불안정성 때문에 다른 자료와 방법에 의해 결정되는 단층면해에 의해 수정될 수 있는 예비적 결정이다.

4. 피해지역 조사방법

진도는 어떤 지점에서 지진동에 의해 생긴 인체 감각이나 주위의 물체, 구조물 또는 자연계에의 직접적인 영향의 정도로부터 지진동의 세기를 표현한 것이다. 영월지진이 전국 각 지역에서 감지된 피해 및 진동 정도는 지진발생 직후부터 약 1개월간에 걸쳐 실시되었으며 다음과 같은 과정을 거쳐 이루어졌다.

- 진앙을 중심으로 반경 약 20km 이내지역: 2차에 걸친 현지방문을 통해 피해 상황을 조사하고 각 지역의 진동정도를 등급화함.
- 기타지역: 진앙으로부터 가까운 지역은 좁은 간격으로, 멀수록 조사지역의 간격을 넓게 하여 약 400지점의 감진 정도가 파악되었다. 전국적으로 고른 밀도분포로 조사하였으며 시, 읍, 면 지역은 최소한 2지점 이상, 직할시의 경우 4지점 이상의 감진정도를 조사하였다. 조사방법은
 - 전화문의를 통한 각 지역의 공공기관(읍, 면사무소, 군청, 시청의 방재계 혹은 민방위계, 초·중·고등학교) 및 일반주민과의 인터뷰(100여지역).
 - 전국 각급학교에의 교사(250명)에 대한 설문지 조사.
 - 기상청에 보고된 각 기상대 및 관측소의 보고자료
 - 각 신문사 발표 각 지역의 진동상황 감진 보고자료 참조.

5. 지역에 따른 감진 정도와 진도계급

주 피해 지역은 경사가 급한 산악지역의 협소한 골짜기를 따라 발달된 소규모 촌락지역으로서 비교적 저층건물과 오래된 가옥들이 많이 분포하고 있다. 진앙을 중심으로 반경 약 20km 이내의 주요 피해지역과 감진정도의 구분은 다음과 같이 하였다(Fig.10).

- Damage A: 가옥 및 공공건물의 벽에 10군데 이상 균열 발생.
지붕의 기와나 스텔트가 내려옴. 조립식 담장의 붕괴, 벽 타일 파손, 도로낙석, 물건(무거운)들이 선반이나 책상에서 떨어짐, 자갈층의 붕괴.
- Damage B: 가옥 및 공공건물에 미세 균열. 도로에 낙석이 나타남.
외벽의 일부가 떨어져 나감. 강한 진동으로 책상, 선반 위의 물건이 떨어짐.
- Damage C: 건물에 균열이나 벽의 손상은 없음. 그러나 강한 지진동에 의해 선반위 물체가 이동하거나 다소 떨어짐. 매달려 있는 물체가 흔들림.

주요 피해 지역은 진앙을 중심으로 영월군 중동면 옥동리에서 정선군 동면 화암리에 이르는 약 30km 길이와 20여 km 폭을 갖고 나타나며 주로 NE-SW 방향으로 약간 신장되어 나타난다(Fig.11). 본문에서는 영월 지진에 의한 각 지역의 진도를 평가하기 위해 수정 Modified Mercalli 진도 계급(Richter, 1958)을 적용하였으며 아파트의 경우 4층 이하의 진동을 기준으로 평가하였다(Fig.12).

- VII 지역 : 영월군 중동면 및 하동면 일대, 정선군 신동읍 동면 및 남면 일대
- VI 지역 : 정선, 영월, 태백, 횡계, 평창, 제천, 단양, 점촌, 충주, 하진부, 봉화, 고한, 상동
- V 지역 : 강릉, 양구, 화천, 포천, 청주, 음성, 성남, 안성, 천안, 아산, 온양, 공주, 대전, 전주, 추풍

령, 김천, 구미, 거창, 장수, 대구, 영덕, 군위, 청송, 동해, 삼척, 원덕, 울진, 평해, 영주, 안동, 여주, 원주, 양평, 홍천, 춘천, 인제, 오대산, 풍기, 문경, 음성, 옥계, 횡성, 이천, 영덕

IV 지역 : 포항, 경주, 밀양, 합천, 산청, 진주, 충무, 마산, 부산, 남원, 구례, 광주, 주문진, 양양, 철원, 동두천, 의정부, 일산, 서울, 인천, 수원, 부여, 군산, 김해, 영천, 속초, 화천, 양구, 부안, 정주, 함양

III 지역 : 영광, 무안, 장흥, 보성, 순천, 여수, 울산

II 지역 : 목포, 해남, 완도, 고흥, 제주

I 지역 : 울릉도

6. 영월지진의 진도감쇄율

위 자료를 기초로 작성된 등진도도에서 최대 진도계급은 진양부근에서 VII을 나타내며 남한의 육지 전지역에서 전남의 일부 해안지역을 제외하고 진도 III 이상이며 제주도 II, 울릉도 I을 나타낸다. 등진도의 분포패턴을 보면 진양근처에서 NE-SW 방향으로 신장되어 나타나고 전체적으로 진양의 남부로는 비교적 먼 곳까지 감진구역이 신장되어 나타나는 경향을 보이나 진양의 북동부(강릉, 주문진, 양양, 속초...)에 위치한 지역에서는 낮은 감진정도, 즉 거리에 따라 빠른 감쇄를 나타내는 경향을 보인다(Fig.12).

각 진도계급에 해당하는 감진구역의 평균반경을 구하여 최소자승법에 의해 진도감쇄에 관하여 널리 이용되는 관계식에 맞춘 결과는 다음과 같다(Fig.13).

$$I = I_0 + 1.82249 - 0.65294 * \ln R - 0.00707 * R$$

이 식에서 I_0 와 R 은 각각 MM 진양진도와 진원거리이다. 위 진도 감쇄율 0.00707/km는 20C 남한에서 발생한 중규모 지진인 쌍계사 지진 및 홍성 지진의 감쇄율인 0.0068/km(Lee, 1984)와 유사한 결과를 나타낸다.

7. 결 론

1) 20C 한반도 지진은 활동기(1925-1953), 1974-현재)와 비활동기(1954-1973)가 반복되면서 발생하고 있으며 활동기를 통해 지진 공백역으로 나타나는 곳은 남한 중부 및 동부내륙지역이다. 영월지진은 이러한 지진 공백역에서 발생한 한 지진이며 활동기가 지속되는 동안 이 공백역에서 지진이 발생할 가능성이 높다.

2) 영월 지진은 남한 전역에서 대부분 감지되었으며, 최대 MM진도는 VII이며 강원도 영월군 중동면, 정선군 신동읍, 동면 및 남면일대로서 등진도선은 대체로 NE-SW방향으로 신장되어 나타난다. 이 지역에서는 공공 기관의 실내 외부벽에 다수의 균열이 발생했으며, 천정의 텍스가 떨어지거나 어긋남, 타일이 떨어짐, 매달려 있는 물체나 책상 선반의 물체가 떨어짐, 지붕 위의 기와나 스퀘트가 떨어짐, 조립식 담장이 무너짐, 하천의 자갈층이 무너짐, 도로의 낙석 등이 나타났다.

3) 남한 일대에서 영월지진에 의한 거리에 따른 진도 감쇄율은 쌍계사 지진과 홍성지진의 진도 감쇄율과 유사한 결과를 나타낸다.

참고문헌

- Kyung, J.B., Oike, K. and Hori, T., 1996, Temporal variation in seismic and volcanic activity and relationship with stress fields in East Asia, *Tectonophysics*, vol. 267, 331-342.
- Lee, K., 1984, A study on intensity attenuation in the Korean Peninsula, *Jour. Geol. Soc. Korea*, vol. 21, 2, 140-146.
- Lee, W.H.K and Lahr, J.C., 1975, HYPO 71: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, *Geol. Surv. Open-file Rep.(U.S.)*, 75-311, 1-116.
- Richter, C.F., 1958, *Elementary Seismology*, W. H. Freeman and Company, 768.
- Kanbayashi and Ichikawa, 1977, A method for determining magnitude of shallow earthquakes occurring in and near Japan, *Earthquake report(震驗時報)*, 4, pp.57-61.

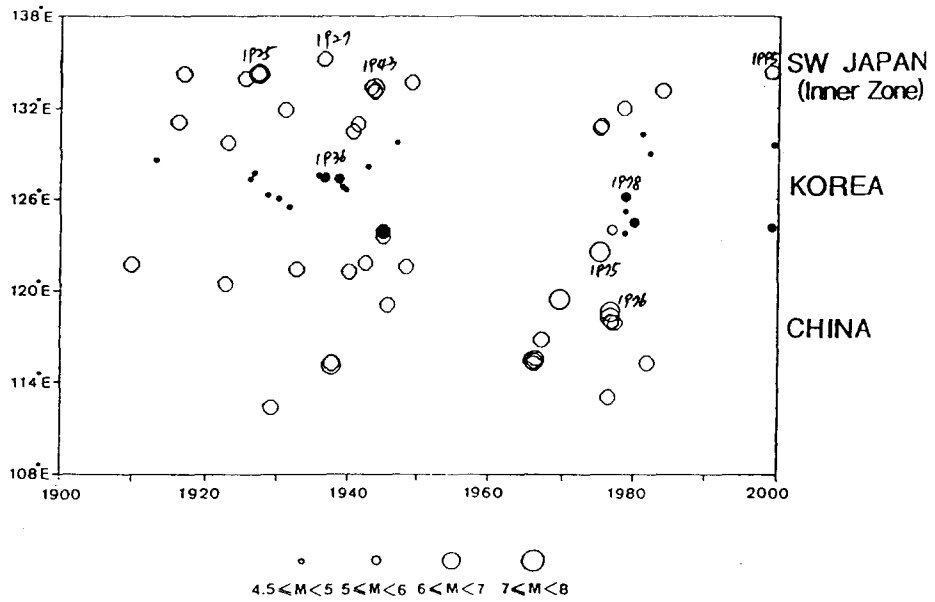


Fig.1 Space-time distribution of earthquakes in northeastern China, Korea and Inner Zone of Southwest Japan.

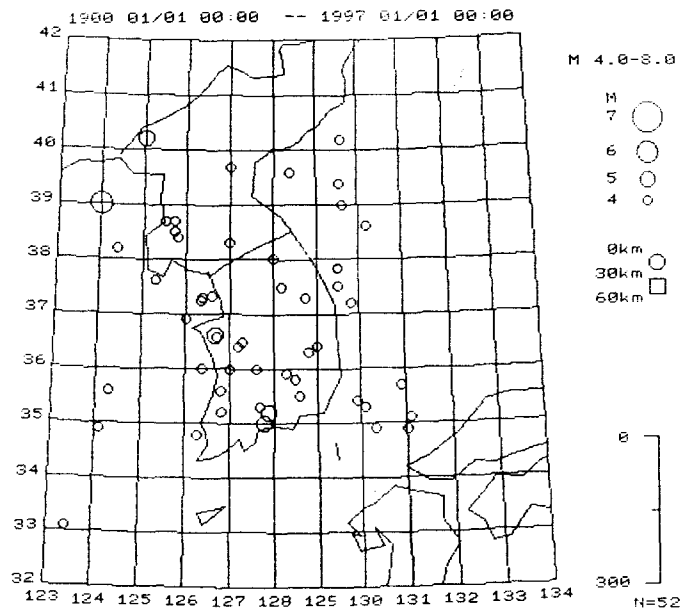


Fig.2 Distribution of earthquake epicenters(1900-1996) in the Korean Peninsula.

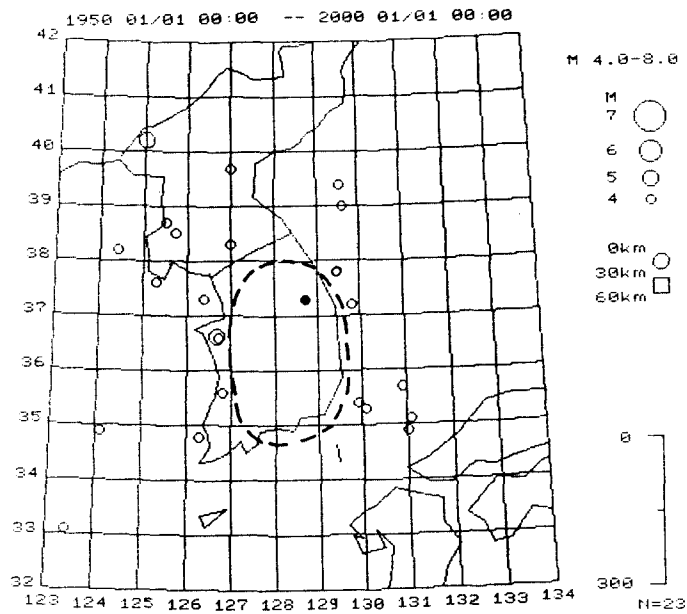


Fig.3 Distribution of earthquake epicenters(1950-1996). Dashed line indicates seismic gap region.

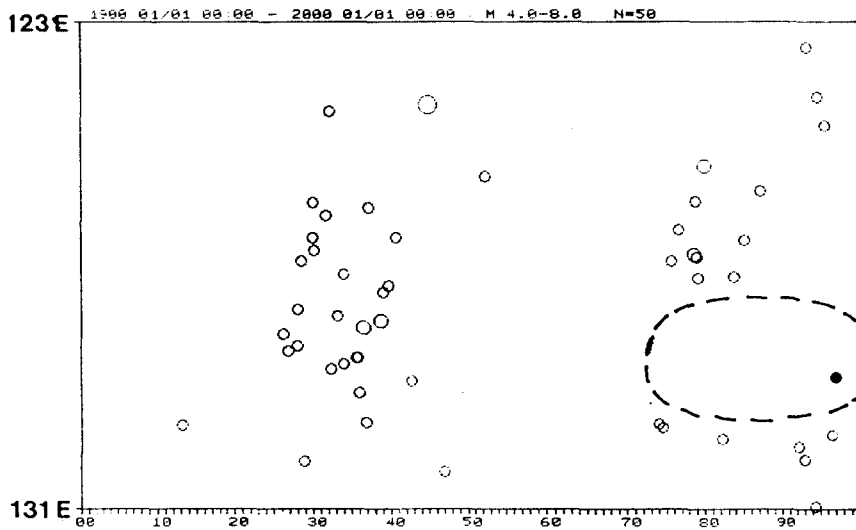


Fig.4 Space-time distribution of earthquakes(1900-1996) in the Korean Peninsula. Dashed line indicates seismic gap region.

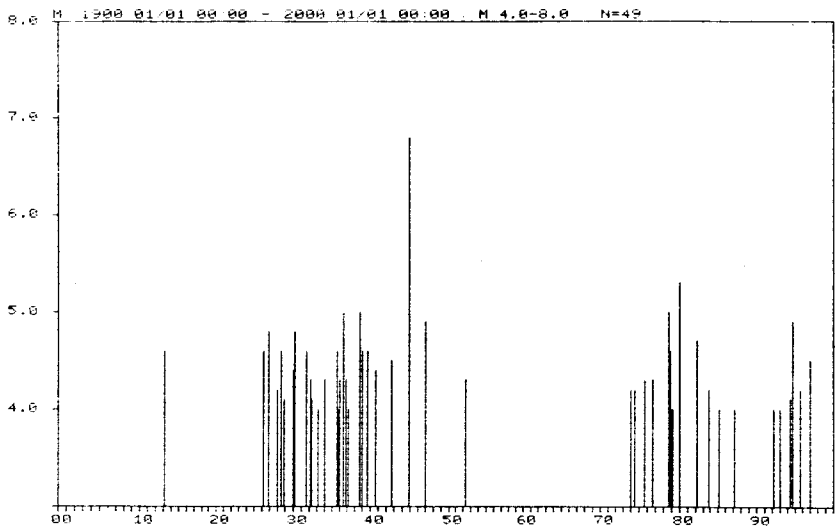


Fig.5 Time sequence of earthquakes from 1900 to 1996 in the Korean Peninsula.

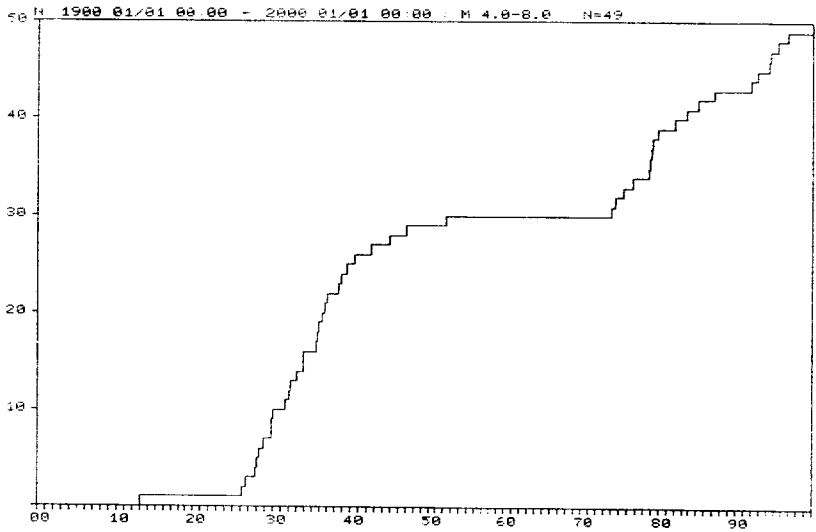


Fig.6 Cumulative number of earthquakes from 1900 to 1996.

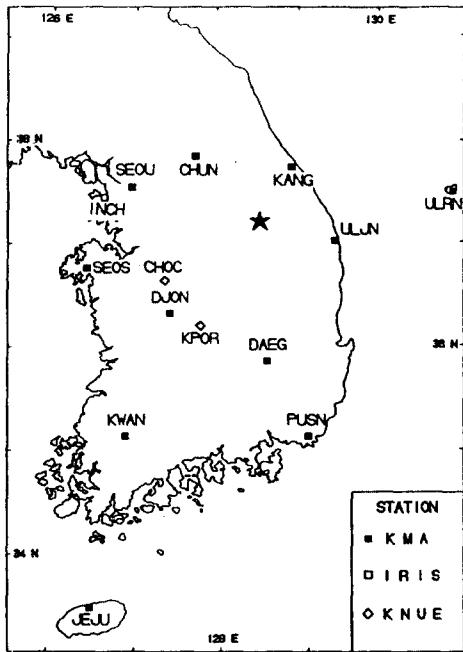


Fig.7 Location of seismic station and epicenter of Yeongweol earthquake. The abbreviation is as follows:KMA(Korea Meteorological Agency), IRIS(Incorporated Research Institutions for Seismology) and KNUE(Korea National University of Education).

Fig.8 Spatial distribution of mainshock and aftershocks($M \geq 2.5$).

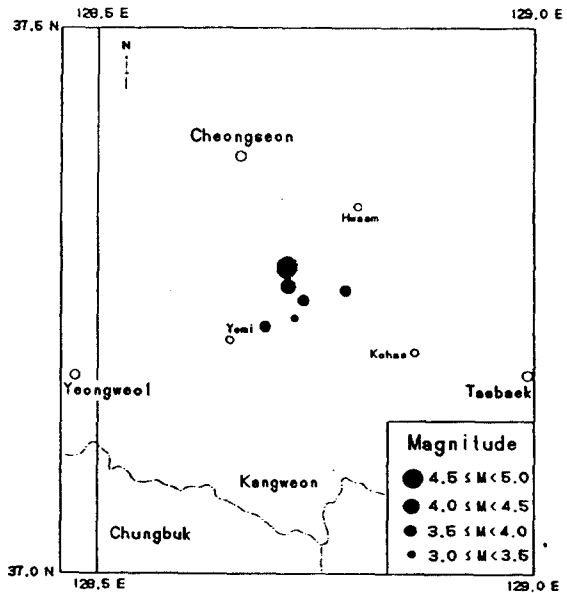
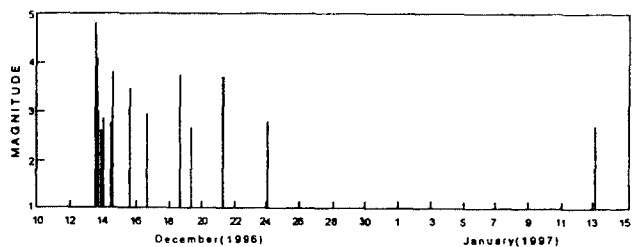


Fig.9 Temporal distribution of mainshock and aftershocks($M \geq 2.5$).



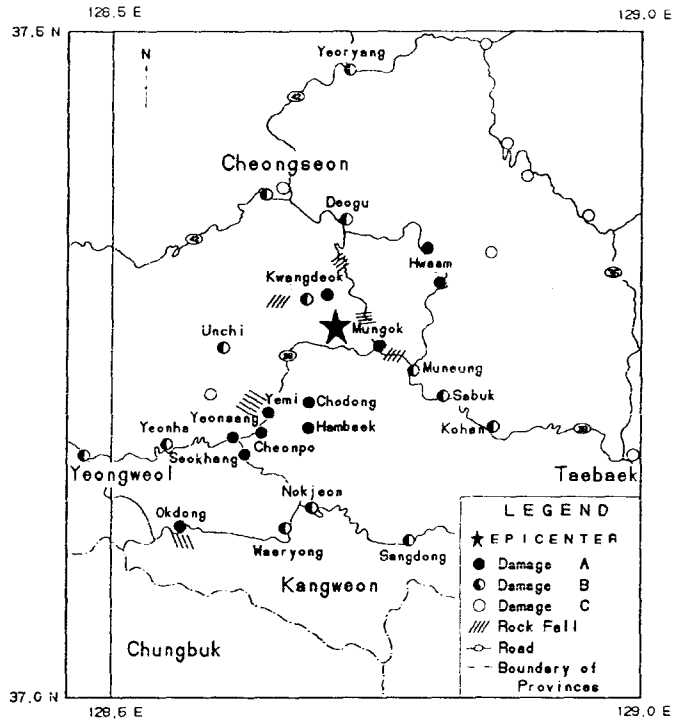


Fig.10 Classification of damage around the epicentral areas.

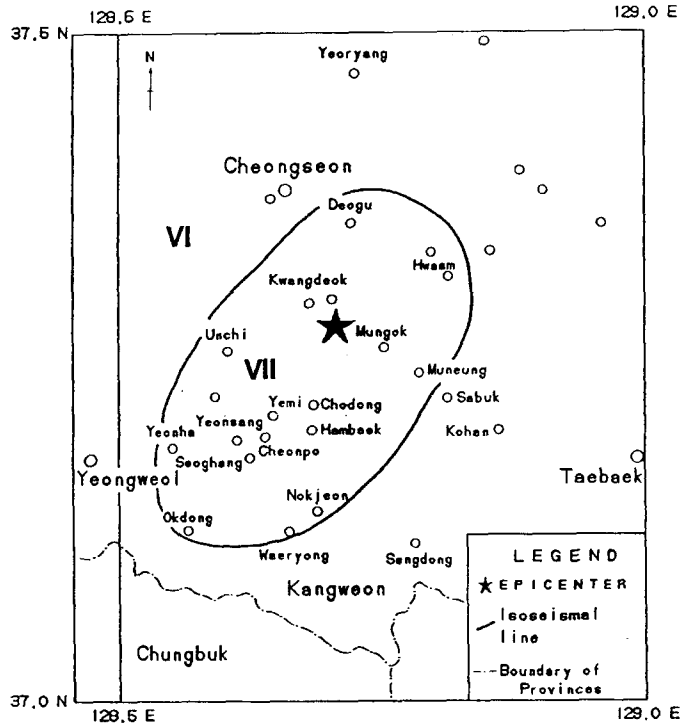


Fig.11 Isoseismal line around the epicentral areas. Intensity is expressed by MM intensity scale.

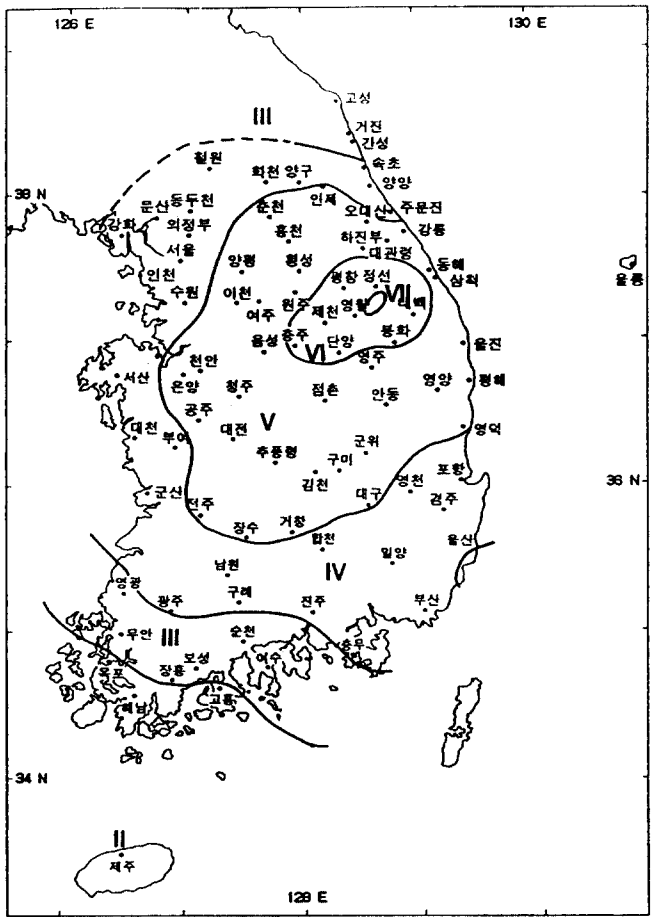


Fig.12 Modified Mercalli isoseismal map for the December 13, 1996 Yeongweol earthquake(M=4.5).

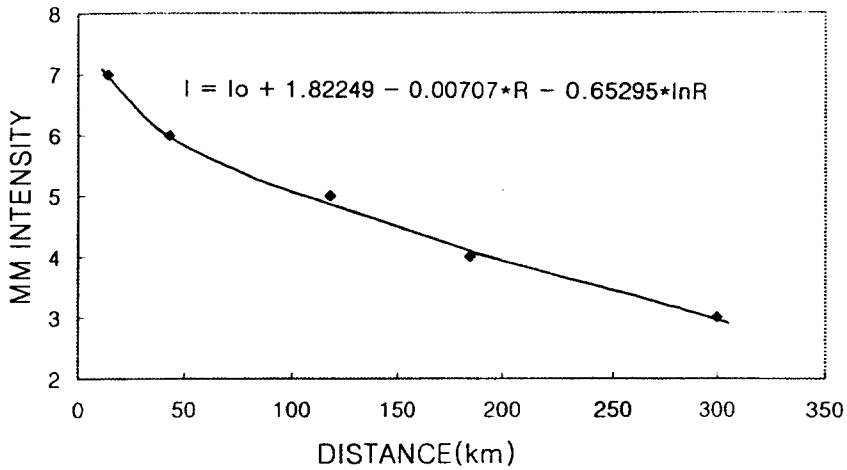


Fig.13 Intensity attenuation with distance due to the Yeongweol earthquake.