1997년 6월 26일 경주지진의 진도 및 파형분석

Intesity and phase Indetificaion of the 13 June 1997 Kyeongju Earthquake

김우한[1] 김성균[2] 지헌철[3] 김준경[4] 조봉곤[5] 박창업[6]
Kim, Woohan Kim, Sung Kyun Chi, Heon Chel Kim, Jun Kyeong Jo, Bong Gon Bagg, Chang Eob

ABSTRACT

The intesity survey on the 26 June 1997 Kyeongju Earthquake whose magnitude is 4.3, has been made for 316 locations throughout southen part of Korean Peninsula, then we have investigated the intensities distribution of the earthquake. Because the earthquake was occurred during night time (03:50:23.19), the most people who live farather than about 200 km from the epicenter did not feel the earthquake. Therefore, the intensities are estimated only from IV to V in this study. The iso-seismal intensity map shows that the shape of iso-seismal intensity is similar to the boundary of the Kyeongsang Basin. This phenomenon may indicates that the energy of the earthquake is trapped within the Kyeongsang Basin due to low velocity within the basin compared with the velocity outside of the basin. The travel time curves with 10 possible phases are used to identify the earquake records. The Pg and Sg phases are crearly shown in the records whose epicental distance is less than 60 km. The records of MUN and PCH stations located outside of the Kyeongsang Basin show different frequency compared with that of the other stations located within the Kyeongsang Basin.

Key words: intensity, travel time curves, phase

1. 서 론

1997년 6월 26일 3시 50분 23.19초에 발생한 규모 4.3의 경주 지진은 1996년 12월 13일 영월지진과 함께 최근에 발생한 중규모 지진으로 한반도 지진연구의 중요성을 인식하는 중요한 계기가 되었다. 이 지진 으로 인한 피해는 거의 없으나 진앙거리로부터 200 km 이내 지역에서는 대부분

1. 경상대학교 부교수, 정회원
2. 전남대학교 교수, 정회원
3. 한국자원연구소 선임연구원, 정회원
4. 세명대학교 부교수, 정회원
5. 전북대학교 교수, 정회원
6. 서울대학교 교수, 정회원

사람들이 지반진동을 느낄 수가 있었다. 본 연구에서는 경주지진의 진도분포를 전화 및 우편을 이용한 설문조사를 바탕으로 계산되었으며 파형분석을 위하여 한국자원연구소 지진관측망 자료를 사용하였다. 한반도 지진의 진도분포는 몇몇 연구자들에 의하여 제한된 지진을 자료로 수행되었다(예; Lee[1], Kyeong[2], Jo et al.[3], 경제복외[4] 등). 경주지진 발생후 진도분포를 연구하기 위하여 연구자들은 지역을 분할하여 진앙지 부근 지역의 현지조사 및 기타 지역에서 전화 및 우편을 이용한 설문조사를 수행하였다. 설문회답 총수는 316건으로 이중 지진에 대한 진동을 느낀 경우는 220건 뿐이다. 진앙지 부근의 현지조사 결과 피해는 극히 경미하였으며, 진앙지 근처의 동방주유소에서 약간의 피해가 발생했다. 경주 지진이 발생한 시간이 새벽이므로 진앙지에서 비교적 먼 거리에서는 거의 지진을 느끼지 못했다. 따라서 이 지진은 잠에서 깨어나는 MM진도 IV이상으로 제한될 수밖에 없다. 진도 분포도를 작성한 결과, 이 분포도는 경상분지의 경계와 비슷하다. 이러한 현상은 경상분지내의 속도가 분지 밖의 속도에 비하여 저속도로 인하여 지진에너지가 분지내에서 갇히는 것과 관계가 있을 가능성을 암시한다.

파형분석을 위하여 한반도 지각 및 상부 맨틀의 속도구조가 필요하다. 지금까지 한반도의 지각 및 상부 맨틀의 속도구조는 여러 연구자들에 의하여 지진 및 중력자료를 이용하여 연구되어 왔지만 아직도 미흡한 실정이다(예: Lee[5], 김상조[6], 김성균[7], Kwon and Yang[8], 최광선[9], 등). 경주지진의 파형분석을 위하여 한국자원연구소 지진관측망의 자료를 사용하였으며, 진원을 결정하기 위하여 진앙거리가 60 km 이내의 6개 관측소 자료를 이용하여 HYPO 71(Lee and Lahr[10])을 이용하여 계산되었다. 경주지진의 주시곡선을 계산하기 위하여 김상조[2]의 지각모델을 이용하여 10개의 가능한 파형에 대하여 주시곡선을 계산하였다. 진앙거리 60 km 이내에서는 직접파인 Pg 및 Sg 파형이 뚜렷이 구분되었으나 나머지 파형은 주시곡선에 의하여 구분하였다. 경상분지 안과밖에 위치하는 관측소에서 주파수에서 차이를 보인데, 이는 관측소 하부의 암석분포와 고주파의 감쇄효과와 관계가 있는 것으로 추측된다. 경주 지진의 지원지의 깊이(14.66 km)가 콘라드면(깊이 =15 km) 바로 위이기 때문에 본 연구에서는 콘라드면에 관계되는 파형을 사용하여 콘라드면의 존재 유무를 확인하기 위하여 노력했다.

2. 진도분포

경주지진 발생후 본 연구의 연구자들은 지역을 분할하여 진도조사를 수행하였다. 진도조사는 진앙지 부근에서는 현지조사를 하였으며, 기타 지역에 대해서는 전화 및 우편을 이용한 설문조사를 수행하였다. 설문회답 총수는 316건으로 이중 지진에 대한 진동을 느끼지 못한 경우가 96건이고, 진동을 느낀 경우가 220건에 달했다.

이 지진의 발생시각이 대다수의 사람이 취침하고 있는 새벽 3시 50분경이었으므로, 진앙지에서 비교적 먼 거리에서는 거의 지진을 느끼지 못했다고 볼 수 있다. 취침중에 지진에 의한 진동으로 잠이 깰 정도는 MM진도로 최소 IV이상으로 볼 수 있으므로, 이 지진의 진도분포는 IV이상으로 제한 될 수 밖에 없으며, IV이하의 진도분포는 알 수 없다.

진앙지 부근의 현지조사는 진앙지에 가까운 초등학교에서 학생들이 이 지진에 대하여 작문한 글을 보고 현장을 확인하는 방법으로 이루어 졌다. 진앙지 부근에 나타난 피해는 극히 경미하였으며, 다음과 같은 현상이 나타났다.

- 지진으로 잠이 깨어 화장실에 가다 넘어졌다.
- 진동으로 침대에서 굴러 떨어 졌다.

- 집의 기와장이 떨어지고 장독이 깨어졌다.
- 가구위에 얹혀 있던 물체가 떨어져 파손되었다.
- 벽의 액자가 떨어 졌다.
- 번쩍이는 섬광이 약 5초 동안 목격되었다.
- 창틀의 유리창이 떨어져 깨어 졌다.
- 회벽이 떨어졌다.
- 아침에 일어나 보니 담이 무너져 있었다(미확인).

위와 같은 현상으로 보아 진앙지 부근의 진도는 VI정도로 평가되며, 이 진도에 해당되는 지역은 진앙지 부근에 국한되는 아주 좁은 범위이다. 진앙지 부근에서 확인된 피해는 경주시 동방동에 위치하는 동방주유소에서 담장위의 기왓장이 떨어진 것과(사진 1의 상) 건물벽에 금이간 것 뿐이다(사진 1의 하).

설문조사표로부터 진도의 평가방법은 Jo et al.[3]의 표 1에 의하여 평가하였다. 설문조사표로부터 지역별 진도를 평가한 결과, 같은 시군에 있더라도 지반조건과 건물의 형태에 따라 진도에 큰 차가 나타남을 알 수 있었다. 즉 주택밀집지의 경우가 상대적으로 진도가 높게 나타나는데, 이것은 이러한 지역들의 대부분이 충적층 또는 매립지여서 지진파의 증폭효과가 큰 것을 의미한다. 또한 저층 건물보다는 고층의 아파트와 같은 곳에서 장주기의 지속시간이 긴 진동을 감지한 것으로 나타나며, 이 현상도 역시 지반과 건물의 공진으로 설명할 수 있을 지 모른다. 설문조사 결과 같은 지역에서 진도가 다른 경우는 최빈 진도를 그 지역의 진도로 채택하였다. 이와 같은 방법으로 얻은 진도분포도를 그림 1에 제시한다. 진앙지의 진도는 VI으로 나타나며, 진앙지를 중심으로 대략 반경 150km 부근까지가 진도 V로 나타난다. 이 바깥쪽의 진도 IV는 지진발생시각이 대부분이 취침중이던 새벽이므로 이 진도의 경계는 좀 불확실하다고 볼 수 있다. 그림 1에서 보듯이 진도분포는 경상분지 경계와 비슷한 모양으로 나타난다. 이러한 현상은 경상분지의 퇴적층 속도가 분지 밖의 화강암 혹은 편마암 등의 속도보다 낮기 때문에 분지내에서 발생한 지진의 에너지가 갇혀서 일으키는 강진운동의 일종으로 해석될 수 있다.

3. 파형분석

경주지진의 파형분석을 위하여 기록상태가 양호한 한국자원연구소 지진관측망중 8개 관측소 자료를 사용하였다. 8개 관측소중 6개 관측소는 경상분지내에 위치하고 2개는 경상분지밖에 위치한다. 진원지를 결정하기 위하여 진앙지에서 가까운 6개의 관측소만으로도 coverage가 양호하므로 이 6개 관측소 자료와 김상조[6]의 한반도 지각모델, 그리고 HYPO71(Lee and Lahr[10]) 이용하여 진앙지를 계산했다. 계산결과, 진원지는 북위 35 ° 48.09 ′, 동경 129 ° 14.20 ′, 깊이 14.66 km 이고 발생시간은 1997년 6월 26일 3시 50분 23.19초(한국표준시간)이다. 진앙지의 행정구역은 경주시 동방동 동방역 부근이다. 그림 2에서 경주지진의 진앙지와 지원지 결정에 사용된 6개 관측소 위치를 보여준다. 김상조[6]의 한반도 지각모델은 2개의 불연속면 즉 콘라드면과 모호면은 각각 15 km와 32 km 깊이에 위치하고 각층의 속도는 하부층에서부터 5.95, 6.55 및 5.95 km/sec이다.

경주지진의 파형분석을 위하여 앞에서 계산된 진원지와 김상조[6]의 한반도 지각모델을 이용하여 10개의 가능한 파형에 대하여 진앙거리가 60 km 이내에서만 주시곡선을 계산하였다(그림 3). 그

림 4는 규모가 4.3인 경주지진이 한국자원연구소 관측망에 기록된 8개중 진앙거리가 60 km 이내인 6개 관측소의 수직성분을 가로축을 시간, 세로축을 진앙거리로 나타낸 그림이다. 주시곡선(그림 3)에서 보듯이 콘라드면에서 반사한 P 혹은 S파의 반사파는 진원지의 깊이가 콘라드면 가까이 위치한 관계로 직접파인 Pg 혹은 Sg파와 구분이 어렵다. 콘라드면에서 굴절한 P*파는 진앙거리가 33 km 이상에서는 계산상으로 Pg파 보다 앞에 작은 진폭으로 초동파로 도착해야하나 진앙거리가 50 km 이내인 CHS와 MAK관측소에서는 두파의 도달시간차가 0.05초 미만으로 실제 기록에서는 나타나지 않을 것이다(그림 4). 그러나 진앙거리가 58.3 km인 KMH관측소에서는 P*파가 Pg파보다 0.125초 정도 앞에 도착하는 것으로 계산되는데 그림 4에서 보듯이 초등파인 P*파가 도착한 후 약 0.125초후에 다른파(Pg파?)가 도착하는 것을 볼 수 있다. 만일 이 가정이 맞다면 이 현상은 경상분지내에 콘라드면이 존재할 가능성을 암시한다. 모호면에서 굴절한 Pn파는 진앙거리가 66 km 이상에서 나타나므로 본 영구에서 제외했다. 단지 진앙거리가 200 km 이상인 MUN과 PCH관측소에서는 Pn파가 나타난다. 그림 4에서 보듯이, Pg파와 Sg파는 시간보정이 안된(-0.3초) MKL관측소를 제외하고 계산된 도달시간에 실제 지진기록에서 뚜렷이 구분이 되나, 나머지 파형들은 그림 3의 주시곡선을 근거로 구분하였다. 그림 4에서 Pg파의 주시곡선을 이용하여 한반도 지각의 상부층의 P파의 속도를 계산한 결과 P파의 속도는 약 5.95±0.01 km/sec이다. 그림 5은 MAK 및 MUN 관측소에서 band-pass filter board를 통과한 수직성분 지진기록을 시간영역(상)과 주파수영역(하)에서 비교한 것이다. 이 그림에서 보듯이 영남유괴에 위치한 MUN 관측소의 지진기록이 경상분지내에 위치하는 MAK 관측소 지진기록보다 고주파가 우세함을 볼 수 있다. 이는 경상분지의 퇴적암이 영남육괴에 속하는 화성암 혹은 변성암보다 고주파에 대한 감쇄효과가 크다는 것을 의미하며, 이 현상은 1996년 12월 13일 영월지진에서도 영남육괴에 위치하는 GRE관측소에서도 같은 현상을 보여준다(김우한외[11]).

4. 결 론

1997년 6월 26일 규모 4.3인 경주지진의 진도분포와 파형분석의 연구결과는 아래와 같은 특성을 보인다.

1. 경주지진의 진원지는 북위 35°48.09′, 동경 129°14.20′, 깊이 14.66 km 이고 발생시간은 1997년 6월 26일 3시 50분 23.19초(한국표준시간)이다.
2. 진도분포는 경상분지 경계와 비슷한 모양으로 나타난다. 이러한 현상은 경상분지의 퇴적층 속도가 분지 밖의 화강암 혹은 편마암 등의 속도보다 낮기 때문에 분지내에서 발생한 지진의 에너지가 갇혀서 일으키는 강진운동의 일종으로 해석될 수 있다.
3. 진앙거리가 58.3 km인 KMH관측소에서는 P*파가 Pg파보다 0.125초 정도 앞에 도착하는 것은 경상분지내에 콘라드면이 존재할 가능성을 암시한다.
4. 경상분지 퇴적암이 영남육괴의 화성암 혹은 변성암보다 고주파에 대한 감쇄효과가 크다.

참고문헌

1. Lee, K., (1984), A study on intensity attenuation in the Korean Pensula, Jour. Geol. Soc., 21, 140-146.
2. Kyung, J. B., (1989), The Characterics of the seismisiry of the Korean Peninsula, Ph.D. Thesis, Seoul National Univ., pp327
3. Jo, B. G., Kim, S. K., Kim, W., Kim, J. K., Baag, C. E., (1997), A study on the intesity and energy attenuation of the 13 December 1996 Yeongweol Earthquake, Korea, Jour. Earthquake Eng. Soc. Korea, 1. 69-77.
4. 경제복, 이기화, 한세섭, (1997), 20C 한반도 지진특성과 영월지진(1996년12월 13일)의 피해 및 진도분석, 한국지진공학회 97년도 춘계학술대회 논문집, 77-87.
5. Lee, K., (1979), On the crustal structure of the Korean Peninsular, Jour. Geol. Soc. Korea, 15, 134-150.
6. 김상조, (1983),지진파를 이용한 남한의 지각구조 연구, 한양대학교 석사학위 논문
7. 김성균, (1995), 한반도 지각구조에 관한 연구, 지질학회지, 31, 393-403.
8. Kwon, B. D., and Yang, S. Y. (1985), A study on the crustal structure of the southern Korea Peninsula through gravity analysis, Jour. Inst. Mining Geol., 18, 309-320.
9. 최광선, 1986, 한반도 남부의 중력에 대한 연구, 서울대학교 박사학위 논문
10. Lee, K., and Lahr, J. C., (1976), Hypo71: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, Geol Surv. Open-file Rep., 75-331, 1-116.
11. 김우한,지헌철,전명순,김성균, (1997), 파형분석에의한 1996년 12월 13일 영월지진의 특성, 한국지진공학회 논문집, 1, 19-24.

Figure Captions

Figure 1: Iso-seismal map for the 26 June 1997 Kyeongju Earthquake.

Figure 2: Location map for the epicenter and seismic stations of Korea Institute of Geology, Mining, and Material (KIGAM). The epicenter of the Kyeongju Earthquake is denoted as "E". The 6 seismic stations within the Kyeongsang Basin, which are used to determined the hypocenter, are denoted as solid circle or rectangular. The solid line between GRE and other 9 stations represent the boundary of Kyeongsang Basin.

Figure 3: Travel time curves for 10 possible phases using Kim's model (Kim[6]) and the hypocenter of the Kyeongju Earthquake.

Figure 4: The seismic records (vertical component) of the Kyeongju Earthquake are plotted with respect to the epicental distance and travel time axes.

Figure 5: The seismic records (vertical component) of the Kyeongju Earthquake through the Band-pass filter board in time (up) and frequence (down) domain.

사진설명

사진 1: 경주지진으로 인한 진앙지 부근의 동방주요소의 피해사진. 담벽위의 기왓장이 경주지진으로 인하여 떨어졌고(상), 주유소 건물 내벽에 금이갔다(하).

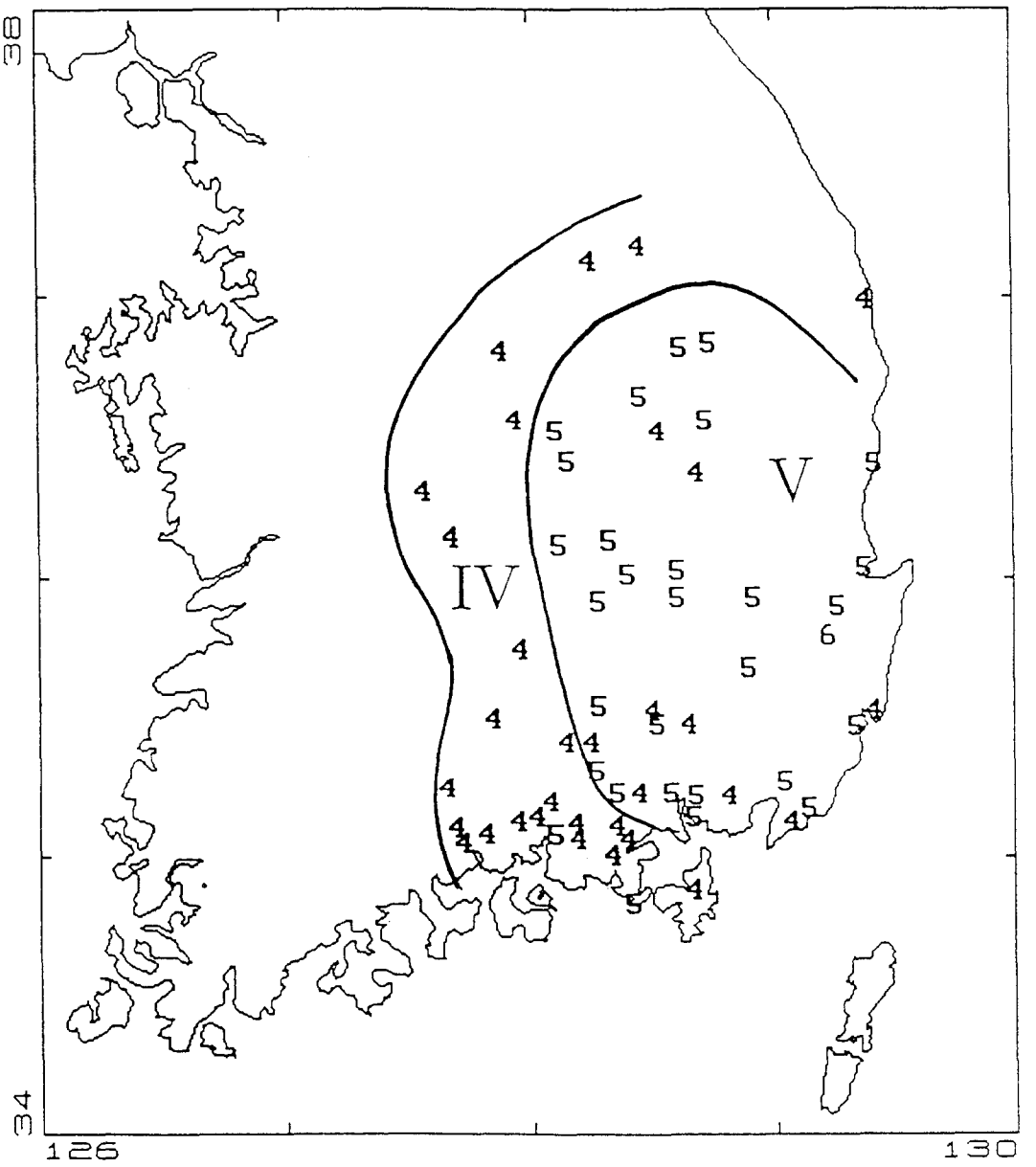


Figure 1

KIGAM Digital Seismic Observation Network

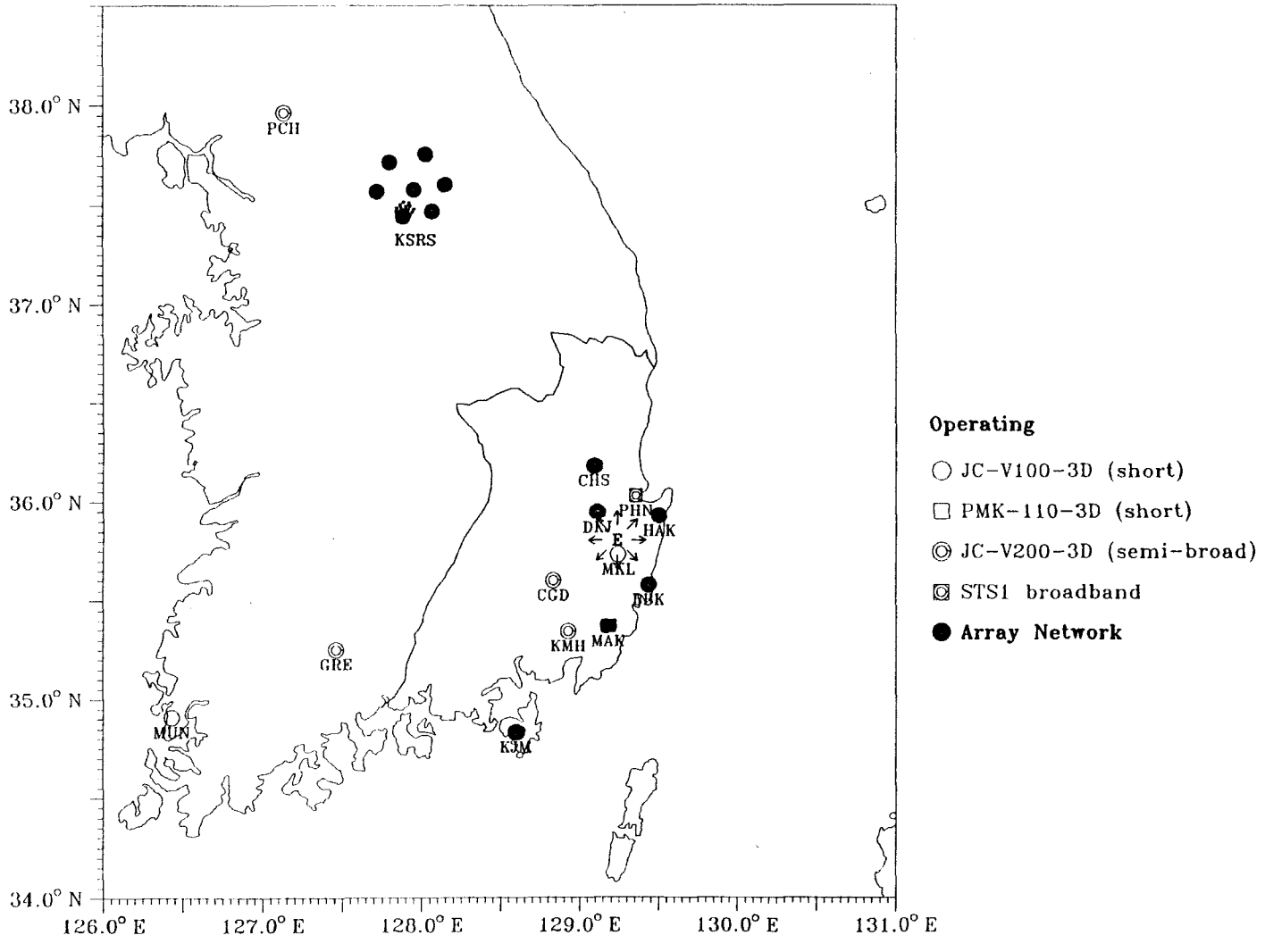


Figure 2

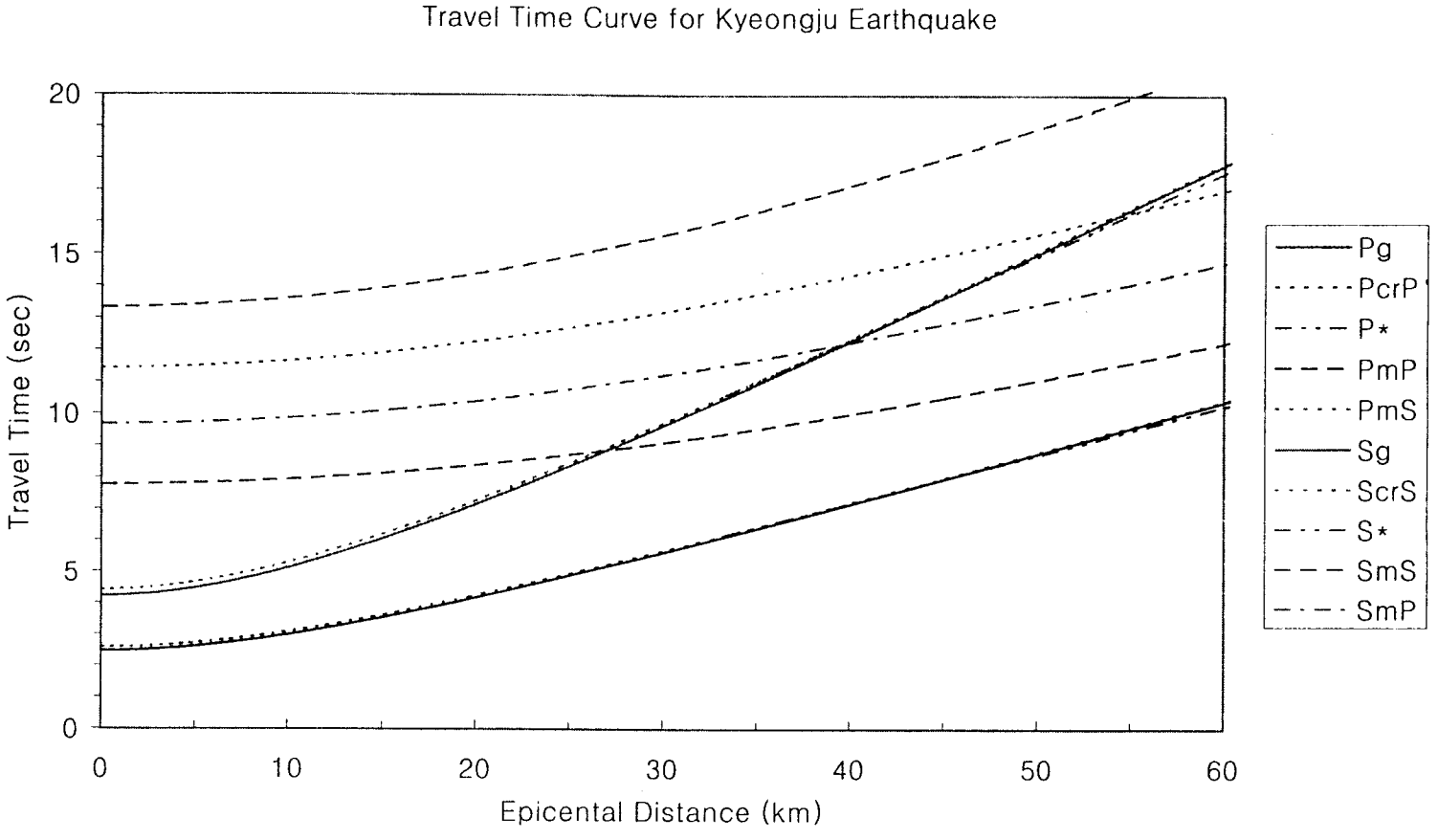

Travel Time Curve for Kyeongju Earthquake
Travel Time (sec)
Epicental Distance (km)
0
5
10
15
20
0
10
20
30
40
50
60
Pg
PcrP
P*
PmP
PmS
Sg
ScrS
S*
SmS
SmP

Figure 3

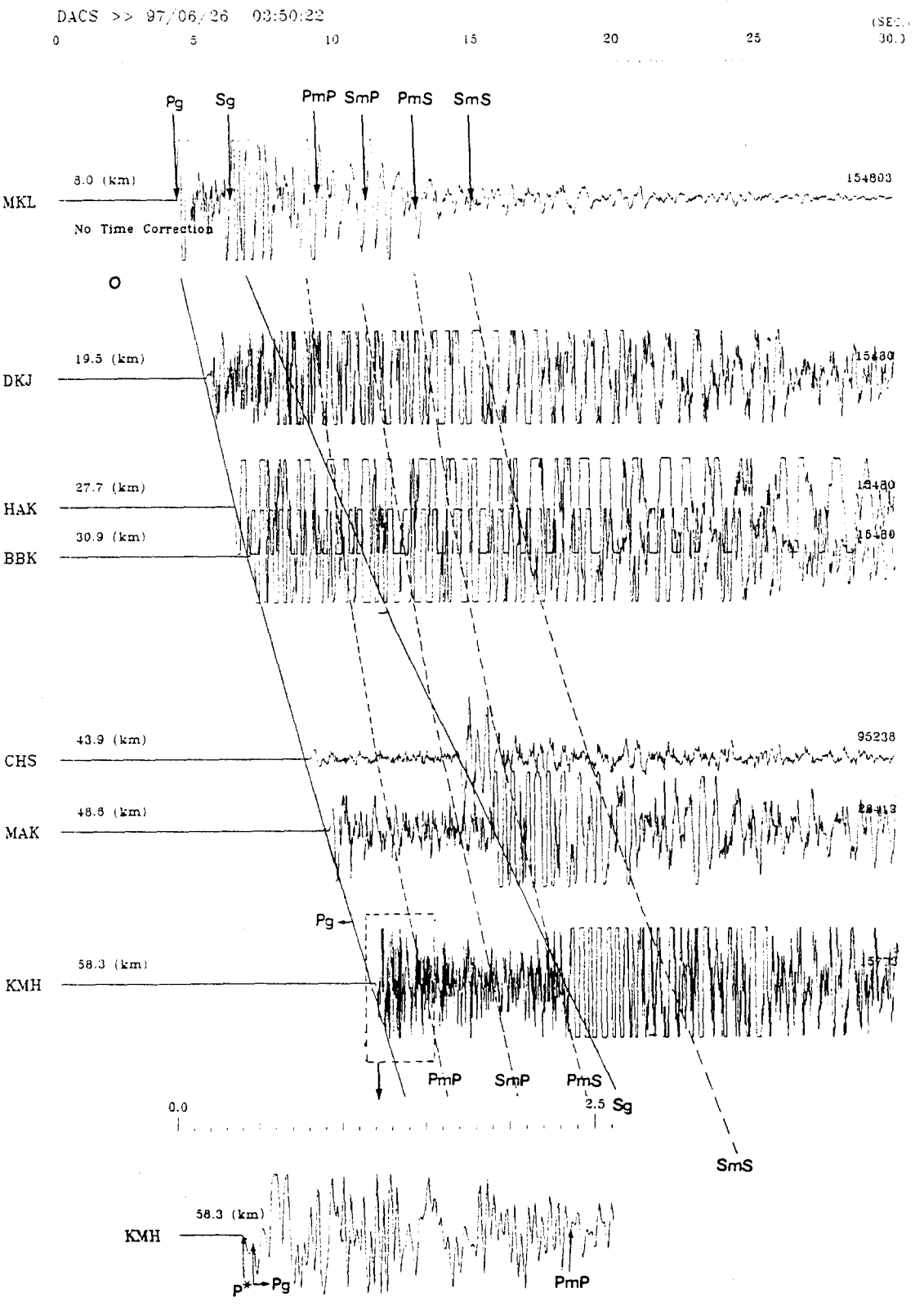
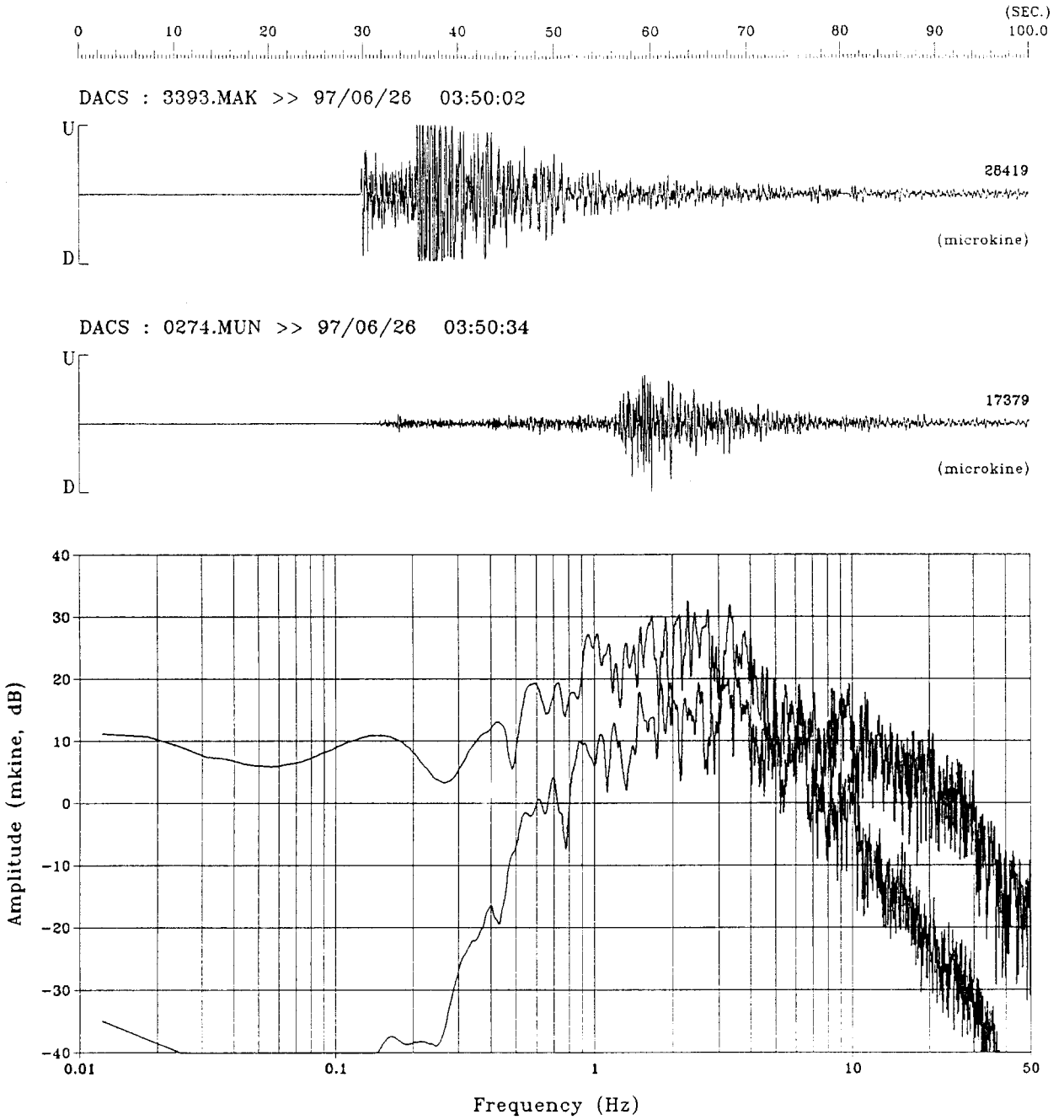

DACS >> 97/06/26 03:50:22
0
5
10
15
20
25
30.0
Pg
Sg
PmP
SmP
PmS
SmS
8.0 (km)
MKL
No Time Correction
154803
19.5 (km)
DKJ
27.7 (km)
HAK
30.9 (km)
BBK
43.9 (km)
CHS
95238
48.8 (km)
MAK
Pg
58.3 (km)
KMH
PmP
SmP
PmS
0.0
2.5 Sg
SmS
58.3 (km)
KMH
P*
Pg
PmP

Figure 4


(SEC.)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100.0
DACS : 3393.MAK >> 97/06/26 03:50:02
U
D
28419
(microkine)
DACS : 0274.MUN >> 97/06/26 03:50:34
U
D
17379
(microkine)
Amplitude (mkine, dB)
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
0.01
0.1
1
10
50
Frequency (Hz)

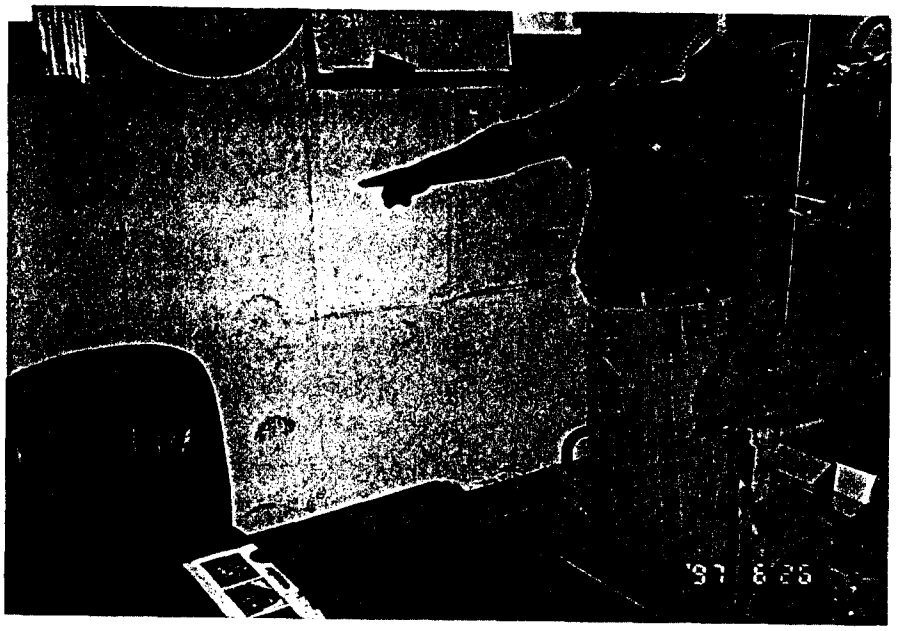



Figure 5