

과형분석에의한 영월지진의 특성

Characteristics of the Yeongwol Earthquake based on the phase analysis

김 우 한* 지 현 철** 진 명 순** 김 성 균***
Kim, Woohan Chi, Heon Chel Jun, Myung-Soon Kim, Sung Kyun

ABSTRACT

The seismic records of the main shock and two after shocks of the Yeongwol Earthquake are studied based on the phase analysis. The travel time curves with 12 different possible phases are constructed to analysis the phases of the records, which were provided by KIGAM seismic network. The results of phase analysis show that 1) The main shock ($M_s=4.5$) shows clear Pn phase but two after shocks ($M_s=4$ and $M_s=2.5$) do not show Pn phase. 2) The Pg or PmP phases look as first arrival phase in the after shock records whose epicentral distance is smaller or larger than 150 km. 3) It is very difficult to identify the phases related to the Conrad discontinuity even if the Conrad discontinuity exists. 4) The record of GRE station located outside of the Kyeongsan Basin shows different arrival time of Pn phase, P-S duration time and frequency compared with those of the other stations located within the Kyeongsan Basin.

1. 서론

1)

1996년 12월 13일 13시 10분 16.91초에 발생한 규모 4.5의 영월 지진은 한반도에서 홍성지진이 발생한 후 가장 규모가 큰 지진이다. 이 지진은 본진과 몇 개의 여진을 수반하였다. 이 지진으로 인하여 작은 피해가 발생했고, 한반도 전역에서 미세하게 느낄 수 있는 규모였다. 본 연구에서는 영월지진의 특성을 연구하기 위하여 본진과 두 여진에 대하여 한국자원연구소 지진관측망 자료의 과형분석을 하였다. 과형분석을 하기 위해서 김상조의 (1983) 한반도 지각구조를 모델로하여 12개의 가능한 과형에 대하여 주시곡선을 계산하였다.

지금까지 한반도의 지각 및 상부맨틀의 구조는 주로 지진과 중력자료에 의해 연구되어 왔다. 지진자료에 의한 연구결과로서, 쌍계사지진의 주시자료를 이용하여 개략적인 지각구조를 연구했으며 (Lee, 1979), 김상조 (1983)는 쌍계사진과 홍성지진 자료를 해석하여 지각구조를 포함한 상부맨틀까지 좀더 세분된 지진파 속도구조를 연구했다. 또한 김성균의

*경상대학교 교수, 정회원

**한국자원연구소 연구원, 정회원

***전남대학교 교수, 정회원

(1985)와 Kim and Lee (1996)는 한반도 남부와 중부지역에서 인공발파에 의한 주시자료를 이용하여 지각의 속도구조를 연구했고, 김성균 (1995)은 중력자료를 이용하여 기본 모델을 만들어 자연 및 인공지진의 주시자료를 반복법 및 표면과 분산해석에 의하여 지각의 속도를 결정하였다. 중력자료해석에 대한 연구결과 (Kim, 1979; Kwon and Yang, 1985; 최광선, 1986)에서는 모호면의 평균심도와 기복이 등치선 형태로 제시되어 왔다.

영월지진의 진원지는 도달범위와 동시성을 고려하여 기상청 지진관측망의 9 개 관측망 자료로 HYPO-77 프로그램을 이용하여 계산했다. 계산결과 진원지는 $37^{\circ} 15.11'N$, $128^{\circ} 42.68'E$ 이며 깊이는 7.68 km 이다. 한국자원연구소 지진관측망에서 제공한 본진과(규모=4.5) 두 여진(규모=4.0과 2.5) 자료의 파형분석 결과 본진에서 Pn, PmP와 Pg 파형과 여진에서 PmP와 Pg 파형은 비교적 구분이 가능하나 나머지 파형들은 구분이 어려워 주시곡선의 자료를 이용하여 구분하였다. 특히 Pn 파형의 경우 본진에서는 뚜렷이 기록되었지만 두 여진에서는 규모 4.0 여진의 거체관측소를 (KJM) 제외하고는 기록되지 않았다. 영월지진의 본진 및 두 여진의 구레 관측소 기록과 나머지 관측소 기록을 비교할 때 초동 파형의 도달시간, P-S 파형의 도달 시간차, 주파수 등에서 차이가 있다. 이는 자원연구소 지진관측망의 10개 관측소 중 전남 구례 관측소만 (GRE) 경상분지밖에 위치하고 나머지 관측소들은 경상분지내에 위치하는데 관계가 있는 것으로 생각된다

2. 파형의 분석

영월지진의 본진과 두 여진의 파형분석을 위하여 디지털 기록으로 상태가 양호한 한국자원연구소 지진관측망 자료를 사용하였다. 본진의 진원지와 발생시간을 계산하기 위하여 coverage가 양호하고 같은 시간을 사용하는 기상청 자료만 사용하였고 기상청 자료와 시간대가 다를 수 있는 한국자원연구소 지진관측망자료 및 그의 자료들은 배제하였다. 기상청 자료중 비교적 초동 도착파의 판독이 가능한 서울, 서산, 대전, 광주, 춘천, 강릉, 울진, 부산, 그리고 대구 관측소의 수직성분 자료로 HYPO-77을 이용하여 계산된 진원지는 $37^{\circ} 15.11'N$, $128^{\circ} 42.68'E$ 이며 깊이는 7.68 km 이며, 발생시간은 1996년 12월 13일 13시 16.91초 (한국시간)이다. 그림 1은 진원지 계산에 사용된 관측소의 위치 및 영월지진의 수직성분 기록을 보여준다. 두 여진은 초동 도착파의 판독이 용이한 관측소가 적어서 진원지 결정에 많은 오차가 발생할 우려가 있어서 본 연구에서는 두 여진의 진원지는 본진과 같은 진원지로 가정하였다. 불행히도 기상청 자료는 서울을 제외하고는 모두 아날로그로 기록되고, 초동파의 up 혹은 down 방향이 불확실하며, 그리고 수직성분만 있어서 진원지 결정의 다른 목적의 연구자료로는 많은 어려움이 있을 것으로 생각된다.

영월지진의 파형분석을 위하여 앞에서 계산된 진원지와 발생시간, 그리고 김상조 (1983)의 한반도 지각모델을 이용하여 12개의 가능한 파형에 관하여 주시곡선을 계산하였다. 그림 2에서 Pg는 P파의 직접파, PcrP는 Conrad면에서 반사한 P파, PcrS는 Conrad면에서 P파가 반사한 S파, Pd는 Conrad면에서 굴절한 P파, PmP는 모호면에서 반사한 P파, PmS는 P파가 모호면에서 반사한 S파, Pn은 모호면에서 굴절한 P파이며 S파의 파형의 명칭도 P파와 동일하다. 주시곡선(그림 2)에서 보듯이 많은 파형들이 거의 같은 시간대에 도달하기 때문에 실제 지진기록에서 구분하기가 어려우며, 특히 Conrad면에 관계되

는 파형들은 실제 Conrad면이 존재하더라도 진앙거리가 50 km 이내의 관측소를 제외하고는 지진기록에서 구분하기가 매우 어려울 것으로 판단된다.

그림 3은 지진 규모가 4.5인 영월지진 본진이 한국자원연구소 지진관측망에 기록된 8개 관측소의 기록을 가로축을 시간, 세로축을 진앙거리로 나타낸 것이다. 시간보정이 안된 경남 김해 관측소 (KMH) 기록은 본 연구에서 제외했다. 본 연구에 사용된 8개 관측소중 전남 구례 관측소만 (GRE) 경상분지밖에 위치하며 나머지 관측소는 모두 경상분지 안에 위치한다. 그림 2와 3에서 보듯이 Pn 파형은 진앙거리가 149.7 km 이상인 경북 영천군 덕정리 관측소(DKJ)부터 초동파로서 관측되며 직선의 기울기는 약 1/7.95이며, 이는 모호면에 접한 상부 맨틀의 P파의 속도가 약 7.65 km/sec 임을 의미한다. 이 결과는 본 연구에 사용한 김상조 (1983) 모델의 수치와 일치한다. 진앙거리가 150 km 미만에서는 Pg 파형이 초동파로 도착하며 진폭은 크게 나타난다. 모호면에서 반사한 PmP는 진앙거리가 175.8 km 인 경북 경주시 명계리 관측소(MKL) 이상의 진앙거리에서 Pn과 다음으로 관측되며 그림 3에서 보듯이 진앙거리가 증가함에 따라 진폭이 크진다. PcrS파, PmS파, Sn파, 그리고 Sd파는 실제 구분이 어려워 그림 2를 기초로 도착 예정 시간을 점선 혹은 실선으로 나타내었다. Sg파와 SmS파의 경우, 그림 2의 주시곡선과 그림 3에서 파형 구분을 기초로 하여 표시했다. Sg파는 진앙거리가 149.7 km 미만에서는 SmS파보다 먼저 도착하며, 큰 진폭을 보여준다.

그러나 KJM 관측소 기록에서 보듯이 SmS 파형의 진폭도 진앙거리가 증가하며 따라 크게 나타날 수 있다. 그림 3에서 S파에 관한 파형들이 P파에 관한 파형들과 같이 그림 2의 주시곡선과 일치하지 못하는 것은 속도의 수평적 변화에 기인하는 것으로 보인다. 유일하게 경상분지밖에 위치한 구례 관측소에서는(GRE) 몇가지 특징을 보여준다. 구례 관측소는 첫째 Pn파가 그림 2에 의한 주시곡선의 도착 예정 시간보다 늦게 도착하지만 PmP파의 도착시간은 다른 관측소와 비슷하다, 둘째 Pn파와 PmP파의 도착시간 차이가 다른 관측소보다 짧고, 셋째 Pn파와 Sg 혹은 SmS파의 도착시간차가 다른 관측소보다 짧으며, 넷째 구례 관측소는 다른 관측소보다 고주파가 기록된다 (그림 3과 4). 이런 현상들에 대하여 여러가지 해석이 가능하지만, 그 중에 하나는 첫째와 둘째 특성은 모호면의 깊이가 서쪽으로 갈수록 깊어질 경우 GRE 관측소가 다른 관측소보다 서쪽에 위치한 관계로 이러한 특성을 보일 수 있을 것이다. 셋째 특성은 경상분지 밖에서 P파에대한 S파의 속도비가 경상분지 안보다 클 가능성이 있다. 넷째 특성은 경상분지의 퇴적암이 고주파대한 감쇄효과가 클 가능성이 있다.

그림 5와 6은 1996년 12월 13일 13시 27분 06.95초와 12월 14일 15시 17분 52.44초에 발생한 여진이며 지진규모는 각각 4.0과 2.5이다. 두 그림에서 보듯이 Pn파형은 규모 4.0인 여진의 김해관측소(KJM)을 제외하고는 기록되지 않았다. 그림 5에서 Pg, PmP, Sg 및 SmS 파형들은 그림 3의 본진의 기록과 거의 일치하며, Sg파의 진폭은 다른 파형의 진폭에 비하여 크고, 또 진앙거리가 269.5 km인 김해 관측소에서는 SmS 파형의 진폭이 크게 나타난다. 그림 6에서 Pg와 PmP 파형들은 본진의 이 파형들과 약간의 차이과 나며, Sg와 SmS 파형들은 본진의 이 파형들과 차이가 더 크진 것으로 보인다. 이러한 현상은 이 여진의 진앙지가 본진 및 그림 5의 여진의 진앙지가 약간의 차이가 나거나, 혹은 지진규모가 상대적으로 작기 때문에 나타나는 현상으로 추측된다. 그림 5와 6의 두 여진에서도 본진과 마찬가지로 구례 관측소(GRE)에서는 본진에서 언급한 셋째와 넷째 특성을 보여주며, 그 원인도 본진과 같은 것으로 생각된다.

3. 결 론

- 영월지진의 본진과 두 여진을 파형분석한 결과 아래와 같은 특성을 보인다.
1. 본진의 Pn 파형을 분석한 결과 모호면에서 P파의 속도는 7.95 km/sec 이다.
 2. 진앙거리가 150 km 미만에서는 Pg 파형이 초동파로 도착하고 진앙거리가 150 km 이상에서는 Pn 파형이 초동파로 도착하나 지진규모가 4.0 이하에서는 Pn 파형이 기록되지 않고 PmP 파형이 초동파로 기록되기도 한다.
 3. 한반도에서 지각의 두께는 서쪽으로 갈수록 증가할 가능성이 있다.
 4. 경상분지 안과 밖의 지역에서 P파 속도에 대한 S파의 속도비가 다를 것이다.
 5. 경상분지의 퇴적암은 고주파의 감쇄효과가 다른 암석에 비하여 클 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국자원연구소 방제연구비의 지원을 받아 수행되었다.

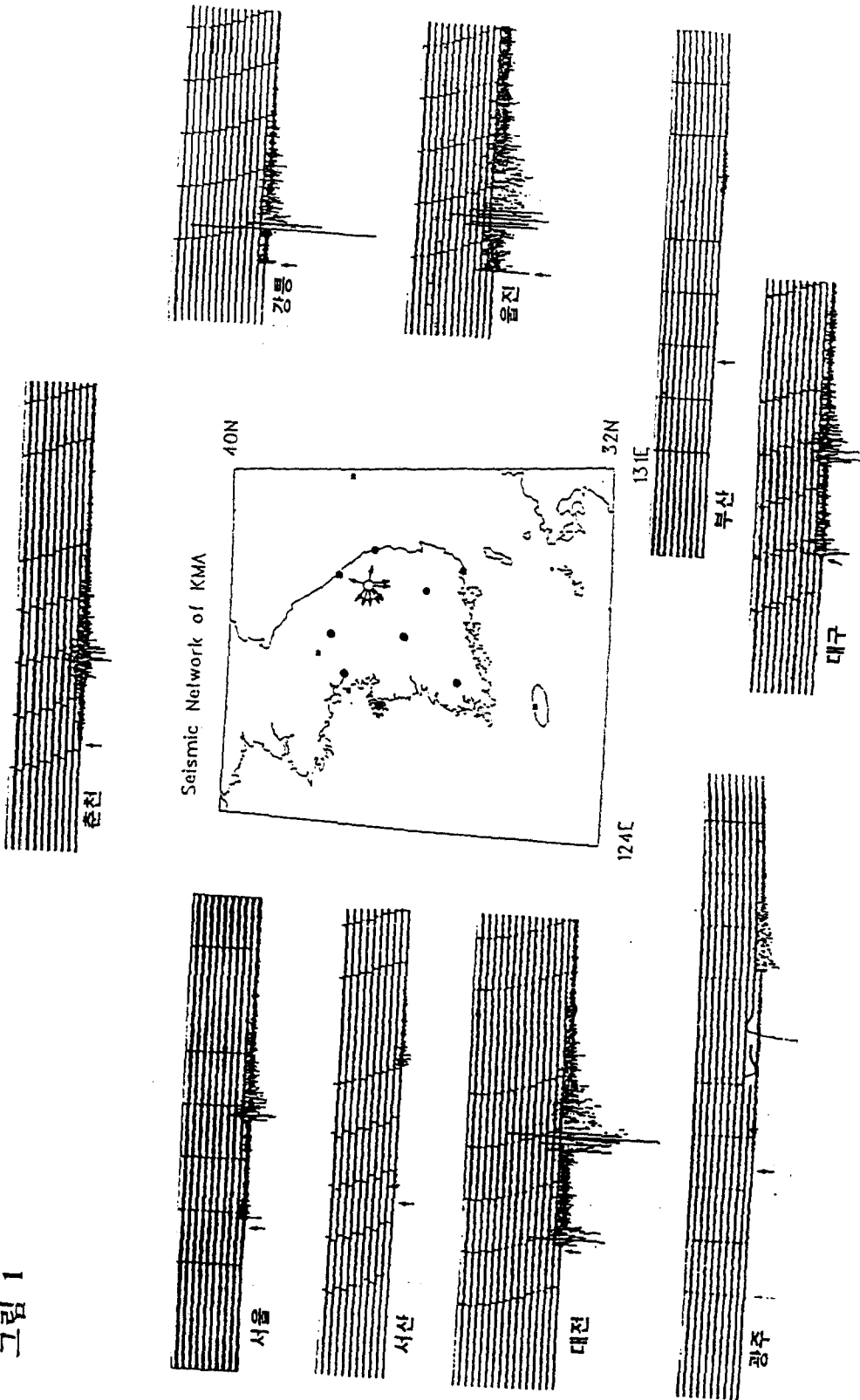
참고문헌

- 김상조, 1983, 지진파를 이용한 남한의 지각구조 연구, 한양대학교 석사학위 논문
김성균, 1995, 한반도 지각구조에 관한 연구, 지질학회지, 31, 393-403
최광선, 1986, 한반도 남부의 중력에 대한 연구, 서울대학교 박사학위 논문
S. K. kim, 1979, Geodetic and geophysical analysis of gravity data in Korea, Mining Geol., 12, 17-28.
S. G. kim, and S. K. Lee, 1996, Seismic velocity structure in the central Korean Peninsula using the artificial explosions, SAFE, 2, 4-17.
B. D. Kwon, and S. Y. Yang, 1985, A study on the crustal structure of the southern Korea Peninsula through gravity analysis, Jour. Inst. Mining Geol., 18, 309-320

그림설명

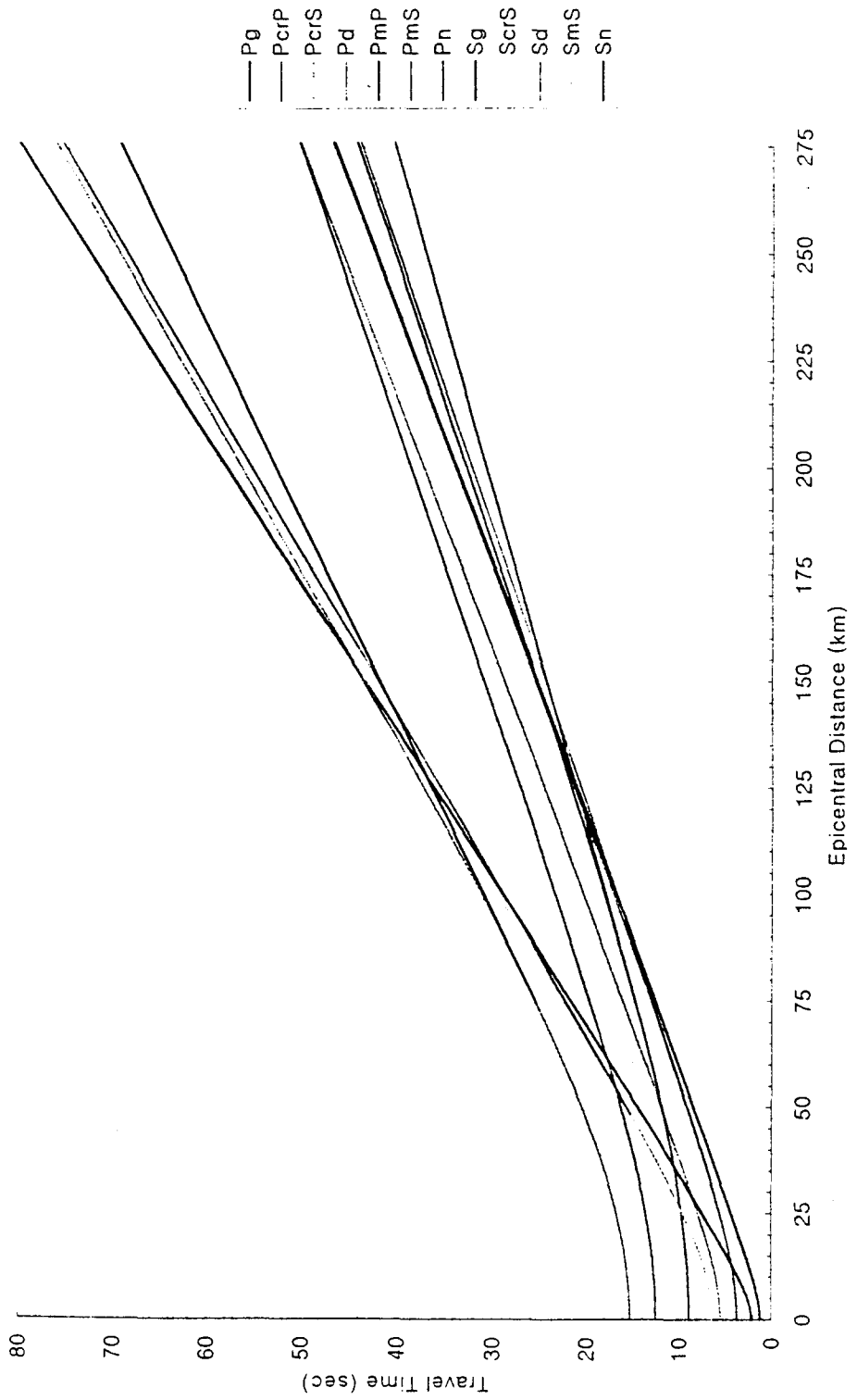
- 그림 1 : 진원지와 발생시간 계산에 사용된 기상청 지진 관측소 위치와 수직성분 지진 기록
그림 2 : 김상조 (1983) 지각 모델과 영월지진 (깊이=7.68 km)에 대한 12개 가능한 파형들에 대한 주시곡선. Pg는 P파의 직접파, PcrP는 Conrad면에서 반사한 P파, PcrS는 Conrad면에서 P파가 반사한 S파, Pd는 Conrad면에서 굴절한 P파, PmP는 모호면에서 반사한 P파, PmS는 P파가 모호면에서 반사한 S파, Pn은 모호면에서 굴절한 P파이며 S파의 파형의 명칭도 P파와 동일하다.
그림 3 : 지진규모 4.5인 영월지진 본진이 한국자원연구소 지진 관측망에 기록된 8개 관측소 기록을 가로축을 시간, 세로축을 진앙거리로 표시한 수직성분 지진기록.
그림 4 : MAK, GRE 및 KJM 관측소에서 Band-pass filter board (3.0-12.5 Hz)를 통한 time domain 과 frequency domain에서 본진의 지진기록.
그림 5 : 그림 3과 같은 방법으로 표시한 지진규모 4.0인 여진의 지진기록
그림 6 : 그림 3과 같은 방법으로 표시한 지진규모 2.5인 여진의 지진기록

그림 1



Travel Time Curves for the Yeongwol Earthquake

그림 2



0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60.0

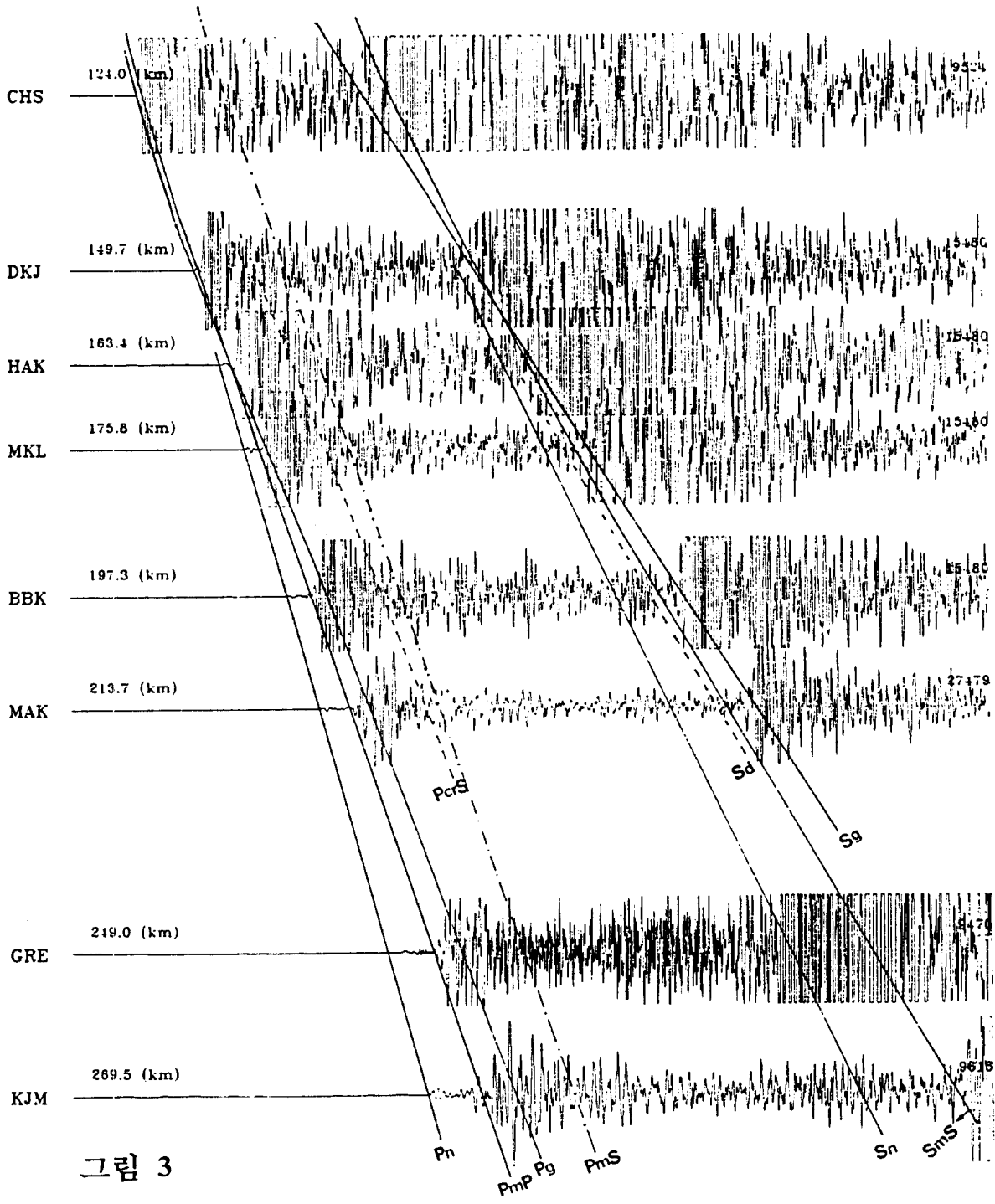


그림 3

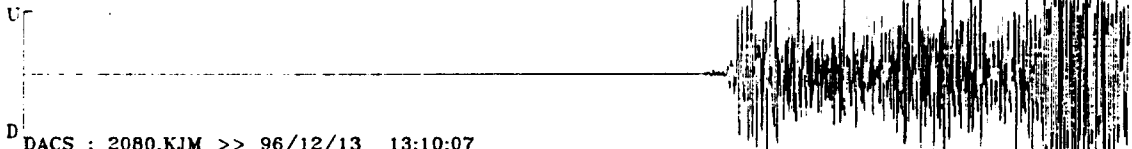
Waveform through band-pass filter board (3.0 - 12.5Hz)

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60.0 (SEC.)

DACS : 2989.MAK >> 96/12/13 13:10:20



DACS : 1000.GRE >> 96/12/13 13:10:06



DACS : 2080.KJM >> 96/12/13 13:10:07

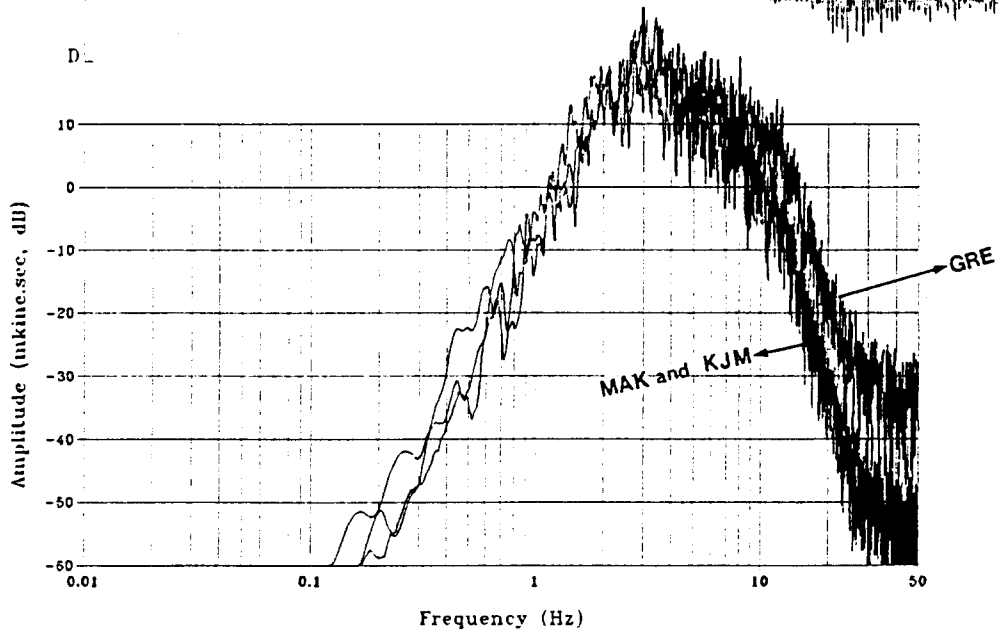
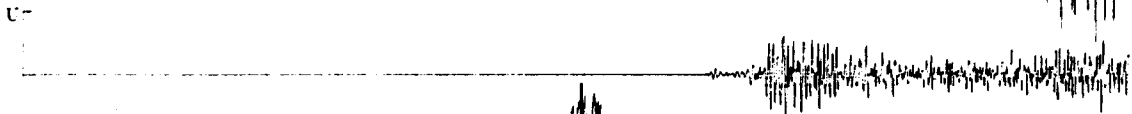


그림 4

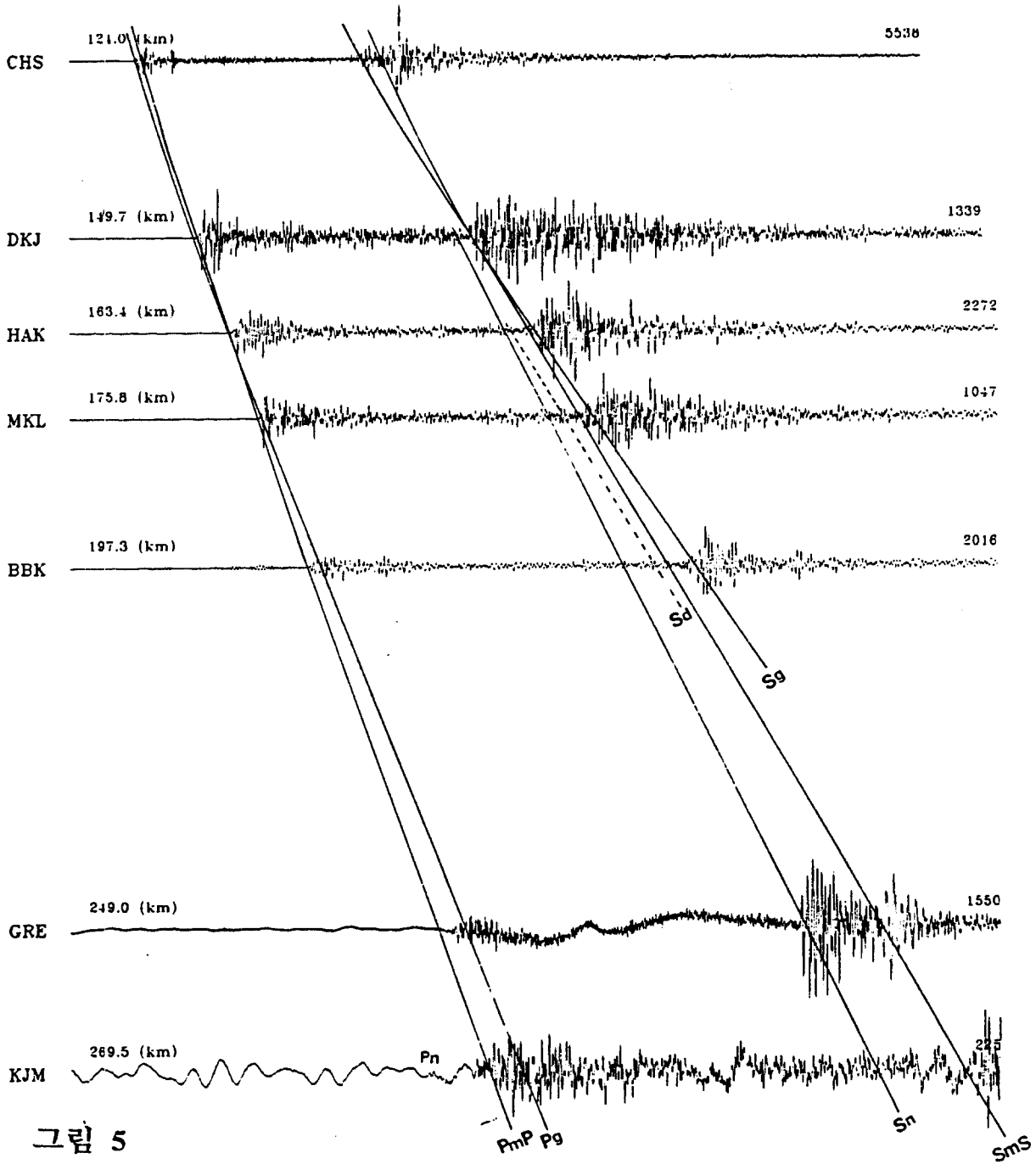


그림 5

DACS >> 96/12/14 15:18:09

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 (SEC) 59.0

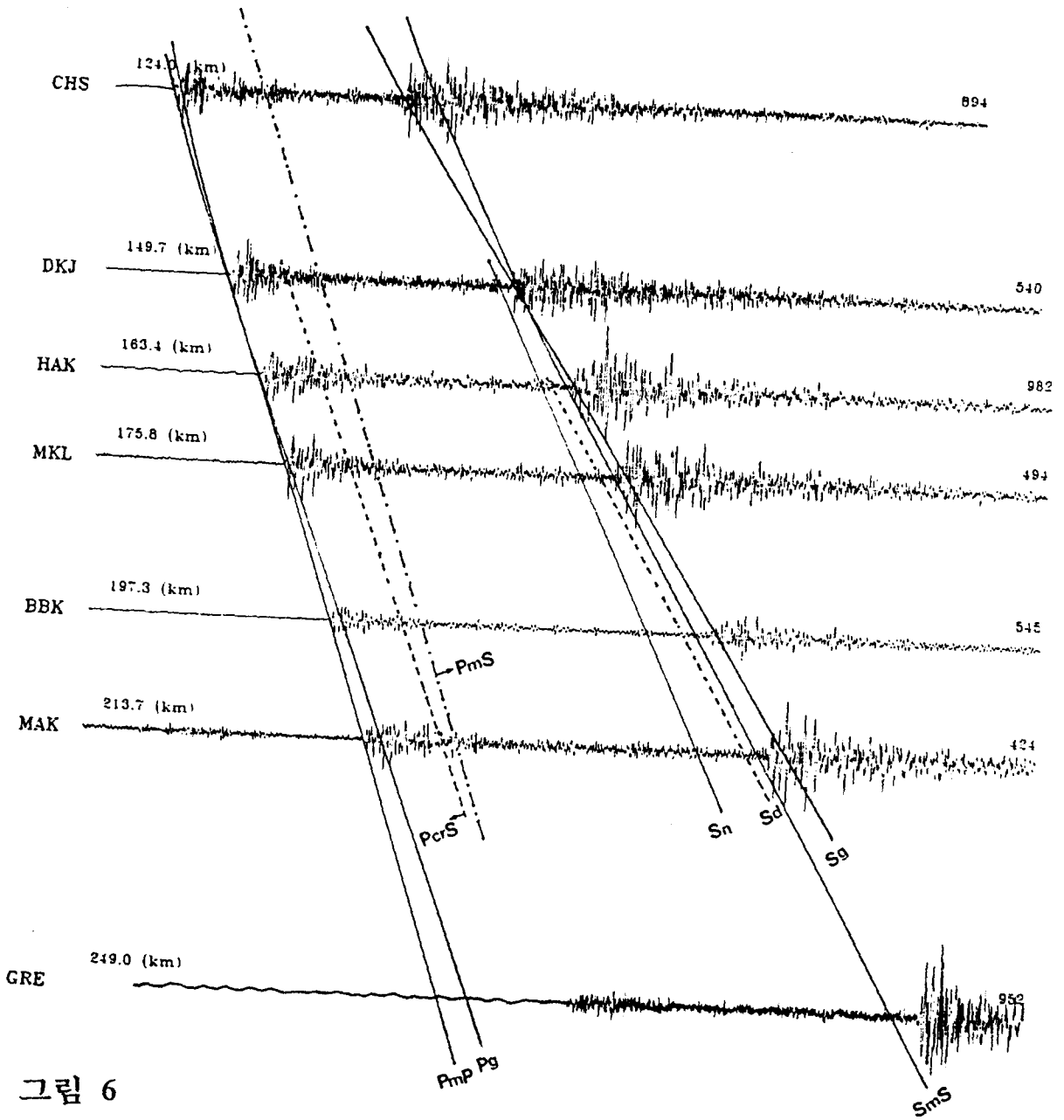


그림 6