

지반배경소음진동스펙트르비법관측에 의한 지표층두께평가

정준혁, 문성철, 정송수

지반배경소음진동관측에 의하여 지하지층구조를 구하는것은 지금까지 지진공학적인
구에서 손쉽고 경제적인 방법의 하나로 많이 리용하여왔다. 이 지반배경소음진동은 주로
파도나 계절적변화와 같은 자연적기원을 둔 낮은 주파수성분(약 0.1Hz)과 인간활동에 기
원을 둔 주파수가 1Hz이상인 고주파소음성분들로 구성되어있다. 이러한 배경진동소음은
각이한 소음원천들로부터의 거리뿐아니라 관측지역의 지반조건에 따라 일정한 특성을 가
진다. 즉 지진공학적으로 한 지점에서 관측된 배경소음진동스펙트르는 원천효과와 관측
지점지반효과들의 중첩으로 볼수 있다.

지진이 일어났을 때 땅결면의 매 지점들에서의 서로 다른 지층구조는 서로 다른 진
동증폭효과를 일으키는것으로 하여 지진공학에서 지금까지 주의를 돌려왔다. 이 지반진
동증폭효과 즉 위치응답을 평가하기 위하여 세계적으로 알려지고 많이 적용되고있는것은
한 지점에서의 배경소음진동의 수평 대 수직스펙트르비(H/V)법이다.[1, 3, 5]

소음진동의 위치응답이 표층지반의 구조와 지반공학적파라미터들(주로 지층두께와
가로파속도)과 밀접히 련관되어있는것으로 하여 이 방법은 지표층두께를 구하는데도 많이
적용된다.[1, 3]

론문에서는 H/V법과 인공지진결면파기술을 적용하여 건설부지의 지표층두께를 평가
하기 위한 실천적인 방법을 고찰하였다.

1. 지반배경소음진동관측

지반배경소음진동은 진폭이 수 μm 정도로서 매우 작고 주파수가 낮은것으로 하여 감
도높은 지진수감부와 관측기구에 의해 잴수 있다.

우리는 이러한 조건에 만족되며 야외관측에 편리한 휴대용수자식지진기록장치를 제
작하여 리용하였다. 이 장치는 내장된 전원에 의해 장기간 동작하는 공업용ARM조종컴퓨
터에 의한 간편한 화면접촉식대면, 자료분석, 보관기능들과 4통로 24bit A/D변환기능을 갖
춘 기구이다.

휴대용수자식지진기록장치구성은 그림 1과 같다.

기구의 프로그램은 다음과 같은 기능을 수행한다.

- ① 24bit지진수자신호변환기와의 통신을 진행한다.
- ② 지진신호의 실시간현시를 진행한다.
- ③ FFT해석을 진행하여 지진신호의 스펙트르특성을 해석한다.
- ④ 지진신호의 기록을 진행한다.
- ⑤ 증폭도설정을 비롯한 A/D변환을 조종한다.

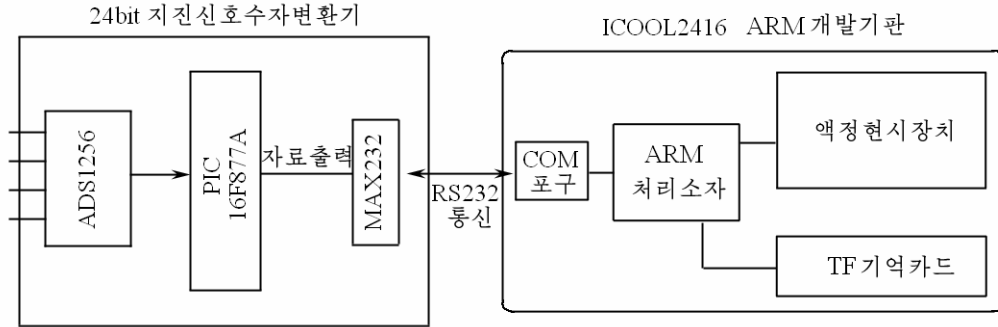


그림 1. 휴대용수자식지진기록장치구성

휴대용수자식지진기록장치를 리용하여 H/V관측을 다음과 같이 진행하였다. 먼저 수평성분지진수감부와 수직성분지진수감부를 지면위에 설치한다. 이때 수평성분지진계의 흔들이가 처음에는 북남(NS)방향으로 놓이도록 설치한 상태에서 수평성분과 수직성분지반소음진동들을 10min간 동시적으로 기록하였다.

기록장치의 화면에서 매 통로별 신호의 정상입력상태를 확인하며 기록기간에 주위에서의 인위적인 잡음의 영향이 나타나지 않도록 한다. 다음에는 수평성분지진수감부의 흔들이가 방향이 동서(EW)방향으로 되도록 설치한 후 같은 방식으로 파형자료를 기록한다. 이러한 지진기록장치를 리용하여 《A》지역에서 얻은 H/V기록파형은 그림 2와 같다.

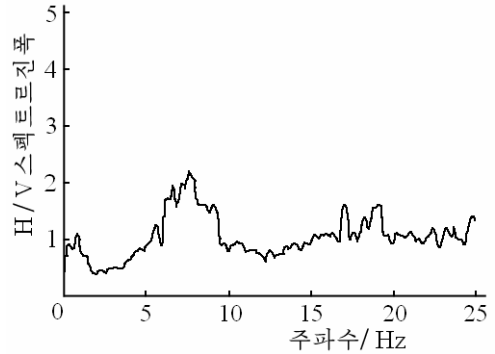


그림 2. H/V기록파형

2. 지표층두께평가방법

기록된 매 성분파형들로부터 각각 5분자료토막들을 선택하여 평균2제곱진폭값에 의해 규격화한다.

매 파형들의 푸리에변환에 의해 얻은 그 출력스펙트르들을 이동창문평활화한다. 이때 평활창문너비는 0.2Hz로 하였다. 한 위치에서 기록된 북남 및 동서 두 수평성분기록들의 평활화된 출력스펙트르들의 합($P_{NS} + P_{EW}$)을 수직스펙트르들의 평균값 \bar{P}_V 로 나누어 H/V스펙트르 $S_{H/V}$ 를 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$S_{H/V}(\omega) = \sqrt{\frac{P_{NS}(\omega) + P_{EW}(\omega)}{\bar{P}_V(\omega)}} \quad (1)$$

그림 3에서 볼수 있는바와 같이 기록파형은 뚜렷한 하나의 봉우리를 나타낸다. 이 봉우리에 대응되는 주파수를 주어진 지점에서 지반의 공진주파수로 취하였다.

H/V스펙트르봉우리는 주어진 지점의 위치응답함수를 표시한다.[3, 5] 공진주파수 f_r 가 얻어졌을 때 표층지반의 두께 m 은 지표층에서의 가로파속도 v_s 와 관련되며 다음의 식으로 대략적으로 계산할수 있다.[3]

$$m = \left[\frac{v_s(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{-1/(1-x)} - 1 \quad (2)$$

식 (2)에서 x 는 지반에서 깊이에 따르는 가로파속도의 증가를 나타내는 파라미터이며 $0 \leq x \leq 1$ 이다. 기반암에서의 가로파속도는 지반에서보다 훨씬 높다고 가정한다. 그러나 이 식은 검층법과 같은 방법들에 의해 지반층들에서의 가로파속도가 알려진 경우에 적용할수 있다는 제한성을 가지고있다.

따라서 H/V스펙트르봉우리주파수를 리용하여 표층지반의 두께를 평가하는데서 해당 지역에서의 많은 자료로부터 통계적으로 얻은 다음의 경험식[3]을 적용하였다.

$$m = 96f_r^{-1.388} \quad (3)$$

우리 나라 지반조건에서 식 (3)의 적용결과는 계산된 지표층두께가 시추자료와 잘 맞는다는것을 보여주었다. 《스》지역의 시추자료가 주어진 지점들에서 H/V법으로 평가된 지층두께는 표와 같다.

표. 시추자료가 주어진 지점들에서 H/V법으로 평가된 지층두께

지점 번호	H/V최대봉우리주파수/Hz	H/V최대봉우리 진폭	계산지표층 두께/m	시추로 얻은 지표층두께/m
1	7.21	1.3	6.2	6.5
3	7.66	2.8	5.7	5.9
10	7.96	2.7	5.4	4
11	6.85	1.8	6.6	7
12	10.1	1.8	3.9	4.4
19	7.53	1.6	5.8	6.2
29	5.4	1.5	9.2	3.2

표에서 얻어진 지표층두께값들은 지점 29의 경우를 제외하고 시추자료들과 잘 일치하며 최대편차는 0.5m이다.

지점 29에서 H/V법관측으로 얻어낸 지표층두께(9.2m)와 이 지역에서의 시추자료(3.2m)와의

큰 차이를 설명하기 위하여 이 지점에서 결면파속도구조를 효과적으로 밝혀낼수 있는 다통로인공지진결면파방법관측[2, 4]을 진행하였다.

실험은 H/V법관측지점을 가로질러 배치된 12통로수진기배렬을 리용하여 인공적으로 려기시킨 지진결면파의 위상속도분산영상을 얻어낸다. 인공지진결면파에 대한 배렬관측기록파형은 그림 3과 같다. 이 기록파형은 2m 간격으로 직선배렬된 12개의 10Hz수직방향수진기들에서 기록된 충격파형이다. 인공지진

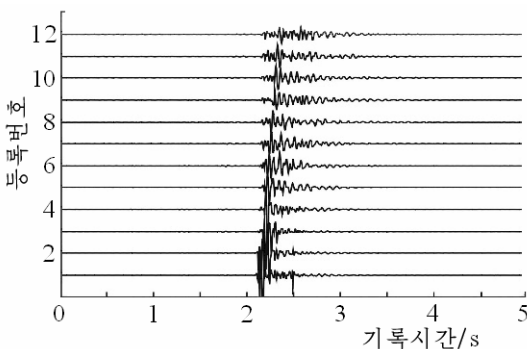


그림 3. 인공지진결면파에 대한 배렬관측기록파형

원천과 가장 가까운 첫 수진기사이의 거리는 5m이며 충격러기에 5kg짜리 망치를 리용하였다.

우와 같은 자료로부터 성검신호재구성기술에 기초하여 얻어낸 고분해능레이계면파의 위상속도분산영상은 그림 4와 같다. 그림에서 뚜렷한 기저모드위상속도분산특성은 이 지점의 지표층에서 특별히 낮은 레일레이계면파의 전파속도분포를 보여준다. 그 위상속도의 평균값은 107m/s이며 이에 기초하여 이 지점의 지반에서 결보기가로파속도는 약 116.3m/s로 평가된다. 이러한 낮은 가로파속도는 이 지점에서의 퇴적지반이 주로 밀도와 강도가 매우 낮은 부사층인것과 관계된다.

우리는 이 가로파속도값을 리용하여 식 (2)로부터 지층공진주파수에 대응하는 지층두께를 계산하였다. 이때 지층을 단일한 부사층으로 보고 깊이에 따르는 속도변화인수 x 를 령으로 놓았다.

계산결과 얻어진 지층두께는 5.38m이며 이 값을 선행연구[3]에서 지적된것처럼 이 식으로 계산된 지층두께값이 시추자료와 일치성이 보다 좋은 H/V법으로 구한 두께값보다 약 40%정도 크게 나타난다는것을 고려하여 환산하였다. 이렇게 환산된 예측두께값(3.23m)은 시추깊이값(3.2m)과 거의 일치한다.

이러한 결과는 H/V법을 리용하여 부지의 지표층두께를 정확히 평가하기 위하여서는 위에서 적용한 인공지진계면파해석법과 같은 다른 지구물리적수법들을 적용하여 지층의 지질학적특성을 잘 파악하는것이 중요하다는것을 보여준다.

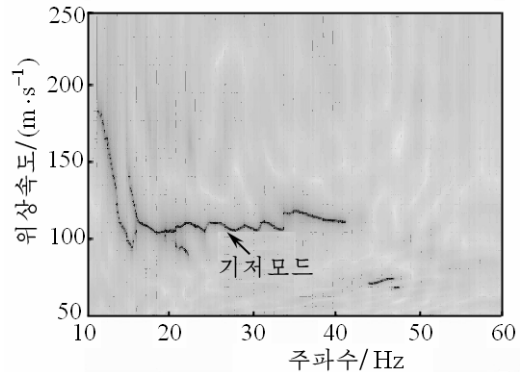


그림 4. 고분해능레이계면파의 위상속도분산영상

맺는 말

지반의 배경소음진동을 리용하는 H/V법으로 지표층두께를 높은 정확도로 평가할수 있다. 이러한 방법을 적용하면 건설부지조사에서 시추를 대폭 줄일수 있다. 이 방법을 적용하는데서 지반퇴적층의 특성 즉 지층에서의 가로파속도를 예비적으로 평가하는것이 중요한 의의를 가진다.

참고 문헌

- [1] 정혁 등; 조선민주주의인민공화국 과학원통보, 3, 38, 주체101(2012).
- [2] 김일성종합대학학보(물리학), 64, 1, 56, 주체107(2018).
- [3] M. I. Seht et al.; Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 1, 250, 1999.
- [4] S. Mun et al.; Geophysical Journal International, 203, 2, 818, 2015.
- [5] S. Mastushima et al.; Bull. Seismol. Soc. Am., 104, 1, 381, 2014.

Estimation of Subsurface Deposit Thickness Based on Spectral Ratio Method Exploiting Ambient Ground Noise

Jong Jun Hyok, Mun Song Chol and Jong Song Su

This paper introduced a study to estimate the thickness of subsurface deposit layer by using horizontal-to-vertical spectral ratio(H/V) method based on the measurement of ambient ground noise.

Key words: ambient ground noise, H/V spectral ratio, deposit layer