

# 표면파 지반 탐사를 위한 새로운 신호 처리기법의 개발

박형춘<sup>1)</sup>, 김동수<sup>2)</sup>, 조성은<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 토목공학과, [civilman@cnu.ac.kr](mailto:civilman@cnu.ac.kr)

<sup>2)</sup>한국과학기술원 토목공학과

<sup>2)</sup>한국수자원공사 댐기술연구소

## Development of Data Analysis Method for Surface Wave Test

Hyung-Choon Park<sup>1)</sup>, Dong-Soo Kim<sup>2)</sup>, Cho-Sung Eun<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dep. of Civil Eng., Chungnam National University

<sup>2)</sup>Dep. of Civil Eng., KAIST

<sup>2)</sup>Dam Engineering Research Center, Kwater

**Abstract:** The evaluation of shear modulus (or shear wave velocity) profile of site is very important in the various fields of geotechnical engineering. To obtain shear wave velocity profile, various in-situ seismic methods using surface waves have been developed. These surface wave based in-situ seismic methods have their own strength and weakness. In this study, new seismic site characterization method using the harmonic wavelet analysis of wave (HWAW) was proposed to overcome some of weaknesses in the existing surface wave based seismic site characterization methods. HWAW method which is based on time-frequency analysis using harmonic wavelet transform have been developed to determine phase and group velocities of waves. In order to estimate the applicability of HWAW method, field tests were performed. Through field applications and comparison with other test results, the applicability of the proposed method were verified.

**Keywords:** HWAW, Harmonic wavelet transform, Shear wave velocity profile

### 1. 서론

공학적 물성치로서의 저변형률에서의 전단탄성계수의 결정은 다양한 토목분야에서 매우 중요하다. 이러한 지반의 전단탄성계수 주상도는 표면파 지반 탐사를 통하여 결정할 수 있다. 모든 표면파 지반 탐사는 대상지반의 분산곡선(주파수-위상속도 곡선)을 결정하고, 결정된 분산곡선에 대해 역산을 수행하여 대상지반의 전단탄성계수 주상도를 결정한다. 이러한 표면파 기법은 분산곡선을 결정하는 방법에 따라 그 종류가 나누어지며, 크게 2채널 실험과 다채널 실험으로 구분된다. 이러한 방법들은 각기 고유의 장·단점들을 가지고 있다. 본 논문에서는 기존 표면파기법들의 문제점을 보완하고자, 파의 위상·그룹속도 결정을 위해 개발된 HWAW(Harmonic Wavelet

Analysis of Waves)방법을 표면과 지반 탐사에 적용하였다. 제안된 방법은 2채널 표면과 기법으로 기존의 방법들이 사용하기 어려운 낮은 평균 신호/잡음비를 가지는 현장 계측 신호를 효과적으로 이용할 수 있으며, 대상지반의 전단탄성계수 영상화가 가능하다. 또한, 다채널 시험과 마찬가지로 모드 분산곡선의 결정이 가능하다. 제안된 방법을 검증하기 위하여 현장 실험을 수행하였으며, 이를 통하여 제안된 방법의 타당성을 확인할 수 있었다.

## 2. HWAW방법을 이용한 파의 위상속도 결정

HWAW방법은 2개의 감지기 사이 매질을 따라 전파하는 파의 주파수별 위상·그룹속도를 결정하기 위한 방법이다(Park and Kim, 2001). HWAW방법은 각 감지기에서 얻어진 시간 영역신호를 Harmonic Wavelet 변환(Newland, 1998)을 통해 시간-주파수 영역으로 변환하여, 각 주파수 성분의 시간에 따른 위상·에너지 크기를 결정한 후 (Fig. 1), 각 주파수성분이 최대 에너지를 가지는 시간영역, 즉 국부 신호/잡음비가 최대가 되는 최대 에너지 선(피크선)의 위상·에너지 정보만을 사용하여 파의 위상·그룹속도를 결정한다. 따라서 기존 방법에서 사용하기 어려운 낮은 평균 신호/잡음비를 가지는 계측 데이터로부터 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있으며, 2채널 시험을 통해 다채널 시험에서 얻을 수 있는 표면파의 모드 분산곡선을 결정 할 수 있다.

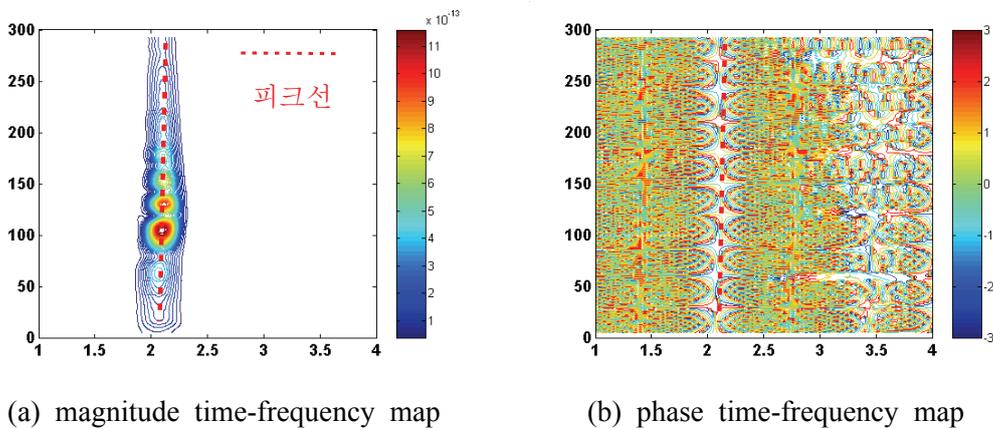


Fig. 1. Evaluation of phase and magnitude information in time-frequency domain by harmonic wavelet transform

## 3. HWAW방법을 이용한 동적지반조사

HWAW방법을 이용한 표면 계측 동적 지반조사는 짧은 감지기 간격을 가지는 2개의 채널로 구성된 단일한 실험구성으로 이루어진다(Fig. 2). HWAW방법은 배경잡음의 영향을 효과적으로 제거할 수 있다. 즉 상대적으로 작은 에너지를 가지는 단일 가진원을 사용하여 짧은 감지기 간격을 가지는 단일한 실험구성에 대한 한번의 실험을 통해 전체 깊이를 대표하는 분산곡선(주파수-위상곡선)을 결정할 수 있다. 따라서 실험이 간편하고, 대상지반의 자세한 국부적인 평가가 가능하다. 또한 연속적

인 실험을 통해 대상지반의 평균적인 의미가 아닌 세밀한 전단파 속도(전단 탄성 계수)의 영상화가 가능하다.

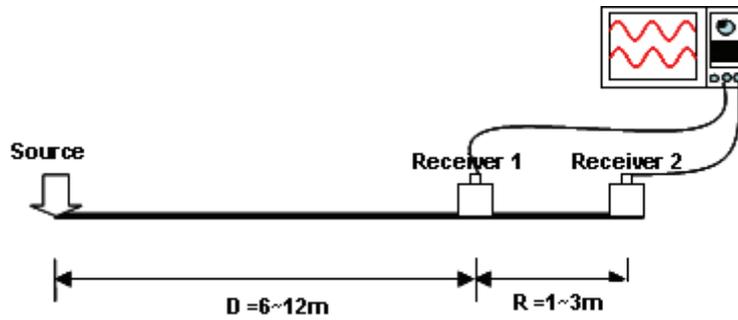


Fig. 2. Test setup

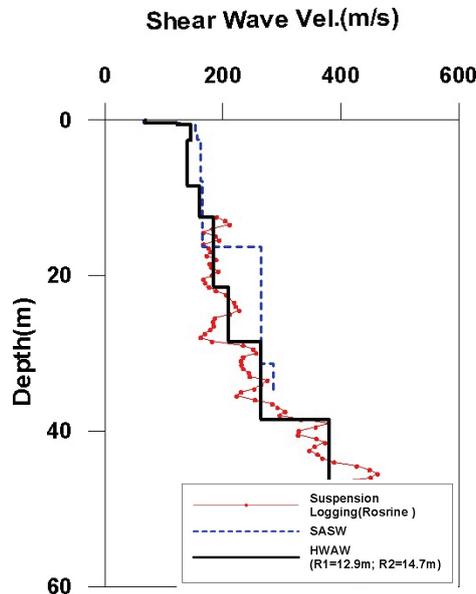


Fig. 3. Comparisons of Vs profiles determined by HAWW, SASW and PS-suspension logging Test

제안된 방법의 현장 적용성을 알아보기 위하여 현장 실험을 수행하였다. 비교를 위하여 대표적인 2채널 표면파 기법인 SASW시험과 PS-suspension logging 시험이 수행되었다. HAWW시험을 위해서 감지기 1은 가진원으로부터 12.9m, 감지기 2는 14.7m 떨어져 위치시킨 후 낙하하중을 가진원으로 사용하여 실험을 수행하였다. SASW는 vibrosizer를 가진원으로 사용하여 감지기 간격을 증가시켜가며 실험을 수행하는 일반적인 방법을 사용하였다. Fig 3.은 얻어진 전단파 속도 주상도 비교 그림으로 HAWW실험결과가 PS-suspension logging 실험결과와 잘 일치함을 볼 수 있다. 이로부터 HAWW실험이 대상지반의 국부적인 물성치를 효과적으로 평가함을 알 수 있다. SASW실험결과는 다른 방법들과 약간의 차이를 보인다. 이러한 차이는 대상지반에 횡방향 불균일성이 존재하며, SASW시험은 이러한 대상지반의 평균적인 물

성치를 평가하기 때문에 발생한다.

#### 4. HWAW방법을 이용한 표면파 모드 분산곡선의 결정

HWAW방법은 시간영역에서 각 주파수 성분의 국부적인 정보만을 사용하여 파의 위상·그룹속도를 측정한다. 표면파는 서로 다른 속도를 가지는 여러 모드성분으로 구성되어 있다. 모드 성분들은 가진원으로부터 거리가 멀어질수록 시간축상에서 서로 다른 위치에 존재하게 되며, 따라서 시간-주파수 영역에서 각각의 모드 성분들은 서로 다른 파그룹을 형성하게 된다. 이러한 파그룹들은 에너지 피크선을 사용하여 구별할 수 있다. 일단 각 모드성분을 대표하는 파그룹들이 에너지 피크선에 의해 구별되면, 각 피크선에 HWAW방법을 적용하여 각 모드성분의 분산곡선을 결정할 수 있다. Fig. 4는 현장 적용예로 HWAW방법(감지기 1=22m, 감지기 2=24m)에 의해 결정된 모드 분산곡선과 12채널을 이용한 move-away F-K실험에 의해 얻어진 모드 분산곡선의 비교이다. 그림을 보면 전체적으로 잘 일치함을 볼 수 있다.

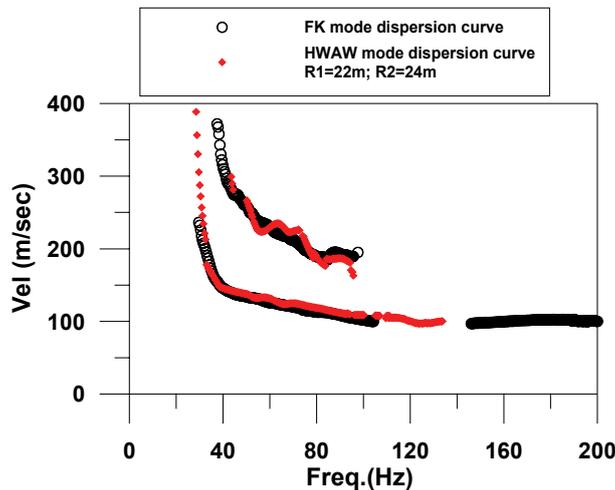


Fig. 4. Comparisons of mode dispersion curves determined by HWAW and F-K method

#### 5. 결론

본 논문에서는 시간-주파수 해석을 이용한 파의 위상·그룹속도 결정방법인 HWAW 방법을 탄성과 지반조사와 표면파의 모드 분산곡선 결정에 적용하였다. 제안된 방법은 대상지반의 국부적인 특성을 효과적으로 결정할 수 있으며, 이를 통해 대상지반의 전단파 속도(전단탄성계수) 영상화가 가능하다. 또한 2채널 시험을 통해 다채널 시험에서 얻을 수 있는 표면파 모드 분산곡선을 결정할 수 있다.

#### 참고문헌

- Park, HC., Kim, DS., 2001, Evaluation of the dispersive phase and group velocities using harmonic wavelet transform, *NDT&E Int*, **34**, 457-467.
- Newland DE, 1998, Time-frequency and time-scale signal analysis by harmonic wavelet, Signal analysis and prediction, chap.1, Birkhauser, 502p.