

HWAW방법을 이용한 토목구조물 건설에 따른 하부 지반 물성 변화 평가 Evaluation of the change in Geotechnical properties due to the Construction of Civil engineering Structure using HWAW Method

박형춘¹⁾, Hyung-Choon Park, 노희관²⁾, Hee-Kwan Noh, 박병철³⁾, Byeong-Cheol Park,
김민수⁴⁾, Min-Su Kim

¹⁾ 충남대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, ChungNam Univ.

²⁾ 충남대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, ChungNam Univ.

³⁾ 소방방재청 국립방재연구소 시설방재연구팀 연구관, Researcher, Structural Safety Research team of National Institute for Disaster Prevention, NEMA

⁴⁾ 한국유지관리 과장, Manager, Korea Maintenance Co., Ltd

SYNOPSIS : In the various fields of Civil Engineering, shear modulus is very important input parameters to design many constructions and to analyze ground behaviors. In general, a shear wave velocity profile is decided by various experiments before constructing a structure and, analysis and design are carried out by using decided shear wave velocity profile of the site. However, if civil structures are started to construct, the shear wave velocity will be increased more than before constructions because of confining pressure increase by the load of structure. The evaluation of the change in shear wave velocity profile is used very importantly when maintaining, managing, reinforcing and regenerating existing structures.

In this study, a non-destructively geotechnical investigation method by using the HWAW method is applied to an evaluation of change in properties of the site according to construction. Generally, the space for experiments is narrow when underground of existing or on-going structures is evaluate, so a prompt non-destructive experiment is required. This prompt non-destructive experiment would be performed by various in-situ seismic methods. However, most of in-situ seismic methods need more space for experiments, so it is difficult to be applied.

The HWAW method using the Harmonic wavelet transforms, which is based on time-frequency analysis, determines shear wave velocity profile. It consists of a source as well as short receiver spacing that is 1~3m, and is able to determine a shear wave velocity profile from surface to deep depth by one test on a space. As the HWAW method uses only the signal portion of the maximum local signal/noise ratio to determine a profile, it provides reliability shear modulus profile such as under construction or noisy situation by minimizing effects of noise from diverse vibration on a construction site or urban area.

To estimate the applicability of the proposed method, field tests were performed in the change of geotechnical properties according to constructing a minimized modeling bent. Through this study, the change of geotechnical properties of the site was effectively evaluated according to construction of a structure.

Keywords : shear wave velocity, variation, HWAW

1. 서론

토목공학의 여러 분야에 있어 지반의 전단탄성계수(또는 전단파 속도)는 여러 가지 구조물의 설계 및 거동 해석에서 매우 중요한 입력변수이다. 일반적으로 지반의 전단파 속도 주상도는 토목구조물이 건설되기 전 다양한 시험들에 의해 결정되게 되며, 결정된 부지의 전단파 속도 주상도를 사용하여 해석 및 설계가 수행된다. 그러나 토목구조물이 건설되기 시작하면, 토목구조물의 자중에 의한 구속압 증가로 인해 하부 지반의 전단파 속도는 토목구조물 건설 전에 비해 증가하게 된다. 이러한 하부지반의 전단파 속도 주상도 변화 평가는 기존 구조물의 유지 관리 보강 재생 시에 매우 중요하게 사용될 수 있다.

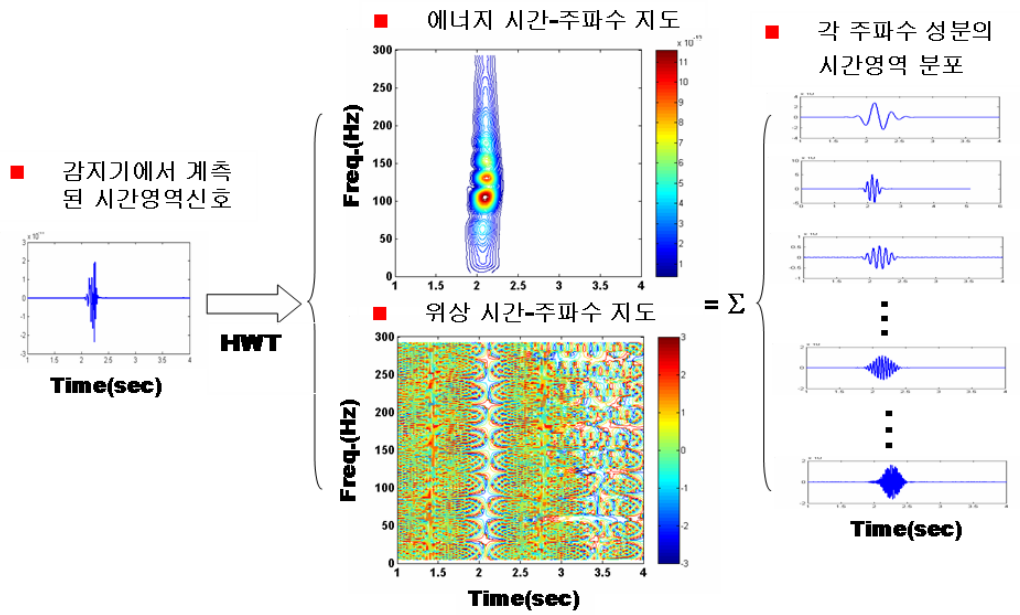
본 연구에서는 HWAW방법(박형춘;김동수;이병식, 2004, 박형춘;김동수, 2004)을 이용한 비파괴 지반조사기법을 토목구조물 건설에 따른 하부지반 물성 변화 평가에 적용하였다. 일반적으로 기 건설된 또는 건설중인 토목구조물의 하부 지반 평가 시 시험을 수행할 수 있는 공간은 매우 협소하며 동시에 신속한 비파괴 시험이 요구된다. 이러한 신속한 비파괴 시험은 다양한 표면파 시험법들에 의해 수행될 수 있다. 그러나 대부분의 표면파 시험법들은 일정 공간 이상의 시험공간을 필요로 하기 때문에 이런 경우 적용이 어렵다. HWAW방법은 하모닉 웨이브릿 변환을 이용한 시간-주파수 해석을 사용하여 대상 지반의 전단파 속도 주상도를 결정하는 방법으로, 현장시험시 1~3m의 간격을 가지는 2개의 감지기와 하나의 가진원으로 구성된 매우 짧은 시험공간을 필요로 하며, 하나의 감지기 간격에서 한 번의 실험(한번의 타격)으로 대상지반의 표층에서 깊은 깊이까지 전단파 속도 주상도의 결정이 가능하다. 동시에 주상도 결정시 전체 시간신호에서 에너지가 집중된, 국부적으로 신호/잡음비가 가장 높은 영역만을 선택적으로 사용하기 때문에 건설 현장이나 기존 구조물이 위치하는 도심지에 존재하는 다양한 진동원에서 발생하는 잡음의 영향을 최소화 하여 일반적으로 만날 수 있는 noisy한 현장조건하에서도 신뢰성 있는 전단파 속도 주상도를 결정할 수 있다.

HWAW방법을 이용한 토목구조물 건설에 따른 하부 지반 물성 변화 평가에의 적용성을 알아보기 위하여 축소된 모형 교각 건설에 따른 하부 지반 물성변화 평가에 HWAW방법을 적용하였으며, 이를 통해 구조물 건설에 따른 하부 지반 물성 변화를 효과적으로 평가 할 수 있었다.

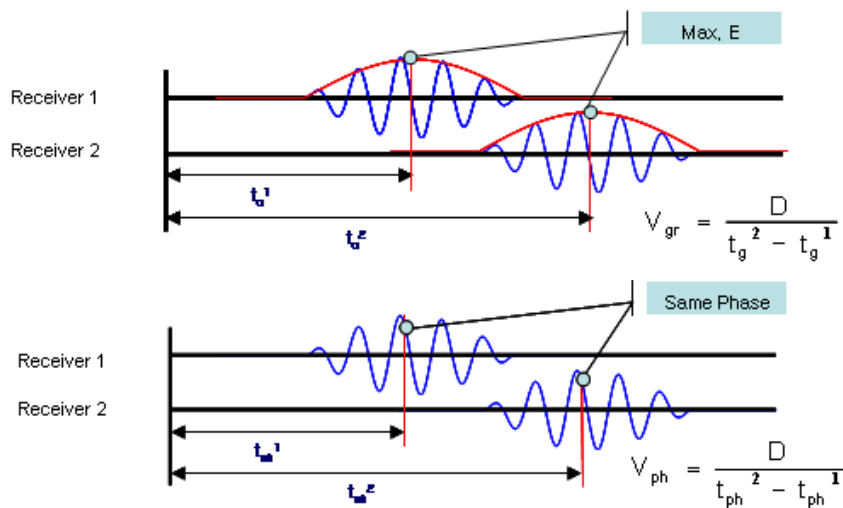
2. HWAW방법

2.1 HWAW방법을 사용한 지반조사

HWAW방법을 이용한 지반조사는 3단계로 구성된다. 현장 시험, 분산곡선(파장-위상속도 곡선)의 결정, 역산을 통한 대상 지반의 전단파 속도 주상도 결정으로 구성된다. HWAW방법은 매질을 따라 전파하는 일반적인 파의 위상·그룹속도를 결정하는 방법(Park;Kim, 2001)으로 2개의 감지기 사이를 전파하는 파의 분산곡선 결정할 수 있으며 역산을 통하여 감지기 사이 지반의 전단파 속도 주상도를 결정할 수 있다. HWAW방법은 지반의 국부적인 평가를 통한 2차원 전단파 속도 주상도의 결정등 비파괴 지반부지특성평가에 성공적으로 적용되었다. HWAW방법은 각 감지기에서 얻어진 신호를 하모닉 웨이브릿 변환을 통해 각 주파수 성분으로 분해한 후, 에너지 시간-주파수 지도에서 에너지가 집중된 영역, 즉 국부 신호/잡음비가 최대가 되는 최대에너지선(피크선) 주변의 국부적인 에너지·위상정보만을 사용하여 분산곡선을 결정한다. 따라서 현장에 존재하는 배경잡음의 영향을 최소화 할 수 있다.



(a) 하모닉 웨이브릿 변환을 통한 시간영역신호의 분해



(b) 시간영역에서 분해된 각 주파수 성분의 위상·그룹속도의 결정

그림 1. HWAW방법의 기본 원리

HWAW방법은 2개의 감지기와 하나의 가진원으로 구성된다. 본 연구에서는 가진원으로 햄머와 감지기로는 속도계를 사용하였다. HWAW시험을 위한 실험구성은 6~12m의 간격을 가지는 가진원-감지기 간격 및 1~3m의 간격을 가지는 감지기 간격으로 구성된다. 이러한 짧은 실험구성의 사용은 협소한 공간에서도 실험을 가능하게 하며, 국부적인 대상지반의 평가가 가능하다. 또한 연속적인 실험을 통해 높은 횡방향 해상도를 가지는 2~3차원 진단파 속도 지도의 결정을 가능하게 한다. HWAW방법 대상 지반의 진단파 속도 주상도를 결정하기 위해 현장 실험에서 수행된 감지기 위치를 고려하는 whole wave field single array 역산을 수행한다. 이러한 역산을 위한 search engine은 유전자 알고리즘을 사용하며, 이러한 역산 과정은 자동화 되어 있다.

2.2 민감도 분석

구조물 건설에 따른 하부지반 물성치의 변화를 효과적으로 평가하기 위해서는 사용되는 시험법이 하부지반 물성치 변화에 민감하게 반응하여야 한다. 즉 하부 물성 변화에 따른 분산곡선 변화량이 클수록 하부지반 물성변화를 민감하게 평가할 수 있다. 본 연구에서 사용된 HWAW방법은 whole wave field 분산곡선을 사용하는데 반하여 기존의 일반적인 표면파 시험은 주로 far field 분산곡선을 사용한다. 따라서 본 연구에서는 whole wave field 분산곡선과 far field 분산곡선의 하부 지반 물성 변화에 따른 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석은 2개의 층으로 구성된 지반구조에 첫 번째 층의 속도값을 기준으로 두 번째 층의 속도값을 변화시켜 가며 분산곡선을 측정하여, 측정된 분산곡선 사이의 변화량 측정을 통해 수행하였다. 그림 2는 첫 번째 층의 두께가 30m 인 경우의 민감도 해석 결과이다. 그림을 보면 하부층 속도변화에 따라 HWAW방법에서 사용하는 whole wave field 분산곡선의 변화량이 far field분산곡선에 비해 변화량이 더 크음을 볼 수 있다. 이로부터 HWAW방법은 기존의 표면파 시험법들에 비해 하부 층 변화량에 좀 더 민감하게 반응하며, 이러한 변화를 좀더 잘 평가할 수 있음을 알 수 있다.

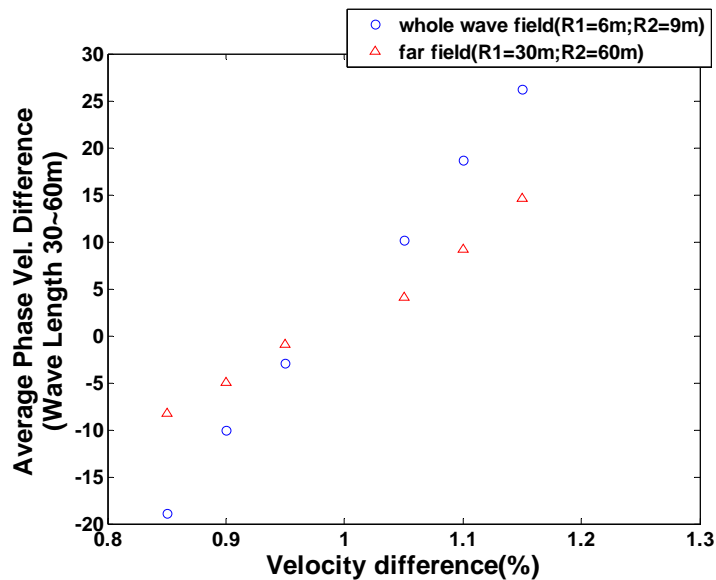


그림 2. 지반물성변화에 대한 HWAW방법과 기존 일반적인 표면파 시험법의 민감도 분석

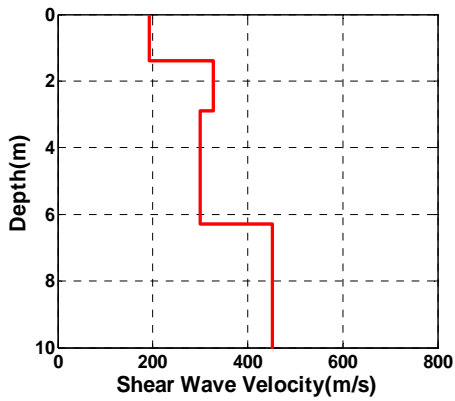
3. 현장 적용

제안된 방법의 구조물 건설에 따른 하부 물성 평가에 대한 적용성 검토를 위해 현장 실험을 수행하였다. 실험은 모형 교각 건설현장에서 수행되었다. 모형 교각은 그림 3과 같이 3단계로 건설되었다. 1단계는 상부 구조물 없는 건설 부지 조성, 2단계는 모형 교각의 건설, 3단계는 교각 상부에 하중 거치의 순으로 이루어졌다.

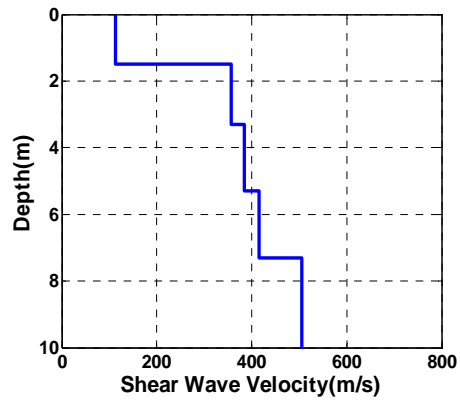


그림 3. 실험 현장

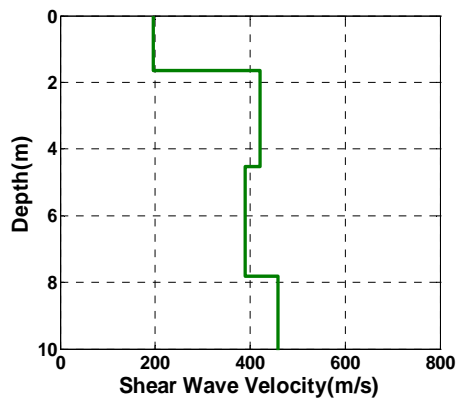
HAWAW시험은 각 단계에서 교각 바로 측면에서 실험이 수행되었으며, 그 결과는 그림 4와 같다. 그림을 보면 교각 건설에 따라 대체적으로 건설전(그림 4(a))에 비해 전단파속도 값이 전체 깊이에서 증가함을 볼 수 있으며, 이러한 전단파 속도의 증가량은 시공 단계에 따라 각각의 층에서 다른 변화 경향을 보인다.



(a) stage 1



(b) stage 2



(c) stage 3

그림 4. 교각 건설에 따른 하부지반 진단파 속도 주상도의 변화

4. 결 론

본 연구에서는 구조물 건설에 따른 하부지반 상태 변화 평가에 HWAW방법을 적용하였다. HWAW방법은 구조물 건설에 따른 하부지반 상태 변화 평가 또는 기 건설 구조물의 보수 보강 재생 시 만날 수 있는 다양한 현장 조건, 즉 협소한 실험 장소 및 다양한 배경 잡음 등이 존재하는 현장조건에서도 대상 지반의 신뢰성 있는 진단과 속도 주상도를 결정할 수 있다. 또한 whole wave field 분산곡선을 사용하기 때문에 하부 지반의 물성 변화를 효과적으로 평가 할 수 있다. HWAW방법의 적용성을 알아보기 위해 축소된 모형 교각 건설에 따른 하부 지반 물성변화 평가에 HWAW방법을 적용하였으며, 이를 통해 HWAW방법을 이용해 구조물 건설에 따른 하부 지반 물성 변화를 효과적으로 평가 할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박형춘, 김동수, 이병식(2004), “HWAW(Harmonic Wavelet Analysis of Waves) 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 현장 적용”, 한국지반공학회 논문집, 제 20권, 제 6호, pp.51~59.
2. 박형춘, 김동수(2004), “HWAW 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 개발(Ⅱ) : 실험 구성 및 역산과정”, 대한토목학회 논문집, 제 24권, 제 2C호, pp.117~124.
3. 박형춘, 김동수(2004), “HWAW 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 개발(Ⅰ) : 분산곡선의 결정”, 대한토목학회 논문집, 제 24권, 제 2C호, pp.105~115.
4. Hyung-Choon Park and Dong-Soo Kim(2001), "Evaluation of Dispersive Phase and Group Velocities using Harmonic Wavelet Transform", NDT&E International, Vol. 34, No. 7, pp. 457~467