

지반분류를 위한 표면파 시험법의 비교 연구

A study on Comparison of Surface Wave Tests for Soil Classification

정종석¹⁾, Jong-Suk Jung, 박종배²⁾, Jong-Bae Park, 박용부³⁾, Yong-Boo Park, 심영종⁴⁾, Young-Jong Sim

¹⁾ 한국토지주택공사 토지주택연구원 책임연구원, Associate Research Fellow, Land & Housing Institute

²⁾ 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원, Research Fellow, Land & Housing Institute

³⁾ 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원, Research Fellow, Land & Housing Institute

⁴⁾ 한국토지주택공사 토지주택연구원 책임연구원, Associate Research Fellow, Land & Housing Institute

SYNOPSIS : 국내에 대표적인 표면파 탐사법인 MASW, SASW, HVAW를 비교한 결과에 따르면, 세 기법들의 결과가 매우 유사하게 도출되는 것을 확인할 수 있었으나, 각 현장별로 획득한 탐사심도의 차이가 존재하였다. 넓은 시험 축선을 필요로 하는 SASW 및 MASW 기법의 경우 현장 상황 및 조건에 따라 15m 정도의 얇은 심도의 물성만을 획득하였다. 표면파 기법은 토사층에서는 매우 신뢰성있는 결과를 도출하였으며 2차원 영상화를 통한 넓은 영역의 물성치를 빠르고 경제적으로 획득할 수 있는 장점이 있다. 현재 지반조사 시 소수의 시추자료를 이용하여 부지의 특성을 파악하기 때문에 시추공간 물성치 및 지반구조에 대해서 확실한 파악이 이뤄지지 않고 있기 때문에 표면파 기법은 토사층의 물성산출 뿐만 아니라 시추공탐사법을 보완하여 시추공간 물성변화를 파악하는 유용한 시험법이라고 판단된다.

Keywords : 표면파 탐사법, SASW, MASW, HVAW

1. 서론

현재 국내 건축구조물의 내진설계기준(KBC 2005)은 상부 30m의 지반 평균 전단파 속도($V_{s,30}$)를 이용하여 공학적으로 지반을 분류하고, 각 지반종류에 따라 설계응답스펙트럼을 달리 적용하여 건축물에 작용하는 지진하중을 산정하고 있다. 내진설계기준에서 제시하고 있는 지반분류 방법은 S_A , S_B , S_C , S_D , S_E 의 5종으로 분류한다. 그러나 일반적으로 건설현장에서는 원지반에 대한 물성평가는 이루어지고 있으나 성토 후에는 물성평가를 수행하지 않고 물성을 가정하여 내진설계를 수행하고 있어 성토부에 대한 물성 평가가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 파주 운정신도시 건설현장을 대상으로 성토지반 부지를 선정하여 3종류의 표면파 탐사 시험(SASW, MASW, HVAW)을 수행하였고, 이를 통해 현장 지반의 전단파속도 주상도를 획득하여, 비교·분석하였다. 또한, 시험결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 시험 기법별 제시하여야 할 분석 기법 및 결과 자료 등을 제안하였다.

2. 표면파 탐사법

표면파(Surface Wave) 탐사는 표면파의 전파특성을 이용하여 지표에서 측정된 표면파로부터 지반의 전단파속도 단면을 구하는 비파괴 현장조사 방법이다. 시추를 하지 않고 수행하기 때문에 경제적이며 연속적인 지반의 물성을 구할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 3종류의

기법대한 특징을 간략히 정리하여 [표 1]에 나타내었다(1,2).

[표 1] 진단파 속도 획득을 위한 표면파 기법

표면파 기법		SASW	MASW	HAWW
가진원		슬레지 해머, 중추, 굴삭기	슬레지 해머, 중추(봄저)	슬레지 해머, 중추
감지기		2개의 감지기	12개 이상 다중감지기	2개의 감지기
분산곡선 획득		2개 감지기간 위상각 차이를 이용한 겹보기 위상속도	측정된 신호의 주파수-파수간의 관계를 이용	Harmonic wavelet transform으로 구축한 시간-주파수맵을 이용
역산	정모델링	동강성행렬법	전파행렬법	동강성행렬법
	모드	기본모드와 고차모드의 중첩모드	기본모드, 고차모드(모드분리)	기본모드와 고차모드의 중첩모드
진단파속도 주상도		1D	1D/2D	1D/2D

3. 표면파 탐사법 결과

3.1 SASW 표면파 탐사

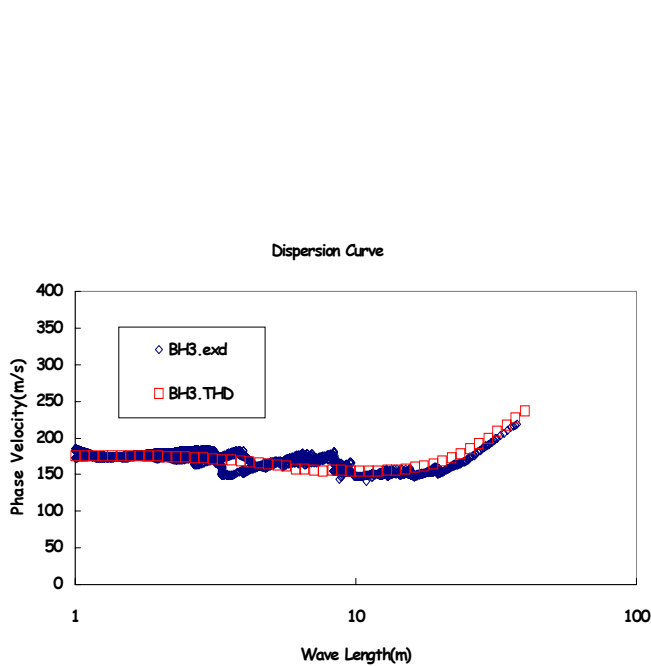
본 조사의 SASW 시험은 성토지반에서 수행하였으며, 1차원 진단파속도 주상도를 도출하였다. 짧은 가진원-감지기 간격에서는 슬레지 해머를 사용하였고, 넓은 간격에서는 낙하식 추를 이용하여 시험을 수행하였다. [표 2]은 탐사 현황을 나타낸다.

[표 2] SASW 표면파 탐사 현황

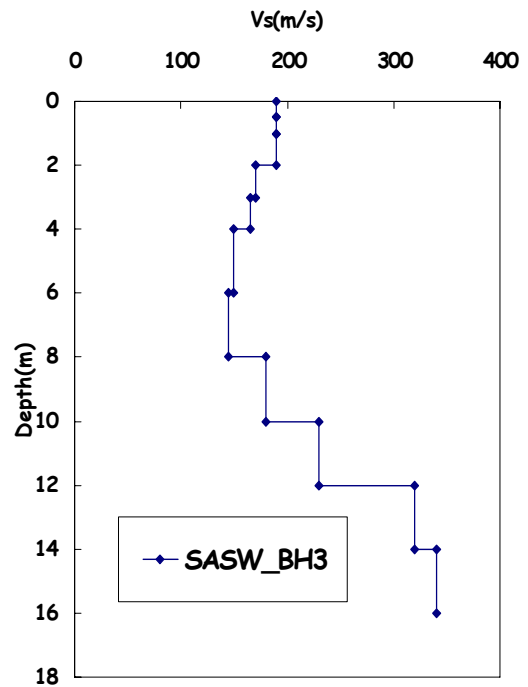
공 번	감지기 간격	가진원	총 연장
성토지반	2, 4, 8, 16, 32m	슬레지해머 및 추	64m

탐사시 성토지반 중심에서 감지기 간격을 2m씩 벌려가며 신호를 획득하였다. 각 감지기 간격마다 10회씩 타격을 수행하여 평균적인 크로스파워 스펙트럼을 도출하였다. 위상각 스펙트럼의 위상차로 분산곡선을 구하였으며, 각 감지기 간격에서 구한 분산곡선을 이용하여 통합 실험분산곡선을 도출하였다. 또한 반복적 정모델링으로 이론분산곡선을 도출하여 실험분산곡선과 맞춰가며 역산을 수행하였다. [그림 1]에 실험분산곡선(exd)과 이론분산곡선(THD)을 도시하였다. 이와 같은 역산작업을 수행하여 [그림 2]와 같은 진단파속도 주상도를 도출하였다. 성토지반에서는 공사가 진행중인 현장 조건 상 잡음이 많이 발생하였고, 깊은 심도를 탐사하기 위한 넓은 감지기 간격에서 신호의 질이 불량하였다. 따라서 실험분산곡선을 35m까지 도출하였고, 진단파속도는 16m 심도까지 도출하였다. 즉 SASW 기법으로 본 현장에서는 매립층(0~8m) 및 퇴적층(8~16m)에서의 진단파속도만을 도출하였다. 지층별 진단파속도는 매립토

층 145~190m/s, 퇴적층 180~340m/s의 분포를 나타내었다.



[그림 1] 실험분산곡선과 이론분산곡선의 비교



[그림 2] 전단파속도 주상도

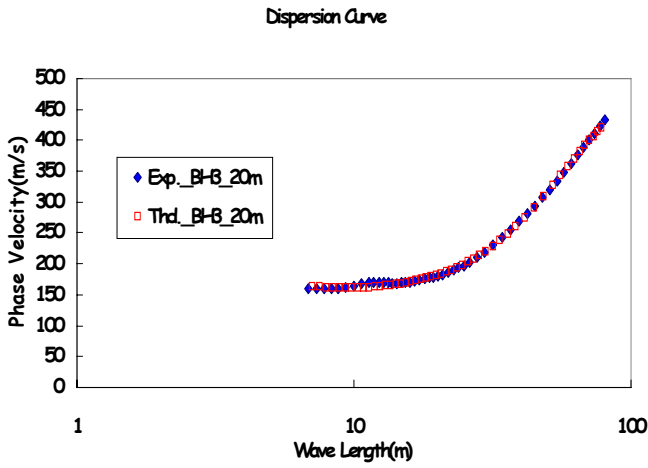
3.2 MASW 표면파 탐사

본 연구에서는 지반의 2차원적인 S파 속도 단면을 획득하기 위하여, 원지반에서 다채널 주파수 표면파 탐사를 수행하였다. 아래 [표 3]은 탐사 현황이다.

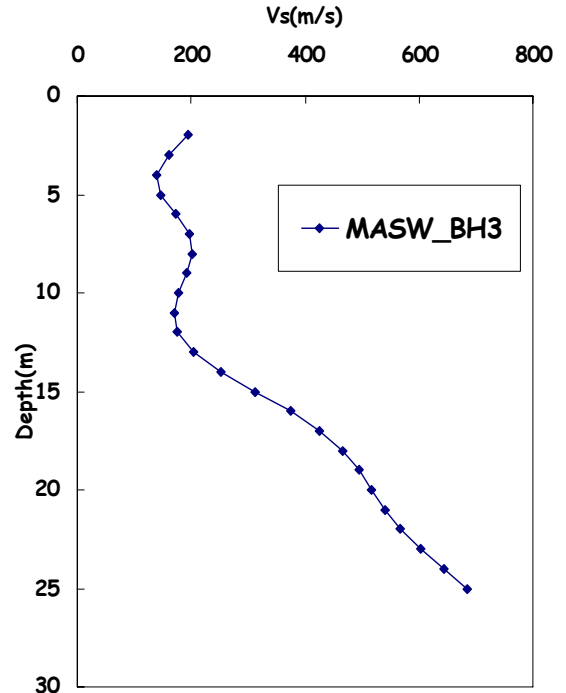
[표 3] 다채널 주파수 표면파 탐사 현황

공 번	수신기 간격 (m)	송신 이격거리 (m)	송신원	연장 (m)
성토지반	2	10	붐저	96

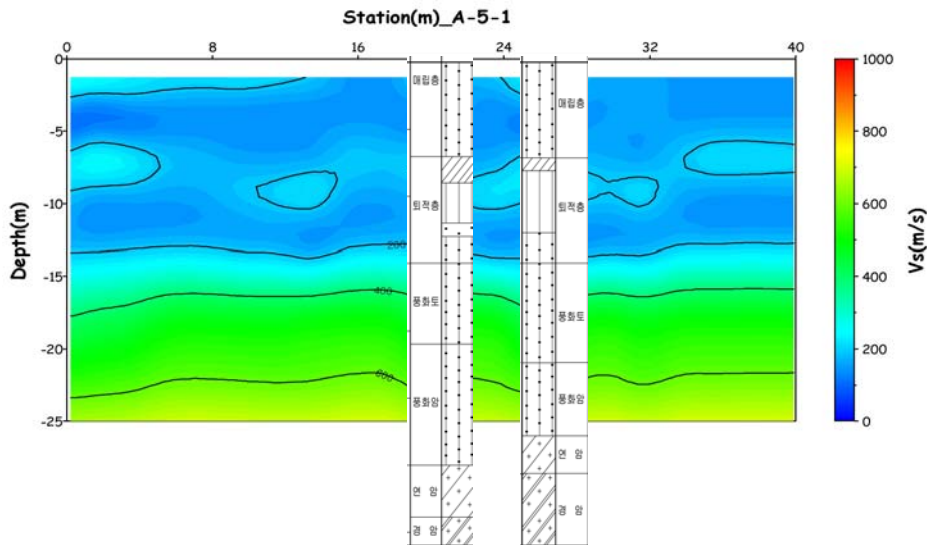
측선은 중심을 기준으로 좌우 20m씩, 전체 40m의 단면을 획득할 수 있도록 전개하였고, 가탐심도와 분해능을 고려하여 지오폰의 간격은 2m, 송신점의 이동은 2m로 설정하였다. 송신원으로는 중추낙하 (Weight Drop)형 방식의 붐저를 이용하여 신호대 잡음비를 향상시켰으며, 현장 여건상(아파트 건설 공사중) 인공적인 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 3~5회의 중합을 수행하여 자료의 질을 향상시키고자 하였다. [그림 3]에 실험분산곡선(exd)과 이론분산곡선(THD)을 도시하였고, [그림 4]에 깊이별 전단파속도를 도출하였다. 본 구간에서는 25m 영역까지 전단파속도를 도출하여 풍화암의 물성치까지 도출하였다. 송신점을 이동시켜가며 획득한 지반의 1차원전단파속도 주상도를 내삽을 이용하여 40m의 2차원 영상화로 도출하여 [그림 5]에 나타내었다. [그림 5]에서 나타난 바와 같이 수평적으로 크게 변화가 없는 지반으로 확인되었다. 매립층(0~7m)에서는 140~196m/s, 퇴적층(7~15m)에서는 170~313m/s, 풍화토층(15~20m)에서는 374~540m/s, 풍화암(20~25m)에서는 568~685m/s의 전단파속도 분포를 나타내었다.



[그림 3] 실험분산곡선과 이론분산곡선의 비교



[그림 4] 전단파속도 주상도



[그림 5] MASW 기법으로 구한 지반의 2차원 전단파속도 주상도

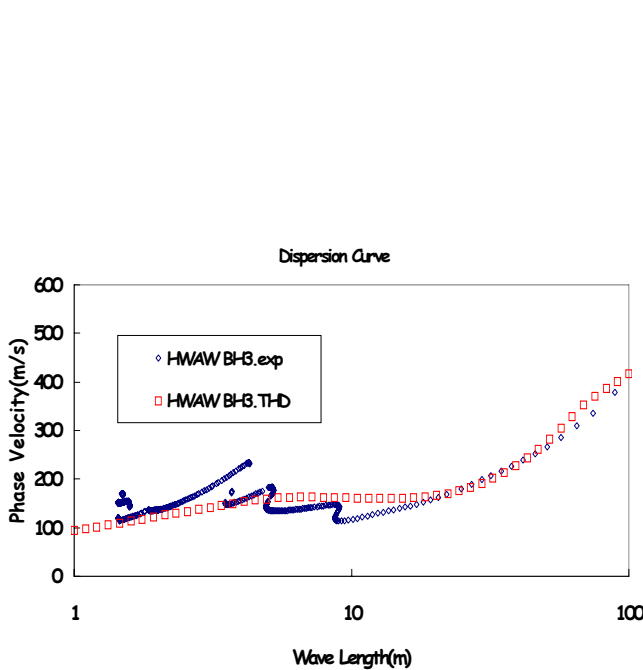
3.3 HWAW 표면파 탐사

본 조사의 HWAW시험은 지반의 2차원 전단파속도 획득을 위하여 성토지반에서 측선을 선정하여 시험을 수행하였다. 성토지반구간에서는 중심을 기준으로 하여 좌우 20m 씩 전체 40m를 감지기 간격 2m, 가진원-감지기 간격 6m, 가진 시 이동간격 2m를 이용하여 시험을 수행하였다. [표 4]는 탐사 현황을 나타낸다.

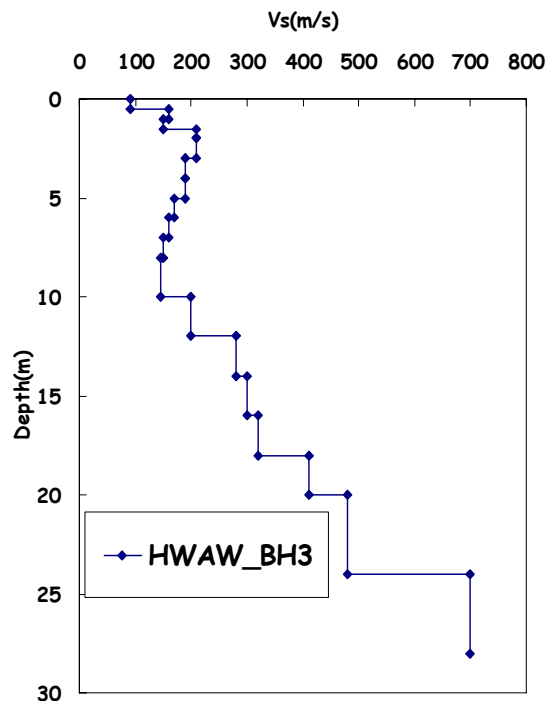
[표 3-23] HWAW 기법 탐사 현황

지반	감지기 간격	가진원	총 연장
성토지반	2m	슬래지해머 및 추	40m

감지기에서 획득한 신호를 이용하여 HWAW 기법의 실험분산곡선(exd)을 도출하였고, 반복적 정모델링 기법으로 실험분산곡선과 일치하는 이론분산곡선(THD)을 도출하여 역산과정을 수행하였다([그림 6]). 이와 같은 역산작업을 수행하여 [그림 7]과 같은 깊이별 전단파속도를 획득하였다. 타 기법에 비하여 잡음의 영향을 덜 받는 HWAW 기법은 28m 깊이까지의 전단파속도를 획득하였다. 가진위치를 이동시켜가며 수행한 1차원 전단파속도 주상도를 내삽하여 [그림 8]와 같은 지반의 2차원 전단파속도 주상도를 도출하였다. [그림 5]의 결과와 유사하게 횡방향별로 크게 차이가 없는 지반으로 확인되었다. 매립층(0~7m)에서는 160~210m/s, 퇴적층(7~14m)에서는 150~300m/s, 풍화토층(14~20m)에서는 300~480m/s, 풍화암(20~28m)에서는 480~700m/s의 전단파속도 분포를 나타내었다.



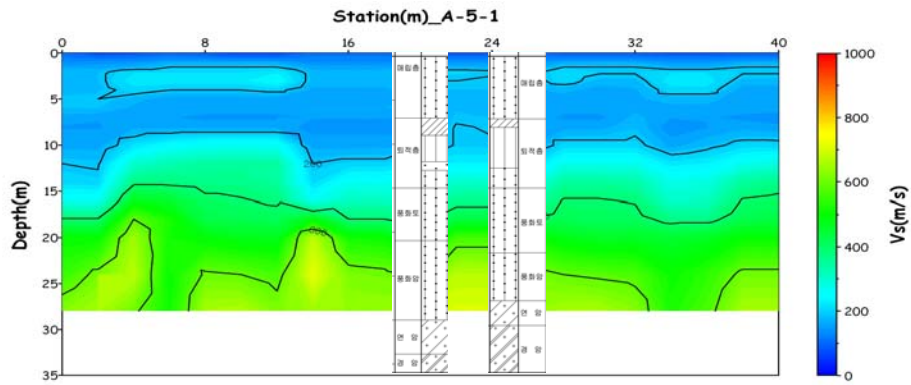
[그림 6] 실험분산곡선과 이론분산곡선의 비교



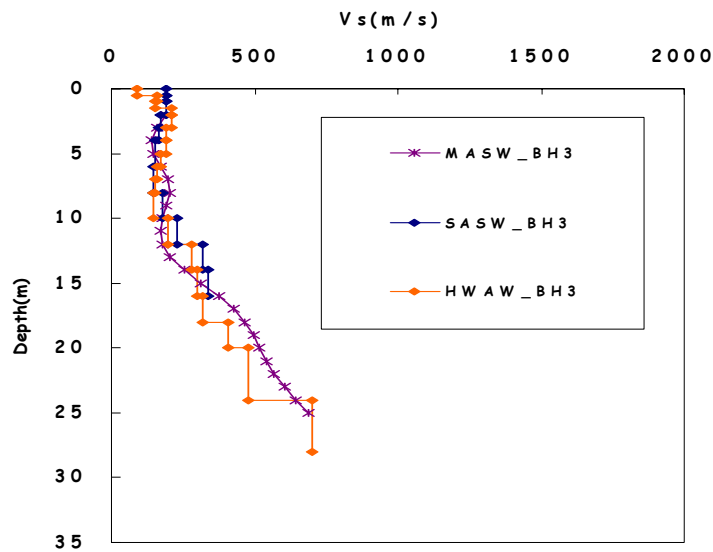
[그림 7] 전단파속도 주상도

3.4 각 시험기법별 주상도 비교

[그림 9]에서 보는 바와 같이 표면과 기법의 탐사결과에서는 풍화암층까지 기법별로 매우 유사하였으나 암반영역에서는 신뢰성있는 물성치를 도출하지 못하였다. 따라서 암반영역의 전단파속도를 획득하기 위해서는 전과경로가 확실한 시추공탐사법이 가장 신뢰성 있다고 판단된다.



[그림 8] HWA W 기법으로 구한 지반의 2차원 전단파속도 주상도



[그림 9] 표면파 탐사법 결과

4. 결 론

표면파 기법의 비교 결과, 세 기법들의 결과가 매우 유사하게 도출되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 각 현장별로 획득한 탐사심도의 차이가 존재하였다. 표면파 기법은 토사층에서는 매우 신뢰성있는 결과를 도출하였으며 2차원 영상화를 통한 넓은 영역의 물성치를 빠르고 경제적으로 획득할 수 있는 장점이 있다. 현재 지반조사 시 소수의 시추자료를 이용하여 부지의 특성을 파악하기 때문에 시추공간 물성치 및 지반구조에 대해서 확실한 파악이 이뤄지지 않고 있다. 따라서 표면파 기법은 토사층의 물성산출 뿐만 아니라 시추공탐사법을 보완하여 시추공간 물성변화를 파악하는 유용한 시험법이라고 판단된다.

참고문헌

1. 박형춘, 김동수 (2004), "HWA W 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 개발(II) : 실험 구성 및 역산과정", 대한토목학회 논문집, Vol. 24, No. 2C, pp. 117-124.
2. 황성근, 목영진, 조성호 (2001) "내진설계를 위한 토질정수의 결정," 2001년도 지반진동위원회 '지반 공학분야에서의 내진설계' Workshop 논문집, 한국지반공학회. 1-52.반공학회. 1-52.