

국내 지역성을 고려한 전단파속도와 대표지층의 상관관계 분석

Analysis of Local Correlation between Shear Wave Velocity and Geo-layer in Korea

김한샘¹⁾, Han-Saem Kim, 최승호²⁾, Seung-ho Choi, 정충기³⁾, Choong-Ki Chung

¹⁾ 서울대학교 건설환경공학부 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

²⁾ 서울대학교 건설환경공학부 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

³⁾ 서울대학교 건설환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

SYNOPSIS : Borehole drilled depend on the point is bound to be limited to obtain the 2-D or 3-D layer information for entire target area. On the other hand, SASW and MASW provide the sectional form of layer information through the shear wave velocity(V_s). Therefore the useful information of the target area can be derived from SASW, MASW and borehole data. In this research, the correlation reflected locality and nationwide between sectional geo-layer and V_s was investigated and analyzed. The target areas are westside of Pyeongtaek and Incheon. The shear wave velocity(V_s) obtained from SASW, MASW and borehole data conducted within the scope of crossline for survey was utilized in each region. In the 2D distribution of V_s from SASW, MASW, V_s tend to continually increase deeper and deeper. By the target area, the depth of each representative geo-layer was nested on the sectional distribution map of V_s to suggest the range of V_s in accordance of strata by using borehole data. The 2D sectional geo-layer distribution map is presented based on the range of V_s . In addition the correlation between measured and calculated V_s according to the empirical equation was analyzed.

Keywords : Borehole, Geo-layer, SPT, SASW, MASW, Shear Wave Velocity, Locality

1. 서론

일반적으로 대상지반의 지반특성 파악을 위해 널리 수행되는 시추조사 방법은 확실하고 객관적인 지반정보를 제공하지만 시추과정이 지점별로 시행되기 때문에 대상 영역 전체의 2차원 또는 3차원의 층상정보를 얻기에는 부족하다. 이에 반해, SASW와 MASW와 같은 탄성과 탐사는 비파괴방법으로 지층의 연속적인 단면 정보를 자료획득, 분산해석, 역해석의 단계를 통해 2차원 또는 3차원으로 제공한다. 이와 함께 최근 도심지 재개발, 지하철 공사와 같은 대규모 지하공간의 시공 등과 관련하여 지반특성 파악을 위한 지반조사의 중요성이 부각되고 있으며, 이로 인해 간편하고 효과적으로 지반정보를 도출할 수 있는 탄성과 탐사가 널리 활용되고 있다. 반면에 탄성과 탐사는 실험 결과를 직접 확인하지 못하며, 전단파속도(V_s)값을 실험 및 해석을 통해서 얻기 때문에 결과에 약간의 오차가 포함될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시추공 정보와 SASW, MASW 시험 자료를 결합하여 대상 영역 지반의 합리적인 층상정보를 얻고자 한다.

지반특성 평가를 위해 다양한 탄성과 시험으로부터 획득할 수 있는 전단파속도(V_s)는 주로 지진공학

분야에서의 내진 설계 및 내진 성능 평가를 위한 지반 동적 특성으로 강조되어 왔다. Stokoe et al.(1994)와 Joh and Stokoe(1997) 등은 표면파의 스펙트럼 분석방법(SASW; Spectral Analysis of Surface Waves)을 이용하여 지반의 횡파 속도 단면을 구하는 방법과 표면파의 위상속도를 결정하는 방법 등을 제시하였다. SASW는 두 개의 수신기를 이동시키며 각 주파수에 대한 위상속도를 구하는데 과정이 복잡하여 넓은 지역에 대한 연속적인 횡파 속도 단면을 구하는데 많은 어려움이 따른다. 1990년대 후반에 이르러 SASW의 단점을 보완하는 방안으로 다중 채널 자료를 이용하여 표면파의 분산곡선을 구하고 위상속도를 산출하는 다중채널 표면파 분석법(MASW; Multi-channel Analysis of Surface Waves)이 Park et al.(1999), Xia et al.(1999), 정희옥(2000) 등에 의해 제시되었다. Xia et al.(2000)은 표면파 분산곡선을 역산하여 구한 횡파 속도구조와 시추공을 이용하여 구한 횡파속도구조를 비교한 결과 약 9~15% 오차 내에서 속도구조가 일치함을 보였다.

반면에 지반의 상태 및 특성 파악 목적의 다양한 조사 방법 중 가장 직접적이고 대표적인 조사 방법은 시추조사(Borehole Drilling Investigation)이다. 시추조사는 대상 부지의 지표면에서 연직 방향의 지반 주상을 획득하기 위해 수행되지만, 목적에 따라 경사 방향이나 횡방향의 지반 주상을 얻기 위해 활용되기도 한다. 이와 함께 지반의 상태 평가와 시료 채취를 위한 표준 관입 시험(Standard Penetration Test; SPT)이 병행되기도 한다.(Sun et al. 2008)

본 연구에서는 SASW 또는 MASW와 시추조사가 함께 수행된 국내 여러 지역의 단면 층상 정보와 전단파속도의 지역적 상관성을 조사 및 분석하였다. 대상지역은 평택의 연안지역과 인천의 내륙지역 및 연안 지역이며, 지역별로 수행된 SASW, MASW의 전단파속도(V_s)와 탐지 층선 범위 내에서 수행된 시추조사 자료를 연구에 이용하였다.

또한 시추조사의 층상정보와 SASW, MASW의 결과를 함께 V_s 분포 단면에 중첩함으로써 각 지역의 지질 및 지형 특성을 대표하는 층상별 V_s 단면을 도출하고자 한다. 이와 함께 측정 및 분석된 지반의 V_s 와 SPT-N치와의 상관관계와 기존에 제안된 V_s 와 SPT-N치와의 경험적 추정식과의 비교를 통해 본 연구에서 제시된 2차원 대표층상 단면의 합리성을 판단하고자 한다.

2. 시험 개요 및 대상지역의 지반 특성

국내 해안의 지형 및 지질 특성을 대표하는 인천(청라지구, 서구 지하철 공사현장)과 서평택지역(서해대교 북단)을 대상지역으로 선정하고, 현장에서의 시추 조사 및 탄성과 시험을 수행하여 지반 특성을 평가하였다. 시추조사는 각 지역별로 SASW, MASW의 탐지 층선 범위 내에서 수행되었으며, 서평택지역은 1개의 SASW와 3개의 시추조사, 인천지역은 3개의 MASW와 각각 1개의 시추조사가 수행되었다.

2.1 시험 개요

2.1.1 SASW와 MASW 시험 개요

지반의 동적특성을 파악하기 위한 현장탄성과 탐사는 가진원과 수신기의 배열 특성이나 현장에서 이용하는 탄성과의 전파특성에 따라 표면파 탐사 기법과 시추공탐사기법으로 분류할 수 있다. 시추공을 이용한 탐사로는 크로스홀 기법, 다운홀 기법, 업홀 기법, 인홀 기법, 수직 탄성과탐사와 SCPT, 음파검층 등이 있다. 시추공 없이 수행할 수 있는 표면파 탐사 기법으로는 SASW(spectral analysis of surface waves), MASW(multi-channel analysis of surface waves), HWAW(harmonic wavelet analysis of wave) 등이 있다.(김동수, 2007)

한편 그림 1에서 나타난 바와 같이 각 시험기법은 기법의 특성에 따라 탐사하는 영역이 다르고 같은 기법이라도 장비 및 해석자의 차이에 의해 다른 결과를 도출할 수 있다.

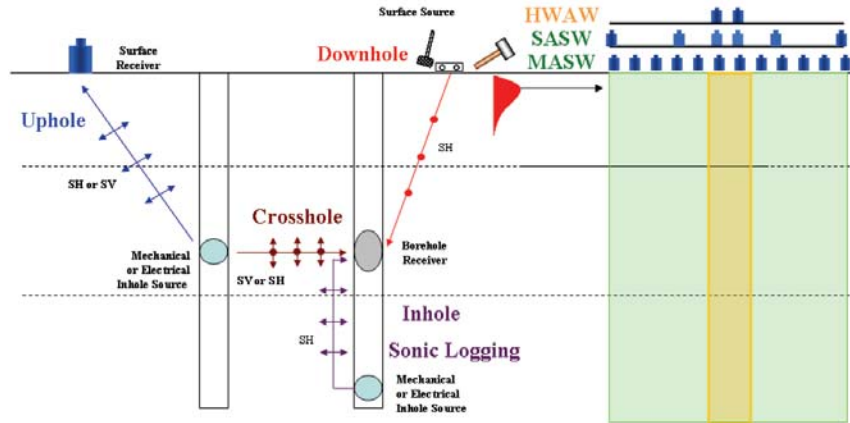


그림 1. 현장 표면과 탐사의 기본 개념도

SASW 시험법은 일정한 주기의 표면파를 사용하는 정상진동기법을 수정·보완한 시험방법으로 반무한 층에서 표면파의 분산 특성에 그 바탕을 두고 있다. 표면파의 분산 특성은 층상구조의 매질에서 파의 전파속도가 파의 주파수에 따라 변하는 것을 의미한다. SASW 시험은 크로스홀 시험이나 다운홀 시험에 비하여 시험이 간단하고 지반내 시추공의 관입이 필요 없으며, 지표면에서 시험이 수행되는 비파괴 시험이라는 장점을 가지고 있다. 그러나 시험에서 결정된 지반 물성치는 시험구간의 평균적인 지반 특성을 나타내는 것으로 보고되어지고 있다.

MASW 시험법(Park et al. 1999)은 표면파의 분산특성을 이용하여 지층의 진단과 속도 분포 파악 및 간접적인 지층 상태를 파악하기 위한 시험방법으로 미국 Kansas 지질연구소에서 1990년대 후반에 개발된 시험법으로 국내에서는 2000년 후반에 도입되어 적용되어 오고 있다. MASW 시험과정은 크게 현장에서의 탄성과 자료획득(data acquisition), 수집된 자료의 분산 해석(dispersion analysis), 역해석(inversion analysis)의 3단계로 구분된다.

이들 각각의 시험방법은 시험방법과 해석기법에서 다소의 차이가 있고 근본적으로 표면파의 분산특성을 나타내는 주파수 또는 파장과 위상속도(Phase velocity)간의 관계를 나타내는 분산곡선을 결정한 후 이에 대한 역산 과정을 통해 최종의 지반 진단과 속도 주상을 획득한다는 점에서 거의 유사하다. MASW 시험법과 표면파 해석 시험법인 SASW와의 비교를 나타내면 표 1과 같다.

표 1. SASW와 MASW의 비교

구 분		SASW	MASW
장비 구성	측정장비	· 속도계(DynamicSignal Analyzer)	· 탄성과 탐사기
	수진기배열	· 2개 또는 4개 이상의 수신기	· Mutichannel(12, 24, 48)
해석과정		· 현장 탄성과 자료 획득 · 위상각 스펙트럼 분석 · 실험분산 곡선 작성 · 표분산 곡선 결정 · 역산, $V_s - profiling$	· 현장 탄성과 자료 획득 · 분산 분석 · 역산, $V_s - profiling$
특징		· 반복측정 및 계산 · source offset에 의한 추론적인 분산곡선 및 S-wave 산정 · 일차원 $V_s - profiling$	· Pattern 분석 · 정확한 분산곡선 및 S-wave 산정 · 일차원, 이차원, $V_s - profiling$

2.1.2 시추조사 및 SPT 시험 개요

지반의 상태 및 특성 파악 목적의 다양한 조사 방법 중 가장 직접적이고 대표적인 조사 방법은 시추조사

(Borehole Drilling Investigation)이다. 이와 함께 병행되는 SPT는 장비 조작과 시험 방법이 매우 간편하고 현장 시험과 동시에 교란 시료를 채취할 수 있으므로 대부분의 토목 및 건축 공사 계획시 토사 풍화암 지반에 대해 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 널리 적용되어 왔다(이병식 등, 2002). 즉, SPT는 현장 원위치 시험 기법의 하나로서 시추 작업과 병행하여 실시되며, 시추공 내에서 시료 채취기(Sampler)가 일정한 타격 에너지에 의해 일정 깊이에 필요한 타격 횟수인 관입 저항치(N값)를 구하여 지반의 상대 밀도(relative density)나 연경도(consistency), 전단 강도 등과 같은 토질 정수를 추정함과 더불어 교란 시료를 채취하여 지반의 구성 성분을 파악하고 실내 시험의 재료원을 제공하는 시험 방법이다. 최초 15cm 관입할 때의 N값은 원위치의 불교란 상태 지반보다는 시추중 쌓이거나 교란된 토사로 판단하여 예비타로 간주하고, 그 하부에서 두 번의 15cm 관입 시의 타격 횟수를 N값으로 기록한다. 또한, 견고한 토사 지반이나 풍화암에서 타격 횟수가 50회를 초과할 경우에는 50회 타격으로 관입된 두께(T)를 측정하여 '50/T'로 기록한다.

현장 시추시 병행되는 SPT는 실제 수행시 각 시험 간에 정량적으로 통일되지 않는 다른 상황이 존재하게 되고 이로 인해 결과 역시 차이를 보이게 된다. 즉, 해머의 종류, 해머 낙하 방법, 시추공의 직경, 지반 상태, 룯드 길이, 그리고 작업자 개인의 실무 능력의 차이 등이 현장에서 측정된 N값에 영향을 미칠 수 있다. 또한 시험 심도의 변화에 따른 유효 상재압의 크기에 대한 영향도 유효적절한 N값의 활용을 위해서 고려되어야 한다. 따라서 현장 시험 수행 상황에 따른 영향과 유효 상재압에 대해 보정하여 실측된 N값이 아닌 수정된 N값을 이용한 지반 상태 및 물성 평가를 실시해야 한다.

2.2 시추조사 결과

2.2.1 서평택지역

서평택지역은 그림 2와 같이 총 3공(BH-1, BH-2, BH-3)의 시추조사를 수행하여, 시추 코어를 통한 층상정보와 함께 SPT-N값을 도출하였다. 시추조사 결과 서평택지역의 대표지반 특성은 층상구조상 실트가 섞인 모래질 자갈로 구성된 매립토, 습하고 치밀한 실트질 모래로 구성된 풍화토, 매우 치밀한 구조의 실트질 중립모래로 구성된 풍화암, 중간정도 절리를 가진 혈암 성분의 연암으로 분류할 수 있다. 전반적으로 서평택지역의 주로 매립토와 풍화토의 층상구조를 보이며, 풍화토와 풍화암 구성에 변화가 있다. 또한 SPT-N은 일반적으로 세 시추공 모두 심도가 깊어질수록 증가하는 경향을 보인다. 결과적으로 서평택지역 대표지반은 일반적으로 시추코어상 조밀하며, 다량의 모래와 자갈로 구성되어 있음을 알 수 있다.

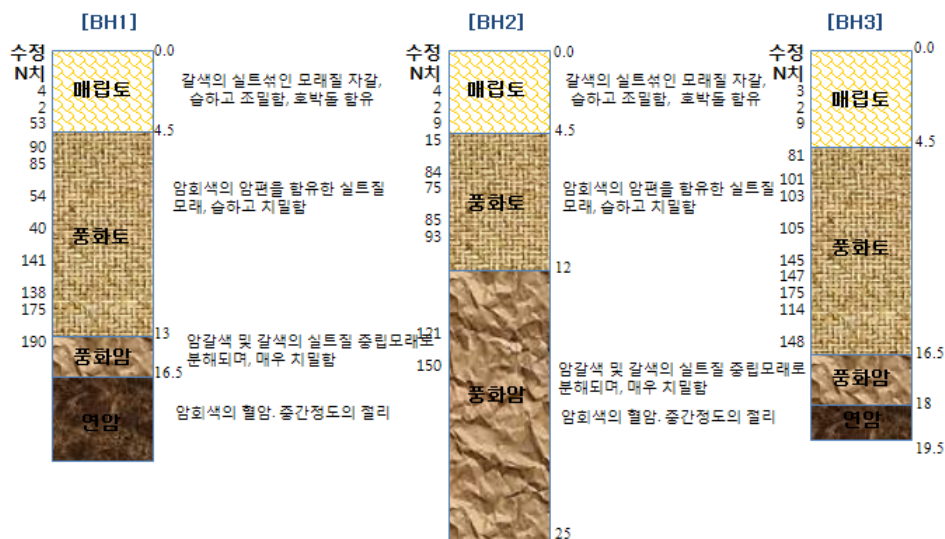


그림 2. 서평택지역의 시추주상도와 SPT-N값

2.2.2 인천지역

인천지역은 그림 2와 3과 같이 청라지구에 2공, 서구 지하철 공사현장에 1공의 시추조사를 수행하여, 총 3공의 시추공 정보를 획득하였다. 인천지역은 대체로 지하수위가 2m 내외이며, 풍화토층 상부 경계층 심도는 시추공에 따라 각각 21m, 12m, 6m로 상당한 차이를 보이는 것으로 측정되었다.



(a) 청라지구A(BH-4)

(b) 청라지구B(BH-5)

(c) 서구 지하철 공사현장(BH-6)

그림 3. 인천지역(청라지구 A, 청라지구 B, 서구 지하철 공사현장)의 시추주상도와 SPT-N값

청라지구의 지반은 주로 퇴적토로 구성되어 있으며, 퇴적토층 분포에 차이가 있다. 반면, 서구 지하철 공사현장은 상대적으로 퇴적토의 두께가 얇고 연암층 심도가 얇다. 또한 청라지구에 해당하는 BH-4, BH-5는 지리 및 지형상 서해안 연안에 위치하고 있어 해안지역의 지반특성을 갖고, 서구 지하철 공사현장의 BH-6은 지형상 내륙지역의 지반특성을 갖는다. 즉, 청라지구(BH-4, BH-5)의 경우 상부 토층은 약 15m~20m의 두꺼운 단단한 실트질 점토로 구성되어 있으며, 하부의 풍화토 및 풍화암은 비교적 깊은 심도인 20m에 위치하고 있어 전형적인 해안지역의 지반 특성을 보인다. 반면에, 서구 지하철 공사 현장(BH-6)에서는 약 12m 두께의 자갈과 모래로 구성된 상부 토층과, 치밀한 조직의 풍화암으로 구성되어 있으며, 기반암까지의 심도는 13m로 상대적으로 토층의 깊이가 얇은 내륙지역의 지반특성을 보인다. 서평택지역과 인천지역의 지반특성을 종합해보면 표 2와 같다.

표 2. 시험지역의 지반 현황

서평택	인천
<ul style="list-style-type: none"> - 기반암 : 혈암으로 구성 - 구성토질 <ul style="list-style-type: none"> · 매립토층 : 실트섞인 모래질 자갈 우세, 호박돌 일부 협재 · 풍화토층 : 실트질 모래 우세 - 조성상태 <ul style="list-style-type: none"> · 모래, 자갈은 습하고 조밀한 상태를 가지고 있음 · 실트질 모래의 풍화토층은 매우조밀한 상태로 조성 	<ul style="list-style-type: none"> - 기반암 : 혈암으로 구성 - 구성토질 <ul style="list-style-type: none"> · 매립토층, 퇴적토층 : 실트질 점토 우세, 호박돌 일부 협재 · 풍화토층 : 실트질 모래 우세 - 조성상태 <ul style="list-style-type: none"> · 실트, 점토는 습윤 또는 젖은 상태, · 점토는 상부층은 매우 연약하나 하부층은 단단하며, 모래는 매우조밀

2.3 물리탐사 시험 결과

서평택과 인천지역의 SASW, MASW의 전단파속도(V_S) 2차원 분포 단면은 그림 4와 같다. SASW의 2차원 V_S 분포 단면은 4m 간격으로 측정된 9개의 1차원 V_S 주상도를 역산하여 도출하였으며, MASW의 경우 2m간격의 20개 이상의 1차원 V_S 주상도를 바탕으로 분포 단면을 구하였다. 그 결과 각 단면도는 정도의 차이는 있으나 공통적으로 심도가 깊어질수록 연속적으로 V_S 가 증가하는 경향을 보였다. 서평택지역은 탐사지역의 지역성에 따라 좌측 하단부에 급격한 V_S 변화를 보이지만 대체로 탐지 축선상의 심도 10m를 기점으로 400~500m/s의 V_S 지층경계면을 형성한다. 지역적으로 좌측에 집중적으로 V_S 가 증가하는 원인은 하부 기반암층의 경계면이 좌측 하단에 분포하고 있기 때문으로 추정된다.

인천지역은 탐사가 이루어진 세 지역의 자료 분포가 비교적 완만한 경사를 보이고 있다. 서부 해양쪽에 위치한 청라지구A는 심도 13m에서 지층경계면으로 판단되는 속도대($V_S=250$ m/s)가 나타나고 있으며, 이러한 경계면은 탐사 전구간에 걸쳐서 연속적인 증가 양상을 나타낸다. 청라지구B는 심도 20m에서 V_S 는 380m/s 내외를 보이고 있으며, 이를 경계로 완만한 경사를 보인다. 특히, 5m 심도에서는 V_S 증가 경향상 상대적으로 작은 V_S 분포를 보였으며, 이러한 원인은 토사층의 불균질성이 크고, 구간별 연속성이 떨어지는 얇은 연약층이 존재하기 때문으로 추정된다. 인천시 서구 지하철 공사현장의 경우, 심도 14m 부근에서 700m/s의 V_S 분포가 나타났으며, 이후 심도가 깊어질수록 연속적으로 증가하는 경향을 보인다.

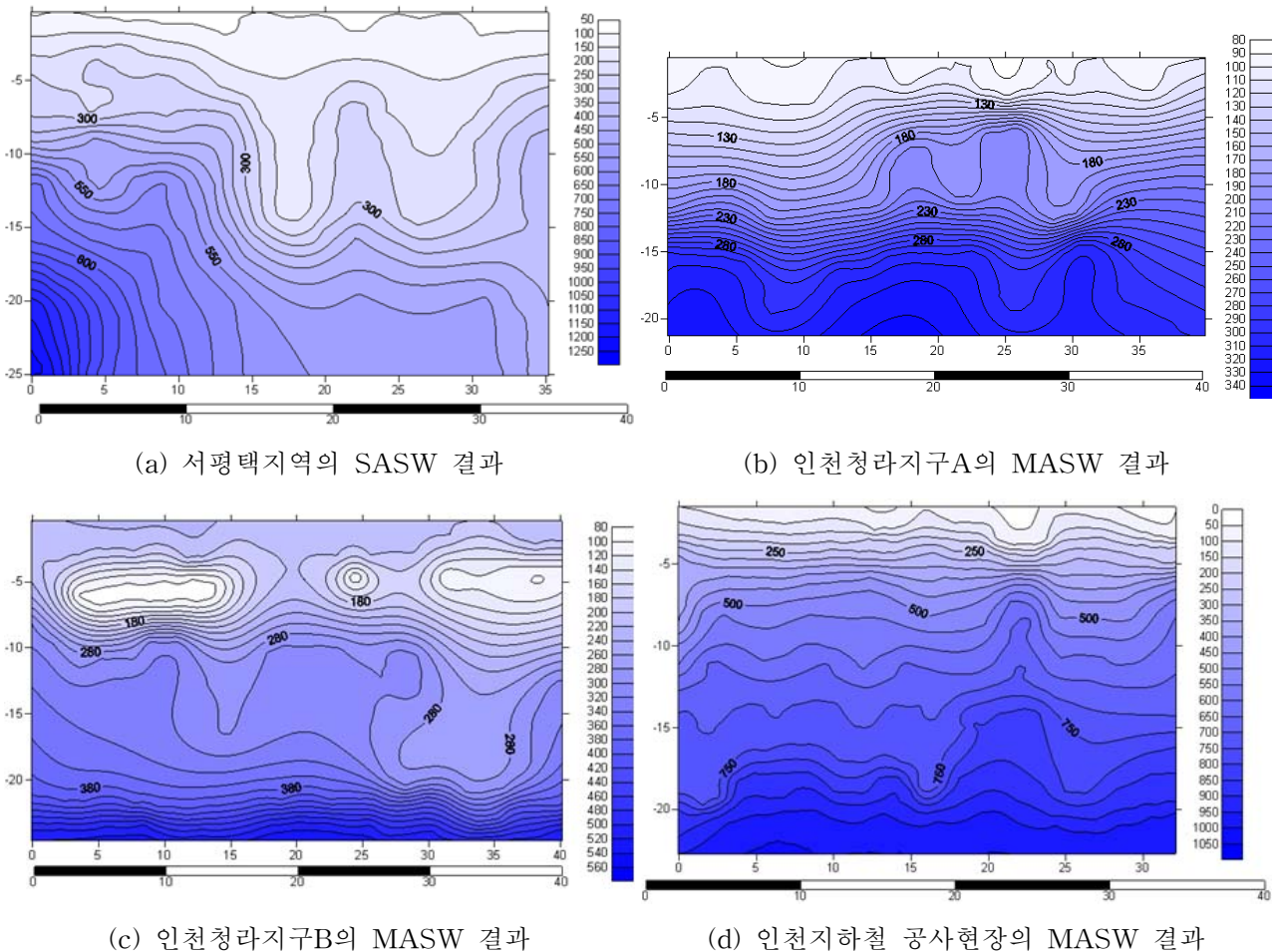


그림 4. 서평택, 인천지역의 SASW, MASW의 V_S 단면도

탐사결과를 종합하면, 각 지역에 따라 수행된 시추공수, 탄성과 시험 종류, 기반암 깊이, 상부 30m 심도의 평균 전단파속도(V_{S30})에 따라 지반을 분류하면 표 3과 같다. 내륙지역의 지반특성을 갖는 서평택지역과 서구 지하철의 경우 해양지역의 지반특성을 보이는 인천청라지구 비해서 상대

적으로 기반암 깊이가 얇고, V_{s30} 이 크게 측정되었으며, 이를 통해 지질 및 지반특성에 따라 단단한 토층이나 연암층을 갖는 S_c 로 분류할 수 있다.

표 3. 지역별 수행된 시험 종류 및 지반 특성

조사 위치	시추공수	탄성파시험	기반암 깊이 (m)	상부 30m 심도 평균 전단파 속도(V_{s30} , m/s)	지반분류	비고
인천청라지구A	1	MASW	31.0	304.73	S_D	Stiff Soil
인천청라지구B	1	MASW	23.0	192.48	S_D	Stiff Soil
서구 지하철 공사현장	1	MASW	13.0	532.4	S_c	Very Dense Soil and Soft Rock
서평택 (서해대교북단)	3	SASW	8.7	507.11	S_c	Very Dense Soil and Soft Rock

3. 분석 결과

3.1 전단파속도와 시추조사에 따른 2차원 대표층상 단면도

서평택지역과 인천지역의 SASW, MASW를 통한 전단파속도 단면 분포와 시추조사 결과를 토대로 상관관계를 분석하였다. 다시 말해, 대상지역별로 시추조사의 층상정보를 이용하여 대표층상별 심도 범위를 V_s 분포 단면에 중첩시켜 층서단위에 따라 대표층상 단면도를 도출하였다.

3.1.1 서평택지역

서평택지역의 시추조사 층서구분과 전단파속도 분포 단면에 따른 대표층상 단면도는 그림 5와 같다. 조사지역에 따라 지역적인 차이는 있으나 단면상 매립토와 풍화토로 구성된 토층의 두께는 10~20m 내외로 상당히 두껍게 분포하였다. 이에 비해 풍화암층의 전단파속도는 500~1300m/s로 광범위하게 분포하고 있으며, 좌측에 분포된 기반암층으로 인해 전단파속도가 단면도상 좌측 하단부에 집중되어 증가하기 때문에 기반암층의 구분이 명확하지 않다. 한편 매립토층의 전단파속도의 깊이별 변화가 심하지만 시추조사 결과와 전단파속도 분포에 따른 층상구분이 비교적 일치한다. 반면에 BH-1과 BH-3은 시추조사 결과 연암층이 존재하지만, SASW에서는 풍화암으로 명시된다.

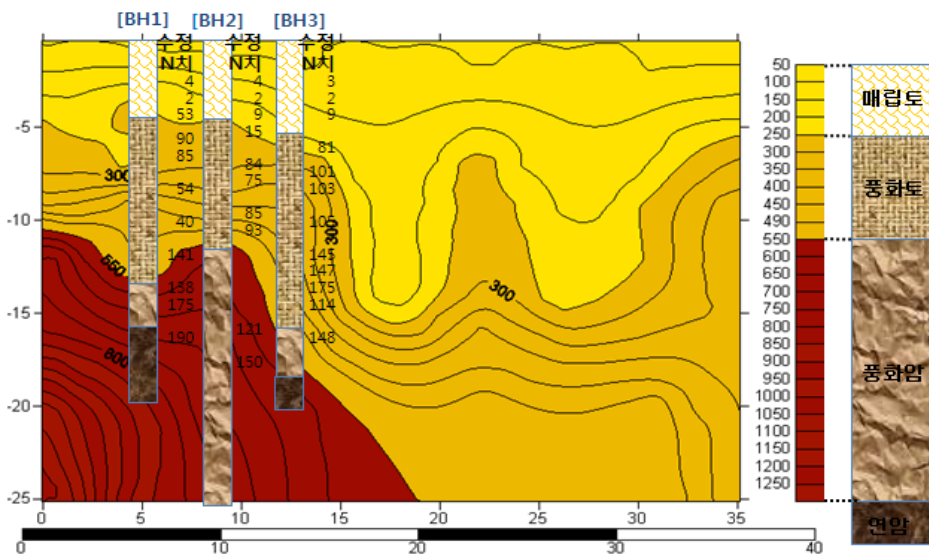


그림 5. 서평택지역(서해대교 북단)의 전단파속도 분포에 따른 대표층상 단면도

3.1.2 인천지역

인천지역은 지형 및 지질학적 특성에 따라 연안쪽에 인접한 청라지구와 비교적 내륙에 위치한 서구 지하철 공사현장으로 구분하여 층상 단면을 확인하였다. 청라지구의 경우 그림 6에서와 같이 매립토, 퇴적토, 풍화토를 포함한 토층이 구간별로 균일하게 분포하고 있으며, 두께는 약 20m이상로 매우 두껍게 분포하고 있다. 반면 전단파속도 분포 단면 및 시추조사 결과를 통해서는 기반암의 심도를 확인할 수 없었다. 청라지구B는 그림 7에서와 같이 퇴적토와 풍화토를 포함하는 상부 토층은 전단파의 깊이별 변화가 심하여 약 10~20m 내외의 분포 특성을 갖는다. 또한 하부 풍화암층이 청라지구A에 비해 얇은 심도에서 비교적 광범위하게 분포하고 있으며, 기반암 심도는 약 23m부근에 위치하고 있어 층서구분상 상부 토층이 두껍고 기반암 심도가 깊은 해안지역의 지반특성을 갖고 있다.

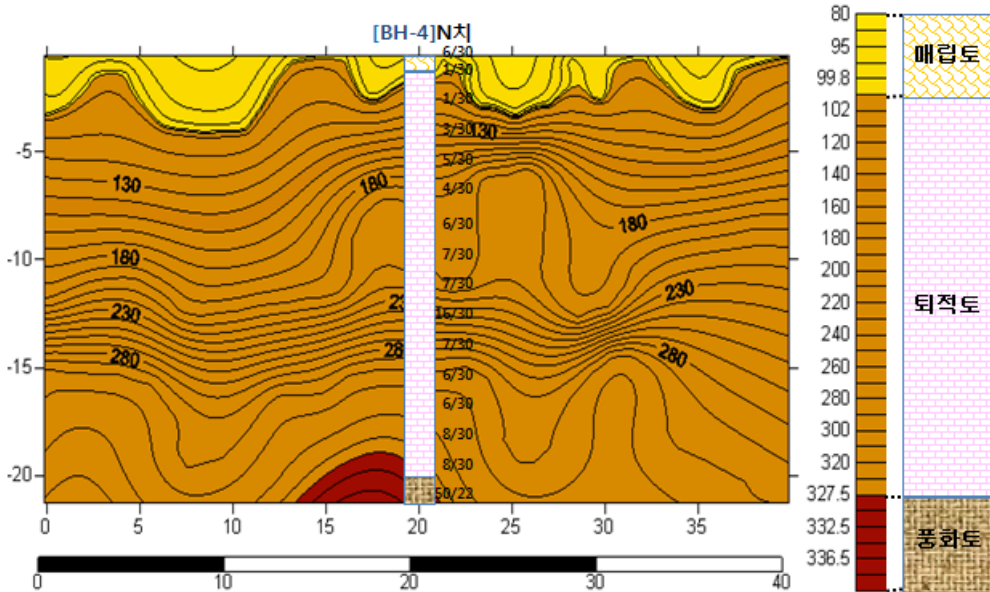


그림 6. 인천지역(인천청라지구A)의 전단파속도 분포에 따른 대표층상 단면도

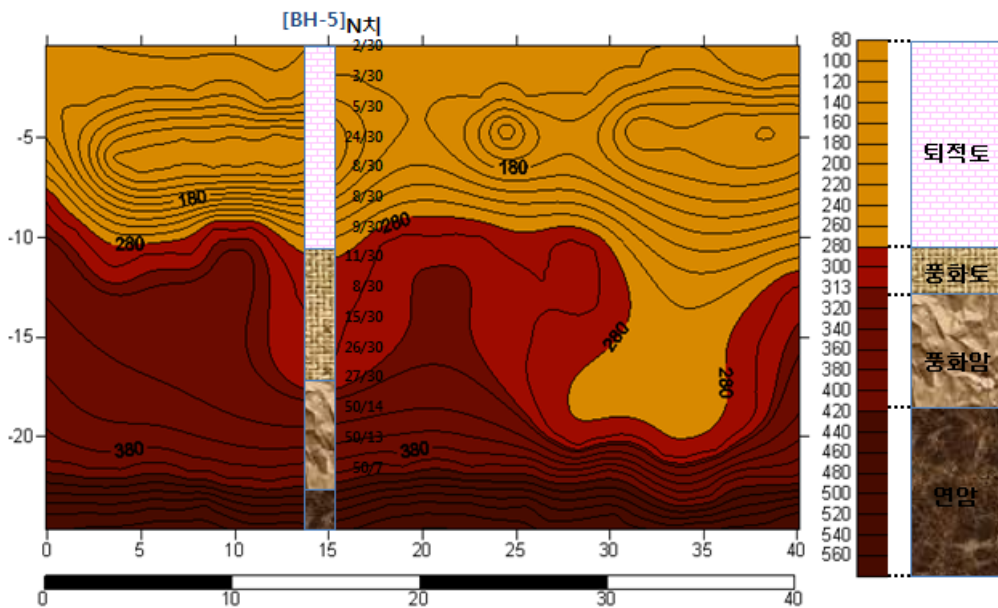


그림 7. 인천지역(인천청라지구B)의 전단파속도 분포에 따른 대표층상 단면도

또한 인천시 서구 지하철 공사현장의 대표 층상 단면도는 그림 8과 같으며, 전반적으로도 지반의 층서구분이 구역별로 고르게 분포하고 있다. 매립토, 퇴적토, 풍화토를 포함하는 토층의 두께는 10m 내외로 인천청라지구보다 얇으며, 기반암의 심도 역시, 약 13m로 내륙지역의 층상분포를 보이고 있다.

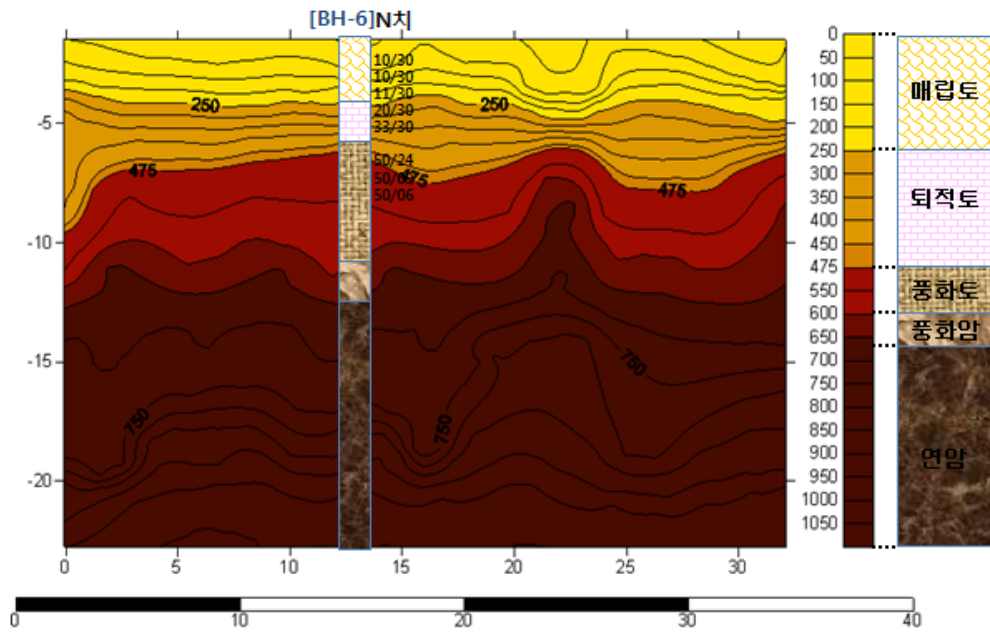


그림 8. 인천지역(서구 지하철 공사현장)의 전단파속도 분포에 따른 대표층상 단면도

SASW, MASW 시험 해석 결과는 축선별 심도에 대한 2차원 전단파속도 분포 단면으로 최종 출력 및 정리되었으며, 각 지층의 전단파속도 분포는 물론 하부 지반에 대한 개략적인 지층 조성 상태에 대한 상대적인 추정 및 파악이 가능하다. 각 지역에 따라 축선별로 수행된 해당 시추조사 결과와 각 축선의 전단파속도 분포를 토대로 지층별 전단파속도 범위 값을 정리하면 표 4와 같다.

표 4. 지층별 전단파속도(V_s) 분포

지층별	서평택 (서해대교 북단)	인천 (서구 지하철)	인천 (청라지구A)	인천 (청라지구B)
매립토	130~225 m/s	150~275 m/s	80~85 m/s	-
퇴적토	-	300~375 m/s	90~330 m/s	140~283 m/s
풍화토	200~650 m/s	475~575 m/s	330~345 m/s	285~360 m/s
풍화암	550~700 m/s	600~675 m/s	345~420 m/s	370~420 m/s
연암	670 m/s 이상	675 m/s 이상	420 m/s 이상	420 m/s 이상

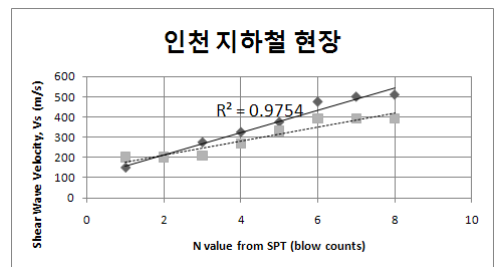
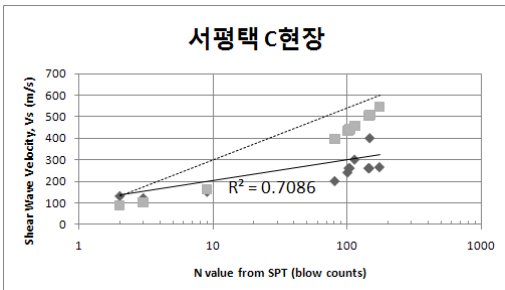
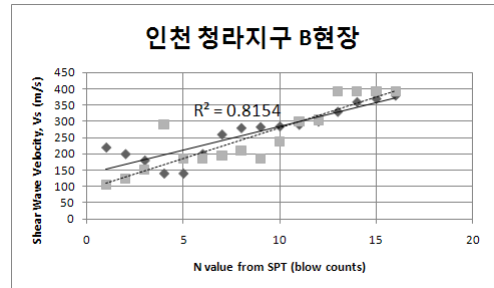
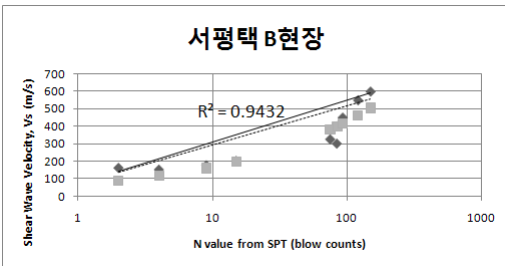
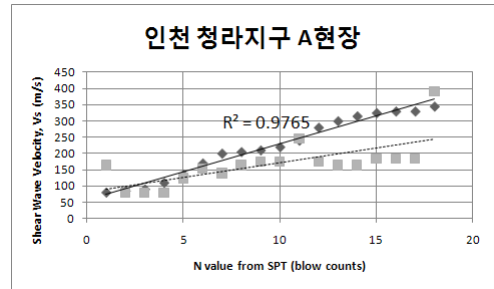
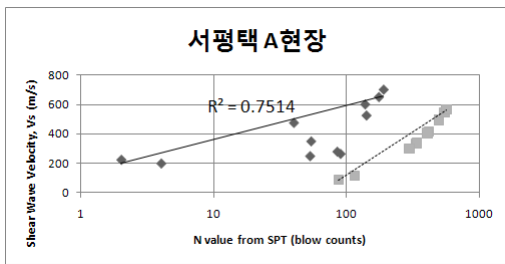
3.2 전단파속도와 SPT-N치 경험식과의 상관성 분석

지반의 전단파 속도는 매질의 종류 및 상태, 즉 지층의 종류 및 조성, 응력이력 상태 등 많은 요소에 의해 영향을 받게 된다. 그리고 이러한 요소 중 지반의 조성상태를 현장의 대표적 원위치 시험방법 중 하나인 표준관입시험(SPT) 결과(N)와 연계하여 전단파속도(V_s)와의 상관관계에 대한 많은 연구가 있었다. 이러한 N치를 이용한 대표적인 지반 및 토질별 V_s 의 경험적 추정식을 정리하면 표 5와 같다.

표 5. 국내 전단파속도(V_s)와 표준관입시험치(N)의 경험적 추정식

층상	성분	경험적 추정식
퇴적토 (AS)	자갈	$V_s = 78.63 N^{0.361}$
	모래 또는 실트	$V_s = 82.01 N^{0.319}$
풍화토 (WS)	모래	$V_s = 75.76 N^{0.371}$
풍화암 (WR)	모래	$V_s = 107.94 N^{0.418}$
모든 지반 (All Soil)		$V_s = 65.64 N^{0.407}$

본 연구에서는 SASW, MASW 시험에 의해 측정된 토사층 심도별 전단파속도와 해당위치에 대한 심도별 표준관입시험치를 비교·분석 하였다. 그 결과 그림 9와 같이 전단파속도 값은 지반의 조성상태가 양호할수록 증가하는 양상을 나타냈다. 비록 상관성은 다소 떨어지나 표준관입시험치(N)와도 비교적 양호한 상관관계가 성립되는 것으로 나타나고 있다. 반면, 지역별로 약간의 자료 분산이 나타나며 이는 지층에 함유된 자갈입자들에 의한 비균질성에 따른 표준관입치(N)의 불규칙성에 의한 것으로 판단된다.



◆ MASW측정값 ■ MASW경험값 — 선형 (MASW측정값) 선형 (MASW경험값)

그림 9. 시험결과와 경험적 추정식과의 비교 분석 결과

또한 표 5에서 제시된 경험적 추정식 중, 모든 지반조건에 사용되는 $V_s = 65.64 N^{0.407}$ (Sun et. al., 2004)을 이용하여 각 지역별로 수행된 SPT-N치를 입력하여 추정된 전단파속도를 그림 9와 같이 도시화하였다. 각 지역에 따라 점성토, 사질토 구분 없이 종합하여 도시·분석한 상관관계 곡선의 값을 토질 종류의 구분 없이 산정되어 있는 경험식과 비교한 결과 경험식과 유사한 양상으로 분포하는 것으로 나타났다. 경험식들은 많은 현장 탐사시험 결과를 토대로 회귀분석식을 통하여 제안된 것으로 약간의 오차는 있으나 실측결과를 근거로 제시된 것이라는 점에서 경험식 적용에 신뢰성을 갖는다. 따라서 SASW, MASW 시험에 의해 측정 및 분석된 토사층 지반의 전단파속도 또한 기존의 경험식과 거의 유사한 양상을 보임에 따라 그 측정결과를 신뢰할 수 있을 것으로 판단되며, 전단파속도 측정에 따른 층상 파악에 유용한 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 SASW 또는 MASW와 시추조사가 함께 수행된 국내 여러 지역의 단면 층상 정보와 전단파속도의 지역적 상관성을 조사 및 설정하였다. 대상지역은 평택의 연안지역, 인천의 내륙지역 및 연안 지역이며, 각 지역별로 수행된 SASW, MASW의 전단파속도(V_s)와 탐지 측선 범위 내에서 수행된 시추조사 결과가 이용되었다.

시추조사 결과 인천청라지구는 서해안에 인접하고 있어 토층의 두께가 두껍고 기반암까지의 심도가 상대적으로 깊어 전형적인 해안지역의 지반특성을 보여줬다. 반면, 서평택지역과 인천 서구지역은 낮은 산으로 둘러싸인 내륙 평지에 위치하고 있어 얇은 토층과 깊은 심도의 기반암 경계선을 갖는 특징을 나타냈다. SASW, MASW의 V_s 분포는 대체로 심도가 깊어질수록 V_s 가 연속적으로 증가하는 경향을 보였다. 따라서 대상지역별로 시추조사의 층상정보를 이용하여 대표층상별 심도 범위를 V_s 분포 단면에 중첩시키고 층서단위에 따라 V_s 범위를 설정하였다. 또한 설정된 층상별 V_s 범위를 토대로 각 지역에 따른 대표 2차원 층상 단면 정보를 제시하였다. 그 결과 대표층상별 두께 및 심도와 함께 V_s 범위를 파악 할 수 있었다. 그리고 도출된 2차원 대표층상 단면의 효율성을 판단하고자 측정 및 분석된 지반의 V_s 와 SPT-N치와의 상관관계를 기존에 제안된 V_s 와 SPT-N치와의 경험적 추정식과 함께 그래프로 도시하였다. 그 결과는 기존의 경험식과 거의 유사한 양상을 보였고, 이는 측정결과가 합리적이며, 신뢰할 수 있음을 의미한다. 따라서 본 연구의 대표 2차원 층상단면 정보는 전단파속도 측정에 따른 층상 파악에 유용한 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2006년도 첨단도시개발사업(과제코드(07도시재생 B03)의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다. 또한 자료를 협조해 주신 중앙대학교 조성호 교수와 희송지오택(주)에도 감사드립니다.

참고문헌

1. 김동수(2007), “지반공학 분야에서의 전단파속도의 활용”, 한국물리탐사학회·대한지구물리학회 공동학술대회.
2. 김진후, 김현도(2004), “비교결 퇴적물에서 다운홀 탄성과 탐사, MASW, SCPT로 구한 횡파 속도 단면과 시추결과 비교 연구”, 한국지구과학회, 제25권, 제4호, pp.270~276.
3. 선창국, 김홍중, 정충기(2008), “전단파속도와 지반공학적 현장 관입시험 자료의 상관관계 도출”, 한국지반공학회 논문집, 제12권, 제4호, pp.1~10.
4. 선창국, 정충기, 김동수(2005), “국내 내륙의 설계 지반 운동 결정을 위한 지반 증폭 계수 및 지반 분류 체계 제안”, 한국지반공학회 논문집, 제21권, 제6호, pp.101~115.

5. 선창국, 정충기, 김동수(2007), “얕은 심도 전단파속도 분포를 이용한 30m 심도 평균 전단파속도의 결정”, 한국지진공학회 논문집, 제11권, 제1호, pp.45~57.
6. Imai, T. and Tonouhi, K.(1982), "Correlation of N-value with S-wave Velocity and Shear Modulus", Proceeding of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, pp.57~72..
7. Joh, S.H., and Stokoe, K.H., II, 1997, Impulse Response Filtration Technique for the determination of phase velocities from SASW measurements. Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 13, pp.111~121.
8. Lee, S.Y., Kim, KY., and Kim, H.J.(2000), "Seismic submarine geology in Pusan Bay; Sedimentation processes in the Nakdong River Estuary, Korea. Journal of the Koreans Earth Science Society, Vol. 14, pp.67~74..
9. S.-H. Joh, D.S. Kim, T.H. Kang, K.S. Kim, H.S, Chang and C.-H. Jo(2006), "Comparison of Surface-Wave Techniques in the Spatial Profiling of Subsurface Stiffness", GeoShangai.
10. Sun, C. G.(2004), Geotechnical Information System and Site Amplication Charateristics for Earthquake Ground Motions at Inland of the Korean Peninsula, Ph.D. Dissertation, Seoul National University.