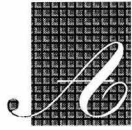




최근 시행되고 있는 지반조사방법중 인홀시험방법에 대하여 알려 주세요.



최충락 / (주)평화엔지니어링 차장, 토질및기초기술사(66기)
박철수 / 경희대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 개요

최근 국내에서도 중규모의 지진 발생이 빈번하여 사회간접시설의 내진 성능에 관심이 높아지고 있고 지진시 지반거동은 부지특성에 매우 큰 영향을 받으므로 부지특성을 파악하기 위하여는 지반의 동적 물성치 평가가 필수적이다.

지반의 대표적 동적 물성치중 하나인 전단파속도(shear wave velocity)는 주로 현장탄성파시험으로 측정하는데, 이중 가장 널리 사용되는 방법으로 크로스홀 시험(cross hole)과 다운홀 시험(down hole)이다. 크로스홀 시험은 가장 정밀한 측정방법이나, 검측공이 두개 이상 필요하므로 비용이 고가이며, 검측공(직경 75mm) 내에 설치할 정도로 소형이며 효율적인 타격에너지를 낼 수 있는 성능 좋은 발진기가 필요하다. 반면에, 다운홀 시험은 한 개의 검측공을 이용하여 경제적이고, 간단한 발진원을 사용하여 시험이 간편하다는 장점이 있으나, 감지기가 깊어짐에 따라 탄성과 파선(ray path)이 길어져 양질의 데이터를 획득하기

어렵고, 강성도 대비가 큰 지반(토사층과 암반)에서는 적용이 어렵다.

이러한 현장시험의 장·단점을 보완하기 위하여 한 개의 검측공에 발진기와 감지기를 동시에 삽입하여 탄성파를 발진하고 감지하는 인홀 시험 장비가 개발되었다.

2. 전단파 속도 및 전단변형계수 결정

지반의 대표적 동적 특성인 전단파 속도(V_s)는 원지반 상태의 강성(stiffness)을 의미한다. 전단파 속도는 지반의 지진시 거동뿐만 아니라 공용 하중상태의 지반 거동 평가에도 매우 중요한 변수로서, 동적 재하나 초기 정적 재하 상태인 미소변형률($<10^{-3}\%$)에서 지반의 변형 특성을 나타낸다. 즉, 전단파 속도를 통해 변형률에 따라 비선형적으로 변하는 지반의 전단변형계수(shear modulus, G) 중에서도 미소 변형률 영역의 최대 전단변형계수(G_{max})를 결정할 수 있다. 지반의 밀도(density, ρ)와 전단파 속도를 이용하여 식 (1)

에서 제시한 바와 같이 전단변형계수 G 를 산정할 수 있다. 또한 정해진 발진기와 감지기간의 거리(l)에 대한 전단파의 통과시간(t_s)을 현장에서 측정하게 되면 식 (2)와 같이 전단파 속도를 얻을 수 있다.

$$V_S = \rho V_S^2 \quad (1)$$

$$V_S = \frac{l}{t_s} \quad (2)$$

3. 인홀 탄성과 시험(In-hole Seismic Test)

3.1 시험방법

인홀 탄성과 시험은 크로스홀 시험과 다운홀 시험 방법의 장·단점을 보완하여 저렴한 비용과 일

반 기술자들이 용이하게 사용할 수 있게 하기 위해 개발되었으며, 그림 1과 같이 발진기와 감지기를 한 검측공에 설치하여 공벽에 대한 타격을 통해 공벽의 길이 방향을 따라 전파되는 연직방향 전단파(SV-wave)를 발생시키게 된다. 공벽 주변의 지반 매질을 통과한 전단파는 감지기 내의 속도계(geo-phone)에서 수신되며, 경우에 따라 두 개 이상의 감지기를 설치함으로써 지반을 대상으로 보다 종합적이고 신뢰성 높은 전단파 속도 결과를 결정할 수 있다.

기존의 서스펜션 P-S logging은 Sonde라고 부르는 인홀 프로브(probe)를 물이나 벤토나이트 슬러리로 채워진 검측공에 피워 탄성파를 계측하였다(그림 2). 이 계측기는 전자 햄머가 한쪽방향으로 움직이면서 그 방향의 물에 압력을 가하고 이때 발생한 압력분포가 지반을 변형시킴으로써 P파와 S파를 발생하게 된다. 따라서 변환되고 굴절된 전단파(P-S-P 파)를 계측하게 된다. 토사 층

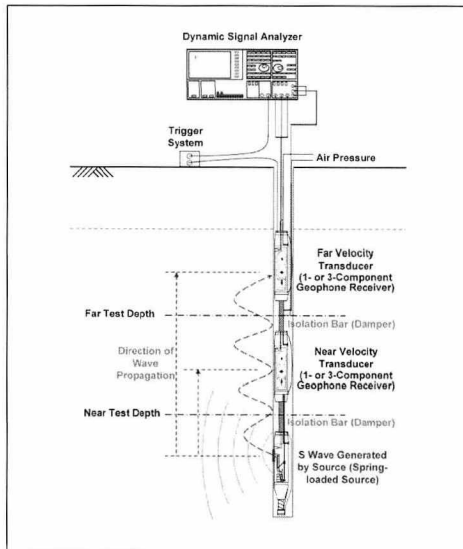


그림 1. In-hole Seismic Test

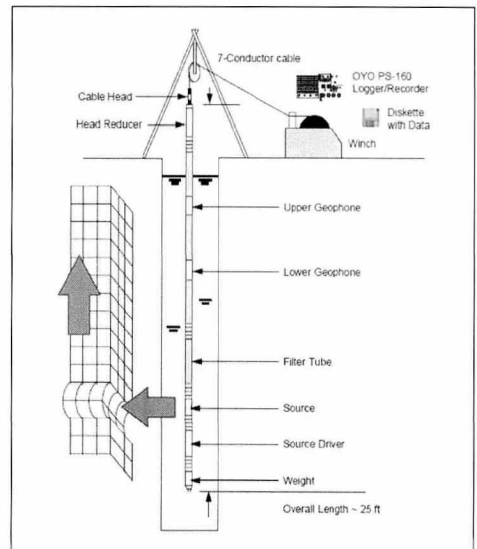


그림 2. Suspension PS Logging

에서는 그리 성과가 좋지 않은 것으로 나타났으며 암반에서 적합한 것으로 판명되었다. 이러한 단점을 극복하고자, 인홀 프로브는 물을 사용하지 않고 기계적인 힘으로 공벽과 밀착시키는 시스템(mechanical packer)을 사용하였다. 공벽의 밀착된 프로브는, 서스펜션 P-S 검층에서 계측하는 변환되고 굴절된 전단파가 대신에, 토사층을 전파하는 직접 전단파(direct shear wave)를 계측할 수 있게 된다. 수직전단파(SV)는 경계면에서 다른 종류의 파(압축파)로 바뀌지 않기 때문에, 식별이 용이한 전단파가 도착하게 된다.

3.2 인홀 Probe의 구성

스프링-서보모터 발전기와 감지기를 연결재로 체결하여 인홀 탄성파 시험이 가능하도록 구성한 본체는 그림 3와 같다. 연결재는 발전기의 가진시 진동이 감지기에 도달하지 않도록 차단하거나 감지기에서 획득한 지반의 전단파 초동을 용이하게 확인 할 수 있는 재질이어야 한다. 따라서 본 연구에서는 재료적 고찰과 다양한 연결재의 예비 적용을 토대로 지반의 강성보다 충분히 작은 강성을 가질 뿐 아니라 발전기와 감지기의 간격 확보가 가능하고 시험시 손상 우려가 적으며 손쉽게 구할 수 있는 진공호스를 댐퍼(damper) 기능의 연결재로 사용하였다.

공벽과의 밀착을 위해 일반적으로 적용되어온 압축 공기주머니(air packer)나 판 스프링(plate spring)대신 기계적인 힘으로 공벽과 밀착시키는 시스템(mechanical packer)을 사용하였다. 이는 압축 공기주머니가 지하수위 아래에서 수압으로

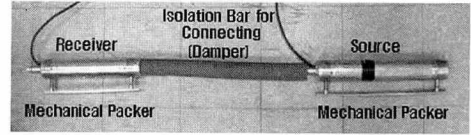


그림 3. 인홀 프로브의 구성

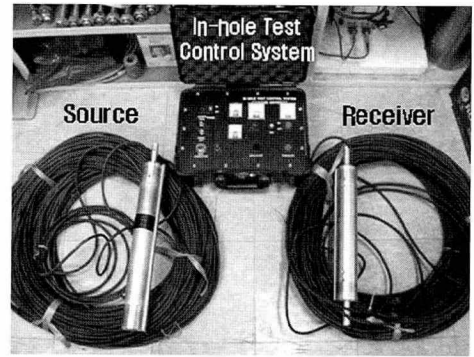


그림 4. 인홀 탄성파 시험 장비

인해 공기 주머니 팽창의 한계와 지속적인 공기 공급이 이루어져야 하는 불편을 없애고, 공기를 공급하는 부대장비를 불필요하게 되어 장비의 간편성을 높였다.

그림 4는 각각 분리된 발전기와 감지기 그리고 제어 장치(in-hole test control system)를 보여 주고 있다. 제어 장치는 인홀 프로브의 공벽 밀착과 발전기의 공이 발전을 간편하게 제어할 수 있도록 하는 기능을 갖추었다. 또한 분리된 발전기와 감지기는 NX크기(공경 76mm)의 검층공에서 크로스홀 시험 수행이 가능하며, 감지기만 별도로 사용하여 다운홀 시험도 가능하다.

4. 결론

인홀 탄성파 시험(in-hole seismic test)은 간단한 장비를 이용하여 단일 시험공에 대해 지반 강성을 측정하므로 경제적이지만 아니라, 전파 경

로인 발진기와 감지기간 거리에 대한 전단파도달 시점 결정만으로 지반의 전단파 속도를 산출할 수 있으므로 매우 간편하다고 할 수 있다.

그러나, 지반의 동적물성치(전단변형계수, 감쇠비 등)는 변형률 크기, 구속응력, 응력이력, 동하중의 주파수특성 및 흙의 공학적 특성에 따라 영향을 받게 되므로 동적물성치를 측정하고 산정할

때는 이에 대한 고려가 반드시 이루어져 하며, 내진해석등에 활용할 때는 이러한 인자들에 대해 충분히 인지한 후 적용하는 것이 매우 중요하며, 동하중에 의한 지반의 평가를 하기 위하여는 현장시험뿐만 아니라 실내시험과 종합 비교 분석하여 적용하는 것이 필요하다.

[참고문헌]

1. 목영진(1994), "역산이론을 이용한 다운홀 시험 결과의 해석," 한국지반공학회 논문집 제10권 제4호, pp. 29~37.
2. 목영진, 강병수, 김정환(2003)a, "인홀 탄성파 시험을 이용한 암반의 동적물성치 측정," 대한토목학회 논문집 제 23권 제 2C호, pp. 119~125.
3. 토목설계의 요점 시리즈3, 1998, 기초 구조물/지중 구조물, 도서출판 과학기술 pp. 242.
4. Hoar, R. J. and Stokoe, K. H., II (1978), "Generation and Measurement of Shear Wave in situ," Dynamic Geotechnical Testing, ASTM STP 654, ASTM, pp. 3~29.
5. Mok, Y. J.(1987), Analytical and Experimental Studies of Borehole Seismic Methods, Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Austin, pp. 32.
6. Mok, Y. J., Kim, J. H., and Kang, B. S.(2003)b, "A Pilot Study of In-Hole Seismic Method," Journal of the Korean Geotechnical Society Vol.19, No.3 June, 2003, pp. 23~31.
7. Ogura, K.(1979), "Development of a Suspension Type S-wave Log System," OYO Technical Note TN-34, OYO Corp., Tokyo, Japan, 23p.
8. Hoar, R. J.(1982), Field Measurement of Seismic Wave Velocity And Attenuation For Dynamic Analyses, Ph. D. Dissertation, University of Texas at Austin, pp. 37~447.
9. Stokoe, K. H., II, and Woods, R. D.(1972), "In-Situ Shear Wave Velocity by Cross-Hole Method," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings, ASCE, Vol. 98, No. SM5, pp. 443~460.