

지반조사 시 온도에 대한 영향 평가



윤형구

대전대학교 지반방재공학과 조교수
(hyungkoo@dju.kr)



변용훈

고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정 수료
(asan1103@korea.ac.kr)



이종섭

고려대학교 건축사회환경공학부 교수
(jongsub@korea.ac.kr)

1. 개요

최근, 얇은 협재층을 포함한 지층 구조를 정밀하게 파악하기 위하여, 직경이 작은 소형 콘관입시험기와 전기비저항 프로브가 활용되고 있다. 기존의 표준 콘관입시험기는 Full-bridge 방식으로 회로를 구성하여 온도와 같은 주변의 오차를 자체적으로 상쇄할 수 있는 반면, 소형 콘관입 시험기는 계측 게이지를 부착하고 회로를 구성할 내부 공간이 협소하여, 주로 half-bridge 방식으로 회로를 구성하게 된다. 여기서, Half-bridge 방식은 Full-bridge와 다르게 자체적으로 오차를 상쇄할 수 없기 때문에, 온도와 같은 주변조건에 의해 출력전압이 크게 영향 받는다. 한편, 전기비저항 프로브는 선단부에서 직접적으로 전기비저항을 측정하는 방식으로 지반조사에 다양하게 활용되고 있다. 그러나, 전기적인 특성은 온도의 증가 및 감소에 따라 이온입자들의 움직임이 변화하기 때문에,

지층특성뿐만 아니라 주변온도에 의하여 전기저항이 변화하게 된다. 따라서, 지반특성을 보다 정밀하게 조사하기 위해, 지반조사에서 활용되고 있는 소형 콘관입시험기와 전기비저항 프로브의 온도에 대한 보상기법이 요구되고 있다.

2. 소형 콘관입시험기

탄성체의 변형량을 예측할 수 있는 스트레인 게이지는 콘관입시험기 내부에 부착되어 지중응력을 평가하는데 활용되고 있다. 스트레인 게이지는 일반적으로 4개의 센서를 이용하여 휘트스톤 브리지(Wheatstone-bridge)라고 불리는 증폭회로를 구성한다. 하지만, 회로 구성의 여유 공간이나 사용자의 목적에 따라 쿼터 브리지(Quarter-bridge), 하프 브리지(Half-bridge) 그리고 풀 브리지(Full-bridge) 방

식으로 구분되어 활용하고 있다. 각 스트레인 게이지의 저항 (R_1, R_2, R_3 그리고 R_4)과 저항증분($\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3$, 그리고 ΔR_4)을 이용하여 증폭회로내의 입력전압과 출력전압 관계를 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 이는 스트레인 게이지의 저항과 증가량의 관계를 통해, 최종적으로 식 (3)과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$e = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \cdot E \quad (1)$$

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = K_s \cdot \varepsilon_1 \quad (2)$$

$$e = \frac{E}{4} \cdot K_s \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (3)$$

여기서, E와 e는 각각 입력 및 출력전압을 의미하며, K_s 와 ε 는 각각 변형률계의 게이지 상수 및 탄성체의 변형률을 나타낸다.

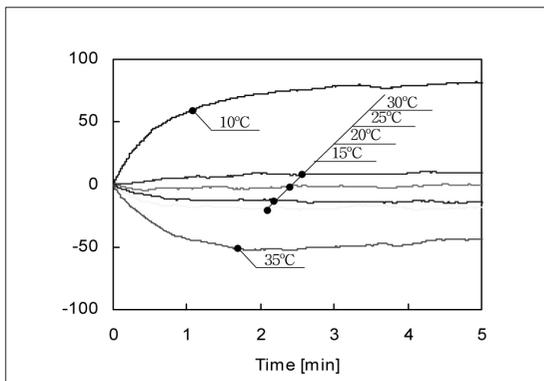
본 고에서는 소형 콘관입시험기에서 온도를 보상하기 위하여, 내부 로드셀 형상을 후면으로 약 54mm 연장하여 콘 내부에서 풀 브리지(Full-bridge) 회로를 구성할 수 있도록 하였다. 소형 콘의 원추관입력 및 주변마찰력은 표준 콘(직경: 35.7mm)의 연결방식과 동일하게 4개의 스트레인 게이지를 설치하였다.

제안된 회로의 온도보상 효과를 검증하기 위하여 수조에 소형 콘을 안착시킨 후 물의 온도만을 변화($10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$, 5°C 씩 증가)하여 출력전압의 변화를 관찰하였다. 실험결과, 소형 콘의 기존회로인 하프 브리지(Half-bridge)는 원추관입력이 온도변화에 따라 급격하게 증감하였으며(그림 1 참조), 반면에 풀 브리지(Full-bridge) 회로는 하프 브리지(Half-bridge)에 비하여 출력전압의 오차가 50% 이하로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 하프 브리지(Half-bridge) 회로의 경우는 시간 경과에 따라 오차값이 일정하게 발산하지만 풀 브리지(Full-bridge) 회로의 경우는 약 150~200초 사이에 오차값이 거의 0에 수렴하는 것으로 나타났다.

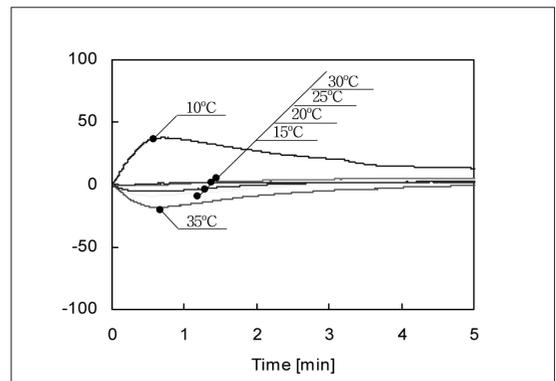
이와 같이, 본 고에서 제안한 풀 브리지(Full-bridge)방식의 회로구성은 기존방법보다 온도를 적절히 보상하여 소형 콘관입시험기에서 신뢰성 높은 결과를 도출할 수 있을 것이다.

3. 전기비저항 프로브

대상체의 전기적인 특성은 온도가 변화함에 따라 다양한 값을 보여주며, 전기비저항은 온도변화에 따라



(a) 온도비보상 회로



(b) 온도보상 회로

그림 1. 원추관입력 온도보상 실험 결과

약 2%/°C 정도 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 이유로, 현장 시험시 온도에 대한 보정은 반드시 수행되어야 하며, 본 고에서는 시추공 탐사시 획득한 지층의 온도 값을 이용하여 온도를 보정한 전기비저항을 도출하고자 하였다. 선행적으로 전기비저항 프로브를 이용하여 물의 온도만을 변화시켜 실내실험을 진행하였다. 그 결과, 온도와 전기비저항의 관계는 다음의 수식과 같이 표현할 수 있으며, 이로부터 현장에서 획득한 온도와 전기비저항을 이용하여, 온도가 보상된 전기비저항을 얻을 수 있다.

$$R_c [\Omega] = R + \Delta R (\alpha \cdot \Delta T [^{\circ}\text{C}]) \quad (4)$$

여기서, α 는 전기비저항 프로브의 온도계수 (단위: 1/°C), R은 측정된 전기저항 그리고 R_c 는 온도가 보상된 전기저항을 나타낸다. 본 고에서 활용한 전기비저항 프로브의 온도계수는 0.0757로 나타났다.

관입실험은 지표에서 심도 약 5~6m까지는 성토층, 약 13m 지점까지는 연약한 점토층, 그리고 하부에는 모래 및 자갈층으로 구성된 현장에서 수행되었다.

관입실험은 장비의 안정성을 고려하여 성토층을 보링한 후 심도 5m~12.5m까지 수행하였다. 온도센서는 프로브 선단부근에 부착하였으며, 측정된 결과는 그림 2(a)와 같다. 지중 관입시 온도는 약 5°C 감소하는 것으로 나타났으며, 이후에는 마찰열과 프로브 주변 지반 온도의 영향으로 일련의 온도 변화가 관찰되었다. 그림 2(b)는 측정된 전기비저항 값을 보여주며 심도가 증가함에 따라 전기비저항 값이 증가하나, 일정심도 이후에는 거의 일정한 값을 보였다. 온도를 보정한 전기비저항 주상도도 함께 도시하였으며, 비보상 주상도와 상이한 결과를 보였다. 온도를 보정한 결과의 신뢰성을 검증하기 위하여, 실험 시추공에서 약 3m 떨어진 지역에서 수행된 표준 콘관입실험의 원추관입력과 비교하였으며 (그림 2(c)), 비교 결과 공간적인 다양성으로 다소 차이는 있지만 유사한 경향성을 보였다. 본 고의 결과는 시추공 전기비저항 탐사시 온도를 반드시 고려해야 함을 나타내며, 연구에서 제안한 기법을 이용하면 충분히 온도를 보상할 수 있을 것으로 판단된다.

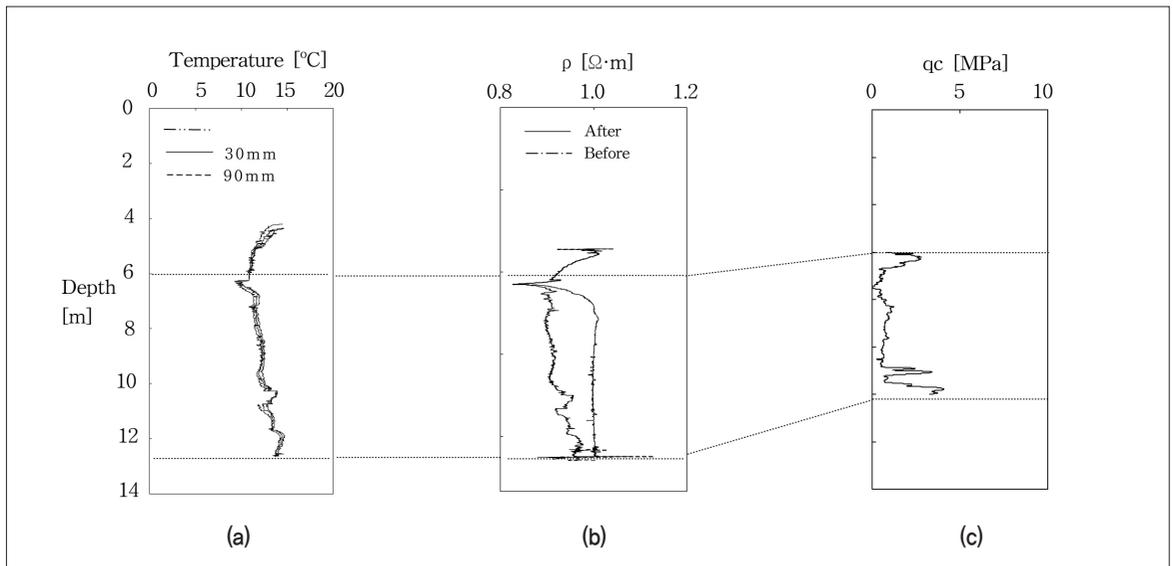


그림 2. 현장실험 측정결과: (a) 온도변화; (b) 전기비저항; (c) 원추관입력