

에코콘 탐사시스템을 이용한 지반특성 및 지반환경 조사

정하익, 김영진, 홍승서, 강동우*, 이경국**

한국건설기술연구원 지반연구부, *에코랜드(주) 기술부, **대아건설(주) 플랜트부
(e-mail : hichung@kict.re.kr, yckim@kict.re.kr)

<요약문>

The purpose of this study is to develop the investigation technology of ground characteristics and environments using eco cone penetration system. The underground environments of landfill was investigated and analyzed by this eco cone system. The electrical resistivity sensor, pH sensor, ORP sensor, and thermometer are installed in eco cone penetration system. This eco cone penetration system provides a continuous profile of measurements in underground, and provides repeatable, reliable and cost effective results for investigation of clean and contaminated ground.

Key word : eco, cone penetrometer, landfill, ground, geoenvironmental

1. 서론

건설공사시에는 지반의 물리역학적 및 환경적 특성의 조사가 필요하다. 재래에는 지반의 물리역학적 특성이 중요하였는데 최근에는 열악한 지반에서의 공사사례가 증가하고 있기 때문에 지반환경의 특성 조사가 필요하게 되었다. 건설공사를 대상으로 하는 일반적인 지반조사에서는 주로 토립자, 지지력, 투수성 등 흙의 물리·역학적 특성 파악에 대한 지반조사 및 토질조사가 실시되었다. 그러나 지반재해와 환경오염 등을 대상으로 하는 오염지반에서는 흙의 물리·역학적 특성보다 간극수 및 가스의 조성 및 화학적 특성, 오염특성, 그리고 미생물 등 흙의 화학·생물학적 특성 파악에 대한 환경조사가 필요하다.

본 연구에서는 사용종료매립지 부지에 대한 에코콘 탐사시스템에 의한 지반조사를 실시하여 지반의 환경특성을 심도별로 측정하였다. 본 현장에 대하여 에코콘 현장실험은 3개소를 실시하였는데 이는 3공의 시추공 바로 옆 지점에 대하여 실시하여 에코콘에서 측정되는 수치와 시추공에서 측정되는 수치를 비교하도록 하였다. 에코콘으로부터 측정되는 환경정보는 전기비저항, 산화환원지수(ORP), pH, 지중온도이며 조사지점의 심도별로 측정하여 지반의 오염형태 및 오염분포를 수직적으로 분석할 수 있도록 하였다. 또한 선정된 지점에 대한 상호관계를 분석하여 지중환경 특성을 3차원적으로 분석 및 도시하였다.

2. 본론

본 조사의 대상현장인 비위생매립지는 현재 매립이 완료된 상태이다. 조사지역의 지반상태는 상부로

부터 매립층, 매립쓰레기층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연암층으로 구성되어 있으며, 지하 20~30m지점까지는 쓰레기 매립층이다. 쓰레기는 매립된지 15년 이상이 경과된 지역이다.

에코콘은 다양한 형태의 지중환경 특성을 조사할 수 있도록 제작되었다. 에코콘에 내장된 전기비저항 측정센서는 환경콘의 상단부에 4개의 전극링을 설치하고 인위적으로 전류(10mA)를 흐르게 하여 부지 내에 발생하는 전위차를 측정하는 원리로 오염지역의 저항분포를 파악하도록 하였다. 전극링은 내화학적 및 내부식성이 뛰어난 티타늄 재질을 사용하여 전극링을 환경콘 상단부에 3cm의 등간격으로 구성한 Wenner Method로 전기비저항을 측정하였다. 또한 에코콘은 전기비저항 감지기 외에 pH와 ORP 감지기가 장착되어 있고, 지중온도를 파악할 수 있는 온도감지가 있다.

현장실험은 우선 지반조사장비를 사용하여 보오링을 한 다음 에코콘을 관입하는 방식으로 수행하였다. 보오링시에는 에코콘이 오염물과 밀착한 상태로 접촉하기 위하여 보오링공의 직경을 에코콘의 직경(36mm)보다 크지 않는 길이로 굴착하도록 주의하였다. 실험지역은 표층의 함수비가 건조한 상태의 건축폐기물과 화강토가 혼합된 상태로 보오링시 공벽이 자립하지 못하여 표층에는 케이싱을 설치하였다.

케이싱의 설치가 완료되면 에코콘에 룯드(Rod)를 연결하면서 에코콘을 지중에 깊이 1m마다 관입시킨 후, 에코콘을 정지시켜 흡과 접촉한 감지센서로부터 전기비저항, pH, 산화환원지수, 온도의 반응을 측정하고 다시 1m를 관입하여 측정하는 방식으로 총 10m까지 측정하였다. 측정은 각각 3회 측정하여 평균하였다. 심도별로 측정이 끝난 후에는 채취 튜브를 통해 일반수를 고압으로 주입하여 측정센서를 세척하여 다음실험을 실시하도록 하였다. 또한, 에코콘 관입 시 발생하는 슬라임(slime)을 심도별로 채취하여 자연함수비를 측정하였다.

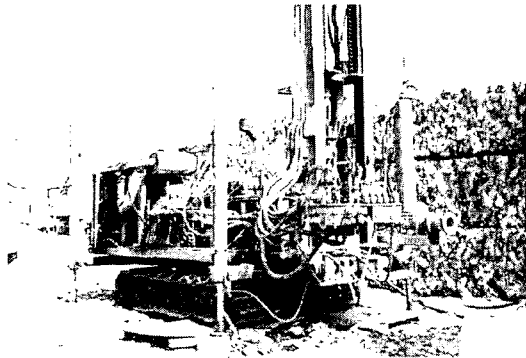


그림 1. 에코콘 관입장치

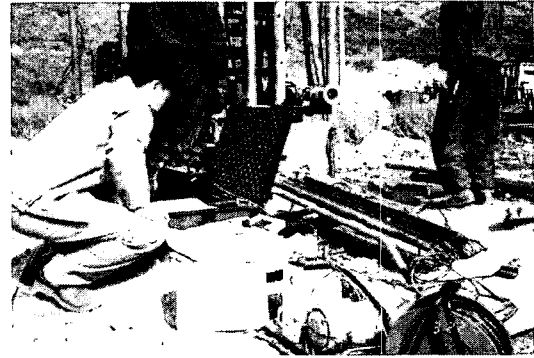


그림 2. 에코콘 측정장면

비위생매립지의 3지점에 대한 에코콘 측정결과 중에서 대표적으로 지점 1에 대한 결과를 살펴보면 아래와 같다. 지점 1의 에코콘 측정에서 전기비저항은 심도에 따라 감소하고 있는데, 측정심도 2~4m에서는 비저항값이 297.9~541.6 Ω -m로 관측되다가 심도 5m에서 10m지점까지의 측정된 전기비저항은 4.45~120.5 Ω -m로 나타났다. 측정된 pH는 심도 5m지점에서 3.63으로 급격하게 감소하였다가 7~9m지점에서는 측정값이 5.25~5.68로 산화된 상태로 나타났으며 산화환원전위 측정결과는 58.7~428.7mV로 심도에 따른 일정한 경향을 보이지 않았다. 산화환원지수(Eh)의 측정된 결과는 500mV이하로 측정되어 일반토양보다 환원상태로 되어 있음을 알 수 있었다. B3 지점의 지중온도는 심도에 따라 증가하고 있었으며 특히 깊이 10m에서는 지중온도가 34.2 $^{\circ}$ C로 상당히 높게 나타났다. 지점 1은 심도 4m까지는 대체로 안정적인 함수비(12.4%)하에서 오염이 심하게 발생하지 않았으나, 심도 5m이후부터는 측정되는 전기비저항과 pH가 일반토양의 측정값보다 낮은 수치를 나타내고 있었다.

지점 2의 측정결과를 살펴보면 함수비는 2m와 4m지점에서 각각 13.5%, 14.2%로 나타났고 8m와

10m지점에서는 각각 22.6%와 20.2%로 상부층보다 높게 나타났다. 전기비저항은 2~3m지점은 측정이 안되었고 심도 4m와 5m에서는 각각 2,531 Ω -m과 1,154 Ω -m으로 상당히 높게 나타났다. 이는 건축폐기물 등과 같은 입경이 큰 물질과 낮은 함수비에 기인한 것으로 판단된다. 반면에 심도 5~6m의 범위의 전기비저항은 급격히 감소하여 심도 6m이하에서는 전기비저항이 10.57~32.05 Ω -m로 낮게 측정되었다. pH는 심도 5~7m지점에서 5.04~5.69로 나타났다. 또한 산화환원전위는 22.2~281.2mV로 5m지점을 제외하고 심도에 따라 증가하였다. 온도는 12.0~26.4 $^{\circ}$ C로 나타났다. 지점 2에서는 전기비저항 측정이 심도 5m이하에서 낮게 측정되었고, pH는 5~7m 사이에서 6이하의 값을 보여 심도 5m이하부터는 폐기물이 넓게 분포하는 것으로 사료된다.

그림 4~그림 5는 오염지점에 대한 상호관계를 분석하여 오염원의 형태를 3차원적으로 나타낸 것이다.

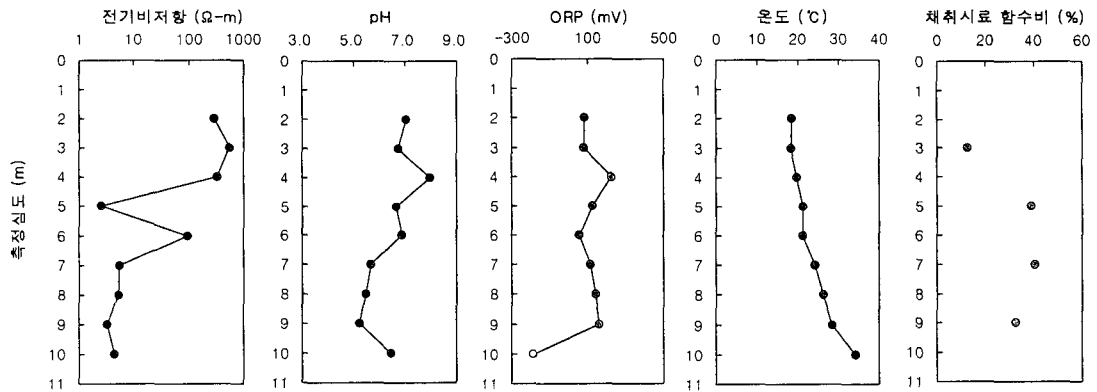


그림 3. 지점 10에 대한 에코콘 현장실험 결과

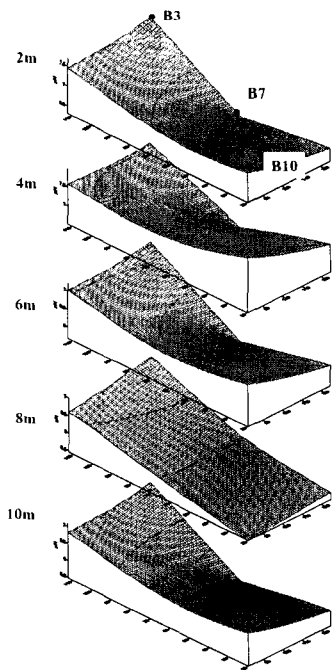


그림 4. 심도별 pH 분포

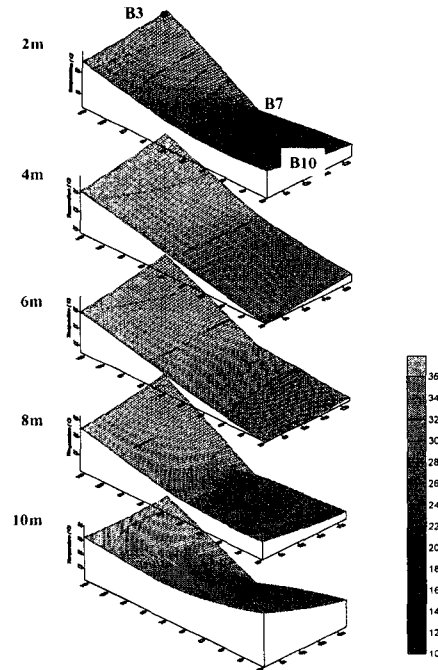


그림 5. 심도별 지중온도 분포

3. 결 론

에코콘을 이용한 지반특성 및 지반환경 조사결과 에코콘은 토양내의 일반특성 및 환경특성을 잘 파악할 수 있는 것으로 평가되었다. 본 에코콘은 전 세계적으로 유일하게 지중의 다양한 환경특성을 조사할 수 있도록 고안된 것이다. 오염지역 및 열악한 지역에서의 건설공사가 증가되고 있고 전국적으로 지반의 오염도가 심화되고 있는 현실을 감안할 때 향후 에코콘의 적용성이 매우 증가될 것으로 생각된다. 에코콘 결과를 이용하여 지반의 환경특성을 정확하게 파악함으로써 지반의 위해성을 감소시키고 및 건설공사의 안전성을 증가시키는데 큰 역할을 할 것으로 보인다.

참고문헌

1. Brandl, H. and P. K. Robertson(1997), Geo-environmental site investigation, specification and characterization, Environmental Geotechnics, A.A. Balkema.
2. Campanella, R. G. and I. Wemees(1990), "Development and use of an electrical resistivity cone for groundwater contamination studies" , Canadian Geotechnical Journal, 27(5)
3. 정하익(1998), 지반환경공학, 유림