환경콘에 의한 지하유류 저장시설주변 지반환경 조사

Investigation of Ground Environment Around Underground Oil Storage Facilities Using the Envi-Cone Penetrometer System

정하익[1], Ha-Ik Chung, 홍승서[2], Seung-Seo Hong, 김영진[3], Young-Jin Kim,
홍성완[4], Sung-Wan Hong, 곽무영[5], Moo-Young Kwak

[1] 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Dept., KICT
[2] 한국건설기술연구원 토목연구부 연 구 원, Researcher, Civil Eng. Dept., KICT
[3] 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Dept., KICT
[4] 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원, Senior Research Fellow, Civil Eng. Dept., KICT
[5] 대조바이오텍 주식회사 대표이사, President, DaeJo Biotech Corporation

SYNOPSIS : In recent years there has been a steady increase in geoenvironmental engineering projects where geotechnical engineering has been combined with environmental concerns. Many of these projects involve some investigation of contaminant in the ground. There are many techniques such as geophysical, drilling, sampling, and pushing techniques for investigation of contaminated ground. The most rapidly developing site characterization techniques for geoenvironmental purposes involve direct push technology, that is, penetration tests. The purpose of this study investigated underground oil storage tanks(USTs) using the envi-cone penetrometer system. The electrical resistivity sensor, pH sensor, ORP sensor, and thermometer are installed in envi-cone penetrometer system. This envi-cone penetrometer system provides a continuous profile of measurements, and it is rapid, repeatable, reliable and cost effective for investigation of contaminated ground surrounding the underground oil storage tanks.

Key words : geoenvironmental engineering, underground oil storage, envi-cone penetrometer system,

1. 서론

본 논문은 오염된 지반을 과학적이고 경제적으로 조사할 수 있는 관입형 환경콘 시스템(Envi-Cone Penetrometer System, ECPS)을 개발하여 ○○인근 유류저장시설 주변을 대상으로 지반의 환경특성을 조사/분석하였다. 환경콘 시스템은 오염토양을 굴착할 필요 없이 환경콘을 지반에 직접 관입하여 연속적인 지층의 오염형상을 빠르고, 반복적이며 정확한 측정결과를 제공한다. 조사지역은 유류저장시설에서 인접한 곳과 멀리 떨어진 곳을 선정하여 심도별로 환경콘을 연속적으로 측정하였다. 시험결과로부터 지중 깊이에 따른 전기비저항과 pH, ORP, 온도의 변화를 측정하였고 각각의 측정결과들로부터 상호 관계를 비교/분석하였다.

2. 지반환경조사용 환경콘 시스템

환경콘 시스템은 전기비저항 센서, pH 센서, ORP 센서, 온도 센서를 장착하여 중금속 오염지역, 유기

화합물 오염지역 등, 오염물의 종류에 관계없이 오염지역을 효과적으로 조사할 수 있는 장비이다.

환경콘 시스템은 다음과 같은 장점이 있다.

- 오염원의 종류에 관계없이 지반의 오염특성을 분석한다.
- 환경콘을 지중에 관입하면서 심도별로 오염특성를 연속적으로 측정한다.
- 빠르고 신속하다.
- 오염물과 사람과의 직접적인 접촉이 없어 안전하다.
- 시스템 운용이 간편하다.

2.1 환경콘 시스템의 전체구성

그림 1과 같이 환경콘 시스템은 오염지반에 직접 관입하여 오염지반을 측정하는 환경콘과 측정센서의 오염정보를 수집하고 저장하는 자료획득 시스템, 환경콘을 지중에 관입시킬 수 있는 차량탑재 항타장비로 구성된다.

환경콘은 오염예상지점에 관입하여 오염측정센서들의 오염민감도를 깊이별로 관측하여 측정센서별로 반응한 결과를 분석할 수 있다. 또한 각 측정값의 상호관계를 분석하여 좀더 정확하고 종합적인 결과를 분석하여 오염지역의 오염범위, 오염농도, 오염두께, 지질구조 등을 종합적으로 판단하여 향후 지반정화 대책공법을 마련하는 기초자료로 활용할 수 있다.

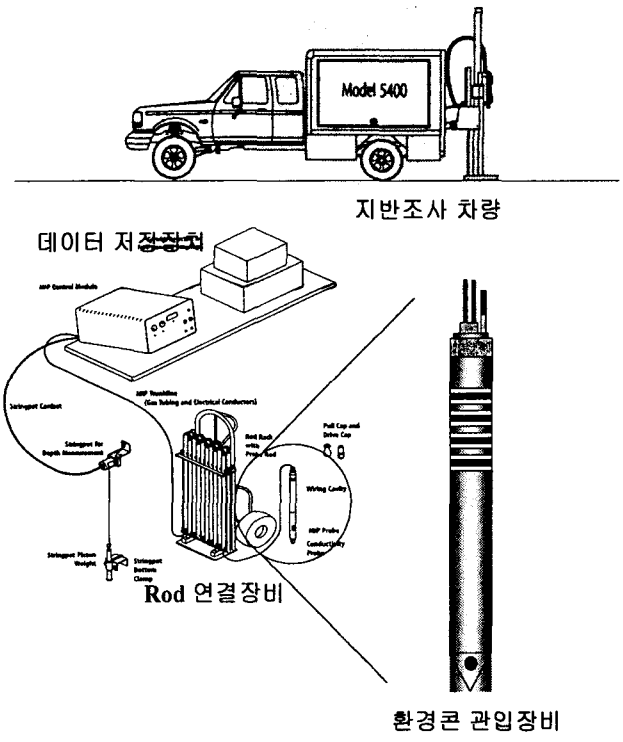

그림 1. 환경콘 관입 시스템의 전체 구성도

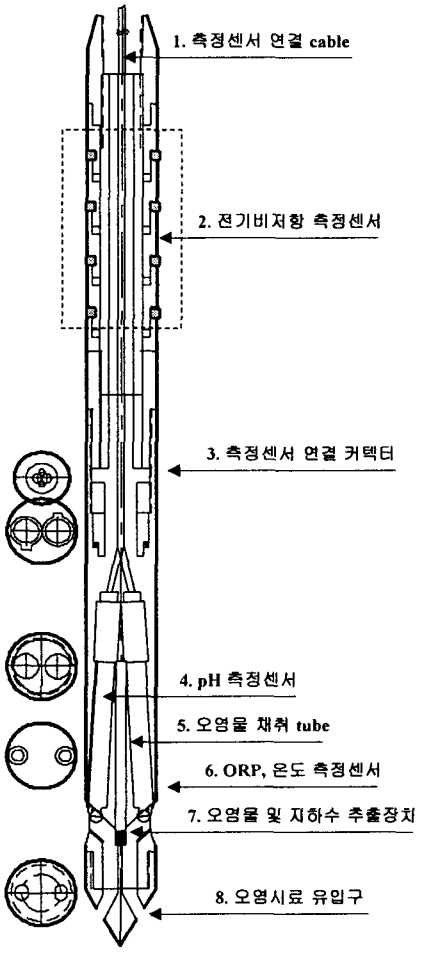

그림 2. 환경콘 관입 장비의 측면도

2.2. 환경콘 관입 장비

환경콘의 내부에는 전기비저항, pH, 온도, ORP 측정센서를 장착하였고, 오염지반 내의 오염물을 채취할 수 있는 오염물 추출장치를 설치하였다. 그림 2는 환경콘 관입시스템에서 관입장비의 전체 측면도로서, 각 부분의 원리 및 기능은 다음과 같다.

(1) 측정센서 연결 cable
측정센서(pH, ORP, 온도, 전기비저항)에서 얻어진 결과를 계측장비로 전송하는 역할을 한다.

(2) 전기비저항 측정센서
환경콘에 한쌍의 전극을 설치하고 인공적으로 전류를 흐르게 한 다음, 부지내에 발생하는 전위를 측정하는 원리로 오염지역의 비저항분포를 파악하는 역할을 한다. 전기비저항 측정용 전극링은 부식이 적고 전기전도율이 좋은 티타늄으로 제작하였고, Wenner의 전극배열방법을 사용하여 전기비저항을 측정한다.

(3) 측정센서 연결 커넥터
환경콘 선단부분의 pH, ORP, 온도를 고정하는 역할을 한다.

(4) pH, 온도 측정센서
오염된 지반의 pH와 온도 변화를 측정하는 역할을 한다. pH센서는 무보충식을 사용하여 보충액을 교체하는 불편함을 제거하였다.

(5) 오염물 채취 tube
지중 내의 오염물질을 지표 위로 올리기 위한 연결 역할을 한다.

(6) ORP, 측정센서
지반에 오염에 따른 ORP와 온도의 변화를 측정하는 역할을 한다. ORP 센서도 pH와 같이 무보충식을 사용하였다.

(7) 오염물 및 지하수 추출장치
지중내에 존재하는 오염물질과 지하수를 채취하기 위하여 진공펌프를 통해 유입되는 원리로 채취가 끝난 후에는 물이나 다른 약품을 사용하여 압축펌프를 통해 tube의 안쪽면을 세척한다

(8) 오염시료 유입구
측정센서가 오염시료를 측정하는 구조로 오염시료가 콘의 내부로 유입하여 콘내부에 장착된 오염측정센서와 반응하도록 제작하였다.

3. 현장실험

3.1 실험방법

본 현장조사에서는 ○○인근 유류저장시설 주변을 대상으로 토양의 오염상황을 분석하였다. 조사위치는 유류저장탱크에서 4m 떨어진 A지역과 40m 떨어진 B지역을 선정하였다(그림 3). 본 환경콘 시스템의 항타장비는 미국 환경청(US EPA)에서 추천하는 Geoprobe System(미국, Kejr Engineering사 제품)

을 사용하였다. 본 Geoprobe System은 1.4톤 소형차량에 탑재된 장비로서 기동력이 우수하고, 침투기 함마방식이 DPT(Direct Pushing Techlonogy)인 되메우기 기법을 사용하는 장비이다. 본 현장조사 지점은 그림 3에서와 같이 지하저장탱크에서 4m 떨어진 오염예상지역과 저장탱크에서 40m 떨어진 지점을 선정하였다. 각각의 지점에 대하여 깊이별로 환경콘을 관입하여 pH, ORP, 온도, 전기비저항을 측정하였다. 상기와 같은 실험조건을 표 1과 같다.

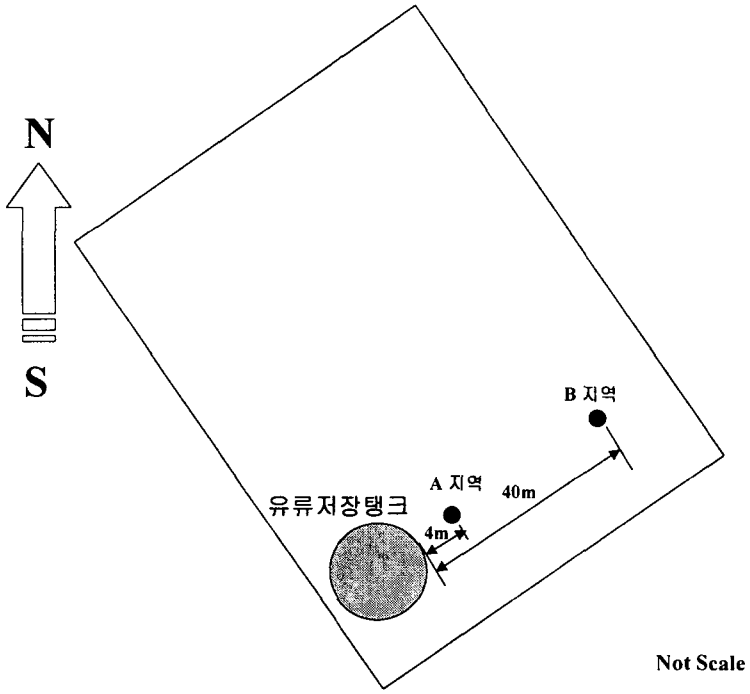

그림 3. OO인근 유류저장 시설 오염조사 위치도

표 1. 실험조건

구 분	측정 깊이(m)	측 정 위 치	측 정 항 목			
A 지역	1, 2, 3, 4, 5, 6	유류저장탱크로부터 4m 위치	전기비저항 (Wenner Method)	pH	ORP (mV)	온 도 (℃)
B 지역	1, 2, 3, 4, 5, 6	유류저장탱크로부터 40m 위치	전기비저항 (Wenner Method)	pH	ORP (mV)	온 도 (℃)

3.2 환경콘 시스템에 의한 전기비저항, pH, ORP, 온도 측정

일반적으로 전기비저항 측정은 전류전극과 전위전극을 이용하여 지하 매질의 전기비저항 분포를 알아내는 방법으로, 전류전극을 통해 대지에 공급된 전류의 크기와 이에 의해 발생된 전위의 크기를 측정함으로써, 전기비저항치의 변화 양상을 측정하고, 이를 해석하여 지반의 오염범위, 오염농도, 오염두께, 지질구조 등을 파악한다. 본 논문에서 사용한 전기비저항센서는 열전도도가 작고 내식재료로서 우수한 티타늄 재질을 채택하였다. 또한 전극배치방법은 그림 4와 같이 일정한 간격으로 전극을 배치한 Wenner 방법으로 측정하였는데, Wenner방법은 낮은 비저항 지대 및 잡음이 큰 곳의 측정에 적합하다.

오염물질의 종류 및 농도에 따른 pH의 변화와 산화환원전위(E_h)의 변화를 측정하기 위해 pH 센서와

ORP 센서를 콘의 선단부에 장착하였다. 그림 5와 같이 환경콘이 지중에 관입되면서 콘선단부의 공간을 통하여 흙시료가 통과하게 되며 흙시료는 측정센서와 접촉하여 시료의 환경특성을 측정하게 된다. 또한 콘측면의 구멍을 통하여 시료가 배출하여 연속적으로 측정할 수 있게 만들었다. 이와 같은 구조로 인하여 깊이별로 pH, ORP, 온도의 변화를 측정하여 지반의 오염특성을 측정한다.

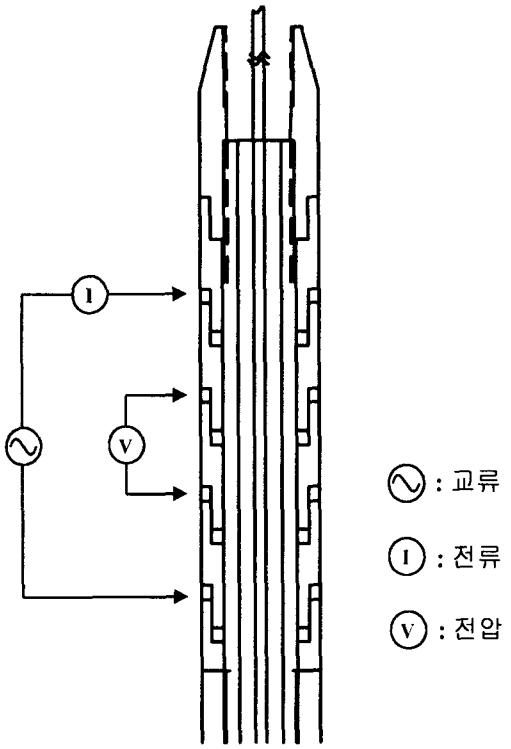

그림 4. 환경콘 관입장비의 전기비저항 측정부

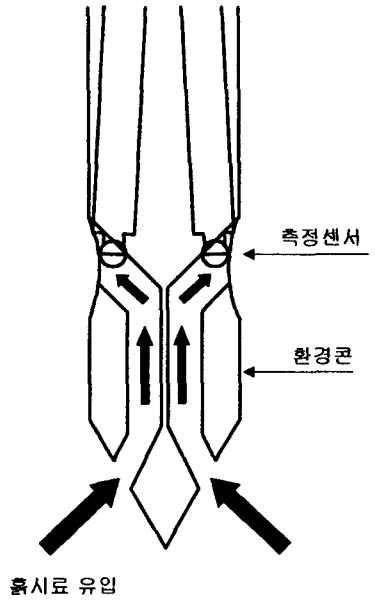

그림 5. 환경콘의 선단부 구조

4. 결과분석 및 고찰

4.1 A지역에서의 환경콘 측정결과

유류저장탱크에 인접한 A지역에 대한 실험결과는 표 2와 그림 2와 같다. 전기비저항 측정결과, 심도가 깊어질수록 전기비저항값은 높게 나타났다. 초기의 1m~4m까지의 전기비저항값은 50.05~66.58Ω-m로 나타났으나. 심도 5m 이후부터는 전기비저항이 88.24Ω-m로 증가하였다. 또한, 심도 6m에서도 전기비저항값은 84.36Ω-m로 크게 나타났다. 전기비저항 측정에서는 지표에서부터 4m까지는 측정값이 일정한 경향을 나타냈으나, 심도 5m이후에서는 전기비저항값이 증가하였다. 따라서 심도 5m이후부터는 지반의 유류오염농도가 큰 것으로 판단된다.

pH측정에서는 6.88~7.29로 측정되었다. A지역에서의 pH값은 심도가 깊어질수록 점진적으로 증가하였다. ORP 측정결과, 측정심도 2m에서는 88mV로 가장 크게 나타났으나 나머지 다른 심도에서는 50mV 이하로 작게 나타났다. 대체적으로 측정심도가 깊어질수록 ORP 측정값은 감소하고 있었다. 온도는 심도 1m에서는 5.4℃를 나타났고 심도 6m에서는 16.1℃로 크게 나타났다. 따라서 깊이가 갚어질수록 온도변화는 증가하였다.

표 2. A지역에서의 환경콘 측정결과

측정항목 / 심도 (m)	전기비저항(Ω-m)	pH	ORP(mV)	온도(℃)
1	66.58	6.97	47	5.4
2	50.05	6.88	88	6.4
3	59.76	7.18	28	9.0
4	53.74	7.16	45	10.8
5	88.24	7.15	32	14.8
6	84.36	7.29	5	16.1

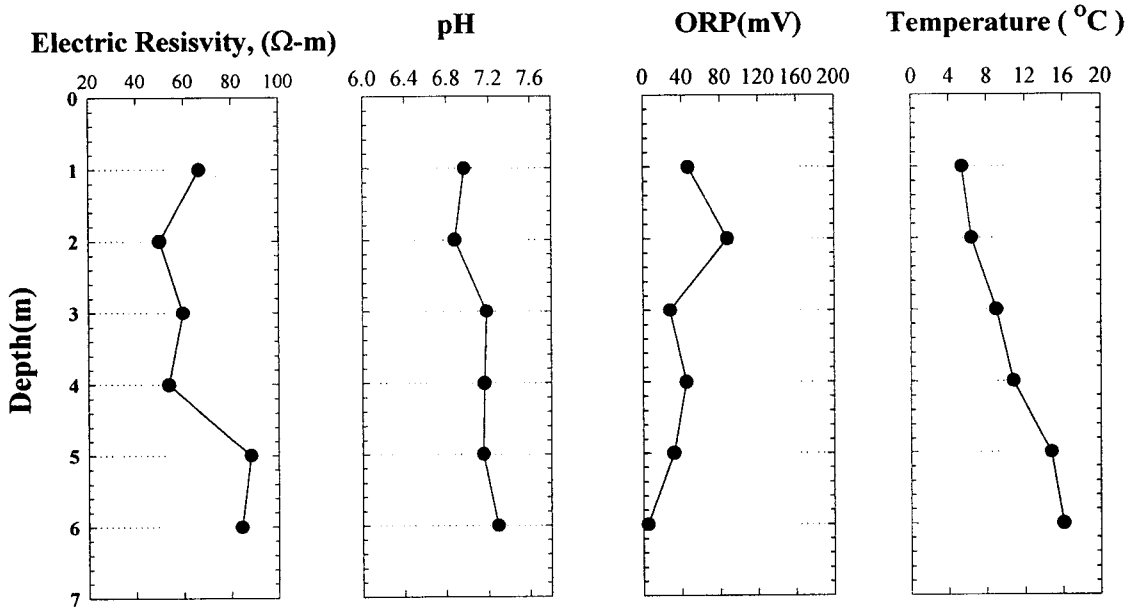

그림 5 A지역에서의 환경콘 측정결과

4.2 B지역에서의 환경콘 측정결과

B지역에서의 측정결과는 표 3과 그림 6와 같다. 실험결과, 전기비저항은 심도 1m에서 40.58Ω-m로 나타났고, 심도 6m에서는 48.24Ω-m으로 약간 증가하였다. A지역과 비교하여 볼 때, B지역의 전기비저항은 35.18~48.24Ω-m로 심도에 관계없이 일정한 경향을 나타냈다. pH 측정에서는 심도 5m에서의 pH 값이 6.95로 가장 크게 나타났다. pH측정에서는 전체적으로 6.41에서 6.95의 범위로 일정하게 수렴되고 있었다. ORP측정에서는 심도 1m와 5m일 때의 측정결과는 각각 108mV와 112mV로 크게 나타났으나 나머지는 상대적으로 작은 값을 나타내고 있었다. 또한 온도변화에서는 4.8~13.3℃의 범위로, 심도가 깊어질수록 온도가 높게 나타났다.

표 3. B지역에서의 환경콘 측정결과

측정항목 / 심도 (m)	전기비저항(Ω-m)	pH	ORP(mV)	온도(℃)
1	40.58	6.41	108	4.8
2	39.61	6.78	85	7.3
3	41.79	6.81	82	8.3
4	35.18	6.73	75	8.8
5	44.39	6.95	112	11.4
6	48.24	6.78	65	13.3

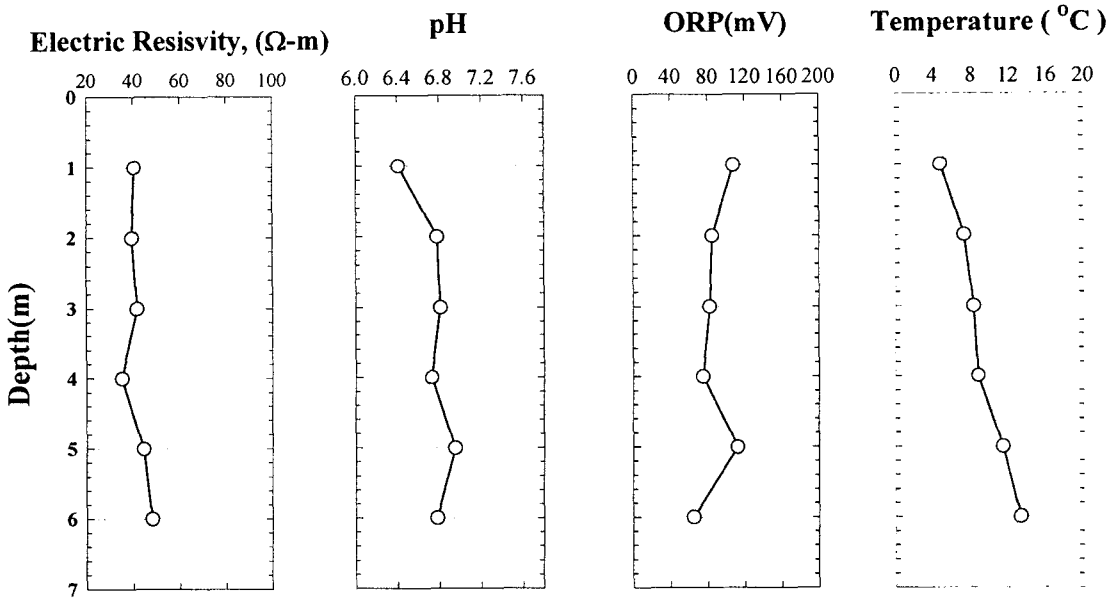

그림 6 B지역에서의 환경콘 측정결과

4.3 분석 및 토의

A지역에서의 환경콘 측정결과를 살펴보면, 전기비저항값은 심도 5m에서부터 급격히 증가하고 있었다. pH측정에서는 심도가 증가할수록 점진적으로 증가하였으며, ORP측정에서는 점진적으로 감소하고 있었다. 따라서 A지역은 심도가 증가할수록 유류의 오염이 심화되고 있으며, 심도 5m와 심도 6m에서 가장 크게 유류가 오염된 것으로 판단된다. 반면, B지역에서는 심도에 관계없이 전기비저항, pH, ORP 측정결과가 대체적으로 일정한 경향을 나타내고 있었다. 따라서 B지역은 오염이 일어나지 않았거나 상대적으로 A지역보다 오염이 덜 진행된 것으로 판단된다.

5. 결 론

오염된 지반을 효과적으로 조사할 수 있는 환경콘 시스템(Envi-Cone Penetrometer System, ECPS)을 개발하여 ○○인근 유류저장시설 주변을 대상으로 현장실험을 수행하였으며 그 결과를 요약/정리하면 다음과 같다.

1) 유류저장탱크에 인접한 A지역에 대한 실험결과, 전기비저항 측정에서는 심도가 깊어질수록 전기비저항값은 높게 나타내었다. 지표에서부터 4m까지는 일정한 경향을 나타내고 있었으나, 심도 5m이후에서는 전기비저항값이 크게 나타났다. 따라서 심도 5m이후부터는 지반의 유류오염농도가 큰 것으로 판단된다. pH값은 심도가 깊어질수록 점진적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, ORP 측정에서는 심도가 깊어질수록 측정값이 작게 나타났다. 또한 온도는 깊이가 깊어질수록 온도가 증가하고 있었다.

2) B지역에서의 전기비저항은 깊이 심도에 관계없이 일정한 전기비저항 측정값을 보이고 있었다. pH 측정에서는 심도 5m에서의 pH값이 6.95로 가장 크게 나타났다. pH측정에서는 전체적으로 6.41에서 6.95의 범위로 일정하게 수렴되고 있었다. ORP측정에서는 심도 1m와 5m일 때의 측정결과는 각각 108mV와 112mV로 크게 나타났으나 나머지는 상대적으로 작은 값을 나타내고 있었다. 또한 온도측정에서는 4.8~13.3℃의 범위로, 심도가 깊어질수록 온도가 높아지고 있었다.

3) A지역에 대한 환경콘 측정결과, A지역은 심도가 깊어질수록 유류의 오염이 심화되고 있으며, 심도 5m와 심도 6m에서 가장 크게 유류가 오염된 것으로 판단된다. 반면, B지역에서는 심도에 관계없이 전기비저항, pH, ORP 측정결과가 대체적으로 일정한 경향을 나타내고 있었다. 따라서 B지역은 오염이 일어나지 않았거나 상대적으로 A지역보다 오염이 덜 진행된 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 엔지니어링핵심 사업의 2차년도 연구인 "구조물의 안전성과 경제성을 높이기 위한 지반조사기술 개발 및 D/B 구축" 의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

2. 윤길림 외 4인, 오염지반의 전기비저항치와 토성과의 상관성 연구, 한국지반공학회지 Vol.14 No.2, pp.79~92, 1998
3. 정하익 외 2인, 오염지반 및 지하수 정화기술에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1995
5. 환경처, 토양질 측정현황, 한국환경연감 , 1987-1991
6. Campanella, R. G. and I. Wemees, "Development and use of an electrical resisitivity conr for groundwater contamination studies" , Canadian Geotechnical Journal, 27(5), pp. 557-567, 1990.
7. Brandl, H. and P. K. Robertson., Geo-environmental site investigation, specification and characterization, Environmental Geotechnics, A.A. Balkema, 1997.
8. Acar, Y. B. & D. E. Daniel, Geoenvironment 2000: characterization, containment, remediation, and performance in environmental Geotechnics, geotechnical Special publication No. 46, ASCE, 1995
9. Robison, R. "Detecting leaks electronically", Civil Engineering, v. 66, 1996