

오염현장 특성화 조사 및 정화기술 적용성 평가

(Site Characterization and Applicability Test of Remedial Technologies in
Hydrocarbon Contaminated Site)

이철호* · 이광표 · 전연호 · 장원용

삼성물산(주) 건설기술연구소

1996년 1월에 발효된 토양환경보전법에 따라 유류 저장시설물에 대한 오염현황을 주기적으로 검사하고, 토양오염 우려기준과 토양오염 대책기준 초과여부에 따라 오염지역 개선이나 정화사업을 실시해야 한다. 또한 토양환경 보존에 대한 법규와 규제가 강화될 것으로 예고되고 있어 토양 오염 조사기술과 오염된 토양의 정화를 위한 기술확보가 필요하게 되었다. 본 연구는 환경부의 환경공학기술 선도사업의 오염토양/지하수 정화기술개발 국책과제로 수행되고 있는 기술개발 내용의 일부에 해당한다.

본 연구지역에서 잔디가 말라죽는 사고가 발생하여 조사한 결과 토양과 지하수가 유류에 의하여 심하게 오염되었다는 것을 확인하여 정밀조사를 실시하였다. 이지역의 유류오염에 대한 조사결과 오염원의 출처가 오염지점의 자체 저장시설물에서 발생된 것이 아니라 인근 공장의 유류 저장시설물에 의한 것으로 확인되었으며 현재 오염물질 유발시설에 대한 시설보수를 완료한 상태이다. 또한 조사의 평가결과 인근공장의 저장시설 주변이 극히 심하게 오염되어 있었으며 이들 오염원이 지하수층으로 스며들어 지하수와 함께 흐르면서 대상지역의 공장 대부분을 오염시켰음을 알 수 있었다.

토양환경보전법에 의하여 토양오염 대책기준을 초과 한 지역은 토양오염보전 대책지역으로 지정하여 오염토양 복원사업을 수행해야 한다. 따라서 오염지역에 대한 정확한 오염도 조사와 조사결과에 따른 효과적인 오염원 제거 또는 오염저감 작업을 수행해야 한다. 현재까지의 결과에 의하면 본 연구지역의 토양과 지하수는 상당히 오염되어 오염토양을 정화하는 작업이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 오염된 토양의 복원작업 수행을 위한 현장 특성조사와 오염도 평가를 실

시하였고 토양정화기술 적용을 위한 타당성평가 예비실험을 실시하였다.

현장 정밀조사에서는 기존의 평가 결과를 바탕으로 오염원이 집중된 인근공장의 유류 저장유류저장시설에 근접한 지역과 지하수 흐름에 영향을 받고 있는 하류지역을 구분하여 위치별로 깊이별로 토양, 토양가스 및 지하수시료를 채취하여 오염원의 농도와 본포특성을 조사하였다. 또한 *In-situ* Air Treatment 정화기술의 현장 적용을 위한 예비실험을 수행하였다.

오염된 토양과 지하수의 정화작업을 수행하기에 앞서 오염지역에 대한 정밀진단조사를 실시하여 현장특성화(Site Characterization) 및 오염도 평가(Source Characterization)를 실시하였다. 본 조사에서는 43개의 Borehole에서 123개의 시료를 채취하여 BTEX와 TPH를 중심으로 오염물질을 분석하였다.

본 조사지역은 공장부지 조성을 위해 저지대를 복토한 지역으로 지하수위대를 전후해서 모래자갈층이 발달해 있으며 이는 지하수의 흐름을 원활히 함과 동시에 이곳을 통하여 오염물질이 쉽게 멀리까지 이동할 수 있는 취약성을 보이고 있다.

이지역의 지하수는 야산과 하천의 지역적 흐름(local flow)의 영향으로 남동쪽에서 북서쪽으로 흐르고 있다. 이런 지하수 흐름은 상류지역에 위치한 공장에서의 유류오염이 하류에 위치한 조사지역으로 흘러 오염의 피해를 입히는 원인이 되고 있다.

또한 이 지역은 강우가 지하수위의 변동에 영향을 미치는 자유면대수층이므로 지하수위 변화(Groundwater Fluctuation)가 오염물질 분포에 영향을 미치고 있었다. 1년간의 강우량과 지하수위 변화를 측정된 결과 이지역에서는 지표아래로 1m에서 4m까지 지하수위가 변하는 것으로 나타났다. 따라서 변화하는 지하수면은 물 위에 LNAPL(Light Non-aqueous Phase Liquid)상태로 떠 있는 유류오염물질을 상하로 이동시키면서 토양층을 상하로 오염시키고 있다. 따라서 이런지역을 조사하기 위해서는 심도별 조사가 필수적임을 알수 있었다. 이 지역의 연평균 지하수위는 3m로 불포화 토양층 분포가 미약하고 포화층의 지하수대가 발달한 지역이다. 토양으로 침투된 유류오염물은 곧바로 지하수층으로 함양되어 지하수를 오염시키고 오염된 지하수를 따라 멀리 이동하고 있다.

따라서 이런지역을 정화하기 위해서는 토양층뿐만 아니라 지하수에 대한 조사와 복원대책이 필요하다.

오염원인 제공회사의 경계면에 위치한 지역에서 톨루엔을 다량 함유하고 있는 토양 및 지하수의 분포가 발달해 있고, 오염된 지하수가 피해공장을 가로질러 흐르는 지하수 흐름양상을 보이고 있다. 지하수위에 LNAPL로 존재하는 유류오염원은 강우의 영향으로 변화하는 지하수위에 따라 토양층을 상하로 이동하여 토양층을 전체적으로 오염시켰으며 오염된 지하수가 흐르면서 오염원이 이동하여 주변까지 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

오염물질을 분석한 결과 토양오염 정화대상기준인 BTEX 200mg/kg을 초과하는 오염된 면적은 43,152m²이며 정화해야 할 오염된 토양은 129,456m³로 계산되었다.

오염지역에서의 오염물질 분해를 위한 미생물 활성을 확인하기 위해 토양가스중의 O₂, CO₂, CH₄의 농도를 측정하였다. 토양가스중의 산소는 2%이하로 매우 부족한 상태였으며, CO₂는 10%이상을 보이고 있어 이 지역에서의 미생물 활성이 양호함을 알 수 있었다. 또한 CH₄가 존재하여 이 지역은 혐기성 분해양상을 보이고 있음을 확인하였다. 이 지역은 산소가 부족하고 미생물 활성이 활발하여 공기주입의 방법에 의한 정화기술이 타당함을 알 수 있었다.

본 연구지역의 오염도 정밀조사 결과에 의하면 이 지역은 오염범위가 넓고 오염정도가 크며, 미생물 활성이 활발하고 토양과 지하수에 존재하는 산소농도가 거의 없으므로 정화작업에 적용 가능한 방법으로는 Soil Vapor Extraction, Bioventing 또는 Air Sparging과 같은 *In-situ* Air Treatment의 정화기술이 경제적이고 효율적임을 알 수 있다. 현재 이지역은 Mobile Hybrid Package 정화장치를 이용하여 정화기술의 현장 적용성실험이 진행중에 있다.

우리나라의 토양오염 및 지하수 오염의 특성을 보면 대부분의 오염지역은 불포화 토양층이 얇고(Shallow Aquifer) 오염된 토양은 지하수로 이동하여 오염구간(Plum)을 형성하고 있다. 전술한 바와 같이 오염된 토양과 지하수층은 비피압 자유면대수층이므로 강우에 의한 지하수위 변화가 크고 오염의 영향을 받는 깊이별 오염범위도 크다. 또한 많은 주유소 지역이나 공장지역은 건설단계에서 하부의 원지반을 굴착하거나 성토를 하므로 투수성이 상대적으로 발달하여 오염물질의 이동성이 크다고 볼수 있다. 이러한 한국적 특성을 고려 할 때 오염지역 정화를 위한 조사나 정화 작업시 토양과 지하수를 동시에 고려해야 한다.