

토양오염 유발시설의 오염현황 조사 및 오염토양 복원 방안 연구

노성현, 백형환, 신정남
경희대학교 부설 지구환경연구소
e-mail : shroh0120@hanmail.net

요 약 문

본 조사를 통해 토양오염유발시설 중 유류 유출사고가 잦은 주유소에서의 오염현황 조사방법과 오염토양에 대한 적절한 정화기법을 제시하고자 하였다. 오염현황 조사결과, 지층구조는 전반적으로 Clay로 구성되어 있으나 오염토양 주변은 비교적 투수도와 통기성이 우수한 Silty Sand층을 나타내고 있었다. 본 주유소의 경우 주유기 주변(상층부)과 지하유류저장탱크 주변(수직분포)에 오염이 분포되어 있고, 오염원인은 주유기의 배관 파손 및 결함에 의해 발생한 것으로 예상된다. 본 조사지역에 대한 정화기법으로는 토양증기추출기술(SVE)과 불포화대를 생물학적으로 복원할 수 있는 바이오벤딩기술을 결합시킨 Bioslurping이 효과적일 것으로 평가된다. 또한 Bioslurry injection treatment를 병행하여 효과적으로 고농도의 오염토양을 처리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

주제어 : 토양오염정밀조사, 오염토양정화기법

1. 서론

국내의 경우 1960년대 이후 공업화 및 산업화로 많은 공업단지가 형성되었고, 오늘날 환경에 대한 관심이 증가하면서 공단 주변지역의 환경오염 문제가 대두되었다. 이러한 산업발달은 국내의 유류 사용량이 증가되었으나 유류 저장시설의 노후화 및 적절한 관리가 이루어지지 않아 유류로 인한 오염이 점차 증가되고 있는 실정이다. 국내의 오염토양에 대한 복원기술 및 정화기술은 연구단계 수준으로 토양오염원에 대한 조사·연구를 통해 오염토양에 대한 처리기술 개발과 오염토양을 복원하는 기술의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 토양오염 유발시설 중 유류 유출로 인한 토양오염이 심각한 주유소의 오염실태를 조사하고 오염된 토양의 처리 및 복원방안을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

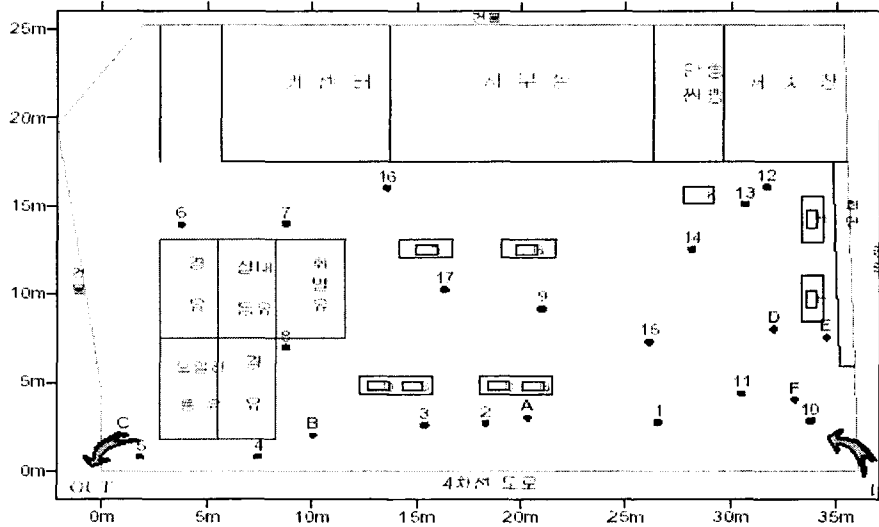
2.1 조사대상지역의 부지개요

본 조사의 대상 주유소는 강원도 원주시에 위치하고 있으며, 유류저장탱크의 설치년도는 1993년으로 현재까지 운영되고 있으며 부지 내 시설이용 현황은 다음과 같다. 지하저장탱크의 경우, 1) 경유 : 20,000리터 (2식), 2) 휘발유 : 20,000리터 (1식), 3) 실내등유 : 20,000리터 (1식), 4) 보일러등유 : 20,000리터 (1식)로 총용량이 100,000리터이고, 주유기의 경우 경유 3기, 휘발유 3기, 실내등유 1기, 보일러등유 2기로 총 9기가 있다.

2.2 시료채취지점 및 시료채취방법

시료채취지점 선정은 지하탱크, 주유기 배관 및 부지 경계면 등을 기준으로 하여 17개

지점을 선정하였으며 지점간 간격은 오염 개연성을 고려하여 <그림 1>과 같이 선정하여 시료를 채취하였다. 시료채취 깊이는 취기의 확인과 동시에 청결한 시료가 확인되는 깊이 까지 토양 층의 오염원 노출에 따른 오염확산을 고려하여 정하였다.



<그림 1> 시설물 배치 및 시료채취지점

본 토양조사를 위한 시료채취는 Geoprobe 540U(US, Geoprobe System Inc.)를 이용하여 직관식 방법으로 일정 깊이의 토양을 선택적으로 채취하였다. 시료는 약 1.0 ~ 5.4m 깊이까지 채취하였으며, 필요에 따라 연속적 또는 불연속적으로 시료를 채취하였다. 특히 오염된 지점은 오염이 확인되지 않은 깊이까지 시료를 채취하였으며, 채취된 시료는 저온상태로 보관하여 실험실로 운반하여 분석하였다.

2.3 분석방법

채취한 시료는 토양오염 공정시험법에 따라 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)와 TPH를 분석하였고, 각각의 분석 조건은 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> BTEX 및 TPH 분석조건

BTEX	TPH
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Purge & Trap - Tekmar 3000 <ul style="list-style-type: none"> · Trap : Vocarb 4000 · Purge Flow : 40ml/min · Purge time : 11min · Desorb time : 4min · Desorb temp : 40℃ ▶ GC - Varian GC Star 3400 CX <ul style="list-style-type: none"> · Column : DB-624 (60m×0.32mm, ID×1.80μm) · Injector : 200℃ · Detector : FID · Detector temp : 250℃ · Initial Temp : 40℃, Hold Time : 4min · Rate : 10℃/min · Final Temp : 200℃, Hold Time : 1min 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ GC - Varian GC CP 3800 <ul style="list-style-type: none"> · Column : DB-5 (60m×0.25mm, ID×0.25μm) · Injector : 300℃ · Detector : FID · Detector temp : 320℃ · Initial Temp : 50℃, Hold Time : 5min · Rate : 8℃/min · Final Temp : 320℃, Hold Time : 5min

3. 결과 및 고찰

본 조사지역의 지층지질 구조 분석 결과 전반적으로 Clay로 구성되어 있으며, 콘크리트 하부로부터 상층부(약 0~1.5m 부근)는 매립토와 Clay로 구성되어 있고, 중층부(약 1.5~4.0m 부근)는 Clay와 Silty Sand가 혼재되어 있는 구조이며, 하층부(약 4.0m 이하)도 Clay와 Silty Sand로 구성되어 있는 것으로 평가되었다.

본 조사지역의 오염현황 검사결과<표 3>, 최대 BTEX 농도는 4지점(4.8~5.3m)에서 92 mg/kg, 최대 TPH 농도 역시 4지점(4.8~5.3m)에서 5,997 mg/kg으로 검출되었으며 이는 BTEX의 경우 토양오염우려기준(80 mg/kg)을 초과하였고, TPH의 경우 토양오염대책기준(5,000 mg/kg)을 초과한 것으로 조사되었다.

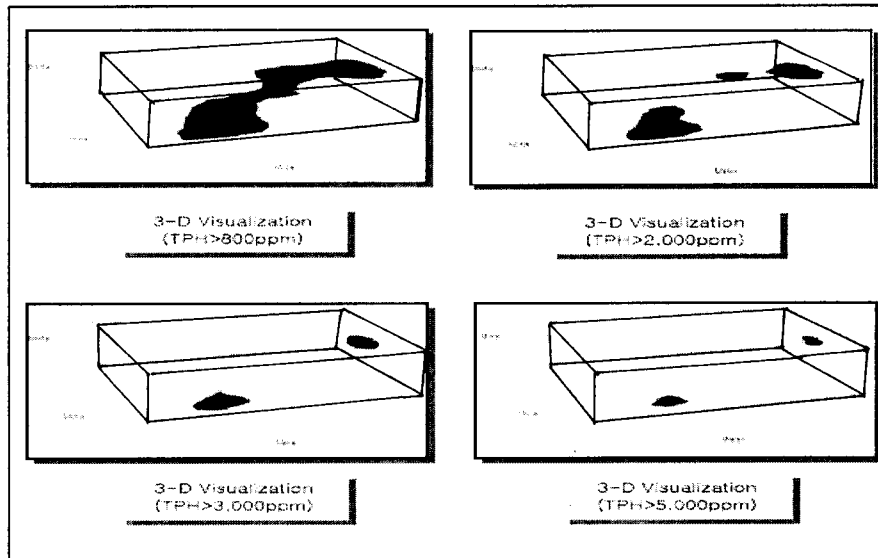
따라서 정밀조사결과 본 부지는 주유기 주변(2, 3, 9지점, D지점)과 지하유류저장탱크 주변(4지점)에 오염이 분포되어 있고, 주유기의 배관 파손 및 결함에 의해 오염이 발생한 것으로 예상된다. 지하유류저장탱크 주변인 4지점에 대한 오염 경위는 주유기의 배관 파손 및 결함에 의해 발생된 유동성 오염원이 토양의 공극 및 중력에 의해 Clay 층으로 구성되어 있는 하부로 수직 확산되지 못하고 오염이 수평적으로 진행되다가 전반적으로 Silty Sand층으로 구성된 4지점에서 수직 확산된 것으로 추정된다<그림 2>. 그러나 유류저장탱크의 파손 및 결함에 의한 오염가능성도 배제할 수 없다.

<표 2> BTEX 및 TPH 분석결과(우려기준 초과 지점)

시료채취지점		측정값 (단위 : mg/kg)						비 고
지점	깊이(m)	B	T	E	X	BTEX합계	TPH	
2-1	0.6-1.2	0.07	0.15	0.66	0.81	1.69	894	정밀조사결과 · BTEX 확인기준 : 32 mg/kg 우려기준 : 80 mg/kg 대책기준 : 200 mg/kg · TPH 확인기준 : 800 mg/kg 우려기준 : 2,000 mg/kg 대책기준 : 5,000 mg/kg
3-1	0.6-1.2	0.02	0.07	0.44	0.64	1.17	960	
4-2	2.4-3.0	0.19	1.37	1.64	1.08	4.28	2,583	
4-3	3.6-4.2	0.84	6.81	19.66	61.96	89.27	61	
4-4	4.2-4.8	1.25	8.77	20.24	57.91	88.17	4,675	
4-5	4.8-5.3	1.37	8.28	21.95	60.49	92.09	5,997	
4-6	5.3-5.8	0.84	6.32	12.49	21.86	41.51	3,087	
9-1	0.6-1.2	0.34	0.24	0.45	0.43	1.46	2,182	
D-1	0.4-1.0	N.D.	3.00	N.D.	20.12	23.12	5,715	실태조사 결과

본 조사지역에 대한 정화기법으로는 주유소의 부지가 전반적으로 Clay로 구성되어 있으나 오염토양 주변은 비교적 투수도와 통기성이 우수한 Silty Sand로 구성되어 있어 토양 내 공극을 통해 유동성 유류와 오염공기를 뽑아내기 위한 토양증기추출기술(SVE)과 불포화대를 생물

학적으로 복원할 수 있는 바이오벤팅기술을 결합시킨 Bioslurping이 효과적일 것으로 평가된다. 또한 본 부지는 대책기준을 초과하는 고농도의 오염토가 존재하므로 오염물질의 생물학적 분해 촉진을 위해 불포화대의 토양층에 산소원과 필요한 영양물질의 주입 및 기타 첨가제를 유입수에 혼합하여 토양 속으로 투입한 후 다시 흡입하여 처리하는 Bioslurry injection treatment를 병행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



<그림 2> 깊이에 따른 TPH 오염분포도

4. 결론

본 조사지역의 오염현황 검사결과 주유기 주변(상층부)과 지하유류저장탱크 주변(수직분포)에 오염이 분포되어 있고, 오염원인은 주유기의 배관 파손 및 결함에 의해 발생한 것으로 예상된다. 지하유류저장탱크 주변에 대한 오염 경위는 주유기의 배관 파손 및 결함에 의해 발생한 유동성 오염원이 토양의 공극 및 중력에 의해 Clay 층으로 구성되어 있는 하부로 수직 확산되지 못하고 오염이 수평적으로 진행되다가 전반적으로 Silty Sand층으로 구성된 4지점에서 수직 확산된 것으로 추정된다.

본 조사지역에 대한 정화기법으로는 오염토양 주변이 비교적 투수도와 통기성이 우수한 Silty Sand로 구성되어 있어 토양증기추출기술(SVE)과 불포화대를 생물학적으로 복원할 수 있는 바이오벤팅기술을 결합시킨 Bioslurping이 효과적일 것으로 평가된다. 또한 Bioslurry injection treatment를 병행하여 효과적으로 고농도의 오염토양을 처리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- 국립환경연구원, 오염토양복원기술 및 발전에 관한 연구, 최종결과보고서, 1997
- 김무훈 외 2인, 국내토양오염 유발시설별 오염현황조사, 한국토양환경학회지 3(1), 1998
- 환경부, 토양복원 기술 및 사례집, 환경부 토양보전과, 2003