

지하저장탱크의 조사 및 누출대책

조원철 (연세대학교 토목공학과 교수)

1. 서론

지하저장탱크(underground storage tank, 이하 UST)로부터 유류가 누출(漏出,leaks)과 유출(流出,spills and overfills)됨으로 인한 토양오염문제가 구미각국을 중심으로 심각하게 대두되고 있다. 지하저장탱크는 각종 유류제품 혹은 유해한 화학물질을 저장하는 설비로 현재 많은 수의 탱크에서 누출이 진행되고 있으며 앞으로도 훨씬 더 많은 양의 누출이 예상된다. 누출된 물질은 안전을 위협하는 화재나 폭발을 야기할 수 있고, 주위의 지하수와 토양을 오염시킬 수 있다. 여기서 지하저장탱크(UST)라 함은 저장탱크 자체와 그것에 지하로 연결된 관망을 포함하는 것으로 최소한 그 체적의 10% 이상이 지하에 매설된 것을 말한다.

UST로 인해 발생할 수 있는 문제점으로는, UST 시설의 부식(corrosion)에 의한 누출, 매설후의 뒷채움 재료가 적절하지 못하거나 관망의 연결이 적절하지 못해서 발생하는 잘못된 설치에 의한 누출, 탱크와 관으로부터의 누출외에 저장물을 과다하게 주입하거나 주입완료 후 주입 연결호스의 잘못된 철수로 인해서 발생할 수 있는 유출, 그리고 대부분의 경우이지만 탱크에 연결된 관망의 파손으로 야기되는 유출 등의 문제가 발생할 수 있다. 특히 관망은 탱크 자체보다는 덜 견고하다. 이는 현장에서의 많은 연결과정 등에 의한 설치시의 잘못과 과다한 지표하중, 지반의 변형에 의한 응력의 발생, 그리고 부식에 의해서 발생한다.

미국에서 규제대상이 되는 UST의 종류는 다음과 같다.

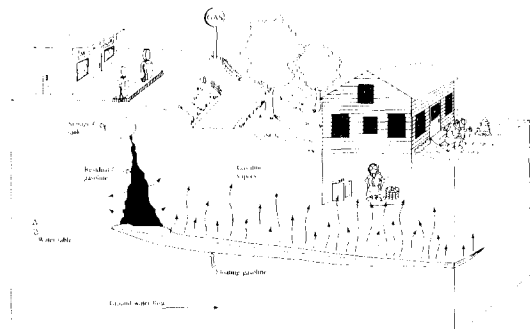


그림 1. UST로 인한 누출 과정 (Fetter, 1993)

• 농장이나 주거지역내에서 비상업적 자동차 연료 저장용으로 사용하는 탱크 중 1,100갤런 이상의 용량을 가지는 것.

- 난방용 연료를 저장하는 탱크
- 지하실이나 터널 바닥면 혹은 그 위에 위치한 탱크
- 우수나 오수를 모으는 정화시설
- 110갤런 이상의 저장탱크

도시환경내의 지하저장탱크의 관리를 함에 있어, 지하저장 탱크 내에 저장된 가솔린이나 디젤연료는 토양 및 지하수 오염의 주원인으로 되고 있으며, 이러한 문제는 관리하기가 매우 어려운데 이는 탱크의 수가 많고 환경적인 위험을 결정하는 인자(탱크의 특성, 지질) 등이 매우 많고 복잡하기 때문이다. 이에 따라 최근에는 GIS를 이용하여 지하저장탱크의 분포를 찾아내는 연구에까지 이르는 수준으로 발전하고 있다. 본 고에서는 향후 우리나라에서도 필수적인 과제가 될 UST문제에 대한 조사방법과 누출대책 등에 대해 살펴보고자 한다.

2. UST에 대한 정보 파악

UST를 제거하기 전에 탱크에 관하여 다음과 같은 정보를 수집한다.

(1) 설계도와 현지 조사 등을 통해 탱크와 관의 위치, 탱크의 크기와 용량, 재질, 매설깊이, 사용된 기간 등을 파악한다.

(2) 탱크가 누출된 적이 있는지를 조사한다.

(3) 상·하수도관, 가스관, 전력선, 통신선 등 탱크 주위(지상, 지하)의 모든 관망을 조사한다.

(4) 자료조사를 통해 지하수의 깊이, 토양 특성 등을 조사한다.

우선 UST가 설치되어 있는 위치를 정확하게 파악하는 것이 필수적이다.

(1) UST의 위치를 찾을 때에는 탱크를 설치할 때 사용한 설계도를 활용한다.

(2) 탱크의 위치는 맨홀, 콘크리트 또는 아스팔트의 변화, 땅의 침하 또는 융기 등으로 위치를 예측할 수 있다. 이런 예측을 확실하게 하기 위해 철제 탐침을 삽입하여 확인한다.

(3) 지구물리학적 방법 - 탱크의 위치에 대한 정보가 불확실할 경우에는 지표에서 지구물리학적 방법을 이용하여 대략적인 탱크의 경계를 알아낼 수 있다. 이 방법을 사용하게 되면 고가이며 위험부담을 안고 있는 굴착을 하지 않아도 되는 장점이 있다. 게다가 지구물리학적 자료로부터 수리지질학적 특성과 오염의 범위까지 유추할 수 있다. 지구물리탐사 방법을 결정하기 전에 적절한 정보를 조사하고 현장 조사를 실시하여야 한다. 다음은 몇 가지의 지구물리탐사 방법이다.

① 자기탐사(Magnetometer Surveys)

② 암층의 전도도(Terrain Conductivity)탐사

③ 지중침투레이더(Ground Penetrating Radar)

3. 현장 조사

(1) 탱크가 어떤 토양에 매설되어 있는지와 피복상태가 잔디, 콘크리트 또는 아스팔트 중 어느 것인지를

조사한다. 가능하다면 매설 깊이도 확인한다. 이들은 굴착의 기본 자료로 사용된다.

(2) 탱크가 건물과 근접해 있는지 확인한다. 탱크가 건물에 근접해 있으면 굴착에 세심한 주의가 필요하다.

(3) 토양이 검게 변했거나 식물 등의 성장 상태가 좋지 않으면 누출 가능성을 예측할 수 있다. 주위의 맨홀이나 지표수 또는 침출 지하수 등에서도 누출의 증거를 찾을 수 있다.

탱크 내용물의 특성을 파악하고 내용물이 단지 석유인지, 석유 부산물인지, 폴리염화비닐(PCB)을 포함한 물질인지, 오염된 유류인지, 솔벤트인지를 알아내기 위해 샘플링을 실시하며 그 절차는 다음과 같다.

(1) UST의 내용물을 확실하게 알기 전까지는 고밀도의 유독성 물질로 가정하고 처리한다.

(2) 표본조사를 하기 전에 탱크 내의 액체와 침전물의 부피를 측정한다. 유독성 폐기물의 한 층만을 표본조사 한 후 전체를 판단해서는 안된다.

(3) 내용물의 분석 방법 - UST 내에 주로 들어 있는 액체의 종류에는 연료/디젤, 휘발유, 제트유, 등유, 난방용 연료, 기름과 혼합된 물, 염소로 처리된 솔벤트, 폐유, 제초제, 살충제 또는 PCB, 페인트 와 도금용 금속과 부산물 등이 있으며 탱크 내의 물질이 재사용 가능한지, 유독성 폐기물인지를 결정하여 처리한다.

(4) 분석을 위해 채취한 유기액체표본에 대해 비소, 카드뮴, 크롬, 납, 유기 할로젠의 양과 인화점을 조사하여야 한다.

(5) 샘플링 요령 - 샘플링 기구는 폭발 시험을 거친 것이어야 하며 그 종류에는 다음과 같은 것들이 있다 : peristaltic pump, bladder pump, weighted bottle, Kimmerer sampler, bailer, Colisas, Peristaltic pump를 사용하면 샘플링을 가장 쉽게 할 수 있다.

(6) 침전물 샘플링 - UST의 바닥에는 침전물이 있을 수 있다. 일반적으로 침전물은 탱크 내에 액체가 없거나 탱크가 제거되었을 때 샘플을 채취한다.

4. 부지 특성 조사

4.1 지표하 토양-가스 검출

토양-가스 검출은 지표하의 화학적 오염을 탐지하는 신속하고 경제적인 방법이며 토양 내에서 지하수 위보다 높이 있는 휘발성 탄화수소 성분의 농도를 측정할 수 있다. 토양가스 탐사법은 낮은 분자량의 할로젠화 용제 화합물과 높은 증기압과 낮은 용해도를 갖는 석유 탄화수소의 탐지에 효과적이다. 이 화합물은 지하수로부터 쉽게 분리되며 또한 토양으로 쉽게 흡수된다. 토양가스 중의 휘발성 유기 화합물(VOC, volatile organic compound)은 지표로 수직, 수평으로 확산되어 대기 중으로 분산된다. 지표까지의 가스 농도경사는 수리지질학적, 지질학적 상태에 따라 국부적으로 변형될 수 있으나 대개 오염 분포가 지질학적 간섭 범위보다 넓다. UST의 바닥과 같은 깊이로 5~10개의 탐침을 넣으면 탐침 끝의 구멍으로 토양 가스가 들어가서 튜브의 윗쪽 끝으로 나오게 되는데 이 가스 표본을 가스 색층 분석 장치를 이용하여 조사한다.

4.2 시추/토양 샘플링

시추를 통해 오염의 범위를 알아낸다.

(1) 방법

① 토양 샘플링이 필요하다면 교란되지 않은 샘플을 얻을 수 있는 pilot boring을 하는 것이 좋다. 만약 충상대수층 지역에서 시추가 이루어진다면 auger technique은 횡방향 오염을 발생시킬 우려가 있으므로 피해야 하며 각 층에 대해 다중케이싱 기법(multiple casing technique)을 사용하여야 한다.

② 시추의 계획, 방법 선택, 실행은 경험이 풍부한 기술자에 의해 결정되어야 하며 오염물의 이동을 방지하고 샘플의 기존 상태를 유지·보전하도록 유의하여야 한다.

4.3 관정 설치

(1) 관측정은 지하 수위를 측정하고 지하수 상태를 나타내는 지하수 샘플을 채취하기 위하여 설치되며

다음 사항들이 충족되어야 한다.

- ① 교란이 최소가 되는 곳에 관정을 설치한다.
 - ② 지화학적, 화학적 환경에 적합한 물질로 관정을 설치한다.
 - ③ 수질상태를 나타낼 수 있는 샘플을 얻을 수 있도록 한다.
- (2) 지하수 샘플링 - 관정에서 샘플링을 하기 전에 관정의 공사 방법과 재질, 크기, 깊이, 목적(관측, 용수) 등 정보를 조사한다.

4.4 대수층 시험

모든 관측정의 개발이 끝난 후 현장의 수리지질학적 특성에 관한 데이터를 얻기 위해 일종의 순간 충격 시험인 slug test를 실시한다. Slug란 체적을 알고 있는 모조파이프(dummy pipe)를 말한다. Slug test는 오염원이 있는 지역에서 대수층 시험을 하는 경우에 주로 사용된다. 방법은 관경보다 작은 직경을 가진 봉을 관정속에 집어넣어 수위상승을 기록하고 봉을 뺀 후 수위강하를 기록하는 방식으로 진행된다. Slug test를 실시하면 대수층의 수리전도도와 투수성을 구할 수 있으며 시험정으로부터 직접 양수를 하지 않아도 되는 장점이 있다.

4.5 토양시험

오염된 토양과 지하수에 대해 적절한 조치를 취하기 위해서는 수리학적, 수리지질학적 특성에 관련된 현장의 정보가 필요하다. 이 정보에는 지하수의 깊이, 토양 온도, 습도, 입도 분포, 포화·비포화 수리전도도, 포화도 등이 포함된다. 토양의 수리 전도도는 오염물질의 이동성에 직접적인 영향을 미친다. 공기와 수리 전도도는 각 층에서 같은 방식으로 변화한다. 즉, 각 층에서 수리전도도가 낮으면 공기전도도도 낮다.

5. 탱크의 누출원인

5.1 설치상의 오류

탱크와 관이 지하에 적절히 매설되지 않게 되면 탱크로부터 누출이 발생할 수 있다. 부적절한 설치는 강

철 탱크의 파괴, 특히 관의 파괴의 원인이 될 수 있다. 설치는 굴착, 탱크 시스템의 부지 선정, 매설 깊이, 탱크 시스템의 조립, 되메움, 표면 고르기 등의 공정으로 이루어진다. 이런 일련의 작업 중에 여러 가지 오류가 발생할 수 있다. 예를 들어 설치하는 동안 생긴 탱크의 문제점은 구조적인 파괴, 강철 탱크 코팅과 음극 보호 장치의 피해 등을 야기할 수 있다. 관망의 부적절한 배치, 불완전한 강도, 불충분한 덮개 등으로 관망의 파손이 발생할 수 있다.

5.2 월류

UST 시스템에서 생기는 유출 중 상당수가 월류(overflow)의 결과로서 탱크나 관 누출량의 두 배 이상일 정도로 많다. 월류가 일어나면, 탱크의 상부 혹은 출구 파이프의 견고하지 못한 부분을 통해 누출이 수반될 수 있다. 월류의 문제를 해결하는 3가지 방법은 다음과 같다.

- ① 탱크 용량은 탱크로의 유입량보다 커야 한다.
- ② 유출과 월류를 막기 위해 계속적으로 감시되는지 확인해야 한다.
- ③ 유출과 월류를 막거나 제한할 수 있는 장비를 사용한다. 유출집수지(spill catchment basins)와 건상 제거장치(dry disconnect coupling)와 같은 유출 보호 장치들을 이용할 수 있다. 월류 방지 기구는 탱크가 거의 찼을 때 더 이상의 유입을 차단시키거나 경고 신호를 해 준다. UST시스템 설치 시에 유출이나 월류 방지 장치를 갖추어야 한다.

5.3 관거의 파괴

미국 환경보호국(EPA)에 따르면 대다수의 누출이 관의 파괴로부터 발생한다고 한다. 관은 탱크보다 작고 견고하지 못하며 수많은 연결관을 가진 현장에서 조립하고 있으며, 보통 지표면 근처에 설치된다. 잘못된 설치, 과도한 표면하중, 지중응력과 부식 등의 문제를 해결하기 위해서는 숙련된 설치자들을 활용하는 것이 결정적이다.

5.4 부식

지하에 이미 존재하는 대부분의 UST 시스템은 회복되지 않은 강철로 만들어진 탱크나 관을 가지고 있다. 보호되지 않은 철이 땅속에 묻혀 있을 때 부식이 생기기 쉬우므로 강철 탱크는 종종 부식으로 피해를 입는다. 이런 일이 발생했을 때 금속 UST 시스템과 지하 환경 시스템은 마치 배터리처럼 작용한다. 즉, 탱크의 한쪽 부분은 음극, 다른 한쪽 부분은 양극으로 작용하고 토양에서의 수분은 연결 고리를 제공하게 되며, 이때 음의 충전을 받은 탱크 부분은 약해지기 시작하고 전류가 이 부분을 통과하게 됨에 따라 금속이 약해지고 구멍이 생겨 누출이 시작된다. 금속 탱크와 관은 부식 방지 코팅을 하고 음극 보호막을 사용해서 보호할 수 있다. 음극 보호막은 부식을 야기시키는 전류를 되돌리는 역할을 한다.

6. 누출감지 방법

6.1 탱크로부터의 누출 감지

탱크의 누출 여부를 알아보기 위해 매달 한 번씩 탱크를 검사해야 하며 다음의 조사 방법들 중의 하나를 사용해야 한다

- (1) 탱크 기밀성 시험 - 탱크의 안정성을 검사하기 위하여 탱크 기밀성 시험을 실시하는데, 부피 변화를 정량적으로 측정하는 체적 시험과 정성적으로 측정하는 비체적 시험이 있다.
- (2) 자동 탱크 측정 시스템 - 내용물의 잔류량을 조사하기 위해 자동화된 측정 시스템을 사용한다.
- (3) 흙 속의 증기 측정 - 이 방법은 탱크 주변 토양 내의 가스 속에 있는 수증기를 표본으로 한다. 누출된 석유는 토양 가스에서 감지 가능한 수증기를 만들어 낸다. 이 측정을 하기 위해서는 뒷채움을 다공성 흙으로 하여야 한다.

(4) 지하수에서의 액체 검사 - 탱크 근처에서 지하수로 방출된 자유 부산물이 있는지 알아보기 위해 지하수를 조사하는 방법이다. 유류가 흘러 들어갔는지 알아보기 위해 부근의 관측점에서 점검한다.

(5) 틈새 조사 - 탱크의 기밀성(tightness)을 위해 탱크밖에 2차벽(secondary containment)을 설치하는데 탱크벽과 이차벽 사이의 틈새에서 누출을 감시한다.

6.2 관으로부터의 누출 감지

대부분의 누출이 관에서 발생하기 때문에 관에 대한 누출 감시가 이루어져야 한다.

(1) 관의 누출을 감시하는 경보 장치를 하거나 누출을 자동적으로 차단하거나 제한하는 장치를 갖추어야 한다.

(2) 관에 대한 기밀성 시험을 행한다.

(3) 탱크에 흡입관이 설치되어 있으면 다음 절차를 따른다.

① 일반적으로 흡입관은 매달 누출 조사를 하거나 3년에 한 번 정도 기밀성 시험을 실시한다.

② 음과 같은 방법으로 설치된 흡입관은 보다 안전하며 누출 감시를 하지 않아도 된다.

- 흡입이 끝났을 때 관내에 남아 있는 유체가 저장 탱크로 다시 흘러들어 갈 수 있도록 경사지게 설치된 관.

- 각 라인에 하나만의 체크 밸브가 흡입 펌프 바로 아래에 설치된 관.

6.3 누출 감지에 영향을 미치는 요소

누출 감지에 영향을 미치는 요소들은 부피변화, 온도변화, 수위, 탱크의 변형, 내용물의 증발, 관의 누출, 탱크의 구조, 바람, 진동, 잡음, 측정상의 실수, 유체의 종류, 기압, 탱크의 경사 등이 있으며 주요 영향인자들은 다음과 같다.

(1) 자연적인 부피변화(noise)

탱크 기밀성 시험 또는 체적 시험은 탱크내 유체의 부피 변화를 측정하는 것이다. 시험을 할 때에는 실제의 누출과 누출이 아닌 부피 변화(noise)를 구분하여야 한다. 정확히 보정하지 않으면 큰 오차를 일으킬 수 있는 5가지 주요 noise가 있다.

① 체적 시험 중 내용물의 첨가 또는 제거로 야기되는 내용물의 열팽창 혹은 수축

② 용량까지 채워진 탱크와 관내에는 기포주머니(vapor pocket)

③ 내용물과 관련된 수위, 온도, 압력 변화 뿐 아니라 탱크 자체도 확장과 수축 등의 구조적 변형

④ 유체 표면으로부터 내용물의 증발이나 탱크 벽에서 내용물의 응축에 의해 소규모 부피 변화

⑤ 탱크 내의 기계적 진동 또는 온도 경계층에 의해 표면 또는 내부파

(2) 지하수 - 정확한 탱크 기밀성 시험에 저해 요소로 작용하는 또 다른 요소는 지하수위의 위치이다.

지하수위는 누출의 크기에 직접적인 영향을 미친다. 지하수위가 누출면보다 높으면 누출이 감지되지 않을 수 있다. 이를 방지하기 위해 탱크 저면과 지하수위의 관계를 관측하는 것이 중요하다. 지하수위가 탱크 저면보다 낮을 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다. 평상시에는 탱크저면이 지하수위 보다 높다가 강우로 인하여 수위가 상승했을 경우에는, 수위가 하강하여 간섭 현상이 제거될 때까지 기다린 후 측정하여야 한다. 수위 변동이 있을 때에는 가급적 측정을 하지 말아야 한다.

7. 대책

7.1 올바른 설치

인위적인 실수로 유출과 월류가 발생하기 때문에 무엇보다 설치자의 자질이 중요하다. 또한 누출을 막기 위해서 유출 집수지(spill catchment basin), 월류 경보기와 같은 기계적인 장치의 사용이 필요하다.

7.2 이중벽의 설치

화학 물질을 저장하는 탱크는 2중 차단벽을 설치하여야 한다. 단일 벽을 갖는 탱크는 누출이 일어날 수 있으므로 다음과 같은 방법으로 차단벽을 하나 더 설치하여 토양 및 지하수로 유출되는 것을 막는다.

(1) 탱크 내에 또하나의 탱크를 놓거나 파이프 내에 하나의 파이프를 더 설치.

(2) 콘크리트 구조물 내에 탱크를 설치.

(3) 탱크 둘레에 화학 물질이 통과할 수 없는 복공

을 설치.

7.3 누출로 야기된 문제 해결

(1) 석유 저장 탱크의 누출의 징후

① 탱크나 관 - 누출 사실 여부를 빨리 확인해야 한다. 파손 여부에 대해 주의 깊은 관찰을 행하고, 교체하거나 수리할 필요가 있다. 수리와 교체로 문제가 해결되지 못한다면 UST시스템에 대한 기밀성 시험을 행해야 한다.

② 환경 - 유류 누출의 증거가 부지 근처에서 나타나면 일단 누출을 의심해야 한다. 예를 들어 부근 지역이나 물에서 석유 냄새가 날 경우 누출의 가능성이 높다.

(2) UST의 누출 발생시 대책

- 누출을 막는 즉각적인 조치를 취한다.
- 폭발성 증기와 화재 위험물을 제거한다.
- 누출에 의한 환경 피해를 조사한다.
- 누출을 확인한 후 부지에 대한 조사 결과를 관계 기관에 보고한다. 오염된 지하수가 발견된다면 동시에 누출된 유류를 어떻게 제거할 지를 결정한다.

(3) 탱크 및 관의 처리

① 손상된 금속관을 수리, 교체하고 느슨한 조립은 견고히 한다. 탱크 및 관을 수리하고 기밀성 시험 등을 통해 누출 여부를 다시 확인한다.

② UST의 폐쇄 방법- UST는 영구적으로 혹은 일시적으로 폐쇄될 수 있다.

(a) 영구적 폐쇄 - 탱크가 부식으로부터 보호되지 않는 상태에서 1년 이상 동안 혹은 영구적으로 폐쇄하고자 하면 다음 조항들을 따라야 한다.

- 탱크를 폐쇄하기 전에 관계 기관에 알린다.
- 탱크로부터의 누출이 주변 환경에 영향을 주는지를 결정해야 한다. 피해가 있다면 대책을 취해야 할 것이다.
- 지하에 UST를 남겨 두거나 제거할 수 있다. 양자의 경우에서 모든 액체, 위험한 증기, 축적된 침전물을 제거하여야 한다.
- 지하에 탱크를 존치시킨다면 모래와 같이 해가 없고 화학적으로 무자극적인 고체로 채워야 한다.

(b) 일시적인 폐쇄 - 3~12개월 동안 사용되지 않은 탱크가 누출 방지와 부식 방지 시설을 갖추었다면 이러한 보호 시스템을 계속해서 운영해야 하며 누출이 감지된다면 적극적으로 대처해야 한다.

8. 정화방안 및 결론

우리나라의 경우, 서울시만 하더라도 수천개의 철재액상연료(휘발유, 석유 등)탱크를 지하에 매설하여 각종 유류를 저류하고 있으며 그 외에도 수백 km나 되는 지중배관을 설치하여 액상연료를 송유하고 있을 뿐 아니라 지상에서는 급유차를 이용하여 유류를 운송하고 있다. 특히 오래된 UST로부터 유류가 지하수계로 누출되어 지하수계를 오염시킨 예나 세차장 등에서 유래된 유류가 지하수계를 오염시킨 예는 우리 주위에서 흔히 찾아볼 수 있다.

휘발유는 주로 alkane, alkene과 방향족 탄화수소로 이루어진 화합물이다. 휘발유가 토양으로 누출되면 높은 증기압의 영향으로 휘발하여 토양의 공극을 증기로 채우게 된다. 또한 증기 상대나 액체상의 휘발유는 모두 지하수에 용해되어 지하수의 흐름에 따라 이동하게 된다.

UST로부터의 누출을 정화하기 위한 방법에는 단기적인 조치와 장기적인 절차가 있다. 단기적인 조치로는 전술한 누출 확산 방지, 관계 기관으로의 보고, 위험물의 국부적 제거, 탱크의 수리 등을 들 수 있으며 장기적인 처리는 여러 가지 방법을 이용하여 누출에 의한 오염을 궁극적으로 제거하는 것이다.

지하수에 용해된 휘발유 성분을 제거하는 방법에는 공기증류법(air stripping), 활성탄소흡착법(activated carbon adsorption), 생물학적처리(bioremediation), 합성수지 흡착법(resin adsorption), 역삼투법(reverse osmosis), 오존화(ozonation), 자외선 방사(ultraviolet irradiation) 등 여러 가지가 있으나 UST에서는 이 중 공기증류법과 활성탄소흡착법이 높은 효율과 경제성으로 가장 널리 사용되고 있으며 최근 들어 생물학적 처리가 주목을 받고 있다.

본 고에서는 UST의 효율적인 운용과 제거방안을 위해 탱크에 대한 정보 파악 및 탱크 내용물의 샘플링, 부지 특성 조사와 같은 기본 조사방안과 탱크의 누출원인 및 감지 방법에 대해 살펴보았다. 우리나라

에서는 UST의 운용 및 제거라는 내용이 아직은 생소하게 느껴지지만 앞으로 이에 대한 보다 실질적인 필요성이 증대되리라고 본다. ●

〈참고문헌〉

1. EPA (1988). Cleanup of Releases from Petroleum USTs : Selected Technologies, EPA/530/UST - 88/001.
2. EPA (1989). Volumetric Tank Testing : An Overview, EPA/625/9-89/009.
3. Fan, Chi-Yuan (1989). Assessing UST Corrective Action Technologies: Site Assessment and Selection of Unsaturated Zone Treatment Technologies, Camp, Dresser & McKee, Inc.
4. Fetter, C.W. (1993). Contaminant Hydrogeology, Macmillan Publishing Company.
5. Hudak, P.F., Speas, R.K., and Schoolmaster, F.A. (1995). "Managing Underground Storage Tanks in Urban Environments : A Geographic Information Systems Approach", Water Resources Bulletin, Vol. 31, No. 3, pp. 439~445.
6. Nault, J.M. (1990). A Comprehensive UST Management Plan for Typical Municipal Facilities, prepared for presentation at WPCF 63rd Annual Conference & Exposition, Washington, D.C., October 7-11, Camp, Dresser & McKee, Inc.
7. Noonan, D.C. and Curtis, J.T. (1990). Groundwater Remediation and Petroleum: A Guide for Underground Storage Tanks, Lewis Publishers.

여름밤 불 속에 뛰어드는 날벌레를 어리석다 하지만 처세에 있어서 남보다 잘난 척하고 덤벼거리며 앞서는 것은 불 속에 뛰어드는 벌레의 운명을 밝기 쉽다.
지혜로운 사람은 뜻은 높지 않으나 행동은 한 걸음 물러서는 법이다.(「채근담」)