

# 지하저장탱크(UST)로 인한 지표하 오염대책에 관한 조사연구

연구책임자 : 조 원 철  
(연세대학교 토목공학과, 교수)



# 1. 서론

## 1.1 개요

최근 들어 우리 나라를 비롯한 많은 나라에서는 물 공급의 상당수를 지하수로 충당하고 있다. 그런데 여러 원인에 의한 지하수 및 토양의 오염은 국민 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있는 요인으로 대두되고 있다. 그 중 주요한 한 가지는 지하저장탱크(underground storage tank, 이하 UST)로부터의 漏出(leaks)과 流出(spills and overfills)에 의한 오염이다. 지하저장탱크는 각종 유류 제품 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.

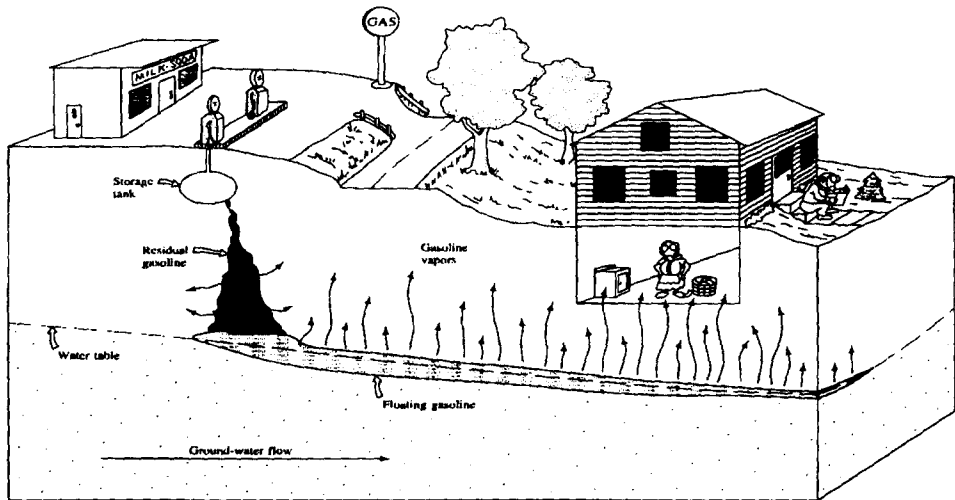


그림 1-1 UST로 인한 누출 과정

UST로 인해 발생할 수 있는 문제점으로는, UST시설의 부식(corrosion)에 의한 누출, 매설후의 뒷채움 재료가 적절하지 못하거나 관망의 연결이 적절하지 못해서 발생하는 잘못된 설치(installation)에 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 대부분의 경우, 덜 견고하다. 이는 현장에서의 많은 연결과정 등에 의한 설치시의 잘못과 과다한 지표하중, 지반의 변형에 의한 응력의 발생, 그리고 부식에 의해서 발생한다.

## 1.2 목적

본 조사연구의 목적은 휘발유, 석유, 윤활유, 기타 화학물 등을 저장하는 탱크로부터의 누출과 유출의 방지는 물론 누출 및 유출된 오염물의 효율적인 발견과 제거, 그리고 그로 인해서 오염된 토양 및 지하수 처리에 관한 기법등에 대해서 미국의 경우를 소개하여 향후 우리나라에서도 실용화가 필요할 기술을 개발하기 위한 지침을 제공하는데 있다.

미국에서 규제대상이 되는 UST의 종류는 다음과 같다.

- 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

### 1.3 구성

UST로 인한 지표하 오염의 개선대책(remediation)은 단기대책과 장기대책으로 나눌 수 있다.

단기대책으로는 자료수집, 현장조사, 탱크 및 내용물의 제거, 지역의 오염제거 등의 순서로 수행되며, 장기대책으로는 이미 오염된 지하수 및 토양에 대한 처리과정 등을 포함한다. 본 조사연구에서는 각 절차에 관련된 세부사항들을 기술하고 있다.

단기대책은 현장의 특성, 작업경험 등에 기초하여 다음과 같은 사항들을 미리 계획하고 정리하여 프로젝트를 수행해야 한다.

- (1) 기본조사
- (2) 탱크의 제거 및 정화 등의 절차
- (3) 화학적 자료의 분석
- (4) 샘플링 위치 선정
- (5) 토양, 증기, 액체 오염원의 제거 방법과 지표수·지하수 처리 방법
- (6) 폐기물과 탱크, 오염된 토양 등의 운반 방법
- (7) 누출방지 계획

또한, 장기적인 지하수 오염대책에 관하여 다양한 처리방법을 소개하고 있다.

### 1.4 연구동향

지난 10여년간 지하수 과학자와 공학자들은 토양과 지하수 오염의 개선을 위한 많은 기법들을 개발해 왔다. 환경문제에 대한 관심이 높아져 가면서, 연구가 집중되어 특정 유기화합물을 유전공학을 이용하여 생물학적으로 처리하려는

연구가 시도되고 있다.

일반적으로 부지의 개선은 두 가지 측면으로 나눌 수 있다.

첫 번째는 진행중인 오염원이 있을 때, 지표하로 혹은 지표하에서 지하수로 오염물이 방출되는 것을 막기 위한 오염원 제어가 필요하다. 이러한 오염원의 예는 매립지의 침출수, 지하수면 윗부분인 비포화층(vadose zone)에서 흡수되는 가용성 물질의 누출, 모관대 상부에서 움직이는 NAPLs(Nonaqueous Phase Liquids)등이다.

개선의 두 번째 측면은 오염된 지하수 혹은 토양에 대하여 오염물의 농도를 현저히 감소시키거나 제거하는 처리방안이다.

따라서, 토양 및 지하수 오염 개선의 범위는 폐기물을 고립시키거나 더 이상의 오염 확산을 막는 것에서부터 모든 오염의 흔적을 제거하여 완벽한 처리를 하는 것에 이른다. 후자의 목표는 기술적으로나 경제적으로나 바람직하지 못하다. 그러나, 많은 부지에서 오염도를 90~99% 까지 감소시킨 바 있어 거의 완벽한 처리방법의 이용이 가능하다고 본다.

도시환경내의 지하저장탱크의 관리를 함에 있어, 지하저장 탱크내에 저장된 가솔린이나 디젤연료는 토양 및 지하수 오염의 주 원인으로 되고 있으며, 이러한 문제는 관리하기가 매우 어려운데 이는 탱크의 수가 많고 환경적인 위험을 결정하는 인자(탱크의 특성, 지질) 들이 매우 많고 복잡하기 때문이다. 이에 따라 최근에는 GIS를 이용하여 지하저장탱크의 분포를 찾아내는 연구에까지 이르는 수준으로 발전하고 있다.

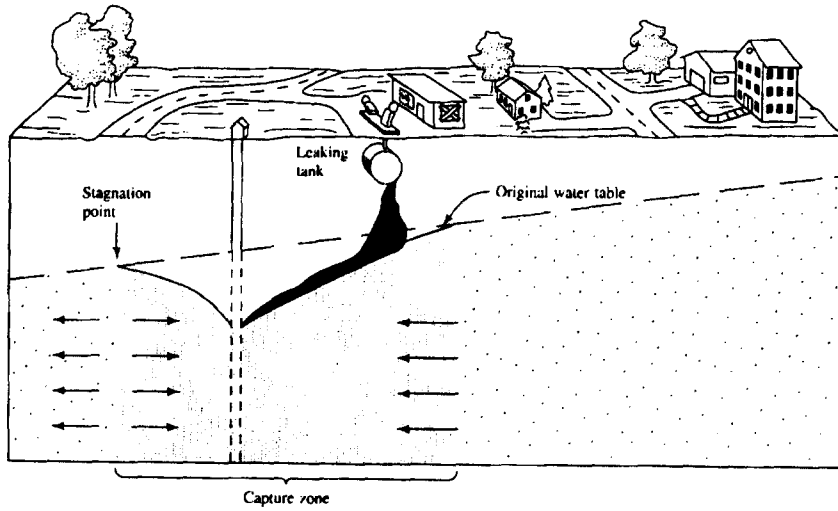
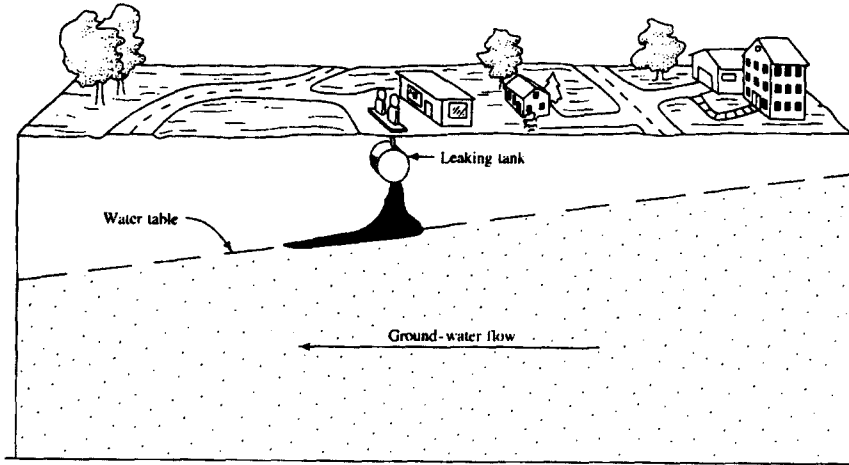


그림 1-2 UST의 누출과 단일 양수정에 의한 제거작업

## 2. 기본조사

### 2.1 개요

이 장에서는 탱크제거에 필요한 기본적인 사항들을 조사하는 절차와 방법에 대해 논한다.

### 2.2 탱크에 대한 정보 파악

#### 2.2.1 기본정보 수집

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.

#### 2.2.2 탱크의 위치 파악

- (1) UST의 위치를 찾을 때에는 탱크를 설치할 때 사용한 설계도를 활용한다.
- (2) 탱크의 위치는 맨홀, 콘크리트 또는 아스팔트의 변화, 땅의 침하 또는 움기 등으로 위치를 예측할 수 있다. 이런 예측을 확실히 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. 주어진 장소에서 지구물리탐사의 성공 여부는 현장의 특성에 좌우된다. 따라서 한 대상지역에 대해 적어도 한 가지 이상의 방법을 사용하여 오류를 줄이도록 해야 한다. 지구물리탐사 방법을 결정하기 전에 적절한 정보를 조사하고 현장 조사를 실시하여야 한다. 다음은 몇 가지의 지구물리탐사 방법이다.

① 자기탐사(Magnetometer Surveys) - 지하의 탱크를 찾아내는데 가장 널리 사용되는 방법 중 하나가 자기측정법이다. 철제 탱크와 같은 강자성을 띠는 물체는 지구자기장에 변이를 일으킨다. 이러한 변이는 국지적이며, 지표에서 자기계를 이용하여 측정할 수 있다. 자기측정은 기기가 간편하지만 지표상의 강자성 물체(예를 들어 건물, 벽, 자동차 등)로 인해 변이가 발생하여 지하 목표물에 대한 자료에 간섭 현상을 일으킬 수 있다.

② 암층의 전도도(Terrain Conductivity)탐사 - 암층의 전도도는 지표하 물질의 종류와 공극, 투수성과 공극을 채우는 유체의 함수이다. 따라서 이 전자기적(electromagnetic) 탐사는 자연적인 수리지질학적 특성 뿐 아니라 오염지역의 감지와 매설된 탱크를 찾아내는데 사용될 수 있다. 자기 탐사와 마찬가지로 전도도 탐사는 지표상의 간섭을 받을 수 있다. 그러나 전도도 탐지기는 매설물 위에서 높은 수평 해상도를 갖는다. 대부분의 탱크 제거 작업에서는 1~2m 정도의 수평 해상도를 갖는 얇은 암층 전도도 자료로도 충분한 성과를 거둘 수 있다.

③ 지중침투레이더(Ground Penetrating Radar) - 지역 특성상 자기장과 전자기적 방법을 사용할 수 없을 경우에는 지중침투레이더(GPR; ground

penetrating radar)를 사용한다. GPR은 고주파의 전파를 이용하여 지하의 정보를 얻는 방법이다. 작은 송신 안테나를 지표를 가로질러 천천히 이동시키면 에너지가 지표하로 방사된 후 반사되어 수신 안테나로 돌아온다. 돌아오는 신호의 변화가 지속적으로 기록되어 얇은 지표하의 단면을 나타낸다. 특별히 다른 전기적 특성을 가진 물질 사이의 경계면은 레이더 단면도에 나타난다. GPR은 건조하고 사질이거나 암석으로 이루어진 지역에서 좋은 효과를 거둘 수 있으나, 지역 특성의 영향을 많이 받고 전파의 지표 하 감쇠에 의한 제한을 받는 단점이 있다.

## 2.3 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.

## 2.4 탱크 내용물의 샘플링

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

- (1) UST의 내용물을 확실히 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.
- ① 한 층의 액체만이 존재할 때 : 표면 부근(20%깊이)과 바닥 부근(80%깊이)의 두 깊이에서 부표본을 채취한다. 이 두 부표본을 합성하여 하나의 표본으로 분석에 이용한다.
- ② 두 층의 액체가 존재할 때 : 각 층의 표본을 채취하여 독립적으로 처리한다.
- (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, 페인트와 도금용 금속과 부산물 등이 있으며 탱크 내의 물질이 재사용 가능한지, 유독성 폐기물인지를 결정하여 처리한다.

미국의 경우, 다음 표 2-1과 같은 범위를 초과하지 않을 때에는 재사용을 할 수 있도록 규정하고 있다.

표 2-1 재사용의 허용 범위

성분	허용 범위
비소	최대 5 ppm
카드뮴	최대 2 ppm
비소	최대 10 ppm
납	최대 100 ppm
유기 할로젠	최대 4000 ppm
인화점	최소 100° F

- (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. 추출 방법은 다음과 같다.

- ① 안전을 위하여 개인 보호 장비를 갖춘다.
  - ② 스파크가 일어나지 않는 장비를 이용하여 탱크 유입관 마개를 제거한다.
  - ③ 탱크의 깊이와 탱크 내용물의 깊이를 측정한다 ;  
물을 표시해 주는 paste로 코팅된 나무 막대를 바닥에 내린 후 탱크 바닥으로부터 토양표면까지의 연직거리, 침전물 층의 깊이, 액체 각 층의 깊이를 기록한다.
  - ④ 화학분석을 위해 분리된 각각의 액체 또는 고체상의 샘플을 수집한다.
  - ⑤ peristaltic pump를 이용하면 가장 효과적으로 샘플링을 할 수 있다. 샘플을 채취하고자 하는 점으로부터 막대에 튜브를 감아서 탱크 바닥까지 내리고 펌프를 사용하여 샘플병으로 직접 뽑아 올린다.
  - ⑥ 내용물을 샘플 용기로 운반하여 적절히 보존한다. 만약 유기물만이 채취되었다면 보존이나 냉장은 필요 없다.
  - ⑦ 야장에 여러 정보를 기록한다.
  - ⑧ 4℃로 냉장 보관한다.
  - ⑨ 샘플링 장비를 세척한다.
- (6) 침전물 샘플링 - UST의 바닥에는 침전물이 있을 수 있다. 일반적으로 침전물은 탱크 내에 액체가 없거나 탱크가 제거되었을 때 샘플을 채취한다.

## 2.5 부지 특성 조사

### 2.5.1 지표하 토양-가스 검출

토양-가스 검출은 지표하의 화학적 오염을 탐지하는 신속하고 경제적인 방

법이며 토양 내에서 지하수위보다 높이 있는 휘발성 탄화수소 성분의 농도를 측정할 수 있다.

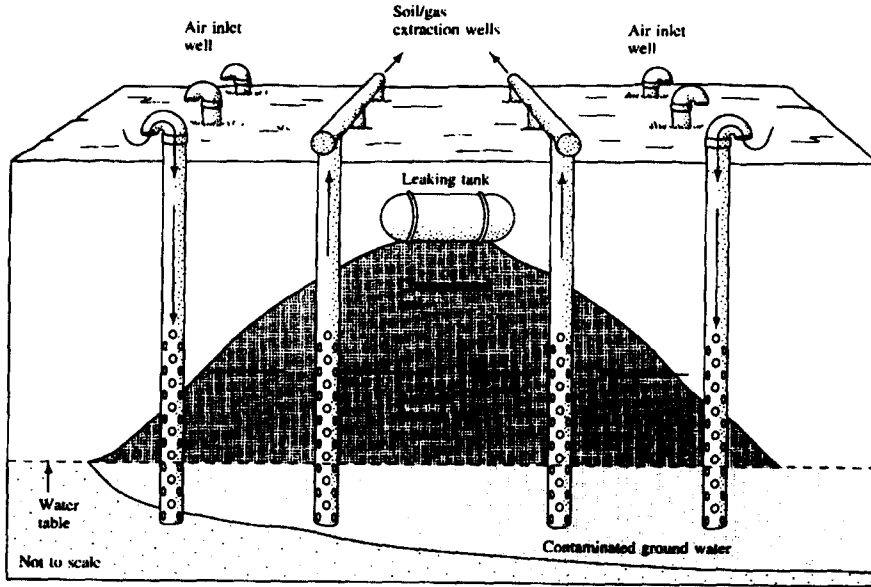


그림 2-1 토양 가스 검출 시스템

- (1) 이론 - 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 조

사한다.

(2) 제한 사항

- ① 토양 탐침은 UST가 거대한 콘크리트 구조물 밑에 있을 때에는 사용하기 힘들다.
- ② 토양이 근처의 다른 오염원에 의해 오염되어 있거나 지하수로부터 휘발성 물질이 나올 경우에 잘못된 양의 값이 나올 수 있다.
- ③ 비휘발성 물질이 누출될 경우에는 누출이 일어나지 않음을 나타내는 음의 값이 나올 수 있다.

(3) 현장 설비 - 광이온화 검출기(PID; photoionization detector)를 갖춘 휴대용 가스 색층 분석기는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌(BTEX)에 민감하고 비방향성 탄화수소와 염화탄화수소(chlorinated hydrocarbon)등에는 둔감한 편이다. 또한 탄화수소에 민감한 불꽃 이온화 검출기(FID; flame ionization detector)와도 병용할 수 있다. FID는 온도 변화에 민감하고 PID는 습한 상태에서는 작동하지 않는다.

(4) 토양가스 검출의 절차

- ① 표준증기(vapor standard)를 이용하여 가스 색층 분석기의 영점을 조정한다.
- ② 탐침을 1.5~3.0 m정도 넣는다.
- ③ 튜브에 연결된 진공 펌프를 통해 가스를 추출한다.
- ④ 펌프와 탐침 사이의 튜브 속에 삽입된 주입기로 가스 샘플이 주입된다.
- ⑤ 가스 샘플을 가스 색층 분석기 속으로 주입한다.
- ⑥ 결과를 야장에 기록한다.

## 2.2.2 시추/토양 샘플링

시추를 통해 탄화수소 상태로부터 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. 다음 사항은 시추에 따른 기본 요구사항이다.

가. 대상 지역의 물리·화학적 특성을 포함한 지질학적, 수리 지질학적 정보  
고찰

나. 안정성 있는 프로그램 개발

다. 시추와 샘플링의 목적, 시추 방법의 선택

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

### (2) 절차

- ① 관정 설치나 탱크 제거에 필요한 작업 허가를 받는다.

- ② 각 시추공에서 작업자는 각 지층의 깊이와 두께, 각 층의 토양 분류, 열극, 절리, 단층, 공동, 풍화대의 위치 등의 구조적 특성, 각 층의 샘플이 채취되는 곳 사이의 깊이 간격, 지하수가 처음 나오는 곳의 깊이, 시추공의 총 깊이 등을 파악하여 기록한다.

- ③ 지표하 토양 샘플링의 절차는 다음과 같다.

가. 샘플링 준비, 시추 위치에서 지지 면적 설정

나. 샘플과 접촉하는 모든 장비, 샘플러, 도구자체의 오염물 제거. 야장에

절차 기록.

다. 시추 기술자에게 샘플 간격과 샘플링 절차에 대해 알려줌.

라. 샘플 컨테이너를 준비하고 이름, 채취 위치, 깊이, 일시를 기록한다.

마. 샘플러를 깨끗한 플라스틱판 위에 놓고 샘플러를 천천히 연다. 샘플러를 열고 샘플로부터 약 1inch 떨어진 곳에서 탐침과 PID/FID로 core의 표면을 조사한다.

바. 휘발성 물질을 채취할 때에는 샘플러를 연 후에 신속하게 수집하여야 한다. 샘플칼을 이용하여 샘플의 고체부를 잘라 내고 넣은 후 곧바로 닫아 얼음 속에 저장한다.

사. core를 잘라 내어 색깔, 조직, 점토, 모래, 자갈의 함량 등을 기록한다.

아. 시추공, 샘플 번호, 일시, 서명 등을 포함한 샘플에 관한 모든 것을 기록한다.

자. 샘플을 포장하고 적재한다.

### 2.2.3 관정 설치

(1) 목적 - 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.

- ① 오염물 제거 범위, 샘플 준비 면적, 지지 면적 등을 설정한다.
- ② 지하수 샘플과 접촉하는 모든 장비와 기기를 정화한다.



- ③ 야장을 확인하여 관정에 관한 정보를 확인한다.
- ④ 수위 탐침을 이용하여 수위를 결정하고 기록한다.
- ⑤ bailer, submersible pump 또는 inplace pump를 이용하여 우물의 정화를 시작한다.
- ⑥ 지하수질의 측정
  - 가. 전도도, 염도, 온도, pH를 측정한다.
  - 나. 정화 시간, 부피, 수질 변수를 기록한다.
- ⑦ 정화가 끝이 나면 샘플링을 시작한다.
- ⑧ 정화된 bailer로 샘플을 채취한다.
- ⑨ 우물 번호, 일시 등을 기록한다.
- ⑩ 포장 후 적재한다.

#### 2.2.4 대수층 시험

모든 관측정의 개발이 끝난 후 현장의 수리지질학적 특성에 관한 데이터를 얻기 위해 일종의 순간 충격시험인 slug test를 실시한다. slug란 체적을 알고 있는 모조파이프(dummy pipe)를 말한다. slug test는 오염원이 있는 지역에서 대수층 시험을 하는 경우에 주로 사용된다. 방법은 관정보다 작은 직경을 가진 봉을 관정속에 집어 넣어 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.

- (1) 절차 - 고체 slug를 우물속에 넣고 수위 변화를 변환기로 측정한다. slug는 직경 1 inch, 길이 50 inch 정도의 검은 관으로 양쪽에 뚜껑이 있다. 수위와 경과 시간이 압력 변환기에 의해 기록된다. 상승 수두와 하강 수두를 기록한다.

(2) 자료 - slug test로부터 얻은 자료를 컴퓨터에 입력하여 기개발된 프로그램  
램을 이용하면 수리전도도와 투수성을 구할 수 있다.

### 2.2.5 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 수리전도도는 각 층에서 같은 방식으로 변화한다. 즉, 각 층에서 수리전도도가 낮으면 공기전도도도 낮다.

## 제 3 장 탱크의 누출

### 3.1 원인

#### 3.1.1 설치상의 오류

탱크와 관이 지하에 적절히 매설되지 않게 되면 탱크로부터 누출이 발생할 수 있다. 부적절한 설치는 강철 탱크의 파괴, 특히 관의 파괴의 원인이 될 수 있다. 설치의 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 피해등을 야기할 수 있다.

관망의 부적절한 배치, 불완전한 강도, 불충분한 덮개 등으로 관망의 파손이 발생할 수 있다.

#### 3.1.2 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 경고신호를 해 준다. UST시스템 설치 시에 유출이나 월류 방지 장치를 갖추어야 한다.

### 3.1.3 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.

### 3.1.4 부식

지하에 이미 존재하는 대부분의 UST 시스템은 피복되지 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. 다음 방법들은 부식방지 기술들이다.

- (1) 촉매작용을 하는 양극(sacrificial anode)을 탱크에 부착한다. 이 양극은 강철 탱크보다 전기적으로 강력한 금속 조각이다. 따라서, 전류는 탱크보다는 이 양극판으로 흐르게 된다. 부착된 양극판이 이러한 촉매작용을 하

는 동안 탱크는 부식이 일어나지 않는다.

(2) 전류 보호 체계는 탱크에 부착되지 않은 일련의 양극을 통해서 전기 전류를 지하에 전달시키는 방법이다. 양극에서 탱크로 흐르는 전류가 그곳에서 흘러나오는 부식성 전류보다 크기 때문에 탱크는 부식으로부터 보호된다. 또한 금속 탱크에 섬유 보강 플라스틱을 결합하면 부식으로부터 보호할 수 있다.

### 3.2 감지 방법

#### 3.2.1 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. 석유가 흘러 들어갔는지 알아보기 위해 부근의 관측정에서 점검한다.

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

### 3.2.2 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 다음과 같은 방법으로 설치된 흡입관은 보다 안전하며 누출 감시를 하지 않아도 된다.
    - 흡입이 끝났을 때 관내에 남아 있는 유체가 저장 탱크로 다시 흘러들어갈 수 있도록 경사지게 설치된 관.
    - 각 라인에 하나만의 체크 밸브가 흡입 펌프 바로 아래에 설치된 관.

## 3.3 기밀성 시험

### 3.3.1 시험 방법

지하저장탱크의 안정성을 산정하기 위하여 탱크 기밀성 시험을 실시한다.

탱크 기밀성 시험에는 체적 시험과 비체적 시험이 있는데, 체적 시험은 부피 변화를 정량적으로, 비체적 시험은 정성적으로 측정하는 것이다.

(1) 체적 시험

- 정수위 시험 : 정수위를 유지하기 위하여 탱크로부터 증가, 감소된 부피를 측정하는 방법.
- 변수위 시험 : 부산물의 수준 변화를 측정하고, 높이-체적 전환 계수를 이용하여 수위 변화를 부피 변화로 전환하는 방법.

(2) 비체적 시험 - 비체적 시험에는 진공 시험, 탐침 시험 등이 있다. 진공 시험은 탱크를 약간의 진공상태로 만드는 것이다. 이때 누출이 일어나면 거품이 발생하여 탱크에서 분리되어 일정한 진동수의 체적 진동을 일으키는데 이로써 누출량을 산정한다. 주로 사용되고 있는 방법은 vapor monitoring과 진공 시험이다. 두 방법 모두 정확한 누출율을 구할 수는 없으나 95%의 검출율과 5%의 오차율로 0.1 gpm 수준의 누출을 감지할 수 있다.

(3) 시험시 주의해야 할 점은 누출에 의한 부피 변화(signal)와 자연적인 변화(noise)를 구분하는 것이다.

### 3.3.2 첨가물

시험 방법이 결정되면 설비와 절차를 결정하여야 한다. 탱크를 채우기 위해서 첨가물을 주입하는데 정확한 측정을 위하여 탱크내 기존의 내용물과 같은 특성을 갖는 것으로 한다. 온도 변화에 따른 부피 변화를 줄이기 위하여 첨가물은 같은 온도라야 한다. 온도가 다를 경우, 온도가 같아질 때까지 기다린 후에 측정하여야 한다.

### 3.3.3 누출 감지에 영향을 미치는 요소

누출 감지에 영향을 미치는 요소들은 부피변화, 온도변화, 수위, 탱크의 변

형, 내용물의 증발, 관의 누출, 탱크의 구조, 바람, 진동, 잡음, 측정상의 실수, 유체의 종류, 기압, 탱크의 경사 등이 있으며 주요 영향 인자들은 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 수축은 noise의 주요 원인이 될 수 있다. 채워진 탱크에서 내용물의 팽창과 수축으로 인한 체적 변화는 시간당 1 gallon 정도가 될 수 있다.
- ② 용량까지 채워진 탱크와 관내에는 기포주머니(vapor pocket)가 생길 수 있다. 탱크 내용물의 온도, 압력 변화는 기포주머니의 수축이나 팽창을 유발시킬 수 있다. 포획된 증기의 체적 변화는 누출로 오인될 수 있는 수위 변화를 일으킨다. 10,000 gallon 탱크에서 10 gallon의 vapor pocket만으로도 시험 결과에 영향을 미칠 수 있다. 기밀성 시험 준비시에 10~20 gallon의 vapor pocket이 있는 것으로 예측되면 미리 빼내고 측정을 시작하여야 한다.
- ③ 내용물과 관련된 수위, 온도, 압력 변화 뿐 아니라 탱크 자체도 확장과 수축등의 구조적 변형을 일으킬 수 있다. 이 변형은 내용물의 수위를 변화시키기 때문에 이것이 누출로 오인될 수 있다. 따라서, 내용물의 첨가 후에 일정 기간을 두고 반복 측정하여 탱크 변형의 영향을 제외시켜야 한다.
- ④ 유체 표면으로부터 내용물의 증발이나 탱크 벽에서 내용물의 응축에 의해 소규모 부피 변화도 일어날 수 있다. 이 현상은 탱크가 완전히 채워지지 않았거나 공기 또는 기포주머니를 포함하고 있는 탱크 내에서 일어날



수 있다. 따라서, 측정을 하기 전에 탱크를 완전히 채우거나 비움으로써 예방할 수 있다.

⑤ 탱크 내의 기계적 진동 또는 온도 경계층에 의해 표면 또는 내부파가 발생할 수 있다. 이런 파는 체적 변화 또는 누출을 오측할 수 있는 수위 변화를 일으킬 수 있다. 샘플링을 할 때 이런 편향성(biasing)을 감지하지 못하면 잘못된 결과를 초래할 수 있다.

(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 지하수위보다 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.

### 3.3.4 시험 절차

탱크 기밀성 시험의 3단계는 준비, 조사, 분석이다.

#### (1) 준비

- ① 우선 탱크를 내용물과 같은 온도의 물질로 시험에 필요한 위치까지 채운다. 온도 변화, 파동의 영향, 구조적 변형이 사라질 때까지 대기 기간을 가진 후, 기포주머니를 제거한다.
- ② 탱크 내로 센서를 삽입한다.
- ③ 열팽창과 수위-체적 전환 계수를 결정한다. 탱크 부근에 지하수가 있거나 관측정이 있으면 수위를 측정한다.

## (2) 조사

탱크에 삽입한 센서로 수위와 온도를 측정한다.

## (3) 분석

- ① 수위 데이터를 체적으로 전환하고 온도 변화를 보정한다. 이 데이터로 체적 누출율을 계산한다.
- ② 계산된 체적 누출율은 미리 감지된 특성과 비교한다. 계산치가 감지값보다 크면 누출이 예상된다.

## 3.4 대책

### 3.4.1 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.

### 3.4.2 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 설치하여 이중벽 구조를 만든다.
- (2) 콘크리트 구조물 내에 탱크를 설치한다.
- (3) 탱크 둘레에 화학 물질이 통과할 수 없는 복공을 설치한다.

### 3.4.3 탱크의 보호

탱크를 부식으로부터 보호하기 위한 대책은 다음과 같다.

- (1) 부식 방지를 위해, 내부 벽만을 사용하는 탱크는 최초 10년과 그 후 약 5년에 한 번씩 검사한다.
- (2) 음극 보호막만을 사용하는 탱크는 탱크가 구조적으로 안전한지를 확인하기 위해 아래 방법 중의 하나를 실시한다.
  - ① 탱크가 10년이 되지 않았다면 2번의 탱크 강도 시험을 행할 수 있다. 첫 번째 시험은 음극 보호 장치를 설치하기 전에 실행되어야 하며 두 번째 시험은 3~6개월 사이에 실행되어야 한다.
  - ② 탱크가 10년쯤 되었다면 탱크가 구조적으로 안전한지, 그리고 음극 보호 장치가 설치되기 전에 부식이 없는지 확인하기 위해 내부 조사를 실시한다.
  - ③ 탱크 내부 복공과 음극 보호 장치를 복합적으로 사용할 경우에는 주기적으로 내부복공을 검사할 필요는 없다.

### 3.4.4 누출로 야기된 문제 해결

- (1) 석유 저장 탱크의 누출의 징후 - 탱크가 누출되어 환경에 영향을 끼치고 있음은 다양한 징후를 통해 알 수 있다. 대부분의 문제에 대해 그 징후에 관심을 갖고 적절한 조치를 취함으로써 문제들을 신속하게 해결할 수 있다.
  - 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.

## 제 4 장 장비의 세척 및 기체분석기법

### 4.1 장비의 세척

#### 4.1.1 개요

UST 제거와 관련된 장비 중 일시적으로 오염된 현장 장비의 세척 절차는 주어진 상황에 따라 적절히 취해져야 한다.

세제 용해제, 음용수, 탈이온수, 질소산, 메탄올, 헥산 등을 포함한 액체로 장비를 세척하며, 이때 장비는 화학적으로 유리된 천 혹은 종이 타월로 깨끗이 닦아 수분을 제거한 후에 공기를 이용한 건조 방법을 사용한다. 증기력을 이용한 세척은 가시적인 오염이 존재할 때, 혹은 큰 기계류나 운송 기기를 세척하기 위해 사용된다.

#### 4.1.2 절차

장비 세척의 현장 책임자는 안전 규정과 관리, 장비세척의 절차 및 방법에 익숙해야 한다.

(1) 세척기준 - 모든 장비는 현장 사용에 투입되기 전에 세척된 상태라야 한다. 오염의 정도를 알고 있다면, 장비가 어느 정도 세척되어져야 하는지를 결정할 수 있다. 오염의 정도를 알지 못한다면 정확한 오염의 수준을 평가할 수 있을 정도의 충분한 데이터를 수집할 때까지는 장비가 심하게 오염되었다는 가정 하에서 장비를 세척하도록 한다.

(2) 세척 단계

① 장비나 재료에 있는 먼지를 털어 내고 난 후, 물로 씻어서 제거한다. 오

염되지 않았다고 확신할 수 있는 물만을 사용한다. 현장 기록 일지에 사용한 물의 수원지를 기록하고, 만약 수원지를 분석한 적이 없다면 분석을 하기 위하여 표본을 수집한다. 굴착 장비의 경우에는 증기청소가 필요하다.

- ② 비누나 세척액으로 장비를 씻는다.
- ③ 물에 담그거나 뿌려서 세척한다.
- ④ 유기물에 오염된 경우에, 메탄올과 같은 용매를 가진 세척수를 가용성 오염 물질을 제거하거나 녹이는데 사용할 수 있다. 폐윤활유, 타르, 병커유를 녹이는 데는 헥산(hexane)을 사용할 수 있다.
- ⑤ 무기물에 오염된 경우에, 질소산 회석 용액인 세척수를 사용하여, 가용성 금속을 제거하거나 녹인다.
- ⑥ 증류수로 깨끗이 씻는다.
- ⑦ 장비를 공기로 건조시킬 때, 건조를 신속히 하기 위해서는 nanograde메탄올로 씻는다.
- ⑧ 세척의 효과를 실험적으로 입증하기 위해서, 증류수 세척시 떨어지는 물방울의 샘플을 채취하여 분석한다. 이러한 분석의 결과는 일반적으로 실험실에 가져온 후 최소한 일주일의 경과하여야 얻어진다.
- ⑨ 어떠한 경우에도 먼저 공기로 완전하게 건조시켜야 한다. 즉시 사용하지 않는다면 물품을 덮어두어야 한다. 큰 물건은 깨끗한 플라스틱 시트 위에 둔다.

#### 4.1.3 작업 이후의 절차-현장

- (1) 가능한 한 시험 장비는 모두 세척하고, 세척될 수 없는 소모성 비품은 버린다.
- (2) 안전한 지역에서 세척한 다음, 세척액과 고형물을 드럼통에 저장한다.

#### 4.1.4 작업 이후의 절차-실험실

- (1) 재고 장비와 물량 - 손상되거나 부러진 모든 장비를 교체하거나 수리한다. 소모성 물품은 교체한다.
- (2) 샘플이 안전하게 도착했다는 것을 확인하고, 분석을 위해 사용된 계기를 명확히 이해하기 위해 분석 실험실에 맡긴다.
- (3) 실험실에서의 분석 결과를 받은 후에, 작업도중 발생된 폐기물의 처리에 대하여 협의한다.

#### 4.1.5 폐기물의 처리

장비 세척 중에 생긴 폐수를 폐기물 처리 설비로 보내기 위해 용기에 담아 보관하여야 한다.

### 4.2 가연성 기체의 관측 방법

#### 4.2.1 개요

UST 제거작업 절차에 있어서 가연성의 기체는 안전을 위해 우선적으로 점검되어야 한다. 이를 점검하기 위해 가연성가스지시기(CGIs ; Combustible Gas Indicators)가 사용되는 데 본 절에서는 이를 사용하는 절차와 정확한 관측 절차에 관하여 논의한다.

#### 4.2.2 절차

현장 작업자는 안전 규정과 관리, 그리고 설비와 가연성 가스 관측의 절차에 익숙해야 한다.

- (1) 계기

- ① 사용 목적 - 가연성가스지시기(또는 폭발계량기)는 미지의 기체연소나 폭발에 관한 잠재력을 결정하는데 사용된다. 가연성 가스 관측은 UST작업 환경 내에서 폭발 위험이 언제 존재하는가를 결정하기 위하여 수행된다. CGI는 대기 중에서 유기성 기포와 하한폭발한계(LEL ; lower explosive limit)나 하한인화한계(LFL ; lower flammability limit)의 퍼센트로 표현되는 기체의 수준을 휘스톤 브리지 회로에서의 전기저항의 변화를 관측함으로써 결정한다. 휘스톤 브리지 회로는 미지의 전기 저항을 기지의 표준 저항과 비교함으로써 측정하는 네 개의 브리지를 가진 회로이다.
- ② 계기의 조건 - 가연성 혹은 폭발성 기체를 탐지하는 계기들은 대기 중에서 공정에 필요한 안전을 보장할 수 있어야 한다. LEL 25%이상의 농도를 가진 증기와 기체를 함유하는 대기 중에서는 특히 안전이 확보된 계기들을 사용하는 것이 중요하다. 가연성 기체 측정 계기는 주어진 기체가 위험하거나 유독성의 혼합물을 가지고 있는지의 여부를 나타내지는 않는다. 또, CGI는 실리콘(silicane), 규소(silicone), 규산염(silicate), 혹은 규소를 포함하는 혼합물 등을 함유하는 대기 중에서는 사용할 수 없다. 왜냐하면 이러한 물질들은 계기의 반응에 심각한 손상을 일으킬 수 있기 때문이다. 만약 검출기에 백금 필라멘트가 있다면, 유연휘발유 증기(테트라에틸 납), 황화 화합물(mercaptans 또는 수소 황화물), 그리고 황산 화합물 등과 같은 기체에 노출되어 이것의 감도는 떨어질 것이다. 산소 검출기는 CGI와 연계하여 사용하여야 한다. 산소 검출기를 검정하거나 사용할 때에는 이러한 특징에 맞는 설비를 선택하여야 한다. 이는 특히 산소가 부족한 대기환경(19.5%)이나 밀폐된 공간 내에서 대기를 관측할 때에 아주 중요하다. 혼합되는 않지만 이산화황, 불소, 염소, 브롬, 요오드, 그리고 질소 산화물의 농도가 높을 때는 관측의 간섭이 일어난다. CGI계기는 가연성 가스를 사용하여 검정하여야 한다.



③ 단위 - CGI는 LEL의 백분율 단위나 단위 체적당 가연성 기체의 ppm 단위, 혹은 둘 다로 출력된다. 이러한 경우에 가연성 가스의 폭발성이 더 크면 클수록(즉, LEL이 더 낮을수록), 폭발성의 도수는 더 민감해지고 결과적으로 안전율이 더욱 증가한다.

④ 검정 - 부탄, 펜탄, 메탄, 또는 석유증기 등의 기체에 대해서 공장에서 검정된 계기를 구매할 수 있는데 이들 중 메탄 검정이 가장 일반적이다. 메탄의 LEL은 공기 중의 단위체적당 5%의 메탄이다. 5%의 메탄을 가지는 공기 혼합체는 100% LEL로 읽히지며 폭발성이다.

## (2) 실험실에서의 준비

다음 사항들을 설비에서 확인한다.

① 계기가 깨끗한지와 사용가능한지를 확인하고 특히 sample line과 검측기 표면을 확인한다.

② 충전기를 확인한다.

③ 계기를 켜고, 충분한 예열시간을 준다.

④ 분석기가 켜졌을 때 샘플 펌프가 작동하는지 확인한다. 펌프는 작동할 때 보통 소리가 들린다.

⑤ 순환하는 공기와 가연성 기체가 혼합하여, 계량기가 0% LEL이 될 때까지 영점 조절기를 돌려서 계량기를 0으로 맞춘다. 부가적인 산소 계량기를 갖춘 경우, 안전한 지역에서 21%의 산소량까지 다이얼을 맞춘다.

⑥ 계량기가 기지의 표준기체와 같은 농도를 나타낼 때까지 농도 조절기 (span or gain)를 돌려서, 메탄과 같은 기지 농도의 가연성 가스에 대하여 계기를 검정한다.

(3) 현장에서의 준비 - 현장에서 CGI를 사용하기 전에, 실험실 준비 단계에서 설명된 절차들을 따른다. 필요하다면, 고유치인 가연성 한계에까지 경보기를 세팅하여 조정한다. 활동이 정지되고 전직원이 즉시 부근으로부터 움

직이는 경우는 제시된 기체에 대한 LEL이 25%이하가 될 때가 일반적이다.

#### (4) 작동-현장에서의 측정

- ① 현장에서 사용하기 전에 매일 CGI를 측정한다.
- ② 정확한 판독을 하기 위해 조사지점 가까이에서 CGI 흡입기기의 위치를 정한다. 굴착에 의해 생긴 굴착정을 고려한 판독의 경우에는, 샘플이 관의 길이를 통과하는데 요구되는 시간 때문에 기록에는 약간의 지연이 생긴다.
- ③ 일반적으로 CGI계기는 아래에 나오는 세 가지 방법 중의 하나로 반응한다.

가. 계량기가 0.5 LEL(50%)을 나타낸다면 이것은 불안정 가연성 상태의 농도를 의미한다.

나. 계량기의 바늘이 1.0 LEL(100%)보다 위에서 멈춘 경우에는 가연성 기체의 농도가 LEL보다 크며, UEL보다 작다는 것을 의미한다. 결과적으로, 이 농도에서는 즉시 불붙기 쉬우며 폭발할 수 있다.

다. 계량기의 바늘이 1.0 LEL(100%) 표준 이상으로 증가하다가 0으로 떨어지는 경우, 이 반응은 순환 대기가 UEL보다 큰 가연성 기체의 농도를 가지고 있다는 것을 의미한다.

- ④ CGI의 사용에 있어서 아래 사항을 유의하여야 한다.

가. 요구되어지는 작동 범위 밖의 온도에서 이 장치의 작동은 판독의 정확도를 떨어뜨리고 계기에 손상을 준다.

나. 대부분의 CGI는 산소가 부족하거나 과다한 대기 중에서는 사용하지 않도록 설계되었다.

다. 설비와 배터리의 충전은 현장 사용 후 검사한다.

#### (5) 작동 후

활동이 완수되었거나 일과가 끝났을 때에는, 눈에 보이는 먼지를 제거하기 위하여 일회용 물수건으로 CGI의 걸면을 주의하여 닦는다. CGI를 안전한 장소

로 옮기고 충전한다.

실험 일지에 모든 진행 중인 작업(부가적인 관측 등과 같은)을 기록한 후 실험일지의 목록을 완성한다. 설비와 물자의 목록을 만들고, 모든 파손된 설비를 수리하고 대체시킨 후, 고장과 손상은 보고한다.

### 4.3 유기성 증기 감시 절차

#### 4.3.1 개요

UST 작업환경에서 휴대용 PID와 FID를 사용할 때 유기성 증기의 감시에 대해 설명한다. PID와 FID 모두는 UST부지에서 일반적으로 유용한 조사 기구들이다. PID는 공기 중에 많은 유기성 증기의 농도를 실시간으로 검출하고 측정할 수 있다. 적용에 있어 PID는 FID와 유사하며 이에 관한 비교를 표 4-1에 기술하였다.

- (1) PID - PID는 검출기 내에서 자외선(UV)램프를 이온화시킴으로써 공급되는 양과 같거나 작은 이온화 포텐셜을 가지는 대부분의 증기에 대해 반응한다. PID에는 몇 가지의 램프가 사용될 수 있는데 이들 각각은 서로 다른 근원 파장(source wave length)을 가지며 결과적으로 서로 다른 이온화 포텐셜을 가진다. 이런 이유로, 적절한 램프의 선정은 유용한 현장 결과를 얻기 위해 필수적인 요소이다. 비록 특수한 화합물에 대해서는 보정(calibration)이 가능하지만 이러한 기구들은 혼합기체 내에서는 검출 가능한 화합물이라도 구분해 내지 못한다.

표 4-1 FID와 PID의 비교

	FID	PID
반응	많은 유기성 기체와 증기, 특히 낮은 분자량의 탄화수소에 반응	많은 유기성 그리고 무기성 기체와 증기 특히, 중탄화수소에 반응
적용	조사 형식에서 기체와 증기의 총 농도를 검출, 화합물을 확인	조사 형식에서 기체와 증기의 총 농도를 검출, GC칼럼과 표준이 사용되면 어떤 화합물은 검출 가능
제한	불꽃 검출기 보다 이온화 경향이 큰 무기성 기체와 증기에는 반응하지 않음. 온도조절 안됨.	매탄 혹은 무기성 지방족 염화용매에는 반응하지 않음. 수증기(높은 습도)의 존재하에서는 반응 안함. 탐침이 화합물의 이온화 경향 보다 낮은 에너지를 가지면 반응안됨.
보정기체	매탄 등	벤젠(1,3 부타디엔) 등
운용의 용이도	정확히 해석하는 경험이 요구됨 (특히 GC형식)	사용과 해석이 매우 용이함, GC형식에서는 더욱 어려움.
검출제한	0.1 ppm(매탄)	0.1 ppm(벤젠), 램프의 볼트에 의존
반응시간	2-3 초	총 농도의 90%에 대해 3초
유지	주기적으로 분진필터, 밸브 링, 버너 챔버를 청소하고 검사해야 한다. 누출에 대한 보정 및 펌핑시스템을 점검. 사용 후 배터리 충전	UV램프 청소, 보정을 정기적으로 점검, 사용후 배터리 충전
범위	0-1,000 ppm	0-2,000 ppm
수명	8시간, strip charter 기록지와 함께 3시간	10시간, strip charter 기록지와 함께 5시간

(2) FID - FID는 대부분의 유기성 증기의 존재를 검출하는 유용한 체저름 기구이다. 이는 저기압하 또는 한정된 공간에서 기체상의 탄화수소를 검출하기 위해 사용되거나 증기상태의 유기물의 체저름에 사용된다. FID는 대부분의 유기성 증기에 대해 반응하는데 이들이 수소 불꽃에 연소될 때 양으로 대전된 이온을 형성한다. 이러한 반응의 크기(magnitude)는 검출기의 민감도와 이온화 특성, 그리고 특별한 화합물의 농도의 함수가 된다. 따라서 반응은 기지의 표준기체 농도에 의해 발생된 반응과 비교되어야만 한다.

### 4.3.2 예방책

여기서도 마찬가지로 잠재적인 위험 가능성을 숙지해야 하며, 적절한 안전과 보건 대책을 통해 안전한 작업환경을 마련해야 한다. UST활동 중에 작업자들은 유류탄화수소 액체와 증기 그리고 다른 유해 폐기물에 노출될 수 있다. 따라서 이러한 절차에 관련된 모든 개개인들에게 안전 수칙을 준수하도록 해야 한다.

### 4.3.3 PID 운용, 절차 및 설명

#### (1) 제한 사항

PID는 물질을 정성적으로 확인하는데는 사용될 수 없고 단지 물질의 양만을 측정할 수 있다. PID는 특정한 화합물에 대해 검정되어야만 한다. PID는 낮은 분자량의 탄화수소 즉, 메탄이나 에탄에는 반응하지 않으며 CGI와 결합하여 사용한다. 전자 동력선이나 동력변환장치등이 PID주변에 있으면 측정 오차를 발생시킬 수 있다. 풍속이 세거나 습도가 높은 경우는 판독 오차를 발생시킨다.

#### (2) 보정(calibration)

벤젠은 PID를 포함하여 전형적인 보정용 기체이며 불연성이다.

#### (3) 준비 : 내업

- ① 기구들을 준비하고 설명서에 따라 배터리를 점검한다. PID를 켜다.
- ② 순환하는 공기에 대해 기구들을 영점 조정한다.
- ③ 제작자의 사양에 따라 기구들을 보정한다.
- ④ 장비들과 유해 물질을 운반하는 기계를 연결시킨다.

#### (4) 준비 - 문헌

야장을 준비하고 장비 점검 내용을 기록한다.

## (5) 준비 - 현장

- ① 내업에서 설명된 절차에 따라 시작 준비를 한다. 알려진 보정용 표본 기체에 대해 장비를 보정한다. 만일 보정이 제작자의 사양에 맞지 않으면 장비들을 재보정한다.
- ② 어떤 현장 기구이든 정확한 결과는 운용자의 사용법 숙지 여부에 달려 있다. 정확한 결과를 얻기 위해서는 사용법의 내용을 따라야 한다.
- ③ PID의 유입구를 관측 영역에 가깝게 위치시킨다. 적은 채취량은 국지적인 편독만을 가능케 한다. 어떤 상황하에서도 유입구를 유체에 담가서는 안된다.
- ④ 습도가 매우 높거나, 먼지 혹은 오염물이 과도하게 많은 경우는 PID를 노출시켜서는 안된다. PID조사는 느리거나 완만한 속도로 유입되는 상태이어야 한다.
- ⑤ 전력선이나 라디오 수신 혹은 변압기 등은 측정에 방해가 될 수 있다.

## (6) 운용 후 작업

### ① 현장

가. 작업이 종결된 후에는 PID를 깨끗이 청소해야 한다. 젖은 일회용 수건으로 조심스럽게 닦아주며, 눈에 보이는 어떤 먼지도 제거해야 한다. 안전한 장소로 옮겨 놓고 충전을 한다.

나. 모든 장비의 오염을 확실히 제거한다.

### ② 문헌

가. 완료되지 않은 작업이라도 야장에 기록한다.

나. 야장의 기입을 마치고, 기입의 정확성을 검토한다.

다. 종결을 위해 자료 수집 형식을 재점검한다.

### ③ 내업

가. 문서 관리 사무자에게 원래의 형식과 야장을 전달한다.

나. 파손되거나 손상된 장치들은 모두 수리하고 충전한다.

#### 4.3.4 FID 운용 절차 및 설명

- (1) 제한 사항 - FID는 비기체상의 유기화합물에는 반응하지 않는데 그것은 살충제, 다핵 방향족 탄화수소(PAHs), PCBs등이다. 대부분의 휴대용 FID는 연소 기체를 검출 불꽃에 공급하며, 21%의 산소 농도를 가진 순환 공기 내에서 운용하도록 설계되었다.
- (2) 보정 - 어떤 FID장비는 일산화탄소와 이산화탄소에 대해 무시할 만한 반응을 보인다. 그것들의 구조는 검출 불꽃 내의 상당한 이온들의 생산을 배제하며 이에 따라 다른 유기성 물질은 CO의 존재 하에서 분석되는 것이다. 그리고, PID와 함께 FID는 서로 다른 화합물에 서로 다르게 반응한다. 장비들은 메탄에 대해 공장에서 보정된 것으로 메탄과 함께 백분율로 주어지는 상대적인 반응은 100이 된다.
- (3) 준비 : 내업
  - ① 장비를 켜 뒤 적절히 warm up한다.
  - ② 배터리의 충전 상태를 확인한다.
  - ③ 펌프를 켜 뒤 누출을 확인한다.
  - ④ 펌프 조작과 함께 수소가스를 탱크로부터 열고, 검출 챔버로 연료 가스가 유입되도록 하는 규제 장치를 연다.
  - ⑤ 검출 불꽃이 점화되면 설비는 사용 직전 상태가 된다. 검출 불꽃을 붙이기 전, 운반 기체 흐름이 시작되어야 한다.
  - ⑥ 만일 장비가 내부 보정능력이 있으면, 운용 사용법의 절차를 따라 장비 보정을 실시한다.

(4) 준비 - 문헌

- ① 야장을 준비하고 장비 점검 결과를 기록한다.
- ② 충분한 수의 자료 수집이 이루어져야 한다.

(5) 준비 - 현장

- ① 내업에서 설명된 절차에 따라 장비들을 점검한다.
- ② 만일 특정한 탄화수소 종류에 대해 보정이 설정되면, 제작자의 운용 설명서를 따라 이 절차를 끝내야 한다.
- ③ 현장에서 FID를 사용하기 전에 보정을 한다.
- ④ 의문이 있는 지역에서의 탐침은 보관한다.
- ⑤ 문제 지역을 지나치지 않도록 천천히 진행시킨다.
- ⑥ 천공작업 중에 FID 감지 작업은 1.5m 간격으로 실시한다.
- ⑦ 연료 및 연소 공기 공급 게이지는 충분한 기체 공급을 위해 항상 감시되어야 한다.
- ⑧ 표본 탐침 및 필터 등은 주기적으로 청소되어야 한다.
- ⑨ 농도가 장비의 최대 full scale 용량 이하 혹은 표본 성분의 30% LEL을 초과할 때에는 시스템을 수정해야 한다. 유사한 수정은 산소가 결핍된 지역에서의 시료채취시 발생한다.



## 5. 지하저장 탱크의 제거

### 5.1 내용물의 제거

#### 5.1.1 개요

본 절은 탱크 내의 내용물이 화학적 분석과 기록으로부터 특성화된 후에 UST로부터의 내용물을 제거하기 위한 절차를 설명한 것이다. 샘플링은 더 이상 사용되지 않는 탱크나 탱크의 수명이 지나 사용상의 변화를 가져온 것에 대해 실시한다. UST를 샘플링하지 않는 경우는 사용 중인 탱크나 저장물의 보관 기간이 유효한 경우이다.

#### 5.1.2 절차

- (1) 특별한 예방책의 준수
- (2) Piping을 연결하기 위한 제한된 굴착.
- (3) 탱크로 연결되는 파이핑의 분출과 배수시에는 파이프의 누출을 막아야 함.
- (4) 일반적으로 저장 중인 탱크의 내용물은 알 수 있지만, 어떤 경우에는 탱크 내의 내용물을 모르는 경우가 있다. 이 때 표본은 부지밖으로 보내져 분석한다.
- (5) 탱크의 배기 구멍은 적절히 위치되어야 하고 모든 배기관은 대기 중으로 열려야 한다. 남아 있는 내용물은 가장 낮은 수준까지 뽑아 올려져야 한다.

### 5.1.3 장비

#### (1) 조사 및 운용 절차

- ① 모든 밸브는 자유롭게 조작되어야 한다.
- ② 액체의 높이를 나타내는 부자는 적절히 작동되어야 한다.
- ③ 달는 장치를 위한 고무 stopper는 잘 작동되어야 한다.
- ④ 도움형 덮개는 꼭 덮여야 하고 잘 작동되어야 한다.
- ⑤ 호스의 연결 상태는 양호해야 하고 접합이 좋아야 한다.
- ⑥ 모든 연결 상태는 누출이 없어야 하고 잘 작동되어야 한다.

(2) 정전기 - 노출된 금속 즉, 호스 플랜지 등에 축적된 정전기는 접화의 원인이 되기도 한다. 따라서 전기전도성이 없는 호스가 사용되어야 한다.

#### (3) 화물 탱크 진공 적재

- ① 유입 밸브로부터 적재원까지 흡입 호스를 연결한다.
- ② 모든 밸브를 잠그고 진공 펌프를 기동한다.
- ③ 4way밸브를 설치한다.
- ④ 적재탱크가 차면 유입 밸브를 잠근다.
- ⑤ 진공 펌프로 액체나 고체가 유입되는 것을 막기 위해서는 내·외부의 드레인 밸브가 진공 중에 열려 있으면 안된다.

### 5.1.4 오염물 처리

(1) 내용물 처리 - 탱크로부터 제거된 내용물은 연료 특성에 따라 재사용될 수도 있다. 연료의 종류에 따라 산업용 용광로 혹은 아스팔트에 재사용될 수 있다.

(2) 오염된 물 - 오염된 물은 여러 가지 방식으로 처분될 수 있다. 오염된 물

을 기름/물 분리기로 방출시키거나 지역 공공 처리 공정(Publicly owned treatment works; POTW) 혹은 산업용 오수 처리 시설로 방출시킬 수 있다.

## 5.2 지하저장탱크의 제거 절차

### 5.2.1 개요

UST시스템의 제거, 저장 그리고 처분에 관한 절차에 관해 설명한다.

### 5.2.2 지하 탱크의 제거

#### (1) 준비

- ① 안전 예방책을 준수한다.
- ② 탱크로부터의 모든 액체를 제거한다.

(2) 탱크의 청소 - 탱크 내의 가연성 증기를 공기와 희석시키거나 공기로 대체시킨다. 탱크 청소의 목적은 가연성 증기를 1% 이내로 줄이는 것이다. 그러나 탱크는 청소가 끝난 후라 할지라도 여전히 가연성 증기의 근원이 될 수 있다.

① 가연성의 증기는 다음에 나타난 탱크 환기 방법을 이용하여 제거한다.

가. 추출 형식의 공기 주입기를 사용한 환기(배기)는 대개 압축 공기를 불어넣어 공기를 몰아낸다. 이 방법을 사용할 때 필(fill)튜브는 바닥에서의 환기를 확실히 하기 위해 적절히 위치시킨다.

나. 확산 기체를 불어넣는 형식의 환기방법을 사용할 때, 공기 확산식 관은 스파크가 일어나지 않도록 잘 접촉되어야 한다. 탱크 내의 공기 압력은 5 psi를 넘어서는 안된다.

② 탱크를 청소하는 가장 안전하고 간단한 방법 중의 하나는 탱크를 물로 채우는 것이다.

가. 부유 물질이 입구까지 올라올 때까지 탱크를 물로 채운다. 부유 물질을 적절한 처리를 위한 용기에 옮긴다. 부산물이나 물이 탱크의 굴착지로 새어 나가지 않도록 주의해야 한다.

나. 탱크를 물로 채우는 과정에서 가연성의 증기는 환기 구멍과 입구를 통해서 밖으로 나간다. 입구로의 증기 배출을 최소화하기 위해 뚜껑을 주기적으로 닫는다.

다. 탱크 내의 증기가 사라지면, 물을 양수하여 처리한다.

③ 또다른 청소 방법은 상용 유화제 혹은 휘발성 연료 캡슐을 사용하는 것이다. 이러한 물질들은 물과 혼합되기 쉽다. 가연성 증기를 제거하는 보조제이며 미생물로 분해된다.

### (3) 탱크의 비활성화

① 가연성, 연소성의 증기는 CO<sub>2</sub>나 N<sub>2</sub>와 같은 비활성기체와 함께 비활성화될 수 있다. 비활성기체는 배기 구멍과 반대 위치의 한 개의 구멍으로 탱크 내에 주입되며 이때 정전기에 의한 불꽃이 일어날 수 있으므로 주의해야 한다. CO<sub>2</sub>나 N<sub>2</sub>가 사용될 때, 탱크 내의 압력은 계기압 5psi를 유지해야 한다.

② 만일 위에 설명된 방법이 실제적이지 않다면, 탱크 내의 증기는 고체 이산화탄소(드라이 아이스)를 100갤론 당 3파운드의 양으로 탱크 내에 주입하여 대치시킨다.

③ 비활성 운용이 이루어지는 동안 탱크 내의 산소 농도를 감시한다. 산소 농도가 8%이하가 되면 비활성이 잘 이루어진 것이다. 증기의 감소가 적절히 이루어지지 않으면, 원래 주입한 양의 드라이 아이스의 반을 추가하여 반복한다.

#### (4) 시험

- ① 탱크 주위나 굴착 지역에서 계속적으로 산소의 농도를 점검해야 한다.
- ② 탱크 내의 공간은 검침을 사용하여 측정하며 탱크의 상부, 중부, 하부에서 각각 읽는다.

(5) 관련된 관의 비활성화 - 탱크 제거를 위한 준비에 있어 탱크 부속물의 종류를 조사하여야 한다. 탱크는 제거 가능한 추출 밸브, 앵글 체크 밸브, 비추출 밸브(nonextractor valve), 직접적인 연결 라인과 다른 연결 라인 등으로 구성되어 있다. 모든 파이핑은 탱크의 제거가 되기 전에 비활성화 되어야 한다.

- ① 적절한 기구를 사용하여 각 추출 밸브의 상승 캡과 추출 밸브를 제거한다. 가능하면 앵글 체크 밸브와 부속품을 탱크로부터 제거한다.
- ② 일반적인 파이프 청소 절차 -  $N_2$  혹은  $CO_2$ 를 이용하여 다음 단계를 밟는다. 파이핑의 연결을 끊고 주어진 비활성 물질을 선택하여 파이핑시스템이 역분출하도록 연결한다. 라인에 비활성물질로 압력을 가해서 파이프라인 내의 유체가 UST내로 역분출되도록 한다. 만일 탱크 연결이 추출 밸브 형식이면 UST로 연결된 각 라인들에 대한 역분출을 계속시킨다. 만일 라인들이 직접 연결된 형식이면 분출되는 유량에서 씻어 내는 비활성 물질들이 모두 소모될 때까지 반복한다.

#### (6) 탱크의 제거

- ① 탱크 내로부터 액체와 잔유물을 제거한다.
- ② 만일 파이핑 통로를 위한 굴착이 아직 실행되지 않았다면 콘크리트나 아스팔트 덮개를 제거한다. 아래에 놓인 흙을 탱크의 상부까지 굴착한다. 이 흙을 탱크 아래의 흙과는 분리시켜 놓아야 한다. 이는 탱크 위의 흙이 가시적으로 혹은 냄새로 보아 아무런 오염이 되지 않았을 경우 처분 용적을 줄이기 위한 것이다. 굴착은 넓고 깊게 해야 하는데 이는 관련된 모든 파

이평과 탱크 부속물의 출입을 허용할 수 있게 하기 위함이다.

- ③ 가득찬 파이프, 측정용 파이프, 증기 회수 트럭 연결 장치, 잠수 가능 펌프와 다른 탱크 설비들을 제거한다. 드롭튜브(drop tube)도 제거하는데 전술한 것처럼 탱크 내의 청소를 위한 주출기로 쓰는 경우는 제외한다. 통기(vent)라인을 제외한 회수 라인만 덮거나 제거한다. 통기 라인은 탱크가 청소될 때까지 연결 상태로 유지된다. 일시적으로 탱크의 모든 마개를 틀어막는데 이는 모든 증기가 비활성 과정 중에 통기 라인을 통해 배출되도록 하기 위함이다.
- ④ 탱크가 비활성화되고 굴착으로부터 제거되기 전에 탱크와 가까이 있는 모든 파이프나 마개들은 덮는다. 파이프의 절단은 불꽃 절단기를 사용하지 않고 파이프 절단기를 사용하여 어떤 불뚱도 튀지 않도록 한다. 통기 튜브를 덮는 마개와 뚜껑에는 튜브 내로 통하는 1/8 inch의 구멍이 천공되어 있어야 하는데 이는 탱크 내의 가스들이 온도 변화로 인해 탱크의 압력차가 심하게 나타나지 않으면서 가스의 수축, 또는 팽창을 허용할 수 있도록 하기 위함이다. 뒤따르는 수송과 저장 중에 탱크는 언제나 상부에 이와 같은 통기 마개를 장착해야 한다.
- ⑤ 탱크에 체인을 연결하고 굴착후 탱크 제거를 위해 탱크의 무게를 지탱할 수 있는 갈고리 등을 설치한다. 그리고 이를 들어올리기 위한 적절한 장비도 필요하다. 탱크를 지상에 안착시킬 때는 나무 블록을 깔고 그 위에 놓는다. 이때 통기 뚜껑은 계속 유지한다.
- ⑥ 탱크의 외부를 검사하고 부식되어 생긴 구멍들은 나선형 마개로 막는다.
- ⑦ 비활성화 작업을 재시도하기 전에 탱크 내의 산소의 함유량을 재점검한다.
- ⑧ 탱크 밖의 물때나 탱크에 붙어 있는 흙을 제거한다. 탱크 내외부의 정화 작업시에는 불꽃이 없는 기구들을 사용하여야 한다.

⑨ 부분적으로 혹은 전체적으로 기존의 지하 저장 시설이 제거된 곳에는 오염된 흙이 있을 수 있다. 이 오염은 지하 저장 시설 운용시 소량의 누출로 말미암은 것이며, 제거과정중에도 누출로 인해 일부 오염된다. 오염된 토양은 잠재적인 환경 및 안전의 위험 요소가 된다. 누출은 시설물 제거 과정 중에는 흡수기 등의 작동으로 최소화시켜야 한다.

(7) 슬러지 제거 - 슬러지는 반드시 제거되어야 하며 탱크 내외부의 오염물은 작업 부지로부터 제거되기 전에 정화되어야 한다. 이 정화 작업에는 휘발성 유기 용제를 사용해서는 안된다.

### 5.2.3 탱크의 처분

#### (1) 탱크의 보관

① 만일 탱크를 보관하려면 탱크에 적절한 표시를 해야 한다. 탱크는 지하로부터 제거된 후 이런 표시를 해야 하며 탱크의 상태에 개의치 않고 재사용에 대해 주의 사항을 명기해야 한다. 각 탱크의 이전의 내용물과 현재의 증기 상태를 명기해야 하며, 내부의 처리와 처리일도 표시되어야 한다. 그 예는 다음과 같다.

탱크는 유연 휘발유의 용기였음.  
 증기가 아직 있으므로  
 사람 혹은 가축을 위한 음식 혹은  
 액체등은 저장할 수 없음.  
 제거일 : 월/일/연

② 만약 탱크가 유연 자동차의 연료를 저장했었다면 다음과 같은 표시가 되어야 한다.

탱크는 유연 휘발유를 저장했었음.  
 납 증기는 열이 가해질 경우  
 빠져나갈 수 있음.

- ③ 탱크는 굴착 부지로부터 증기 제거 작업과 슬러지 제거 작업이 끝난 직후 가능한 한 빨리 제거되어야 한다. 만일 탱크가 굴착 부지에 하루 혹은 그 이상 존치되면 추가적인 증기가 탱크 밖으로 방출될 수 있다.
- ④ 탱크는 트럭에 안전하게 적재하여 저장 혹은 처분 부지로 수송한다.
- ⑤ 탱크는 안전한 영역에 보관되어야 한다.

(2) 처분

- ① 탱크 내의 증기가 모두 제거되면 불꽃을 일으키지 않는 천공기로 절단 혹은 천공하므로 저장 탱크를 재사용하는 것은 부적합하다.
- ② 고철로 처분될 금속 탱크의 경우는 내부를 비활성화시킨 후에 물리적 정화 작업을 하고 절단한다.

5.3 슬러지 제거 절차

5.3.1 운용, 절차 및 설명

- ① 탱크의 구조 및 바깥쪽 출구의 수에 따라 다양한 방법을 이용하여 슬러지를 제거한다. 가능하면 탱크 내로 들어가지 않는 것을 원칙으로 한다.
- 가. 슬러지는 고압, 저용적의 수증기력으로 씻은 후, 모아서 담아 낼 수 있다. 이 방법은 한정된 공간 문제, 폭발성 공기, 슬러지 제거 문제를 해결할 수 있으며 탱크의 청소를 쉽게 한다.
- 나. 물-호스 시스템으로 탱크를 씻어 낸다.
- 다. 필요하면 어떤 남아 있는 액체도 톱밥 혹은 spent clay 등의 흡수제를 이용하여 탱크로부터 제거될 수 있다. 이때는 고품 쓰레기로 처분된다.
- 라. 진공 탱크는 빠르고 효율적인 슬러지 제거 및 운반을 제공한다. 진공 트럭이 작동되는 지면에는 증기가 없어야 한다.



### 5.3.2 폐기물 처리

진공 처리되지 않은 슬러지는 적절한 컨테이너로 이동되어야만 한다. 제거를 쉽게 하기 위해 적은 양의 물을 탱크 내에 첨가한다. 탱크 슬러지는 위험한 특성이 있는지 조사되어야 한다. 제안된 처분 방법은 시멘트 로나, 소각, 용결, 매립식 쓰레기 처리 혹은 일시적인 저장과 처리 시설로의 수송을 포함한다.

## 5.4 토양 및 자유부산물 제거 절차

### 5.4.1 개요

본 절은 토양의 굴착과 관련된 자유부산물에 대한 절차에 관한 토의이다. 적은 양의 탄화수소 오염 토양에 대해서도 처리를 하여야 한다. 제거될 흙의 양은 방출된 탄화수소의 용적, 액체 탄화수소 침투, 흙의 제거 및 처리의 용이도, 이용 가능한 자금 등에 의해 규정된다. 이는 단지 적은 양의 오염된 흙과 굴착 중의 부산물에 대해서만 의도된 것이다.

### 5.4.2 주의 사항

유류에 의해 오염된 토양은 가연성, 연소성의 성질을 가지며 잠재적인 폭발 능력을 갖는다. 굴착 중과 후에는 증기나 액체가 한정된 면적 내에 축적되는 것과 점화 및 폭발 위험을 방지해야 한다. 굴착 중에는 돌에 부딪혀 불꽃이 튀기지 않도록 조심해야 하며 다른 점화 물질도 주의해야 한다. 장비는 천천히 움직이도록 하며 어떤 경우에는 흙을 움직여 포화된 영역에 충분한 공기를 통과시킴으로써 증기 농도를 감소시킬 수 있다.

### 5.4.3 흙의 제거

오염된 모든 흙이 제거될 때까지 굴착을 진행한다.

- (1) 오염된 흙 - 만일 굴착 중의 토양이 오염되었다면, 굴착된 흙을 저장하는 공간을 마련한다. 이를 위해 지면 위에 폴리에틸렌 판을 놓고 그 위에 흙을 놓는다. 이는 굴착된 흙내의 오염물이 오염되지 않은 토양으로 유입되는 것을 막기 위해서이다. 그리고 작업 후에 동일한 재질의 폴리에틸렌 덮개로 덮어야 하는데 이는 강우 등에 의한 침투를 막기 위함이다.
- (2) 채취 - 탱크의 제거가 모두 끝난 후에 반드시 굴착면 바닥의 흙을 채취하여 플라스틱 가방 혹은 병에 담아 현장 시험을 한다. 이 시험은 오염의 범위와 뒤따르는 굴착 범위를 지정하고, 깨끗한 토양과 오염된 토양을 구분하도록 한다. 현장 시험은 깨끗한 토양과 오염된 것으로 추정되는 토양을 구분하는 것이다. 굴착면 바닥과 비축토량으로부터 수집된 시료로부터 행해지는 실내 확인 시험은 대부분의 경우 흙이 깨끗한지를 검토하기 위해 이루어진다.
- (3) 부지내 처리
  - ① 토지 처리 - 토지 처리는 오염된 흙을 제거하고 자연적으로 발생하는 생화학적 분해와 휘발을 돕도록 흙을 퍼뜨리는 과정이다. 매립지나 비행장 혹은 격리된 지역들의 집중 지역은 토지 처리를 해야 한다.
  - ② 포기/휘발의 강화 - 공기와의 혼합과 노출에 의한 흙의 포기는 탄화수소 농도를 받아들일 만한 농도로 감소시킬 수 있다. 이 과정은 굴착 장비, 경작기, 진탕기를 사용하여 흙을 뒤집는 것과 같이 간단한 것으로 휘발을 증대시키거나 강제 혹은 발동기를 쓰지 않는 통기 시스템으로 증기의 제거를 강화한다.
  - ③ 열처리 - 잔류 탄화수소의 소각과 고온의 증류(striping)는 흙의 부지내

처리를 위한 환경 내에서 사용되는 방법이다. 처리 비용과 국부적인 공기 질 규제는 이 기법의 사용으로 조절하는 주요 인자이다. 열처리 기술의 예로 저온의 탈착 혹은 아스팔트 가마 (kiln)를 포함한다.

④ 격리/봉쇄(containment) - 격리/봉쇄는 영향토가 슬러리 벽, 그라우트 커튼 혹은 차단벽 등의 사용으로 고립되는 경우이다.

⑤ 흙 슬러리 생물반응로 - 흙 슬러리 생물반응로 과정은 다양한 약품을 흙에 섞어 미생물의 활동을 촉진하는 과정을 수반한다.

(5) 아스팔트 혼합 - 아스팔트 혼합은 잔류 탄화수소를 함유하는 흙을 고온의 아스팔트에 자갈의 일부로 대체하여 혼합하는 것이다. 혼합물을 가열하는 중에 더 많은 휘발성 혼합물이 증발되고 남아 있는 혼합물은 아스팔트 혼합물에 섞인다.

(6) 자유부산물 제거 - 자유부산물의 제거는 치료목적이라기 보다는 더 큰 환경 손상을 막기 위해서 필요하다. 가능하면, 굴착시 경사를 주어 부산물이 고이도록 한다.

## 제 6 장 장기적인 지하수 오염 처리방안

휘발유는 주로 alkane, alkene과 방향족 탄화수소로 이루어진 화합물이다. 휘발유가 토양으로 누출되면 높은 증기압의 영향으로 휘발하여 토양의 공극을 증기로 채우게 된다. 또한 증기 상태나 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. 본 절에서는 주로 지하수로 누출된 휘발유 성분의 제거에 관한 장기적인 절차를 논의하기로 한다.

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 활성 탄소 흡착법이 높은 효율과 경제성으로 가장 널리 사용되고 있으며 최근 들어 생물학적 처리가 주목을 받고 있다.

### 6.1 공기증류법

공기증류법은 휘발성 물질이 액체상으로부터 기체상으로 확산되도록 하여 공기와 물이 접촉하도록 하는 방법이다. 단독으로도 사용하지만, 다른 방법(주로 활성 탄소 흡착법)과 함께 사용하면 좋은 결과를 얻을 수 있다.

### 6.1.1 Diffused Aeration

diffused aeration은 압축된 공기를 작은 기포를 발생시키는 diffuser를 통과시켜 물 속으로 주입하는 방법이다. 기포상의 물과 공기의 접촉면에서 물질 이동이 일어나 오염물이 기포로 이동하게 된다. 이 방법은 주로 접촉 공동에서 사용한다. 기포를 더 작게 만들거나, 공기/물 비를 증가시키거나, 혹은 터빈을 이용하여 난류를 발생시키면 이동율을 증가시킬 수 있다. diffused aerator는 trichloroethylene, carbon tetra chloride, tetrachloroethylene, vinyl chloride 등 유기물에 대하여 70~90%의 제거율을 갖고 있다. 대체로 이 방법은 packed tower보다 효율이 낮고 고가이다.

### 6.1.2 Tray Aeration

Tray Aeration은 공기를 강제로 유입시키지 않는 간단한 방법이다. 최대한의 공기를 이용하기 위해 여러 판의 층을 통해 물을 떨어뜨린다. 이 방법은 trichloroethylene, tetrachloroethylene, trans-1,2-dichloroethylene, 1,2-dichloroethane 등의 제거에 이용하며 효율은 대개 40~60%인데 널리 이용되지는 않는다.

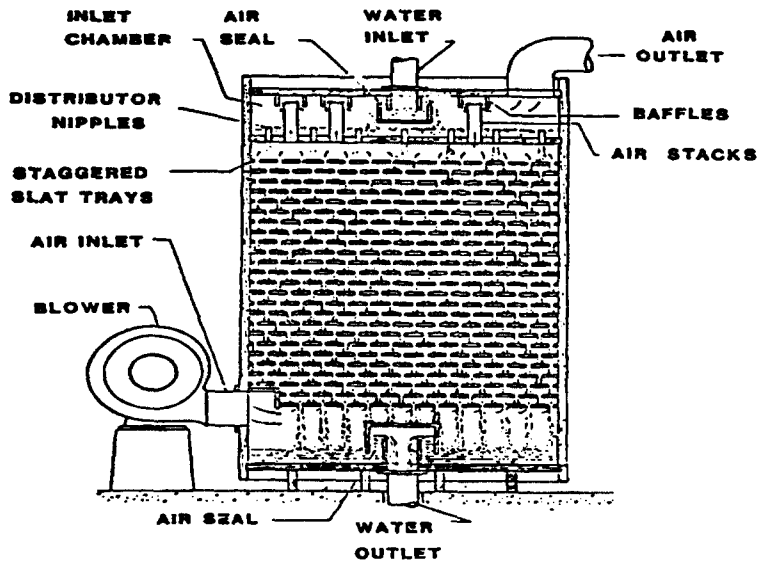


그림 6-1 Tray Aeration

### 6.1.3 Spray Aeration

Spray Aeration은 격자 관망과 노즐을 구성하여 실시하는 방법이다. 오염된 물을 노즐을 통해 공기 중으로 분사하여 작은 물방울을 만든다. 물방울의 표면을 통해 오염물이 공기 중으로 이동한다. 노즐을 통해 물을 여러 번 통과시키면 효율을 높일 수 있다. 이 방법은 휘발성 유기 화합물의 제거에 효과적이며 대수층의 재충진에도 사용할 수 있다. 단점은 분무에 넓은 면적이 필요하고 많은 안개가 생기는 점이다. 또한 기온이 낮은 지역에서는 얼음이 생길 수 있다.

### 6.1.4 Packed Towers

packed tower는 높은 공기/물 비와, 공극을 크게 하기 위해 packing

material을 이용하는데 이로 인해 다른 방법들보다 오염 제거 효율이 높다.

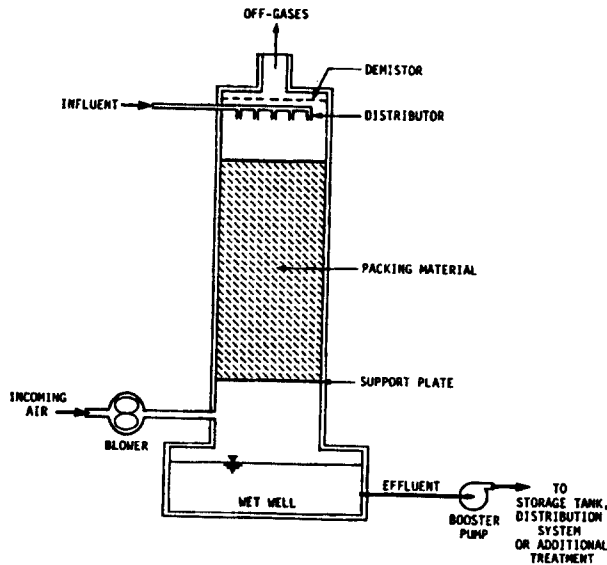


그림 6-2 packed tower aerator

packing material을 통해 물을 아래로 흘려 보내고 공기를 반대로 위로 올려 보낸다. packing material은 물을 작은 물방울로 만들어 물질 이동이 일어날 수 있도록 표면적을 넓혀 준다

이 방법은 특히 휘발성 유기 화학물의 제거에 매우 효과적이어서 거의 90~99%의 제거율을 가지며 매우 경제적인 장점을 갖고 있다.

### 6.1.5 기본 원리

공기증류법의 기본 원리는 용해된 가스의 분자가 가스상과 액체상 사이에서 자유롭게 이동한다는 가스 이동 원리에 기초를 두고 있다. 이동율은 오염물의 액체상 농도와 물질의 평형 액체상 농도의 차이에 비례한다. 물질의 평형 농도는 헨리의 상수에 지배를 받는다. 헨리의 법칙은 물질이 평형 상태에서 액체

와 기체상으로 분리하려는 상대적인 경향을 설명하고 있다.

$$P_g = H X_a$$

$P_g$  = 오염물의 부분 증기압(atm)

H = 헨리 상수(atm)

$X_a$  = 수중 오염물의 몰분율(mol/mol)

결국 공기중류법은 오염되지 않은 신선한 공기를 유입하여 액체상으로부터 기체상으로 질량 이동을 발생시키는 것이다. 계속적으로 오염되지 않은 공기를 유입하여 오염도를 저하시킨다. packed tower는 위로부터 물을 낙하시키고 아래로부터 공기를 올려보내 액체-공기의 유효 표면적을 증가시켜 물질 이동을 증가시키는 방법이다.

## 6.2 Activated Carbon adsorption

용해된 화합물의 분자는 흡착에 의해 흡착성의 고체 표면에 부착된다. 분자의 흡착은 화학적 또는 물리적 힘에 기인하며 양자 모두 탄소 표면에서 인력이 액체의 인력보다 클 때 발생한다. 화학적 흡착은 탄소 표면에서 인력이 커서 화학적 화합물이 생성될 때 발생한다.

물리적 흡착은 Van Der Waals Force에 의해 발생하는데 화학적 흡착에 비해 매우 약한 결합이다. Van Der Waals Force는 전자 운동의 결과로 형성된다. Van Der Waals Force에 의해 결합된 분자는 약하게 흡착되어 용질의 농도 변화가 생기거나 결합을 깰 수 있는 에너지가 부가되면 쉽게 제거된다. 이 원리를 이용하여 오염물을 제거한다.

액체로부터 탄소 표면으로의 용질 이동은 세 가지 상을 거친다. 첫째, 탄소 입자 사이에서 용질이 이동된다. 이는 탄소의 종류와 유체속도에 영향을 받는다.



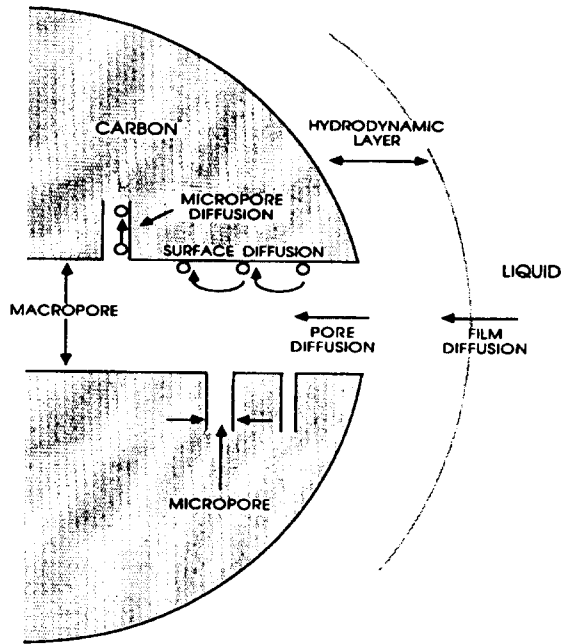


그림 6-3 탄소 입자로의 용질 이동

둘째, film 이동이 발생한다. 이 과정에서 용질은 액체로부터 탄소 입자 주위의 hydrodynamic layer를 통해 확산된다. 셋째, 입자는 탄소 공극을 통해 입자 내부 이동을 진행한다. 이 과정은 공극 확산과 표면 확산, 미세 공극 확산으로 나눌 수 있다. 내부 공극은 크기에 따라 micropores(10~1000Å)와 macropores(1000Å 이상)으로 나눌 수 있다. 공극 확산은 용질이 macropore를 통과하거나 그 안으로 이동되는 과정을 설명한다. macropore wall에서 일어나는 유일한 반응은 흡착이다. 표면 흡착은 공극 벽에 이미 흡착된 입자가 탄소 입자 내의 더 먼 곳으로 이동할 때 발생한다. micropore diffusion은 흡착물이 micropore로 이동되어 탄소 벽과 반응하는 것이다.

### 6.3 공기증류법과 GAC(granular activated carbon) 방법의 결합

휘발유로 오염된 지하수의 처리에는 대부분 전술한 공기증류법과 GAC 방법중 하나를 선택하지만 경우에 따라 두 방법을 함께 사용하여 좋은 결과를 얻을 수 있다. UST의 경우에는 먼저 packed air tower를 설치하여 대부분의 유기 오염물을 제거하고 GAC를 이용하여 나머지와 비휘발성 화합물을 제거한다.

#### 6.1.4 생물학적 처리

휘발유 성분으로 오염된 지하수를 정화하기 위해 토착 미생물을 이용하는 방법이다. 미생물을 이용하여 오염된 대수층을 정화하는 것을 생물학적 처리(bioremediation)라 정의한다. 분리 방법인 공기증류법과 GAC와는 달리 생물학적 처리는 파괴의 방법이다. 완전한 호기성 분해의 부산물은 이산화탄소와 물이다. 저렴하다는 장점이 있으나, 적용에 보통 4~6주 정도의 긴 시간이 필요하고 일단 시작하면 쉬지 않고 계속 처리해야 하는 단점이 있다. 생물학적 처리는 현장에서 자연적 방법과 유도법에 의해 시행될 수 있다. 자연적 방법은 대수층의 미생물 수가 많아짐에 따라 자연적으로 오염물이 제거되는 방법이다. 이에 반해 유도법은 지하수의 양수, 주입, 재순환 등을 통해 지하수 환경을 변형하여 오염물과 매질, 미생물을 혼합하는 방법이다.

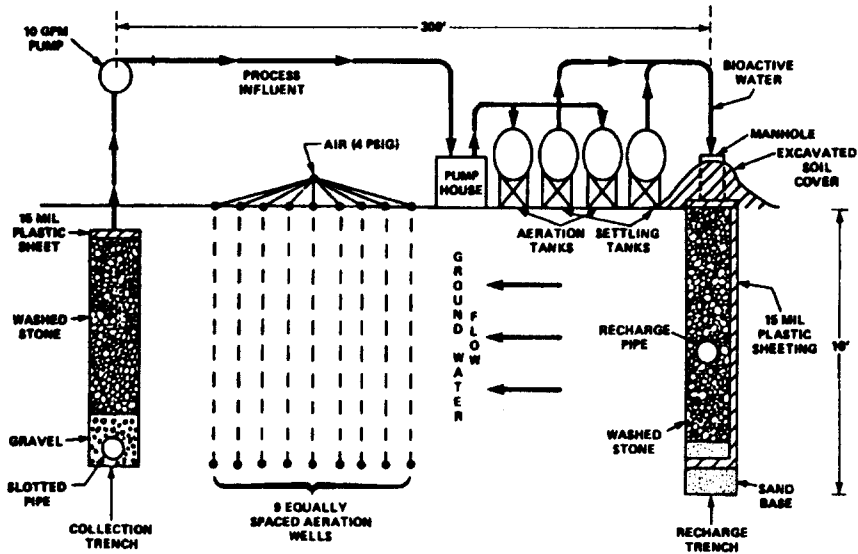


그림 6-4 생물학적 처리시스템의 흐름도

생물학적 처리는 호기성 호흡, 혐기성 호흡, 발효 등에 의해 발생한다. 호기성 미생물은 탄화수소를 분해하는 과정에서 산소를 이용한다. 혐기성은 황산염, 질산염, 이산화탄소 등을 최종 전자 수용체로하여 무기물을 이용한다. 발효상태에서 유기 화합물은 전자공여체(electron donor)와 전자 수용체(electron acceptor)로 작용한다.

휘발유의 주성분인 방향족(aromatics), alkanes 등은 호기성 환경에서 더 잘 분해된다. 탄화수소의 완전한 분해로 이산화탄소와 물이 생성된다 하더라도 어떤 환경에서는 그렇지 않을 수도 있다. 그런 경우에는 더 이상의 분해와 미생물의 성장을 저해하는 중간 분해 산물이 축적될 수 있다. 미생물 분해율에 영향을 미치는 성장 요소에는 산소, 온도, 영양 상태, 성장 기질의 특성 등이 포함된다.

## 제 7 장 결 론

본 연구에서는 유류오염을 최소화 하기 위한 지하저장탱크(UST)의 효율적인 제거 및 지하수 오염 처리 방안에 대한 실제적인 방안을 미국의 경우를 들어 소개하였다.

우리나라의 경우, 서울시만 하더라도 수천개의 철재액상연료(휘발유, 석유 등)탱크를 지하에 매설하여 각종 유류를 저유하고 있으며 그 외에도 수백 km나 되는 지중배관을 설치하여 액상연료를 송유하고 있을 뿐 아니라 지상에서는 급유차를 이용하여 유류를 운송하고 있다.

특히 오래된 지하유류 탱크로부터 유류가 지하수계로 누출되어 지하수계를 오염시킨 예나 세차장 등에서 유래된 유류가 지하수계를 오염시킨 예는 우리주위에서 흔히 찾아볼 수 있다.

본 연구에서는 UST의 효율적인 운용과 제거방안을 위해 탱크에 대한 정보 파악 및 탱크 내용물의 샘플링, 부지 특성 조사와 같은 기본 조사방안과 탱크의 누출원인 및 감지 방법과 기밀성 시험에 대해 조사했고, 장비의 정화 및 기체분석기법과 지하저장 탱크의 제거 절차 및 슬러지와 토양, 자유부산물 제거 절차에 대해 다루었고 마지막으로 장기적인 지하수 오염대책을 살펴 보았다.

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

## 참고문헌

### 1. 미국 환경보존국 (EPA) 간행물

1-1. EPA/530/ust-88/001 Cleanup of Releases from Petroleum USTs:  
Selected Technologies

1-2. EPA/625/9-89/009 Volumetric Tank Testing : An Overview

### 2. 미국 국무성 간행물

2-1. ER 1110-1-263 Engineering and Design Chemical Data Quality  
Management for Hazardous Waste Remedial Activities

2-2. CEMP-RF Memorandum July 31,1990, Policy Guide for Underground  
Storage Tanks(USTs)on Formerly Used Defense Sites(FUDS)

### 3. 미국 석유 기구(American Petroleum Institute) 발행물

3-1. Publication 2015 Cleaning Petroleum Storage Tanks Recommended  
Practice 1604 Removal and Disposal of Used Underground Petroleum  
Tanks

### 4. 기타 간행물

4-1. Fan, Chi-Yuan, Assesing UST Corrective Action Technologies: Site  
Assessment and Selection of Unsaturated Zone Treatment Technologies,  
Sep, 1989, Camp, Dresser & McKee, Inc.

4-2. Fetter, C.W., Contaminant Hydrogeology, 1993, Macmillan Publishing  
Company.

4-3. Hudak,P.F., Speas,R.K., and Schoolmaster F.A. "Managing  
Underground Storage Tanks in Urban Environments : A Geographic  
Information Systems Approach",Water Resources Bulletin, Vol.31, No.3,  
pp.439~445, 1995.

- 4-4. Nault, Julia M., A Comprehensive UST Management Plan for Typical Municipal Facilities, prepared for presentation at WPCF 63rd Annual Conference & Exposition, Washington, D.C., October 7-11,1990, Camp, Dresser & McKee, Inc.
- 4-5. Noonan, D.C. and Curtis, J.T., Groundwater Remediation and Petroleum: A Guide for Underground Storage Tanks, 1990, Lewis Publishers.
- 4-6. Rosenberg, Dr. Myron, Assessments of UST Corrective Action Technologies: Site Assessment and Selection of Unsaturated Zone Treatment Technologies, September, 1989, Camp,Dresser & McKee, Inc.