

오일의 漏出이 土壤汚染, 植生 및 地下水에 주는 影響에 관한 研究

A Study on the Effect of Oil Leakage for Soil Contamination, Plants and Groundwater

陳 成 基* · 都 德 鉉** · 崔 圭 洪**
Jin, Sung Ki · Doh, Duk Hyon · Choi, Kyu Hong

Summary

Our experiment investigated the degree of soil contamination caused by oil leakage. Each soil sample was taken by boring 5, 8m below the test areas, located 5 to 30m from storage tanks at oil stations. According to the results from a series of laboratory tests(both soxhlet extract test and gas chromatograph test), Traces of a light oil were found in all samples except in Dj₈, rocky soil and gasoline and petroleum were not detected. We concluded that soil contamination was caused by the corrosion of storage tanks or alternatively by oil overflow caused during the flooding of underground water seeping into the tank during heavy rain fall or the spillage caused by carelessness during lubrication. Old stations without a concrete box enclosing their metal tanks run a greater risk of oil leakage. To research the effect of oil leakage on plant growth and underground water, We examined the results of research conducted overseas. According to these results, when oil leakage occurs, plant growth is repressed and agricultural crops experience low productivity levels. Also, the contamination of underground water can be serious when oil spreads to the aquifer layer. As a result of these problems, to prevent oil leakage and minimize its contaminating effects at oil stations, it is necessary to improve facilities of storage tanks and have the monitoring system of oil leakage.

I. 緒 論

최근 오일(揮發油, 輕油, 石油等)의 貯藏能

력을 늘리기 위한 一環으로 市·道 條例에 의한 注油所거리 제한을 철폐한 이후 都市와 農村을 불문하고 주유소 建設이 활발히 추진되고 있으

* 建國大學校 大學院(博士課程修了)

** 建國大學校 農科大學

나 UR 타결이후 외국주유소의 國內 진출시 市場競爭力이 問題點으로 대두될 展望이다. 주유소 건설시의 特異性은 貯油施設의 防火를 목적으로 그 側壁에 30cm 정도의 콘크리트 槽室과 40cm 정도의 上部슬래브를 타설하며 그 内部에는 4.5-6mm의 貯藏用 금속제 탱크와 콘크리트側壁 사이에 30cm 정도의 모래를 充足하여 貯油하는 것이 一般的이다. 그러나 이와 같은 貯유탱크가 시간의 경과에 따라 腐蝕으로 인해 漏出되는 사례가 많다. 장마기에는 外水壓이 높아지므로 오일보다 比重이 높은 外水가 龜裂이 발생된 콘크리트 벽체를 통해 침입하고⁵⁾⁷⁾ 부식으로 인한 微細한 탱크틈을 통하여 外水가 侵入하여 탱크의 부식을 촉진하는 동시에 오일 下部에 고임으로서 油質이 劣化될 수도 있다.

貯유탱크의 腐蝕으로 인한 오일의 漏出은 주변 土壤의 汚染으로 인한 植生의 生長과 地下水의 水質을 劣化시킬 뿐만 아니라⁸⁾¹⁹⁾ 오염된 토양은 人體에 해를 주며 植生의 生産性과 品質에 심각한 영향을 주므로 오일 누출에 의한 土壤 및 地下水環境保全對策이 시급하다. 따라서 本研究는 注油所 施設의 維持管理실태를 調査하고 이의 건설후 경과 年度別로 任意 注油所를 선정하여 주변 5~30m 범위에서 보링에 의해 試料를 採取하여 토양오염의 程度를 파악하고 아울러 國外的 文獻을 參考로 하여 누출된 오일이 植生에 주는 影響과 地下水를 汚染시키는 過程 및 필요한 對策을 제시하고자 試圖하였다.

II. 注油所의 現況 및 오일의 漏出實態

최근 우리나라에서 建設되고 있는 주유소는 대략 호남, 유공, 극동, 쌍용, 경인에너지 등 5개 精油社의 支援을 받아 建設되고 있으며 地域別로 設립된 管理會社가 清掃, 補修 등을 맡고 있다. 일반적으로 注油機와 地下탱크의 시스템

은 Fig. 1과 같다.

일반적으로 漏油되는 메카니즘은 Fig. 2와 같이 오일탱크 鎔接部에 blow hole이 생기면 外部에서 外水가 유입되어 이 부분의 腐蝕이 촉진되며 그 결과 오일이 漏出되는데 이중 약 10% 정도는 누출부분이 肉眼으로의 確認이 용이하지 않다고 한다. 따라서 非破壞試驗機의 개발에 의한 누출 여부의 확인이 시급한 실정에 있다.

탱크의 建設이 오래된 주유소의 경우는 外部에 모래나 콘크리트槽室을 갖추고 있지않은 경우가 全體 주유소의 약 30~40% 정도로서 이들 탱크의 腐蝕速度는 빨라져서 오일漏出은 더욱 심각하다. 이밖에 Fig. 3과 같이 콘크리트 槽室이 있다 하여도 地盤의 不等沈下에 의한 龜裂로 인하여 콘크리트 박스내 外水가 流入되어 금속제 기름탱크 外部에 물이 고여있는 比率은 70% 내외로, 이에 의하여 腐蝕이 促進되며 탱크내부에서는 結露現象에 의해 空氣中の 水分이 주유시 탱크내 벽체로부터 흘러내리기도 하며 이

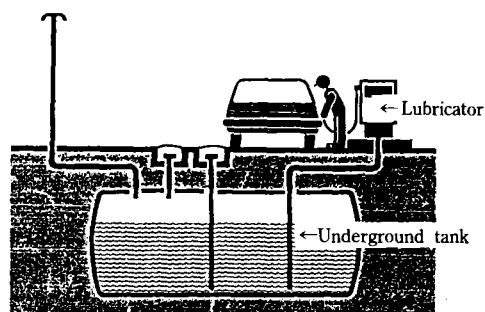


Fig. 1. Relationship between lubricator and underground tank.

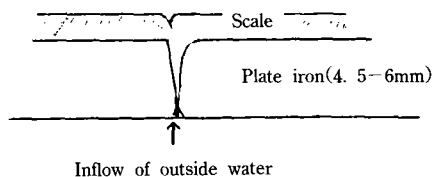


Fig. 2. Mechanism for the corrosion of blow hole

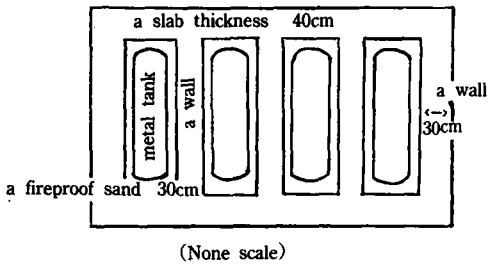


Fig. 3. The plane figure of concrete box at newly building oil stations.

와같은 現象은 특히 降雨시 注油할 경우 많이 생긴다. 또한 방카 C유의 경우는 水分을 0.35 정도를 含有하고 있으므로 금속제 탱크의 부식이 더욱 촉진된다. 注油所뿐만 아니라 방카 C유 저장탱크, 洗車場, 정비소, 가정에서 사용하는 石油등으로부터 潤滑油를 비롯한 각종 오일에 의한 土壤 및 地下水 汚染도 심각한 實態에 있다. 漏油의 여부는 탱크의 일정지점에 漏油檢査管을 설치하여 자로 測定함으로써 오일의 漏出, 또는 外水의 流入등을 점검하는 方法이 취해지고 있으나 미국환경보호청(EPA)은 “地下貯藏탱크”란 “탱크에 附着된 파이프를 포함하여 땅 밑에 최소한 體積의 10% 이상되는 모든 탱크”로 定義하고 Fig. 4와 같은 새로운 탱크를 基準으로 立法化하려는 試圖중에 있다.¹²⁾

EPA基準을 살펴보면 “새롭게 설치된 모든 탱크는 腐植에 대해 保護되어야 하며 탱크내 物質과 貯藏容器와는 電解에 의하여 잘 溶化되

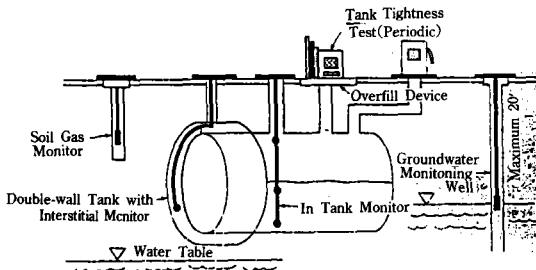


Fig. 4. Underground detection alternatives (The U.S. EPA)

어야 하고 적어도 30일마다 탐지할 수 있는 漏出探知 시스템을 갖추어야 한다”고 하였다.¹²⁾ 한편 國內에도 최근의 新設주유소는 전자식 탱크 流量測定시스템(Tank Level Monitoring System)을 설치하여 合理的으로 漏出여부를 測定하는 施設을 갖추고자 시도중에 있다.

III. 試驗方法

1. 試料採取

注油所 주변의 오일에 의한 土壤汚染 정도를 測定하기 위하여 建設후 40, 30, 20, 10年 경과된 주유소를 選定하여 주변 5~30m 거리에서 Boring에 의하여 5m, 8m 深度에서 試料를 採取하였으며 採取試料의 土性과 粒度分布曲線은 Table-2 및 Fig. 4와 같다. 다만 YI 주유소는 암반으로 인해 보링작업이 어려워 부득이 저유 탱크에서 약 30m 떨어진 거리에서 試料를 採取하였다.

2. 試料에서 油類成分抽出 및 gas chromatograph 試驗

가. 油類成分抽出

보링에 의한 채취한 試料를 대상으로 오일에 의하여 시료가 오염되었는지 여부를 판단하기 위하여 Fig. 5와 같이 Petroleum ether 溶媒를 사용한 Soxhlet 抽出試驗을 통하여 오일을 抽出하였다. 즉 試料중 각각 80~100g씩을 원통 여과기에 넣고 그 上部를 습으로 막은후 Petroleum ether 100ml를 용매로 사용하여 沸點(boiling point) 溫度를 80℃로 5시간동안 加熱하였으며, 또한 공급된 冷却水의 溫度는 15℃~20℃로 하였다. 가열시 冷却, 液化현상으로 試料중 油成分만이 용기에 남게되고 Petroleum ether는 35°~65℃에서 蒸發되어 없어진다. 가열후 남겨진 油成分과 N-Pentane 2mg을 混合하여 液體상태로 만들어 완전 용해 시킨후 FID 探知機를 장치한 HP5880 Gas Chromatograph의

Table-1. Location of soil sampling and properties

Sampling 위치	주유소 건설후의 경과년수 (년)	탱크로부터 시료채취 거리(m)	채취 심도 (m)	비중	토 성	표시기호 및 통일분류
Y1	40	30	5	2.69	슬러지상의 점토	YI ₅ , ML
DJ	30	30	5	2.61	조개껍질이 섞인실트질토	DJ ₅ , GM
			8	2.69	풍화암편이 섞인 시료	DJ ₈ , GW-GM
SL	20	10	5	2.61	사질토	SL ₅ , SM
			8	2.69	화강토(잔류토)	SL ₈ , SM
SY	10	10	3.5	2.68	전석및자갈 섞인 사질 성토재료	SY _{3.5} , GM

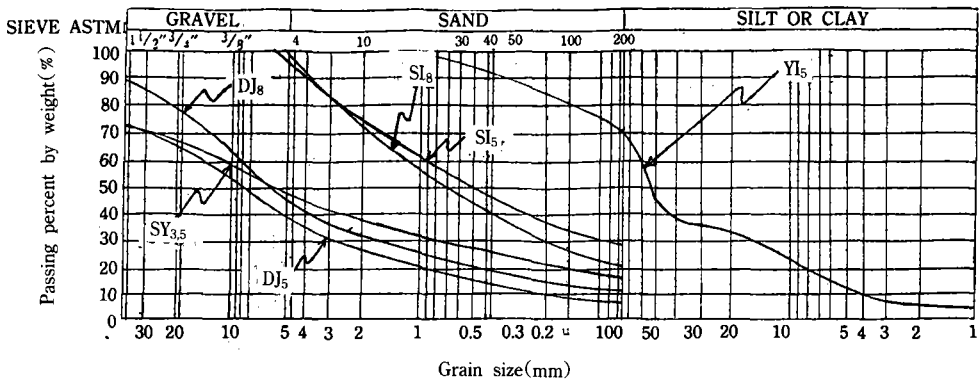


Fig. 5. Grain size distribution curves

噴射點(Injection Point)에 注入시켰다.

나. 油類成分 分析

噴射후 오븐온도는 最初에 200℃를 5분간 지속하다가 3℃/분 의 온도증가율로 대략 16분 정도 加熱하여 油成分의 추출을 加速化하였고 最終 오븐온도는 250℃가 되게하여 25분 持續

하였다. 한편 探知機(Detector) 및 噴射點(Injection point) 溫度는 각각 320℃, 300℃를 維持하였다. 오븐내 Column은 25m(길이)×0.2mm(직경)×0.33μm 規格의 Ultra 1을 使用하여 그 内部에 運送가스 헬륨(He)이 항상 흐르게 하여 親和性이 있는 것이 느리게 抽出되도록 하였다.

IV. 油類漏出 實驗結果

a) Standard Diesel

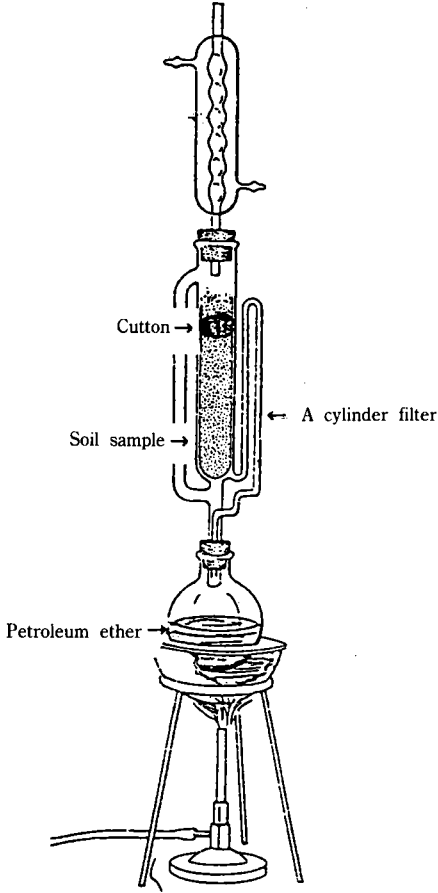
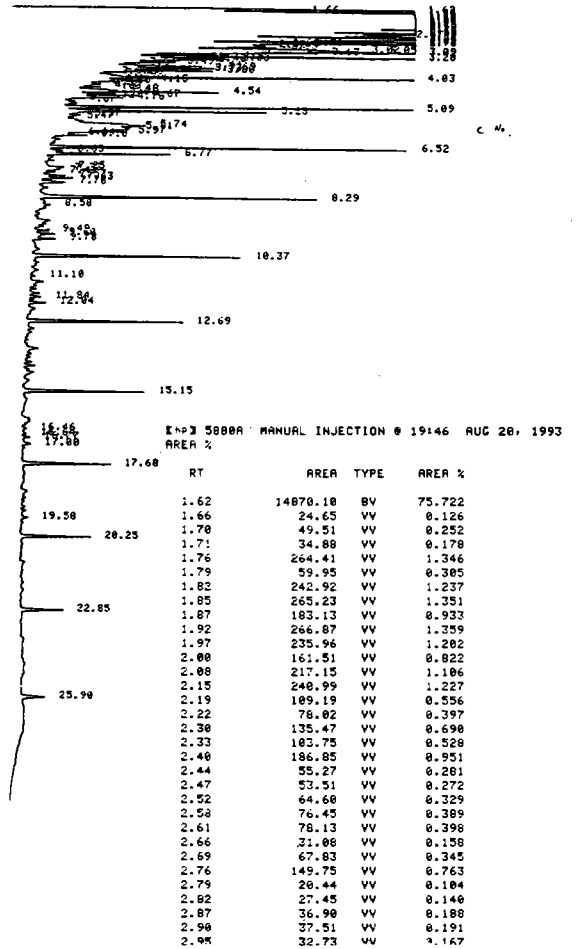


Fig. 6. Soxhlet extract tester

Table-2. Gas Chromatograph conditions

Oven Temp. Initial Value	200°C
Oven Temp. Initial Time	5min
Oven Temp. PRGM Rate	3°C/min
Oven Temp. Final Value	250°C
Peak Width	0.01
Threshold	-3
Attn.	2↑1
Detector 1 Temp.	320°C
Injection Point 1 Temp.	300°C
Column	Ultra 1(Crosslinked Methyl) Silicone Gum) 25m×0.2mm×0.33µm Film Thickness
Carrier Gas(He) Pressure	29psi(25ml/min)



Gas Chromatograph를 통해 기록된 Chromatogram은 Fig. 7과 같으나 그림에서 (a)는 보통 경유의 Chromatogram을 나타내며 각각의 保留時間과 피크의 면적 및 비를 통하여 볼 때 DJ₈에서는 輕油成分이 거의 檢出되지 않았고 나머지 모든 시료는 경유 成分 및 重質分을 포함한 것으로 나타났다. 또한 각각의 Chromatogram에서 8.77, 23.7의 保留時間은 油分 이외의 다른 이물질이 섞여있는 것으로 생각되며 전체적으로 揮發油는 증발에 의하여 거의 檢出되지 않았고 燈油는 半정도가 증발되고 나머지는 輕油와 합

b) DJ₅
경유분의 중질분포합

c) SL₈
경유분의 중질분포합

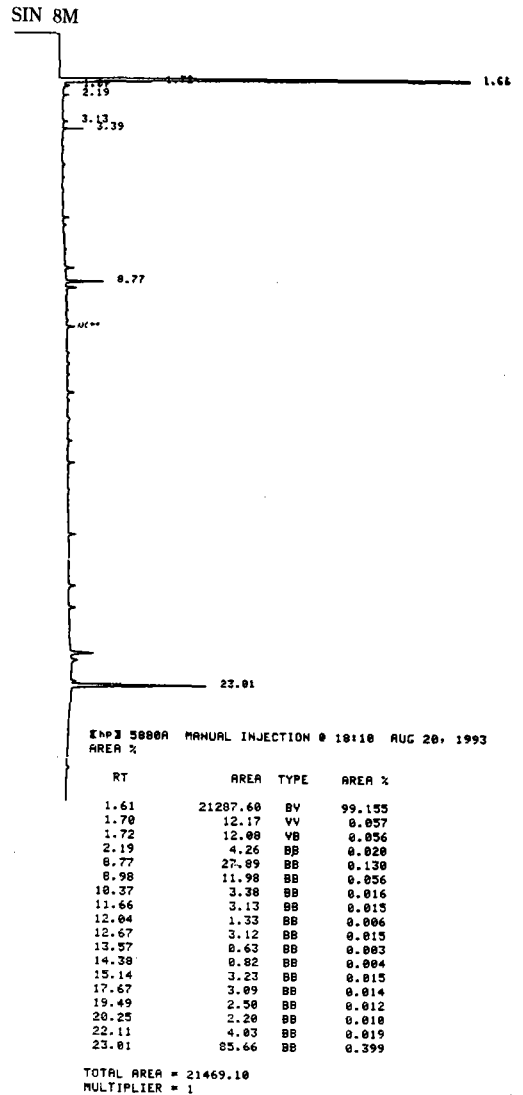
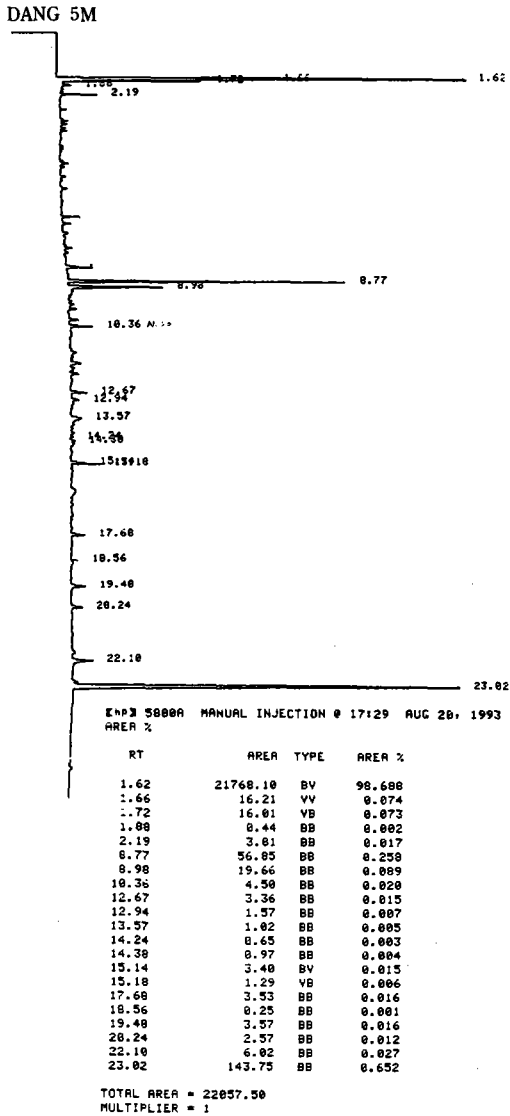


Fig. 7. Gas Chromatogram

게 검출되었다고 생각한다. 다만 휘발유와 石油은 휘발성이 강하여 추출이 불가능한 아쉬움이 있었다. 주유소 건설후 經過年數가 길어짐에 따라 주변토양의 汚染度는 심한 것으로 나타났으며 採取深度가 얕을수록 토양오염이 심한 것으로 나타났다. 그 이유는 후자의 경우 오일의

比重이 지하수보다 가벼워 深層으로 浸透되기 어렵다는 점과 오염원인이 탱크의 腐植으로 인하여 누출되었을 확률이 높거나 주유시 地表에서 부분적으로 흘러내렸기 때문에 오염도가 큰 것으로 추정된다. 한편 주유소 주변에는 오일의 누출 또는 호우시 外水壓이 커서 탱크내로 地

下水의 流入으로 넘쳐 흐르거나 주유시 취급의 부주의로 주변토양 및 지하수의 오염이 우려되며 주유소 뿐만 아니라 자동차 정비소, 세차장 등에서의 潤滑油를 비롯한 각종오일의 環境汚染은 심각한 경지에 도달하고 있다고 판단된다.⁷⁾

송유관의 파열이나 세차장 정비소 등에서 오일누출이 농작물의 생산성에 주는 영향은 식생의 종류에 따라 다르고, 또한 그 영향을 판단하는데는 장기간이 소요되므로 실제 실험을 통하여 확인한다는 것은 어려운 일 중에 하나이다. 따라서 문헌고찰에 의해 오일누출이 植生 및 地下水에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

V. 油類漏出이 植生에 주는 影響

1. 박테리아와 오일

오일 減衰率은 酸素 존재 즉 오염지대내 通氣度의 함수이며 또한 토양속에 산소 濃度가 다르면 생물학적 제거율이 각각 다르다. 오일 減衰는 화학적 酸化와 박테리아 活動에 기인되고 오일감쇠의 최종 단계는 이산화탄소, 수분 및 박테리아 細胞物質의 형성이다. 生物學的 除去는 養分(인, 칼륨, 질소)의 존재 및 水分, 비교적 일정한 氣溫 등에 따라 박테리아수의 증가를 가져오므로 加速化된다. 이러한 오일제거 박테리아는 토양 및 물속에 자연스럽게 존재하는 반면 그 개체수는 비교적 적다. 박테리아는 다른 微小養分들의 균형있는 흡수를 필요로 하고 이것을 위해 비료, 질소, 칼륨, 인 등을 추가로 투여할 필요가 있으며 박테리아를 활용하여 산소에 의한 有機物質의 제거는 現場에서 저렴한 費用으로 탄화수소제거를 加速化 시킬 수 있어 帶水層을 有用하게 할 수 있다.²⁰⁾ 한편 식생에 대한 토양내 오일피해는 과장되어서는 안되고 지나친 처방 및 제거행위는 피해야 한다.

2. 植生과 오일

Skinner는 각각 다른 오일농도에 대한 식물의 민감성에 대한 토양내 오일(%)이 <0.5일 때 약간의 수확량의 증가, 0.5일 때 약간의 수확량의 감소, 0.5~1.0일 때 40%까지 수확량 감소, 1.0~2.0일 때 작물의 야萎, 100%까지 수확량 감소, 4.0일 때 100% 죽음으로 보고하였다.¹⁴⁾ 또한 Gudin은 작물 종류가 다를 때 오일의 민감성도 각기 다르다고 보고하였다. 일반적으로 農地에 오일이 누출될 경우 일정기간 식물생장을 악화시키는 것으로 알려져 있으며 오일로 오염된 토양내에서 식물생장을 감소시키는 이유는 식물에 대한 오일의 직접적인 有害성과 생존 가능한 씨앗의 발아감소, 불리한 토양조건에 대한 발아불량등을 들 수 있다. 또한 오일을 분해하는 미생물의 산소에 대한 필요성 증가, 토양중 공기간극의 감소로 인한 불충분한 통기성, 식물의 유용한 양분의 감소, 망간(Mn)과 같은 원소들의 有毒性 때문에 토양이 식물생장에 불리한 조건을 갖게된다. 오염된 토양내에 maize를 심어 발아율, 초장, 잎면적, 상대건조물중량, 식물양분농도 및 화학적 특성을 조사한 결과 유기양분 공급이 오일의 생물학적 제거율 및 토양회복율을 증가시키고 C/N 比率이 작기 때문에 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 개선시킨다고 보고되었다. 반면 톱밥은 토양내 C/N 比率을 높게 하므로 반대 효과를 나타내었다.²⁾ 전형적인 草地(grass)-草本(herb)群 및 여러 植物 씨앗에 의해 최소한의 오일누출 實驗결과 특히 *Aspilia africana*, *Eupatorium odoratum* 및 *Emilia* 같은 草本性 種子의 피해가 컸으며, 종자중 적어도 50%가 누출이후 枯死하였고 永久生 종자들은 일반적으로 적은 영향을 받았다고 하며 收穫量은 약 74%로 減少하였다. 오염된 지역에서 6달동안의 總生産量은 非汚染地域의 495g/m²에 비해 128g/m²이었다고 한다.¹⁰⁾

Louisiana Nairn 부근에 파이프라인 파손으로 Louisiana 원유 약 300배럴이 누출된 이후 식생상태를 조사한 결과 파이프라인 파손장소 주변 20ha까지 누출영향이 미치었고 3달동안 이 늪지에서 식생이 약 64%로 감소되었다고 하며 비교적 적은 오일량에 식물고사율이 높은 것은 식물의 광합성 잎표면중 대략 30~70%가 오일과 접촉하고 늪 하층으로 기름이 침투하는데 원인이 있다고 하였다.¹¹⁾

Nigeri산 경질원유오염지에서 灌溉水を 개발하여 사용하였던 바에 의하면 식물이 우물수보다 오히려 汚染水에 의해 관개될때 비록 중자 발육에 크게 영향을 주지 않았지만 地表面 또는 아래에서의 成長은 크게 억제 되었다고 한다.³⁾ Canada, Saskatchewan 북부에 原油 수송관이 파손되어 穀類에 대한 원유의 영향을 조사한 결과 대략 오일이 850m 거리까지 이동하여 다음해 여름에 심각한 收穫量 감소를 가져왔고, 그후 成長期의 수확량 감소에 중요한 原因이 되었다고 한다. 또한 0~30cm와 0~90cm 깊이내에서 0.2% 미만의 소량의 오일에도 수확량은 감소하였고 토양에 有用한 질소(N)을 감소시켰으며 오염된 층으로부터 밀(Wheat)까지의 수분흡수력이 눈에 띄게 감소되었다고 한다.⁸⁾

航空油, 난방유, 디젤유를 각각 2.3ml/cm²씩 3개의 외부 라이시미터에 오염시켜 실험한 결과 연료의 有毒性 및 持續性은 航空油 < 난방용기름 < 디젤유 순서로 증가되었고 생물학적인 개선 처리를 할 경우 연료의 지속성 및 유독성이 감소되었으며 무처리된 토양에 비해 微生物活動이 증가하였다고 하며 4~6주 이내에 식생표면이 성장할 정도로 오염된 토양을 회복시킬 수 있었고 토양의 완전회복에 약 20週 정도 걸렸다고 한다.¹⁸⁾

3. 土壤汚染의 對策

이상과 같이 오일의 토양오염에 따라 生物學

的인 改善處理가 生態的이나 經濟的으로 더 효과가 크며 오일오염의 대한 생물학적 除去方法과 각종 合成物은 특히 原油나 鑛物性油의 現場 오일 사고로 인한 環境汚染을 제거하는데 적합하다. 土壤汚染의 問題는 현재 오염된 토양을 除去함으로써, 淨化시키거나 재 耕作함으로써 해결할 수 있다. 다음 方法은 유럽 특히로서 原油로 오염된 토양에 적합한 특수비료를 사용함으로써 生物學的으로 제거될 수 있다고 보고되었다. 오일오염의 생물학적 제거방법은 다음 같은 성분을 혼합하여 가능하며 成分 및 그 構成比率은⁹⁾

- a) 有機質肥料(≥10%)
- b) 혼합물의 구조 및 물리적 특성을 개량하는 自然物質(≥10%)
- c) 複合肥料(≤5%)
- d) trace. 要素를 구성하는 肥料(≤5%)
- e) 암모니움 또는 아민염(≤2%)
- f) 하나 혹은 둘 이상의 鑛物 混合物(≤10%)
- g) bio 成分(≤5%)
- h) 오일 物質을 함유한 폐기물찌꺼기 및 오일 産物 처리과정 및 探查에서 발생한 쓰레기(100%중 나머지)와 같다.

VI. 油類漏出이 地下水汚染에 주는 影響

1. 地下水의 汚染經路

오일漏出이 주변의 우물이나 地下水를 汚染시킨다는 것은 一般的으로 알려져 있는 사실이고 地表水의 오염은 可視的이나 地下水는 오염이 쉽게 탐지되지 않으므로 淨化하기가 더욱 어려우며 특히 食水用 우물의 供給源인 帶水層에서의 누출결과를 예측할 필요가 있다. 無限帶水層에서 지하수는 위에 놓인 토양의 공극을 통하여 대기와 직접 접촉하고 불투수층인 制限帶水層에서의 오일오염은 고려할 필요가 없다. 한편 帶水層은 주로 龜裂을 통해 循環이 이루어

어지는 岩石層과 孔隙를 통해 이루어지는 암석층으로 구분되며 龜裂循環의 경우 循環比는 孔隙循環보다도 훨씬 빠르므로 오염이 쉽게 擴散될 수 있고 신속하게 排水 될 수 있다. 龜裂媒體내의 흐름방향은 상대적 異質性으로 인하여 不規則하므로 오염의 進行을 판단하는 것은 용이하지 않다.²¹⁾ 帶水層은 貯水池와 물 供給體로서의 중요한 기능을 가지고 있고 주요 변수로는 多孔性과 透水性은 공극의 平均置徑, 토립자의 接合度, 토립자의 位置 및 形相의 함수이다. 透水係數 $k(m/sec)$ 는 물의 흐름과 관련되어 있으나 오일에 있어서 투수계수 K 의單位는 면적이고 일반적으로 Darcy($1 \text{ Darcy} = 10^{-8} \text{ cm}^2$)로 나타내며 K 와 k 의 관계는 다음과 같다.⁵⁾

$$K = k \rho \frac{g}{\mu}$$

μ = 流體의 絕對粘性

ρ = 流體의 密度

g = 重力加速度

즉 20°C 물에서 $K(m/sec) = 10^{-5}k$ (Darcy의 법칙)이다.

오일이 누출되는 순간 탄화 수소는(Hydrocarbon)는 透水性 土壤일 경우 土壤表面에 확산될 뿐만 아니라 地盤에 침투하려는 경향이 있고 오일의 浸透度는 오일의 性質 및 量과 같이 地盤性質의 函數이다. 低粘性油는 粘性油보다 토양속에 빠르게 浸透되므로 孔隙의 크기 분포에 차이가 없거나 成層化가 되지않은 同質地盤에서의 浸透全面은 큰 서양배의 형태를 이룬다. 地盤속에 오일체의 浸透는 누출된 體積의 함수이고 垂直成分은 重力에 의한 반면 水平成分은 毛細管力에 基因하며 연속해서 넓은 면적의 침투가 계속되면 移動이 시작된다. 透水性 地層에서 이러한 침투는 垂直的이며 非透水性地層에서는 모세관력이 더 큰 역할을 하므로 침투는 水平的이다. 또한 下層土의 異質性이 오일 擴散體의 모양에 상당한 影響을 끼친다.

그 垂直進行은 a) 剩餘飽和의 限界에 도달 b) 오일 經路에 不透水性層의 존재 c) 오일이 水面에 도달할 경우 중단되며 여기서 剩餘飽和란 더 이상 移動할 수 없는 限界를 뜻하고 保有力 R 로 표시된다. 非飽和領域에서 오일, 공기, 물의 三相이 존재하며 이것의 移動性은 각각의 孔隙比에 의존한다. 따라서 最大浸透 깊이는 다음식과 같다.⁵⁾

$$D = \frac{1000V}{AxRxK}$$

D = 최대浸透깊이(m)

V = 침투오일의 體積(m^3)

A = 토양표면에 浸透面積(m^2)

R = 토양의 保有力(l/m^3)

K = 각종 오일 粘性에 대한 補正係數

$K = 0.5$ 低粘性 石油産物(Gasoline)

1.0 등유(Kerosine), 개스오일(Gas oil)과 같은 점성의 경우

2.0 경질 연료류와 같은 비스코스유(Viscous oil)인 경우

모든 連續적인 不透水層은 오일의 垂直運動을 억제할 수 있고 오일이 그 層에 접했을 때는 剩餘飽和限界에 도달하여 放出點에 도달할 때까지 水平移動을 계속한다. 만일 浸透 깊이 D 가 地表面과 水面 사이의 거리보다 더 크게 算出되고 不透水性 地層이 오일의 進行을 멈출 수 없다면 地下水面에 도달하게 된다. 自由運動 오일이 毛管領域에 도달 했을 때 오일 체적이 충분히 크면 계속 확산되려 하므로 두께가 증가하는 층을 이루고 이에 따라 靜水壓이 지하수 表面을 누르게 한다. 重力은 原水面을 회복하도록 작용하고 오일 팬케이크(Pancake)가 지하수와 같은 방향으로 수평이동하게 된다. 移動期間中 약간의 오일은 吸入力과 毛細管力에 의해 암석의 입자에 붙게되고 오일이 고갈될 때 이동은 끝난다.¹⁵⁾

또한 水面上에 最大擴散速度는 다음 式으로 구할 수 있다.⁵⁾

$$S = 1000V - \frac{AxRxdxK}{F}$$

S=水面上 오일의 最大擴散面積(m²)

V=浸透오일의 體積(m³)

A=土壤表面에 浸透面積(m²)

R=水面위의 保有力(l/m³)

d=地下水面까지의 깊이(m)

F=毛管領域위에 汚染된 오일(l/m³)

K=각종 오일 粘性에 대한 補正係數

K=0.5 低粘性 石油產物(Gasoline)

1.0 燈油(Kerosine), 개스오일(Gas oil)과 같은 粘性의 경우

2.0 輕質 燃料油와 같은 비스코스유(Viscous oil)인 경우

오일누출로 인한 지하수오염 사례를 들면 Washington Seattle 부근 가스 作業地에서 50년 동안의 오일 및 석탄 가스화로 인하여 알 수 없는 다량의 固體 및 液體가 生成되었다고 하며 지하수오염 정도는 토양내 수산화탄소의 風化 및 非水性面 液體의 존재여부에 의존한다고 하였고¹³⁾ Cansas 南東部 Button 지역내에 지하수오염의 主要原因은 1950년대 이전에 만들어진 연못에 누출된 소금물이며 대수층의 느슨한 모래나 자갈로 유입되어 水平, 垂直方向으로 移動하였고, 그 당시 平均 96,000mg/L의 鹽化物 濃度を 함유했으나 현재 대수층내 최대 2,500mg/L의 염화물 농도가 測定되었다고 하며 오염 全面이 南東쪽으로 약 1.5km정도 이동할 것으로 추정하였고¹⁷⁾ 地下 石油貯藏탱크로 부터의 漏出은 토양 및 지하수를 오염시킬 수 있고 발암성과 폭발성의 위험을 야기시킬 수 있다고 하며 실험용 砂質 기둥을 통한 石油產物의 移動을 研究한 結果에 의하면 地下水바닥까지 오일이 浸透될 경우는 오일누출이 대량이거나 砂質媒介體가 심한 多孔質일때 발생한다고 알려져 있다^{1),4)}

2. 地下水의 오일 汚染對策

帶水層이 인접해 있을때 汚染對策 수립시 항

상 심사숙고해야 하며 그 이유로는 오염된 대수층 淨化의 기술적인 어려움, 淨化對策의 높은 비용을 들 수 있다. 방지대책은 크게 세가지 형태로 나눌 수 있다. 즉 a) 土壤表面 汚染防止 b) 土層中の 汚染防止 c) 地下水位 변동에 따른 警報裝置등이다. 表面防止對策은 現場에서 발생하는 漏出 및 放出을 防止하기 위한 목적이며 植生을 유지하거나 作業자의 교육, 탱크의 민감한 水位警報등과 이밖에도 콘크리트포장, 表面排水시스템과 맨홀을 가진 파이프 排水시스템을 들 수 있다. 土層속 防止對策은 크게 트랜치(Trench), 벽(Wall), 流體力學的保護의 3가지 형태로 區分된다. 트랜치는 水面이 3m이하일 경우 오일의 水平運動을 防止하기 위한 遮斷 벽으로 사용하며 Piezometer 水位 밑 약 1m까지 굴착하여 오일을 차단한다. 벽(Wall)의 設置目的은 오일 및 汚染水가 移動할 수 없는 水位 밑 까지 벽을 設置하는 것이며 부분적으로 商業用水 공급우물 같은 민감한 지역의 오염감소에 사용된다. 또한 動水力學의 方法은 自由運動오일이나 汚染水를 特定點이나 統制點에 끌어낼 수 있도록 地下水 흐름 형태에 變化를 주는 것이다. 이것은 地下水面내에 인공적인 傾斜를 維持하는데 좌우된다.⁵⁾¹⁸⁾

이상의 油類의 漏出이 植生과 地下水汚染에 주는 영향은 研究期間과 研究規模 관계상 他研究者의 研究결과를 인용 또는 분석한 것이나 油類의 漏出이 環境 및 生態界에 주는 被害가 심각하며 除去作業시 장기간의 세월이 필요하고 원 상태로의 回復이 어려우므로 전반적으로 落後된 國內의 주유소 저장탱크의 시설개선 및 合理的인 누출통제시스템의 導入이 시급하며 또한 세차장 및 정비소, 송유관, 수송차량 등의 다양한 漏出源에 대한 철저한 管理가 필요한 것으로 판단된다.

VI. 結 論

注油所 탱크의 오일漏出에 따른 土壤汚染정

도의 이들이 植生 및 地下水에 주는 影響을 實驗 또는 文獻考察한 結果를 요약하면 다음과 같다.

1. 주유소 油일탱크주변 10~30m 부근에서 5~8m 深度의 試料를 採取하여 Soxhlet 抽出 試驗 및 Gas Chromatograph 實驗을 실시한 바에 의하면 深度 8m의 岩盤試料를 제외하고 모두 輕油가 檢出되었다.

2. 이들 輕油는 油일탱크의 腐植에 의한 漏出이나 豪雨時 外水壓에 대한 地下水의 流入에 따른 넘쳐흐름 또는 주유시 不注意에 의하여 흘러내린 것으로 推定된다.

3. 揮發油, 石油등이 檢出되지 않은것은 이들의 比重이 물보다 작으므로 降雨시 地表로 流出되었거나 揮發性이 강하고 또한 地中에서의 分解가 重油에 비하여 容易하기 故에 判斷된다.

4. 本 研究는 注油所의 建設 年度別로 試料 採取 位置를 임의로 정한 實驗結果이며 4.5~6 mm 두께의 금속제 탱크 外部에 防火用으로 30 cm의 모래를 채우지 않거나 그 밖에 30cm 내외의 콘크리트 벽체를 설치하지 않은 오래된 注油所의 경우는 보다 더 심각한 油일의 漏出 問題가 발생되고 있을 것으로 推定된다.

5. 油일이 土壤에 오염될 경우 植生の 生育 障碍와 農作物의 減水에 큰 影響을 준다.

6. 漏出된 油일은 地下帶水層으로 擴散하여 地下水를 汚染시키며 이에 대하여 적절한 工法에 의한 汚染 防止對策이 要望된다.

參 考 文 獻

1. Abdul, A. S. 1988. Migration of Petroleum products through sandy hydrogeologic systems, The 1988 General Motors Research Laboratories, 73-81.
2. Amadi, A., Dickson, A. A. and Maate, G. O. 1991. Remediation of Polluted soils, Water, Air, and Soil Pollution 66 : 59-76.
3. Blankenship, D. W., Larson, R. A. 1978. Plant growth by the water extract of a crude oil, Water Air Soil Pollution, Vol. 10, No. 4, 471-476.
4. Cary, J.W., Simmons, C. S. and Mc Bride, J. F. 1989. Permeability of air and immiscible organic liquids in porous media, Water Resources Bulletin Vol 25, No. 6, 1205-1216.
5. Depastrovich, T. L. 1979. Protection of groundwater from oil pollution, Concawe Report 3/79, 1-61.
6. Greulich, R. and Kergaard, H. 1984. The movement of a continuously growing body of oil on the ground water table, Nordic Hydrology 15, 265-272.
7. Ikporukpo. C. O. 1986. Sabotage and the problem of oil spill, Management in Nigeria, 306-310.
8. Jong, E. DE. 1980. The effect of a crude oil spill on cereals, Environmental Pollution (Series A) 22, 187-196.
9. Julius, T. 1991. Method and composition for biological degradation of oil pollution, European Patent Application, Publication No, 043493 A2, 1-7.
10. Kinako, P. D. S. 1981. Short-term effect of oil pollution on species numbers and productivity of a simple terrestrial ecosystem. Environmental Pollution(Series A) 26, 87-91.
11. Mendelssohn, I. A., Hester, M. W., Sasser, C. 1990. The effect of a Louisiana crude oil discharge from a pipeline break on the Vegetation of a southeast Louisiana Brackish March, Oil and Chemical Pollution 7, 1-15.
12. Mrazek, T. 1987. EPA proposes rules one

- underground storage tanks, Plumbing Engineer, 45-50.
13. Sidhu, A. and Mitsch, W. J. 1987. Water Pollution from oil and gas recovery in Eastern Kentucky watersheds, Water Resources Bulletin, Vol. 23, No. 5 943-953.
 14. Skinner, R. J. 1986. Contamination of soil by oil and other chemicals, Soil Sci. Dpt. Agricultural Development and Advisory Services, Derbyshire, England.
 15. Springer, D. S., Keller, E. A., Everett, L. G. and Eccles, L. A. 1991. Laboratory demonstration of hydrocarbon migration in the vadose zone, The 1991 General Motors Research Laboratories, 133-137.
 16. Villaume, J. F. and Herre, B. H. Voykin, D. P. 1977. Clean up of oil spill into ground water at Williamsport, Pennsylvania, Oil Spill Conference, 501-505.
 17. Whittemore, D. O., Sophocleous, M., Bryson, W. R. Schoof, J. and Bell, T. C. 1985. an interagency study of oilfield brine pollution in Kansas, Ground Water Contamination and Reclamation, American Water Resources Association, 109-116.
 18. Wise, W. R., Chang, C. C., Klopp, R. A. and Bedient, P. B. 1991. Impact of recharge through residual oil upon sampling of underlying ground water, The 1991 General Motors Research Laboratories, 93-100.
 19. Xiaoping, W., Bartha, R. 1990. Effect of bioremediation of residues, activity and toxicity in soil contaminated by fuel spills, Soil Biol. Biochem Vol 22, No 4, 501-505.
 20. Yaniga, P. M., Smith, W. 1985. Aquifer restoration: in situ treatment and removal of organic and inorganic compounds, Ground Water Contamination and Reclamation, American Water Resources Association, 149-174.
 21. Yong, R. N., Mohamed, A. M. O., Warkentin, B. P. 1992. Principles of contaminant transport in soils, Developments in Geotechnical Engineering 73, 272-290.