

벼짚재를 이용한 토양 유류오염 방지

폐기물분석과

정경원 · 박순우 · 전대영 · 정인철 · 최유정 · 박정옥 · 임효상 · 지기원

Prevention of Oil Contaminated Soils by Rice Straw Ash

Industrial Waste Analysis Division

Kyung-Won Jeong, Soon-Woo Park, Dae-Young Jeon, In-Chul Jeong,
You-Jeong Choi, Jeong-Ok Park, Hyo-Sang Lim and Kee-Won Ji

Abstract

This study was conducted to reuse the rice straw ash as the cutoff liner that prevented oil leakage from Underground Storage Tank.

The results are summarized as follows :

1. The physical characteristics of rice straw before and after burning were as follows : In case of burning rice straw 1g, the rice straw ash was generated 0.14g and pH was changed neutrality into alkali(pH 10.9) and specific surface area was increased to five times and particle distribution was corresponded to fine silt(under 0.05mm)
2. As the result of permeability experment for the mixing soil, the field mixing ratio of soil(standard sand : 0.25~0.15mm) and rice straw ash was 1 : 3(volumn ratio), at this time, compact level(γ_c) and permeability coefficient (k_o) of oil were 0.77g/cm³, 5.52×10^{-4} cm/sec in case of Gasoline, 0.92g/cm³, 1.83×10^{-4} cm/sec in case of Diesel, 0.88g/cm³, 9.26×10^{-5} cm/sec in case of Kerosene.
3. In case of only rice straw ash installation of the lower part to Underground Storage Tank, it was the best cutoff liner but the view point of field situation and economical

efficiency, if the installation depth of mixing soil(soil : rice straw ash=1 : 3v/v ratio) would be 80cm, at this time, permeability coefficient(k_o) of oil were 5.52×10^{-4} cm/sec and the first time gotten to baseline of the mixing soil were 1.68days and if the installation of the total 80cm layer as separate layers with rice straw ash and mixing soil, the first time gotten to the baseline of mixing soil were 5.06days and then the layer as a cutoff liner for Underground Storage Tank would be proved to apply on a field in the future.

Key words : rice straw ash, cutoff liner, permeability coefficient

서 론

현재 인류가 전세계적으로 가장 광범위하게 사용하는 연료인 석유는 저장 위험과 동시에 누유, 충돌사고등으로 주변토양, 수질, 해양오염, 대기오염사고를 발생시키면서 새로운 인간환경의 고민거리를 제공하고 있다.

세계적으로 보면 전체 유류누출사고에서 선박충돌이나 침몰사고가 26%를 차지하고, 저장·지하 유류저장시설의 부식등 관리부실로 생기는 대소(大小)의 유류누출이 총 저유시설의 약 23%를 차지하고 있다고 보고되고 있다¹⁾. 미국의 경우 지하 유류저장 시설에서 발생하는 유류누출현상은 주로 탱크벽의 부식 또는 균열에 의해 발생되고 있으며, 현재 사용중인 지하유류저장탱크의 약 8~20%가 누유되고 있는 것으로 보고되고 있다²⁾. 국내의 경우는 현장측정자료는 없으나 추정 누유율은 약 10~20%정도가 되는 것으로 예상되어 유류누출에 의해 복

원이 필요한 것으로 추정되는 오염토양량은 석유류시설의 경우 40,000~528,000m³정도 되는 것으로 알려지고 있고 별도 유독물 지하 저장시설에 의한 오염토양량도 약 2,400m³ 정도 추산되고 있다³⁾. 토양이 유류로 오염되었을 경우 현장(in-situ)에서 복원처리에 적용되고 있는 대표적 공법으로는 토양증기추출법(Soil Vapor Extraction, 이하 약어 SVE), 생물학적 정화법(Bioremediation)과 토양세척제(Flushing agent)등 3가지 공법이 광범위하게 이용되고 있다^{4), 5), 6)}. 유류 오염토양 복원에서 가장 폭넓게 사용되는 SVE공법의 경우 후차처리비용으로 645,000원~650,000원/m³가 소요되는 것으로 알려지고 있어⁷⁾ 한번 유류에 의한 토양오염이 발생할 경우 그 복원에는 영세 유류저장·판매업자의 경우 감히 엄두도 낼 수 없는 고비용이 소요되므로써 오염은 더욱 확산되고 유류 오염과 함께 지하로 오염이 더욱 잠적하는 악순환을 야기시키므로써 장래 지하수 오염문제로 인한 상수원 수질보호에 특히 적

신호가 되고 있다.

생물학적 유류오염 정화방법도 근래 이용되고 있으나 장시간이 소요되므로서 필연적인 비용증가가 예상되고 있고, 세척제에 의한 토양세척법은 고비용과 2차 수질오염 현상에 따라 기피되고 있다.

한편 국내는 물론 전세계적으로 산업화에 따른 지표수 오염으로 지하수가 상수원수로서 중요성이 해마다 증가되고 있다.

산업국가로서 대표적인 독일의 경우 상수원수의 지하수 의존도는 70%를 상회하고 있고, 전통적으로 상수원수의 지표수 의존도가 높은 한국의 경우 약 10%를 차지하고 있으면서 해마다 지하수 의존도가 증가되고 있다²⁾. 현재 한국은 과거 60년대 주탄종유(主炭從油)정책에서 80년대 주유종탄(主油從炭)의 Energy 정책으로 전환하면서 많은 대규모 유류저장시설을 건설하고 있으나 건설자금의 부족으로 민간저유시설에 크게 의존하고 있다.

이와같은 상태에서 과거 제한적으로 허가되고 있던 주유소 시설이 거의 무제한적으로 허가되면서 전국에 걸쳐 크게 증가되고 있다.

이에 따라 도시는 물론, 농촌까지 많은 유류저장시설이 건설되면서 이들 유류저장시설의 누유사고 위험은 더욱 증가되고 있다.

또한 이들 주유시설은 대개 영세사업자가 관리하므로써 고가의 유류저장시설을 건설하지 못하고 대부분 형식적인 시설을 설치하므로써 누유위험에 따른 지하수 오염위

험성이 크게 높아지면서 유류누출 위험의 전국화가 예견되고 있다.

동시에 유류취급장소는 저유시설의 누유 위험은 물론 취급과정에서도 항상 유류의 누출위험이 상존하기 때문에 이런 장소에서 가장 손쉬운 유류 누출방지 대책이 요구된다. 그러나 현재로서 이에 상응한 조치는 거의 없는 것으로 알려지고 있다.

한국 농촌에서 벚짚은 가장 폭넓게 쉽게 구할 수 있는 재료로 전통적으로 한국 원시농촌사회에서는 축산물의 겨울철 사료와 연료로 사용하였고 벚짚연료의 잔재물인 벚짚재는 오늘날 가성소다의 대용물로서 세척제로 사용하였다.

이와같은 벚짚은 오늘날 사료의 개발과 연료의 현대화로 별 쓸모없는 소각 대상으로서 단지 퇴비제로 대부분 이용되고 있을 뿐이다.

특히 벚짚재는 원시농촌사회에서 세척제로 사용할 만큼 기름분해 물질인 사포닌을 함유하고 있으며, 동시에 회분은 입도가 작아 투수 및 투유성이 낮은 차유재로서 가장 손쉽게 한국농촌에서 폭넓게 구할 수 있는 재료가 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 누유 방지재료로서 이용되고 있는 고가의 HDPE, FRP, 점토, 벤토나이트 대용으로 벚짚재를 이용할 수 있는 방안을 강구하고 농촌지역등 전국의 영세 유류저장시설의 누유 방지책을 연구하므로써 누유방지와 지하수 오염방지에 기여코자 한다.

실 험

1. 실험 장치

(1) 투수(k_w) 및 투유시험(k_o)

벚짚재 및 벚짚재 혼합토양의 자유능을 알아보기 위한 실험장치는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에 의하면 모울드(ϕ 10cm, H 15cm, $V=1,178.1\text{cm}^3$)로 아크릴로 제작한 모울드, 이하 "투유모울드"로 표기)내 벚짚재 및 벚짚재와 표준사를 혼합한 토양(이하 "벚짚재 혼합토양"으로 표기)을 충전하고 시료를 완전포화한 상태에서 스탠드파이프 상부 80cm에서 유류를 유하시켰다. 한편 본 시험에서 사용한 투수 및 투유시험은 $k < 10^{-4}\text{cm/sec}$ 일 때 적용하는 변수위 투수시험법을 적용하였다. 벚짚재의 투수계수와 벚

짚재 혼합토양의 투유시험은 ① 혼합비율(표준사+벚짚재=1:0.5, 1:1, 1:3 v/v ratio)에 따른 각 유류별(Gasoline, Diesel, Kerosene) 투유계수와 ② 다짐도에 따른 각 유류별 투유계수, ③ 입도분포에 따른 각 유류별 투유계수 실험을 하였다.

2. 실험 재료

(1) 벚 짚

실험에서 사용한 벚짚은 김해시 일원의 논에서 수거하여 대기중에서 건조시킨 후 약 2cm 정도의 크기로 절단한 후 이용하였으며 벚짚의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

Table 1에 의하면 벚짚의 함수율은 14.42%, 유기물함량은 95.63%, pH는 7.3으로 중성

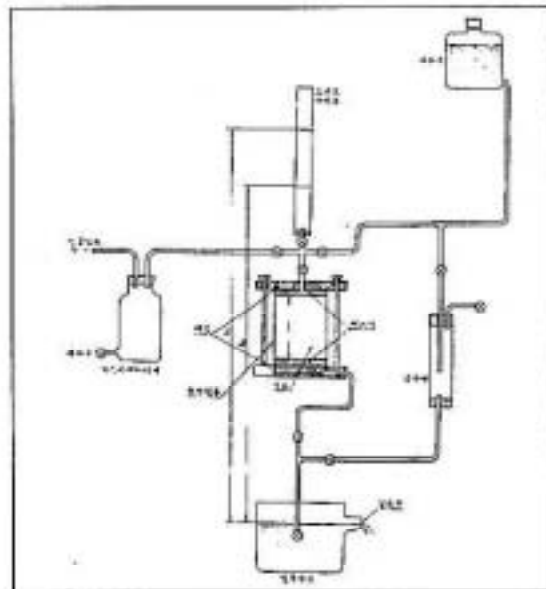


Fig. 1. Schematic of permeability experiment.

Table 1. General characteristics of the rice straw

Item	Unit	Result
pH		
- Raw material	-	7.3
- distilled Liquid	-	7.1
Carbon	%	44.92
Nitrogen	%	0.51
Mositure content	%	14.42
Volatile solids	%	95.63
Specific surface area	cm ² /g	
- before crush		0.04
- after crush		0.33

이었으며 비표면적은 분쇄전 0.04cm²/g, 분쇄후 0.33cm²/g로 분쇄후 비표면적이 약 8배 정도 높게 나타났다.

한편 볏짚의 탄소와 질소함량은 각각 44.92, 0.51%로 나타났다.

(2) 토 양

실험에서 사용한 토양은 김해시 일원에서 채취한 토양을 이용하였으며 입도분석 결과는 Fig. 2과 같다.

Fig. 2는 토양의 입자별 누적통과율 분포 곡선에서 통과율 10%(w/w)에 해당하는 입자직경(d₁₀)은 0.50mm, 통과율 60%(W/W)에 해당하는 입자직경(d₆₀)은 1.35mm로 균등계수(d₆₀/d₁₀)는 2.7로 나타났다.

한편 실험에서는 상기 채취 시료를 7일간

건조시킨 후 입자를 균질화시키기 위하여 표준망체 100번(2mm)을 통과시켜 사용하였으며 토양의 일반적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2에 의하면 토양의 일반적인 특성은 pH 5.2, Bulk density 1.25kg/m³, Particle density 1.58kg/m³, Porosity 0.21%이었으며 비표면적은 0.22cm²/g으로 나타났다.

3. 실험 방법

본 실험은 볏짚재를 현장적용시 포설두께를 결정하는 주요인자이며 볏짚재의 투수계수 및 투유계수 시험은 한국공업규격 다짐시험방법중 A방법^{9), 10)} (낙하높이(cm) 30, 다짐횟수 25, 층수 3, 몰드 치수(mm) 100)을 이용하여 다짐도(γ_r)와 최적함수

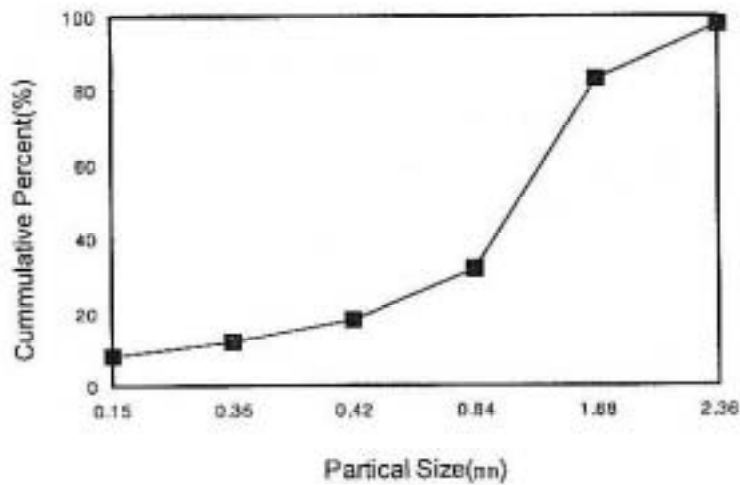


Fig. 2. Particle size distribution curve of the soil.

Table 2. Characteristics of the soil

Item	Unit	Result
pH	-	5.2
Mositure Content	%	14.12
Volatile Solid	%	0.05
Porosity	%	0.21
Bulk density	kg/cm ³	1.25
Particle density	kg/cm ³	1.58
Specific surface area	cm ² /g	0.22

(유)비(w)를 식①에서 구했다.

$$\gamma_t(\text{g/cm}^3) = \frac{\gamma_d}{(1+w)} \quad \text{----- ①}$$

투수계수 및 투유계수 실험시 $k < 10^{-4}$

cm/sec일때 적용하고 단시간내에 실험할 수 있는 변수위 투수(유)시험 방법으로 이용하였으며, 투수(유)시험용 모듈드는 ϕ 10cm H 15cm V=1,178.1cm³ 크기로 아크릴을 이용하여 별도 제작하였으며 시료를 완전포화한 상태에서 실험하였으며 본 실험에서 사용한 토양은 주문진 표준사를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 벚짚재의 특성

(1) 물리적 특성

본 실험에서 사용한 벚짚재는 벚짚을 대기중에서 건조시킨 후 약 2cm 정도로 절단한 벚짚을 회화한 뒤 분쇄기(HOMOGENIZER WARING 31BL 91)를 이용하여 파쇄한 다음 시료를 균질화시키기 위하여 표준망체 # 45(0.35mm)을 사용하였다. 벚짚은 Cellulose를 주성분으로 하는 섬유상 물질로서 벚짚 1g을 회화시킬 때 0.14g의 벚짚재가 발생되었으며, 입도분석결과 가는(fine) 실트(0.05mm이하)의 입도를 나타내었으며, 벚짚재의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3에 의하면 벚짚의 회화한 전·후의 pH변화는 회화전 중성에서 회화후 강알칼리성(10.9)으로 변화하였으며, 함수율 3.76%, 유기불함량 0.12%, 회분함량 99.88%로 분석

되었으며 비표면적 148cm²/g, 공극율 0.29%, 용적밀도 0.32kg/m³, 입자밀도 0.45kg/m³으로 분석되었다.

Fig. 3은 벚짚재의 임계농도를 알아보기 위하여 증류수 1ℓ에 벚짚재를 2~30%씩 첨가하여 전기전도도법(TDScan3, Whatman®)에 의해 측정하였다.

Fig. 3에 의하면 벚짚재의 농도에 따른 전도도 측정결과 첨가농도 12%일 때 변곡점을 나타내어 벚짚재의 CMC농도는 12%일 때 임계농도인 것으로 나타났다.

(2) 화학적 특성

Table 4에 의하면 벚짚재의 원소조성은 C 10.9%, H 15%, O 23.4%, N 5.2%, S 1.2%였으며, 성분분석 결과는 Si 189.2ppm, Ca 10.2ppm, Mg 4.7ppm으로 벚짚재의 주성분이 Si로 나타났다.

한편 벚짚재 1g의 포화농도는 물의 경우

Table 3. Physical characteristics of the rice straw ash

Item	Unit	Result
pH	-	10.9
Mositure content	%	3.76
Volatile soilde	%	0.12
Ash	%	99.88
Porosity	%	0.29
Specific surface area	cm ² /g	148
Bulk density	kg/m ³	0.32
Particle density	kg/m ³	0.45
Critical micelle conc	%	12.00

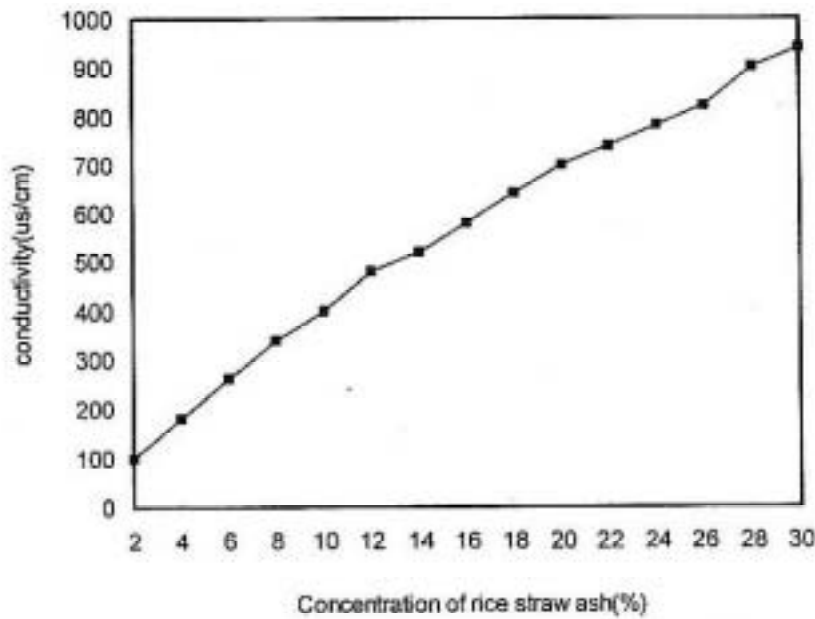


Fig. 3. Criticle micelle concentration of the rice straw ash.

Table 4. Chemical characteristics of the rice straw ash

Item		Unit	Result
Element analysis	C	%	10.9
	H		1.5
	O		23.4
	N		5.2
	S		1.2
Component analysis	Si	ppm	189.2
	Ca		10.2
	Mg		4.7

1.7ml, Gasoline 2.2ml, Diesel 1.8ml, Kerosene 2.0ml가 소요되는 것으로 조사되었다.

한편 본 실험에서 사용한 빗길재의 경우 회화이전 pH는 7.3으로 중성이었으나 회화 이후 pH는 10.9로 알칼리성으로 변화하여 pH변화에 따른 유류의 농도변화를 알아보기

위해 휘발점이 가장 높은 Diesel에 대해 분석하였다.

Fig. 4는 pH변화에 따른 Diesel의 제거율 변화로서 pH 6~9사이에는 제거율이 20% 이하였으나 pH 10~11사이에서 초기농도의 47.3~52.3%가 감소하여 중금속의 pH 5이

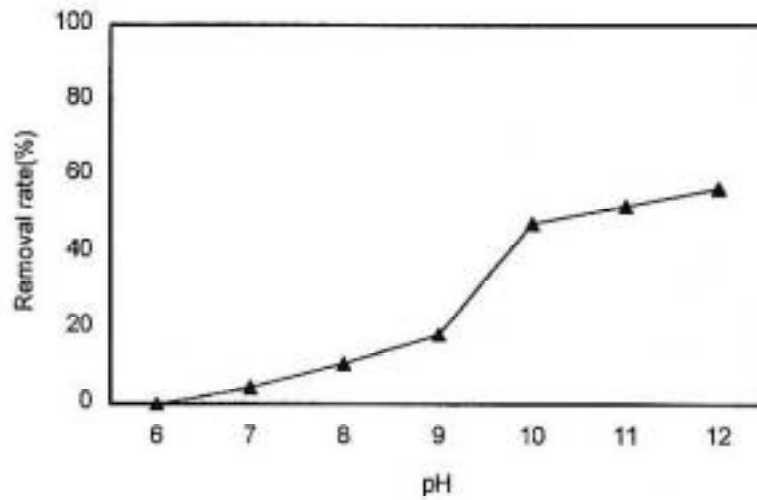


Fig. 4. Diesel removal rate by pH variation.

Table 5. Permeability coefficient(k_w) of rice straw ash

Item	γ_d (g/cm ³)	w (%)	γ_s (g/cm ³)	Permeability coefficient (k_w : cm/sec)
Rice straw ash	1.16	157.2	0.45	2.24×10^{-5}

Note) The values of γ_d , w, γ_s were gotten in the mold

하에서 용출되는 것과는 달리 유류의 경우 pH 10 이후 유류 제거율이 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 벚짚재의 투수계수 및 투유계수

Table 5는 벚짚재의 투수시험 결과로 습윤단위중량(γ_s) 0.45g/cm³, 함수비 157.2%, 건조단위중량(γ_d) 1.16g/cm³ 조건에서 투수계수는 2.24×10^{-5} cm/sec으로 나타나 점토나 벤토나이트¹¹⁾의 투수계수인 $10 \times 10^{-6} \sim 10^{-13}$

cm/sec보다는 크지만 일반토양(#100체를 통과한 토양)의 투수계수 2.36×10^{-4} cm/sec보다는 상대적으로 낮은 값을 나타내었다.

벚짚재의 각 유류별 투유계수는 상기 투수시험법에 준하여 구하였으며 그 결과 Table 6에 나타난 바와 같이 Gasoline의 투유계수는 1.10×10^{-4} cm/sec, Diesel의 경우 2.02×10^{-5} cm/sec, Kerosene 5.33×10^{-5} cm/sec로 Diesel의 투유계수가 가장 낮게 나타났다.

Table 6. Permeability coefficient(k_p) of rice straw ash

Item		γ_d (g/cm ³)	w (%)	γ_t (g/cm ³)	Permeability coefficient (k_p : cm/sec)
Rice straw ash	Gasoline	1.06	83.4	0.58	1.10×10^{-4}
	Diesel	0.30	113.0	0.64	2.02×10^{-5}
	Kerosene	1.03	103.2	0.51	5.33×10^{-6}

Note) The values of γ_d , w, γ_t were gotten in the mold

2. 벚짚재 혼합토양의 차유효과

벚짚재 혼합토양의 차유효과는 벚짚재와 표준사의 혼합비율, 다짐도, 입도분포 등에 따라 상이하므로 벚짚재 혼합토양의 각 조건별 투유시험을 행하였다.

(1) 혼합비율에 따른 투유계수

벚짚재 혼합토양(표준사:벚짚재)의 현장 혼합비율을 도출하기 위하여 벚짚재 혼합토양을 부피비로 각각 1:0.5, 1:1, 1:3으로 혼합한 시료를 제작한 후 각 유류에 대한 투유계수를 비교하였다.

Table 7과 Fig. 5는 벚짚재 혼합토양의 혼합비율에 따른 각 유류별 투유시험 결과로서 Gasoline의 경우 혼합비율 1:0.5에서 0.82×10^{-3} cm/sec, 1:1에서 1.10×10^{-3} cm/sec, 1:3에서 5.52×10^{-4} cm/sec으로 나타나 1:3의 조건일 때 가장 낮은 투유계수 값을 나타내었다.

Diesel의 경우 4.06×10^{-4} cm/sec(1:0.5), 2.53×10^{-4} cm/sec(1:1), 1.83×10^{-4} cm/sec(1:3)이었으며, Kerosene의 경우 $8.37 \times$

10^{-4} cm/sec(1:0.5), 8.72×10^{-4} cm/sec(1:1), 9.26×10^{-5} cm/sec(1:3)으로서 모두 벚짚재 혼합토양의 혼합비율(표준사:벚짚재) 1:3의 경우가 가장 낮은 투유계수 값을 나타내어 벚짚재 혼합비율이 클수록 유류에 대한 누유방지효과가 높은 것을 알 수 있었으나 본 시험에서는 현장성을 고려하여 토양과 벚짚재의 현장 혼합비율을 1:3으로 혼합하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다.

(2) 다짐도(γ_t)에 따른 투유계수

일반적으로 다짐도와 투유계수는 다짐도가 감소할수록 투유계수는 감소하는 비례 관계에 있다. 따라서 본 실험에서는 다짐도를 달리하여 각 유류별 투유계수를 산출하였다.

이 때의 투유계수를 산출한 결과 Gasoline의 경우 다짐도 0.77 g/cm³일 때 5.52×10^{-5} cm/sec로 가장 낮은 투유계수를 나타내었으며, Diesel의 경우 0.92 g/cm³일 때 1.83×10^{-4} cm/sec로 가장 낮은 투유계수를 나타내었으며,

Table 7. Permeability coefficient(k_o) of mixing soil by mixing ratio

Item	Mixing ratio (v/v)	w (%)	Permeability coefficient (k_o : cm/sec)
Gasoline	1 : 0.5	12.5	0.82×10^{-3}
	1 : 1	27.4	1.10×10^{-3}
	1 : 3	48.1	5.52×10^{-4}
Diesel	1 : 0.5	19.3	4.06×10^{-4}
	1 : 1	21.0	2.53×10^{-4}
	1 : 3	35.2	1.83×10^{-4}
Kerosene	1 : 0.5	45.3	8.37×10^{-4}
	1 : 1	47.6	8.72×10^{-4}
	1 : 3	49.8	9.26×10^{-5}

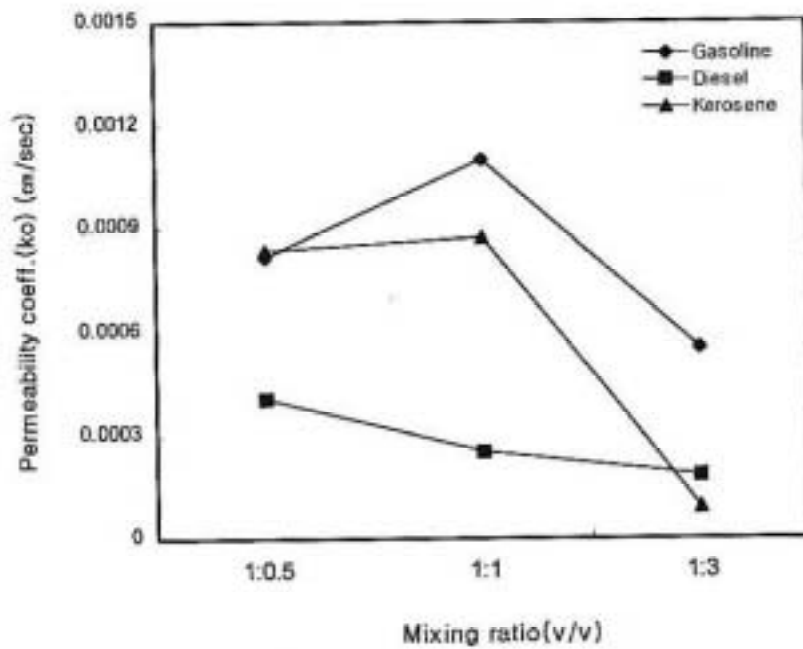


Fig. 5. Permeability coefficient(k_o) of mixing soil by mixing ratio.

Table 8. Permeability coefficient(k_o) of mixing soil by compaction level

Item	γ_d (g/cm ³)	γ_t (g/cm ³)	Permeability coefficient (k_o : cm/sec)
Gasoline	1.52	1.26	0.82×10^{-3}
	1.44	1.13	1.10×10^{-3}
	1.14	0.77	5.52×10^{-4}
Diesel	1.54	1.29	4.06×10^{-4}
	1.49	1.23	2.53×10^{-4}
	1.25	0.92	1.83×10^{-4}
Kerosene	1.56	1.07	8.37×10^{-4}
	1.44	0.92	8.72×10^{-5}
	1.32	0.88	9.26×10^{-5}

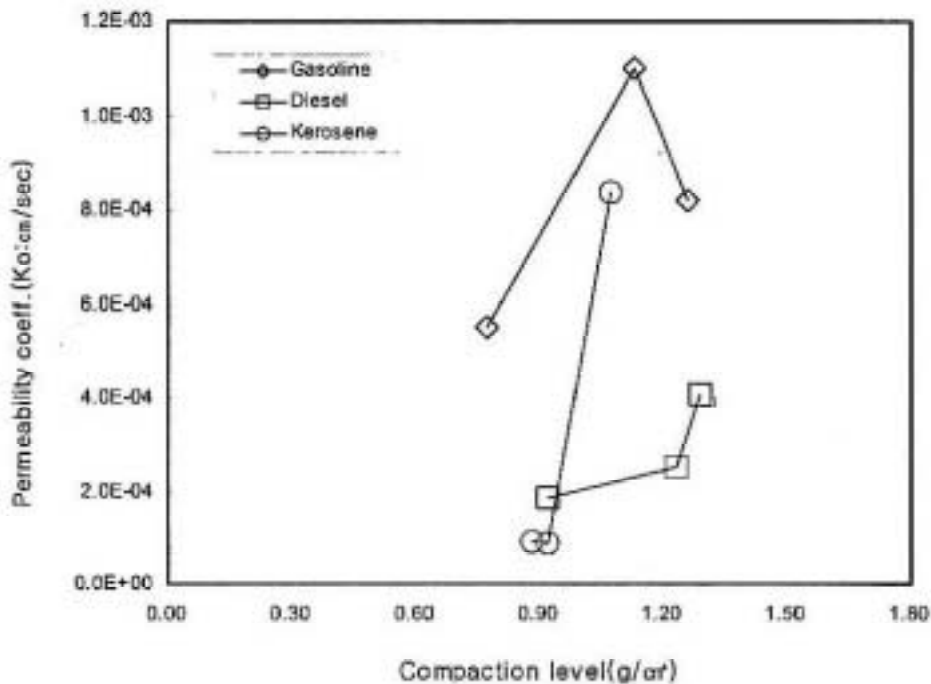


Fig. 6. Permeability coefficient(k_o) of mixing soil by compaction level.

Kerosene의 경우 다짐도 0.88g/cm³ 일 때 9.26×10^{-5} cm/sec로 가장 낮은 투유계수를 나타내었다. 따라서 다짐도가 감소할수록 투유계수는 낮아지는 것을 알 수 있었다.

한편 현장포설시 각 유류별 현장 다짐도는 0.7~1.0g/cm³ 정도의 값이 유지되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 입도분포에 따른 투유계수

벚짚재 혼합토양의 구성에 있어서 사용 토양(표준사)의 입도조건을 도출하기 위하여 표준사의 입도를 각각 #4~40(4.76~0.42mm), #40~60(0.42~0.25mm), #60~100(0.25~0.15mm)의 3종류로 분류하여 각 유류에 대한 투유계수를 산출하였다.

입도조건이 제한인자로 적용됨에 따라 혼합비율은 전항의 결과에서 제시한 현장

혼합비인 1:3(표준사:벚짚재)으로 동일하게 시험을 실시하였다.

Table 9와 Fig. 7은 벚짚재 혼합토양중 표준사의 입도에 따른 각 유류별 투유시험 결과로서 Gasoline의 경우 #4~40에서 $k_o = 5.57 \times 10^{-3}$ cm/sec, #40~60에서 $k_o = 2.72 \times 10^{-3}$ cm/sec, #60~100에서 $k_o = 2.70 \times 10^{-4}$ cm/sec로 나타났다. Diesel의 경우 #4~40에서 $k_o = 5.99 \times 10^{-4}$ cm/sec, #40~60에서 $k_o = 1.46 \times 10^{-4}$ cm/sec, #60~100에서 $k_o = 1.43 \times 10^{-5}$ cm/sec로 나타났으며 Kerosene의 경우 #4~40에서 $k_o = 6.01 \times 10^{-4}$ cm/sec, #40~60에서 $k_o = 8.54 \times 10^{-5}$ cm/sec, #60~100에서 $k_o = 1.24 \times 10^{-5}$ cm/sec로 나타나 입도조건은 모든 유류에서 #60~100의 경우가 가장 낮게 나타나 공극이 적을수록 투유계수가 낮은 것을 알 수 있었다.

Table 9. Permeability coefficient(k_o) of mixing soil by particle distribution

Item	Porosity of mixing soil	Permeability coefficient (k_o : cm/sec)
Gasoline	#4~40	5.57×10^{-3}
	#40~60	2.72×10^{-3}
	#60~100	2.70×10^{-4}
Diesel	#4~40	5.99×10^{-4}
	#40~60	1.46×10^{-4}
	#60~100	1.43×10^{-5}
Kerosene	#4~40	6.01×10^{-4}
	#40~60	8.54×10^{-5}
	#60~100	1.24×10^{-5}

Note) Mixing ratio(sand : rice straw ash) was applied to 1 : 3(v/v)

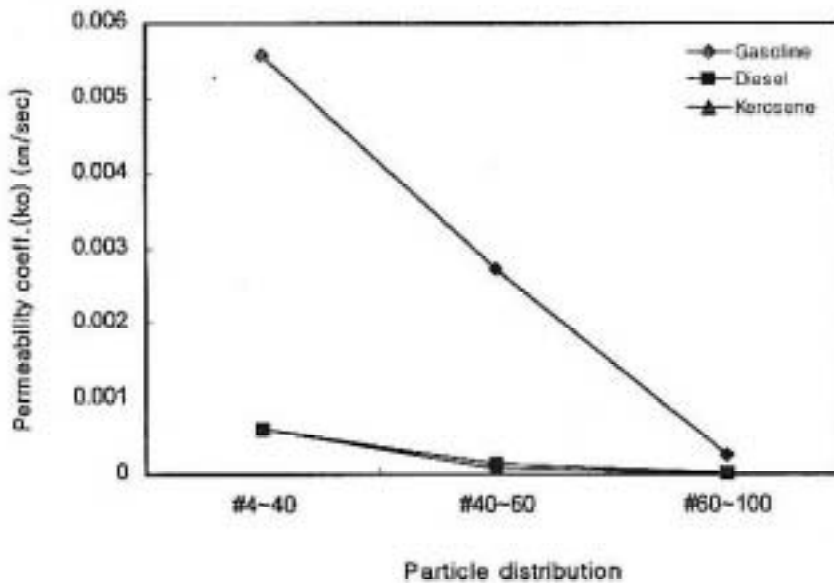


Fig. 7. Permeability coefficient(k_0) of mixing soil by particle distribution.

3. 벚짚재를 이용한 누유방지시설

오염방지시설은 현재의 기술수준으로 허용가능한 최대의 저감효과를 낼 수 있는 경제적이고 효율적인 시설을 요구한다. 현재 관련법규상 지하저유시설의 유류오염을 방지하기 위한 법적기준은 아직 미흡한 실정에 있다.

따라서 본 연구의 결과를 바탕으로 유류 저장시설의 누유시 오염의 확산방지대책으로서 지하저유시설의 하부에 건조사만을 포설하는 경우와 본 연구의 대상인 벚짚재 혼합토양을 포설하는 경우에 대하여 각각의 누유방지효과 및 그에 따른 경제적 효과를 검토하였다.

(1) 벚짚재 혼합토양의 누유방지효과

누유방지효과는 누출되는 유류가 누출지 점으로부터 직선의 확산경향을 가진다고 가정하여, 각 방지층의 포설깊이에 따른 최초 오염감지시간을 비교하였으며, 그 결과 Table 10 및 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 건조사만을 저유조 하부에 설치할 경우 포설 깊이(30cm~120cm)별 최초 오염감지시간은 0.34~1.35일이 소요되며, 벚짚재 혼합토양의 경우 0.63~2.52일로 나타나 건조사만을 포설할 경우보다 토양과 벚짚재의 현장 혼합비율인 1:3인 혼합토양에서 차유효과가 약 2배 정도 좋은 결과를 보였으며, 벚짚재 혼합토양의 흡착능을 고려한다면 그 효과는 더욱 커질 것으로 판단된다.

따라서 지하저유시설(Underground Storage Tank)에서 누유되는 유류오염을 방지

Table 10. Leakage time by installation depth

(Unit : day)

Depth \ Item	Dry soil	Mixing soil (1 : 3)	Rice straw ash + Mixing soil
30cm	0.34	0.63	1.90
50cm	0.56	1.05	3.16
80cm	0.90	1.68	5.06
100cm	1.12	2.10	6.32
120cm	1.35	2.52	7.59

Note) Permeability coefficient(k_e)

Dry soil : 1.03×10^{-3} cm/sec

Mixing soil(1 : 3) : 5.52×10^{-4} cm/sec

Rice straw ash + Mixing soil : 1.83×10^{-4} cm/sec

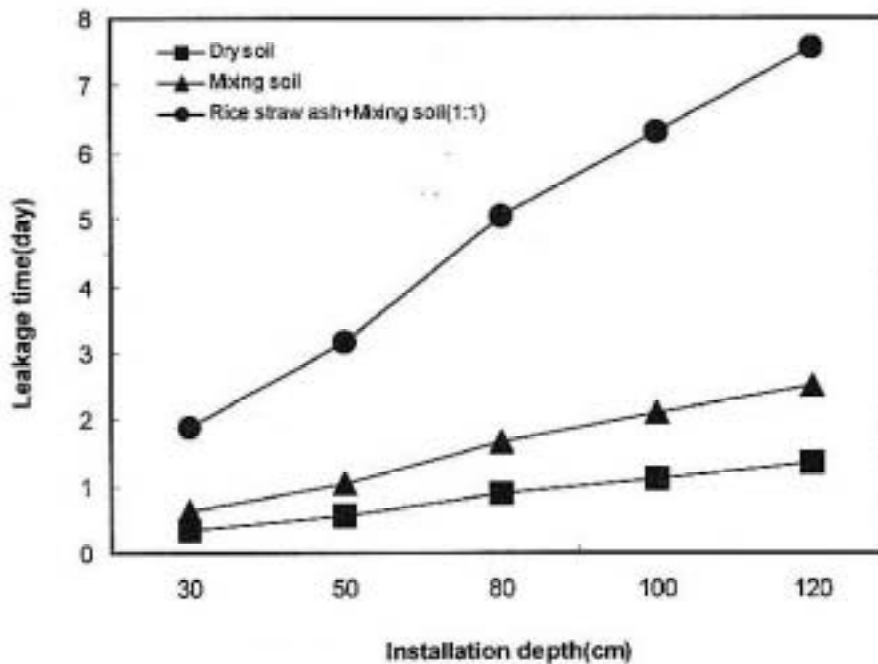


Fig. 8. Leakage time by installation depth.

하기 위하여 농업폐기물로 발생되는 볏짚 계층 토양과 혼합하여 저유조 하부와 좌·우측면에 적정깊이로 포설하면 차유효과를 개선할 수 있을 것으로 판단되며, 볏짚재 혼합토양의 적용이 타당할 것으로 판단된다.

한편 현장적용시 더 높은 차유효과를 위하여 볏짚재층과 혼합토양층의 별도층으로 포설할 경우 총 포설깊이 30~120cm에서 1.90~7.59일로 나타났으나 현장조건과 경제성을 고려해 볼 때 총 포설깊이 80cm로 포설하는 것이 타당하다고 판단된다.

(1) 경제적 효과

토양오염의 방지대책으로서 국내에서 가장 많이 사용되어지는 것으로 주로 물리적 차단기술이며 이러한 물리적 차단기술로서는 점토, 합성차수막(HDPE, EPDM) 및 벤토나이트 혼합층 등을 들 수 있으며, 이러한 시설들은 비교적 광범위한 오염지역에 적용되고 있으나 본 검토의 범위인 주유소와

같이 소규모의 발생원에는 적용이 이루어지지 않고 있다.

따라서 신설되는 석유류 저장시설에 적용가능한 방지대책으로는 저유조 하부에 차유층을 두는 것이 현실적인 대안이 될 것으로 판단되며 볏짚재 혼합토양을 포설하는 것이 효과적인 방지대책으로 제시될 수 있었다.

본 검토에서는 볏짚재 혼합토양을 저유조 하부에 포설시 소요되는 비용을산정하여 본 대안의 적용시 경제적 효과를 제시하고자 한다.

소요비용의 산정은 다음과 같은 과정으로 산정하였으며, 시설 설치모식도는 Fig. 9에 나타내었다.

소요비용 산정을 위한 지하유류저장시설은 환경부의 토양오염유발시설 관리지침을 만족하는 저장용량 100,000ℓ의 감방형 유류저장시설로서 규격을 W5.0m × L6.0m × H4.0m(He=3.3)로 하고 저유조 하부에는

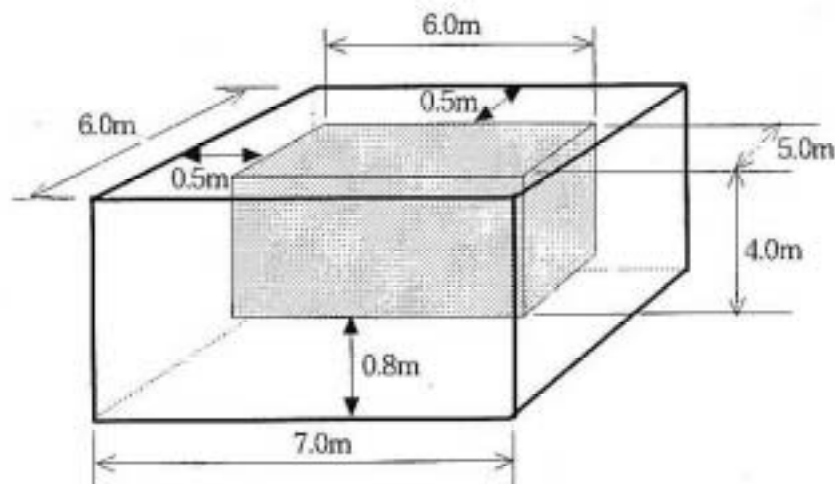


Fig. 9. Schematic of site application.

최초감지시간을 약 5.1일을 만족하기 위하여 벚짚재 혼합토양을 0.8m 포설하고 벽면에는 0.5m 포설한다고 가정하여 소요되는 벚짚재 혼합토양을 산정한 결과 약 174m³가 소요되며 토양과 벚짚재의 혼합비율이 1:3이므로 벚짚재의 소요량은 43.5m³가 소요되며 이를 비용으로 산정하면 약 650,000원이 소요될 것으로 예상된다.

한편 합성차수막으로서 HDPE Sheet를 포설할 경우 약 2,240만원(224m²×100,000)이 소요됨을 고려한다면 벚짚재 혼합토양의 적용시 경제적 기대효과는 상당할 것으로 판단된다.

□ 소요비용 산정조건

- 대상시설 : 석유류 저장시설(신설)
- 구조 : 장방형 RC조

- 용량 : 100,000ℓ
- 규격 : W 5.0m×L 6.0m×H 4.0m (He=3.3)
- 기타 토양오염유발시설관리지침(환경부)의 조건을 만족한다고 가정

□ 벚짚재 혼합토양의 소요량

- 포설깊이
 - 저유조 하부 : 0.8m(최초감지시간을 약 5.1일 적용)
 - 저유조 벽면 : 0.5m
- 벚짚재 혼합토양의 소요량
 - = (6.0m×7.0m×7.0m) - (5.0m×6.0m×4.0m) = 174m³

□ 벚짚재 소요량

- 토양 : 벚짚재 = 1 : 3

Table 11. Characteristic comparison of oil cutoff liners

Item	Rice straw ash	Clay ²⁾	HDPE ³⁾	EPDM ⁴⁾
Physical characteristic				
- expansion intensity(kg/cm ²)	-	-	200	75
- compression extension ratio(%)	-	-	700	800
- contractibility(%)	-	-	1	1
- water absorption ratio(%)	156.2	-	0.02	0.02
- permeability coefficient(water)	2.24×10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻¹¹	10 ⁻⁷
- permeability coefficient(Diesel)	5.33×10 ⁻⁸	-	-	-
Chemical characteristic				
- resistant abrasion	good	normal	normal	good
- durability	good	good	good	good
- resistant solvent	good	good	good	good
- toxic nature	none	none	none	none
Installation depth	80cm	50cm	2mm	2mm
Comparison of construction cost	0.1	0.8	1.0	1.4

○ 벚짚제 소요량 = $174\text{m}^3 \times 1/4 = 43.5\text{m}^3$

□ 소요비용

○ 벚짚제 단위비용 : 15,000원/ m^3
(구입, 조각비용 포함)

○ 소요비용 = $43.5\text{m}^3 \times 15,000\text{원}/\text{m}^3$ =
650,000원

Table 11은 각 누유방지제별 물리·화학적 특성 및 포설깊이, 공사비등을 비교한 것으로 벚짚제의 경우 투수계수는 타 차유제보다는 크지만 공사비용, 수분흡수율이 우수하며 추후 누유방지제로 활용할 경우 환경적인 측면이나 경제적인 측면에서 적합할 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 현재 농촌에서 발생하는 벚짚제를 이용하여 지하저유탱크에서 누출되는 유류오염을 방지하기 위해 누유방지제로 재사용하고자 본 실험을 행하였다. 그 실험 결과로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 벚짚의 회화 전·후 물리적 변화는 벚짚 1g을 회화시킬 경우 0.14g의 벚짚제가 발생하였으며, pH의 경우 중성에서 강알칼리(pH 10.9)로 변화하였으며, 비표면적은 회화전보다 약 5배의 비표면적 증가를 보였으며, 입도분포는 회 화이후

가는(fine) 실트(0.05mm이하)의 입도를 나타내었다.

2. 벚짚제 혼합토양의 차유시험 결과 토양(표준사 : 0.25-0.15mm)과 벚짚제의 현장 혼합비 1:3(v/v)의 경우, 이 때의 다짐도(γ_t)와 투수계수(k_o)는 Gasoline의 경우 각각 0.77g/ cm^3 , $5.52 \times 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ 로 나타났으며 Diesel의 경우 0.92g/ cm^3 , $1.83 \times 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$, Kerosene의 경우 0.88g/ cm^3 , $9.26 \times 10^{-5}\text{cm}/\text{sec}$ 이었다.
3. 지하저유시설의 차유제로 벚짚제만을 80cm로 포설할 경우 가장 좋은 결과를 얻을 수 있으나, 현장성과 경제성을 고려하여 토양과 벚짚제를 1:3으로 혼합 하여 80cm로 유지할 경우 투수계수(k_o)는 $5.52 \times 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ 이며, 최초오염감지 시간은 1.68일로 나타났으며, 벚짚제층과 혼합토층을 각각 40cm씩, 총 80cm로 포설할 경우 최초오염감지시간은 5.06일로 나타나 추후 유류저장시설의 누유 방지제로서 벚짚제층과 혼합토양층을 별도로 포설하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Kosteki and Calabrese, E. J., "Petroleum contaminated Soils Vol.1 : Remediation Techniques Enviromental Rate, Risk Assessment," Lewis Pulishers, USA, 1988.
2. U.S. EPA, Handbook : Remedial Action

- at Waste Disposal Sites, EPA-625-6-85-006, pp. 1.1-11.32, 1985.
3. 환경부, "오염토양 복원기술 및 제도발전에 관한 연구용역(2차년도 최종보고서)", pp. 16~17, 1998.
 4. U.S. EPA, "in-situ Soil Vapor Extraction Treatment," Engineering Bulletin, RREL, Cincinnati, OH, EPA/540/2-91/006, 1991.
 5. U.S. EPA, "Augmented in-situ Subsurface Bioremediation Process," Bio-Rem, Inc., EPA RREL, Demonstration Bulletin, EPA/540/MR-93/527, 1993.
 6. Sturges, S.G., Jr., P. McBeth, Jr., R.C. Pratt, "Performance of Soil Flushing and Groundwater Extraction at the United Chrome Superfund Site," Journal of Hazardous Materials, *El Savoir Pub., B.V., Amsterdam*, Vol. 29, pp.59~78, 1992.
 7. 국립환경연구원, "오염토양복원기술 및 제도발전에 관한 연구," 제1,2권, 1997.
 8. 김수생, "상하수도 감의안", 1999.
 9. 김상규, "토질시험", 동명사, pp. 50~51, 1982.
 10. 김용필등, "지반공학 시험법 및 응용", 세진사, pp. 179-180, 1997.
 11. (주) GOLD-POW, "(주)유성 V단계 일반폐기물매립장 혼합차수증 배합설계에 관한 연구", pp. 14~17, 1998.