

## Rice Straw Ash를 이용한 유류오염토양 정화

정 경 원 · 장 성 호\*  
부산광역시 보건환경연구원 · 국립밀양대학교 환경공학과  
(2003년 5월 1일 접수; 2003년 7월 3일 채택)

### Remediation of Oil Contaminated Soils by Rice Straw Ash

Kyung-Won Jeong and Seong-Ho Jang\*

Pusan Metropolitan Institute for Public Health of Environment, Busan 613-806, Korea  
\*Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea  
(Manuscript received 1 May, 2003; accepted 3 July, 2003)

This study was conducted to reuse the rice straw ash as washing agent for oil contaminated soils. The results are summarized as follows. 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)

The physical characteristics of rice straw ash were Carbon 10.9%, Hydrogen 1.5%, Oxygen 23.4%, Nitrogen 5.2%, Sulfate 1.2% and chemical characteristics were Si 189.2ppm, Ca 10.2ppm, Mg 4.7ppm. Oil cleanup ratio by pH variation were about 40~50% of initial concentration of oil by pH 10~11. As the result of cleanup comparative experiment, the rice straw ash was about 20~30%, the tritonX-100 about 40~50% of washing efficiency, and then in the future it will be possibility of substitute washing agent.

Key Words : Rice straw ash, Washing agent, Remediation

#### 1. 서 론

현재 인류가 전 세계적으로 가장 광범위하게 사용하고 있는 연료인 석유는 저장위험과 동시에 기름유출, 충돌사고등으로 주변토양, 수질, 해양오염, 대기오염사고를 발생시키면서 새로운 인간환경의 고민거리를 제공하고 있다.

한국은 과거 60년대 주탄종유(主炭從油: 주로 연탄 사용, 그 다음 석유류사용)정책에서 80년대 주유종탄(主油從炭)의 Energy 정책으로 전환하면서 많은 대규모 유류저장시설을 건설하고 있으나 건설자금의 부족으로 민간저유시설에 크게 의존하고 있다.

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

이에 따라 도시는 물론, 농촌까지 많은 유류저장 시설이 건설되면서 이들 유류저장시설의 기름유출 사고 위험은 더욱 증가되고 있다.

또한 이들 주유시설은 대개 영세사업자가 관리하므로 고가의 유류저장시설을 건설하지 못하고 대부분 형식적인 시설을 설치함으로써 기름유출위험에 따른 지하수 오염위험성이 크게 높아지면서 유류누출 위험의 전국화가 예견되고 있다.

국내의 경우는 현장측정자료는 없으나 추정 기름 유출율은 약 10~20%정도가 되는 것으로 예상되어 유류누출에 의해 복원이 필요한 것으로 추정되는 오염토양량은 석유류시설의 경우 40,000~528,000m<sup>3</sup> 정도 되는 것으로 알려지고 있고 별도 유독물 저장시설에 의한 오염토양량도 약 2,400m<sup>3</sup> 정도 추산되고 있다.<sup>1)</sup>

토양이 유류로 오염되었을 경우 현장(in-situ)에서 복원처리에 적용되고 있는 대표적 공법으로는 토양증기추출법(Soil Vapor Extraction, 이하 SVE로 명기), 생물학적 정화법(Bioremediation)과 토양

Corresponding Author : Seong-Ho Jang, Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea  
Phone : +82-55-350-5435  
E-mail : jangsh@mnu.ac.kr

세척제(Flushing agent)등 3가지 공법이 광범위하게 이용되고 있다.<sup>2-4)</sup>

유류오염토양 복원에서 가장 폭넓게 사용되는 SVE공법의 경우 후차처리비용으로 645,000원~650,000원/m<sup>2</sup>가 소요되는 것으로 알려지고 있어<sup>5)</sup> 한번 유류에 의한 토양오염이 발생할 경우 그 복원에는 영세 유류저장·판매업자의 경우 감히 엄두도 낼 수 없는 고비용이 소요되므로써 오염은 더욱 확산되고 유류오염과 함께 지하로 오염이 더욱 잠적하는 악순환을 야기시키므로써 장래 지하수 오염문제에 의한 상수원 수질보호에 특히 적신호가 되고 있다.

생물학적 유류오염 정화방법도 근래 이용되고 있으나 장시간이 소요되므로써 필연적인 비용증가가 예상되고 있고, 세척제에 의한 토양세척법은 고비용과 2차 수질오염현상에 따라 기피되고 있어 저비용으로 2차오염이 없는 세척제 개발이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 농촌에서 쉽게 구할 수 있고 축산물의 겨울철 사료와 연료로 사용하는 Rice Straw Ash(이하 "벼짚재"로 표기)를 세척제의 대용물(代用物)로 사용하여 친환경적 유류오염토양 정화 및 지하수 오염방지에 기여코자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료

#### 2.1.1 벚짚 및 벚짚재추출액

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 중성이었으며 비표면적은 분쇄전 0.04cm<sup>2</sup>/g, 분쇄후 0.33cm<sup>2</sup>/g로 분쇄(HOMOGENIZER WARING 31BL 91사용)후 비표면적이 약 8배정도 높게 나타났다. 한편 벚짚

의 탄소와 질소함량은 각각 44.92, 0.51%로 나타났다.

벚짚을 오염토양의 세척제로 활용하기 위해 하나는 벚짚을 회화(灰火) 후 재 약 50g(벚짚 1g당 재(ash) 발생량은 0.143g)에 증류수 1ℓ를 가한 후 교반하고 그 상등액을 5B여지로 여과한 여과액(이하 "벚짚재추출액"으로 표기)을 세척제로 사용하였다.

### 2.1.2. 토 양

실험에서 사용한 토양은 김해시 일원에서 채취한 것으로 입도분포 결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1은 토양의 입자별 누적통과율 분포곡선에서 통과율 10% (w/w)에 해당하는 입자직경(d<sub>10</sub>)은 0.50mm, 통과율 60%(W/W)에 해당하는 입자직경(d<sub>60</sub>)은 1.35mm로 균등계수(d<sub>60</sub>/d<sub>10</sub>)는 2.7로 나타났다.

한편 실험에서는 상기 채취 시료를 7일간 건조시킨 후 입자를 균질화시키기 위하여 표준망체 # 10(2mm)을 통과시켜 사용하였으며 토양의 일반적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2에 의하면 토양의 일반적인 특성은 pH 7.2, Bulk density 1.25kg/m<sup>3</sup>, Particle density 1.58kg/m<sup>3</sup>, Porosity 0.21%이었으며 비표면적은 0.22cm<sup>2</sup>/g으로 나타났다.

유류로 오염된 토양을 임의로 조제하기 위하여, 유류는 시판중인 S정유사의 Gasoline, Diesel, Kerosene

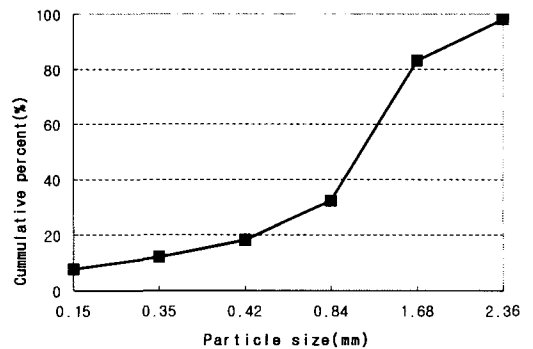


Fig. 1. Particle size distribution curve of the soil.

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 <sup>2</sup> /g	
- before crush		0.04
- after crush		0.33

Table 2. Characteristics of the soil

Item	Unit	Result
pH	-	7.2
Mositure Content	%	14.12
Volatile Solid	%	0.05
Porosity	%	0.21
Bulk density	kg/m <sup>3</sup>	1.25
Particle density	kg/m <sup>3</sup>	1.58
Specific surface area	cm <sup>2</sup> /g	0.22

을 구입하여 각 토양별로 오염시켜 4°C 냉암소에서 3개월이상 보관한 시료(이하 “오염토양”이라 함)를 사용하였다.

2.1.3. 합성 계면활성제(TritonX-100)

실험에서는 유기화합물에 대한 세척력이 양이온계(Cationic)나 음이온계(Anionic)보다 양호한 비이온(Nonionic) 계열의 합성 계면활성제로서 시판되는 TritonX-100을 구입하여 사용하였다.

TritonX-100은 POE(Polyoxyethylene) Type의 합성 계면활성제이며 대표적인 분자식은 C<sub>8</sub>PE<sub>10</sub> (646.0 g/mole)이며 계면을 띄는 분자집합체(Micelle) 형성 농도 CMC(Critical Micelle Concentration)는 1.7×10<sup>-1</sup> mole, HLB(Hydrophilic Lipophilic Balance)는 13.5로 나타나 소수성 유기화합물에 대한 친화도가 높은 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup>

실험에 사용된 TritonX-100의 특성은 Table 3과 같다.

2.1.4. 유류(Gasoline, Diesel, Kerosene)

본 실험에서 사용한 유류의 분석은 초기농도에서 10배, 100배, 1000배로 희석한 후 분석하였으며, 분석은 Gasoline의 경우 GC-FID (puge & trap)를 이용하여 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene (o-, m-, p-) (이하 “BTEX”로 표기) 농도를 분석하였

Table 3. Physical and chemical characteristics of the surfactant

Item	Unit	Result
Chemical structure	-	POE(10) Octylphenol
Molecular Formula	-	C <sub>8</sub> PE <sub>10</sub>
Molecular Weight(MW)	g/mole	646
Ion Type	-	Nonionic
Critical Micelle Concentration	mole	1.7×10 <sup>-1</sup>
Hydrophilic Lipophilic Balance	-	13.5

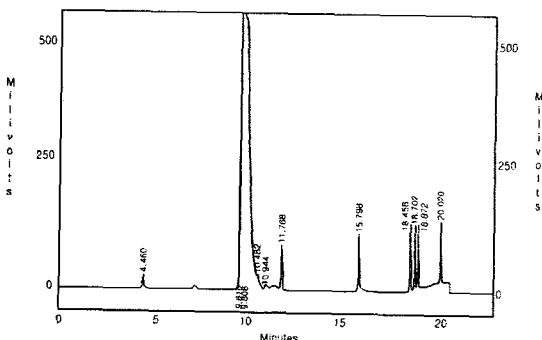


Fig. 2. Chromatogram of the BTEX standard 10ppm.

으며 Fig. 2는 BTEX 표준품 10ppm을 분석한 결과이다.

Gasoline의 경우 그 주성분이 BTEX이며 Accu-Standard, Inc.의 표준품(GA-001-20X-BTEX 10.0 mg/ml in MeOH)의 BTEX 성분특성은 Table 5와 같다.

Diesel의 경우 AccuStandard, Inc.의 Custom Multi-State Hydrocarbon Window Definina 500µg/ml in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>:Hexane(95:5) 표준품은 C<sub>8</sub>-C<sub>36</sub> (Octane ~Tetra triacontane)까지 분포되어 있으며 Table 6에 Diesel의 일반적인 성질을 나타내었다.

Diesel, Kerosene의 경우 GC-FID를 이용하여 석유계 총탄화수소(이하 “TPH”로 표시, C<sub>9</sub>-C<sub>24</sub>: Nonane ~Tetracosane)를 분석하였다. 각 유류별 GC 분석결과 및 머무름 시간은 Fig. 3과 Table 7에 나타내었다.

2.2. 실험방법

본 실험에서는 벗짚재의 유류세척력을 검증하기 위하여 오염토양에 벗짚재추출액과 합성계면활성제(TritonX-100)를 유하시켜 토양속 유류잔류농도를 조사하였다.

Table 4. Chemical characteristics of the BTEX

Compound name	Retention time	Molecular Formula	Molecular weight
Benzene	11.768	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78
Toluene	15.798	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92
Ethylbenzene	18.458	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106
p-Xylene	18.702	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106
m-Xylene	18.872	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106
o-Xylene	20.020	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106

Table 5. Properties of the BTEX in gasoline<sup>7-9)</sup>

Item	Molecular Formula	M.W	Melting Point(°C)	Boiling Point(°C)	Specific Gravity
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78	5.5	80.1	0.879
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92	-95.0	110.6	0.866
Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106	-95.0	136.2	0.867
Xylene(p-)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106	13.2	138.0	0.861

Table 6. Properties of the diesel<sup>10,11)</sup>

Item	Molecular Formula	M.W	Melting Point(°C)	Boiling Point(°C)	Specific Gravity
Diesel	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170	75	295	0.843

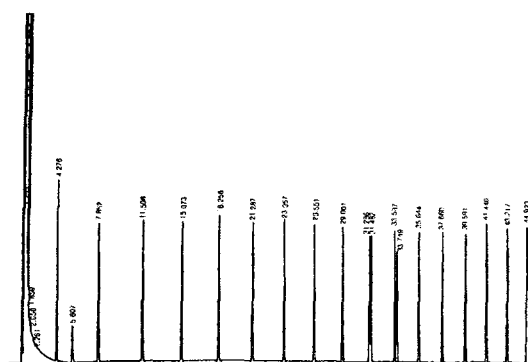


Fig. 3. Chromatogram of the TPH standard 50ppm.

Table 7. Chemical characteristics of the TPH at retention time

Compound name	Retention time	Molecular Formula	Molecular weight
Nonane	7.852	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128
Decane	11.598	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142
Undecane	15.073	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156
Dodecane	18.255	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170
Tridecane	21.201	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	184
Tetradecane	23.957	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	198
Pentadecane	26.551	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	212
Hexadecane	29.001	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226
Heptadecane	31.482	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	240
Octadecane	33.537	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	254
Nonadecane	35.644	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	268
Eicosane	37.660	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	282
Heneicosane	39.591	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	296
Docosane	41.440	C <sub>22</sub> H <sub>46</sub>	310
Tricosane	43.217	C <sub>23</sub> H <sub>48</sub>	324
Tetracosane	44.923	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>	338

2.2.1. Column 실험

오염토양의 각 세척제별 세척력을 비교하기 위해 Fig. 4와 같이 실험을 행하였다.

Fig. 4에 의하면 Ø 10cm, L 45cm의 유리재질의 칼럼내 오염토양을 30cm정도 충전하고, 상부에서 0.05 l/min로 세척제를 100ml로 유하시켜 토양속 잔류농도를 가스크로마토그램(Gas Chromatograph:이하 "GC"로 표기)으로 분석하였다.

2.2.2. 분석조건

벚짚재추출액과 합성 계면활성제(TritonX-100, Merk, 108603)의 세척력을 비교하기 위해 각 유류

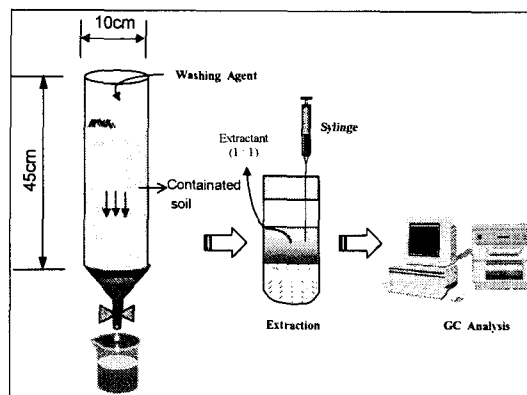


Fig. 4. Schematic of washing experiment.

Table 8. Analysis conditions of gas chromatography

Item	BTEX (puge & trap)	TPH (C9~C24)
Length	50m(D 0.32mm)	50m(D 0.32mm)
Column	CP-Wax-52CB	CP Sil 5CB
Flow rate	1.43 l/min	2.56 l/min
Temp. conditions	50°C (5min), 130°C (4°Cup/min) 200°C (50°Cup/min)	50°C (5min), (8°Cup/min), 300°C (15min)
Detector	FID	FID
Injection temp.	190°C	300°C
Detector temp.	250°C	300°C

별로 오염시킨 시료를 만들어 정성실험을 수행하였으며, 유류별 GC분석조건은 Table 8과 같이 BTEX는 CHROMPACK CP-9001 GC(puge & trap)를 이용하여 분석하였으며, 칼럼길이 50m의 CP-Wax-52CB 칼럼을 이용하였고 시료주입량은 0.1~0.5µl 범위내에서 주입하여 분석하였으며, TPH는 초기온도 50°C에서 최종온도 300°C까지 운전시간 40분으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 벚짚재의 특성

3.1.1. 물리적 특성

본 실험에서 사용한 벚짚재는 벚짚을 대기중에서 건조시킨 후 약 2cm 정도로 절단한 벚짚을 회화한 뒤 분쇄기(HOMOGANIZER 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 9와

같다.

Table 9에 의하면 벚짚의 회화한 전·후의 pH변화는 회화전 중성에서 회화후 강알카리성(10.9)으로 변화하였으며, 함수율 3.76%, 유기물함량 0.12%, 회분함량 99.88%로 분석되었으며 비표면적 1.48cm<sup>2</sup>/g, 공극율 0.29%, 용적밀도 0.32kg/m<sup>3</sup>, 입자밀도 0.45 kg/m<sup>3</sup>으로 분석되었다.

Fig. 5는 벚짚재의 임계농도를 알아보기 위하여 증류수 1ℓ에 벚짚재를 2~30%씩 첨가하여 전기전도도법(TDScan3, Whatman<sup>®</sup>)에 의해 측정하였다.

Fig. 5에 의하면 벚짚재의 농도에 따른 전도도 측정결과 첨가농도 12%일 때 변곡점을 나타내어 벚짚재의 CMC농도는 12%일 때 임계농도인 것으로 나타났다.

### 3.1.2. 화학적 특성

Table 10에 의하면 벚짚재의 원소조성은 C 10.9%, H 1.5%, 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 1.7ml,

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

한편 본 실험에서 사용한 벚짚재의 경우 회화이전 pH는 7.3으로 중성이었으나 회화이후 pH는 10.9로 알카리성으로 변화하여 pH변화에 따른 유류의 농도변화를 알아보기 위해 휘발점이 가장 높은 Diesel에 대해 분석하였다.

Fig. 6은 pH변화에 따른 Diesel의 제거율 변화로서 pH 6~9사이에는 제거율이 20%이하였으나 pH 10~11사이에서 초기농도의 47.3~52.3%가 감소하여 중금속의 pH 5이하에서 용출되는 것과는 달리 유류의 경우 pH 10이후 유류 제거율이 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.2. 세척력 비교실험

본 실험에서는 벚짚재추출액과 합성 계면활성제와의 세척력 비교하기 위해 Fig. 4와 같이 유리칼럼 상부에서 각 세척제를 0.05ℓ/min로 유하시킨 이후 토양내 유류의 잔량을 분석하였다.

#### 3.2.1. Gasoline

Fig. 7과 같이 Gasoline의 BTEX 초기농도는 63,128.8mg/ℓ였으며, 물의 경우 BTEX 초기농도의

Table 9. 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 <sup>2</sup> /g	1.48
Bulk density	kg/m <sup>3</sup>	0.32
Particle density	kg/m <sup>3</sup>	0.45
Critical micelle conc	%	12.00

Table 10. 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	189.2
	Ca	10.2
	Mg	4.7

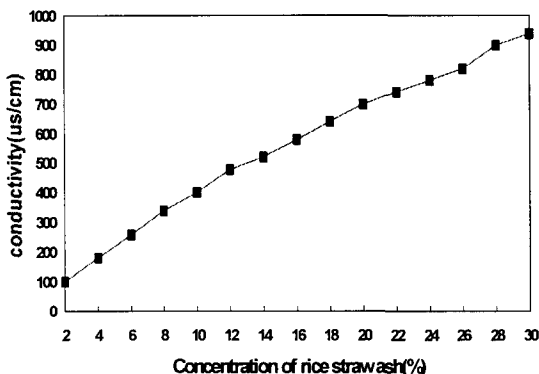


Fig. 5. Criticle micelle concentration of the rice straw ash.

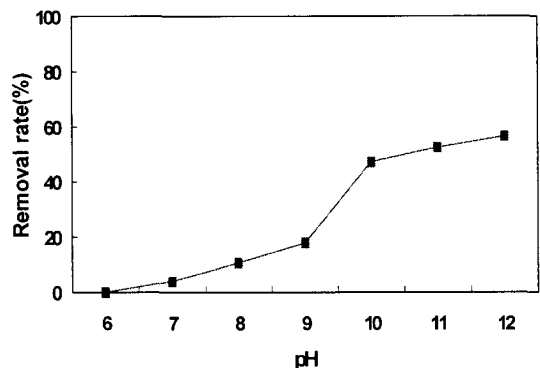


Fig. 6. Diesel removal rate by pH variation at different pH.

약 80.5% (50,837.5mg/l)가 잔류하였으며, 벚짚재 추출액의 경우 초기농도의 약 68.3% (43,086.9mg/l), TritonX-100의 경우 초기농도의 약 53.6% (33,835.5mg/l)가 잔존하여 벚짚재추출액이 합성 계면활성제보다는 세척력이 낮지만 물보다는 우수한 것으로 나타났다.

### 3.2.2. Diesel

Fig. 8과 같이 각 세척제별 Diesel의 초기농도 (458,615.5mg/l)에 대한 잔류농도를 분석한 결과 물의 경우 토양내 초기농도의 89.6% (410,975.7mg/l)가 잔류하였으며, 벚짚재추출액 75.1% (344,471.7 mg/l), TritonX-100 46.6% (213,867.6mg/l)가 잔존하는 것으로 나타났다.

또한 TPH의 주(主)피크를 구성하는 노말알칸의 C<sub>15</sub>(Pentadecane)~C<sub>18</sub>(Octadecane)을 분석하여 보면 오염토양의 초기농도에서 물의 경우 94.6%가 잔존하였으며, 벚짚재추출액 79.7%, TritonX-100 46.5%가 잔존해 전항의 Gasoline과 유사한 경향을 나타내

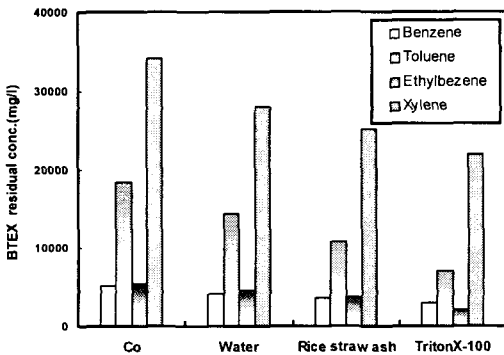


Fig. 7. BTEX residual concentration of gasoline by washing agents.

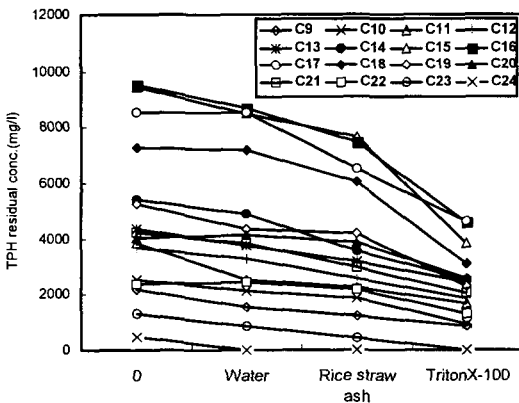


Fig. 8. TPH residual concentration of diesel by washing agents.

었다.

### 3.2.3. Kerosene

Kerosene는 Diesel보다는 분자량이 가벼워 GC분석시 운전시간 30분이전에 C<sub>9</sub>(nonane)~C<sub>20</sub>(Eicosane)이 휘발되어 GC에 분석이 된다.

Kerosene중 주피크는 Decane(C<sub>10</sub>)으로 토양의 초기농도 및 각 세척제별로 분석하여 보면 물 93.7%, 벚짚재추출액 72.4%, TritonX-100 60.7%가 잔류하여 있어 Diesel의 경우와 유사한 양상을 보였으나 세척력면에서는 합성 계면활성제(TritonX-100)과 비슷한 세척력을 보여 추후 Kerosene의 세척제 대용으로 사용할 수 있는 가능성을 보였다.

## 4. 결 론

본 연구는 현재 농촌에서 발생하는 벚짚재를 이용하여 유류로 오염된 토양을 정화하기 위한 세척제로 재사용하고자 본 실험을 행하였다. 그 실험결과로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 벚짚의 회화 전·후 물리적 변화는 벚짚 1g을 회화시킬 경우 0.14g의 벚짚재가 발생하였으며, pH의 경우 중성에서 강알칼리(pH 10.9)로 변화하였으며, 비표면적은 회화전보다 약 5배의 비표면적 증가를 보였으며, 입도분포는 회화이후 가는 (fine) 실트(0.05mm이하)의 입도를 나타내었다.
- 2) 벚짚재의 원소조성은 C 10.9%, H 1.5%, O 23.4%, N 5.2%, S 1.2%였으며, 성분분석 결과 Si 189.2ppm, Ca 10.2ppm, Mg 4.7ppm으로 나타났다.
- 3) pH변화에 따른 유류제거율 분석결과 pH 10~11 사이에서 초기농도의 약 40~50%가 제거되는 것으로 나타났다.
- 4) 세척력 비교실험 결과 벚짚재 약 20~30%, 합성

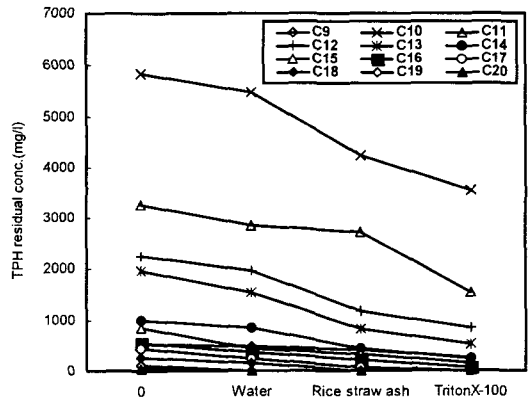


Fig. 9. TPH residual concentration of Kerosene by washing agents.

계면활성제(TritonX-100) 약 40~50%의 세척효율을 보여 추후 대체 세척제로의 가능성이 나타났다.

### 참고문헌

- 1) 환경부, 1998, 오염토양 복원기술 및 제도발전에 관한연구용역, 2차년도최종보고서, 16-17pp.
- 2) U.S. EPA, 1991, In-situ Soil Vapor Extraction Treatment, Engineering Bulletin, RREL, Cincinnati, OH,EPA/540/2-91/006, 35-41pp.
- 3) U. S. EPA, 1993, Augmented in-situ Subsurface Bioremediation Process, Bio-Rem, Inc., EPA RREL, Demonstration Bulletin, EPA/540/ MR-93/527, 23-28pp.
- 4) Sturges, S. G., Jr. P. McBeth, Jr. R. C. Pratt, 1992, Pergormance of Soil Flushing and Groundwater Extraction at the United Chrome Superfund Site, Journal of Hazardous Materials, El Savoir Pub., B.V., Amsterdam, 29, 59-78.
- 5) 국립환경연구원, 1997, 오염토양복원기술 및 제도 발전에 관한 연구, 1, 2.
- 6) Edward, D. A., R. G. Luthy and Z. Liu, 1991, Solubilization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Micellar Nonionic Surfactant Solution, ES&T, 25, 127-133.
- 7) Schwarzenbach, R. P., 1993, Gschwend, P. M. and Imboden, D. M., Environmental Organic Chemistry, John Wiley & Sons, Inc. NY. 35-41pp.
- 8) 윤현철, 1999, 계면활성제 탈착촉진법을 이용한 유기화합물로 오염된 토양의 정화, 서울대학교 토목공학과 석사학위논문, 42-49pp.
- 9) 환경부, 1995, 오염토양 정화기술 개발, 221-222pp.
- 10) 정승미, 1997, 경유로 오염된 토양의 세척정화에 관한 연구, 서울시립대학교 환경공학과 석사학위논문, 56-60pp.
- 11) 석유개발공사, 1995, 석유의 특성, 129-133pp.