

論 文

## 해양오염제거용 천연분말상 유흡착재의 흡착 특성에 관한 연구

김 인 수\* · 이 진 석\* · 김 동 근 · 고 성 정\*\*

### Adsorption Characteristics of Natural Powdered Oil Absorbent for Marine Oil Pollution

*In Soo Kim\* · Jin Seuk Lee\* · Dong Kun Kim · Sung Jung Koh\*\**

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서론

2. 재료 및 실험 방법

3. 결과 및 고찰

4. 결론

참고문헌

### Abstract

The amount of petroleum consumption has been increased according to the industrialization and it leads to the increase of the possibility of marine oil pollution. In Korea, some countermeasures including oil skimmer, gelling agent and herding agent of oil have been used for the remediation of the pollution. However, most of them have lots of shortcomings in the application under in-situ condition, because they are sensitive to the situation such as geographical feature, the wind and the tide. In reported literature, the natural powdered oil absorbent which is made of peat moss is an effective mean to clean spilled oil from lake or coast. However, the peat moss is a natural resource which is only produced from a specific cold weather area like Canada. This indicates that the alternative materials which is readily obtained from everywhere are needed for powdered oil absorbent. Therefore, in the study, some natural materials including pine leaves and straw are tested as the alternative

\* 한국해양대학교

\*\* 한국해양수산연수원

materials for the absorbent. The raw materials were dried and treated by heat at various temperature during several periods and then, shattered by a grain cracking machine. The oil sorption capacity of the prepared materials was compared according to the methods of heat treatment and their sizes. The proportion of hydrogen cyanide to combustion of the absorbents was measured to confirm their final disposal methods. The biodegradability test of the absorbents was carried out to evaluate possibility of a side pollution in the coast. It was found that the heat treatment of pine leaves enhanced the capacity of oil sorption and decreased the water sorption. The maximum oil sorption was observed for the material treated at 180°C for 60 min. The amount of hydrogen cyanide from the combustion were 0.09ml/g, 0.07ml/g for pine leaves and straw respectively, meaning that the final disposal by combustion might be feasible. The amount of organic carbon extracted from pine leaves during 7 days was up to 0.015g organic carbon from one gram of pine leaves, but the degradation was as fast as for glucose. It is concluded that the pine leaves can be served as a good raw material for the powdered oil absorbent like peat moss.

## 1. 서론

유조선 토리캐년호와 아모코카디즈호등의 침몰사고로 인해 유류의 해양오염에 대한 관심이 범세계적으로 고조되어 1978년 국제해양오염방지협약인 MARPOL 73/78 이 제정되었다[1]. 미국 연안경비대 통계에 의하면, 연간 약 300 ~ 400 만톤의 유류가 해양에 유출된다고 보고되고 있으며, 1997년부터 1999년까지 발생한 우리나라의 해양오염사고도 1,321건에 달한다[2]. 또한 1993년에 이미 석유소비규모가 세계 10위권에 진입하여 국내 석유정제 능력이 크게 신장되었고, 석유수입규모도 급격히 증가되는 추세에 있다[2,3,4]. 이러한 통계는 우리나라 연안에서 해양오염 사고가 일어날 가능성이 높음을 시사해주고 있으나, 기후, 풍향, 조류 등을 고려한 효과적이고 신속한 대처방법은 아직 미비한 실정이다.

현재 사용하고 있는 해양오염사고의 방제방법으로는 유출유의 흐름을 차단하거나 직접 흡착하는 오일 붐, 유흡착재, 유회수기등의 물리적 방법과 유처리재 등의 화학적인 방법, 탄화수소 분해균 등을 이용한 생물학적 방법이 있다[5,6]. 그러나, 유회수기의 경우, 구입가가 고가이며, 유층이 비교적 두꺼운 유군에는 적합하나, 얇은 유막 상태의 유출유에는 비경제적이고 수심과 암초 등에 의하여 작업에 제한을 받는다[7]. 유흡착재의 경우는 수거와 살포에 많은 인력을 요하고

기름과 흡착재가 약간만 떨어져 있어도 흡착이 불가능하며 폐기 처분에 대해 항상 대기오염의 위험성을 가지고 있다. 특히, 초동방제단계에서 해양에 유출된 유류를 제거하기 위해 주로 유화제를 사용하고 있으나 2차적인 수질오염을 야기시키기 때문에, 해양 생태계에 파괴를 초래할 수 있다[5].

이러한 유화제 대응으로 이미 미국, 캐나다, 호주 등지의 선진국에서는 연안과 호수에서의 유류오염방제에 천연산 이탄이끼(Peat Moss)를 이용한 분말상 기름흡착재를 일반 어민과 기름 취급자 등이 상시 보유하여 급작스런 유출사고에 간편하고 효과적으로 사용함으로써 해양환경보존에 크게 기여하고 있다. 이러한 이탄이끼는 소수성을 띄고 있어서, 기름만을 선택적으로 흡수하고, 쉽게 내어놓지 않을 뿐만 아니라 분말상이기 때문에 넓은 지역에 골고루 유포할 수 있으며, 회수가 용이한 장점을 가지고 있다. 또한, 다양한 종류의 기름을 흡수할 수 있으므로 육상에서도 폭 넓게 이용가능하며 간편하고, 환경 친화적인 특징과 저가로 구입할 수 있는 이점을 지니고 있다. 그러나, 우리나라에서는 이탄이끼가 존재하지 않기 때문에 일부만 수입하여 유통되고 있는 실정이다. 지금까지 해양오염방제를 위해 국내에서 수행된 연구는 주로 화학물질의 구조변화나 기존 방제자재의 단점을 보완한 것이 대부분이며, 초동방제단계에서 유화제 대응으로 사용할 수 있는 방안에 대한 연구는 미비한 실정이다[6].

문헌상에서 가장 좋은 유흡착제의 재질은 벚짚으로 보고하고 있으나, 벚짚은 흡수량이 높기 때문에 사용상에 문제점을 가지고 있다[2]. 또한 천연재질로서 이탄이끼와 유사하게 자체가 소수성인 낙엽 솔잎은 낮은 흡수량과 높은 흡유량을 나타내는 물질로 알려져 있다[2].

따라서 본 연구의 목적은 이탄이끼를 대신할 수 있는 재질로서 국내에서 수량이 풍부하며 쉽게 확보할 수 있는 천연산 재질인 낙엽 솔잎과 벚짚을 선정하고 그것의 기름흡착성능 및 재질의 적합성을 평가하고자 하였다.

## 2. 재료 및 실험

### 2.1 재료

본 연구에서는 여러 종류의 낙엽솔잎과 벚짚을 이용하여 유흡착제를 제조하였다. 유흡착제의 원료로 사용한 낙엽솔잎과 벚짚은 선별하여 햇빛에 말린 후, 자체 제작한 열처리장치를 통해서 열처리하고, 분쇄하여 입도 크기를 각각 150 $\mu$ m이하로 분류하여 실험에 사용하였다. 낙엽솔잎의 종류는 한국해양대학교 내에서 채취한 해송(Pinus Thunbergui)이다. 벚짚은 문헌상에서 뛰어난 흡유재질로 보고하고 있기 때문에 벚짚도 병행하여 실험하였다.[5] 입자크기의 분류는 한국공업규격(KS)에 따라 분류한 체를 사용하였다.

### 2.2 실험 장치

본 연구에서 사용한 열처리장치는 Fig. 1과 같으며, 온도조절장치와 송풍기를 설치하여 운전하였다. 열처리온도는 120 $^{\circ}$ C, 150 $^{\circ}$ C, 180 $^{\circ}$ C, 210 $^{\circ}$ C로 하였으며, 열처리시간은 30분, 60분, 90분으로 하여 열처리 한 후, 각 재질의 흡수량 및 흡유량의 변화를 관찰하였다.

### 2.3 분석 및 실험방법

#### 2.3.1 흡수량 및 흡유량 실험

본 연구에서는 낙엽솔잎과 벚짚을 이용하여 제조한 유흡착제의 흡수량과 흡유량을 평가항목으로 하여 실험하였다.

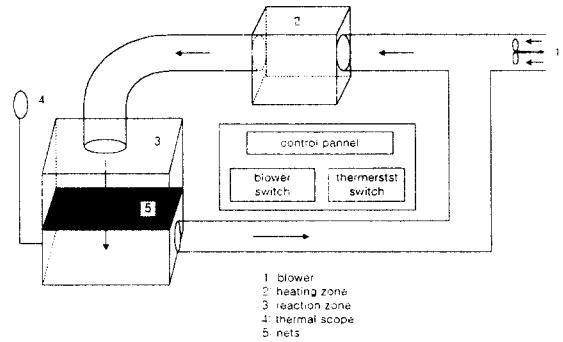


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험하였다. 실험방법은 해양경찰청 해양오염방지재·약재의 성능시험기준 및 검정기준에 근거하여 실험하였다[16]. 100 $\mu$ m 철망을 사용하여 가로, 세로, 높이를 각각 7cm $\times$  7cm $\times$  2cm의 크기로 제작한 후, 유흡착재 3g을 정확히 달아 철망 위에 투입하여 수면과 중유B 유면에 5분간 흡착시키고, 5분간 정치시킨 후, 그 무게를 측정하여 유흡착재 1g당 또는 1cm<sup>3</sup>당 흡유량 및 흡수량을 산정하였다. 철망에 잔존하는 기름의 양을 고려하기 위해 철망을 기름에 충분히 적신 뒤, 5분간 정치한 후, 그 철망의 무게를 공시험 값으로 하였으며, 다음 식에 의해 흡유량 및 흡수량을 산출하였다. 미국, 캐나다, 호주 등지에서는 흡유량을 3g/g이상, 흡수량을 1g/g이하로 규정하고 있다.

$$\text{흡유량 } g/g \text{ or } = \frac{A-B-C}{C} \quad (1)$$

여기서, A : 흡유 후의 총 중량, g  
 B : 공 시험 후의 철망의 무게, g  
 C : 유흡착제의 무게, g

$$\text{흡수량, } g/g = \frac{\alpha-\beta-\gamma}{\gamma} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$  : 흡수후의 총 중량, g  
 $\beta$  : 공시험 후의 철망의 무게, g  
 $\gamma$  : 유흡착재 무게, g

#### 2.3.2 소각 실험

본 연구에서 수행한 실험방법은 해양경찰청고시(제

1997-45호) 해양오염방지자재·약제의 성능시험기준을 근거로 하여 실험하였으며, 실험방법은 다음과 같다.

KS M 2027(원유 및 석유제품 황분시험방법)중 연소관식 시험방법에 표시되어 있는 전기로에 연소관(투명석영유리 외경27~30mm×길이 900mm)을 설치하여 그 한쪽 끝으로부터 고순도 산소를 분당 3ℓ씩 보내고, 다른 끝에 흡수액(NaOH 2%W/V)150ml를 넣은 가스채취주머니(10ℓ용)로 연소가스를 채취하였다. 이때의 연소관 온도는 800℃로 하고 기름을 함유한 유흡착재 0.2g을 연소보트(KS M 2060, 너비 약 12mm×높이 약 10mm×길이 약 80mm)에 신속히 삽입하여 연소시킨 후, 연소가스를 채취하여 그 주머니를 연소관으로부터 떼어내고 충분히 흔들어 준 후, 주머니 내의 가스를 흡수액에 흡수시켜 피리딘 피라조논법(KS M 2104 배가스 중의 시안화수소 분석방법)에 의하여 시안화수소를 정량하였다. 이때의 해양경찰청에서의 판정기준은 연소하여 시안화수소가 유흡착재 1g당 0.8ml이하로 규정하고 있으며, 시료로 선택한 재료는 가공 공정을 거친 솔잎과 벗짚을 대상으로 하였다.

### 2.3.3 용출성분의 생분해성 실험

용출성분 실험시 시료는 낙엽솔잎 200g와 증류수 20ℓ를 함께 넣고 교반기를 사용하여 7일동안 2000rpm에서 교반시킨 후, GF/C를 사용하여 여과한 액을 시료로 사용하였다. 준비된 시료를 적당히 희석하여 TOC로서 100mg/ℓ가 되도록 하고, 500ml의 양을 취한 후, MLSS 100mg/ℓ를 준비된 시료에 첨가하여 전량을 1ℓ로 하고 교반시키며 7일간 TOC를 측정하였다. 또한 활성슬러지의 활성도를 평가하기 위해, Glucose와 Aniline을 각각 TOC로서 100mg/ℓ가 되도록 제조하고, MLSS 100mg/ℓ를 Glucose와 Aniline에 첨가하여 전량을 1ℓ로 한 후, 위의 시료와 동일하게 7일간 TOC농도를 측정하였다. 동일한 조건을 유지시키기 위해 Jar-tester를 사용하였으며, 상온에서 100rpm으로 교반시키며 실험하였다. sample의 채취는 전량의 5% 이내로 하여 여과지에 걸러 TOC 농도를 측정하였다.

$$D = \frac{S_0 - S_t}{S_0} \times 100 \quad (3)$$

여기서, D : 생분해도 (%)

$S_0$  : 초기의 혼합액의 TOC 농도, mg/ℓ

$S_t$  : t일후의 혼합액의 TOC 농도, mg/ℓ

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 낙엽솔잎의 흡유량 및 흡수량 변화

열처리 한 낙엽솔잎은 150 $\mu$ m~500 $\mu$ m의 크기를 가진 해송이며, 가공온도와 반응시간에 따른 단위 중량당 흡유량의 변화와 단위 부피당 흡유량 변화를 각각 Fig. 2과 Fig. 3에 나타내었다. 가공온도 150℃와 180℃에서는 반응시간 60분까지 흡유량이 증가하고 있음을 보여주고 있는 반면에, 가공온도 210℃에서는 반응시간 30분을 기점으로 하여 흡유량이 감소하고 있는 것으로 나타났다. 가공온도 210℃와 120℃를 제외한 나머지 온도조건에서는 반응시간 30분까지 급속한 흡유량의 증가를 보였으나, 반응시간 60분에서는 점차 증가폭이 감소하고 있는 것을 보여주고 있다. 또한 가공온도 120℃와 150℃의 경우에서는, 반응시간 30분까지는 흡유량이 증가하였으나, 반응시간이 증가할수록 흡유량의 감소는 미미하였다. 그러나 그 차이가 각각 0.03g과 0.1g의 미세한 감소를 나타내고 있는 것으로 볼 때 가공온도 120℃와 150℃의 조건에서는 반응시간 30분에서 흡유량이 최대가 되며, 이와 같은 온도 조건에서 더 이상의 흡유량 증가는 어려울 것으로 판단된다. 또, 온도 조건 180℃에서는, 반응시간 60분까지 흡유량이 계속적으로 증가하고 있고, 60분에서 가장 높은 흡유량을 가지는 것으로 나타났다. 단위부피당 흡유량도 동일한 결과를 보여주고 있다. 흡수량의 변화는 가공온도와 반응시간에 따라 일정하게 감소하고 있는 것으로 나타났는데, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 반응시간 30분까지는 모든 온도조건에서 큰 폭의 흡수량 감소를 나타내고 있으며, 온도 조건 120℃를 제외한 나머지 온도조건에서는 반응시간 30분에서 흡수량이 단위 질량당 1g이하의 흡수량을 가지는 것으로 나타났다. 열처리를 하지 않은 것과 비교하였을 때, 약 3.0g/g 이상의 흡수량 감소 효과를 보이고 있다.

낙엽솔잎의 흡유량과 흡수량의 비는 Fig. 4에 나타내었다. 120℃ 이상의 온도 조건에서는 30분까지 급격한 흡유능의 증가를 보이고 있으나, 반응시간이 증가할수록 증가폭이 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 120℃ 경우, 흡유능은 낮은 기율기의 증가율을 보여주고 있으며, 다른 온도 조건과는 달리 다소 낮은 흡유능을 보이고 있다.

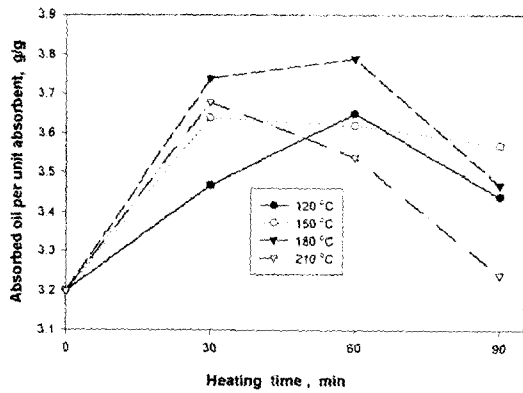


Fig. 2 Oil sorption mass from one gram of pine leaves versus heating time at various temperatures

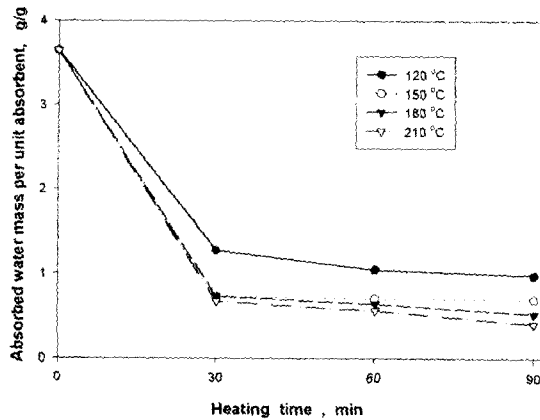


Fig. 3 Water sorption from one gram of pine leaves versus heating time at various temperatures

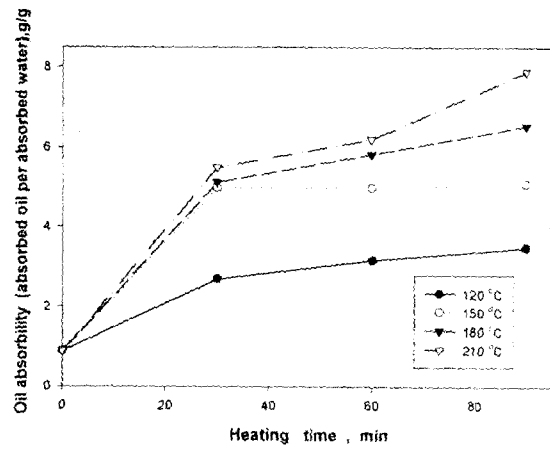


Fig. 4 Oil absorbability of pine leaves

### 3.2 벗질의 흡수량 및 흡유량 변화

흡유량과 흡수량 변화에 대한 결과는 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 먼저 단위 중량당 흡유량 변화에 대해 살펴보면, 반응시간과 가공온도를 증가시킬수록 벗질의 흡유량은 낮아지고 있는데, 120℃와 150℃ 및 180℃의 온도조건에서는 비슷한 감소량을 나타내고 있으며, 반응시간이 클수록 감소폭은 조금씩 증가함을 보여주고 있다. 가공온도 210℃의 조건에서는 반응시간에 따라 거의 일정한 기율기를 가지고 감소하고 있음을 보여주고 있고, 최종적으로 반응시간 90분에 이르러서는, 120℃에서 210℃까지 각 온도별로 흡유량이 각각 7.23g/g, 6.74g/g, 5.84g/g, 3.77g/g을 가지는 것으로 나타났다. 단위 부피당 흡유량 변화 역시 단위 중량당 흡유량과 같은 결과를 보이고 있다.

벗질에 있어서 흡수량 변화는 낙엽솔잎과는 달리 가공한 것이 하지 않은 것보다 높은 흡수량을 보이고 있으며, 선형적으로 비교적 일정한 증가율을 나타내고 있다. 210℃의 온도조건에서는 반응시간 60분을 기점으로 하여 증가폭이 급속히 증가하다가 60분 이후부터 나타난 흡수량의 증가는 미미하였다. 벗질의 재질이 이러한 흡유량 감소와 흡수량 증가를 나타내고 있는 이유는 열처리에 의해 공극의 마모가 크고, 휘발성 탄화수소 성분이 휘발되어 전반적으로 소수성보다는 친수성에 가까운 성질을 나타내고 있기 때문인 것으로

로 사료된다. 볏짚의 흡유능 변화는 흡수량 증가와 흡유량 감소로 인해 감소하였다. 그 결과를 Fig. 7에 제시하였다.

3.2 소각 실험 평가

소각실험을 수행한 결과, 솔잎성분이 0.07ml/g, 볏짚이 0.09ml/g로 매우 양호한 결과를 얻었다. 기준치 0.8 ml/g에 비해 10배정도 낮은 값을 보이는 것으로 보아 소각처분에 뛰어난 안정성을 보이고 있음으로 사료된다. 실험 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

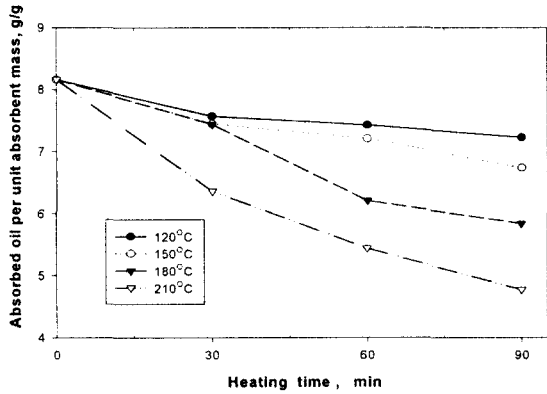


Fig. 5 Oil sorption of straw mass versus heating time at various temperatures

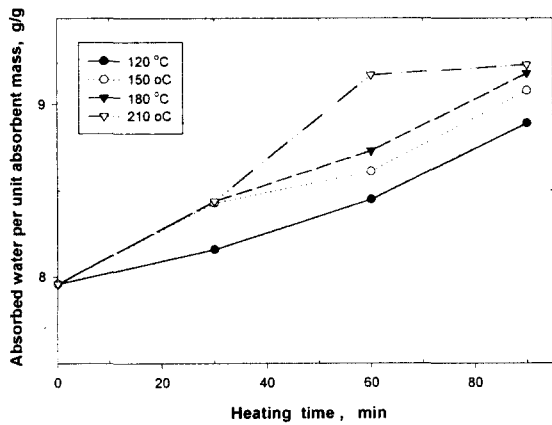


Fig. 6 Water sorption of straw mass versus heating time at various temperatures

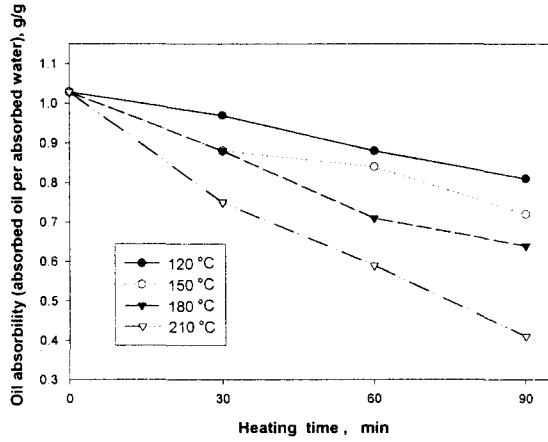


Fig. 7 Oil absorbability of straw.

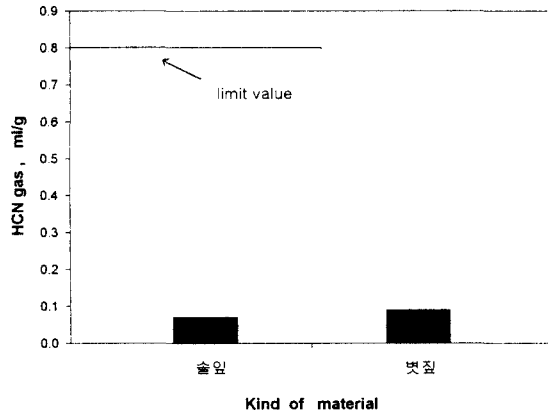


Fig. 8 Hydrogen cyanide concentration of oil-absorbents

3.3 용출성분의 생분해성 평가

3.3.1 솔잎성분의 용출 실험

시간에 따라 용출된 유기탄소 양을 측정하여 Fig. 9에 나타내었다. 낙엽솔잎의 용출량은 15시간까지 매우 빠른 속도로 증가하고 있으나, 용출시간 30시간을 기점으로 증가율이 감소하여 일정한 TOC 농도를 유지하고 있다. 이러한 결과로 볼 때, 솔잎흡착제는 30시간 이내에 대부분의 용출이 일어난다고 할 수 있으며, 그 농도는 약 150mg/l로서 솔잎흡착제 1g당 용출되는 최대유기탄소량은 0.015g/g으로 계산된다. 이것은 솔

흡착제의 약 1.5%에 해당하는 양이다. 그러나, 실제 해양에서는 여러 종의 물질이 함유되어 있어서 흡착제의 용출물질 용해도가 훨씬 낮으며, 용출을 야기시키는 혼합력 역시 훨씬 작기 때문에, 해양에 유출되는 유기탄소의 양은 극히 미량일 것으로 사료된다.

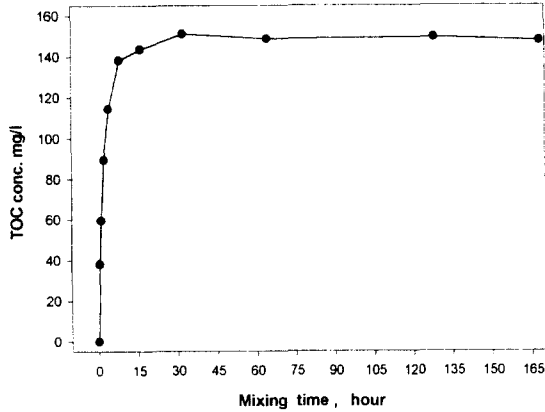


Fig. 9 Soluble TOC concentration of pine leaves

### 3.3.2 낙엽숯의 용출성분과 대조군의 분해도 평가

각 물질의 분해도는 초기반응에 의해 크게 좌우되는 경향을 보여주고 있는데, 흡착제에서 용출된 시료와 glucose 및 aniline의 분해과정을 Fig. 10에 나타내었고, 생분해율을 Fig. 11에 나타내었다. glucose와 흡착제에서 용출된 시료에서는 초기에서 10시간까지는 급속한 분해를 나타내고 있으나, 점차적으로 감소하여 40시간 이후부터는 완만한 기울기를 가지고 감소하는 결과를 보이고 있다. 10시간을 지난 후에는 조금씩 차이를 보이고 있으나, 시간이 경과할수록 그 차이는 줄어들어 거의 비슷한 분해율을 나타내고 있다. aniline의 경우는 이들보다 완만한 분해속도를 보이고 있고, 10시간까지는 비교적 빠른 속도로 분해되나, 정상상태로 되는 반응시간은 80시간인 것으로 나타났다. 이는 aniline이 이들 물질보다 독성을 가지고 있고, 난분해성 물질이기 때문에 비교적 느린 분해속도를 보이는 것으로 사료된다. 또한, 초기농도의 1/2로 분해되는데 걸리는 시간은 흡착성과 glucose가 8-9시간 정도로 동일한 수준을 보이고 있으나, aniline은 35시간 이상의 시간이 소요되고 있는 것으로 나타났

다. 낙엽숯의 초기 분해도가 glucose와 비교했을 때 거의 동일한 분해속도를 나타내고 있기 때문에 흡착성분은 glucose와 같이 쉽게 분해 가능한 물질일 것으로 사료된다. 흡착성분의 분해에 여러 가지 요인들이 있을 수 있으나, 본 실험에 있어 물리화학적인 요인에 의해 분해된 양을 무시한다고 가정하면, 흡착성분의 분해는 미생물에 의해 대부분이 분해된다고 할 수 있다. Fig. 10에서 보는 것과 같이 흡착성분은 미생물에 의해 1차 또는 2차 반응에 가까운 형태로 분해되고 있다. 1차 반응이라 가정하였을 때, 반응속도상수 k 값도 이와 동일한 결과를 나타내고 있는데, glucose

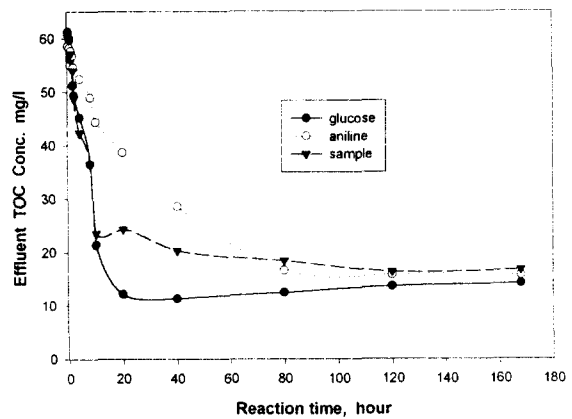


Fig. 10 TOC concentration according to time course for each chemical

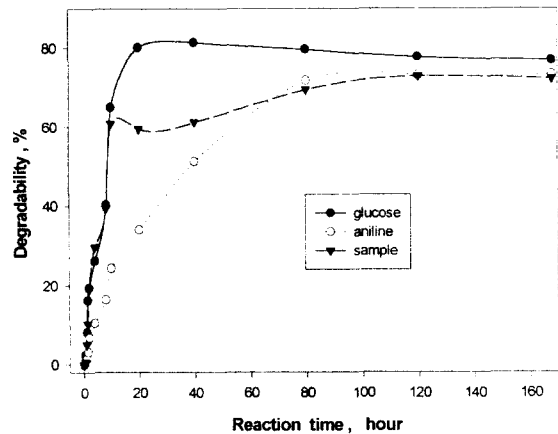


Fig. 11 Comparison of degradability of each chemical

와 솔잎성분의 반응속도상수는 약간의 차이를 보이고 있으나, 거의 비슷한 수치를 나타내고 있고, aniline과는 큰 차이를 보이고 있다. 1차 반응이라는 가정하에 본 실험에서 측정된 glucose와 솔잎성분의 반응속도상수  $k$ 값은 각각 0.0463와 0.0299로 계산되며, aniline의 경우는 반응속도상수  $k$ 값이 0.0081로 관측되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 천연산 물질인 낙엽솔잎과 벗짚을 주원료로 한 천연 분말상 유흡착제를 개발하기 위하여 흡수실험 및 흡유실험, 소각실험 및 용출성분의 생분해성 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 벗짚과 낙엽솔잎을 다양한 조건에서 열처리하여 흡수량 및 흡유량 변화를 관찰한 결과, 낙엽솔잎에 있어서 흡유량은 열처리온도와 열처리시간에 따라 증가하고 흡수량은 감소하며, 최대의 흡유량을 가지는 열처리조건은 180℃, 60분으로 나타났다. 이때 흡유량은 3.79g/g, 흡수량은 0.65g/g으로 뛰어난 흡유능을 나타내었다.

(2) 솔잎과 벗짚의 소각실험 결과, 기준치인 0.8ml/g에 비해 매우 낮은 양의 시안화수소 값을 갖고 있기 때문에 소각 처분 시, 대기오염물질을 배출하지 않는 환경 친화적인 물질로 판단되었다.

(3) 낙엽솔잎의 용출성분 생분해성 실험 결과, 낙엽솔잎의 용출물질은 반응시간 30시간 이내에 거의 대부분이 용출되고, 최대 용출 가능한 양은 낙엽솔잎 1g당 약 유기탄소(TOC) 0.015g으로 나타났으며, 초기농도의 1/2로 분해되는데 걸리는 시간이 솔잎성분과 glucose가 8-9시간 정도로 동일한 수준으로 나타나고 있는 것으로 보아 솔잎성분은 쉽게 분해 가능한 물질로 판단된다.

#### 참고문헌

[1] "1973/78 해양오염 방지협약," 해사법령편찬회, p. 51, 1985

- [2] 강창구, "국내 해양유류오염사고 현황 및 대책", 첨단환경기술, pp. 2~15, 1998. 2월호
- [3] 고성환, "유처리제 사용이 유류분해 미생물에 미치는 영향", 첨단환경기술, pp. 2~9, 1998. 9월호
- [4] "해양 유출유 사고와 대책의 제안", 첨단환경기술, pp. 10~13, 1998. 9월호
- [5] 이종화 "해양오염", 신광문화사, 1998
- [6] 최정일역, 해양오염제어론, 동화기술, pp. 15~73, 1995
- [7] Paul L. Bishop, "Marine Pollution and Its Control", McGraw-Hill Book Company, 1983
- [8] 이창섭, "해양오염의 현황과 대책", 유독화학 물질 특정 폐기물의 안전 및 관리 workshop Proceedings, pp.3-1~14, 1991
- [9] Wardly-smith, J. "The control of Oil Pollution on the sea and Inland Water", Graham and Trotman, Ltd., London, 1976
- [10] J. B. Eweis, S. J. Ergas, D. P. Y. Chang, E. D. Schroeder, "Bioremediation Principles", McGraw-Hill inc., pp. 120~136, 1998
- [11] J. M. Baker "Marine ecology and oil pollution", a division of John Willy and Sons Inc., pp. 207~287, 1976
- [12] Jerome Williams, "Introduction to Marine Pollution Control", Wiley-Interscience Pub. 1972
- [13] 임성규, "폐지를 이용한 유흡착제 제조 기술 개발", 한국자원재생공사, 1995
- [14] IMO, "Impact of oil and related chemicals on the marine environment", reports and studies, No. 50, 1993
- [15] 이용훈, "유출유 처리를 위한 고흡유성 발포 폴리우레탄과 유겔화제", 부산대학교 석사학위논문, 2000.
- [16] 해양오염방지자재·약재의 성능시험기준 및 검정기준, 해양경찰청고시 제1997-45호(1997.11.3)
- [17] Ehrhardt, M., "Photo-oxidation products of fossil fuel components in the water of Hamilton Harbour", Mar. Chem. 22:85~94, 1987
- [18] Ehrhardt, M., and G. Petrick., "On the sensitized photo-oxidation of alkylbenzenes in seawater., Mar. Chem. 15:47~58, 1987