

**수거된 해양폐기물 자원화 기술 개발(II)**  
- 어구용 폴스티로폼의 자원화를 위한 열적 감용시스템 개발 -

길상인<sup>(1)</sup>, 김석준<sup>(2)</sup>, 윤진한<sup>(2)</sup>, 강창구<sup>(3)</sup>, 유정석<sup>(3)</sup>

**Development of Resources Technique for the Marine Debris(II)**  
- Development of thermal extrusion system for the resource of waste polystyrene buoy -

by  
Sang-In Keel<sup>(1)</sup>, Seock-Joon Kim<sup>(2)</sup>, Jin-Han Yun<sup>(2)</sup>, Chang-Gu Kang<sup>(3)</sup>  
and Jeong-Seok Yu<sup>(3)</sup>

**요 약**

어구용 폴스티로폼을 자원으로 활용할 수 있도록 하기 위하여 세정과 건조공정을 도입하여 감용하는 장치를 자체 개발하였으며, 시스템을 폴스티로폼 발생 지자체에 설치하여 설비의 운전 신뢰성을 확인하였다. 굴피 및 홍합피 등의 이물질들을 완벽하게 제거하고 해수에 포함된 염분을 육상에서 발생하는 스티로폼 수준까지 낮춤으로써 어구용 폴스티로폼은 플라스틱의 원료로 탈바꿈할 수 있었으며, 종래의 처리 방법에 비해 1/10수준에 불과한 비용으로 어구용 폴스티로폼의 처리가 가능하도록 함으로써 설비의 설치나 운영에 따르는 경제성 문제를 해결하고자 하였다.

**Abstract**

By the introduction of cleaning and drying processes, thermal extrusion system for the volume reduction of used polystyrene buoys was developed. It was tested in the costal area for the determination of operational reliability. By the removal of oyster shells and cleaning of salt, waste polystyrene buoys was changed to the raw material of plastics. The lower cost of one-tenth compared with that of the outer request treatment is promising the practical use of waste buoys' volume reduction system.

Keywords: Polystyrene buoy(폴리스티렌 부표), Resource(자원), Volume reduction(감용)

---

(1) 정회원, 한국기계연구원, sikeel@kimm.re.kr  
(2) 일반회원, 한국기계연구원  
(3) 정회원, 한국해양연구원

## 1. 서 론

주로 양식장이나 바다 위에서 위치표시용으로 사용되는 어구용 페스티로폼은 해양폐기물 발생량 가운데 가장 많은 부피를 차지하고 있으나 염분과 수분 그리고 굴피와 같은 이물질의 부착으로 인하여 적절한 처리가 이루어지지 못하고 있다. 종래에는 소각이나 매립 등의 방법으로 처리가 이루어졌으나 다이옥신이나 침출수에 의한 2차 오염과 같은 환경문제가 야기되면서 처리방법을 찾지 못하고 현재는 전국의 해안에 스티로폼이 그대로 방치되어 있는 실정이다.

본 연구에서는 어구용 페스티로폼을 자원으로 활용할 수 있도록 하기 위하여 세정과 건조공정을 도입하여 감용하는 장치를 자체 개발하였으며, 시스템을 페스티로폼 발생현장에 설치하여 설비의 운전 신뢰성을 확인하였다. 굴피 및 홍합피 등의 이물질을 완벽하게 제거하고 해수에 포함된 염분을 육상에서 발생하는 스티로폼 수준까지 낮춤으로써 어구용 페스티로폼은 플라스틱의 원료로 탈바꿈할 수 있었으며, 종래의 처리 방법에 비해 1/10수준에 불과한 비용으로 어구용 페스티로폼의 처리가 가능하도록 함으로써 설비의 설치나 운영에 따르는 경제성 문제를 해결하고자 하였다.

## 2. 감용시스템

### 2.1 폐기물 발생 현황

Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)는 경남의 남해군과 고성군의 해안에 널려있는 페스티로폼을 보여주는 사진으로서 해안에 널려 있고 방치되어 있는 모습으로서 이로 인하여 환경이 오염되고 있음을 보여주고 있다. 현재 우리나라에서는 위에서 언급된 지역뿐만 아니라 양식이 이루어지는 어느 지역을 가더라도 버려진 어구용 페스티로폼 즉, 양식용 폐부자가 널려 있는 실정이다.

어구용 페스티로폼이 이제까지 처리대상에서 제외된 가장 큰 이유는 수분이 다량 함유되어 있어 그로인한 감용 불가, 이물질의 부착에 따른 처리의 어려움 및 재활용 가치의 상실 등이다. 어구용 페스티로폼의 감용시스템을 개발하기 위해서는 이러한 문제점을 우선적인 해결이 요구되었다 [1].



(a) 경남 남해군



(b) 경남 고성군

Fig. 1 Contaminated sea shore by the waste buoys

바다의 양식장에서 장시간 사용하면 Fig. 2에서와 같이 굴피 등이 부착된다. 이러한 굴피는 스티로폼의 감용을 어렵게 함은 물론 스티로폼의 활용가치를 저하시킨다. 따라서 어구용 페스티로폼의 처리공정에는 이러한 물질들의 제거 공정이 포함되어야 한다.

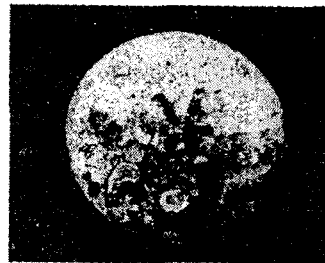


Fig. 2 Oysters adhered to the buoys

앞서 설명한 문제 이외에도 어구용 페스티로폼의 처리를 어렵게 만드는 것이 또 한 가지 있다. 단순 발포 공정에 의해 만들어져야 하는 스티로폼 어구들은 원료의 절약, 폐기물의 처리 등 불순한 목적을 위하여 Fig. 3에서와 같이 내부에 건축 폐기물, 발포불량품, 형겔 등을 넣어 만들기도 한다. 이 경우 어구용 페스티로폼의 자원화를 위해서는 수작업으로 일일이 분리하여야 한다.

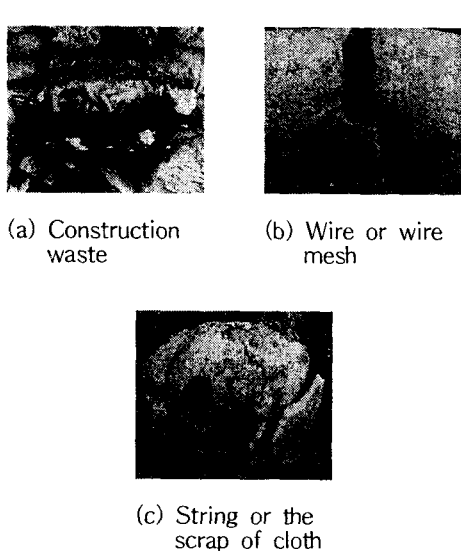


Fig. 3 Inside section of Styrofoam

## 2.2 감용시스템 구성

전자부품이나 과일류 등의 포장에 많이 사용되는 육상용 스티로폼은 훼손이 심하지 않은 경우 전량 플라스틱으로 원료화하여 사용되고 있으며 이에 관한 기술 및 기계류는 이미 개발되어 있는 상태이다[2]. 해양에서 발생하는 어구용 스티로폼의 처리를 위하여 기존의 설비에 앞서 언급한 세정 및 이물질 제거 기능을 첨가하여 시스템을 구성하였다.

첨가되거나 강화된 기능들은 파쇄 기능의 강화, 이물질 세정 기능, 탈수 및 건조 등이다.

Fig. 4는 어구용 페스티로폼의 감용을 위해 제작된 시스템을 장치의 순서에 따라 나타낸 그림으로서 투입, 파쇄, 세정, 탈수, 건조, 저장, 감용의 순서로 운전된다. 파쇄는 대형스티로폼의 2단 절단기능에 일정한 크기로 만들어 주는 전단 기능을 보강하였다. 파쇄기는 작업시 스티로폼과 더불어 철제 공구류, 돌, 목재 등이 들어와도 정상적인 운전이 가능하도록 큰 용량을 선택하였다.

파쇄된 스티로폼은 용수를 이용하여 염분을 세정하고 물 속에서 이물질을 분리, 제거하도록 되어 있다. 세정된 스티로폼과 이물질을 각기 다른 방향으로 회전하는 컨베이어에 의해 세정기 밖으로 배출된다. 염분의 효율적인 제거를 위해서는

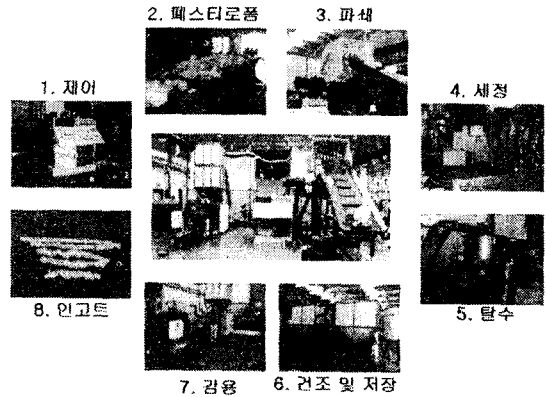


Fig. 4 Thermal extrusion system

세정수의 상태가 중요하다. 순수 스티로폼만의 무게 1톤의 어구용 페스티로폼을 세정하는 데 필요한 세정수의 양은 세정 후 물의 염분농도를 0.3%를 넘지 않는 상태에서 2톤 미만이다. 세정된 파쇄 스티로폼은 건조과정으로 넘어가게 된다. 본 설비에서는 건조의 효율성 향상을 위하여 Fig. 4의 5번에서 나타낸 바와 같이 원심탈수기를 설치하였다. 세정기에서 건조기로 이동하는 공정상에 설치된 원심탈수기에서는 스티로폼에 함유된 수분의 50%이상을 탈수시켜 건조시 소요되는 에너지를 현격하게 감소시키는 효과를 보였다. 습윤 스티로폼은 유량이  $10Nm^3/min$ 이며, 예열온도범위가  $40\sim70^\circ C$  정도인 열풍을 이용하여 건조시킨다. 대형 처리설비에서는 폐기물을 연료로 사용하여 만들어진 열풍을 활용하는 것이 좋으나 본 설비에서와 같은 중소형 시스템에서는 전기를 이용한 건조가 보다 효율적이다.

Fig. 5는 어구용 페스티로폼 감용시스템에서 스티로폼이 인고트로 만들어지는 모습을 보여주고 있으며 많은 양의 어구용 페스티로폼이 플라스틱의 재활용 원료로 저장되고 있는 모습을 보여주고 있다.

Fig. 6은 감용 전과 감용 후의 페스티로폼을 비교한 것으로서 본 설비에서는 약 60:1의 감용율을 보였다. 어구용 페스티로폼의 연간 국내 발생량은 약 3000만개에 이르고 있다. 이러한 엄청난 양의 폐기물을 대상으로 하는 어구용 페스티로폼 처리설비의 가장 중요한 필요성은 물론 환경보호에 있지만 이외에도 감용에 의한 여유 부지 활용, 수려한 해안 경관 보호, 폐기물의 손쉬운 보관 및

## 아산만과 경기만의 유기인계 잔류농약 분포

유준<sup>(1)</sup>, 양동범<sup>(1)</sup>, 김경태<sup>(1)</sup>, 이광우<sup>(2)</sup>

### Distribution of organophosphorus pesticides in Asan and Kyeonggi Bay, Korea

by

Jun Yu<sup>(1)</sup>, Dong Beom Yang<sup>(1)</sup>, Kyung Tae Kim<sup>(1)</sup> and Kwang Woo Lee<sup>(2)</sup>

#### 요 약

1999년 하계에 아산만과 경기만 해역의 유기인계 잔류농약 분포를 조사하였다. 표층해수 중 IBP는 모든 해역에서 광범위하게 분포하였다. 아산만의 표층해수 중 IBP 농도 범위는 7월과 9월에 각각 10.3-1030.1(m=339.1), ND-319.1(m=74.8)ng/L였고 경기만 표층해수 중 IBP 농도는 7월과 9월에 각각 ND-76.2(m=29.1), ND-270.3(m=46.6)ng/L였다. Diazinon, DDVP, Ethoprophos와 Chlorpyrifos는 다소 낮은 농도를 보였지만 모든 해역에서 검출되었다. 다른 유기인계 농약(Disulfoton, Parathion Methyl, Fenchlorfos, Prothiofos, EDDP)은 일반적으로 검출한계 미만이었다. 퇴적물 중에서는 Chlorpyrifos가 다른 유기인계 농약보다 널리 분포하였다. 유기인계 농약의 시공간적 분포는 각 지역에 사용되어지는 농약의 사용량과 종류에 따라 달라진다고 보여진다.

#### Abstract

To study the distribution of organophosphorus pesticides which are extensively used for agriculture in Korea. Surface sea water samples were taken from 2 coastal areas during July and September of 1999 and sediment samples were collected from Kyeonggi bay in July of 1999. These samples were analyzed using a Gas Chromatography/Nitrogen Phosphorus Detector(GC/NPD). In coastal waters of the study areas IBP was commonly found the most compound. Traces of Diazinon, DDVP, Ethoprophos and Chlorpyrifos were also encountered. Concentration of the other major organophosphorus pesticides(Disulfoton, Parathion Methyl, Fenchlorfos, Prothiofos, EDDP) were generally be below the detection limit of the employed analytical method. In sediment of the study areas Chlorpyrifos was found the most compound. Temporal and geographical distribution of individual organophosphorus pesticides is likely to be affected by types of agricultural practices in the watershed.

Keywords: Organophosphorus pesticides, Asan Bay, Kyeonggi Bay

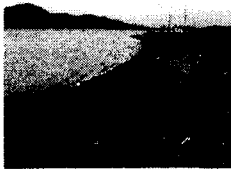
---

(1) 한국해양연구원  
(2) 한양대학교

어구용 페스티로폼이 널려 있었으나 감용기를 활용하면서 해변이 깨끗하게 정화되었다. 어구용 페스티로폼의 감용 처리는 다른 폐기물에 비하여 설비가 간단하고 비용이 적게 소요되지만 환경적 효과는 아주 빠르게 나타나는 것이 특징이다.



(a) Before



(b) After

Fig. 7 Clean sea shore after the removal of waste buoys

Table 2 Economical efficiency of the system operation

자체 감용처리	외부 의뢰처리
<p><b>[세부내역]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 설비 감가상각비 166만원/월</li> <li>- 설비비 : 120,000천원</li> <li>- 설비수명 : 6년</li> <li>▪ 전기/용수 : 50만원</li> <li>- 전기사용량:352kwh/일</li> <li>▪ 인건비 300만원</li> <li>- 인원수 : 2인</li> <li>▪ 보수유지비 : 50만원</li> <li>- 연간 600만원 보수</li> </ul> <p><b>[월간 운영비]</b> 566만원</p>	<p><b>[세부내역]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 처리단가:5만원/m<sup>3</sup></li> <li>현재 2~7만원/m<sup>3</sup>에 외부 처리가 이루어지고 있음.</li> </ul> <p><b>[월간운영비]</b> 1억415만원</p>
<p><b>[비교기준]</b> 처리량 : 월 20톤(2083m<sup>3</sup>)</p> <p><b>[비고]</b> 감용에 의해 생산된 인고트의 판매수익은 고려치 않음.</p>	

### 3. 결 론

어구용 페스티로폼의 안정적 처리를 위한 실용화 시스템 개발을 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현장에서 수집된 어구용 페스티로폼 가운데 건축 폐자재나 이물질들을 삽입한 불량부자도 상당수 확인할 수 있었다. 이러한 부자는 정상적인 부자에 비해 수명이 훨씬 짧을 뿐만 아니라(정상부자 10년, 불량부자 2년) 처리를 위해 작업자가 일일이 부수고 분리해야하는 등 시간적 경제적 손실을 야기시킨다.
- 2) 본 연구에서 개발된 어구용 페스티로폼 감용 시스템의 특징은 그 동안 대상 스티로폼의 감용을 불가능하게 하는 염분과 굴피와 같은 이물질을 효과적으로 제거한 것이다. 본 시스템에서는 파쇄 및 세정, 탈수 그리고 건조시스템의 효과적 구성에 의해 안정적으로 감용할 수 있었다.
- 3) 어구용 페스티로폼 감용시스템의 구성은 투입, 파쇄, 세정, 탈수, 건조, 저장 그리고 감용으로 이루어져 있다. 이 시스템의 운전을 제어반에 의해 자동으로 이루어지도록 함으로써 운전인력을 최소화하였다.
- 4) 세정후의 습윤 스티로폼의 건조에는 열풍건조기를 사용하였으며 열원은 전기를 이용하였다. 건조방식은 예열공기를 이용한 유동층 방식으로서 일정시간 간격(통상 20분사용)으로 건조기 내부의 스티로폼을 순환시킴으로써 건조속도를 향상시키고자 하였다. 어구용 페스티로폼의 감용을 위해서는 함수율이 10%이내가 되는 것이 안전하며 함수율이 높게 되면 수팽창(수폭발)이나 스티로폼의 재발포 등의 현상이 일어난다. 또한 감용기의 내부 온도도 스티로폼 인고트의 성형상태 유지 및 성상의 균일성을 위해 매우 중요하다.
- 5) 스티로폼 인고트 내에 잔류하는 염분량 분석 결과 육상의 경우와 비슷한 수치를 나타냈으며 재활용에 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다. 해양에서 수집되어 야적 상태로 빗물에 의해 장기간 자연 세정된 경우에도 염분 함유량은 낮게 나타났다. 그러나 바다에서 바로 건져 올린 폐부자의 경우 세정이 이루어지지

않으면 염분 농도가 0.3~3%가 되어 재활용에 장애가 될 수 있는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 개발된 어구용 페스티로폼 감용시스템은 경남 남해군에 설치되어 성능시험은 물론 현장 운전요원에 대한 교육까지 완료하였다.

## 후 기

본 연구는 “해양폐기물 종합처리시스템 개발” 연구의 일환으로 해양수산부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 강창구 외, 2002, “해양폐기물 종합처리시스템 개발(Ⅲ)”, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
- [2] 일본폐기물학회, 1998, “폐기물 핸드북”, 세화출판사
- [3] 환경부 고시, “수질오염 폐기물 공정시험방법”, 동화기술