

## 수산폐기물 전처리용 스크린기술 개발

문성배\* · 전승환† · 진강규\*\*

\*,† 한국해양대학교 항해시스템공학부 교수, \*\* 한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부 교수

### Development of Screening Technology for Marine Waste Disposal

Serng-Bae Moon\* · Seung-Hwan Jun† · Gang-Gyoo Jin\*\*

\*,† Division of Navigation System Engineering, Korea Maritime University

\*\* Division of Computer, Control and Electronic Engineering, Korea Maritime University

**요약** : 수산폐기물을 방류기준에 맞추어 효과적으로 분리 처리하기 위하여, 고형물을 함유한 폐수로부터 고체와 액체를 분리해내는 전처리 공정이 필요하다. 또한, 전처리 공정효율이 극대화될수록 후속처리공정의 처리용량향상, 처리시설 규모축소, 경비절감 등의 효과도 커진다. 이를 위해 이 논문에서는 진동형 역경사식 스크린 기술을 제안하고, 최적의 고액분리를 위해 적정 진동주파수 및 기진각을 검출하였다. 진동발생기는 스크린 몸체에 대해 일정한 각도(0°, 30°, 45°, 90°)로 각각 두었으며, 진동주파수는 진동에 의한 스크린의 손상을 고려하여 35-60Hz 범위 내에서 5Hz 단위로 가변하면서 고액분리효율을 측정하였다. 스크린 경사각은 예비실험을 통해 3°~5°로 설정하고, 여과장치는 직사각형과 정사각형 2종류로 제작하였다. 실험결과 장치의 형태와 관계없이 대체적으로 0°의 기진각과 60Hz의 진동주파수에서 우수한 여과효율이 나타났다. 그리고 여과 전후의 부유물질(SS)의 양을 비교하여 제안한 기술의 유효성을 검증하였다.

**핵심용어** : 고액분리기, 수산폐기물, 스크린, 진동, 침전물

**Abstract** : In order to effectively isolate the marine wastes with an effluent standard, the pretreatment process is required to isolate solid materials from the liquid-solid mixed wastes. The more effective the pretreatment becomes, the more processing capacity of posttreatment will be improved and process facilities will be downsized. In this paper, we suggested the vibrating reverse-slant screen, investigated the optimal vibration frequency and vibrator installation angle for the separation of the liquid-solid mixed wastes. Several experiments for separation efficiency were conducted under the condition of various vibration frequency(35~60Hz, 5Hz interval) and vibrator angle(0°, 30°, 45°, 90°) considering the crack of screen. The screen inclination angle is set up the gradient as 3°~5° through the preliminary experiments. Also, we made two types of screen(respectively rectangle and square screen). The separation device has shown the optimum efficiency at vibrator angle 0° and vibration frequency 60Hz, and has no relation with the shape of screen. And the proposed technology is verified by comparing with quantity of suspended solids before and after filtration.

**Key words** : Liquid-solid separator, Marine waste, Screen, Vibration, Sludge

## 1. 서론

수산물 가공공장, 활어 양식장, 어시장, 요식업 등으로부터 배출되는 폐수의 특징은 취급되는 수산물의 종류, 취급방법, 사료종류와 기후조건 등에 따라 그 변화가 심하다(라 등, 1998). 이러한 수산폐기물을 효과적으로 처리하여 환경을 보존하고 설치비와 운영비를 절약하려는 많은 노력들이 있어 왔으나 아직도 외국제품에 의존하는 경우가 많다. 고액분리기란 고형물을 함유한 폐수로부터 고체와 액체를 분리하는 장치로서, 수산가공폐기물, 축산분뇨 등과 같은 폐수의 효과적인 처리를 위해서는 고형물을 걸러내는 전처리 공정이 반드시 필요하다. 환경보전에 대한 국제적 인식과 규제가 엄격해지고, 국내 식수 공급원인 하천과 바다 양식장의 오염이 심각해지면서 정부는

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙을 통해 수조식 육상양식 어업시설의 경우 반드시 수질오염방지시설을 구비하도록 하였다(법제처, 2008). 그러나, 대부분의 수산물 가공업체는 규모면에서 영세성을 면치 못해 수산가공폐기물 처리에 어려움을 겪고 있으며, 일반 활어횟집에서도 수산폐기물을 수작업으로 걸러내고 나머지는 그대로 하수구로 투기해 버리는 것이 현 실정이다. 생활수준의 향상과 더불어 수산폐기물의 양은 매년 증가하고 있으며, 이것이 연안해역 오염을 가중시키고 있고 이는 적조발생의 주요 원인이 되고 있다. 수산폐기물은 재활용시 상당한 자원 재생산 효과를 가져올 수 있다. 예로서, 명란제조시 폐기되는 분란을 이용한 어묵생산, 오징어 가공폐액으로부터 천연물질인 타우린생산, 게껍질을 이용한 김치의 보

\* 대표저자 : 문성배(정회원), msbae@hhu.ac.kr 051)410-4280

\*\* 정회원, ggjin@hhu.ac.kr 051)410-4341

† 교신저자 : 전승환(중신회원), korjun@hhu.ac.kr 051)410-4245

존성증진 및 맛의 차별화, 폐기물인 멸치잔사를 이용한 미네랄 액젓제조, 굴폐각을 이용한 표면처리용 연마Media 개발, 굴껍질을 원료로 한 Bone Ash 대체물질 개발 등을 들 수 있으며 (중소기업청, 1998, 1999, 2002), 이들은 경제적인 효과뿐만 아니라 폐기물로 야기되는 환경오염 문제를 해결하는 좋은 사례라 할 수 있다. 축산분뇨의 경우 축산폐수 공동처리장에서는 축산폐수 처리시 고체와 액체 분리를 의무화하고 있으며, 분뇨의 자원화 정책이 활발히 추진되고 있다(자유민주연합 정책위원회, 2000; 홍, 1990).

폐기물처리시설은 전처리시설, 1차처리시설(화학적처리), 2차처리시설(활성슬러지처리) 및 후처리시설로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 전처리시설 중 스크린시설의 여과성능을 개선하고자 하였다. 스크린시설에 주목한 것은 가장 먼저 폐기물의 고액분리가 이루어지는 곳이며, 여기서의 분리가 제대로 되면 후공정처리시설은 크게 줄일 수 있고 슬러지의 발생량 또한 크게 감소시킬 수 있기 때문이다. 현재 수산폐기물 처리장에서 많이 활용되고 있는 스크린장치에는 경사식 고정스크린, 회전식 드럼스크린, 원심력식 스크린, 회전원판식 스크린 등의 스크린류가 주류를 이루고 있고, 농축산 폐기물의 전처리 공정에는 스크루 데칸트가 많이 이용되고 있다(나, 2000; 나 등, 2001). 이들의 여과방식은 고액분리 효율이 낮고, 빈번히 발생하는 스크린의 눈막힘 현상 때문에 분리도중에 역세척 등의 부가적인 과정이 필요하다. 눈막힘 현상을 줄이기 위하여 스크린 눈 간격을 크게 할 수도 있겠으나 이는 방류기준에 따라 제한될 수밖에 없다. Fig. 1에 현재 사용되고 있는 스크린 여과방식을 나타낸다. 이처럼 스크린에 큰 물질 또는 작은 물질이 쌓여 만들어진 덩어리가 망을 막고 있어 여과효율이 떨어진다. 이 연구에서는 전처리 장치를 자체 설계 제작하고, 실험을 통해 최적의 동작조건을 파악하고자 하였다.



Fig. 1 Screen apparatus in use

## 2. 스크린장치 설계 및 제작

장치몸체는 철과 FRP 두종류로 제작했고, 이 내부에 스크린망이 설치된다. 스크린의 눈막힘 현상을 해소하기 위하여, 스크린을 역경사식 상협하광(上狹下廣) 형태로 설계하여 스크린에 부착하는 고형물이 중력에 의해 아래 방향으로 잘 떨어지

도록 유도하였고, 스크린망에 외부진동을 가함으로써 고액분리효율을 높일 수 있도록 하였다. 이로서 역세척 등의 부가작업이 필요없으며 연속적인 처리작동이 가능하다. 분리된 고형물은 장치내의 하부에 있는 배출밸브를 통하여 배출되고, 스크린을 통해 흘러나온 액상물질은 스크린과 장치몸체 사이에서 취합되고 파이프에 의해 후처리공정장치로 배출된다. 이하 이들 구조에 대해 기술한다.

### 2.1 여과챔버 구조

철소재의 직사각형과 FRP소재의 정사각형 2종류의 역경사식 스크린(여과챔버)을 제작하였다. 이 연구에서는 두 구조의 성능을 비교하는 것이 아닌, 각각의 성능을 최대화시키기 위한 제반 요소들을 찾고자 하였다. 여과챔버 하부는 슬러지가 중앙으로 집중될 수 있도록 경사를 두었고, 중앙배출구에는 자체 제작한 슬라이딩밸브 두어 모터에 의해 개폐가 자동 또는 수동 조작되도록 하였다. Fig. 2에 내부구조를 나타낸다. 스크린은 스테인레스 재질이며, 직사각형은 #120(격자간격 0.21mm)을, 정사각형은 #150(0.17mm)을 적용하였다. 이 격자간격은 진동없이 여과작용이 어려울 정도로서, 폐기물 입사량, 장치의 여과용량 및 여과 후의 부유물질의 양 등을 고려하여 결정해야 할 요소이다. 여과챔버는 스테인레스 철판재에 직경 5mm의 원형을 일정한 간격으로 가공하고 여기에 스크린을 용접함으로써 진동발생기의 진동이 스크린 전체에 고루 전달되게 하였고, 이로 인해 진동으로 인한 스크린 파열을 방지하고자 하였다. 여과된 액상은 철판재 원형 구멍을 통해 외부로 방출되고, 이들을 유량계로 통과시킴으로써 장치의 고액분리 성능을 측정하였다.

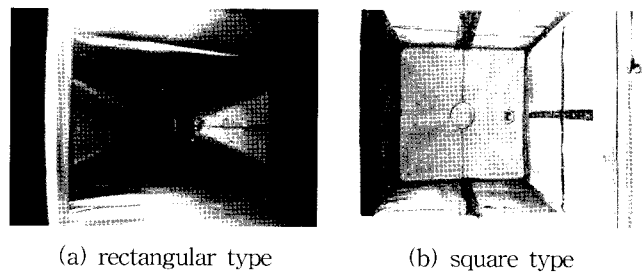
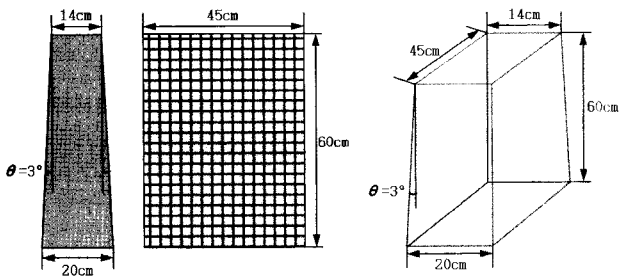


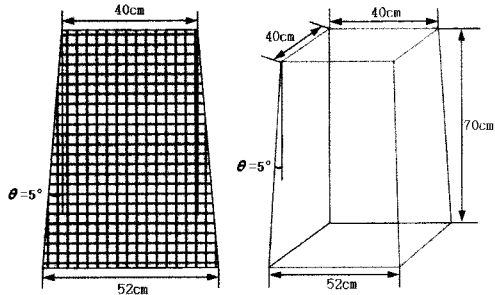
Fig. 2 Inner structures of the screen

### 2.2 역경사식 스크린 구조

예비실험에서 스크린 면에 대해 폐원수를 수직으로 밀어넣는 형태가 최대의 여과효과를 얻는 것으로 파악되었고, 이를 근거로 mesh간격, 폐원수의 주입형태 및 스크린에 대한 폐수의 입사각을 고려하여 경사각을 3°~5°로 설정하였다. Fig. 3에 스크린 구조를 나타낸다. 직사각형의 좁은 면 측은 가공없는 철판재로서 액상물질이 통과할 수 없게 되어 있다.



(a) rectangular type



(b) square type

Fig. 3 Structures of screen used in this study

### 2.3 진동발생기

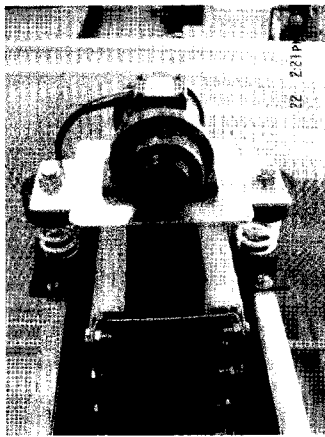


Fig. 4 Vibrator attached to the screen

진동발생기(2극과 4극, 3상, 1/8W)는 스크린 상부에 직접 부착하여 진동에너지 전달을 극대화하였고, 진동발생기와 장치 몸체 사이에는 스프링을 두어 진동전달을 가능한 억제하였다. 이는 장치몸체와 스크린이 같이 진동할 경우 진동소음이 크고, 여과효율이 떨어질 것으로 판단되기 때문이다. 진동주파수 제어는 시판되고 있는 인버터를 이용하였다. Fig. 4에 진동발생기 부착 모습을 나타낸다.

### 2.4 스크린 여과장치

상기 기술한 내용을 근거하여 제작한 스크린여과장치의 구조를 Fig. 5에, 실물을 Fig. 6에 나타낸다.

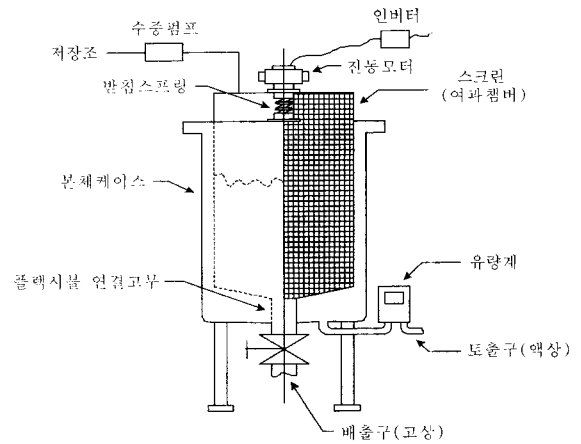
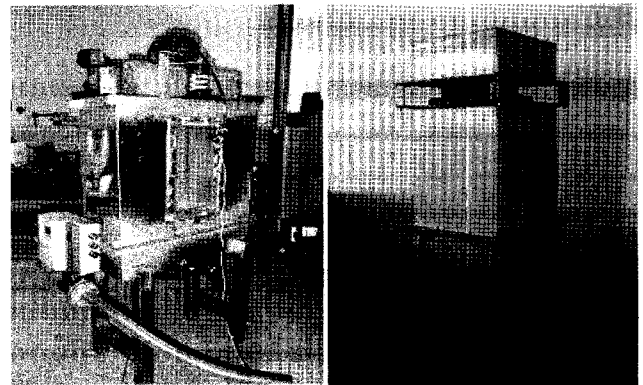


Fig. 5 Structure of manufactured screen separator



(a) Rectangular model

(b) Square model

Fig. 6 Manufactured screen separator

## 3. 실험 및 결과

이 연구에서 개발 제작한 장치의 전처리 효율은 스크린에 부착된 진동발생기의 주파수와 기진각에 따라 달라진다. 고액분리효율을 극대화할 수 있는 진동주파수와 기진각을 결정하기 위해, 주파수는 40~60Hz 범위 내에서 5Hz 간격으로 변화시켰고 기진각은 각각 0°, 30°, 45°, 90°로 변경하면서 실험을 실시하였다. Fig. 7에 진동발생기의 스크린 부착각도를 나타낸다. 실험은 제작한 2종류의 전처리장치를 이용하여 실시하였다. 스크린에서 폐원수의 고액분리가 이루어지며 고형물은 진동과 중력에 의해 스크린 하부에 슬러지로 쌓이고, 처리수는 유량계를 통해 외부로 유출된다.

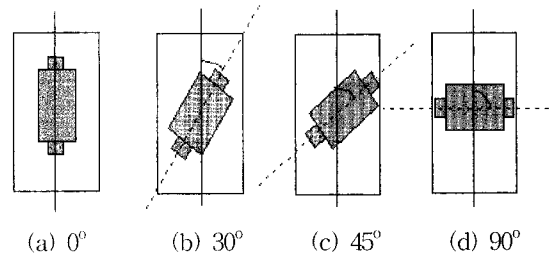


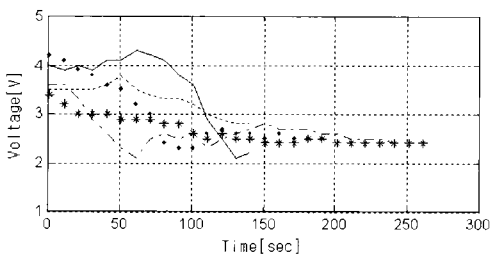
Fig. 7 Attached angle of vibrator

예비실험에서는 다시다 분말과 다양한 크기의 해태를 이용하여 폐원수를 인위적으로 만들었다. 실험은 여과챔버 45cm 높이까지 폐원수를 채운 다음 장치를 가동하기 시작해서 수위가 챔버의 35cm 높이까지 떨어지는 동안, 각각의 기진각과 진동주파수에 따라 10초 간격으로 유량계를 통과하는 처리수의 순시 유량을 측정하였다. 그러나 기진각 또는 진동주파수 별로 35cm 까지 떨어지는데 걸리는 시간에 차이가 있어 300초 동안 측정하였다. 유량계의 순시유량은 AD변환기를 통해 전압단위로 컴퓨터에 저장되도록 하였다. 실험에 사용한 폐원수는 부유밀도가 비교적 고르게 분포되어 있으며, 동일한 폐원수를 사용하여 3번 반복 실험하고 평균하여 성능을 평가하였다.

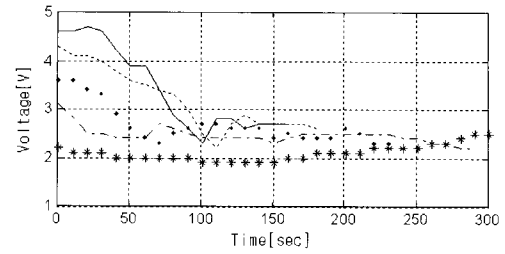
현장실험으로 어류, 어묵, 맛살류, 젓갈류 등을 생산하는 부산소재 수산식품 가공공장에서 상기와 동일한 실험을 실시하였다. 수산폐수는 약 50m<sup>3</sup> 용량의 저장조에 저장되어 있는 것을 사용하였고, 정량공급 펌프(수중펌프)로 스크린장치에 공급할 수 있도록 하였다. 이 실험의 경우 폐원수에 기름성분이 많았고, 부유 성분이나 밀도가 매 실험마다 같지 않아 3번 반복하고 평균하여 평가하였다

### 3.1 직사각형 모델을 이용한 예비실험

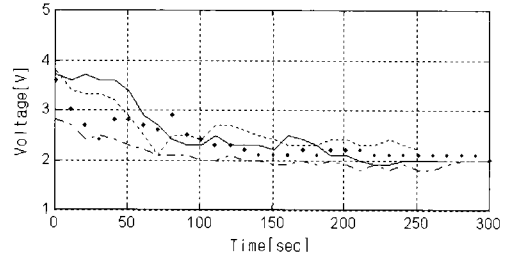
Fig. 8은 진동주파수를 40Hz, 45Hz, 50Hz, 55Hz, 60Hz로 각각 두었을 때의 고액분리 실험결과를 보여주고 있다. (a)는 기진각을 0°, (b)는 30°, (c)는 45°, (d)는 90°로 고정했을 경우의 결과이다. 가로축은 측정시간을 초단위로 표시한 것이고, 세로축은 여과수의 순시유량을 전압값으로 나타낸 것이다. 고액분리효율이 뛰어들수록 전압값은 높게 된다. 실험결과에 따르면 기진각 설정에 관계없이 진동주파수 60Hz에서 좋은 성능을 나타내고, 주파수가 낮아질수록 여과효율도 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 저주파에서 고주파로 갈수록 기진력이 세어지기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 높은 진동수는 스크린망의 파열, 진동소음과 직결되기 때문에 여과효율을 고려하여 결정할 필요가 있을 것으로 여겨진다. 그림에서 선이 도중에 끊어진 것은 300초 이내에 여과가 종료된 것을 의미하고, 여과효율이 낮은 것은 300초 동안에도 여과가 끝나지 않고 계속되고 있는 것을 나타낸다. 정확한 데이터 획득을 위해서는 매 실험마다 스크린을 깨끗이 청소한 상태에서 측정이 이루어져야 하지만 기름성분이 없었기 때문에 이 과정을 생략하였다. 또한 이(異)물질인 다시다 분말과 해태가 물질 특성상 시간이 경과함에 따라 붙어나기도 했으나, 여과효율 측정에는 그다지 영향을 미치지 않았다.



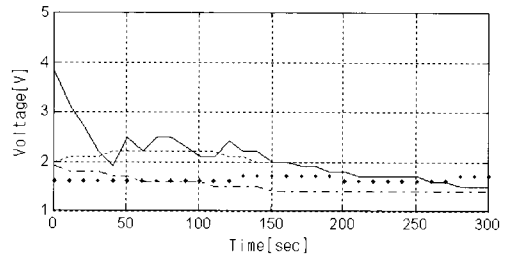
(a) 0°



(b) 30°



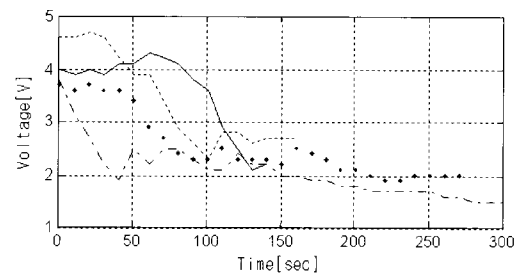
(c) 45°



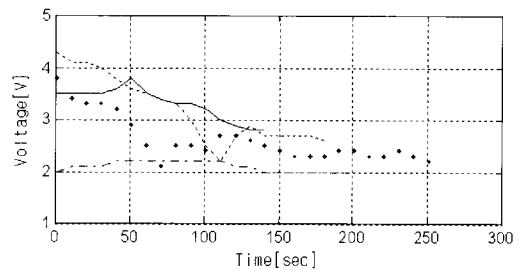
(d) 90°

Fig. 8 Comparison of solid-liquid separation efficiency by frequency and vibration angle (rectangular model)  
Freq.(Hz) 60(solid) 55(fine dot) 50(bold dot) 45(chain) 40(star)

Fig. 9는 Fig. 8의 데이터를 이용하여 기진각을 0°, 30°, 45°, 90°로 두었을 때의 각각의 주파수(60~40Hz)에 대한 실험결과를 재구성한 그래프이다. 그림에서 진동수 60Hz와 55Hz의 경우, 장치가 동작해서 50초 동안은 기진각 30°가 좋은 성능을 보여주고 있으나, 시간경과에 따르는 유량 적산량 또는 수위가 챔버의 35cm 높이까지 떨어지는 동안 걸리는 시간을 감안하면 기진각 0°가 더 우수한 성능을 지니고 있음을 알 수 있다.



(a) 60Hz



(b) 55Hz

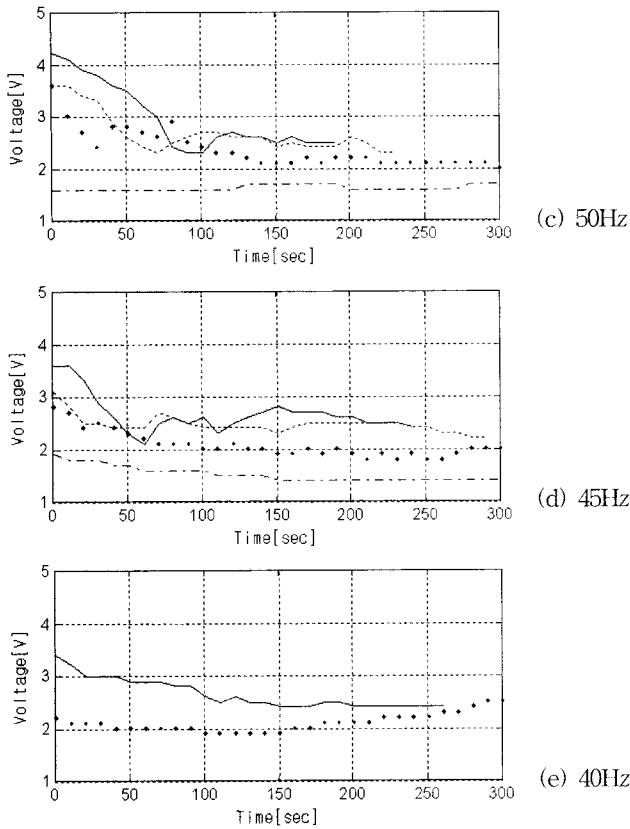


Fig. 9 Comparison of solid-liquid separation efficiency by frequency and vibration angle (rectangular model)  
Angle(°) 0(solid) 30(fine dot) 45(bold dot) 90(chain)

### 3.2 직사각형 모델을 이용한 현장실험

여과챔버의 90% 높이까지 폐원수를 채운 다음 장치를 가동하기 시작해서 200초 동안의 처리수 유량을 실시간 계측하였다. 이 실험에서는 주파수 45Hz와 55Hz, 기진각 30°에 관한 것은 생략하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 진동주파수를 40Hz, 50Hz, 60Hz 및 기진각을 0°, 45°, 90°로 변경해가면서 순시유량을 측정하는 것이다. 실험결과에 따르면 진동주파수 60Hz에서 비교적 좋은 성능을 나타낸다. 다만, 40Hz가 50Hz에 비해 성능이 좋게 나타나는 것은, 폐원수에 기름 성분이 함유되어 있었고 이것이 어떠한 형태로 여과효과에 영향을 미친 것으로 추측된다. 또한 기진각이 0°이었을 때 효율이 비교적 우수함을 확인할 수 있었다.

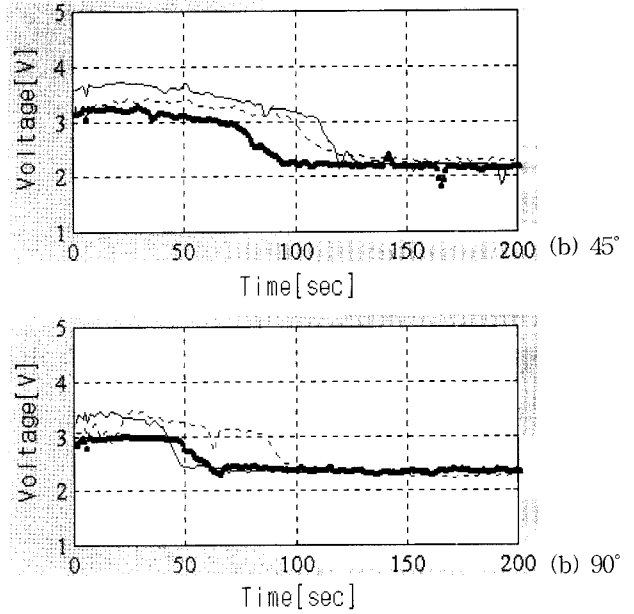
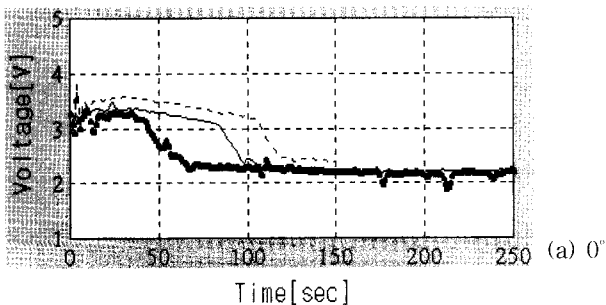


Fig. 10 Comparison of solid-liquid separation efficiency by frequency and vibration angle (rectangular model)  
60(dot) 50(bold solid) 40(fine solid)

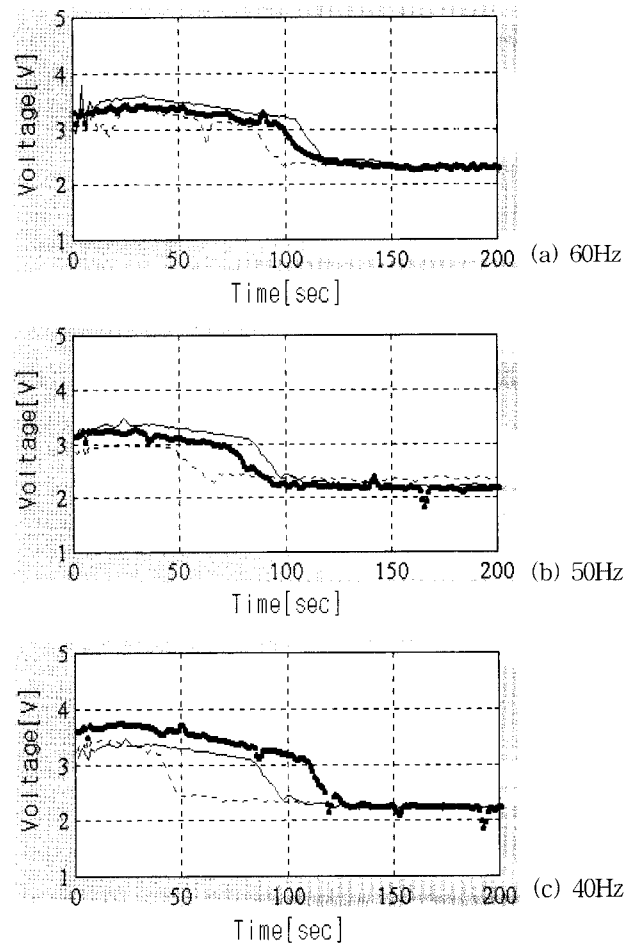


Fig. 11 Comparison of solid-liquid separation efficiency by frequency and vibration angle (rectangular model)  
Angle(°) 0(fine solid) 30(bold solid) 45(dot)

또한 원수와 처리수에 존재하는 총부유물질(Suspended solids: SS)을 분석 비교하는 실험을 병행하였다. 부유물질은 빛의 수중전달을 방해하여 식물성 플랑크톤의 광합성 작용을 방해하고, 어류의 아가미 등에 부착되어 어류의 질식을 유발하며, 부유물질 중 유기성분은 물속에 체류하면서 분해되어 수계의 용존산소(DO)를 소모시키는 작용을 일으킨다. 따라서 SS는 오염된 물의 측정에 중요하게 취급되며 특히 가정하수의 강도 측정과 하수처리 장치의 효율을 계량하는데 많이 사용된다(이 등, 2000; 오 등, 1998). 여과 전후의 부유물질의 양을 측정 비교함으로써 정량적인 분리효율을 구하고자 하였다. 분석을 위한 원수와 처리수의 시료는 각각 폐수 탱크와 처리수 파이프라인에서 채취되었다. 원수와 처리수를 각각 0.1 $\mu$ m 여과지에 걸러 여과지를 105 $^{\circ}$ C에서 건조한 후 남아있는 잔류물을 측정 한 결과는 Table 1과 같다. 전처리 후의 총부유물질(SS)은 전처리 전의 원수의 1/3로 줄었음을 확인할 수 있었다.

Table 1 Comparison of suspended solids before and after filtration. (unit : mg/  $\ell$ )

no.	before	after
1	580	240
2	440	190
3	620	220
4	670	220
average	623	218

### 3.3 정사각형 모델을 이용한 예비실험

Fig. 12는 정사각형 장치를 이용한 실험결과이다. 기진각은 0 $^{\circ}$ 와 45 $^{\circ}$  2가지로 하였다. 가로축은 진동주파수를, 세로축은 일정량의 폐원수가 여과될 때까지의 시간을 나타낸다. 고주파수로 갈수록 여과시간이 짧아 분리효율은 좋게 나타났으며, 50Hz 이상의 주파수에서 기진각 45 $^{\circ}$ 가 0 $^{\circ}$ 에 비해 분리효율이 우수하다는 것이 특이하다. 이는 4면의 정사각형 스크린 구조와 폐원수에 대한 스크린 진동각의 상관관계에서 발생하는 현상이라고 생각된다. 앞서 기술한 바와 같이 스크린 면에 대해 폐원수를 수직으로 진동시키는 형태가 최대의 여과효과를 얻기 때문에, 기진각 0 $^{\circ}$ 는 스크린 2면에 대해 최적의 효과를 얻을 수 있으나 나머지 2면에 대해서는 이와 정반대의 상황이 발생한다. 반면, 기진각 45 $^{\circ}$ 는 4면 모두에 대해 적절한 여과효과를 가질 수 있기 때문에 그림과 같은 결과가 나타난 것으로 여겨진다. 따라서 스크린장치의 형태에 의해 기진각을 설정할 필요가 있으며 가능한 직사각형이 보다 우수한 여과효율을 갖는 것으로 여겨진다. 이 부분에 대해서는 보다 정량적인 데이터가 요구되고, 장시간 진동으로 인한 스크린파열 방지대책과 함께 구체적으로 검토되어야 할 것이다. 60Hz에서의 진동소음은 65~70dB 정도였다.

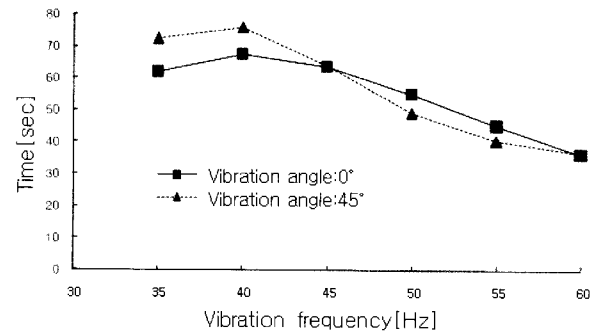


Fig. 12 Comparison of solid-liquid separation efficiency (square model)

## 4. 결론

이 연구에서는 수산폐기물 고액분리 효율향상을 위하여 진동을 이용한 역경사식 스크린기술을 제시하였다. 이를 위해 직사각형과 정사각형 2모델의 상협하광 형태의 역경사식 스크린장치를 설계, 제작하였으며, 여기에 진동발생기를 결합함으로써 고액분리 효율을 높이도록 하였다. 이렇게 함으로써 역세척 횟수를 줄일 수 있고 장시간 연속운전이 가능하다. 실험을 통해 진동주파수와 기진각에 따른 분리효율을 측정하였다. 실험은 예비실험과 현장실험으로 이루어졌다. 실험결과를 통해 진동발생장치는 스크린 몸체에 대해 0 $^{\circ}$ 로 설치하는 것이 최적임을 알 수 있었다. 진동주파수는 스크린장치의 형태와 관계없이 대체적으로 높을수록 분리효율이 뛰어났다. 스크린망을 원형과공의 철판재에 부착함으로써 진동전달효율을 향상시켰고, 진동에 의한 스크린 파손을 보호하고자 하였다. 스크린 경사각은 mesh간격, 여과용량 및 스크린에 대한 폐원수의 최적입사각 등을 고려하여 3 $^{\circ}$ ~5 $^{\circ}$ 로 설정하였다. 연구결과는 수산물가공회사, 활어회 센터, 육상양식장에서의 활어 배설물, 사료찌꺼기의 분리처리, 양식장 자체 순환수(recycle)여과 뿐만 아니라 축산분뇨처리장, 농·축산가공회사, 염색공장, 제지공장의 오폐수 처리 등에도 활용될 수 있을 것이다. 또한, 나주소재의 육상양식장에서 그 효능을 입증한 바 있으며, Fig. 13에 현장가동모습을 나타낸다.

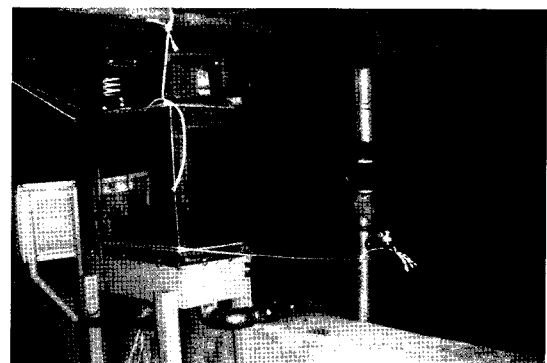


Fig. 13 Pilot test

상용화를 위하여, 다양한 종류 및 기름성 수산폐기물을 대상으로 하는 실험데이터 비교 및 스크린형태에 따른 분리효율검증이 필요하고, 아울러, 폐기물의 자동 유입·배출이 가능한 자동화장치 개발이 이어져야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 나은수 (2000), “고효율 탈수기 개발”, 환경부, pp. 20-31.
  - [2] 나은수, 권영배, 강호, 박재덕 (2001), “실규모 스크루 데칸트를 이용한 양돈폐수의 고약분리 특성”, 한국폐기물학회지, 제18권, 제4호, pp. 364-371.
  - [3] 라창식, Mavnic, D. S. (1998), “축산폐수처리 시스템의 실시간 조절”, 한국수처리기술연구회, 제6권3호, pp. 45-55.
  - [4] 법제처 자료실 (2008), <http://www.moleg.go.kr>.
  - [5] 오현주, 서인선, 신평균, 이상득, 정문조 (1998), “물고기 배설물의 생물학적 처리 및 재활용 검토”, 한국폐기물학회지, 제15권, 제4호, pp. 378-385.
  - [6] 이광호, 신기호 (2000), “하수슬러지 탈수효율 증대를 위한 최적조건”, 한국폐기물학회지, 제17권, 제2호, pp. 177-185.
  - [7] 제6차년도 산학연컨소시엄 연구초록집 (1998), 중소기업청.
  - [8] 제7차년도 산학연컨소시엄 연구초록집 (1999), 중소기업청.
  - [9] 제10차년도 산학연컨소시엄 연구초록집 (2002), 중소기업청.
  - [10] 축산분뇨자원화정책토론회 (2000), 자유민주연합정책위원회.
  - [11] 홍지형 (1990), “축산폐기물 처리와 이용” 한국폐기물학회지, 7(2), pp. 147-153.
- 
- 원고접수일 : 2008년 10월 16일  
심사완료일 : 2009년 2월 20일  
원고채택일 : 2009년 2월 25일