

수산폐기물 전처리용 스크린기술 및 자동화장치 개발

전승환*, 오진석**, 진강규***, 고성정****, 이종현*****

*한국해양대학교 항해시스템공학부 교수, **한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수,
한국해양대학교 IT공학부 교수, *한국해양수산연수원 수산교육팀 교수, *****신성테크 대표

Development of Screen Technology and Automatic Apparatus for Marine Waste Disposal

*S.H. Jun, **J.S. Oh, ***G.G. Jin(KMU), ****S.C. Ko(KIMFT), *****J.H. Lee(ShinsungTECH)

*Prof. of Korea Maritime University, Division of Navigation System Engineering

**Prof. of Korea Maritime University, Division of Mechatronics Engineering

***Prof. of Korea Maritime University, Division of Information Technology

****Prof. of Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

*****President of ShinsungTECH Corporation

요약 : 고액분리기란 고형물을 함유한 폐수로부터 고체와 액체를 분리하는 장치로서, 수산가공폐기물, 축산분뇨 등과 같은 폐수의 효과적인 처리를 위해서는 고형물을 걸러내는 전처리 공정이 반드시 필요하다. 현재 많이 활용하고 있는 고액분리장치로는 경사스크린식, 드럼스크린식 등이 있으며, 이러한 방식은 고액분리 효율이 낮고 빈번히 발생하는 스크린의 눈막힘 현상 때문에 분리도중에 역세척 등의 부가적인 과정이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 진동 고액분리장치에서의 주된 문제점인 스크린의 눈막힘 현상을 해소하고, 최적의 고액분리효율을 얻기 위한 스크린구조, 가진구조와 방법, 진동주파수설정 등을 연구하고, 마이크로프로세서를 이용한 고액분리 자동화장치를 개발하고자 하였다.

핵심용어: 고액분리기, 수산폐기물, 스크린, 진동, 침전물, 제어기

Abstract: This paper deals with an development of screen technology for marine waste disposal. The conception of inverse inclined screen is introduced. For optimal solid-liquid separation the vibration frequency, vibration angle and vibration method are inquired. And the efficiency of proposed technology and automatic apparatus is proved through the field test.

Key word: Solid-Liquid Separator, Marine Waste, Screen, Vibration, Sludge, Controller

1. 서 론

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 일련의 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. 환경보존에 대한 국제적 인식과 규제가 엄격해지고, 국내 식수 공급원인 하천과 바다 양식장의 오염이 심각해지면

서 정부는 수질환경보전법시행규칙을 통해 수조식 육상양식 어업시설의 경우 반드시 수질오염방지시설을 구비하도록 하였다. 그러나 대부분의 수산물 가공업체는 규모면에서 영세성을 면치 못해 수산가공폐기물 처리에 어려움을 호소하고 있으며, 일반 활어횟집에서도 수산폐기물을 손으로 대충 걸러내고 나머지는 그대로 하수구로 투기해 버리는 것이 현 실정이다. 생활수준의 향상과 더불어 수산폐기물의 양은 매년 증가하고 있으며, 이것이 연안해역 오염을 가중시키고 있고 이로 인해 연간 적조발생일이 늘어가고 있으며, 한번 발생한 적조는 오랜 기간 지속되고 있는 실정이다. 수산폐기물은 재활용시 상당한 자원 재생산 효과를 가져올 수 있다. 그 예로서, 명란제조시 폐기되는 분란을 이용한 어묵생산, 오징어 가공폐액으로부터 천연물질인 타우린생산, 계껍질을 이용한 김치의 보존성증진 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

*종신회원, korjun@mail.hhu.ac.kr, 051) 410-4245

**종신회원, ojs@mail.hhu.ac.kr, 051) 410-4283

***비회원, ggjin@mail.hhu.ac.kr, 051) 410-4341

****정회원, sjko@seaman.or.kr, 051) 419-7123

*****비회원, shinsung7128@yahoo.co.kr, 051) 583-7128

폐기물로 야기되는 환경오염 문제를 해결하는 좋은 사례라 할 수 있다. 또한, 축산분뇨의 경우 축산폐수 공동처리장에서는 축산폐수 처리시 고체와 액체 분리를 의무화하고 있으며, 분뇨의 자원화정책이 활발히 추진되고 있다(자유민주연합 정책위원회[2000], 홍지형[1990]).

폐기물처리시설은 전처리시설, 1차처리시설(화학적처리), 2차처리시설(활성슬러지처리) 및 후처리시설로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 전처리시설 중 스크린시설의 역과성능을 개선하고자 하였다. 스크린시설에 주목한 것은 가장 먼저 폐기물 고액분리가 이루어지는 곳이며, 여기서의 분리가 제대로 되면 후공정처리시설은 크게 줄일 수 있고 슬러지의 발생량 또한 크게 감소시킬 수 있기 때문이다. 현재 많이 활용되고 있는 스크린장치로서 경사식 고정스크린, 회전식 드럼스크린, 원심력식 스크린, 회전원판식 스크린 등이 있다. 이들의 여과방식은 고액분리 효율이 낮고, 빈번히 발생하는 스크린의 눈막힘 현상 때문에 분리도중에 역세척 등의 부가적인 과정이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 전처리 스크린 기술과 수산폐기물의 후속처리공정 자동화장치를 개발하고자 하였다.

2. 스크린장치 설계 및 제작

기존의 고액분리장치에서의 주된 문제점인 스크린의 눈막힘 현상을 해소하기 위하여, 스크린을 역경사식으로 설치하고 진동을 가함으로써 고액분리와 동시에 스크린에 붙는 고형물이 중력과 진동에 의해 자동적으로 아래 방향으로 떨어지게 하였다. 따라서 역세척 등의 부가작업이 필요없으며 연속적인 처리작동이 가능하다. 분리된 고형물은 장치내의 하부에 있는 배출밸브를 통하여 배출되고, 스크린을 통해 흘러나온 액상물 절은 스크린과 장치몸체 사이에서 취합되고 파이프에 의해 외부로 배출된다. 이하 이를 구조에 대해 기술한다.

2.1 역경사식 진동 스크린

직사각형(철)과 정사각형(FRP) 2종류의 역경사식 스크린(여과챔버)을 제작하였다. 여과챔버 하부는 슬러지가 중앙으로 집중될 수 있도록 경사를 두었고, 중앙배출구에는 슬라이딩밸브 두어 모터에 의해 개폐가 자동 또는 수동 조작되도록 하였다. 정사각형 장치의 경우에는 분리효율 향상을 위해 스크린 내부에 부(副)여과장치를 설치하였다. 스크린은 스테인레스 재질의 #150(망간격 0.17mm)과 #120(망간격 0.21mm)을 사용하였고, 여과챔버는 스텐인레스 철판재에 직경 5mm의 원형을 일정한 간격으로 파공하고 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.

2.2 스크린 경사각

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 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 로 설정하였다. Fig.1에 스크린 형태를 나타낸다.

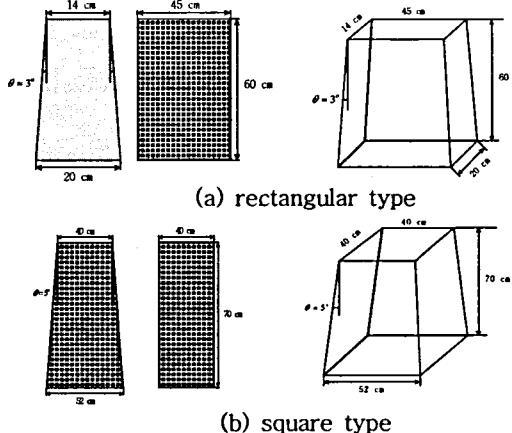


Fig.1 Screen Shape

2.3 진동발생기

진동발생기(2파4극, 3상, 1/8W)는 스크린 상부에 직접 부착하여 진동에너지 전달을 극대화하였고, 진동발생기와 장치몸체 사이에는 스프링을 두어 진동전달을 가능한 억제하였다. 진동수(기진력) 가변장치는 시판되고 있는 인버터을 이용하였으며, 0~60Hz 범위에서 진동주파수 조절하여 실험하였다.

2.4 스크린 여과장치

상기 기술한 내용을 근거하여 제작한 스크린여과장치의 구조를 Fig.2에, 실물을 Fig.3에 나타낸다.

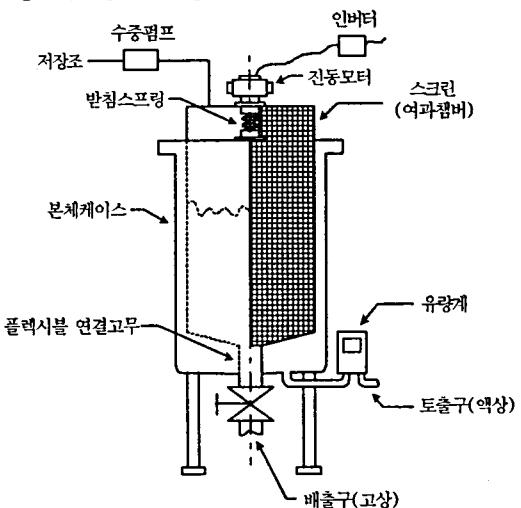
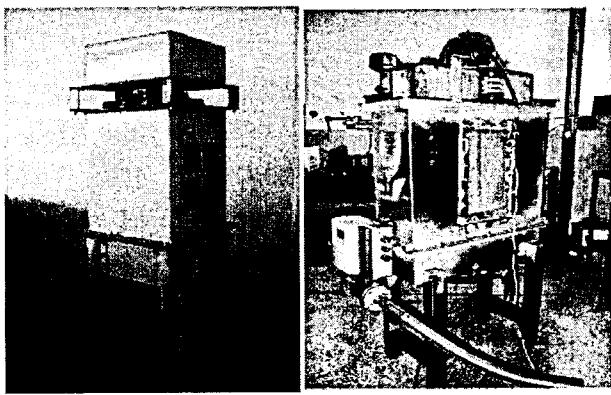


Fig.2 Structure of Screen Seperator



(a) square(FRP) model (b) rectangular(SUS) model

Fig.3 Photograph of Screen Seperator

3. 제어기 설계

스크린장치를 통해 걸러진 고형물제거의 자동화와 기진력제어를 위해 마이크로프로세서를 이용한 제어기를 설계하였다. 제어기는 기본적으로 시스템의 상태를 입력보드를 통하여 받아들여 특정신호는 A/D Converter를 거쳐 변환한 후, MPU로 각각의 데이터를 넘겨준다. MPU는 프로그램된 알고리즘에 따라 연산 처리하여 적절한 신호 값을 출력보드를 통해 내보내고 각각의 Relay를 이용하여 입·출구 측의 밸브 상태와 스크린에 고형물이 가득 차있는 경우를 감지하는 신호로 구성되어 있다. 출력 신호로는 입구 측과 출구 측의 밸브를 정·역회전 시키는 신호와 스크린의 진동을 제어하는 인버터 주파수 제어 신호로 구성되어 있다. 다음의 Fig.4는 설계된 제어기의 내부구조를 간단히 나타낸 것이다.

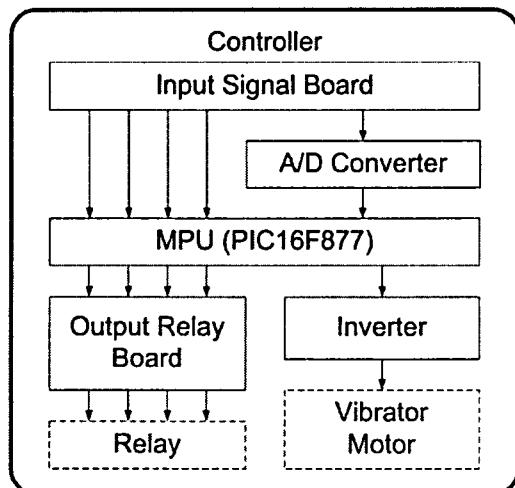


Fig.4 Schematic Diagram of Controller

제어기는 기본적으로 사용자가 설정한 주파수로서 인버터를 조정하여 진동 모터를 운전한다. 그러나 고액분리를 하는 과정 중 스크린 내부에 고형물이 차게 되면 스크린 내부에 설치된 Topside Switch가 신호를 출력하게 되고, 제어기에서는 이를 파악하여 자동적으로 배출 알고리즘을 시행하도록 하였

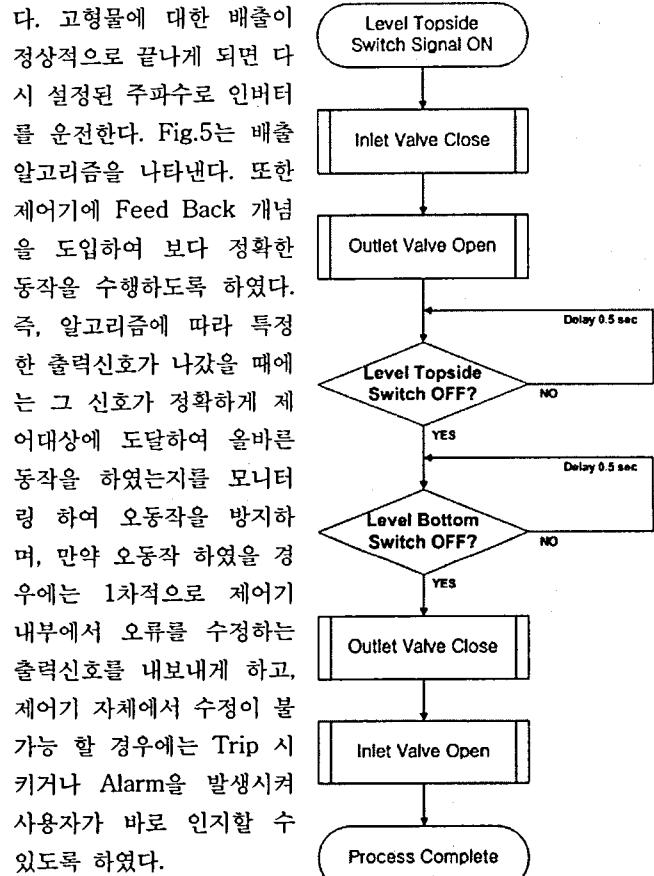


Fig.5 Discharging Algorithm

4. 실험 및 결과

고액분리효율 극대화를 위한 최적 조건을 검출하기 위하여, 진동발생기를 일정한 각도($0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$)로 두고 진동 주파수를 35~60Hz 범위 내에서 5Hz 단위로 변화시키면서 고액분리 실험을 하였다. 실험은 제작한 2종류의 전처리장치를 이용하여 예비실험과 현장실험 2가지로 나누어 실시하였다. 스크린에서 폐원수의 고액분리가 이루어지며 고형물은 진동과 중력에 의해 스크린 하부에 슬러지로 쌓이고, 처리수는 유량계를 통해 외부로 유출된다. 유량계의 순시유량 신호는 신호변환기를 통해 컴퓨터에 저장되도록 하였다. 슬러지가 일정한 높이까지 쌓이면 배출밸브를 통해 외부로 배출하도록 하였다. 진동발생기의 주파수는 인버터로 조절하고 기진방향은 진동발생기의 부착방향을 변경함으로써 조절할 수 있도록 하였다.

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 따른 여과시간을 측정하고, 아울러 10초 간격으로 유량계를 통과하는 처리수의 순시유량을 측정하였다. 이 실험은 폐원수의 부유 밀도가 비교적 고르게 분포되어 있고, 동일

한 폐원수를 사용했으며 3번 반복하고 평균하였다.

현장실험으로 어류, 어묵, 맛살류, 젓갈류 등을 생산하는 부산소재 수산식품 가공공장에서 상기와 동일한 실험을 실시하였다. 수산폐수는 약 50m³ 용량의 저장조에 저장되어 있는 것을 사용하였고, 정량공급 펌프(수중펌프)로 스크린장치에 공급할 수 있도록 하였다. 이 실험은 폐원수 부유상태가 일정하지 않아 실험의 정확도를 높이기 위하여 각각의 조건에서 3번 반복 실험하고 평균하여 성능을 평가하였다. 본 논문에서는 예비실험 분석결과에 대해 기술하기로 한다. Fig.6에 진동발 생기의 설치 각도를 나타낸다.

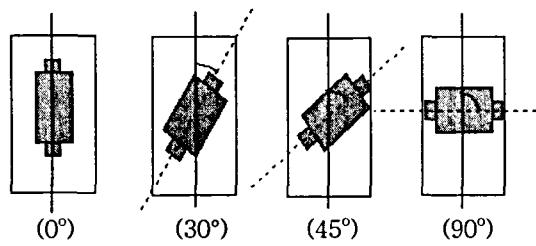


Fig.6 Angle of Vibrator

3.1 직사각형 모델을 이용한 실험

Fig.7은 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 앞서 언급했듯이 폐원수가 여과챔버 45cm 높이에서 35cm까지 떨어지는 동안 걸리는 시간을 초단위로 표시한 것이고, 세로축은 유량계를 통과하는 여과수의 전압단위 순시유량을 측정한 것이다.

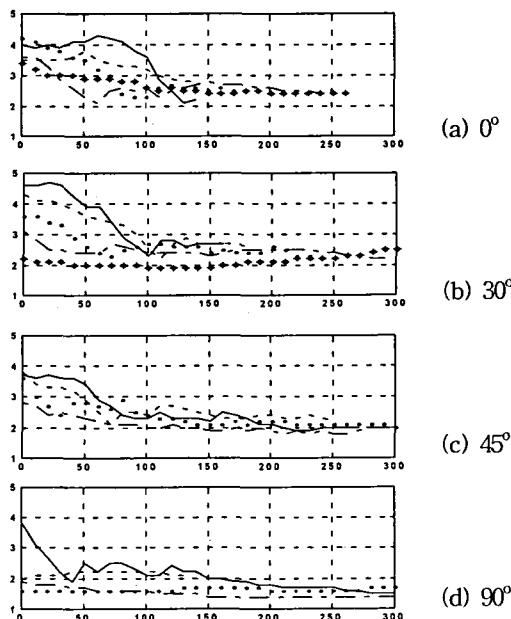


Fig.7 Comparison of Solid-Liquid Separation Efficiency
Freq.(Hz)(Line type) 60(solid) 55(fine dot) 50(bold)
dot 45(1point chain)

실험결과에 따르면 기진각 설정에 관계없이 진동주파수

60Hz에서 좋은 성능을 나타내고, 주파수가 낮아질수록 여과효과도 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 저주파에서 고주파로 갈수록 기진력이 세어지기 때문인 것으로 생각된다. 그러나, 무조건 진동수를 높이는 것 보다 여과대상물질특성, 스크린망의 파열, 진동소음, 소비전력 등을 고려하여 적절한 선에서 결정할 필요가 있을 것으로 여겨진다. 다만, 그림에서 각 주파수별 성능을 나타내는 곡선이 상호 교차되는 것은 측정오차라고 판단된다. 정확한 데이터 획득을 위해서는 매 실험마다 스크린을 깨끗이 청소한 상태에서 측정이 이루어져야 하지만 기름 성분이 없었기 때문에 이 과정을 생략하였고, 또한 이(異)물질인 다시다 분말과 해태가 물질 특성상 시간이 경과함에 따라 불어나거나 흐물해지기 때문인 것으로 생각된다.

Fig.8은 Fig.7의 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 0° 보다 좋은 성능을 보여주고 있으나, 시간 경과에 따른 유량 적산량 또는 수위가 챔버의 35cm 높이까지 떨어지는 동안 걸리는 시간을 감안하면 기진각 0°가 더 우수한 성능을 지니고 있음을 알 수 있다.

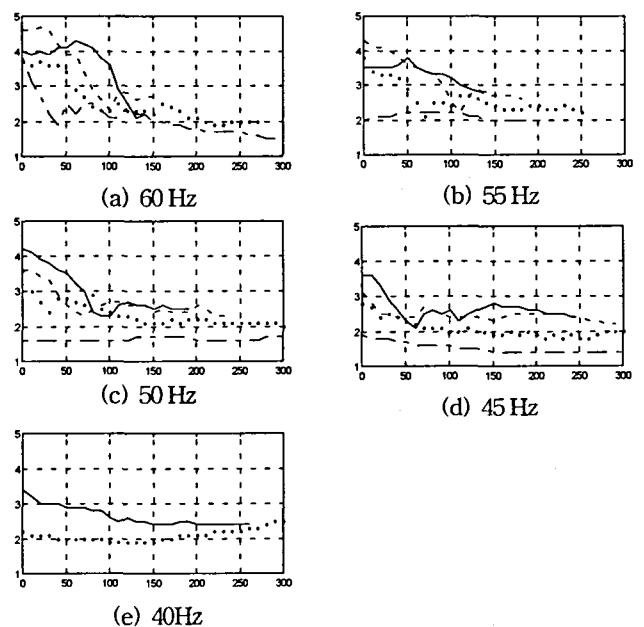


Fig.8 Comparison of Solid-Liquid Separation Efficiency
Angle(°)(Line type) 0(solid) 30(fine dot) 45(bold dot)
90(1point chain)

3.2 정사각형 모델을 이용한 실험

Fig.9는 정사각형 장치를 이용한 실험결과이다. 기진각은 0°와 45° 2가지로 하였다. 고주파수로 갈수록 분리효율은 좋게 나타났으며, 35Hz에서 조금 좋은 분리효율을 나타내는 것은 모터의 저속진동으로 장치전체가 크게 흔들리는 현상이 발생했고 이것이 분리효율에 영향을 미친 것으로 생각된다. 주목 할 점은 50Hz 이상의 주파수에서 기진각 45°가 0°에 비해 분

리효율이 뛰어나다는 것이다. 이는 4면의 정사각형 스크린 구

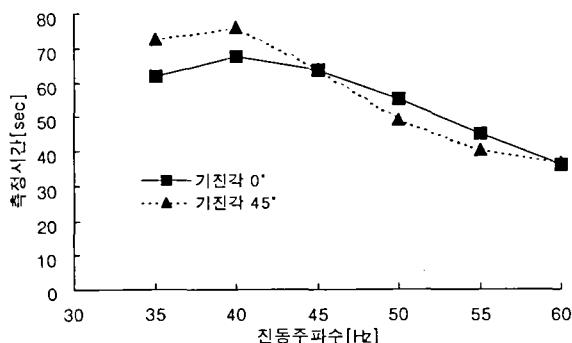


Fig.9 Comparison of Solid-Liquid Separation Efficiency

조와 폐원수에 대한 스크린 진동각의 상관관계에서 발생되는 현상이라고 생각된다. 앞서 기술한 바와 같이 스크린 면에 대해 폐원수를 수직으로 진동시키는 형태가 최대의 여과효과를 얻기 때문에, 기진각 0° 는 스크린 2면에 대해 최적의 효과를 얻을 수 있으나 나머지 2면에 대해서는 이와 정반대의 상황이 발생한다. 반면, 기진각 45° 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 판단된다. 이 부분에 대해서는 보다 정량적인 데이터가 요구되고, 장시간 진동으로 인한 스크린파열 방지책과 함께 구체적으로 검토되어야 할 것이다. 60Hz에서의 진동소음은 65~70dB 정도였다.

4. 결 론

본 연구에서는 수산폐기물 고액분리 효율향상을 위한 스크린기술을 제시하였다. 이를 위해 먼저 직사각형과 정사각형 2모델의 역경사식 진동 스크린장치를 설계, 제작하였으며 실험을 통해 진동주파수와 기진각에 따른 분리효율을 측정하였다. 기진각은 장치형태에 따라 다르나 가능한 스크린망에 대한 폐원수 입사각이 90° 가 되는 것이 최적임을 알 수 있었다. 진동주파수는 고주파가 필수로 분리효율이 우수했다. 스크린망과 원형파공의 철판재를 사용하여 진동전달효율을 향상시켰다. 또한, 진동은 여과스크린에만 전달시키고 장치몸체 사이에는 스프링을 삽입하여 진동전달을 가능한 억제하였다. 스크린 경사각은 mesh간격, 여과용량 및 스크린에 대한 폐원수의 최적입사각 등을 고려하여 $3^\circ\sim5^\circ$ 로 설정하였다.

본 연구결과물은 나주소재의 육상 장어양식장에서 그 효능을 입증한 바 있으며, 수산물가공회사, 활어회 센터, 육상양식장에서의 활어 배설물, 사료찌꺼기의 분리처리, 양식장 자체 순환수(recycle)여과 뿐만 아니라 축산분뇨처리장, 농·축산가공회사, 염색공장, 제지공장의 오픈수 처리 등에도 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 라창식, D. S. Mavinic, "축산폐수처리 시스템의 실시간 조절", 한국수처리기술연구회, 제6권3호, 1998, pp. 45-55.
- [2] 제6, 7, 10차년도 산학연 컨소시엄 연구초록집, 중소기업청, 1998, 1999, 2002
- [3] 축산분뇨 자원화 정책 토론회, 자유민주연합 정책위원회, 2000.
- [4] 홍지형, "축산폐기물 처리와 이용" 한국폐기물학회지, 7(2), 1990, pp.147~153.
- [5] 이광호, 신기호, "하수슬러지 탈수효율 증대를 위한 최적조건" 한국폐기물학회지, 제17권, 제2호, pp.177-185, 2000
- [6] 조병락 외 7명, "폐수처리시설 설계 및 유지관리" 동화기연, 2000
- [7] 홍지형 외 3명, "축산폐기물 자원화" 동화기연, 1999
- [8] B. D. Bedford, "Principles of Inverter Circuits", 1964
- [9] ALBERT PAUL MALVINO, DONALD P. LEACH, "Digital Principles and Applications", Fourth Edition
- [10] Hansen and H. Haveman, "DESIGN OF SNUBBER CIRCUITS FOR A TRANSISTOR-INVERTER USING A MINIMUM NUMBER OF COMPONENTS", IFAC Control in Power Electronics and Electrical Drives, Lausanne, Switzerland, pp.165-171, 1983
- [11] Dr. M. Lockwood and A. M. Fox, "A Novel High Power Transistor Inverter", IPEC-TOKYO, pp.637-648, 1983