

해양 오염 방지를 위한 양식장용 소각 처리 시스템

오승원*, 한민수**, 최해욱**

요약

본 연구는 해상 환경의 화장실에 설치 가능한 소각 처리 시스템을 제안한다. 해상 기인 오염의 가장 큰 원인 중 하나는 사람의 생활 오수이다. 해상 활동이 증가함에 따라 오수를 위생적으로 처리하는 문제가 중요시되고 있으며 특히 노로바이러스의 경우 그 감염경로가 사람의 대소변으로 밝혀지면서 바닷가에서의 화장실 오수 처리에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 그러므로 화장실 오수의 멸균 처리를 위한 소각 처리 시스템이 필요하다. 제안된 시스템은 소각 효율을 극대화시키기 위해서 상향식 소각로와 회전식 소각로의 장점을 접목한 복합형 소각로를 사용한다. 또한, 연소되지 않는 쇠구슬을 넣어서 오염물의 조립화 현상과 표면경화 현상을 방지하여 소각을 촉진시킨다. 개발된 시스템은 사용자의 편의성을 고려하여 기본적인 조작으로 동작하고 시스템 상태 표시 기능을 제공한다. 실험 결과는 제안된 시스템의 소각 효율성을 검증하고 소량의 잔류물은 시스템을 장시간 사용할 수 있음을 보여준다.

Incineration System for prevention of marine pollution in aquaculture

Seung-Won Oh*, Min-Soo Hahn** and Hae-Wook Choi**

ABSTRACT

This paper presents a novel incineration system to be placed in a toilet available in marine environments. Wastewater from the toilet is one of the biggest causes of marine pollution. In order to protect ocean resources, the sanitation of the raw sewage is required. Therefore, a incineration system for sterilization of human waste is needed. The proposed system uses a new incinerator which is a combination of ascensional and rotary devices in order to maximize incineration efficiency. Also, the system uses a non-flammable iron bead in order to prevent the waste from coarsening and hardening. The bead can increase incineration efficiency. The experimental results show the effectiveness of the proposed system.

Key Words : incineration, toilet, aquaculture, fish farming, sterilization

* KAIST 정보통신공학과(✉swoh@kaist.ac.kr)

** KAIST 전자공학과

· 제1저자(First Author) : 오승원 · 교신저자(Correspondent Author) : 최해욱
· 접수일(2012년 11월 12일), 수정일(1차 : 2013년 1월 28일), 게재확정일(2013년 2월 18일)

1. 서 론

사람들이 여가 생활을 즐기는 방법이 다양해지면서 해양 관련 취미 활동들이 크게 증가하였고, 어업 활동의 증가와 양식장의 활성화로 연안의 활용도가 높아지고 있다. 최근 해상 활동들이 증가함에 따라 해양 오염 문제는 중요한 이슈로 부각되고 있다 [2]. 해상기인 오염의 가장 큰 원인 중 하나는 사람의 생활오수이다. 생활 오수는 각종 병원성 세균으로 오염되어 있어 전염병 전파의 주요한 원인으로 인식되고 있다. 예를 들면, 해양 오염 중 큰 피해가 발생하는 부영양화 현상이나 해양 생물을 통해 사람에게 전파되는 질병 중 일부는 생활 오수가 무단 투기되어 생긴다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 미국 식의약청은 바닷가에 생활 오수가 무단으로 투기될 경우 해당 바다에서 생산되는 수산물의 수입을 금지하고 있어 오수처리에 관한 문제는 우리나라 수산물의 대미 수출에 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 사람에게만 질병을 유발하는 노로바이러스의 경우 그 감염경로가 사람의 대소변으로 밝혀지면서 바닷가에서 화장실 오수 처리에 대한 관심이 매우 높아지고 있다 [3]. 그러므로 해상 양식장에 설치된 화장실에서 사용 가능한 멸균 처리 장치가 필요하다.

대소변의 멸균 처리는 해상 환경에 설치되는 화장실에서 가장 중요한 이슈 중 하나이다. 기존의 연안에서 낚시나 기타 어로 작업을 하는 소형 선박에 설치된 화장실은 화장실의 밑 부분을 바다로 통하게 하여 화장실 오수가 그대로 바다로 투기되는 구조로 되어있는데 이는 전염성 세균이나 바이러스에 의한 2차 오염을 유발시킨다. 그러므로 이에 대한 멸균 처리가 반드시 필요하다 [4].

일반적인 화장실 오수처리 방식을 보면 가정에서 수세식 변기를 이용하여 흘려보낸 오수는 주변에 설치된 정화조에 유입되고 액상의 오염원은 하수관로를 통해 하수종말처리장으로 보내진다. 고형의 오염원은

일정주기로 수거하여 하수처리장으로 이송된다. 하수처리장에서는 이를 멸균처리 후 해양 방류한다. 이처럼 대단위 처리는 법적 처리기준을 지켜서 처리가 가능하나 소량 또는 대용량 처리시설이 없는 지역 또는 임시가설 장소에서는 다음과 같은 처리방법들을 사용한다.

오수처리방식에는 대단위 종말처리시설 이외에 발효시켜 비료 등으로 재활용하는 방법, 효모 균주 등을 이용하여 물과 이산화탄소로 변환하여 소멸시키는 방법, 화학약품을 이용하여 멸균 후 방류하는 방법, 분뇨를 태워서 없애는 방법이 있다. <표 1>은 오수처리 방식들의 장단점 및 특성을 나타낸다 [5].

표 1. 화장실 오수처리 방식
Table 1. Treatment method of wastewater from a toilet

항목	종말처리	발효	소멸	화학처리	소각
처리 용량	대용량	중용량	소용량	중용량	소용량
장치 규모	대규모	중규모	소규모	중규모	소규모
관리기술 난이도	매우 높음	매우 높음	중간	매우 높음	낮음
이동성	불가	불가	전기 공급필요	불가	용이
주에너지원	전기	전기 및 균주	전기 및 균주	화학약품	가스 또는 기름
사용주기	지속사용 필요	지속사용 필요	지속사용 필요	필요시 사용	필요시 사용
2차 오염	슬러지 발생	액상오염물 잔류	CO ₂	슬러지 발생	소각가스 발생
멸균 정도	하수기준 처리	멸균 불가	멸균 불가	멸균	완전멸균 가능
장점	대용량 처리가능	비료로 재활용	기타오염물처리	저비용	잔류물 없음
단점	소량처리 불가	오염물 잔류	균주관리 필요	전문기술 필요	고열보일러사용

여러 가지 처리 방식 중에서 설치 용이성과 사용 편의성의 관점에서 해상 환경에서 사용하기에 적합한

방법은 소각 방식이다. 그러므로 본 연구는 화장실 오수의 평균 처리를 위해 소각 방식을 활용한 방법을 제안한다.

해양 환경에서 간이 화장실을 설치하기 위해서는 다음과 같은 조건들을 충족시켜야 한다. 첫째, 수리 및 유지보수가 용이하지 않기 때문에 내구성이 높아야 한다. 그러므로 시스템의 구조가 단순해야 한다. 둘째, 장기적으로 사용할 수 있도록 저장되는 잔류물의 양을 최소화해야 한다. 마지막으로, 효율적인 평균 처리가 필요하다. 그러므로 이러한 요구 사항들을 만족시키기 위해 새로운 복합형 소각로를 개발하고 이를 적용한 소각 처리 시스템을 제안한다.

본론에서 소각 처리 기술과 이를 화장실에 적용한 시스템에 대해서 설명하고 제안된 시스템의 실험 결과를 제시한다. 그리고 결론으로 마무리할 것이다.

II. 본 론

2.1 소각 처리 기술

오염물의 소각은 화염을 이용하여 태우는 것으로 처리비용이 오염물의 발생량과 비례하며 소형의 소각로로 처리가 가능하므로 소형 화장실에 가장 적합한 방식이다. 소각 방법은 연소 방법에 따라 다양한 방법들이 존재한다 [1]. 첫째, 상연소식은 소각로의 바닥에 직접 소각 대상물을 올려놓고 연소시키는 방식이다. 둘째, 회전식은 소각로를 회전시키는 방식으로 피소각물의 교반효과가 아주 우수하기 때문에 건조효과가 대단히 좋고 착화, 연소하기 쉬운 것이 특징이다. 셋째, 화격자식은 로 내부에 고정된 또는 구동하는 화격자를 설치하고 그 화격자 위에서 피소각물을 연소시키는 방식이다. 넷째, 유동상식은 규사 등 불활성 입자층의 아랫부분에서 압력을 가해 연소공기를 분산공급하고 불활성 입자를 유동시켜 층 내를 일정한 온도로 유지하면서 그 안에서 소각 대상물을 연소시켜 재로

만드는 방식이다. 다섯째, 분무식은 Atomizer에 의해 폐액을 미세한 액적으로 만들어 소각로 내부로 분사하고 내부에서 복사, 대류 전열, 증발 가스화를 촉진시켜 연소속도, 연소효율을 높이는 연소방법이다. 여섯째, 부유연소는 톱밥 등 입자가 작은 폐기물을 소각로 내의 상부로 부터 공급해 연소실 중에 떠다니며 건조, 연소 및 재로 만드는 방식이다. 마지막으로 건류가스화식은 폐기물을 열분해하여 연료를 회수하는 공정에서 파생된 기술이다.

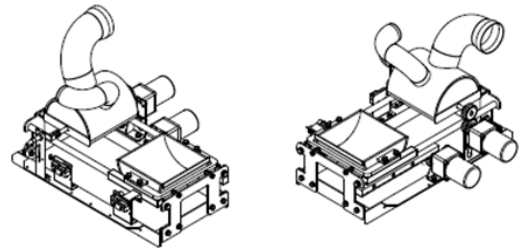


그림 1. 복합형 소각로
Fig 1. Hybrid Incinerator

본 연구에서 <그림 1> 과 같은 상향식 소각로와 회전식 소각로의 장점을 접목한 복합형 소각로를 제안한다. 이 방법은 소각 시 악취 발생이 적고 사용 연료의 양을 최소화할 수 있다. 복합형 소각로는 소각 그릇이 상하로 결합되는 구조이며 상부 소각 그릇에 화염 및 배기장치가 연결되어 있다. 하부 소각 그릇은 변좌 하단과 소각로 사이를 이동하면서 오염물을 운반한다. 오염원을 별도로 분리하지 않고 소각 위치까지 이동시키기 때문에 주변의 오염을 막고 구조를 단순화할 수 있다. 이동 방법은 소각 그릇의 측면에 평 기어를 설치하고 평 기어에 맞물린 원형 기어가 회전할 때 생기는 평 기어의 선형운동을 이용한다. 소각 효율을 극대화하기 위해서 연소되지 않는 쇠구슬을 넣어서 오염물의 조립화 현상과 표면경화 현상을 방지하여 소각을 촉진시킨다. 약 200g의 오염물을 5분간 소각시키

는데 LPG 가스 0.05m³가 사용된다.

2.2 소각 처리 시스템

제안된 복합형 소각로를 적용하여 손쉬운 조작으로 고형 오염물의 소각 및 액상 오염물의 멸균이 가능한 기존 가정용 좌식변기의 형태와 유사한 형태의 소각 처리 시스템을 제작하였다. <그림 2> 는 제안된 시스템의 구성을 보여준다.

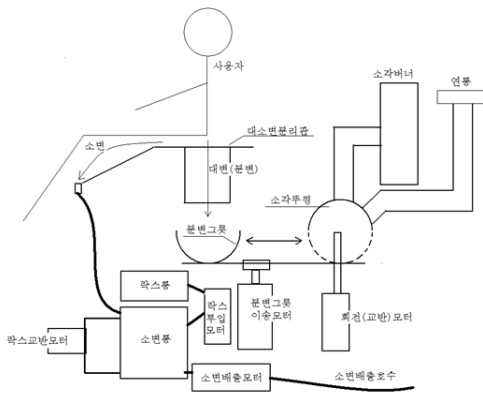


그림 2. 소각 처리 시스템 구성도
Fig. 2. Incineration system diagram

대소변분리관을 통해 분리되어 액상 오염물은 소변통에서 멸균 처리되어 배출되고 고형 오염물을 담고 있는 하부 소각 그릇은 소각을 위해 소각 위치로 이동한다. 소각 시작 버튼을 누르면 소각을 시작하기 위해 배기 팬을 작동시키고 소각 버너의 점화를 시작한다. 정상적인 소각이 시작되고 1분 후 회전을 시작한다. 이 때 발생하는 연기는 상단에 연결된 연통으로 배출되며 오염물의 소각이 원활하도록 회전 모터에 의해 소각 그릇이 회전하게 된다. 소각 그릇에 넣어 둔 쇠구슬은 표면경화 현상을 방지하고 소각을 촉진시켜 소각의 효율을 높여준다. 5분 후 소각을 종료하고 하부 소각 그릇을 원 위치로 이동시킨다. 5분 후 배기 팬이 정지되면 소각 처리 과정은 종료된다. 전체적인 소각 절차는 <그림 3> 과 같다. <그림 4> 는 소각 처리 시스

템의 설계 도면이다.



그림 3. 소각 처리 절차
Fig. 3. Incineration procedure

표 2. 소각 처리 시스템 기능
Table 2. Incineration system functionality

기능	설 명
소각	소각 버튼을 1회 누르면 자동으로 소각 실시
소각취소	소각 중 소각을 중지시킴
추가소각	소각 실시 후 소각이 불완전할 때 추가 소각 실시
소각시간선택	절약/일반 버튼으로 소각 시간 선택
청소	변과 청소할 때 사용, 하부 소각 그릇이 소각 위치로 이동

시스템의 상단부에는 시스템의 기본 기능을 제어하기 위한 다섯 가지 버튼을 포함한다. <표 2> 에서처럼, 기본 기능은 소각, 소각취소, 추가소각, 소각시간선택, 청소와 같은 기능들로 구성된다.

사용자에게 시스템의 상태 정보를 알려주기 위해서 제안된 시스템은 일곱 가지 상태를 구분하여 LED 램프로 이를 표시한다. 일반적으로 시스템이 정상 동작을 하고 있을 때에는 '사용가능' 상태를 표시하는 LED 램프가 점등된다. 그리고 소각이 시작되면 '사용가능'

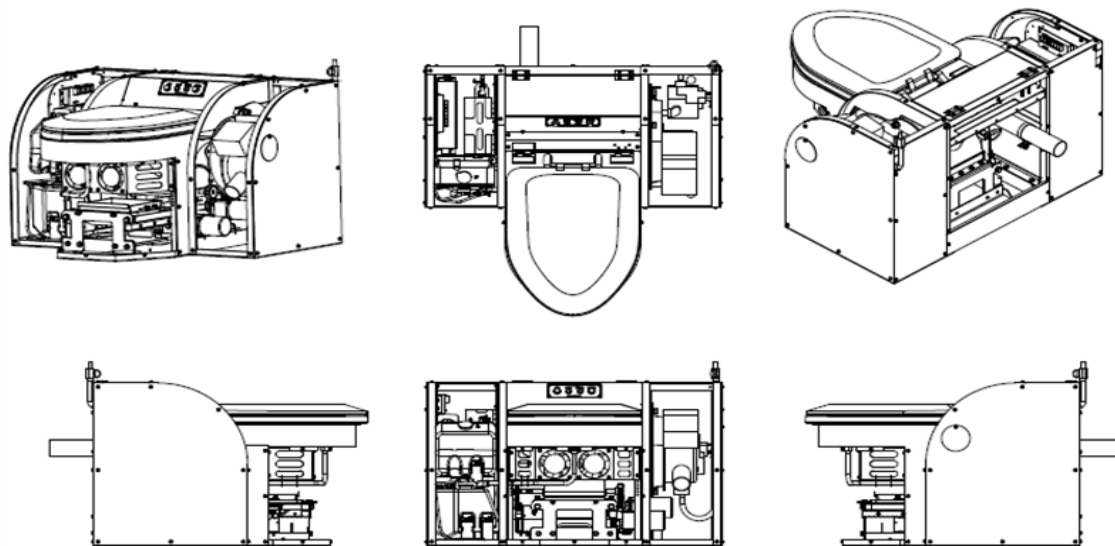


그림 4. 소각 처리 시스템 설계도
Fig. 4. Blueprint of incineration system

램프가 꺼지고 '소각중' 램프가 켜진다. <표 3>과 <표4>는 시스템 상태와 사양에 대한 설명을 보여준다.

표 3. 소각 처리 시스템 상태 표시
Table 3. Incineration system status display

상태 표시	설 명
사용가능	시스템이 사용 가능할 때 점등
소각중	소각하는 동안 점등
소각불가	시스템의 이상 또는 LPG 가스 부족 등으로 소각 처리를 할 수 없을 때 점등
멸균불가	액상 오염원 처리 부분 이상시 점등
락스보충	락스 잔량이 200ml 미만일 때 점등
배터리낮음	배터리 잔류 용량이 소각 가능 횟수 5회 미만일 때 점등
A/S 신청	자가 진단 기능으로 시스템의 이상시 점등

표 4. 소각 처리 시스템 사양
Table 4. Incineration system specification

항목	사 양
무게	70 kg
크기	420mm(높이) 800mm(폭) 75mm(깊이)
에너지원	가정용 LPG DC 12V (태양전지 배터리 충전 사용)

2.3 실험 및 결과

<그림 5>는 소각 처리 시스템의 실제 완성된 모습이며, 제안된 시스템을 사용하여 실제 고형 오염물의 소각 처리 성능 실험을 진행하였다. 소각 그릇의 용량과 오염물의 양의 차이에 따른 소각 처리 결과를 확인하기 위하여 3 가지 다른 소각 그릇(2L, 1L, 0.6L)을 사용하여 5 가지 다른 오염물의 양에 대해서 소각 실험을 진행하였다.



그림 5. 소각 처리 시스템
Fig. 5. Incineration system

<그림 6> 은 소각 그릇의 용량 때문에 실험하지 못한 3 가지의 경우를 제외한 12 가지 실험의 결과를 보여준다. 소각 완료 시간은 소각 그릇의 크기에 따라 차이가 나타나는데, 이것은 소각 그릇의 축열 온도가 높아지기 때문이다. 그러므로 소각 그릇이 작을수록 소각 효율이 높지만 한 번에 처리 가능한 용량의 크기를 제한한다. 효율성은 다소 떨어지지만, 그 차이가 크지 않기 때문에 기존 변기의 크기와 해상 환경의 조건을 고려하여 해상 환경에서 사용하기에 소각 그릇의 크기는 2L 가 적합하다고 판단된다.

해상 환경에서 제안된 시스템을 장시간 사용하기 위해서는 반복된 소각에 의한 남은 잔류물의 양도 중요한 요소이기 때문에 3회 연속 소각 후 잔류물의 양을 측정하였다. 실험 결과는 <표 5> 와 같다. 고형 오염물을 반복하여 소각할수록 남은 잔류물의 양은 점점 줄어들었다. 그러므로 해상 환경에서 남은 재를 보관하기 위한 별도의 장치 없이 제안된 소각 처리 시스템을 사용할 수 있다.

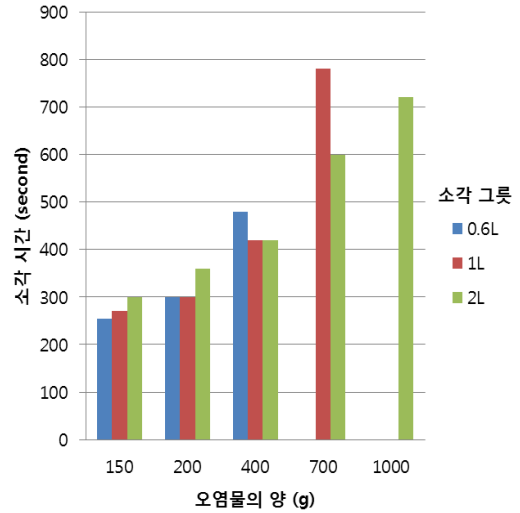


그림 6. 소각 처리 시스템의 실험 결과
Fig. 6. Experiment results of incineration system

표 5. 잔류물 측정 결과
Table 5. Residue measurement result

반복 횟수	오염물 + 잔류물	소각시간	남은 잔류물
1	210g + 0g	5분	12g
2	180g + 12g	5분	4.7g
3	205g + 4.7g	5분	11g

III. 결 론

본 연구에서는 양식장에서 간이 화장실로 사용될 수 있는 소각 처리 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 상향식 소각로와 회전식 소각로의 장점을 접목한 복합형 소각로를 사용하여 고형 오염물을 소각 처리한다. 그리고 소각 효율을 높이기 위해서 쇄구슬을 사용하여 표면경화 현상을 방지하고 소각을 촉진시켰

다. 그러므로 비교적 악취도 적을 뿐만 아니라, 멸균 처리된 소량의 재만을 보관함으로써 장시간 사용이 용이하다. 실험 결과를 통해 제안된 시스템의 소각 성능을 검증하였지만, 향후 실제 해상 환경에서의 실험을 통해 안정성을 확인하고 실제 환경에서 발생하는 문제점을 찾아 해결해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 소각시설, "http://www.kiwaa.com".
- [2] K.S. Kim, "The Present State of Domestic Acceptance of Various International Conventions for the Prevention of Marine Pollution", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 12, No. 4, pp. 293 - 300, 2006.
- [3] T.M. Straub, K.H. Bentrup, P. Orosz-Coghlan, A. Dohnalkova, B.K. Mayer, R.A. Bartholomew, C.O. Valdez, C.J. Bruckner-Lea, C.P. Gerba, M. Abbaszadegan and C.A. Nickerson, "In Vitro Cell Culture Infectivity Assay for Human Noroviruses", Emerg. Infect. Dis., 13 (3), 396-403, 2007.
- [4] S.W. Oh, M.S. Hahn, H.W. Choi, "Energy self-sufficient electrolysis apparatus for sterilization of portable toilet in small vessels", Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, Vol. 48, No. 3, pp. 269 - 276, 2012.
- [5] P.S. Malchesky, "Sterilization apparatus utilizing catholyte and anolyte solutions produced by electrolysis of water", US Patent, 1999.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부(해상기인 오염원 처리 기술 개발)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

저자소개



오승원(Seungwon-Won Oh)

2007년 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)
2009년 KAIST 정보통신학과 (공학 석사)

2009년~현재 KAIST 정보통신학과 박사과정
※ 관심분야: 임베디드시스템, 이동로봇, 디지털미디어



한민수(Min-Soo Hahn)

1979년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 서울대학교 전자공학과 (공학 석사)
1989년 Electrical and Electronics engineering, University of Florida, USA (공학박사)

1982년~1985년 : 한국표준과학연구원
1990년~1997년 : 한국전자통신연구원
1998년~현재 : KAIST 전자과 교수
※ 관심분야: 음성 신호 처리, 음성 합성, 디지털미디어



최해욱(Hae-Wook Choi)

1973년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1980년 Electronics engineering, National Polytechnic Institute of Grenoble, France (공학석사)
1984년 Electronics engineering, National Polytechnic Institute of Grenoble, France (공학박사)

1984년~1997년 : 한국전자통신연구원
1998년~현재 : KAIST 전자과 교수
※ 관심분야: VLSI