



A Study on Fermentation-Extinction Approach for Prevention of Marine Pollution in Aquaculture

Seung-Won Oh¹, Min-Soo Hahn², Hae-Wook Choi²

¹*Department of Information & Communications Engineering, KAIST*

²*Department of Electrical Engineering, KAIST*

ABSTRACT

The aquaculture industry expansion causes serious environmental contamination such as wastewater, human feces, and dead fishes. This paper presents a fermentation extinction approach to eliminate pollutions in aquaculture. The proposed approach can dissipate human feces and dead fishes with microbes. Because the approach is environment-friendly, the secondary pollutants are not caused. In order to utilize the approach, we implement a new stirring apparatus which can control speed and cycle. It is the most important to prepare an environment that makes microbes active during the fermentation extinction process. The newly developed system can maintain the optimal conditions for the fermentation extinction such as temperature, humidity, and oxygen density. Therefore, the system can decompose a large amount of pollutants efficiently. The experimental results show the effectiveness of the proposed system.

© 2014 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Aquaculture, Fish farming, Fermentation, Extinction, Pollution

ARTICLE INFO : Received 20 January 2014, Revised 7 February 2014, Accepted 14 February 2014.

1. 서론

전 세계적으로 식량 문제를 해결하는데 있어서

양식 산업의 중요성은 점차 커지고 있다. 특히 환경파괴와 남획으로 바다자원이 고갈되면서 수산물 양식 산업에 대한 관심은 더욱 부각되고 있다 [1, 2]. 그러나 최근 양식장에서 발생하는 오염원으로 인한 문제가 심각해지고 있다 [3]. 사람의 생활 오수는 각종 병원성 세균으로 오염되어 있어 전염병 전파의 주요한 원인으로 인식되고 있으며 [4], 미국

*Corresponding author is with the Department of Electrical Engineering, KAIST, Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-701, KOREA.

E-mail address: hwchoinew@kaist.ac.kr

식의약청은 바닷가에 생활 오수가 무단으로 투기 될 경우 해당 바다에서 생산되는 수산물의 수입을 금지하고 있다. 그러므로 양식장 발생 오염원에 대한 미흡한 처리는 수산업 글로벌 경쟁력 및 국가 신용도에 악영향을 끼칠 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 발효 소멸 방식을 활용한 해상 양식장 발생 오염원 처리 방법을 제안한다. 관련 연구로는 미생물을 활용하여 음식물 쓰레기를 소멸시키려는 연구가 있었다 [5].

해상 양식장에서 발생하는 오염원은 사람의 생활 오수, 화장실 오수, 그리고 폐사어체로 나눌 수 있다. 생활 오수는 발생량이 많기 때문에 별도의 정화 장치를 통한 처리가 불가피하다. 그러나 고품질의 오염원을 포함하는 화장실 오수나 폐사어체를 처리하기 위해서는 추가적인 오염원 제거 장치가 필요하다. 원칙적으로는 이러한 오염원들을 육상으로 가져와서 처리를 해야만 한다. 그러나 수거방식에 따른 현실적인 많은 어려움 때문에 오염원을 처리하는 것이 문제가 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 멸균 처리와 소각 처리 방식을 활용하여 해상에서 바로 오염원을 처리하려는 시도가 있었다 [6-9]. 소각 방식은 뛰어난 소각 효율을 보이지만, 소각 과정에서 생기는 가스 및 악취로 인한 문제가 있으며 안전에도 주의해야 한다.

그러므로 본 연구에서는 미생물을 활용한 자연 친화적인 방식을 제안하고 효율적인 발효 소멸 처리를 위해 온도, 습도, 이산화탄소농도 측정이 가능한 교반장치를 활용한 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 발효 소멸 처리 장치에 대해서 설명하고 제안된 시스템의 실험 결과를 제시하며, 마지막으로 3 장에서 결론을 기술한다.

2. 발효 소멸 처리 장치 및 방법

2.1 발효 소멸 원리

미생물의 증식과 자기산화에 의해 무기물을 제외한 대부분의 물질은 열의 발생과 함께 물과 이산화탄소로 변화되며 색 구조가 파괴되어 탈색된다. <그림 1>은 미생물에 의한 발효 소멸 원리를 나타낸다.

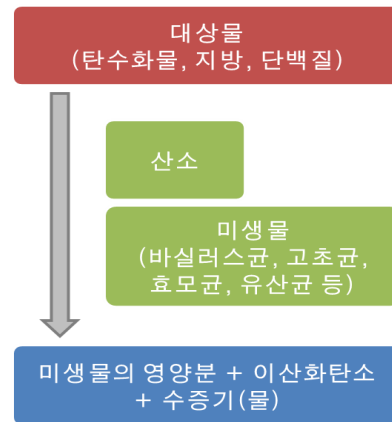


그림 1. 발효 소멸 원리
Figure 1. Fermentation-extinction principle

본 연구에서는 발효 소멸 처리에 사용 가능한 다양한 균들 중에서 구입과 배양조건이 비교적 쉬운 바실러스균을 사용한다. 이 균은 일반적으로 호기성을 띠며 통기성의 성격을 가지고 주변 산소량에 따라 활동한다.

발효를 위해 사용 가능한 기체는 발효의 목적이나 대상물에 따라 선택이 다양하다. 기체는 균의 적절한 발효 조건을 효율적으로 유지하는 역할을 하는 것으로 수분 및 공기 함유율이 높고 가벼우며 쉽게 파손되지 않는 재료를 사용해야 한다. 수분 함량이 매우 높거나 대상물 자체가 액상인 경우에는 물을 기체로 사용하며 주기적으로 산소 공급 및 교반을 위한 강제 폭기를 실시한다. 일반적으로 사용 가능한 기체로는 톱밥, 나무칩, 왕겨, 제

오라이트 등이 있다. 본 연구에서는 비교적 가격이 저렴하고 구입이 용이할 뿐만 아니라 재료의 고갈 염려가 없으며 교반 작업시 파손이 적고 무게가 가벼워 교반 에너지 소모가 적은 왕겨를 기제로써 선정하였다. 왕겨는 벼나 보리 밀 등의 곡물을 탈곡 후 얻어지는 것으로 구조상 공기 저장량이 높고 표면이 매우 질기고 거칠어 교반에 의한 파손이 적고 발효 대상물의 표면을 쉽게 파손하여 발효균의 침투를 용이하게 한다.

실험을 위해 음성군농업기술센터로부터 바실러스균, 효모균, 고초균, 유산균을 지원받아서 사용하였다 [4].

2.2 발효 소멸 처리 장치

미생물을 활용한 발효 소멸 처리 과정에서 가장 중요한 것은 온도, 습도, 산소 농도와 같은 발효 환경을 적극적으로 유지시켜 주는 것이다. 바실러스균의 경우 고호기성이기 때문에 공기 함유량이 높을수록 효율적이며 습도는 60% 그리고 온도는 35℃ ~ 45℃ 가 적합하다. 그러므로 본 연구에서는 <그림 2> 와 같은 구성을 가진 발효 소멸 처리를 위한 교반 장치를 제안한다.



그림 2. 발효 소멸 장치 구성도
Figure 2. Fermentation-extinction system diagram

먼저, 교반 기능은 기체와 기체에 흡착된 미생물을 소멸 대상물에 부착시키며 기체의 유동으로 교반기 상부의 유동 공기를 기체가 함유하도록 하여 미생물의 발효 소멸 작용에 필요한 산소를 공급하기 위해 필요하다. 사전 실험 결과를 통해 교반은 정 방향 및 역 방향을 교차하여 실시하는 것이 효율적이고 교반 시간은 전체 소멸 소요 시간의 약 30% 정도가 적합하다는 것을 확인하였다. 교반은 1 회당 2 분간 진행하며 모터의 회전속도는 6rpm ~ 10rpm 이다.

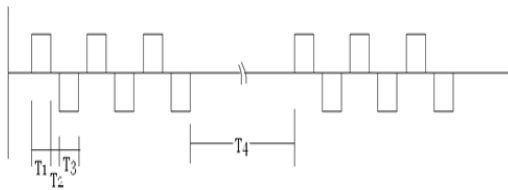
다음은 보온, 가열 및 온도 측정 기능이다. 보온은 특히 동절기에 중요한 역할을 한다. 온도가 낮아도 일부 발효 소멸이 가능하지만 신속한 발효 소멸을 위해서는 균의 활동이 왕성해지는 온도를 유지하는 것이 필수적이다. 사용된 바실러스균의 경우 35℃ ~ 45℃ 의 온도에서 매우 왕성하게 증식된다. 바실러스균의 활동이 왕성해지면 열이 발생하는데 최고 60℃ 까지 상승한다. 여기에서 특히 주의해야 할 점은 온도가 70℃ 이상이 되면 바실러스균의 사멸이 시작되므로 교반, 환기 등으로 교반기 내부 및 기체의 온도를 낮추어 주어야 한다. 이를 위해 교반기 표면 온도 및 내부 온도 측정은 반드시 필요하며 기체의 온도 또한 측정해야 한다.

그리고 습도 유지 및 측정 기능이다. 발효 소멸 과정에서 온도와 더불어 매우 중요한 조건이 습도이다. 그러나 습도 유지는 쉽지 않다. 기체에 함유된 수분이 장치 상단의 공기 주입 및 배출을 위한 공기의 유동으로 계속 증발한다. 반면에 미생물의 대상물 분해 과정에서 발생하는 수분에 의해 교반기 하단은 과 수분 상태가 유지된다. 기체가 적정 수분 상태보다 높거나 낮으면 미생물의 증식 속도가 감소하는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 지속적으로 습도를 측정하고 교반 속도 및 공기의 유동량 제어를 통해 증발되는 수분을 조절함으로써 기체의 습도를 일정하게 유지해야 한다.

마지막으로 이산화탄소 농도 측정 및 산소 주입 기능이다. 발효 소멸이 진행 중인 장치 내부에는 발효 소멸의 결과로 이산화탄소가 발생한다. 이산화탄소에 의해 교반기 내부의 산소 함유량이 낮아지기 때문에 이산화탄소는 신속히 배출되어야 한다. 이를 위해 교반기 내부는 항상 공기 순환구조를 가진다. 대기 중 이산화탄소 농도는 약 350ppm ~ 400ppm 이지만 발효 소멸 과정 중에는 이보다 높은 약 700ppm 으로 측정되기 때문에 배출되는 이산화탄소량을 측정하면 발효 소멸 진행 상태를 추정할 수 있다.

2.3 교반 제어 방법

교반 기능은 발효 소멸 장치에서 가장 중요한 기능 중 하나이다. 교반을 통해 미생물이 대상물과 흡착되며 미생물이 활발한 활동을 할 수 있는 환경을 만들어 준다. 효율적인 교반 제어를 위해 제안된 장치는 <그림 3> 에서처럼 네 가지의 단계(T1, T2, T3, T4)를 순차적으로 진행하는 교반 기능을 제공한다.



- T1: 교반 모터 정 회전 기본시간 2분
- T2: 교반 간 휴지시간 기본 15초
- T3: 교반 모터 역회전 기본시간 2분
- T4: 교반 case(T1+T2+T3) 간 휴지시간 25분

그림 3. 모터 제어 과정
Figure 3. Motor Control Process

<표 1> 은 장치 내부 상태의 변화에 따른 교반 제어 방법을 나타낸다. 그러므로 실시간으로 내부 상태를 파악하며 미생물의 활발한 활동을 위한 최

적 상태를 효율적으로 유지시킬 수 있다.

2.4 가열 방법

가열 기능은 특히 발효 소멸 초기 단계에 미생물이 활동할 수 있는 환경을 만들어주기 위해 필수적인 기능이다. <표 2> 는 미생물을 활용할 때 사용하는 기존 가열 방식들을 나타낸다. 제안된 장치에서는 장치 내부의 온도를 전체적으로 고르게 유지할 수 있도록 발효조의 벽면을 그리드 형식으로 나누어 각각의 영역에 국소 히터를 적용하였다. 그러므로 기체의 온도 편차가 줄일 수 있고 고형질의 대상물 처리뿐만 아니라 대용량 처리에 용이하다.

표 1. 내부 상태 변화에 따른 교반 제어
Table 1. Stirring control according to the change of internal state

상태	교반 제어 방법
과습도	T1, T3 단계 3분으로 연장 T4 단계를 20분으로 단축
저습도	T1, T3 단계 1.5분으로 단축 T4 단계를 40분으로 연장
고온	T1, T3 단계 3분으로 연장 T4 단계를 진행 안함
저온	T4 단계를 40분으로 연장

표 2. 가열 방식
Table 2. Heating Method

항목	하단가열	대상물 가열투입	정온 룬
주사용처	소규모 처리	액상 형태 대상물	미생물 배양 연구
특징	구조가 단순하며 저비용	액상 대상물 처리에 효과적	빠른 배양
단점	대용량 처리에 한계	주기적으로 미생물 투입 필요	고가이며 전문지식 필요

2.5 실험 및 결과

양식장에서 발생하는 일일 폐사어체의 양은 최대 100 kg 이다. 그러므로 최대 오염원의 투입량이 25 kg 인 발효 소멸 처리 장치를 개발하였다. <그림 4> 는 제안된 발효 소멸 방법을 위해 개발된 교반 장치이고, <표 3> 은 제안된 장치와 기존 상용 처리기와 비교 실험을 진행한 결과이다. 기존 제품의 온도 제어가 50℃ 로 유지되기 때문에 온도를 50℃ 에 맞추고 청어 2kg 을 시료로 사용하여 3 시간 동안 발효 소멸을 진행하였다. 기존 제품은 미량의 잔류물이 기체에 남아있었지만 제안된 장치는 뼈만 남기고 모두 발효 소멸되었다.

표 3. 발효 소멸 실험 결과

Table 3. Fermentation-extinction experimental result

장치	온도	투입량	시간	잔류량
상용 처리기	50 ℃	2 kg	3 시간	32 g
제안된 장치	50 ℃	2 kg	3 시간	0 g

표 4. 온도 변화에 따른 실험 결과

Table 4. Fermentation-extinction experimental result by temperature variation

온도	투입량	시간	잔류량
25 ℃	2 kg	4 시간	152 g
50 ℃	2 kg	3 시간	0 g
60 ℃	2 kg	2 시간	0 g

<표 4> 는 내부 온도 변화에 따른 실험 결과이다. 실험 결과에서 알 수 있는 것처럼 발효 소멸의 특성상 균의 활동은 온도에 가장 밀접한 영향을 받는다. 실험 결과는 발효조를 60℃ 로 유지했을 때 가장 효율적인 것으로 나타났다. 이 경우에 내부 기체에 전달되는 온도가 42℃로 미생물 증식에 가장 적합한 온도가 되기

때문이다. 그러므로 기체의 온도를 전체적으로 고르게 유지하는 것이 중요하다. 특히 대용량의 장치일수록 온도의 편차를 줄이는 것이 더욱 중요하다. 제안된 장치는 발효조를 10cm x 10cm 크기로 세분화하여 각 영역에 국소 가열 방식을 적용함으로써 기존의 하단 가열 방식 구조보다 더 좋은 성능을 보여주었다. 특히 대용량 처리에 더욱 유용하다.



그림 4. 발효 소멸을 위한 교반 장치

Figure 4. Stirring apparatus for fermentation-extinction

<표 5> 는 대용량의 오염원들을 발효 소멸 시킨 결과를 나타낸다. 분변은 발효 소멸 과정 후 완전 소멸되어 잔류물이 존재하지 않았고, 폐사어체의 경우는 아

가미, 비늘, 뼈만 남게 되었다. <그림 5> 는 실험 후 남은 잔류물들을 보여준다.

기존의 소각 기술을 활용한 오염원 처리 방법에 비해 처리 시간은 오래 걸리지만, 제안된 방법은 많은 양의 분변과 폐사어체 및 음식물 쓰레기 등을 동시에 처리할 수 있다는 장점이 있다.

표 5. 대용량 발효 소멸 실험 결과
Table 5. High-capacity fermentation-extinction experimental result

대상물	온도	투입량	시간	잔류량
분변	60 °C	20 kg	5 시간	0 g
양식어	60 °C	20 kg	3 시간 30 분	0 g



그림 5. 잔류물
Figure 5. Residue

3. 결 론

본 연구에서는 양식장에서 발생하는 오염원을 처리하기 위해 미생물을 활용한 발효 소멸 방법을 제안하였다. 그리고 효율적인 발효 소멸 처리를 위한 교반 장치를 개발하였다. 제안된 장치는 발효 소멸을 촉진시키기 위한 교반 기능과 온도 측정 및 유지, 습도 측정 및 유지 그리고 이산화탄소 농도 측정 및 산소 주입 기능을 포함한다. 실험 결과는 제안된 시스템이 대용량의 오염원을 처리할 수 있음을 보여준다. 그러나 미생물을 활용하는 방법의 특성상 장기간 미생물 유지 가능성에 대한 추가적인 검증이 필요하다. 또한 해상 환경이기 때문에 전력 소비량도 중요한 이슈이다. 그러므로 앞으로 재생에너지를 활용하는 방법에 대해서 연구할 계획이다.

References

- [1] J.-H. Seo, S.-H. Han, Y.-M. Kang, and M.-S. Jang, *Specific Handset Design for environmental data monitoring in aquafarm*, Journal of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 2, No. 2, pp.145-151, 2007.
- [2] J.-S. Oh, *Feed supply system for fish farm in Ocean sea*, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 10, pp.793-797, 2010.
- [3] 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.
- [4] 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*, Emerging Infectious Diseases, Vol. 13, No. 3, pp. 396-403, 2007.

- [5] C.-G. Phae, H.-S. Joo, J.-S. Park, J.-Y. Park, H.-S. Choi, and K.-H. Jang, *Investigation vanishing possibility of food waste using fermentation soil*, Conference of The Korea Organic Recycling Association, pp. 154-159, 2000.
- [6] S.-W. Oh, M.-S. Hahn, and H.-W. Choi, *Incineration system for prevention of marine pollution in aquaculture*, Journal of The Korea Knowledge Information Technology Society, Vol. 8, No. 1, pp. 87-93, 2013.
- [7] S.-W. Oh, M.-S. Hahn, and 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.
- [8] B.-S. Yoon, J.-H. Rho, K.-I. Kim, K.-S. Park, and H.-R. Kim, *Development of ballast water treatment technology (Feasibility study of NaOCl produced by Electrolysis)*, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 8, No. 4, pp. 174-178, 2005.
- [9] B.-H. Lee, J.-K. Lee, D.-S. Gil, and S.-Y. Kawk, *Ammonia-nitrogen removal in sea water by using Electrolysis*, Journal of Aquaculture, Vol. 10, No. 4, pp. 435-438, 1997.
- [10] Eemseong Agriculture Technology Center, <http://esatc.es21.go.kr>

해양 양식장 발생 오염원 처리를 위한 효율적인 발효 소멸 방법에 관한 연구

오승원¹, 한민수², 최해욱²

¹KAIST 정보통신공학과

²KAIST 전자공학과

요 약

수산 양식 산업의 발전과 함께 해상 양식장에서 발생하는 생활 오수, 화장실 오수, 폐사어체를 처리하는 문제가 점점 중요해지고 있다. 본 연구는 해상 양식장에서 발생하는 오염원 처리에 활용 가능한 발효 소멸 방법을 제안한다. 제안된 방법은 미생물을 활용하여 분변과 폐사어체를 발효 소멸시키는 것이다. 이를 위해 교반 속도와 주기를 제어할 수 있는 발효 소멸 장치를 개발하였다. 발효 소멸 과정에서 가장 중요한 부분은 미생물들이 활발하게 활동할 수 있는 환경을 만들어주는 것이다. 제안된 시스템은 온도, 습도, 산소 농도와 같은 발효 환경을 최적으로 유지시켜 줄 수 있기 때문에 많은 양의 오염원을 효율적으로 분해시킬 수 있다. 실험 결과는 미생물을 활용한 자연친화적인 오염원 처리 기술의 가능성과 제안된 장치의 처리 성능을 보여준다.

감사의 글

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



Seung Won Oh received the bachelor's degree in the Department of Information and Communications Engineering from Sungkyunkwan University in 2007, and the M.S. degree in

the Department of information and Communications Engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in 2009. He is currently a Ph.D. candidate in the Information and Communications Engineering Department, KAIST. His research interests include intelligent service robots, human-computer interaction, multimedia communication, and digital media.

E-mail address: swoh@kaist.ac.kr



Min Soo Hahn received his B.S. and the M.S. degrees in the Department of Electrical Engineering from Seoul National University, Seoul, South Korea, in 1979 and 1981, respectively, and the

Ph.D. degree in the Department of Electrical and Electronics Engineering from University of Florida, USA, in 1989. From 1982 to 1985, he was with the Korea Research Institute of Standards and Science, Deajeon, South Korea. From 1990 to 1997, and he was with the Electronics and Telecommunications Research Institute, Deajeon, South Korea. From 1998 to 2008, he was a faculty member of the School of Engineering, ICU. From 2009, he has been a full professor of the Department of Information and Communications engineering, and a director of the Digital Media Laboratory, Korea Advanced Institute of Science and Technology. His research interests include speech and audio coding, noise reduction, sound source localization, intelligent service robots, multimedia communication, and digital media.

E-mail address: mshahn@ee.kaist.ac.kr



Hae Wook Choi received his B.S. in the Department of Electronic Engineering from Seoul National University, Seoul, South Korea, in 1973, the M.S. degree in the

Department of Electronic Engineering from Grenoble National Polytechnic Institute, Grenoble, France, in 1980, and the Ph.D. degree in the Department of Information and Applied Mathematics Engineering from Grenoble National Polytechnic Institute, Grenoble, France, in 1984. From 1982 to 1984, he was with the Thomson Semiconductor Company, Grenoble, France. From 1984 to 1997, he was with the Electronics and Telecommunication Research Institute, Deajeon, South Korea. From 1998 to 2008, he was a faculty member of the School of Engineering, Information and Communications University. From 2009, he has been a full professor of the Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology. His research interests include design of multimedia, cryptology, optical fiber and mobile communication SoC, NoC and MPSoC.

E-mail address: hwchoinew@kaist.ac.kr