

선박평형수 처리장치의 조합에 따른 살균효과에 관한 연구

강아영^a · 김상필^b · 송주영^{a,†}

창원대학교 토목환경화학융합공학부^a
태광중공업^b

(2015년 7월 23일 접수; 2015년 8월 18일 수정; 2015년 9월 2일 채택)

A Study on the Sterilization Effect of Ballast Water according to the Combination of Types of Treatment Apparatus

Ah-Young Kang^a · Sang-Pil Kim^b · Ju-Yeong Song^{a,†}

^a*Division of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University
Changwon, Gyeongnam, 641-773, Korea*

^b*Taegwang Heavy Industry, Chanwon, Gyeongnam, 631-822, Korea*

(Received July 23, 2015; Revised August 18, 2015; Accepted September 2, 2015)

요약 : 2차 오염이 없는 물리적 선박 평형수 처리 장치의 조합별 비교를 통하여 비교적 우수한 조합을 밝혀내는 것이 본 연구의 목적이다. 2008년 IMO에서는 선박 평형수 문제를 제재하기 위해 배출 선박 평형수 내 미생물의 농도를 일정 농도로 규제하게 되었다. IMO 규제 농도를 맞추기 위한 멸균 방법으로는 약품을 이용한 화학적 처리, 전기분해를 통한 차아염소산 처리, UV나 오존 및 플라즈마를 이용하는 방법, membrane을 이용하는 방법 등이 있다. 하지만 어느 방법이나 부분적으로 2차오염이나 선체 부식 및 살균효율 등의 단점을 가지고 있는 실정이다. 아울러 이런 단점들을 피해야면서 조류와 미생물을 효율적으로 멸균시킬 수 있는 방법은 현재까지 미비한 실정이다. 본 연구에서 적용된 처리장치는 전단응력을 이용하여 2차 오염을 발생시키지 않으면서 조류와 미생물을 살균시킬 수 있는 물리적 살균 처리장치이다. 본 연구에서는 이 장치의 다양한 type별 조합으로 실험하여 살균 가능한 최저 회전속도에 따른 최고 유량 등을 규명하여 상업적 처리 장치의 설계를 위한 기초자료로 삼고자하였다.

주제어 : 평형수, 물리적 살균처리, 전단응력, 2차 오염, IMO

Abstract : The purpose of this study is to treat the ballast water by shear stress without an environmental pollution and to find out the optimal treatment conditions. The ballast water problem is issued up as the trade activated and the cargos mobilized. To improve this problem, International Marine Organization(IMO) make the rule about the ballast water treatment with specific restrictions. Although many countries have been studying about the ballast water treatment technology, there is almost no technology that can treat the microorganisms under 50 μ m without

[†]Corresponding author
(E-mail: jusong@changwon.ac.kr)

any secondary pollution. In this study, we tried to treat ballast water by applying shear stress as the physical treatment for the sterilization and tried to find out the optimal conditions including the 100% sterilizing rate and the best economic condition.

Keywords : Ballast water, Physical Sterilization, Shear stress, Secondary pollution, IMO.

1. 서론

배의 균형을 잡아주기 위해 사용되는 선박 평형수는 선박에 반드시 필요한 요소이다. 선박 평형수는 항만근처의 바닷물을 유입하고 배출함으로써 선박의 무게중심을 잡아주게 되는데, 이 평형수로 말미암아 항만 간 바다 미생물 및 바다 생물들이 이동하여 생태계를 교란하게 된다. [1-3] 외래종 도입은 해양환경 안전의 4대 위협으로 분류되어, [4] IMO에서는 2008년 선박평형수 문제를 해결하기 위해서 방출 가능한 유기체 종류와 농도를 규제하기에 이르렀다. [7-9]

선박평형수를 처리하기 위한 장치개발은 전 세계적으로 활발하게 움직이고 있으며 대한민국이 가장 앞서가는 나라이지만, 다양한 종류의 바다 미생물과 바다 생물을 2차 오염 없이 처리하는 방법은 아직 완전하지 못한 실정이다. [10-22] 특히 2차오염의 문제는 선박 평형수 배출보다도 더 위험한 상황을 초래하기도 한다. 앞선 연구에서는 2차오염이 없는 처리 장치를 개발하였으며, 본 연구에서는 이 장치의 type 가운데 가장 효율적이며 경제적인 type의 조합을 결정하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구배경

본 연구에 사용되는 장치는 전단응력을 이용하여 해수 중에 존재하는 미생물을 물리적으로 환경 친화적으로 멸균하고자하였다. 전단응력의 값을 변화시키는 요인으로는 유체가 흐르는 간격, 유체의 점성, 유체의 속도 등이 있다. 100%의 멸균이 가능할 만큼의 전단응력을 얻기 위해서 장치 개발 단계에서 외부 실린더는 고정시키고 내부 실린더는 고속으로 회전시켜 주는데, 이 때 해수의 유량과 내부 실린더의 회전속도에 따른 전단응력 분포는 Fig. 1과 같이 나타난다. 따라서

내부 실린더의 회전은 전단응력을 높여주는 요인이 되어 살균에 효율적인 전단응력을 만들어 줄 수 있다. Fig. 2에서는 실린더 내에서의 속도 분포와 전단응력과 분포를 나타내었다.

또한, 유체가 흐르는 방향과 수직으로 내부 실린더가 회전하기 때문에 일정 유체의 흐름 속도에 대하여 Fig. 3과 같은 장치 내 압력분포를 modeling 하였다. 누적 전단응력은 장치 내에서 전단응력을 오래 받을 수 있도록 장치의 길이를 길게 해줄수록 높아진다.

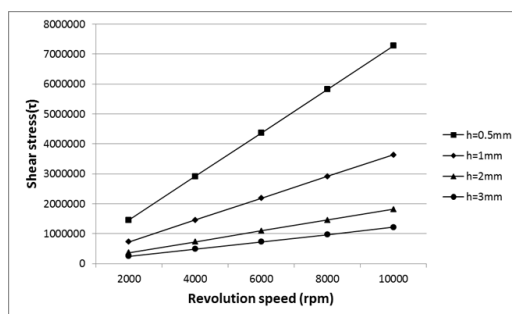


Fig. 1. Shear stress distribution according to the revolution speed and interval between two cylinders(h).

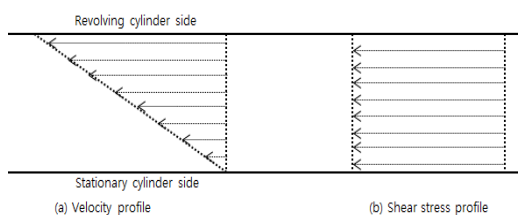


Fig. 2. Velocity and shear stress profile of sea water treatment apparatus.

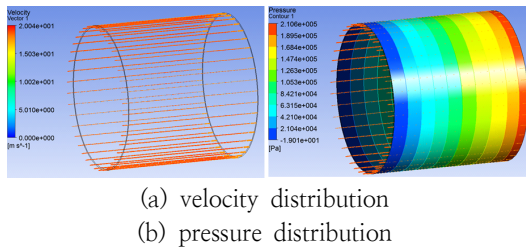


Fig. 3. Modeling of a velocity and pressure distribution at the entrance flow rate of 5m³/hr.

3. 실험 장치 및 방법

3.1. 실험장치

실험장치의 전체 구성도는 Fig. 4와 같다. 바닷물 원수를 펌프를 이송시키면 여과장치에서 50 μm 이상의 유기체는 걸러지고, 50 μm 이하의 유기체는 처리장치를 통해 멸균된다.

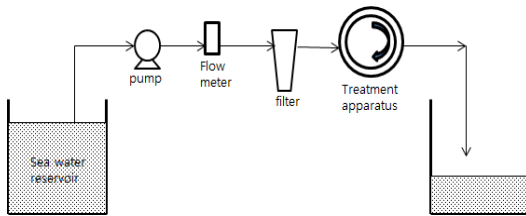


Fig. 4. Schematic diagram of an experiment apparatus.

장치의 상세도는 Fig. 5에 표시한 바와 같이 제작을 하였다. 바닷물이 유입부로 유입되어 두 실린더 사이로 200 mL/min에서 1600 mL/min의 속도로 흘러간다. 이 때 처리 장치는 내부 실린더가 고속으로 회전하고 외부 실린더는 정지 상태에 있다, 전단응력을 결정하는 요소 중 하나인 두 실린더 사이의 간격은 0.5 mm부터 3 mm 까지 조정 할 수 있으며 내부 실린더의 회전 속도도 2000 rpm부터 매 2000 rpm 간격으로 10,000 rpm 까지 조정 가능하다. 50 μm 이상의 물체는 필터에서 거르고 50 μm 이하의 물질은 처리장치에서 살균 처리하여 미생물의 계수를 위하여 유출부에 집수된다.

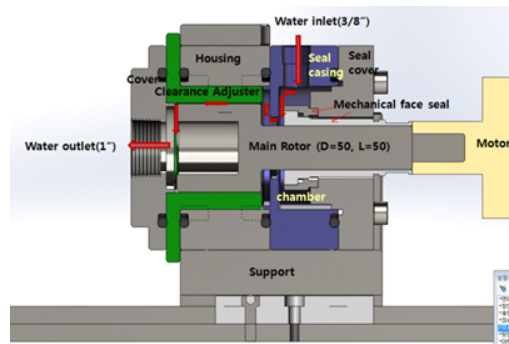


Fig. 5. Details of a cylinder type treatment apparatus.

3.2. 실험 방법

실험할 조건에 맞는 간격과 type의 inner cylinder를 처리장치에 설치하고 실험장치 속도는 60% 에탄올을 천천히 튜브와 장치 내부를 통과 시킨다. 희석용 바닷물과 비커, 튼, 등을 autoclave에 넣고 121°C에서 30분간 멸균시킨다.

멸균정도를 비교하기 위해 원액 시료를 채취하고 실험조건에 맞게 회전속도를 조절하며, 실험치가 안정되는 시간인 각 속도별 10분간 유지한 다음 처리된 바닷물 시료를 채취한다.

채취된 시료는 clean bench내에서 일반 및 대장균 간이 계수용 petrifilm(3M, U.S.A.)에 접종시키고 접종한 petrifilm은 33°C incubator (Yamato, Japan)에 잘 펴서 3일간 배양한 후 계수한다.

3.3. 변수에 따른 실험

실험결과는 변수변화에 따라서 달라진다. 전단응력을 결정짓는 변수는 cylinder type, 간격, 유량, 회전속도 등이 있다. cylinder type은 all non-pattern type과 all groove type, outer cylinder groove & inner cylinder non-pattern type, outer cylinder knurling & inner cylinder non-pattern type, outer cylinder knurling & inner cylinder groove type이 있고, 간격은 0.5, 1, 2, 3 mm가 있다. 유량은 200 mL/min에서 1600 mL/min까지 변경가능하고 회전속도는 1000 rpm에서 10000 rpm까지 변화 시킬 수 있다. 본 연구에서는 type별 성능을 비교하기 위한 실험이므로, 간격은 0.5mm로 통일시키고 유량은 250 mL/min과 500 mL/min, 회전속도는 2000, 4000, 6000, 8000, 및 10000 rpm에서 앞에서 언급한 모든 type을 실험하였다.

결과처리하는 아래 수식을 사용하여 나타내었다.

$$Residual\ strain\ (\%) = \frac{[cfu\ at\ the\ treated\ sample]}{[cfu\ at\ the\ Raw]} \times 100$$

4. 결과 및 고찰

4.1. 실험결과 및 고찰

1) Cylinder-cylinder type

Fig. 6은 cylinder type에서 유량에 따른 멸균 정도를 나타낸 그래프이다. 500 mL/min에서는 멸균효과를 기대하기 어려우나 250 mL/min에서는 8000 rpm이상에서 완전한 멸균 정도를 보였다.

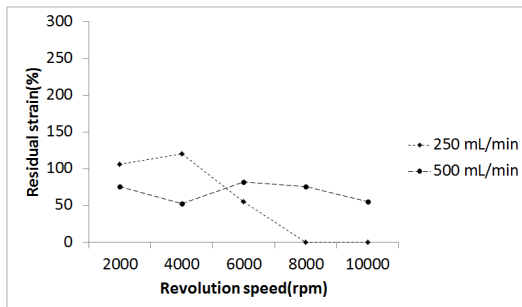


Fig. 6. Sterilizing power at inner cylinder and outer cylinder non-pattern type.

2) Groove-groove type

Fig. 7에는 groove type에서 유량에 따른 멸균 정도를 나타내었다. 250 mL/min에서는 8000 rpm이상에서, 500 mL/min에서는 10000 rpm이상에서 완전한 멸균 정도를 보였다.

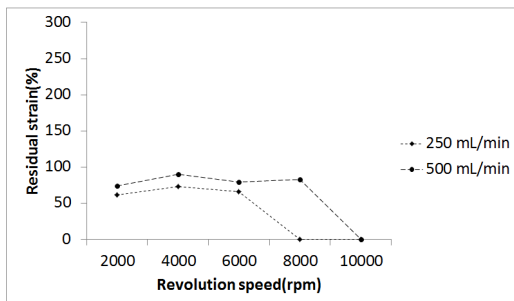


Fig. 7. Sterilizing power at inner cylinder and outer cylinder groove type.

이 결과는 inner cylinder 와 outer cylinder 가 동시에 non-pattern type 인 경우는 inner cylinder 가 회전하는 동안 물과 cylinder 사이에 slip 이 일어날 수 있다는 것을 보여주며, 두 cylinder 가 groove type일 경우는 slip로부터 비교적 자유로우며 그 결과 살균 효율이 증가한다는 것을 보여준다.

3) Outer cylinder groove & inner cylinder non-pattern type

Fig. 8는 outer cylinder는 groove이고 inner cylinder는 non-pattern type에서 유량에 따른 멸균 정도를 나타낸 결과 그래프이다. 그래프로 확인했을 때, 모든 유량에서 완전한 멸균 정도를 보이는 지점이 없었다. 즉 회전하는 inner cylinder에서 상당한 slip 이 일어남을 보여준다.

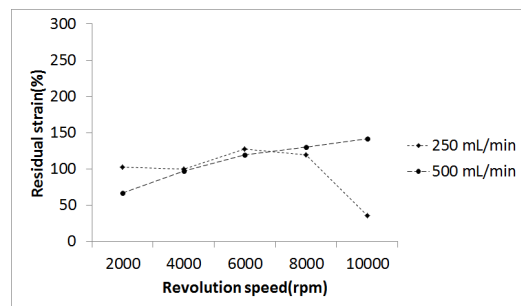


Fig. 8. Sterilizing power at outer cylinder groove & inner cylinder non-pattern type.

4) Outer cylinder knurling & inner cylinder non-pattern type

Fig. 9에는 outer cylinder knurling에 inner cylinder non-pattern type에서 유량에 따른 멸균 정도를 나타내었다. 250 mL/min의 10000 rpm에서만 완전한 멸균 정도를 나타낸다.

5) Outer cylinder knurling & inner cylinder groove type

Fig. 10에는 outer cylinder knurling & inner cylinder groove type의 결과 그래프이다. 250 mL/min에서는 8000 rpm이상에서 완전한 멸균을 나타내었고, 500 mL/min에서는 10000 rpm 이상의 멸균 정도를 나타내었다.

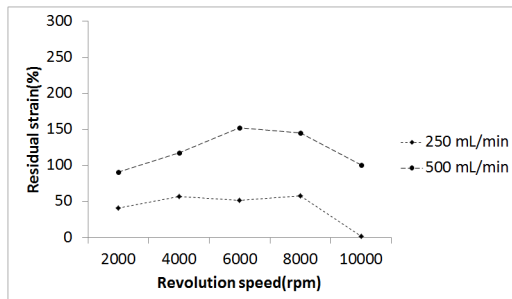


Fig. 9. Sterilizing power at outer cylinder knurling & inner cylinder non-pattern type.

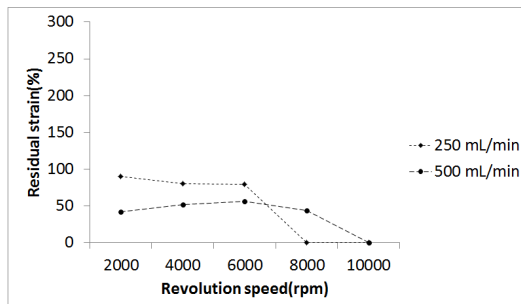


Fig. 10. Sterilizing power at outer cylinder knurling & inner cylinder groove type.

5. 결론

가장 효율적이며 경제적인 멸균 조건은 회전속도가 낮을수록, 유량이 높을수록 좋은 조건이다. 이 점을 고려하였을 때, 완전 멸균이 되는 조건 중 가장 낮은 회전속도인 8000 rpm에서 완전 멸균 정도를 나타내는 값은 cylinder type과 groove type, outer cylinder knurling & inner cylinder groove type의 250 mL/min이다. 완전 멸균이 되는 조건 가운데 높은 유량인 500 mL/min일 때 완전 멸균되는 조건을 살펴보면 10000 rpm의 groove type과 outer cylinder knurling & inner cylinder groove type이다. 따라서 가장 뛰어난 type은 두 조건을 모두 만족 시키는 groove type과 outer cylinder knurling & inner cylinder groove type으로 나타났다.

References

1. R. R. Hermann, J. Kohler and A. E. Scheepens, Innovation in product and services in the shipping retrofit industry: a case study of ballast water treatment systems, *Journal of Cleaner Production* in press, 1 (2014).
2. Y. Jung, Y. Yoon, E. Hong, M. Kwon, and J. W. Kang, Inactivation characteristics of ozone and electrolysis process for ballast water treatment using *B. subtilis* spores as a probe, *Marine Pollution Bulletin* **72**(1), 71 (2013).
3. N. Zhang, K. Hum B. Shan, Ballast water treatment using UV/TiO₂ advanced oxidation processes: An approach to invasive species prevention, *Chemical Engineering Journal* **243**, 7 (2014).
4. J. M. Seiden, R. B. Rivkin, Biological controls on bacterial population in ballast water during ocean transit, *Marine Pollution Bulletin* **78**(1-2), 7 (2014).
5. D. A. Wright, R. W. Gensemer and C. L. Mitchelmore, W. A. Stubblefield, Eric van Genderen, R. Dawson, C. E. O. Dawson, J. S. Berr, Richard A. Mueller, and William J. Cooper, Shipboard trials of an ozone-based ballast water treatment system, *Marine Pollution Bulletin* **60**(9), 1571 (2010).
6. S. Banerji, B. Werschkun, and T. Hofer, Assessing the risk of ballast water treatment to human health, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **62**(3), 513 (2012).
7. L. Maranda, A. M. Cox, R. G. Campbell, and D. C. Smith, Chlorine dioxide as a treatment for ballast water to control invasive species: Shipboard testing, *Marine Pollution Bulletin* **75**(1-2), 76 (2013).
8. IMO, international convention for the control and management of ship's ballast Water and Sediments, on 25/09/06 accessed from website (2004).

9. International Maritime Organization (IMO), Global ballast water management programme, on 15/01/08 accessed from <http://globallast.imo.org> (2008).
10. Z. Tang, M. A. Butkus, and Y. F. Xie, Enhanced performance of crumb rubber filtration for ballast water treatment, *Chemosphere* **74**(10), 1396 (2009).
11. M. David, S. Gollasch, and E. Leppakoski, Risk assessment for exemptions from ballast water management - The Baltic Sea case study, *Marine Pollution Bulletin* **75**(1-2), 205 (2013).
12. S. Delacroix, C. Vogelsang, A. Tobiesen, and H. Liltved, Disinfection by-products and ecotoxicity of ballast water after oxidative treatment - Results and experiences from seven years of full-scale testing of ballast water management systems, *Marine Pollution Bulletin* **73**(1), 24 (2013).
13. N. Zhang, B. Ma, J. Li, and Z. Zhang, Factors affecting formation of chemical by-products during ballast water treatment based on an advanced oxidation process, *Chemical Engineering Journal* **231**, 427 (2013).
14. N. Zhang, Y. Zhang, M. Bai, Z. Zhang, and C. Chen, Risk assessment of marine environments from ballast water discharges with laboratory scale hydroxyl radicals treatment in Tianjin Harborm China, *Journal of Environmental Management* **145**, 122 (2014).
15. Y. de Lafontaine and S. P. Despatie, Performance of a biological deoxygenation process for ships' ballast water treatment under very cold water conditions, *Science of the Total Environment* **472**, 1036 (2014).
16. D. Feng, J. Shi, and D. Sun, Inactivation of microalgae in ballast water with pulse intense light treatment, *Marine Pollution Bulletin* **90**(1-2), 299 (2015).
17. A. C. Akram, S. Noman, R. M. Javid, J. P. Gizicki, E. A. Reed, S. B. Singh, A. S. Basu, F. Banno, M. Fujimoto, and J. L. Ram, Development of an automated ballast water treatment verification system utilizing fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of treatment efficacy, *Water Research* **70**, 404 (2015).
18. M. B. Shon, M. H. Son, J. Lee, Y. J. Son, G. H. Lee, C. H. Moon, and Y. S. Kim, The Study on the Marine Eco-toxicity and Ecological Risk of Treated Discharge Water from Ballast Water Management System Using Electrolysis, *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy* **16**(2), 88 (2013).
19. Ministry of Oceans and Fisheries, <http://www.mof.go.kr>.
20. National Fusion Research Institute, <http://www.nfri.re.kr>.
21. Korea Evaluation Institute Of Industrial Technology All Rights Reserved, <http://keit.re.kr>.
22. Feng Qing, Xiao Qian-Lu, Velocity and shear stress profiles for tidal effected channels, *Ocean Engineering* **101**, 172 (2015).