

선박평형수 처리장치의 cylinder type과 groove type의 살균효과 비교 연구

강아영^a · 김상필^b · 김영철^c · 송주영^{a†}

창원대학교 토목환경화학융합공학부^a

태광중공업^b

한국기계연구원^c

(2015년 10월 9일 접수; 2015년 11월 8일 수정; 2015년 11월 10일 채택)

A Comparison Study on the Sterilization Effect of Ballast Water with Cylinder Type and Groove Type

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

^a*Division of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University
Changwon, Gyeongnam, 51140, Korea*

^b*Taegwang Heavy Industry, Changwon, Gyeongnam, 51568, Korea*

^c*Korea Institute of Machinery & Materials, Daejeon, 34103, Korea*

(Received October 9, 2015; Revised November 8, 2015; Accepted November 10, 2015)

요약 : IMO에서 규제중인 선박평형수의 처리기술은 현재 대부분 화학적 처리법 및 전기적인 처리방법을 주로 이용하고 있는데 이러한 방법들은 2차오염의 위험을 가지고 있으며 이를 방지하기 위하여 추가적인 장치가 필요하다. 본 연구에서는 전단력을 활용한 물리적인 방법을 이용하여 2차 오염 없이 선박평형수를 처리하는 방법을 연구하였다. 균일장치의 원리를 이용하여 전단응력으로 균을 파쇄시키는 원리인데, 내부 실린더와 외부 실린더의 표면이 매끄러운 경우에는 미끄럼 현상이 나타나 효율적인 살균효과를 얻기가 어려워서 전단응력의 크기를 변화시키는 다양한 요인 가운데 표면의 모양을 다르게 하여 두 가지 type의 장치에 대한 살균 성능을 비교하였다. 기본 장치는 cylinder type이나, 내부 실린더와 외부 실린더에 일정 간격과 깊이로 홈을 파낸 groove type과 멸균성능을 비교하였다. 그 결과 미끄럼을 방지한 groove type에서 cylinder type보다 우수한 결과를 나타내었다.

주제어: 선박 평형수, 전단응력, groove 형태, 물리적 처리, 살균효율

Abstract : Current ballast water treatment technologies are applying chemical or electrical treatment technology which are not free from secondary environmental pollution. The purpose of this study is to treat the ballast water by shear stress without an additional environmental pollution and to find out the optimal treatment apparatus. We tried to treat ballast water by applying shear

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

stress with two different type of combination of inner and outer cylinder, such as non-pattern type and groove type. In the case of non-pattern type of inner and outer cylinder, sterilization effect was comparatively low because of a slip between inner and outer cylinder. But in the case of groove type of inner and outer cylinder, sterilization effect was superior to the non-pattern type. With a same revolutional speed of 8000rpm, an extinction effect was acquired in the gap of 1 mm of inner and outer cylinder at non-pattern type, but 3mm of that of groove type.

Keywords : Ballast water, Physical Sterilization, Shear stress, Groove type, Non pattern type.

1. 서론

평형수는 선박의 항해 시 균형을 맞추기 위해 필요한 물로서 주로 항만근처의 해수를 이용하여 유입과 유출을 통해 무게중심을 잡아주는 원리로 이용된다. 하지만 해수의 유입과 유출 환경이 다름으로 인해 다른 해역에서 운반된 해양생물은 생태계교란의 주범이 되고 있으며[1-3] 선박평형수로 배출된 해양 외래종은 해양환경안전 4대 위협으로 분류되는 등 큰 위해요소로 꼽힌다.[4] 선박평형수로 인해 발생하는 외래종도입 등의 환경 위해 요소를 규제하기 위해 2008년 IMO에서 선박평형수의 배출 가능한 유기체 종류와 농도를 규제하였다.[7-9]

선박 평형수 처리장치는 국내외에서 활발히 연구되고 있으며, 주로 해수 전기분해를 이용한 살균, UV 나 오존을 이용한 살균 및 플라즈마를 이용한 살균 기술이 적용 되고 있으며 국내기술이 세계적으로 우월하다.[10-22] 하지만 현재까지 개발된 기술에는 완벽하게 2차 오염을 해결한 환경 친화적인 기술은 부분적이다. 선박 평형수 처리로 인한 2차 오염은 외래종 도입보다도 더 큰 위협을 야기 시키기도 하기 때문에 환경 친화적인 선박 평형수 처리장치 개발이 필수적이다.

본 연구에서는 2차오염이 없는 물리적인 방법을 이용하여 멸균 시도하였는데 빠른 회전면을 통한 전단응력으로 균을 파쇄 시키고자하였다. 이때 전단응력의 크기를 변화시킬 수 있는 다양한 요인을 변화시켜 실험하였으며, 크게는 기본형인 cylinder type과 변형형인 groove type을 비교하여 표면처리에 따른 멸균성능을 비교하고자 하였다.

2. 연구배경

본 연구에서는 전단응력으로 해수 내 균을 파쇄하여 환경 친화적 멸균 가능성을 연구하였다. 전단응력은 유체가 흐르는 간격, 유체의 점성 및 속도 등에 따라서 크기가 달라진다. 상업적인 장치는 이러한 조건을 고정시키는 것이 경제적이므로, 제작에 앞서 경제적이고 효율적인 조건을 설정해야한다. 본 연구에서는 이러한 조건뿐만 아니라 기본형의 민무늬 형태(cylinder type)와 변형형인 홈 파인 형태(groove type)을 비교하여, 멸균정도가 더 좋은 조건을 얻기 위한 실험을 진행하였다.

유체의 흐름에서 전단응력은 층류에서만 나타나는 특수한 힘이다. 흐름이 빨라지면 층류는 난류로 바뀌어 더 이상 전단응력이 발생하지 않게 되는데, 이 때문에 완전한 멸균이 되기 이전에 유체의 흐름은 난류로 바뀌게 된다. 이러한 점을 보완하여 설계한 장치의 흐름을 나타낸 것이 Fig. 1이다. 유체가 흐르는 통로의 한 측면(outer cylinder)은 고정시켰고, 다른 한 측면(inner cylinder)은 빠른 속도로 회전시켜주었다. 속도 분포는 (a)와 같이 나타나고 전단응력 분포는 (b)와 같이 균일한 전단응력이 나타난다. 좌표는 원주좌표를 적용해야 하지만 실린더 직경에 비하여 내외부 실린더의 간격이 작아서 직교좌표를 적용하였다.

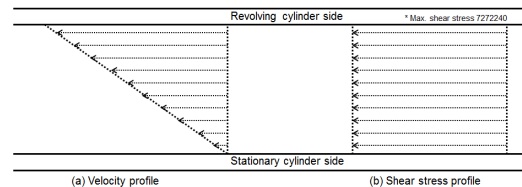


Fig. 1. Velocity and shear stress profile of ballast water treatment apparatus.

해수의 흐름방향은 통로회전 방향과 수직이기 때문에 유량 및 유속은 회전속도에 영향을 미치는 요인은 아니라 장치에서 전단응력을 받는 시간에 영향을 미친다. 반면, 외부 실린더와 내부 실린더의 간격은 전단응력의 크기에 영향을 미치므로 간격의 종류를 다양하게 하여 간격이 전단응력과 살균정도에 미치는 영향을 고려하였다.

통로의 회전에 의한 전단응력과 별도로 유속에 따른 채류시간에 따라 전단응력을 받는 시간이 달라지는데, 이때 채류시간이 클수록 멸균효과가 높다고 가정하며 누적 전단응력이 존재한다고 가정하고 유속을 다양하게 변화시켜 실험을 진행하였다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1. 실험장치

Fig. 2는 실험장치의 전체 구성도이다. 해수 저장조로부터 펌프가 여과장치를 통과시키면 50 μ m 이상의 유기체는 걸러지고, 50 μ m 이하의 유기체는 처리장치로 유입된다. 유입된 해수내 유기체는 처리장치를 통과하며 강력한 회전속도에 의한 전단응력을 받게 된다. 이때, 간격과 회전속도, 통로의 종류에 따라 전단응력은 달라지며 유속에 따라 누적전단응력이 달라지게 되어서 이러한 조건을 다양하게 설정하여 실험을 진행하였다. 기본형인 cylinder type은 처리를 하지 않은 민무늬이며, 변형형인 groove type은 가로와 세로를 5mm폭 및 1mm깊이로 파낸 홈이 파인 형태이다.

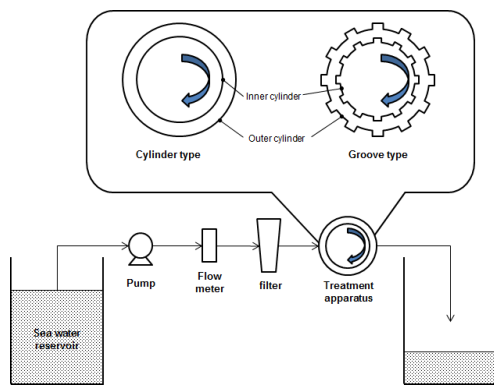


Fig. 2. Schematic diagram of an experimental apparatus.

처리장치의 상세도는 Fig.3에 나타내었다. 해수는 유입부로 유입되어 두 실린더 사이로 흐른다. 이때 유량은 200에서 1600 mL/min이고 내부 실린더가 고속으로 회전하며 외부 실린더는 정지상태에 있어 전단응력을 발생시킨다. 전단응력을 결정하는 요소 중 하나인 두 실린더 사이의 간격은 0.5, 1, 2, 3 mm로 변경가능하며 내부 실린더의 회전 속도는 1000 rpm부터 10,000 rpm 까지 1000 rpm단위로 변경 가능하다. 각 조건의 전단응력을 받은 처리된 유체는 유출부에서 집수되어 미생물 계수처리를 한다.

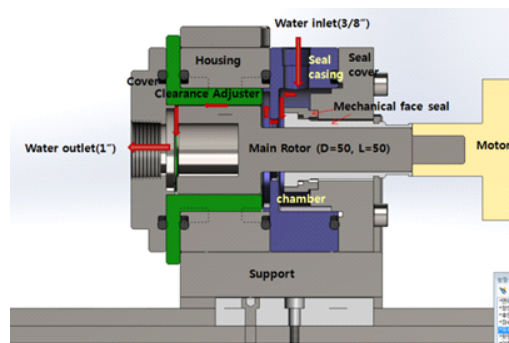


Fig. 3. Details of a cylinder type treatment apparatus.

3.2. 실험 방법

실험할 조건에 맞도록 간격과 type을 조절하여 처리장치에 설치하고 실험장치 속도는 60% 에탄올을 천천히 튜브와 장치 내부를 통과시키고 희석용 바닷물과 비커, 튜브, 등은 autoclave에 넣고 121°C에서 30분간 멸균시켰다.

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

채취된 시료는 clean bench내에서 일반 및 대장균 간이 계수용 petrifilm(3M, 미국)에 접종시키고 접종한 petrifilm은 33°C incubator (YAMATO, Japan)에 두고 3일간 배양한 후 계수한다.

3.3. 변수에 따른 실험

실험은 두 가지 type을 비교하기 위한 실험으로 기본형인 cylinder type과 변형형인 groove type을 비교하였다. 또한, 전단응력을 결정짓는 변수는 type외에도 간격, 유량, 회전속도 등이 있

다. 간격은 각 타입별로 0.5, 1, 2, 3 mm가 있고 유량은 200 mL/min에서 1600 mL/min까지 변경가능하며 회전속도는 1000 rpm에서 10000 rpm까지 변화 시킬 수 있다. 본 연구에서는 기본형 cylinder type과 groove type의 멸균성능을 비교하기 위한 실험이므로 두 type의 실험조건은 동일하게 진행하여 모든 간격에서 각각 실험을 진행하고, 동시에 유량은 250과 500, 750, 1000 mL/min, 회전속도는 2000, 4000, 6000, 및 8000 rpm에서 실험하였다.

3.4 결과처리

petrifilm을 이용해 계수된 균의 수는 아래 수식을 사용하여 나타낸 결과 값을 비교하는데 사용하였다.

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

4. 결과 및 고찰

4.1. 실험결과 및 고찰

1) Cylinder type에서 간격 0.5 mm

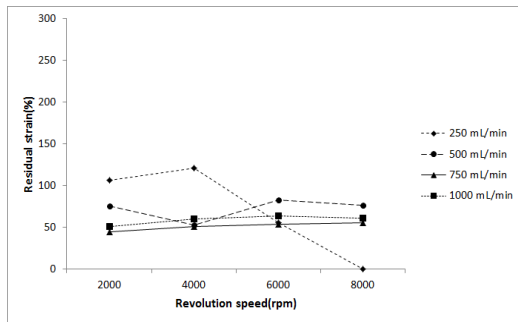


Fig. 4. Sterilizing power at 0.5 mm interval of non-pattern cylinder type.

Cylinder type의 간격 0.5mm에서 유량에 따른 멸균 정도 결과값은 Fig. 4에 나타내었다. 500 mL/min이상의 유량에서는 큰 멸균효과를 기대하기 어려우나 250 mL/min에서는 8000 rpm이상에서 완전한 멸균정도를 보였다.

2) Cylinder type에서 간격 1 mm

Cylinder type에서 간격 1 mm 및 유량에 따른 멸균정도를 나타낸 그래프는 Fig.5이다. 750 mL/min이상에서는 멸균효과를 기대하기 어려우나 500 mL/min이하 유량에서는 8000 rpm이상에서는 비교적 높은 멸균정도를 보이고 250 mL/min의 유량에서는 완전한 멸균정도를 보였다.

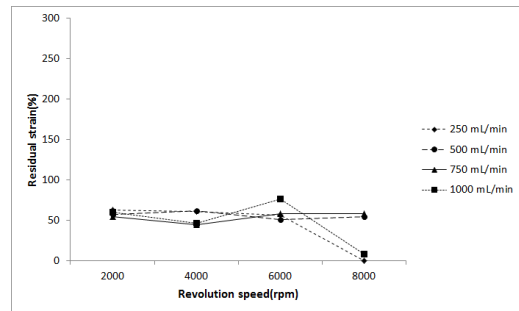


Fig. 5. Sterilizing power at 1 mm interval of non-pattern cylinder type.

3) Cylinder type에서 간격 2 mm

2mm 간격의 cylinder type에서 유량에 따른 멸균정도는 Fig. 6 그래프에 나타내었다. 결과 그래프에서 알 수 있듯이 모든 유량에서 효과적인 멸균정도를 찾을 수 없었다.

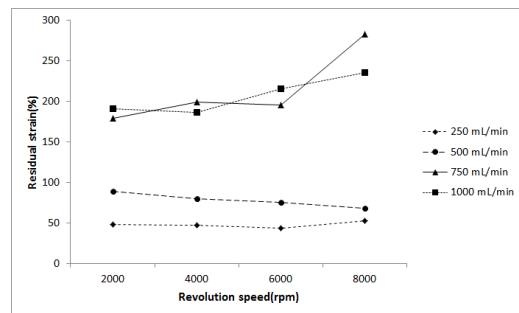


Fig. 6. Sterilizing power at 2 mm interval of non-pattern cylinder type.

4) Cylinder type에서 간격 3 mm

Cylinder type의 3 mm 간격에서 유량에 따른 멸균정도를 Fig. 7에 나타내었다. 모든 유량에서 효과적인 멸균정도를 나타내는 조건은 찾을 수 없었다.

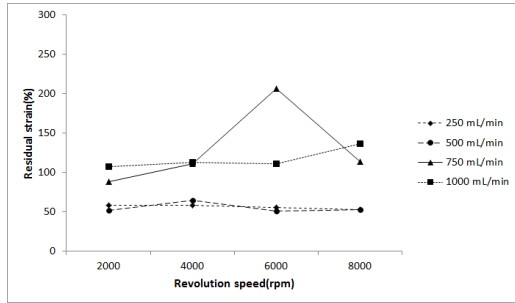


Fig. 7. Sterilizing power at 3 mm interval of non-pattern cylinder type.

5) Groove type에서 간격 0.5mm

Groove type의 간격 0.5 mm에서 유량에 따른 멸균정도는 Fig.8에 나타내었다. 250 mL/min에서는 회전속도에 관계없이 비교적 높은 멸균정도를 보이고 있으며, 완전한 멸균은 8000 rpm에서 나타난다. 또한 500 mL/min이상의 유량에서는 효과적인 멸균성능을 지니는 조건을 찾을 수 없다. Groove type에서의 멸균 효율이 cylinder type 보다 비교적 양호한 이유는 cylinder type에서는 내부 실린더와 외부 실린더의 벽면에서 slip이 일어나며 이로 인하여 충분한 전단응력을 발생시키지 못한 결과로 사료된다.

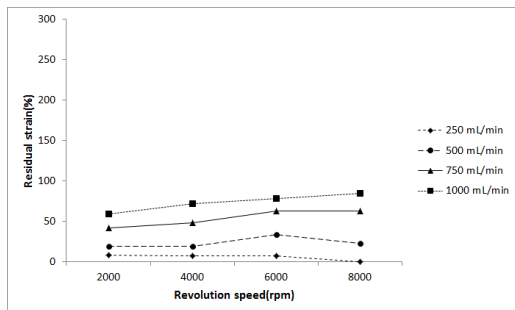


Fig. 8. Sterilizing power at interval 0.5 mm of the groove type.

6) Groove type에서 간격 1mm

Groove type의 간격이 1 mm일 때 유량에 따른 멸균정도를 나타낸 결과 그래프는 Fig. 9 이다. 250 ml/min 유량에서 8000 rpm일 때, 완전한 멸균이 일어나며 그 외의 유량과 회전속도에서는 효과를 기대하기 어려웠다.

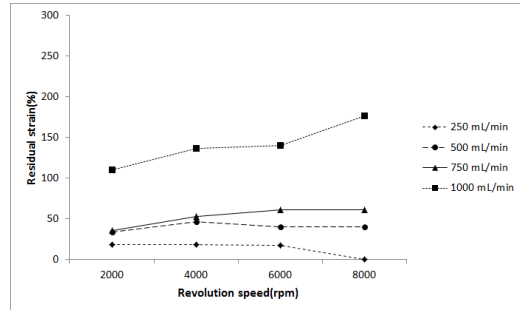


Fig. 9. Sterilizing power at interval 1 mm of the groove type.

7) Groove type에서 간격 2mm

Groove type의 간격 2 mm에서 유량에 따른 멸균정도를 나타낸 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 250 mL/min의 8000 rpm에서만 완전한 멸균정도를 나타낸다. 250 ml/min의 유량에서 전반적으로 큰 멸균효과가 있지만, 완전 멸균은 8000 rpm에서만 가능하다. 500 ml/min이상의 유량에서는 효율적인 멸균을 기대하기가 어려웠다.

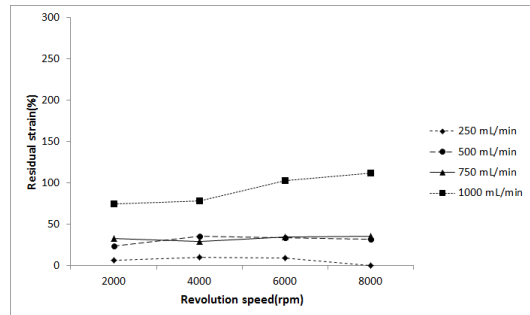


Fig. 10. Sterilizing power at interval 2 mm of the groove type.

8) Groove type에서 3mm

Groove type에서 3 mm 간격의 결과 그래프는 Fig. 11 이다. 250 mL/min에서는 8000 rpm이상에서 완전한 멸균을 나타내었고, 500 mL/min의 8000 rpm에서도 높은 멸균정도를 보이지만 완전한 멸균을 나타내지는 않았다. 그 외의 조건에서는 높은 멸균 효율을 기대할 수 없었다.

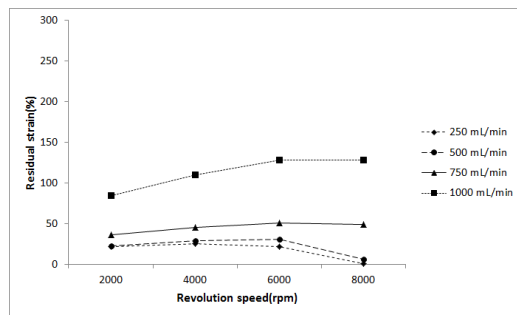


Fig. 11. Sterilizing power at interval 3 mm of the groove type

5. 결론

경제적인 처리장치를 제작하기 위해서 최적의 조건을 찾는 동시에 기본형 cylinder type과 변형된 형태인 groove type을 비교하여 완전 멸균되는 조건이 어떤 type이 더 경제적인지 비교해 보았다. type에 따른 제작비용을 고려하지 않을 때, 회전속도는 낮고 유량이 높을수록, 간격은 넓을수록 경제적인 조건이다. cylinder type에서는 250 mL/min 유량에서 1 mm 간격 이하 8000 rpm의 회전속도에서 완전한 멸균정도를 보였다. groove type에서는 250 ml/min 유량의 8000 rpm 속도에서는 3 mm 이하의 간격에서는 모두 100%의 멸균정도를 보인다. 따라서 type의 멸균성능만 비교한다면, groove type이 더 넓은 간격에서 100% 멸균조건을 가지고 있기 때문에 groove type이 cylinder type에 비해 더 효율적이다. 결론적으로 최적화 조건은 groove type의 간격 3 mm, 250 ml/min 유량의 8000 rpm이다.

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. Bearr, 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).