

論 文

# FUE 공정에 의한 Ballast Water처리

박상호, 김억조, 박성진, 김인수\*

## Treatment of Ballast Water By Filtration -Ultraviolet radiation-Electrolytic Process

*Sang-Ho Park · Eog-Jo Kim · Sung-Jin Park · In-Soo Kim\**

<目 次>

Abstract	3. 결과 및 고찰
1. 서론	3.1 여과공정에 의한 처리성능 평가
2. 실험 및 방법	3.2 자외선-전해살균 장치에 의한 처리성능평가
2.1 실험장치	4. 결론
2.2 시료의 성상	참고문헌
2.3 분석방법	

### ABSTRACT

Reballasting at sea, as recommended by the IMO guidelines, currently provides the best-available measure to reduce the risk of transfer of harmful aquatic organisms, but is subject to serious ship-safety limits. It is therefore extremely important that alternative, effective ballast water management and treatment methods are developed as soon as possible, to replace reballasting at sea.

Filtration-Ultraviolet radiation-Electrolytic process (FUE) was evaluated for disinfection of seawater used in ballast water. Optimal current density and UV light intensity were 2.0A/dm<sup>2</sup> and, 220μW/cm<sup>2</sup>/m with which 100% reduction time was 2sec in a Ultraviolet radiation-Electrolytic process.

This study showed that FUE process was effective for the disinfection of commonly isolated bacteria and bacillus from ballast water.

\*정희원, 한국해양대학교 토목환경공학과

## 1. 서론

1990년대 호주와 브라질의 항만이나 연안 해역에 평소 서식하지 않았던 수중 미생물이 출현하여 해양을 오염시키고 해양생태계를 파괴하는 현상이 발생하였다. 이 원인을 조사한 결과 아시아지역에서 입항하는 선박의 발라스트수(ballast water)에 함유된 유해한 수중유기물질에 의한 해양생태계 교란으로 나타났다. 1992년 UNCED(the United Nations Conference on Environment and Development)는 비 토착 생물의 확산 방지를 위하여 IMO(International Maritime Organization)에 Ballast Water의 방출에 관한 제도적인 규제를 요청하였고, IMO 총회(1993년/1997년)에서 문서 A774.(18)과 A868(20)으로 발라스트수 관리지침을 채택하고, MARPOL 73/78의 새 부속서로서 발라스트수의 쟁점사항을 지속적으로 검토하도록 MEPC (Marine Environment Protection Committee; 해양환경보호위원회)에 요청하였다. 1994년 이후 여러 종류의 발라스트수의 관리 규정을 포함하는 이행지침과 함께 MARPOL 73/78의 새로운 부속서를 위한 규칙의 제정을 위해 MEPC 내에 구성된 토의에서 발라스트수 처리에 대한 새로운 기술 개발을 검토한 결과 발라스트수로 인한 생태계의 파괴 및 오염을 방지하기 위한 방법으로 발라스트수를 항만 내에 입항하기 전 일정한 해역에서 교환하는 방법과 적재하고 있는 발라스트수를 물리, 화학적인 방법을 통하여 살균 또는 소독하는 방법을 제시하였다.<sup>1,2)</sup>

그러나 두 가지 방법 중 발라스트수를 물리, 화학적으로 살균 또는 소독하는 방법은 선박에 적재되는 발라스트수의 양이 대량이므로 처리성능이 떨어지는 문제점이 발생하였고, 대양에서 발라스트 수를 교환하는 방법에 대한 검토가 집중적으로 이루어졌다.<sup>3)</sup> 대양에서의 발라스트수의 교환작업은 많은 시간과 노력이 필요하며 선박안전에 위험을 초래할 가능성이 높고 근거리 항해시에는 그 작업이 불가능하므로 실용적인 발라스트수의 처리장치의 개발이 필요한 실정이다.

최근 미국과 유럽의 일부국가에서 발라스트수의 처리를 위한 필터링장치, 자외선 소독장치, 살균장치 등과 같은 물리, 화학적인 처리방법을 개발하여 실용화하고 있다. 여객선을 중심으로 사용이 점차 증가되고 있으며 일본, 노르웨이 등을 비롯한 조선강국들이 모두 발라스트수 처리장치를 개발하고 있다.<sup>4)</sup>

우리나라는 세계제일의 조선대국이지만 발라스트수 처리공정에 대한 기존의 연구는 전무하며 그 이론적 배경 또한 부족하다. 현재 진행중인 발라스트수 처리에 관한 국제조약이 발효되면 기존선과 신조선을 가릴 것 없이 모든 국제항해에 종사하는 선박에 발라스트수 처리장치를 장착해야하기 때문에 협약비준 초기에 많은 수요가 예측된다.

본 연구에서는 이러한 국내외적인 여건에 대처하기 위한 방법으로 해양생태계에 치명적인 영향을 미치는 유해 해양미생물을 완전하게 제거시킬 수 있는 방법을 연구하여, Filter 장치, UV 및 전해처리장치를 개발하여 대용량의 해수 및 발라스트 저장탱크 안에서 미생물의 재활성과 증식을 억제할 수 있는 가장 효율적인 복합살균공정(Filtration-Ultraviolet Radiation Electrolytic Process : FUE)을 개발하여 복합살균공정의 최적 처리조건을 연구하였다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 실험장치의 모식도는 Fig.2.1과 같다. AOP(Advanced Oxidation Process)공법을 사용하여 살균장치를 만들었고 전극간격을 100mm를 사용하여 처리용량을 증가시켰다. 여과처리장치에 회전 자동조절 장치를 사용하여 유입수의 특성에 따라 처리속도를 조절할 수 있다. UV 조사량은  $220 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{m}$ 를 사용하여 경제성 및 효율성을 향상시켰다. 1단계에서 여과과정으로 부유성고형물 및 동식물성박테리아 등이 회전식 필터에서 걸러지고 부착된 부유성 고형물 성분을 솔로 탈리시키면서 제거한다. 흡입펌프로 해수를 연속적으로 자외선 전해 살균처리과정인 2단계로 유입시킨다. 여과처리과정에서 초기의 압력은  $-695\text{cmHg}$ 이고 계속적으로 압력이 저하되어  $-720\text{cmHg}$ 으로 되면 역세척을 시켜준다. 회전식필터의 회전속도는 70RPM이고, 전극간격은 100mm, 전류량은  $2.0\text{A}/\text{dm}^2$ , UV 조사량은  $220\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{m}$ , 자외선 전해살균장치의 HRT(Hydraulics retention time) 2sec, 회전식 여과 처리장치의 HRT 7.7sec으로 운전하여 실험하였다. 전해처리장치에서 하이포염소산과 잔류염소가 생성되고, UV에 의한 광산화로 HO기와 오존이

발생하여 살균을 하는 방식이다.

### 2.2 시료의 성상

실험에 사용된 시료는 한국해양대학교 근해 해수면 1m 아래의 해수를 주기적으로 채수하여 이물질이나 부유물을 제거한 후 실험하였다. 시료의 수질은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Composition of influent concentration for FUE process

Item	Concentration(g/ℓ)	Salt content(%)
Cl <sup>-</sup>	18.980	55.05
Br <sup>-</sup>	0.065	0.19
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	2.649	7.68
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.140	0.41
F <sup>-</sup>	0.001	0.00
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.026	0.07
Mg <sup>2+</sup>	1.272	3.69
Ca <sup>2+</sup>	0.401	1.16
Sr <sup>2+</sup>	0.008	0.02
K <sup>+</sup>	0.380	1.10
Na <sup>+</sup>	10.556	30.62
	34.478	99.99

### 2.3 분석방법

실험에 필요한 분석 항목은 COD<sub>Mn</sub>(Chemical oxidation demand), Temperature, pH, ORP(Oxidation-reduction potential), SS(Suspended solids), Conductivity, Zeta potential, Residual Chlorine 등이며, 본 실험의 분석방법은 해수공정시험법과 Standard Method에 의하여 실시하였다. 실험에 필요한 분석항목과 분석장치 및 방법은 Table 2.2와 같다.<sup>5,6)</sup>

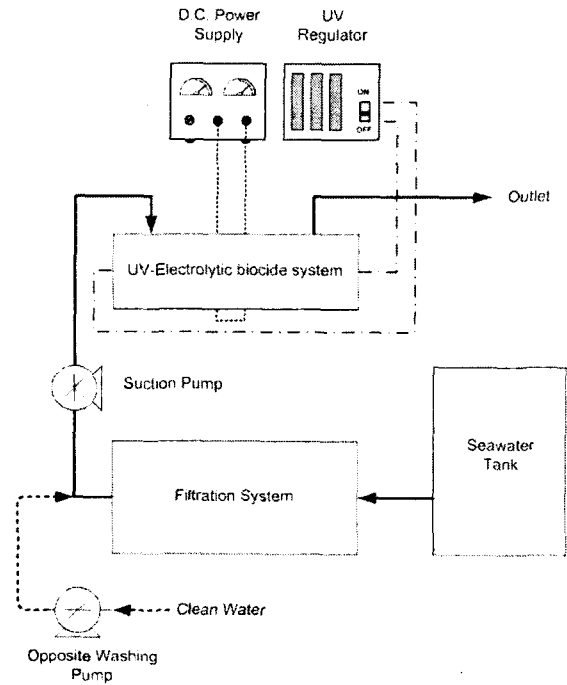


Fig. 2.1 Schematic diagram of FUE process

Table 2.2 Analytical method and instruments

Analysis Items	Instruments	Methods
Culture medium	DAEIL DBO-232 Incubator	-
Microbe Form	DONGWON Microscope	-
Centrifugal machine	VISION VS-5500N	-
Chlorophyll A	JASCO V-550	OD600
Residual Chlorine	Toyo Roshi Kaisha. Ltd	DPD Method
Zeta Potential	ZETA-METER 3.0+	-
ORP, pH, Temperature	TOA HM-20P	-
Conductivity	LC-84	-
TOC	SHIMADZU TOC-5000A	-

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 여과공정에 의한 처리성능평가

현재 IMO에서 제안하고 있는 기준에 따라 여과처리장치는 SS 70 $\mu\text{m}$  이상을 제거할 수 있는 망을 선택하였고, 실험장치에서 압력, 회전속도, SS 농도를 변경하여 실험하였다. Table 3.1은 압력에 변화에 따른 SS제거 효과를 나타내었다.

Table 3.1 Effect of Pressure

Pressure	Effect of SS Removal		
	-40.5cmHg	-51.5cmHg	-54.6cmHg
SS (70 $\mu\text{m}$ 이하)	2.9 mg/ℓ	3.1 mg/ℓ	3.2 mg/ℓ

압력이 -40cmHg 이하에서 일정한 처리성능을 나타내었고, -40.5cmHg 이하가 되면 처리성능이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이때 역세척을 하여 일정한 처리효율을 얻을 수 있었다.

유입된 해수에 70 $\mu\text{m}$  이상의 유기물 및 생물체는 필터에서 여과되어 처리되고 처리수가 자외선-전해살균 장치에 유입된다. 회전식 여과장치에서 SS의 제거효율을 살펴보면 Fig. 3.1과 같다.

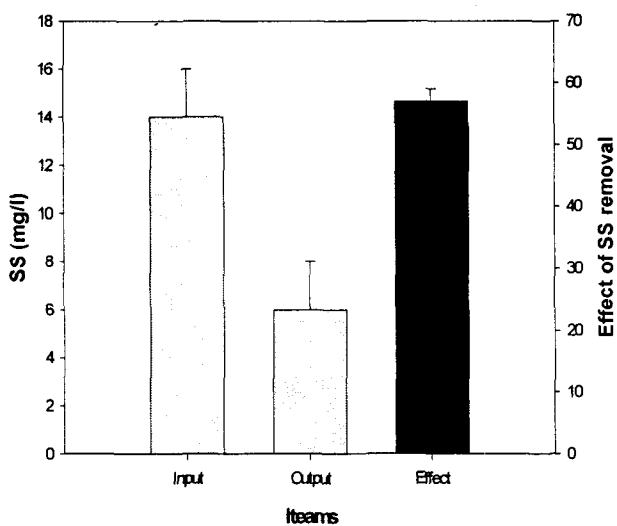


Fig. 3.1 Effect of SS Removal on FUE process treatment

#### 3.2 자외선-전해살균 장치에 의한 처리성능평가

여과장치를 거친 시료는 자외선-전해살균 처리공정에서 유기물질과 생물체를 처리한다. 처리조건은 전류밀도 2.0A/dm<sup>2</sup>, UV 조사량 220 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{m}$ , HRT를 2sec로 하여 처리한 결과는 Table 3.2에서 나타난 것처럼 식물성 플랑크톤, 일반세균, 대장균은 자외선-전해살균 장치에서 모두 사멸하여, 해수생물을 처리하는데 뛰어난 효과를 나타내었고 대용량의 발라스트수를 연속적으로 처리할 수 있었다

Table 3.2 Biocide effect of FUE process treatment

Name of Bio	Number of bio (input) (MPN/100mℓ)	Number of bio (output) (MPN/100mℓ)	Rate of inactivation (%)
Phytoplankton	0.51	ND	100
Bacteria	101	ND	100
E-coli	1000	ND	100

자외선-전해살균 장치를 거친 처리수의 유기물의 변화가 Fig. 3.2에 나타나있다. 여과과정에서 유기물의 감소가 일어났고 최종 처리수에서는 유기물이 COD<sub>Mn</sub>으로 3.36mg/ℓ에서 2.01mg/ℓ로 40%감소하였다.

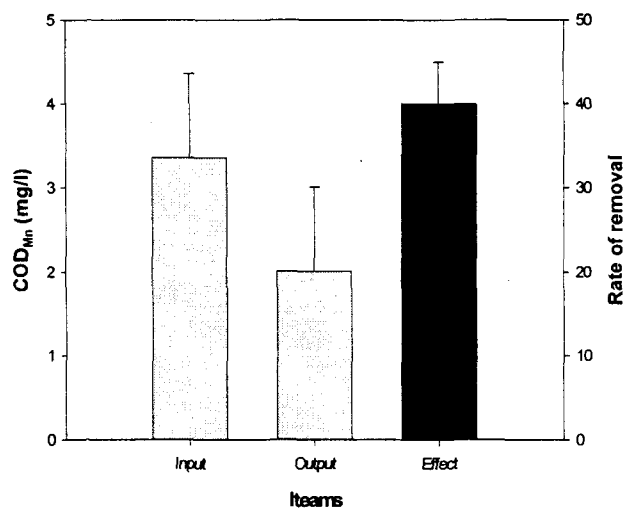


Fig. 3.2 Effect of Removal of Organic Matter in Complex Sterilization Process

Table 3.3는 처리된 시료를 배양한 후 미생물의 변화를 관찰한 실험 결과이다. 선박의 특성상 항해 기간이 다를 수 있기 때문에 시간의 변화에 따라 발라스트수 탱크 속에서 미생물이 재활성 하는 경우를 산정해 실험한 결과 1주일까지는 전혀 재활성이 일어나지 않았다. 1주일 후에도 일반세균이 400cell/ml가 발생했을 뿐 동식물성박테리아와 수질오염의 측도가 될 수 있는 대장균의 재활성은 일어나지 않아 처리효과가 지속됨을 관찰할 수 있었다.

Table 3.3 Comparison of Regeneration according to Time at 22.6°C

Name of Bio	1day	3day	6day	9day	12day	15day
Zooplankton (cells/ml)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Phytoplankton (mg/m <sup>3</sup> )	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bacteria(cells/ml)	ND	ND	ND	400	650	900
E-coli(cells/ml)	ND	ND	ND	ND	ND	ND

또한, 자외선-전해살균 공정에 의하여 발생된 잔류오존과 잔류염소의 영향으로 미생물의 성장이 억제되었고 9일 이후에는 잔류오존과 잔류염소의 효과가 떨어져서 자연적으로 일반세균의 출현이 처리수내에서 일부 나타나는 것으로 판단되어진다.<sup>7,8)</sup>

#### 4. 결론

발라스트수를 FUE 공정으로 처리한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) FUE 공정에 의해 SS는 57.1%이상 제거되고 70 $\mu$ m 이상은 완전히 제거되어, IMO의 권고치에 적합하게 나타났다.
- (2) FUE 공정에 의한 살균처리는 Zooplankton 100% 제거, Phytoplankton 100%제거, Bacteria 100%제거, E-coli 100%제거하여 뛰어난 처리효과를 나타내었다.
- (3) 각각의 살균공정보다 AOP 공정으로 처리하여 전극 간격을 늘리고, 자외선 조사량 및 시간을 단

축하고, 전기량과 HRT를 줄일 수 있는 효과를 나타내었다.

#### 참고문헌

- [1] 해양수산부 통계자료 2001
- [2] Globallast Symposium and Workshop Submission, pp.26-30, March 2001
- [3] N, Hulsmann, B. B. Galil, The effects of freshwater flushing on marine heterotrophic protists implications for ballast water management, Marine Pollution Bulletin Vol. 42, No. 21,,pp.1,082, 2001
- [4] Thomas P. Mackey etc., Technologies for Ballast Water Management, 2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium ,pp.53-55, 2000
- [5] 공정시험법, 동화기술, pp.469-477, 1992
- [6] Standard Methods, for the examination of water and wastewater, 18th edition, APHA, pp.2-60, 1992
- [7] Hiromasa Kiura, Kouichi Sano, Shinichi Morimatsu, Takashi Nakano, Chizuko Morita, Masaki Yamaguchi, Toyoyuki Maeda, Yoji Katsuoka. Bactericidal activity of electrolyzed acid water from solution containing sodium chloride at low concentration, in comparison with that at high concentration Journal of Microbiological Methods 49, pp.285-293, 2002
- [8] Tsuzuki, K., Tanaka, T., Takagi, T., Shimomura, M., Effects of electrochemical treatment on Microcystis extinction [Japanese]. J. Water Environ. Soc. 22, pp.228- 231, 1999
- [9] Wang, W L; Powers, B W; Leuchtefeld, N W; Blaser, M. J, Effects of disinfectants on Campylobacter jejuni, Applied and Environmental Microbiology Volume 45, Issue 4, pp.1,202-1,205, April 1983

원고접수일 2002년 12월 2일

원고채택일 2002년 12월 27일