

# FUE 공정에 의한 Ballast Water처리

김억조, 김주현, 박상호, 박성진, 김인수  
한국해양대학교 토목환경공학과

## Treatment of Ballast Water

### By Filtration - Ultraviolet radiation - Electrolytic Method

Kim Eog-Jo, Kim Ju-Hyun, Park Sung-Jin, Park Sang-Ho, Kim In-Soo  
Korea Maritime University Civil and Environmental Engineering

#### 1. 서론

호주와 브라질의 항만이나 연안 해역에 평소 서식하지 않았던 수중 미생물이 출현하여 해양을 오염시키거나 해양생태계를 파괴하는 현상이 발행해왔다. 이 원인을 조사한 결과 주로 아시아지역에서 입항하는 선박의 Ballast Water에 함유된 유해한 수중유기물질에 의한 해양생태계 교란임이 확인되었다. 그에 따라 1992년 UNCED(United Nations Conference on environment and Development)는 비 토착 미생물의 확산 방지를 위하여 IMO(International Maritime Organization)에 Ballast Water의 방출에 관한 제도적인 규제를 요청하였으며 IMO총회(1993년/1997년)에서 문서 A774.(18)과 A868(20)으로 Ballast Water 관리지침을 채택하고, MARPOL 73/78의 세부속서로서 Ballast Water의 쟁점사항을 지속적으로 검토하도록 MEPC (Marine Environment Protection Committee; 해양환경보호위원회)에 요청하였다. 1994년 이후 여러 종류의 Ballast 관리 규정을 포함하는 이행지침과 함께 MARPOL 73/78의 새로운 부속서를 위한 규칙의 제정을 위해 MEPC 아래 구성된 Working Group에서 Ballast Water 처리에 대한 새로운 기술 개발을 검토한 결과 Ballast Water로 인한 생태계의 파괴 및 오염을 방지하기 위한 방안으로 Ballast Water를 항만 내에 입항하기 전 일정한 해역에서 교환하는 방안과 적재하고 있는 Ballast Water를 물리, 화학적인 방법을 통하여 살균 또는 소독하는 방안이 제시되었다.

그러나 상기 두 가지 방안 중 Ballast Water를 물리, 화학적으로 살균 또는 소독하는 방안은 선박에 적재되는 Ballast Water 양이 대량이므로 그 실효성에 의문이 지적되었으며 주로 대양에서 Ballast Water를 교환하는 방안에 대하여 검토가 집중적으로 이루어져 왔다. 그러나 대양에서의 Ballast Water 교환작업은 많은 시간과 노력이 필요하며 선박안전에 위험을 초래할 가능성이 있고 또한 근거리 항해시에는 그 작업이 불가능하므로 실용적인 Ballast Water 처리장치의 개발이 범세계적인 화두로 대두되기에 이르렀다.

최근 미국과 유럽의 일부국가에서 Ballast Water 처리를 위한 필터링장치, 자외선 소독장

치 등과 같은 물리, 화학적인 처리방법을 개발하여 그 시제품이 이미 출시되었고 여객선을 중심으로 그 사용이 점차 증가되고 있는 추세이며 일본을 위시한 세계의 조선강국들이 모두 Ballast Water 처리장치의 개발에 박차를 가하고 있다.

우리나라는 세계제일의 조선대국이지만 Ballast Water 처리공정에 대한 종래의 연구는 전무하며 그 이론적 배경 또한 취약한 편이다. 현재 진행 중인 Ballast Water에 관한 국제조약이 발효되면 기존선과 신조선을 가릴 것 없이 모든 국제항해에 종사하는 선박에 Ballast Water 처리장치를 장착해야하기 때문에 협약비준초기에 그 폭발적인 수요가 예측된다.

본 연구에서는 이러한 국내외적인 여건에 대처하기 위하여 해양생태계에 치명적인 영향을 미치는 유해 해양미생물을 완전하게 제거시킬 수 있는 한 방안으로, Filter 장치, UV 및 전해살균장치를 고안하여 실험실 규모의 실험과 Pilot Plant Test를 실시하고 영향인자를 도출하여 그 성능을 평가하였다.

본 연구의 결과는 Ballast Water 처리공정의 기본연구로서 효율적인 AOP 살균공정을 사용한 실용적이며 성능이 뛰어난 선박용 Ballast Water Treatment System 개발에 기여 할 것으로 기대된다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도는 Fig.2.1과 같다. AOP 공정으로 전극간격은 100mm, UV 조사량은  $220 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{m}$ , Filtration 처리장치는 RPM 자동조절 장치를 사용하여 유입수의 성질에 따른 처리속도를 조절할 수 있게 되었으며, 1단계 Filtration으로 SS 및 동식물성박테리아를 제거하고 회전식 필터에 부착되는 SS 성분을 Brush로 탈리시키면서 흡입 Pump로 해수를 연속적으로 UV-Electrolytic Sterilization System인 2단계로 유입시키면서, 초기의 압력이 -69.5cmHg 에서 계속적으로 압력이 저하되어 -72.0cmHg으로 되면 역세척이 되도록 설계되었으며, Brush 회전 70RPM, 전류량  $2.0\text{A}/\text{dm}^2$ , UV-Electrolytic Sterilization 장치 HRT 2sec, 회전식 Filtration 처리장치 HRT 7.7sec로 운전할 수 있게 설계되었다.

### 2.2 시료의 성상

원시료의 수질은 Table 2.1과 같으며 시료의 수질을 일정하게 유지하기 위하여 한국해양대학교 근해 해수면 1m아래의 해수를 채수하여 1차 SS 제거 실험을 하였고, 그 처리수를 살균 및 유기물제거 단계에 투입하는 연속식 처리시스템을 채택하였다.

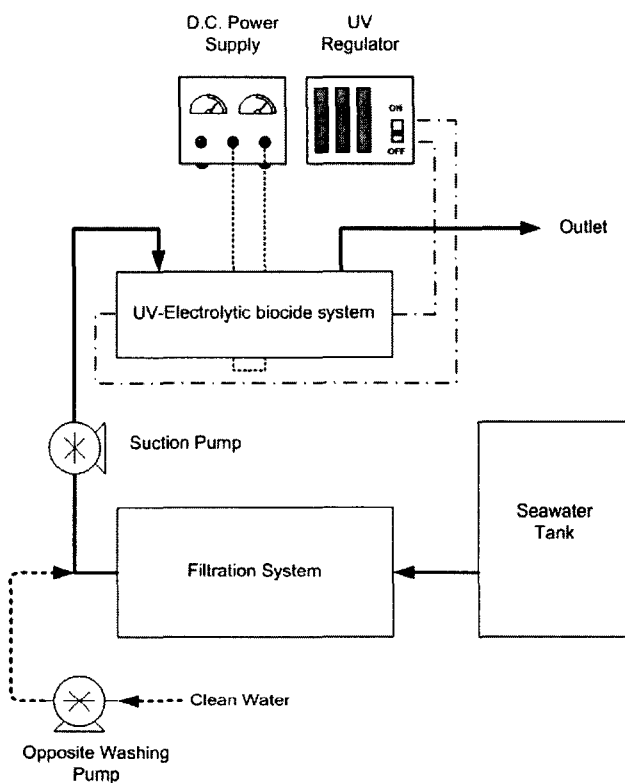


Fig. 2.1 Schematic diagram of FUE process

Table 2.1 Influent Composition for FUE Process

Item	Concentration(g/ℓ)	%
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>, Temperature, pH, ORP, SS, Conductivity, Residual Chlorine 등이며, 본 실험의 분석방법은 해수공정시험법과 Standard Method에 의하여 실시하였다. 실험에 필요한 분석항목과 분석장치 및 방법은 Table 2.2와 같다.

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	Toyoto Roshi Kaisha. Ltd	DPD Method
ORP	TOA HM-21P	-
pH, Temperature	TOA HM-20P	-
Conductivity	ORION-105	-
TOC	SHIMADZU TOC-5000A	-

### 3. 결과 및 고찰

FUE 공정에 의한 실험결과 식물성 플랑크톤, 대장균, 일반세균은 Table3.1에서 나타난 것처럼 UV-전해 살균 장치에서 모두 사멸하여, 해수생물을 처리하는데 뛰어난 효과를 나타내었고 여과장치는 40 $\mu$ m이하의 유기성입자 제거율이 57.1%로서 70 $\mu$ m이상의 유기성입자를 제거해야하는 IMO 규정에 만족하는 범위에서 연속적으로 처리할 수 있었다

Table 3.1 Biocode Effect of FUE Process

Name of Bio	Number of bio (input)	Number of bio (output)	Rate of inactivation (%)
Phytoplankton(mg/m <sup>3</sup> )	0.51	ND	100
Bacteria(MPN/100mℓ)	101	ND	100
E-coli(MPN/100mℓ)	1000	ND	100

Table 3.2 SS Removal on FUE process

	Amount of SS (input) (mg/ℓ)	Amount of SS (output) (mg/ℓ)	Rate of removal (%)
SS(40μm이하)	14	6	57.1

#### 4. 결론

Ballast Water를 FUE 공정으로 처리한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) SS의 제거율은 40μm이하의 유기성입자가 57.1%이상 제거되고 IMO의 권고치(70μm이상 제거)에 적합하게 나타났다.
- (2) 미생물제거효과는 Zooplankton, Phytoplankton, Bacteria, 그리고 E-coli 모두 100%제거되어 뛰어난 처리효과를 나타내었다.
- (3) 단일공정의 살균효과에 비해 AOP 공정의 복합산화에 의한 살균효과가 크게 나타났다.

#### 참고문헌

- (1) 2001년 '해양수산부 통계자료'
- (2) Globallast Symposium and Workshop Submission. March 26-30,2001
- (3) Kozeny, J., "Wasserkraft und Wasserwirtschaft," Vol. 22, No. 67, 1927.
- (4) Forchheimer, P., "Über Kapiliare Leitung des Wassers im Boden, Gas Und Wasserfach," Vol. 71, No. 437, May 12, 1928.
- (5) Fair, G. M., and Hatch, L P., "fundamental Factors Governing the Streamline Flow of Water through sand" Vol. 25, No, 1551, November, 1993.