

# 직접식 전기분해장치를 이용한 선박평형수 처리시스템 개발에 관한 연구

박옥열\* · 공길영\*\* · 문장\*\*\*

\*KT 마린 대표이사, \*\*한국해양대학교 항해학부 교수, \*\*\*한국해양대학교 마린에듀텍 연구원

**요 약 :** 국제해사기구는 선박평형수를 통한 수중생물의 이동을 막기 위해, 2004년 선박평형수와 침전물 통제 및 관리를 위한 국제협약을 채택하였으며 2015년 5월12일 현재 73개의 처리장치가 최종승인을 받았거나 진행중이다. 선박평형수 처리기술은 전기분해, 오존식, 자외선식 등 여러 기술이 개발되었으나 비용 및 효율면에서 전기분해방식이 타 방식에 비하여 좋고 간접식과 직접식으로 나누어지며 직접식이 간접식에 비해 우수하다. 본 논문에서는 직접식 전기분해 장치를 이용한 선박평형수 처리시스템 개발에 관해 연구하였다.

**핵심용어 :** 선박평형수, 전기분해, 활성물질, 직접 전기분해식, 수중생물

## 1. 서론

### 선박평형수의 문제점

- 1년에 20억톤~30억톤의 선박평형수가 전세계로 이동
- 외래 침입 유해종의 이동에 따른 생태계 교란

## 1. 서론

### 선박평형수 관리를 위한 국제적 노력

- 2004년 2월 BWMS Convention(2004)에서 D-1과 D-2규칙을 채택
- \*총 선복량의 35% 이상, 30개국 이상 비준 및 12개월 후 시행하며 2014년 7월 현재 40개국이 비준했으며, 총 선복량의 30.25%
- \*22개 조항, 23개 규칙, 16개 지침서로 구성

성능기준	Regulation
최소 크기가 50 μm인 생존 미생물	< 10 개체 / m <sup>3</sup>
10 ~ 50 μm 인 생존 미생물	< 10 개체 / ml
독성 미생물 (O1와 O139)	< 1 cfu <sup>a</sup> / 100 ml
대장균	< 250 cfu <sup>a</sup> / 100 ml
분변성 대장균	< 150 cfu <sup>a</sup> / 100 ml

## 1. 서론

### 선박평형수 관리를 위한 국제적 노력

- 1988년 캐나다와 호주가 유해한 종의 출현 문제를 경험 및 IMO MEPC에 문제 제기
- 1993년 IMO 총회에서 Res. A. 774(18)-"Guidelines for preventing the introduction of unwanted aquatic organism and pathogens from ship's ballast water and sediment discharges"을 채택
- 1997년 IMO 제2차 총회에서 Res. A. 858(20)-"guidelines for the control and management of ship's ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens"을 채택

	2014	2015	2016	2017
<1,500 or >5,000	<2009 (B-S.1.2)	D-1 or D-2		D-2
1,500 or 5,000	<2009 (B-S.1.1)	D-2 compliance required at first IOPP renewal survey after EIF		
<5,000	>EIF	D-2 compliance at delivery		
	2009 ≤ K < EIF (B-S.3)	D-2 compliance required at first IOPP renewal survey after EIF		
≥5,000	2009 ≤ K < 2012 (B-S.4)	D-1 or D-2	D-2	
	2012 ≤ K < EIF (B-S.5)	D-2 compliance required at first IOPP renewal survey after EIF		
	≥EIF	D-2 compliance at delivery		

## 1. 서론

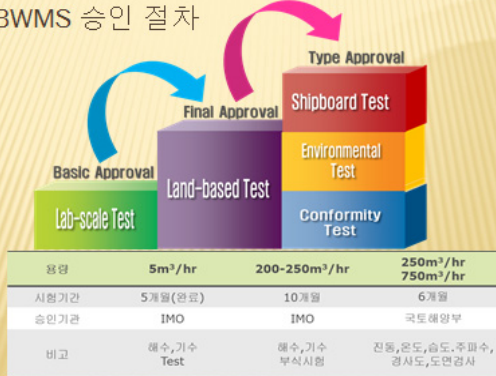
### BWMS 기술의 비교

Item	Electrolysis	Ultraviolet	Ozone	Chemical
Power consumption	Middle	Very High	High	Small
Footprint area	Middle	Small	Large	Very Large
Cost	Middle	Very Expensive	Middle	Expensive
Efficiency	Very Good	Middle	Good	Very Good

\* ceo@ktmarine.co.kr  
 \*\* 종신회원 : kong@kmou.ac.kr  
 \*\*\* cptkorea@kmou.ac.kr

## BWMS 승인 절차

× BWMS 승인 절차

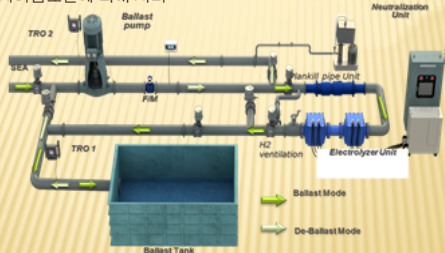


## 3. 선박평형수 정부 육상시험 설비

No	Item	Q'ty	Unit	Specification	Remarks
1	Ballast PP	1	set	Max. capacity:500m³/hr Head:15m Motor:AC380V/45kw/60Hz	KIOST
2	De-Ballast PP	1	set	Max. capacity:500m³/hr Head:20m Motor:AC380V/30kw/60Hz	KIOST
3	Planfill Pipe Unit	1	set	Material : SPP Connection : 200A flange type Size : 1450mm x S190	Participant
4	Electrolyzer Unit	1	set	Material of chamber : SS400, 10T(Epoxy tar coating) Connection : 200A, flange type Size : L1483 x W470 x H564(mm)	Participant
5	Neutralization Unit	1	set	Tank Material : SUS316 -Capacity : 80L -Size : L480 x W270 x H370(mm)	Participant
6	System Control Unit	1	set	Material : SS41, 23T Size : L900 x W430 x H1800(mm) Touch screen : 15inch, HMI, PLC	Participant

## 2. 직접식 전기분해 처리장치의 원리

직접식(Electrolysis):선박평형수전체를 전기 분해하여 라디칼 및 전위차, 저농도의 차아염소산에 의해 처리



\*간접식(Electrochlorination): 해수를 전기 분해하여 고풍도의 차아염소산을 만들고, 이를 선박평형수에 희석하여 소독하는 방식

## 3. 선박평형수 정부 육상시험 설비

No	Item	Q'ty	Unit	Specification	Remarks
7	Rectifier	1	set	Capacity : 39.6kw(12V, 330A) Size : L1222 x W450 x H1172(mm) Type : IGBT	Participant
8	Test water tank	1	set	Material : SS400 Capacity : 500m³ Size : Dia 11m x Height : 5.5m	KIOST
9	Treated water tank	1	set	Material : SS400 Capacity : 250m³ Size : Dia 7.5m x Height : 8m	KIOST
10	Control water tank	1	set	Material : SS400, 10T Capacity : 250m³	KIOST
11	Feed tank	1	set	Material : PE Capacity : 5m³ Size : Dia 1.81m x Height : 2.2m	KIOST
12	Flowmeter(Ballasting)	1	set	Model : KTM-800 Size : 200A, Flange type Accuracy : ±0.5% Range : 0~1000m³/hr	KIOST

## 3. 선박평형수 정부 육상시험 설비

- × 위치: 경남 거제시 장목면 한국해양과학기술원 남해연구소
- × 준공: 2013년 1월
- × 운용: 한국해양과학기술원



## 3. 선박평형수 정부 육상시험 설비

No	Item	Q'ty	Unit	Specification	Remarks
13	Flowmeter(De-Ballasting)	1	set	Model : KTM-800 Size : 200A, Flange type Accuracy : ±0.5% Range : 0~1000m³/hr	KIOST
14	TRO sensor	2	set	Model : CLX-HF Range : 0~10ppm Output : 4~20mA RS-484 Operation temp : 5~40°C Including sampling pump -Pressure boost pump -1.5L/min	Participant



#### 4. 선박평형수 정부 육상시험

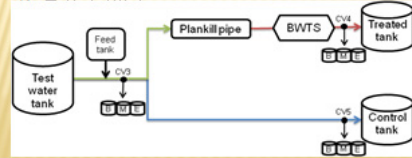
Disinfection By-Products(DBPs) 확인을 위한 biological efficacy test, chemical analysis와 aquatic eco-toxicity test는 각각 Korea Marine Equipment Research Institute(KOMERI), Korea Testing & Research Institute(KTR) 그리고 Marine Eco-technology Institute(MEI)에서 수행하며, 모든 시험 절차는 QA/QC에 따라 KIOST의 관리하에 실시된다. 해수 시험은 KIOST 인근의 남해안에서 파이프 라인을 통해 공급되며, 담수 시험 및 저염도(8psu) 시험은 수돗물이 혼합된 해수를 사용한다.

Items	Seawater	Brackish water
Salinity	> 32 psu	20-22 psu 8 psu
Flow rate	250 m <sup>3</sup> /h	
Test tank volume	Test water: 500 m <sup>3</sup> , control and treated water: 250 m <sup>3</sup>	
Maximum TRO concentration	10 mg/L TRO as Cl <sub>2</sub>	
Neutralizer	25% sodium thiosulfate (liquid type)	

#### 4. 선박평형수 정부 육상시험

##### 1) Ballasting Process

시험 시설 인근의 남해안에서 펌프를 통해 Test water tank에 채워 염도를 측정 Organism density를 현장에서 직접 측정 후 Feed tank에 주입 Starch와 Glucose를 Test water tank에 투입 Feed tank내의 미생물들은 feed pump를 통해 ballast line으로 주입 Ballast pump는 500m<sup>3</sup>/hr를 유지하였으며 처리수(250m<sup>3</sup>/hr)는 Treated water tank(T1)로, 미처리수(250m<sup>3</sup>/hr)는 Control water tank(C1)로 각각 보내진다. Ballasting Process 동안 해수와 기수 내의 미생물을 살균하기 위해 Electrolyzer Unit에서 Active Substances를 생성하였다. AS의 최대 허용농도는 미생물을 충분히 사멸시킬 수 있도록 10mg/L를 유지하였다.



#### 4. 선박평형수 정부 육상시험

##### Test standard

시험 기준은 해양수산부의 BWMS Type Approval 조항(PR. No. 2013-56, Annex 5 and Annex 6)과 IMO (Res. MEPC. 174(58), Annex, PART 2, 2.3, 2.4 & Part 4)의 Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems이다.

Test Item	Test Method
1 Water temperature	APHA Standard Method 2550:2012
2 pH	APHA Standard Method 4500 H+ B:2012
3 ORP	APHA Standard Method 2580:2012
4 Salinity	APHA Standard Method 2520 B:2012
5 DO	ASTM Standard Method D888-09 C:2010
6 Turbidity	APHA Standard Method 2130 B:2012
7 TSS	APHA Standard Method 2540 D:2005
8 DOC/POC <sup>2</sup>	ISO 8245:1999

<sup>1</sup> The test was conducted by Korea Testing & Research Institute(KTR).

#### 4. 선박평형수 정부 육상시험

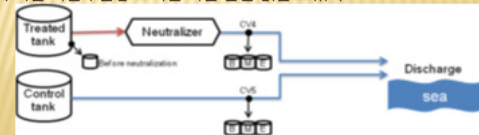
##### 2) De-Ballasting Process

Treated water tank(T1)에 있는 처리수는 배출하기 전 잔류염소를 제거하기 위하여 중화조(neutralization unit)에서 처리된다.

중화에 사용되는 중화제로는 sodium thiosulfate 수용액(농도 25%)을 사용하며, 처리수의 잔류 TRO 농도와 discharge flow rate에 의해 투입량이 결정된다.

de-Ballasting Process에는 2개의 TRO sensor가 사용되었으며, 하나는 중화 전 Treated water tank(T1)의 처리수의 잔류 TRO 농도를 측정하고 다른 하나는 중화 후의 잔류 TRO 농도를 측정하는데 사용되며 이때의 Maximum Allowable Discharge Concentration(MADC)는 0.2mg/L를 유지한다.

중화제의 투입량은 Treated water tank(T1)의 잔류 TRO 농도에 따라 상이하니, 일반적으로 해수에서는 190~270ml/min, 기수에서는 20~80ml/min가 사용되었다. 이는 중화 공식에 의한 이론투입량 보다는 약간 높은 값을 보였다.



#### 4. 선박평형수 정부 육상시험

##### Test standard

Test Item	Test Method
9 Viable organisms (50)	Fleming & Coughlan, 1978 <sup>2</sup> US EPA 600/R-10/146:2010 <sup>3</sup> APHA Standard Method 10200 C:2012 <sup>4</sup>
10 Viable organisms (10-50)	Anja et al., 2005 <sup>5</sup> APHA Standard Method 10200 C:2012
11 Heterotrophic bacteria	APHA Standard Method 9125:2012
12 Coliform	APHA Standard Method 9222 b:2012
13 Escherichia coli	US EPA 1603:2009
14 Intestinal Enterococci	US EPA 1600:2009
15 Toxicogenic Vibrio Cholerae(O1, O139)	APHA Standard Method 9260 H:2012 and/or API 20E kit(BioMericux, Inc.)

<sup>2</sup> Staining with Neutral Red.

<sup>3</sup> Touch with the point of a fine dissecting needle.

<sup>4</sup> Concentration techniques.

<sup>5</sup> Fluorescence staining with 5-CFDA-AM.

#### 5. 결론

- 평형수 주입 동안 장치에서 생성되는 최대 염소 농도는 10±0.58ppm 이었다. 또한 배출되는 잔류염소 농도는 0.2ppm 이하였다.

해수 시험 결과 TRO 농도

Salinity	Test cycle	Concentration(mg/L TRO as Cl <sub>2</sub> )		
		Day 0	Before neutralization	After neutralization
Sea water (>32psu)	1	10.17±0.72	3.80±0.16	0.05±0.01
	2	10.37±0.38	3.79±0.30	0.05±0.01
	3	10.28±0.12	3.88±0.14	0.07±0.01
	4	10.30±0.30	2.49±0.15	0.03±0.02
	5	10.26±0.54	2.36±0.17	0.06±0.05
	6	10.46±0.26	2.88±0.16	0.04±0.01