

# 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치 개발과 시험에 관한 연구

박옥열\* · 문장\* · 박준모\*\* · † 공길영

\*KTM, \*\*한국해양대학교 운항훈련원, † 한국해양대학교 항해학부 교수

## Development of the Electrolysis Ballast Water Treatment System and Test

Og-Yeol Bag\* · Jang Moon\* · Jun-Mo Park\*\* · † Gil-Young Kong

\*KT Marine, Busan, Korea

\*\*Sea Training Center, Korea Maritime and Ocean University

† Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University

**요 약** : 선박의 항해 안전성을 유지하기 위하여 평형수 탱크에 주입·배출되는 선박평형수는 그 안에 포함되어 있는 각종 수중생물로 인하여 지역 해양 환경에 부정적인 영향을 주고 있다. 국제해사기구(IMO)는 선박평형수를 통한 수중생물의 이동을 막기 위해, 2004년 선박평형수와 침전물 통제 및 관리를 위한 국제협약을 채택하고 2016년 9월에 발효하여, 2017년 9월 이후 정기검사가 도래하는 모든 선박은 선박평형수 처리장치를 설치하도록 하였다. 선박평형수 처리 방식에는 활성물질질을 이용하여 처리하는 전기분해식, 오존식, 약품식과 물리적인 처리방식인 필터, 자외선식 등으로 나누어 지며, 두 가지 방식을 혼용하여 사용하기도 한다. 일반적으로 비용과 효율 면에서 전기분해방식이 우수한 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 직접식 전기분해 선박평형수 처리장치의 기본 원리, 구성 요소, 육상 시험 내용을 고찰하였다. 육상시험은 정부시험 시설이 설치되어 있는 KIOST 거제분원에서 300m<sup>3</sup>/h 처리 용량의 장치로 수행하였다. 이 육상시험을 통해 직접식 전기분해 선박평형수 처리장치가 IMO에서 제시하고 있는 기준을 만족하고 다른 방식에 비해 효율적인 것을 확인하였다.

**핵심용어** : 선박평형수, 수중생물, 선박평형수처리장치, 활성물질, 직접식 전기분해

**Abstract** : Ballast water filled into and discharged from the ballast tank of a ship has a negative impact on local marine environment due to various aquatic organisms contained therein. The IMO developed and adopted "The International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments, 2004" with the purpose of protecting the marine environment from transfer of harmful aquatic organisms in ballast water carried by ships. The IMO BWM Convention was approved in September 2016 and ships must be equipped with ballast water management system after September 2017. Ships' ballast water treatment methods are divided into using active substances as electrolytic type, ozone type, chemical dosing type and using physical treatment type as filter type, ultraviolet type. It is also used with a combination of two methods. Electrolysis is superior in terms of cost and efficiency. In this study, basic principles, components, and land base test contents of electrolysis ballast water treatment system, a direct electrolyzed ballast water treatment system, were examined. Land base test was conducted with 300m<sup>3</sup>/h capacity device at the KIOST Geoje plant where the government test facility was installed. This test validated that the system meets IMO standards.

**Key words** : Ship Ballast Water, Aquatic Organism, Ballast Water Treatment System, Active Substances, Electrolysis

## 1. 서 론

해상을 이용한 무역과 교통량이 급속히 증가함에 따라, 선박평형수에 의해 해양생물이 이동함에 따른 환경과피 문제가 그 동안 꾸준히 제기되어 왔다. 많은 해역에서 이러한 외래 침입종의 영향으로 생태계 교란이 놀랄만한 속도로 증가되고, 이러한 외래 침입종의 문제는 해상 교통량의 증가로 인하여 계속 발생할 것으로 예상된다.(Kim[2009])

1988년 캐나다와 호주가 자국 해역에 유해한 종의 출현 문제를 경험하고 처음으로 국제해사기구의 해양환경보호위원

회에 이에 대한 문제를 제기하였다. 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 채택하였고, 1997년 IMO 제20차 총회에서는 Res. A. 868(20)-"Guidelines for the control and management of ship's ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organism and pathogens"을 채택하였다. 이러한 노력의 결과로 2004년 2월 국제해사기구(IMO)는 BWM Convention(The International Convention for the Control and Management of Ships

† 교신저자 : 종신회원, kong@kmou.ac.kr, 051) 410-4273

\*연회원, ceo@ktmarine.co.kr, 051) 905-2458

\*일반회원, jmpark@kmou.ac.kr, 051) 410-4184

Ballast Water and Sediments, 2004)을 채택하였다. 선박이 항만 내에 입항하기 전 일정한 해역에서 선박평형수를 교환하는 방안과 선박평형수를 물리, 화학적인 방법으로 살균, 소독하는 두 가지 방안이 채택되었다. 선박평형수 처리장치가 개발되기 전까지는 교환하는 방식으로 처리하고, 개발 후에는 선박평형수 처리장치를 설치하여 처리해야 한다. 2016년 9월에 협약이 승인되어 2017년 9월 이후에 국제항해에 종사하는 모든 선박은 정기검사 도래 전까지 선박평형수 처리장치를 설치하여야 한다.(Lloyd's Register[2007])

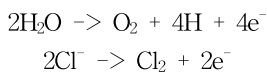
현재까지 개발된 선박평형수 처리장치는 병원균을 포함한 수중생물을 화학적으로 처리하는 작용을 하는 활성물질(이하 활성물질(AS)이라 함)을 사용하는 전기분해법, 오존처리법, 약품주입법 등과, 물리적인 방법을 사용하는 자외선 조사법, 필터처리법 등 여러 종류가 개발되어 실용화 되었다.(Jung[2013])

최근에 주로 선박에 설치되는 선박평형수 처리장치 기술은 대부분 직·간접 전기분해식, 자외선 조사식이다. 그 이유는 운전이 안정적이며 비용이 비교적 저렴하며 유지보수가 쉽고 처리 효과가 확실하기 때문인 것으로 판단된다. 본 논문에서는 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치의 기본원리, 구성요소와 IMO에서 제시하고 있는 활성물질의 최종승인 기준 및 정부형식 승인 기준을 만족하기 위해서 수행한 육상시험 내용과 결과를 고찰하고자 한다.

## 2. 선박평형수 처리장치의 살균 원리 및 구성

### 2.1 살균 원리

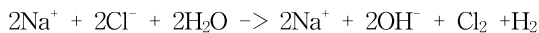
전해조의 전기화학적 살균 반응은 다음과 같다. 이 과정에서 해수의 전기 분해 중에 양극에서 염소(Cl<sub>2</sub>)가 생성된다.



음극에서는 수산화나트륨과 수소(H<sub>2</sub>)가 생성된다.

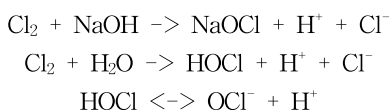


전기분해의 전체적인 반응은 다음과 같다.



염소는 물과 즉시 반응하여 차아염소산(HOCl) 및 미생물을 산화시키는 능력을 가진 차아염소산염(OCl<sup>-</sup>)을 생성한다.(Yoon[2005])

또한, 차아염소산은 주로 pH가 증가함에 따라 수소이온(H<sup>+</sup>)과 차아염소산이온(OCl<sup>-</sup>)으로 분리되고, pH가 감소하면 다시 결합하여 HOCl이 된다.



전기분해 과정에서 생성된 NaOCl, HOCl, OCl<sup>-</sup> 등을 활성물질(Active Substances) 또는 총 잔류 산화제(TRO : Total

Residual Oxidizer)라고 하는데, 이들과 이 외에 전위차와 라디칼에 의해 미생물은 살균된다.(Kim[2009])

### 2.2 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치의 구성

직접식 전기분해 처리장치는 Plankill Pipe Unit, Electrolyzer Unit, Neutralization Unit, System Control Unit으로 구성되어 있다. 선박의 평형수는 sea chest에서 밸러스트 펌프를 사용하여 흡입되어 Plankill Pipe Unit으로 유입된다. Plankill Pipe Unit에서는 잔류가 발생되어 구조물에 충돌하여 활성물질에 비교적 강한 50 $\mu$ m 이상 크기의 수중 생물에 충격과 손상을 준다. 손상된 유기체들은 Electrolyzer Unit로부터 생성된 활성물질(AS)에 의해 2차 살균된다. 이렇게 처리된 평형수에는 잔류 산화제가 남아 있어 밸러스트 탱크 내에 적재되어 있는 동안 유기체는 재생장할 수 없다.

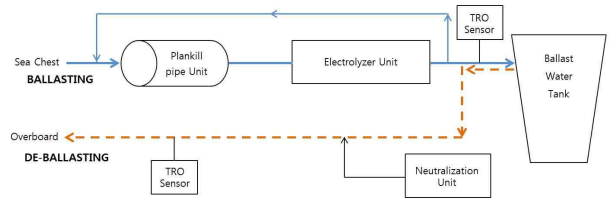


Fig. 1 Ballast water management system diagram

#### 1) Plankill Pipe

Fig. 2 Plankill Pipe는 밸러스트 펌프로 흡입한 해수가 처음 지나는 곳으로 한국조선해양기차재연구원 효능시험과 육상시험에서 크기 50 $\mu$ m 이상의 동물성 플랑크톤인 Artemia salina를 대상으로 3회 실시하여 확인한 결과, 약 50% 사멸되는 것을 확인하였다.(2013 KTM IMO Final application Appendix 3, pp.13~14) 이것은 필터와 같은 물리적 전처리 장치로서, 막힘이 없고 보수가 거의 필요 없으며 수류에 의해 작동하므로 별도의 운전 에너지가 필요 없는 장점을 가지고 있다.



Fig. 2 Plankill pipe unit

#### 2) Electrolyzer Unit

Fig. 3 Electrolyzer는 선박의 main ballast pipe line에 직접 설치되며, 전기분해 과정에서 생성되는 활성물질(AS)은 해수와 기수 내의 수중 생물을 사멸시키기에 매우 효율적이며 잔류성이 있어 밸러스트 탱크로 유입 후에도 재생장을 억제한다.

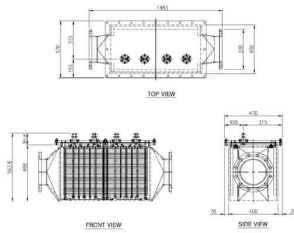


Fig. 3 Electrolyzer unit

### 3) Neutralization unit

이것은 활성물질(AS)이 포함된 밸러스트 탱크 내의 처리수를 선외로 배출할 때 해수와 유사한 농도로 중화시키는 기능을 한다. 중화제로는 Sodium thiosulfate 수용액(25% 농도)을 사용하며, 주입량은 de-ballasting flow rate와 TRO 농도에 의해 제어된다. 배출수는 최대 배출 허용 농도(Maximum Allowable Discharge Concentration : MADC) 0.2mg/L 이하로 배출해야 한다.



Fig. 4 Neutralization Unit

### 4) Rectifier

이것은 선박의 AC 440V의 전압을 DC 0~12V, 전류 0~3300A로 변환하여 Electrolyzer Unit로 보내는 장치다. 교류는 전기분해를 일으킬 수 없어 직류로 변환하는 장치이다.



Fig. 5 Rectifier

### 5) TRO sensor

이것은 Electrolyzer Unit에서 생성된 활성물질(AS)의 농

도를 감지하는 장치이며 최대 13ppm까지 측정할 수 있다. 일반적으로 ballasting 시에는 전기분해 장치 후단에 TRO sensor 한 개가 사용되고, de-ballasting 시에는 밸러스트 탱크에서 AS 농도를 측정하기 위해 중화장치 통과 전에 하나, 중화 후 배출 농도를 측정하기 전에 하나로, 총 2개의 TRO sensor가 사용된다.



Fig. 6 TRO sensor

## 3. 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치 시험

### 3.1 시험 개요

직접 전기분해식 선박평형수 처리장치의 육상 시험은 2013년 약 6개월간 정부시설인 KIOST(Korea Institute of Ocean Science & Technology) 거제 분원에서 실시되었다.

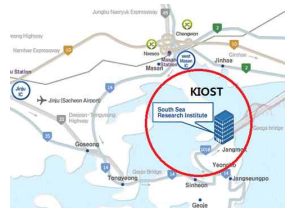


Fig. 7 Electrolysis ballast water treatment system

Fig. 7은 KIOST 위치와 선박평형수 처리장치가 시험시설에 설치된 모습이다. 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치는 20 feet container 안에 모든 장치가 설치되었고(TRO sensor만 외부에 설치), Ballasting과 de-Ballasting process 테스트를 진행하였다.

Ballasting시 유입수는 밸러스트 펌프에 의해 미생물에

물리적으로 손상 또는 충격을 주는 Plankill Pipe Unit을 지나게 되고 그 후 활성물질(AS)를 생산하는 전해조를 통과함으로써 완전히 살균된다. 이때 생산된 활성물질(AS)은 TRO sensor에 의해 자동적으로 모니터링 되며, Ballasting 시의 최대 허용 TRO 농도는 10mg/L이다. de-Ballasting 시 밸러스트 탱크 내의 처리수를 선외로 배출시키기 전에 밸러스트 탱크 내의 잔류염소를 중화시키기 위해 중화제를 투입한다. 중화제로는 sodium thiosulfate 수용액을 사용하며, 최대 배출 허용 농도(Maximum Allowable Discharge Concentration) 0.2mg/L 미만을 만족시키기 위해 중화제 투입량은 지속적으로 제어한다.

육상시험에 대한 시험규격은 해양수산부고시 제2013-56호, 별표 4와 6 및 IMO G8 지침서(IMO Res. MEPC. 174(58). Annex. PART 2, 2.3, 2.4 and Part 4)를 따랐다.(Kim[2012])

Table 1 Inlet and outlet criteria

	Salinity		
	> 32psu	3~32psu	< 3psu
DOC	>1mg/L	>5mg/L	>5mg/L
POC	>1mg/L	>5mg/L	>5mg/L
TSS	>1mg/L	>50mg/L	>50mg/L

Table 1은 시험이 실시되는 염분별 수질에 대한 기준이며 만족를 못하면 시험이 무효가 된다. psu는 실용염분단위이며 전기전도도로 측정된 염분의 값을 표기한 것이고, DOC(Dissolved Organic Carbon)는 용존유기탄소이며 POC(Particulate Organic Carbon)는 입자성유기탄소이고 물속에 들어 있는 탄소를 나타낸다. TSS(Total Suspended Solids)는 총부유물질이며 물속에 들어있는 탁도를 높아지게 하는 현탁물질이다.

### 3.2 Ballasting Process 시험

해수 및 기수 시험을 위해 KIOST 시험 시설 인근의 남해안에서 펌프를 통해 Test water tank에 채워 염도를 측정하였다. 또한 organism density를 현장에서 직접 측정된 후 일반세균, 동물성 플랑크톤, 식물성 플랑크톤을 Feed tank에 투입하였으며, 그 후에 시험 기준 이상의 수질을 맞추기 위하여 starch 와 glucose를 Test water tank에 투입하였다.

Ballasting process 시작 전에 밸브의 line-up 점검을 하고 main ballast line의 밸브를 개방하여 ballast pump를 가동시켰으며 그와 동시에 전기분해 장치에 전원을 공급하였다. 이 때, Feed tank 내의 미생물들은 feed pump를 통해 ballast pipe line으로 주입되었다. 직접 전기분해식 선박평형수 처리 장치의 처리용량은 300m<sup>3</sup>/h이나 정부시험시설의 최대 용량이 250m<sup>3</sup>/h이므로 발라스트 펌프는 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 보내졌다.

Ballasting process 동안 해수와 기수 내의 미생물을 살균하기 위해 Electrolyzer unit에서 을 생성하였다. 이 활성물질의 최대 허용농도는 미생물을 충분히 사멸시킬 수 있도록 약 10mg/L을 유지하였다.

Electrolyzer unit을 통과한 후 TRO 농도 10mg/L의 전해수(electrolyzed water) 일부를 Plankill Pipe Unit의 전단으로 보내어 순환시킨다. 이러한 순환 기능은 시스템이 운전 중이거나 작동이 멈추었을 때 수중 생물이 Plankill Pipe Unit 내부에 부착, 증식하여 생성되는 생물막(biofilm)의 생성을 억제시킬 수 있다. Ballasting process에서 발생하는 가스 분석을 위해 전해조 후단과 treated water tank(T1)에서 샘플링을 실시하였다. 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치의 ballasting process의 flow diagram은 Fig. 8에 나타내었다.

### 3.3 de-Ballasting process 시험

de-Ballasting process 동안 Treated water tank(T1)에 있는 처리수는 선외로 배출하기 전 잔류염소를 제거하기 위하여 중화조(neutralization unit)에 의해 중화 처리된다. 이는 배출수를 자연 해수와 유사하게 중화함으로써 해양 생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위함이다. 중화에 사용되는 중화제로는 sodium thiosulfate 수용액(농도 25%)을 사용하며, 처리수의 잔류 TRO 농도와 discharge flow rate에 의해 투입량이 결정된다. de-Ballasting process를 시작하기 전에 ultra pure water를 사용하여 2개의 TRO sensor의 작동상태를 확인하였으며 그때의 TRO 농도는 0.00mg/L였다. Treated water tank(T1)를 mixing한 후에 de-Ballasting line의 밸브를 확인하고 de-Ballasting pump를 가동하면서 공정이 시작되었다.

de-Ballasting process에는 2개의 TRO sensor가 사용되었는데, 하나는 중화전 Treated water tank(T1)의 처리수의 잔류 TRO 농도를 측정하고 다른 하나는 중화후의 잔류 TRO 농도를 측정하는데 사용되었으며, 이때의 Maximum Allowable Discharge Concentration(MADC)는 0.2mg/L을 유지하였다.

중화제의 투입량은 Treated water tank(T1)의 잔류 TRO 농도에 따라 상이하나, 일반적으로 해수에서는 190~270ml/min, 기수에서는 20~80ml/min가 사용되었다. 이는 중화 공식에 의한 이론투입량(theoretical dosage rate) 보다는 약간 높은 값을 보였다. 직접 전기분해식 선박평형수 처리 장치의 de-ballasting process의 flow diagram은 Fig. 9에 나타내었다.

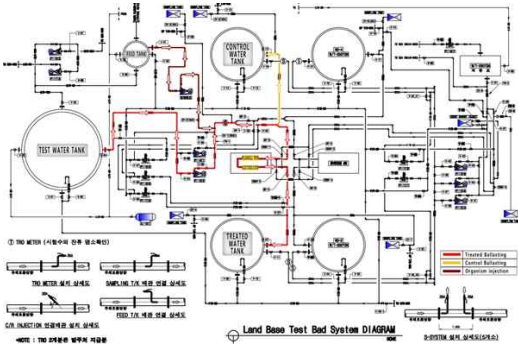


Fig. 8 Flow diagram of ballasting process

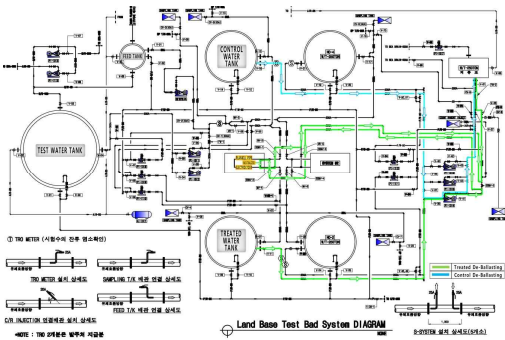


Fig. 9 Flow diagram of de-ballasting process

3.4 시험결과 및 고찰

시험은 염분이 10psu 이상 차이가 나는 구간에서 각각 5회 테스트(1set)를 해야 한다. 직접 전기분해식 선박평형수 처리장치의 육상시험은 해수(>32psu)와 기수(20~22psu)에서 IMO의 G8과 G9에 따라 실시되었다. 전해조에 유입되기 전의 시험수의 기본 수질과 생물 개체수는 Table 2(수질 측정) 및 Table 3(생물 개체수 측정)과 같이 측정되어 염분, 수질(총부유물질, 용존유기탄소, 입자유기탄소), 수중생물(50 $\mu$ m 이상, 10~50 $\mu$ m, 일반세균) 시험 가능 기준을 만족하였다.

Table 2 Basic water parameters of test(challenge) water

Salinity	Test Cycle	psu	TSS	DOC	POC
> 32 psu	1	32.76 ±0.22	24.9 ±3.70	3.28 ±0.11	2.30 ±0.05
	2	33.05 ±0.06	25.4 ±2.71	3.51 ±0.35	2.15 ±0.26
	3	32.74 ±0.14	26.3 ±4.27	3.66 ±0.07	2.08 ±0.39
	4	33.12 ±0.14	22.1 ±3.44	3.59 ±0.14	2.55 ±0.38
	5	33.66 ±0.08	27.6 ±5.43	3.45 ±0.11	2.35 ±0.31
	6	34.57 ±0.14	20.7 ±3.02	3.87 ±0.05	2.07 ±0.41
Criterion		>32	>1	>1	>1
3-32 psu	7	20.88 ±0.03	65.8 ±3.20	7.54 ±0.07	13.8 ±0.79
	8	20.86 ±0.06	62.9 ±2.38	7.35 ±0.02	8.04 ±2.18
	9	21.2 ±0.12	60.9 ±1.47	7.25 ±0.18	13.3 ±1.55
	10	21.34 ±0.03	53.6 ±2.72	6.92 ±0.09	12.5 ±0.44
	11	21.49 ±0.25	63.8 ±1.31	8.20 ±0.37	13.9 ±0.11
	12	21.28 ±0.04	60.6 ±2.14	7.99 ±0.03	10.7 ±1.62
Criterion		3-32	>50	>5	>5

Source : KTM Application for IMO Final Approval(2013) MEPC 67th session, submitted by the Republic of Korea, Appendix 1-12

Table 3 Viable organisms of test(challenge) water

Salinity	Test Cycle	50 $\mu$ m Organism	10-50 $\mu$ m Organism	Heterotrophic Bacteria
>32 psu	1	267,667 ±12,470	1,427 ±210	16,178 ±2,132
	2	177,389 ±16,933	1,357 ±160	12,389 ±1,816
	3	176,334 ±31,754	1,318 ±154	2,889 ±1,395
	4	156,278 ±17,722	1,246 ±216	10,156 ±1,032
	5	440,000 ±66,639	1,164 ±78	11,689 ±1,880
	6	181,223 ±28,874	1,050 ±129	16,356 ±1,947
20~22 psu	7	118,445 ±10,159	1,157 ±266	16,556 ±3,104
	8	221,112 ±22,970	1,095 ±176	12,623 ±3,979
	9	295,112 ±23,406	1,028 ±140	23,356 ±4,577
	10	261,223 ±17,655	1,275 ±120	10,512 ±372
	11	232,445 ±13,135	1,119 ±87	11,267 ±1,110
	12	189,112 ±16,856	1,086 ±82	16,067 ±1,476
Criterion		≥100,000	≥1,000	≥10,000

Source : KTM Application for IMO Final Approval(2013) MEPC 67th session, submitted by the Republic of Korea, Appendix 1-12

시험 조건 측정 후 처리장치를 운전하였고 평형수를 주입하는 동안 시험수가 전해조를 통과하면서 전기분해되어 생성되는 최대 TRO 농도는 Table 4에 나타난 바와 같이 10±0.58ppm 이었다. 5일 동안 탱크에 보관한 후 배출 시에 잔류 TRO 농도가 0.2ppm보다 높아 배출 기준 0.2ppm 이하로 되도록 중화제를 섞어 배출하였다. 주입 및 배출 시에 측정된 TRO 농도와 처리 후 생물 개체수는 Table 5에 나타내었다. 크기 50 $\mu$ m 이상의 생물은 0~2개로 기준 1m<sup>3</sup>당 10개 이하, 10~50 $\mu$ m 생물은 0~1개로 기준 1ml당 10개 이하, 대장균 0~2cfu로 기준 100ml당 250cfu 이하, 장구균 0~75cfu로 기준 100ml당 100cfu 이하, 비브리오 콜레라균 0으로 기준 100ml당 1cfu 이하가 검출되어 생물의 재성장 없이 처리가 잘 되었다. 그러나 Table 5의 3-32 psu에서 장구균이 다소 높은 이유는 샘플링 과정에서 오염이 발생한 것으로 판단된다.

Table 4 TRO concentration at ballasting and de-ballasting test \*(mean ± S.D.)

Salinity	Test cycle	Concentration(mg/L TRO as Cl <sub>2</sub> )		
		Day 0	Day 5	
			Before neutralization	After neutralization
>32 psu	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
20 ~ 22 psu	7	9.78±0.52	0.45±0.05	0.03±0.05
	8	9.27±0.72	0.47±0.04	0.05±0.03
	9	10.23±0.54	0.47±0.04	0.04±0.01
	10	10.37±0.43	0.23±0.02	0.04±0.01
	11	10.02±0.84	0.17±0.01	0.05±0.03
	12	10.25±0.30	0.38±0.02	0.03±0.04

Source : KTM Application for IMO Final Approval(2013) MEPC 67th session, submitted by the Republic of Korea, Appendix 1-12

Table 5 Assessment of discharge treated water

Salinity	Test Cycle	≥50 $\mu$ m 생물체	≥ 10-50	Bacteria(CU/100ml)		
				E.Coli	Entero	Toxicity
>32 psu	1	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	2	0±0	0±0	0±0	1±0	0±0
	3	1±1	1±0	0±0	0±0	0±0
	4	0±0	1±0	0±0	1±0	0±0
	5	0±0	1±0	0±0	1±0	0±0
	6	0±0	1±0	0±0	13±10	0±0
3-32 psu	7	0±0	0±0	0±0	19±26	0±0
	8	0±0	0±0	0±0	1±1	0±0
	9	1±1	0±0	0±0	28±16	0±0
	10	2±1	0±0	0±0	55±29	0±0
	11	1±1	0±0	0±0	TNTC	0±0
	12	2±1	0±0	2±2	75±31	0±0
Criterion		< 10	< 10	< 250	< 100	< 1

Source : KTM Application for IMO Final Approval(2013) MEPC 67th session, submitted by the Republic of Korea, Appendix 1-12

Received 23 January 2017

Revised 27 June 2017

Accepted 27 June 2017

## 4. 결 론

직접 전기분해식 선박평형수 처리장치의 시험은 해양수산부고시 제2013-56호 별표 4와 6과 IMO G8 지침서(IMO Res. MEPC 174(58) Annex PART 2. 2.3.2.4 and Part 4)에 따라 실시되었다. 정격처리용량 300m<sup>3</sup>/h의 장치를 250m<sup>3</sup>/h 용량으로 KIOST 거제분원에 설치된 시험 장치에서 최대 용량으로 해수, 기수에서 각 6회씩 시험하였다. 처리 전 기본 수질, 처리 전의 생물 개체수, 처리 후의 생물 개체수가 Table 2, 3, 4, 5에 나타난 바와 같이 IMO의 국제기준을 만족하였다. 시험 결과에 나타난 바와 같이 비교적 작은 크기의 전해조에서 생성되는 활성물질이 저농도인 10ppm임에도 불구하고 전처리장치인 Plankill Pipe Unit의 효과적인 작용으로 여러 번의 시험에서 확실한 수중 미생물 및 세균의 사멸효과를 나타내었으며, 5일이 지난 후까지 TRO가 잔류하여 효과가 지속되었다.

## References

- [1] Han, K. H.(2009), "Development status of ballast water treatment system", Marine Korea, Vol. 3, pp. 88-93
- [2] Jung, Y. Mi, Yoon, Y. J., Kang, J. W.(2013), "Do We Eat Zebra Mussel Instead of Traditional Mussel in Korea", The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 61, pp. 91-93
- [3] KTM Application for IMO Final Approval(2013) MEPC 67th session, submitted by the Republic of Korea, Appendix 1-12
- [4] Kim, E. C.(2009), "Installation and Shipboard Test of the Ballast Water Treatment System Electro-Clean", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering Vol. 12, No. 3, pp. 209-216
- [5] Kim, E. C, J. H. Oh and Lee, S. G.(2012) "Consideration on the concentration of the active substances produced by the ballast water treatment system", Journal of the Korean Society for Marine Environment Engineering, Vol. 15, pp. 219-226
- [6] Lloyd's Register(2007), "Ballast Water Treatment Technology, Lloyd's Register"
- [7] Yoon, B. S., Rho, J. H., Kim, K. I., Park, K. S., Kim, H. R.(2005), "Development of Ballast Water Treatment Technology(Feasibility Study of NaOCl Produced by Electrolysis)", Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol. 8, No. 4, pp. 174-178.

