

## 선박평형수 처리장치의 활성물질 농도에 관한 고찰

김은찬 · 오정환<sup>†</sup> · 이승국  
한국해양과학기술원

# Consideration on the Concentration of the Active Substances Produced by the Ballast Water Treatment System

Eun-Chan Kim, Jeong-Hwan Oh<sup>†</sup> and Seung-Guk Lee  
Korea Institute of Ocean Science and Technology

### 요 약

국제해사기구(IMO)는 선박평형수를 통한 수중생물의 이동을 막기 위해, 2004년 선박 평형수와 침전물 통제 및 관리를 위한 국제협약을 채택하였다. 34개 선박평형수 처리장치가 IMO 활성물질 승인을 받았고, 이 가운데 20개 처리장치가 최종승인을 받았다. 본 논문에서는 IMO 활성물질 승인을 받은 처리장치에 대한 작용 원리와 총잔류산화제(TRO) 농도를 고찰하였다. TRO 최대 허용 배출 농도는 중화장치를 통해 낮추어 대부분 0.2 ppm 이하의 농도를 보였으나, 최대 처리 허용 농도는 장치별로 1-15 ppm으로 큰 차이를 나타내었다. 처리장치 별로 TRO 처리 허용 농도의 차이는 처리장치의 특성 및 필터의 유무와 종류 등과의 연관성 보다는 생물 사멸시험 시 생물종 특성과 수온, 탁도 등 수질 특성에 기인하는 바가 크다고 판단된다.

**Abstract** – The International Maritime Organization (IMO) adopted the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments in 2004 to prevent the transfer of aquatic organisms via ballast water. Thirty-four ballast water treatment systems were granted IMO active substance basic approval, among which twenty systems were granted final approval. This paper is an in-depth consideration of the mechanism principles of the treatment systems that received active substance basic or final approval from IMO, and on the concentration of Total Residual Oxidant (TRO). The TRO maximum allowable discharge concentration was reduced by neutralization equipment, resulting with a concentration lower than 0.2 ppm. However, between various treatment systems TRO maximum allowable dosage showed large differences, ranging from 1 to 15 ppm. The discrepancies of treatment allowable dosage concentration between different treatment systems are largely due to the properties of species and water conditions such as the temperature and turbidity, rather than the characteristics of treatment systems and the type or presence of filters etc.

**Keywords:** Ballast Water(선박평형수), Treatment System(처리장치), Electrolysis(전기분해), Ozone(오존), Active Substance(활성물질), IMO(국제해사기구)

### 1. 서 론

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서는 2004년 2월 선박 평형수와 침전물 통제 및 관리를 위한 국제협약(International Convention for The Control and Management of Ship's Ballast water and sediment)을 채택하였다(IMO[2004]). 이

협약의 발효를 위해서는 35% 이상의 상선 선복량 확보 및 30개국 이상이 비준을 하여야 한다. 2012년 2월 현재 선복량 26.46%로 33개국이 비준 한 상태이다. 따라서, 현재 비준국 요건은 갖추었으나, 선복량을 8.5% 더 갖추어야, 그로부터 1년 후에 협약이 발효가 된다. 선박평형수 용량별로 장비 개발 난이도와 대상 선박 척수를 고려하여, Table 1과 같이 협약 적용 연도를 지정하고 있으므로, 협약이 발효되면 지정 연도를 소급 적용하여야 하므로 대부분의 신조선 선주들이 처리장치를 협약 발효 전이라 하더라도 설치를 하고 있는

<sup>†</sup>Corresponding author: jhoh@kiost.ac

**Table 1.** Time Table of the IMO Ballast water Convention

| Ship Constructed | Exchange & Performance Standard  |        |     |     |     | Performance Standard |     |     |     |     |        |
|------------------|----------------------------------|--------|-----|-----|-----|----------------------|-----|-----|-----|-----|--------|
|                  | Ballast Water Capacity           | '08 까지 | '09 | '10 | '11 | '12                  | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 이후 |
| Before 2008      | Less than 1500 m <sup>3</sup>    |        |     |     |     |                      |     |     |     |     |        |
|                  | 1500-5000 m <sup>3</sup>         |        |     |     |     |                      |     |     |     |     |        |
|                  | Greater than 5000 m <sup>3</sup> |        |     |     |     |                      |     |     |     |     |        |
| 2009-2011        | Less than 5000 m <sup>3</sup>    |        |     |     |     |                      |     |     |     |     |        |
|                  | Greater than 5000 m <sup>3</sup> |        |     |     |     |                      |     |     |     |     |        |
| After 2012       | All                              |        |     |     |     |                      |     |     |     |     |        |

Exchange & Performance Standard Performance Standard

**Table 2.** Performance Standard of the IMO Ballast water Convention

| 배출 선박평형수 기준        |  | 내용  |
|--------------------|--|---|
| Organisms          | greater than 50 µm                               | less than 10 viable organisms per m <sup>3</sup>                          |
|                    | smaller than 50 µm and greater than 10 µm        | less than 10 viable organisms per ml                                      |
| Indicator Microbes | Toxicogenic <i>Vibrio cholerae</i> (O1 and O139) | less than 1 cfu per 100 ml or per 1 gram (wet weight) zooplankton samples |
|                    | <i>Escherichia coli</i>                          | less than 250cfu/100 ml   |
|                    | Intestinal <i>Enterococci</i>                    | less than 100cfu/100 ml   |

실정이다.

본 IMO 선박평형수 관리협약(IMO[2004])을 보면, 선박평형수 관리방법으로 교환과 처리가 있다. 교환은 연안에서 실은 선박평형수를 깊고 먼 바다에서 교환한 후 입항하여 배출하는 것으로, 대상 선박에 따라 다르지만 2016년까지 한시적으로 허용된다. 처리는 물리적 또는 화학적 방법등의 처리장치를 이용하여 성능기준 이하로 생물을 사멸시켜 배출하는 것이다.

선박평형수 처리 기준은 Table 2와 같다. 처리 기준에 대해서는 오랫동안 많은 논의가 있었으나 결정을 못하고 있다가 최종 절차인 외 교회의에서 확정되었다(IMO[2004]). 특히, 수중생물 개체수를 해당 부피당 100개체로 하자는 주장도 적지 않았으나, 최종 10개체로 결정됨에 따라 물리적 작용만 하는 처리장치로는 기준을 맞추기 어렵고, 대부분 활성물질을 사용하여 처리할 수밖에 없게 되었다.

우리나라는 2009년 12월에 IMO 선박평형수 관리협약을 비준하였고, 2007년 12월 21일 선박평형수 관리법(법률 제8788호)을 제정하여 협약 발효와 동시에 시행하도록 준비되어 있으며, 2011년 2월 9일 시행령(대통령령 제22664호)을 제정하였으며, 시행규칙은 현재 제정 중에 있다. 한편, 국토해양부(전, 해양수산부)에서는 선박평형수 관리 법률 제정 이전에 준비하여야 하는 형식 승인 업무 등을 위해, ‘밸러스트수 관리시스템의 형식승인 등에 관한 잠정기준’을 2006년 11월 해양수산부령으로 고시한 바 있다. 이 고시에 따르면, 선박평형수 처리장치의 형식승인을 위한 육상시험과 선상 시험시 생물시험을 수행하여야 하며, 이를 위한 시험기관은 충분한 시설과 실력 그리고, ISO 17025 국제시험공인기관 인정 제도를 갖추어야 하는 것으로 되어 있다. 또한, 이 잠정기준은 ‘평형수 관리 시스템의 형식승인 등에 관한 잠정기준’으로 개정되어 2008년 5월 국토해양부령으로 고시된 바 있다.

IMO 선박평형수 관리협약을 이행하기 위해서는 여러 가지 복잡한 기술 내용과 절차를 거쳐야 한다. 각국이 서로 다른 기준과 방

법으로 적용할 경우 혼란이 가중될 것으로 판단되어, 세계적으로 통일된 지침을 제시하기 위해 IMO에서는 통일된 적용을 위한 지침서 14종을 제정하였다. 이 가운데 선박평형수 처리장치의 제조에 관련된 지침서로는 “선박평형수 관리시스템 승인을 위한 지침서(G8)”(IMO[2008]b)와 “활성물질을 사용하는 선박평형수 관리시스템의 승인을 위한 절차서(G9)”(IMO[2008]a)가 있다. 협약에서는 처리의 의미를 광범위하게 보아 관리라 표현하였으나, 본 논문에서는 보다 명확한 의미를 부여하기 위해 처리라는 표현을 사용하였다.

IMO 선박평형수 관리협약에 의하면 활성물질이란 유해 수중유기체 및 병원균에 대하여 일반적 또는 특정한 작용을 하는 바이러스나 균류를 포함한물질 또는 생물을 말한다고 되어 있다. 활성물질을 사용하는 선박평형수 처리장치의 경우, IMO가 제정한 활성물질 시스템 승인 지침서(G9)에 따라 IMO로부터 활성물질 승인을 받아야 한다. IMO 활성물질 승인은 전문위원회의 기술 심의와 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)의 결의를 거쳐야 한다. 기술 심의는 해양환경보호를 위한 전문가 그룹(GESAMP, Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection)에 설치된 평형수 작업반(BWWG, Ballast Water Working Group)에서 수행하며 심의된 결과를 기반으로, MEPC에서 승인 여부를 결의하게 된다. 한편, 활성물질 승인 과정에서 제시하는 시험 결과는 해당국가의 형식승인 과정에서 수행된 생물사멸 시험의 조건과 동일해야 하는데, 이 형식승인 시험은 IMO가 제정한 선박평형수 관리시스템 승인 지침서(G8)에 따라 수행하여야 한다.

본 논문에서는 IMO에서 활성물질 승인을 받은 처리장치에 대해, 처리 기술의 내용과 경과를 알아보고, 각 처리장치의 활성물질 최대 처리 농도와 최대 배출 농도를 조사하고, 처리장치의 향후 개발 동향과 IMO 심의 방향을 고찰하였다.

## 2. 활성물질 승인 및 형식승인 절차

선박평형수 처리장치를 개발하여 상용화하기 위해서는, 활성물질을 사용하는 경우, 먼저 IMO로부터 처리를 위해 사용되는 활성물질이 2차 오염 등 환경에 미치는 영향을 확인하는 활성물질 승인을 MEPC에서 받아야 한다.

다음으로, 각국 정부로부터 처리장치의 생물 사멸 능력과 각종 가동 성능 그리고 선박에의 적용을 확인하는 형식승인을 받아야 한다. 형식승인을 위해서는 평형수 처리장치가 형식승인 지침서 기준과 IMO 선박평형수 관리협약의 성능기준(D-2)에 적합한 지를 확인하기 위하여 실험실, 제조공장, 바지선 또는 시험선을 포함한 시제품 공장에서 실시하는 육상시험과 완성된 평형수 처리장치가 탑재된 선박에서 실시하는 선상시험을 수행하여야 한다. 그리고 평형수 처리장치가 선박의 환경에서 적합하게 유지작동하는지를 확인하기 위하여 진동, 온도 및 습도, 황천대비 및 선박의 경사, 전원 변동률 및 전기전자장치의 신뢰성에 관한 환경시험을 수행하여야 한다. IMO에서 제정한 지침서에 따라 수행되는 활성물질승인과 형식승인의 전체적인 절차는 Fig. 1과 같다(김은찬[2008]).

활성물질 승인을 위한 신청서는 다음과 같이 활성물질의 반응이

나 속성에 대한 정보를 포함하여야 한다.

- 수중식물, 무척추동물, 어류 및 기타 민감하고 대표적인 유기체를 포함하는 생물 중에 대한 영향에 관한 자료
- 포유동물 독성에 대한 자료
- 호기성 및 비호기성 조건하에서의 환경적 요소 및 영향에 대한 자료
- 적용 가능한 경우, 활성물질 그리고 처리된 선박평형수에 대한 물리화학적 속성
- 환경측면에서의 상대적인 농도에서 분석방법
- 잠복성 시험
- 생체 축적성 시험
- 독성시험

## 3. IMO 활성물질 승인 처리장치

### 3.1 승인 현황

현재 세계 각국에서는 수많은 처리기술들이 개발되고 있다고 보고되고 있으나, 지나친 비용과 미흡한 성능 등 현실성이 부족한 기술들도 있어서, 보다 신뢰성 있는 기술 검토가 쉽지 않은 상황이다. 그 가운데에서 IMO 활성물질 승인을 위한 신청서는 각국 정부의

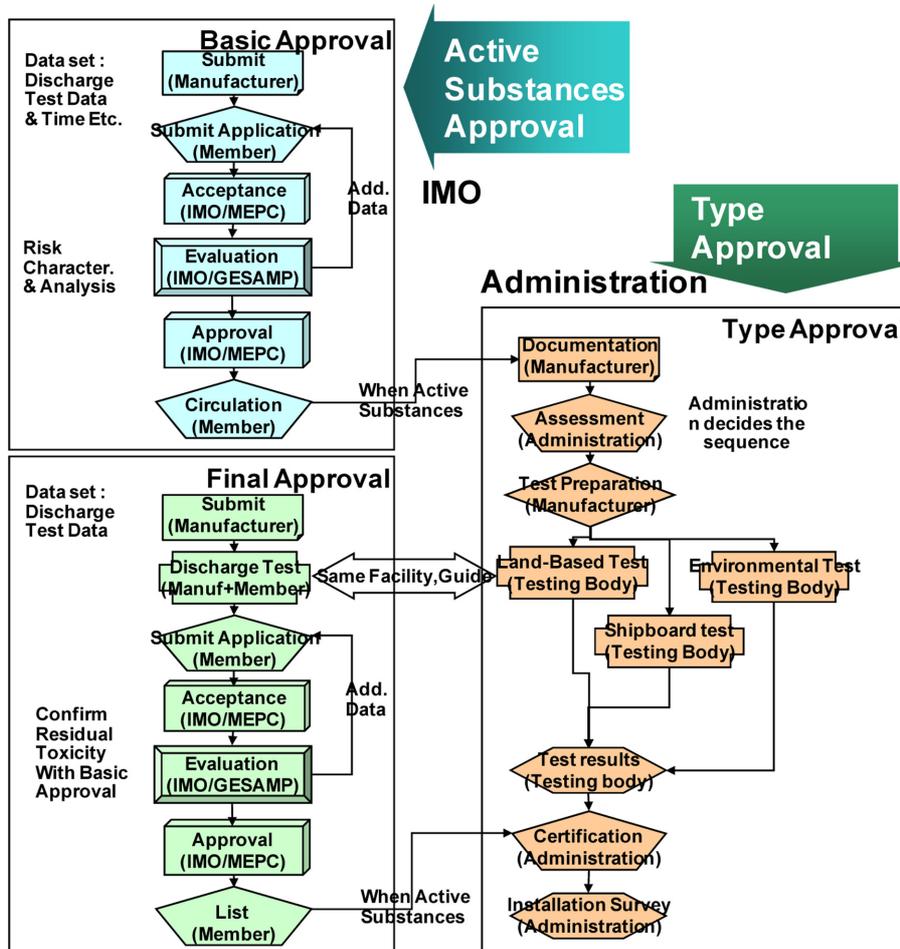


Fig. 1. Procedure of IMO Active Substance Approval (김은찬[2008]).

**Table 3.** List of Treatment Systems which Received Basic and Final Approval

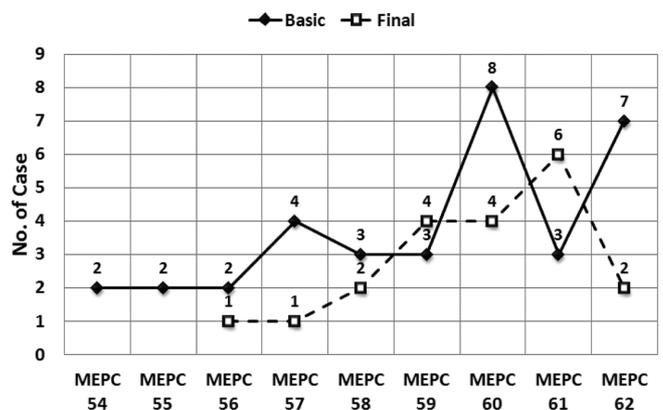
| No. | Name of the system      | Method              | Basic Approval         |                    | Final Approval         |                    |
|-----|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
|     |                         |                     | Proposal               | GESAMP Report      | Proposal               | GESAMP Rreport     |
| 1   | SEDNA                   | Chemical            | M.53/2/12 Germany)     | M.54/2/12,annex 5  | M.57/2/5 (Germany)     | M.57/2/10, annex 7 |
| 2   | Electro-Cleen           | Electrolysis        | M.54/2/3 (Korea)       | M.54/2/12, annex 6 | M.58/2 (Korea)         | M.58/2/7, annex 7  |
| 3   | Special Pipe with Ozone | Ozone               | M.55/2 (Japan)         | M.55/2/16, annex 5 | M.61/2/2 (Japan)       | M.61/2/15, annex 6 |
| 4   | RWO (CleanBallast)      | Electrolysis        | M.55/2/4 (Sweden)      | M.55/2/16, annex 7 | M.59/2 (Germany)       | M.59/2/16, annex 5 |
| 5   | PureBallast             | AOT                 | M.55/2/5 (Sweden)      | M.56/2/2, annex 5  | M.56/2/1 (Norway)      | M.56/2/2, annex 5  |
| 6   | NK-O3 BlueBallast       | Ozone               | M.55/2/3&27 (Korea)    | M.56/2/2, annex 6  | M.59/2/3 (Korea)       | M.59/2/16, annex 6 |
| 7   | Hitachi (ClearBallast)  | Purification        | M.57/2/2 (Japan)       | M.57/2, annex 5    | M.59/2/5 (Japan)       | M.59/2/19, annex 4 |
| 8   | Resource                | Ozone               | M.56/2/3 (S. Africa)   | M.57/2/10, annex 5 | M.59/2/10 (S. Africa)  | M.60/2/11, annex 7 |
| 9   | GloEn-Patrol            | UV                  | M.57/2/4 (Korea)       | M.57/2/10, annex 6 | M.59/2/7 (Korea)       | M.60/2/11, annex 4 |
| 10  | OceanSaver (OS BWMS)    | Electrolysis        | M.57/2/6 (Norway)      | M.57/2/10, annex 8 | M.58/2/1 (Norway)      | M.58/2/8, annex 4  |
| 11  | TG Ballastcleaner       | Chemical            | M.57/2/8 (Japan)       | M.58/2/7, annex 5  | M.60/2/2 (Japan)       | M.60/2/12, annex 5 |
| 12  | Greenship Sedinox       | Electrolysis        | M.57/2/7 (Netherlands) | M.58/2/7, annex 6  | M.59/2/6 (Netherlands) | M.59/2/19, annex 5 |
| 13  | Ecochlor                | Chemical            | M.58/2/2 (Germany)     | M.58/2/8, annex 5  | M.61/2/8 (Germany)     | M.61/2/21, annex 6 |
| 14  | Blue Ocean Shield       | UV                  | M.59/2/2 (China)       | M.59/2/16, annex 7 |                        |                    |
| 15  | HHI System (EcoBallast) | UV                  | M.59/2/4 (Korea)       | M.59/2/16, annex 8 | M.60/2/1 (Korea)       | M.59/2/16, annex 8 |
| 16  | AquaTriComb             | UV                  | M.59/2/8 (Germany)     | M.59/2/19, annex 6 |                        |                    |
| 17  | SiCURE                  | Electrochlorination | M.59/2/11(Germany)     | M.60/2/11, annex 6 |                        |                    |
| 18  | BalClor                 | Electrochlorination | M.60/2/3 (China)       | M.60/2/12, annex 6 | M.61/2/4 (China)       | M.61/2/15, annex 9 |
| 19  | DESMI Ocean Guard       | UV                  | M.60/2/4 (Denmark)     | M.60/2/12, annex 7 |                        |                    |
| 20  | ARA                     | Plasma              | M.60/2/5 (Korea)       | M.60/2/12, annex 8 | M.61/2/5 (Korea)       | M.61/2/15, annex 8 |
| 21  | HHI System (HiBallast)  | Electrochlorination | M.60/2/6 (Korea)       | M.60/2/16, annex 4 | M.62/2/5 (Korea)       | M.62/2/18, annex 5 |
| 22  | Kwang San "En-Ballast"  | Electrochlorination | M.60/2/7 (Korea)       | M.60/2/16, annex 5 |                        |                    |
| 23  | OceanGuard              | EUT                 | M.60/2/8 (Norway)      | M.60/2/16, annex 6 | M.61/2/7 (Norway)      | M.61/2/21, annex 5 |
| 24  | Severn Trent BalPure    | Electrochlorination | M.60/2/9 (Germany)     | M.60/2/16, annex 7 | M.61/2/9 (Germany)     | M.61/2/21, annex 7 |
| 25  | Purimar                 | Electrochlorination | M.61/2 (Korea)         | M.61/2/15, annex 4 | M.62/2/6 (Korea)       | M.62/2/18, annex 6 |
| 26  | AquaStar                | Electrolysis        | M.61/2/1 (Korea)       | M.61/2/15, annex 5 |                        |                    |
| 27  | Kuraray                 | Chemical            | M.61/2/6 (Japan)       | M.61/2/21, annex 4 |                        |                    |
| 28  | ERMA FIRST              | Electrolysis        | M.61/2/11 (Greece)     | M.62/2/11, annex 5 |                        |                    |
| 29  | BlueSeas                | Electrolysis        | M.61/2/12 (Singapore)  | M.62/2/11, annex 6 |                        |                    |
| 30  | SKY-SYSTEM              | Chemical            | M.62/2 (Japan)         | M.62/2/12, annex 4 |                        |                    |
| 31  | JFE BallastAc           | Chemical            | M.62/2/1 (Japan)       | M.62/2/12, annex 5 |                        |                    |
| 32  | BallastMaster           | Electrochlorination | M.62/2/2 (Germany)     | M.62/2/12, annex 6 |                        |                    |
| 33  | BlueWorld               | Electrochlorination | M.62/2/3 (Singapore)   | M.62/2/12, annex 7 |                        |                    |
| 34  | Neo-Purimar             | Electrochlorination | M.62/2/7 (Korea)       | M.62/2/18, annex 7 |                        |                    |

명의로 제출되고, GESAMPE에서 작성한 IMO의 활성물질 심의 보고서를 통해 신뢰성 있는 자료로 입증되며, 이를 위해서는 많은 비용이 투자되어야 하므로, IMO에서 기본승인 및 최종승인을 받은 제품은 어느 정도 신뢰성을 확보했다고 볼 수 있다.

2012년 2월 현재 IMO에서 기본승인과 최종승인을 받은 처리장치는 Table 3과 같다. 이 표에는 IMO의 MEPC에 기본승인 및 최종승인을 신청한 문서의 번호와 이를 심의하여 승인을 권고한 문서의 번호가 각각 기재되어 있다. 각 처리장치의 사양과 승인 기준은 각각의 문서에 기술되어 있다. 하나의 예로써, 가장 최근에 나온 GESAMP-BWWG의 보고서로 “Report of the seventeenth meeting of the GESAMP-Ballast Water Working Group (MEPC 62/2/18)”(IMO[2011])을 들 수 있다.

**3.2 처리장치 분류**

이제까지 IMO에서 기본승인을 받은 처리장치는 Table 3과 같이



**Fig. 2.** Number of IMO Active Substance Approval.

모두 34개 이고, 이 가운데 최종승인을 받은 처리장치는 모두 20개 이다. 이 처리장치들의 승인 받은 시기를 MEPC 회기별로 보면 Fig.

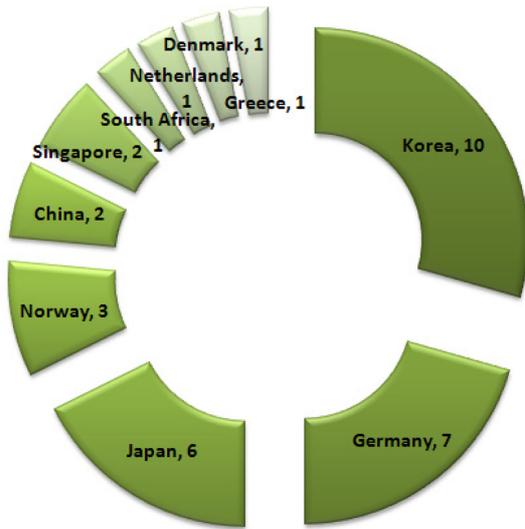


Fig. 3. Applicant of IMO Active Substance Approval.

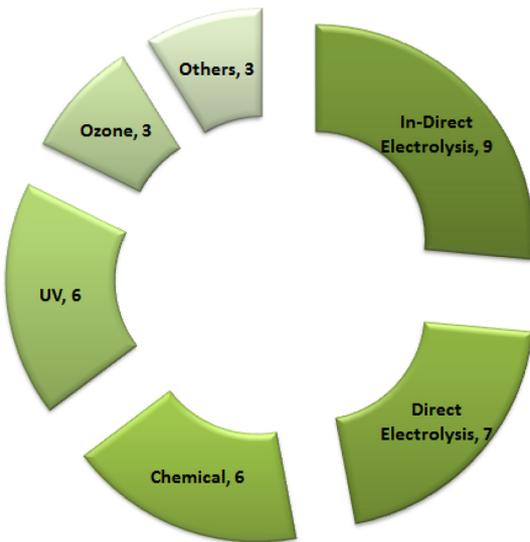


Fig. 4. Treatment Technologies for IMO Active Substance Approval.

2와 같다.

Table 3에 정리한 각각의 신청서의 제출국가를 종합해 볼 때, IMO 기본승인 또는 최종승인까지 받은 처리장치를 신청 국가별로 보면 Fig. 3과 같다. 총 34건 중 한국이 10 건으로 가장 많고, 그 다음이 독일 7건과 일본 6건이 그 뒤를 잇고 있다.

Table 3에 정리한 각각의 신청서와 승인 심의 보고서의 기술을 종합해 볼 때, 처리기술 별 분포는 Fig. 4와 같다. 간접전기분해 (Electrochlorination) 방식은 고농도의 차아염소산을 제조하여 희석하는 방법이 가장 많은 9건 이고, 그 다음 직접전기분해(Electrolysis) 방식은 각종 라디칼과 저농도의 차아염소산을 생성하는 방법으로 7건이다. 그 외에, 오존을 발생시켜 처리하는 방식이 3건이 있고, 각종 화학물질을 사용하는 방식이 6건이 있으며, 기타 방법이 3건이 있다.

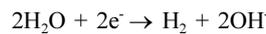
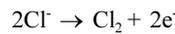
UV 방식은 활성물질이 없으므로 승인 대상이 되지 않는다고 IMO에서 판단한 바 있는데, 이미 6건이 승인을 받은 상황이다.

### 3.3 활성물질을 사용하는 처리장치

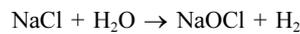
#### 3.3.1 간접 전기분해 방식

간접 전기분해 방식은 해수를 전기분해하여 고농도의 차아염소산을 만들고, 이를 선박평형수에 희석하여 소독하는 방식이다. 소독을 위해서, 과거에는 준비된 염소 가스 또는 차아염소산 나트륨을 직접 주입하는 방법을 주로 사용 했지만, 현재는 유해 물질의 운반 및 보관이 불필요하도록, 현장에서 전기분해를 통해 차아염소산을 만들어 사용하는 것이다. 해수 및 소금물을 전해조에서 전기분해 하면 화학적인 반응에 의해 차아염소산이 생성되는데 그 원리는 다음과 같다.

양극에서는 염소 이온의 산화와 함께 염소 가스가 생성되고, 음극에서는 물 분자가 환원 작용에 의해 수소 가스와 OH<sup>-</sup> 이온이 생성된다. 또한, 약 알칼리 상태에서 양극으로부터 유리된 염소 성분은 전기분해에 의해 물과 즉시 반응하여 HOCl을 생성한다.



전체 반응을 염과 물의 반응으로 정리 요약하면 다음과 같은 반응식으로 표현 된다.



상기 반응 외에 부가적으로 산소, Mg(OH)<sub>2</sub> 및 CaCO<sub>3</sub> 등이 생성된다. 이 방식에서는, 일반적으로 500~2,500 ppm 정도 농도의 차아염소산이 생성되며, 이를 5~15 ppm 정도의 농도로 선박평형수에 희석해 준다. 한편, 해수의 전기분해 과정에서 부가 반응으로 각

Table 4. Example Summary of Relevant Chemical Concentration and Half-life for Modelling

| Substance                | Highest Median Discharge Concentration | Half-life in Water |               |
|--------------------------|--|--------------------|---------------|
| Bromoform                | 500 µg/L                               | 0.3 days           |               |
| Dichlorobromomethane     | 0.98 µg/L                              | 0.08 days          |               |
| Dibromochloromethane     | 21 µg/L                                | 0.11 days          |               |
| Bromochloroacetic acid   | 13 µg/L                                | 2.7 days           |               |
| Disinfection By-products | Monochloroacetic acid                  | 1.08 µg/L          | 3.58 days     |
|                          | Monobromoacetic acid                   | 14.5 µg/L          | 3.2 days      |
|                          | Dichloroacetic acid                    | 1.15 µg/L          | 5.4 days      |
|                          | Dibromoacetic acid                     | 50 µg/L            | 3.2 days      |
|                          | Tribromoacetic acid                    | 13.66 µg/L         | 4.2 days      |
|                          | Dibromochloroacetic acid               | 8.8 µg/L           | 3.67 days     |
| 2,4,6-Tribromophenol     | 0.21 mg/L                              | 1.21 days          |               |
| Neutralization Chemical  | Sodium bisulfite                       | 5.0 mg/L           | 0.000747 days |

중 부산물이 발생하는데, 한 예로서, Table 4는 간접 전기분해 방식의 처리장치에서 발생한 각종 부산물의 농도와 수중 반감기를 요약한 것이다. 이 표에는 배출 시 총잔류산화제(TRO, Total Residual Oxidant) 농도를 일정 수준 이하로 낮추기 위해 사용한 중화제인 Sodium Bisulfite의 농도와 수중 반감기를 함께 정리하였다.

### 3.3.2 직접 전기분해 방식

직접 전기분해 방식은 선박평형수를 전극세트에 통과시켜, 그 안에 잔류하는 수중생물 및 일반 미생물이 라디칼 및 전위차에 의해 순간 소독되며, 일부 생존하는 생물도 잔류염소에 의해 마침내 불활성화 되는 것이다. 해수를 전기분해하면 하이드록실라디칼(OH·), 하이드로퍼 옥시라디칼(HOO·), 수퍼옥시라디칼(O<sub>2</sub>·), 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), 차아염소산(OCl) 등과 같은 라디칼이 발생하는데, 라디칼은 높은 전위차를 가지며, 거의 모든 유기물과 매우 빠른 속도로 고투 반응하는 특징이 있다.

또한, 해수에 직류전원을 통전시키면 전위차가 발생한다. 미생물이 전기장에 놓이면 세포막에 미세기공이 생기고, 미세기공을 통해 외부의 전해수가 삼투압현상에 따라 미생물의 체내로 유입되면 세포가 팽창된다. 팽창된 세포가 임계점에 도달하면 용혈현상에 의해 세포막이 터져 사멸되는 것이다. 이러한 일련의 과정은 수 초 내의 짧은 시간에 완료되므로 순간소독이 가능하게 된다.

해수를 전기분해하여 차아염소산을 생성하는 과정은 앞 절의 간접 전기분해 방식과 동일하나, 이 직접 방식은 선박평형수 전체를 전기분해하여 5~15 ppm 정도의 저농도로 생성시키는 것이다. 따라서, 이 직접 방식은 각종 라디칼과 전위차와 차아염소산을 함께 이용하는 방식이다.

### 3.3.3 오존 방식

오존은 매우 불안정한 기체로서, 쉽게 산소로 분해된다. 따라서 오존은 매우 강한 산화제로서, 모든 유기물 그리고 바이러스와 세균까지 산화시킬 수 있다. 생물의 일부는 오존과 직접 접촉하여 사멸되며, 오존이 해수 내의 다른 화합물과 반응하여 생성되는 차아브롬산(FOBr)에 의해 잔류 생물이 사멸되기도 한다.

산소가 오존으로 전환되는 것은 전기적 방전에 의해 이루어지는데, 대기중 공기로부터 질소를 제거하여 고농도의 산소를 발생시킨 후, 이에 고전압 또는 고전류의 자기장을 통과시켜 고농도의 오존을 얻는 방식이다.

### 3.3.4 화학물질 사용 방식 및 기타

화학물질을 직접 사용하는 방식은, 차아염소산나트륨이나 이산화염소를 사용하기도 하고, Peraclean Ocean 이나 Kuraray 이나 Neo-Chor Marine과 같이 특별히 제조된 화학물질을 사용한다. 이러한 방식은 사용하는 화학물질에 따라 다양한 활성물질이 발생한다. 기타 방법으로는, 응집제를 넣어 자력으로 분리하는 방식, 플라즈마를 사용하는 방식, 전기촉매와 초음파를 사용하는 방식이 있다.

## 3.4 IMO 승인 조건과 TRO 계측

IMO로부터 승인을 받은 처리장치 34건 중 활성물질이 없다고 판단되는 UV 방식 6건 외에는 모두가 활성물질이 잔류하게 된다. 그 가운데 농도를 TRO 값으로 정량화하기 어려운 화학물질을 직접 사용하는 6건과 기타 방법 3건을 제외한, 간접 전기분해와 직접 전기분해 그리고 오존 방식 총 19건은 염소 또는 오존과 같은 화학적 산화제를 현장에서 생성하여 선박평형수 내의 생물을 처리하고 있으며, 대부분의 경우에는 브롬과 같은 이차 살균제가 복합적으로 생성된다.

TRO는 이러한 산화제 종류를 총칭하는 것이며, 계측의 편이성과 장비의 안정성으로 인해, 선박평형수 처리장치는 주로 TRO 값으로 통제하고 있다. GESAMP-BWWG 에서의 처리 시 승인 기준도 처리 시의 TRO 값과 배출 시의 TRO 값으로 주어지는 경우가 대부분이다. 따라서 대부분의 처리장치는 TRO 값으로 처리장치의 처리 및 배출 농도를 관리하고, TRO 값을 실시간으로 계측하여 이를 바탕으로 전력량을 제어함으로써, 처리 농도를 조절하고 있다.

## 4. IMO 활성물질 승인 결과 고찰

### 4.1 TRO 승인 농도의 차이

Table 3에 정리한 각각의 신청서와 승인 심의 보고서의 기술 내용을 종합해 볼 때, 승인된 9건의 간접 전기분해 방식의 처리장치는 처리 시 TRO 농도는 최대 15 ppm에서 최소 3 ppm 까지 다양하게 분포되어 있으나, 배출 시 TRO 농도는 대부분 0.2 ppm으로 나타났다(Fig. 5). 승인된 7건의 직접 전기분해 방식의 처리장치 또한 처리 시 TRO 농도는 최대 15 ppm에서 1 ppm 까지 다양하게 분포되어 있으나, 배출 시 TRO 농도는 대부분 0.2 ppm으로 나타났다(Fig. 6).

오존을 사용하는 경우에도, 처리 시 3 ppm에서 1 ppm까지 다양하나, 배출 시는 모두 0.2 ppm으로 나타났다.

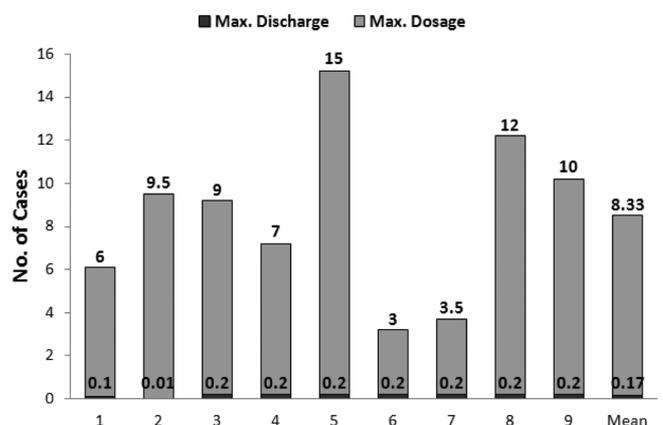


Fig. 5. Maximum Allowable Dosage of Preparation and Maximum Allowable Discharge Concentrations of TRO for the In-Direct Electrolysis Method (Electrochlorination) for IMO Active Substance Approval.

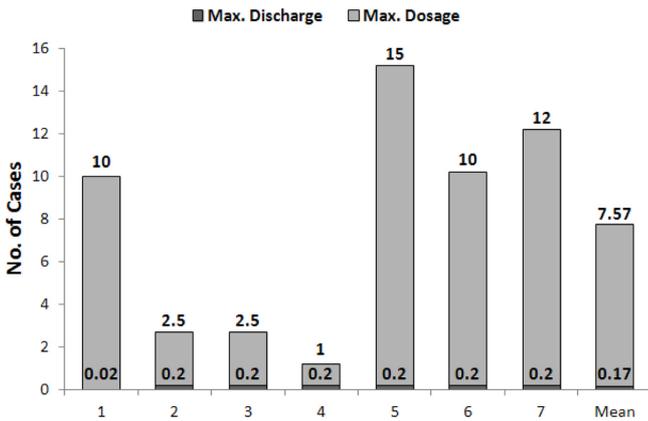


Fig. 6. Maximum Allowable Dosage of Preparation and Maximum Allowable Discharge Concentrations of TRO for the Direct Electrolysis Method (Eletrolysis) for IMO Active Substance Approval.

#### 4.2 처리농도 차이의 원인 고찰

배출 시 TRO 농도는 Sodium Bisulfite 등을 사용한 중화장치를 통해 기준 이하로 낮추므로 큰 의미는 없으나, 처리 시 TRO 농도는 매우 큰 의미를 가지게 된다. 처리 농도가 낮으면 유해 화합물의 생성 및 배출이 적고 전력이 적게 소요되는 장점은 있으나 생물 사멸이 완전하지 않을 수 있는 단점이 있다.

제품별 처리농도가 큰 차이를 보이는 원인을 종합해 보면 다음과 같다.

- 처리장치의 필터 여부 및 필터 특성
- 전기분해 방식 및 전극 특성
- 생물 사멸시험 시 생물의 종류와 특성
- 생물 사멸시험 시 수온 탁도 등 수질 특성

전극의 소재 등 제조 기술의 차이와 필터 등 부수장비의 사양에 따라 다를 수는 있다고 본다. 그러나 가장 중요한 요인으로 판단되는 필터의 사양을 보면, Fig. 7에 비교한 바와 같이 거의 대부분 40~50 μm 간격의 필터를 사용하고 있으므로, 필터로 인한 차이라고 보기는 어렵다고 본다. 이 때 필터 간격이 “0” 인 값이 3개 있

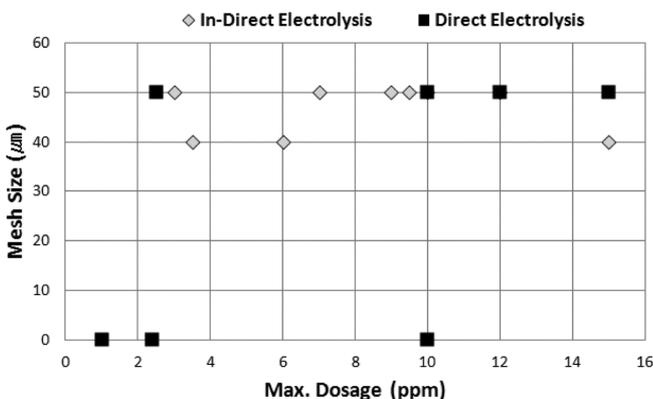


Fig. 7. Relation between Mesh Size of Filter and Maximum Allowable Dosage of Preparation of TRO for the In-Direct and Direct Electrolysis Method for IMO Active Substance Approval.

는데, 이는 필터가 없거나 원심분리기를 사용하거나, 그 값을 기술하지 않은 것을 말한다.

따라서, 처리농도의 차이는 제품의 특성 외에, 처리장치 생물 사멸시험 시 생물의 종류와 수질의 차이 등에 기인한 것이 크다고 볼 수 있다. IMO 에서는 Global Ballast 프로그램 등을 통해 시험기관의 시험기법 표준화를 꾀하고는 있으나, 전세계 곳곳에서 수행되는 시험의 생물종과 수질을 통일하는 것은 거의 불가능하다고 판단된다. 따라서, 이에 대한 처리 농도의 정확한 평가는 협약 발효 후에 성능기준을 만족시키는가를 확인하는 각국 항만에서의 샘플링 조사를 통해 이루어 질 것으로 보고 있다.

신조선 건조 및 기존선에의 선박평형수 처리장치 설치시, 각국 항만에서의 선박평형수 처리장치의 IMO 성능기준 만족에 대한 책임은 기본적으로 선주에게 있다. 따라서, 해당 선박 및 처리장치 설치 계약에 IMO 성능 기준 만족에 대한 책임의 일부가 조선소 또는 처리장치 제조사에게 있는가는 모르나, 선주입장에서는 설치된 처리장치 또는 활성물질 농도로 다양한 생물종류와 수질특성에 적용되어 IMO 협약에서 요구하는 성능기준을 만족시킬 수 있는가 하는 점을 면밀히 검토해야 한다고 판단된다.

#### 5. 결 론

IMO에서 활성물질 승인을 받은 선박평형수 처리장치의 활성물질 농도에 관한 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) IMO에서 활성물질 기본승인을 받거나 최종승인까지 받은 처리장치 34건 중 산화제를 현장에서 만들거나 싣고 다니면서 선박평형수를 처리하는 방식은 모두 25건으로, 산화제 사용이 주종을 이루고 있다.

(2) 산화제를 사용하는 방법 중에도 간접 또는 직접 전기분해 방법으로 산화제를 현장에서 만드는 처리장치는 각각 9건과 7건으로서 다수를 차지하고 있으며, 따라서, 전기분해 방식이 비교적 효과적이며 경제적인 방법이라 판단된다.

(3) 전기분해 방식을 사용하는 처리장치 별로 TRO 농도를 비교 검토한 결과, 배출 시 TRO 농도는 중화장치를 통해 대부분 0.2 ppm으로 기준농도 이하로 낮추게 되므로 큰 의미는 없다고 판단된다. 그러나, 처리 시 TRO 농도는 처리장치 별로 1~15 ppm으로 차이가 매우 크며, 이에 대한 원인으로 필터의 유무와 종류, 처리 장치의 특성 등과의 연관성 외에 생물 사멸시험 시의 생물종 특성과 수온 또는 탁도 등수질 특성에 기인하는 바도 크다고 판단된다.

(4) 따라서, 선박평형수 협약이 발효되어 각국의 항만에서 성능 기준 만족여부를 판단하는 샘플링이 이루어진 후에, 처리장치 별로 또한 활성물질 농도 별로 협약의 성능기준을 만족하는가 하는 문제가 다시 대두될 것으로 보인다.

(5) 향후, 각국 항만에서의 성능기준 만족에 대한 책임은 선주에게 있으므로, 선주입장에서는 적용하고자 하는 처리장치 또는 활성물질 농도가 IMO 협약을 만족시킬 수 있는가 하는 점을 신중히 검토해야 한다고 판단된다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부/한국해양과학기술진흥원의 지원하에 한국해양과학기술원에서 수행하고 있는 “선박평형수 유해수중생물 모니터링장치 개발” 연구사업의 결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 김은찬, 2008, 활성물질을 사용하는 선박평형수 처리장치의 IMO 승인절차 고찰, 한국해양환경공학회지 제11권, 4호.  
 [2] IMO, 2004, “International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments, 2004”, IMO

BWM/CONF/36.

- [3] IMO, 2008a, “Procedure for approval of ballast water management systems that make use of active substances (G9)”, IMO Resolution MEPC.169(57).  
 [4] IMO, 2008b, “Guidelines for approval of ballast water management systems (G8)”, IMO Resolution MEPC.174(58).  
 [5] IMO, 2011, Report of the seventeenth meeting of the GESAMP-Ballast Water Working Group, MEPC 62/2/18.

---

2012년 4월 5일 원고접수

2012년 4월 16일 심사수정일자

2012년 6월 13일 게재확정일자