



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

Lab scale에서 오존 버블을 이용한 선박평형수
처리장치의 생물 사멸효과



2013년 8월

부경대학교 대학원

생물공학과

곽 라 권

공학석사 학위논문

Lab scale에서 오존 버블을 이용한 선박평형수
처리장치의 생물 사멸효과



2013년 8월

부경대학교 대학원

생물공학과

곽 라 권

곽라권의 공학석사 학위논문을 인준함

2013년 8월



주 심 공학박사 정귀택



위 원 공학박사 김중균



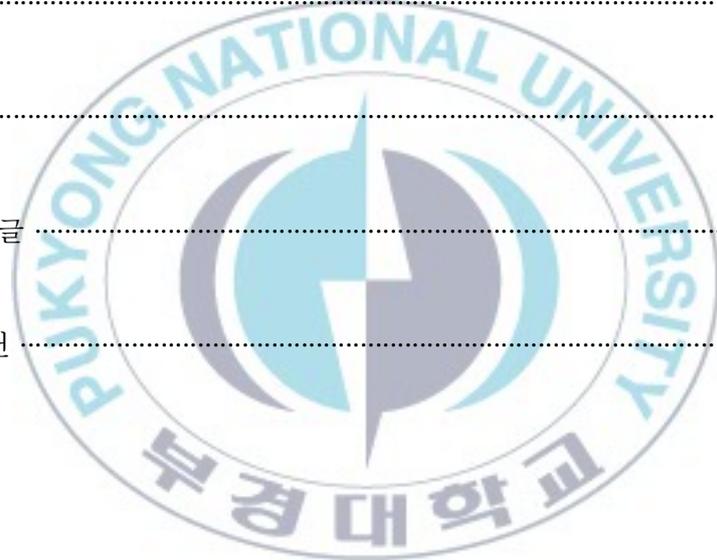
위 원 공학박사 김성구



목 차

Abstract	iii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 오존주입 방식의 결정	3
(1) Side - Stream 방식	3
(2) Main - Stream 방식	3
2. Main - Stream 방식의 성능개선	3
(1) 시험장비의 개선현황	3
3. 시스템 구성	4
(1) 주요 시험장비	4
(2) LAB TEST SCALE SITE	6
(3) 시험장비 및 P&ID SYSTEM 구성	7
(4) 시험 지표 생물	8
(5) 국제해사기구(IMO) 승인 기준	8
III. 결 과	12
1. Side - Stream 과 Main - Stream의 성능 확인	12
(1) Side - Stream	12
(2) Main - Stream	12
(3) 주입 방식에 따른 성능 비교	15

2. Main - Stream 방식의 성능개선	19
(1) 시험장비의 개선현황	19
3. 최종 시스템 구성	25
(1) Main - Stream 주입 시스템 장비	25
(2) 중화장치 시스템 장비	25
(3) HMI (Human Machine Interface) 구성	27
4. 시험 결과	28
IV. 고 찰	33
V. 요 약	35
감사의 글	37
참고문헌	38



The Toxicity Effect of Aquatic Organism to Ballast Water Treatment System using Ozone bubbles in Lab scale

Ra Gwon Kwak

*Department of Biotechnology, Graduate School,
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Abstract

Sea water in the areas is used for Ballast water used to balance of a vessel. The sea water for ballast water causes large problems which threaten ecosystem or marine environment not only the areas but also others. Therefore, IMO has enacted laws preventing discharges of toxicity water and regulating elimination of all organisms including virus in ballast water when the water is flowed in or out a vessel. Thus, a management treaty was signed, all vessels have to equip ballast water management system (BWMS). As the treaty is effective, maritime related industries have made a great effort to develop BWMS which is regarded as driving force of a nation's economic prosperity in the world market.

SUNBO Co., Ltd, DESEC Co., Ltd and KIMM have signed Technology commercialization agreement and cooperatively performed a project developing BWMS. In the Lab scale test for the Basic Approval, ozone which has the lowest toxicity and a 10m³ of water tank were used. Also, each 5m³ of tank for a treatment and control experiment was installed.

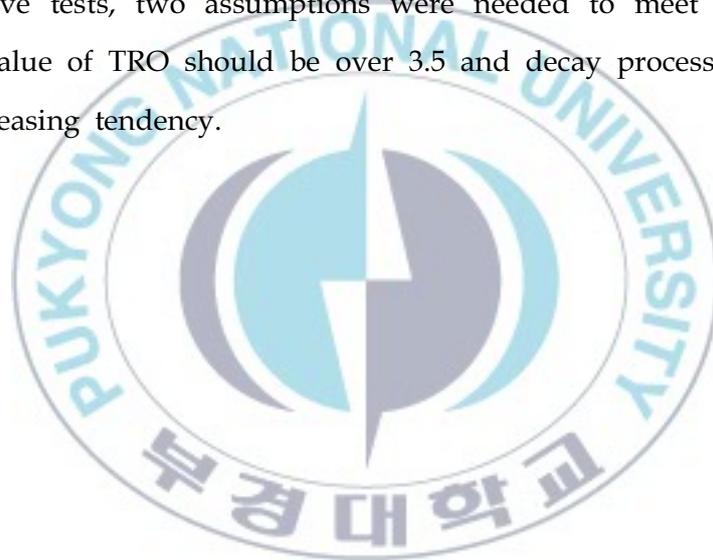
Ozone generator system was consisted of an air compressor, an oxygen generator, and an ambient destructor, and a MFC controller, and the final concentration Ozone was 170 g/L. Indicator organisms for the experiment were *Tetraselmis suecica* and *Artemia* sp.

To decide injection methods, first, two methods are compared: Side-stream is that sea water is pumped out, with a rate of 5.5L/min, of the treatment pipe which has 5m³/h flow, ozone is injected into the sea water, and then the mixed sea water with ozone flows in a treatment pipe: Main-stream methods is that ozone is directly injected into the treatment pipe. As a result of the comparison, the initial TRO concentration, 3.61mg/L as Br₂, by Main-stream methods was about 1mg/L as Br₂ higher than that by Side-stream methods. The rate of elimination by Main-stream methods, also, was two percent higher than the rate by Side-stream methods. Therefore, Main-stream method was decided as the final injection method. Test on improvement of a nozzle was also conducted to maximize the functioning of injection by Main-stream method. Three types of nozzle were developed and compared by a test. The test had been done with the developed nozzles based on the findings that ozone should be ideally micro-sized bubble which can be effectively dissolved in sea water and fresh water and the outcomes with micro-sized bubbles can only meet the conditions for the Final Approval by IMO. Each nozzle was called LAB-1,

2, 3. The official test had been conducted with LAB-3 nozzle which had ideal value of TRO and in which ozone bubbles could work effectively.

The initial value of TRO is 4.25 mg/L as Br₂ in sea water and is 4.18mg/L as Br₂ in blackish water. In terms of regulation D-2, which is regarded as the most important article, both results from sea water and blackish water test on elimination of organisms satisfied acceptance criteria by IMO. At the following test, the result from toxicity experiment was also satisfied with G8 and G9 criteria by IMO.

From above tests, two assumptions were needed to meet IMO criteria: the initial value of TRO should be over 3.5 and decay process should have a slow decreasing tendency.



I. 서론

선박의 밸런스를 맞추기 위해 사용되는 선박평형수는 주로 해당 해역의 해수를 이용하는데, 이 때문에 세계적으로 해양환경 및 생태계에 큰 문제를 야기하게 된다(한국해양환경공학회, 2012). 따라서 국제해사기구(IMO)에서는 선박평형수 유입 및 배출 시 해당 평형수 내의 바이러스를 포함한 모든 생물을 사멸시키고 독성을 배출시키지 않아야 한다는 법령을 제정하여 모든 선박에 선박평형수 처리장치 설비가 완료되어야 한다는 관리 조약을 체결 하였다(IMO, 2009).

국제해사기구(IMO)의 선박평형수 관리조약은 체결 국가 수가 발효 요건인 30개국을 이미 채웠고, 선복량 요건을 채우기 위해서는 8.54% 정도 남은 상황으로 발효가 임박하고 있다. 한편, 이와는 별도로 미국이 선박평형수에 관한 지역 규제의 개정안을 작년 11월에 발표해 2012년 내에 빠른 단계에서 최종화 된다는 전망도 있어, 동 규제가 시행되면 IMO 조약이 발효되기 전에 선박평형수 처리장치를 탑재해야 할 가능성도 배제할 수 없을 것 이라 사료된다(IMO, 2012). 선박의 선박평형수 처리장치 탑재는 장치의 구입 비용 뿐만 아니라, 대규모의 설치 공사가 필요해 아직 본격적인 탑재에까지 이르지 않은 상황으로 선주들은 조약의 발효 시기를 주시하면서 장치 탑재의 타이밍을 재고 있는 형국이다.

선박평형수 관리조약은 2011년 말에 몬테그로, 12월에 레바논이 체결해, 체결국은 32 개국, 체결국 선복량은 전 세계 선복량의 26.46%가 되었다.

해당 조약은 30개국/35%에 이른 시점으로부터 12개월 후에 발효하며, 선복

량 8% 이상을 가지는 선복국은 20% 이상의 파나마와 10%이상의 라이베리아 등이 있다.(국토해양부, 2012)

그러나, 2020년까지 전 세계 모든 선박에 선박평형수 처리장치 탑재를 의무화하고 있는 등 조약은 장치 구매 및 개장 비용, 현재 수리 조선소의 수용능력, 세계 선대규모 등을 고려해 볼 때 기한이 너무 촉박하다는 분석도 나오고 있다. 왜냐하면, 약 6만 8천 척 규모의 선대가 2020년까지 선박평형수 처리장치를 탑재해야 하는 것으로 전 세계 약 100개의 조선소만이 이와 관련된 작업을 전문으로 하고 있으므로 조약을 만족시키기 위해서는 2020년까지 하루에 24척의 선박이 개장되어야 한다는 계산으로 이는 현실적으로 매우 어렵다는 의견이 제시되고 있다. 그리하여, 조약 기준을 변경하여 기한을 미루는 등의 다른 방안도 제시되고 있는 실정이다. 따라서 보다 효율적인 방법으로 선박평형수를 처리하는 장치 개발이 시급한 상황이며 이는 국가적으로 매우 긍정적인 효과를 가져 올 수 있을 것으로 사료된다.

II. 재료 및 방법

1. 오존주입 방식의 결정

(1) Side - Stream 방식

Side - Stream 방식은 5m³/h의 처리수 배관에서 5.5 l/min의 해수를 펌프로 흡입하여 오존발생기에서 발생된 오존을 오존 주입구를 통하여 주입한 후 혼합된 해수와 오존을 오존버블 발생기를 거쳐 버블을 미세화 한 후 다시 처리수 배관으로 유입시키는 방식이다.

(2) Main - Stream 방식

Main - Stream 방식은 5m³/h의 처리수 배관에 오존버블 발생장치를 장착하여 오존발생기에서 발생된 오존을 처리수 배관에 직접 주입하는 방식이다.

동일한 조건에서 Side - Stream 방식과 Main - Stream 방식으로 자체 시험을 진행하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

2. Main - Stream 방식의 성능개선

(1) 시험장비의 개선현황

반복시험을 통하여 초기 TRO값이 높아야하며, 오존버블이 가장 이상적으로

미세화 될 때 IMO 규정을 만족할 수 있는 성능이 나온다는 것을 중점적인 조건으로 잡고 시험장비 성능개선을 검토하였다. 장비를 수정하여 LAB-1, LAB-2, LAB-3을 비교하여 성능을 시험하였다.

블레이드를 감싸고 있는 원통에서 압력이 걸려 배관에 무리를 주는지를 확인하기 위하여 육상시험설비 크기로 가정하여 Fluent 6.3을 이용하여 CFD 유동해석을 수행하였으며 경계조건은 다음과 같이 설정하였다.

- 파이프 왼쪽(Inlet) : Velocity-inlet으로 하여 3m/s로 가정
- 파이프 오른쪽(Outlet) : Outflow로 설정
- Three - dimensional, Double-precision, Pressure-based solver
- $Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{(3m/s)*(0.2m)}{[1.05*10^{-6}m^2/s]} = 571,428$ 로 난류이므로, Standard k-epsilo

n

3. 시스템 구성

(1) 주요 시험장비

Table 1. Main equipment for Lab. Test

시험 장비명	사용용도 및 특징
CLX TRO Sensor	<ol style="list-style-type: none"> 1. 염소 기준으로 TRO 측정 2. 시험 중 실시간으로 90초 간격으로 측정
HACH TRO Sensor	<ol style="list-style-type: none"> 1. 브롬 기준으로 TRO 측정 2. 시험 후 24시간 간격으로 TRO 측정에 사용 3. Portable용으로 사용
오존주입 및 버블 장치	<ol style="list-style-type: none"> 1. 오존 발생기에서 발생된 오존이 처리수 배관에 주입되는 장치 2. 오존이 해수에 용해된 후 미세화 되는 노즐이 장착되어 있는 장치
오존 발생기 및 칠러	<ol style="list-style-type: none"> 1. 무게비로 12% 오존농도를 함유한 약 10g/h의 오존을 생산하도록 설계되어 있으며, 오존 발생을 위한 산소발생기와 에어컴프레셔가 내장된 무성방전 방식의 오존발생장치 2. 칠러는 오존발생기를 냉각시켜 효율이 떨어지는 것을 방지하는 장치
HMI 프로그램	<ol style="list-style-type: none"> 1. 처리수 유량, 오존주입 농도 및 CLX TRO sensor의 값을 제어하여 표시하며 실시간으로 데이터를 저장하는 장비

(2) LAB TEST SCALE SITE

- 원수 탱크 (10m³)

해수펌프를 이용하여 바다로부터 해수를 보충한 후 IMO Soup에 맞게 동/식물 플랑크톤 및 용존유기탄소(DOC), 입자성유기탄소(POC), 총부유 물질(TSS)을 투입하여 시험 조건을 맞추는 탱크

- 처리수 탱크 (5m³)

시험 시작 후 발라스트 펌프에 의해 원수 탱크로부터 흘러 나오는 해수에 오존을 투입시켜 처리한 후 저장시키는 탱크

- 컨트롤 탱크 (5m³)

시험 시작 후 발라스트 펌프에 의해 원수 탱크로부터 흘러나온 해수가 오존이 투입되지 않은 상태에서 그대로 저장되는 탱크

- 오존발생 시스템

에어압축기, 산소발생기, 오존발생기, 칠러, 오존농도 측정기, 오존 파괴기, MFC 제어기 등으로 구성

- Main - Stream 주입 시스템

오존주입 장치, 버블발생 장치, 충돌장치 등으로 구성

· 중화장치 시스템

정량펌프, 중화제(Sodium thiosulfate), 중화제 탱크 등으로 구성

(3) 시험장비 및 P&ID SYSTEM 구성

· 오존발생 시스템 장비

에어압축기, 산소발생기, 오존발생기, 칠러, 오존농도 측정기, 오존 파괴기, MFC 제어기 등으로 구성된다. 특히 이 시스템에서 가장 중요한 장비인 오존발생기는 에어압축기와 산소발생기가 내장된 제품이다.

* 오존발생기

무게비로 12% 오존농도를 함유한 약 10g/h의 오존을 생산하도록 설계되어 있으며, 오존 발생을 위한 산소발생기와 에어컴프레셔가 내장된 무성방전 방식

* 오존주입 농도 계산식

$$1) \mu = 2.333 \times 10^{-4} (m^3/g)$$

$$2) \text{유량보정계수} = 1 / (1 + \mu \times \text{오존발생농도} (g/m^3))$$

$$3) \text{유량 보정한 산소유량} (m^3/h) = \text{산소유량} (m^3/h) \times \text{유량보정계수}$$

$$4) \text{오존 발생량} (g/h) = \text{오존 발생농도} (g/m^3) \times \text{유량 보정한 산소유량} (m^3/h)$$

$$5) \text{오존주입 농도} [(g/m^3) = (ppm)] = \text{오존 발생량} (g/h) / \text{처리수유량} (m^3/h)$$

(4) 투입 생물

· 크기 50um 이상

Artemia salina cist이용하여 해수 시험 시 32‰, 기수 시험 시 20‰ 조건에 맞춰 37℃ 아크릴 배양기에서 부화하여 TON당 10만 개체수 이상 투입

· 크기 10um 이상 50um 이하

생물 업체에서 납품받은 시험용 생물 *Tetraselmis Suecica* 를 ml당 1,00 cell 이상 투입

(5) 국제해사기구(IMO) 승인 통과 기준

· 유입수 기준

해수와 기수 시험 시 아래의 염도와 기준을 만족시켜야 하며, 해수와 기수의 염도 차이는 최소 10 PSU 이상이 되어야 한다.

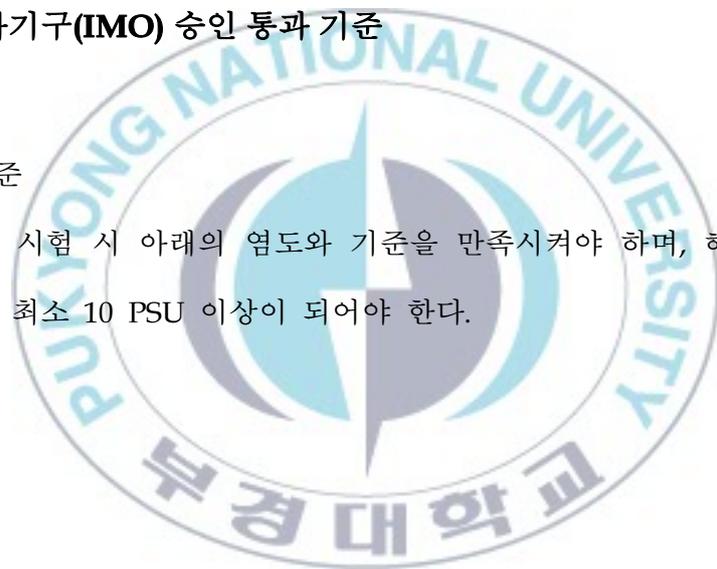


Table 2. Standard IMO Soup

	염 도		
	> 32 PSU	3 ~ 32 PSU	< 3 PSU
용존유기탄소 (DOC)	> 1 mg/L	> 5 mg/L	> 5 mg/L
입자성유기탄소 (POC)	> 1 mg/L	> 5 mg/L	> 5 mg/L
총부유물질 (TSS)	> 1 mg/L	> 50 mg/L	> 50 mg/L



· 50 μ m 이상인 시험생물체는 m³당 10⁵ 이상 개체로 존재하여야 하고, 최소 3개의 각기 다른 문(phyla) 및 과(division)에 속하는 최소 5종(species)으로 구성될 것.

· 10 μ m 이상 50 μ m 미만인 시험생물체는 mL당 10³ 이상 개체로 존재하여야 하고, 최소 3개의 각기 다른 문(phyla) 및 과(division)에 속하는 최소 5종(species)으로 구성될 것.

· IMO D-2 기준

5일 후 De-ballasting 시 아래의 IMO D-2 규정을 만족시켜야 한다.

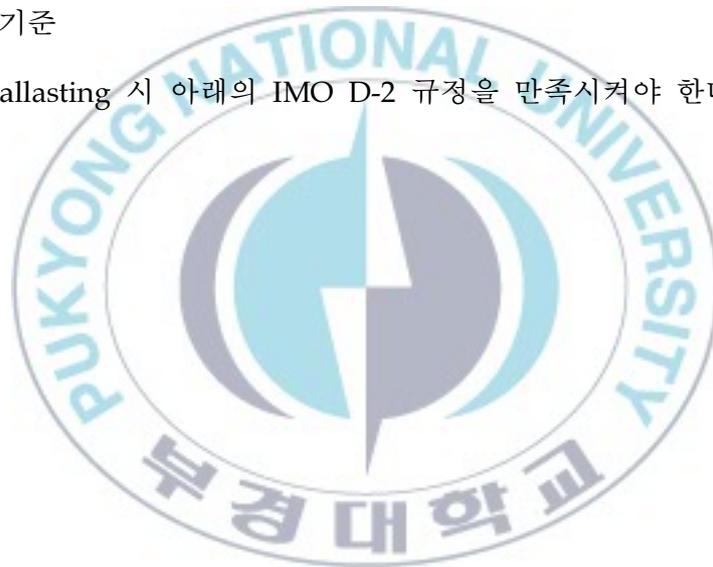


Table 3. Standard IMO D-2 regulation

배출 벨리스트 수 기준		내 용
수중 생물	최소길이 50 μm 이상	생존가능 생물 10개 / m^3 미만
	최소길이 10 μm 초과 50 μm 미만	생존가능 생물 10개 / ml 미만
인간 건강	독성 비브리오 콜레라	1 cfu / 100 ml 미만 1 cfu / 습중량 1g 미만
	대장균	250 cfu / 100 ml 미만
	분변성 대장균	100 cfu / 100 ml 미만



Ⅲ. 결 과

1. Side - Stream 과 Main - Stream의 성능 확인

1) Side - Stream

Side - Stream 방식은 5m³/h의 처리수 배관에서 5.5 l/min의 해수를 펌프로 흡입하여 오존발생기에서 발생된 오존을 오존 주입구를 통하여 주입한 후 혼합된 해수와 오존을 오존버블 발생기를 거쳐 버블을 미세화 한 후 다시 처리수 배관으로 유입시키는 방식이다.(Fig. 1)

2) Main - Stream 방식

Main - Stream 방식은 5m³/h의 처리수 배관에 오존버블 발생장치를 장착하여 오존발생기에서 발생된 오존을 처리수 배관에 직접 주입하는 방식이다.(Fig. 2)



Fig. 1. Side - Stream system



오존 주입구



오존 발생기

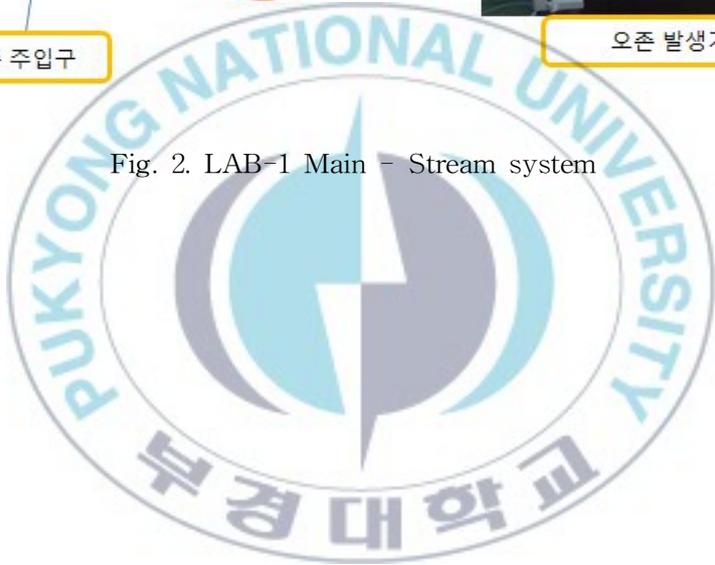


Fig. 2. LAB-1 Main - Stream system

3) 주입 방식에 따른 성능 비교

동일한 조건에서 Side - Stream 방식과 Main - Stream 방식으로 자체 시험을 진행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Main - Stream 방식이 Side - Stream 방식보다 초기 생물 투입량이 많았음에도 불구하고, Day 0의 생사 판별에서 적게 발견되었으며, 최종적으로 Day 5의 생사 판별에서는 0이 나왔다. 대조적으로 Side - Stream의 경우에는 Day 5에 334가 나와서 결과가 좋지 않음을 알 수 있었다.(Table. 4)

이것은 초기 TRO 값에서부터 차이가 났으며, TRO Decay의 속도도 Main - Stream이 완만한 것을 알 수 있었다.(Fig. 3)

또한 가장 중요한 생물 사멸 효과에서 초기량이 Main-stream이 Side-stream에 비하여 약 43.6% 더 많았음에도 불구하고 생물의 사멸율은 Day 0 였을 때 Main-stream 99.83 %, Side-stream 99.04 %로 Main-stream이 초기 사멸효과가 더 높은 것으로 나타났다. 그리고 시험 마지막 날인 Day 5의 경우 Main-stream 100 %, Side-stream 99.87%로 Main-stream 방식으로 시험을 할 때 최종적인 목표인 IMO의 기준을 통과하는 성능을 확인 할 수 있었다.(Fig.4)

위의 실험을 통하여 Main - Stream 방식이 Side - Stream 방식보다 우수한 방식이었음을 알 수 있었으며. 추후 개발은 Main - Stream의 성능을 개선하는 방향으로 갈 수 있도록 하는 시험이었다.

Table 4. The result of compare Side-stream to Main-stream for performance test

(공통조건)										
1. 오존가스 농도 : 170 [g/m ³]										
2. 오존가스 유량 : 1.0 [l/min]										
3. 오존주입 농도 : 2.0 [mg/l] = [2.0ppm]										
4. 정격처리 용량 : 5 [m ³ /h]										
5. 해수										
주입 방식	생물 주입량 [ind./m ³]	생물 생사 판별 [ind./m ³]			TRO as Br2 [mg/l]					
		Day0	Day2	Day5	Day0	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
Main- Stream	460,000	800	200	0	3.61	2.25	2.05	1.24	1.93	1.1
Side- Stream	259,560	2,480	1,112	334	2.69	1.72	1.04	1.4	1.11	1.2

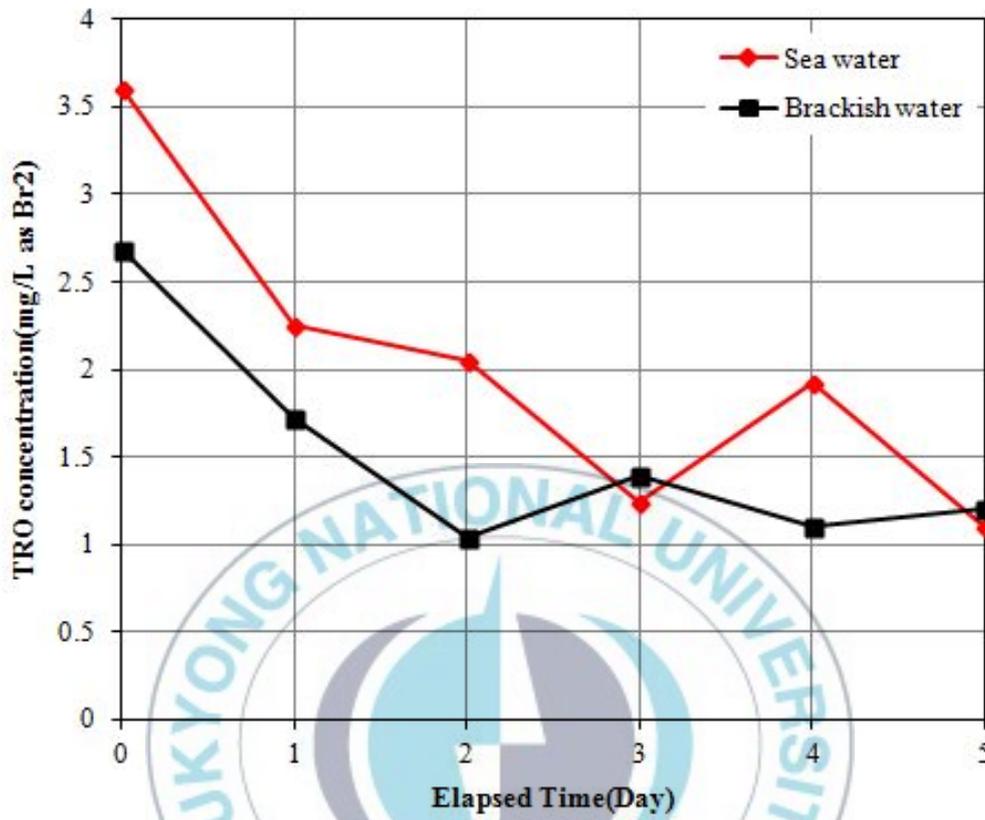


Fig. 3. The result of compare Side-stream with Main-stream for TRO concentrations

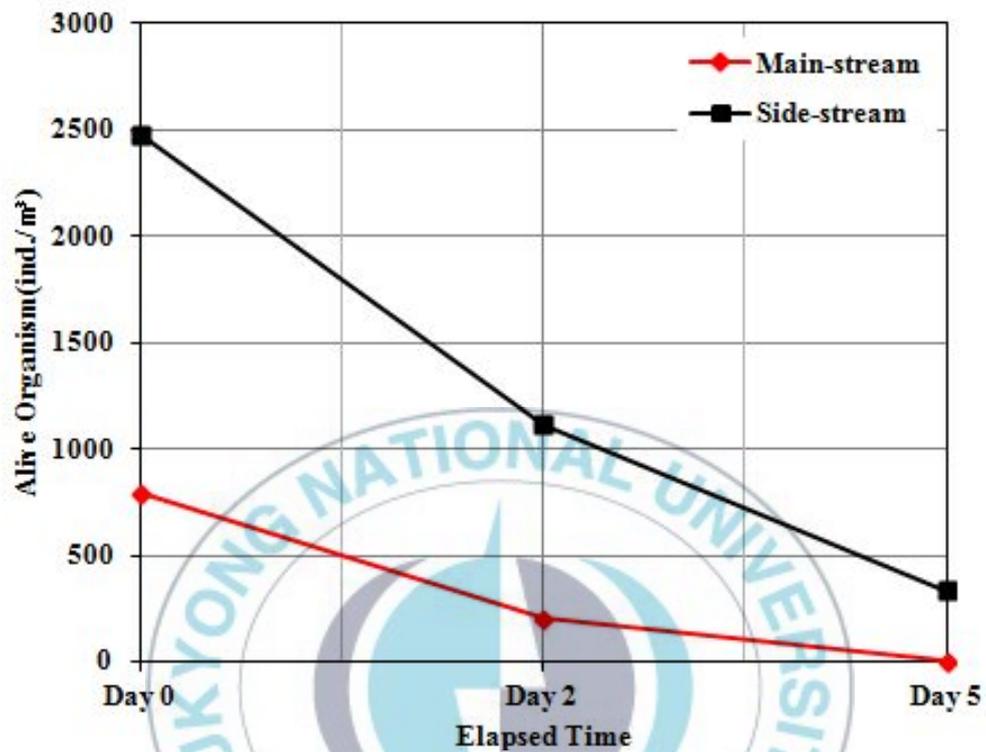


Fig. 4. The result of compare Side-stream with Main-stream for alive organism

2. Main - Stream 방식의 성능개선

(1) 시험장비의 개선현황

기존 장비의 경우 오존 버블이 효율적으로 발생되지 않는다는 문제가 제시되어 시험장비 성능개선을 하였다. 개선 시 고려되는 항목으로 반복적인 자체 시험을 통해 얻은 조건인 초기 TRO값이 높아야하며, TRO Decay 속도가 원만해야 IMO 규정을 만족할 수 있는 성능이 나온다는 것을 중점적으로 검토하였다(Shuhong S. 2012.). 그리하여, 초기 TRO값을 높이고 TRO Decay 속도를 원만하게 할 수 있도록 장비를 수정하여 LAB-2로 변경하였다.(Fig. 5)

그러나, LAB-2 장비에서는 오존주입이 원활하지 못하고 오존버블을 더욱 미세화하기 위하여 LAB-3와 같은 형상으로 장비를 수정하였다. 오존버블 발생장치를 노즐 형상으로 변경하였으며, 오존주입은 노즐에 직접 주입하는 방식으로 변경하여 시험을 한 결과, 높은 초기 TRO값과 TRO Decay의 감소가 완만하였다.(Fig. 6)

두 장비의 TRO농도를 비교하였을 때 LAB-2에 비하여 LAB-3가 초기 TRO를 비롯하여 감소되는 경향도 높고 안정적임을 확인하였다. Figure 7은 그 결과로서 LAB-2의 초기 TRO가 3.61인 반면 LAB-3의 경우 4.26으로 LAB-3가 약 15% 더 높은 것을 알 수 있었으며 Day별로 측정된 감소율 또한 LAB-3가 높음에도 불구하고 더욱 안정적인 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다.

생물사멸 성능을 확인하기위해 탱크 내 생존 생물개체를 계수한 결과 최종 시험일인 5일 후 탱크 내 살아있는 생물 개체수는 LAB-2와 LAB-3 모두 0개체였으나, 초기 생물 사멸율에서 차이를 보였다. LAB-2의 시험 직후 초기 생

물개체수가 800개체, LAB-3의 초기 생물 개체수는 450개체로 LAB-3가 LAB-2에 비하여 약 44%가 높은 사멸율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.(Fig. 8) 이것은 간접 사멸효과를 가지는 TRO값이 LAB-3가 더 높았기 때문에 나타난 결과로 사료된다(Jang M.C. 2012).

따라서 이 모델을 IMO 기본승인을 위한 최종 시험장비로 결정하였으며, 이 장비를 가지고 시스템을 구성한 후 한국해양과학기술원에 공인시험(해수, 기수)을 의뢰하여 IMO D-2, G8, G9을 만족하는 시험결과를 얻을 수 있었다.





Fig. 5. LAB-2





Fig. 6. LAB-3



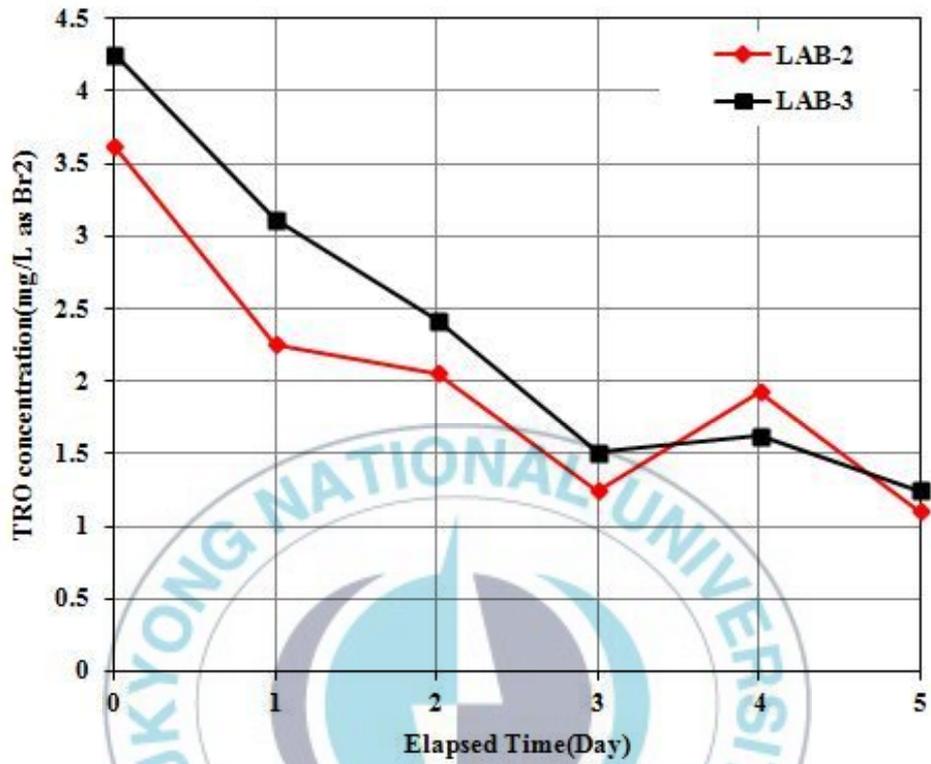


Fig. 7. The result of compare LAB-2 with LAB-3 for TRO concentrations.

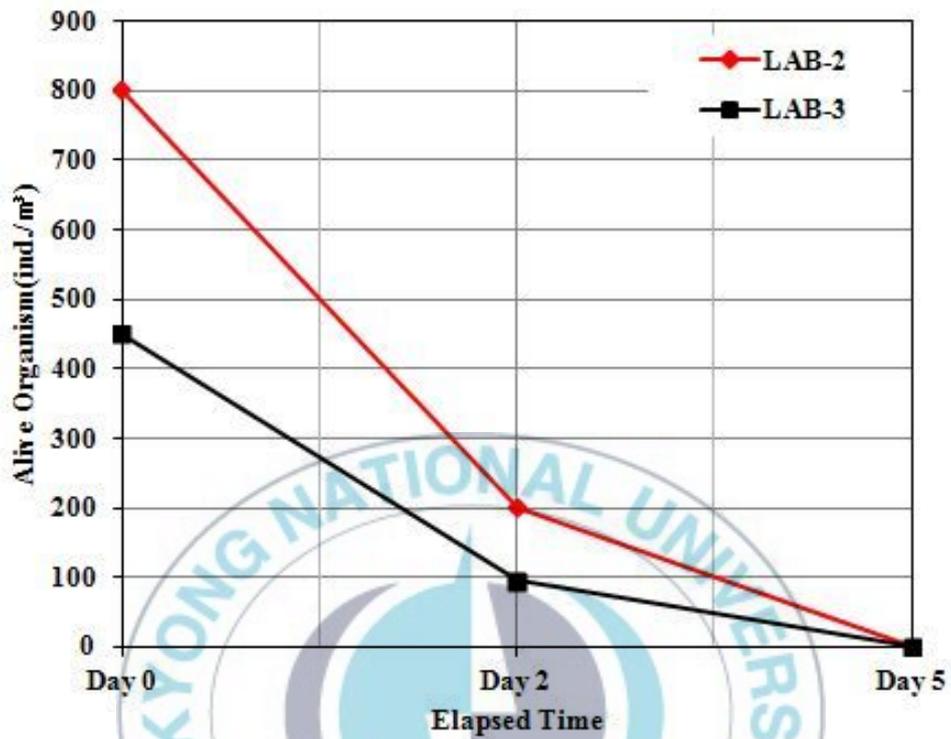


Fig. 8. The result of compare LAB-2 with LAB-3 for alive organisms.

3. 최종 시스템 구성

(1) Main - Stream 주입 시스템 장비

오존주입 장치, 버블발생 장치 및 충돌장치로 구성되어 있다. 발라스트 펌프에서 나온 해수는 처리수 배관을 통하여 흐르면서 오존발생기에서 발생된 오존이 오존주입장치를 거쳐 노즐 형상의 버블발생장치를 통과한다. 여기서 해수에 대한 오존의 용해율을 높이기 위해 버블을 미세화 시켜 생물 사멸율을 높이는 시스템이다. 오존주입 장치 및 버블발생 장치는 가장 성능이 우수한 LAB-3 장비로 시스템을 구성하여 P&ID 구성도를 작성하였다.(Fig8.)

(2) 중화장치 시스템 장비

시험한 날로부터 5일 후 De-ballasting 할 때, 처리수 탱크에서 배출되는 해수의 TRO(TRO#2)를 측정하여 0.2mg/L(as Cl₂)이상이 되면 정량펌프를 작동하여 중화제 탱크에 저장되어 있는 중화제를 De-ballasting 배관에 투입한 후, TRO(TRO#3)의 값이 0.2mg/L(as Cl₂) 이하가 되어 배출되도록 하는 시스템이다. 그러나 실제시험에서는 TRO#2 의 값이 0.2mg/L(as Cl₂) 이상이 된 적은 거의 없었다.

이 중화장치 시스템은 설령 작동할 경우가 발생하지 않더라도 실제 선박에는 의무적으로 장착해야 하는 설비이다.

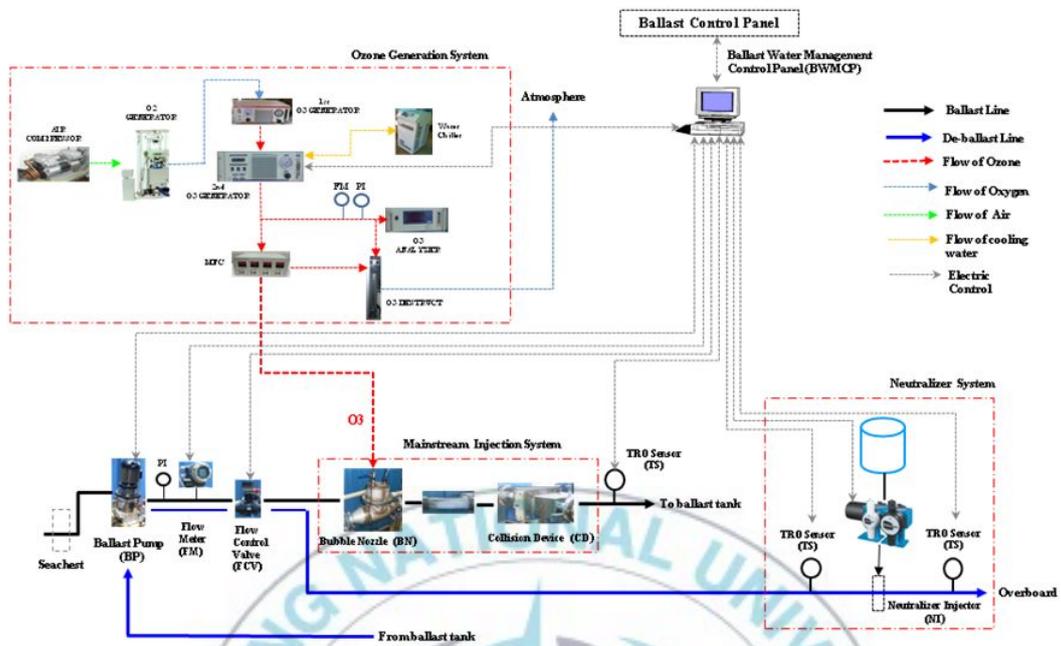


Fig. 9. P&ID of system construction

(3) HMI (Human Machine Interface) 구성

Ballasting 시

· 오존주입 장치 전단에 설치된 전자 볼밸브 및 유량조절 밸브의 유량값 제어 시험 시작과 함께 Ballast Pump을 작동시키면 설정한 처리수 유량(5m³/h)이 되도록 유량조절 밸브가 유량을 계측한 후 설정한 유량보다 높으면 전자볼밸브가 자동으로 좀 더 닫히도록 되어 있으며, 설정한 유량보다 낮으면, 밸브를 좀 더 열어서 설정한 처리수 유량으로 맞춰가도록 설계되어 있다.

· 오존발생기로 유입되는 산소의 유량 및 오존발생기에서 발생된 오존 농도 및 오존 생산량 및 오존주입 농도를 측정한다.

· 오존주입 장치와 버블 발생장치를 통과한 후 처리수 탱크로 들어가기 전의 TRO (TRO#1)를 측정한다.

De-Ballasting 시

· 처리수 탱크로부터 빠져나오는 처리수를 중화제가 투입되기 전의 TRO (TRO#2)측정 및 중화제 처리 후의 TRO (TRO#3)를 측정한다.

HMI 프로그램은 시험 시작과 동시에 위에서 언급한 모든 값들이 실시간으로 계측되며, RECORD ON 버튼을 클릭하는 순간부터 엑셀 파일로 데이터가 저장되도록 구성되어 있다.

4. 시험 결과

재료 및 방법(5) 에서 제시한 유입수 기준을 만족시킨 상태에서 자체 및 공인 해수/기수 시험을 수행한 결과는 아래와 같으며 Table 2의 IMO D-2 기준을 만족시키는 결과를 얻을 수 있었다.(Table 5)

또한 Figure 9에서 보듯이 초기 TRO 값에는 조금의 차이는 있으나 3.85~4.18로 10%이내의 편차를 보여주고 있다. 또한, TRO Decay도 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 이 실험의 결과로 IMO 규정을 만족시킬 수 있는 초기 TRO값은 3점대 후반에서 4점대 초반이 되어야 하며, Decay 경향도 아래 Graph와 유사한 경향을 나타내어야 한다는 결론을 얻을 수 있었다.

생물사멸 성능의 경우 초기 사멸율은 해수 조건 일 때 92.82 %, 기수 조건 일 때 91.63 %를 나타내었고, 시험 최종일인 Day 5 에는 해수 조건 일 때와 기수 조건 일 때 모두 최종 사멸율 99.99 %를 나타내어 IMO 승인을 위한 기준을 만족하는 결과를 확인할 수 있었다.(Fig.10)

Table 5. The result of performance test for TRO decay

	TRO [mg/L as Br ₂]						D-2 기준 결과
	Day 0	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	
해수	3.85	1.63	0.57	0.37	0.18	0.09	만족
기수	4.18	1.29	0.67	0.41	0.21	0.06	만족



Table 6. The result of performance test for alive organism

	생물 주입량		TRO [mg/L] (as Br ₂)					
	초기 생물량		Day 0		Day 1		Day 5	
	해수	기수	해수	기수	해수	기수	해수	기수
$\geq 50\mu\text{m}$ [indiv./m ³]	105,000	156,000	7,542	13,058	550	772	2	3
$10\mu\text{m} \leq < 50\mu\text{m}$ [cells/mL]	1,135	1,020	2	3	0	1	0	1



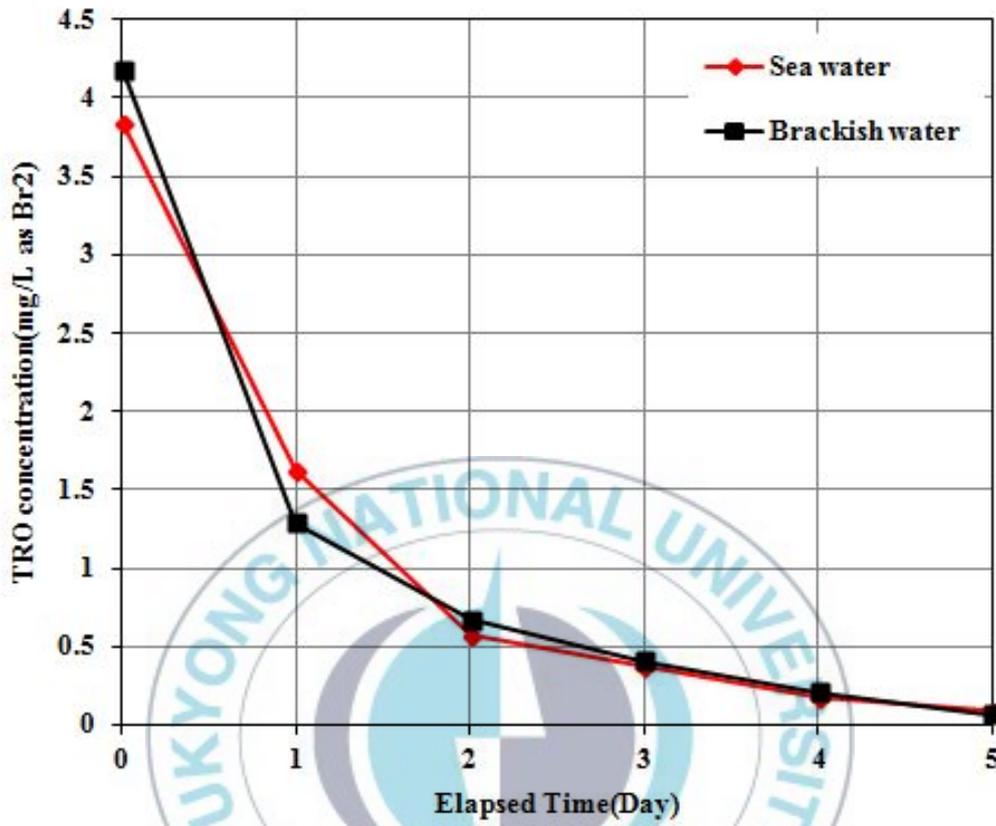


Fig. 10. The result of TRO Decay

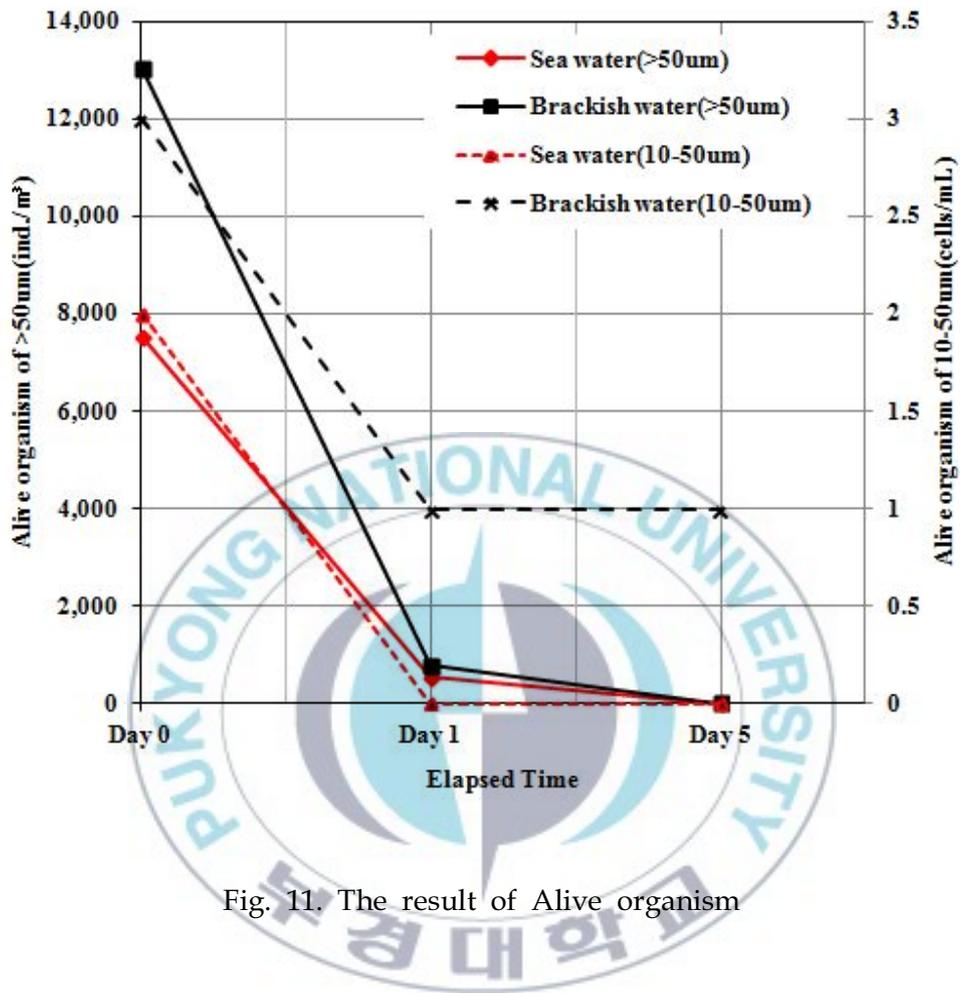


Fig. 11. The result of Alive organism

IV. 고찰

선보공업(주), (주)DSEC, 한국기계연구원(KIMM)이 국토해양부 주관 프로젝트의 일환으로 진행된 기술사업화를 통한 선박평형수 처리장치 개발 실험의 결과 최종적으로 IMO D-2, G8 및 G9 규정을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 공인기관인 한국해양과학기술원의 시험성적서와 업체의 기술자료 등을 작성하여 IMO 기본승인 신청을 위한 업무를 진행하였다. 그리하여, 2012년 8월 말 경에 국토해양부에 접수를 하여 IMO MEPC 65차에 기본승인 획득을 할 수 있을 것이라 예상된다.

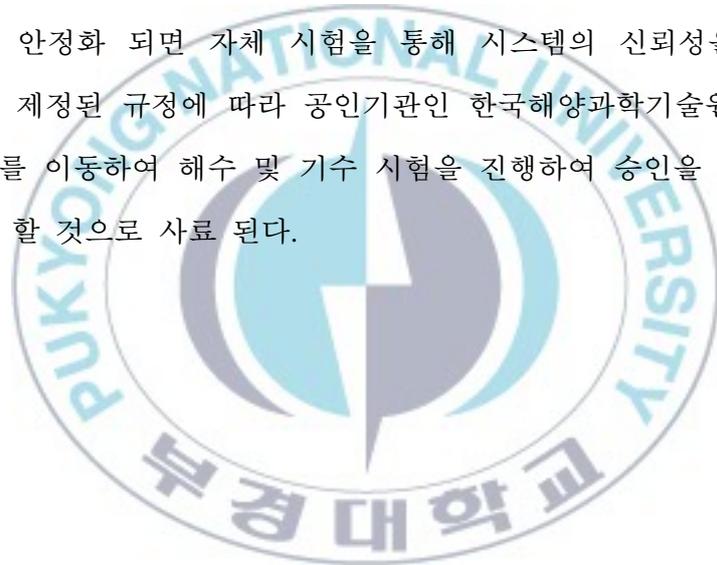
오존주입량을 감소시키면서 IMO 규정을 만족시키는 장치를 개발함에 있어서 시험장비의 완벽한 Setting 및 Operating, IMO 시험규정에 맞는 시험방법의 정립, 오존 주입장치 및 버블발생 장치 개발에 많은 시간을 투자하다보니, 예상했던 기간보다 더 오랜 기간이 소요되었다. 또한 육상시험설비 구축 및 최종승인 및 형식승인 시 기간도 예상보다 늦어질 것으로 보이지만, 개발을 진행하면서 얻은 경험과 시행착오를 바탕으로 추후 사업에 있어서 이러한 점들을 반영하여 최대한 빠른 기간 내 완료하는 것을 목표로 연구를 진행할 것이다. 꾸준한 연구를 통해 기존에 개발된 선박평형수 처리장치에 비하여 성능이 우수한 선박 평형수 처리장치를 개발한다면 마지막 단계인 정부의 형식승인을 획득 후 제품을 양산하여 매출액 창출을 할 수 있을 것이라 예상되며 이는 국내 조선업계를 보다 원활하게 하는데 기여할 수 있다고 사료된다 (Januteniene J. 2012).

우선적으로 1차년도 사업 종료 시점에 제출한 IMO 기본승인을 2013년 5월에 개최되는 MEPC 65차에서 승인을 획득할 계획이다. 이 기본승인 획득과

더불어 250m³/h의 처리용량을 가지는 육상시험 설비 및 오존 시스템을 구축하여 오존농도 2.0ppm에서 1차년도와 동일한 성능을 가지는 시스템을 개발하는데 목표로 삼는다.

공인시험기관인 한국해양과학기술원(KIOST)이 2013년 초에 착공되는 공인용 육상시험설비에서의 공인시험을 위해 각종 장비들을 container안에 Unit로 제작을 하여 자체 시험을 수행한 후, 이 container를 한국해양과학기술원의 공인육상시험설비로 이동/장착한 후 공인시험(해수, 기수시험 10회)을 진행할 수 있도록 연구를 진행할 계획이다.

시스템이 안정화 되면 자체 시험을 통해 시스템의 신뢰성을 확보한 후 2013년 새로 제정된 규정에 따라 공인기관인 한국해양과학기술원의 공인시험설비로 장비를 이동하여 해수 및 기수 시험을 진행하여 승인을 받을 수 있도록 진행해야 할 것으로 사료 된다.



V. 요약

선박의 밸런스를 맞추기 위해 사용되는 선박평형수는 주로 해당 해역의 해수를 이용하는데, 이 때문에 세계적으로 해양환경 및 생태계에 큰 문제를 야기하게 된다(한국해양환경공학회, 2012). 따라서 국제해사기구(IMO)에서는 선박평형수 유입 및 배출 시 해당 평형수 내의 바이러스를 포함한 모든 생물을 사멸시키고 독성을 배출시키지 않아야 한다는 법령을 제정하여 모든 선박에 선박평형수 처리장치 설비가 완료되어야 한다는 관리 조약을 체결 하였다(IMO, 2009). 이에 따라 세계 조선해양 관련 업계에서는 선박평형수 처리장치 개발에 힘을 쏟고 있으며 이는 곧 세계시장에서 국가적으로 큰 힘이 될 수 있는 원동력으로 성장될 수 있다고 사료된다.

이러한 배경으로 국내 조선 기자재 업체인 선보공업(주), (주)디섹 그리고 한국 기계연구원(KIMM)이 기술 사업화를 체결하여 선박평형수 처리장치 개발 과제를 수행하였다. 본 연구는 기본승인을 위한 Lab scale 시험으로서 처리 방법은 독성이 가장 낮다고 밝혀져 있는 오존을 사용하였으며 10m³ 원수탱크를 사용하였으며 각 각 5m³의 처리수와 컨트롤 탱크를 설비하였다.

오존 발생 시스템으로 에어압축기, 산소발생기, 오존발생기, 오존농도 측정기, 배오존 파괴기, MFC제어기가 사용되었고, 최종 오존 발생량은 170 g/L로 진행되었다. 시험 지표 생물은 *Tetraselmis suecica*와 *Artemia* sp.가 사용되었다.

가장 먼저 주입방식을 결정하기 위하여 발생량 170g/L과 유량 1.0L/min의 동일조건에서 5m³/h의 처리수 배관에서 5.5L/min의 해수를 펌핑하여 오존을 주입하여 혼합된 해수를 다시 처리수 배관으로 우회시켜 유입하는 방식인 Side-stream과 5m³/h의 처리수 배관에 오존을 직접 주입하는 Main-stream 방

식을 비교하였다. 그 결과 처리수 배관에 직접 주입되는 Main-stream 방식이 초기 TRO가 3.61mg/L as Br₂ 로 Side-stream에 비하여 약 1mg/L as Br₂ 더 높았으며 Day 5 의 생물 사멸율 또한 Side-stream에 비하여 약 2% 더 높음을 확인 할 수 있었다. 따라서 최종 주입방식은 Main-stream으로 결정되었다.

그 후 Main-stream 주입방식의 성능을 최대화시키기 위하여 노즐을 개선하는 시험을 진행하였으며 총 3가지 타입의 노즐을 개발하여 시험 후 결과를 비교하였다. 자체 시험을 통하여 오존버블이 이상적으로 미세화되어 가장 효율적으로 해수 또는 기수에 녹아야 최종적인 IMO 승인 조건에 만족하는 결과를 얻을 수 있다는 것을 토대로 개발된 노즐을 이용하여 시험을 진행하였다. 각각 LAB-1, 2 , 3로 칭하였으며 오존버블이 가장 효율적으로 사용될 수 있고 TRO 값이 이상적으로 나오는 LAB-3를 사용하여 공인시험을 진행하였다.

그 결과, 초기 TRO가 해수일 때 4.25 mg/L as Br₂, 기수일 때 4.18mg/L as Br₂ 인 것을 확인하였으며 가장 중요한 D-2규정인 5일 후 탱크 내 생물의 생사 판별 결과 시험에서 해수, 기수 시험의 초기 생물 사멸율을 확인한 결과 Day 0일 때 각각 92.82 %, 91.63 %로 90 %의 사멸율을 보였으며 최종 시험일인 Day 5일 때 해수/기수 모두 99.99 %의 매우 높은 사멸율을 확인하였으며 최종적으로 IMO 승인 기준을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 이후 진행된 독성관련 시험에서도 IMO G8, G9기준을 만족하였다.

이를 토대로 IMO규정을 만족할 수 있는 초기 TRO값은 3.5이상이 되어야하며 Decay도 완만한 경향을 나타내야 한다는 결론을 얻을 수 있었다.

감사의 글

학부를 졸업하고 대학원에 진학해서 연구실 생활을 시작한 지가 엇그제 같은데, 벌써 2년이라는 시간이 흘렀습니다. 석사과정 잘 마칠 수 있도록 도움을 주신 분들께 감사의 말씀을 드리고자 합니다. 먼저 논리적인 사고방식과 항상 용기와 질타를 통해 석사과정을 지도해 주시고 보다 저에게 맞는 길을 인도해 주신 김성구 교수님께 감사드립니다. 그리고 바쁜 와중에도 석사학위 논문을 심사해 주신 김중균 교수님, 정귀택 교수님께도 감사드립니다.

대학원 과정동안 언제나 따뜻한 격려와 조언을 해주시고 논문 제출까지 많은 도움을 주신 고수근 선배님과 수경언니께 감사의 마음을 전합니다.

비록 1년 후 취직을 하게되어 졸업까지 함께 할 순 없었지만 동고동락하며, 선배로서 진심어린 관심과 충고를 아끼지 않았던 고분자공학실험실의 장지숙 선배님, 조유경 선배님, 혜진언니 그리고 이제 진해에서 열심히 연구 중인 5년을 한술밥을 먹은 나경이, 처음이자 마지막이 된 대학, 대학원 후배인 민지에게도 고맙다는 말 전합니다. 또한 부족한 저를 믿고 생물 실험을 맡겨주시고 LAB실험을 무사히 마칠 수 있게 물심양면으로 함께 고생하신 선보공업(주)에 계시는 최금식 사장님, 최상식 부사장님, 김형오 이사님, 장호길 부장님, 이태훈 과장님, 박기태 과장님, 정병욱 과장님께 감사의 말씀 전합니다.

마지막으로, 부족한 딸에게 늘 사랑으로 답해주시고 챙겨주시느라 고생하시는 아버님, 어머님께도 사랑한다는 말 전하고 싶습니다.

끝으로, 저를 아껴주시고 도움을 주신 모든 분들께 다시 한번 감사드리며 이 논문을 바칩니다.

참고문헌

- Baek S.H., Jung S.W., Shin K.. 2011. Effects of temperature and salinity on growth of *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae) isolated from ballast water. *Journal of freshwater ecology* 26, 547~552.
- Yongming S., Shuhong S. 2012. The Study of Ships Ballast Water Replacement Monitoring at Sea Based on MCU. *Procedia Environmental Sci.* 12, 199~205.
- Baek S.H., Jung S.W., Jang M.C. 2012. Survival potential of autotrophic phytoplankton species collected from ballast water in international commercial ships. *New Zealand journal of geology and geophysics* 46, 125~136.
- Nadeeshani Nanayakkara K.G., Khorshed Alam A.K.M., Zheng Y.M.. 2012. A low-energy intensive electrochemical system for the eradication of *Escherichia coli* from ballast water: Process development, disinfection chemistry, and kinetics modeling. *Marine pollution bulletin* 64, 1238~1245.
- Sateikiene D., Januteniene J. 2012. Ballast Water Treatment Technologies

Comparative Analysis. Transport means 2012, 241~244.

Bai M.-d., Zhang N.-h., Zhang Z.-t. 2012. Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals. Environmental science 33, 454~458.

Yu H.F., Liu G.M., Huang H. 2012. Activity Assay of Microalgae *Heterosigma akashiwo* in Ballast Water by Neutral Red Staining Using the UV and UV/O₃ as Inactivation Methods. Environment materials and environment management; Environment science and materials engineering 2012 (EMEM 2012) , 1079~2012.

Altug G., Gurun S., Cardak M.. 2012. The occurrence of pathogenic bacteria in some ships' ballast water incoming from various marine regions to the Sea of Marmara, Turkey. Marine environmental research 81, 35~42.

Su P.H., Feng D.L., Liao D.X. 2012. Study of Ballast Water Micro-Algae Inactivation Using High-Voltage Pulsed Discharge: Discharge Characteristics. Advanced materials research : AMR 356/360, 1539~1545.

Banerji S., Werschkun B., Hofer T. 2012. Assessing the risk of ballast water treatment to human health. Regulatory toxicology and pharmacology :

RTP 62, 513~522.

David M., Perkovic M., Suban V.A generic ballast water discharge assessment model as a decision supporting tool in ballast water management. Decision support systems 53, 175~185.

Petrucci Elisabetta, Di Palma Luca, De Luca Elena. 2013. Biocides electrogeneration for a zero-reagent on board disinfection of ballast water. Journal of applied electrochemistry 43, 237~244.

Zhou J.F., Xu L.P., Feng D.L. 2013. Study on Inactivation of Microalgae in Ship Ballast Water by Pulsed Electric Field and Heat Treatment. Energy, environment and sustainable development; Progress in environmental science and engineering 2013, 3163~3166.

Lafontaine Y., Chambers Y., Despatie S.-P. 2013. Effectiveness and potential environmental impact of a yeast-based deoxygenation process for treating ship ballast waters. Water quality research journal of Canada 48, 55~75.

Abe A. ; Sou A., Mimura H. 2013. Application of Microbubbles and Shock Pressures to Ship's Ballast Water Treatment. Japanese journal of multiphase flow 27, 45~52.

Murphy K.R., Boehme J.R., Brown C. 2013. Exploring the limits of dissolved organic matter fluorescence for determining seawater sources and ballast water exchange on the US Pacific coast. *Journal of marine systems : journal of the European Association of Marine Sciences and Techniques* 111/112, 157~166.

Chan Farrah T., Bailey Sarah A., Wiley Chris J. 2013. Relative risk assessment for ballast-mediated invasions at Canadian Arctic ports. *Biological invasions* 15, 295~308.

Drillet G., Schmoker C., Trottet A. 2013. Effects of temperature on type approval testing of ballast water treatment systems. *Integrated environmental assessment and management* 9, 192~195.

Carney K.J., Basurko O.C., Pazouki K. 2013. Difficulties in obtaining representative samples for compliance with the Ballast Water Management Convention. *Marine pollution bulletin* 68, 99~105.

한국 해양 환경공학회. 2007. 해양 플랑크톤 군집의 전기분해 염소소독 효과. 강정훈. 127pp.

한국 해양학회. 2011. 부산과 대산항에서 선박평형수에 유입된 식물플랑크톤의 종조성과 재성장능력. 백승호. 106pp.

한국 해양 환경공학회. 2011. GloBallast 선박평형수 위해도평가 방법의 개선방안에 관한 연구. 이승국. 224pp.

한국 해양 환경공학회. 2011. 선박평형수 종별 특이성 위해도 평가 방법에 관한 고찰. 이승국. 293pp.

한국 해양 환경공학회. 2012. 선박평형수 처리장치의 활성물질 농도에 관한 고찰. 김은찬. 219pp.

한국 해양 환경공학회. 2012. IMO 선박평형수 처리장치 기술과 발전 방향에 대한 고찰. 김은찬. 349pp.

