

## 선박안정수 국제규제와 처리기술 개발

소대화, 장지도, 백희요\*

명지대학교, 대련해사대학교\*

### International Restriction and Development on the Treatment Technology of Ship's Ballast Water

Dea-Whal Soh, Zhi-Tao Zhang\*, and Xi-Yao Bai\*

Myongji Univ., Dalian Maritime Univ.\*

#### Abstract

The introduction of invasive marine species into new environments by ship's ballast water, attached to ships' hulls and via other vectors has been identified as one of the four greatest threats to the world's oceans by Global Environment Facility (GEF). IMO (International Maritime Organization) is carrying out the international restriction of the effluence suppression and treatment of Ship's ballast water by Ballast Water Management Convention. In this paper, to deal with this international restriction convention and to consider economic potential of ship's ballaster treatment market near future, the equipment and technology of ship's ballaster water treatment was studied.

**Key Words** : ship's ballast water, IMO, plankton, water pollution, plasma

#### 1. 서론

최근 들어 선박에 대한 각종 환경규제가 대폭 강화되고 있으며 국제해사기구(IMO)에서는 선박에서 발생하는 오염물질 등에 대한 규제강화를 위하여 최근 새로운 해상환경협약[1,2]의 채택 및 발효를 강력히 추진하고 있다. 선박으로부터 배출되는 선박안정수의 외래침입생물에 대한 대비책은 아직까지 특별한 기술적 대책이나 시스템을 갖추지 못한 상태에서 선박으로부터 해양으로 직접 배출되는 구조적 문제점을 안고 있으며, 그 피해성은 매우 심각한 상황에 이르고 있다. 대다수의 국가에서는 선박안정수 배출에 대한 강력한 규제법안을 만들어 적용하고 있으며, 따라서 선박안정수 처리에 따른 경제적 손실과 함께 해양오염 피해 정도도 매우 큰 것으로 조사되고 있다[3]. 우리나라도 선박안정수에 대한 국제협약 국가로 지정되어 법제정이 진행되고 있다. 미국, 일본 등 일부 선진국에서는 국가 핵심기술로 개발에 박차를 가하고 있으

며, 중국 등에서는 우리보다 우선하여 해양환경 및 자원을 확보 보존하기 위한 방법으로 대안기술의 연구개발에 박차를 가하고 있다. 그러나 국내에서는 그 심각성과 기술개발에 대한 중요성을 인식하면서도 적용기술에 대한 대안이나 기술개발 노력이 저조한 실정이다. 따라서 국제기준에 적합하고 친환경적인 선박안정수 처리기술의 개발로 국제적 선진기술의 확보와 기술 입지 선점이 무엇보다도 절실하게 요구되며, 이에 대한 기술적 가능성에 대하여 연구하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 선박안정수의 국제규제 및 협약

선박관련 국제환경협약으로는 "선박의 오수오염 방지협약", "선박의 대기오염방지협약", "선박의 유해방오도로 사용규제협약", "선박의 안정수 관리협약" 등으로 분류하고 있다. 현재 선박활동으로부터 해양환경에 가장 큰 위협을 주는 것이 안정수에

의한 유해 외래종의 유입이라고 보고 있다.

따라서 선박의 밸러스트수를 통한 수중미생물의 국가간 이동으로 타 지역의 해양생태계파괴문제가 발생함에 따라 국제적으로 선박의 안정수 관리 필요성이 크게 대두됨에 따라 선박의 안정수 관리협약의 제정을 추진하고 있으며 2004년 국제협약으로 채택될 것으로 보인다. 우리나라도 선박안정수 국제협약에 따른 협약 대상국가로 지정되어 있다.

## 2.2 국내의 규제법과 기술 현황

오스트레일리아와 캐나다, 미국 등은 이미 국내법으로 밸러스트수의 배출을 규제하고 있다. 오스트레일리아는 IMO 밸러스트수 관리 지침에 따라 Ballast Water Reporting을 강제로 시행하고 있다. 캐나다 밴쿠버 항만 당국은 1998년 1월 1일부터 총톤수 1,000톤 이상 모든 선박이 밴쿠버항에 입항하기 전에 밸러스트수를 배출하도록 하고 있으며 미국의 경우 모든 선박이 수역에 들어오기 전에 밸러스트 교환을 하도록 법제화하고 있다.

우리나라는 해운산업에서도 세계 상위그룹에 속하고 있어서 이들 산업이 차지하는 비중이 매우 크다. 따라서 IMO에서 체결되는 협약의 영향을 많이 받고 있는 국가로 분류되고 있다. 그러나 아직까지는 IMO나 MEPC의 정책결정이나 협약에 대한 대응이 미약한 편이므로 보다 적극적인 규제와 기술적 대안이 필요한 것으로 판단된다.

표 1 2002년 국내항만에서의 외국선박 통제 현황.

점검 대상	점검		결합지적		출항정지	
	척수	점검율	척수	결합율	척수	출항정지율
9,480	3,354	35.38%	2,412	71.91%	100	2.98%

국내항만을 이용하는 외국선박의 통제현황을 표 1에 나타냈으며 표 2에서는 표1의 내용을 결합성질별로 분류하여 세부적으로 나타냈다. 표 2에서 보듯이 선박안정수의 및 해양오염과 관련한 내용이 많은 비중을 차지함을 알 수 있다. 이는 선박으로 인한 해양오염 및 외래 침입생물종에 따른 토착해양생태계의 오염, 교란, 파괴현상에 대한 심각성을 간접적으로 표현하고 있다.

표 2. 결합성질분류에 따른 통제 현황.

결 합 성 질	결합지적 (건)	출항정지 (건)
구명설비 관련	1,668	142
항해안전 관련	1,481	109
소방설비	1,385	99
해양오염방지 관련 (선박안정수포함)	1,242	95
선체구조,복원성 관련	945	85
만제흡수선 관련	704	75
SOLAS 관련 선박운항요건	485	24
선박증서 관련	355	37
선원 증서 관련	354	37
무선설비 관련	270	21
ISM 관련	269	24
추진장치 및 보조기관 관련	251	33
계류설비 관련	95	19
화물운송 관련	94	3
선원거주설비 관련	88	9
선원 작업구역 관련	84	9
사고 방지조치 관련	84	5
탱커 등 안전관련	42	2
MARPOL 관련 운항요건	37	3
기 타	23	3
경보장치	21	3
계	9,977	837

선박안정수 처리를 위한 대표적인 처리 방법으로는 필터링방식의 기계적 방법, 열처리에 의한 물리적 방법, 약품처리에 의한 화학적방법 등 전통 기술적 접근방법이 사용되고 있다. 화학약품 사용에 따른 가용 자원 및 바이오제품 등의 기술이 적용되고 있다. 일본의 경우 선박안정수가 불필요한 선박개발에 주력하고 있으며, 미국의 경우는 진공에 의한 수중산소의 걸름을 통한 미생물 사멸기술의 개발이 시도되고 있다.

국내에서는 주로 여과 방법과 화학약품처리 방법을 사용하고 있으며, 또는 별도의 처리 없이 심해의 먼 바다에 배출하는 방식을 적용하고 있지만, 최근 들어 국내에서도 그 심각성이 인식되어가고 있으며, 따라서 2004년도 국제해사협약과 그에 따른 규제 적용의 법적제도 마련을 위한 연구 노력과 함께 기술개발의 태동 단계가 형성되고 있는 것으로 파악되고 있다. 이에 대한 국내의 대표적인 기술과 최근 현황은 다음과 같다.

- 1) 선박안정수의 주입 시 여과법을 주로 사용하고 있으며, 자외선처리법과 초음파 이용에 대한

기술개발이 일부 시도되고 있음.

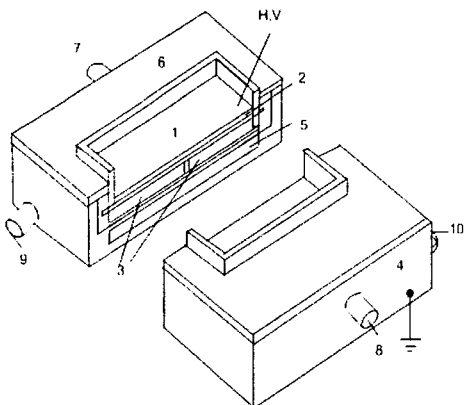
- 2) 선진국대비 우리나라의 기술수준은 50%이하로 판단되며, 조기에 기술을 확보하지 못할 경우 선박수주, 해양물류 확보 등 국가 경제에 상당한 영향이 미칠 것으로 판단됨.

### 3. 기술적 대안

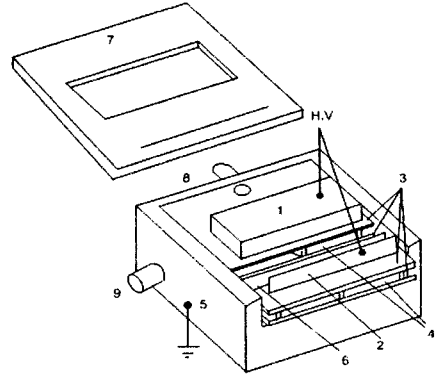
선박안정수의 국제규제에 따른 기준에 부합하고 약물처리등에 의존하는 방법에서 탈피된 신 기술로 강 전리방전 기술을 적용하여 고 밀집 산소와 물분자로부터 고농도 수산 자유기(OH: hydroxyl radical)를 전리[4], 발생시켜서 활성입자를 신속히 확산시켜 비교적 낮은 수산기농도 하에서 유해성침입생물을 소멸 처리하는 환경 친화적 녹색 청정처리방법을 제안하였다[5].

#### 3.1 플라즈마 발생장치 및 설계도

기존의 진공 플라즈마와 달리 진공시스템[6] 없이 대기압에서 DBD(dielectric barrier discharge)기술을 이용해 고전압과 접지전극 사이에 유전체 물질을 삽입하고, 고전압 전극에 AC전압을 인가 안정된 플라즈마를 발생시킬 수 있도록 하였고, 플라즈마를 진공장치 없이 상압에서 발생시켜 저압에서 생성되는 플라즈마와 상이한 상압 플라즈마만의 고유한 여러 플라즈마 특성을 본 시스템에 적용함으로써 고효율의 균일한 플라즈마를 형성시킬 수 있도록 하였다.



1. 투명전극, 2. 전극분리층, 3. 방전간극, 4. 접지전극, 5. 냉각층, 6. 상부덮개, 7. 흡기구, 8. 배기구, 9. 입수구 10. 배수구



1. 고전압전극, 2. 박막전극, 3. 전극분리층, 4. 방전간극, 5. 접지전극, 6. 차광조절판, 7. 상부덮개, 8. 흡기구, 9. 배수구

그림 1. 플라즈마 발생전극 구조 개요도

Batch type의 저압 플라즈마 기술을 in-line 상압 플라즈마 공정기술을 개발함으로써 관련 기술에 다양하게 적용할 수 있다. 즉 저온공정기술과 상압 방전기술을 복합적으로 이용하는 플라즈마 응용기술로 환경청정 공정기술의 특징을 갖는다.

#### 3.2 수중생물체와의 반응

자유수산기[OH·]는 수소와 산소로 이루어진다. 물과 산소를 고농도 활성원자 혹은 원자단으로 해리시켜 새로운 분자수산기를 만드는 것으로 물분자, 산소분자의 화학적 결합에너지는 각각 5.0 eV, 5.3 eV이고, 이온화 에너지의 크기는 각각 12.6 eV, 12.5 eV이다. 강 전리방전을 통해 H<sub>2</sub>O와 O<sub>2</sub>를 자극시켜 전자의 여기에너지가 그 전리에너지보다 클 때 수산기 가공에 필요한 원자 또는 원자단 속을 생성하고, 수산기 모드에 따라 H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>가 해리된 원자와 원자단이 수산기를 형성한다. 전장내의 전자가 13eV보다 큰 에너지를 얻으면 H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>를 고농도로 해리시켜 분자, 원자 층에서 아래의 그림 모형과 같은 연쇄반응을 이루면서 강산화성 수산기를 생성시켜 얻을 수 있다.

#### 3.3 활성수산기의 생물체 사멸 특성

고에너지 전자와 가스 분자의 충돌에 의해 발생하는 플라즈마에 의해 O<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O는 이온화와 해리 과정을 거쳐 활성 OH, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, O(1D), HO<sub>2</sub>로 되며, H<sub>2</sub>O로부터 OH기를 형성한다. 형성된 활성 수산기에 의해 박테리아 및 해조류의 치사율 관계는 그

림2에서와 같이 수산기 농도가 0.45 mg/ℓ 일 경우 플랑크톤은 96.4 %의 치사율을 나타냈으며, 0.55 mg/ℓ 일 경우 98.3 %의 치사율을 얻을 수 있었다. 선박안정수의 사멸 처리 장치로써 충분한 값은 98 % 이상의 치사율을 나타내야 하므로 0.55 mg/ℓ 이상의 활성 수산기를 발생시키는 장치라면 충분히 선박안정수의 처리용으로 사용이 가능할 것으로 본다. 선박안정수 내에 존재하는 박테리아의 경우 0.15 mg/ℓ의 수산기 농도로서 99 %의 치사율을 나타냄으로, 플랑크톤의 사멸 농도로써 박테리아를 충분히 처리할 수 있었다.

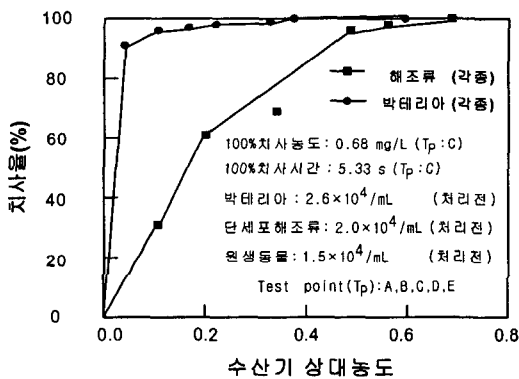


그림 2. 박테리아와 해조류의 수산기 농도와 치사율 관계

#### 4. 결 론

선박안정수 처리를 위한 국제법의 규제강화에 따른 해결 기술로 고 에너지 플라즈마를 이용한 활성수산기의 자체발생 처리에 의한 선박안정수의 안정적 처리장치를 개발 적용하여 가능성을 확보하였다.

1) 수산기 생성시간과 가공시간은 40 μs와 2 s 이내이고, 1 kton/h 규모의 수산기 제조장치의 크기는 약 6 m(L) × 4 m(W) × 3 m(H)이며, 소요동력은 약 200 kW정도 소요되었다.

2) 안정수내 생물체의 사멸 최저농도는 0.55 mg/ℓ 이고, 이 농도에서 플랑크톤은 96.4% 이상, 박테리아는 99% 이상 소멸시킬 수 있었다.

3) 바닷물과 공기를 분해, 전리시켜  $1 \times 10^{-6}$  이상의

자유수산기 농도에서 금조, 편조, 남조 등 조류성 생물체를 10초 이내에 소멸시켰다.

4) 1톤의 활성수산기 용액으로 5~10톤의 안정수를 처리할 수 있으며, 안정수에 침입한 외래미생물뿐만 아니라, 안정수내의 유기물 및 미생물 사체들을 H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 및 무기염류의 무해물질로 분해처리가 가능할 것으로 사료된다.

플라즈마 발생장치를 이용한 활성 수산기 발생 처리 장치는 비 약품처리 방식으로 2차 피해 및 오염원을 근본적으로 해결할 수 있는 친환경적 선박안정수 처리 기술로 외래침입생물체의 유입으로 인한 해양생태계파괴 및 해양오염 관련기술에 대한 활용가능성이 매우 클 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] 선박출항정지지침(Guidelines for the Detection of Ships) IMO 결의서 A.882(21)
- [2] 선박 유해방오시스템의 규제에 관한 국제 협약(International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships), 2001.
- [3] 해양수산부, 연안통합관리계획, 2000. 8
- [4] T. Osaka, N. Oyama, T. Ohsaka, “電氣化學測定法”, 自由アカデミ, 1998.
- [5] 소대화, 장지도, “선박안정수의 해양외래침입생물체 처리 기술”, 한국해양정보통신학회 논문지, 제7권, 7호, p. 1563, 2003.