



연구책임자: 지구환경과학부 김종성 교수(02-880-6750)
문의: 담당자 연락처(이정현/010-8596-6698)

국제해사기구(IMO)의 선박평형수 위해성평가를 위한 신규 잔류독성 검정기술 제안

- 현행 IMO 배출허용기준 이하에서 해양미생물 생태독성 영향 입증 -

- 서울대학교 김종성 교수(지구환경과학부)가 주도하고, (주)네오엔비즈, 충남대, 경희대 등이 참여한 산학공동연구팀은 국제해사기구(IMO)에서 승인하는 선박평형수처리장치의 배출수 생태위해성 평가에 발광박테리아(해양미생물)를 이용한 검정법이 기존 검정법에 비해 보다 민감하고 효율적인 검정기술임을 새롭게 입증했다.
- 본 연구에서는 유럽과 미국을 포함한 전 세계에 표준화되어 있는 기존의 미세조류를 이용한 생태독성검정과 비교해, 그 독성 평가능력에 있어 발광박테리아를 이용한 본 연구의 생태독성검정이 보다 민감함을 밝혔다.
 - * 평형수 배출허용기준인 총잔류산화물(TRO) 0.1 mg/L 이하에서 발광박테리아 생태독성 영향 확인(그림설명 참조)
- 신규 제안된 발광박테리아 검정법이 기존의 미세조류 검정법에 비해 보다 정교·편리할 뿐만 아니라 평가에 필요한 전문인력 요구도·시간·비용도 낮아, 향후 선박평형수배출수 환경위해평가를 위한 생태독성시험을 보완하는데 보다 유용함이 밝혀졌다.
- 김 교수는 “그동안 배출수 독성평가에 있어 가장 민감하다고 알려진 미세조류보다도 더욱 민감한 수준에서 발광박테리아의 독성영향이 새롭게 확인되어 향후 배출수에 의한 해양생태계 영향을 더욱 정교한 수준에서 연구할 수 있는 길이 열렸다”고 말했다.

- 아울러 본 연구에서는 활성물질(치아염소산 등의 살생제)을 이용하여 선박평형수 내의 수중생물을 소독·사멸시키는 과정에서 발생하는 다양한 소독부산물이 발광박테리아를 이용한 독성검정에 상세히 활용될 수 있는 가능성도 열어놓았다.
- 끝으로, 연구팀은 선박평형배출수의 환경위해성을 평가하기 위한 IMO 가이드라인에 본 연구에서 입증된 “발광박테리아(해양미생물)”를 이용한 검정시험을 새롭게 추가할 것을 제안하였다.
- 본 연구 결과는 환경·생태분야 국제저명학술지인 ‘환경안전과 생태독성학 (Ecotoxicology and Environmental Safety)’ 2019년 1월호에 발표되었다(SCI 해당분야 상위 15% 저널).

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명 4. 연구진 이력사항

연구 결과

□ 출판 논문

Lee, J.-S., Hong, S., Lee, J., Choi, T.S., Rhie, K., Khim, J.S., 2019.

Evaluation of residual toxicity of hypochlorite-treated water using bioluminescent microbes and microalgae: Implications for ballast water management.

Ecotoxicology and Environmental Safety. 167, 130-137.

□ 국문 요약

- 선박평형수에 존재하는 생물을 소독(사멸)하기 위해 차아염소산 등과 같은 살생제를 이용하는 경우, 처리수에는 총잔류산화물(TRO)과 해수 중 유기물이 결합하여 다양한 소독부산물이 생성되어 수서생물과 인간에게 유해함
- 처리, 배출되는 선박평형수 내 잔류염소와 소독부산물이 인체 및 해양생태계에 미치는 위해영향을 평가하기 위해 국제해사기구(IMO)는 협약에 의거 평형수처리장치(BWMS) 승인을 위한 생태독성시험(배출 전)을 수행토록 하고 있음
- 평형수 협약에 의거한 위해성 평가는 다양한 분야에서 수행되는 바, 급성·만성 독성평가 결과가 중요한 승인요건 중 하나임, 한편 잔류독성이 보고되어도 5배의 희석계수에 의거 완화되면 생태독성평가 부문에서는 이를 허용하고 있음
- 본 연구에서는 잔류염소와 **6종의 소독부산물**에 대한 잔류독성을 발광박테리아와 미세조류 생물검정법을 이용하여 평가한 결과, IMO 배출허용기준인 **TRO 0.1 mg/L** 이하에서도 발광박테리아에 대한 독성이 확인되었음
- 개별 소독부산물 6종에 대한 독성검정 결과, 발광박테리아가 기존의 소독부산물에 대해 가장 민감한 생물로 알려진 미세조류보다도 **3~10배 더 민감한 것**으로 나타남
- 본 연구를 통해, 향후 다양한 화학물질(살균, 소독제 포함)의 수생환경 배출에 의한 생태위해성 평가에 신속·편리·민감도 측면에서 우수한 발광박테리아 독성검정법의 활용이 극대화 될 수 있는 과학적 근거가 마련됨

<키워드> 선박평형수, 총잔류산화물(TRO), 발광박테리아, 생태독성검정

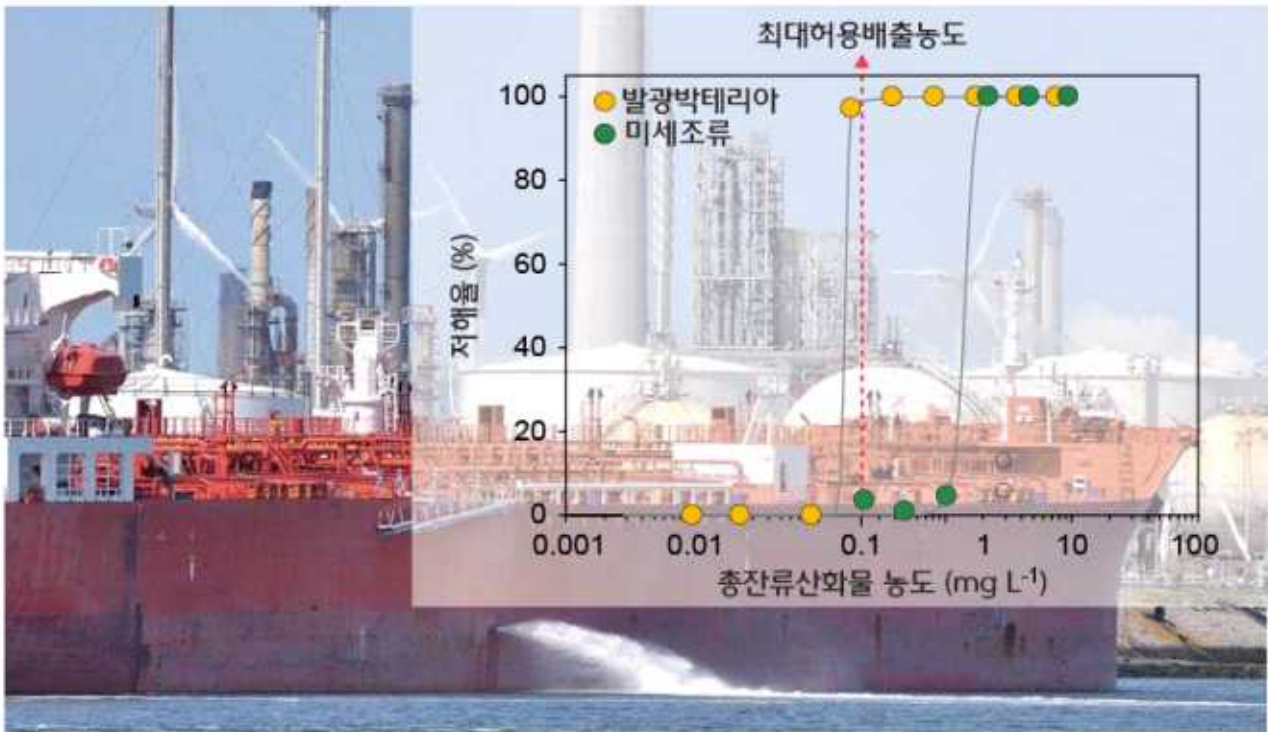
용 어 설 명

- 선박평형수(Ballast water)의 배출과 관리(국제해사기구(IMO) 협약)

- 선박평형수란 선박의 무게중심을 유지하여 안전하게 운항할 수 있도록 선박 내부의 밸러스트 탱크(물탱크)에 싣는 바닷물이다. 일반적으로 유조선이나 화물선 등 대형 선박은 항구에서 화물을 내리고 출항할 때 하역한 화물의 무게만큼 선박평형수를 싣게 된다. 다른 항구로 이동 후 화물을 적재할 때 선박평형수를 배출하는데, 이 때 **선박평형수 내의 수중생물을 사멸(소독)시켜야 한다.**
- 국제해사기구(IMO)는 선박평형수를 통해 **외래해양생물체가 다른 나라에 유입되어 해양생태계를 파괴함에 따라 이를 예방하기 위하여 ‘선박의 평형수와 침전물의 통제 및 관리를 위한 국제협약’(2004.02.13)**을 채택하였다. 협약은 회원국 30개국 이상이 비준하고, 비준한 국가의 선박 선복량이 35% 이상을 충족하면 12개월 후에 협약 발효(이행)되는 것으로 되어있다.
- 평형수 협약의 주요내용은 1) 외래생물체의 이동을 줄이기 위해 **선박평형수의 무단 배출을 금지하며, 2) 선박평형수의 교환(한시적 조치) 또는 처리(선박 내에서 수중생물 소독), 3) 최대허용배출농도(MADC), 4) 항만국 통제, 5) 처리설비 설치·검사** 등을 포함하고 있다. 우리나라에서는 **2017년 9월 8일 국회비준과 함께 선박평형수관리협약이 발효되었다.**
 - * **최대허용배출농도(MADC):** 해양환경으로 배출하는 선박평형수의 총잔류산화물(TRO)에 대한 최대허용농도로 0.1 mg/L as Cl₂로 IMO에서는 이를 초과할 경우 선박평형수처리장치(BWMS) 승인을 권고하지 않음
- 현재 국내 기업의 선박평형수 처리기술은 세계적 수준이며, 국내에서 생산되는 처리설비는 국제시장의 약 50% 이상을 점유한다. 이러한 처리설비를 이용해 선박평형수 내의 수중생물을 화학물질(치아염소산 등과 같은 살생제)을 이용하여 소독·사멸시킬 때 **IMO는 배출수에서 TRO 농도가 0.1 mg/L 이하일 것을 요구**하고 있다. 이는 수중생물을 소독·사멸하는 과정에서 사용되는 화학물질(살생제)의 배출농도를 규제함으로써 선박평형수(처리수) 배출로 인한 환경위해로부터 해양환경을 보호하기 위함이다.

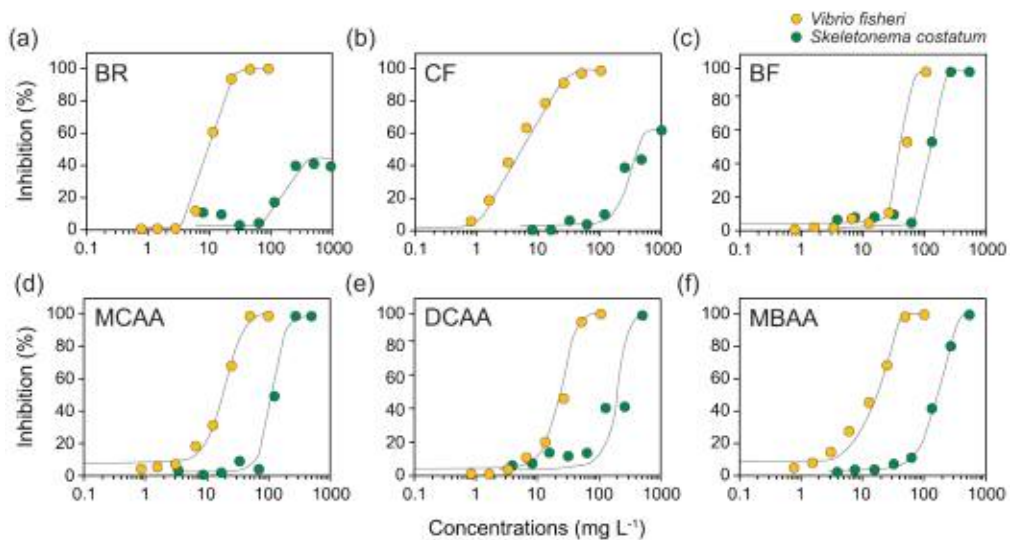
* **총잔류산화물(TRO: Total Residual Oxidants):** 수중생물 사멸을 위해 사용되는 활성물질(active substances)의 산화물을 염소에 반응하는 산화력으로 통칭

그림 설명



○ 선박평형수 내 생물사멸 처리 후, 총잔류산화물에 대한 배출허용기준인 0.1 mg/L 이하에서도 발광박테리아에 대한 독성영향이 나타났음

* 개별 소독부산물 6종(a-f)의 독성검정 결과 역시, 발광박테리아가 기존의 미세조류에 비해 독성민감도가 보다 큰 것으로 확인됨(아래 그림)



○ 선박평형수배출수의 해양환경 및 생태계 위해성 평가를 위한 잔류독성 검정에 있어, 발광박테리아 검정법이 보다 우수한 차세대 독성검정 기술임이 입증됨

연구진 이력사항

<교신저자>

1. 인적사항

- 성명: 김종성
- 소속: 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 교수
- 전화: 02-880-6750
- E-mail: jskocean@snu.ac.kr



2. 학력

- 1994-1998: 서울대학교 자연과학대학 자연과학부(해양학) 이학사
- 1998-2000: 서울대학교 자연과학대학 해양학과 이학석사
- 2000-2006: 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 이학박사

3. 경력사항

- 2007-2009: 캐나다 서스캐처원대학 선임연구원
- 2009-2012: 고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부 조교수
- 2012-2014: 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 조교수
- 2014-현재: 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 부교수

4. 기타정보

- 해양생태 및 환경 분야 SCI 논문 >150편 게재, 인용수 >5,000회(2019.01)
- 서울대학교 자연과학대학 연구상(2014)
- 중국과학원 국제공동연구상(2013)