

선박평형수 처리에 있어 활성물질 농도와 식물플랑크톤 개체수가 소독부산물생성에 미치는 영향

장풍국** · 현봉길** · 차형곤** · 신경순**

*, ** 한국해양과학기술원 선박평형수연구센터

Effect of an active substance and phytoplankton abundances on disinfection by-product formation in ship ballast water treatment

Pung-Guk Jang** · Bong-Gil Hyun** · Hyun-Gun Cha · Kyoung-Soon Shin**

*, ** Korea Institute of Ocean Science & Technology, Ballast Water Research Center

핵심용어 : 선박평형수, 식물플랑크톤, 활성물질, 소독부산물

Key Words : Ballast Water, phytoplankton, active substance, disinfection by-product

1. 개요 및 연구목적

선박평형수는 공선선박의 안전한 운전을 위해 신는 물로서 선박의 평형과 안정을 유지하고, 특정항구에서 화물을 선적하기 위하여 배출된다. 전 세계적으로 연간 50-100억 톤 규모로 선박 평형수가 이송되고, 이와 함께 7000 여종의 수권 생물이 다른 지역으로 옮겨져 그 지역의 고유생태계를 교란시킬 수 있다[1]. 따라서 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)는 선박평형수관리 국제협약(International Convention for Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediment, BWMS Convention)을 2004년에 제정하여, 선박평형수를 처리한 후 배출하도록 하였다. 2016년 9월에 30개국이상, 선복량 52 %가 되어 2017년 9월8일에 협약이 발효된다. 현재 IMO에 형식 승인을 받은 선박평형수 처리장치(BWMS) 장비 중 약 45%의 제품이 전기분해 장치이다. 전기분해장치에서 생성되는 활성물질은 수중의 유기물 분해, 암모니아성 질소 제거와 살균 및 생물을 제거하는 효과를 가지고 있어 상수도에서도 이를 이용한 담수 살균용으로 이용한다. 하지만 전기분해를 이용하는 BWMS 장치에 의해 발생하는 활성물질이 수체에 존재하는 유기물과 결합하여 소독부산물을 생성할 수 있으며, 잔류하는 활성물질에 의해서도 소독부산물이 생성될 수 있다. 이러한 소독부산물에 대해 IMO G9에서는 23종, USCG에서는 47종의 분석을 권유하고 있지만, Gonsior et al.(2015)는 전기분해 방식의 BWMS의 처리수를 Ultra-high- resolution mass로 분석하면 1% 이상의 기여도를 나타내는 소독부산물이 462종 검출된다고 보고하였다. 이러한 소독부산물은 처리장치에서 발생시키

는 활성물질의 농도와 처리하는 유기물의 양에 따라 형성되는 농도가 달라질 수 있다. 결과적으로 협약이 발효되어 활성물질을 이용하는 처리장치에서 형성되는 소독부산물의 농도는 처리장치의 활성물질의 농도와 해양환경에 따라 달라질 수 있다. 현재 형식승인을 받은 활성물질을 이용하는 처리시스템에서의 TRO 농도는 2.5-15 mg/L as Cl₂ 범위이며, 주요 국제항은 영양염 유입이 많은 곳에 유치하고 있어 봄철부터 가을철까지 자주 식물플랑크톤의 대발생이 일어난다. 본 연구는 이에 대한 소독부산물의 형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 실질적으로 가을철 대발생이 일어난 해수에서 생물의 농도와 TRO 농도를 조절하여 처리수 내 소독부산물 농도의 변화를 보고자 하였다.

2. 연구방법

본 시험은 장목만에서 가을철 식물플랑크톤의 대발생이 일어났을 때 장목만 해수를 채취하여 시험을 실시하였다. 시험수 내 식물플랑크톤의 총 개체수는 3,010 cells/ml 이었으며, 적조를 일으킨 식물플랑크톤은 외편모류인 *Akashiwo sanguinea* 이었고, ml 당 2,160 cells이 검출되었다. 본 시험은 6개의 시험구로 시험을 수행하였는데, Test 1은 원수+TRO 15ppm, Test 2는 원수+TRO 10ppm, Test 3는 원수+TRO 5ppm이이었으며, 다른 시험구(4-6)는 원수를 5배 희석하여 총 개체수를 510 cells/ml로 감소시킨 후 TRO 농도를 달리하였다. TRO(total residual oxidant) 농도는 일정양의 NADCC을 시험수에 주입하여 맞추었다. TRO 측정에는 DPD(N,N'-diethyl-p- phenylenediamine)방법을 사용하는 Poket Colorimeter™II로 측정하였다(Hach. co). 용존성유기탄소(DOC)는 TOC analyzer(TOC-V_{CPH}, Shimadzu co.)로 분석하였

† Corresponding Author : pgjang@kiost.ac.kr, 055-639-8514

다. 소독부산물은 halogenated volatile organic compounds(THMs), halogenated acetonitriles(HANs), halogenated acetic acids(HAAs)를 측정하였으며, 모든 화학분석은 국제표준시험방법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

각 시험구의 용존성유기탄소(DOC) 농도를 보면, 처리 1일 후 TRO 농도가 감소하면 DOC 농도도 감소하는 경향을 보였으며, 식물플랑크톤의 농도가 높은 곳에서 DOC 농도도 높은 값을 나타내었다(그림 1). 이는 형성된 활성물질로 사멸된 식물플랑크톤에 의해서 DOC 농도가 증가함을 보여준다. 분석한 34 항목의 소독부산물 중에서 17 항목이 검출되었다(그림 2). 처리 1일 후 가장 높은 소독부산물은 Tribromomethane이었으며, 시험수 1(원수 TRO 15ppm)에서 가장 높은 농도(374 µg/L)로 검출되었으며, 그 다음은 시험수 2(원수, TRO 10ppm)가 높은 값을 보였다. 이러한 경향은 DOC 농도와 유사한 결과이다. 원수에 대한 TRO 농도의 차이에 대한 시험결과(시험수 1-3) 및 희석수에 대한 TRO 농도 차이에 대한 시험결과(시험수 4-6)를 보면, TRO 농도가 감소할수록 소독부산물의 농도도 감소하는 경향을 보였다. 하지만, TRO 농도 5ppm에서는 희석수의 소독부산물 농도가 높게 나타나며, 이는 DOC 농도와 유사한 경향이다.

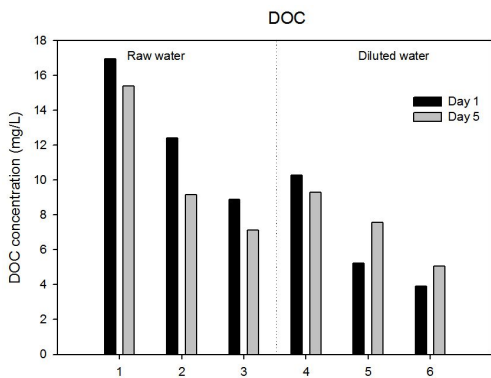


그림1. 각 시험수에 대한 처리 1일과 5일 후 용존성유기탄소의 농도

처리 5일 후 처리 후 시험수에서도 Tribromomethane이 가장 높은 농도를 나타내었으며, 시험수 1에서 가장 높은 농도(448 µg/L)로 검출되어 처리 1일 후 시험수와 유사한 경향을 보였다(그림 3). 하지만 그 다음으로 높은 농도를 나타낸 시험수는 처리 1일 후와 달리 시험수 4 (희석수, TRO 15 ppm)이었다. 이는 형성되는 TRO 농도가 높은 경우에 잔류하는 TRO 농도도 높기 때문에 처리 5일 후에 높은 농도로 형성되어진 것으로 판단된다. 시험수 5(희석수, TRO 10ppm)에서 Tribromomethane을 제외한 다른 소독부산물의 농도가 높게 나타나는 경향을 보였다. 은 다른 시험수보다 높은 값을 보여주었다.

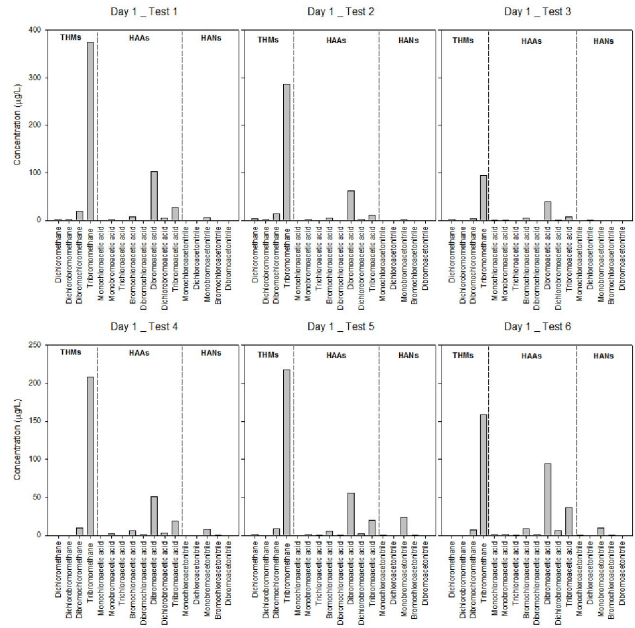


그림 2. 각각의 시험수에 대한 처리 1일 후 소독부산물 농도 비교

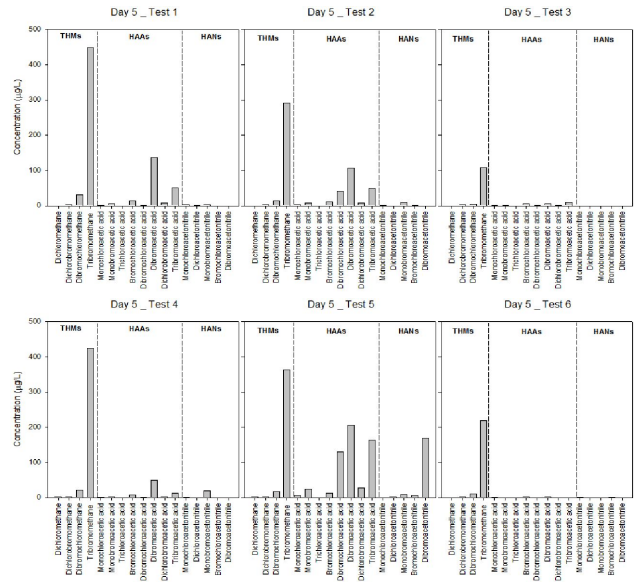


그림 3. 각각의 시험수에 대한 처리 5일 후 소독부산물 농도 비교

4. 결론

본 연구 결과는 선박평형수처리시스템 중에서 높은 활성물질 농도를 사용하는 장비를 이용할 경우 높은 소독부산물이 형성되며, 또한 탱크 내의 보존 기간이 길어지면 잔존하는 활성물질에 의해서도 소독부산물이 높게 형성됨을 보여준다. 또한 생물의 개체수가 높을수록 더 높은 농도의 소독부산물이 형성되어 주로 선박평형수를 채우는 항만에서 식물플랑크톤의 대발생이 일어난 경우 높은 소독부산물이 형성되어 선박평형수를 배출하는 항만에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.