

ORIGINAL ARTICLE

## 물리·화학적 공정을 이용한 해수 동물성 플랑크톤 *Artemia* sp.의 소독

정창·김동석·박영식<sup>1)\*</sup>

대구가톨릭대학교 환경과학과, <sup>1)</sup>대구대학교 기초교육대학

### Inactivation of Seawater Zooplankton *Artemia* sp. using Physical and Chemical Processes

Cheng Zheng, Dong-Seog Kim, Young-Seek Park<sup>1)\*</sup>

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

<sup>1)</sup>DU University College, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea

#### Abstract

In this study, we discussed about the application of the single physical and chemical treatment processes and the physical-chemical complex treatment processes on the inactivation of *Artemia* sp. in order to satisfy the USCG Phase II (United States Coast Guard). The results showed that initial disinfection rate of ultrasonic process in single batch process is higher than that of electrolysis. However, the inactivation rate showed slower than electrolysis. The inactivation rate of *Artemia* sp. on the single continuous treatment process ranked in the following order: homogenizer > electrolysis > ultrasonic process. Inactivation rate of *Artemia* sp. in continuous homogenizer-electrolysis complex process was reached at 100% immediately. A synergistic effect of ultrasonic-electrolytic complex process was found to be a small. The order of processes in a complex process did not affect the disinfection performance.

**Key words** : *Artemia* sp., Electrolysis, Homogenizer treatment, Disinfection, Ultrasonic treatment, Zooplankton

#### 1. 서론

선박에서 평형수(ballast water)란, 선박 운항 때 복원성 또는 균형 유지를 위해 배 밑바닥이나 좌우에 설치된 평형수 탱크에 채워 넣는 물을 말한다. 선박에 의한 무역 활동이 증가함에 따라 선박은 전 세계 물동량의 80% 이상을 수송하면서, 매년 수십억 톤 이상의 평형수를 이송시키고 있으며 7,000종 이상의 부착성 해양생물을 평형수를 통해 다른 항구로 운반한다. 평형수에 서식하는 외

래 해양생물이나 병원균이 전 세계적으로 이동함에 따라 해양 생태계의 교란 및 파괴가 심각한 문제로 대두되고 있으며, 외래 해양생물로 인한 피해와 방제에 매년 수십억 달러의 비용을 지출하는 등 경제 및 문화적 피해를 일으키고 있는 실정이다(Globallast, 2003; Kim과 Sung, 2012).

국제사회는 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)를 중심으로 선박평형수 이동에 의해 발생할 수 있는 생태적·경제적 피해를 막고, 생물다양

Received 24 July, 2015; Revised 26 August, 2015;

Accepted 28 August, 2015

\*Corresponding author : Young-Seek Park, DU University College, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea  
Phone: +82-53-850-4571  
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

성을 보존하기 위한 국제협약 채택을 논의하였고, 2004년 2월 ‘선박 평형수와 침전물 관리를 위한 국제협약’을 채택하였다. 이 협약에 따라, 생물의 크기 기준으로 50 µm 이상의 생물의 경우 1 m<sup>3</sup>당 10 개체 미만이 생존하도록 처리해야 하며, 10 ~ 50 µm 생물의 경우, 1 mL당 10 개체 미만이 남아 있도록 처리해야 한다(Han, 2009).

해양오염방지협약에 의한 2004년 협약을 만족시키기 위하여, 선박평형수 내에 존재하는 미생물을 처리하기 위하여 개발된 기술은 크게 물리적 처리기술과 화학적 처리기술로 분류할 수 있다. 물리적 처리기술은 여과 또는 막 분리, 원심분리, 자외선 처리, 가열, 초음파 처리, 캐비테이션(cavitation), 탈 산소 등의 기술이 있다. 화학적 처리기술은 염소, 오존 및 과산화수소 처리, 살균제, 전해 살균처리 등이 있다(Han, 2009; Li, 2002).

그러나 2012년 3월 미국에서는 선박으로부터 배출되는 선박평형수 내에 포함된 생물기준 관련법 ‘Standard for Living Organisms in Ship’s Ballast Water Discharged in U.S. Waters; Final Rule’을 공표했으며 미국에서 선박평형수를 배출하는 모든 선박들은 2013년 12월 1일부터 이 법의 적용을 받게 된다. 현재 공표된 법률에 기재된 미국에서 배출수 내 생물 기준(Phase 1)은 IMO의 기준(D-2)과 동일하지만, Fig. 1과 같이 향후 더욱 강화된 형식승인기준(Phase II, 1,000배 강화)을 제안하여 2016년에 수정 및 보완 후 확정하기로 공표하였다(Kim과 Sung, 2012).

IMO D-2 기준이 적용된 2004년도 이후 2005년도의

보고서에 의하면 선박평형수 처리를 위한 적용기술의 중심이 자외선 처리법 등에서 화학적인 처리방법으로 옮겨가고 있는 것으로 파악되고 있다(Yoon 등, 2005). 또한, 현재 개발된 선박평형수 처리기술들은 IMO D-2 기준을 대상으로 개발된 처리 기술들로 USCG Phase II에서 요구할 1,000배의 생물 사멸효율을 만족하는데에는 한계성을 가지고 있다(Kim, 2012). 따라서 기술의 변화와 처리 기준이 상향되는 USCG Phase II를 만족하기 위해서는 기존의 단일 기술을 대체할 새로운 기술이나 기존 기술을 결합한 기술이 필요하다.

본 연구에서는 향후 생물 사멸효율의 기준이 증가되는 크기가 50 µm 이상인 동물성 플랑크톤 처리능의 향상을 위하여 우리나라에서 가장 많이 적용되고 있는 전기분해 기술을 바탕으로(Nor, 2010), 다른 물리·화학적 기술의 기본 성능을 평가하고 이들 공정을 결합한 복합 공정에서의 해수 동물성 플랑크톤인 *Artemia* sp.의 소독에 미치는 영향을 관찰하여 새로운 복합 공정의 적용가능성을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료 및 실험방법

#### 2.1.1. 단일 소독 공정

단일 공정에 의한 소독 실험은 회분식과 연속식 실험으로 나누어 실험하였다. 단일 회분식 장치는 반응기(1 L 비커)와 교반 장치가 공통으로 구성되어 있다(Fig. 2).

IMO Standard D-2		USD Standard (USCG Phase II)
50µm 이상 • 1t 당 10 viable organisms	1,000 배 >	50µm 이상 • 1t 당 0.01 living organisms
10µm 이상 50µm 미만 • 1ml 당 10 viable organisms	1,000 배 >	10µm 이상 50µm 미만 • 1ml 당 0.01 viable organisms
• Limited number of indicator microbes – 1 CFU <i>Vibrio cholera</i> per 100ml – 250 CFU <i>eschericia coli</i> per 100ml – 100 CFU <i>enterococci</i> per 100ml	2~3 배 >	• Limited number of indicator microbes – 1 CFU <i>Vibrio cholera</i> per 100ml – 126 CFU <i>eschericia coli</i> per 100ml – 33 CFU <i>enterococci</i> per 100ml

Fig. 1. Comparison IMO D-2 standard and USCG Phase II.

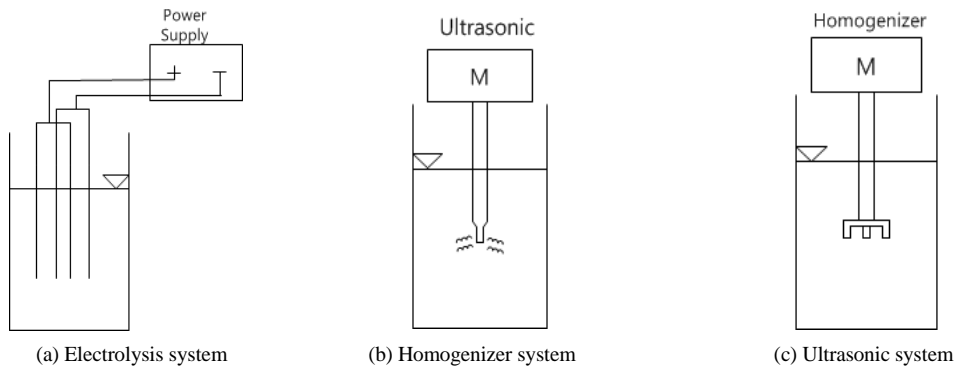


Fig. 2. Schematic diagram of single batch inactivation process.

1) 회분식 공정

전기분해 공정은 전극과 전원 공급기로 구성되어 있으며, 회분식 장치는 2 L 비커에 마그네틱 바를 투입하고 교반기로 충분히 교반하면서 실험하였다. 회분식 실험에 사용한 전극은 2 세트(4 장)를 사용하였다. 실험실에서 제조한 Ru-Ti-Ir 전극을 이용하여 전기분해 실험을 실시하였으며, 사용된 전극의 크기는 5 × 5 cm (면적 : 25 cm<sup>2</sup>)이었다. 모든 전극 분해 반응 시 전극 간격은 2 mm 로 고정하였다.

초음파 공정은 주파수가 20 kHz인 초음파 장치(Sonics Materials, INS VC 505, USA)를 이용하여 500 W의 출력을 시간 단위로 조절하여 실험하였다. 초음파 장치의 초음파 진동자를 시험수 표면 2 cm 아래 지점에 넣어 실험하였다.

회분식 실험은 로타 직경이 2 cm인 균질기(Homogenizer SR30, M TOPS)를 반응기에 투입하였고 27,500 rpm의 속도에서 균질 시간을 조절하여 실험하였다.

2) 연속식 공정

단일 연속식 소독 공정의 개요도를 Fig. 3에 나타내었다. 단일 연속식 소독 공정은 시험수 저장 장치, 반응기, 물 공급용 펌프 등이 공통으로 구성되어 있다. 시험수 저장 장치는 아크릴로 제작하였으며, 용량은 38 L이었다. 균질기와 초음파 반응기는 내경이 4.2 cm이고 높이가 15 cm인 아크릴로 제작하였으며, 반응 부피는 220 cm<sup>3</sup> 이었다. 전기분해 반응기의 유입구와 유출구의 직경은 1.4 cm이고, 반응기의 직경은 7.38 cm, 길이는 6 cm이고, 반응 부피는 220 cm<sup>3</sup>이었다. 연속식 전기분해 실험에서는 전극을 4 세트(8 장)를 사용하였다. 연속식 초음파 공정은 초음파 진동자를 반응기의 시험수 유입구까지 넣은 후 고정하여 실험하였다. 연속식 균질기 공정은 균질기 로터를 물리적 반응기의 시험수 유입구까지 넣은 후 27,500 rpm의 속도에서 균질 시간을 조절하여 실험하였다.

실제 선박의 경우 선박내의 공간이 좁아 선박평형수

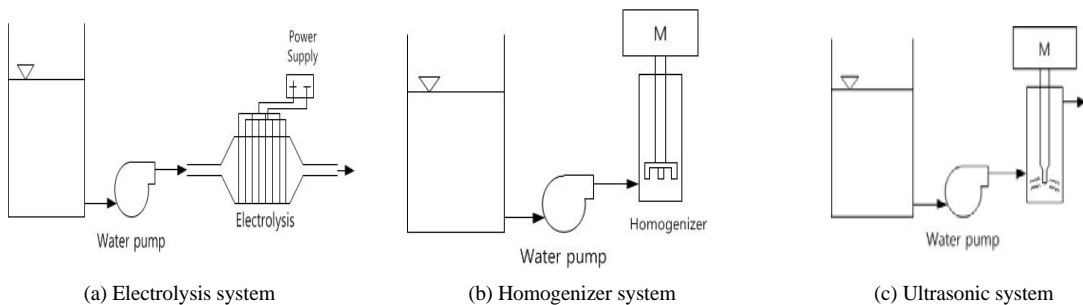


Fig. 3. Schematic diagram of single continuous disinfection process.

처리장치를 설치할 수 있는 공간이 협소한 실정이다. 또한 빠른 시간 내에 화물을 선적하기 위해서 선박평형수를 시간당 몇 백톤~천 톤 이상의 빠른 속도로 유입하거나 배출해 내야 한다. 실제 처리장치의 경우 체류시간이 초 단위 정도로 매우 짧은 것으로 알려져 있다(Kim 등, 2009). 따라서 연속 실험에서는 반응기의 체류시간을 초 단위에서 실험하였다.

### 2.1.2. 복합 소독 공정

복합 소독 공정의 개발을 위해 물리적·화학적 처리 공정과 화학적·물리적 처리 공정의 성능을 비교하였다. 복합 소독 공정의 개요도를 Fig. 4에 나타내었으며, 시험수 저장 장치, 소독 반응기, 물 공급용 펌프 등이 공통으로 구성되어 있으며, 연속식으로 운전하였다.

### 2.2. *Artemia* sp. 배양 및 측정

본 실험에 사용한 모든 용액은 수돗물을 사용하여 제조하였으며, 해수 농도로 맞추기 위하여 NaCl을 사용하였고, 실험에 사용 NaCl은 식용 소금(NaCl 함량: 88%)을 이용하였다. 동물성 플랑크톤은 *Artemia* sp.알(New Generation, GSL)을 사용하였다. 이크릴로 만든 시험수 저장탱크(38 L)에 7.5 g의 *Artemia* sp.알과 해수 농도와

비슷하게 준비된 22 L의 시험수(NaCl : 32 g/L)를 같이 넣은 다음 48 시간 동안 배양하였다. LED 조명등(20 W)을 이용하여 조명하고 공기 펌프를 이용하여 공기를 공급하여 DO는 4 mg/L로 유지하였으며, 히터(Periha HE-50W, 창미전기)를 사용하여 수온을 25±1 °C로 유지하였다. 이들 후 미부화된 알들을 자석으로 제거한 다음 물탱크 속에 있는 부화된 *Artemia* sp.를 충분히 혼합한 후 1 mL의 시험수를 채취하고 *Artemia* sp. 개체수를 측정하였다.

전기분해에 의한 *Artemia* sp. 계수 측정 시 생사판별 기준으로 부속지(appendage)의 운동성을 근거로 하였다. 눈으로 관찰시 *Artemia* sp.의 움직임이 거의 없는 경우 몸체가 온전한 형태인 플랑크톤에 한해서 5초 이상 움직임이 없을 때 추가적으로 뾰족한 침으로 자극하여 반응이 없으면 죽은 것으로 판단하였다(Kang 등, 2007). 시험수 내의 살아 있는 *Artemia* sp. 만을 모두 계수하여 전체로 간주한 후, 이를 기준으로 시험수에서의 사망률을 구하였다. 초음파와 균질기 처리에서는 일부 개체는 깨어지고 일부 개체는 형태의 변화가 없기 때문에 살아 있는 개체와 형태가 완전한 개체의 수를 측정하여 계산하였다.

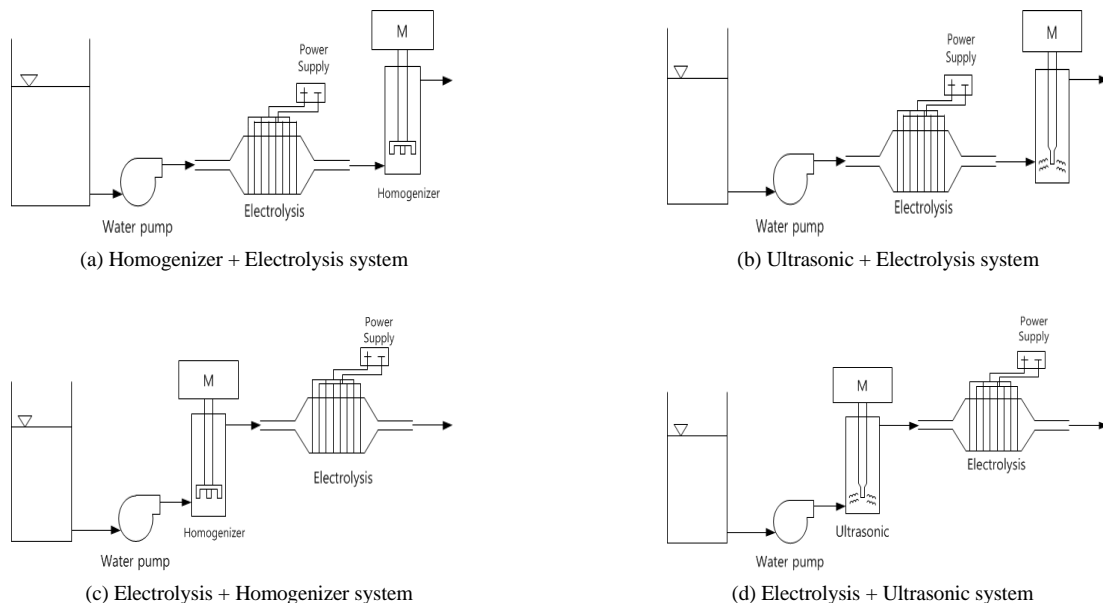


Fig. 4. Schematic diagram of complex continuous disinfection process.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 단일 소독 공정에 의한 *Artemia* sp. 소독

##### 3.1.1. 단일 회분식 공정

회분식 공정에서 단일 화학 처리공정인 전기분해 처리가 *Artemia* sp. 소독에 미치는 영향을 알아보기 위하여 전류 2.65 A, 전압 2.6 V에서, 체류시간 5~180초의 조건으로 전기분해를 실시하여 Fig. 5(a)에 나타내었다. 처리를 하지 않는 대조군(control)의 경우 5일에 초기 38 마리/mL에서 23 마리/mL로 감소되어 생존율은 60.5%로 나타났다. 전기분해를 5초만 실시하여도 전기분해 직후 30 마리/mL로 감소되었으며, 1일 방치 후 23.7 마리/mL로 감소되어 37.6%가 사멸되었다. 전기분해에 의하여 직선적으로 개체수가 감소되었으며, 5일 만에 생존 개체수는 3.5 마리/mL로 감소되었다. 전기분해 시간이 증가할수록 전기분해 직후 사멸되는 *Artemia* sp. 개체수가 증가하였으며 180초의 경우는 처리 직후 14 마리/mL로 감소되어 63.1%가 사멸되었다. 전기분해 처리시 5일 후 사멸효율이 100%에 이르는 체류시간은 실험 범위 내에서는 존재하지 않았다.

물리적 처리공정인 초음파 공정에서 체류시간 5~180초에서 초음파 처리 직후의 잔류 *Artemia* sp. 개체수는 전기분해 공정보다 적었으며, 5~45초의 체류시간에서는 초음파 처리가 끝난 후의 *Artemia* sp. 개체수 감소가 서서히 진행되는 것으로 나타났다. 체류시간 60초에서는 1일 방치 후 6.2 마리/mL만 존재하였으며, 5일에는 모든 개체수가 사멸되었다. 180초에서도 같은 경향을 나타내었다. 전기분해 공정의 주요 미생물 사멸 기작은 주로 발생하는 산화제에 의해 소독이 이루어지며(Park과 Kim, 2007), 산화제의 잔류성이 있기 때문에 초기 사멸효율은 낮아도 잔류 산화제에 의한 소독이 지속적으로 이루어지기 때문에 초음파 공정보다 반응 이후의 반응속도의 기울기가 더 높은 것으로 판단되었다. 반면 초음파 공정은 초음파가 조사되는 동안만 반응이 이루어지기 때문에 전기분해보다 초기 사멸효율은 높으나 이후의 사멸속도는 전기분해보다 느린 것으로 판단되었다.

균질기에 의한 *Artemia* sp. 개체수 변화를 Fig. 5(c)에 나타내었다. 균질기를 5초만 가동하여도 실험 직후 6.7 마리/mL로 감소된 후 2일 만에 살아있는 개체수가 0인 것으로 나타났다. 20 초 이상의 체류시간에서는 균

질기 처리 직후 모든 *Artemia* sp.가 사멸된 것으로 나타났다.

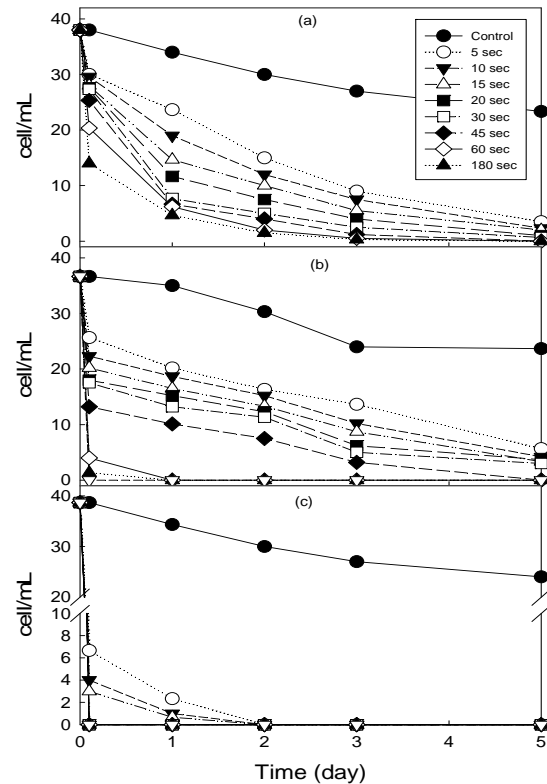


Fig. 5. Effect of HRT on the disinfection of *Artemia* sp. in single batch process with (a) electrolysis, (b) ultra-sonic, (c) homogenizer.

##### 3.1.2. 단일 연속식 공정

단일 연속식 공정에서 균질기 처리가 *Artemia* sp. 소독에 미치는 영향을 알아보기 위하여 회전속도 27,500 rpm에서 체류시간 1~5초의 조건으로 실험을 실시하여 결과를 Fig. 5(a)에 나타내었다. 균질기 처리를 하지 않은 대조군(control)은 55.3 마리/mL에서 5일 후 26 마리/mL가 살아 있는 것으로 나타나 자연 사멸효율은 52.9%로 나타났다. 균질기를 1초 동안 운전한 경우 실험 직후 5 마리/mL로 감소된 후 1일 후 살아 있는 개체수가 없는 것으로 나타났다. 2~5초의 체류시간에서도 실험 직후 개체수가 약 1~2개체수로 된 후 1일 지나서 100% 사멸되는 것으로 나타났다.

초음파 처리가 *Artemia* sp. 개체수 변화에 미치는 영

향을 알아보기 위하여 500 W의 초음파 출력으로 체류시간 1, 2, 3, 4, 5 초의 조건으로 실험을 실시하여 Fig. 6(b)에 나타내었다. 초음파 처리를 하지 않은 대조군(control)은 59 마리/mL에서 5일 후 26 마리/mL로 감소되는 것으로 나타났다. 체류시간 1 초의 경우 *Artemia* sp.는 실험 직후 45 마리/mL로 감소하였고 17시간 후 19.6 마리/mL로 빠르게 감소한 후 5 일 동안 서서히 감소하여 최종적으로 2.7 마리/mL로 감소된 것으로 나타났다. 2~5 초의 체류시간에서도 처음 17시간까지 빠르게 감소된 후 서서히 감소된 것으로 나타났다. 초음파 처리시 체류시간 2~5초의 체류시간에서는 4일 후 *Artemia* sp.가 100% 사멸되는 것으로 나타났다.

Fig. 6(c)에 단일 화학 처리공정인 전기분해(전류 2.65 A, 전압 2.6 V)를 이용하여 체류시간에 따른 *Artemia* sp. 개체수의 변화를 나타내었다. 대조군(control)은 55 마리/mL에서 5일 동안 26 마리/mL까지 감소된 것으로 나타났다. 체류시간 5초인 경우 2일 지난 후 *Artemia* sp. 사멸효율이 100%로 나타났고, 다른 체류시간의 경우 완전 사멸에 소모된 시간은 체류시간 1초와 2초는 5일, 3초는 108시간, 4초는 65시간으로 나타났다.

세 종류의 연속 실험에서 물리·화학적 단일 공정의 *Artemia* sp. 사멸효율을 비교하면 균질기는 모든 체류시간에서 1일 후 100% 사멸되었고 초음파는 체류시간 2~5초에서 4일 후 100% 사멸되었다. 전기분해는 1초의 체류시간에서도 5일 후 100% 사멸에 이르렀다. 초기 사멸속도는 균질기 > 초음파 > 전기분해로 나타났고, 완전 사멸속도는 균질기 > 전기분해 > 초음파의 순서로 나타났다. 에너지 소비별 공정의 성능을 평가하기 위하여 사용전력을 비교하였다. 전기분해 공정의 평균 전력은 7 W, 균질기는 평균 384 W, 초음파 공정은 194 W로 나타나 전기분해 공정의 전력이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 바닷물이라는 전해질 농도가 매우 높은 특수 상황에서 전기분해 공정의 전력이 매우 낮게 나타난 것으로 판단되었다. 전력을 고려한 경우 사멸은 전기분해 >> 균질기 ≃ 초음파의 순서로 나타났다. 공정의 최종 성능은 적어도 pilot 공정에서 시설비, 전력비 성능 등을 종합적으로 고려하여야 할 것 판단되었다.

세 종류의 물리, 화학적 공정을 비교한 결과 박테리아에 비해 크기가 큰 동물성 플랑크톤인 *Artemia* sp.를 물리적으로 사멸시키는 균질기의 사멸효율이 가장 빠르고

우수한 것으로 나타났다. 그러나 Zheng(2015)은 단일 처리공정에 *Artemia* sp. 사멸효율은 균질기 > 전기분해 > 초음파 공정으로 나타났지만, *E. coli* 사멸효율은 전기분해 > 초음파 > 균질기 처리공정으로 나타났으며, 균질기는 크기가 작은 *E. coli*를 소독하기 어렵다고 보고하였다.

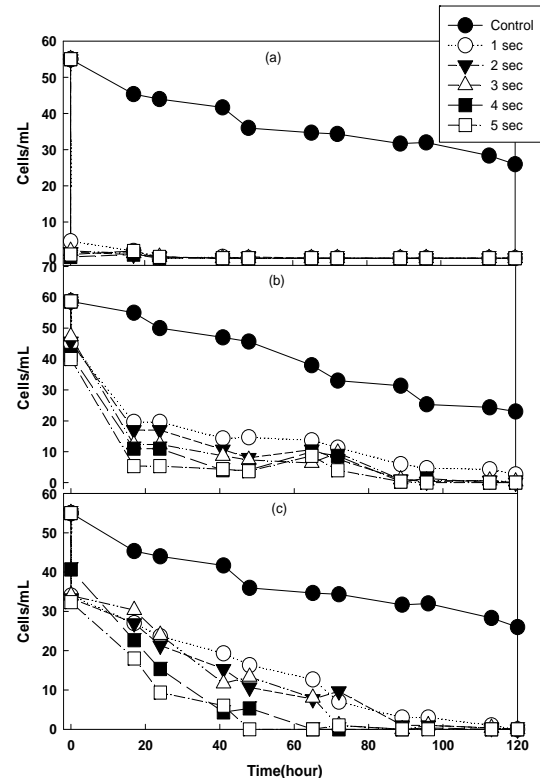


Fig. 6. Effect of HRT on the disinfection of *Artemia* sp. in single continuous process with (a) homogenizer, (b) ultrasonic, (c) electrolysis.

### 3.2. 복합 연속식 공정

Holm 등(2008)은 선박평형수 처리를 위해 초음파 공정을 적용한 결과 크기가 100  $\mu\text{m}$  이상인 동물성 플랑크톤(zooplankton)은 10초 이하의 처리시간에서 90% 이상의 사멸효율을 나타내었지만, 작은 식물성 플랑크톤(phytoplankton)이나 박테리아는 90%의 사멸효율을 얻기 위해서는 1~20분의 체류시간이 필요하다고 보고하였다. Zheng(2015)은 균질기를 이용한 *Artemia* sp.와 *E. coli* 소독에서 *Artemia* sp. 소독 효율은 높지만 박테리아인 *E. coli* 경우의 소독에 소요되는 시간이 길다고

보고하였다. Seo 등(2006)은 해수 중의 *E. coli* 와 algae 인 *Chlamydomonas* sp.를 전기분해를 이용하여 처리할 때 algae에 비해 *E. coli*가 더 짧은 시간 내에 살균되었으며 *E. coli*가 전해반응에 더 민감하다고 보고하였다. 따라서 향후의 처리기준에 맞추어 동물성 플랑크톤과 박테리아의 소독 성능을 높이기 위해서는 각 단일 공정의 장점을 살리고 단점을 극복할 수 있는 공정의 결합이 필요한 것으로 판단되었다.

복합 공정을 두 종류로 나누고, 주요 공정을 전기분해 공정으로 두었다. 균질기, 초음파 공정을 전처리 공정으로 둔 균질기+전기분해, 초음파+전기분해 공정과 전기분해 공정을 전처리 공정으로 둔 전기분해+초음파, 전기분해+초음파 공정으로 나누어 실험하였다.

균질기-전기분해 공정을 결합한 복합 처리공정이 *Artemia* sp. 소독에 미치는 영향을 조사하기 위하여 균질기와 전기분해 공정의 조건을 단일 연속식 공정과 동일하게 유지한 상태에서 총 체류시간 2, 4, 6, 8, 10 초의 조건(각 단일 공정의 체류시간은 1, 2, 3, 4, 5 초)으로 실험을 실시하여 Fig. 7(a)에 나타내었다. 처리를 하지 않는 대조군(control)은 55 마리/mL에서 5일이 지난 후 28 마리/mL가 잔류된 것으로 나타났다. 모든 체류시간에서 실험 직후 사멸효율이 거의 100% 도달된 것으로 나타났다. 초기 사멸속도와 사멸효율이 높은 균질기를 앞 단에 구성한 균질기+전기분해 공정은 효율적으로 *Artemia* sp.를 소독 시키는 것으로 나타났다. 균질기 단일 공정만으로도 *Artemia* sp.의 거의 완전 소독이 가능하지만 전기분해 공정을 추가로 구성한 것은 실제 해수의 경우 따개비, 담치 등의 껍질이 있는 동물성 플랑크톤이 존재하고, 균질기의 박테리아 제거능이 적기 때문에 실제 해수의 상황을 고려하였다(Park, 2015). 복합 공정에서의 최종적인 성능 평가를 위해서 필요한 박테리아 소독에 관한 실험은 향후 진행할 예정이다.

체류시간 2~10초의 조건에서 초음파+전기분해 공정의 *Artemia* sp. 소독 결과를 Fig. 6(b)에 나타내었다. 대조군은 58.67 마리/mL에서 5일 만에 23 마리/mL로 감소되는 것으로 나타났다. 그림 Fig. 7(b)에서 보듯이 체류시간 2초와 4초는 실험 직후 약 50%가 사멸된 것으로 나타났고, 8초와 10초의 경우 약 75%가 사멸된 것으로 나타났다. *Artemia* sp. 완전 사멸에 필요한 시간은 체류시간 2초의 경우 5일이 필요하고 다른 체류시간 경우 4

일이 필요한 것으로 나타났다. 초음파-전기분해 복합 처리공정은 초음파와 전기분해 단일 처리공정의 *Artemia* sp. 소독을 비교할 때 복합 공정은 실험 직후의 사멸효율이 높지만, 초기 사멸 후의 사멸속도는 낮은 것으로 나타났다. 복합 공정과 단일 공정에서 완전 소독에 소요되는 시간(100% 사멸)을 비교할 때 두 공정의 결합은 시너지 효과가 적은 것으로 판단되었다.

전기분해 공정을 전처리로 균질기 및 초음파 공정을 후처리로 적용한 공정의 경우, 전기분해 공정이 후처리인 경우와 *Artemia* sp. 소독 능력이 거의 유사하게 나타나 자료로 만들지 않았다. 이는 동물성 플랑크톤의 소독에는 공정의 배열이 큰 영향을 미치지 않는다고 판단되었다. Zheng(2015)도 같은 조건에서 *E. coli*의 소독에 대해 조사한 결과 *E. coli* 소독도 공정의 배열에 영향을 받지 않는다고 보고한 결과와 소독 대상 미생물은 다르지만 같은 결과를 나타내었다.

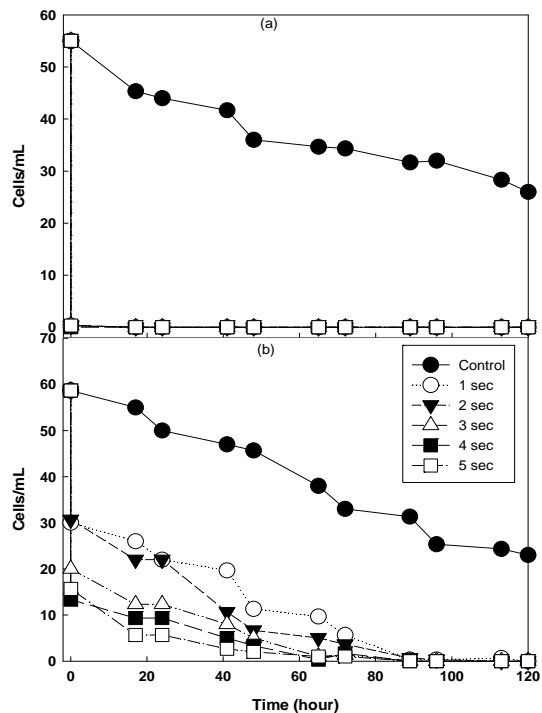


Fig. 7. Effect of HRT on the disinfection of *Artemia* sp. in complex continuous process with (a) homogenizer-electrolysis, (b) ultrasonic-electrolysis.

#### 4. 결론

본 연구는 선박 평형수 내에 존재하는 동물성 플랑크톤을 효과적으로 처리하기 위하여 전기분해, 초음파, 균질기를 이용한 단일 공정과 이들 공정을 결합한 복합 공정이 *Artemia* sp. 소독에 미치는 영향을 조사하였다.

1) 회분식 단일 공정에서 전기분해 처리시 180초의 체류시간에서 5 일 후 사멸효율이 100%에 이르지 않았다. 초음파 공정은 전기분해보다 초기 사멸효율은 높으나 이후의 사멸 속도는 전기분해보다 느려졌다. 균질기는 20 초 이상의 체류시간에서는 균질기 처리 직후 모든 *Artemia* sp.가 사멸되었다.

2) 연속식 단일 공정에서 균질기는 모든 체류시간에서 실험 1일 후 100% 사멸되었고 초음파는 체류시간 2~5 초에서 4 일 후 100% 사멸되었다. 전기분해는 1 초의 체류시간에서 5 일 후 100% 사멸에 이르렀다. 초기 사멸속도는 균질기 > 초음파 > 전기분해로 나타났고 완전 사멸속도는 균질기 > 전기분해 > 초음파의 순서로 나타났다.

3) 연속식 복합 처리공정에 균질기+전기분해 공정은 모든 체류시간에서 실험 직후 사멸 효율이 100% 도달되었으며, 초음파-전기분해 복합 처리공정의 경우 공정의 결합으로 인한 시너지 효과가 적었다. 복합공정에서 공정의 순서는 소독 성능에 영향을 주지 않았다.

#### 감사의 글

이 논문은 2014년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구이며(USCG Phase II 기준 부합 선박평형수설비 개발 및 시험, 평가, 인증 시스템 구축: 선박평형수 물리, 화학적 처리기술) 이에 감사드립니다.

#### REFERENCE

- GloBallast, 2003, Ballast water risk assessment: user guide (1.4) for the BWRA database/GIS System, GloBallast report, 53.
- Han, K. H., 2009, Development status of ballast water treatment system, Marine Korea, 3, 88-93.
- Holm, E. R., Stamper, D. M., Brizzolara, R. A., Barnes, L., deamer, N., Burkholder, J. M., 2008, Sonication of bacteria, phytoplankton and zooplankton: application to treatment of ballast water, Mar. Pollu. Bul., 56, 1201-1208.
- Zheng, C., 2015, Study on the inactivation of *Artemia* sp. and *E. coli* using physical-chemical complex process, Ms dissertation, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk, Korea.
- Jung, Y., Yoon, Y., Hong, E., Kwon, M., Kang, J. W., 2013, Inactivation characteristics of ozone and electrolysis process for ballast water treatment using *B. subtilis* spores as a probe, Mar. Pollu. Bul., 72, 71-79.
- Kang, J. H., Shin, K. S., Hyun, B. K., Jang, M. C., Kim, E. C., Jang, M., 2007, The electrochemical chlorination for marine plankton community disinfection, J. of the Kor. Soc. for Mar. Environ. Eng., 10(3), 127-137.
- Kim, E. C., 2012, Consideration on the ballast water treatment system technology, and its development strategies, J. of Kor. Soc. for Mar. Environ. Eng., 15(4), 349-356.
- Kim, E. C., Cho, J. S., Park, Y. S., Lee, J. W., 2009, Installation and shipboard tests of the ballast water treatment system electro-clean, J. of Kor. Soc. for Mar. Environ. Eng., 12(3), 209-216.
- Kim, Y. S., Sung, E. J., 2012, Ballast water management system development trends, Bull. of the Soc. of Naval Arch. of Kor., 49(3), 40-43.
- Li, X. Y., Ding, F., Lo, P. S. Y., Sin, H. P., 2002, Electrochemical disinfection of saline wastewater effluent, J. of Environ. Eng., Aug., 697-704.
- Nor, Y. K., 2010, Design for ballast water treatment system, Ms dissertation, Pusan National University, Pusan, Korea.
- Park, Y. S., 2015, Developing the BWMS and validating the verification system for USCG Phase II: development of physical and chemical technology for ballast water treatment, 2<sup>nd</sup> report.
- Park, Y. S., Kim, D. S., 2007, Inactivation of *Legionella pneumophila* by Electrochemical Disinfection, J. of Kor. Soc. Wat. Environ., 23(5), 613-619.
- Seo, W. H., Jeon, S. A., Kim, J. H., Lee, T. H., Sang, B. I., 2006, Electrochemical disinfection for ballast water treatment, J. Kor. Soc. Environ. Eng., 28(11), 1162-1167.
- Yoon, B. S., Rho, J. H., Kim, K. I., Park, K. S., Kim, H. R., 2006, Development of ballast water treatment technology (feasibility study of NaOCl produced by electrolysis), J. Kor. Soc. Mar. Env. Eng., 8(4), 174-178.