

# 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*) 및 참돔(*Pagrus major*) 치어에 대한 이산화염소( $\text{ClO}_2$ )의 급성 독성

이옥 · 서준혁 · 서형원 · 장다희 · 이재만 · 최태건 · 박정환\*

부경대학교 수산생물학과

## Acute Toxicity of Chlorine Dioxide ( $\text{ClO}_2$ ) to Juvenile Black Seabream *Acanthopagrus schlegelii* and Red Seabream *Pagrus major*

Ock Lee, Junhyuk Seo, Hyoungwon Seo, Dahee Jang, Jaeman Lee, TaeGun Choi and Jeonghwan Park\*

Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

This study evaluated acute toxicity of chlorine dioxide ( $\text{ClO}_2$ ) to juveniles of black seabream *Acanthopagrus schlegelii* (19.4±2.3 g, 10.7±0.4 cm) and red seabream *Pagrus major* (74.9±8.2 g, 15.9±1.0 cm). Thirty juveniles for each species were exposed to target  $\text{ClO}_2$  concentrations of 0, 0.05, 0.1, 0.125, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5 mg/L in triplicate for eight days. Half lethal concentrations for 96 hours were found at 0.14 and 0.24 mg  $\text{ClO}_2$ /L for black seabream and red seabream, respectively. Red seabream larger than black seabream in body weight appears to be more resistance to chlorine dioxide. However, regardless of species or size, specific loading rates of chlorine dioxide to total fish weight (daily feeding amount of  $\text{ClO}_2$  /total fish weight) were similar, showing 1.3 and 1.1 g  $\text{ClO}_2$ /kg fish · day<sup>-1</sup> for black seabream and red seabream.

Keywords: Chlorine dioxide ( $\text{ClO}_2$ ), Toxicity, Seabream, Half lethal concentration

### 서론

국내 수산양식업에서 양식 생물의 질병은 주요 현안문제 중 하나이다. 질병 발생 문제는 양식 생산 전반의 생산 비용 증가로 이어지며 양식 생물의 생산성 및 경제성을 저하시키는 직접적 요인으로 작용한다. 질병에 의한 경제적 손실을 줄이기 위해서는 질병이 발생하였을 때 대처 및 치료도 중요하지만 질병이 발생하지 않도록 질병 초기 예방하는 것이 더욱 중요하다. 주로 많이 이용되는 초기 예방법으로는 백신을 투여하거나 자외선(UV), 오존, 전기분해법 등을 이용하여 양식장 유입수 또는 사육수를 살균하여 병원체를 최소화하는 것이다(Jorquera et al., 2002; Gullian et al., 2012; Ringø et al., 2014; Spiliotopoulou et al., 2018). 백신 처방의 경우에는 특정 질병 및 어종에 대해서만 사용할 수 있고 직접 어류에게 투여해야 하는 단점을 지니고 있다. 자외선 살균법, 오존 살균법, 전기분해법은 상대적으로 높은 초기 시설비와 유지보수 비용이 요구된다. 자외선 살균

법은 상대적으로 안전하지만 UV 램프 주변에 biofouling 현상, 램프의 성능과 품질이 상이하하여 일정한 살균 수준을 유지하는데 노력이 많이 필요하다. 오존과 전기분해법은 강력한 산화력으로 살균 효과가 탁월하여 현장에서 이용되고 있으나, 산화과정 중 양식 생물에 독성이 매우 높은 이차적인 산화산화물이 형성되는 단점이 있으며 여과 미생물에도 피해를 줄 수 있다. 특히 오존은 수중에 완전히 용해되지 않고 대기중에 유출될 경우 인체에도 심각한 영향을 줄 수 있으므로 사용상 주의가 따른다(Schroeder et al., 2014; Spiliotopoulou et al., 2018).

이산화염소는 염소와 산소의 이중결합을 가진 유기기 단량체(free radical monomer)로 기체 상태로 상온에 존재한다. 낮은 온도에서 이산화염소는 액체 상태로 존재하며 물에 용해도가 매우 높아 음용수의 소독, 탈취, 표백 등 다양한 산업분야에 이용되고 있다(EPA, 1994; Junli et al., 1997a). 이산화염소는 염소보다 산화력이 약 2.5배 강하며 수중의 유기물등과 반응한 후 신속하게 환원되어 잔류 산화물을 남기지 않는다. 또한 광분

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5911 Fax: +82. 51. 629. 5908

E-mail address: parkj@pknu.ac.kr



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0451>

Korean J Fish Aquat Sci 53(3), 451-455, June 2020

Received 29 April 2020; Revised 7 May 2020; Accepted 8 May 2020

저자 직위: 이옥(대학원생), 서준혁(대학원생), 서형원(대학원생), 장다희(대학원생), 이재만(대학생), 최태건(대학원생), 박정환(부교수)

해가 빠르게 진행되어 인체에 미치는 위해성이 상대적으로 염소에 비해 매우 낮다. 세계보건기구(world health organization, WHO)는 이러한 이산화염소의 안정성을 인정하고 식품첨가물 중 가장 안전한 기준인 A-1 등급으로 분류하고 있다. 따라서 기준에 사용되고 있는 살균 방법에 비해 잔류산화물을 형성하지 않아 생물안전성이 높으며 살균효율도 좋은 이산화염소가 수산용 살균소독제로서도 이용 가능성이 높다(Park et al., 2003).

이산화염소는 담수 환경에서는 여러 미생물들에 대한 살균 효과가 입증되었으나 해수 환경에서의 살균효과와 해산 어류에 대한 안전성에 대해서는 체계적인 연구가 부족한 실정이다 (Junli et al., 1997b; Kim and Kim, 2003). 특히 이산화염소의 어류 독성 농도 및 적정 처리 농도 등에 대한 자료가 미비하다 (Kim and Kim, 2003). 신속한 환원 및 광분해로 잔류 산화물을 남기지 않아 높은 생물안전성을 있지만, 양식 시스템 내 살균제로 이용하기에 필요한 적정 적용 농도의 도출이 어려워 양식장 및 산업적 적용이 어려운 실정이다. 본 연구에서는 이산화염소의 양식용 살균소독제로 이용하기 위해 감성돔 치어와 참돔 치어를 대상으로 이산화염소의 독성 영향과 양식 시스템 내 적정 적용 방안에 대한 기초 자료를 도출하고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험 시스템의 구성 및 이산화염소 주입

본 실험에서 이용된 시스템은 순환여과양식시스템으로 3개의 유리 사각수조(70 L, 0.34×0.6×0.4 m), 생물학적 여과조(0.5×0.48×0.5 m), 저수조(0.44×0.48×0.5 m), 순환펌프(200 W, UP200W, Hyubshin water design, Seoul, Korea), 수중히터(100 W, Philgreen, Busan, Korea), UV 살균기(9 W, UV-A11W, Periha, GuangDong, China), 브로워(LP-40, Youngnam air pump, Busan, Korea)으로 구성하였으며, 시스템의 총 수량은 413 L이었다. 이산화염소는 다양한 수질조건에 매우 민감하게 반응하고 주입 즉시 환원되므로 지속적인 농도 유지가 어렵다. 따라서 실험 시작 전 아래의 식 (1)을 이용하여 실험구별 목표 농도가 되는 이산화염소 투입량을 결정하고 각 실험구별로 이산화염소를 투입하였다. 투입 후 시간 경과에 따른 손실률을 측정하고 식 (2)를 이용하여 이론적 연속 이산화염소 투입량을 계산하였다. 이론적 필요 투입량을 기준으로 정량펌프(SP-A100, Cheonsej, Ansan, South Korea)를 이용하여 이산화염소를 저수조에 연속적으로 투입하였다. 용존 이산화염소의 농도는 휴대용 광도계(HI96738, HANNA instrument, Limena, Italy)를 이용하여 측정하였다.

$$\text{이산화염소 투입량(L)} = \frac{[\text{전체 시스템 수량(L)} \times \text{목표농도(mg/L)}] - [\text{원액농도(mg/L)} - \text{목표농도(mg/L)}]}{\dots\dots\dots} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{연속 이산화염소 투입량(mg/min)} \\ &= \frac{[\text{전체 시스템 수량(L)} \times \text{목표농도(mg/L)}] - [\text{원액농도} \\ &(\text{mg/L}) - \text{목표농도(mg/L)}]}{\text{시간당 손실률} \times 1000} / 60 \dots\dots (2) \end{aligned}$$

#### 실험어류 및 조건

실험에 이용된 실험 생물인 감성돔 치어와 참돔 치어는 실험 시작 전 1주간 별도의 사육 수조에서 순치하였다. 실험 조건에 적합한 균일한 크기 및 중량의 어류를 선별하여 실험에 이용하였다. 감성돔 치어는 평균 19.4±2.3 g, 10.7±0.4 cm, 참돔 치어는 74.9±8.2 g, 15.9±1.0 cm이었으며, 각 수조에 30마리씩(시스템 당 90마리) 수용하고 실험을 진행하였다. 목표 이산화염소 농도 기준으로 0.05, 0.10, 0.125, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/L가 되도록 실험구를 설정하였고, 이산화염소를 공급하지 않은 대조구를 포함하여 총 8개의 조건에서 실험을 실시하였다. 감성돔 치어와 참돔 치어 모두 196시간 동안 이산화염소에 노출하였으며 실험 시작 하루 전부터 실험 종료 시점까지 절식하였다. 시스템 순환 유량은 360 L/h로 설정하여 일간 회전율은 22회전이었다. 광주기는 12(명):12(암)으로 조절하였으며, 수조 상부의 조도는 약 600 lux이었다. 사육 수온은 실내 기온을 조절하여 22-23°C가 되도록 유지하였다. 일간 약 10-20%의 새물을 교환하면서 염분은 30 psu로 유지하였으며 pH는 7.8-8.1로 유지하였다. 암모니아성질소(<0.5 mg/L), 아질산성질소(<0.90 mg/L)는 어체에 영향이 없는 수준으로 유지하였다.

#### 치사농도(LC)의 계산 및 분석 방법

24시간 간격으로 누적된 폐사 개체 수를 이용하여 치사 농도를 계산하였다. 실험어가 수조 저면에 유영능력을 완전히 상실하여 어체가 측면된 상태에서 1분 이상 아가미 호흡활동을 중지한 개체를 폐사한 것으로 간주하고 계수하였다(Kim et al., 2017). 치사농도는 목표 이산화염소 농도를 기준으로 ordered probit model 분석방법을 이용하여 분석하였다. 이 방법으로 도출한 자료와 회귀식 최적화 프로그램 Table-Curve 3D (SYS-TAT, San Jose, CA, USA)를 이용하여 시간 경과와 치사 확률간의 상관관계에 따른 치사 농도 예상 모델을 도출하였다. 또한 목표 농도를 기준으로 감성돔 및 참돔 치어의 어체중 당 일간 이산화염소의 투여량을 아래의 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} &\text{어체중 당 일간 이산화염소 투여량(g ClO}_2\text{/kg fish} \cdot \text{day}^{-1}) \\ &= \frac{\text{일간 이산화염소 총 투여량(g ClO}_2\text{} \cdot \text{day}^{-1})}{\text{총 어체중(kg)}} \dots\dots (3) \end{aligned}$$

### 결 과

#### 감성돔 치어와 참돔 치어의 생존율

감성돔 치어와 참돔 치어를 대상으로 실시한 이산화염소의 급

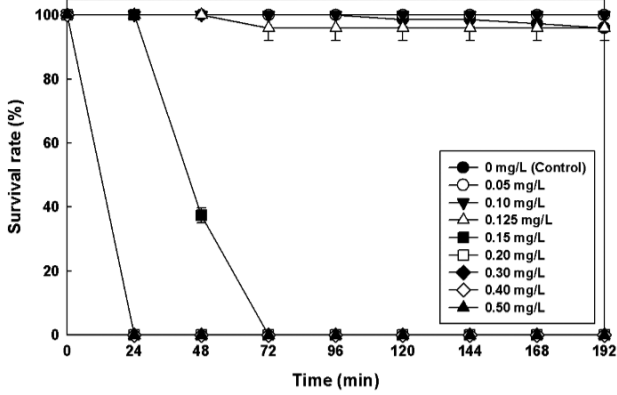


Fig. 1. Time-course survival rate of juvenile black seabream *Acanthopagrus schlegelii* (mean 19.4±2.3 g) according to chlorine dioxide concentrations.

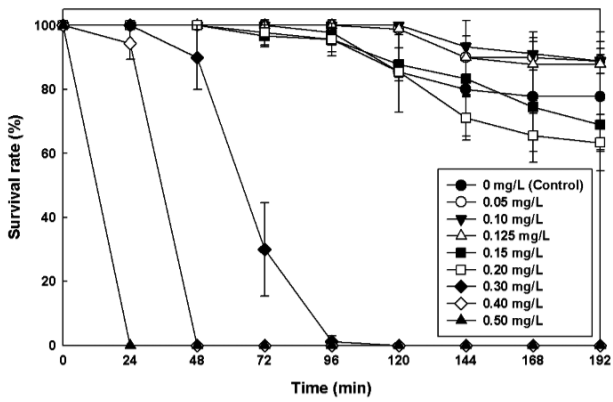


Fig. 2. Time-course survival rate of juvenile red seabream *Pagrus major* (mean 74.9±8.2 g) according to chlorine dioxide concentrations.

성 독성 평가 실험의 생존율 변화 결과를 각각 Fig. 1과 2에 나타내었다. 목표 이산화염소 농도 0, 0.05, 0.1, 0.125 mg ClO<sub>2</sub>/L에 대해 감성돔 치어의 192시간 동안 최종 생존율은 각각 96, 100, 100, 96%로 나타났다. 그러나 0.15 mg ClO<sub>2</sub>/L 농도에서는 72 시간, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg ClO<sub>2</sub>/L에서는 24시간 내 모두 폐사하였다. 참돔 치어의 경우에는 목표 이산화염소 농도 0, 0.05, 0.1, 0.125, 0.15, 0.2 mg ClO<sub>2</sub>/L 농도에서 최종 생존율은 각각 77.8, 88.9, 88.9, 87.8, 68.9, 63.3%로 나타났으나, 0.3, 0.4, 0.5 mg ClO<sub>2</sub>/L 농도에서 각각 120, 48, 24시간 내 모두 폐사하였다.

감성돔 치어와 참돔 치어의 치사농도(LC<sub>50</sub>)

감성돔 치어와 참돔 치어의 시간경과와 치사 확률에 대한 치사 농도 추정 모델을 Fig. 3과 4에 나타내었다. 경과시간 (elapsed time, X)과 치사 확률(Y)에 대한 치사농도(LC, Z)의 상관관계식은 다음과 같다.

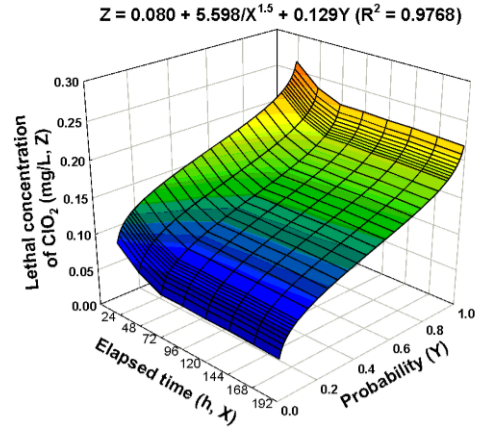


Fig. 3. Prediction model for lethal concentration of chlorine dioxide to black seabream *Acanthopagrus schlegelii* based on exposure time and mortality probability.

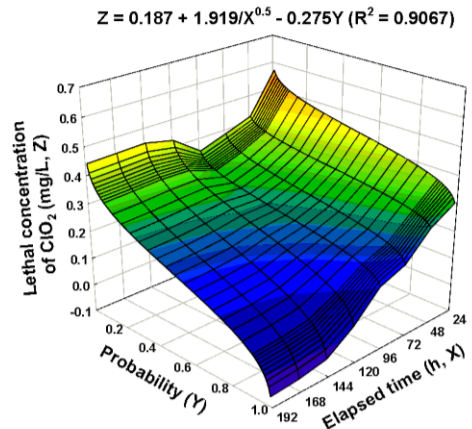


Fig. 4. Prediction model for lethal concentration of chlorine dioxide to red seabream *Pagrus major* based on exposure time and mortality probability.

감성돔 치어(어체중 19.4±2.3 g),  
 $Z=0.080-5.598/X^{1.5}+0.129Y$  (X, 24-192시간; Y, 0-1)

참돔 치어(어체중 74.9±8.2 g),  
 $Z=0.187-1.919/X^{0.5}-0.275Y$  (X, 24-192시간; Y, 0-1)

추정 모델을 토대로, 감성돔 및 참돔 치어의 96시간 반수 치사농도(96LC<sub>50</sub>)는 각각 0.14 및 0.24 mg ClO<sub>2</sub>/L로 나타났다.

목표 이산화염소 농도를 기준으로 감성돔 및 참돔 치어 어체중 당 투여한 이산화염소의 상관관계를 Fig. 5에 나타내었다. 96시간 반수 치사농도(96LC<sub>50</sub>)를 기준으로 감성돔 및 참돔 치어에 투여한 일간 이산화염소의 양은 각각 1.3와 1.1 g ClO<sub>2</sub>/kg fish·day<sup>-1</sup> (평균 1.2 ClO<sub>2</sub>/kg fish·day<sup>-1</sup>)로 유사하였다.



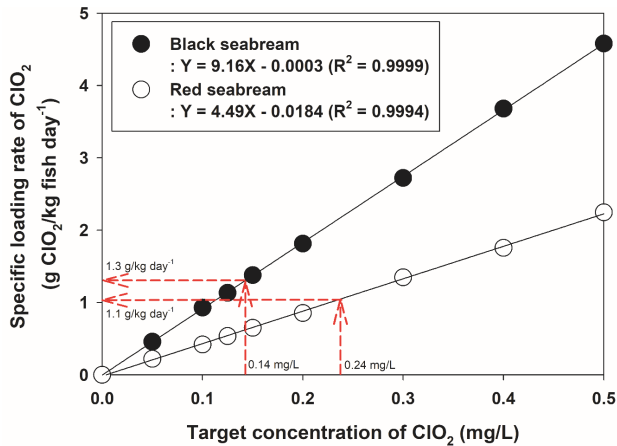


Fig. 5. Specific loading rate (daily total feeding rate of chlorine dioxide/total fish weight) of chlorine dioxide for black seabream *Acanthopagrus schlegelii* and red seabream *Pagrus major*.

## 고찰

실험에서는 8일간 감성돔 치어와 참돔 치어를 대상으로 이산화염소 노출에 따른 생존율, 치사농도(LC), 어체중 당 이산화염소 투여량 간의 상관관계를 조사하고 이산화염소를 양식 생산 시스템에 살균소독제로 적용하기 위한 기초 자료를 도출하고자 하였다. 목표 이산화염소 기준으로 0.15 mg ClO<sub>2</sub>/L 기준 이상 이산화염소를 투입한 실험구에서 감성돔 치어는 24-72시간 내 모두 폐사하였다. 이에 비해 참돔 치어는 0.3 mg ClO<sub>2</sub>/L 이상 농도에서 24-120시간 내 모두 폐사하여 같은 농도에 노출된 감성돔 치어에 비해서는 내성이 다소 높았다. 이는 실험에 이용한 참돔 치어가 감성돔 치어에 비해 개체가 크고, 어체의 수용량이 상대적으로 많아 이산화염소의 산화 요구량(demand)이 많았기 때문으로 판단된다. 본 실험에서 도출한 추정 모델을 토대로 감성돔과 참돔의 48시간 반수치사 농도는 각각 0.16과 0.33 mg/L이다. 이 농도들은 평균 5.73-6.14 g의 넙치 치어를 대상으로 한 이산화염소의 급성 독성 실험 결과에서 나타난 33.4 mg ClO<sub>2</sub>/L (Bae and Lee, 1999)에 비해 매우 낮은 농도이다. 이 실험에서는 실험수에 이산화염소를 1, 10, 100, 1000 mg/L의 농도로 1회 투여하고 48시간동안 생존율을 조사하였다. 이산화염소는 수중의 유기물 등을 산화시키고 빠르게 환원되는 이산화염소의 특성상 Bae and Lee (1999)의 연구에서는 시간 경과에 따라 농도가 감소되는 경향이어서 양식 시스템 내에서 적용 가능한 방안을 모색하기 위해 일정량을 지속적으로 투여하면서 실험을 진행한 본 실험의 결과보다 높게 나타난 것으로 판단된다. 넙치 치어(전장 12.1 cm)를 대상으로 0.07, 0.13, 0.27, 0.34, 0.43, 0.51 mg ClO<sub>2</sub>/L 농도에 10분간 노출시킨 후 24시간 동안 반수치사 시간을 조사한 연구의 경우, 0.43과 0.51 mg ClO<sub>2</sub>/L에서 반수치사 시간은 각각 103분과 32분이었다(Kim

and Kim, 2003). 감성돔과 참돔 치어의 치사 농도 추정 모델을 노출 시간을 기준으로 수식을 재정리하여 0.43과 0.51 mg ClO<sub>2</sub>/L에 대해 반수치사 농도를 계산하면 각각 약 11분과 3.5분에 해당한다. 이는 노출 시간의 지속성에 의한 차이로 보이며 어종의 차이가 있다고 하더라도 0.43과 0.51 mg ClO<sub>2</sub>/L에 지속적으로 노출될 경우 더 높은 수준으로 독성이 나타날 것으로 판단된다. 무지개송어(어체중 24.7 g)를 대상으로 정수식에서(일일 100% 환수 및 이산화염소 농도 재조정) 이산화염소의 독성을 조사한 연구에서 96시간 반수치사 농도가 8.3 mg ClO<sub>2</sub>/L로 높게 보고된 바 있으며(Svecevicus et al., 2005), 이 연구의 경우 지수식 방식으로 매일 환수 후 이산화염소를 조정하였기 때문에 지속적으로 목표 이산화염소 농도에 노출되지 않았을 것으로 보인다. 본 연구에서는 사육수가 순환하는 시스템 내 정량 펌프를 이용하여 이산화염소를 연속 투입하면서 어류가 이산화염소에 지속적으로 노출되게 하였다. 이로 인해 치사농도가 다른 연구에 비해 매우 낮게 형성된 것으로 보인다.

최근 이산화염소는 사육수 소독 및 살균제로서 양식 산업 이용 가능성과 안전성에 대해 지속적으로 논의되고 있다. 그러나 빠른 산화작용으로 인해 지속적으로 농도 유지가 어려워 연구마다 독성 농도가 상이하다. 어종이나 크기에 따른 차이가 독성 농도가 다른 주요한 요인일 수 있다. 그 차이를 인정하더라도 이산화염소의 유효 농도를 일정하게 유지하거나 산업적으로 이용할 만한 일정 기준의 제시가 필요하다. 본 실험에서 생존율 변화에서 보듯이 치사역치 농도(lethal threshold concentration)가 감성돔과 참돔 치어에 있어서 0.15-0.20 mg ClO<sub>2</sub>/L와 0.2-0.3 mg ClO<sub>2</sub>/L 범위로 매우 좁다. 이는 넙치와 무지개송어를 대상으로 한 연구에서도 유사한 경향을 나타내었다(Kim and Kim, 2003; Svecevicus, 2005). 즉 이산화염소는 수중의 유기물 등을 산화시키고 빠르게 환원되므로 잔류에 의한 위험성은 낮으나, 수중의 요구량이 낮을 경우 같은 농도라 하더라도 양식 생물에 피해를 초래할 수 있다. 본 실험의 경우에도 이산화염소의 손실을 감안하여 정량펌프로 이산화염소의 농도를 유지하고자 하였으나, 변동폭이 상당히 높아 농도를 기준으로 이산화염소를 양식 시스템에 적용하는 방안은 실질적이지 않았다. 따라서 본 연구에서는 수용한 총 어체중에 대한 이산화염소의 투여량의 상관관계를 조사하였다. 앞서 언급한 바와 같이 감성돔과 참돔 치어에 대한 96시간 반수치사 농도는 각각 0.14와 0.24 mg ClO<sub>2</sub>/L로 서로 달랐다. 그러나 어체중 kg 당 일간 투여한 이산화염소의 양은 1.3와 1.1 g ClO<sub>2</sub>/kg fish·day<sup>-1</sup>로 서로 유사하였다. 반수치사 농도의 변화가 작은 144시간 이전 반수치사 농도(24LC<sub>50</sub>-120LC<sub>50</sub>)를 기준으로 감성돔과 참돔 간 어체중 kg 당 일간 투여한 이산화염소의 양 역시 매우 유사하였다. 따라서 어체중에 대한 이산화염소 투입량을 원수 및 사육수 처리 기준으로 이용 가능성을 시사하였다. 안정적인 이산화염소의 적용을 위해서 이와 관련된 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Bae JH and Lee DS. 1999. Acute toxicity of chlorine dioxide cultured-flounder *Paralichthys olivaceus* and its bacterial efficacy. Korean J Lab Anim Sci 15, 87-91.
- EPA (Environmental Protection Agent). 1994. Chemical summary for chlorine. Office of Pollution Prevention and Toxics. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, U.S.A., EPA 749-F-94-010a.
- Gullian M, Espinosa-Faller FJ, Núñez A and López-Barahona N. 2012. Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange. Aquac Res 43, 595-606. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02866.x>.
- Jorquera M, Valencia G, Equichi M and Katayose M. 2002. Disinfection of seawater for hatchery aquaculture systems using electrolytic water treatment. Aquaculture 207, 213-224. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00766-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00766-9).
- Junli H, Li W, Nenqi R, Li LX and Fang M. 1997a. Disinfection effect of chlorine dioxide on bacteria in water. Water Res 31, 607-613. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00275-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00275-8).
- Junli H, Li W, Nenqi R, Li LX, Fun SR and Guanle Y. 1997b. Disinfection effect of chlorine dioxide on viruses, algae and animal planktons in water. Water Research 31, 455-460. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00276-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00276-X).
- Kim JH, Park JY, Lee JY, Lee JH, Hwang HK and Cho JK. 2017. Effects of ammonia exposure on survival rate and hematological characteristics changes in juveniles of seven-band grouper, *Eponephelus septemfasciatus*. Korean J Ichthyol 29, 13-21.
- Kim HY and Kim JD. 2003. Survival and physiological response of olive flounder *Paralichthys olivaceus* exposed to seawater chlorinated by chlorine dioxide (ClO<sub>2</sub>). J Aquacul 16, 151-158.
- Park KH, Oh MJ and Kim HY. 2003. Disinfection effect of chlorine dioxide on pathogenic bacteria from marine fish. Fish Pathol 16, 118-123.
- Ringø E, Olsen RE, Jensen I, Romero J and Lauzon HL. 2014. Application of vaccines and dietary supplements in aquaculture: possibilities and challenges. Rev Fish Biol Fisher 24, 1005-1032. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9361-y>.
- Schroeder JP, Klatt SF, Schlachter M, Zablotski Y, Keuter S, Spieck E and Schulz C. 2014. Impact of ozonation and residual ozone-produced oxidants on the nitrification performance of moving-bed biofilters from marine recirculating aquaculture systems. Aquacult Eng 65, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.008>.
- Spiliotopoulou A, Rojas-Tirado P, Chhetri RK, Kaarsholm KMS, Martin R, Pedersen PB, Pedersen RF and Andersen HR. 2018. Ozonation control and effects of ozone on water quality in recirculating aquaculture systems. Water Res 133, 289-298. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.032>.
- Svecevičius G, Syvokiene J, Stasiunaite P and Mickeniene L. 2005. Acute and chronic toxicity of chlorine dioxide (ClO<sub>2</sub>) and chlorite (ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>) to rainbow trout *Onchorhynchus mikiss*. Environ Sci Pollut R 12, 302-305. <https://doi.org/10.1065/espr2005.04.248>.