

# 항균강화유리를 적용한 기능성 어항 개발

김준섭

한국교통대학교 생명공학과

## Development of Functional Fish Tank Using Antibacterial Tempered Glass

Jun-Sub Kim

Department of Biotechnology, Korea National University of Transfortation

**요약** 관상어 사육 및 어병 관리를 위한 항생제 남용으로 발생하는 부작용들을 줄이기 위해, 기존에 개발한 항균 강화유리를 어항에 접목하였다. 항균강화유리 어항의 가격경쟁력을 높이기 위하여 은, 구리, 아연 각각의 항균력뿐만 아니라, 다양한 혼합조성비에 따른 항균력을 조사하여 생산단가를 낮출 수 있는 최적의 혼합조성비(은 1 : 구리 2 : 아연 7)를 확립하였다. 이 비율의 항균혼합물질(Antibacterial Materials, 이하 ABM) 2 mg이 코팅된 시편(2X2 cm<sup>2</sup>)을 제작하여 항균력을 조사한 결과, OD 0.6의 살모넬라균을 10 ml에서 1,000 ml까지 배양하였을 때, 99%의 항균력이 확인되었다. 수족관에 의뢰하여 ABM 60 mg이 코팅된 항균강화유리 시제품(28.9 Liter)을 제작한 후, 일반어항과 항균강화어항에 각각 금붕어를 5마리씩 넣고 한 달 동안 수생환경의 변화를 관찰하였다. 시제품은 항균 효과뿐만 아니라 다양한 수생 변화를 보여주었다. 대조군의 탁도는 점점 높아지고 녹조가 나타났으며, 2마리가 치사한 반면, 시제품은 탁도의 변화가 매우 낮게 유지되었고, 녹조현상은 완벽하게 억제되었으며, 죽은 금붕어는 없었다. 또한, 대조군에서는 pH의 변화가 매우 심한 반면, 시제품에서는 중성에서 약산성으로 천천히 진행되었다.

**Abstract** In the current study, the previously developed antibacterial tempered glass was grafted into the fish tank to reduce the side effects of antibiotic abuse. The antibacterial activity was investigated by mixing different composition ratios, and the optimal mixing composition ratio was determined to be silver 1: copper 2: zinc 7, which lowers the overall production cost. A specimen (2X2 cm<sup>2</sup>) coated with 2 mg of the antibacterial material was prepared (hereinafter referred to as ABM), and the antibacterial activity against *Salmonella enterica* (OD 0.6) was investigated. Our results confirmed 99% antibacterial activity from 10 ml to 1,000 ml. Five goldfish each were placed in a regular fish tank coated with 60 mg ABM and a prototype tank (28.9 liter), and changes in the aquatic environment were observed for a month. The prototype showed various underwater changes as well as antibacterial effects. There was a gradual increase in the turbidity, appearance of green algae, and 2 of the 5 goldfish died in the control. Contrarily, the prototype showed low turbidity changes, complete disappearance of green algae, and survival of all goldfish. Additionally, the pH change was very severe in the control group, whereas it proceeded slowly from neutral to weakly acidic in the prototype.

**Keywords** : Functional Fish Tank, Antibacterial tempered glass, Antibacterial activity, Silver, Copper, Zinc

본 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2021R1A6A1A03046418).

\*Corresponding Author : Jun-Sub Kim(Korea University of Transfortation)

email: junsim@ut.ac.kr

Received January 26, 2022

Revised March 15, 2022

Accepted April 1, 2022

Published April 30, 2022

## 1. 서론

최근 국내를 포함한 전 세계적으로 애완동물산업의 급성장 하고 있고, 이와 함께 관상어 산업 또한 선진국들을 중심으로 급성장하고 있다. 그 원인으로는 먼저 체계적인 관상어 양식 기술이 개발 및 보급되면서 장기간 관상어 사육이 가능하게 되었고, 대형상점과 온라인에서 관상어의 판매가 이루어지면서 관상어의 구매 또한 용이해졌기 때문이다[1].

관상어 산업은 관상생물들을 양식하는 생물산업과 이와 관련된 용품 산업, 서비스 산업, R&D 등의 비생물 산업으로 분류된다[2]. 관상어를 사육하기 위해서는 어항, 사료, 약품, 비료, 여과기 및 여과재, 산소발생기, 히터 및 냉각팬, 수중 모터, 조명 등 다양한 물품이 필요하며, 이들 중 가장 필수적인 어항(수조)은 1970년대부터 국내에서 만들어지기 시작하여 관상어 산업의 발전에 기여하였다[3]. 하지만, 우리나라 관상어 시장에서 판매되는 품종은 대부분 수입산인 열대어가 중심이며, 관상어 용품 역시 수입산에 의존하고 있는 점은 국내 관상어 산업의 성장을 위해서 해결해야 할 과제이다.

현재 우리나라를 비롯한 전 세계적으로 Tetracycline을 포함한 다양한 항생제들이 관상어와 해산어의 세균성 질병을 치료하거나 예방하기 위해 사용되고 있다[4]. 하지만 과도한 항생제의 오남용으로 인해 다양한 항생제에 대한 내성균들이 출현하고 있다[5-7]. 특히, 우리나라로 수입 유통되는 관상어의 양식 현장인 아시아 각국에서는 아무런 규제 없이 항생제가 사용되고 있으며, 그 결과 다제내성균 출현이 빈번하여 보건 및 환경에 대한 위험성이 높아지고 있다[2]. 그 예로, 한 연구에서는 열대어를 통해 박테리아에 감염된 어린이들이 고열과 피 설사로 병원에 입원하였고, 유전자 분석을 통해 다양한 항생제에 내성을 갖는 살모넬라균이 감염된 사실을 보고하였다[8]. 이 연구 이후, 지속적으로 어항 및 아쿠아리움 내의 살모넬라 변형균에 대한 보고와 경고가 이어지고 있다[7,9,10].

은과 구리는 동양 및 서양에서 수천 년 동안 항균제로 사용되었고[11,12], 나노기술이 발전함에 따라, 은과 구리 나노입자는 항균 응용 분야, 특히 항생제 내성 박테리아 및 병원 감염 퇴치에 널리 사용되고 있다[12]. 아연 또한 다양한 항균 효과를 가지고 있으며, 아연 나노입자들에 관한 연구 및 개발도 꾸준히 진행되고 있다[13]. 하지만, 은을 포함한 다양한 항균력을 가지는 중금속들의 항균 메커니즘은 활성산소 생성, 접촉사멸, 면역자극 및

다양한 메커니즘들이 제안되었지만 모두 한계를 가지고 있어서 모든 상황에서 항균 활성을 설명할 수는 없다[14]. 현재까지 제안된 모든 메커니즘에 참여하는 것은 이들 금속이온 표면의 물리화학적 특성이 항균 효과를 나타내는 접촉사멸뿐이다[14].

본 연구에서는 최근 강화유리를 생산하는 (주)글라스윈과 함께 은, 구리, 아연을 코팅한 대장균과 살모넬라균에 99% 이상의 항균력을 가지고 있는 기능성 항균강화유리를 관상어의 어항이나 해수어의 수조에 적용하여, 항생제 남용으로 발생하는 여러 가지 부작용을 줄이고, 다양한 소비자들과 생산자들의 안전한 보건 환경을 도모하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 항균 소재, 시편, 시제품의 제조

본 연구에 사용한 항균 소재들인 은( $\text{AgNO}_3$ ), 구리( $\text{CuSO}_4$ ), 아연( $\text{ZnSO}_4$ )는 (주)글라스윈의 국내 협력업체로부터 받았다[15]. 대조군으로 사용된 은( $\text{AgNO}_3$ , 916404), 구리( $\text{CuSO}_4$ , PHR1477), 아연( $\text{ZnSO}_4$ , PHR2917)은 Sigma사로부터 구입하였다. 항균 시편 및 항균강화유리는 (주)글라스윈이 제조하였고[15], 항균강화유리를 적용한 어항은 진천 수족관에서 제작하였다.

### 2.2 항균력 측정

#### 2.2.1 진탕 플라스크 시험법

배양된 살모넬라균(*Salmonella enterica subsp. enterica*, ATCC 8326)을 OD(Optical Density) 0.2로 맞춘 후, 총 100 ml의 배양액에 항균물질 및 항균혼합물질을 0.1 mg/ml로 처리하였다. 항균물질의 혼합은 총 0.1 mg에 대한 은:구리:아연의 다양한 질량비로 혼합하여 사용하였다. 24시간 후에 생존 균수를 광도계를 사용하여 흡광도 600 nm에서의 흡광도를 정량하여 항균효과(%)를 확인하였다(Fig. 1).

#### 2.2.2 Live/Dead kit

배양된 살모넬라균을 10 ml, 100 ml, 1,000 ml, 2,000 ml의 Phosphate-buffered saline(PBS)에 OD 0.6이 되게 맞춰준 후, 2 mg의 은, 구리, 아연이 1:2:7 비율로 코팅된 2X2 cm<sup>2</sup>의 시편을 함께 넣고 24시간 동안 36°C에서 배양하였다. LIVE/DEAD® BacLight™

Bacterial Viability Kit(Cat. No. L7012)을 이용하여 Invitrogen사가 제공하는 방법을 이용하여 살아있는 균의 비율과 죽은 균의 비율을 형광광도계를 이용하여 측정하였고(Fig. 2a-d), 형광현미경을 이용하여 녹색형광(Live cells)과 빨간색형광(Dead cells)의 사진을 획득했다(Fig. 2e). 이때, 양성 대조군으로는 PBS를 사용하였고, 음성 대조군으로는 100% Isopropyl alcohol(IPA)을 처리해 균을 죽인 후 사용하였다[15].

### 2.3 항균 혼합물질의 어류급성독성시험

은, 구리, 아연이 1:2:7의 질량비를 갖는 항균혼합물질의 잉어(*Cyprinus carpio*)에 대한 급성독성시험은 한국건설생활환경시험연구원(성적서번호 NT18-00001)에 의뢰하여 진행하였다. 시험물질 자체를 순도 100%로 가정하여 처리한 후 사육수(희석수)에 희석하여 농도를 설정하였다. 설정된 농도는 대조군(사육 수) 및 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 mg/Liter 이고, 실험군 당 10마리의 잉어가 사용되었다. 48시간과 96시간의 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)가 평가되었다(Table 2).

### 2.4 시제품의 탁도, pH 측정 및 균 배양

항균강화유리 어항 시제품은 진천 수족관에 의뢰하여 어항 크기 2호(폭 39.4, 높이 30.3, 길이 24.2 cm, 28.9 Liter)로 제작하였다. 대조군과 시제품에 각각 금붕어를 5마리씩 넣고 한 달 동안 수생환경의 변화를 조사하였다(Fig. 3). 매주 pH meter와 Turbidity meter를 이용하여 pH 값과 TSM(total suspended matter)를 측정하였고(Table 1 and 3), 금붕어 사육 한 달 후, 사육 수를 원액, 10배, 100배로 희석하여 LB 고체배지에 1 ml을 도포한 후, 24시간 동안 배양한 후, 균의 colony를 개수하였다(Fig. 4).

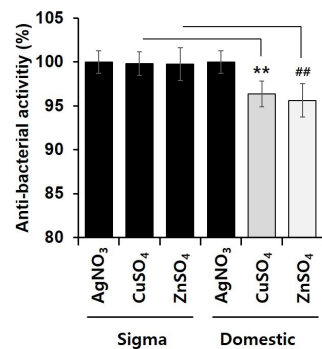
### 2.5 통계처리

모든 실험 결과는 3반복 실시한 뒤 평균과 표준편차로 나타내었다. 각 평균치 차이에 대한 유의성은 Prism software(v7.0d; GraphPad Software, La Jolla, CA, USA) 프로그램을 이용하여 Student's t-test로 검증하였으며, p 값이 0.05 미만일 때 통계학적으로 유의성이 있다고 판정하였다.

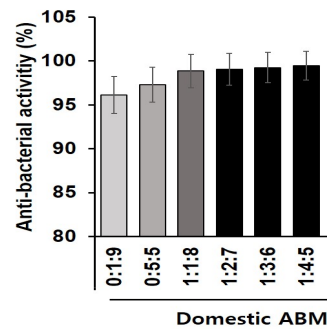
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 항균물질들의 혼합조성비에 따른 항균력 조사

이전 연구에서 은, 구리, 아연과 일반유리를 열적 강화를 통해 항균강화유리를 개발하였다[15]. 이들 금속 소재들은 비교적 비싼 가격(은 >> 구리 > 아연)을 가지고 있기 때문에, 상대적으로 낮은 가격의 일반유리를 사용하는 어항(수조)과의 시장 경쟁에서 불리하게 작용될 수 있다. 결국, 제품의 가격경쟁력을 높이기 위한 수단으로 항균물질들의 혼합조성비에 따른 항균력 조사를 통해 항균강화유리의 생산단가를 절감하고자 하였다.



(A)



(B)

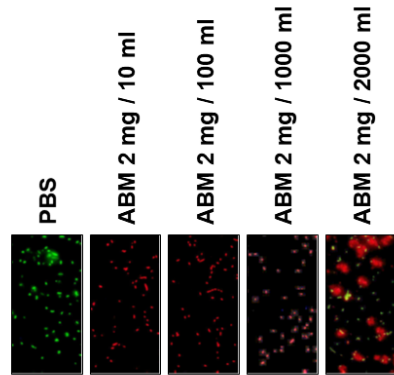
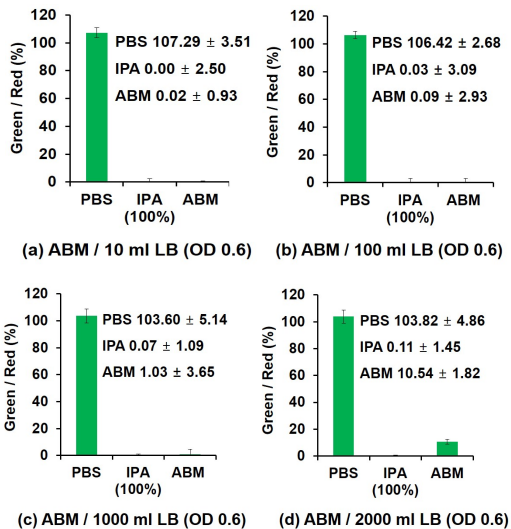
Fig. 1. Antibacterial activities of 0.1 mg/ml AgNO<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, and ABM, of various compositions. Experiments were performed in triplicate and data are presented as mean ± SD. Sigma CuSO<sub>4</sub> vs. Domestic CuSO<sub>4</sub>, \*\* p < 0.01. Sigma ZnSO<sub>4</sub> vs. Domestic ZnSO<sub>4</sub>, ## p < 0.01.

이번 항균강화유리 어항 개발에 사용되는 국내업체에서 생산한 ABM들의 항균력을 Sigma사로부터 구입한 ABM들과 함께 진탕배양법을 통해 비교 조사하였다. Sigma사로부터 획득한 은, 구리, 아연은 모두 0.1 mg/ml의 농도에서 99% 이상의 항균력이 확인되었지만,

국내업체로부터 공급받은 재료 중 은은 99.9%, 구리는 96.3%, 아연은 95.6%의 항균력이 확인되었다(Fig. 1a). 이러한 차이는 원재료의 순도 및 나노입자의 크기와 연관성이 있을 것으로 생각된다. 국내업체로부터 공급받은 은, 구리, 아연을 혼합하여 항균력을 살펴본 결과, 은이 제외된 조성(0:1:9, 0:5:5)에서는 항균력이 99%에는 도달하지 못했지만, 96% 이상의 우수한 항균력을 보여주었고, 혼합조성비 1:2:7부터 항균력 99% 이상의 효과가 확인되었다(Fig. 1).

### 3.2 ABM이 코팅된 시편의 항균력 조사

ABM(은 1 : 구리 2 : 아연 7) 2 mg이 코팅된 2X2 cm<sup>2</sup> 크기의 시편을 제작한 후, ABM의 항균력을 LIVE/DEAD *BacLight* Bacterial Viability Kits를 이용하여 조사하였다. 이때, 대조군으로는 PBS(Live, Green fluorescence)와 IPA(Dead, Red fluorescence)를 사용하였다. 살모넬라균과 ABM 시편을 넣어 24시간 동안 배양한 후, 형광광도계와 형광현미경을 사용하여 ABM 시편의 항균력을 확인한 결과, ABM 시편의 배양액 부피에 따른 항균력이 99.98% / 10 ml, 99.91% / 100 ml, 98.97% / 1000 ml, 89.46% / 2000 ml로 나타났다(Fig. 2). 결국, 99% 이상의 항균력을 위해서는 오차범위를 포함해서 2 mg/Liter의 ABM이 요구되는 것을 확인하였다.



(e) Live : Green (Syto9), Dead : Red (PI)

Fig. 2. (a-d) Antibacterial activities of ABM (Ag:Cu:Zn, 1:2:7) coated tempered glass sample. (e) Identification of live or dead *S. enterica* by using fluorescence microscopy. Experiments were performed in triplicate and data are presented as mean ± SD.

### 3.3 항균강화유리 어항(시제품) 개발

녹조는 어항의 관상 기능을 저해하는 중요한 요소이기 때문에, 다양한 방법들을 사용하여 녹조 제거를 하고 있다. 예를 들면, 물을 강제 순환시키고 심층 증폭기를 이용하여 물속에 계속 산소를 공급해 주는 물리적 방법이 사용되고 있지만, 초기 설치비용이 높고 사후 관리가 어렵다는 단점을 가지고 있다[16]. 황토, 화학 응집제, 살조제 등 화학적인 방법들도 있지만[17,18], 다량 살포시 담수 생물에 영향을 미치게 되고, 물을 다시 정수해야 한다는 단점이 있다. 또한 황토와 함께 바닥에 쌓이게 되는 녹조 생물들이 부패되어 녹조 생물 내에 존재하는 독소로 인하여 2차 오염을 유발할 수 있다[19]. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 다양한 생물학적 방법으로 녹조류 제거에 관한 연구들이 활발히 진행 중이다[20,21].

수족관에 의뢰하여 28.9 Liter의 시제품을 제작한 후, 일반유리 어항과 60 mg의 ABM이 코팅된 시제품에 각각 금붕어를 5마리씩 넣고 한 달 동안 수생환경의 변화를 관찰하였다. 흥미롭게도, 대조군의 물은 한 달 동안 눈으로 확인이 가능할 정도로 녹조가 끼고 빠르게 탁도가 높아져서 수생환경이 나빠져 있지만, 항균강화유리 어항 시제품은 매우 좋은 물의 탁도와 수생환경이 관찰되었다(Fig. 3, Table 1). 어항 내에서는 다양한 종류의 이끼가 발생할 수 있는데, 구리는 녹색 이끼 제거에 효과가 있다고 알려져 있다[22]. 결국, ABM에 포함된 구리 성분이 녹색 이끼 제거에 영향을 미친 것으로 생각된다.



Fig. 3. Fish tank with general glass or antibacterial tempered glass. The fish tank provided a general environment for breeding ornamental fish, and the picture was taken a month after putting five goldfish in the fish tank.

Table 1. Turbidity level

TSM (NTU)

	0	1 week	2 week	3 week	4 week
Con	1.03 (± 0.48)	2.62 (± 0.83)	5.63 (± 0.97)	18.78 (± 0.57)	49.19 (± 0.39)
Proto type	2.01 (± 0.57)	3.32 (± 0.93)	3.63 (± 0.93)	4.22 (± 0.89)	6.47 (± 0.94)

공인기관에 의뢰하여 ABM(1:2:7)의 어류 독성을 조사한 결과, 잉어에 대한 어류 독성이 48시간 이내 LC<sub>50</sub> 0.33 mg/Liter로 비교적 높은 독성에도 불구하고 (Table 2), 대조군에서는 한 달 동안 2 마리가 치사한 반면, 시제품에서는 죽은 금붕어가 없었다. 실제 육안으로도 대조군의 금붕어는 호흡이 힘들어 보이고 움직임이 덜하였고, 시제품에서는 금붕어의 정상적인 활동을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 코팅된 ABM이 실험 기간 동안 유리 표면으로부터 유리되지 않고 안정적인 코팅 상태를 유지하고 있음을 말해주며 이전의 연구에서 보여 주었던 제품의 안정성 실험 결과와도 일치한다[15].

Table 2. ABM (Ag:Cu:Zn, 1:2:7) LC<sub>50</sub>

Unit : mg/Liter

Test substance	48 hour		96 hour	
	LC <sub>50</sub> 95%	confidence limits	LC <sub>50</sub> 95%	confidence limits
ABM (1:2:7)	0.330	0.257 - 0.457	0.211	0.149 - 0.277

또한, 매주 대조군과 시제품 어항에서 pH의 변화를 조사한 결과, 대조군에서는 pH의 변화가 매우 심한 반면, 시제품에서는 대조군에 비해 중성에서 약산성으로의 변화가 천천히 진행되었다(Table 3). 일반적으로 어항

내에서 산소의 지속적인 공급은 어류의 호흡을 통한 이산화탄소의 증가로 인하여 pH가 증가하지만, 생물 대사 동안 암모니아 및 요소 등의 배출, 여러 가지 부유물 등으로 인하여 산성으로 변한다[23]. 결국, 어항 내의 물을 자주 환수하여 pH를 맞춰줘야만 하는 데 반해, ABM이 코팅된 강화유리 어항에서는 물의 산성화가 매우 느리게 변화하기 때문에 환수의 불편함 또한 줄일 수 있다.

Table 3. pH changes in the fish tank

	0	1 week	2 week	3 week	4 week
Con	7.49 (± 0.12)	7.97 (± 0.11)	6.92 (± 0.23)	5.21 (± 0.46)	4.60 (± 0.42)
Proto type	7.48 (± 0.10)	7.45 (± 0.11)	7.23 (± 0.14)	7.13 (± 0.13)	6.91 (± 0.14)

실험 한 달 후, 대조군과 시제품 어항에서 1 ml을 취해 LB 배지에 접종한 후, 24시간 동안 배양한 결과, 대조군에서는 많은 세균 콜로니가 형성되었지만, ABM이 코팅된 시제품에서는 콜로니가 거의 관찰되지 않았다(Fig. 4).

어항 내에는 물고기에 병을 일으키는 어병 세균 및 인체에 유해한 균들뿐만 아니라 다양한 미생물 총이 형성되어 있어서 향후, 어항 생태계의 유익균과 유해균에 대한 영향에 대해서도 조사해볼 가치가 있다.

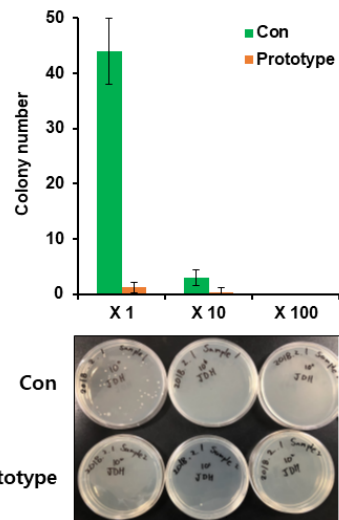


Fig. 4. Bacteria obtained from fish tank. Experiments were performed in triplicate and data are presented as mean ± SD.

### 3. 결론

본 연구에서는 은, 구리, 아연을 혼합하여 생산단가를 줄이면서 99%의 항균력을 갖는 최적의 조성률(은 1 : 구리 2 : 아연 7)을 확립하였다. 이러한 조성의 ABM은 2 mg으로 강화유리에 코팅되었을 때 1 Liter까지 99% 항균력을 확인하였다. 또한, ABM 60 mg이 코팅된 항균강화유리 어항(29.80 Liter)이 기존의 어항에 비해 항균 기능뿐만 아니라 어항 내의 사육환경(Turbidity, pH)을 관상어 사육에 유익하게 유지 시켰다. 결국, 본 연구에서 개발된 항균강화유리 어항의 사용은 그동안 지속적으로 제기된 항생제 오염용과 그로 인한 항생제 내성균 및 변종 발생 등 다양한 부작용에 효율적으로 대처할 수 있으며, 환수 및 녹조 제거 등 어항의 관리 측면에서도 편리성을 제공할 것으로 생각된다. 향후 추가적인 연구를 통해서 다양한 항생제 내성균 및 변종들에 대한 항균력 검증과 유익균에 대한 영향, 사육되는 관상어 체내에 ABM 축적 양 등의 연구 결과가 제시된다면 어항뿐만 아니라 대규모 시설을 갖춘 아쿠아리움이나 어류양식에 사용되는 수조에도 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

또한, 본 연구에서 사용된 항균강화유리는 열적 강화를 통해 일반유리를 강화유리로 만드는 기존 공정에 쉽게 적용하여 생산되기 때문에 항균물질 코팅에 따른 공정 기간 및 생산단가의 상승을 최대한 줄일 수 있어서, 높은 가격경쟁력으로 국내 및 해외 시장에 진출할 수 있으리라 생각한다.

### References

- [1] D. Y. Kim, J. H. Kang, "Improvement of Ornamental Fish Industry through analysis of recognition and market scale of the Ornamental Fish", *J Fish Bus Adm*, Vol.43, No.3, pp.89-106, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.12939/FBA.2012.43.3.089>
- [2] D. Y. Kim, M. M. Jung, "A Study on Development Direction for Ornamental Fish Industry in Korea", *Jour Fish Mar Sci Edu*, Vol.23, No.4, pp.626-641, Dec. 2011.
- [3] D. Y. Kim, J. H. Kang, S. J. Kim, Policy Direction for a High Value Added Ornamental Fish Industry, Policy Report, Korea Maritime Institute, pp.9-10.
- [4] K. T. Cho, Y. C. Kim, W. J. Kwon, H. D. Jeong, "Characterization of Tetracycline-Resistant Genes of Staphylococci isolates from Human and Marine Environment", *JFMSE*, Vol.28, No.1, pp.59-68, Feb. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.1.59>
- [5] K. Trzcinski, B. S. Cooper, W. Hryniewicz, C. G. Dowson, "Expression of resistance to tetracyclines in strains of methicillin-resistant Staphylococcus aureus", *J Antimicrob Chemother*, Vol.45, No.6, pp.763-770, Jun. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1093/jac/45.6.763>
- [6] F. J. Schmitz, A. Krey, R. Sadurski, J. Verhoef, D. Milatovic, A. C. Fluit, European SENTRY Participants, "Resistance to tetracycline and distribution of tetracycline resistance genes in European Staphylococcus aureus isolates", *J Antimicrob Chemother*, Vol.47, No.2, pp.239-240, Feb. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1093/jac/47.2.239>
- [7] K. T. Cho, Y. J. Hwang, S. W. Lee, K. I. Kim, H. D. Jeong, "Distribution of Tetracycline-Resistance Genes detected from isolates of cultured fishes in Gyeonggi-do", *J Fish Pathol*, Vol.34, No., pp.39-46, Jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.7847/jfp.2021.34.1.039>
- [8] S. H. Yoon, L. J. Jun, Y. J. Kim, J. W. Jin, H. D. Jeong, "Comparative risks of resistant microorganisms in the intestinal track of imported freshwater ornamental fish and cultured marine fish", *J Fish Pathol*, Vol.25, No.2, pp.77-84, Aug. 2012. DOI: <https://doi.org/10.12939/FBA.2012.43.3.089>
- [9] M. R. Mulvey, D. Boyd, A. Cloeckaert, R. Ahmed, L. K. Ng, "Emergence of multidrug-resistant Salmonella Paratyphi B dT+, Canada", *Emerg Infect Dis*, Vol.10, No.7, pp.1307-1310, Jul. 2004. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid1007.030862>
- [10] R. S. Levings, D. Lightfoot, R. M. Hall, S. P. Djordjevic, "Aquariums as reservoirs for multidrug-resistant Salmonella Paratyphi B", *Emerg Infect Dis*, Vol.12, No.3, pp.507-510, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid1203.051085>
- [11] S. Chernousova, M. Epple, "Silver as antibacterial agent: ion, nanoparticle, and metal", *Angew Chem Int Ed Engl*, Vol.52, No.66, pp.1636-1653, Feb. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.201205923>
- [12] K. Chaloupka, Y. Malam, A. M. Seifalian, "Nanosilver as a new generation of nanoparticle in biomedical applications", *Trends Biotechnol*, Vol.28, No.11, pp.580-588, Nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.07.006>
- [13] M. M. Almoudi, A. S. Hussein, M. I. Abu Hassan, N. Mohamad Zain, "A systematic review on antibacterial activity of zinc against Streptococcus mutans", *Saudi Dent J*, Vol.30, No.4, pp.283-291, Oct. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdent.2018.06.003>
- [14] X. Fan, L. Yahia, E. Sacher, "Antimicrobial Properties of the Ag, Cu Nanoparticle System", *Biology (Basel)*, Vol.10, No.2, pp.137, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology10020137>
- [15] J. S. Kim, "Development of Low-Cost High-Performance

Antibacterial Tempered Glass”, *J Korea Acad Industr Coop Soc*, Vol.22, No.1, pp.562-567, Jan. 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.1.562>

- [16] R. M. Dawson, “The toxicology of microcystins” *Toxicon*, Vol.36, No.7, pp.953-962, Jul. 1998.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0041-0101\(97\)00102-5](https://doi.org/10.1016/s0041-0101(97)00102-5)
- [17] H. S. Lee, G. W. Jeong, C. Choi, G. Ahn, J. W. Nah, “Flocculation and Algicidal Effect of Mixture of Red-soil or Clay and Chitosan against Harmful Green-Tide”, *J Chitin Chitosan*, Vol.22, No.1, pp.47-53, Mar. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.17642/jcc.22.1.8>
- [18] J. H. Byun, J. H. Joo, B. H. Kim, M. S. Han, “Application Possibility of Naphthoquinone Derivative Nq 4-6 for Mitigation of Winter Diatom Bloom”, *Ecology and Resilient Infrastructure*, Vol.2, No.3, pp.224-236, Sep. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.17820/eri.2015.2.3.224>
- [19] M. R. Sengco, D. M. Anderson, “Controlling harmful algal blooms through clay flocculation”, *Eukaryot Microbiol*, Vol.51, No.2, pp.169-172, Mar. 2004  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2004.tb00541.x>
- [20] C. S. Lee, C. Y. Ahn, H. J. La, S. Lee, H. M. Oh, “Technical and Strategic Approach for the Control of Cyanobacterial Bloom in Fresh Waters”, *Korean Journal of Environmental Biology*, Vol.31, No.4, pp.233-242, Dec. 2013  
DOI: <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.4.233>
- [21] H. J. Choi, “Removal of *Microcystis aeruginosa* using Pine Needle Extracts”, *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol.33, No.1, pp.8-14, Jan. 2017  
DOI: <https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.33.1.8>
- [22] J. H. Huh, J. W. Ahn, “A perspective of chemical treatment for cyanobacteria control toward sustainable freshwater development”, *Environmental Engineering Research*, Vol.22, No.1, pp.1-11, Mar. 2017  
DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2016.155>
- [23] J. J. Qin, M. H. Oo, K. A. Kekre, F. Knops, P. Miller, “Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water” *Separation and Purification Technology*, Vol.49, No.3, pp.295-298, May. 2006  
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.seppur.2005.09.016>

김 준 섭(Jun-Sub Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 한림대학교 의과대학 (의학박사)
- 2005년 8월 ~ 2009년 2월 : 미국 스크립스 연구소 (포스트닥)
- 2009년 3월 ~ 2012년 8월 : 한림대학교 의과대학 연구교수
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 생명공학과 부교수

<관심분야>

생화학, 면역학, 세포생물학