

친환경 항균성 구리의 수질 내 생물학적 오염원 제거 가능성 연구

지근호
부경대학교 기초과학연구소

The Studies on the Removal of Harmful Microorganisms in Water by Using Antimicrobial Copper

Keunho Ji

Basic Science Research Institute, Pukyong National University

요약 기후변화와 도시화에 따른 오염으로 인하여 대기 및 토양이 오염되었고, 이들 오염물질이 점오염원과 비점오염원을 통하여 수질 내로 흘러 들어가면서 수질오염이 심각한 수준에 이르렀다. 이러한 수질 내 생물학적 오염원 제거를 위하여 간편하면서도 효율이 높은 수질 정화용 필터의 개발이 요구되는 실정이며, 이를 위하여 항균력을 가지고 있는 구리를 이용하여 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 수질오염의 기준으로 사용되는 대장균 외 주요 병원성 균 4종 (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*)을 사용하였으며, 스트립 형태의 구리선 0.5g, 1g, 2g을 이용하여 직경 2cm의 구 형태로 제작하였다. 항균력 확인을 위하여 각 병원성 균을 접종한 후 구리공을 장착한 다음, 99% 이상의 항균력을 가지는 조건을 조사하였다. 연구 결과 0.5g의 구리선으로 만든 구리 공을 최소 20분간 반응시켰을 때 5종의 병원성균에 대해서 99% 이상의 성장 억제능이 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 세포 실험 등의 추가 실험이 진행된다면 수질 정화용 필터로 사용되기에 충분할 것으로 판단되며, 이를 통해 공장 및 도시 폐수 뿐만 아니라 축산 및 양식 산업 분야에 광범위하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Air and soil are being contaminated by the environmental pollution as a result of climate change and urbanization, resulting in water pollution reaching serious levels. In this studies, we investigated the use of antimicrobial copper for the removal of biological pollutants from water system. Specifically, we tested its effects against *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *K. pneumoniae* and *P. aeruginosa*. Made a sphere shape having a diameter of 2cm using a strip-shaped copper wire of 0.5g, 1g and 2g. And then, to confirm the antimicrobial activities, each copper ball was equipped in the broth which inoculated each pathogens. The results showed that bacterial growth of the five test bacteria was inhibited by more than 99% after reaction with a 0.5 g copper ball for at least 20 minutes. Based on the these results, if perform the further experiment such cytotoxicity, it is expected that will be enough to be used as a filter for water quality purification. The developed technique is expected to be widely applied in various industries

Keywords : Antimicrobial copper, Eco-friendly materials, Pathogens, Water purification, Water filter

1. 서론

안전하고 위생적인 식수 공급은 인간의 삶에 필요한 요소이다. 하지만 수문학적 변동성, 기후변화에 따른 오

염, 도시화 등으로 인해 수많은 사람, 특히 개발 도상국의 경우, 물 부족과 열악한 위생으로 인한 질병에 노출되어 있다 [1]. 산업의 발달에 따른 대기과 토양오염은 점오염원과 비점오염원을 통해 최종적으로 수질오염이 발

이 성과는 2018년도 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2017R1D1A1B03036405).

*Corresponding Author : Keunho Ji (Basic Science Research Institute, Pukyong Nat. Univ.)

Tel: +82-10-3852-2948 email: jkh@pknu.ac.kr

Received June 12, 2018

Revised (1st July 11, 2018, 2nd August 7, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

생하게 된다. 또한, 축산업 및 양식업의 대규모화로 인한 분뇨배출량의 급증으로 인해 더욱 심각해졌다. 그뿐만 아니라 항생제 오남용으로 인해 해마다 증가하는 항생제 내성 미생물이 하천과 연안에 그대로 노출되어 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 수질 환경의 오염이 진행되면서 부영양화, 생태계 파괴 등 다양한 환경 변화가 발생하고 있으며 [2], 이를 해결하기 위하여 환경 규제 및 환경 회복에 관한 움직임이 전 세계적으로 가속화되고 있다 [3].

현재 각종 산업 분야에서 수질오염이 더욱 심각해지는 것을 방지하기 위하여 다양한 수질 정화기술이 이용되고 있다. 이러한 수질 정화기술에는 유기물의 완전산화와 수분의 완전증발이 가능하고, 반응 후에도 오기가 발생하지 않는 고온호기발효법 [4], 직류전원을 통전시켜 산화-환원반응으로 오염물질을 분해하는 전기 분해법 [5], 오존이 갖는 강력한 산화력을 이용하여 유기물을 산화 분해하는 오존처리법 [6], 고도산화기술 등이 이용되고 있다. 하지만 제거기술 확보 및 유지의 어려움, 추가 장비 설치 및 유지보수비용 발생 그리고 높은 부식성과 독성을 가지는 문제점과 부작용이 발생하고 있다. 이로 인해 수질 정화기술 및 공법에 적용되는 기초 또는 주재료로서 유지비가 적게 들고 쉽게 구할 수 있으며 독성이 없는 환경친화적 소재 [7]에 대한 소비자의 수요가 증가하고 있으며, 환경 관련 법규에 따라 수질 정화기술에 친환경 재료가 요구되고 있는 추세이다 [8]. 최근에는 티타늄 스크램을 활용한 광촉매 필터 [9], 마이크로화이버 필터 [10] 등을 이용한 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 이러한 사회적 요구와 기존 제품의 문제점을 해결하기 위하여 친환경 소재인 구리를 기본 재료로 선정하였다. 친환경 소재인 항균동은 미국의 환경보호청 (Environmental Protection Agency)에 등록된 유일한 티치 표면 소재로서 구리와 구리 함량 60% 이상의 구리 합금을 말하며, 구리 자체가 지닌 천연 항균성으로 교차 오염 등 전염성 감염 질환 예방에 효과적이다 [11]. 이미 예전부터 은 이온 (Ag^+), 주석 이온 (Sn^{2+}), 구리 이온 (Cu^{2+}) 등 중금속 이온은 항균효과를 가지는 것으로 알려져 있으며, 인간이나 동물에게 유해하지 않은 은이나 구리는 식기, 젓가락, 치과 치료 등 일상생활에 다양하게 이용되어 왔다. 그중 구리는 은이나 다른 금속에 비해 경쟁력을 갖춘 금속으로 NO_x , SO_x 제거, 중금속 흡착 및 대기 중의 유해성분 제거에 많이 이용되는 금속으로 알

려져 있다 [11].

본 연구는 수질 내 생물학적 오염원 제거를 위한 기초 연구로서 항균력을 지닌 스트립 형태의 구리선을 구 형태로 제조하여 미생물 배양액에 첨가하여 생물학적 오염원 제거 유무를 확인하였으며, 일정량의 구리에 대한 최적 항균 시간을 측정하였다. 99% 이상의 항균력을 나타낸 최소의 구리양과 반응 시간을 알아냄으로써 시장 경쟁력을 갖춘 수질용 필터 개발 연구에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1 구리 공 (Copper ball)의 제작

유해 미생물의 생장 억제를 확인하기 위하여 스트립 형태의 구리선 0.5g, 1g, 2g을 직경 2cm의 공 (ball) 형태로 각각 제작하였다 (Figure 1).

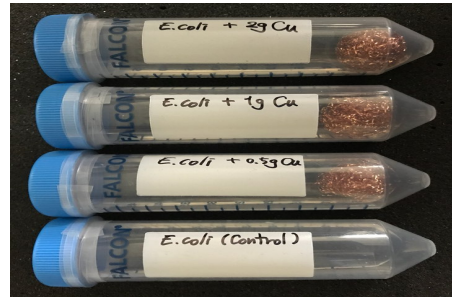


Fig. 1. Reaction buffer equip with copper ball

2.2 항균력 측정

2.2.1 균주배양

제작한 구리 공의 항균력을 측정하기 위하여 5종의 병원성 미생물 (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*)을 NB (Nutrient broth) 배지에 접종 후 37°C, 150rpm 조건에서 24시간 전배양하였다. 이후 각각의 균주를 nutrient broth에 6.4×10^8 CFU/ml이 되도록 배양한 후 실험에 사용하였다.

2.2.2 반응 시간에 따른 항균력 측정

반응 시간에 따른 구리 공의 항균력을 측정하기 위하여 균주 배양액을 6.4×10^5 CFU/ml이 되도록 희석한

후, 반응액 20mL에 최종 농도 $1\sim5 \times 10^5$ CFU/ml이 되도록 조절하여 50mL conical tube에 접종하였다. 대조군은 항균력 측정의 비교를 위한 각각의 병원성 미생물만을 접종하였으며, 실험군은 각각의 병원성 미생물과 구리공을 무게별로 나누어 1개만 장치하여 구리양에 따른 항균 활성을 측정하였다 (Figure 2). 장치가 끝난 실험군과 대조군을 37°C, 150rpm에서 배양하였다. 항균력 측정 시간을 접종 초기, 반응 후 30분, 1시간, 2시간, 24시간으로 설정하여 반응 후 샘플을 채집하였으며, 반응액을 10진법으로 희석하여 NA (Nutrient Agar)에 도말 후 37°C에서 24시간 배양 후 개체수를 계수하였다. 유효범위는 30~300 colony로 설정하여 계수하였으며 모든 실험은 3회 반복실험 하였다.

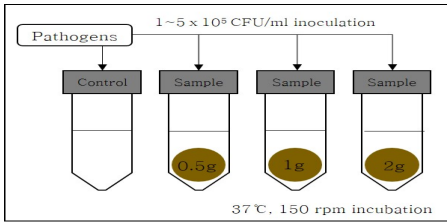


Fig. 2. Experimental diagram

2.2.3 최소 반응 시간 측정

최소 구리양에 대한 최소 반응 시간 측정을 진행하였다. 측정 조건은 반응 시간에 따른 항균력 측정에서와 동일한 조건으로 진행하였으며, 실험군으로 0.5g의 구리공을 장치하였다. 항균력 측정 시간은 반응 후 10분, 20분으로 설정하여 해당 시간에 샘플을 채집하여 배양하였다.

3. 결과

3.1 반응 시간에 따른 항균력 측정

3종의 균 (*E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*)을 0.5g, 1g, 2g 구리 공(copper ball)이 포함된 Distilled water에 접종하여 시간별로 배양한 결과는 다음과 같다 (Table 1). 배양 결과 3종의 균 모두 0.5g의 구리 공이 첨가된 실험군에서 균이 증식하지 않았고 30분 이상 배양 시 99.9% 이상의 항균력을 가지는 것을 확인하였다 (Figure 3, 4, 5). 항균력 측정을 통해 확인된 구리 최소 첨가량을 이용하여 30분 이내 최소 반응 시간 측정 실험을 진행하였다.

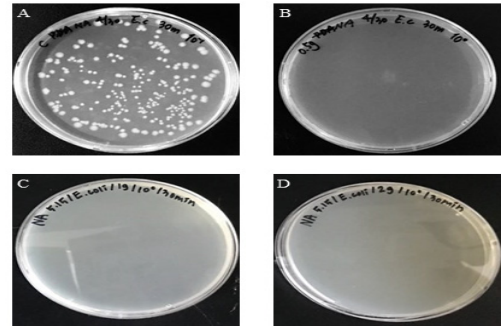


Fig. 3. *E. coli* growth inhibition by reaction time. A; Bacterial growth (Control), B; Equip with 0.5g copper ball, C; Equip with 1g copper ball, D; Equip with 2g copper ball.

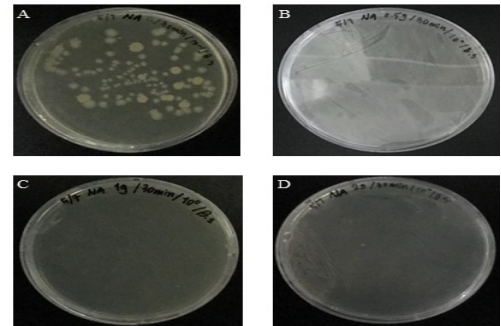


Fig. 4. *B. subtilis* growth inhibition by reaction time. A; Bacterial growth (Control), B; Equip with 0.5g copper ball, C; Equip with 1g copper ball, D; Equip with 2g copper ball.

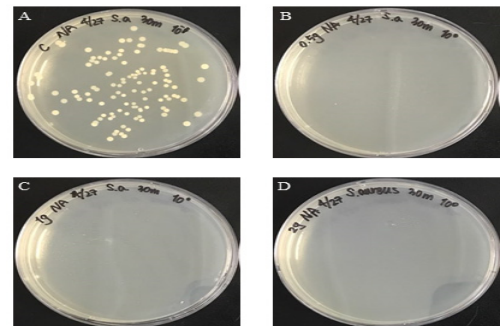


Fig. 5. *S. aureus* growth inhibition by reaction time. A; Bacterial growth (Control), B; Equip with 0.5g copper ball, C; Equip with 1g copper ball, D; Equip with 2g copper ball.

Table 1. Antimicrobial activities by reaction time

Reaction time (hr)		Colony count (CFU/ml)				
		Initial	0.5	1	2	24
<i>E. coli</i> control strain		26×10^3	74×10^3	55×10^4	72×10^4	29×10^5
Copper reaction amount	0.5g	-	0	0	0	0
	1.0g	-	0	0	0	0
	2.0g	-	0	0	0	0
<i>B. subtilis</i> control strain		18×10^3	23×10^3	54×10^3	72×10^3	174×10^4
Copper reaction amount	0.5g	-	0	0	0	0
	1.0g	-	0	0	0	0
	2.0g	-	0	0	0	0
<i>S. aureus</i> control strain		26×10^3	35×10^3	78×10^3	20×10^4	116×10^4
Copper reaction amount	0.5g	-	0	0	0	0
	1.0g	-	0	0	0	0
	2.0g	-	0	0	0	0

3.2 최소 반응 시간 측정

앞서 확인된 3종의 균 외에 2종의 균 (*K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*)을 추가로 선정하여 0.5g 구리 공 (copper ball)이 포함된 Distilled water에 접종하여 시간별로 배양한 결과는 다음과 같다 (Table 2). 10분 반응 시 *B. subtilis*와 *S. aureus*의 대조군과 구리 공을 첨가한 실험군에서 많은 수의 균이 증식하였지만, *P. aeruginosa*의 실험군에서는 균이 증식하지 않는 것을 확인하였다 (Figure 6, 7, 8). 5종의 균 중, *P. aeruginosa*에서 가장 단시간에 99.9% 이상의 항균력을 나타내었다 (Figure 9). 20분 반응 결과에서 *K. pneumoniae*의 실험군에서는 균이 증식하지 않은 것을 확인하였고, 5종의 균 중, *P. aeruginosa* 다음으로 가장 단시간에 99.9%의 이상의 항균력을 나타내었다 (Figure 10). *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*에 대한 항균력은 99% 이상으로 나타났다.

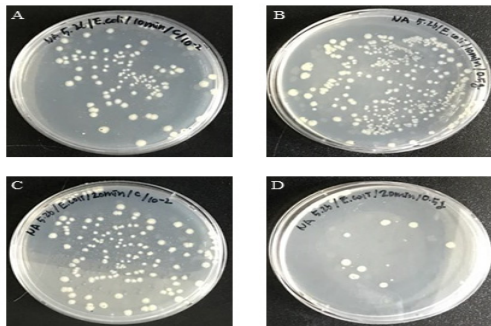


Fig. 6. Minimal reaction time of *E. coli* with minimum copper content. A; Bacterial growth after 10 minute reaction, B; Equip with 0.5g copper ball, C; Bacterial growth after 20 minute reaction, D; Equip with 0.5g copper ball.

Table 2. Minimal reaction time (min) at minimum copper content (0.5g).

Reaction time (min)		Colony count (CFU/ml)	
		10	20
<i>E. coli</i>	Control	130×10^3	157×10^3
	Cu reaction	38×10^2	16×10^1
<i>B. subtilis</i>	Control	57×10^3	90×10^3
	Cu reaction	TNTC	14×10^1
<i>S. aureus</i>	Control	34×10^4	43×10^4
	Cu reaction	TNTC	156×10^1
<i>P. aeruginosa</i>	Control	108×10^3	164×10^3
	Cu reaction	0	0
<i>K. pneumoniae</i>	Control	60×10^3	32×10^4
	Cu reaction	22×10^1	0

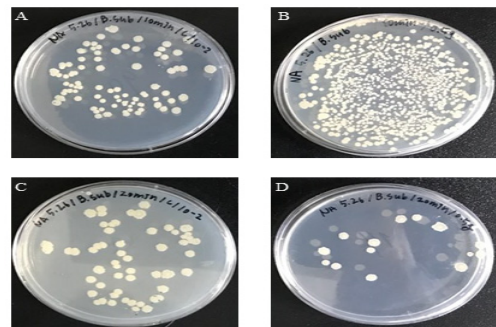


Fig. 7. Minimal reaction time of *B. subtilis* with minimum copper content A; Bacterial growth after 10 minute reaction, B; Equip with 0.5g copper ball, C; Bacterial growth after 20 minute reaction, D; Equip with 0.5g copper ball.

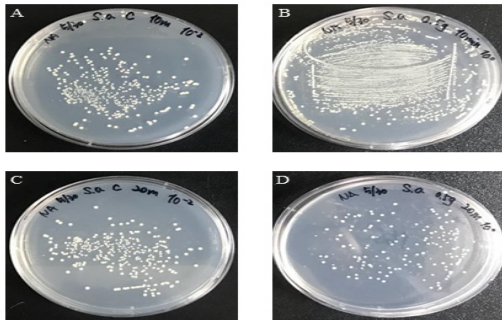


Fig. 8. Minimal reaction time of *S. aureus* with minimum copper content A; Bacterial growth after 10 minute reaction, B; Equip with 0.5g copper ball, C; Bacterial growth after 20 minute reaction, D; Equip with 0.5g copper ball.

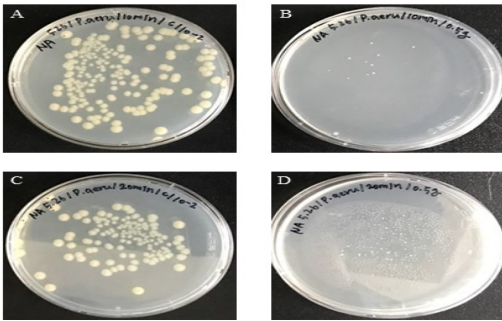


Fig. 9. Minimal reaction time of *P. aeruginosa* with minimum copper content A; Bacterial growth after 10 minute reaction, B; Equip with 0.5g copper ball, C; Bacterial growth after 20 minute reaction, D; Equip with 0.5g copper ball.

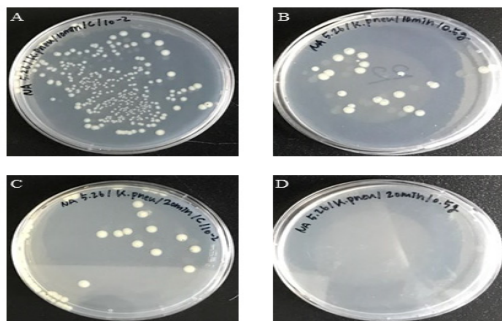


Fig. 10. Minimal reaction time of *K. pneumoniae* with minimum copper content A; Bacterial growth after 10 minute reaction, B; Equip with 0.5g copper ball, C; Bacterial growth after 20 minute reaction, D; Equip with 0.5g copper ball.

4. 고찰

본 연구는 스트립 형태의 구리선을 이용하여 수질 정화용 필터로서의 개발 가능성에 대한 실험을 진행한 것으로, 수질 환경기준에 지표로 사용되는 대장균 외 4종의 병원성 미생물을 대상으로 항균력을 측정하였다. 수질오염 기준의 경우 총 대장균군에 대한 항목만 지정되어 있으나, 국립환경과학원에서 병원성 미생물에 의한 오염도를 수질 기준으로 추가하여야 한다는 연구가 보고가 있었다 [12]. 따라서 본 연구에서는 대장균 외에 질병을 유발할 수 있는 주요 병원균에 대한 성장 억제능을 포함하여 연구를 진행하였다. 일정량의 구리양에 대한 항균력 측정과 최소 구리양에 대한 최소 반응 시간 설정의 총 2단계로 연구를 진행하였다.

실험 결과, 0.5g, 1g, 2g의 구리 공을 장치하여 미생물을 30분간 반응시켰을 때 99.9% 이상의 항균 활성을 나타내었다. 이 결과는 용출된 구리 이온이 균의 단백질과 결합해서 균 세포를 파괴하여 균의 증식을 억제하거나 금속의 촉매작용에 의해 활성산소를 생성하여 균의 증식을 억제한다는 연구에서 밝혀진 것과 같은 결과이다 [13]. 1단계 실험을 통해서 3가지의 병원성 균이 0.5g으로 만든 직경 2cm의 구리공에서 30분간 반응할 경우 99.9% 이상 사멸한다는 것을 확인하였다. 그러므로 2단계 실험에서는 두 가지 병원성 균을 추가로 선정하고 1단계 실험을 통해 밝혀진 0.5g 구리공을 기본 조건으로 설정하였으며, 반응 시간은 10분 간격으로 설정하여 항균작용이 가능한 최소 반응 시간을 조사하였다. 실험 결과 *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus*에서는 20분 이상 30분 이하의 반응 시간 하에서 99.9% 이상의 항균력을 확인하였으며, *P. aeruginosa*에서는 10분 이하, *K. pneumoniae*에서는 20분 이하의 반응 시간이 필요한 것으로 확인되었다. 표 3에서 보듯이 *B. subtilis*와 *S. aureus*의 경우 10분 반응 시 TNTC로 나타났다. 이는 두 균주가 Gram positive 균으로, 나머지 3개의 균주에 비해서 긴 반응 시간이 필요한 이유가 세포벽 구성성분의 차이 때문일 것으로 생각된다. 나머지 3개의 Gram negative 균 중 *E. coli*가 *P. aeruginosa*와 *K. pneumoniae*보다 긴 반응 시간이 필요하였다. 이는 같은 Gram negative 균이기는 하나 세대시간의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 하지만 총 5종의 병원성 균을 별도의 처리 없이 구리에 노출 시킨 것으로 30분 이내에 99.9% 이상의 항균 활성을 나타낸 것

은, 스트립 형태의 구리선을 여러 번 꼬아서 망 형태로 만든 후 실내 공기정화용 필터로서의 항균 활성을 측정 한 연구 결과에서와 같은 것으로 단순한 구 형태의 구리 공을 사용하지 않고 스트립 형태의 구리 선을 공 형태로 만들어 반응 면적이 넓어졌기 때문인 것으로 생각된다 [14].

현재 항균 활성을 가지는 것으로 알려진 은을 나노 형태로 제작하여 필터에 코팅한 다음 효과를 증명하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 polypropylene water filter에 은나노를 코팅하여 항균력을 증명한 연구가 진행되었으나, 이 연구는 *E. coli*에 대한 항균효과만이 보고되었다 [15]. 또한, 공기정화용 필터 연구에서 은나노로 코팅한 카본필터의 항균 활성 증대 연구가 진행되었으나 이 역시 대상 균주를 대장균에 한정하여 실험하였고, 카본필터 자체만으로 85%의 살균능을 나타내기 때문에 은나노 자체에 의한 효과라고 생각할 수 없다 [16]. 또한, 제조 은나노 물질의 경우 인체 유해성 논란이 있어 수질용 필터로 사용하기에 부작용이 있을 수 있을 것으로 생각된다 [17]. 반면 본 연구에서는 대장균뿐만 아니라 기타 유해한 4종의 병원성균을 대상으로 추가적인 연구를 진행하였으며, 유의미한 결과를 도출하였다. 항균동의 경우 미국 환경보호청에 등록되어 있을 정도로 우수한 항균력을 가진다. 이러한 항균동을 이용하여 음료수의 이송관으로 사용할 경우 *E. coli* O157의 증식을 억제한다는 연구가 수행되었다 [18]. 또한, 구리가 함유된 물을 마셨을 경우 발생할 수 있는 문제점에 관한 연구도 진행되었으며, 영유아에서 발생하는 설사와 연관이 없는 것으로 나타났다 [19]. 이를 통해 구리가 이미 가지고 있는 항균 활성을 이용하여 수질 내의 생물학적 오염원을 제거하는 것이 가능하며, 구리의 이온화로 인해 발생하는 문제점은 미비하므로 수질 개선용 필터로서의 사용에 문제점이 없을 것으로 생각된다. 하지만, 본 연구는 실험실 수준에서의 활성을 검증한 결과로써, 추가로 현장 적용 가능성에 관한 연구가 이어져야 한다. 그러므로, 본 연구에서 도출한 최대 항균력을 나타낸 최소한의 구리양과 반응 시간의 결과를 이용해 산업 환경 규모에 맞춰 응용 연구가 진행된다면 경제적인 측면에서 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

구리를 이용한 필터는 공장과 도시 폐수, 축산 폐수 그리고 양식장 수처리 장치 기술에 적용 가능하다. 또한, 해양 생태계 교란의 원인으로 지목되어 있는 선박 평형

수의 정화에도 이용 가능할 것으로 생각된다. 본 연구 결과를 바탕으로 대용량 수질 정화용 필터 개발에 관한 연구 및 세포 독성 실험을 통한 식수용 필터 개발 연구를 진행한다면 고효율 다목적 수질 필터 개발이 가능할 것으로 예상된다.

5. 결론

사회적 문제로 인식되고 있는 환경오염 중 생물학적 수질 오염원 제거 가능성 연구를 진행하였다. 이를 위하여 구리 선을 구 형태로 제작하였으며, 5종의 병원성 균을 대상으로 성장 억제능을 측정하였다. 연구 결과, 각 미생물을 현탁한 20mL의 오염수에 0.5g의 구리선을 이용하여 만든 직경 2cm의 구리 공 장착 조건 하에서 99% 이상의 성장 억제능을 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 현장 적용 가능성 연구를 진행한다면 수계의 생물학적 오염원 제거 기술을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] S. Naidoo, A. O. Olaniran. "Treated Wastewater Effluent as a Source of Microbial Pollution of Surface Water Resources" *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol.11, No.1 pp.249-270, 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/ijerph110100249>
- [2] S. J. Park, B. J. Kim, J. M. Rhee, "Antibacterial Activity of Activated Carbon Fibers Containing Copper Metal", *Polymer*, Vol.27, No.3 pp.235-241, 2003.
- [3] W. J. Kim, H. W. Do, W. S. Kim, W. Y. Chun, "An Experimental Study on Water-Purification Properties and the Development of Green Building Materials in Moss Bricks Using Effective Micro-Organisms", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.28, No.5 pp.103-110, 2012.
- [4] K. H. Jeon, S. Hamanaka, K. Nakano, N. Chiba, O. Nishimura, "The temperature dependency of swine waste decomposition rate in Thermophilic Oxidic Process", *Proceedings of Korean Society of Water Quality*, pp.F49-F52, 2003.
- [5] G. S. Kil, S. K. Choi, D. W. Park, S. W. Kim, S. G. Cheon, "Analysis of disinfection performance of UV LEDs for a phytoplankton", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.33, No.6 pp.959-964, 2009.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2009.33.6.959>
- [6] W. J. Kowalski, W. P. Bahnfleth, T. S. Whittam, "Bactericidal Effects of High Airborne Ozone Concentrations on Escherichia coli and Staphylococcus

- areus”, *Ozone: Science & Engineering*, Vol.20, No.3 pp.205-221, 2008.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/01919519808547272>
- [7] M. C. Shin, “Eco-friendly material technology”, *Ceramist*, Vol.9, No.2 pp.12-17, 2006.
- [8] B. J. Kim, “Evaluation of water purification ability using vegetation and filter media for purification of the hydrosphere”, Graduate School of KyungHee university, 2015. Available From: <http://www.riss.kr/link?id=T13745351>.
- [9] R. Murugan, C. G. Ram, “Energy efficient drinking water purification system using TiO₂ solar reactor with traditional methods”, *Materials Today: Proceedings*, Vol.5, No.1 pp.415-421, 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.100>
- [10] S. S. Lal, S. T. Mhaske, “AgBr and AgCl nanoparticle doped TEMPO-oxidized microfiber cellulose as a starting material for antimicrobial filter”, *Carbohydrate Polymers*, Vol.191, pp.266-279, 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.011>
- [11] G. Grass, C. Rensing, M. Solioz, “Metallic Copper as an Antimicrobial Surface”, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.77, No.5 pp.1541-1547, 2011.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1128/AEM.02766-10>
- [12] S. J. Park, S. H. An, “A Study on Improvement of Water Quality Standards of Microorganisms (General Bacteria) in Water to Eat”, *NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 2010. Available From: <http://devkiss.kstudy.com/public/public3-article.asp?key=60030582>
- [13] K. H. Yoo, “Fan coil unit with copper coating Antibacterial technology”, *Air cleaning technology*, Vol.17, No.2 pp.46-47, 2004.
- [14] D. W. Kim, D. H. Je, K. Ji, “The Removal of Indoor Suspended Microorganisms of Eco-friendly Antimicrobial Copper Net Filter”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.4 pp.311-316, 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.4.311>
- [15] F. Heidarpour, W. W. A. K. Ghani, F. R. B. Ahmadun, S. Sobri, M. Zaragar, M. R. Mozafari, “Nano silver-coated polypropylene water filter: II. Evaluation of antimicrobial efficiency”, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, Vol.5, No.3 pp.797-804, 2010.
- [16] J. Heo, S. Y. Nam, J. H. Kang, J. H. Song, B. H. Kang, S. Han, “Antibacterial Characteristics of Silver Nano-Particles Attached to Activated Carbon Filter”, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.21, No.10 pp.583-589, 2009.
- [17] N. H. Hong, Y. J. Jung, J. W. Park, “Ecotoxicity Assessment of Silver Nanomaterials with Different Physicochemical Characteristics in Diverse Aquatic Organisms”, *Korean Journal of Environmental Biology*, Vol.34, No.3 pp.183-192, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.11626/KJEB.2016.34.3.183>
- [18] V. P. Sudha, S. Ganesan, G. P. Pazhani, T. Ramamurthy, G. B. Nair, P. Venkatasubramanian, “Storing Drinking-water in Copper pots Kills Contaminating Diarrhoeagenic Bacteria”, *Journal of Health, Population, and Nutrition*, Vol.30, No.1, pp.17-21, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.3329/jhpn.v30i1.11271>
- [19] R. Pettersson, F. Rasmussen, A. Oskarsson, “Copper in drinking water: not a strong risk factor for diarrhoea among young children. A population based study from Sweden”, *Acta Paediatrica*, Vol.92, No.4 pp.473-480, 2003.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1651-2227.2003.tb00581.x>

지 근 호(Keunho Ji)

[정회원]



- 2008년 2월 : 부경대학교 미생물학과 (이학석사)
- 2016년 2월 : 부경대학교 미생물학과 (이학박사)
- 2016년 3월 ~ 2017년 8월 : 부경대학교 기초과학연구소 전임연구원
- 2017년 9월 ~ 현재 : 부경대학교 기초과학연구소 연구교수

<관심분야>

미생물학, 생화학, 균학