# 상·하수도용 친환경 항균 파이프 소재 개발에 관한 연구

갈준총\*, 무귀영\*, 김민수\*, 최낙정\*<sup>,†</sup>
\*전북대학교 기계설계공학부
<sup>†</sup>e-mail:njchoi@jbnu.ac.kr

# A Study on the Development of Environment-Friendly Antibacterial Pipe Materials for Water and Sewage

Jun-Cong Ge\*, Gui-Rong Wu\*, Min-Soo Kim\*, Nag-Jung Choi\*\*
\*Division of Mechanical Design Engineering, Jeonbuk National University

요 약

본 연구에서 여러 가지 항균제의 항균력을 측정하기 위해 그람음성균(Escherichia coli, E. coli; ATCC 52922)과 그람양성균(Staphylococcus aureus, S. aureus; ATCC 29231) 2종의 균주를 사용하였다. 그 결과 나노구리 분말은 그암음성균과 그람양성균에 대한 제일 높은 항균성을 나타내었다. 또한 전기방사법을 이용하여 PU 폴리머와 항균제를 성공적으로 결합시켰으며, 전자현미경(TEM)과 주사 전자현미경(SEM)으로 복합섬유의 형태특징을 관찰하였다.

## 1. 서론

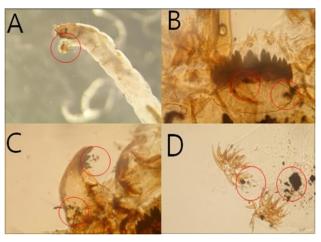
물은 많은 병원체의 공통된 자생지이다. 수질이 오염되면 대량의 세균 생성이 사람과 동물의 생명 안전을 심각하게 위협할 수 있다[1]. 수질오염이란 가정에서 쓰고 버리는 더러운물, 공장에서 버리는 쓸모없는물, 농촌의 가축분뇨와 농약에오염된나쁜물이 하천이나 호수에 들어오게 되어물이 오염되는 것을 말한다. 보통 우리는물을 오염시키는 것은 공장에서 나오는 쓸모없는물 이라고 알고 있으나, 가장 중요한 수질오염의원인은 가정에서 버리는 더러운물, 즉 생활하수 이다.

산업 발달로 인하여 다양한 제품의 개발 생산에 따라 각종 오염물질이 산업폐수로 배출되고 있다. 생산 활동에 사용되고 있는 물질은 세계적으로 약 10만 여종, 우리나라에서도 39,000여종을 사용하고 있으며, 매년 400여종의 신규물질이 유입 또는 제조되고 있다. 이러한 물질의 사용에 따라 배출되는 주요 수질 유해 물질 만도 수백여 종에 이르는 것으로 추산하고 있어 산업계 폐수처리 문제가 심각한 환경문제로 대두되고 있다.

우리나라 국민의 수돗물 만족도는 59%지만 직접 음용률은 5% 수준으로, 영국, 미국, 일본 등 음용률이 50%를 넘는 선진 국에 비해 턱없이 모자란 것으로 알려져 있다. 현재. 국내에서

는 건강한 수돗물을 만드는데 매년 5조원이 넘는 예산을 투 입하고 있으나 효과는 미미한 수준이다. 양질의 수돗물을 안 전하게 공급받기 원하는 소비자들의 욕구가 증가하고 있으 나, 수돗물 급·배수계통에서 처리수의 수질이 저하 될 수 있 는 가능성으로 인해 급·배수시설의 운영 및 유지 관리에 대한 중요성이 부각되고 있다. 국내 수도관의 경우, 부식과 함께 생 물막이 많이 형성되고 있는 점을 봐서 수돗물에 세균이 유입 되고 있으며, 더불어 수돗물의 평균온도가 17℃인 점을 볼 때 생물막이 쉽게 형성되는 적절한 여건을 갖추고 있다. 또한 2020년 7월 1일 그림 1에서 보는 바와 같이 계양구에서 최초 로 유충이 검출되는 것을 필두로 하여 서구의 공촌정수장과 부평정수장을 각각 쓰는 인천 북부권 일원을 중심으로 수돗 물에 유충이 발견되는 사건을 가리킨다. 해당 사건이 옹진군 을 제외한 인천 전 지역과 경기도 시흥시 및 화성시, 수원시 의 일부 지역에서도 검출되었던 것으로 드러나고 있지만, 이 후에는 서울특별시, 부산광역시의 각 자치구 등지로 확대되 어 있는 추세여서 수돗물 유충 사태가 전국으로 확산 조짐에 이르는 상태이기도 한다[2,3]. '수돗물 유충 관련 전문가 합동 정밀 조사단'의 최종 조사 결과, 공촌·부평정수장의 활성탄 흡착지(분말 활성탄을 활용한 정수 목적의 연못 형태 시설)에 서 유충이 유출된 것으로 조사됐다고 밝혔다[4]. 수도관을 단 지 수돗물을 공급하는 파이프라는 단순한 개념을 넘어, 위생 과 안전기능을 가진 고기능 고부가가치 제품으로 업그레이드 하여 새로운 시장을 창출할 필요가 있다.

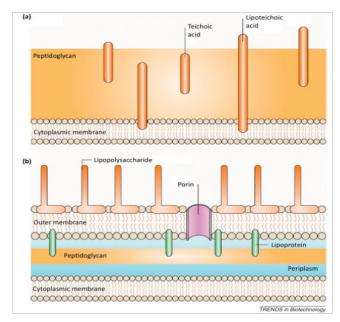
수질오염 문제 해결을 위해 각국에서는 수질 관리 투자를 확대하고 있어 물 산업은 21세기의 Blue Gold 산업으로 부상 하고 있다. 세계 물 시장 규모는 2007년 36백억 달러에서 연 평균 5% 수준의 성장세를 유지, 2025년에는 86백억 달러에 달할 전망이다[5]. 지속적으로 증가하는 식수, 공업용수 등의 수요에 대응하기 위해 새로운 수처리 기술들이 지속적으로 개발되고 있다. 이들 중 분리막을 이용하는 수처리 기술은 높 은 수처리 효율성, 낮은 환경 부담과 처리 비용 등의 장점으 로 인해 관심이 집중되고 있다. 그러나 분리막을 이용하는 수 처리에서는 지속적인 수처리 시 수투과도와 배제율 감소가 나타나는 문제점이 있어 분리막의 응용을 제한해 오고 있다 [6-8]. 또한 수질유해물질 및 독성관리기술 등 초고도 처리기 술, 맞춤형 재이용기술, 에너지절감 • 회수 • 활용 기술을 유 기적으로 조합 • 연계하는 신개념 처리기술을 이용하여 수질 환경을 개선할 수 있지만 여러 가지 기술과 설비가 연합하여 비경제적이다[9].



[그림 1] 인천 수돗물 유충(애벌레) 사태

반면 섬유산업, 물소독, 의약품, 식품포장 등에서는 항균제가 매우 중요하다. 소독에 사용되는 유기화합물은 인체에 대한 독성 등 일부 단점이 있어 산화금속 나노입자(NP) 등 무기소독제에 대한 관심이 높아지고 있다. 항균 활성은 박테리아를 국소적으로 죽이거나 성장 속도를 늦추는 화합물들과 관련이 있는데, 일반적으로 주변 조직에 독성이 있지 않다. 현재 대부분의 항균제는 화학적으로 변형된 천연 화합물이다. 항균제의 항균 활성은 박테리아의 종류뿐만 아니라 항균제의 특성과도 관련이 있다. 일반적으로 얇은 세포벽을 가진 세균은 항균제에 의해 억제되기 쉽다. 박테리아 세포벽의 개략도는 그림 2와 같으며, 박테리아 세포벽은 강인함, 장인함, 형상을 제공하고 삼투성 파열과 기계적 손상으로부터 세포를 보호하도록 설계되었다[10]. 나노 금속 입자는 나노미터급의 직경을 가지고 있으며, 직경이 작을수록 세균의 세포벽을 뚫기

쉬워 세균의 성장을 억제할 수 있다[11].



[그림 2] 세균 세포 구조의 개략도

따라서, 본 연구에서는 여러 가지 항균제의 항균특성에 대해 분석하였으며, 또한 항균제를 활용하여 항균 파이프 개발의 잠재적 가능성도 알아보고자 하였다.

# 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 항균제

본 연구에 사용된 Cu Powder(particle size: 150~250 mesh), SiO<sub>2</sub> powder, ZnO powder는 ㈜대정화금에서 제조되었고, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O는 Duksan Pure Chemical Co., LTD.에서 제조되었고, Ag powder(particle size: 80~100 nm)는 Green resource Co., LTD.에서 제조되었고, AgNO<sub>3</sub>는 Mallinckrodt 에서 제조되었고, 전기방사용 용기(N, N-디메틸포름아미드, DMF)는 일본 (Showa Chemical Co., Ltd.,Tokyo, Japan)에서 제조된 제품을 사용하였다.

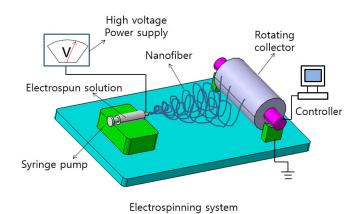
#### 2.2 사용 균주

다양한 항균제에 대한 항균활성 검정에 사용한 균주는 그람음성균(Escherichia coli, E. coli; ATCC 52922)과 그람양성균 (Staphylococcus aureus, S. aureus; ATCC 29231) 2종의 균주를 사용하였다.

## 2.3 멤브레인 제조 방법

실험에 사용될 방사 용액을 제조하기 위해, DMF solution에 13wt%의 PU을 혼합하여 상온에서 12시간 교반하였다. 완전

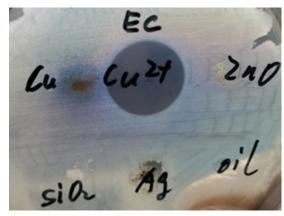
히 용해된 PU 솔루션에 1wt%, 3wt%, 5wt%의 항균제를 첨가하고, 12시간 동안 추가로 교반한 후 2시간 초음파 처리를하여 방사 용액을 제조하였다. 전기 방사법을 이용한 나노 멤브레인의 제조방법의 개략도를 그림 3에 나타냈다. 전기방사전압은18 kV로 설정 되었으며, 배출구와 수신 부사이의 거리는 15cm로 설정되었다. 제조된 방사액을 토출구가 있는 용기에 넣고, 용액 수송 속도를 1ml/h로 설정하였다. 멤브레인 안에 들어있는 유기 용기를 제거하기 위해, 전기방사한 멤브레인을 오븐에서 80°C로 24시간 진공 건조하였다.



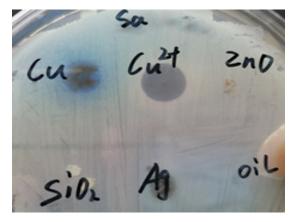
[그림 3] 전기방사 시스템의 개략도

# 3. 실험결과 및 고찰

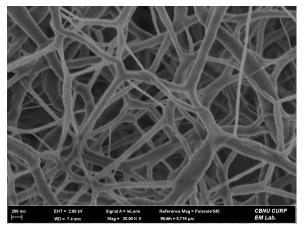
항균은 균을 죽이는 살균과 균이 성장하지 못하도록 하는 정균을 포함하는 개념이다. 그림 4는 그람음성균(Escherichia coli, E. coli; ATCC 52922)과 그람양성균(Staphylococcus aureus, S. aureus; ATCC 29231) 균주에 대한 여러 가지 항 균제의 항균활성특성을 나타낸 그래프이다. 그림 4에 보는 바와 같이 나노구리 분말의 항균력이 제일 우수하다. 그림 5를 통해 전기방사법을 이용하여 13wt% PU섬유와 3wt% Cu powder 잘 결합한 것을 확인하였다.



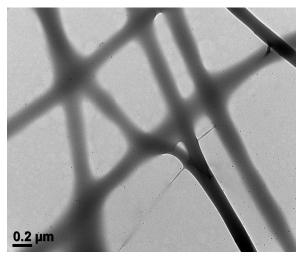
(a) 대장균



(b) 황색포도상구균[그림 4] 항균특성 비교 결과



(a) FE-SEM



(b) Bio-TEM [그림 5] 13wt%PU섬유와 3wt% Cu powder 결합된 섬유의 형태

## 4. 결 론

본 연구는 Cu Powder, SiO<sub>2</sub> powder, ZnO powder, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, Ag powder, AgNO<sub>3</sub> 등 항균제가 그람음성 균(Escherichia coli, E. coli; ATCC 52922)과 그람양성균 (Staphylococcus aureus, S. aureus; ATCC 29231) 균주의 항

균활성특성을 확인하고자 하였다. 그 결과 Cu Powder의 항 균력이 제일 우수하고 Cu(NO₃)₂·3H₂O와 Ag powder가 뒤를 잇는다.

#### 후 기

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 과학기술전문인력교류지원사업 성과임(No. 2020HID2A2094264).

#### 참고문헌

- [1] JAIN, Prashant; PRADEEP, T. Potential of silver nanoparticle coated polyurethane foam as an antibacterial water filter. Biotechnology and bioengineering, 2005, 90.1: 59–63.
- [2] 인천 이어 시흥 수돗물에서도 유충 발견…시 조사 착수". 연합뉴스. 2020년 7월 16일.
- [3] "인천 전역서 수돗물 유충 신고…194건 중 90건 실제 발견". 연합뉴스. 2020년 7월 16일.
- [4] "인천 수돗물 유충 사태" 원인은 "부실한 정수장 관리" 결론. 한겨레뉴스. 2020년 8월 28일.
- [5] GWI (Global Water Intelligence), "Global Water Market 2009", pp. 1–5, GWI, America (2008).
- [6] PRINCE, J. A., et al. Synthesis and characterization of PEG-Ag immobilized PES hollow fiber ultrafiltration membranes with long lasting antifouling properties. Journal of Membrane Science, 2014, 454: 538-548.
- [7] LEE, NoHwa, et al. Identification and understanding of fouling in low-pressure membrane (MF/UF) filtration by natural organic matter (NOM). Water research, 2004, 38.20: 4511-4523.
- [8] 최락원, 조용준, 김창근; 항균성과 친수성 부여를 위한 표면 처리된 실리카 나노 입자가 포함된 폴리에테르설폰 한외여과막. Polymer(Korea), Vol. 40, No. 2, pp. 245-250 (2016).
- [9] 김지태, 황혜영, 홍병표, 변홍식; 하 · 폐수 고도처리 기술 개발사업 추진배경과 개발방향. 멤브레인(Membrane Journal), Vol. 21, No. 3 September, 2011, 277-289
- [10] SINGLETON, Paul, et al. Bacteria in biology, biotechnology and medicine. John Wiley & Sons, 2004.
- [11] HAJIPOUR, Mohammad J., et al. Antibacterial properties of nanoparticles. Trends in biotechnology, 2012, 30.10: 499–511.