

Cladosporium cladosporioides 포자에 대한 나노입자의 항진균 특성 평가

Evaluation of Antifungal Activities of Nanoparticles against *Cladosporium cladosporioides* Spore Bioaerosols

윤선희¹⁾ · 배귀남* · 이병욱²⁾ · 지준호³⁾ · 김선정¹⁾

한국과학기술연구원 환경기술연구단, ¹⁾동국대학교 생명과학과,
²⁾전국대학교 기계공학과, ³⁾삼성전자 가전연구소

(2009년 1월 2일 접수, 2009년 5월 17일 수정, 2009년 7월 1일 채택)

Sun Hwa Yun¹⁾, Gwi-Nam Bae*, Byung Uk Lee²⁾,
Jun-Ho Ji³⁾ and Sun Jung Kim¹⁾

Center for Environmental Technology Research, Korea Institute of Science and Technology

¹⁾Department of Life Science, Dongguk University

²⁾Department of Mechanical Engineering, Konkuk University

³⁾Digital Appliance R & D Center, Samsung Electronics

(Received 2 January 2009, revised 17 May 2009, accepted 1 July 2009)

Abstract

The antifungal activity of silver, copper, and titania nanoparticles against fungal spores was investigated. *Cladosporium cladosporioides* spores were aerosolized and sampled on a solid agar plate using an Anderson impactor. The solid agar plate contained different concentration of nanoparticles ranging from 0 to 500 µg/mL. Silver and copper nanoparticles were shown to be an effective antifungal agent, while titania nanoparticles were not. Antifungal activity of these effective nanoparticles appeared at 300 µg/mL concentration.

Key words : Antifungal, *Cladosporium cladosporioides*, Nanoparticle, Silver, Copper, TiO₂

1. 서 론

건강과 환경에 대한 관심이 높아져 가는 사회적 분위기 속에서 인간에게 직접적으로 영향을 미치는 실내 공기질에 대한 문제는 사회적으로 중대한 이슈

가 되고 있다. 사회구조가 변하면서 실내에서 생활하는 시간이 점점 길어지고, 이에 따라 실내공기가 인간에게 미치는 영향도 커지고 있다. 주택의 고밀화와 고단열화에 따른 실내 공기오염의 우려는 실내공간에 부유하는 미세입자, 세균(박테리아), 진균(곰팡이), 휘발성 유기화합물(VOCs, volatile organic compounds) 등이 인체에 미치는 영향에 대한 연구결과가 알려지면서 실내 공기질의 개선에 대한 사회적

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-958-5676, E-mail : gnbae@kist.re.kr

요구로 나타나고 있다(배영문 등, 2004; 김윤신, 1999; 백성우과 김윤신, 1998). 특히, 실내공간에 부유하는 세균, 진균 등과 같이 생물학적 기원을 가진 바이오 에어로졸(bioaerosol)은 알레르기를 유발하고, 심한 경우 사망에 이르게 할 수도 있다(김윤신 등, 2002). 최근에는 알레르기 질환과 관련하여 집먼지 진드기에 대한 관심도 높아지고 있다(손종렬 등, 2006).

바이오 에어로졸은 대표적인 실내 공기오염물질의 하나이고(김영중 등, 2006), 바이오 에어로졸 중에서 진균 포자는 인체에 다양한 영향을 미치는데, 천식, 염증, 빌딩 증후군, 호흡기 질환 등과 연관이 있다는 결과가 보고되었으며(Piechova and Jesenska, 1999; Cooley *et al.*, 1998; Dutkiewicz, 1997; Gravesen, 1979), 심혈관계 질환이나 비호흡기계의 다른 질병과도 밀접한 관계를 시사하는 연구결과가 보고되고 있다(강경희와 장명웅, 1999).

이러한 생물학적 유해 인자들은 사람이 생활하는 곳에는 어디나 존재하는데, 이것은 생물학적 물질들이 성장하는 데 필요한 서식지, 영양분, 습기, 온도 등이 사람이 생활하는 환경조건과 비슷하기 때문이다(박동욱 등, 2004). 실내공간에 존재하는 진균을 제거하기 위한 오염물질 제어장치의 사용이 증가하고 있고, 이러한 장치를 이용한 공기 중 진균 제거에 관한 연구가 중요시 되고 있다(배영문 등, 2004). 열에너지(Lee and Lee, 2006, 2005; Mullican *et al.*, 1971), 전자이온(Lee *et al.*, 2005, 2004a, b), 자외선(Noakes *et al.*, 2004; Nicas and Miller, 1999; Riley *et al.*, 1976), 금속 나노입자(Lee *et al.*, 2008b) 등으로 공기 중 세균을 제거하는 연구가 수행되었지만, 일부 연구만 공기 중 진균 포자를 제거하는 내용을 다루었다.

공기 중 미생물의 정화방법은 일반적인 입자상 물질의 정화방법과 유사한데, 비교적 크기가 작아 고성능 에어필터로 제거한다. 최근에는 공기청정장치에 채취된 세균이나 진균이 에어필터 여재의 표면에서 증식하는 것을 방지하기 위하여 여재 표면에 은(Ag)이나 산화티타늄(TiO₂) 등의 무기계 항균제나 카데킨, 키토산과 같은 유기계 항균제를 도포하여 항균 기능을 강화시키거나 자외선 램프, 오존, 플라즈마 등을 이용하는 살균 기술을 적용하고 있다(배영문 등, 2004). 또한, 살균 및 항균에 나노 기술을 적용함으로써 은이나 구리(Cu) 같은 항균성 금속을 나노미터 크기로 만들어 금속 자체가 지닌 항균, 살균력은 그

대로 살리면서, 비표면적을 넓혀 상대적으로 적은 비용으로 그 효과를 배가시키기도 한다(배영문 등, 2004).

금속은 종류에 따라 항균력이 뛰어난 효과가 있다는 사실은 많이 알려져 있으나, 일부 금속은 독성의 부작용 때문에 사용이 금지되고 있다(Avakyan, 1967). 은과 구리는 전통적으로 항균력이 있는 물질로 알려져 있으며, 나노미터로 크기가 줄어들면 항균력이 증가할 것으로 추정된다(윤기영 등, 2005). 조경숙 등(2004)은 중금속에 의한 *Escherichia coli*의 생장 저해 작용은 중금속의 종류에 따라 달라지며, 구리의 경우 3.5 mM의 농도에서 *E. coli*의 성장이 완전히 저해되었음을 확인하였다. 조경환과 박수길(2004)은 초음파 화학법으로 제조된 은 나노 용액의 경우 그람 양성 세균인 *Staphylococcus aureus*에 대한 항균 효과가 그람 음성 세균인 *E. coli*에 비해 우수함을 확인하였다. 강환열 등(2000)은 은 이온 용액에서 *Bacillus subtilis*와 *E. coli*에 대한 항균 활성이 보였으며, 같은 농도에서 효모 *Candida albicans*에 대해서도 90% 이상의 높은 항균 활성이 나타났다고 보고하였다. Berger *et al.*(1976)은 은을 포함한 여러 금속 이온의 항균 활성을 비교하여 보고한 바 있으며, 정영기 등(1998)은 실험적으로 순수한 은을 그람 양성 및 그람 음성의 세균이 도말된 고체 배지(plate)에 얹었을 때 명확한 생육 저지대를 관찰하였다. 이와 같은 은의 미생물체 파괴에 대하여 Outlaw and Davidson(1994)은 은이 산화를 촉진시키는 작용을 하기 때문이라고 주장하였다. 금속 은은 공기 중의 산소를 끌어들여 표면에서 잘 흡착하기 때문에 은의 산화 촉매력이 강화된다고 주장하는 연구자도 있다(Eberhart *et al.*, 1978; Wachs and Madix, 1978). 이외에도 기존에 연구되어 온 많은 연구 중 은 또는 은 이온의 항균 활성 메커니즘을 설명하기 위한 여러 제안이 있는데(조경환과 박수길, 2004), 이온 형태가 아닌 은의 경우 SH기가 산소 원자의 상호 작용의 촉매 역할을 하며, OH 분자와 황 결합을 함으로써 미생물 내의 호흡을 방해하게 되고(Lehnninger *et al.*, 1973), 또 다른 제안된 메커니즘으로 은이 1 nm 이하의 작은 크기로 나노화되면 100~200 nm 정도의 미생물이 이를 흡수하는 것이 가능하고, 흡수 시 호흡기 작 및 대사 저해로 균이 죽는다는 의견도 있다(조경환과 박수길, 2004). 그러나 아직 은 또는 은 이온의

항균 메커니즘에 대해 완전히 밝혀지지 않은 실정이다(Schmid, 1995).

이 연구에 앞서 윤기영 등(2005)은 실내 부유 미생물 중 박테리아에 대한 나노입자의 항균 특성을 평가하였는데, 은 및 구리 나노입자는 *E. coli*와 *B. subtilis*에 대하여 항균 특성이 있는 것으로 나타났으며, *B. subtilis*의 경우 *E. coli*에 비해 더 낮은 은 나노입자의 농도에서도 항균 특성이 나타났다. 그러나 TiO_2 나노입자는 *E. coli*와 *B. subtilis*에 대하여 항균 특성을 나타내지 않았다. 또한, 저자들은 금속 나노입자가 혼합된 고체배지의 표면에서 진균 군사의 생장 환을 관찰하여 은과 구리 나노입자가 *Cladosporium cladosporioides*와 *Aspergillus versicolor*의 증식을 억제하는 항진균 효과가 있음을 확인하였다.

이전 연구에서는 고체배지에서 진균 군사의 생장환의 크기 변화를 통해 금속 나노입자의 항진균 특성을 살펴보았는데(윤선화 등, 2007), 본 연구에서는 실내 부유 미생물 중 진균에 대한 나노입자의 항진균 특성을 파악하기 위하여 진균 포자를 공기 중에 분산시키는 장치를 이용하여 다양한 환경에서 광범위하게 부유하고 있는 대표적인 실내 부유 진균인 *C. cladosporioides*를 발생시켜(Gorny et al., 2001), 은, 구리, TiO_2 나노입자가 포함된 고체배지에 샘플링하여 나노입자의 농도에 따라 배양되는 진균 군집(colony)의 수를 비교하였다. 이 연구를 통하여 고체배지에 포함된 나노입자의 농도에 따른 항진균 효과의 차이를 밝혀내고자 하였다. 또한, 세균과 진균에 대한 금속 나노입자의 항균 효과의 차이를 비교하고자 하였다.

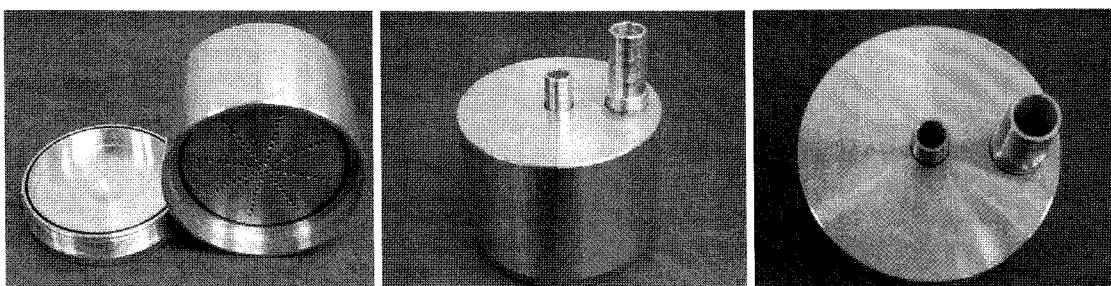


Fig. 1. Photographs of a manufactured fungal spore aerosol generator.

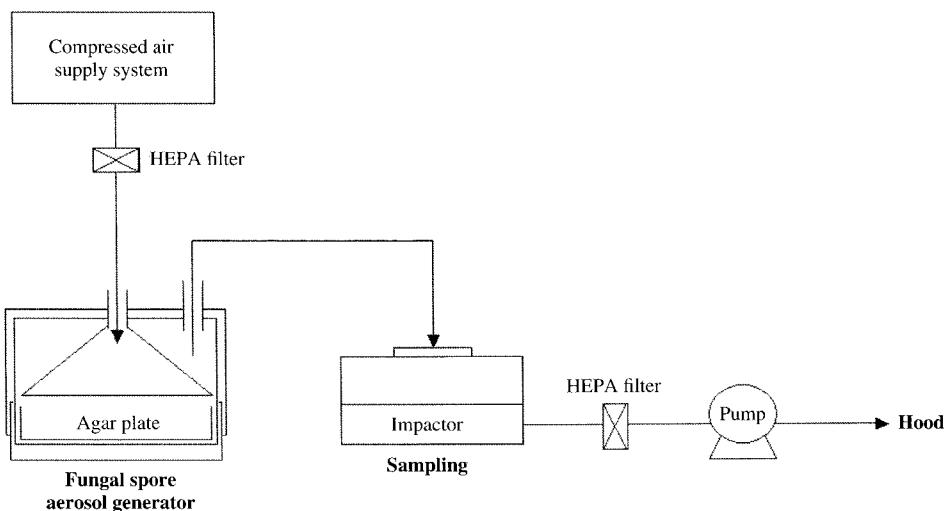


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup.

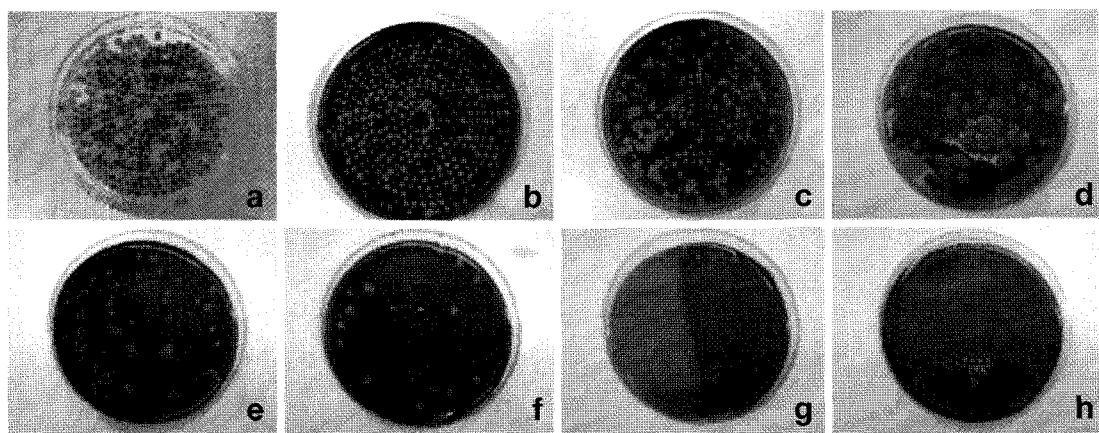


Fig. 3. Colony features formed by *C. cladosporioides* on the PDA plates containing different concentrations of silver nanoparticles. (a) 0 µg/mL, (b) 100 µg/mL, (c) 150 µg/mL, (d) 200 µg/mL, (e) 250 µg/mL, (f) 300 µg/mL, (g) 350 µg/mL, (h) 500 µg/mL.

2. 실험

항균 필터와 같은 바이오 에어로졸 처리장치의 성능을 기상 조건에서 평가하려면 바이오 에어로졸의 발생 기술이 필요하다. 세균과 바이러스는 보통 습식 분산법을 사용하여 발생시키고, 진균 포자는 건식 분산법을 사용하여 공기 중으로 발생시킨다. Gorny *et al.* (2001)은 앤더슨 임팩터의 단(stage)을 이용하여 공기부유화 챔버(aerosolization chamber)를 제작하여 고체배지로부터 진균 포자를 공기 중으로 분산시켰다. 김영중 등(2006)은 이러한 개념을 이용하여 그림 1에 나타낸 바와 같이 직경이 2 mm인 80개의 노즐로 구성된 진균 포자 발생기를 제작하였다(Lee *et al.*, 2008a; 배귀남 등, 2006).

본 연구에서는 이 장치를 이용하여 시험 진균의 포자를 발생시켰으며, 전체적인 실험장치의 개략도를 그림 2에 나타냈다. 시험 균주로 *Cladosporium cladosporioides*를 선정하였는데, 이 진균은 실외 대기中最 많이 발견되는 진균으로, 흔히 실내에서 서식하는 진균들이 실외 공기 중 진균과 함께 혼미경상으로 동정되고, 대개 우기가 지난 후 급증하여 늦가을 까지 비산하며, 눈이 내리는 겨울이 시작되면 사라진다(오재원, 1998). 또한, *Cladosporium*은 중요한 알레르기 발현성 진균으로, 60개의 항원이 있는 것으로

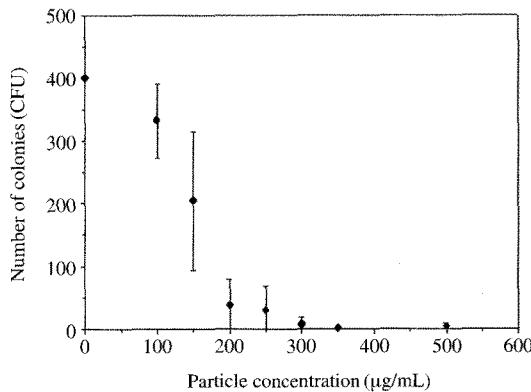


Fig. 4. Dependency of cultured *C. cladosporioides* spores on the silver nanoparticle concentration.

알려져 있다(Aukrust and Borsch, 1979). *C. cladosporioides* (KCTC 16680)는 한국생명공학연구원에서 분양받았으며, 배지는 PDA (potato starch 0.4%, dextrose 2%, agar 1.5%, Difco)를 사용하였고, 7일 동안 25°C 조건에서 배양한 후 실험에 사용하였다.

*C. cladosporioides*에 대한 항진균 특성을 파악하기 위하여 사용한 나노입자는 은(Ag), 구리(Cu) 및 산화티타늄(TiO₂)이었다. 은 나노입자는 (주)ABC나노텍에서 액상환원법으로 제조한 10% Ag 콜로이드 용액을 구입하여 사용하였으며, 입자의 평균 크기는

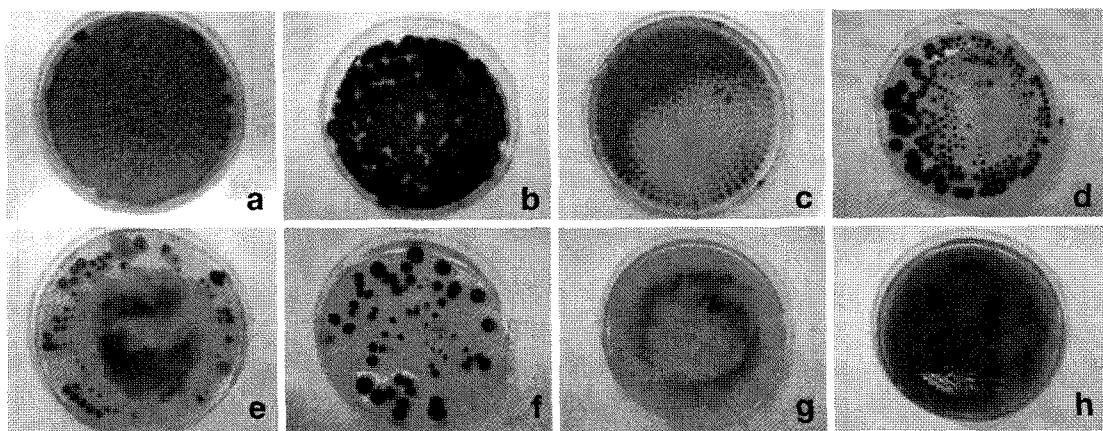


Fig. 5. Colony features formed by *C. cladosporioides* on the PDA plates containing different concentrations of copper nanoparticles. (a) 0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (b) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (c) 150 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (d) 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (e) 250 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (f) 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (g) 350 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (h) 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

약 $20 \pm 10 \text{ nm}$ 이었다. 구리 나노입자는 (주)나노기술에서 전기폭발법으로 제조한 구형의 분말을 구입하여 사용하였으며, 분말의 크기는 약 100 nm이고 비표면적 (specific surface area)은 $5.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 이었다. TiO_2 나노입자는 독일 Degussa의 분말 상태인 P-25를 사용하였다. 분말 상태로 되어있는 구리와 TiO_2 나노입자는 멸균수에 회석하여 실험에 사용하였다.

0~500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 범위의 나노입자를 PDA 배지에 혼합하여 농도가 다른 고체배지를 만들어 시험 진균의 포자를 채취하였다. 20 L/min의 유량을 바이오 에어로졸 발생기에 공급하여 진균 포자를 발생시켰다. 이 때 바이오 에어로졸 발생기의 오리피스(내경 2 mm, 80개)를 통해 약 1.3 m/s의 속도로 공기가 고체배지의 표면에 충돌하여 진균 포자가 공기 중으로 비산되었다. 분리입경이 0.65 μm , 노즐 수가 400개인 단 (stage 6)을 하나만 사용하는 앤더슨 임팩터 (Z-A6, Zefon, Arizona, USA)로 3분간 진균 포자를 채취한 후 7일 동안 25°C 조건에서 배양하여 나노입자의 농도에 따라 생존하는 진균 군집의 수를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 은 나노입자가 각각 0, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 포함된 PDA 고체배지에 앤더슨 임팩터로 *C. cladosporioides* 포자를 채취하여 배양하

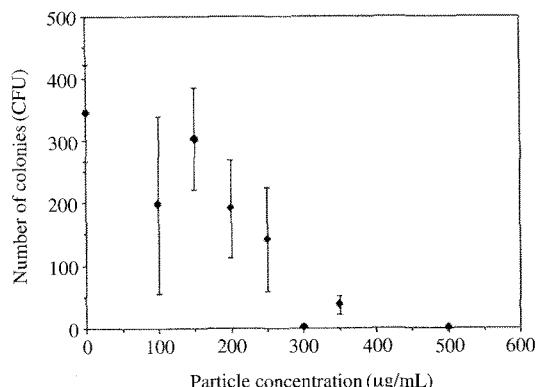


Fig. 6. Dependency of cultured *C. cladosporioides* spores on the copper nanoparticle concentration.

였을 때 생장한 군집의 모습을 나타낸 것이다. 대체로 은 나노입자의 농도가 증가함에 따라 배양된 군집의 수가 뚜렷하게 감소하는 것을 알 수 있다. 그럼 4는 배지에 포함된 은 나노입자의 농도가 *C. cladosporioides*의 생장에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 각 실험의 오차 범위는 3개 데이터의 표준편차이다. 은 나노입자가 포함되지 않은 배지에 400개 정도의 *C. cladosporioides* 군집이 생장하였는데, 은 나노입자의 농도가 증가함에 따라 배양된 군집의 수가 감소하는 경향을 나타내고, 은 나노입자의 농도가 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이상으로 높아지면 배양된 군집의 수가

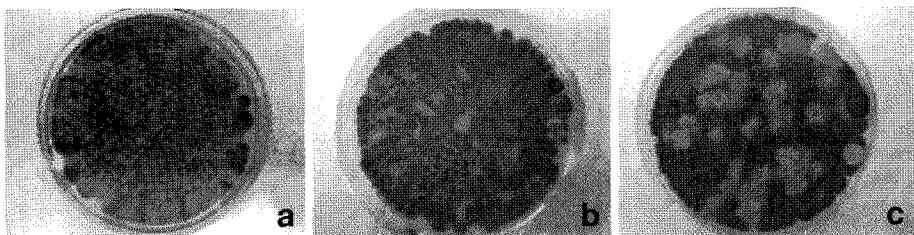


Fig. 7. Colony features formed by *C. cladosporioides* on the PDA plates containing different concentrations of TiO_2 nanoparticles. (a) 0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (b) 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, (c) 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

40개 이하로 줄어들었다. 본 연구에서는 노즐 수가 400개인 앤더슨 임팩터로 진균 포자를 채취하였으므로, 생장한 군집의 수가 최대 400개로 제한되었다.

온과 함께 전통적으로 항균 특성이 있다고 알려진 구리 나노입자를 이용하여 항진균 실험을 수행하였다. 그림 5는 구리 나노입자가 각각 0, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 포함된 PDA 고체배지에 앤더슨 임팩터로 *C. cladosporioides* 포자를 채취하여 배양하였을 때 생장한 군집의 모습을 나타낸 것이다. 나노입자가 포함된 배지를 만들 때 콜로이드 상태인은 나노입자의 경우 배지에 고르게 분포되었지만, 구리 나노입자의 경우 분말 상태의 입자를 멀균수에 혼합하였기 때문에 배지에 고르게 분포되지 않았다. 이로 인해 구리 나노입자가 배지의 한쪽에 뭉쳐져 있는 경우가 발생하였고, 구리 나노입자가 덜 분포된 쪽에만 진균 포자가 형성되는 것을 알 수 있었다. 그림 6은 배지에 포함된 구리 나노입자의 농도가 *C. cladosporioides* 군집의 생장에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 각 실험의 오차 범위는 3개 테이터의 표준편차이다. 구리 나노입자가 포함되지 않은 배지에 350개 정도의 *C. cladosporioides* 군집이 생장하였는데, 대체로 구리 나노입자의 농도가 증가함에 따라 배양된 군집의 수가 감소하는 경향을 나타내고, 구리 나노입자의 농도가 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이상으로 높아지면 배양된 군집의 수가 40개 이하로 줄어들었다. 구리 나노입자가 배지에 불균일하게 분포하여 온 나노입자의 경우에 비해 테이터의 편차가 크게 나타난 것으로 생각된다.

나노입자의 종류에 따라 항진균 특성이 달라지는지 살펴보기 위하여 항진균 특성이 없는 것으로 알려진 TiO_2 나노입자를 사용하여 항진균 실험을 수행

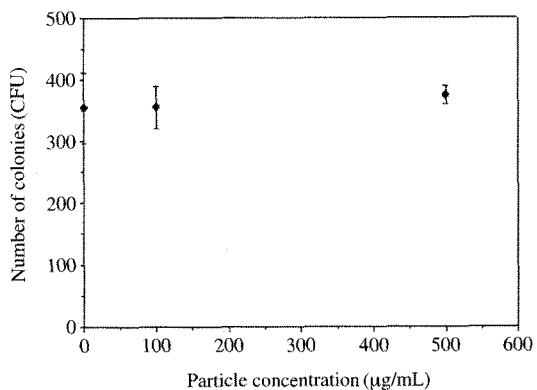


Fig. 8. Dependency of cultured *C. cladosporioides* spores on the TiO_2 nanoparticle concentration.

하였다. 그림 7은 TiO_2 나노입자가 각각 0, 100, 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 포함된 PDA 고체배지에 앤더슨 임팩터로 *C. cladosporioides* 포자를 채취하여 배양하였을 때 생장한 군집의 모습을 나타낸 것이다. 그림 8은 배지에 포함된 TiO_2 나노입자의 농도가 *C. cladosporioides*의 생장에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 각 실험의 오차 범위는 3개 테이터의 표준편차이다. TiO_2 나노입자가 포함되지 않은 배지에 350개 정도의 *C. cladosporioides* 군집이 생장하였는데, TiO_2 나노입자의 농도가 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 까지 증가하여도 배양된 군집의 수가 거의 비슷하게 유지되었다. 이 연구와 동일한 실험방법을 적용한 윤기영 등(2005)의 연구에서 TiO_2 나노입자는 세균에 대하여 항균 효과를 나타내지 않았고, *C. cladosporioides*와 같은 진균에 대해서도 항진균 효과가 없는 것으로 판단된다.

그림 9는 나노입자의 농도에 대한 *C. cladosporioides*의 민감도를 비교하기 위하여 그림 4, 6, 8의 테이

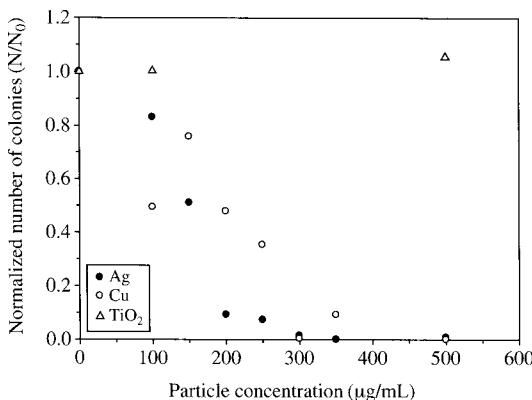


Fig. 9. Normalized antifungal effect of silver, copper, and TiO_2 nanoparticles against *C. cladosporioides*.

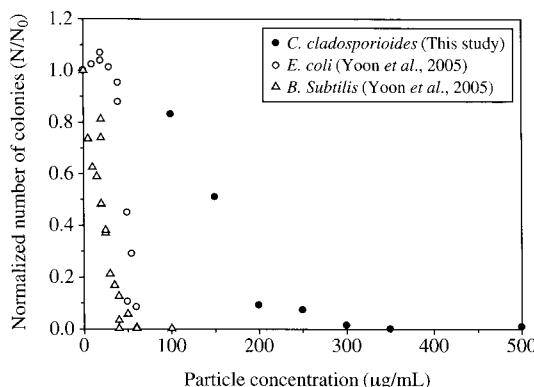


Fig. 10. Antimicrobial effect of silver nanoparticles against bacteria and a fungus.

터를 나노입자를 첨가하지 않은 경우 생장한 군집 수로 무차원화시켜 나타낸 것이다. 여기서, N_0 는 나노입자를 첨가하지 않은 경우 생장한 군집 수이다. 은 나노입자의 경우 농도가 높아지면 군집 수가 급격히 감소하는 경향을 나타내며, 약 300 $\mu\text{g/mL}$ 이상의 농도에서 생장저해율이 95% 이상으로 항진균 효과가 있음을 알 수 있다. 구리 나노입자가 고체배지에 불균일하게 혼합되는 문제로 인해 생장저해율이 농도의 증가에 따라 일률적으로 감소하지 않지만, 대체로 농도가 증가함에 따라 생장저해율이 증가하고, 약 300 $\mu\text{g/mL}$ 이상의 농도에서 생장저해율이 거의 100%에 균접한다. 은 나노입자와 구리 나노입자의 농도가 300 $\mu\text{g/mL}$ 이상으로 높아지면, *C. cladosporioides*의 생장저해율이 90% 이상으로 높아지는 것으로 판단된다.

*riooides*의 생장저해율이 90% 이상으로 높아지는 것으로 판단된다.

세균에 대한 나노입자의 항균 특성과 비교하기 위하여 윤기영 등(2005)이 동일한 실험방법을 적용하여 얻은 *E. coli*와 *B. subtilis* 세균에 대한 은 나노입자의 항균 실험결과를 그림 10에 나타냈다. 세균의 경우 60 $\mu\text{g/mL}$ 의 은 나노입자의 농도에서도 생장이 90% 이상 저해되었는데, 진균의 경우 이보다 3배 이상 높은 농도에서 생장저해율이 90% 이상으로 높아짐을 알 수 있었다. 진균이 세균에 비해 더 높은 은 나노입자의 농도에서 생장이 저해되는데, 이것은 세균과 진균의 중금속에 대한 저항 정도가 다르기 때문이라고 생각된다. 또한, 세균인 *E. coli*와 *B. subtilis*의 공기역학적 크기(aerodynamic size)는 각각 약 1.0, 0.65 μm 이지만(Lee et al., 2008b), 진균인 *C. cladosporioides* 포자의 크기는 1.8~2.3 μm 인 것으로 알려져 있는데(배귀남 등, 2006), 이러한 미생물의 크기 차이도 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 즉, 단위 체표면적당 은 나노입자의 수가 같을 때 동일한 항진균 효과를 나타낸다고 가정하면, 더 많은 은 나노입자 수가 진균에 부착되어야 세균과 동일한 항진균 효과를 나타낼 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 나노입자의 진균에 대한 항진균 특성을 파악하기 위하여 3종류의 나노입자(Ag, Cu, TiO_2)를 사용하여 대표적인 실내 부유 진균인 *C. cladosporioides*를 대상으로 나노입자의 농도에 따라 고체배지에 생장된 군집의 수를 비교하는 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 은 나노입자와 구리 나노입자는 *C. cladosporioides*에 대하여 항진균 특성이 있는 것으로 나타났고, TiO_2 나노입자의 경우 *C. cladosporioides*에 대하여 항진균 특성을 나타내지 않았다. 둘째, 진균(*C. cladosporioides*)은 세균(*E. coli*, *B. subtilis*)에 비해 더 높은 은 나노입자의 농도에서 비슷한 항진균 효과를 나타냈다. 즉, 세균의 경우 60 $\mu\text{g/mL}$ 의 은 나노입자의 농도에서도 생장이 90% 이상 저해되었는데, 진균의 경우 이보다 3배 이상 높은 농도에서 생장저해율이 90% 이상으로 높아졌다.

본 연구에서는 고체배지 실험을 통하여 은 나노입자와 구리 나노입자가 진균에 대하여 항진균 효과가 있음을 확인하였는데, 나노입자의 항진균 특성을 실내 공기청정에 활용하기 위해서는 액상이 아닌 기상에서의 항진균 실험결과가 뒷받침될 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 한국과학기술연구원 기관고유사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 강경희, 장명웅(1999) 산업체 작업환경의 실내 공기에서 미생물 오염도, 생명과학회지, 9(3), 314-327.
- 강환열, 정명주, 정영기(2000) 금속 은으로 제조한 Ag^+ 용액의 항균효과와 안정성, 한국생물공학회지, 15(5), 521-524.
- 김영중, 이병욱, 윤선희, 배귀남, 지준호(2006) 곰팡이포자 바이오에어로졸 발생기에 관한 연구, Proceedings 2006년도 한국입자에어로졸학회, 235-236.
- 김윤신(1999) 실내공기질 연구의 현황과 전망, 한국대기환경학회지, 15(4), 371-383.
- 김윤신, 이은규, 엽무종, 김기영(2002) 다중이용시설에서의 실내 공기 중 미생물 분포에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 28(1), 85-92.
- 박동욱, 조경아, 윤충식, 한인영, 박두용(2004) 유치원 교실에서 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인, 한국환경보전학회지, 30(5), 440-448.
- 배귀남, 이병욱, 이승복, 윤선희, 이동희, 이정은, 김영중(2006) 바이오 에어로졸 처리장치의 성능평가 기술 개발(II), 삼성전자(주), 한국과학기술연구원 보고서 BSI2049-7956-5.
- 배영문, 서진이, 이방래, 이용호(2004) 컨조인트 분석을 통한 가정용 공기청정기 수요분석, 한국과학기술정보연구원.
- 백성우, 김윤신(1998) 도시지역 실내환경 유형별 공기질 특성 평가-가정, 사무실 및 식당을 중심으로-, 한국대기환경학회지, 14(4), 343-360.
- 손종렬, 윤승우, 권보연(2006) 일부 주택에서 집먼지 진드기 알러젠 조사, 한국대기환경학회지, 22(5), 719-723.
- 오재원(1998) 알레르기 발현성 공중화분과 공중진균의 특성과 분포, 소아알레르기및호흡기학회지, 8(1), 1-15.
- 윤기영, 이승재, 이정은, 배귀남, 지준호, 황정호, 정효일(2005) 박테리아에 대한 나노 입자의 항균특성 평가, 한국실내환경학회지, 2(1), 46-53.
- 윤선희, 배귀남, 이병욱, 지준호(2007) 실내 곰팡이에 대한 금속 나노입자의 항진균 특성, 한국실내환경학회지, 4(2), 154-162.
- 이병욱, 이윤하(2005) 대장균 바이오에어로졸의 생명성 제어를 위한 가열튜브에 관한 연구, Particle and Aerosol Research, 1(1), 39-45.
- 정영기, 신영준, 백현(1998) 은도금에 의한 치솔의 살균효과, 대한구강보건학회지, 22(4), 347-355.
- 조경숙, 구소연, 김지영, 류희숙(2004) 중금속에 의한 대장균 성장 저해의 정량적 평가, 한국미생물공학회지, 32(4), 314-316.
- 조경환, 박수길(2004) 초음파법으로 제조된 은 나노 입자의 항균특성 연구, 한국공업화학회지, 15(8), 952-955.
- Aukrust, L. and S.M. Borsch (1979) Partial purification and characterization of two cladosporization of two *Cladosporium herbarum* allergens, Int. Arch. Allerg. Appl. Immunol., 60, 68-79.
- Avakyan, Z.A. (1967) Comparative toxicity of heavy metals for certain microorganism, Microbiology, 36, 366-369.
- Berger, T.J., J.A. Spadaro, S.E. Chapin, and R.P. Becker (1976) Electrically generated silver ions: Quantitative effects on bacterial and mammalian cells. Antimicrob. Agents Ch., 7, 357-358.
- Cooley, J.D., W.C. Wong, C.A. Jumper, and D.C. Straus (1998) Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome, Occup. Environ. Med., 55, 579-584.
- Dutkiewicz, J. (1997) Bacteria and fungi in organic dust as potential health hazard, Ann. Agric. Environ. Med., 4, 11-16.
- Eberhart, M.E., M.J. Donovan, and R.A. Outlaw (1978) Abin-dio calculations of oxygen diffusivity in group IB transition metals, Phys. Rev., 46, 744-752.
- Gorny, R.L., T. Reponen, S.A. Grinshpun, and K. Willeke (2001) Source strength of fungal spore aerosolization from moldy building material, Atmos. Environ., 35, 4853-4862.
- Gravesen, S. (1979) Fungi as a cause of allergic disease, Allergy, 34, 135-154.
- Lee, B.U., Y.J. Kim, C.H. Lee, S.H. Yun, G.N. Bae, and J.H. Ji (2008a) Development of a fungal spore aerosol generator: Test with *Cladosporium cladosporioides* and *Penicillium citrinum*, J. Microbiol. Biotechnol., 18(4), 795-798.

- Lee, B.U., M. Yermakov, and S.A. Grinshpun (2005) Filtering efficiency of N95- and R95- Type facepiece respirators, dust-mist facepiece respirators, and surgical masks operating in unipolarly ionized indoor air environments, *Aerosol & Air Quality Research*, 5, 25-38.
- Lee, B.U., M. Yermakov, and S.A. Grinshpun (2004a) Unipolar ion emission enhances respiratory protection against fine and ultrafine particles, *J. Aerosol Sci.*, 35, 1359-1368.
- Lee, B.U., M. Yermakov, and S.A. Grinshpun (2004b) Removal of fine and ultrafine particles from indoor air environments by the unipolar ion emission, *Atmos. Environ.*, 38, 4815-4823.
- Lee, B.U., S.H. Yun, J.H. Ji, and G.N. Bae (2008b) Inactivation of *S. epidermidis*, *B. subtilis*, and *E. coli* bacteria bioaerosols deposited on a filter utilizing airborne silver nanoparticles, *J. Microbiol. Biotechnol.*, 18(1), 176-182.
- Lee, Y.H. and B.U. Lee (2006) Inactivation of airborne *E. coli* and *B. subtilis* bioaerosols utilizing thermal energy, *J. Microbiol. Biotechnol.*, 16, 1684-1689.
- Lehninger, A.L., D.L. Nelson, and M.M. Cox (1973) *Principles of Biochemistry*, 2nd ed., Worth, New York.
- Mullican, C.L., L.M. Buchanan, and R.K. Hoffman (1971) Thermal inactivation of aerosolized *Bacillus subtilis* var. niger spores, *Appl. Microbiol.*, 22(4), 557-559.
- Nicas, M. and S.L. Miller (1999) A multi-zone model evaluation of the efficacy of upper-room air ultraviolet germicidal irradiation, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 14, 317-328.
- Noakes, C.J., L.A. Fletcher, C.B. Beggs, P.A. Sleigh, and K.G. Kerr (2004) Development of a numerical model to simulate the biological inactivation of airborne microorganisms in the presence of ultraviolet light, *J. Aerosol Sci.*, 35, 489-507.
- Outlaw, R.A. and M.R. Davidson (1994) Small ultra-high vacuum compatible hyperthermal oxygen atom generator, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 12, 854-860.
- Piechova, E. and Z. Jesenska (1999) Microscopic fungi in dwellings and their health implication in human, *Ann. Agric. Environ. Med.*, 6, 1-11.
- Riley, R.L., M. Knight, and G. Middlebrook (1976) Ultraviolet susceptibility of BCG and virulent tubercle bacilli, *Am. Rev. Respir. Dis.*, 113, 413-418.
- Schmid, G. (1995) *Clusters and Colloids*, VHC Press, New York.
- Wachs, I.E. and R.J. Madix (1978) The oxidation of methanol on a silver catalyst, *Surf. Sci.*, 76, 531-538.