

에프모플라스탐(AtmoPlastorm) 공기살균장치의 황색포도상구균 살균 효과

손은순¹, 이지임¹, 정장근², 황종호², 이종석^{1*}
¹(재)국제결핵연구소, ²(주)경동냉열산업

Sterilization Effect of AtmoPlastorm Air Sterilizer on *Staphylococcus aureus*

Eun-Soon Son¹, Jiim Lee¹, Janggun Jung², Jongho Hwang², Jongseok Lee^{1*}
¹International Tuberculosis Research Center
²Kyung Dong R&H CO., LTD

요약 2017년 발표된 논문에 따르면, 가정 내 공기 중 황색포도상구균이 가장 많이 검출되었다는 보고가 있다. 본 연구에서는 식중독 및 화농성 질환을 일으키는 황색포도상구균을 대상으로, 플라즈마 AOP(Advanced Oxidation Process) 기술을 적용한 에프모플라스탐(AtmoPlastorm) 공기살균장치를 이용하여 살균 효과를 평가하였다. 에프모플라스탐은 1)공기 중에 포함된 균을 장치 내부로 흡입하여 플라즈마 반응이 발생하는 수조로 강제 순환시키는 포집 부, 2)포집된 균을 플라즈마를 발생시켜 살균시키는 반응 수조 부분으로 구성되어 있다. 황색포도상구균은 1×10^6 CFU/4.2 mL로 맞춰서 균일한 양을 대상 장치에 분사하여 투입하였으며, 균 투입 후 장비를 각각 1, 5, 10, 20분 작동시킨 시점에서 균의 성장을 확인할 고체배지를 넣은 공기 포집기를 이용해 살균장치를 거쳐 배출되는 공기에 잔류하는 균을 포집하였다. 플라즈마에 노출되는 시간과 살균력의 상관성을 확인하기 위해 각 장비 가동 시간대별로 플라즈마를 처리한 반응 수조의 처리 수를 회수하여 고체배지에 접종 후 균의 성장을 관찰하였다. 에프모플라스탐 공기살균장치를 작동 후 1분, 5분, 10분, 20분 후에 포집한 공기에서는 황색포도상구균의 성장이 관찰되지 않았으므로 살균장치 내부에 투입한 공기가 전량 포집 되었다는 것을 확인하였다. 플라즈마에 노출된 처리 수에서도 동일한 시간대에 잔존하는 균을 확인한 결과, 플라즈마 발생 후 1분에서는 균의 성장이 관찰되었으나, 5분 이후에는 각 플라즈마 처리 시간대에서 황색포도상구균의 성장이 관찰되지 않았다. 관찰된 결과들은 플라즈마를 이용한 에프모플라스탐 공기살균장치가 공기 중에 포함된 균주들을 신속하고 완벽하게 제거하여, 실내 위생을 위협할 수 있는 각종 세균을 효과적으로 관리할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

Abstract *Staphylococcus aureus* is the most commonly detected bacterial species in household air and can cause food poisoning and purulent diseases. We assessed the sterilization effects of AtmoPlastorm air sterilizer with advanced oxidation process (AOP) technology on *S. aureus*. AtmoPlastorm air sterilizer consists of 1) air collection unit for air capture and forced air circulation, and 2) plasma generation unit where sterilization occurs. Sterilization effects were evaluated by monitoring the remaining bacterial numbers from each sterilizer unit; *S. aureus* [1×10^6 colony-forming unit (CFU)/4.2 mL] was injected. Then, plasma was generated for 1.5, 10 and 20 minutes each. The remaining bacteria from the exhausted air and plasma generating unit were recovered. Bacteria were not observed from exhausted air throughout tested plasma exposure times. From the plasma generation unit, bacterial growth was observed only at 1 minute exposure to plasma, but not from longer plasma exposure. Our findings indicate that the AtmoPlastorm air sterilizer can remove *S. aureus* in the air using plasma rapidly and completely that may threaten indoor air hygiene.

Keywords : AtmoPlastorm, *Staphylococcus aureus*, Advanced Oxidation Process, Bacteriacidal Effect, Plasma

본 논문은 정보통신사업진흥원의 재원으로 경남테크노파크(연구사업명: 지역균형발전 SW·ICT융합 기술개발 사업, 연구과제명: 플라즈마 AOP(Advanced Oxidation Process)기술을 적용한 스마트 공기 살균장치 개발)의 지원을 받아 수행된 연구임(과제고유번호 S1120-21-1006-1).
*Corresponding Author : Jong Seok Lee(International Tuberculosis Research Center)

email: cosmosljs@gmail.com

Received August 26, 2021

Revised October 6, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

미세먼지가 우리나라에 빈번하게 발생하면서 사람들의 공기 질에 관한 관심이 높아졌다. 또한, 산업화에 따른 경제발전으로 사무실, 집, 자동차 등 실내공간에 머무르는 시간이 길어졌다.

실내공기에는 다양한 박테리아, 곰팡이 등 질병을 일으킬 수 있는 수많은 감염원이 수집에서 수 마이크로미터 이하 크기의 물방울이나 먼지 등에 붙어 떠다닌다. 대표적인 감염원들로서는 결핵균, 연쇄상구균, 슈도모나스, 포도상구균 등이 있으며, 이들은 공기를 매개로 한 각종 호흡기 질환을 유발할 수 있다. 이들 감염원은 공기를 매개로 하는 특성상 호흡을 통한 전파속도가 빨라, 전염을 방지하기 위해서는 신속한 검출과 제거가 필수적이다 [1,2].

2019년 세계보건기구(WHO)에 따르면 실내공기 오염으로 인한 사망이 연간 380만 명에 이르는 것으로 추정하였다[3]. 그중에서도 상대적으로 집에서 시간을 많이 보내는 여성, 어린이와 노인들의 비율이 높았다. 국내에서도 실내공기 오염으로 천식 및 아토피 등 환경성 질환이 늘어나고 있다[4,5].

2017년 발표된 논문에 따르면, 공기 중 총 부유 세균에는 대장균, 일반 세균, 진균 등이 포함되며, 특히 식중독 및 화농성 질환을 일으키는 황색포도상구균이 가정에서 가장 많이 검출되었다고 보고되었다[6].

황색포도상구균은 피부감염, 폐렴, 심장판막 감염, 뼈 감염 등의 심각한 질병을 유발할 수 있을 뿐 아니라, 식품에서 증식하는 경우 장 독소(enterotoxin)를 생산하여 식중독을 일으킨다. 이 독소는 내열성으로서, 식품을 가열해 포도상구균 자체가 사멸되어도 독소의 활성이 그대로 남아있기 때문에, 그것을 섭취할 경우 구토를 유발하는 식중독을 일으키게 되는 것이다[7-10].

또한, 황색포도상구균들은 토양, 하수 등의 자연계에 널리 분포하며, 건강한 사람의 약 30%가 이 균을 보유하고 있으므로 코안, 피부에 인체하고 있는 균을 식품을 통해 섭취할 가능성이 크다.

아토피 환자는 미생물에 의한 감염률이 정상인에 비해 높다고 알려져 있으며, 아토피 환자의 경우 일반적으로 황색포도상구균이 가장 흔히 검출되는 균으로 검출되는 균의 60~90%를 차지하고 있으며, 아토피 피부염과 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 있다[11-14].

따라서, 오염된 실내공기의 개선이 필수적이다. 현재 많은 공간에서 공기 질을 개선하기 위해 공기정화 장치

가 보편화가 되어있다. 기존의 공기정화 장치는 필터 여과의 방법을 많이 사용하는데, 필터로 미생물을 잡아내더라도 필터 교환 시 2차 적인 감염 사례가 보고되었다 [15]. 광촉매는 소음도 없고 유지비도 들지 않는 장점이 있으나, 공기정화 범위가 한정되는 단점이 있다[16]. 오존 발생 식은 염소보다 6배 이상의 강한 살균력을 가지고 있으나 일정 농도가 넘으면 불쾌한 냄새가 난다[16]. 전기 집진식의 경우 팬을 사용하지 않기 때문에 소음이 없으나, 공기정화 속도가 팬식에 비해 느리다[16]. 또한, AOP 기술은 살균 및 소독 분야에 상당한 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 고가의 시약이 계속 투입되어야 하므로 고가의 비용이 발생하는 단점을 가지고 있다[16].

경동냉열에서 개발한 에프모플라스토 AOP 기술에는 물속에서 고전압을 이용하여 플라즈마를 발생시키고 이때 발생하는 부산물인 오존, 자외선, 라디칼 등을 플라즈마 반응 부에서 동시에 반응시켜 실시간으로 99% 이상 살균시켜 이때 처리된 처리 수를 이용하여 미세먼지와 균을 포집 및 살균하는 기술이 적용되어 있다. 따라서, 미세필터 없이도 미세먼지와 오염 비말을 포집/살균이 가능할 뿐 아니라 살균처리 된 물이 계속 순환처리 되기 때문에 처리 과정에서 처리경로의 세척도 동시에 가능한 장치이다.

본 연구에서는 고가의 시약을 투입하지 않고도 일반 세균과 대장균을 대상으로 99% 이상의 효과적인 살균 및 소독 효과를 나타내는 것으로 알려진 에프모플라스토 (AtmoPlastorm) AOP 기술의 황색포도상구균에 대한 살균 효과를 확인하고자 하였다[17].

2. 본론

2.1 균주 배양 및 접종

본 연구에서 사용된 균주는 그람양성구균에서 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*, KCCM12103 ATCC12600)로 국제결핵연구소(Changwon, Korea)에서 보유하고 있는 것으로 사용하였다. 황색포도상구균은 LB broth 배지에 접종하여 24시간 배양한 후 1×10^6 CFU/4.2 mL로 배양액을 희석하여 살균력 측정에 사용하였다.

2.2 플라즈마 장치 및 실험방법

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 사용되는 플라즈마 공기살균 장치는 플라즈마 AOP (Advanced Oxidation Process) 기술을 적용한 에프모플라스탐 (AtmoPlastorm)의 플라즈마 살균부와 물 분사 포집 부로 구성되어 있다. 살균력 측정에 사용한 풍량은 2.5 m³/min, 이때 소요된 플라즈마 소비 전력은 40 W이다.

균포집 샘플러의 조건은 면적에 비례하며 100 L/min의 조건으로 균을 포집하였다.

전체 살균과정을 간략히 기술하면, 균 분사기를 통해 AOP 장비 내부로 투입된 황색포도상구균을 포함한 공기는 장비 내부로 유입시키고, 장비 상부에 설치된 물 분사 장치를 이용하여 수조 내로 포집한 다음 AOP 살균 장치로 강제 순환시킨다. 살균된 물은 토출 부로 순환시켜 장

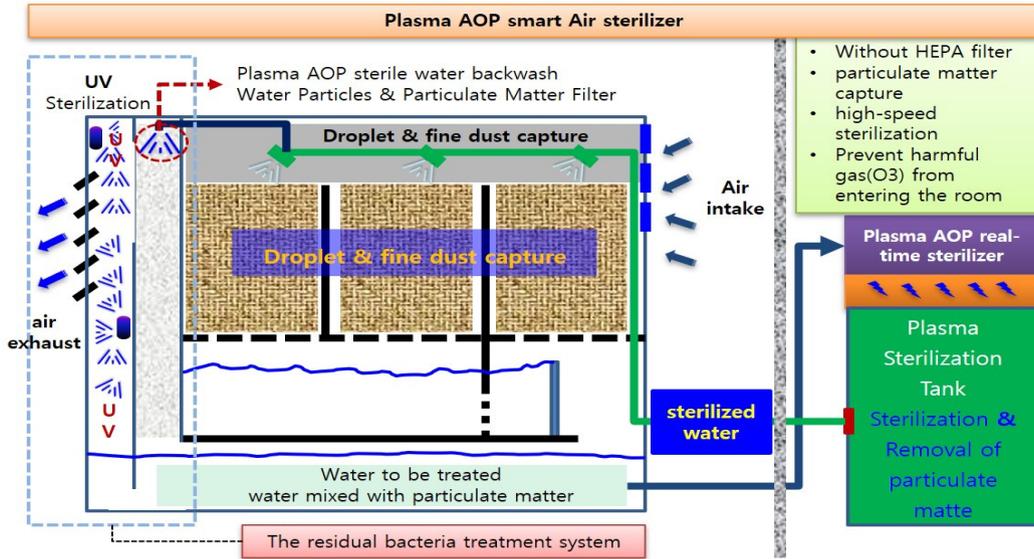


Fig. 1. Plasma AOP smart sterilizing device

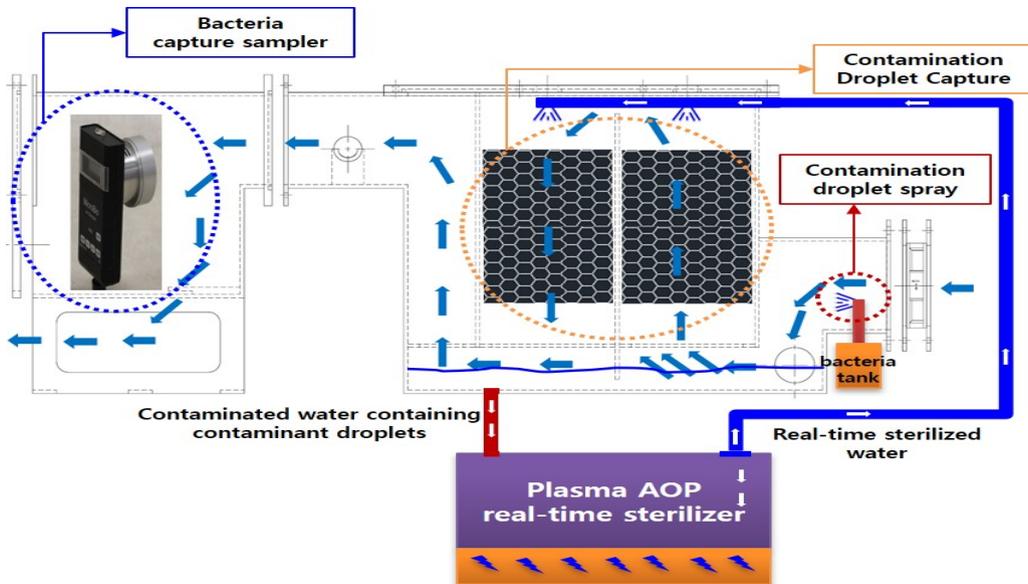


Fig. 2. Schema of overall sterilization process in the study

치 외부로 배출하여 살균과정이 완료된다. 이 과정에서 포집되지 않은 균은 배출부위에 설치한 균포집 샘플러를 이용해 균수를 측정하여 장비에 의한 균처리 완전성을 검증하였으며, 살균력을 확인하기 위해 AOP 살균과정을 거친 수조 내 물을 채취하여 균수를 측정하여 살균력을 측정하고자 하였다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이, 본 연구의 실험의 이해도를 높이기 위해서 플라즈마 노출 방법 및 실험과정을 모식도로 나타내었다. 장비 작동 후 1분, 5분, 10분, 15분, 20분 각 시간대에 샘플러를 이용하여 공기 중의 오염균을 포집 후 37°C 배양기에서 24시간 배양 후 균의 성장을 확인하고자 하였고, 동일한 시간대의 처리 수를 채취하여 고체배지에 접종 후 37°C 배양기에서 24시간 배양 후 균의 성장 확인을 통해 플라즈마 장비의 살균 효과를 측정하고자 하였다. 모든 실험은 재현성을 확인하고자 3회 실시하였다. 본 실험은 실험자의 안전을 고려하여 생물안전작업대 내부에 설계하여 실험하였다.

2.3 집락계수

장비의 균처리 완전성 및 플라즈마에 의한 살균 효과는 플라즈마 처리 전, 후 생균수를 비교하여 결정하였다. 생균수는 1)균포집 샘플러에 장착한 BAP(Blood agar plate) 고체배지는 살균 효과 검증을 위해 실시한 장치 작동 후 수거, 2)플라즈마를 이용해 살균한 수조 내 물은 단계적 희석법을 이용하여 10배, 100배 희석한 다음 BAP 고체배지에 접종 후 37°C에서 24시간 배양 후 생성된 집락(Colony counter: SCIE, finetec, Korea) 사용하여 집락 형성 단위인 CFU/mL로 계수하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공기살균장치의 포집효과

균을 사용한 살균 효과 검증에 앞서 균 투입 이전에 장비가 균에 의해 오염되지 않았다는 것을 확인하기 위해 멸균된 1X PBS를 균 분사 장치에 넣어 작동하였다. 작동 후 TSA 배지를 이용하여 에프모플라스트 장비 내부의 공기를 흡입하여 오염균을 확인하고자 하였다. TSA 배지를 37°C 배양기에 24시간 배양 후 장비에 오염된 균의 성장을 확인하고자 하였다. 그 결과 TSA 배지에서 오염균의 콜로니도 전혀 관찰되지 않아 다른 균에 의해 오염되지 않은 것을 확인할 수 있었다. (data not shown).

장비가 다른 균의 오염되지 않은 것을 확인 후 본 실험을 진행하였다. 장비의 균 포집 효과를 확인하기 위해 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 에프모플라스트 공기살균장치 작동 1분, 5분, 10분, 15분, 20분 후 샘플러를 이용하여 공기 중 황색포도상구균을 포집하였다. 그 결과 BAP 고체배지에 황색포도상구균이 포집 되지 않았다. 즉, 에프모플라스트 장비 내의 공기 중 황색포도상구균 100% 포집율을 확인할 수 있었다.

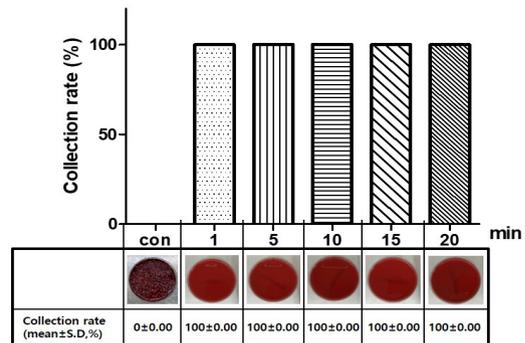


Fig. 3. Result of collection rate by *Staphylococcus aureus* on atmoplastorm air sterilizer device.

이는 에프모플라스트 장비에서 플라즈마 AOP 살균수를 이용하여 공기 중의 오염균을 포집하는 포집능력이 우수한 것을 확인할 수 있었다. 다만, 본 연구에서는 실험적인 상황에서의 균 포집 성능을 확인하는 것이 목적이었으므로 균분사장비와 포집기의 거리가 1,200 cm의 거리에서 포집효과를 확인하였다는 제한점이 있다. 따라서 실제 다양한 크기 및 구조의 생활 공간에서의 포집효과를 확인하기 위한 추가 연구를 실시할 계획이다.

3.2 플라즈마 혼합재처리 살균 효과

에프모플라스트 공기살균장치에 유입된 공기는 플라즈마 혼합재처리 살균 수조에서 살균 및 입자 물질을 제거하게 된다. 이때 포집된 황색포도상구균의 살균 효과를 확인하고자 장비를 작동시킨 후 장비의 작동시킨 시간대의 처리 수를 회수하여 황색포도상구균의 유무를 확인하였다.

그 결과, Fig. 4에 보이는 바와 같이 플라즈마 처리 1분 후에는 35%의 저해효과를 나타내었으며, 5분, 10분, 15분, 20분 동안 처리한 경우에는 균의 성장이 전혀 관찰되지 않았으므로 100% 살균 효과가 있다는 것이 증명되었다.

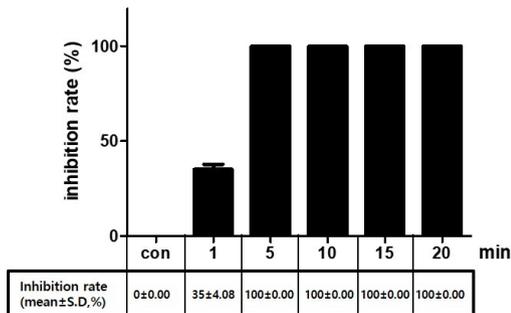


Fig. 4. Inhibition rate of *Staphylococcus aureus* on sterilized water.

공기청정기의 정화방식은 설비형태에 따라 크게 습식, 여과식, 복합식으로 나누어진다. 이러한 공기청정기가 실내환경개선에 미치는 영향을 평가한 연구결과에 따르면 공기청정기의 종류에 따라 시간적인 차이는 있으나, 평균적으로 공기청정기 작동 30분 후 30~40% 2시간 후 50~60%의 공기 중 부유세균이 감소하는 효과를 나타내는 연구 보고가 되어져 있다[18].

따라서, 공기청정기의 방식에 따라 성능의 차이는 있으나 에프모플라스탐 공기살균정화 장치는 현재 시판되고 있는 공기정화 장치들보다 공기를 정화하는데 소요되는 시간이 매우 짧으며, 높은 살균 효과를 나타내는 것을 확인하였다.

3. 결론

경동냉열에서 개발한 에프모플라스탐 공기살균장치의 황색포도상구균 살균 효과를 확인하고자 하였다. 그 결과 공기 중의 오염균을 100% 포집할 뿐만 아니라, 포집된 오염균을 살균하는 장치의 효과도 매우 우수하였다. 이런 결과들로 볼 때 현재 시판되고 있는 공기정화 장치는 공기를 정화하는데 걸리는 시간 단축 및 필터 교체 시 2차 감염을 일으키는 단점을 극복할 수 있는 새로운 기술이라 할 수 있다. 또한, 본 연구에 사용된 기술은 환경 보건 및 생활환경에서의 감염병 예방에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] A. Karakatsani, A. Analitis, D. Perifanou, J.G. Ayres,

R. M. Harrison, A. Kotronarou, I. G. Kavouras, J. Pekkanen, K. Hameri, G. P. Kos, J. J. Hartog, G. Hoek, K. Katsouyanni. "Particulate matter air pollution and respiratory symptoms in individuals having either asthma or chronic obstructive pulmonary disease: a European multicentre panel study", *Environ Health*, Vol.11, No.75, pp.1-16, Oct. 2012.

DOI: <http://doi.org/10.1186/1476-069X-11-75>

[2] World Health Organization Regional Office for Europe, "Review of evidence on health aspects of air pollution: REVIHAAP", Europe, 6-14.
DOI:<http://doi.org/0020/182432/e96762-final.pdf>

[3] World Health Organization, "Global Tuberculosis Report 2018", Geneva Switzerland, 9-25.

[4] I. H. Oh, S. J. Yoon, E. J. Kim. "The burden of disease in Korea", *J Korean Med Assoc*, Vol.54, No.6, pp.646-652, June. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5124/jkma.2011.54.6.646>

[5] J. Y. Son, J. T. Lee, Y. H. Park, M. L. Bell. "Short-term effects of air pollution on hospital admissions in Korea", *Epidemiology*, Vol.24, No.4, pp.545-554, Jul. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/EDE.0b013e3182953244>

[6] D. W. Park, S. H. Kim, H. J. Yoon. "The impact of indoor air pollution on asthma", *Allergy asthma & respiratory disease*, Vol.5, No.6, pp.321-319, Nov. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.4168/aard.2017.5.6.312>

[7] J. G. Kim, J. S. Kim. "A Pilot Study on the Assessment of Bioaerosols in Restaurants", *Korean Society of Environmental Health*, Vol.42, No.2, pp.133-140, Apr. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5668/JEHS.2016.42.2.133>

[8] S. G. Park, Y. O. Hwang, J. H. Jung, K. M. Lee. "Biological Characteristics of Staphylococcus aureus Isolated from Food-Borne Patients in Seoul", *Journal of food hygiene and safety*, Vol.16, No.3, pp.159-167, 2001.
DOI: <https://doi.org/JAKO200111920940606>

[9] B. H. Jeon, I. Y. Hwang. "Concentrations of total culturable microorganisms and Its Identification in Public Facilities", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.1, pp.868-876, Jan. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.868>

[10] Y. S. Cho, J. Y. Lee, M. K. Lee, D. B. Shin, D. H. Kim, K. M. Park. "Prevalence and Characterization of Staphylococcus aureus Pathogenic Factors Isolated from Various Foods in Korea", *Korean Journal of Food Science and Technology*, Vol.43, No.5, pp.648-654, Oct. 2011.
DOI: <http://doi.org/10.9721/KJFST.2011.43.5.648>

[11] T. M. Zollner, T. A. Wichelhaus, A Hartung, C. Von Mallinckrodt, T. O. Wagner, V. Brade, R. Kaufman, "Colonization with superantigen-producing

Staphylococcus aureus is associated with increased severity of atopic dermatitis, Clin Exp”, *Allergy*, Vol.30, No.7, pp.994-1000, Dec. 2001.

DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2222.2000.00848>

- [12] R. Bunikowski, M. E. Mielke, H. Skarabis, M. Worm, I. Anagnostopoulos, G. Kolde, U. Wahn, and H. Renz, “Evidence for a disease-promoting effect of Staphylococcus aureus-derived exotoxins in atopic dermatitis”, *Journal of Allergy and clinical Immunology*, Vol.105, No.4, pp.814-819, Apr. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1067/mai.2000.105528>
- [13] K. Breuer, M. Wittmann, B. Börsche, A. Kapp, T. Werfel. “Severe atopic dermatitis is associated with sensitization to staphylococcal enterotoxin B (SEB)”, *Allergy*, Vol.55, No.6, pp.551-555, Jun. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1398-9995.2000.00432.x>
- [14] F. K. Mattner, F. C. B, E.B M, H. S, A.W. T, I. F. C. “Preventing the spread of multidrug-resistant gram-negative pathogens: recommendations of an expert panel of the German Society For Hygiene and Microbiology”, *Deutsches Ärzteblatt international*, Vol.109, No.3, pp.39-45, Jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0039>
- [15] Korean Society for Healthcare-associated Infection Control and Prevention. Standard precaution and guidelines for isolation by transmission route: infection control and prevention in healthcare facilities. 5th ed. Seoul: Hanmi Medical Publisher. 2017.
- [16] P. H. Park, “Air filter trend for air purifiers”, *Air cleaning technology*, Vol.33, No.1, pp.31-37, 2020. DOI: <https://doi.org/O2020/49444380889>
- [17] E. S. Son, J. I. Lee, J. J. Jung, J. H. Hwang, J. S. Lee. “Escherichia coli sterilization effect of plasma Advanced Oxidation Process in AtmoPlastorm air sterilizer device”, *Proceedings of Spring Conference of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Korea Academia-Industrial cooperation Society, Korea, Vol.22, pp.860-862, July. 2021. DOI: <https://doi.org/2021/spring303>
- [18] H. N. Kyung, J. S. Son, K. J. Sung, Y. K. Jang. “Comparative Efficiency Evaluation of Air Cleaners for Improving Indoor Air Quality”, *Journal of environmental impact assessment*, No.3, Vol.14, pp.109-115, Apr. 2005. DOI: <https://doi.org/G704-000713.2005.14.3.004>

손 은 순(Eun-Soon Son)

[정회원]



- 2010년 2월 : 경남대학교 대학원 식품생명공학 (공학석사)
- 2020년 8월 : 경남대학교 대학원 건강과학과 (이학박사)
- 2010년 3월 ~ 2010년 7월 : 한국 전통의학연구소
- 2010년 8월 ~ 현재 : (재)국제결핵연구소 미생물연구부 선임연구원

<관심분야>

감염질환, 결핵진단, 항결핵약제개발

이 지 임(Ji-lm Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 동의대학교 분자생물학과 (분자생물학학사)
- 2007년 6월 ~ 현재 : (재)국제결핵연구소 미생물연구부 선임연구원

<관심분야>

감염질환, 결핵진단

정 장 근(Jang-Gun Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 경남대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경남대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 2017년 3월 : 창원 문성대학교 교수
- 2018년 1월 ~ 현재 : (주)경동냉열 산업 플라즈마사업부 본부장

<관심분야>

플라즈마 응용, 수처리, 공기정화

황 종 호(Jong-Ho Hwang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부경대학교 냉동공조학과 (공학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : (주) 경동냉열산업 개발부 이사

<관심분야>

냉동공조, 플라즈마 수처리

이 종 석(Jong Seok Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 경북대학교 일반대학원 미생물학과 (미생물학박사)
- 2002년 8월 ~ 2006년 4월 : 독일 Max Plank Institute, PostDoc
- 2006년 5월 ~ 2008년 2월 : 연세대학교 의과대학 연구교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : (재)국제결핵연구소 미생물연구부 부장

<관심분야>

감염질환, 결핵진단