

에뜨모플라스톰 공기살균장치의 결핵균 살균효과

손은순*, 이지임*, 정장근**, 황중호**, 이종석*

*(재)국제결핵연구소

** (주)경동냉열산업

cosmosljs@gmail.com

Sterilization effect of AtmoPlastorm air sterilizer on *Mycobacterium tuberculosis*

Eun-Soon Son*, Jiim Lee*, Janggun Jung**, Jongho Hwang**, Jongseok Lee*

*International Tuberculosis Research Center

**Kyung Dong R&H CO., LTD.

요약

본 논문에서는 advanced oxidation process(AOP)기술이 적용된 에뜨모플라스톰(AtmoPlastorm) 공기살균기의 결핵균 살균 효과를 연구하고자 하였다. 에뜨모플라스톰 공기살균기 1)공기 포집 및 강제 공기순환을 위한 공기포집장치와 2)살균이 일어나는 플라즈마 발생장치로 구성되어 있다. 살균 효과는 각 살균기에서 결핵균의 수를 측정하여 평가하였다. 결핵균을 1×10^7 CFU/4.2 mL을 투입하여 실험을 진행하였다. 1, 5, 10, 15분 및 20분 동안 플라즈마를 발생하였다. 이때, 각 시간대의 포집장치와 플라즈마 발생장치의 결핵균을 회수하여 배양하였다. 그 결과 에뜨모플라스톰 공기살균기 작동 5분, 10분, 15분, 20분에서 결핵균이 관찰되지 않아 기기에 투입된 오염균을 모두 진집 되었음을 알 수 있었다. 결핵균에 노출된 처리 수에 남아 있는 박테리아를 동일한 시간에 회수하여 결핵균 배지에 접종하여 배양한 5분 이후부터 결핵균 및 다른 균의 오염 및 증식이 관찰되지 않았다. AOP 기술이 적용된 에뜨모플라스톰 공기살균기는 공기 중의 세균을 신속하고 완전하게 제거하여 실내 공기를 위협할 수 있는 세균 및 공기 질을 효과적으로 관리할 수 있음을 보여 주었다.

1. 서론

신종 인플루엔자바이러스(Novel swine-origin influenza A: H1N1)의 경우 2010년 3월까지 전 세계 213개국에서 감염자가 확인되었으며, 사망자가 16,713명으로 공식 집계하였다[1]. 2009년 신종플루 전파를 계기로 공기 감염에 관한 관심이 급속히 증가하였다. 또한, 최근 발생한 코로나 19(Cov-19)의 발생으로 2019년 한 해 동안 우리나라에서는 총 6만 740명이 발생한 것으로 나타났고, 발생률은 인구 10만 명당 117명으로 보고되고 있다[2]. 이처럼 급속한 전파의 공기 감염에 관해서 관심이 증가하고 있다.

일반적으로 전염병의 전파방식은 접촉, 비말, 공기로 나눌 수 있다. 접촉감염은 감염자의 분비물을 직접적으로 접촉하여 감염된다[3]. 비말감염은 기침 및 재채기로 인한 1-2 m 미만의 확산 후 낙화 되어지는 비말감염과 2 m 이상의 비산되어 확산될 수 있는 비말핵감염으로 분류된다. 비말핵이나 먼지를 매개체로 부유하는 비말 입자에 의해 이루어진다[4]. 비말

핵은 기침이나 재채기를 통해 나온 비말이 시간이 지남에 따라 수분이 증발하고 남아 있는 직경 $5 \mu\text{m}$ 이하의 입자를 의미한다. 기침, 재채기, 대화 중에 감염된 사람의 호흡기를 통해 배출되며 공기 중에 몇 시간 또는 수일 생존이 가능하다. 일반적으로 $5 \mu\text{m}$ 보다 큰 크기의 먼지는 신체에서 걸러지지만 $5 \mu\text{m}$ 이하의 미세입자는 호흡기 깊숙이 침투하고, 크기가 작을수록 공기 중 부유 시간이 길어지고 폐포에 깊숙이 침투할 수 있다[5]. 이러한 간접전파의 대표적인 질병으로 결핵, 홍역, 수두 등이 있다[6].

이처럼 호흡기계통의 질환이 대부분이다. 우리나라는 공기 감염과 가장 밀접한 관련이 있는 결핵의 유병률이 최근 젊은 층에서 지속해서 증가하고 있다. 결핵은 호흡기 전파질환으로 밀접접촉자의 약 30%가 잠복 결핵으로 감염되고, 이 중 약 10%의 감염자가 면역력이 약해지거나, 평생에 걸쳐 발병하는 질병이다. 우리나라는 경제협력개발기구(Organization for economic co-operation and development, OECD) 회원국 중 인구 10만 명당 결핵 발생률이 66.0명으로 1위를 차지하였다 [7]. 2013년도부터 2016년까지 집단 시설별 결핵 조사 건수를 조사한 결과 직장, 학교, 의료기관, 사회복지시설, 군부대·경

찰과 같이 집단시설에서의 결핵 환자의 수가 증가하였다. 2018년 경기도의 한 고등학교에서 집단감염으로 산발적인 결핵 감염이 일어났다. 또한, 2019년 부산의 산후조리원에서 신생아 22명이 잠복 결핵 양성판정을 받았다. 간호조무사 한 명이 결핵 감염을 인지하지 못 한 상태로 신생아를 돌보았고, 더불어 코로나 19가 겹친 상태였기 때문에 사태의 심각성은 무엇보다 컸다.

기존의 공기정화장치는 필터 여과, 광 촉매, 자외선, 플라즈마 등의 원리를 적용하여 만들어져 있다. 하지만 미세먼지와 공기살균 동시 처리기능이 부재되어 있거나, 미세먼지 제거 필터와 자외선 또는 촉매를 적용하여 살균 효과를 동시에 적용하는 경우도 있으나, 대용량의 경우 적용을 제외하는 경우도 있었다[8]. 또한, 실제 제시된 평수의 70%만 처리되는 경우가 많았다. 또한, 미세먼지 처리 위주의 공기청정기와 공기살균기를 같이 설치할 경우 비용의 부담이 커져 설치의 어려움이 많다. 따라서 미세먼지와 공기살균이 동시에 처리 가능한 새로운 형식의 공기정화 제품의 개발이 필요하다. 인체에 무해하고 고가의 비용이 들지 않는 기술을 가지고 있는 플라즈마 AOP가 적용된 기술을 이용하여 결핵균의 살균기능을 평가하고 이것을 생활환경에서의 감염병 예방에 활용하고자 하였다.

2. 대상 및 방법

2.1 균주 배양 및 접종

본 연구에서 수행한 모든 실험은 약독화된 결핵 균주 *Mycobacterium tuberculosis* H37Ra(ATCC 25177)로 (재)국제결핵연구소(Chang won, Korea)에서 보유하고 있는 것으로 사용하였다.

결핵균은 결핵균 배양용 액체배지(Middle brook 7H9 broth, BD, NJ, USA) 10% OADC에서 최소 3주간 배양하여 사용하였다.

본 연구의 실험에서는 균액 탁도(turbidity)를 McFarland 0.50 (1.5×10^8 CFU/mL)기준으로 하였다(Bollela, Sato et al. 1999). 이때 사용된 현탁액 용매는 무기 용액으로 비교적 오랫동안 균이 생존할 수 있지만, 증식하지 않는 PBS 용액(gibco)으로 탁도 0.50(colorimeter Densi. CHEK, BioMe'rieux, Etoile, France)에 맞추어 균액을 준비하였다. 준비한 균액을 1×10^7 CFU/4.2 mL로 배양액을 희석하여 살균력 측정에 사용하였다.

2.2 플라즈마 장치

본 연구에서 사용되는 플라즈마 공기살균 장치는 ㈜경동냉열

에서 개발한 플라즈마 AOP (Advanced Oxidation Process) 기술을 적용한 에프모플라스탐(AtmoPlastorm)이다. 살균력 측정에 사용한 풍량은 $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$, 플라즈마 소비 전력은 40W이다. 균포집 샘플러의 조건은 면적에 비례하여 100 L/min으로 포집하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서 사용되는 플라즈마 공기살균장치는 플라즈마 AOP (Advanced Oxidation Process)기술을 적용한 에프모플라스탐(AtmoPlastorm)의 플라즈마 살균부와 물 분사 포집부로 구성되어 있다(그림 1). 균 분사기를 통해 장비 안의 공기를 오염된 환경으로 만들어 준다. 장비 상부에 설치된 물 분사 장치를 이용하여 수조 내로 포집한 다음 AOP 살균 장치로 강제 순환시킨다. 포집된 오염균은 장치 외부에 있는 플라즈마 살균 수조에서 살균과정을 거치게 된다. 이 과정에서 1) 포집되지 않은 균은 배출부 위에 설치한 균포집 샘플러를 이용해 균수를 측정하여 장비에 의한 완전성을 검증하였으며, 2) 살균력을 확인하기 위한 AOP 살균과정을 거친 수조 내 물을 채취하여 균수를 측정하여 살균력을 측정하고자 하였다. 장비 작동 후 1분, 5분, 10분, 15분, 20분 각 시간대에 샘플러를 이용하여 공기 중의 오염균을 포집 후 37°C 배양기에서 6주 배양 후 균의 성장을 확인하고자 하였고, 동일한 시간대의 처리 수를 채취하여 고체배지에 접종 후 37°C 배양기에서 6주 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.

2.4 집락 계수(colony count)

플라즈마에 의해서 유도된 미생물 살균 효과의 평가는 생화학 확산 어세(assay)이에 의해서 이루어진다. 즉, 플라즈마로 처리된 미생물이 배양액이나 배지에서 자라면서 형성하는 집락 수를 세어서 오염제거 및 살균 효과를 평가한다. 이때 단위는 CFU(Colony Forming Unit)를 사용하였다. 챔버 내 플라즈마 노출은 같은 조건으로 최소 3회 이상 반복하였다. 노출시킨 결핵균은 각각 37°C에서 4주 배양 후 colony counter (SCIO, finetec, Korea)를 사용하여 집락 형성 단위인 CFU/ml를 계수하였다. 감소 효과 평가율은 플라즈마 처리 전 균집락수(N_0)와 플라즈마 처리 후 세균 집락수(N_t)를 계수한 뒤, 아래의 식에 대입하여 계산하였다.

$$\text{Sterilization rate(\%)} = \frac{N_0 - N_t}{N_0} \times 100$$

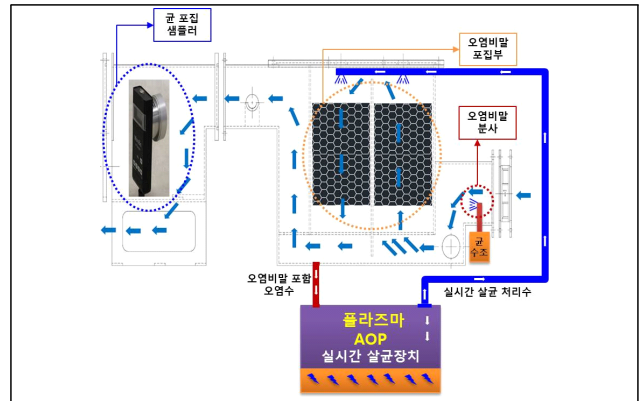
3. 결과

본 연구에서는 실험의 이해도를 높이기 위하여 실험의 흐름을 모식도로 나타내었다(그림 1). 연구에 앞서 장비 자체의 살균 상태를 점검하고자 에프모플라스툼 공기살균장치에 멸균된 IXPBS를 균 분산 장치에 넣어 작동하였다. 균 포집기에 TSA 배지를 넣어 장비를 작동 전, 후 샘플러를 작동시켜 살균 장비의 오염도를 측정하였다. 또한, 플라즈마 처리 수기의 처리 수를 수거하여 TSA 배지에 접종하여 37°C 배양기에 배양 후 24시간 뒤 균의 증식을 확인하였다. 그 결과 TSA 배지에 오염균의 콜로니가 전혀 관찰되지 않았다. 따라서, 에프모플라스툼 공기살균장치에 균이 오염되지 않은 것을 확인 후 본 실험을 진행하였다(data not shown). 에프모플라스툼 공기살균장치의 균 포집 효과를 확인하기 위해서 에프모플라스툼 공기살균장치 작동 1분, 5분, 10분, 15분, 20분 후 샘플러를 이용하여 공기 중 결핵균을 포집하였다. 그 결과 작동 1분 후 7H10 고체배지에 결핵균의 콜로니가 형성되었다, 하지만 다른 균의 오염으로 인해 결핵균의 정확한 수 측정이 불가능하였다. 결핵균의 증식 속도가 매우 느려 4~6주간 배양해야 하는데, 배양 기간이 6주가 소요된다. 이때 고체배지를 뒤집어 보관은 하지만 배양 기간이 길어 짐에 따라 배지에 물이 형성되어 다른 균이 성장할 수 있는 환경이 형성됨에 따라서 다른 균의 오염율이 높아지게 된다. 다른 시간대의 플레이트에도 배지에 물이 형성되는 것은 동일 하였으나, 다른 균의 오염이 관찰되지 않았다. 플라즈마에 노출되는 시간이 길어 짐에 따라 살균 효과를 나타낸 것으로 생각된다. 추후에 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 5분, 10분, 15분, 20분에서는 결핵균의 콜로니가 형성되지 않았다(그림 2A). 즉, 에프모플라스툼 공기살균 장비 내의 공기 중 결핵균을 5분부터 100% 포집율을 확인할 수 있었다(그림 2B). 보고된 바에 따르면 에프모플라스툼 공기살균 장비에서 대장균의 포집능이 우수하다는 것은 확인하였고[9], 또한 결핵균 포집능 또한 우수한 것을 확인할 수 있었다.

따라서 에프모플라스툼 공기살균 장비에서 플라즈마 AOP 살균 수를 이용하여 공기 중의 오염균을 포집하는 포집 능력이 균에 제한적이지 않은 것으로 생각된다.

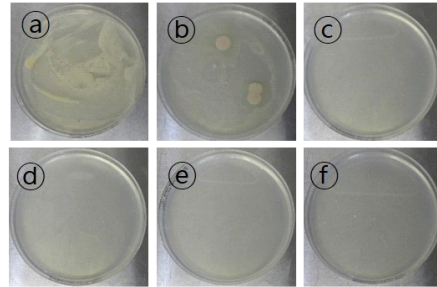
AOP 살균과정을 거친 수조의 처리 수를 수거하여 살균 능력을 확인하고자 하였다. 장치작동 후 1분, 5분, 10분, 15분, 20분 후 처리 수를 7H10 고체배지에 접종하여 37°C 배양기에서 6주간 배양 후 콜로니 형성을 확인하였다. 그 결과 1분에서는 다른 균의 성장이 관찰됨에 따라 결핵균의 성장 확인이 불가

능하였다. 그러나 5분, 10분, 15분, 20분에서는 6주간의 배양 기간이 걸렸음에도 불구하고 다른 균과 결핵균의 성장이 전혀 관찰되지 않았다. 즉, AOP 플라즈마 처리 수가 5분 후부터 100% 결핵균 성장 저해 효과를 나타내었다. 이는 포집효과에서와 동일한 결과를 확인하였다(그림 3).

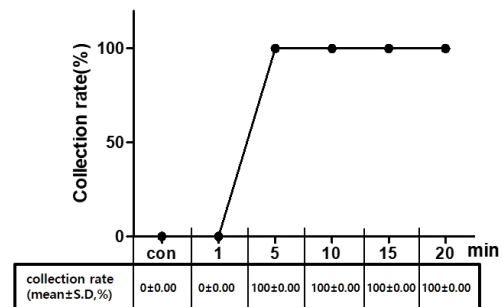


[그림 1] 실험모식도

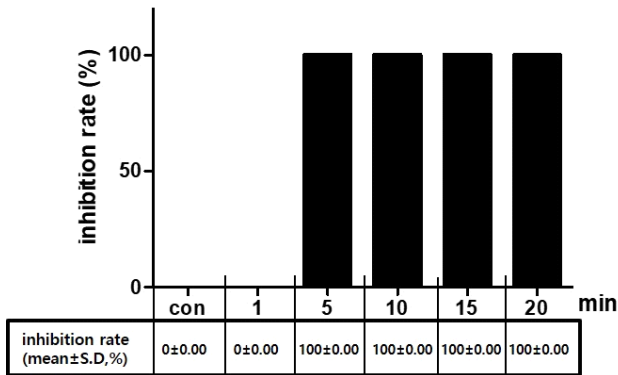
(A)



(B)



[그림 2] 장비 작동 후 공기 중 부유 결핵균 포집율



[그림 3] 처리 수의 결핵균

사 사

이 논문은 정보통신산업진흥원의 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).

참고문헌

[1] World Health Organization. Global Tuberculosis Report. 2018. GenevaSwitzerland. Available from: URL: http://www.who.int/tb/publications/global_report/en/

[2] 질병관리본부 감염병 감시연보, Centers for Disease Control & Prevention, Infection Diseases Surveillance Yearbook, 2015.

[3] R. M. Jones, Y. Masago, T. Bartrand, C. N. Haas, M. Nicas, J. B. Rose. Characterizing the Risk of Infection from Mycobacterium tuberculosis in Commercial Passenger Aircraft Using Quantitative Microbial Risk Assessment. Risk Analysis, Vol. 29, no. 3, pp. 335-365, Dec, 2009.

[4] M. J. Jung, J. K. Hong, Analysis on Dispersion of Airborne Cough Droplets for COVID-19 Social Distancing Policy. Korean Journal of air-Cond, Vol. 33, no. 10, pp. 533-542, May, 2021.

[5] B. Declan, South Korean MERS outbreak is not a global threat. Nature International weekly journal of science, June 2015.

[6] B. R. Bird, B. R., M. M. Denniston, R. E. Huebner, R. C. Good. Changing practices in mycobacteriology: a follow-up

survey of state and territorial public health laboratories. Journal of clinical microbiology. Vol. 34, no. 3, pp. 554-559, Mar, 1996.

[7] World Health Organization. Global Tuberculosis Report 2018. GenevaSwitzerland. Available from: URL: http://www.who.int/tb/publications/global_report/en/

[8] K. J. Heo, I. Y. Park, G. H. Lee, K. J. Hong, B. W. Han, J. H. Jung, S. B. Kim, Effects of Air Purifiers on the Spread of Simulated Respiratory Droplet Nuclei and Virus Aggregates. International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 18, No. 16, pp. 1660-4601, Aug, 2021.

[9] E. S. Son, J. I. Lee, J. G. Jung, J. H. Hwang, J. S. Lee, Sterilization Effect of AtmoPlastorm Air Sterilizer on Staphylococcus aureus. Journal of the Korea Academia Industrial cooperation society, Vol. 22, No. 11, pp. 557-563, Aug, 2021.