

에뜨모플라스툼 (Atmoplastorm) 공기살균장치의 플라즈마 AOP(Advanced Oxidation Process) 대장균 살균 효과

손은순*, 이지임*, 정장근**, 황종호**, 이종석*

*(재)국제결핵연구소

** (주)경동냉열산업

e-mail:cosmosljs@gmail.com

Escherichia coli sterilization effect of plasma Advanced Oxidation Process in AtmoPlastorm air sterilizer device

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

*International Tuberculosis Research Center

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

요약

본 논문에서는 경동냉열에서 개발한 에뜨모플라스툼 공기살균장치의 플라즈마 AOP 살균기술을 이용하여 대장균 살균 효과를 확인하고자 하였다. 장비는 공기 중의 오염물질을 포집해 주는 부분과, 포집한 오염물질을 살균하는 장비로 나누어져 있다. 먼저, 플라즈마 AOP 살균수를 이용하여 공기 중의 병원성 세균 및 오염물질 포집 능력을 확인한 결과 장비를 5분 이상 작동 시 공기 중의 오염원을 100% 포집 되는 것을 확인할 수 있었다. AOP 살균 수를 이용하여 포집한 대장균은 플라즈마 AOP 실시간 살균장치를 통해 살균 후 깨끗한 물로 정화되어 순환 된다. 이때 AOP 실시간 살균장치의 효능을 확인하기 위해 처리 수를 회수하여 대장균의 증식 여부를 확인한 결과 100% 성장 저해 효과를 확인하였다.

1. 서론

우리가 생활하고 있는 공간에서 심각한 대기오염 및 감염 경로가 확인되지 않은 여러 질병, 백신도 미개발된 상태의 신종 인플루엔자와 같은 질병들이 만연하고 있다. 지하철, 버스, 전철, 병원, 학교, 학원, 극장, 어린이집, 찜질방, 전시장 등 현대인들이 많은 시간을 보내고 있는 생활공간에서 감염 등을 방지하기 위한 공기청정설비의 살균, 제균이 필요하다 [1, 2].

공기 전파 질병은 호흡에 의해 배출된 병원균이 비말 등의 상태로 수 분, 수 시간, 수 일 등 생존하다가 다른 사람에게 감염된다. 예방 백신 개발, 치료제 개발 등의 의학적 대책 마련뿐만 아니라, 개인위생, 접촉 회피 등의 소극적인 방법과 더불어 적극적인 공기 내 감염원을 제거하여 사회생활을 지속할 수 있는 기반을 마련하는 것이 중요하다[3].

기존의 공기장치는 필터 여과, 전기집진, 광촉매, 자외선, 플라즈마의 원리를 적용하여 만들어져 있다. 그러나 필터 막힘과 필터에 균이 부착되어 있을 경우 균 성장이 가능하고, 필터 교환 시 비용, 폐기물처리 면에서 다소 어려운 점이 있다[4].

전기집진은 정전기를 이용하여 입자상 물질을 포집하고, 전기강도를 조정하여 오존을 발생시켜 포집과 살균을 동시에

행한다. 그러나 집진 건국에 오염물질이 부착될 경우 집진력 저감에 따른 처리효율 동시 저감 되는 단점이 있다[5].

광촉매는 자외선을 흡수하면 전기적 현상이 발생하는 촉매를 사용하여 유기물인 미생물과 반응하여 세포막 등을 파괴하여 살균한다. 그러나 광촉매 살균을 99%라고 하는 경우 여과 매체에 부착된 미생물 개수를 기준으로 환산한 값이므로 부유 미생물을 처리하는데 한계가 있고, 일정 수준 공기청정기도 좋은 곳에 적용할 수 있지만, 대용량 및 공기 질 나쁜 곳에서는 적용에 어려움이 있다[6].

자외선의 경우 자외선 발생 되는 램프를 이용하여 살균하기 때문에 설치가 간단한 장점이 있다. 그러나 공기의 흐름이 많거나 빠를 경우 처리 효과 저감 되고 특히, 비말 형태와 같이 입자상 물질의 살균이 어려우므로 먼지가 많은 공간의 살균에는 효과가 떨어진다[7].

플라즈마의 경우는 전기방전에서 생성된 이온을 방출하여 부유 미생물의 세포막을 파괴하여 살균한다. 그러나 플라즈마 발생을 위한 장치가 고가라 경제성이 떨어지고, 플라즈마에서 발생하는 부산물인 오존과 라디칼이 배출, 누설될 경우 강력한 산화력에 의한 위해를 가질 수 있는 단점이 있다.

AOP(Advanced Oxidation Process)공법은 공기나, 수 처리 산화기술로써, 이미 국내·외에서 검증된 산화 메커니즘인, 자외선(UV), 오존(O₃), 과산화수소(H₂O₂) 등을 융합

하여, 반응성이 좋고, 산화력이 강력한 산화물인, OH라디칼(Radical)등을 대량으로 생성시켜, 병원성 미생물(세균, 곰팡이 및 바이러스) 살균과 각종 유해물질, 악취를 제거하는 화학적 산화공정이다[8].

AOP 기술은 수용성 상태의 유기 화합물을 효과적으로 제거 할 수 있고, 살균 및 소독 분야에도 상당한 효과가 있다. OH가 환원되면 최종적으로 H₂O가 생성되기 때문에, 이론적으로 2차 유해 물질이 발생하지 않는 장점이 있다. 그러나 지속적 반응을 유지하기 위해서는 고가의 시약이 계속 투입되어야 하므로 고도산화처리의 경제성을 확보하기 위해서는 대상물처리를 위한 적절한 산화 강도의 방법을 적용할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서 사용된 에뜨모플라스톰(AtmoPlastorm) AOP 기술은 고도산화처리 기술의 가장 큰 단점인 고가의 비용을 해결하기 위해서 고가의 시약을 투입하지 않고도 효율적인 처리가 가능한 기술을 적용시켰다. 이 기술은 수중에서 플라즈마를 발생시켜 이때 발생하는 부산물(오존, 라디칼, UV 등)을 플라즈마 반응 부에서 동시에 융합 반응시키는 기술로 고도 산화를 발생시키는 기술로 일반 세균/대장균 기준 실시간 살균율 99% 이상을 유지할 수 있는 기술이다.

본 연구에서는 플라즈마 AOP 기술을 이용하여 황색포도상구균과 대장균의 살균기능을 평가하고자 하였다.

2. 대상 및 방법

2.1 균주 배양 및 접종

본 연구에서 사용된 균주는 그람음성 간균인 대장균(*Escherichia coli* KACC 1005)으로 국제결핵연구소(Changwon, Korea)에서 보유하고 있는 것으로 사용하였다. 대장균은 LB broth 배지에 접종 후 24시간 뒤 OD 1.0으로 배양 후 균수는 1×10^7 CFU/4.2mL로 맞추어 실험에 사용하였다.

2.2 플라즈마 장치 및 실험방법

본 연구에서 사용되는 플라즈마 공기살균 장치는 플라즈마 AOP(Advanced Oxidation Process)기술을 적용한 에뜨모플라스톰(AtmoPlastorm)의 플라즈마 살균부와 물 분사 포집부를 이용하여 실험하였다. 풍량은 2.5(m³/min), 플라즈마 소비 전력은 40(W)이다(그림 1). 균포집 샘플러의 조건은 면적에 비례하여 100 L/min 으로 포집하였다.

배양한 대장균을 균수조에 투입하여 대장균을 분사한다. 균포집 샘플러를 통해서 장비 안에 포집되지 않은 균의 수를 측정하였다. 또한, 오염비말을 포집 후 플라즈마 AOP 실시간

살균장치를 통해 대장균 살균력을 측정하고자 하였다.

본 연구에서 실험의 이해도를 높이기 위해서 플라즈마 노출 방법 및 실험과정을 모식도로 나타내었다(그림 2). 본 실험은 BSC 내부에 설계하여 실험하였다.

2.3 집락 계수

플라즈마 효율성의 미생물학 검증은 생화학 확산어세이(assay)에 의해서 이루어진다. 즉, 플라즈마로 처리 후 포집된 미생물이 배양액 또는 배지에 자라면서 형성되는 집락수를 세어서 오염 제거 및 살균효과를 평가한다. 이때 단위는 CFU(Colony Forming Unit)를 사용하였다. 플라즈마 발생시 공기중의 미생물을 포집하는 조건은 같은 조건으로 최소 3회 이상 반복하였다. 공기 중에 포집된 대장균은 37°C에서 24시간 배양 후 생성된 집락수(Colony counter: SCIO, finetec, Korea) 사용하여 집락 형성 단위인 CFU/mL로 계수하였다.

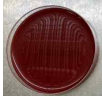
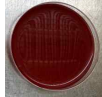

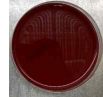
3. 결과 및 결론

에뜨모플라스톰 공기살균장치의 플라즈마 AOP 장치의 공기 중 대장균 포집효과 및 살균효과를 육안으로 확인하였다. 그 결과 장치작동 5분, 10분, 15분, 20분 후 공기를 포집하여 AOP 살균수로 공기중 대장균의 포집력을 확인한 결과 대장균이 포집되지 않았다. 이는 플라즈마 AOP 살균수로 공기중의 대장균 100% 포집율을 확인하였다(표 1).

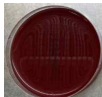

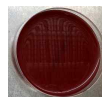
또한 플라즈마 AOP 살균수로 포집된 처리수는 플라즈마 혼합 재처리 살균수조에서 살균 및 입자물질을 제거 하게 된다. 이때 포집된 대장균의 살균효과를 확인하고자 장비를 작동시킨 후 장비 작동 최종 시간인 20분 뒤 살균수조의 물을 수집하여 대장균의 유무를 확인한 결과 살균수조에서 대장균의 성장을 확인할 수 없었다(표 2). 플라즈마 혼합 재처리 살균수조에서 100%의 살균효과를 확인 할 수 있었다.

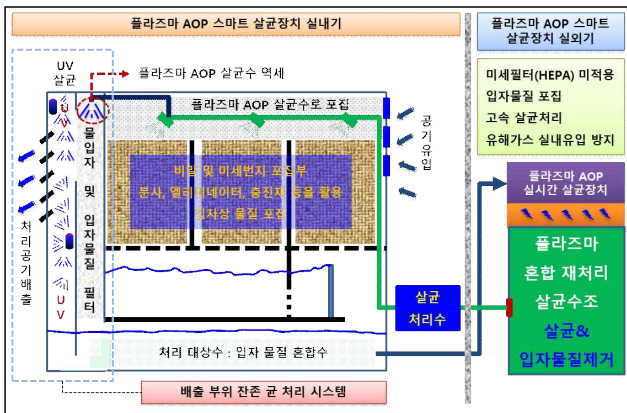
따라서, 경동냉열에서 개발한 에뜨모플라스톰 공기살균장치의 플라즈마 AOP 기술은 현재 시판되고 있는 공기정화 장치들의 여러 단점과 비용적인 문제를 극복할 수 있는 새로운 기술이라 할 수 있다. 또한 본 연구에 사용된 기술은 환경보건, 생활환경에서의 감염병 예방에 큰 도움이 될 것으로 사료 된다.

[표 1] 장비 작동 후 공기중 부유세균 포집율

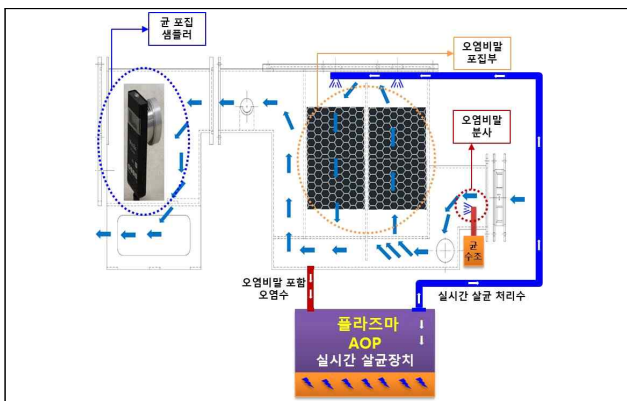
공기중포집	플라즈마 작동 시간(min)			
	5	10	15	20
				
부유세균 포집율(mean±S.D, %)	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

[표 2] 처리수의 대장균

처리수	원액	1/10희석	1/100희석
			
균성장 저해율(mean±S.D, %)	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00



[그림 1] 플라즈마 AOP 스마트 살균장치



[그림 2] 실험모식도

사 사

이 논문은 정보통신산업진흥원의 재원으로 경남테크노파크 (연구사업명 : 지역균형발전 SW·ICT융합 기술개발 사업, 연

구과제명 : 플라즈마 AOP(Advanced Oxidation Process) 기술을 적용한 스마트 공기 살균장치 개발)의 지원을 받아 수행된 연구임(과제고유번호 S1120-21-1006-1).

참고문헌

- [1] 이아미, 김나영, 김소연, 김종설, “학교 실내환경에서 공기 중 미생물의 분포 및 특성”, 미생물학회지, vol. 41, no.3, pp. 188-194, 2005년.
- [2] 황광환, 이아미, 신현진, 김종설, “유치원의 실내환경에서 공기중 미생물 수의 계절적 변화”, 미생물학회지, vol. 39, pp. 253-259, 2003년.
- [3] 권순박, 김창수, “국내외의 공기감염 분야 연구동향”, 한국임자에어로졸학회, 제6권 제2호, pp. 81-90. 2010년.
- [4] C. S. Kong, J. Y. Bang, H. S. Kim, “Study on Production of Kimchi Enzyme Antibacterial Filter Using Electrospray”, Textile Science and Engineering, vol. 50, no. 2, pp. 120-125, 2013.
- [5] J. H. Hwang, K. Y. Yoon, J. H. Byeon, J. H. Park, C.W. Park, “Bio-aerosol control technology using antibacterial filter coated with silver nanoparticles”, Air cleaning technology, vol. 20, no. 1, pp. 57-65, 2007.
- [6] S. Y. Park, J. H. Jung, G. B. Hwang, G. N. Bae, Y. P. Kim, C. W. Nho, “Comparison of Antibacterial Ability of Air Filter Media Treated with a Natural Antibacterial Agent by Three Treatment Methods”, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, vol. 29, no. 2, pp.125-134, 2013.
- [7] Y. H. Yoon, S. H. Nam, J. C. Joo, H. S. Ahn, “Photocatalytic disinfection of indoor suspended microorganisms (Escherichia coli and Bacillus subtilis spore) with ultraviolet light”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 15, no. 2, pp. 1204-1210, 2014.
- [8] Lloyd G, Friedman G, Jafri S, Schultz G, Fridman A “Gas Plasma: Medical Uses and Developments in Wound Care”, Plasma Processes and Polymers, vol. 7, pp. 194-211, 2010.