

바이오에어로졸에 대한 항균 기술의 현황과 발전 방향

박철우 · 윤영훈¹⁾ · 황정호*

연세대학교 기계공학과, ¹⁾한국환경산업기술원 녹색기술개발실

(2010년 4월 5일 투고; 2010년 6월 15일 수정; 2010년 6월 21일 게재확정)

A study on the situation and development for the antimicrobial technologies of bioaerosol

Chul-Woo Park · Young-Hoon Yoon¹⁾ · Jung-ho Hwang*

Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Republic of Korea

¹⁾Green Technology Development Office, Korea Environmental Industry and Technology Institute

(Received 5 April 2010; received in revised form 15 June 2010; accepted 21 June 2010)

1. 서 론

실내환경 기술은 2009년 1월 정부의 녹색기술 연구개발 종합대책에서 선정한 27대 중점육성기술의 하나(유해성물질 모니터링 및 환경정화 기술)에 해당되고, '저탄소 녹색성장(Low carbon, Green growth)'의 대표적 분야인 Green building, Green home, Green car와 밀접하게 관련되며, 건강하고 안전한 실내환경의 구현을 통하여 생활환경의 질을 선진국 수준으로 향상시키고, IT, NT, BT를 융합한 환경기술(ET)을 기반으로 저탄소 고품질 실내환경 신산업을 창출하여 세계시장을 선도할 수 있는 녹색성장의 주축이 되는 기술 분야이다.

열악한 실내공기 질에 의해 환경성질환인 천식, 아토피 피부염, 알레르기 비염의 환자가 증가하는 추세이다(Table 1). 2002년 대비 2006년 알레르기 비염 환자는 35.6%, 천식 환자는 16.6% 증가하였고, 특

히 저항력이 낮은 9세 이하인 아동의 진료비율은 천식의 경우 5명 중 1명(19.6%), 아토피 피부염의 경우 9명 중 1명(11.4%), 알레르기 비염의 경우 6명 중 1명(16.3%)으로 높다. 실내공기질의 사회적 중요성이 크게 부각됨에 따라 환경부에서는 2003년 '다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법'을 제정하여 실내 공기질을 관리할 수 있는 제도적인 기틀을 마련하였고, 2004년 '1차 실내 공기질 관리 기본계획'을 수립하고 '실내 환경 개선협의회'를 구성하여 범정부 차원의 실내 공기질 관리체계를 구축하였으며(Table 2) 2009년에는 환경성 질환 증가 및 기후변화문제 대응 등 그간 변화된 국내·외 여건19.응하고자 '2차 실내 공기질 관리 기본계획'을 수립·추진하였다. 환경부는 또한 2008년에는 4계 민간군 시설19.하여 진균의 오염분포와 종을 조사하였고 2009년에는 전국적으로 17개 다중이용시설19.하여 실내환경19있어서 세균염의진균의 오염도를 파악하면서 그 유해성을 평가하고 있다. 실내 오염 물질 중 현재 바이오에어로졸(Bioaerosol), 휘발성 유기 화합물(Volatile

* Corresponding author.

Tel : +82-2-2123-2821, E-mail : hwangjh@yonsei.ac.kr

Table 1. Annual growth of patients of major environmental diseases.

(Unit : Ten thousands person)

구 분	2002	2003	2004	2005	2006	4년간 증가율 (*02년 기준)
천식	198	199	210	226	231	16.6%
아토피 피부염	112	115	116	115	108	-3.9%
알레르기 비염	296	319	355	389	401	35.6%
총계	545	570	614	656	665	20.9%

출처 : 국민건강보험공단(2008)

Table 2. Indoor air quality management of multi-purposed facilities.

오염물질	유지기준					권고기준				
	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	HCHO (ppm)	총부유세균 (CFU/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	Rn (pCi/L)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (#/cc)	오존 (ppm)
지하역사, 지하도상가, 여객자동차터미널 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 장례식장, 찜질방, 대규모점포, 지하상점가	150 이하	1,000 이하	120 이하	-	10 이하	0.05 이하	4.0 이하	500 이하	0.01 이하	0.06 이하
의료기관, 보육시설, 노인의료시설, 산후조리원	100 이하			800 이하				400 이하		
실내주차장	200 이하			-	25 이하	0.3 이하		1,000 이하		0.08 이하

organic compounds, VOCs), 미세먼지(나노입자)가 주된 연구대상으로 다루어지고 있다. 본 연구에서는 바이오에어로졸에 대한 항균 기술 내용을 다룰 것이다.

2. 본 론

2.1 항균 기술의 정의

미생물을 제어하는 기술을 크게 아울러 항균(Antimicrobial) 기술이라고 하며, 항균은 정균(Static effect)과 살균(Sterilization)을 포함하는 의미이다. 정균이란 미생물의 성장과 대사가 저지되는 것을 의미하며, 살균은 미생물에 물리적·화학적 자극을 가하여 이를 단시간 내에 멸살(滅殺)시키는 것을 의미

한다. 즉, 살균은 미생물 자체를 죽이는 것을 의미하며, 정균은 미생물 자체를 죽이는 것보다는 이들이 번식하지 못하도록 하는 것을 의미한다. 살균은 다시 병원성이든 비병원성이든 모든 대상 미생물을 완전히 사멸상태로 만드는 멸균과 병원성 미생물이 병원성을 나타내지 못하도록 그 밀도를 낮추거나 거의 소멸 또는 사멸상태에 이르도록 하는 소독으로 구별한다. 따라서 항균 기술이란 미생물의 성장과 대사를 저지시키는 기술과 물리적·화학적 자극을 가하여 미생물을 멸살시키는 기술을 모두 의미하지만, 일반적으로 멸균 또는 소독시키는 기술은 항균 기술이라 부르지 않고 따로 살균 기술이라 언급하고 있다.

균이란 미생물을 의미하는 것이므로 대부분의 국내외 연구기관에서 추구하는 항균 기술은 미생물

기원 바이오에어로졸인 바이러스, 박테리아, 곰팡이 등을 대상으로 한다. 바이오에어로졸(Bioaerosol)이란 bio와 aerosol의 합성어로서 생물학적 기원을 갖는 공기 중 부유 입자상 물질을 의미한다. 입자의 크기가 작게는 0.0015 μm 에서 크게는 100 μm 가 넘는 이들 바이오에어로졸은 바이러스, 세균, 진균(곰팡이) 등의 미생물 기원과 꽃가루, 이끼 등의 식물 기원, 그리고 미세 무척추 동물과 미세 곤충을 포함한 동물성 기원으로 구분될 수 있다(Figure 1). 특히, 미생물 기원의 경우 실내 환경조건에 따라 더욱 증가되어 전염병을 매개시키는 역할을 하거나 직접적으로 피부질환, 알레르기성 질환, 기관지 천식, 아토피 등을 유발시킨다. 실내에 재실하는 사람 또는 애완동물에게서도 바이오에어로졸이 발생하며 실내가 실외에 비해 상대적으로 밀폐되어 있기 때문에 특수한 경우를 제외하고는 부유 미생물의 농도는 실외보다는 실내가 높다. 실내 부유 미생물은 재실자의 건강에 나쁜 영향을 미치기 때문에 지하역사, 지하도상가, 여객자동차터미널·공항 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 찜질방을 위시한 다중이용시설에서 바이오에어로졸에 대한 항균 기술이 적용된다. 특히, 의료기관 등에서는 최근 조류 인플루엔자, 신종 인플루엔자 등에 의한 원내감염(Nosocomial infection), 접촉감염(Contact infection)의 우려로 인해 항균 기술에 대한 관심이 더욱 고조되고 있다.

2.2 항균 기술의 분류

최근까지 개발된 대표적인 항균 기술로는 우선

자외선(UV, ultraviolet)을 이용한 방법이 있다. Solar Spectrum 범위 내의 눈에 보이지 않는 파장이며 에너지를 함유하고 있는 자외선은 1/1,000,000mm로 측정되고 있으며, 단위는 angstrom(Å) 또는 nm로 표시된다. 가시광선의 파장과 거의 유사한 상태이나 파장이 짧은 UV를 이용한 살균은 254nm 파장의 빛을 이용하여 미생물을 살균한다(Gates, 1929; Collins, 1971; Riley, 1972). 살균은 미생물의 주요 구성 성분인 단백질과 핵산에 자외선 에너지가 흡수되어 미생물의 활동을 못하게 하거나 파괴함으로써 일어난다.

다른 방법으로 필터를 이용하는 방법이 있다. 입자상으로 부유하는 바이오에어로졸을 필터를 이용해 유동으로부터 분리하여 제거하는 방식이다. 미생물의 경우 필터에서 번식하여 바이오에어로졸과 MVOCs(microbial volatile organic compounds)의 발생원으로 작용할 수 있기 때문에(Schleibinger and Ruden, 1999; Maus et al., 2001) 필터에 대한 항균 처리가 필요하다. 이에 대한 연구로 필터에 다양한 항균 물질을 코팅하는 연구가 주로 이루어지고 있다(Verdenelli et al., 2003). 또한, 필터의 양면에 플라즈마를 발생시킬 수 있는 시스템을 설치하여 필터에 여과된 미생물을 살균하는 연구가 진행된 바 있다(Kelly-Wintenberg et al., 2000). 그 외에도 가열튜브를 이용하는 방법, 은나노 입자를 필터에 통과시켜 필터에 여과된 미생물을 살균하는 방법 등이 바이오에어로졸을 제어하기 위해 연구되고 있다.

광촉매산화(PCO, Photocatalytic oxidation) 방법은 빛을 받아들여 화학반응을 촉진시키는 물질인 광촉

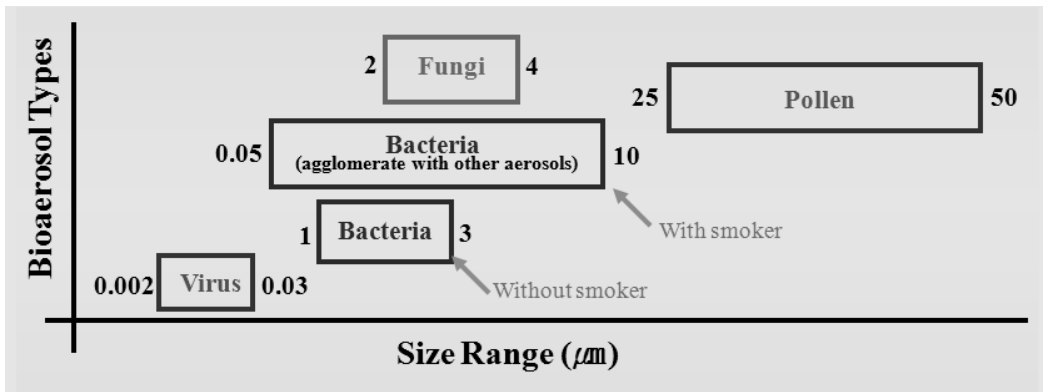


Figure 1. Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air.

매를 사용하여 광화학반응을 이용하는 기술이다 (Goswami et al., 1995; Wolfrum et al., 2002). 대표적인 예로는 3.2eV에서 띠틈 간격 에너지를 갖는 광촉매 반도체인 산화티타늄(TiO₂)을 들 수 있다(Figure 2). TiO₂에 의한 효과는 1967년 두 명의 일본인 과학자에 의해 증명되었고, 환경문제 해결에도 도움이 되는 기초 기술로 실용화되기 시작하였다. 이 반도체는 385nm 이하인 파장에서는 에너지 초과로 전자가 활성화 되면서 기류 내 존재하는 유기물과 흡착 반응을 일으켜 유해물질을 제거하는 기작을 보인다. 이러한 산화티타늄의 유해물질을 산화 분해하는 기능을 이용하여 환경정화(환경오염을 제거하고 항균, 탈취하는 등의 효과)하는데 이용하거나, 초친수성 기능(표면이 젖어도 물방울을 만들지 않고 얽은 막을 만들어 내는 성질)을 응용하여 셀프 크리닝 효과가 있는 유리나 타일, 청소기, 공기청정기, 냉장고, 도로포장, 커튼, 벽지, 인공 관엽식물 등 다양한 제품에 적용하고 있다. 산화티타늄은 자외선에 반응하지만 가시광선의 영역에도 반응하는 기술이 개발되고 있다.

공기 오존화(air ozonation) 기술은 기류와 터뷰레이터(turbulator)에 오존을 주입 또는 혼합하여 오존화시켜 미생물을 포함하는 모든 유기화합물을 제어하는 기술이다. 오존은 염소보다 3600배의 살균 속도와 7배에 달하는 살균력을 가지고 있다. 모든 균들과 일반 살균제로 죽지 않는 바이러스조차도 세포막을 파괴시키는 완벽한 방식으로 사멸시킨다. 오존은 불소와 OH radical(OH 라디칼 : 수산기) 다음으로 높은 전위차(2.07 V)를 가지기 때문에 백금과 은

을 제외한 모든 중금속들과 최근 새집증후군/ 빌딩증후군 등으로 문제가 크게 되고 있는 각종 미생물 및 유기화합물을 산소로 환원되는 과정에서 제거한다. 일반적 소독제나 분해제는 성능에 관계없이 잔류 문제로 또 다른 오염에 대하여 논란되어 왔으나 오존은 산소 이외의 유해한 2차 부산물이 전혀 남지 않으므로 잔류 물질의 유해성 논란의 여지가 없다. 오존의 인체 유해성에 대한 희비가 있지만 진균에 대한 살균효과가 커 널리 응용되고 있다.

화학살생제(chemical biocide) 이용 기술은 적용범위가 넓고 부작용이 적은 항균 물질을 발굴하고, 그 효과를 증대시키고자 여러 가지 물질과 혼합 또는 결합하여 사용하는 것으로 제품 용도에 따라 다양하게 활용되는 장점을 지닌 특성을 지니고 있다. 필터에 활용할 경우 코팅제로 또는 재질에 섞어서 적용하여 항균 필터로 개발되어 사용된다. 실내환경에서 사용하는 매트, 이불, 섬유소재, 종이, 변기, 세면대, 욕조, 도마, 비누, 손세척제, 치약, 칫솔, 세탁기, 가습기, 공기청정기 등 여러 가지 생활 소재 제품들을 비롯하여 친환경 내장재, 마감재, 벽지, 방수소재, 염료소재, 페인트, 목재, 실내장식 등 건물의 건축환경에 관련되는 자재에 이르기 까지 매우 광범위하게 적용되고 있다. 화학살생제는 적용 대상 미생물에 따라 넓게는 항미생물에서 좁게는 항세균, 항진균, 항바이러스 등으로 구분해서 쓰이고 있다.

액체나 고체 상태의 미생물을 고온으로 가열하여 멸균시키는 방법은 오래 전부터 사용되어 왔다. 고온 환경이 특정 효소를 변성시켜 미생물을 살균시키는 것으로 알려져 있다. 그러나 공기 중 미생물의

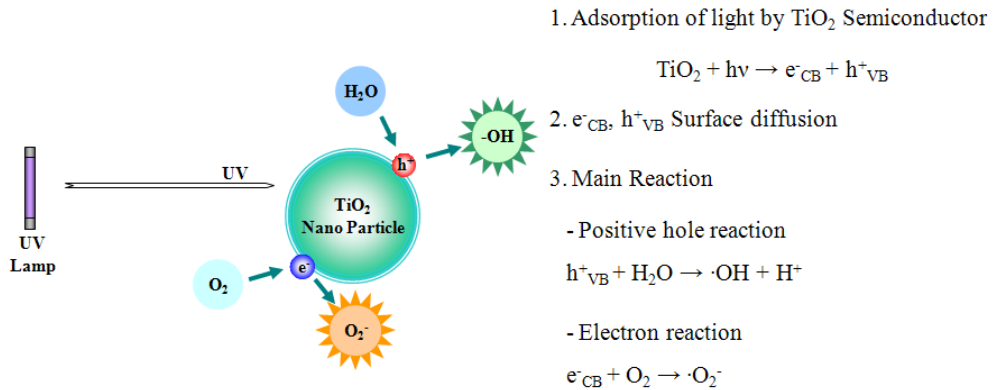


Figure 2. Antimicrobial effects by TiO₂.

항균 기술에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 이 방법은 고온 조건을 만들기 위해 에너지가 소비되는 단점이 있지만, 주위 환경에 미치는 부작용이 거의 없는 장점이 있다. 제약 및 의료시설에서 무균 공간을 유지하거나, 바이오 하자드 시설이나 안전 캐비닛의 배기처리용으로 고성능 에어필터(HEPA filter)를 사용하여 부유 미생물을 제거하고 있다. 그런데 일반 고성능 에어필터 여재는 항균 효과가 거의 없으므로, 여과된 부유 미생물이 여재 표면에서 사멸되지 않고 존재할 가능성이 매우 높고, 필터 교환시 준비산되어 실내를 오염시킬 우려가 있다. 더욱이 필터가 설치된 환경 조건에 따라 여재에서 증식하여 2차 오염을 유발할 가능성도 있다. 일반적으로 물리적 살균방법인 열살균은 먼지의 유무나 미생물의 종에 무관하게 여재 전체를 살균할 수 있는 장점이 있는데, 실용화에 어려움이 있다. 즉, 습열멸균법은 증기를 사용하므로 결로에 의한 여재의 손상이나 주위의 부식이 우려된다. 건열멸균법에서도 여재에 열풍을 통과시키는 방법은 열 이용 효율이 나쁘고, 여재를 통과한 공기가 실내로 유입되므로 실내 온도를 상승시키는 문제가 있다.

3. 기술의 연구 개발 동향

3.1 항균 기술의 연구 동향

국내의 바이오에어로졸 관련 연구 배경이 되는 기초 연구는 지난 해까지 연 평균 10편 이내의 학술적 보고가 있어 왔다. 환경부의 국내 실내공기질 관련 총부유세균 유지기준이 발효된 2004년 이후 연구보고가 증가하고 있다. 정부의 1차 실내공기질 관리 5개년 계획이 마무리되는 2008년에 들어드는 성향을 보이고 있다. 이들 연구보고의 내용을 살펴보면, 대부분이 실태 조사와 관련한 보고가 주를 이루고 바이오에어로졸의 특성과 관련하여 성장, 검출에 대한 몇 편의 보고가 있었고, 항균 제어에 관한 보고는 3건으로 미약했다. 이는 아직도 국내의 바이오에어로졸에 대한 정보가 여러 면에서 부족한 실정임을 나타내며 오염도 높은 실태가 보고되고 있으므로, 이에 따른 관리측면에서 제어방법 연구개발의 필요성을 제시하여 주고 있다.

최근 연구개발 동향은 바이오에어로졸이라는 하

나의 오염물질 저감에서 벗어나 여러 오염물질을 동시에 저감하는 연구가 이루어지고 있다. 실내 오염물질에는 입자상 물질과 바이오에어로졸도 있지만 기체상 오염물질 또한 존재한다. 기체상 오염물질을 처리하기 위해서 표면에 많은 미세기공(micropores)이 존재하여 뛰어난 흡착 특성을 보이는 활성 탄소섬유(ACF, activated carbon fiber) 필터를 주로 사용한다. 반면, 세균 등의 바이오에어로졸은 ACF 필터와 친화적이라서 ACF 필터에 부착·번식하여 ACF 필터를 오염시킨다(Park and Jang, 2003). 오염된 ACF 필터는 바이오에어로졸의 발생원으로 작용할 수 있기 때문에, ACF 필터를 공조 시스템에 적용하기 위해서는 이에 대한 항균 처리가 필수적이다. Yoon et al. (2008)은 이러한 문제를 해결하면서 기체상 오염물질과 바이오에어로졸을 동시에 저감하기 위하여 ACF 필터에 금속 나노입자를 무전해도금하여 그 특성을 연구하였다.

최근까지 가장 많이 수행되고 있는 항균 기술은 금속 나노입자를 이용한 것으로 그 중 오래 전부터 항균력이 뛰어나다고 알려져 있으며 타 물질에 비해 경제적인 은 및 구리 나노입자를 많이 이용한다. Yoon et al. (2007)은 구리 나노입자와 은 나노입자에 대한 *E. coli*와 *B. subtilis*의 민감도(susceptibility)와 이들이 90% 이상의 항균 효과를 나타내는데 필요한 나노입자의 농도를 정량적으로 제시하였다.

기존 기술을 확대 또는 다른 기술과 접목하여 항균 기능을 확대시키려는 개발 연구 또한 지속적으로 이루어지고 있다. 예를 들어, 자외선 이용 장치의 경우 살(殺) 자외선 조사 또는 노출(germicidal UV irradiation)을 공조설비 내에 적용하여 곰팡이 및 대기 유해 미생물 제어 기술로 사용하고 있다. 이렇듯 항균 기술을 HVAC(heating, ventilation, and air-conditioning) 시스템에 적용하여 실내 공기 오염을 제어하고자 하는 기술이 확대되고 있다. 특히, 에너지 손실 감소형 건물 구조의 개편과 변경, 냉난방 시스템의 확대 적용으로 인하여 여러 구조에 맞게 설계하는 디자인 형태 개발과 수명의 연장 구상이 지속적으로 이루어지고 있다.

광촉매산화 기술은 실내공기 VOC 등 오염물질을 제거하는 능력과 결부하여 항균기능을 이용하여 온도조절과 압력조절, 모달 디자인이 가능한 난방, 환기, 냉방 시스템에 적용하는 쪽으로 연구개발이 확

대되고 있다. 특히, 운영비의 저비용, 서비스 수명의 장기화, 저비용 전기 사용으로 인하여 낮은 수준의 실내공기오염물질과 세균, 바이러스, 진균 등의 바이오에어로졸을 효율적으로 제거하고 파괴시키는 프로세싱에 확대·적용하려는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 더불어 불완전 산화물의 생성 문제와 습도가 높을 때 산화반응율의 감소, 광촉매의 경우 반응에 충분한 체류시간을 필요로 하지만 고유량 처리 시 이를 확보하는 데에 대한 어려움, 그리고 먼지나 흙 같은 무기물 오염으로 인한 촉매활성 저하와 같은 문제를 해결하려는 노력이 요구되고 있다.

오존을 이용하는 기술의 확대는 정수, 폐수 처리 등 수질 분야 외에도 고도의 청결을 요하는 초정정반도체 분야에서도 사용되고 있지만, 공기살균과 관련하여 아직 개발된 제품이나 인체 안전성 그리고 효과까지 입증된 것은 알려진 바가 거의 없다. 개발 중인 기술은 공기에 섞여서 발생시키는 방식으로 생성된 오존은 미생물을 포함한 유기물을 산화하는 기능을 지녀야 하며, 발생된 오존으로 인하여 생길 수 있는 부식 방지 장치가 개발되어야 한다. 발생된 오존은 다시 오존발생기로 재활용되거나 중성화되어서 오존발생기를 돌릴 수 있는 전기를 재생하는데 쓰일 수 있다. 오존 재생을 위한 하나의 대안으로 Hoechst에서 개발된 공기로부터 오존을 제거하는 NoXon 폴리머를 이용한 오존 필터를 이용하는 것이다. 오존(O₃)이 O₂와 O로 분해될 때 O는 이 폴리머 필터에 의해 제거되며 필터가 포화상태까지 O를 채취하면 재생되거나 교체하는 방식으로 오존을 산소로 바꾸는 기술이다. 아직 시장에 나오지 않았지만 상당히 높은 응용 가능성이 있는 것으로 보이고 있다. 이렇듯 최근에는 오존을 상업적으로 이용하려는 연구개발이 많이 시도되고 있으며, 일반 가정에도 응용하려는 시도가 많아지고 있다. 그러나 오존을 소규모 장비나 가전에 이용하려는 시도는 유해성 문제를 해결하는데 필요한 비용과 설비에 한계가 있으므로 이를 해결하려는 쪽으로 개발이 요구된다. 현재까지는 유해성을 줄이기 위해 인체 유해 수준 이하로 살균력을 유지하는 오존 방출 농도를 조절하는 방향으로 개발이 진행되고 있다.

화학살생제의 경우 새로운 천연 소재의 친환경 살생물질을 찾는 쪽에서 꾸준한 연구가 세계적으로 진행되고 있으며, 이는 항생제, 항균제, 농약 개발

분야와 더불어 지속적으로 이루어지고 있다. 이는 소비자의 친환경 제품 선호와 더불어 기존 화학살생제에 대한 미생물의 내성이 증가하면서 항균 효과가 떨어지고 있기 때문이다. 또한, 생활에 필요한 제품 개발이 이루어지면서 제품의 소재에 걸 맞는 항균제품을 만들기 위해 다양한 소재와 혼합성이 좋아지게 하는 방향의 연구와 나노 기술을 이용한 합성 항균재료를 만드는 쪽으로 최근 연구가 진행되고 있다. 특히, 건축내장재 관련 분야에서 응용되는 사례가 많이 나타나고 있다.

그 밖의 항균 기술로는 아직 상용화 단계에는 이르지 못했지만 태양광 노출(PSE, Passive solar exposure)과 초음파를 이용한 기술이다. 태양광 노출 기술은 10층 건물을 대상으로 창문의 일부가 덕트의 외부 표면으로 나타나게 하고 덕트의 나머지를 비싸지 않은 plexiglas를 쓰도록 설계한 것이다(Figure 3). 수직의 분홍색 경로는 투명한 덕트의 경로로서 태양광에 노출되는 PSE plenum을 나타낸다. 동서 방향으로 건물방향의 구도를 잡고 공기는 지붕에서 섞이도록 하여 오전, 오후 같은 살균 효과를 나타내도록 한다. 각 방에서 나온 공기는 PSE plenum을 통과하여 1층으로 내려왔다가 다시 지붕으로 되돌아간다. 지붕에는 공기를 다루는 유닛을 설치하여 이

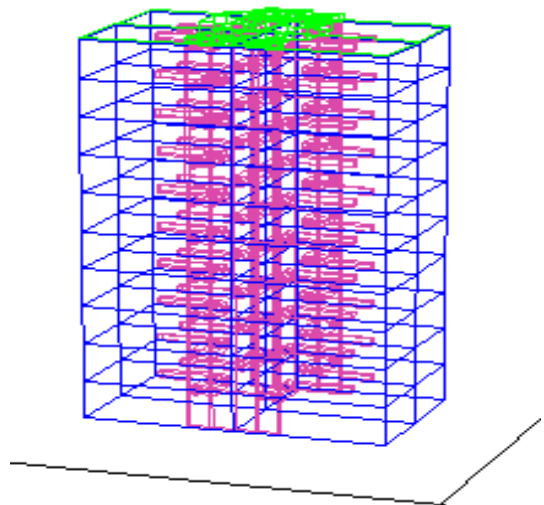


Figure 3. Removal of airborne bioaerosols in the building by using passive solar exposure(PSE) plenum (Architectural engineering, University of Pennsylvania)

렇게 되돌아온 공기와 PSE plenum을 통과한 공기를 필터링하는 식으로 설계한 제어방식이다. 이러한 기본 방식에 광촉매를 접착하여 자연의 UV를 통한 살균 효과 증대를 꾀하는 방안도 연구되고 있다.

이에 반해 초음파(Ultrasonic atomization) 이용 기술은 초음파가 물을 미립화 시키는 원리를 이용하여 물을 함유한 미생물의 세포, 구성유기물, 핵산 등을 미립화시켜 사멸시키는 방법이다. Supersonic nozzle 기술과 sonic generator 기술이 추구하고 있는데, supersonic nozzle 기술은 공기를 초음파 발생 장치의 노즐에 통과하게 하여 출구에서 충격 파장이 발생하도록 한다. 이때, 발생한 충격 파장에 의해 공기 중 바이오에어로졸이 미립화되며 이를 위해 팬과 펌프 파워를 증대시키는 개발이 요구되고 있다. Sonic generator는 일정한 충격파를 발생하는 장치로서 덕트 내부 공간에 장착하여 통과하는 기류에 존재하는 바이오에어로졸을 미립화시켜 살균할 수 있다. 2가지 초음파 시스템 모두 덕트의 내부와 외부에 소리(음파)를 완충하는 유닛의 개발이 요구되고 있다.

3.2 국내외 특허 기술 동향

최근 실내공기 오염에 대한 심각성이 사회문제화 되고 국민들의 관심이 높아짐에 따라, 깨끗한 실내 공기를 만드는 공기청정기 관련 기술개발도 활기를 띠고 있으며 이에 공기청정과 관련된 특허출원도 꾸준히 증가하고 있다. 공기청정기 전체 특허출원 중 95.8%는 내국인에 의한 출원이며, 이 중 50.9%가 대기업이고, 44.9%는 중소기업 및 개인에 의한 출원인 것으로 나타났다. 외국인에 의한 특허출원은 전

체 4.2%(10건)에 불과하나 기술내용은 공기청정기의 핵심기술인 필터에 관한 것이어서, 이는 우리기업들의 향후 기술개발 방향에 시사하는 바가 크다. 공기청정기 특허출원은 2002년 이전까지는 중소기업이 주류를 이루어 왔으나, 2003년 이후 삼성전자, LG전자 등 대기업의 공기청정기 사업이 본격화 되면서 이에 따른 기술개발도 더욱 활발히 이루어져 대기업 출원이 2배 이상을 상회하는 것으로 나타났다. 이 중 바이오에어로졸 제어와 관련된 특허기술을 보았을 때 이전의 단순한 가열방식을 탈피하여 자외선, 오존, 항균필터, 항균과 바이러스를 위한 은나노, 제균 이온과 같이 다양한 기술이 존재한다.

1990년대와 비교하였을 때 항균 기술 분야에서 그 출원 수가 가장 크게 증가한 관련 상품은 항균기능성 가습기이다. 이는 가습기 내부의 습한 조건이 미생물 번식에 적합한 조건이기 때문에 가습기에 항균 기능 추가 필요성이 계속적으로 대두되어 온 것과 관련이 깊다. 실제로 항균기능성 가습기에 대한 출원은 2000년대에 접어들어 건강에 관심이 높아지면서 2001~2005년 사이 5년간의 출원 건수는 1990년대 전반기에 비해 무려 9배 이상 증가하였다. 가장 많이 특허 출원된 기술로는 자외선을 이용하거나(24%), 자외선과 광촉매의 작용으로 생성되는 오존을 이용한 살균방법(22%), 또는 실내에 배출된 후에도 항균효과가 유지되는 음이온(negative ion) 처리 방식(13%), 또는 은이온(silver ion)을 이용한 항균 처리 방법 등이 있다(Table 3).

3.3 기술 경쟁력 비교

오존은 탁월한 살균력을 보여주기 때문에 오래

Table 3. Patents of antimicrobial humidifier.

	항균기능 가습기	자외선	오존	항균필터	음이온	가열	항균성 첨가물	기타
1991~1995	15건 (7%)	4	4	1	2	1	1	2
1996~2000	58건 (29%)	11	3	5	2	21	2	14
2001~2005	130건 (64%)	33	38	24	23	4	3	5
총합	203건 (100%)	48 (24%)	45 (22%)	30 (15%)	27 (13%)	26 (13%)	6 (3%)	21 (10%)

전부터 살균에 많이 이용되어지고 있었기에 그 기술수준은 타 기술에 비해 높은 편이다. 그러나 오존은 인체 유해성 문제가 있기 때문에 현재는 살균력을 유지하면서도 인체 유해 수준 이하로 방출할 수 있는 농도 조절에 개발의 초점이 맞춰지고 있다. 광촉매산화 방법의 경우 산화티타늄(TiO₂)을 이용한 기술이 대표적이다. 산화티타늄의 경우 어느 수준까지 발전된 기술로 많이 사용되어지고 있으나 자외선을 조사해 주는 별도의 UV lamp 또는 UV LED 등이 필요하다는 단점이 있어 이러한 문제점을 해결하려는 추가 기술 연구가 필요하다. 항균필터링 기술은 여러 공기청정기에 적용하여 사용하고 있는 대표적인 항균 기술이다. 그러나 단순 항균 성능평가 연구만 이루어졌을 뿐 다양한 물질을 코팅 또는 필터에 적용하거나 선택적 도포 기술, 성능 수명 모델링, 에어로졸 기법을 이용한 적합한 성능평가 기술개발 등 아직 더 연구해야 할 것이 많다. 항균필터링 기술과 더불어 여러 공기청정기에서 많이 적용하고 있는 기술이 공기이온 기술이다. 그러나 이 기술의 경우 이온을 발생시킬 때 인체에 유해할 수 있는 일정량의 오존이 발생되기에 오존을 최대한 발생시키지 않고 이온을 발생시킬 수 있는 기술 연구가 더 필요하다. 광에너지 이용 기술의 경우 UV를 이용한 기술은 일정 수준 이상이지만 전자파 조사, 펄스 백열광, 펄스 전기장 등의 기술은 더욱 많은 연구가 필요하며, 초음파를 이용한 기술 또한 그 기술

수준은 타 기술에 비해 아직 낮은 편이다(Tabel 4).

4. 시장 규모 및 전망

생활환경 및 위생에 대한 관심 고조로 항균제품에 대한 수요는 크게 증가하여 2000년을 기준으로 세계 시장 규모가 약 34억불에 이르는 등 연평균 15% 이상 급신장하고 있다. 국내의 항균시장 규모는 2000년 기준으로 약 3,500억원에 달하는 것으로 집계되었으며, 국내 항균시장은 세계 시장보다 훨씬 빠른 증가 추세를 보이고 있다. 특히 나노 실버 항균 소재가 가전제품, 섬유제품, 건축자재, 유아용품, 의료용품, 각종 생활용품 뿐만 아니라 여러 산업 분야에 폭 넓게 적용되면서 그 시장규모는 추산하기 힘들 정도로 급속히 증가되고 있는 실정이다. 그 중 에어필터 시장은 크게 가정용(에어컨 및 공기청정기) 필터, 산업용 공조필터, 자동차 공조필터로 구분할 수 있다. 에어컨 및 공기청정기에는 들어있는 필터 규격에는 항균에 대한 규제가 없지만 판매자의 마케팅 전략적인 측면과 소비자들의 요구에 의해 대부분 항균필터를 사용하고 있다.

국내의 공기청정기는 경기침체로 인한 전반적인 가전제품 판매의 둔화에도 불구하고, 꾸준히 성장하고 있는 추세이다. 친환경, 웰빙이라는 사회적 트렌드 변화로 인해 건강에 대한 관심이 증가하면서 그

Table 4. Comparison of technological level with advanced country.

중기술	세부기술	대표 기술	기술수준 (%)
	광에너지 이용 기술	UVGI, 전자파 조사, 펄스 백열광, 펄스 전기장, 펄스 필터광, 전기빔	50
	항균 필터링 기술	은나노 코팅 필터, DNA 필터, 효소 코팅 필터, 키토산 필터	60
	광촉매 산화 기술	산화티타늄(TiO ₂)	70
항균 기술	공기 오존화 기술	플라즈마	90
	공기 이온 기술	SPI(Samsung Super Plasma ion), 가슴 살균 이온, ozone free air 이오나이저	60
	열에너지 이용 기술	공조필터의 건열멸균 기술	40
	초음파(ultrasonic atomization) 이용 기술	Sonic generator	40

Table 5. Domestic market size of air filters.

구분	적용처	시장규모 (개수)	수요처
공조용, 산업용 에어필터	공기청정기	75억원 (50만대)	웅진코웨이, LG전자, 삼성전자
	에어컨	10억원 (30만대)	LG전자, 삼성전자
	청소기	75억원 (500만대)	LG전자, 삼성전자
	공조용	600억원	삼성전자, LG필립스
자동차용 캐빈필터	자동차용	600억원	현대, 기아, 대우 등

출처 : (주)성진 조사자료, 2008년 기준

에 따른 상승효과의 덕을 봤다는 분석이다. 국내의 공기청정기 시장규모(내수와 수출 포함)는 습식, 음이온 및 자동차용 공기청정기의 시장규모를 제외하고도 2006년 3,800억원에서 2007년 4,500억원, 2008년 5,500억원으로 지속적인 증가 추세에 있었으며 2010년과 2012년에는 각각 6,500억원, 8,500억원에 달할 것으로 예상되진다. 이에 따라 앞으로 관련 업체의 주도권 싸움은 더욱 치열할 것으로 예상된다.

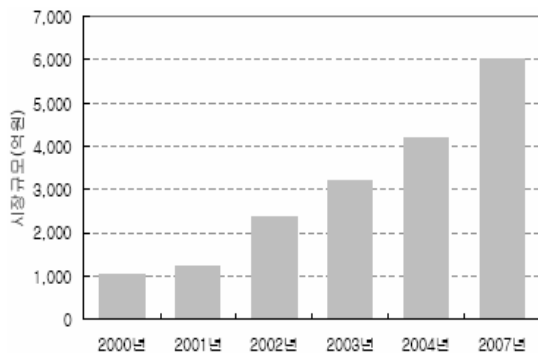
최근 탄저균, 조류독감, 신종인플루엔자 등의 문제로 인하여 실내공기와 관련된 기술은 대중들에게 보다 더 관심을 받기 시작하였으며, 의학 및 화장품 분야까지 응용되는 등 그 적용 분야가 더욱 다양해져 그 시장 규모는 앞으로 더욱 더 커질 전망이다.

일본의 경우 실내공기와 관련한 설비시장규모가 연간 2조원에 달하는 것으로 알려져 있다. 일본의 공기정화기 가전업체는 체계적인 여재 개발과 기능성 제품의 끊임없는 연구 개발을 통해 최고 성능의

제품을 생산하고 있다(KISTI, 공기청정기시장동향, 2007). 이와 더불어 환경오염에 대한 소비자의 의식이 전환되면서 공기청정기 시장은 지속적으로 성장하고 있다. 그림 5는 일본 공기정화기 관련 시장의 연도별 추세를 보여주고 있다(Figure 5).

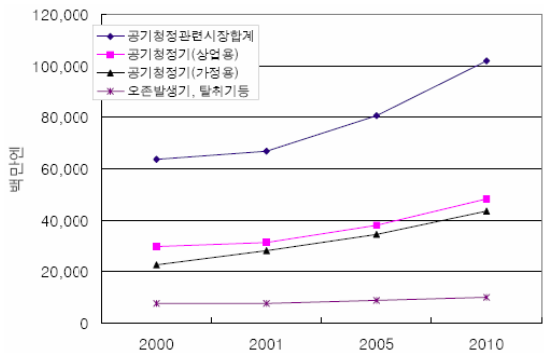
5. 향후 연구 방향

항균기술은 보다 발전하고 다양해지고 있으나 현재 실내 항균장치에 대해서 적합한 항균 시험방법이 부재하여 객관적인 성능이 인정되지 못하여 업계에서 애로사항으로 대두되고 있다. 그나마 항균필터의 경우 항균성 제품에 대한 항균성능 시험방법을 따르고 있으나 이 시험방법들은 시험방법 자체의 불합리성으로 인하여 항균성에 대한 신뢰감이 부여될 수 없는 것으로 인정되고 있을 뿐만 아니라 결과 값도 시험방법에 따라 서로 변화되고 있는 모



(출처 : 삼성경제연구소 2005.5.3)

Figure 4. Domestic market size of air cleaners.



(출처 : 공기청정관련시장의 전망과 전략, 失野경제연구소, 2002)

Figure 5. Market size of air cleaners in Japan.

순도 발견되고 있다. 또한, 에어로졸 상이 아닌 액상 상태에서 실험을 하기 때문에 실내 공기청정기 또는 항균장치의 항균성능 시험에는 적합하지 않으며 항균필터 고유의 특성인 여과(filtration) 성능도 고려하지 않아 항균필터에 대한 적합한 항균시험 방법이 요구되어지고 있다.

국내의 항균시험 방법의 경우 기술표준원에서 제시하는 방법에 준하여 수행되는데 생물 관련 항균 평가 법으로는 산업용섬유기술심의회에서 기술심의를 한 “직물의 항균성 시험 방법”: 한천평판배양법(표준번호 KS K 0962)과 “직물의 항균도 시험 방법”(표준번호 KS K 0693), “카펫의 항균성 시험방법”(표준번호 KS K 0823), “섬유 제품의 항균성 시험 방법 : 평행 구획선법”(표준번호 KS K 0890), “섬유제품 항균성 측정” - 한천확산 평판법(표준번호 KS K ISO 20645) 등이 있으며, 생물산업기술심의회에서 기술심의를 한 “균기능 제품의 항균력 시험방법” - 제1부 - 진탕 플라스크법(KS J 4206) [변경전 : KS M 0146]이 있다. 국제적 항균표준으로는 국제표준위원회 제정 ISO 22196:2007 Plastics - Measurement of antibacterial activity on plastics surfaces와 ISO 16869:2008 Plastics - Assessment of the effectiveness of fungistatic compounds in plastics formulations 그리고 JIS 일본공업규격(Japanese Industrial Standard)인 JIS L 1902:2008 Testing for antibacterial activity and efficacy on textile products (Foreign Standard), JIS Z 2801:2000 Antimicrobial products - Test for antimicrobial activity and efficacy (Foreign Standard), JIS Z 2801:2000/Amendment 1:2006 Antimicrobial products - Test for antimicrobial activity and efficacy (Amendment 1) (Foreign Standard) 등이 있다.

하지만 이러한 기준은 아직 공기제어 관련 항균 성능을 평가하는데 표준으로 적용하기에 여러 가지 제한점이 있다. 이에 선진국에서는 ASHRAE(Foarde et al., 2000), University of Camerino(Verdenelli et al., 2003) 등이 항균필터 성능시험 방법 연구를 하고 있으며, Health Protection Agency(Griffiths et al., 2005) 등의 일부 연구기관과 대학에서 UV lamp에 의한 항균 성능시험 방법 연구를 하고 있다. 위 연구기관들은 액상 상태가 아닌 기상 상태를 토대로 하는 시험 방법 연구를 진행하고 있으나 정식 규격화가 이루어지기 위해서는 아직 많은 연구가 더 이루어져야

한다. 이렇듯 현재 액상 상태가 아닌 기상 상태를 토대로 하는 실내 공기청정기 또는 항균장치의 항균/살균 성능 규격 시험방법은 국내뿐만 아니라 전세계 어디에도 존재하지 않는 실정이다. 2009년 10월 27일 국내에서 개최된 ISO 실내 공기질 표준 회의에서는 이제야 실내공기 중 진균의 측정에 대한 표준이 마련되어 마무리되고 있는 실정이며, 실내 환경에서 쓰이는 소재물질에 대한 진균의 항균평가 표준 마련을 위하여 독일에서 기초연구 조사를 수행하고 있는 것으로 알려졌다. 따라서 이러한 추세를 비추어 볼 때 우리나라에서 이들의 부유미생물 항균/살균에 관한 국제적인 성능 시험방법을 먼저 규격 또는 제시한다면 실내 공기청정기 또는 항균장치의 성능시험 시장을 선점하게 되어 막대한 외화를 유입할 수 있을 것이다. 이에 따라 한국공기청정협회에서는 이에 관한 인증 사업 및 연구를 시작하고 있다.

앞으로의 항균 기술은 소형화 및 에너지 소비를 줄이기 위하여 균 및 바이러스만 저감하는 것이 아니라 삼성의 SPi(Samsung Super Plasma ion), 웅진의 멀티케어필터 시스템처럼 하나의 시스템으로 미세 먼지, 유해가스 및 악취도 같이 저감할 수 있는 방향으로 나아갈 것이다. 또한, 기존에는 항균물질의 농도에 따른 미생물의 민감도 상수 등의 지표로 정확히 제시해 주지 않았는데, 최근 이러한 정량적인 지표를 제시해주고자 하는 움직임이 있다.

항균 기술에서 전제되어야 할 조건이 있는데, 첫 번째는 상용화 시 대량생산이 가능할 것, 두 번째는 경제성을 지닐 것(예: 금속 나노물질의 경우 그 물질이 저가이며 적은 양에도 충분한 항균 효과를 지녀야 한다.), 끝으로 가장 중요한 세 번째는 인체 유해성이 없어야 한다는 것이다. 따라서 유해성 평가는 항균 기술에 있어서 필수 불가결한 요소이다. 그러나 지금까지의 연구는 유해성 평가를 깊게 고려하지 않은 경향이 있어 앞으로의 항균 기술은 이러한 유해성을 충분히 고려하면서 발전할 것이다. 예를 들어 지금까지 항균성 물질로는 주로 금속 나노입자에 초점을 두고 연구하였지만 이들의 인체 유해성 유무를 정확히 판단하지 못하고 있다. 이에 인체 유해성이 없는 항균성 천연물질 추출기술을 적용한 나노입자 발생기술과 천연물질 및 항균성 효소의 필터여재 도포기술, 그리고 인체에 위해할 수

있는 오존이 발생되지 않는 ozone free air 이온나이저(ionizer) 등과 같은 연구가 필요하다.

끝으로 지금까지의 항균 기술은 구조에 대한 관심은 상대적으로 적었다. 하지만 앞으로의 항균 기술은 항균성 건축자재를 위한 표면 나노구조 설계 및 항균필터 구조 설계 기술과 같은 구조 설계에도 관심을 갖고 진행되어질 것이다. 항균성 자재 및 필터의 표면특성에 따라 항균 정도의 차이가 있기 때문에 항균 특성을 보다 높이기 위해서는 이러한 연구는 필수적이라 볼 수 있다.

이 외에도 CNT, 금속/세라믹 복합체 등 다양한 물질을 이용한 기술, 먼지 침착량에 따른 항균 필터 수명 산출 수학적 모델링, 응축을 이용한 미열에너지(응축 시 수증기가 물로 상변화 되면서 발생하는 열을 이용하여 항균하는 기술), 하전을 이용한 기술 등 항균 기술은 지속적으로 커져가는 수요 및 시장에 맞춰 앞으로 더욱 더 다양해지고 진보할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-신기술 융합형 성장 동력 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0082056).

참 고 문 헌

- Collins, F.M. (1971). Relative susceptibility of acid-fast and non-acid fast bacteria to ultraviolet light, *Applied Microbiology*, 21, 411-413.
- Foarde, K.K., Hanley, J.T., and Veeck, A.C. (2000). Efficacy of antimicrobial filter treatments, *ASHRAE Journal*, 42, 62-64.
- Gates, F.L. (1929). A study of bactericidal action of ultraviolet light, *Journal General Physiology*, 13, 231.
- Griffiths, W.D., Bennett, A., Speight, S., and Parks, S. (2005). Determining the performance of a commercial air purification system for reducing airborne contamination using model micro-organisms: a new test methodology, *Journal of Hospital Infection*, 61, 242-247.
- Goswami, D.Y., Trivedi, D.M., and Block, S.S. (1997). Photocatalytic disinfection of indoor air, *Solar Engineering*, 1, 92-96.
- Kelly-Wintenberg, K., Sherman, D.M., Tsai, P., Gadri, R.B., Karakaya, F., Chen, Z., Roth, J.R., and Montie, T.C. (2000). Air filter sterilization using a one atmosphere uniform glow discharge plasma (the Volfilter), *IEEE Transaction on Plasma Science*, 28, 64-71.
- Maus, R., Goppelsroder, A., and Umhauer, H. (2001). Survival of bacteria and mold spores in air filter media, *Atmospheric Environment*, 35, 105-113.
- Park, S.J. and Jang, Y.S. (2003). Preparation and characterization of activated carbon fibers supported with silver metal for antimicrobial behavior, *Journal of Colloid and Interface Science*, 261, 238-243.
- Riley, R.L., and Kaufman, J.E. (1972). Effect of relative humidity on the inactivation of airborne *serratia marcescens* by ultraviolet radiation, *Applied Microbiology*, 23, 1113-1120.
- Schleibinger, H., and Ruden, H. (1999). Air filters from HVAC systems as possible source of volatile organic compounds (VOC) - laboratory and field assays, *Atmospheric Environment*, 33, 4571-4577.
- Verdenelli, M.C., Cecchini, C., Orpianesi, C., Dadea, G.M., and Cresci, A. (2003). Efficacy of antimicrobial filter treatments on microbial colonization of air panel filter, *Journal of Applied Microbiology*, 94, 9-15.
- Wolfrum E.J., Huang, J., Blake, D.M., Maness, P.C., Huang, Z., Fiest, J., and Jacoby, W.A. (2002). Photocatalytic oxidation of bacteria, bacterial and fungal spores, and model biofilm components to carbon dioxide on titanium dioxide-coated surfaces, *Environmental Sciences and Technology*, 36, 3412-3419.
- Yoon, K.Y., Byeon, J.H., Park, C.W., and Hwang, J. (2008). Antimicrobial effect of silver particles

on bacterial contamination of activated carbon fibers, *Environmental Science and Technology*, 42, 1251-1255.
Yoon, K.Y., Byeon, J.H., Park, J.H. and Hwang, J.

(2007). Susceptibility constant of *E.coli* and *B.subtilis* to silver and copper nanoparticles, *Science of the Total Environment*, 373, 572-575.