

실내 공간의 미생물 오염 현황

배 귀 남 | 한국과학기술연구원 지구환경연구센터
 선임연구원
 E-Mail : gnbae@kist.re.kr

1. 머리말

현대인들은 하루 시간의 대부분을 주택, 사무실, 지하공간 등의 실내공간에서 보내고 있으므로, 실내에서 인체에 유해한 오염물질에 노출되는 시간이 실외보다 훨씬 길다. 이로 인해 건강 측면에서 국내외적으로 실내 공기질(indoor air quality, IAQ)에 대한 관심이 높아지고 있다. 표 1은 Robinson과 Thomas(1991)가 캘리포니아주와 미국 전역에 걸쳐 12세 이상인 사람의 활동시간을 분석하여 얻은 결과이다. 표 1을 보면, 사람들은 87~89%의 시간을 실내에서 보내고, 나머지 시간의 반 정도를 실외의 차량 내부에서 보낸다.

1960년대 말까지 대기오염으로 인해 많은 문제

가 발생되어 실내공기오염은 별로 주목을 받지 못하였다. 1952년 영국의 런던에서 발생한 스모그 현상으로 인해 4000여명이 죽은 사건은 당시 대기오염의 심각성을 말해주고 있다. 실내공기오염에 관심을 갖기 시작한 것은 불과 30여 년 전이고, 규제를 담당하는 관리자들의 관심은 적었지만 많은 과학자들이 실내 공기오염물질에 관심을 갖고 연구를 수행하여 왔다. 실내공간에서 중요하게 다루어지는 공기오염물질이 변하고 있다. 즉, 초기에는 일반 대기에서 측정되는 오염물질(부유입자, SO₂, NO₂ 등)에 관심이 집중되었으나, 최근에는 인체의 건강에 미칠 잠재력에 대한 인식과 분석기술의 발달로 다양한 실내 공기오염물질에 관심을 갖게 되었다. 특히, 휘발성 유기화합물(volatile organic com-

표 1. 미국과 캘리포니아주에 거주하는 12세 이상인 사람의 실내외 활동시간

		캘리포니아주		미 국	
조사 대상자수		1762명		5000명	
조사 시기		1987년 10월 ~ 1988년 8월		1985년 1월 ~ 12월	
		총 시간의 백분율(%)			
		평균	표준오차	평균	표준오차
실 내		87	1.9	89	1.5
실 외	차량	7	0.3	6	0.1
	차량 이외	6	0.4	5	0.3

pounds, VOCs)과 미생물(microbiological indoor pollutants, bioaerosol)에 대한 관심이 크게 증가하였다.

1850년대 독일의 위생학자 Max von Pettenkofer는 나쁜 주택환경이 인체의 건강에 미치는 영향에 관심을 가졌는데, 그가 실내공기오염에 체계적으로 접근한 최초의 사람이라고 알려져 있다. 그는 실내 공기질을 평가하기 위하여 사람의 호흡을 통해 배출되어 자연적으로 존재하는 이산화탄소(CO₂)를 사용하였다. 그가 1901년 사망한 후에는 실내공기에 대한 연구결과가 별로 발표되지 않았고, CO₂에 대한 관심도 감소하였다. 1차 세계대전이 끝난 후 공기조화설비의 개발로 다시 CO₂가 실내 공기질을 평가하는 척도(indicator)로 빛을 보게 되었다(그림 1 참조). 2차 세계대전이 끝난 후 실내 공기오염물질로 아황산가스(SO₂)와 부유입자(suspended particulate matter)가 등장하게 되었다. 이것은 열악한 대기오염이 실내 공기질에 영향을 미칠 것이라고 생각하였기 때문이다. 당시에는 이 두 가지 물질의 실내 농도와 실내외 상관성에 대한 연구가 주종을 이루었다.

그 후 실내공기는 대기 이외에도 다른 오염원에 의해 오염될 수 있다고 인식하기 시작하였으며, 이로 인해 1970년대에는 포름알데히드(HCHO)가 주목을 받았다. 당시 대기중 HCHO 농도는 수 µg/m³ 정도였는데, 실내 농도는 외기보다 100배 이상 높은 경우도 발견되었다. HCHO는 당시 유행되기 시작한 건축자재나 가구로부터 발생되었고, 더욱이 에너지 절감을 위해 잘 단열되고 환기회수가 줄어든 건물에서 방출되어 실내 농도가 높아져 문제가 되었다. 이어서 가정에서 요리시 사용하는 가스연료로부터 발생하는 이산화질소(NO₂)와 흡연에 의한 담배연기(environmental tobacco smoke, ETS)가 실내오염물질로 등장하였다.

1970년대 후반부터 현대식 소비재와 건축자재로

부터 발생하는 휘발성 유기화합물이 중요하게 인식되기 시작하였다. 1980년경 실내공기에서 약 250종의 VOC가 확인되었고, 1989년까지 확인된 VOC는 약 900종에 이르렀으며, 지금도 중요한 연구대상이다. 이와 함께 1980년대에는 라돈과 석면이 오염물질로 등장하였다. 이들 물질은 모든 실내공간에 존재하는 것이 아니라 특별한 공간에서만 발견되는 특징을 갖고 있다.

1990년대 초반부터 미생물, 반휘발성 유기화합물(semi-volatile organic compounds, SVOCs) 및 입자상 물질(particulate matter, PM; house dust)이 중요한 오염물질로 등장하였고, 현재 이들 물질이 실내공기오염의 중요한 연구대상으로 취급되고 있다. 환기회수의 감소로 인해 습기가 잘 제거되지 않아 미생물의 성장이 촉진되어 실내공간에 존재하는 곰팡이 수가 증가하였다.

본 고에서는 2002년 6월 30일부터 7월 5일까지 미국 캘리포니아주의 Monterey에서 열린 제9차 실내 공기질과 기후에 관한 국제학술대회(Indoor Air 2002)에서 발표된 논문을 중심으로 최근의 실내 미생물 오염 현황에 대하여 살펴보았다.

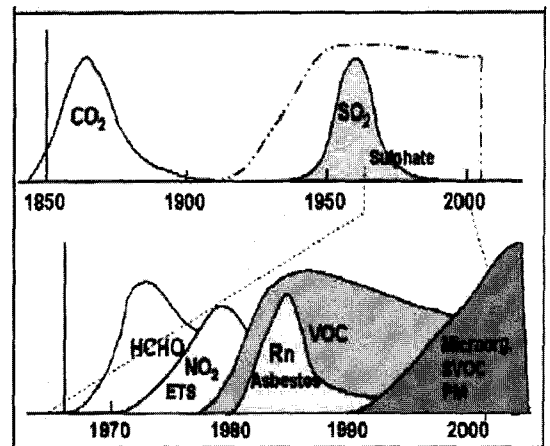


그림 1. 시대별 주된 실내 공기오염물질의 변천

2. 실내공간의 미생물과 건강

실내공기에는 부유입자, 가스(CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCHO, VOCs, O₃ 등), 담배연기, 라돈, 석면, 미생물 등 다양한 오염물질이 존재하며, 이러한 오염물질에 높은 농도로 장시간 노출되면 인체에 나

쁜 영향을 미칠 수 있다. 즉, 호흡기 질환, 폐 질환, 기관지 질환, 폐암을 비롯한 각종 암을 유발시킬 수 있다. 이 중에서 미생물은 빌딩증후군의 중요한 발생원으로 여겨지고 있다. 표 2는 미국 EPA(1989)에서 대표적인 오염물질이 인체에 미치는 영향을 정리하여 나타낸 것이다.

표 2. 실내 공기오염물질, 오염원 및 인체의 영향

실내 공기오염물질	오염원	인체의 영향
환경담배연기(ETS)	흡연	암 점막 자극 심혈관계 영향 급·만성 폐질환 영향
생물학적 오염물질(바이러스, 박테리아, 곰팡이, 곤충과 진드기 배설물, 꽃가루, 동물과 인간 비듬)	실외, 인간, 동물 (습한 건물일수록 더 많음)	감염성 질병 알레르기 증상 독성 영향
휘발성 유기화합물(VOCs)	페인트, 착색제, 접착제, 염료, 유기용제, 코크, 세제, 살충제, 건축자재, 사무기기	자극 신경독성학적 영향 간독성 영향 암
포름알데히드(VOC의 일종)	ETS, 거품 단열재, particle board, 합판, 가구, 실내 장식품	자극 알레르기 증상 암
방향성 탄화수소족(PAHs)	ETS, 등유 난로, 나무 스토브	암 자극 심혈관계 영향 동물 실험에서 면역 기능 저하와 아테롬성 동맥경화증 발생이 관찰됨
일산화탄소(CO)	연소기구, ETS, 침윤된 배기가스	후두염이 악화되고 빈도가 증가 건강한 성인의 작업량이 감소 두통, 민첩성 감소, 건강한 성인에게서 독감 증세를 보임 심폐 기능 장애 악화 기절

표 2. (계속)

실내 공기오염물질	오염원	인체의 영향
이산화질소(NO ₂)	연소기구, ETS	천식 환자의 폐 기능 감소 동물의 감염에 대한 민감도가 증가 아이들과 일부 어른들의 폐 기능에 영향 동물 실험에서 다른 오염물질들과 함께 존재할 때 시너지 효과를 발생 면역력 감소 동물의 폐 기능 변화
아황산가스(SO ₂)	황을 포함한 연료 연소	천식 환자의 폐 기능 감소(입자와 함께 존재하면 시너지 효과로 기도 저항이 증가) 동물의 폐 기능 감소
입자상 물질	연소기구, ETS	암(입자에 붙은 검댕이, PAH) 눈과 호흡기 자극 폐 기능 감소
살충제	실내, 실외의 살충제 기구	신경독성 간독성 생식계 영향
석면	석면 시멘트, 단열재, 일부 건축자재	석면 폐증 암
라돈	토양, 샘플, 일부 건축자재	암
먼지, 에어로졸	개인 활동	알려져 있지 않음(자극에서 암 발생까지 다양)

표 3. 박테리아, 곰팡이와 관련된 질병 또는 증상

질병 또는 증상	원인 미생물
비염	Alternaria, Cladosporium, Epicoccum
천식	Various aspergilli and penicillia, Alternaria, Cladosporium, Mucor, Stachybotrys, Serpula(dry rot)
가습기 열	Gram-negative bacteria and their lipopolysaccharide endotoxins, Actinomycetes and fungi
외인성 알레르기 기포 (extrinsic allergic alveolitis)	Cladosporium, Sporobolomyces, Aureobasidium, Acremonium, Rhodotorula, Trichosporon, Serpula, Penicillium, Bacillus
아토피성 피부염	Alternaria, Aspergillus, Cladosporium

출처 : IEH(1996)

실내공기 중에 존재하는 미생물로는 바이러스, 박테리아, 곰팡이, 진드기, 꽃가루, 조류, 절지동물 분절 등이 있다. 이들은 알레르기 반응을 일으키게 하는 항원으로 실내공기 중에 넓게 분포되어 있다. 이와 같이 공기 중에 분산되어 있는 미생물들은 실내 환경조건에 따라 더욱 증가되어 전염병을 매개시키는 역할을 하거나 직접적으로 피부 질환, 알레르기성 질환, 기관지 천식 등을 유발시킨다. 이들 미생물은 고양이, 개 등의 동물, 카펫, 사람, 가슴기, 냉장고, 공기정화기 등에서 발생된다. 이러한 미생물이 인체에 미치는 영향으로는 알레르기 증상, 천식, 비염, 아토피성 피부염, 감염성 질병, 독성 등을 들 수 있다. 표 3은 박테리아, 곰팡이와 관련된 질병의 예를 나타낸 것이다.

3. 실내공간의 미생물 농도

실내환경에서 미생물은 중요한 생물학적 오염의

형태이다. 실내에서 발견되는 많은 종의 곰팡이(fungi)와 박테리아(bacteria)에 대한 연구가 많이 수행되었다. 특히, 여름철과 가을철에 실내에 존재하는 곰팡이와 박테리아는 외부 공기로부터 많이 유입된다. 습도가 높으면 곰팡이가 잘 자라는 것은 잘 알려진 사실이다. 공기중에 생존하는 곰팡이(viable airborne fungi)의 농도는 시간에 따라 크게 달라지므로, 신뢰할 만한 측정자료를 얻는데 어려움이 있다.

McGuinness 등(2002)은 1999년 4월부터 2001년 12월까지 외기 중의 미생물 농도를 파악하기 위하여 미국 대서양 연안 지역에서 계절별로 공기 중에 부유하는 계수 가능한 곰팡이(airborne countable fungal materials)와 배양 가능한 곰팡이(airborne culturable fungal materials)를 측정하였다. 곰팡이의 측정결과를 나타낸 표 4를 보면, 곰팡이의 농도는 계절에 따라 큰 차이가 있다. 계수 가능한 포

표 4. 미국 대서양 연안 지역의 외기중 곰팡이의 농도

분 류	곰팡이의 종류	봄 (3월~5월)	여름 (6월~8월)	가을 (9월~11월)	겨울 (12월~2월)	연평균
계수 가능한 곰팡이 농도 (str/m ³)	Alternaria	10	361	137	0	135
	Cladosporium	275	8169	8761	355	5378
	Epicoccum	3	57	424	5	183
	Aspergillus/Penicillium	60	415	330	144	258
	basidiospores	848	2158	1600	320	1344
	ascospores	211	1014	477	21	459
배양 가능한 곰팡이 농도 (CFU/m ³)	Alternaria species	4	34	14	1	14
	Cladosporium species	206	615	675	123	440
	Epicoccum species	2	21	26	3	15
	Aspergillus species	6	18	13	16	13
	Penicillium species	52	74	83	42	65
	Basidiomycetes	99	114	59	83	88

자 중에서 Cladosporium 포자의 농도가 5,378 str/m³으로 가장 높게 나타났고, 배양 가능한 곰팡이 중에서도 Cladosporium 종의 농도가 440 CFU/m³으로 가장 높았다.

대부분의 건물에서는 실내 공기질을 양호하게 유지시키기 위하여 공기조화설비를 갖추고 있다. 그런데, 이러한 설비를 잘 관리하지 않으면 필터, 덕트, 열교환기, 코일, 가습기 등에 분진과 미생물이 쌓일 수 있다. 미생물 중에서도 특히 곰팡이는 자라면서 생물학적 휘발성 유기화합물(microbial volatile organic compounds, MVOCs)을 방출한다고 알려져 있다. Park과 Ikeda(2002)는 도시 지역에 위치한 5개의 건물을 대상으로 공기조화설비에서 곰팡이 오염을 조사하였다. 곰팡이의 측정결과를 나타낸 표 5를 보면, 공급공기 중에서 Cladosporium, Penicillium, Aspergillus, Fusarium, Yeast 와 같은 곰팡이가 검출되었고, 이러한 곰팡이의 농도는 0~340 CFU/m³이었다. 그러나, 공급공기와 실내공기내 곰팡이 농도 사이의 상관성은 발견되지 않았다.

미국 환경청(US EPA)에서는 Building Assessment Survey and Evaluation(BASE) 연구를 통

해 미국의 25개 주에 위치한 100개의 대형 사무용 건물을 대상으로 배양 가능한 공기중 곰팡이, 박테리아 및 곰팡이 포자의 농도를 조사하였다. 이 조사는 1994년부터 1998년까지 실시되었고, 배양 가능한 5가지 종의 박테리아 농도를 측정하였다. 즉, 그람 양성 간상균(Gram-positive rods), 그람 양성 구균(Gram-positive cocci), 그람 음성 간상균(Gram-negative rods), 그람 음성 구균(Gram-negative cocci), 미확인 박테리아(unknown bacteria)로 분류하였다. 박테리아 중에는 배양할 수 없는 종이 많으므로, 배양 가능한 박테리아 농도로 실내 박테리아 농도를 추정하면 실제로 인간이 박테리아에 노출되는 정도를 낮게 예측하게 된다. 그러나, 실내 공기질을 평가하는데 배양법이 널리 사용되므로, 배양 가능한 박테리아 농도를 파악하는 것은 실내 공기질 문제를 다루는데 매우 중요하다. 미국에서 사무용 건물의 공기중 배양 가능한 박테리아 농도의 측정결과를 나타낸 표 6을 보면, 외기의 총 박테리아 농도가 470 CFU/m³으로 실내 농도(280 CFU/m³)보다 높다. 여름철과 겨울철의 외기 박테리아 농도는 서로 비슷하지만, 여름철과 겨울철의 실내 박테리아 농도는 차이가 있다.

표 5. 건물에서 공급공기(S)와 실내공기(I)에서 측정된 곰팡이 농도

곰팡이의 종류	곰팡이 농도(CFU/m ³)									
	S 건물		K 건물		F 건물 3층		N 건물		Y 건물 5층	
	S	I	S	I	S	I	S	I	S	I
Cladosporium	340	45	-	5	5	15	-	25	20	20
Penicillium	20	20	-	5	5	10	-	30	30	15
Aspergillus	30	20	-	15	-	-	-	25	-	5
Fusarium	-	-	-	-	5	-	-	10	5	5
Yeast	55	130	-	-	10	-	-	5	10	20
Others	15	25	5	5	10	30	-	10	-	10

표 6. 미국에서 사무용 건물의 공기중 배양 가능한 박테리아 농도

박테리아의 종류	박테리아 농도(CFU/m ³)					
	실 내			실 외		
	여름철	겨울철	계절 평균	여름철	겨울철	계절 평균
모든 그람 양성 간상균	63	68	66	107	127	117
(Actinomycetes)	(22)	(22)	(22)	(32)	(25)	(29)
(Bacillus species)	(29)	(30)	(29)	(50)	(64)	(57)
(기타 그람 양성 간상균)	(12)	(16)	(14)	(26)	(38)	(32)
그람 양성 구균	101	60	82	58	48	53
그람 음성 간상균	16	14	15	31	31	31
그람 음성 구균	12	13	12	12	14	13
미확인 박테리아	114	98	106	266	246	256
총 박테리아	306	252	280	474	465	470

Rao와 Cox-Ganser(2002)는 옥상에서 물이 스며 들고 직업과 관련하여 천식이 발병된 미국 병원의 환경을 조사하기 위하여 문제가 된 병원(A)과 인접한 문제가 없는 병원(B)을 대상으로 미세입자, 배양 가능한 곰팡이와 박테리아, 곰팡이 포자 등을 측정하였다. 이때, 0.02 μm 이상인 입자를 측정할 수 있는 응축핵 계수기(TSI model 8525)로 미세입자를 측정하였다. 두 병원에서 측정한 공기중 미생물과 미세입자의 농도를 나타낸 표 7을 보면, A 병원의 미생물(배양 가능한 곰팡이와 박테리아, 곰팡이 포자)의 농도가 B 병원보다 높은 경향을 나타내지만, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 공기중 배양 가능한 곰팡이의 기하학적 평균 농도는 0~136 CFU/m³이었다. 외기에서 발견된 곰팡이는 주로 Cladosporium herbarum, Epicoccum, basidiomycetes 이었고, 6층과 7층을 제외한 A 병원 실내에서 발견된 곰팡이도 주로 외기에서 발견된 것과 유사하였다. 공기중 곰팡이 포자의 기하학적 평균 농도는 5~1,099 spores/m³이었다. 실내공

기중 배양 가능한 박테리아의 기하학적 평균 농도는 53~277 CFU/m³이었고, 가장 많이 검출된 박테리아는 그람 양성 박테리아(Coryneform bacteria, Bacillus, Micrococcus, Rhodococcus)이었다. 검출된 박테리아의 종류는 실내와 실외가 서로 비슷하였다. 한편, A 병원에서 측정된 입자의 질량농도는 6.2~68.9 μg/m³(기하학적 평균 농도 : 19.8 μg/m³)으로 B 병원의 농도(3.9~17.3 μg/m³, 기하학적 평균 농도 : 8.6 μg/m³)보다 훨씬 높았다. 또한, A 병원의 미세입자의 평균 수농도도 2427개/cm³로 B 병원의 수농도(1485개/cm³)보다 월등히 높았다. 표 8에 나타낸 바와 같이 총 곰팡이 포자, 총 배양 가능한 곰팡이, 미세입자의 수농도, 입자의 질량농도 사이에는 서로 상관성이 있음을 알 수 있었다.

Bex 등(1992)은 프랑스 파리 지역의 25개 주택을 대상으로 공기와 분진 중에 포함된 곰팡이 농도를 조사하였다. 표 9는 곰팡이가 생긴 건물(곰팡이 성장 > 50 cm²)과 곰팡이가 생기지 않은 주택을 구분하여 측정한 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 곰

표 7. 두 병원에서 측정한 공기중 미생물과 미세입자의 농도

건물과 층	장 소	배양 가능한 곰팡이 농도 (CFU/m ³)	곰팡이 포자의 농도(spores/m ³)	배양 가능한 박테리아 농도 (CFU/m ³)	미세입자의 수농도 (particles/cm ³)
A1	Outside	107±81.5	926±2.4	578±2.3	4002±1.2
A1	Admistration	16±22.4	110±3	152±1.6	4588±1.6
A1	Medical records A	50±72.4	50±11.1	138±1.6	6390±1.9
A1	Office hallway	16±17.3	11±10.9	80±1.7	2561±1.8
A1	Medical records B	18±23.8	67±3.3	114±1.6	3522±2.3
A2	Surgical care	30±12	164±2.6	193±1.7	3274±2
A2	Radiology	4±4.9	35±9.4	53±2.8	775±2.3
A2	Emergency room	13±12.1	28±7.6	139±2.3	754±2.3
A2	Laboratory	4±4.9	26±6.8	57±1.8	2254±2.6
A2	Surgery	0±0	9±14.2	59±2	1233±1.3
A3	Orthopaedics/neuro	20±23.2	103±2.5	167±2.5	3142±1.7
A3	Coronary care	9±15.6	140±2.1	269±1.5	1486±1.1
A4	Pediatrics	23±18.7	201±1.9	187±2.6	2664±1.4
A4	Progressive care	27±28.5	48±9.9	195±2.4	1636±1.5
A5	Obstetrics	20±15.5	22±11.8	188±2.1	2128±1.4
A5	Labor/delivery	4±4.9	36±8.4	133±1.3	1361±2
A5	Neonatal ICU	3±5.2	8±6.4	69±1.4	3245±1.8
A6	Oncology	96±112.4	252±2	232±1.4	4380±1.6
A7	Medical care	136±146.9	1099±5.7	277±1.3	7164±1.4
BG	Outside	76±23.6	326±2.3	216±1.7	-
BG	Restorative services	16±14.8	20±15.9	207±1.7	1705±1.3
BG	Medical transcrip.	40±16.3	44±2.8	92±1.6	1436±1.6
B1	Convenience care	29±17.3	54±2.5	129±1.5	1106±1.2
B1	Radiation therapy	13±19.7	7±6.1	99±1.3	985±1.4
B2	Rehabilitation	23±18.3	22±6.7	191±1.9	1445±1.3
B2	Speech pathology	29±17	82±1.5	171±1.9	1683±1.6
B3	Behavioral health	36±30.4	28±7.8	190±1.3	2075±1.6
B4	Short stay unit	14±9	5±6.4	146±1.4	1768±1.8
B4	Transitional care	31±26.7	32±5.3	143±2.1	1358±1.5

표 8. 두 병원에서 측정한 공기오염물질 사이의 상관관계수

	입자의 질량농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	배양 가능한 곰팡이 농도 (CFU/m^3)	미세입자의 수농도 ($\text{particles}/\text{cm}^3$)
곰팡이 포자의 농도 (spores/m^3)	0.57	0.78	0.64
배양 가능한 곰팡이 농도 (CFU/m^3)	0.49	-	0.62
미세입자의 수농도 ($\text{particles}/\text{cm}^3$)	0.48	0.62	-

표 9. 프랑스 파리 지역의 실내 공기과 분진 중에 살아있는 곰팡이 포자의 농도

		주택 수	샘플 수	평균	표준 편차	최소	최대	25%	중간 (50%)	75%
공기 (CFU/m^3)	곰팡이가 생기지 않은 주택	9	43	240	234	0	1,124	100	194	297
	곰팡이가 생긴 주택	16	80	465	605	21	3,800	100	211	590
분진 (CFU/g)	곰팡이가 생기지 않은 주택	7	21	2,443	900	0	20,000	0	4,768	2,000
	곰팡이가 생긴 주택	9	37	274,800	13,000	200	3,800,000	2,250	797,850	90,000

팡이가 생긴 주택의 경우 평균 곰팡이 농도는 465 CFU/m^3 이고, 곰팡이가 생기지 않은 주택의 경우 평균 곰팡이 농도는 240 CFU/m^3 으로 상대적으로 낮다.

Lee 등(2002)은 2001년 6월부터 9월까지 캐나다의 British Columbia에 위치한 공공건물(사무용 건물, 연구소, 병원 등)의 50곳에서 널리 사용되는 3가지 종류의 미생물 샘플러(Andersen N6 single stage[N6], Surface Air System 90[SAS], Reuter Centrifugal Sampler[RCS])를 사용하여 미생물 농도를 측정하였다. 실내와 실외 곰팡이 농도의 측정결과를 나타낸 표 10을 보면, 미생물 샘플러에 따라 측정된 농도에 차이가 있었고, 실내의 경우 $\text{RCS} > \text{N6} > \text{SAS}$ 순서로 곰팡이 농도가 높았고, 외기

표 10. 캐나다 공공건물에서 측정한 곰팡이의 농도

미생물 샘플러	곰팡이 농도(CFU/m^3)	
	실내	실외
RCS	131.1±2.42	679.4±1.61
N6	61.0±3.92	689.4±2.27
SAS	15.4±3.50	201.2±2.60

표 11. 환기방법에 따른 실내 곰팡이 농도의 비교

미생물 샘플러	실내 곰팡이 농도(CFU/m^3)	
	자연환기	기계환기
RCS	229.3±1.89	112.7±2.42
N6	244.1±2.37	39.9±3.36
SAS	44.2±2.38	11.3±3.26

표 12. 실내 미생물 농도

연구자	국가	측정대상	곰팡이 농도(CFU/m ³)	박테리아 농도(CFU/m ³)	비고
Macher 등 (1991)	미국	아파트	198	-	곰팡이 포자
Hunter 등 (1996)	영국	주택(163채)	234	365.6	기하학적 평균
		주택(35채)	912(거실), 818(침실)	917(거실), 933(침실)	
Takahashi (1997)	일본	실내	13~3750	-	

의 경우 N6 ≃ RCS > SAS 순서로 곰팡이 농도가 높았다. 표 11을 보면, 자연적으로 환기되는 건물내 곰팡이 농도가 기계적으로 환기되는 건물내 농도보다 높았다.

참고로 미국, 영국, 일본에서 측정된 실내 미생물 농도를 정리하여 표 12에 나타냈다.

미생물의 실내 오염 현황을 살펴보았다. 국내의 경우 다른 오염물질에 비해 실내 미생물에 대한 연구는 초보적인 단계에 머물러 있다고 생각되며, 미생물 전문가들이 실내공기오염에 관심을 갖고 국민 건강에 큰 영향을 미칠 수 있는 실내 미생물 오염 현황이 조만간 체계적으로 밝혀지길 기대해 본다.

4. 맺음말

선진국에서는 실내공기오염을 중요한 환경문제로 인식하여 다양한 측면에서 실내 공기질에 대한 연구를 활발하게 수행하고 있다. 다양한 오염물질과 오염원, 새로운 오염물질의 대두, 오염물질이 인체에 미치는 영향 등으로 인하여 체계적이고 종합적으로 실내 공기오염문제를 다루기 위해서는 다양한 전문가의 협력이 필수적으로 요구된다. 지금까지는 주로 각 분야의 전문가들이 자기 전공을 중심으로 실내 공기오염문제를 한 측면에서만 다루었지만, 선진국에서도 현재 대기환경, 위생학, 건축학, 기계공학, 화학 등을 전공한 전문가들이 어떻게 서로 협력하여 당면한 실내 공기오염문제를 체계적으로 풀어나갈 것인가에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다.

본 고에서는 최근에 발표된 논문을 중심으로 현재 중요한 실내 공기오염물질로 다루어지고 있는

- 참고문헌 -

1. 이춘식, 배귀남 등, 1995, 습식 공기청정 방식의 실내 오염물질 제거성능에 관한 연구, 한국과학기술연구원, BSI1657-5629-2.
2. Seifert, B., 2002, "Indoor Pollutants," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 5, pp.116-125.
3. Spengler, J. D., 2002, "Research Futures for Healthy Indoor Air," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 5, pp.148-154.
4. Mauderly, J., 2002, "Linkages between Outdoor and Indoor Air Quality Issues:

- Pollutants and Research Problems Crossing the Threshold," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 1, pp.12-21.
5. McGuinness, M., McGuinness, P., Dieda, M., Yuran, M., Wieller, D., and Warner, A., 2002, "An Analysis of Outdoor Air Reference Samples Collected in the Mid-Atlantic Region of the United States," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 4, pp.329-334.
 6. Park, J. S. and Ikeda, K., 2002, "MVOC Emissions from Fungi in HVAC System," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 4, pp.335-340.
 7. Rao, C. Y. and Cox-Ganser, J. M., 2002, "Correlations of Particles, Allergens, Fungi and Bacteria in Air and Chair Dust in a Hospital Setting," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 4, pp.365-370.
 8. Bex, V., Mouilleseaux, A., Bordenave, L., and Squinazi, F., 2002, "Indoor Fungal Exposure in Some French Homes," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 4, pp.770-775.
 9. Lee, K. S., Black, W., Brauer, M., Stephens, G., Teschke, K., Hsieh, J., and Bartlett, K., 2002, "A Field Comparison of Methods for Enumerating Airborne Fungal Bioaerosols," Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate(Indoor Air 2002), Monterey, CA, USA, June 30 - July 5, Vol. 1, pp.455-460.
 10. Jones, A. P., 1999, "Indoor Air Quality and Health," Atmospheric Environment, Vol. 33, pp. 4535-4564.