

실내외 공기질의 상관성

배 귀 남 | 한국과학기술연구원
지구환경연구센터 선임연구원

1. 머리말

경제발전에 의해 사람들의 생활수준이 향상됨에 따라 생활 양식이 인간의 감성과 건강을 중요하게 여기는 방향으로 변하고 있다. 현대인들은 하루 시간의 80~90%를 주택, 사무실, 지하공간 등의 실내 공간에서 보내고 있으므로, 쾌적한 실내환경에 대한 인식과 욕구가 높아지고 있으며, 국내외적으로 실내 공기질(IAQ, Indoor Air Quality)의 중요성이 크게 부각되고 있다. 실내공간에는 부유입자, 가스(CO, CO₂, NO_x, SO_x, HCHO, O₃ 등), 담배연기, 라돈, 석면, 미생물, 휘발성 유기화합물(VOCs) 등 다양한 오염물질이 존재하며, 최근 들어 VOCs에 대한 관심이 국내외적으로 높아져 이에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

대기오염물질은 일찍부터 규제대상이 되어 측정, 평가되어 왔으나, 실내 공기오염물질은 1970년대 이후 많은 연구가 수행되고 있다. 대기오염이 실내 공기오염에 직접적으로 영향을 미치므로, 실내 공기질을 개선하기 위해서는 대기오염과 실내 공기질 간의 상관성을 규명할 필요가 있다. 일반 사무 및 주거공간의 경우 인체의 위해성 측면에서 외기가 중요하다. 반도체 공장의 경우 제품의 불량, 박물관의 경우 유물의 손상, 해안에 위치한 공항의 경우 해염 입자의 영향을 방지하기 위하여 외기를 특별

한 방법으로 처리하여 실내로 유입시켜야 한다.

미국에서는 1969년 EPA(Environmental Protection Agency)의 전신인 NAPCA(National Air Pollution Control Administration)의 연구사업으로 실내외 공기오염의 상관성에 관한 연구를 수행하였다. 그 후로 미국과 유럽 등지에서 이 분야에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔다. 1960년대 후반 이전에 주택을 대상으로 실내외 공기질의 상관성에 관한 체계적인 연구가 네델란드의 Biersteker 등(1965)에 의해 수행되었으며, 이 연구결과의 영향을 받아 미국에서 실내외 공기질에 본격적으로 관심을 갖게 되었다. 1970년대 미국에서 실내외 공기질의 상관성에 관한 연구는 주로 TRC Environmental Consultants, General Electric Co., University of California at Riverside, California Institute of Technology, Harvard University, GEOMET, Inc., Lawrence Berkeley Laboratory 등에 의해서 수행되었다. 이들은 기준성 및 다른 오염물질에 대한 실내외 공기질의 상관성을 정의하고, 실내 오염원 및 에너지 절약 실시와 관련하여 실내 공기질을 평가하며, 역학 연구에 필요한 자료를 확보하기 위하여 공기오염물질에 대한 실내, 실외 및 인간의 총노출을 평가하는 방향으로 연구를 수행하였다.

사무실, 주택 등과 같은 실내공간의 공기오염 문

표 1. 실내 공기오염물질과 오염원

오염원		오염물질의 형태	
외부	대기	SO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃ , 탄화수소, CO, 분진, 미생물	
	자동차	CO, 납, 탄화수소, 분진	
	토양	라돈, 유기물	
실내	건축자재	콘크리트, 돌	라돈
		particleboard, plywood	포름알데히드
		단열재	포름알데히드, 유리섬유
		방화재	석면
		접착제	유기물
		페인트	수은, 유기물
	건물부대설비	난방 및 조리용 연소기구	CO, NO, NO ₂ , 포름알데히드, 분진, 유기물
		가구	유기물
		급수, 천연가스	라돈
	재실자	신진대사	H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ , 냄새
내부의 활동	담배연기	CO, NO ₂ , 유기물, 분진, 냄새	
	에어로졸 분무 기구	fluorocarbons, vinyl chloride, 유기물	
	청소 및 조리 부산물	유기물, NH ₃ , 냄새	
	hobbies, crafts	유기물	
	damp organic materials, 정체수	coil drain pans	미생물(bioaerosols)
	가습기		

제를 다루기 위해서는 먼저 실내 공기오염의 원인을 정확히 파악할 필요가 있다. 일반적으로 실내공간의 공기 오염원은 실내와 외부로 구분되며, 외부 오염원은 다시 대기, 자동차, 토양 등으로 분류될 수 있다. 실내 오염원은 크게 건축자재, 건물 부대설비, 재실자, 인간의 활동, damp organic materials와 정체수 등으로 분류할 수 있다. 표 1은 이러한 오염원으로부터 발생하는 주된 오염물질을 정리하여 나타낸 것이다.

공기의 조성은 실내나 실외 모두 동일하지만, 실

내공기 오염물질의 종류와 양은 실외의 경우와 아주 다를 수 있다. 비반응성 물질인 일산화탄소(CO)는 실내공간으로 쉽게 침투하지만, 가스 스토브와 같은 실내 오염원이 실외 농도보다 실내 농도를 높게 만들 수 있다. 반응성 물질인 아황산가스(SO₂)와 오존(O₃)은 실내공간으로 침투하면 바로 소멸되어 보통 실내 농도는 실외 농도보다 매우 낮다. 실내에서의 활동이나 자재가 보통 실외에서 발견되지 않는 실내 오염물질의 농도를 크게 증가시킬 수 있다. 이러한 오염물질로는 라돈, 포름알데히드 및 담

배 연기 등이 있다. 오염물질을 오염원의 위치에 따라 분류하여 표 2에 나타냈다. 표 2에서 기준성 오염물질은 1 그룹과 2 그룹에 포함된다. 실내외 공기 오염의 상관성을 살펴보기 위해서는 실외에 오염원이 있는 1 그룹과 2 그룹의 오염물질을 대상으로 조사할 필요가 있다.

실내 공기오염은 주로 대기오염물질의 실내유입, 실내 오염 발생원, 환기량의 부족 등으로 인해 생긴다. 이러한 실내 공기오염 문제를 해결하기 위하여 오염원 규명 및 제어, 오염물질 제어, 오염물질 계측평가, 공기청정기기의 개발, 오염영향 평가 등과 같은 다양한 측면에서 연구가 수행되고 있다.

대기오염이 실내 공기질에 상당한 영향을 미치고 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 국내에서도 실내외 공기질의 상관성에 관한 연구가 일부 수행되고 있으나, 아직 측정자료가 많지 않고 대기 오염도와 실내 공기 오염도를 단순하게 비교하는데 그치고 있다. 실내 공기질을 개선하기 위해서는 건물 공조 시스템 등의 분석을 통한 대기오염물질 침투과정의 규명, 실내 공기질 제어방법 등이 함께 연구되어야 한다.

본 고에서는 실내 공기질 개선방안을 도출하는데 활용될 수 있도록 기준성 오염물질을 중심으로 실내외 공기질의 상관성을 살펴보았다.

2. 실내 공기질에 영향을 미치는 요인

실내외 공기질의 상관성은 대기질, 오염물질의 실내 발생, 오염물질의 감쇄 메커니즘, 기상인자, 건물의 기밀성, 환기 등에 따라 달라진다. 실내공간은 대기에 의해 둘러싸여 있으므로, 실내 공기질은 대기질의 변화에 따라 달라진다. 이때 반응속도는 건물의 기밀성, 오염물질의 특성에 따라 다르다. 가스스토브의 사용, 요리, 청소, 흡연, 다양한 소비용품의 사용, 사람의 움직임 등과 같은 많은 실내 활동

표 2. 오염원의 위치에 따른 오염물질의 분류

분 류	오 염 물 질
1 그룹 : 오염원이 주로 실외에 있는 경우	SO ₂ (가스, 입자)
	O ₃
	pollens
	Pb, Mn
	Ca, Cr, Si, Cd
2 그룹 : 오염원이 실내와 실외에 있는 경우	유기물질
	NO, NO ₂
	CO
	CO ₂
	입자
3 그룹 : 오염원이 주로 실내에 있는 경우	수증기
	유기물질
	spores
	라돈
	포름알데히드
	석면
	유기물질
	암모니아(NH ₃)
	Polycyclic hydrocarbons, arsenic, nicotine, acrolein 등
	수은
에어로졸	
미생물(viable organism)	
알레르겐(allergens)	

으로 인해 오염물질이 발생된다. 또한, 건축자재나 가구로부터 유기물질이 배출된다. 실내나 실외에 기인된 실내 오염물질은 대기변환, 입자의 침착, 실내 표면에서 가스와 증기의 흡착 또는 흡수 메커니즘에 의해 제거된다.

기상인자, 건물의 기밀성, 환기는 환기율을 변경시켜 간접적으로 실내외 공기질의 상관성에 영향을 미치므로 2차적인 요인에 해당된다. 실내외 온도의 상관성은 실외 오염물질의 침투와 실내에서 발생된 오염물질의 희석에 영향을 미친다. 추운 날 건물을 난방하면 실내 압력이 낮아져 상당한 굴뚝효과가 생긴다. 이로 인하여 낮은 층에서는 오염된 외기가 건물 내부로 쉽게 침투하여 오염된 공기가 건물 전체로 확산되며, 높은 층에서는 따뜻한 실내 공기가 틈을 통해 쉽게 빠져나간다. 바람은 주택의 바람이 불어오는 방향 벽면과 반대 벽면 사이에 압력 차이를 유발시켜 구조물의 환기에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향은 창문이나 출입문의 위치에 따라 다르다. 습도는 창문틀이 수분을 흡수하여 누설을 감소시키는 방식으로 건물의 기밀성에 영향을 미치고, 가스상 물질(SO₂, O₃ 등)의 침착률도 증가시킬 수 있다.

건물의 기밀성은 실외 오염물질의 내부 침투성과 실내에서 발생된 오염물질이 외기에 의해 희석되는 비율을 좌우한다. 실내외 공기를 강제로 혼합

시키는 환기 시스템은 실내외 공기질의 상관성에 직접적으로 영향을 미친다. 공조 및 환기 시스템의 구성 요소로 사용되는 공기청정기기는 실내외 공기질의 상관성에 지대한 영향을 미친다.

3. 기준성 오염물질의 실내외 상관성

3.1 아황산가스(SO₂)

오염물질의 실내외 농도의 비(I/O 비)는 실내 오염원의 존재를 나타내는 지표로 널리 사용되고 있다. 일반적으로 I/O 비가 1보다 크면 실내공기는 실내 오염원의 영향을 많이 받으며, 1보다 작으면 실외에서 배출된 오염물질이 실내로 유입되어 실내공기에 영향을 미치는 것을 의미한다.

아황산가스는 입자상 물질과 더불어 공기질 관리에 필요한 대표적인 오염물질이다. 표 2에 나타낸 바와 같이 실내 SO₂의 대부분은 실외 오염원으로부터 기인되고, 황이 포함된 연료를 실내에서 사용하는 경우이나 실내 오염원이 중요한 역할을 한다. SO₂의 실내외 농도비(I/O 비)는 일정하지 않고 크

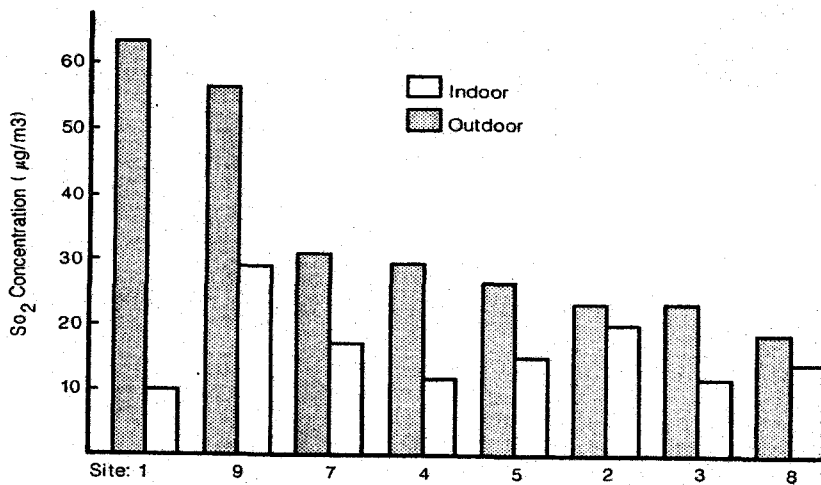


그림 1. 실내외 SO₂ 농도의 비교

게 변하지만, 실내 SO₂ 농도는 외기 농도에 비해 확실하게 낮다. 1972년 Anderson이 여러 나라에서 1950년대 중반부터 수행된 SO₂의 I/O 비에 관한 연구를 종합한 것에 의하면, SO₂의 I/O 비는 0.2~1.0 범위이다. 1972년 Benson 등은 기존 자료를 분석하여 SO₂의 I/O 비는 실외 농도에 반비례한다는 결론을 얻었다. 즉, 실외 SO₂ 농도가 높으면 I/O 비는 작고, 농도가 낮으면 I/O 비는 크다.

그림 1은 실내외의 SO₂ 농도의 상관성을 나타낸 것이다. 대기 SO₂ 농도가 상당히 높으면 I/O 비는 0.3~0.5이지만, 대기 SO₂ 농도가 낮으면(I/O 비가 0.7~0.9) 건물의 외피와 실내공간에서 SO₂가 상대적으로 적게 감소된다.

3.2 입자상 물질(Particulate Matter)

1972년 덴마크의 Anderson이 미국, 유럽 및 일본에서 발표된 입자상 물질(PM)의 I/O 비에 관한 자료를 정리한 것에 의하면, PM의 I/O 비는 0.2~1.0 범위이다. 미국 EPA의 연구사업으로 TRC

Environmental Consultants에서 1969~1970년에 수행한 연구에서 총 입자상 물질(TSP, total suspended particulate matter)의 I/O 비는 0.16~1.15 이었다. 주택이나 공조설비가 없는 건물의 경우 I/O 비는 여름에 크고, 겨울에 작았다. 이것은 실외의 TSP가 실내 농도에 영향을 미치고, 구조물이 단열 있을 때 그 영향이 가장 적은 것을 의미한다. 공조설비가 있는 건물의 경우 I/O 비는 가을에 최대이고, 여름과 겨울에는 약간 작다. Benson 등은 이 연구를 검토하여 TSP의 I/O 비도 SO₂의 경우와 비슷하게 실외 TSP 농도가 증가하면 I/O 비가 감소하는 것을 발견하였다.

Thompson 등(1973)이 캘리포니아 남부에서 실시한 연구에 의하면, 공조설비에 고성능 필터가 설치된 건물의 I/O 비는 0.08~0.29이고, 공조설비에 정전식 공기 청정기가 설치된 주택의 I/O 비는 0.07 이었다. 공조설비에 유리섬유의 프리필터만 설치된 건물의 경우 I/O 비는 0.14~0.82이고, 유리섬유 필터가 있는 재순환 팬 시스템만 갖춘 건물의 경우

표 3. 분진의 재유입을 방지하기 위하여 방의 기밀을 유지시키는 방법에 따른 입자상 물질에 함유된 성분의 실내외 농도비

경우	측정회수	조 건	I/O 비				
			Ca	Fe	Zn	Pb	Br
J	3	보통	0.10	0.17	0.52	0.49	0.33
K	2	창문에 플라스틱 부착	0.10	0.15	0.71	0.17	0.17
L	1	창문을 활짝 개방	0.52	0.81	0.93	1.2	1.0
M	2	창문에 금이 감	0.20	0.16	0.69	0.55	0.53
N	6	모든 표면을 플라스틱으로 덮음	0.02	0.12	0.24	0.15	0.20
P	3	대부분의 창문을 플라스틱으로 덮음	0.10	0.15	0.58	0.57	0.32

I/O 비는 0.55이었다.

미국 EPA의 연구사업으로 GEOMET(1978)에서 수행한 연구결과에 의하면, TSP의 I/O 비는 0.3~3.5로 넓게 분포한다. 이것은 I/O 비가 실내 활동에 의해 크게 좌우되므로, TSP의 I/O 비는 중요한 지표가 되지 못하는 것을 의미한다.

Alonza 등(1979)은 10개의 다른 실내공간을 대상으로 먼저 실내의 입자상 물질을 청소한 후 다양한 시각에 실내 부유입자를 측정하였다. 그리하여 실내와 실외 공기질은 하루 이내에 평형 상태에 도달함을 알아냈다. 또한, 입자상 물질에 함유된 다양한 금속 성분의 I/O 비를 근거로 입자상 물질의 실내외 공기질의 상관성을 평가하였다. 모든 창문과 출입문이 닫힌 상태에서 모든 실내공간의 I/O 비는 Ca 0.10, Fe 0.24, Zn 0.41, Pb 0.42, Br 0.36이었다. 하나의 실내공간을 대상으로 다양한 기밀조건에서 측정된 금속 성분의 I/O 비를 표 3에 나타냈다.

실내 입자농도는 흡연, 요리와 같은 실내 활동에 크게 좌우된다. 또한, 주방 기기, 공기여과장치, 환기장치의 존재 여부에 따라 다르다. 흡연에 따른 호흡성 입자의 I/O 비를 표 4에 나타냈다. 흡연을 하지 않더라도 호흡성 입자의 농도가 때때로 실내에서 더 높다.

이상의 검토를 종합하면, 실외 농도와 실내 활동

표 4. 흡연 여부에 따른 호흡성 입자의 실내외 농도비

구 분	흡연 유무	I/O 비
연구 1	흡연자가 있는 주택	4.4
	흡연자가 없는 주택	1.4
	사무실	1.1
연구 2	흡연자가 1명 있는 주택	1.7
	흡연자가 2명 이상 있는 주택	3.3
	흡연자가 없는 주택	1.2

에 따라 입자상 물질의 I/O 비는 크게 달라지고, 실내와 실외에서 채취된 입자상 물질의 화학적 및 물리적 성질은 크게 다르다. 따라서, TSP 농도를 근거로 제정된 대기 공기질 기준은 입자상 물질의 실내 및 총 노출을 평가하는데 적합하지 않다.

3.3 일산화탄소(CO)

대기에서 일산화탄소는 본질적으로 비반응성이므로, 실내 오염원이 없으면 CO의 I/O 비는 1에 가깝다. 기계적 환기 시스템을 갖춘 건물에서 CO 농도가 높은 오전 출근 시간대(rush hours)에 외부 공기를 도입하면, CO를 포함한 공기의 일부가 외부로 배출되지 않고 실내에 남아 있어 낮 시간 동안 I/O 비가 1보다 크게 된다. 고층 건물에서 외기 CO 농도는 높이 올라갈수록 지수함수적으로 감소하지만, 건물의 굴뚝 효과로 저층에서 CO가 포함된 공기가 빨려들어와 고층으로 확산된다. 실내 CO 농도도 높이 올라갈수록 감소하지만, 외기 농도에 비해 천천히 감소하므로 고층에서 I/O 비가 때때로 1보다 크다. 실내에 CO 오염원이 있는 경우 I/O 비가 크게 달라진다. TRC의 연구(1974)에 의하면, 가스 스토브를 사용하는 가정에서 스토브 근처의 주방에서 CO 농도는 때때로 8시간 평균 대기질 기준인 9 ppm을 초과한다. 이러한 가정에서 측정된 CO의 I/O 비는 1.17~3.76이었다. GEOMET의 연구(1981)에서는 가스 스토브를 사용하는 가정에서 CO의 평균 I/O 비는 1.64이었고, 전기 스토브를 사용하는 가정과 사무실의 I/O 비는 각각 1.14와 1.05이었다.

3.4 이산화질소(NO₂)

도시 대기에서 대부분의 이산화질소(NO₂)는 태양이나 다른 오염물질이 존재할 때 일산화질소(NO)가 산소(O₂) 및 오존(O₃)과 반응하여 생긴다.

NO는 보일러나 내연기관 등과 같은 연소공정에서 배출된다. NO₂는 반응성 물질이므로 실내 오염원이 없는 경우 I/O 비는 1보다 작다. Thompson 등(1973)이 남부 캘리포니아의 건물을 대상으로 실시한 연구에 의하면, 공조하지 않은 건물에서 NO₂의 I/O 비는 0.49~1.0이었다. 가스 스토브를 사용하는 가정에서 2주 동안 측정된 TRC의 연구(1974)에 의하면, 주방에서 NO₂의 I/O 비는 1.1~5.6이고, 침실의 경우 1.1~2.2이었다.

미국 주택의 경우 난방 및 조리기기에 따라 크게 전기 조리 및 난방, 전기 조리 및 가스 난방, 가스 조리 및 난방으로 구분할 수 있다. 전기만 사용하는 가정의 경우 실내 NO₂ 농도는 외기 농도보다 항상 낮다. 전기 스토브와 가스 화로를 사용하는 가정의 경우에도 실내 NO₂ 농도는 외기 농도보다 낮으나, 그 차이는 전기만 사용하는 가정에 비해 적다. 가스 난방과 조리기기를 사용하는 가정의 실내 NO₂ 농도는 항상 외기 농도보다 높다. GEOMET(1981)의 연구결과에 의하면, 가스 스토브를 사용하는 주택의 경우 NO₂의 I/O 비는 1.12이고, 전기 스토브를 사용하는 경우 0.38, 사무실의 경우 0.84이었다.

3.5 오존(O₃)

오존(O₃)은 반응성이 매우 큰 오염물질이고, 자연계에 존재하는 가장 강력한 산화제 중의 하나이다. 실내에 존재하는 오존은 대기 중에서 광화학 반응에 의해 생성된 오존이 실내로 침투한 것이다. 오존의 실내 오염원으로는 정전식 공기 청정기, 이온 발생기, 복사기 등이 있다. Thompson 등(1973)의 연구결과에 의하면, 실내 오존 농도는 광화학 스모그의 일변화 특성을 따르고, 실내 농도는 외기 농도의 절반 정도이다. 캘리포니아 공대에서 Sabersky 등(1973)이 수행한 연구결과에 의하면, 외기를 100% 도입하여 공조하는 건물의 경우 O₃의 I/O 비

는 약 0.7이고, 30%의 공기를 재순환시켜 공조하는 건물의 경우 I/O 비는 약 0.65이었다. 실내에서 오존 농도는 급격히 감소하며, 감소율은 내부 공간의 표면적의 체적에 대한 비(surface-to-volume ratio)에 좌우된다.

EPA의 연구사업으로 실시한 GEOMET(1978)의 연구결과에 의하면, O₃의 I/O 비의 95% 이상이 1.0보다 작고, 오존의 반감기는 약 2분이다. EPRI의 연구사업으로 실시한 GEOMET(1981)의 연구결과에 의하면, 보스턴 지역에서 가스 스토브를 사용하는 주택의 경우 O₃의 I/O 비는 0.19이고, 전기를 사용하는 주택의 경우 0.20이며, 사무실의 경우 0.29이었다.

보통 O₃의 I/O 비는 0.1~0.3이지만, 때로는 실내 오염원에 의해 0.7 정도로 높아진다. 실내 오존 농도는 외기 농도보다 매우 낮으므로, 실내공간은 오존 노출을 피할 수 있는 좋은 피난처이다.

3.6 탄화수소류(HC)

탄화수소류에 대한 대기질 기준은 비메탄계 탄화수소(NMHC)에 적용되고, 실제로 이것은 SO₂, CO, NO₂와 달리 건강과 직접적으로 관련되는 기준은 아니다. NMHC의 기준치는 오전 6시부터 9시까지 3시간 평균으로 160 µg/m³이다. NMHC는 광화학 스모그의 전구물질이다. General Electric(1972)에서 뉴욕의 고층 아파트를 대상으로 탄화수소류를 측정된 연구결과에 의하면, 메탄 등가량으로 표현된 평균 HC 농도는 기밀이 잘 된 건물과 협곡 건물 모두 실외보다 실내가 높았다. 기밀이 잘 된 건물의 경우 I/O 비는 저층에서 거의 1이고, 고층에서는 난방 시기의 경우 1.7, 비난방 시기의 경우 1.5로 증가하였다. 보스턴 지역에서 실시한 GEOMET(1981)의 연구결과에 의하면, NMHC의 I/O 비는 가스 스토브를 사용하는 주택의 경우

1.89, 전기 스토브를 사용하는 주택의 경우 1.79, 사무실의 경우 1.47이었다. 건물에서 NMHC의 실내 농도를 실외 농도보다 낮추기 위해서는 활성탄 필터 등을 사용하여야 한다. NMHC은 다양한 화합물을 포함하므로, NMHC보다는 특정 화합물의 실내외 농도를 비교하는 것이 의미가 있다.

3.7 납(Pb)

납(Pb)에 대한 대기질 기준치는 3개월 평균 농도로 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 납은 대기중의 입자상 물질의 성분으로 실내로 유입되거나, 토양에 묻혀 주택으로 유입되어 다양한 실내활동에 의해 공기 중에 부유된다. 양초의 심지가 납의 실내 오염원으로 언급되는 것을 제외하면, 납의 실내 오염원은 없다고 말할 수 있다.

EPA의 연구사업으로 실시한 TRC(1970)의 연구결과에 의하면, 납의 I/O 비는 0.26~1.06으로 TSP의 I/O 비보다 크다. 이것은 납이 TSP보다 쉽게 실내공간으로 침투하는 것을 의미한다. 뉴욕시에서 고층 아파트를 대상으로 실시한 General Electric(1972)의 연구결과에 의하면, 저층에서 납의 I/O 비는 난방 시기의 경우 0.56, 비난방 시기의 경우 0.80이었다. 고층(32층)에서 납의 I/O 비는 난방 시기의 경우 1.07, 비난방 시기의 경우 1.09이었다. 높은 층일수록 납의 I/O 비가 증가하는 것은 CO의 경우와 비슷하다(건물의 굴뚝 효과).

Halpern(1978)이 뉴욕시의 4개 건물에서 측정된 납의 I/O 비를 표 5에 나타냈다. 공조가 되는 공공 건물의 I/O 비가 가장 낮고, 다른 건물의 I/O 비는 0.81~0.87이었다. 이것은 실내 공기질이 외기 오염도 이외에도 다른 인자에 의해 영향을 받는다는 것을 내포하고 있다.

하버드(1981)의 6대 도시 연구결과의 일부를 표 6에 나타냈다. 표 6은 입자상 물질에 포함된 철, 납, 알루미늄

표 5. 뉴욕시의 4개 건물에서 납의 실내외 상관성

위 치	납 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	실내 범위	실외 범위	I/O 비
신축 공조 아파트	0.12~0.40	0.13~0.50	0.82
공조 공공 건물	0.15~0.79	0.33~1.18	0.63
공공 건물에서 공조되지 않은 창고	0.45~0.98	0.38~1.05	0.81
오래된 비공조 아파트	0.14~0.51	0.17~0.64	0.87

표 6. 입자상 물질에 포함된 철, 납 및 알루미늄의 평균 농도

측정위치	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	호흡성 입자	Fe	Pb	Al
개 인	29.6	0.0499	0.1605	0.0276
실 내	30.5	0.0328	0.0919	0.0305
실 외	12.2	0.0349	0.1242	0.0122
I/O 비	2.5	0.94	0.74	1.08

알루미늄의 실내, 실외 및 개인 측정결과의 평균을 나타낸 것이다. 이러한 측정결과로부터 호흡성 입자의 중요한 실내 오염원이 존재하고, 알루미늄의 실내 오염원은 있지만 납의 특별한 실내 오염원은 없는 것을 알 수 있다.

4. 맺음말

본 고에서는 실내외 공기질의 상관성에 관한 초기 연구에 해당되는 1970년대 연구자료를 사용하여 기

준성 오염물질을 중심으로 실내의 공기질의 상관성을 살펴보았다. 표 7은 대표적인 실내 공기오염물질의 오염원, 실내농도 및 실내외 농도비를 정리하여 나타낸 것이다. 공장과 교통수단은 대표적인 실외 오염원인데, 표 8은 이들이 주된 실내 오염물질

의 실외 오염원으로서 기여하는 비율을 정리하여 나타낸 것이다.

국내 실내 공기질은 보건복지부(공중위생법), 건설교통부(건축설비기준법), 환경부(지하생활공간공기질관리법), 교육부, 노동부 등에서 각각 독립적

표 7. 실내 오염물질의 오염원, 실내 농도 및 실내외 농도비

오염물질	실내 오염원	실내 농도	실내외 농도비	위치
CO	연소기기, 엔진, 불완전 난방 시스템	100 mg/kg	≫1	스케이트장, 사무실, 가정, 자동차, 가게
호흡성 입자	스토브, 화로, 흡연, 휘발성 물질의 응축, 에어로졸 분사, 재비산, 요리	100~500 µg/m ³	≫1	가정, 사무실, 자동차, 공공 시설, 술집, 식당
유기가스	연소, 유기용제, 수지용품, 살충제, 에어로졸 분무	-	>1	가정, 식당, 공공 시설, 사무실, 병원
NO ₂	연소, 가스 스토브, 물 가열기, 건조기, 흡연, 엔진	200~1000 µg/m ³	≫1	가정, 스케이트장
SO ₂	난방시스템	20 µg/m ³	<1	
비흡연 층부 유입자	연소, 재비산, 난방시스템	100 µg/m ³	1	가정, 사무실, 운송기관, 식당
황산염(SO ₄ ²⁻)	성냥, 가스 스토브	5 µg/m ³	<1	가정, 사무실
포름알데히드	단열재, 접착제, 파티클보드	0.05~1.0 mg/kg	>1	가정, 사무실
라돈농핵종	건축자재, 지표수, 토양	0.1~200 nCi/m ³	≫1	가정, 건물
석면	방화재, 단열재	< 10 ⁶ fiber/m ³	1	가정, 학교, 사무실
광물 및 합성 섬유	의복, 양탄자, 벽걸이 판	-	-	가정, 학교, 사무실
CO ₂	연소, 인체, 애완동물	3000 mg/kg	≫1	가정, 학교, 사무실
미생물	인체, 애완동물, 쥐, 곤충, 식물, 가습기, 공조기	-	>1	가정, 병원, 학교, 사무실, 공공 시설
O ₃	전기 호광	20 µg/kg	<1	비행기
	자외선 광원	200 µg/kg	>1	사무실

표 8. 실내 주 오염물질의 실외 오염원

오염물질	공장에서 배출되는 비율(%)	교통수단에서 배출되는 비율(%)
벤젠	32	65
일산화탄소(CO)	3	90
납(Pb)	31	60
질산화물(NO _x)	38	49
입자(PM ₁₀)	56	25
아황산가스(SO ₂)	90	2
휘발성 유기화합물(VOCs)	52	34
오존(O ₃)	대기화학반응에 의해 생성	

표 9. 국내 주요 실내 공기질의 규제 기준 및 권고 기준

항 목	지하생활공간 공기질 관리법(환경부)	공중위생관리법 (보건복지부)
미세먼지(PM ₁₀ , µg/m ³)	24시간 평균 200	150
일산화탄소(CO, ppm)	1시간 평균 25	10
이산화탄소(CO ₂ , ppm)	1시간 평균 1000	1000
아황산가스(SO ₂ , ppm)	1시간 평균 0.25	-
이산화질소(NO ₂ , ppm)	1시간 평균 0.15	-
포름알데히드(HCHO)	24시간 평균 0.1	-
납(Pb, µg/m ³)	24시간 평균 3	-
기류속도(m/s)	-	0.5
온도(℃)	-	17~28
습도(%)	-	40~70
조도(lux)	-	100

로 관리하고 있다. 국내 주요 실내 공기질의 규제 기준 및 권고 기준을 비교하여 표 9에 나타냈다.

대기오염이 점차 심각해짐에 따라 공단지역이나 대도시에서는 표 9에 나타낸 기준을 만족시키기 위해서 대기질 관리뿐만 아니라 공조설비를 이용한 환기 및 공기청정기기를 사용하여 부유입자를 처리하고 있다. 앞으로는 일반 건물에서도 입자뿐만 아

니라 가스상 물질도 처리하여야 할 것으로 생각된다. 현재는 주로 사무공간, 공공 건물의 공기질 관리에 초점이 맞추어져 있으나, 최근에는 주거공간에도 공기청정 시스템이 도입되고 있는 추세이다. 특히, 주거공간의 경우 외기가 실내 공기질에 미치는 영향이 클 것이므로, 실내외 공기질의 상관성 자료를 토대로 공기청정 시스템을 설계하여야 할 것

으로 생각된다.

- 참고문헌 -

1. 김병홍 등, 1998, 환경친화적 처리 요소 기술 개발, 한국과학기술연구원, UCE1483, 1512~4-6079-6.
2. 김윤신, 1999, "실내 공기질 연구의 현황과 전망," 한국대기환경학회지, 제15권, 제4호, pp. 371-383.
3. 나광삼, 배귀남, 김용표, 2000, "입주 전 신축 건물의 사무실내 방향족 탄화수소의 농도 특성," 한국대기환경학회지, 제16권, 제5호, pp. 545-552.
4. Godish, T., 1991, Air Quality, 2nd ed, Lewis Publishers.
5. Yocom, J. E., 1982, "Indoor-outdoor Air Quality Relationships : A Critical Review," Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 32, No. 5, pp. 500-520.
6. Jones, A. P., 1999, "Indoor Air Quality and Health," Atmospheric Environment, Vol. 33, pp. 4535-4564.
7. ASHRAE, 1997, Fundamentals (1997 ASHRAE Handbook), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.