

실내공기에 대한 관심은 과거 20년간 선진국에서 진행되어 오고 있으나 국내에서는 아직 미흡한 실정이다. 실내공간에서의 생활 빈도가 증가되고 있는 지금 이에 따른 실내공간에서의 공기오염에 관한 적극적인 연구가 필요하다. 이에 심포지움에서 발표된 "일부 실내공간에서의 환경흡연 연기의 측정 조사에 관한 연구"를 소개한다.

일부 실내공간에서의 환경흡연연기의 측정 조사에 관한 연구

김 윤 신 · 백 성 옥 · Roger Perry
(한양대학교 환경 및 산업의학연구소 · 영남대학교 환경공학과 · 영국 임페리어대학 환경공학과)

1. 서론

최근 실내공간 (주택, 사무실, 공공건물, 학교, 병원, 음식점, 교통수단, 지하환경 등)에서 생활하는 시간이 점차적으로 길어짐에 따라 대형건물의 밀폐화, 노후건물의 공조시설 불량, 건축자재 등으로 발생하는 실내공기오염이 실내 거주자의 건강에 영향을 주는 것으로 시사되고 있다.

선진국에서는 실내공기질 (IAQ)에 관한 연구가 과거 20년간 포괄적으로 진행되어 오고 있으며, 특히 대기오염물질의 건강위해성평가의 방법에는 실내오염물질의 인체영향에 관한 연구가 기본적으로 선행되고 있다. 이에 반하여 국내에서는 일부 가정, 공공이용시설, 사무실등의 실내공간을 대상으로 개별 실내오염물질 (이산화질소, 일산화탄소, 포름알데히드, 미생물성물질, 라돈 등)에 대한 기초적 연구가 진행되어 왔다.

최근 흡연의 유해론이 대두되면서 간접흡연으로 통칭하는 환경흡연연기 (ETS-Environmental Tobacco smoke)가 실내공기질에 미치는 영향에

대한 연구가 국제적 관심사로 되고 있다.

일반적으로 ETS는 주류 흡연연기(main stream smoke - ms)와 비주류흡연연기(side stream smoke - ss)으로 구성되어 있으며 다양한 화학물질을 내포하고 있고 ETS 성분중 니코틴은 대표적인 담배연기의 성분으로서 실내오염원의 중요한 지표로 이용되고 있다. 따라서 선진국에서는 흡연시 발생하는 미세먼지, 각종 가스상 물질, 니코틴 등의 실내 농도조사를 통하여 간접흡연의 영향을 추정하는 연구가 진행되어왔으나 국내에 이같은 연구는 전무한 상태이므로 관련연구의 필요성이 시급하다.

본 연구는 국내의 실내 공기질에 대한 조사의 일환으로 대도시 중 서울특별시와 대구광역시를 선정하여 대표적 실내공간인 일반 가정집, 음식점, 사무실을 대상으로 국내에서 처음으로 니코틴 농도를 조사하는 한편 호흡성 분진, 이산화질소, 일산화탄소, 이산화탄소의 계절별, 실내·외 농도를 비교 조사하여 환경흡연의 실내공기질에의 영향을 추정하고 대상물질의 오염원을 파악하기 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구대상 및 실험방법

1) 연구대상 및 조사기간

본 연구는 서울시와 대구시에 소재한 가정집과 사무실, 식당을 각각 6개소씩 총 36개소를 임의로 선정하였고 측정대상물질은 Nicotine, RSP, CO, CO₂, NO₂의 5가지 항목을 측정하였다.

<표 1>은 조사대상으로 선정된 각 생활공간의 구조물 특성과 조사대상물질에 영향을 줄 것으로 추측되는 요인들인 취사 및 난방연료, 환기방식, 흡연유무등을 나타낸 것이다.

본 연구의 조사기간은 여름기간(1994년 7-8월)과 겨울기간(1994년 12월-1995년 1월)에 걸쳐 각 물질의 농도를 실내와 실외 및 오전과 오후로 구분하여 동시에 측정하였다. 시간대별 측정시간은 사무실은 오전(10 : 00-12 : 00)과 오후(14 : 00-16 : 00), 가정집은 오전(10 : 00-12 : 00)

과 저녁식사시간(18 : 00-20 : 00), 대중음식점은 점심시간(12 : 00-14 : 00)과 저녁시간(18 : 00-20 : 00)에 각각 측정을 실시하였다.

실내시료의 포집은 공기의 이동과 오염배출원의 위치, 환기효과 등을 고려하여 실내의 농도를 대표할 수 있도록 각 실내환경의 중앙부분을 기준으로 하여 포집하였다. 따라서 가정집은 거실에서 사무실과 음식점은 중앙지점에서 측정을 실시하였다. 실외오염물질이 실내에 미치는 영향을 조사하기 위해 실내측정과 동일한 시간 동안에 동일한 측정방법으로 실내측정지점에서 3m이내의 외부지점을 선정하여 실외시료를 포집하였다. 따라서 실내 및 실외용의 시료 포집용 측정기구가 각각 동시에 이용되었다. 또한 실내환경의 규모, 사용연료의 종류, 환기의 형태, 위치적 특성을 추가로 조사하였으며 실내공기중 흡연의 영향도 파악하기 위하여 흡연지점과 비흡연지점도 나누어 조사하여 분석후 결과 해석에 대한 보조자료로 이용하였다.

<표 1> General characteristics of homes, restaurants, and offices selected.

Site	Address(Dong)	Area(m ²)	Cooking(fuel)	Heating(fuel)	Ventilation	Smoking
Home						
#1	Sukwan	99	LPG	Kerosene	Natural	Yes
2	Kabong	83	LPG	Kerosene	Natural	Yes
3	Hangdang	33	LPG	Briquet	Natural	No
4	Hangdang	43	LPG	Briquet	Natural	Yes
5	Hangdang	43	LPG	Briquet	Natural	Yes
6	Sadang	106	LPG	Town Gas	Natural	Yes
7	Namsan	100	LPG	Kerosene	Natural	No
8	Woulsung	150	LPG	Briquet	Natural	Yes
9	Daemueng	130	LPG	Kerosene	Natural	No
10	Susung	100	LPG	Kerosene	Natural	No
11	Wondae	90	LPG	Kerosene	Natural	Yes
12	Woulsung	109	LNG	Town Gas	Natural	Yes
Office						
#1	Chungryang	46	NA	Central	Mixed	Yes
2	Taebang	40	NA	Kerosene	Natural	No
3	Abkujung	61	NA	Kerosene	Natural	Yes
4	Kangnam	61	NA	Central	Mixed	No
5	Kangnam	30	NA	Central	Mixed	No
6	Chongdam	50	NA	Central	Mixed	Yes
7	Gongpyung	380	NA	Central	Mixed	No
8	Sungdang	140	NA	Kerosene	Mixed	No
9	Dongin	190	NA	Central	Mixed	No
10	Chimsan	490	NA	Central	Mixed	No
11	Pyungli	270	NA	Kerosene	Mixed	Yes
12	Kisan	250	NA	Central	Mixed	No



기획특집 2.

Restaurant						
#1 Hangdang	165	LPG, Butan, Charcoal	Korosene	Mixed	Yes	
2 Hangdang	215	LPG, Butan, Charcoal	Korosene	Mixed	Yes	
3 Hangdang	99	LPG, Butan, Charcoal	Korosene	Mixed	Yes	
4 Hangdang	83	LPG	Korosene	Natural	Yes	
5 Hangdang	99	LPG, Butan, Charcoal	Korosene	Mixed	Yes	
6 Hangdang	30	LPG	Korosene	Natural	Yes	
7 Kuyo	90	LPG, Butan, Charcoal	Korosene	Mixed	Yes	
8 Jung	490	LPG	Kerosene	Mixed	Yes	
9 Sungdang	190	LPG	Korosene	Force	Yes	
10 Jung	150	LPG	Kerosene	Mixe	Yes	
11 Susung	160	LPG	Kerosene	Mixe	Yes	
12 Sungdang	210	Chacoal, Butan	Kerosene	Mixed	Yes	

Note : Number of 1-6 : Seoul site
 Number of 7-12 : Taegu site
 NA : Not Availble

2) 시료채취 및 분석방법

측정 대상물질인 5가지 항목에 대한 시료포집 및 분석방법은 <표 2>와 같다.

정대상공간에서의 각 성분별 평균실내농도를 살펴 보면 니코틴 2.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO5.1 ppm, CO₂ 937.5 ppm, NO₂ 37.7 ppb로 조사되었으며, 평균 실외농도의 경우 니코틴 0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 2.2ppm, CO₂ 556.3ppm, NO₂ 34.8ppb로 각각 조사되었다.

<표 2> Analytic method and instrumentation

Parameter	Sampling method	Analytical Method/Instrumentation
Nicotine	XAD-4 tube(Casella Pump)	Solvent Extraction/Gas Chromatograph (NP Detector-Hewlett Packard 5890II) Capillary columne (DB5 megabore, 0.53mm \times 30m 1.5 μm thickness)
RSP	Teflon filter	Gravimetric measurement/Electronic Microbalance: Sartorius, M3P
CO	Handy sampler(Air bag)	NDIR(Non-Dispersive Infrared:Environment S.A., France)/CO11M
CO2	Handy sampler(Air bag)	GC/Gas Chromatography-Autosystem: Perkin Elmer Co., USA; Column(6' \times 1/8", Stainless steel column with Chromosorb 102, 60/80 mesh)
NO2	Passive filter badge(Toyo Roshi Kaisha Inc., Japan)	UV Spectr

측정오염물질의 농도분석 결과의 정도관리를 위하여 시료의 일부를 타 연구소에 보내어 cross-check한 결과 거의 일치한 농도치를 최종자료로 이용하였다. 각 오염물질의 농도자료는 SPSS/PC+ 프로그램을 이용하여 통계처리하였다.

실내/실외의 농도비를 비교해 보면 니코틴 약 9.3배, RSP 약 1.6배, CO는 2.3배, CO₂ 1.7 배, NO₂ 약 1.1배로 각각 높은 것으로 나타나 전반적으로 조사대상 물질의 실내농도가 실외농도 보다 다소 높은 농도를 나타냈다.

3. 연구결과

1) 계절별 실내 .외 농도

실내의 공기 중에서 측정된 각 물질의 실내.외 농도를 계절별로 보면 <표 3>과 같다. 먼저 전체 측

측정 항목별 계절 농도를 살펴보면, 여름철/겨울철의 실내농도는 니코틴의 경우 2.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ /374 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, RSP는 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO는 2.0 ppm/8.3 ppm, CO₂는 743.9ppm/ 1131.2 ppm, NO₂는 34.2ppb /41.2ppb 로 각각 나타났다. 이는 실내에서 거주하는 시간이 많고 상대적으로 환기가 원활하지 못한 동절기의 측정대상 오염물질의 농도가 하절

기획특집 2.

〈표 3〉 Seasonal average concentrations of Nicotine, RSP, CO, CO₂ and NO₂ in indoor and outdoor airs

Pollutant	Season	N	Concentration		I/O Ratio	
			indoor Mean±S.D	outdoor N Mean±S.D		
Nicotin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Summer	72	2.23±3.85	72	0.35±0.26	6.4
	Winter	72	3.74±4.71	72	0.29±0.21	42.9
	Total	144	2.98±4.35	144	0.32±0.23	9.3
RSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Summer	72	95±74	72	56±36	1.7
	Winter	72	151±86	72	98±50	1.5
	Total	144	123±84	144	77±49	1.6
CO(ppm)	Summer	72	2.0±1.1	72	1.2±0.2	1.7
	Winter	72	8.3±3.1	72	3.3±0.1	2.5
	Total	144	5.1±4.5	144	2.2±1.5	2.3
CO ₂ (ppm)	Summer	72	743.9±202.4	72	572.9±203.4	1.3
	Winter	72	1131.2±43.6	72	539.7±49.0	2.1
	Total	144	937.5±273.9	144	556.3±23.	5 1.7
NO ₂ (ppb)	Summer	24	34.2±20.9	24	38.9±16.1	0.9
	Winter	24	41.2±20.6	24	30.6±11.4	1.3

기에 비해 1.2배에서 1.7배 가량 높게 나타나 겨울철 실내 공간에서 거주시간이 길수록 건강에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

또한 실내공간별 실내의 농도를 비교하면 〈그림 1-3〉과 같다. 〈그림 1-3〉에서 보는 바와 같이 계절에 상관없이 음식점의 각 물질의 평균농도가 가장 높게 나타났다. 겨울철에 니코틴, RSP, CO, CO₂의 실내농도는 음식점 > 사무실 > 주택의 순으로 나타났으나, NO₂ 실내농도는 음식점>주택>사무실의 순으로 나타났다.

전체 조사대상 장소에서의 실내 니코틴 농도는 NIOSH의 작업환경 허용기준치인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 미달하는 수준을 나타내 비교적 저농도의 분포를 보이고 있는 반면에, 1995년 시행 환경부 대기 및 실내기준치(MP10-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; CO-9ppm(8시간); CO₂-1000ppm(실내); NO₂-50ppb(년간))에 비해 기준치 초과율이 RSP는 26%, CO는 7%, CO₂는 25%, NO₂는 14%를 각각 초과한 것으로 조사되었다.

〈그림 1〉 Indoor and outdoor concentration of nicotin and RSP in selected homes, office, and restaurants (뒷면참조)

〈그림 2〉 Indoor and outdoor concentration of CO and CO₂ (뒷면참조)

〈그림 3〉 Indoor and outdoor concentrations of NO₂ (뒷면참조)

2) 흡연유.무별 실내 농도조사

〈표 4〉에 나타난 바와 같이 흡연자가 있는 장소에서의 각 성분별 농도를 살펴보면 니코틴 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 122 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 5.2ppm, CO₂ 1005.1ppm, NO₂ 391ppb로 조사되었다. 이에 비해 흡연자가 없는 장소에서는 니코틴 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 2.4ppm, CO₂ 780.1ppm, NO₂ 25.2ppb로 조사되었으며, 흡연자가 있는 장소가 흡연자가 없는 측정장소에 비해 니코틴 7.7배, RSP 1.2배, CO 2.2배, CO₂ 1.3배, NO₂ 1.6배 높은 것으로 나타나 흡연에 따른 실내 오염물질에 대한 영향은 니코틴이 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 조사되었다.

〈표 4〉 Mean concentrations of indoor pollutants by presence of smoker

Pollutant	No. of sample	Smdking	Non-smoke	P
Nicotine($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	144	3.7	0.5	0.000
RSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	144	122	100	0.011
CO (ppm)	144	5.2	2.4	0.000
CO ₂ (ppm)	144	1005.1	780.1	0.000
NO ₂ (ppb)	72	39.1	25.2	0.000

Type of Fuel	Rsp		Nicotine		CO		CO ₂		CO ₂	
	N	Mean	N	Mean	N	Mean	N	Mean	N	Mean
Cooking fuel										
None	72	95	72	2.6	72	2.4	72	952.2	24	22.1
LPG	144	120	144	2.9	144	3.3	144	1007.5	36	40.8
Mixed	48	224	48	4.6	48	17.5	48	1110.3	12	60.5
Heating fuel										
Central	20	100	20	2.7	20	3.4	20	864.8	10	21.9
Briquet	8	109	8	2.0	8	3.2	8	722.9	4	30.8
Kerosene*	44	176.9	44	3.8	44	8.7	44	1393.5	22	51.9
*extra fuel										

3) 사용 연료별 실내 농도조사

취사 및 난방연료별로 각각의 실내농도는 <표 5>와 같다. 취사연료 형태에 따른 조사대상항목의 각각의 농도를 보면 취사연료를 사용하지 않는 장소의 실내농도는 각각 니코틴 2.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 2.4ppm, CO₂ 962.2ppm, NO₂ 22.1ppb로 나타났다. 또한 LPG가스를 주방연료로 사용하는 장소에서의 실내농도는 니코틴 2.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 3.3 ppm, CO₂ 1007.5 ppm, NO₂ 40.8ppb로 조사되었으며, 주방연료를 LPG가스와 다른 연료를 동시에 사용하는 장소에서의 실내농도는 니코틴 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 224 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 17.5ppm, CO₂ 1110.3ppm, NO₂ 60.5ppb로 나타났다. 한편 난방연료의 형태에 따른 조사대상 항목의 농도는 중앙난방의 형태의 경우 실내농도는 각각 니코틴 2.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 34ppm, CO₂ 8648ppm, NO₂ 21.9ppb로 나타났고, 연탄을 난방연료로 사용하는 장소의 경우 니코틴 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 3.2ppm, CO₂ 722.9ppm, NO₂ 30.8ppb로 조사되었으며, 석유를 보조난방연료로 사용하는 장소의 경우 니코틴 3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 8.7ppm, CO₂ 1393.7ppm, NO₂ 519ppb로 나타났다. 따라서 취사연료의 형태에 따라 측정항목 각각의 농도는 취사연료를 사용하는 장소가 비취사장소 보다 높게 나타났으며, 사용연료 중에서는 혼합연료 >LPG의 순으로 농도가 높게 나타났다. 또한 난방연료의 형태에 따른 각각의 농도는 석유 >연탄의 순으로 농도가 높게 조사되었다. 결과적으로 조사대상물질의 농도는 취사 및 난방연료에 영향을 받는다는 것을 시사하고 있다.

<표 5> Mean concentration of indoor pollutants by type of cooking fuel and heating fuel

4. 측정결과

본연구는 1994년 8월부터 1995년 1월까지 하절기(1994년 8월 - 9월) 및 동절기(1994년 12월 - 1995년 1월) 동안에 서울 및 대구시에 소재하는 가정집, 사무용 건물, 대중음식점의 각각 12개씩 총 36장소를 대상으로 니코틴, RSP, CO, CO₂, NO₂를 측정 한 결과는 다음과 같다.

1. 각 측정항목에 대한 조사대상 지점의 평균 실내농도는 니코틴 2.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, RSP 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO
2. 계절별로 실내 농도를 보면 실내에서 거주하는 시간이 많고 상대적으로 환기가 원활하지 못한 겨울철의 오염물질의 농도가 여름철에 비해 1.2 - 1.9배 이상 높게 나타나 실내공간에서의 거주시간이 길수록 건강에 영향을 미칠 것으로 시사하고 있다.
3. 장소별 특성에 따른 조사대상물질의 실내농도는 대중음식점이 사무실과 주택보다 비교적 높은 농도로 나타나 장소 특이성에 따른 조사 대상물질의 오염도가 상이하게 높음을 보이고 있다. 흡연 및 비흡연장소별 실내농도를 보면 흡연이 니코틴 농도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으나 RSP, NO₂의 농도는 흡연 지점의 평균 농도

가 각각 $122\mu\text{g}/\text{m}^3$, 39.1ppb 인데 반하여 비흡연 지점에서는 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, 25.2ppb 로 나타나 양자간에 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 또한 대중음식점의 경우 각 항목 모두가 일반주택 및 사무실에 비해 농도가 높게 나타나 흡연 및 취사난방을 포함하는 각종 연소원의 존재유무가 실내공기오염물질의 농도에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 실내농도는 취사연료와 사용형태와 난방연료의 사용형태에 따라 영향을 받는 것으로 시사되었다.

이상의 연구 결과 환경흡연연기의 대표적인 성분인 니코틴은 비흡연지역에 비하여 흡연지점에서 높게 검출되어 실내공기중 니코틴농도는 주발생원은 흡연이 확실하나, 실내공기질은 흡연 이외에도 각종 다양한 오염발생원의 영향을 복합적으로 받고 있음을 시사하고 있다. 따라서 실내공기질은 실내공간에서 거주자의 흡연습관, 취사 및 난방연료 사용여부, 환기의 상태 등의 각종 생활양식에 따라 다양하게 변화됨을 설명하고 있다.

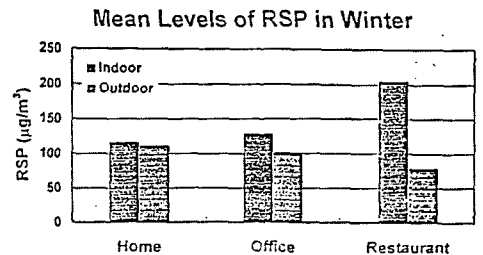
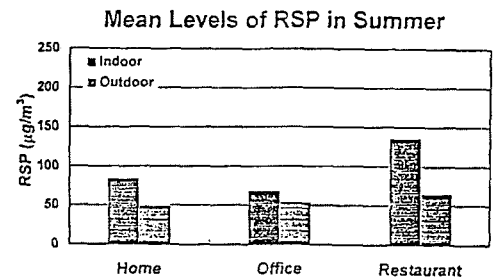
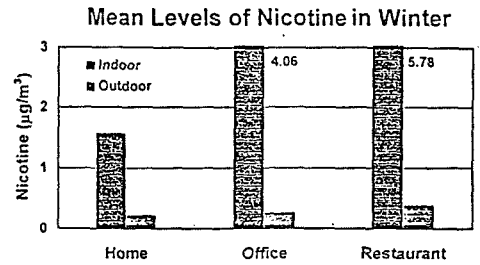
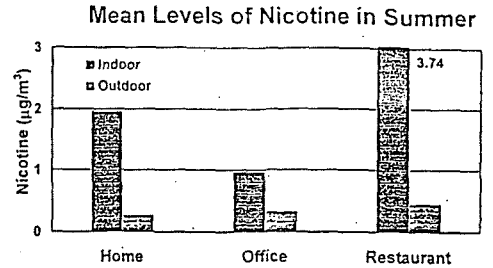


Figure 1. Indoor and outdoor concentrations of nicotine and RSP in selected homes, offices, and restaurants.

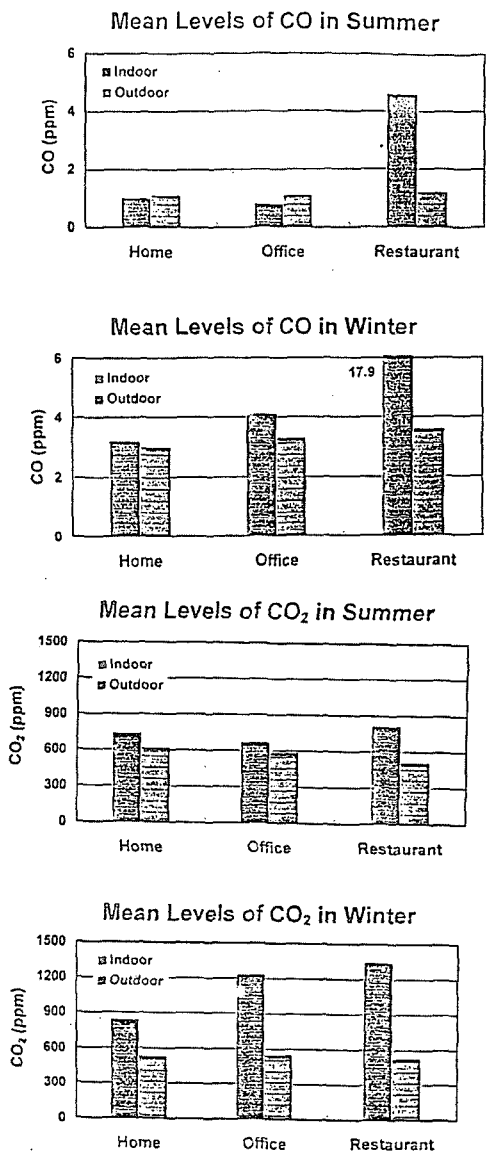


Figure 2. Indoor and outdoor concentrations of CO and CO₂

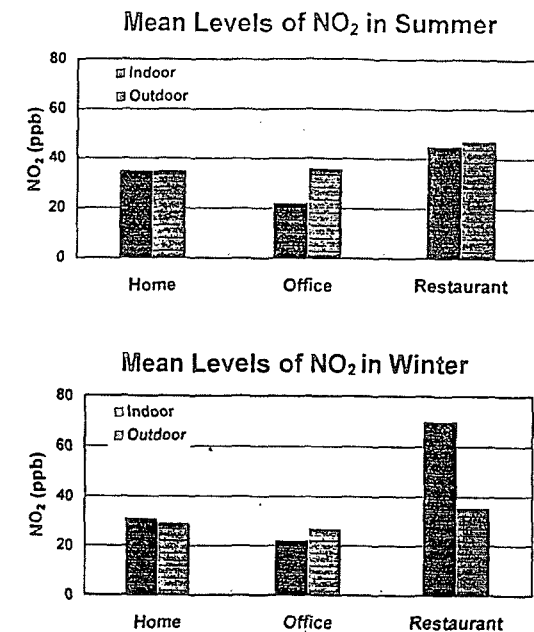


Figure 3. Indoor and outdoor concentrations of NO₂