

다세대주택 지하세대의 실내공기환경 측정에 관한 연구

(A Study on the Measurement of Indoor Air Quality of Multi-Family Underground Residential Housing)

박진철*(경민대학 건축설비과 조교수, 공학박사)
Park, Jin-Chul*(Assitant Professor, Kyung-Min College, Ph.D),

방징현**(중앙대학교 건축공학과 대학원)
Bang, Jeong-Hyun(Graduate School, Chung-Ang University)

이언구*** (중앙대학교 건축학과 교수, 건축학박사),
Rhec, Eon-Ku*** (Professor, Dept. of Arch., Chung-Ang University, D. Arch.)

Key Word: IAQ(Indoor Air Quality), Multi-Family Underground Residential Housing, Air pollutants,

Abstract

This study aims to present the fundamental strategies for improving IAQ in Multi-Family Underground Residential Housing. The results of the study can be summarized as follows. According to the field measurement of 5 multi-family houses, the concentration of CO₂(average 2409.8ppm, maximum 4922ppm) was higher than the IAQ standard(1000ppm); Radon gas concentration was detected maximum 5.32 pCi/L(average 2.36 pCi/L), varying with local geological characteristics of the area; Average concentration of HCHO was detected 80.5 ppb and the maximum 168.8 ppb; and the TSP was 140.4μg/m³ in average concentration.

The result indicates appropriate strategies in multi-family underground residential housing to reduce the level of indoor air pollution is essential.

Nomenclature

- HCHO : Formaldehyde
- VOCs : Volatile Organic Compounds
- NO₂ : Nitrogen dioxide
- CO : Carbon Monoxide
- CO₂ : Carbon Dioxide
- TSP : Total Suspended Particles
- ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- WHO : World Health Organization
- EPA : Environmental Protection Agency
- NAAQS : National Ambient Air Quality Standards

1. 서론

1.1 연구목적(필요성)

최근 건물의 실내공기환경(IAQ)은 그동안 에너지 절약 및 단열강화 등에 따라 환기부족 현상이 생겨 날로 악화되고 있으며, 특히 밀폐된 건물내에서 각종 건축재료 등으로부터 발생되는 오염물질은 재실자들의 건강을 위협하고 있는 실정이다. 또한, 최근 토지의 효율적 활용방안의 대책으로 다양한 지하공간의 사용은 점차 증가되고 있는 추세이지만, 지하공간은 구조적 특성상 충분한 환기확보가 어려워 실내공기환경문제는 더욱 심각한 상황이다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 하나의 독특한 주택형태로 정착하고 있으며, 분양이 가능하여

각각 독립된 주거생활이 가능한 다세대주택을 대상으로 실내공기환경 실태를 파악함으로써 실내공기환경을 개선시킬 수 있는 기초적자료를 제시하고, 나아가 건강하고 깨끗한 주거환경을 실현하는데 목적이 있다.

1.2 연구내용 및 범위

본 연구에서 수행된 연구의 내용 및 범위는 다음과 같다.

1) 다세대주택 지하세대의 실내공기환경 특성 고찰

자료를 통하여 지하공간에서의 환경적 특성을 고찰하고, 특히 지하공간에서 발생될 수 있는 실내공기환경 오염물질의 종류, 발생원, 인체에 미치는 영향 및 기준치 등을 고찰하였다.

2) 다세대주택 지하세대의 실내공기환경 실측

서울 및 경기도지역을 대상으로 다세대주택 지하세대의 실내공기환경 실태를 측정하였다. 이 때, 측정인자로는 토양에서 발생되는 라돈가스외에도 포름알데히드, CO₂, CO, 분진 등의 공기환경요소와 온도, 습도, 기류 등의 온열환경요소로 하였다.

3) 결론 도출

앞에서 실시한 이론 조사, 현장 실측 등의 연구 결과를 분석함으로써 다세대주택 지하세대에서의 실내공기환경을 건강하고 쾌적하게 유지시킬 수 있는 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. 다세대주택 지하세대의 실내공기환경 특성 및 기준치 고찰

2.1 다세대주택 지하세대의 실내공기환경 특성

최근 도시의 밀집화에 따라 토지의 고도활용이란 관점하에 지하공간에 대한 개발이 크게 증가하고 있다. 또한, 주거건축물에서도 주택난 해소와 토지이용을 제고에 따라 다세대주택이 점차 증가되고 있는데, 대부분의 국내 다세대주택은 지하세대를 포함하고 있다. 지하공간은 심리적 안정감과 온열감에서는 유리한 장점을 질수도 있지만, 지상공간에 비해 환기, 채광, 습도 등 환경적인 측면에서 많은 문제점을 나타내고 있다.

특히, 2면 이상이 지중과 접하는 지하세대는 충분한 창면적을 확보하지 못함으로써 환기량이 지상주거에 비해 절대부족한 상황이다.

따라서, 지하공간에서의 실내공기는 인체활동 및 건물재료로부터 발생하는 오염물질의 회색이 어려울 뿐만 아니라, 그나마 한정된 개구부는 지면에 접하고 있어 분진 등의 외부오염원이 쉽게

침투할 수 있다. 또한 지하세대에서의 습기량 증가는 오염물질의 발생을 한층 증가시킬 수 있고, 특히, 토양에서 발생되는 라돈가스에 노출되기 쉬우므로 지하세대 재실자들의 건강을 위협하고 있다. 아래의 Table 2.1은 지하세대에서 발생될 수 있는 주요 공기오염물질과 그 원인 및 인체영향을 정리한 것이다.

Table 2.1 Source and Health Effect of Pollutant

Pollutant	Sources	Health Effects
Radon	soil and rock, building materials, natural gas that is used for cooking and heating purposes	lung cancer
HCHO	construction materials, insulation, fiberglass products, carpeting, flooring, Smoking, combustion sources	eye irritation, nose and sinus irritation, cough, difficulty in breathing, chest pain, wheezing
TSP	gas cooking, kerosene heaters, tobacco smoking	silicosis, respiratory trouble, lung disease
VOCs	Latex caulk, varnishes, solvents, particleboard, paint, carpet, wallpaper, vinyl floor covering	Carcinogen, respiratory tract irritant, Narcotic, irritant, liver, kidney
Nitrogen dioxide (NO ₂)	gas combustion(wood and coal stoves), space heaters	respiratory illness and symptoms
Carbon Monoxide(CO)	gas range, cigarettes, heaters, combustion gas,	decided headache, irritable, easily fatigued, judgment disturbed, possible dizziness, dimness of vision
Carbon Dioxide(CO ₂)	kerosene heaters, gas stoves and ovens, tobacco smoking	2000~5000 ppm (0.2~0.5%) cause moderate headache

2.2 지하공간의 공기환경기준

실내공기환경의 질(IAQ)은 최근 전 세계적으로 관심이 되고 있는 환경오염의 문제와 결부되어 가장 중요한 고려대상이 되고 있다. 그러나 아직까지 IAQ에 대한 기준이 체계적으로 설정된 경우는 많지 않고, 특히 지하공간의 실내공기환경 기준은 별도로 설정되어 있지 않은 실정이다.

가) 국내기준

공기환경과 관련된 국내법의 규정은 크게 대기환경보전법, 산업안전보건법 및 건축법에서 다루고 있으나, 아직까지는 지하공간의 환경설계를 위한 기술적인 축적이 미흡하고, 실내공간을 단지 작업공간이라는 획일적인 상태로서 오염 그 자체에만 국한 시키고 있는 실정이다. 다행히 최근 환경부에서는 지하생활공간 공기질관리법을 제정(1997년 12월 30일)하여 지하생활공간에서의 공기질에 대한 체계적이고 효율적인 관리를 도모하고 있다 (Table 2.2 참조). 그러나 이 법의 적용 대상은 주로 지하역사나 상가 등 업무시설이나

상업시설 등을 대상으로 하고 있기 때문에 다세대주택의 지하세대는 해당되지 않는다.

Table 2.2 Domestic Standards of IAQ in Underground¹⁾

Pollutant		Standards
Radon		4 pCi/L
HCHO		100 ppb/h
TSP	TSP	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
	PM ₁₀	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
NO ₂		0.12 ppm/h
CO		10 ppm/h
CO ₂		1000 ppm.h

나) 외국기준

최근 선진각국은 이미 지하공간에 대한 엄격한 규제방법과 개선방안이 마련되어 실내환경을 단순작업공간의 개념에서 벗어나 여러 조건들을 고려한 쾌적공간으로 유지하려는 법적규제 조치가 강화되어 가고 있는 추세이며, 이미 라돈 및 포름알데히드 등의 오염물질은 다양한 조건에 따른 허용기준 및 지침서 등이 제안되어 사용되고 있다(Table 2.3 참조).

Table 2.3 Foreign Standards related to IAQ

Pollutant		Standards
Radon	WHO	2.7 pCi/L(annual average)
	ASHRAE	1.0 pCi/L
	EPA	4.0 pCi/L
HCHO	ASHRAE	0.1 ppm/h
	WHO	0.1 ppm/h
TSP	JAPAN	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$
	EPA	75 μg (annual average)
	WHO	120 μg (8-hour average)
	NAAQS	260 μg (24-hour average)
NO ₂	EPA	0.05 ppm(annual average)
	WHO	0.15 ppm(24-hour average) 0.4 ppm/h
CO	JAPAN	10 ppm/h
	ASHRAE	10 ppm/h
	EPA	9 ppm/h
	NAAQS	10 ppm/h
	WHO	10 ppm/h
CO ₂	JAPAN	1000 ppm/h
	ASHRAE	1800 ppm/h
	WHO	920 ppm/h

3. 다세대주택 지하세대의 실내공기환경 실측

3.1 측정개요

1) 지하생활공간 공기질관리법 시행규칙(안) 제 3조관련

본 연구는 다세대 주택의 지하세대를 대상으로 실내공기환경 실태를 파악한 것으로 그 세부적 내용은 다음과 같다. 즉, 1998년 3월과 4월의 봄철에 서울과 경기도 의정부지역의 다세대주택 5곳을 선정하여 측정하였으며, 이 때, 각 세대의 환기상태, 가스레인지 작동시간 및 흡연 상태 등은 Table 3.1과 같고, 사용된 측정기기 및 측정요소는 Table 3.2와 같다.

Table 3.1 Overview of measurement

	Number of Samples				
	House 1	House 2	House 3	House 4	House 5
Location	Seoul P.N	Seoul H.S	Seoul H.S	Kyungki Euijongbu KN	Kyungki Euijongbu KN
Date	1998. 3.15-16	1998. 3.21-22	1998. 3.29-30	1998. 4.8-9	1998. 4.10-11
Area (pyung)	16 pyung	20 pyung	26 pyung	25 pyung	16 pyung
Period of Occupation	10 years	20 years	7 years	5 years	20 years
Members of Family	2	2	2	4	2
Smokers Number	0	1	1	2	1
Gas range operation time	1.5hours / day	0.5hours / day	0.5hours / day	2hours / day	0.5hours / day
Ventilation Condition	neutral	bad	good	bad	bad

Table 3.2 IAQ factors, Measuring equipment & method

IAQ factors	Measuring equipment & method
Radon Gas	Radon Detector & Analysis System (Thomson & Nielsen Electronics LTD.); 8hours suction → concentration analysis
HCHO	Passive Bubbler Monitor(SKC INC.) 10ml vial·sorbing solution·Knudsen disk (stand 2-3hours) → concentration analysis with colometry
TSP	DustTrak Aerosol Monitor(TSI 8520) range:0.001-100mg/m ³
CO/CO ₂	GASTEC(CMCD-10p) range: CO 0-50ppm, CO ₂ 0-10000ppm
Temp./ Humidity/ Velocity	VelociCalc(TSI8355/8357) range: temp.(-10°C)-(+60°C), humidity 0-95%, velocity 0.15-50m/s

3.2 측정결과

1) 라돈가스(Radon Gas)

주로 토양에서 방출되어 인체 흡입시 폐암을 유발하는 라돈가스는 측정지역에 따라 큰 차이를 보이고 있었으나(최소 0.72pCi/L, 최고 5.32pCi/L), 평균 2.36 pCi/L의 농도분포를 나타내고 있었다. 그러나, 환기상태가 불량하고 구릉지 암반위에 위치한 경기 의정부지역의 House 4는 최고 5.32pCi/L의 농도로 기준치를 초과하는 높은 값을 보이고 있었다(Table 3.3, Fig 3.1 참조).

Table 3.3 Average Value of Radon Gas Concentration

		Radon Gas (unit: pCi/L)
House 1 Seoul P.N	indoor	2.34
	outdoor	0.36
House 2 Seoul H.S	indoor	1.16
	outdoor	0.24
House 3 Seoul H.S	indoor	0.72
	outdoor	0.20
House 4 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	5.32
	outdoor	0.87
House 5 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	2.24
	outdoor	0.28
Average	indoor	2.36
	outdoor	0.39

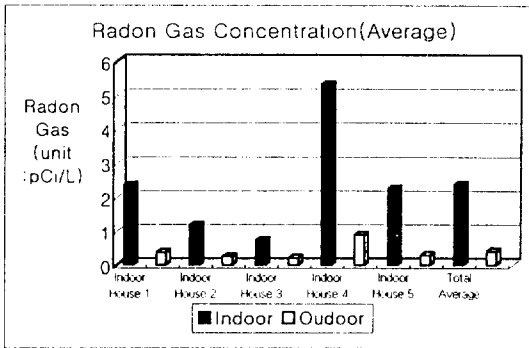


Fig.3.1 Measured Radon Gas Concentration

2) 포름알데히드(HCHO)

단열재, 건축자재 및 접착제 등 건축물과 관련된 질환경을 나타내는 화학물질인 포름알데히드의 경우 평균 80.5ppb의 농도분포로서 기준치(100ppb)를 초과하고 있지는 않았지만, 비교적 건물 사용년수가 짧고 환기상태가 불량한 House4에서 최고 221ppb(평균 168.8ppb)로 기준치를 훨씬 초과하는 높은 농도분포값을 나타내고 있었다 (Table 3.4, Fig 3.2 참조).

Table 3.4 Average Value of HCHO Concentration

		HCHO(unit:ppb)	
			average
House 1 Seoul P.N	indoor	53.3(room)/ 70.6(kitchen)	62.0
	outdoor	5.7	5.7
House 2 Seoul H.S	indoor	21.3(room)/ 54(kitchen)	37.7
	outdoor	0.0	0.0
House 3 Seoul H.S	indoor	78.6(room)/ 31.4(kitchen)	55.0
	outdoor	31.6	31.6
House 4 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	221(room)/ 116.5(kitchen)	168.8
	outdoor	28.0	28.0
House 5 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	94(room)/ 63.8(kitchen)	78.9
	outdoor	30.2	30.2
Average	indoor	80.5	
	outdoor	19.1	

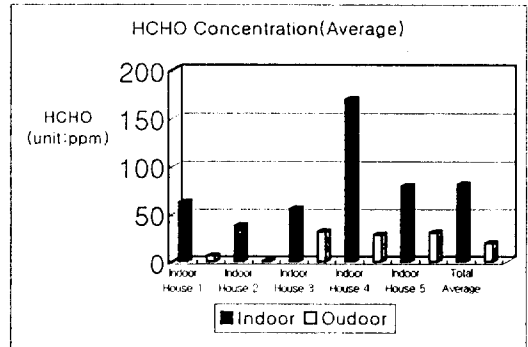


Fig 3.2 Measured HCHO Concentration

3) 부유분진(TSP, Total Suspended Particles)

Table 3.5 Average Value of TSP Concentration

		TSP Concentration (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
House 1 Seoul P.N	indoor	64
	outdoor	16
House 2 Seoul H.S	indoor	114.4
	outdoor	15.5
House 3 Seoul H.S	indoor	85
	outdoor	52
House 4 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	266.7
	outdoor	39
House 5 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	172
	outdoor	18
Average	indoor	140.4
	outdoor	28.1

분진은 외기에서도 유입될 수 있으나, 주로 담배재, 연소 및 바닥먼지 등에서 발생되고 있다. 측정된 다세대주택 지하공간의 부유분진 농도는 평균 140.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도로 기준치(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 거의 육박하는 분포를 보이고 있었다. 그러나, 환기 상태가 불량한 곳과 특히, 흡연량이 비교적 많은 House4와 House5에서는 기준치를 초과하는 높은 농도분포를 나타내고 있음을 알 수 있었다(Table 3.5, Fig. 3.3 참조).

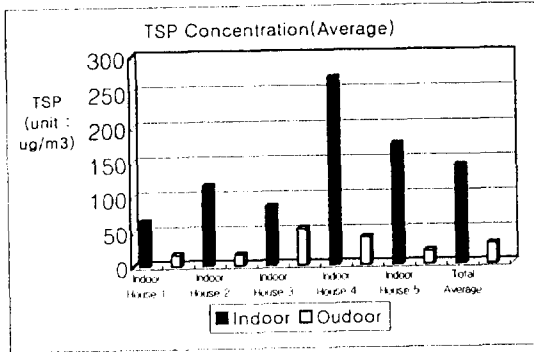


Fig. 3.3 Measured TSP Concentration

4) CO 및 CO₂

CO 및 CO₂의 오염농도 측정결과, 먼저 CO는 평균 2.5ppm로 기준치(10ppm)에 미치지 못하는 낮은 농도를 보이고 있었다.

그러나, 주로 실내에서 연소가스와 재실자의 호흡에 의해 발생하는 CO₂의 오염농도는 평균 2409.8ppm의 분포로서 측정시 외기 평균농도인 383ppm 보다 약 6.3배 정도 높게 검출되었고, 이 값은 기준치(1000ppm)를 훨씬 초과하고 있었다. 특히 취사시 연소기구인 가스레인지의 작동에 따라서는 최고 4922ppm까지의 매우 높은 값으로 검출됨으로써 구조적으로 환기가 취약한 지하세대에서의 그 대책이 요구되는 것으로 판단 되었다(Table 3.6, Fig. 3.4 참조).

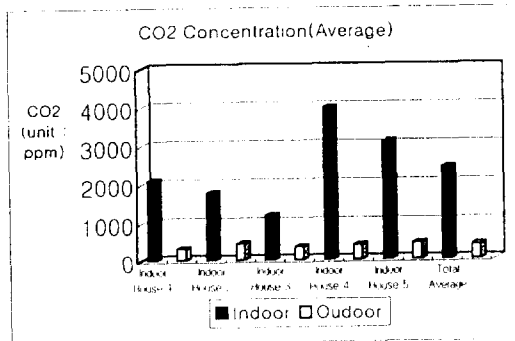


Fig. 3.4 Measured CO₂ Concentration

Table 3.6 Average Value of CO, CO₂ Concentration

			CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
House 1 Seoul P.N	indoor	gas range off	0.4	1430
		gas range on	3.7	2754.6
		average	2.1	2092.3
outdoor			0	307.2
House 2 Seoul H.S	indoor	gas range off	0.8	1530.5
		gas range on	2.6	1992
		average	1.7	1761.3
outdoor			0	436.4
House 3 Seoul H.S	indoor	gas range off	0.9	993
		gas range on	1.4	1341
		average	1.2	1167
outdoor			0.74	346
House 4 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	gas range off	1.72	2990
		gas range on	8.5	4922
		average	5.1	3956
outdoor			1.37	393
House 5 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	gas range off	1.95	1804.7
		gas range on	2.4	4340
		average	2.2	3072
outdoor			0.34	432.4
Average	indoor	gas range off	1.2	1749.6
		gas range on	3.7	3070
		average	2.5	2409.8
	outdoor	0.5	383	

5) 온도, 습도 및 기류

Table 3.7 Average Value of Temperature, Humidity & Velocity

		Temperature (°C)	Humidity (%)	Velocity (m/s)
House 1 Seoul P.N	indoor	22.7	32.7	0.01
	outdoor	7.3	37.9	0.29
House 2 Seoul H.S	indoor	14.7	35.2	0.02
	outdoor	6.3	35.8	0.14
House 3 Seoul H.S	indoor	20.5	52.3	0.01
	outdoor	17.5	49	0.61
House 4 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	22.7	64.9	0.02
	outdoor	14.5	69.4	0.05
House 5 Kyungki Euijongbu K.N	indoor	18.2	70.5	0.01
	outdoor	17.5	52.2	0.37
Average	indoor	20.4	51.1	0.014
	outdoor	12.6	48.9	0.3

측정기간이 3월과 4월의 봄철에 실시된 관계로 외부의 온도가 평균 12.6°C 일 때, 실내는 약 20.4°C의 분포를 보이고 있었으며, 습도는 실외가

48.9%, 실내가 약 51.1% 정도를 유지하고 있었다. 한편, 바람의 정도는 외부의 기류속도가 약 0.3m/s일 때 지하세대인 실내에서는 거의 공기의 유동이 없는 상태를 유지하고 있음을 알 수 있었다(Table 3.7, Fig 3.5 참조).

4. 결론

본 연구는 서울과 경기 지역의 다세대주택 중 특히 지하세대를 중심으로 실내공기환경 실태를 측정조사한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 라돈가스는 평균 2.36 pCi/L의 농도분포를 나타내고 있었지만, 특히 환기상태가 불량하고 구릉지 암반위에 위치한 경기 의정부지역 (House 4)에서는 최고 5.32pCi/L의 농도로 기준치(ASHRAE 1pCi/L, EPA 4pCi/L)를 초과하는 높은 값을 보이고 있었다. 따라서, 토양에서 발생하는 라돈가스의 유입이 많은 저층 지하세대에서는 라돈가스가 인체에 유해한 점을 고려하여 그에 대한 적절한 대책을 강구해야 할 것이다.

둘째, 건축물과 관련된 질환을 나타내는 포름알데히드는 평균 80.5 ppb의 농도분포를 보였지만, 건물사용년수가 짧고 환기상태가 불량한 세대에서 최고 221ppb(평균 168.8ppb) 까지 기준치(100ppb)를 초과하여 검출되고 있었다.

셋째, 부유분진은 평균 140.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도로 기준치(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 거의 육박하는 분포를 보이고 있었고, 특히 흡연량이 비교적 많고 환기상태가 다른곳보다 불량한 세대에서는 최고 266.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 기준치를 초과하는 높은 농도값을 나타내고 있었다.

네째, CO의 오염농도는 평균 2.5ppm로 기준치(10ppm)에 미치지 못하는 낮은 분포를 보이고 있었지만, CO₂의 오염물질은 평균 2409.8ppm의 농도분포로서 외기보다 약 6.3배정도 높은 수치로 기준치(1000ppm)를 훨씬 초과하여 검출되고 있었다. 특히, 취사시 가스레인지의 작동에 따라서는 최고 4922ppm까지의 매우 높은 농도값을 나타냄으로써 구조적으로 환기가 취약한 지하세대에서 이에 대한 대책이 요구되었다.

따라서 지금까지의 연구결과를 종합해 볼 때, 구조적으로 환기의 취약성을 갖고 있는 다세대주택에서의 실내공기환경실태는 지상층 주거공간 측정결과(참고문헌 6, 7 참조)와 비교해 볼 때, 열악한 것으로 나타났다. 특히, CO₂는 기준치를 초과하는 높은 농도값을 나타내고 있었고, 라돈가스 역시 비교적 높은 농도분포를 보임으로써 이에 대한 적절한 대책이 필요한 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. D.Jeff Burton, PE, CSP, CIH, 1993, IAQ and HVAC Workbook, IVE INC.
2. Hines, A.L., et al. 1993, Indoor AIR Quality and Control. New Jersey: PTR Prentice Hall,
3. Rhee, E.K, Park, J.C, Lee, S.H RIEMAM, 1995. 10, Proceedings of The 5th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering and Management, Kumamoto, Japan, pp.13-19.
4. Samet, J.M. and Spengler, J.D. 1991, Indoor air pollution: a health perspective. London: The Jones Hopkins Press.
5. 이연구, 김광우, 김신도, 박진철 외 5인, 1995.1. 신축공동주택의 실내공기환경 개선에 관한 연구. 현대산업개발.
6. 이연구, 박진철, 이상형. 1995. 11. 공동주택의 실내공기환경에 관한 측정연구. 공기조화냉동공학회 동계학술발표논문집, 95-W-066, pp.423-428.
7. 이연구, 박진철, 이상형. 1996. 8. 공동주택의 실내공기환경에 개선에 관한 연구. 공기조화냉동공학 논문집, 제 8권, 제3호. pp.397-412.
8. 이연구, 박진철, 방정현. 1998. 4. 실내마감페인트에서의 휘발성유기용제 및 포름알데히드의 발생농도 측정에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표 논문집, 제18권, 제 1호. pp.551-558.