

신축공동주택의 기간경과에 따른 실내공기질의 변화연구

곽진[†] · 김시영 · 김성림

산업환경과

A Study on Indoor Air Quality Variation with Time in New Apartment

Jin Kwak [†], Si-Young Kim and Seong-Nim Kim

Industrial Environment Division

Abstract

This study is surveyed the indoor air quality variation with time in new apartments of Busan area. The Formaldehyde and VOCs were analyzed at 9 sites before moving in and at 3 sites after moving in by HPLC and GC/MS

The concentration of toluene ranged 158.5 to 975.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the mean value was 453.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and that of Formaldehyde ranged 13.5 to 69.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ before moving in apartment.

VOCs and formaldehyde were analyzed four times with time in apartment after moving in. The order of total concentrations of VOCs and formaldehyde appeared 2006.6 $^{\circ}\mu$ 2006.9 $^{\circ}\mu$ 2006.3 $^{\circ}\mu$ 2006.11

In the result of factor analysis, formaldehyde concentrations was highly correlated with temperature and humidity, and benzene, xylene, styrene and E-benzene were highly correlated each other. Toluene concentration showed high negative correlation with time.

In the result of multi-regression analysis, the r square(r^2) of formaldehyde, toluene, benzene and styrene were 0.969, 0.847, 0.922 and 0.844, respectively.

Key Words: indoor air quality, factor analysis, multi-regression analysis

서 론

산업의 발달 및 경제 성장에 따라 새로운 화합물의 증가와 이러한 복합적인 화합물들이 건축자재, 가구 및 실내에서 사용되고, 각종 건축물 및 공동주택에서의 냉난방 등 열효율 향상을 꾀하며 기밀성의 증가, 환기시설의 부족 등으로 인해 그 문제가 더욱 심화되어 가고 있는 것으로 보고 된 바 있다.

최근들어 국민들의 참살이(Well-Being)의식 확대로 보다 건강하게 살고자 하는 욕구의 증가와 더불어 마스크 등을 통해서 아토피성 피부염 등 각종 부작용을 일으키는 것으로 알려진 "새집증후군" 등 실내공기 오염에 대한 불안감이 커지고 있으며 이에 정부에 대해 체계적인 실내공기질 관리대책 추진을 요구하는 여론이 고조되고 있다.

이에 대한 대책으로 정부에서는 2004년 5월 30일 실내공기질관리법의 시행으로 오염물질방출 건축자재에 대한 등급제 시행 및 법 시행 이후 사업계획의 승인을 받은 신축공동주택에 대해서는 실내오염물질 중 포름알데히드와 5종의 휘발성유기 화합물에 대해 주민 입주 전에 오염도를 측정하여 공고 하도록 의무화 했으며 2006년 1월부터는 신축공동주택의 실내공기질 권고기준이 설정되어 시행중에 있다.

실내공기오염물질 중 포름알데히드는 단열재 및 각종 합판이나 보드 등의 건축자재나 접착제화장품등에서 주로 발생하며, 눈, 코, 목 등 주로 호흡기 계통에 자극을 주며, 국제암연구소(IARC : International Agency for Research on Cancer)에서 인간에 발암성이 있는 것으로 알려져 있으며 또한 휘발성유기화합물은 건축재료, 세탁용제, 페인트 등에서 주로 방출된다. 벤젠은 혈액독성 및 인체에 대한 발암성이 입증된 발암물질이며, 톨루엔, 에틸벤젠 및 자일렌은 신경계에 대한 독성이 보고되어 있다.

종전에 신축공동주택에 대한 조사를 보면 주로 입주전이나 입주하고 있는 공동주택에 대하여 1회성의 실태조사에 한정되어 있어 신축된 동일주택 내에서 기간경과에 따른 오염물질의 변화연구에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

따라서 본 연구에서는 2005년도에는 입주 전 신축공동주택을 대상으로 평형 및 층별 높이에 따른 포름알데히드와 톨루엔 등 VOC 5종의 농도분포에 대하여 조사하였고 2006년도에는 신축주택입주 후 실내개조나 가구 등 생활용품 구입 시 발생할 수 있는 오염물질의 증가 등의 영향을 배제하기 위해 신축 후 입주하지 않은 신축공동주택을 대상으로 신축 후 1개월부터 9개월까지 4차례에 걸쳐 동일신축주택에 대한 기간경과에 따른

[†] Corresponding author. E-Mail: jinkwak1@hanmail.net
Phone: 051-757-6937, Fax: 051-757-2879

Table 1. Measuring method of VOCs and HCHO

Compounds	Method	System		Condition
HCHO*	DNPH- derivatives HPLC Method	HPLC (Agilent 1100)	Column Detector(Wavelength) Mobile phase Column Flow Injection Volume	ODS(C ₁₈) 4.6mm 250mm UV Dector(360 nm) Acetonitrile/Water = 60/40 1.0 mL/min 20 µL
VOCs**	TD (Thermal Desorption) - GC/MSD	GERSTEL TDS-G	TDS (Thermo Desortion System)	Tube type : Carbotrap 300 Initial temperature : 20°C (0.1min) Ramp : 60°C/min Final temperature : 260°C (5min) Transfer temp. : 260°C
			CIS (Cooled Injection System)	Carrier gas : Helium Adsorp. flow : 12.0ml/min Initial temperature : -70°C (0.1min) Ramp : 12°C/sec Final temperature : 260°C (10min)
		Agilent GC 6890		Column : HP-VOC (60m, 320µm, 1.80µm) Mode : constant flow, 1.5ml/min Initial Temp. : 60°C (2min) Ramp 1 : 4°C/min Final Temp. 1 : 120°C Ramp 2 : 12°C/min Final Temp. 2 : 80°C (3min) Ramp 3 : 12°C/min Final Temp. 3 : 180°C (1min) Ramp 4 : 20°C/min Final Temp. 4 : 260°C (2min)
		Agilent MSD5973N		SIM mode Source temperature : 230°C Quad temperature : 150°C Ionization mode : EI mode

* HCHO : Formaldehyde

**VOCs : Volatile Organic Compounds

실내공기질의 변화를 알기 위해서 신축공동주택 권고기준항목인 톨루엔 등 휘발성유기화합물 5종과 포름알데히드 농도변화를 조사하였고 다변량통계자료분석등을 이용한 이들 물질과 온도, 습도, 기간과의 상관관계 및 상호관련성을 규명함으로써 신축공동주택의 기간경과에 따른 오염물질의 변화에 대한 정확한 정보 제공과 차후 신축공동주택 실내공기질 관리 정책을 위한 기초자료를 제공함을 목적으로 한다.

연구내용 및 방법

연구대상 및 측정항목

연구대상은 2005년에는 입주전인 부산 ○○구의 W아파트 9세대를 대상으로 평형별(34평형, 41평형, 56평형)과 층별높이(저층부, 중층부, 상층부)에 따른 VOCs 5개항목 및 HCHO에 대하여 조사하였고, 2006년도에는 신축아파트인 ○○○구의 B아파트 중 입주하지 않은 3세대(33평형)를 대상으로 기간경과에 따른 실내공기질의 변화경향을 파악하기 위해서 신축 후 1개월부터 9개월까지 4회에 걸쳐 HCHO 및 VOCs(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌) 5개항목 및 온도, 습도 등

에 대하여 조사하였다.

시료채취 및 측정방법

시료채취대상은 저층부(3층이내), 중층부(중간층을 포함한 위, 아래층), 고층부(최상부 3개층)에서 선정하였다.

시료채취는 실내공기질 시험방법에 따라 아파트내 거실 중앙부에서 실시하였으며 바닥면으로부터 1.2m에서 1.5m 높이를 기본으로 해서 측정하였다.

시료채취방법⁶⁾은 먼저 공동주택 단위세대의 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방한 상태에서 30분간 환기시킨 후, 실내출입문, 수납가구의 문은 그대로 개방한 상태로 외부공기와 면하는 개구부를 닫고 5시간동안 지속한 후 30분간 2회에 걸쳐 오후 1시에서 오후 5시 사이에 저층부, 중층부, 상층부 순으로 시료를 채취 하였다.

한편, 실내공기질 측정시 외부의 오염물질로 부터의 영향을 알아보기 위해서 2회에 걸쳐 실내공기질 측정시 아파트 외부에서도 동시 측정이 이루어졌다.

포름알데히드의 시료 채취는 실내공기 중에 존재하는 알데히

Table 2. Average value and standard deviation of Concentrations of VOCs and Formaldehyde in new apartment before move-in

구분	Benzene($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E-benzene($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Xylene($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Stylene($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formaldehyde($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
34평형 (n=3)	8.7±15.0	225.7±200.6	15.2±20.9	43.4±53.0	98.8±35.7	38.9±9.3
41평형 (n=3)	0.0±0.0	158.5±85.0	23.9±27.7	44.5±49.8	42.3±17.2	69.9±51.5
56평형 (n=3)	0.0±0.0	975.7±500.9	111.8±77.2	196.4±07.1	30.4±3.8	13.5±12.2

(mean±S.D)

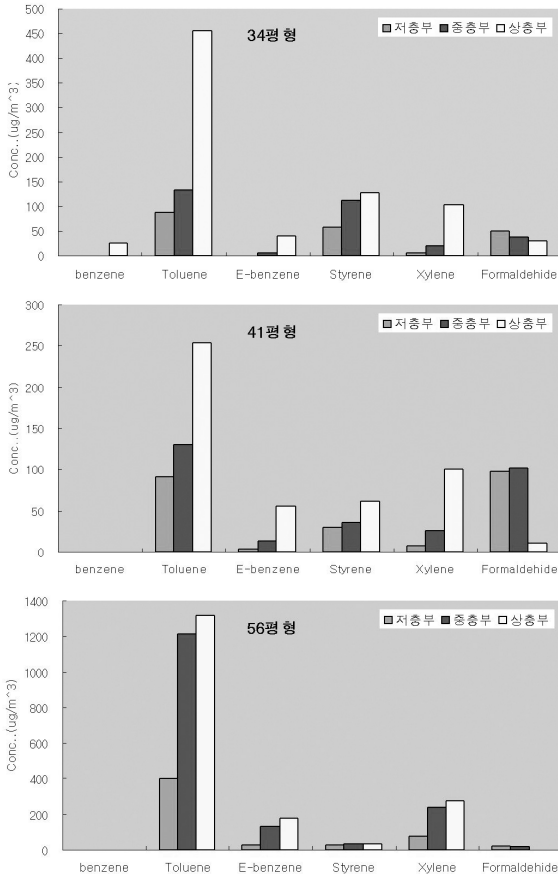


Fig. 1. Concentrations of VOCs and Formaldehyde in new apartment before move-in.

드류를 2,4-DNPH 화합물이 충전되어 있는 카트리지에 통과 시켜 흡착하여 채취하는 방법을 이용하였다.

포름알데히드 시료 채취 장치는 실내공기를 흡인하는 미니 펌프 (Sibata MP-100, Japan)와 2,4-DNPH 카트리지 (Supelco, USA), 오존스크러버(Supelco, USA)로 구성되어 있으며, 300mL/min의 유량으로 시료를 채취하였다.

VOC 시료 채취는 고체흡착제에 기체가 흡착되는 것을 이용하는 방법으로 시료채취장치는 실내공기를 흡인하는 미니 펌프 (Sibata MP-230, Japan)와 고체흡착관(Carbotrap300)을 사용하여 50mL/min의 유량으로 시료를 채취하였으며 채취한 시료는 외부공기로부터 오염이 되지 않도록 밀폐용 마개와 알루미늄 등으로 밀봉하여 분석전 까지 4°C이하의 냉암소에 보관하였다.

결과 및 고찰

입주전 신축공동주택 실내공기질 비교분석

2005년 12월에 입주전인 ○○구 W아파트 9세대를 선정하여 각 평형(34평형, 41평형, 56평형) 및 층별높이(저층부, 중층부, 상층부)에 따른 HCHO 및 VOC 5종에 대한 실내공기질을 측정 결과는 아래와 같다.

입주전 평형에 따른 신축공동주택의 실내공기질 비교분석 : Fig. 1의 평형에 따른 VOCs 및 HCHO의 실내공기질 조사결과에 대하여 살펴보면,

기존의 다른 조사⁶⁾에서와 마찬가지로 입주전에 측정항목 중 모든 평형에서 Toluene의 농도가 가장 높게 나타났고, 벤젠의 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

34 평형의 경우를 보면 전체오염물질의 평균농도는 Toluene($225.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Stylene($98.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Xylene($43.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Formaldehyde($38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > E-benzene($15.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순이었으며 Benzene이($8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 가장 낮은 것으로 조사되었고 층별에 따른 조사결과를 보면 VOCs 5종 모두 저층부에서 상층부로 갈수록 증가하는 경향을 나타낸 반면 포름알데히드는 상층부에 저층부로 갈수록 농도가 증가하는 것으로 조사되었다.

41평형의 경우 개별오염물질의 평균농도는 Toluene($158.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Formaldehyde($69.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Xylene($44.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Stylene($42.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > E-benzene($23.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순이었으며 Benzene은 검출되지 않았다. 한편 층별에 따른 오염물질의 농도는 VOC의 경우는 34평과 같은 경향을 나타내어 저층부에서 상층부로 갈수록 증가한 반면 HCHO의 경우는 상층부와 중층부의 농도가 비슷하게 나타난 반면 저층부에서는 농도가 상당히 낮게 나타났다.

56평형의 경우는 Toluene($975.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Xylene($196.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > E-benzene($111.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Stylene($30.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > Formaldehyde($13.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순이었으며 Benzene은 검출되지 않았다.

한편 층별 높이에 따른 개별오염물질의 농도변화를 보면 VOC의 경우 벤젠을 제외한 개별물질의 경우 전평형에서 저층부에서 상층부로 갈수록 증가하는 경향을 나타낸 반면 HCHO의 경우는 반대 경향을 나타내었다. 이처럼 동일 평형대에서는 건축자재와 도료, 아파트의 구조 및 방향 등 모든 조건이 같음에도 층수에 따라 오염물질의 농도가 차이가 나는 것과 평형대가 다름에도 불구하고 높이에 따라 오염물질의 변화경향은 거의 동일한 것은 저층부, 중층부, 상층부 순으로 시료를 채취한

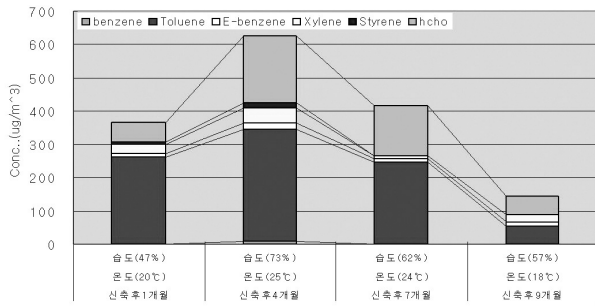


Fig. 2. Total Concentrations of VOCs and Formaldehyde in newly-built Unoccupied houses.

것과 관련성이 있는 것으로 사료된다.

각 평형별로 저층부는 13시, 중층부가 14시 20분, 고층부는 15시 30분부터 시료를 채취 하기위해서 저층부의 밀폐시간은 오전 8시부터 13시까지, 중층부는 오전 9시20분부터 14시20분까지, 상층부의 경우 오전 10시30분에서 15시30시까지 밀폐를 해야 함으로 밀폐된 시간동안의 온도와 습도가 상이함에 따라 축적되는 오염물질의 방출량의 차이에 의한 것으로 추정되며, 일반적으로 계단식 아파트에서는 연돌효과에 의해 상층부의 온, 습도가 저층부에 비해 다소 높아지는 경향에 따라 고층으로 올라갈수록 포름알데히드 농도가 높아진다는 조사결과⁹⁾와 유사하였다.

따라서 신축공동주택에 대한 조사시 저층부, 중층부, 상층부에 대해서 같은 시간대에 동시에 오염물질을 측정함으로써 오

염물 질농도의 편차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

신축 후 기간경과에 따른 신축공동주택 실내공기질 변화

2006년도에는 2005년도와 같은 동일신축공동주택을 대상으로 입주후 기간경과에 따른 실내공기질을 조사하려고 하였지만 수차례에 걸친 측정에 대한 입주민의 협조 등 현실적인 어려움과 입주시 새로운 가구, 소파 등 생활용품의 구입으로 인한 오염물질의 농도의 증가가 예상되어 단지 기간경과에 따른 실내공기질의 변화를 알아보기 위해서 입주하지 않은 ○○구 B아파트의 가장 대표적인 평형대인 33평형 3세대를 대상으로 4회(2006년 3월 17일, 6월 27일, 9월 15일, 11월 23일)에 걸쳐 조사하였다.

신축 후 기간경과에 따른 총오염물질의 농도변화 경향 :

Fig. 2에서 나타난 것과 같이 측정시기에 따른 계절적인 영향으로 측정시 온도와 습도는 신축후 4개월('06년6월)이 하절기로 25 와 73%로 가장 높았고 그다음으로 신축후 7개월('06년 9월)의 온도와 습도가 각각 24 와 62%로 높게 나타났다.

신축후 기간에 따른 총 오염물질의 농도는 입주후 1개월 (366.2 ug/m³) 보다 입주 4개월(624.0 ug/m³)이 된 시점에서 가장 높게 나타났고 개별오염물질도 모두 증가하였다.

그다음으로 입주후 7개월(415.5 ug/m³)까지도 총오염물질의 양은 입주후 1개월보다 1.1배 높게 나타났으나 개별오염물질에 따라서는 다른 변화 경향을 나타내었다.

측정시의 온도가 가장 낮은 신축후 9개월('06년 11월)의 총 오염물질의 농도가 신축후 1개월('06년3월)에 비해 약 0.4배

Table 3. Concentrations of VOCs and Formaldehyde in newly-built Unoccupied houses

구분	항목	2006년 3월 신축후 1개월	2006년 6월 신축후 4개월	2006년 9월 신축후 7개월	2006년 11월 신축후 9개월
저층부	Benzene(ug/m³)	0.0	6.7	0.0	0.0
	Toluene(ug/m³)	236.0	312.5	185.8	48.3
	E-benzene(ug/m³)	16.4	23.5	19.9	19.3
	Xylene(ug/m³)	32.8	57.1	6.6	32.2
	Styrene(ug/m³)	9.8	10.1	0.0	0.0
	HCHO(ug/m³)	46.9	181.6	159.9	44.9
중층부	Benzene(ug/m³)	0.0	10.1	0.0	0.0
	Toluene(ug/m³)	308.1	433.4	258.8	51.5
	E-benzene(ug/m³)	9.8	20.2	0.0	6.4
	Xylene(ug/m³)	26.2	57.1	0.0	6.4
	Styrene(ug/m³)	6.6	23.5	0.0	0.0
	HCHO(ug/m³)	52.4	204.6	159.4	53.8
상층부	Benzene(ug/m³)	0.0	3.4	0.0	0.0
	Toluene(ug/m³)	239.3	268.8	292.0	58.0
	E-benzene(ug/m³)	9.8	10.1	13.3	12.9
	Xylene(ug/m³)	22.9	26.9	13.3	25.8
	Styrene(ug/m³)	6.6	10.1	0.0	6.4
	HCHO(ug/m³)	74.9	212.6	137.5	70.6
전체평균	Benzene(ug/m³)	0.0	6.7	0.0	0.0
	Toluene(ug/m³)	261.1	338.2	245.5	52.6
	E-benzene(ug/m³)	12.0	17.9	11.1	12.9
	Xylene(ug/m³)	27.3	47.0	6.6	21.5
	Styrene(ug/m³)	7.6	14.6	0.0	2.1
	HCHO(ug/m³)	58.1	199.6	152.3	56.4

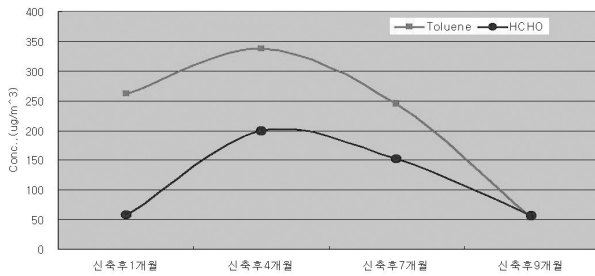


Fig. 3. Patterns of Toluene and HCHO Concentrations in newly-built Unoccupied houses.

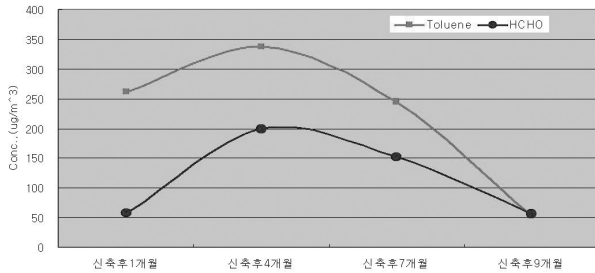


Fig. 4. Patterns of VOCs Concentrations in newly-built Unoccupied houses.

수준으로 가장 낮은값으로 조사되었다.

이처럼 일반적으로 오염물질의 농도는 시간이 경과함에 따라 감소 할 것으로 예상되었지만 위의 결과를 볼때 오염물질의 농도는 단지 시간의 경과에 의해서만 감소하는 것이 아니라 계절에 따른 온도, 습도와 같은 기상인자에 의해서 영향을 받는다는 것을 알 수가 있었다.

신축후 기간경과에 따른 개별 오염물질의 농도변화 경향 : Table 3와 Fig. 3, 4에서 보는바와 같이 4차례에 걸쳐 측정 한 오염물질의 농도는 신축후 1개월에는 톨루엔이 261.1 µg/m³

로 개별물질 중 농도가 가장 높았으나 신축후 9개월에는 52.6 µg/m³로 감소한 반면 포름알데히드의 농도는 신축후 1개월에는 58.1 µg/m³에서 신축후 9개월 후에는 56.4 µg/m³로 농도값이 크게 변하지 않아 개별항목 중 가장 높은값을 나타내었다.

개별 항목별로는 측정시기에 따라 다소 다른 경향을 나타내었는데 톨루엔의 경우는 신축후 4개월>신축후 1개월>신축후 7개월>신축후 9개월 순으로 농도가 높게 나타났다.

한편 에틸벤젠과 자일렌의 경우는 신축후 7개월이 가장 낮게 나타났고 신축후 9개월에 약간 증가하는 경향을 보였다.

한편 포름알데히드의 경우는 신축후 4개월>신축후 7개월>신축후 1개월>신축후 9개월 순으로 농도가 높게 나타났으나 신축후 1개월의 농도나 9개월 후의 농도가 큰 차이를 보이지 않아 기간경과에 따른 농도의 감소보다는 온도나 습도에 의한 변화에 민감한 반응을 보이는 것으로 추정된다.

계절별로 비슷한 시기('05년 2월에서 '06년 2월까지)에 실시된 입주한 신축공동주택을 대상으로 한 환경부의 조사결과⁸⁾('06.08)도 이와 유사한 경향을 나타내었는데 이 조사 결과에서는 신축전보다 신축후의 조사결과가 높게 나타난 이유를 단지 실내개조여부의 유무나 생활용품의 구입, 설치여부에 따라 오염물질의 농도가 증가하는 이유로 들고 있으나 실내개조를 하지 않았거나 새로운 생활용품을 구입하지 않은 신축공동주택도 입주전보다 입주후 2, 4개월에 오염물질의 증가에 대한 원인분석이 없었다. 이번조사결과에서는 입주하지 않은 주택 임을 감안하면 오염물질의 농도는 개별항목에 따라 다르겠지만 온도, 습도라는 영향인자가 HCHO 등 일부 개별물질에 대해서 큰 영향력을 나타낸다고 할 수 있겠다. 아울러 현재 신축공동주택의 실내공기질 측정과 권고기준은 입주전에 측정된 결과에 한하여 적용하지만 이번조사결과에서 나타난 바와 같이 입주 후에도 하절기에는 계절별 영향으로 온, 습도가 증가함에 따라 일부 오염물질은 입주전보다도 증가되어 실내공기질 권고기준 이상으로도 검출 될 수 있음을 간과해서는 안되며, 따라서 입주전 뿐만 아니라 입주후의 신축공동주택에 대해

Table 4. Concentrations of VOCs and Formaldehyde of the exterior of a new apartment

항목	Benzene(µg/m³)	Toluene(µg/m³)	E-benzene(µg/m³)	Styrene(µg/m³)	Xylene(µg/m³)	HCHO(µg/m³)
신축후 7개월	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.2
신축후 9개월	0.0	13.3	6.7	6.7	0.0	0.2

Table 5. Correlation coefficient between indoor air pollutant and meteorological parameters

항목	Temperature	Humidity	Benzene	E-benzene	HCHO	Styrene	Toluene	Xylene	period
Temperature	1.000								
Humidity	0.743	1.000							
Benzene	0.593	0.759	1.000						
E-benzene	0.187	0.289	0.496	1.000					
HCHO	0.944	0.888	0.680	0.174	1.000				
Styrene	0.338	0.389	0.837	0.390	0.401	1.000			
Toluene	0.763	0.372	0.646	0.154	0.627	0.649	1.000		
Xylene	0.198	0.375	0.795	0.706	0.234	0.810	0.447	1.000	
period	-0.195	0.293	-0.182	-0.056	-0.014	-0.496	-0.652	-0.357	1.000

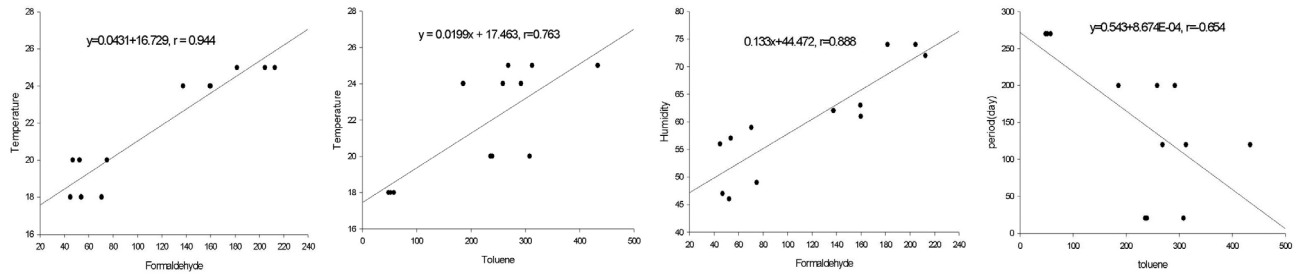


Fig. 5. Correlation coefficient between indoor air pollution and meteorology parameters.

Table 6. Total Variance Explained

Factor	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.814	60.177	60.177	4.814	60.177	60.177	3.584	44.801	44.801
2	1.692	21.145	81.322	1.692	21.145	81.322	2.922	36.521	81.322

Table 7. Varimax rotated factor matrix

Variable	Factor	
	1	2
Temperature	0.962	0.070
Humidity	0.828	0.245
Benzene	0.625	0.732
E-benzene	0.028	0.769
HCHO	0.976	0.105
Styrene	0.350	0.810
Toluene	0.697	0.362
Xylene	0.143	0.966

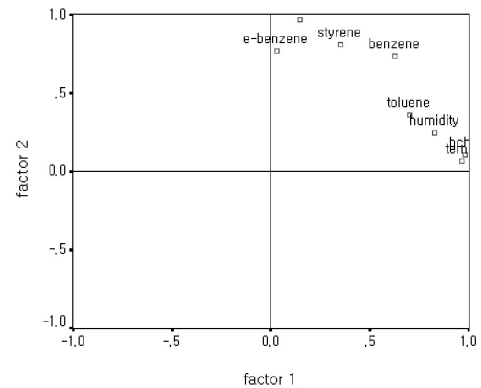


Fig. 6. Factor plot in rotated space.

서도 정기적인 실내공기질 조사와 연구, 관리방안과 대책에 대해서도 검토되어야 할 것이다.

외부공기에 의한 영향 : 신축공동주택의 실내오염물질 측정 시 외부에서의 오염물질의 유입 등 영향을 알아보기 위해 신축공동주택의 외부에 대한 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다. 신축공동주택의 내·외부에대한 I/O비를 살펴보면 톨루엔의 경우 최소 3.9에서 최대 36.6로 나타났고, 포름알데히드의 경우는 최소 280에서 최대 763으로 나타나 외부공기가 신축공동주택내부의 오염물질의 농도에 미친 영향은 적은 것으로 판단된다.

온도, 습도 등과 오염물질간의 상관관계 : 입주후 1개월부터 9개월까지 4차례에 걸쳐 오염물질의 변화를 살펴보면 기간경과에 따라 단순히 오염물질이 감소되지 않고 오히려 증가되는 원인을 파악하기 위해서 기상요소인 온도, 습도등과 오염물질간의 상관성을 알아보기 위해서 상관계수를 구하였다.

상관분석결과 물질별로 다소 차이가 있지만 온도와 상관계수가 가장 높은 오염물질은 포름알데히드로 상관계수 r값이 0.944, 그다음으로 톨루엔이 0.763으로 나타났고 습도와 상관계수가 높은물질은 포름알데히드와 벤젠으로 r값이 각각

0.888과 0.759로 나타났다.

인자분석에 의한 실내공기질 인자간의 상호관련성 분석 : 인자분석(factor analysis)은 상호 관련되어있는 변수들에 대하여 동질의 변화를 주는 공통인자들을 찾아내어 변수들간의 관계 및 확률구조를 몇 개의 인자로 해석하기 위한 통계방법이다.

Table 5, 6과 Fig. 8은 오염물질과 온도, 습도간의 인자분석을 행한 결과이다. 두개의 인자가 고유치(Eigen Value)가 1.0이상이고 누적기여율이 81.3%로 일반적으로 고유치가 1.0 이상(kaiser규칙) 또는 누적기여율이 80%이상에서 인자수를 결정한다는 조건에는 적합했다.

Varimax법에 의한 인자회전을 했을때 첫 번째 인자는 전체에 대하여 44.8%의 설명력을 가지고 두 번째 인자는 전체의 36.5%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

Table 6에나타난 바와 같이 Varimax법에 의한 인자회전결과 9개의 변수중에 온도, 습도, 포름알데히드, 톨루엔이 제1요인으로, 자일렌 등 나머지 4개항목이 제2요인으로 추출되었

Table 8. Total variance explained

Factor	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.905	54.496	54.496	4.905	54.496	54.496	3.427	38.076	38.076
2	1.871	20.784	75.280	1.871	20.784	75.280	2.743	30.473	68.549
3	1.425	15.832	91.111	1.425	15.832	91.111	2.031	22.562	91.111

Table 9. Varimax rotated factor matrix

Variable	Factor		
	1	2	3
Temperature	0.928	0.036	0.264
Humidity	0.890	0.345	-0.248
Benzene	0.613	0.713	0.212
E-benzene	0.054	0.837	-0.099
HCHO	0.978	0.120	0.082
Stylene	0.280	0.699	0.522
Toluene	0.581	0.188	0.753
Xylene	0.112	0.929	0.278
Period	0.104	-0.108	-0.960

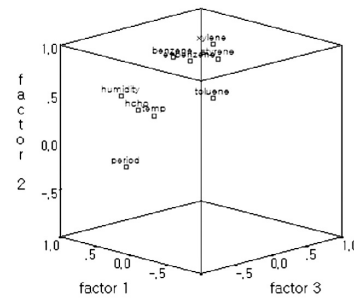


Fig. 7. factor plot in rotated space.

다. 제1요인은 포름알데히드와 톨루엔의 농도는 온, 습도의 영향과 관련 있다는 것을, 제2요인은 톨루엔을 제외한 4개항목 간의 오염물질의 농도변화가 상호관련성을 가지고 있는 것으로 설명된다.

오염물질과 기타인자간의 상호관련성 분석 : 오염물질과 기간이 경과됨에 따라 감소되는 경향이 있기 때문에 기간도 하나의 변수로 두고 인자분석을 행한 결과는 Table 8과 9, Fig. 7

에 나타내었다.

고유치(Eigen Value)가 1.0이상인 인자는 3개가 추출되었고 첫 번째 인자의 전체에 대한 설명력은 38.1%, 두 번째 인자는 30.4%, 세 번째 인자는 22.6%로 나타나 이 3개의 인자의 전체에 대한 설명력이 91.1%로 높게 나타났다.

Varimax법에 의한 인자회전결과 요인 1이 온도, 습도와 포름알데히드로 포름알데히드 농도는 온도, 습도의 변화에 따라

Table 10. The result of multi-regression analysis

Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
	B	Std. Error	β
Xylene			
(Constant)	-1.084	5.436	$r^2=0.836$
Stylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.641	0.381	0.631
E-benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.240	0.395	0.460

Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
	B	Std. Error	β
HCHO			
(Constant)	-352.776	28.381	$r^2=0.969$
Temp. (°C)	13.917	1.914	0.635
Humidity (%)	2.778	0.582	0.417

Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
	B	Std. Error	β
Benzene			
(Constant)	-10.663	1.999	$r^2=0.922$
Stylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.308	0.049	0.639
Humidity (%)	0.174	0.035	0.510

Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
	B	Std. Error	β
Stylene			
(Constant)	26.372	8.135	$r^2=0.844$
Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.654	0.420	1.278
Humidity (%)	-0.412	0.143	-0.581

Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
	B	Std. Error	β
E-benzene			
(Constant)	6.757	2.572	$r^2=0.499$
Xylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.262	0.083	0.706

Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
	B	Std. Error	β
Toluene			
(Constant)	-641.290	125.071	$r^2=0.847$
Temp. (°C)	26.376	5.300	0.661
Period	395.904	100.057	0.525

가장 큰 영향력을 받는다고 해석 할 수 있으며, 요인2는 벤젠, 에틸벤젠, 스티렌, 자일렌간의 오염물질의 농도변화는 서로 연 관성을 가지는 것으로 설명 할 수 있으며, 요인 3은 기간경과와 톨루엔으로 톨루엔의 경우 기간경과에 따른 톨루엔의 감소에 대하여 설명할 수 있겠다.

중회귀분석에 의한 온도, 습도, 기간과 오염물질간의 관련성
: 회귀분석이란 변수상호간의 관계를 표본으로부터 추정하는 방법으로 하나의 주어진 종속변수와 최적의 관련성을 갖는 독립변수들의 선형관계를 모형으로 하며 중회귀 분석(Multiple Regression Analysis)은 종속변수가 1개이고, 독립변수가 2 이상인 경우를 말한다.

중회귀분석시 최적모형의 결정을 위한 변수선택방법중의 하나인 단계별회귀(stepwise regression)를 사용하여 개별 오염물질을 종속변수로 하고 나머지 오염물질과 온도, 습도, 기간을 독립변수로 하여 중회귀 분석을 실시한 결과는 Table 8와 같다.

먼저 포름알데히드를 종속변수로 한 중회귀식은 $HCHO = 13.917(Temperature) + 2.778(humidity) - 352.776$ 의 모형이 성립이 되고 추정된 중회귀식이 어느정도로 주어진 자료를 잘 설명하고 있는가를 알기위한 결정계수(coefficient of determination) r^2 값이 0.969로 높게 나타났다. 표준화 계수는 독립변수들의 단위가 다를 경우 단위를 동일시 하여 종속변수 한 단위가 변경될때 각 독립변수의 영향력을 나타낸다.

포름알데히드의 경우 온도에 의한 기여가 첫 번째, 습도에 의한 기여가 두 번째로 하는 중회귀 방정식 모형을 나타내었다. 톨루엔을 종속변수로 한 결과는 온도와 기간, 벤젠을 종속변수로 한 결과는 스티렌과 상대습도를 모형으로 하는 중회귀 모형이 성립되었다.

결 론

2005년도에는 입주전 3개평형(34평, 41평, 56평) 9세대를 대상으로 조사하였고, 2006년도에는 입주하지 않은 신축공동주택 3세대(33평형) 대상으로 신축 후 1, 4, 7, 9개월 시점에 4차례에 걸쳐 VOCs 5종 및 HCHO와 온도, 습도 등 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 입주전에는 오염물질 중 톨루엔의 농도($158.5 \sim 975.7 \mu g / m^3$)가 가장 높았고, 벤젠의 농도($0.0 \sim 8.7 \mu g / m^3$)가 가장 낮게 조사되었다.
3. 신축후 총오염물질의양은 신축후 4개월 > 7개월 > 1개월 > 9개월 순이었음.
4. 개별물질 중 신축후 1개월에는 톨루엔이 가장 높았으나 신축후 9개월에는 포름알데히드가 가장 높은 것으로 조사되었음.

5. 신축후에 대한 오염물질과 온도, 습도등에 대한 상관분석 결과 포름알데히드에 대한 온도, 습도와와의 상관계수 r 값이 각각 0.994, 0.884로 나타났고, 기간과 톨루엔과의 상관관계는 $r = -0.652$ 로 나타났음.

6. 인자분석결과 요인 1은 포름알데히드 농도에 대한 온, 습도의 영향력이, 요인2는 벤젠, 에틸벤젠, 스티렌, 자일렌간의 농도변화는 상호 관련성이 있음을, 요인 3은 톨루엔의 농도감소와 기간 경과와의 관계를 설명하는 것으로 해석 할 수 있음.

7. 이번조사결과는 입주하지 않은 신축공동주택을 대상으로 했기 때문에 입주시의 신축기구나 생활용품구입 등 오염물질을 증가시키는 요인이 없었음에도 불구하고 신축시보다 기간이 더 경과된 하절기에는 온도, 습도 증가라는 계절적 요인에 의해서 오히려 오염물질의 농도가 증가하는 현상을 나타내었음. 따라서 향후에는 신축공동주택에 대한 입주전 실내공기질 측정뿐만 아니라 입주후에도 지속적인 실내공기질 조사 및 연구, 관리방안 과 대책이 요구됨

참 고 문 헌

1. 조장제 외 4인, 신축 아파트에서의 휘발성유기화합물 농도조사, 한국대기환경학회 2004 춘계학술대회 논문집, 201-202(2004)
2. 호문기 외 4인, 실내 aldehyde류 농도와 거주 환경 특성과의 관련성 연구, 한국대기환경학회 2004 춘계학술대회 논문집, 205-206(2004)
3. 환경부, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구 (2002)
4. 환경부, 오염물질 방출 건축자재 선정관련 연구(2003)
5. 국립환경연구원, 실내공기질 공정시험방법(2005)
6. 국립환경연구원, 전국 신축공동주택 실내공기질 조사 (2004)
7. 국립환경연구원, 실내공기질 공정시험방법 도출 연구 최종보고서(2004)
8. 국립환경과학원, 신축공동주택 오염실태조사 보고서 (2006)
9. 한국건설경제협의회, 신축공동주택의 실내공기질관리 사례 및 당면과제 세미나(2004),
10. 한국공기청정협회, 한국실내환경학회, 실내환경 개선을 위한국제 심포지움 2004(2004)
11. 한국대기환경학회, 실내공기질 관리 및 측정(2003)
12. 한국대기환경학회, 실내 공기질 정책 및 관측기술 (2004)