

제 101 회 석사학위논문
지도교수 이 언 구

신축공동주택에서의 포름알데히드
및 휘발성 유기화합물 측정연구

A Measurement of Formaldehyde and Volatile Organic
Compounds in Newly-Constructed Apartment Houses.

중앙대학교 대학원

건축학과 건축계획 및 환경 전공

박진철

2004년 6월

신축공동주택에서의 포름알데히드
및 휘발성 유기화합물 측정연구

A Measurement of Formaldehyde and Volatile Organic
Compounds in Newly-Constructed Apartment Houses.

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함.

2004년 6월

중앙대학교 대학원

건축학과 건축계획 및 환경 전공

박진철

2004년 6월

박진철의 석사학위 논문으로 인정함.

<u>심사위원장</u>	<u>인</u>
<u>심사 위원</u>	<u>인</u>
<u>심사 위원</u>	<u>인</u>

중앙대학교 대학원
건축학과 건축계획 및 환경 전공
박진철
2004년 6월

목 차

목 차	i
표 목 차	iv
그림목차	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구내용 및 방법	3
1.3 연구의 범위	6
1.4 국내외 연구동향	6
제 2 장 실내공기환경 및 실내공기오염물질에 관한 이론 고찰	9
2.1 실내공기 오염 및 발생원	9
2.2 실내공기 오염물질의 특징 및 인체에 미치는 영향	12
2.2.1 포름알데히드(HCHO) 특징 및 인체에 미치는 영향	12
2.2.2 휘발성유기화합물(VOCs) 특징 및 인체에 미치는 영향	14
2.3 국내외 실내공기오염의 관리체계 및 관련 기준	19
2.3.1 국내외 실내공기질 관리체계	19
2.3.2 국내외 실내공기환경 관련 기준	23
2.4 건축자재와 화학물질 방출	28
2.4.1 건축자재에 따른 화학물질	28
2.4.2 건축자재의 오염물질 방출특성	31
제 3 장 실내공기오염물질 및 건축자재 오염물질 방출량 측정방법	33
3.1 대상오염물질 측정 및 분석방법	33
3.1.1 대상오염물질 측정방법	33

3.1.2 포름알데히드(HCHO) 분석방법	36
3.1.3 휘발성유기화합물(VOCs) 분석방법	40
3.2 건축자재시험의 개요	42
3.3 건축자재의 오염물질 방출시험방법	43
3.4 건축자재 오염물질 측정에 관한 실험 규격	45
제 4 장 신축공동주택의 실내공기환경 현장 실측	47
4.1 대상신축공동주택의 측정개요	47
4.2 신축공동주택(아파트)의 측정 결과	47
4.3 신축공동주택(오피스텔)의 측정 결과	51
4.4 기존 공동주택의 측정 결과	53
4.5 신축아파트, 기존아파트, 신축 오피스텔의 대상오염물질 농도비교	56
4.6 시간경과에 따른 실내공기오염물질의 농도변화	63
4.6.1 단기 시간경과(1일)에 따른 실내공기오염물질 농도변화	63
4.6.2 장기 시간경과(30일)에 따른 실내공기오염물질 농도변화	65
4.7 환기설비 가동유무에 따른 실내공기오염물질의 농도변화	68
제 5 장 건축자재 오염물질 방출시험	72
5.1 실험실 건축자재 방출실험장치의 구성	72
5.2 실험 장치의 운전 및 성능	79
5.3 건축자재 오염물질 방출 기준	83
5.4 대상 건축자재의 포름알데히드 및 TVOC 방출량	84
제 6 장 신축공동주택의 실내공기오염물질 저감 방안	89
6.1 개요	89
6.2 실내마감재에 따른 실내공기오염물질 농도변화	91
6.3 Bake-Out에 따른 실내공기오염물질 농도변화	94
6.4 소결	97

6.5 건물에서의 실내공기오염물질 저감방안	100
제 7 장 결 론	103
참 고 문 헌	106
국 문 초 록	110
ABSTRACT	113
부 록[VOCs 분석 크로마토그램]	115

표 목 차

<표 2.1> 실내오염물질의 발생원	10
<표 2.2> WHO와 EU에서 정한 실내공기오염의 주요 오염물질과 발생원	11
<표 2.3> 포름알데히드(HCHO)의 인체 위해성	14
<표 2.4> 미국환경청 TO-14A에서 규정된 독성 VOCs	16
<표 2.5> 실내에서 발생하는 VOCs 물질과 발생원	18
<표 2.6> 건축재료 및 제품에서 방출되는 VOCs	18
<표 2.7> 국내 실내공기질 관리업무 현황	20
<표 2.8> 국내의 실내공기환경 (IAQ) 기준	25
<표 2.9> 국외의 주요 국가별 실내공기환경 (IAQ) 기준	26
<표 2.10> SCANVAC의 포름알데히드 및 TVOC 농도기준	27
<표 2.11> 건축 공사의 항목별 주요재료	29
<표 2.12> 주요 건축자재와 방출오염물질	30
<표 2.13> 건축자재의 오염물질 방출특성	32
<표 3.1> JAS의 합판의 HCHO 기준	44
<표 4.1> 대상공동주택의 측정 개요	47
<표 4.2> 측정대상 공동주택의 실측 조건	48
<표 4.3> 신축공동주택(아파트)의 대상오염물질 측정결과	48
<표 4.4> 측정대상 공동주택의 실측 조건	51
<표 4.5> 신축공동주택의 대상오염물질 측정결과	51
<표 4.6> 기존 공동주택의 실측 조건	54
<표 4.7> 기존 아파트의 실내공기오염물질 측정결과	54
<표 4.8> 세 집단간의 포름알데히드 농도 비교	56
<표 4.9> 세 집단간의 TVOC 농도 비교	57
<표 4.10> 세 집단간의 벤젠 농도 비교	58
<표 4.11> 세 집단간의 톨루엔 농도 비교	59
<표 4.12> 세 집단간의 에틸벤젠 농도 비교	59
<표 4.13> 세 집단간의 크실렌 농도 비교	60
<표 4.14> 세 집단간의 스틸렌 농도 비교	61
<표 4.15> 세 집단간의 디클로벤젠 농도 비교	61
<표 4.16> 측정 대상 오피스텔의 실측 개요	63
<표 4.17> 시간에 따른 대상 오염물질의 농도 변화 결과	64
<표 4.18> 측정 대상 오피스텔의 실측 개요	65

<표 4.19> 측정 대상 단지의 실측 개요	68
<표 4.20> 환기장치 개요	68
<표 4.21> 환기설비 가동 유·무에 따른 대상오염물질의 농도 결과	70
<표 5.2> 실험챔버의 운전 조건	79
<표 5.3> 건축자재의 인증등급	83
<표 5.4> 건축자재의 종류 및 실험실 측정 결과	85
<표 6.1> 측정 대상 오피스텔의 실측 개요	91
<표 6.2> 측정 대상 오피스텔의 측정 결과	91

그림 목 차

(그림 1.1) 연구의 흐름도	5
(그림 2.1) 실내 환경과 화학물질 오염인자의 방출	29
(그림 2.2) 온도/습도 변화에 따른 HCHO 방출농도의 변화	31
(그림 3.1) 포름알데히드 시료채취기	34
(그림 3.2) 휘발성유기화합물 시료채취기	34
(그림 3.3) 시료 채취용 소유량 펌프	34
(그림 3.4) 32평형 측정 위치	35
(그림 3.5) 실측 현장	35
(그림 3.6) 시료채취 방법	35
(그림 3.7) 2,4-DNPH 카트리지 (Supelco, U.S.A)와 오존 스쿠루버(Waters, U.S.A)	37
(그림 3.8) DNPH 유도체화 반응	37
(그림 3.9) 고성능 액체크로마토 그래피 (HPLC)	37
(그림 3.10) 포름알데히드의 선형성 평가	39
(그림 3.11) 표준물질의 크로마토 그래프	39
(그림 3.12) 측정샘플의 크로마토그래프	40
(그림 3.13) Tenax 튜브 (SUPELCO, USA)	41
(그림 3.14) 기체크로마토그래피 (GC)	42
(그림 4.15) 신축아파트의 포름알데히드 측정 결과	49
(그림 4.16) 신축아파트의 TVOC 측정 결과	50
(그림 4.17) 신축아파트의 VOCs 항목의 분석 결과	50
(그림 4.18) 신축오피스텔의 포름알데히드 측정 결과	52
(그림 4.19) 신축오피스텔의 TVOC 측정 결과	52
(그림 4.20) 신축오피스텔의 VOCs 항목의 분석 결과	53
(그림 4.21) 기존 공동주택의 거실 및 주침실의 측정장비 설치	53
(그림 4.22) 기존 아파트의 포름알데히드 농도	55
(그림 4.23) 기존 아파트의 TVOC 농도	55
(그림 4.24) 기존 아파트의 6가지 VOCs 농도	56
(그림 4.25) 세 집단간의 포름알데히드 농도 비교	57
(그림 4.26) 세 집단간의 TVOC 농도 비교	58
(그림 4.27) 세 집단간의 벤젠 농도 비교	58
(그림 4.28) 세 집단간의 톨루엔 농도 비교	59

(그림 4.29) 세 집단간의 에틸벤젠 농도 비교	60
(그림 4.30) 세 집단간의 크실렌 농도 비교	60
(그림 4.31) 세 집단간의 스틸렌 농도 비교	61
(그림 4.32) 세 집단간의 디클로벤젠 농도 비교	62
(그림 4.33) 시료채취 방법	63
(그림 4.34) 시간 경과에 따른 포름알데히드 농도변화	64
(그림 4.35) 시간 경과에 따른 TVOC 농도변화	65
(그림 4.36) 장기시간경과에 따른 포름알데히드 농도변화	66
(그림 4.37) 장기시간경과에 따른 TVOC 농도변화	66
(그림 4.38) 장기시간경과에 따른 6가지 VOCs 농도변화	67
(그림 4.39) 시료채취 방법	68
(그림 4.40) 실내환기설비와 연결된 열교환기	69
(그림 4.41) 대상 공동주택의 환기덕트 평면도	69
(그림 4.42) 환기시설 가동여부에 따른 포름알데히드 농도 결과	70
(그림 4.43) 환기시설 가동 여부에 따른 TVOC 농도변화	71
(그림 5.1) 친환경건축연구센터	73
(그림 5.2) 향온향습조 설계도	73
(그림 5.3) 소형챔버 공기 공급 시스템 계통도	74
(그림 5.4) 시료보관장치 (12개 시료보관)	74
(그림 5.5) 다이아프램펌프	75
(그림 5.6) 공기압축기	75
(그림 5.7) 필터장치	76
(그림 5.8) 활성탄	76
(그림 5.9) 습도조절장치	76
(그림 5.10) 습도조절용 불유량계	76
(그림 5.11) 8 Port 분배기	77
(그림 5.12) 온 습도계	77
(그림 5.13) 유량조절 및 포집실	77
(그림 5.14) 소형챔버 (20ℓ, 8개)	78
(그림 5.15) 재료고정틀	78
(그림 5.16) 오븐	78
(그림 5.17) 건축자재 시험기간 동안의 챔버 내 온습도 변화	80
(그림 5.18) 필터 장치의 포름알데히드 제거 능력	81
(그림 5.19) 필터 장치의 VOCs 제거 능력	81
(그림 5.20) 부하율에 맞게 절단	82
(그림 5.21) 챔버에 설치	82

(그림 5.22) 부하율에 맞게 절단	82
(그림 5.23) 유리판에 도포	83
(그림 5.24) 챔버에 설치	83
(그림 5.25) 목재 및 비닐바닥판 포름알데히드 방출시험 결과	86
(그림 5.26) 목재 및 비닐바닥판 TVOC 방출시험 결과	86
(그림 5.27) 벽지재료 포름알데히드 방출시험 결과	87
(그림 5.28) 벽지재료 TVOC 방출시험 결과	87
(그림 5.29) 액상재료 포름알데히드 방출시험 결과	88
(그림 5.30) 액상재료 TVOC 방출시험 결과	88
(그림 6.1) 실내공기질에 영향을 미치는 인자	89
(그림 6.2) 마감재에 따른 대상 오피스텔의 포름알데히드 방출결과	92
(그림 6.3) 마감재에 따른 대상 오피스텔의 TVOC 방출결과	93
(그림 6.4) 베이크 아웃 기간 동안의 온습도 변화	94
(그림 6.5) 베이크 아웃 전후의 포름알데히드 농도변화	95
(그림 6.6) 베이크 아웃 전후의 TVOC 농도 변화	95
(그림 6.7) 베이크 아웃 전후의 6가지 VOCs 농도 변화	96

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 1970년대 이후 급속한 경제성장과 산업화, 인구의 도시 집중으로 인해 환경문제가 야기되고 있으며, 특히 공기의 오염 문제는 국민의 건강을 위협하는 환경문제로 국가정책의 최우선 순위로 다루어져야 한다.

건축물 내부의 실내공기환경은 문제가 더욱 심각하다. 현대인들은 하루 중 80% 이상을 건물 내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보는 매우 중요하다. 건축물 부분에서는 그 동안 에너지절약 설계 및 시공에 따른 건물 기밀화와 단열 강화에 따른 환기부족 등으로 실내 공기관리여건은 점점 더 악화되고 있다.

최근 신축건물에서 원인을 알지 못하는 빌딩증후군이 많이 발생하는데, 이는 상대적으로 환기량이 부족한 한정된 실내공간에서 각종 건축자재 등에서 발생하는 오염물질이 계속적으로 순환되면서 그 농도가 증가될 때 나타나는 현상이다. 많은 사람들이 밀폐된 건물 내에서 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등을 호소하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)현상은 재실자의 건강을 크게 위협하고, 생산성과 능률의 저하를 초래하고 있다.

또한, 건축공사에는 많은 종류의 건축자재와 내장재료가 사용되고 있으며, 특히 화학기술의 발달로 복합재료로 구성된 건축재료들의 사용이 증가하고 있다. 복합재료 중에는 다량의 오염물질을 함유하고 있고 대부분 포름알데히드(Formaldehyde) 및 휘발성 유기화합물질(VOCs: Volatile Organic Compounds)의 오염원이 실내공기로 서서히 방출하여 실내환경 오염의 주요 요인이 되고 있다. 그러나 이러한 특성에 대해서는 전혀 고려되지 않은 채 건축자재의 선정과 시공이 이루어지고 있는 실정이다¹⁾.

1) 오염물질 방출 건축자재 선정관련연구, 환경부, 2003, pp.1

최근 친환경건축자재 및 환경인증제도에 대한 요구가 증가하고 있다. 영국, 미국, 캐나다 등의 구미선진국과 일본 등에서는 건물의 인증제도의 성공적인 시행과 관련하여 실내의 마감재료의 오염물질 방출특성과 이에 따른 천연자재, 무독성 건축재료의 개발을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 유럽공동체와 핀란드에서는 건축자재의 오염물질 방출강도의 특성을 활용하여 실내환경, 마감재료에 대한 분류규정을 제정하여 설계지침으로 활용하고 있다. 이러한 추세로 볼 때 앞으로는 건축자재에 대한 오염물질의 방출특성이 매우 중요한 사항으로 부각될 것이며, 무공해(Non-Toxic) 건축자재의 활용이 확대되고 건축계획 및 시공과정에서의 건축자재 선정의 기준으로 활용될 것으로 판단된다.

국내의 경우, 건축자재로부터 방출되는 오염물질의 방출농도의 평가와 실내공간에 미치는 영향 평가가 매우 미흡한 실정이며, 무독성의 새로운 건축자재에 대한 개발 역시 미비한 상태이다. 따라서 건축자재로부터 방출되는 오염물질의 특성과 실내공간에 미치는 영향을 조사·분석하고, 이에 대한 합리적인 대책마련이 시급히 요구된다. 오염물질에 대한 건축자재의 분류작업을 통한 데이터베이스 구축과 이를 활용한 설계지침, 유지관리방법 등을 제시하기 위한 체계의 구축이 필요하다. 이를 위하여 국내에서 생산되는 건축자재의 성능평가, 건축자재의 DB화, 국제적 표준화 추구를 통해 새로운 건축자재의 개발을 유도하여야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 포름알데히드 및 휘발성유기화합물의 오염물질을 대상으로 하여 신축공동주택의 오염실태와 오염물질 방출특성을 파악하고, 실내공기질에 영향을 줄 수 있는 대표적인 건축자재에 선정하여 오염물질 방출량을 평가하고자 한다. 또한 최근 실내공기오염물질 저감 방안으로 제시되고 있는 친환경자재 및 신소재 건축자재등으로 시공된 신축공동주택을 선정하여 오염물질 저감효과를 분석하고자 한다. 그리고 이를 기초로 하여 쾌적한 실내공기환경의 개선을 위한 대안을 마련하고자 하였다. 향후 관련연구 수행시의 기초자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 실내 공기환경 및 대상 실내오염물질에 관한 이론고찰부분, 신축공동주택(아파트 및 오피스텔)의 오염실태 파악을 위한 현장실측부분, 각종 자재에서 발생하는 오염물질 방출량 측정을 위한 자재실험부분, 그리고 실내마감재 및 Bake-Out에 따른 오염물질 저감량 실험등으로 나뉘며 이를 통한 공동주택의 실내공기환경 개선 방안 도출부분의 순으로 진행되었으며 각 단계별 내용과 방법은 다음과 같다.

(1) 실내 공기환경 및 실내오염물질에 관한 이론 고찰

실내 공기 오염물질의 인체에 미치는 영향 및 국내외 기준치와 최근 발표 문헌을 통해 고찰함으로써 신축공동주택에 실내공기환경의 문제점을 제시하고 실내공기환경 개선을 위해 실내 오염물질에 대한 정량적인 평가의 필요성을 확인하였다.

(2) 신축공동주택(아파트, 오피스텔)의 오염실태 파악을 위한 현장실측

일반자재로 마감된 신축공동주택을 선정하여 오염실태를 파악하기 위한 현장실측을 수행하였다. 또한 준공 후 7년 경과된 기존공동주택을 대상으로 신축공동주택과의 오염물질 저감 정도를 비교하였다. 또한 단위 세대에서 밀폐 시간동안의 오염물질의 축적과정을 확인하였으며, 기계환기 시스템이 도입된 신축공동주택에서는 환기로 인한 실내 오염물질 저감효과를 분석함으로써 현실적인 개선방안을 마련하기 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

(3) 건축자재에서 발생하는 오염물질 방출량 평가를 위한 챔버 시험

건축자재별 오염물질의 방출량을 평가하기 위해 공정시험법에 의거한 항온항습조 및 소형챔버를 자체 제작하여 실험실 측정을 실시하였다. 국내·외에서 생산되는 건축자재(가구재료, 벽지, 바닥재료, 액상재료)의 오염물질 방출량 평가를 위해 챔버실험을 실시하였다.

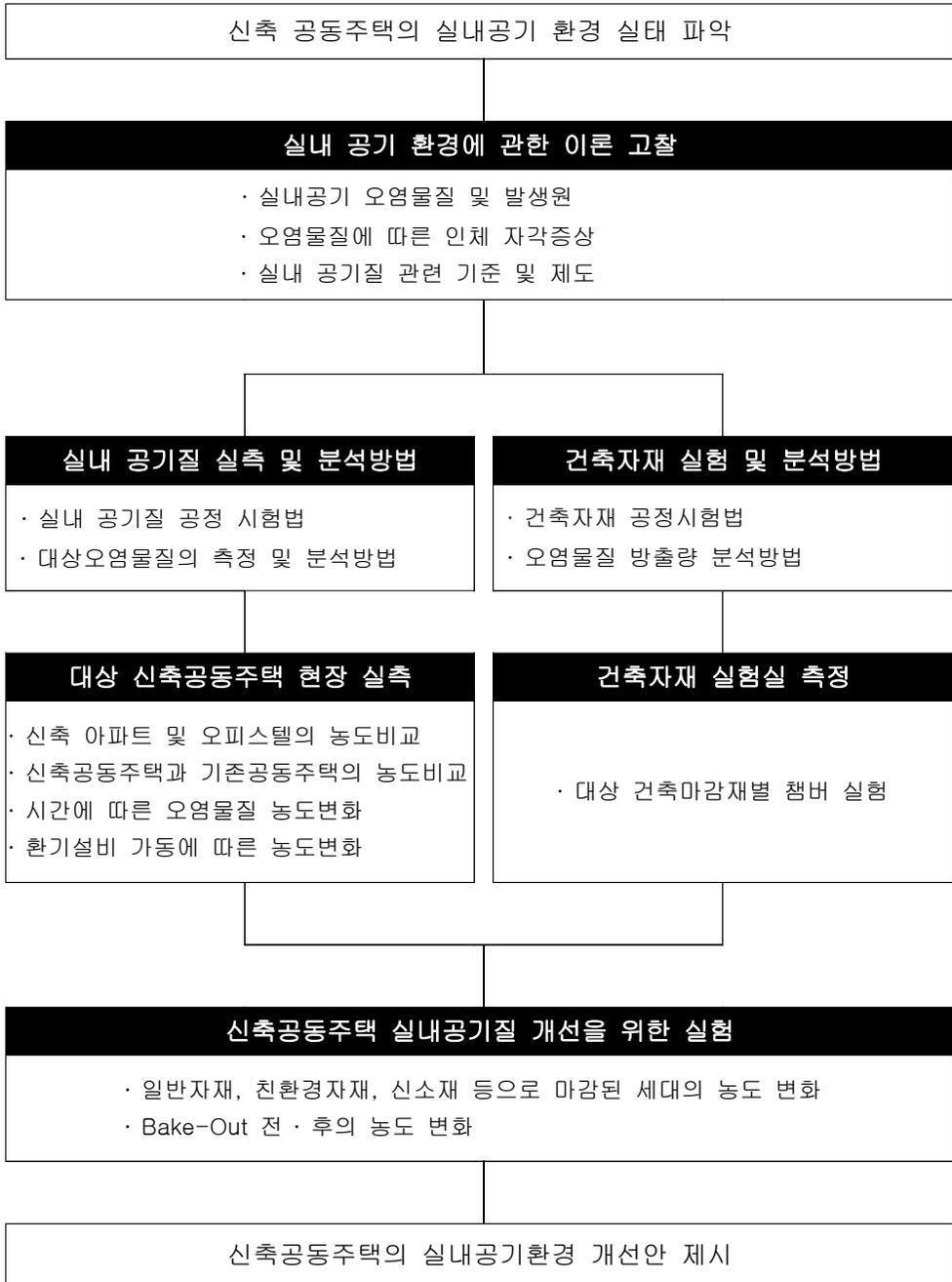
(4) 실내마감재 및 Bake-Out에 따른 실내오염물질 농도변화

일반자재 마감, 친환경자재 마감, 각종 신소재 마감등으로 마감된 동일한 조건의 세대를 선정하여 실내공기오염물질의 저감정도를 분석하였다. 또한 Bake-Out을 실시하여 전·후의 농도변화를 분석함으로써 실내공기오염물질 저감 및 개선방법을 도출하고자 하였다.

(5) 신축공동주택의 실내공기환경 개선안 제시

이상 본 연구에서의 일반 신축공동주택(아파트 및 오피스텔)의 실측·평가를 통해 신축공동주택의 오염상태를 확인하였다. 또한 건축자재 오염물질 방출량 실험을 통해 방출특성을 확인하였으며 각종 마감재의 종류와 Bake-Out에 따른 오염물질 저감효과를 정리하여 신축공동주택에서 건강하고 쾌적한 실내공기환경을 조성하기 위한 현실적 개선방향을 제시하였다.

본 연구의 흐름도는 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구의 흐름도

1.3 연구의 범위

본 연구는 신축공동주택의 실내공기환경을 개선하기 위한 방법의 일환으로 신축공동주택 및 친환경자재, 신소재로 마감된 신축공동주택을 선정하여 실측·분석의 방법으로 이루어졌다.

실내오염물은 대표적으로 호흡으로부터 발생하는 CO₂를 비롯하여 각종 구조재와 마감재로부터 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs), 포름알데히드(HCHO), 라돈(Rn)등 수없이 많지만 본 연구에서는 최근 빌딩증후군과 관련해서 인체에 미치는 영향이 비교적 많은 휘발성유기화합물(VOCs) 및 포름알데히드(HCHO)로 하였으며 다른 물질로 인한 실내공기오염은 연구의 범위에서 제외하였다.

또한 현장측정은 실내공기질 공정시험방법에 의거 채실자가 주로 거주하는 공간으로 거실 및 주침실의 중앙부, 오피스텔에서는 실의 중앙부에서 측정하였다. 실험실 측정(Small Chamber)를 이용하여 각 공간의 주요 마감재료에서 발생하는 오염물질의 발생강도를 정밀 분석하였으나 신축공동주택에서 사용되는 모든 마감재료의 방출량을 분석하는 것은 현실적으로 어려움에 따라 본 연구에서는 대표적인 가구재, 벽지, 바닥재료, 액상재료등의 건축자재를 선정하여 오염물질 방출량 정도를 실험하였다.

1.4 국내외 연구동향

1) 국내

신축공동주택의 실내공기환경 측정에 관한 연구는 증가하는 건물증후군에 대한 인식의 증가로 1990년대 이후 환경부를 주축으로 하여 많은 연구가 이루어지고 있으며 건축자재로부터의 오염물질 발생량에 관한 실험도 다수 이루어져 왔다. 최근 환경부에서는 2004년 2월부터 4월까지 전국 주요도시의 신축 1년 이내 공동주택 총 90가구를 대상으로 포름알데히드와 4종의 휘발성유기화합물(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌) 등 총 5종의 오염물질에 대하여 조사하였는데 조사 결과에 따르면 아토피성 피부염, 천식 등 “새집증후군”의 주요 원인인 「포름알데히드」 농도가 조사대상 총 90개소의 46.7%인 42개 지점에서 일본 권고기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 것으로 나타났으며, 조사대상의 평균농도도 105.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일

본 권고기준을 초과하였고, 가장 높게 측정된 지점은 $308.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준의 3배를 초과하는 등 실내공기 오염이 심각한 것으로 조사됨에 따라 그간 논란이 되었던 “새집증후군”의 실체를 공식적으로 확인하였다.

이윤규²⁾ 등은 공동주택의 포름알데히드 농도특성을 분석하기 위한 실측을 실시하여 온열환경과 물리적 환경에 따른 오염물질 방출특성을 분석하였다.

건축자재에 대해서 김신도³⁾ 등은 소형 챔버를 이용하여 온도와 상대습도, 환기량 등을 고려한 후 5종류의 건축자재를 대상으로 시간의 경과에 따른 VOCs와 포름알데히드의 방출특성을 조사하였다. 윤동원⁴⁾ 등은 자재 실험을 통해서 건축재료의 오염물질 방출특성을 정리하였다. 박진철⁵⁾ 등은 콘크리트, 석고보드, 진흙, 운모, 페인트 등을 대상으로 난방시와 비난방시 단위표면적에서 발생하는 VOCs와 포름알데히드의 농도를 측정하였다.

2) 외국

실내공기질에 대한 규정 또는 규제는 실내에서 발생하는 각종 오염에 대한 인체의 영향이 과학적으로 점차 규명되면서 선진국을 중심으로 지속적으로 진행되고 있다. 1970년 초 실내공기질의 중요성이 구미 각 국에서 대두되기 시작하면서 실내공기오염의 측정평가, 측정기구 개발 등 실내공기오염에 대한 수많은 연구가 진행중이다. 특히, 선진국을 중심으로 각 실내오염물질에 대한 기준치 설정 및 관리 기술개발에 심혈을 기울이고 있다.

미국의 경우 실내공기오염에 관한 연구수행을 위하여 기관 및 학회가 속속 발족하였는데 미국 정부에서는 EPA(Environmental Protection Agency)에 적절한 투자와 지원을 통하여 실내공기오염 및 이에 관한 유해평가 등의 연구를 실시하고 있다⁶⁾. 또한, NIOSH(National Institute for Occupational Safety), OSHA

2) 김윤신 외, 실내외 공기중 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제9권 제 4회, 1993, pp.310~390.

3) 김신도 외, 가구에서 발생하는 VOCs와 Formaldehyde의 방출특성에 관한 연구, 한국대기보전학회 추계학술대회논문집, 2001, pp.163~164.

4) 윤동원 외, 건축재료의 오염물질 방출특성에 관한 고찰, 그린빌딩세미나(1회), 그린빌딩기술연구회, 1998,

5) 건축재료에서의 실내공기오염물질 발생강도에 관한 측정연구, 대한건축설비학회지, 장간호, 제1권 1호, pp.125~137, 1998.6

6) U. S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Carcinogen Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment, 1986

(Occupational Safety and Health Administration) 등을 통하여 작업 환경 및 비작업환경에 관하여 인체영향을 근거로 하여 각 실내오염물질에 대한 기준치 설정 등을 위하여 각종 조사 활동 및 연구를 수행하여 왔다. 특정유해물질에 관한 연구도 NAS(National Academy of Science)등 각 기관에 의해 연구되어지고 있다⁷⁾.

실내 환기의 국제적 연구동향은 실내의 공기를 재순환시키는 과정에서 실내오염을 얼마나 저감시키는가에 초점을 맞추어 연구되고 있다. 특히, 미국 및 유럽에서는 난방 및 냉방시스템을 통한 실내공기 정화방법과 실내 거주자들의 건강을 보호하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 모델링을 통한 실내 환기량을 예측하여 실내오염을 저감시키는데 노력을 기울이고 있다. 향후 새롭게 대두될 실내 공기 오염물질로는 미국 환경청에서 수행한 TEAM(Total Exposure Assessment Methodology) Study의 결과에서 중요성이 제안된 바 있는 총 휘발성유기화합물(TVOC: Total Volatile Organic Compound)과 건축자재에서 나오는 오염물질 등을 들 수 있다.

외국은 실내 오염물질을 비롯하여 신축 건축물의 시공시 건축자재에서 발생하는 VOCs에 대한 연구 활동은 국내와는 다르게 오래전부터 많은 관심을 보이고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다. 외국은 건축자재에서 발생하는 VOCs에 대해 TVOC의 개념을 많이 사용하고 있으며 연구의 분야 또한 매우 다양하다.

최근에 들어서는 새로운 실내공기환경의 평가지표 및 기준에 대한 논문과 VOCs를 비롯한 주요 오염물질이 인체에 미치는 영향과 이의 저감방안에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 그리고 CFD등을 이용한 건축물 내에서의 실내공기 유동 및 오염물질의 이동패턴 등에 대한 수치해석 연구도 상당한 진전을 보이고 있는 실정이다.

7) Markus Reitzig et al., VOC Emissions after Building Renovations : Traditional and Less Common Indoor Air Contaminants, Potential Sources, and Reported Health Commplains, Indoor Air 2/98, Vol 8, No 2, pp.91~102.

제 2 장 실내공기환경 및 실내공기오염물질에 관한 이론 고찰

본 장에서는 실내공기 오염물질의 인체에 미치는 영향 및 국내의 기준치를 문헌을 통해 고찰함으로써 신축공동주택에 실내공기환경의 문제점을 검토하고 실내공기환경 개선을 위해서 실내의 오염원과 오염물질 발생량의 정량적인 평가의 필요성을 확인하였다. 또한, 표준화된 정량적 평가방법에 대해 소개 하였다.

2.1 실내공기 오염 및 발생원

실내공기오염이란 다양한 실내공간에서 공기가 오염된 상태를 말하는데, 그 원인은 내부와 외부로부터의 매우 복잡한 오염원에 의해 야기되며, 또한 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아니더라도 분명히 건강에 영향을 미치고 있는 것으로 나타나고 있다.

현대인들은 하루 중 90% 이상을 실내에서 생활하고 있고, 실내에서 발생하는 오염물질은 인체에 많은 영향을 미치고 있어, 실내오염 물질에 의한 피해정도는 실외에 비해 매우 크다고 할 수 있다. 최근 산업의 발달에 따라 대기오염문제는 더욱더 복잡하고 다양해졌으며, 실내오염문제 또한 심각한 문제로 대두되고 있다⁷⁾. 실내오염의 발생원으로는 연소과정, 실내에서의 흡연, 오염된 외부공기의 실내유입 등이 있으며, 신축공동주택의 경우는 건축물의 기밀화와 고단열화를 위해 사용되는 내장재와 바닥의 소음 저감을 위해 사용하는 카펫 등의 건축자재로부터 수많은 유해화학물질이 발생되고 있다. 또한, 건축물의 유지와 관리 등 일련의 과정에 사용되는 방향제, 목재 보존제, 왁스 등도 실내오염의 중요한 발생원이다. 이러한 실내오염물질은 사람들의 호흡기와 순환기에 영향을 미치며, 특히 VOCs 중의 일부 물질은 발암성을 내포하고 있다. 실내에서 발생하는 주요 오염물질의 발생원은 아래와 같다.

8) 환경부, 실내공기질 공정시험방법 도출 연구 중간보고서 환경부, 2003, pp.24

<표 2.1> 실내오염물질의 발생원

오염물질	주요 발생원
먼지, 중금속	대기 중 먼지가 실내로 유입, 실내 바닥의 먼지, 생활활동 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일 등
담배연기 (각종가스, HC, PAHs, 먼지 등)	담배, 쉐련, 파이프 담배 등
연소가스 (CO, NO ₂ , SO ₂ 등)	각종 난로, 연료연소, 가스렌지 등
라돈	흙, 바위, 지하수, 화장암, 콘크리트 등
포름알데히드	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감 등
미생물성물질 (곰팡이, 박테리아, 바이러스, 꽃가루 등)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 애완동물
휘발성유기화합물 (벤젠, 톨루엔, 스틸렌, 알데히드, 케톤 등)	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 세탁소, 의복, 방향제, 건축자재, 왁스 등
악취	외부 악취가 실내로 유입, 체취, 음식물의 부패 등
오존	복사기기, 생활용품, 연소기기

WHO에서는 WHO와 유럽연합(EU)이 공동으로 작성한 “공기질의 가이드라인”을 기초로 1997년 Expert Task Force회의에서 공기질의 가이드라인(Guideline For Air Quality)을 작성하였다. 이 중에서 실내공기질에서는 주요한 오염물질과 발생원을 정하였으며, 오염물질의 발생원에서는 실외, 실내·실외, 실내의 3분류로 구분하였다. <표 2.2>는 WHO와 EU가 정한 주요 오염물질과 발생원이다.

<표 2.2> WHO와 EU에서 정한 실내공기오염의 주요 오염물질과 발생원

구 분	주요 오염물질	발 생 원
실 외	SO ₂ , SPM/RSP	연료의 연소, 용광로
	O ₃	광화학반응
	화분(꽃가루)	나무, 풀, 잡초, 식물
	Pb, Mn	자동차
	Pb, Cd	공업배출
	VOCs, PAH	석유화학제품, 불완전연소의 연료에서의 증발작용
실내 · 실외	NO _x , CO	연료의 연소
	CO ₂	연료의 연소, 대사작용
	수증기	생물적 활동, 연소, 증발
	VOCs	휘발작용, 연료의 연소, 도료, 대사작용, 살충제, 방향제
	포자	균류
실 내	라돈	나무, 건축재료, 물
	포름알데히드	절연재료, 가구, 담배연기
	석면	난연성 물질, 절연재료
	NH ₃	대사작용
	PAH, As	담배연기
	VOCs	접착제, 용제, 요리, 화장품
	먼지	방향제, 도료, 수은 함유제품
	알레르기	애완용 동물의 털, 진드기
미생물	전염병	

2.2 실내공기 오염물질 및 인체에 미치는 영향

실내공기 오염물질 중 본 연구에서 다루고 있는 포름알데히드(HCHO)와 휘발성유기화합물질(VOCs)의 이론고찰⁸⁾으로써, 대상 오염물질의 특징 및 인체에 미치는 영향에 대해서 정리하였다.

2.2.1 포름알데히드(HCHO) 특징 및 인체에 미치는 영향

포름알데히드(HCHO)는 자극성 냄새(냄새역치 : 0.8ppm)를 갖는 가연성 무색 기체로 인화점이 낮아 폭발의 위험성이 있으며, 살균 방부제로 이용되고 물에 잘 녹아 40% 수용액을 포르말린이라고 한다. 포름알데히드는 화학적으로 반응성이 큰 환원제로 많은 물질과 결합하여 쉽게 중합체를 형성하기 때문에 젤라틴, 아교 등과 같은 단백질과 결합하여 응고시킨다. 또한 살균제나 방부제로 사용되고 피혁제조나 사진 건판, 폭약 등의 제조에 이용되며, 베클라이트와 같은 석탄계, 요소계, 멜라민계 합성수지 제조 등 공업용으로도 널리 사용된다.

포름알데히드의 배출원으로는 자연발생과 인공발생으로 나눌 수 있다. 포름알데히드의 자연발생은 대기 중의 탄화수소가 산화되어 생성되는 것으로 죽은 수목이 분해되거나 관엽식물에서 방출되는 화학물질의 변환으로 생성된다. 인공발생은 포르말린, 합판, 합성수지, 화학제품 등의 제조공장, 소각로, 유류, 천연가스 등의 연소시설 등에서 발생된 대부분이 공기비를 산출할 수 없는 개방된 공장에서 발생되며, 촉매 변환기가 없는 자동차의 배기가스에 의해서도 방출된다. 대기 중에서의 농도는 10~100ppb 정도로 존재하는데 비메탄계 탄화수소로 메탄의 대기 중에서 산화와 소각에 의해 발생되기도 한다. 포름알데히드는 광화학 스모그 형성의 중요한 인자로 작용한다는 점에서 중요하게 다루어지고 있다.

실내 발생원으로는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 우레아수지폼 단열재(Urea Formaldehyde Foam Insulation : UFFI)나 섬유옷감, 실내가구의 칠, 난방연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등을 들 수 있다. 따라서 실내에서의 포름알데히드 농도는 신축 건물에서 높게 나타내며 조리, 벽난로, 기타 난로(heater) 등에서도 방출된다. 건축자재에서 발생된 포름알데히드는 건축자재의 수명, 실내온도 및 습도에 따라 그 방출량이 영향을 받으며 일반적으로

8) 환경부, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구 최종보고서, 2002, 20~21

반감기는 4.4년으로 추정되고 있다.

실내에서 포름알데히드 농도는 온도와 습도, 건축물의 수명, 실내 환기율에 따라 크게 좌우된다. 또한, 포름알데히드는 실내공기오염의 주요 원인물질로 일반 주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 우레아수지폼(Urea Formaldehyde Foam Insulation : UFFI)과 실내가구의 칠, 가스난로 등의 연소과정, 접착제, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등에 의해 발생된다.

1981년 Schenke 등의 보고서에 따르면 우레아폼을 단열재로 사용한 주택에 살고 있는 주민을 조사한 결과, 오랫동안 포름알데히드에 폭로되었을 경우 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 유발하고 동물실험에서는 폐수종, 비염의 증상이 있는 것으로 나타났다. 포름알데히드에 반복하여 노출될 경우 눈, 코 및 호흡기도에 만성 자극을 일으키며 눈꺼풀에 염증을 유발시키는 것으로 알려지고 있다.

포름알데히드와 같은 알데히드류와 케톤 등의 카르보닐화합물은 보건학적인 측면에서 노출시 눈과 피부에 영향을 주며 발암성, 독성물질로 알려져 있다. 이 중 포름알데히드의 인체에 미치는 영향은 독성 정도에 따라 흡입, 흡수, 피부를 통한 경로로 침투되고, 이 중에서 흡입에 의한 독성이 가장 강하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 포름알데히드는 그 농도가 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이며, 동물 실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다⁹⁾. <표 2.3>은 포름알데히드가 인체에 미치는 영향을 보여주고 있다.

9) 이지호, 실내 알데히드류 노출 요인 및 건강자각 증상관련 연구, 연세대학교 보건대학원, 2000, pp.30~35

<표 2.3> 포름알데히드(HCHO)의 인체 위해성

농도(ppm)	인 체 영 향
0.1~5	눈의 자극, 최루성, 상부기도의 자극
1 또는 그 이하	눈, 코, 목의 자극
0.25~5	기관지천식이 있는 사람에게서 심한 천식발작
10~20	기침, 폐의 압박, 머리가 무거움, 심장박동이 빨라짐
50~100	폐 체액의 집적, 폐의 염증, 사망 입으로 마실 경우, 구강, 목, 복부의 맹렬한 고통, 구토, 설사, 현기증, 경련, 의식불명

2.2.2 휘발성유기화합물(VOCs) 특징 및 인체에 미치는 영향

휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs)은 수많은 유기화합물의 총칭으로 발생원이 매우 다양하며 각 나라마다 VOCs에 대해 조금씩 다르게 정의하고 있다. VOCs는 상온, 상압에서 액체상이나 고체상으로 존재할 수 있지만 대기 중에서는 가스상으로 존재하는 모든 유기화합물질로 정의할 수 있으며, 20℃에서 760torr(101.3Kpa)보다는 작고 1torr(0.13Kpa)보다 큰 증기압을 가지는 모든 유기화합물질이라고 할 수 있다. 또한, 탄화수소류 중 레이드 증기압(Reid Vapor Pressure : RVP)이 10.3 Kpa(1.5 psia) 이상인 석유화학제품, 유기용제 또는 기타 물질로 정의되고 있다.

미국의 EPA에 의하면 VOCs는 일산화탄소, 이산화탄소, 탄산, 금속성 탄산염 및 탄산 암모늄을 제외한 탄소화합물로서, 대기 중에서 태양광선에 의해 질소산화물(NOx)과 광화학적 산화반응을 일으켜 지표면의 오존농도를 증가시켜 스모그 현상을 일으키는 유기화합물질로, 벤젠, 톨루엔, 프로판, 부탄, 헥산 등 광화학 반응성이 에탄보다 큰 318종의 물질과 이들 물질이 포함된 진증기압(True Vapor Pressure : TVP)이 1.5psia 이상인 석유화학제품 및 유기용제 등을 말하며, 메탄, 에탄, 메틸클로라이드, 메틸클로르포름, 클로르플로르탄소류 및 퍼플로르탄소류 등과 같이 광화학반응성이 낮은 화합물은 제외하고 있다.

유럽에서는 레이드 증기압이 27.6kPa(4.01 psia)이상 되는 석유류 제품(첨가제 유

무에 무관)중 액화석유가스를 제외한 물질들로 산업체에서 많이 사용되고 있는 용매와 화학 및 제약공장, 플라스틱의 건조공정에서 배출되는 유기가스 등으로 저비점 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물과 같이 우리 생활주변에서 흔하게 사용되는 탄화수소류를 말한다. 또한, 방향족 탄화수소나 할로겐화 탄화수소 등 인체에 유해한 영향을 주는 독성학적인 측면과 olefin계 탄화수소는 광화학 반응을 일으키는 전구물질로서 중요성을 갖고 있으며, 성층권의 오존층 파괴와 지구온난화에 영향을 미치는 물질로 설명하고 있다.

일본에서는 탄소화합물중 일산화탄소, 이산화탄소, 탄산 등 염류를 제외한 유기화합물질(단, 메탄은 제외)로 원유, 가솔린, 나프타 및 항공터빈연료유 4호(JP-4)의 원유 등 석유제품을 말하며, 이외의 물질로는 단일물질은 비점이 1기압에서 섭씨 150℃ 이하인 물질과 혼합물질은 1기압에서 5퍼센트 유출점이 섭씨 150℃ 이하인 물질을 말한다. 일산화탄소, 이산화탄소, 탄산 및 그 염류, 메탄, 에탄, 트리클로로에탄 및 트리클로르트리플로르에탄 등 광화학반응성이 없는 물질은 제외하고 있다.

휘발성 유기화합물은 물질의 존재 상(Phase)의 형태에 따라서 휘발성(Volatile), 반휘발성(Semi-Volatile), 비휘발성(Non-Volatile)으로 구분하며 증기압이 10⁻² KPa 이상을 VOC's, 10⁻²~10⁻⁸KPa을 SVOC's, 10⁻⁸KPa 이하를 NVOC's로 분류한다. 또한, WHO에서는 비등점에 의해 고휘발성(Very Volatile), 휘발성(Volatile), 반휘발성(Semi-Volatile), 고형상태(POM)로 구분하며, 비등점이 0℃~(50℃-100℃)의 경우 VVOC's, (50~100℃)~(240~260℃)를 VOCs, (240-260℃)~(380-400℃)를 VOCs, 380℃ 이상을 POM(Particle-bond Organic Compounds)으로 분류하고 있다. <표 2.4>에는 EPA Method TO-14에서 규정한 40여종의 독성 VOCs들을 나타내었다.

<표 2.4> 미국환경청 TO-14A에서 규정된 독성 VOCs

	Compounds (synonym)	Formular
1	Freon 12 (Dichlorodifluoromethane)	Cl ₂ CF ₂
2	Methyl chloride (Chloromethane)	CH ₃ Cl
3	Freon 114 (1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane)	ClCF ₂ CCLF ₂
4	Vinyl chloride (chloroethylene)	CH ₂ =CHCl
5	Methyl bromide (bromoethane)	CH ₃ Br
6	Ethyl chloride (chloroethane)	CH ₃ CH ₂ Cl
7	Freon 11 (trichlorofluoromethane)	CCl ₃ F
8	Vinylidene chloride (1,1-dichloroethane)	C ₂ H ₂ Cl ₂
9	Dichloromethane (methylene chloride)	CH ₂ Cl ₂
10	Freon 113 (1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane)	CF ₂ CICCl ₂ F
11	1,1-Dichloroethane (ethylidene chloride)	CH ₃ CHCl ₂
12	cis-1,2-Dichloroethylene	CHCl=CHCl
13	Chloroform (Trichloromethane)	CHCl ₃
14	1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	ClCH ₂ CH ₂ Cl
15	Methyl chloroform (1,1,1-trichloroethane)	CH ₃ CCl ₃
16	Benzene	C ₆ H ₆
17	Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	CCl ₄
18	1,2-Dichloropropane (propylene dichloride)	CH ₃ CHClCH ₂ Cl
19	Trichloroethylene (Trichloroethene)	ClCH=CCl ₂
20	cis-1,3-Dichloropropene (cis-1,3-dichloropropylene)	CH ₃ CCl=CHCl
21	trans-1,3-Dichloropropene (trans-1,3-dichloropropylene)	ClCH ₂ CH=CHCl
22	1,1,2-Trichloroethane (vinyl trichloride)	CH ₂ ClCHCl ₂
23	Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃
24	1,2-Dibromoethane (ethylene dibromide)	BrCH ₂ CH ₂ Br
25	Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)	Cl ₂ C=CCl ₂
26	Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl
27	Ethyl benzene	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅
28	m-Xylene	1,3-(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄
29	p-Xylene	1,4-(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄
30	Styrene (vinyl benzene)	C ₆ H ₅ CH=CH ₂
31	1,1,2,2-Tetrachloroethane	CHCl ₂ CHCl ₂
32	o-Xylene	1,2(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄
33	1,3,5-Trimethylbenzene (mesitylene)	1,3,5-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₆
34	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₆
35	m-Dichlorobezne (1,3-dichlorobenzene)	1,3-Cl ₂ C ₆ H ₄
36	Benzyl chloride	C ₆ H ₅ CH ₂ Cl
37	o-Dichlorobenzene (1,2-dichlorobenzene)	1,2-Cl ₂ -C ₆ H ₄
38	p-Dichlorobenzene (1,4-dichlorobenzene)	1,4-Cl ₂ -C ₆ H ₄
39	1,2,4-Trichlorobezne	1,2,4-trichlorobenzene
40	1,1,2,3,4,4-Hexachloro-1,3-butadiene	C ₄ Cl ₆

휘발성유기화합물(VOCs)의 발생은 주유소, 저유시설, 산업체, 매립지, 하수정화시설 등에서의 인위적인 배출과 자연적으로 습지 등 혐기성 조건하에서 박테리아의 분해를 통해서 메탄이 생성되어 배출된다. 실내에서의 VOCs 발생원으로는 건축자재와 마감재료, 건물의 유지관리용품(청소용, 각종 세척제 등), 소모성 재료(복사기의 토너), 연소과정의 물질, 재실자의 활동, 외부공기 등으로 구분할 수 있다.

실내에서 VOCs 의 농도가 증가하는 주요 원인을 건축자재와 시공의 측면에서 보았을 때 복합화학물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급과 시공과정에서 노무비의 절감과 숙련공의 부족으로 인한 공법의 변화로 많은 양의 접착제 사용을 들 수 있다. 대부분의 건축자재에서는 시공 후 초기단계에 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간의 경과에 따라 방출량이 점차로 감소된다.

연소과정에서의 방출은 실내에서 연소기구를 사용하는 경우나 담배의 흡연도 실내공기오염의 주된 요인이 된다. 또한, 가스나 등유를 사용하는 연소기구, 난로와 같은 개별 난방기구에 연통이나 배기구가 설치되어 있지 않은 경우에 연소가스와 함께 각종 오염물질을 직접 실내로 방출하게 된다.

인체로부터 방출되는 VOCs 물질은 알코올 성분, 알데히드, 케톤, 톨루엔, 페놀 등 12종류 이상이 포함되어 있으며, 그 중에서 메탄(74mg/인·일)과 아세톤(51mg/인·일)이 가장 많이 방출되고 있다. 또한, 화장품, 향수 등의 사용도 실내 VOCs 의 발생원으로 작용하고 있다. 실내에서 발생하는 VOCs 물질과 발생원은 <표 2.5>와 같으며, 주요 건축자재에서 발생하는 오염물질은 <표 2.6>와 같다.

<표 2.5> 실내에서 발생하는 VOCs 물질과 발생원

VOCs 물질	주요 발생원
벤젠	연기, 세척 및 청소용품, 페인트 제거제, 접착제, 파티클 보오드
디클로로벤젠	방향제, 증약
펜타클로로벤젠	목재보존제, 곰팡이제거제, 제충제
부틸아세테이트	락커
톨루엔, 자일렌	페인트, 바닥용 왁스, 니스, 염료착제, 등유용 난방기구, 벽지, 코킹 및 실런트 제품
스틸렌	담배연기, 코킹제, 발포형 단열재, 섬유형 보오드

<표 2.6> 건축재료 및 제품에서 방출되는 VOCs

재료/제품	방출되는 주요 유기용제
라텍스 코킹제	메틸에틸케톤, 부탄올, 벤젠, 톨루엔
바닥접착제	데칸, 언데칸, 디메틸벤젠
침보드	포름알데히드, 아세톤, 벤잘데히드, 벤젠
Moth crystals	p-디클로 벤젠
Floor wax	데칸, 언데칸, 디메틸옥탄, 에틸메탈벤젠
목재 착색제	데칸, 메틸옥탄, 디메틸노난, 트리메탈벤젠
라텍스 페인트	부탄올, 에틸벤젠, 프로필벤젠, 톨루엔
가구 광택제	디메틸헥산, 트리메틸헥산, 트리메틸헵탈, 에틸벤젠
폴리우레탄 바닥마감	데칸, 언데칸, 부탄올, 에틸벤젠, 디메틸벤젠
공기청정제	데칸, 언데칸, 에틸헵탄, 치환된 방향족

VOCs의 인체영향으로 벤젠은 호흡을 통해 약 50%가 인체에 흡수되며, 아주 작은 양이지만 피부를 통해 침투되기도 한다. 체내에 흡수된 벤젠은 주로 지방조직에 분포하게 되며, 급성중독일 경우 마취증상이 강하게 나타나며 호흡곤란, 불규칙한 맥박, 졸림 등을 초래하여 혼수상태에 빠진다. 만성중독일 경우 혈액장애, 간장장애, 재생불량성 빈혈, 백혈병을 일으키기도 한다. 톨루엔 또한 호흡에 의해

주로 흡입되고 피부, 눈, 목안 등을 자극하며 피부와 접촉하면 탈지작용을 일으키기도 한다. 또한 두통, 현기증, 피로 등을 일으키며 고농도에 노출될 경우 마비상태에 빠지고 의식을 상실하며 때로는 사망에 이르기도 한다. 자일렌에 의해서는 성장장애, 태아독성영향, 임신독성 등의 영향을 받는다.

2.3 국내외 실내공기오염의 관리체계 및 관련 기준

다음은 국내외 실내공기오염의 관리체계를 고찰하고 오염물질의 관리현황과 관련 기준을 정리하였다.

2.3.1 국내외 실내공기질 관리체계

1) 국내의 관리체계

국내 공기질에 대한 관리는 실내의 공기로 구분되어 관리되고 있으며, 실외공기는 환경부의 대기환경보전법에 의해 관리되고 있으나 실내공기질은 5개 부처에서 나누어 관리하고 있다.

건설교통부에서는 터널, 지하선로, 지하연결통로 등에 대해 적절한 조명 및 환기 설치를 명하고, 교육부에서는 학교와 학원의 환기, 채광, 조명, 온도, 습도 등에 의한 조절과 유지·관리를 명하고 있으나, 건설교통부와 교육부 모두 환기, 조명, 온도, 습도 등에 대한 구체적인 관리기준을 제시하고 있지 않아 실질적으로 관리가 제대로 되지 않고 있는 실정이다. 노동부는 근로자의 건강과 안전을 위하여 작업장에서의 환기, 채광, 조도, 온도 등에 대한 적당한 조절을 제시하고 있다.

보건복지부는 과거의 공중위생법하에서 공중이용시설에 대한 실내공기질의 위생적 관리를 위하여 7개 항목의 기준을 제시하고, 공중위생감시원과 위생관리 담당자 및 검사기관까지 지정하였으나 현재의 공중위생관리법하에서는 공중위생감시원, 위생관리검사제도 등이 폐지되어 있는 상태이다. 환경부는 지하생활공간공기질의 적정관리를 위하여 7개의 규제기준으로 정하고 있으나 적용대상 시설이 지하역사와 2,000㎡이상 지하도상가로 한정되어있는 실정이다.

정부부처에서의 실내공기질 관리는 1986년 5월에 보건복지부(공중위생법)에서 공중이용시설에 대한 실내공기질의 위생적 관리를 위해 7개항목(먼지, 일산화탄소,

이산화탄소, 기류, 온도, 습도, 조명)에 대한 위생관리기준을 정한 것을 시작으로 1992년 6월에 건설교통부(건축설비 기준법)에서 환기설비에 공급되는 공기질의 관리를 위하여 보건복지부의 공중이용시설에 대한 기준과 유사한 5개 항목(먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 습도)에 대한 관리기준을 정하였다. 1996년 12월에 환경부(지하생활공간공기질관리법)에서는 지하역사, 지하도 상가를 대상으로 먼지, 황산화물, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물, 포름알데히드, 석면, 라돈, 카드뮴, 크롬, 비소, 구리, 납, 수은 등 14개 물질을 오염물질로 규정하였고 이 중에서 7개 항목(먼지, SO₂, NO₂, 일산화탄소, 이산화탄소, 포름알데히드, 납)에 대하여 관리기준을 설정하였으며, 오염물질 측정의 정확성과 통일성을 기하기 위하여 지하공기질 공정시험방법을 고시하고 있다. 현재 건설교통부의 건축설비기준은 폐지된 상태이며, 보건복지부의 공중위생법은 1999년 2월에 공중위생 관리법으로 개정되어 1999년 8월부터 시행되고 있다. <표 2.7>은 여러 부처로 분산되어 관리되고 있는 국내의 실내공기질의 관리형태를 나타낸 것이다.

<표 2.7> 국내 실내공기질 관리업무 현황

	관리대상시설	관 련 법
환경부 대기보전국 생활공해과	<ul style="list-style-type: none"> · 지하역사 · 지하상가(지상건물에 부속된 지하층 시설 제외) 	<ul style="list-style-type: none"> · 지하생활공간 공기질 관리법(1996)
보건복지부 건강증진국 질병관리과	<ul style="list-style-type: none"> · 사무용 건축물 및 복합건물 · 공연장, 체육시설, 결혼식장 · 지하상가(지하생활공간공기질 관리법 적용대상 시설 제외) 	<ul style="list-style-type: none"> · 공중위생관리법 (1999)
건설교통부 주택도시국 도시관리과	<ul style="list-style-type: none"> · 터널 · 주차장 · 지하연결통로 	<ul style="list-style-type: none"> · 도로의 구조, 시설에 관한 규칙(1999) · 지하도로시설기준에 관한 규칙(1987) · 주차장법
교육부 교육자치 지원국 특수교육 보건과	<ul style="list-style-type: none"> · 학교 · 학원(공중위생관리법 적용 대상 제외) 	<ul style="list-style-type: none"> · 학교보건법 (1967) · 학원의 설립, 운영에 관한 법률시행령 (1995) · 특수학교시설, 설비 기준령(1992)
노동부 산업안전국 산업보건 환경과	<ul style="list-style-type: none"> · 작업장 	<ul style="list-style-type: none"> · 산업안전보건법 (1997)

2) 외국의 관리체계

외국의 실내공기질에 대한 관리는 우리나라와는 달리 특정한 기관에서 전담하고 있으며, 각종 생활환경 및 건축물에 대한 적당한 기준을 설정하기 위하여 일반생활환경과 노동환경에서의 작업환경기준치를 설정하고 있다. 실내환경기준을 설정하기전에 실내오염물질에 대한 위해성 평가분석 등 다양한 연구가 진행되고 있으며, 실내환경기준의 설정 시 실내공간의 특성상 특정한 실내공간에 대한 기준치를 설정하기에는 무리가 있어서 위해성이 강한 오염물질을 우선순위로 정하여 권고치와 기준치를 설정하거나 계획하고 있다.

가. 미국

미국 환경청(US EPA)에는 12국이 있고 12국 중 대기 및 방사선국 안에 6개의 과가 있으며, 6개과 중에서 방사선 및 실내공기국(ORIA : Office of Radiation and Indoor Air)에서 실내 오염물질과 방사선 노출로 인한 일반시민과 환경을 보호하고 있다. 실내공기국(ORIA) 안의 실내환경과(IED : Indoor Environments Division)에서는 정부의 실내공기질 정책 및 프로그램 개발과 다양한 정책평가, 실내오염물질들의 영향에 대한 연구, 실내오염분야의 발전 및 정책 기구의 결정 등 실질적인 실내환경업무를 수행하고 있는 것을 볼 수 있다.

나. 독일

독일 연방산하 부서로 환경부가 있으며 환경부는 3개의 청으로 나누어지고 이 중에서 환경청은 5개의 부서로 나누어지는데 5개의 부서 중 Subject Area II에서는 환경연구, 환경질의 목표 관리와 위생관리, 쾌적한 온열조건 유지 및 관리의 업무를 수행하고 있으며 위생관리 업무와 실내공기질을 관리하고 있다.

다. 덴마크

환경보호부(MEE : Ministry of Environment and Energy)는 6개의 과와 3개의 위원회로 되어있으며, 환경보호청(EPA)에서 실내공기의 오염에 대한 관리를 담당하고 있다. 덴마크의 실내환경협회는 건물재료와 인테리어 재료들이 실내환경에 영향을 미친다는 점을 중시하여 실내환경인증(Indoor Climate Labeling : ICL)을 실시하고 있다. 또한, 덴마크를 비롯하여 서구의 환경선진국에서는 실내공기질에 영향을 미치는 실내오염원의 제어를 위하여 건축자재와 설비의 기준을 강화하였으

며 VOCs, PAHs, Radon, HCHO, 석면등과 같은 물질의 실내 배출원을 엄격히 통제하기 위해 노력중이다.

라. 캐나다

실내공기오염관리는 작업장 및 주거지의 실내공기질 관리지침에 따라 관리하도록 하고 있다. 발암물질과 비 발암물질로 나누어 관리하고 있으며, 생물학적인 오염원과 기타 먼지, 담배연기 등을 포함한 권고기준을 두고 있다. 기준치의 설정과 관리에 있어서 역학조사와 임상실험, 동물실험 결과에 대한 연구와 평가에 기초하여 기준치를 설정하고 있다. 노출권고치에 언급된 항목으로는 알데히드류, 이산화탄소, 일산화탄소, 포름알데히드, 이산화질소, 오존, 먼지, 이산화황, 라돈, 액적 등이다.

마. 영국

환경과 건설, 교통부가 하나로 통합되어 있으며, 환경건설교통부내의 환경과는 실내오염에 대한 측정 및 감시연구 등을 전담하고 있다. 건설과에서는 주민의 생산성을 높이기 위한 실내공기질 관리를 위해 단계적으로 목표와 평가지표를 설정하고 있다. 이처럼 영국은 부내에 통합된 업무들이 각 과별로 나누어져 이루어 지므로 교류와 연계가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 실내공기질에 관한 내용 중 건강유해 오염물질은 일산화탄소, 이산화질소, 이산화황, 담배연기, 휘발성유기화합물, 입자상물질, 자연발생의 라돈 등이 있다.

바. 일본

후생성을 비롯하여 5개의 부서에서 실내공기질에 대해 관여하고 있으며, 각 부서마다 다른 전문분야와 독립적인 업무를 추진하고 있으나 부서간에는 비공식적으로 유대관계를 가지고 있다. 실내공기질의 관리는 이들 5개의 부서 중에서 후생성이 주도하고 있으며, 후생성은 실내공기질의 지침서(Guideline)를 개발하였고 실내공기질의 VOCs의 측정과 분석방법을 제공하였다. 이러한 지침서는 실내공기질관리에 기본을 제공하는 가장 중요한 도구로 쓰인다. 또한, 후생성은 실내공기오염, 전염병과의 관계에 대한 조사를 수행하고 더 나아가 빌딩증후군(SBS : Sick Building Syndrome)에 대해 의학적인 처리와 진단관련 연구를 진행하고 있다. 농림수산부(MAFF)와 통상성(MITI)에서는 화학제가 적은 새로운 자재 개발에 주력하고 있다. 실내공기질관리에 대한 지침은 법에 근거를 두고 있지는 않지만

건축가들에게 실내오염에 대해 규제하는 것과 유사하다.

빌딩증후군위원회(Committee on Sick House Syndrome)에서는 실내오염물질인 폼알데히드, Toluene, Xylene, p-dichloro benzene과 다른 VOCs 물질의 측정과 분석방법에 대한 지침을 언급하고 있다.

2.3.2 국내외 실내공기환경 관련 기준

국내에서는 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 보건복지부와 건축법 시행규칙에서 규정하고 있고, 작업장 환경은 노동부에서 기준을 정하여 관리하고 있으며, 대기환경기준은 1978년 정해진 환경보전법에서 규정하고 있다. 국내의 실내공기환경 기준이 보건복지부에서 정한 공중위생법과 건축법 시행규칙에 정해져 있으나, 단지 CO 10ppm, CO₂ 1,000ppm, 부유분진 0.15mg/m³ 등의 기준치만 설정되어 있으며, 지하환경에 대한 가이드 라인이 참고로 있을 뿐이다. 그러므로 일반 시내에서는 의학적인 면에서 제정된 노동환경의 허용치를 사용하지 않고, 개략적으로 단순치 노동환경의 1/10~1/100 정도를 취하는 것이 보통이었다.

건축법 시행령 제51조에 의하면 “환기를 위하여 거실에 설치하는 창문 등의 면적은 그 거실바닥면적의 1/20 이상이어야 한다. 다만, 건설부령이 정하는 바에 의하여 위생에 지장이 없는 환기장치를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다”라고 규정되어 있다. 그러나 이 규정은 여러 가지 제약조건이 충족되었을 때 효과가 있으므로 개정의 여지가 있다고 한다.

국내의 경우에도 국내자료를 바탕으로 에너지 측면에서의 최대환기 제한과 건강을 유지하기 위한 최소환기가 적절하게 유지될 수 있는 기준이 제시되어야 할 것이다. 국내의 실내공기환경 기준은 <표 2.8>와 같다.

선진국의 실내공기환경 기준은 미국을 비롯해 유럽국가들을 중심으로 잘 정비되어 있다. 현재 국제적으로 단일화된 기준은 없으며 각 나라별로 기준이 다소 차이는 있으나 오염물질별로 큰 차이는 없다. 그러나 한 가지 유의할 점은 국제적으로 측정방법 및 분석방법에 대한 일정한 기준이 없어 각종 측정사례를 비교할 때, 연구마다 측정방법이 상이하고 분석방법이 달라 측정된 결과 및 기준을 각 나라별로 절대 비교하는 데는 한계가 있다는 것이다. 그러나 현재 EPA, ISO 등에서 통일된 측정법을 정하여 기준이 통일되고 있는 추세에 있다. 공기질 기준은 일반적으로 대기(외기), 일반 실내환경, 작업환경으로 구분하여 설정하는 경향

이 있는데, 그 이유는 각각의 환경적 특성에 따라 오염물질의 발생특성과 재실자에 미치는 영향 정도가 다르기 때문이다. 국외의 주요 국가별 실내공기환경기준은 <표 2.9>와 같다.

<표 2.8> 국내의 실내공기환경(IAQ) 기준

항 목		실내환경기준 (건축법시행규칙 /공중위생법)	지하생활공간 공기질관리법 (환경부,1996)	대기(환경부 환경정책기본법, 1993)	작업환경(노동부 산업안전보건법, 1997)**
포름알데히드 (HCHO)		-	1ppm (일평균)	-	1ppm(TWA)
휘발성 유기 화합물	톨루엔	-	-	-	100ppm(TWA)
	크실렌	-	-	-	100ppm(TWA)
	아세톤	-	-	-	750ppm(TWA)
	벤젠	-	-	-	10ppm(TWA)
온도(DBT)		17~28℃	-	-	-
습도(RH)		40~70%	-	-	-
기류속도		0.5m/s	-	-	-
부유분진 (TSP)		150 μ g/m ³	150 μ g/m ³ * (일평균)	TSP 150 μ g/m ³ (연평균) 300 μ g/m ³ (일평균) PM10 80 μ g/m ³ (연평균) 150 μ g/m ³ (일평균)	오염물질의 종류별로 기준치 설정
일산화탄소 (CO)		10ppm	25ppm (8시간 평균)	9ppm(8시간 평균) 25ppm(1시간 평균)	50ppm(TWA)
이산화탄소 (CO ₂)		1000ppm	1000ppm (1시간 평균)	-	5000ppm(TWA)
이산화질소 (NO ₂)		-	0.15ppm (1시간 평균)	0.06ppm(연평균) 0.08ppm(일평균) 0.15ppm(1시간 평균)	3ppm(TWA)
이산화황 (SO ₂)		-	0.15ppm (1시간 평균)	0.03ppm(연평균) 0.14ppm(일평균) 0.25ppm(1시간 평균)	2ppm(TWA)
오존 (O ₃)		-	-	0.06ppm(8시간 평균) 0.1ppm(1시간 평균)	0.1ppm(TWA)
석면 (Asbestos)		-	-	-	0.2개/cc(청석면:TWA) 0.5개/cc(갈석면:TWA) 2.0개/cc(백석면:TWA)
라돈 (Radon)		-	4pCi/ℓ	-	-
중금속	Pb	-	-	-	0.05 μ g/m ³ (TWA)
	Cu	-	-	-	1.0 μ g/m ³ (TWA)
	Hg	-	-	-	0.05 μ g/m ³ (TWA)
	Cd	-	3 μ g/m ³ (일평균)	1.5 μ g/m ³ (일평균)	0.05 μ g/m ³ (TWA)
	Cr	-	-	-	0.5 μ g/m ³ (TWA)
	AS	-	-	-	0.2 μ g/m ³ (TWA)

* 미세먼지(PM10)에 대해서는 99년 12월31일까지는 24시간 평균치 250 μ g/m³ 이하를 적용하고, 2000년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지는 24시간 평균치 200 μ g/m³ 이하를 적용

** 산업안전보건법 제42조 및 동법 시행규칙 제93조 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준 (노동부 고시 제1997-65호)

<표 2.9> 국외의 주요 국가별 실내공기환경(IAQ) 기준

오염물질	실내환경	대기환경	작업환경
포름알데히드 (HCHO)	100ppb(ASHRAE) 400ppb(미국 HUD) 81ppb(WHO Europe) 100ppb(스웨덴 신축주거)	-	1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 2ppm(ACGIH, STEL) 2ppm(일본 산업위생학회)
휘발성 유기화합물 (VOCs)	0.2~0.6mg/m ³ (핀란드 FISIAQ) TVOC(SCANVAC) AQ1 200µg/m ³ AQ2 500µg/m ³	-	벤젠 10ppm(OSHA-TWA) 0ppm(NIOSH-TWA) 10ppm(ACGIH_TLV) 0.63ppm(EPA) 톨루엔 200ppm(OSHA-TWA) 100ppm(NIOSH-TWA) 100ppm(ACGIH_TLV) 21ppm(WHO) 크실렌 100ppm(OSHA-TWA) 100ppm(NIOSH-TWA) 100ppm(ACGIH_TLV)
일산화탄소 (CO)	10ppm(일본건축기준법 및 빌딩위생관리법) 20ppm(일본학교위생기준) 8.6ppm(WHO Europe 8시간 평균) 25ppm(WHO Europe 1시간 평균) 51ppm(WHO Europe 30분 평균) 86ppm(WHO Europe 15분 평균)	9ppm (EPA 8시간 평균) 35ppm(EPA 1시간 평균)	50ppm(OSHA-TWA) 50ppm(일본산업위생학회) 10ppm(일본사무소위생기준, 노동안전위생법)
이산화질소 (NO ₂)	0.21ppm(WHO Europe 1시간 평균) 0.075ppm(WHO Europe 24시간 평균)	0.065ppm(EPA 1시간 평균)	3ppm(ACGIH, TLV-TWA) 5ppm(ACGIH, STEL) 5ppm(일본 산업위생학회)
오존 (O ₃)	0.05ppm(ACGIH 8시간 평균) 0.03ppm(뉴질랜드 8시간 평균) 0.08ppm(WHO Europe 8시간 평균) 0.1ppm(WHO Europe 1시간 평균)	0.12ppm(EPA 1시간 평균) 0.06ppm(일본대기환경기준 1시간 평균)	0.1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 0.3ppm(ACGIH, STEL) 0.1ppm(일본 산업위생학회)
라돈 (Radon)	4pCi/ℓ (EPA 주택) 2.7pCi/ℓ (WHO Europe) 2.9pCi/ℓ (스웨덴 주택)	=	=
이산화황 (SO ₂)	0.12ppm(WHO STEL 1시간) 0.18ppm(WHO STEL 15분)	0.03ppm(EPA 연평균) 0.14ppm(EPA 24시간평균) 0.5ppm(EPA 3시간평균) 0.04ppm(일본대기환경기준 1시간평균)	2ppm(ACGIH, TLV-TWA) 5ppm(ACGIH, STEL) 5ppm(일본 산업위생학회)
부유분진 (TSP)	0.15mg/m ³ (일본건축기준법 및 빌딩위생관리법) 0.1~0.12mg/m ³ (WHO 8시간평균)	0.075mg/m ³ (EPA 평균) 0.26mg/m ³ (EPA 24시간)	0.15mg/m ³ (일본사무소위생기준)
이산화탄소 (CO ₂)	1000ppm(일본건축기준법) 920ppm(WHO Europe) 1000ppm(ASHRAE)	-	1000ppm (일본사무소위생기준) 5000ppm(OSHA-TWA) 5000ppm(일본산업위생학회)
석면 (Asbestos)	-	0.01개/cc(일본 대기환경)	0.1개/cc(OSHA-PEL) 2개/cc(일본 산업위생학회)

스웨덴, 노르웨이, 핀란드, 덴마크의 연합체로 구성된 HVAC, 에너지, 건축환경, 의학 등을 전문으로 하는 학회인 SCANVAC에서는 휘발성유기화합물에 대한 실내공기환경의 농도에 대해 3단계(AQ1, AQ2, AQx)로 구분하여 제시하고 있으며, <표 2.10>과 같다.

<표 2.10> SCANVAC의 포름알데히드 및 TVOC 농도기준

구 분	노출시간	최대허용농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		AQ1	AQ2	AQx
TVOCs	0.5hr	200	500	*
HCHO	0.5hr	50	100	*

단, * 는 필요에 따라 정함

최근 제정된 국내의 실내공기질공정시험방법에서는 신축공동주택에서의 측정대상 오염물질을 포름알데히드(HCHO)와 벤젠(benzene), 톨루엔(toluene), 에틸벤젠(ethylbenzene), 자일렌(xylene), 디클로로벤젠(1,4-dichlorobenzene), 스티렌(styrene)의 6가지 휘발성유기화합물질로 규정하고 있으며, 6가지 휘발성유기화합물질의 양을 합하여 TVOC(Total Volatile Organic Compounds)로 나타내고 있다.

현재 국내에는 공동주택에서의 포름알데히드와 휘발성유기화합물질의 기준이 제시하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 포름알데히드의 경우는 미국냉동공조공학회(ASHRAE)의 100ppb를 기준으로 적용하였고, TVOC의 경우는 SCANVAC AQ2 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기준으로 적용하였다.

2.4 건축자재와 화학물질 방출 특성

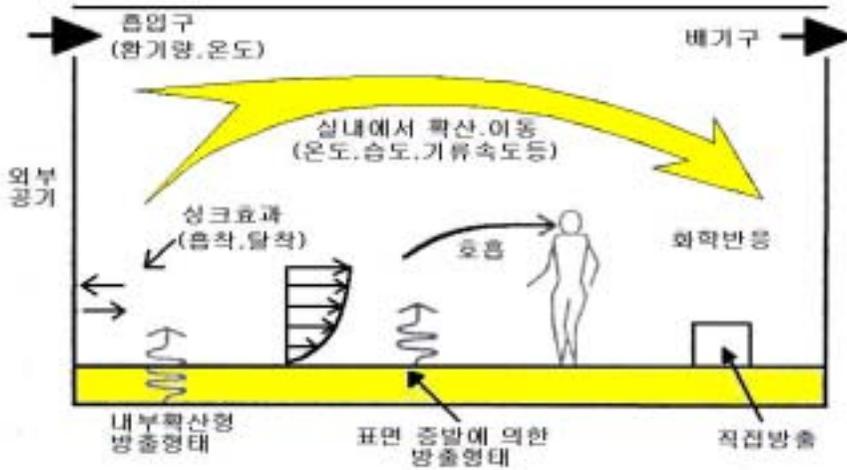
다음은 건축자재에 따른 화학물질에 대해서 정리하고 건축자재에서 방출되는 오염물질의 특성에 대해서 고찰하였다.

2.4.1 건축자재에 따른 화학물질

건축공사에는 많은 종류의 내장재료 들이 사용되며, 소재산업의 기술발달과 더불어 합성재료의 사용이 급격히 증가하고 있다. 합성재료에는 다량의 휘발성 유기화합물질(VOCs)을 함유하고 있어 이들이 실내 공기 중으로 방출되고 있다. 특히 주거용 건물은 동일한 바닥면적을 기준으로 할 때 다른 건물에 비하여 벽체의 내장재료의 사용 면적이 증가하여 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 방출 면적도 증가할 수 있다. 따라서 주거용 건물에 사용되는 주요 내장 재료의 오염물질 방출 특성과 실내공기 오염 정도를 파악하고 이에 대한 제어대책을 마련하여야 한다. 주요 건축자재에 대한 VOCs의 방출강도를 평가하고, 적절한 내장재료의 선정을 위한 기초 자료를 도출하여 건축자재로부터 방출되는 VOCs 물질의 정량적 평가와 제어 대책이 확립되어야 한다.

건축 구조재와 내장재료의 선정에는 근본적으로 그 재료에 포함되어 있는 오염물질의 종류와 방출강도를 평가하여 주택내부의 실내공기질(IAQ: indoor air quality)의 향상을 위하여 적절한 재료를 선정하는 것이 중요하다. 따라서 건축자재의 선정은 물리적인 성능 뿐 만 아니라 화학적 성능을 고려하여 건축재료가 선정되어야 하며, 특히 마감재료로부터 방출되는 화학물질의 성분과 방출기간 등에 관한 기초적인 자료를 마련하여 실내 공기환경에의 영향을 고려한 쾌적한 건물의 설계 및 유지관리 방안이 요구된다.

일반적으로 마감재료의 화학물질 방출 강도는 온도와 습도에 의하여 많은 영향을 받는 것으로 파악되고 있다. <표 2.11> 및 <표 2.12>는 화학물질을 방출하는 주요 건축자재의 종류와 방출 특성, 화학물질의 종류를 나타낸 것이다.



(그림 2.1) 실내 환경과 화학물질 오염인자의 방출

<표 2.11> 건축 공사의 항목별 주요재료

공사 항목	주요재료
구조재료, 외부마감재	RC조, PC등 구조체, 경량기포Conc.(ALC), 목재 보존재, 코킹재, 실런트, 유리창틀, 파티, 가스켓
단열재	단열재, 내화 피복재 음향 재료
냉난방설비	파이프, 덕트 보온재, 덕트 실런트, 냉각수 첨가제, 냉매
내장공사, 마감재료	바닥구조, 바닥재료, 카펫트 및 접착제 비닐계 바닥재, 텍스타일, 합판류(파티클 보오드, 칩보오드, 하드보오드 등)
간막이벽	마감벽지나 직물류, 접착제, 페인트, 목재보존재, 패널류, 합판류
천장 재료	실링타일, 판넬

<표 2.12> 주요 건축자재와 방출오염물질

건축자재	오염원	방출오염물질
단열 자재		
1. 섬유상 단열재 (유리면, 암면)	접착용 수지, 섬유상 물질	aldehydes, ketones, solvents
2. 폴리우레탄단열재	전처리물질, 아민, 발포제(CFC)	FCs(chlorofluoro-hydrocarbons)
3. 스티로폼 단열재	발포제(예, pentane), 스티렌잔유물	
내부 마감자재		
1. 수용성락커, 라텍스	경화제, 솔벤트	texanol, glycols, glycolethers
2. 유성페인트, 락커	솔벤트, Monomers	solvents
3. 카펫 - 부직포	솔벤트, 첨가제 및 보조제, 부직포 처리용 수지	formaldehyde(HCHO)
4. 소나무 목판	목재 추출물	pentanal, hexane pinene, camphene, 3-carene, HCHO etc. (34 components identified)
5. 조각목 바닥재	목재 추출물, 락커, 접착제, 아교	HCHO, solvents, terpenes, aldehyde (12 components identified)
6. 리노륨 바닥재	지방산,	fatty acids, toluene, 3-methylpentanes (16 components identified)
7. 코르크 타일	목재 추출물, 합성수지산	1,2-propandiol, 4-methyldioxalan, HCHO, 2,2,4,6-pentamethyl-heptane (25 components identified)
8. PVC 바닥재료	경화제, 보조제, 솔벤트	TXIB(2,2,4-triethyl-1), 2-ethyl-1-hexanol, aromatic and aliphatic hydrocarbons, phenol(17 - 58 components identified)
9. 고무 바닥재	항산화제, 경화제, 보조제	styrene, isododecene
코킹, 실런트 자재		
1. 실리콘 코킹제	시공시의 아세트산	acetic acid
2. 아크릴 코킹제	솔벤트	solvents,
3. 폴리우레탄	경화제, 솔벤트	solvents
4. 폴리에스테르, 중합 합성콘크리트	폴리에스테르 수지, 스티렌	styrene residue, phtalic acid
기타 건축자재		
1. Chipboard	우레아 포름알데히드 수지	HCHO
2. 접착제, 아교	solvents	2-ethyl-1-hexanol

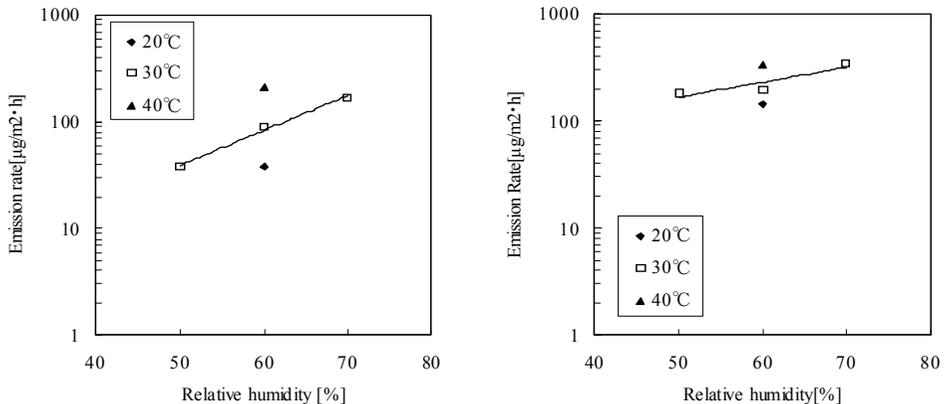
2.4.2 건축자재의 오염물질 방출특성

1) 습도의 영향에 의한 실내의 화학물질 오염

습도는 건축재료에 많은 영향을 미친다. 습도에 의해 건축재료 내부의 물질이 용해되어 표면으로 운반되고 화학반응을 유발하여 오염물질의 방출을 촉진한다. 또한 습도는 인체의 후각에 영향을 주어 높은 습도에서 냄새를 쉽게 감지할 수 있다. 높은 습도에서는 실내의 곰팡이, 세균류의 증식을 촉진하여 미생물에 의한 오염물질인 MVOCs(microbial volatile organic compounds)의 방출을 촉진한다.

2) 온도의 영향에 의한 실내의 화학물질 오염

실내온도의 상승으로 건축재료 내부의 화학물질의 방출을 촉진하게 된다. 온도가 상승하면 휘발성물질의 방출량이 증가한다. 특히 VOCs 물질은 비등점이 상온보다 높기 때문에 건축 자재의 표면으로부터 서서히 실내 공기 중으로 방출하게 된다. 높은 온도에서는 반휘발성 물질(SVOCs)의 방출도 일어나며, 100℃ 이하에서 폴리우레탄 단열재나 PVC 재료와 같이 열에 민감한 자재의 변형이 발생하기도 한다. 200℃ 이상이 되면 고분자 복합화합물로 구성된 건축자재에서 산화와 열분해가 발생하여 알데히드나 케톤 등도 방출한다.



(그림 2.2) 온도/습도 변화에 따른 HCHO 방출농도의 변화

<표 2.13>은 건축자재에서 발생하는 오염물질의 방출특성을 나타낸다¹⁰⁾.

<표 2.13> 건축자재의 오염물질 방출특성

조 건	특 성
자재의 방출물질 조성	오염물질의 함유량이 많을수록 방출량과 방출강도가 높아진다.
함유물질의 수증기압	수증기압이 높을수록 방출량과 방출강도가 높아진다.
자재의 표면적	재료의 방출 표면적이 클수록 방출량과 방출강도가 높아진다.
자재의 두께	재료의 두께에 따라 방출 기간에 영향을 미친다.
오염물질의 함유밀도	밀도가 높을수록 방출량과 방출강도가 높아진다.
표면의 처리상태	재료표면의 처리에 따라 방출강도에 영향을 준다.
자재의 흡착성	흡착성이 크면 오염물질의 흡착한 후에 재방출 비율이 증가한다.

10) 윤동원, 건축재료의 오염물질 방출특성과 공기질 관리방안, 경원대, pp.83~84

제 3 장 실내공기오염물질 및 건축자재 오염물질 방출량 측정방법

본 장에서는 현재 시행중인 실내공기질공정시험방법에 따른 포름알데히드 및 휘발성유기화합물의 분석방법과 현장 측정조건 및 건축자재 오염물질 방출량 시험방법에 관한 내용을 소개하였다.

3.1 대상오염물질 측정 및 분석방법

신축공동주택의 실내공기중에 포함되어 있는 각 오염물질의 최종 농도는 적산 유량의 확인이 가능한 소형흡입펌프를 이용하여 휘발성유기화합물은 Tenax-TA 흡착관을, 포름알데히드는 DNPH 카트리지를 연결하여 신축공동주택의 실내에서 포집하여 산출하였다.

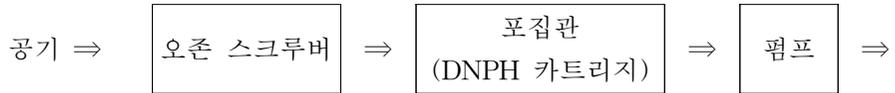
3.1.1 대상오염물질 측정방법

신축 공동주택의 실내공기오염물질의 시료채취는 최근 제정된 실내공기질공정 시험방법을 표준으로 한다. 이 시험방법은 공동주택 실내공기 중에 포함되어 있는 휘발성유기화합물(VOCs)과 포름알데히드(HCHO)의 농도를 측정하기 위한 시험방법이다.

공동주택의 시료 채취 세대의 선정은 100세대를 기본으로 하여 저층부, 중층부, 고층부에서 3개 지점을 측정지점으로 하고, 100세대가 증가할 때마다 1개 지점씩 추가한다. 이때 중층부, 저층부, 고층부 순으로 증가하는 것을 원칙으로 한다.

1) 포름알데히드의 시료채취

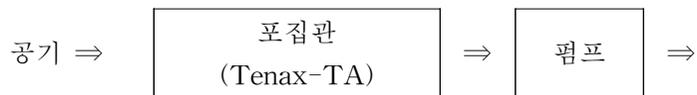
채취장치는 (그림 3.1)과 같이 오존 스크루머, 포집관, 유량계, 펌프 등의 순서로 연결하며, 각 연결은 테프론 튜브를 이용하였다. 오존의 공존은 포름알데히드 포집제의 흡착성능에 영향을 미치므로 오존 스크루머를 장착하여 21ℓ의 공기를 포집하였다.



(그림 3.1) 포름알데히드 시료채취기

2) 휘발성유기화합물의 시료채취

휘발성유기화합물을 채취하기 위한 튜브는 (그림 3.2)와 같이 포집관, 유량계, 펌프 등의 순서로 연결하여 6ℓ의 공기를 포집하였다. 각 연결 부위는 테프론 튜브를 이용하였다.



(그림 3.2) 휘발성유기화합물 시료채취기

(그림 3.3)은 샘플링 펌프와 연결된 포집관 및 온·습도데이터기가 샘플링을 위한 거치대 위에 설치되어 있는 모습이다. 측정위치 및 실측현장, 시료채취 방법은 (그림 3.4) ~ (그림 3.6)과 같다.



(그림 3.3) 시료 채취용 소유량 펌프

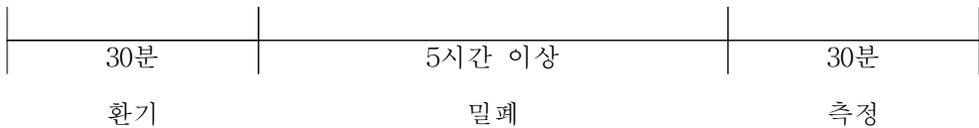


(그림 3.4) 32평형 측정 위치



(그림 3.5) 실측 현장

단위세대에서의 시료 채취는 공동주택 단위세대의 거실 중앙부에서 실시하며, 원칙적으로 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치의 바닥면으로부터 1.2 ~ 1.5m 높이를 기본 측정점으로 한다. 만약, 실내에 자연환기구나 기계환기시스템이 설치되어 있을 경우, 각각의 급배기구로부터 최소 1m 이상 떨어진 곳에서 측정하도록 한다. 공동주택에서의 실내공기질환경의 측정을 위해서는 다음의 조건이 만족되는 경우를 표준적인 측정방법으로 한다.



(그림 3.6) 시료채취 방법

1) 30분 이상 환기

공동주택 단위세대의 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방하고, 이 상태를 30분 이상 지속하여 측정대상 실내공기의 수준을 외부 공기와 같이 유지한다.

2) 5시간 이상 밀폐

외부공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)을 5시간 이상 모두 닫아

실내의 공기의 이동을 방지하였다. 단, 실내간의 이동을 위한 문과 수납가구 등의 문은 개방한다.

3) 30분간 측정

시료 채취는 원칙적으로 30분간 2회 실시한다. 단, 실내에 오염물질이 고농도로 존재하여 포집관의 파손이 일어나거나, 감도의 유지가 어려울 경우에는 시료 채취량의 범위를 만족하는 선에서 측정시간을 변경할 수 있다. 실내에 자연환기구 및 기계환기 시스템이 설치되어 있을 경우, 이를 밀폐하거나 가동을 중단하고 측정을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

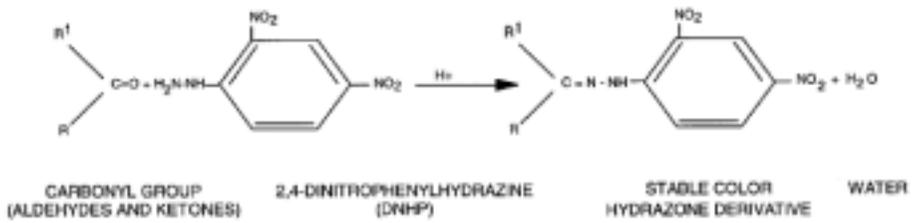
시료채취시의 실내온도는 20℃ 이상을 유지하도록 하고, 환기시스템이 가동하는 경우, 급기나 배기구로부터의 영향을 받지 않는 지점에서 측정한다. 또한 채취시간은 일반적으로 오후 1시에서 5시 사이에 측정하는 것을 원칙으로 한다.

3.1.2 포름알데히드(HCHO) 분석방법

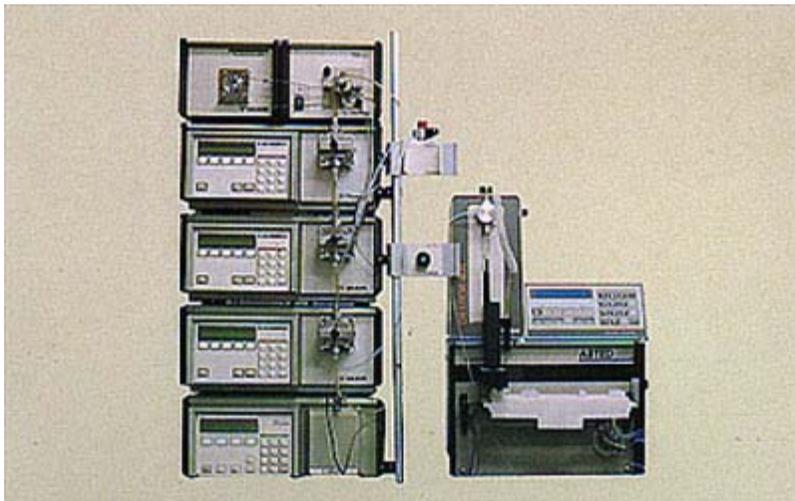
포름알데히드를 분석하는 방법은 포름알데히드를 포함하고 있는 배출가스를 크로모핀산과 아세틸아세톤을 함유한 흡수액에 각각 포집한 후 가온 발색시켜 흡광도를 측정하는 크로모핀산법과 아세틸아세톤법이 있다. 그러나 최근에는 (그림 3.7)과 같은 2,4-DNPH 카트리지를 이용하는 DNPH 유도체화 방법이 사용되고 있다. 현재 이 방법은 ISO 16000-3, EPA METHOD TO-11 그리고 현재 진행 중인 실내공기질공정시험방법에 명시되어 있다. DNPH 유도체화 방법은 대기 중에 존재하는 카르보닐화합물과 DNPH와의 반응에 의해 생성되는 DNPH 유도체를 분석하는 방법으로 시료의 포집시 알데히드뿐만 아니라 케톤과도 반응하여 안정한 유도체를 형성하는 특징이 있다. 카르보닐화합물과 DNPH와의 반응은 (그림 3.8)와 같다. 포름알데히드를 비롯하여 카르보닐 화합물 측정시 방해요인으로는 오존(O₃), 수분, 태양광선 등이 있으며, 측정시 이러한 방해요인을 제거하기 위하여 DNPH-Silica 카트리지 전단부에 KI 결정이 채워진 오존 Scrubber-(Waters, U.S.A)를 장착하여 오존에 의한 방해 작용을 제거하였다. 또한, 태양광선의 영향에 대해서는 알루미늄 호일을 이용하여 카트리지 외부를 감쌌다. 포름알데히드의 분석은 고성능액체크로마토그래피(HPLC)방법이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 (그림 3.9)의 고성능액체크로마토그래피(HPLC)를 사용하였다.



(그림 3.7) 2,4-DNPH 카트리지 (Supelco, U.S.A)와
오존 스쿠루버(Waters, U.S.A)



(그림 3.8) DNPH 유도체화 반응



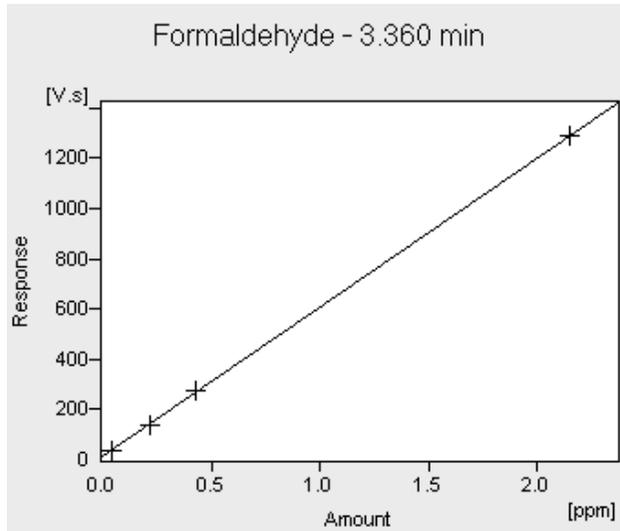
(그림 3.9) 고성능 액체크로마토 그래피 (HPLC)

DNPH-Silica 카트리지에 포집된 시료는 Vacuum Elution Rack(Supelco, U.S.A)에 고정시키고 HPLC-grade Acetonitrile (JTBaker, U.S.A)을 추출용매로 사용하여 Acetonitrile 5ml를 넣은 후 매우 느린 속도로 추출하였다. 추출이 끝난 시료는 즉시 HPLC로 분석하였다.

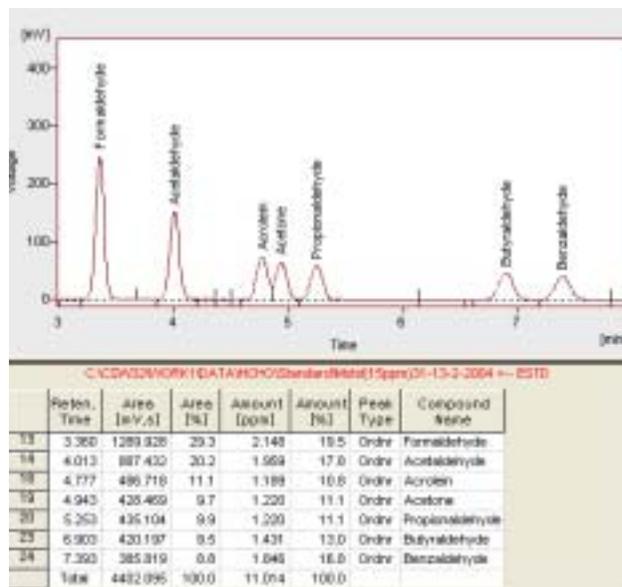
카르보닐 화합물과 DNPH의 반응에 의해 생성된 DNPH 유도체는 자외선 영역에서 흡광성이 있으며 350~380nm에서 최대의 감도를 나타냄으로 UV 검출기를 이용하여 360nm의 파장에 고정시킨 후 분석하였다. 분석에 사용되는 컬럼으로는 Symmetry™ C18 (5 × 250mm, Waters, USA) 컬럼을 사용하였고, 이동상으로는 HPLC-grade Acetonitrile과 Water의 비를 70 : 30로 하였다. 시료의 주입량은 20 μ l, 컬럼온도 25°C, 유량을 1.3ml/min으로 하였고 전체분석 시간은 14분으로 하였다. 이때 포름알데히드의 반응시간(Retention Time)은 3.36 분 이었다. 카르보닐화합물의 정성과 정량을 위하여 7가지 물질 (Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein, Acetone, Propionaldehyde, Butyraldehyde, Benzaldehyde)이 혼합되어 있는 표준용액을 이용하였고, 선형성 평가를 위하여 표준용액을 4단계로 희석하여 사용하였으며, 그 결과 분석대상물질 모두 검량선의 상관계수가 0.9997 이상 이었다.

(그림 3.10)은 포름알데히드의 선형성 평가 및 그에 따른 상관계수를 보여주고 있다. (그림 3.11)은 카르보닐 화합물 7종을 100배 희석하여 크로마토그램으로 나타낸 것이다. 이때 포름알데히드의 양은 2.15 μ g/ml이다.

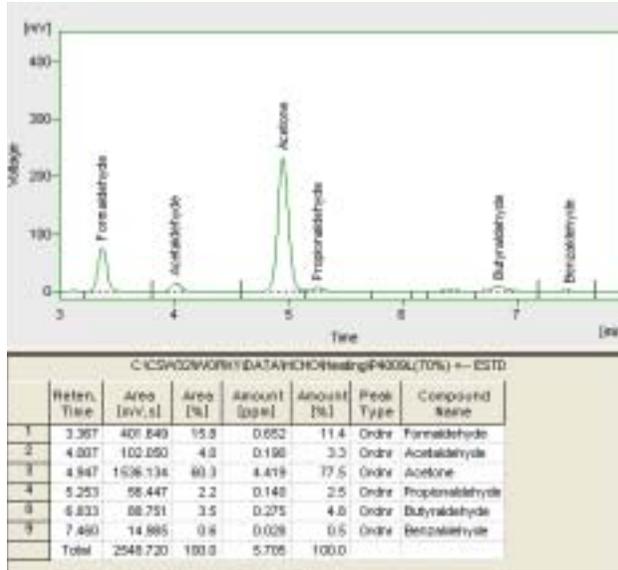
이상의 조건을 바탕으로 측정샘플을 분석한 결과 (그림 3.11)에서 보는바와 같이 카르보닐 화합물 7종 중 Acrolein을 제외한 6종의 물질이 검출 되었다.



(그림 3.10) 포름알데히드의 선형성 평가



(그림 3.11) 표준물질의 크로마토그램



(그림 3.12) 측정샘플의 크로마토그램

3.1.3 휘발성유기화합물(VOCs) 분석방법

대기 중의 VOCs는 ppb 단위의 극히 미량으로 존재하기 때문에 이의 정확한 분석은 일반적으로 수행하고 있는 ppm 수준의 분석에 비하여 보다 정교한 테크닉을 필요로 하고 분석과정에 대한 정확한 이해를 요구한다.

VOCs의 측정방법으로는 미국 EPA Method TO-14, TO-17, ASTM 5116-90 등에 명시되어 있는 바와 같이, Canister 또는 일정한 용기를 이용하는 용기포집법, 흡착제나 흡수액을 이용하여 시료를 포집하는 고체흡착법이나 용매추출법 등으로 구분할 수 있다.

현재 국내의 실내공기질 공정시험방법에는 고체흡착에 의한 열탈착법을 주 시험법으로 인정하고 있으므로, 본 연구에서는 고체흡착에 의한 열탈착법을 사용하였다. (그림 3.13)은 측정에 사용된 흡착튜브이다. 흡착제는 여러 가지가 사용되고 있으며, 아직도 여러 가지의 흡착제가 개발되고 있다. 요즘은 특정 성분만을 선택적으로 흡착할 수 있는 흡착제를 개발하여 분석 효율을 높이는 연구도 수행되고 있다. 일반적으로 Tenax, Carbosieve, Carbotrap 등이 많이 사용되고 있으며, 분석 성분에 따라 SS tube를 사용하기도 하고 glass tube를 사용하기도 한

다. Tenax의 경우는 흡착효율은 다른 흡착제에 비하여 떨어지나 물에 대한 친화력이 작으므로 대기중의 수분으로 인한 영향을 분석시 크게 줄일 수 있는 장점이 있어 많이 사용되고 있다. Sample tube의 흡착제는 사용하기 전에 baking을 하여 condition 후에 사용하여야 한다. 흡착제의 오염이 분석 background에 영향을 주지 않는지 확인 후 사용하여야 한다. 이때 고순도 질소나 헬륨을 통과 시키면서 흡착제의 해당 baking 온도에서 condition을 하면 된다. Condition이 끝난 sample tube는 다시 주변의 오염된 공기가 스며들어 오염이 될 수 있으므로 튜브의 양끝을 Swagelock fitting과 teflon ferrule을 이용하여 단단히 seal한 후에 각각의 tube를 마개가 달린 centrifuge tube에 넣어 이중으로 외부 공기의 유입을 막아야 한다. 측정이 끝난 시료에 대해서는 Tube의 양끝을 Storage Cap으로 막고 Parafilm으로 완전히 밀봉하여 외부 공기와의 접촉을 최소화 하였으며, 4°C의 냉장고에서 분석 전까지 보관하였다.



(그림 3.13) Tenax 튜브 (SUPELCO, USA)

튜브에 농축된 시료는 열에 의하여 탈착하여 GC에 주입이 되는데 약 250도에서 탈착을 시킨다. Tube 주위에 heater를 장착하여 짧은 시간에 탈착이 일어나게 하며 이를 바로 GC에 주입하지 않고 저온에서 다시 focusing한 후에 재 탈착하여 GC에 주입되게 한다.

시료 분석에는 ATD 400(Perkinelmer, U.S.A) 열탈착기와 GC-MSD (Hewlett-packard, U.S.A)를 사용하였다. 분석에 사용되는 컬럼으로는 HP-1 컬럼을 사용하였고, 분석조건으로 오븐의 온도를 초기 40°C에서 10분간 등은 조작 후 5°C/min으로 승온화 한 다음 190°C에서 2분간 지체시키고 총 분석 시간은 42분으로 하였다.



(그림 3.14) 기체크로마토그래피 (GC)

3.2 건축자재시험의 개요

실내공기질을 개선하기 위한 방법으로는 크게 오염원 제거 및 건축자재오염물질 저감 또는 환기에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 이 중 건축자재로 부터의 오염물질 방출량 저감은 직접적이고 효과적이어서 이미 선진국에서는 건축자재로 부터의 오염물질 방출량을 등급화한 건축자재의 품질인증제도(환경 라벨링)를 시행하고 있다.

환경라벨링은 제품에 대한 환경성 정보의 공개 및 전달수단으로서 가장 대표적인 제품중심 환경 정책도구이다. 환경라벨링은 1977년 독일에서 푸른천사(Blue Angel)라는 이름으로 가장 먼저 시작되었으며, 현재 1992년 시작된 우리나라의 환경마크를 비롯하여 유럽 회원국, 일본, 미국 등 전 세계 30여개국에서 이를 도입, 운영 중에 있다. 선진국에서는 이미 건축자재에 대해서도 환경라벨링 국제표준화 규격 제 3 유형인 「환경성적표지규격」 제도를 도입·시행 중인데 그 중 스웨덴은 “Certified Environment Product Declaration” 제도를 1998년 부터 도입하여 ISO/TR14025에 가장 근접한 제도로 운영되고 있을 뿐만 아니라 매년 확대하고 있는 추세에 있다.

우리나라에는 환경부가 관련 법령의 제정, 환경라벨링 대상제품의 선정 등 제도의 전반적인 사항을 관장하고 민간단체인 환경마크협회에서 환경표지 사용 인증, 인증제품의 사후관리 등 실질적인 집행업무를 수행하고 있다. 국내에서 실내 공기중 휘발성유기화합물(VOCs)에 대한 연구가 시작된 것은 그리 오래되지 않

았으며 가정, 사무실, 식당, 공공장소, 지하상가, 백화점 등과 일부 건축자재를 대상으로 실내 VOCs에 대한 연구가 진행되고 있는 것을 볼 수 있다.

VOCs 측정은 Canister를 이용한 용기채취법, 흡착튜브를 이용한 고체흡착법과 용매 추출법, 현장에서 측정과 분석이 동시에 이루어질 수 있는 On-line 방법 등이 있다. 이러한 여러가지 방법중에서 현재까지 국내에서 실내에서의 VOCs 측정은 흡착튜브를 이용한 고체흡착법이 주로 사용되고 있으며, 작업장에서는 Passive Sampler를 이용하여 VOCs의 농도를 측정하고 있다.

3.3 건축자재의 오염물질 방출시험방법

다양한 건축자재의 오염물질(VOCs) 방출성능을 표시하는 건축자재의 환경인증 등에 적용할 수 있는 측정기술의 확립이 요구된다. 건축자재로부터 방출되는 VOCs는 낮은 농도로 서서히 방출되기 때문에 측정 방법에 따라 큰 오차를 나타낼 수 있다. 예를 들어 다음과 같이 측정인자와 조건의 변화에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있으므로 측정방법을 표준화하기 위하여 세심한 주의가 요구된다.

- 측정용 chamber의 재료와 특성(크기, 환기량, 온도/습도 등)
- 흡착재의 종류에 따른 차이
- 샘플링 양과 시간, 샘플링 빈도와 방법
- 측정환경 및 조건(온도, 습도, background 농도)
- 건축자재의 생산 후 경년변화
- 측정시의 conditioning 조건
- 분석방법의 정밀도

실내 공기중의 화학물질의 측정법을 현장에서 측정하는 방법이 있으나 이는 간이방식으로 미량의 화학물질 농도를 정확히 측정하기는 매우 곤란한 방법이다. 일반적으로 포집관을 통하여 현장에서 화학물질을 포집한 후에 농도를 분석하는 방법을 주로 사용하고 있다. 건축자재로부터 방출되는 화학물질을 측정하는 방법은 소재측정법, 테시케이터법, 방출시험 챔버법 등으로 구분할 수 있다.

소재측정법은 건축자재 내부에 포함된 화학물질의 종류와 농도로 표시되고 테시케이터법은 건축자재의 내부에 함유된 물질의 농도를 측정하는 방법으로

일반적으로 실내의 표면에서 방출되는 화학물질의 농도를 측정하는 방법으로는 적절하지 않은 것으로 평가되고 있다. 따라서 최근에는 실내의 표면에서 방출되는 화학물질량을 측정하는 방출농도시험 챔버법이 측정 평가기법으로 많이 사용되고 있으며, 이를 건축자재의 오염물질 방출시험에 적용하는 것이 가장 타당하다.

1) 소재측정법

건축자재를 분쇄하여 그 성분을 측정하는 방법이다. 이 방법은 건축자재를 구성하는 화학물질을 분석하는 방법으로 사용할 수는 있지만, 실내 공기 중에 방출되는 오염물질을 파악하기에는 곤란한 방법이다.

2) 데시케이터법

일본의 JAS(Japanese Agricultural Standard)에서 채택하고 있는 포름알데히드의 방출농도를 측정하는 방법이다. 데시케이터 용량 9~11L 내부의 온도를 일정하게 유지하고 밀폐된 공간에 시험편(15cm×15cm)10매를 위치시키고 HCHO의 포집제로 물에 흡수되어 수용액 상태로 된 것을 일정시간(24시간) 경과 후 아세틸아세톤법에 의한 비색법을 이용하여 농도를 측정하는 방법이다.

다음의 <표 3.1>은 JAS의 합판 규격을 나타내고 있다.

<표 3.1> JAS의 합판의 HCHO 기준

규격	표시기준과 기준치			비고
	표시기준	데시케이터 치(mg/l)		
		평균치	최대치	
JAS	F1	0.5이하	0.7이하	내장재·가구용
	F2	5이하	7이하	구조용합판
	F3	10이하	12이하	사용불허

이 방법은 건축자재의 양면과 측면으로부터 방출되는 농도를 측정하게 되므로 일반적인 실내공간에서의 방출특성과는 차이가 있다. JAS에서는 일반합판, 구조용합판, 특수합판, 복합바닥재료 등에 적용하고 있다. HCHO의 수용액 농도에 의해 재료를 F1, F2, F3로 구분하여 규격을 정하고 있다.

3) 방출시험 챔버법

미국의 ASTM과 유럽연합(ECA)에서는 챔버방식에 의한 규격을 정하고 있다. 챔버는 유리나 스테인레스로 제작되며 대형 챔버법과 소형 챔버법으로 구분하고 있다. 대형 챔버은 가구류 등을 내부에 설치하여 측정이 가능하도록 구성된 것이며, 소형 챔버는 건재표면에 설치하는 방법(FLEC법)과 챔버내부에 재료를 설치하는 방법(Small Chamber)으로 구분하고 있다.

3.4 건축자재 오염물질 측정에 관한 실험 규격

실내에서 발생하는 VOCs는 건축자재, 전자제품, 난방, 취사, 재실자의 흡연 등에 의해 발생되며, 이 중에서 건축자재에서 발생하는 VOCs는 건축자재의 종류, 온도, 습도, 환기량 등에 많은 영향을 받는다. 건축자재에서 발생하는 VOCs와 카르보닐화합물의 방출특성에 대한 연구는 국내의 경우 일부 연구자들에 의해 연구가 시작되고 있으나 아직까지는 미비한 실정이다. 외국의 경우도 측정방법이 명확하게 정립되어 있지 않은 상태이므로 측정과 측정결과에 대한 해석의 차이가 있다. 다음은 외국의 여러 나라에서 HCHO와 VOCs의 측정에 대한 실험규격이다.

- ENV13419-1 : 1999 Building products - Determination of the emission of Volatile organic compounds - Part 1 : Emission test chamber Method
- ENV13419-3 : 1999 Building products - Determination of the emission of Volatile organic compounds - Part 3 : Procedure for sampling, storage of samples and preparation of test specimens
- ASTM D 5116 : 1990 Standard guide for small-scale environmental Chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products
- JIS Z 8703 : 1983 시험장소의 표준상태
- ISO/DIS 16000-3 Indoor air - Part 3 : Determination of Formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method
- ISO/CD 16000-6 Indoor air - Part 6 : Determination of volatile organic compounds in indoor and chamber air by active sampling on Tenax TA, thermal desorption and gas-chromatography MSD/FID

ECA Total volatile organics compounds(TVOC) in indoor air quality

*

1. ENV : European Prestandard, ENV는 완전한 유럽의 규격 EN으로 최종 전환할 때까지 경험과 의견을 수렴하기 위해 기간이 정해진 규격안
2. ASTM : American Society for Testing and Materials
3. ISO/DIS : ISO Draft International Standard
4. ISO/CD : ISO Committee Draft
5. ECA : European Collaborative Action, "Indoor Air Quality and its Impact on Man"

제 4 장 신축공동주택의 실내공기환경 현장 실측

4.1 대상 신축공동주택의 측정개요

본 연구에서 수행한 신축공동주택에서의 공기환경측정은 서울시 및 근교에 위치한 신축 공동주택(아파트 및 오피스텔) 미 입주세대를 대상으로 하였다. 기존 공동주택을 포함, 7개 단지를 선정하여 동절기인 2003년 12월부터 2004년 5월까지 현장실측을 하였다. 현장실측 및 분석은 다중이용시설 등의 실내공기질 공정시험방법¹¹⁾에 의거하였다. 각 단지의 개요는 <표 4.1>와 같다.

<표 4.1> 대상공동주택의 측정 개요

종 류	대 상	단 지	평 형	측정일자
아파트	신 축	봉천 A-1	40 평형	2003. 12.
		봉천 A-2	30 평형	2003. 12
		용산 B	40 평형	2004. 03
	기 존	광명 C	30 평형	2004. 03
오피스텔	신 축	서초 D	10 평형	2004. 02
		선릉 E	10 평형	2004. 05
		분당 F	10 평형	2004. 05

* 근래 공동주택은 고층형으로 그 높이가 다양한다. 본 연구에서는 측정단지마다 저층부는 최저층과 위로 4개층, 중층부는 중간층과 그 위와 아래 2개층, 고층부는 최상층과 그 최상층으로부터 아래의 4개층으로 한정하여 측정하였다.

4.2 신축공동주택(아파트)의 측정 결과

대상 신축아파트 단지의 실측조건 및 포름알데히드, 휘발성유기화합물질의 측정결과는 <표 4.2> 및 <표 4.3>과 같다.

11) 한국건설기술연구원, 실내공기질공정시험방법(안), 2004, pp. 31~35

<표 4.2> 측정대상 공동주택의 실측 조건

종 류	대 상	단 지	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	단지별 세대위치	세대별 측정위치
아파트	신 축	봉천 A-1	29~31	11~35	저/중/고 (각 3세대)	저실/주침실 (2지점)
		봉천 A-2	26~29	17~22		
		용산 B	11~14	51~58		

<표 4.3> 신축공동주택(아파트)의 대상오염물질 측정결과

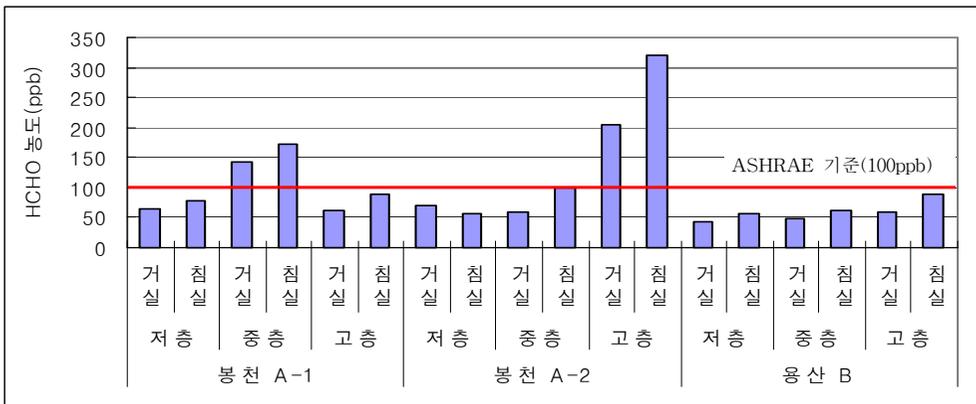
측정 항목	구분	HCHO (ppb)	TVOC (ug/m ³)	VOCs (ug/m ³)						평균 온도 ℃	평균 습도 %		
				벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	스틸렌	디클로 벤젠				
측정 단지	봉천 A-1	저층	거실	64.72	463.60	18.22	273.73	24.27	44.17	62.67	40.53	26.7	16.0
			침실	76.89	-	-	-	-	-	-	-	-	26.8
	중층	거실	141.66	2368.39	19.72	548.57	897.23	791.50	96.12	15.25	28.8	18.5	
		침실	171.24	1970.68	33.92	482.44	476.32	788.65	55.83	133.53	29.6	20.0	
	고층	거실	62.49	2412.33	27.20	496.27	955.43	843.90	43.26	46.28	26.7	22.0	
		침실	87.88	592.20	16.50	246.92	19.43	41.93	39.33	228.08	28.1	27.0	
봉천 A-2	저층	거실	70.81	1472.02	9.84	398.61	368.57	597.23	50.24	47.54	30.4	13.0	
		침실	57.54	1005.26	7.68	341.04	226.26	371.28	26.17	32.83	31.5	12.0	
	중층	거실	59.55	785.16	4.20	204.79	236.01	311.33	16.27	12.56	30.4	14.0	
		침실	100.32	1961.86	20.78	568.39	517.09	731.09	59.28	65.25	31.7	17.0	
	고층	거실	205.07	3852.64	25.61	1531.37	1175.84	977.84	77.37	64.61	30.5	30.0	
		침실	319.36	4991.14	44.48	2619.77	1101.81	899.31	65.08	260.69	31.7	35.0	
용산 B	저층	거실	42.29	3871.88	2.81	3076.94	191.54	591.19	7.25	2.16	11.7	51.5	
		침실	56.62	4139.23	5.96	2941.10	345.54	833.62	11.46	1.56	11.2	55.5	
	중층	거실	48.91	3634.39	3.82	3213.84	103.20	304.93	4.18	4.42	12.5	53.5	
		침실	62.39	5380.87	4.63	4685.91	166.96	507.13	7.78	8.47	11.8	56.5	
	고층	거실	59.50	7936.24	12.17	6692.63	294.26	919.27	15.06	2.86	14.2	51.0	
		침실	88.05	4194.60	10.03	2365.56	601.11	1187.35	27.79	2.76	12.3	58.5	

(그림 4.15)는 신축아파트의 포름알데히드 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 거실과 침실을 포함한 총 18실 중에서 5실에서 ASHRAE에서 제시하고 있는 기준 100ppb를 초과하고 있는 것으로 측정되었다. 봉천 A-1단지 고층세대의 경우는 측정 중에 세대 입주자가 방문하여 거실의 외기와 면한 창을 열고 환기를 하였기 때문이다. 따라서 측정 조건이 유지된 다른 결과에 비해 비교적 낮게 측

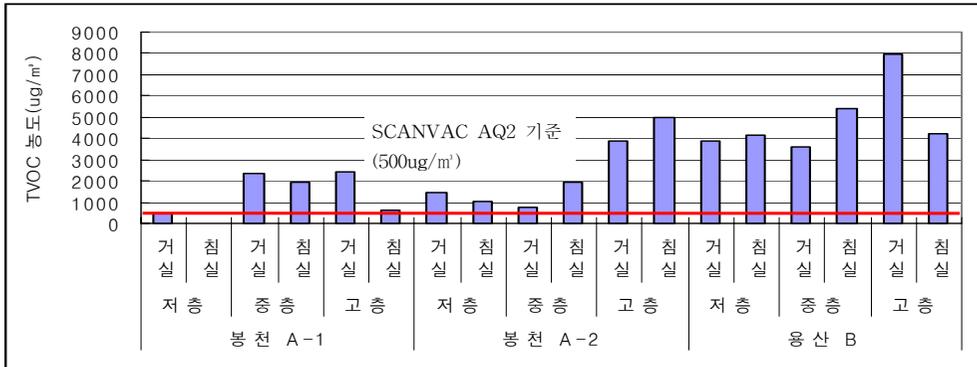
정되었다. 이는 실내의 포름알데히드를 신속히 제거하는데 있어 환기가 큰 영향을 미치는 것임을 반증하는 결과이기도 하다. 봉천 A-1단지 고층세대를 제외하고 대체적으로 저층부보다 고층부에서 포름알데히드 농도가 증가하는 경향이 있는 것으로 파악되었다.

용산 B 단지의 경우 평균 60ppb로 측정세대 모두 ASHRAE 기준인 100ppb를 넘지 않는 것으로 나타났다. 이는 실측 시 난방이 이루어지지 않아 11~14℃의 온도분포를 가졌으며 공사가 완전히 끝나지 않은 상태임에 따라, 현관문이 완전하게 밀폐되지 않아 측정 중 상당한 양의 외부공기가 실내공기와 교환되었기 때문인 것으로 판단된다.

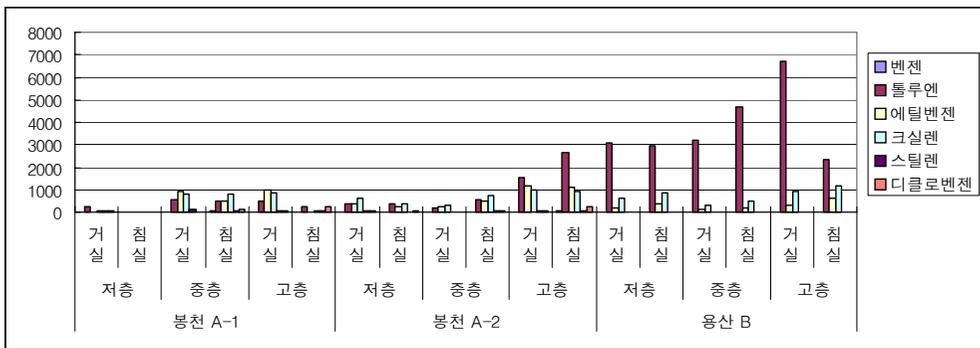
세대 내 주침실의 평균농도가 거실에 비해 약 20%정도 높은 것으로 분석되었다. 이는 난방 시 주침실의 온도가 거실에 비해서 높았던 것과 대 공간체적비(S/V)가 거실에 비하여 주침실이 더 크기 때문인 것으로, 건축 마감재에서 실내 공간으로 방출되는 포름알데히드의 양이 많아 졌기 때문인 것으로 판단된다.



(그림 4.15) 신축아파트의 포름알데히드 측정 결과



(그림 4.16) 신축아파트의 TVOC 측정 결과



(그림 4.17) 신축아파트의 VOCs 항목의 분석 결과

(그림 4.16)은 신축아파트의 TVOC 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 봉천 A-1단지 저층 침실 측정지점을 제외한 모든 실에서 SCANVAC AQ2의 최대허용농도 500ug/m³을 넘는 것으로 나타났다. 환기가 이루어진 세대에서는 다른 세대와 비교하여 큰 폭으로 농도가 낮아지지 않았다.

휘발성유기화합물의 경우 포름알데히드의 분석결과와는 달리 온도의 차이에 따른 농도차이가 나타나지는 않았으나 대 공간체적비의 영향으로 거실보다는 주 침실에서 높은 농도를 보이며 저층부에서 고층부로 갈수록 농도가 점차 증가하는 패턴을 보였다. (그림 4.17)의 VOCs 항목의 분석결과와 같이 용산 B단지의 경우 6가지 대표 VOCs 중, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌이 다른 물질과 비교하여 많은 농도를 나타내었으며, 이중 톨루엔의 수치가 다른 물질에 비해 월등하게 많이 나타나 TVOC 농도를 증가시키는 요인으로 나타났다.

4.3 신축공동주택(오피스텔)의 측정 결과

대상 신축오피스텔 단지의 실측 조건 및 포름알데히드, 휘발성유기화합물질의 측정결과는 다음 <표 4.4> 및 <표 4.5>와 같다.

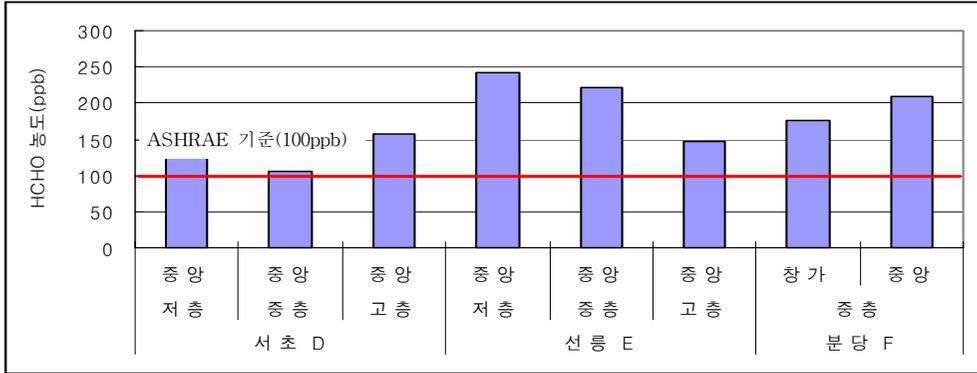
<표 4.4> 측정대상 공동주택의 실측 조건

종 류	대 상	단 지	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	단지별 세대위치	세대별 측정지점
오피스텔	신 축	서초 D	25~30	14~17	저/중/고 (각 3세대)	실의 중앙
		선릉 E	21~23	30~50		(1지점)
		분당 F	20~21	56~58	중층 1세대	2 지점

<표 4.5> 신축공동주택의 대상오염물질 측정결과

측정 장소	측정 항목	구분	HCHO (ppb)	TVOC (ug/m ³)	VOCs (ug/m ³)						평균 온도 ℃	평균 습도 %
					벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	스틸렌	디클로 벤젠		
서초 D	거실	저층	124.95	2081.55	12.86	408.46	676.63	950.73	11.89	20.97	25.9	14.5
		중층	105.18	1713.66	29.93	437.81	488.18	714.04	16.62	27.08	30.7	17.5
		고층	156.49	1733.18	57.80	609.99	394.02	598.93	32.52	39.92	27.9	14.0
선릉 E	거실	저층	242.74	6465.65	10.01	3960.97	1030.75	1458.30	3.51	2.10	20.1	43.5
		중층	221.53	7121.48	21.75	4478.6	1130.15	1479.65	5.67	5.66	21.9	56.0
		고층	147.93	5858.60	6.57	3876.98	827.12	1142.05	4.88	1.01	22.2	51.0
분당 F	중층	창가	175.94	12133.49	42.50	7493.21	2113.22	2413.20	29.26	42.09	20.4	56
		중앙	209.25	12904.44	39.16	8057.03	2201.03	2526.12	28.74	52.37	20.2	58

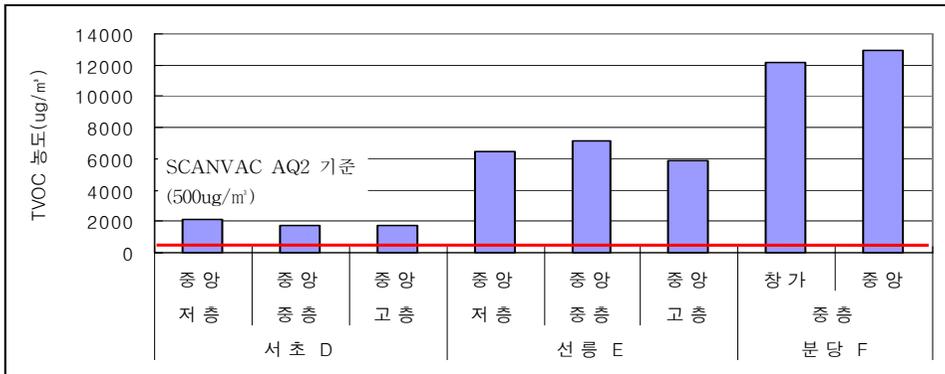
(그림 4.18)은 신축오피스텔의 포름알데히드 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 모든 측정 단지에서 ASHRAE 기준을 초과하였다. 서초 D단지의 경우 건축 마감재를 시공한지 약 6개월 이상 경과된 후이며, 측정 당시 분양이 되지 않은 상태였다. 친환경자재를 사용하고, 마감재 시공 후 상당한 시간이 경과되었음에도 기준치를 넘게 나타난 이유는 측정대상세대가 미분양 기간동안 채실자에 의한 문의 개폐없이 오랫동안 실내가 밀폐된 상태로 남아 있었기 때문인 것으로 판단된다. 이로 인해 건축마감재에서 방출된 실내공기오염물질이 환기에 의해 외부로 나가지 못하고 다시 실내에 재점착 되었을 것으로 판단된다.



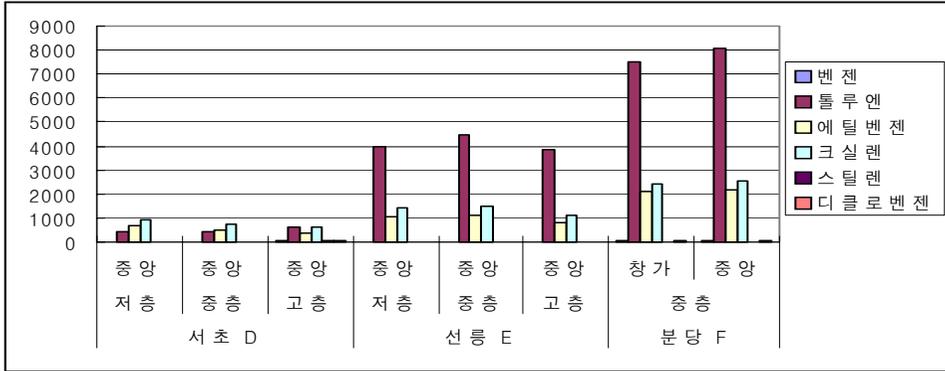
(그림 4.18) 신축오피스텔의 포름알데히드 측정 결과

(그림 4.19)은 신축오피스텔의 TVOC 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 모든 측정 세대에서 SCAVAC AQ2 기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘고 있지만 서초 D단지의 경우 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 선릉 E단지 중층의 경우 기준의 14배, 분당 F단지의 경우 마감이 이루어진 직후 측정된 단지로서 외국 기준에 비해 25배 이상의 높은 TVOC 농도를 보였다.

(그림 4.20)은 오피스텔의 6가지 VOCs 분석결과를 나타낸 것으로 대상 단지 모두 다른 물질에 비하여 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌이 많은 비중을 차지하고 있다.



(그림 4.19) 신축오피스텔의 TVOC 측정 결과



(그림 4.20) 신축오피스텔의 VOCs 항목의 분석 결과

4.4 기존 공동주택의 측정 결과

기존 아파트의 실내공기오염물질 농도 차이를 알아보기 위하여 준공 후 7년 이상 경과된 기존 아파트¹²⁾를 선정하여 실내공기질 공정시험방법에 따라 측정을 실시하였다. 이 아파트는 1997년에 준공되어 7년이 경과된 33평형 아파트로 경기도 광명시에 위치하고 있으며 벽지, 바닥, 천정 등의 내부 건축 마감재가 7년 전 입주 당시 그대로 사용하고 있는 세대를 선정하였다. (그림 4.21)은 기존 아파트 실내 공기질 측정 모습이다.



(그림 4.21) 기존 공동주택의 거실 및 주침실의 측정장비 설치

12) 포름알데히드의 반감기가 4.4년으로 보고되어 반감기를 넘은 5년 이상의 기존 공동 주택을 선정하여 실측·비교하였다.

준공 후 7년 경과된 기존 아파트의 포름알데히드 및 VOCs의 실측 조건 및 분석 결과는 <표 4.6> 및 <표 4.7>과 같다.

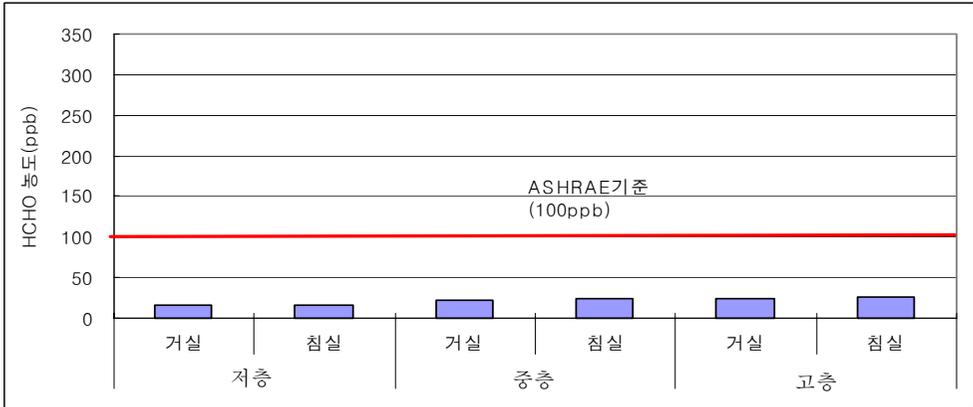
<표 4.6> 기존 공동주택의 실측 조건

종 류	대 상	단 지	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	단지별 세대위치	세대별 측정지점
아파트	기 준	광명 C	20~23	30~36	저/중/고 (각 3세대)	저실/주침실 (2지점)

<표 4.7> 기존 아파트의 실내공기오염물질 측정결과

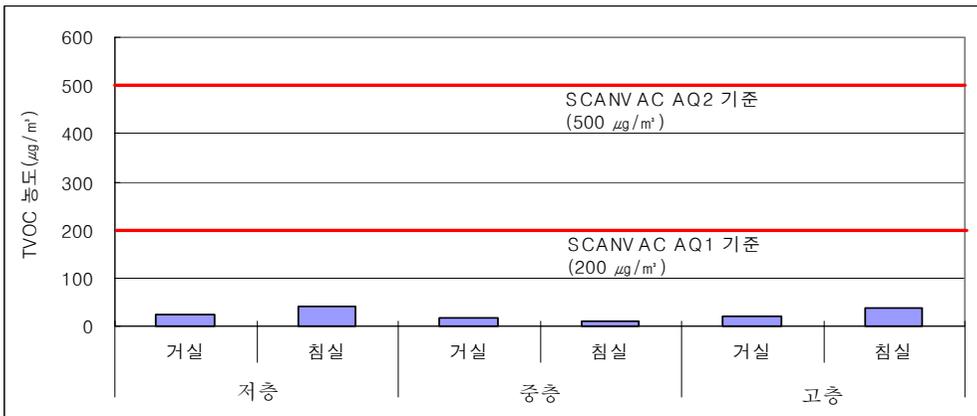
측정 항목 측정 장소	구분	HCHO (ppb)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						평균 온도 (℃)	평균 습도 (%)
				벤젠	톨루엔	에틸 벤젠	크실렌	스틸렌	디클로 벤젠		
광명C	거실	16.90	24.35	2.29	16.68	0.56	0.64	0.39	3.78	20.7	31.0
	침실	15.74	41.59	3.26	31.49	1.82	1.88	1.49	1.65	20.9	30.5
	거실	22.70	16.86	2.28	10.96	0.53	0.49	0.33	2.26	22.9	31.5
	침실	24.31	11.43	2.09	6.34	0.39	0.34	0.00	2.28	22.9	31.5
	거실	23.40	21.05	0.68	6.81	0.25	0.21	0.00	13.09	23.6	34.0
	침실	25.71	39.11	3.30	28.54	1.76	2.00	1.05	2.46	23.6	36.5

(그림 4.22)는 기존 아파트의 포름알데히드 분석 결과를 그래프로 나타낸 것으로 모든 실에서 ASHRAE 기준 100ppb를 넘지 않는 것으로 나타났다. 포름알데히드의 반감기는 4.4년으로 알려져 있음에 따라, 7년 경과된 기존 아파트의 실내의 포름알데히드 농도는 매우 크게 감소되어 있음을 확인할 수 있었다.



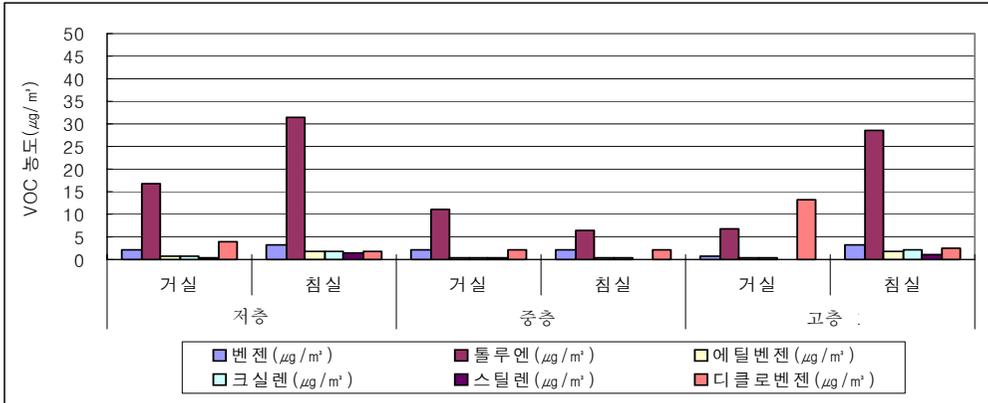
(그림 4.22) 기존 아파트의 포름알데히드 농도

(그림 4.23)은 기존 아파트에서의 TVOC 분석 결과를 그래프로 나타낸 것으로 포름알데히드와 마찬가지로 매우 낮은 측정값을 나타내었다. 이는 SCAVAC의 최고 등급인 AQ1 기준 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용해도 허용되는 결과이다.



(그림 4.23) 기존 아파트의 TVOC 농도

(그림 4.24)는 기존 아파트의 6가지 VOCs 분석 결과를 그래프로 나타낸 것으로 매우 미량이지는 하지만 검출되는 VOCs 물질은 톨루엔이 가장 많은 것으로 나타났다.



(그림 4.24) 기존 아파트의 6가지 VOCs 농도

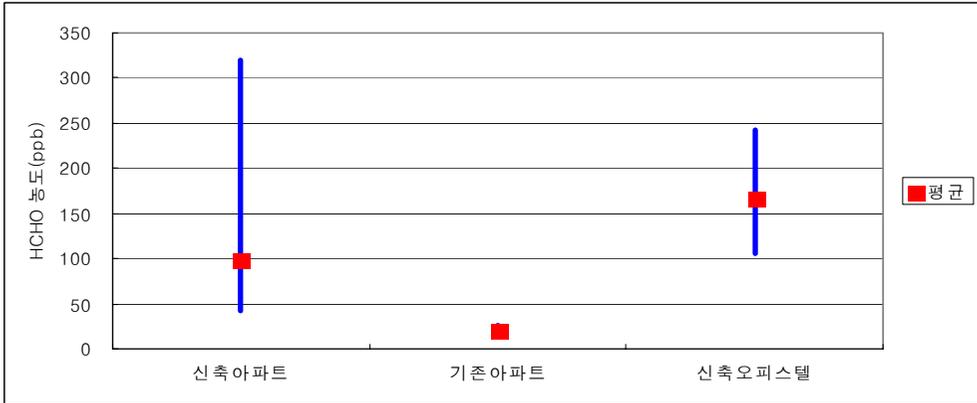
4.5 신축 아파트, 기존 아파트, 신축 오피스텔의 대상오염물질 농도비교

본 절에서는 앞서서의 결과를 신축 아파트, 기존 아파트, 신축 오피스텔의 세 집단으로 나누어 각각 최대값, 최소값 그리고 평균값을 상호 비교하였다.

<표 4.8>과 (그림 4.25)는 각 집단의 포름알데히드 농도를 비교한 것으로 신축 아파트의 경우 최대값과 최소값의 차이가 큰 반면, 평균 농도는 98.63ppb로 ASHRAE 기준 100ppb를 넘지 않는 것으로 나타났다. 신축 오피스텔의 경우 최대값과 최소값의 차이가 크지 않지만 평균 농도가 166.47ppb로 ASHRAE 기준의 1.6배 이상의 농도를 나타내었다. 기존 아파트의 경우 최대값과 최소값의 차이가 불과 10ppb 이다.

<표 4.8> 세 집단간의 포름알데히드 농도 비교

HCHO(ppb)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	319.36	25.71	242.74
최소값	42.29	15.74	105.18
평균	98.63	21.46	166.47

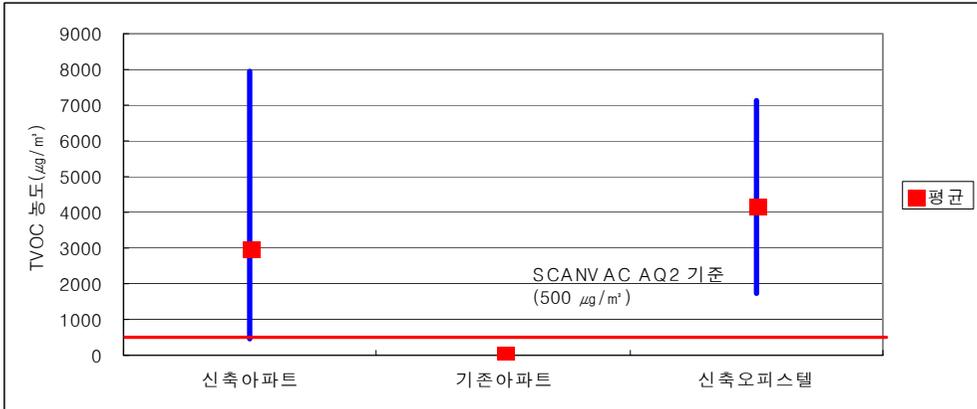


(그림 4.25) 세 집단간의 포름알데히드 농도 비교

<표 4.9>과 (그림 4.26)는 각 집단의 TVOC 농도를 비교한 것으로 신축 아파트의 경우 최대값과 최소값의 차이가 크게 나타났으며, 평균 농도는 $3001.91\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 SCANVAC 기준 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 6배를 초과하였다. 신축 오피스텔의 경우 신축 아파트에 비해 최대값과 최소값의 차이가 크지 않지만, 평균농도가 $4162.35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 SCANVAC 기준의 8배 이상을 나타내었다. 기존 아파트는 매우 적은 양이 검출되어 평균 $25.73\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 최대값과 최소값의 차이는 불과 $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다.

<표 4.9> 세 집단간의 TVOC 농도 비교

TVOC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	7936.24	41.59	7121.48
최소값	463.60	11.43	1713.66
평균	3001.91	25.73	4162.35

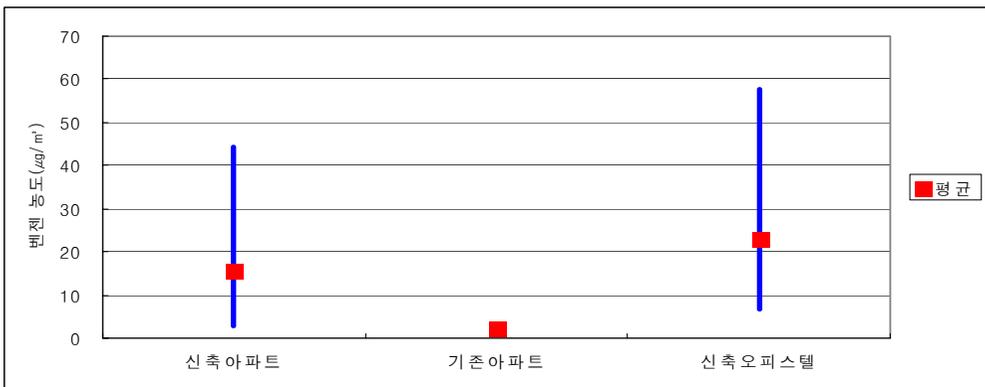


(그림 4.26) 세 집단간의 TVOC 농도 비교

<표 4.10>과 (그림 4.27)은 각 집단의 벤젠 농도를 비교한 것으로 다른 6가지 VOCs 물질 중 가장 적은 양의 농도가 검출되었다. 신축 아파트와 신축 오피스텔과의 차이는 크게 나타나지 않았다. 기존 아파트에서는 거의 검출되지 않았다.

<표 4.10> 세 집단간의 벤젠 농도 비교

벤젠 (µg/m³)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	44.48	3.30	57.80
최소값	2.81	0.68	6.57
평균	15.74	2.32	23.15

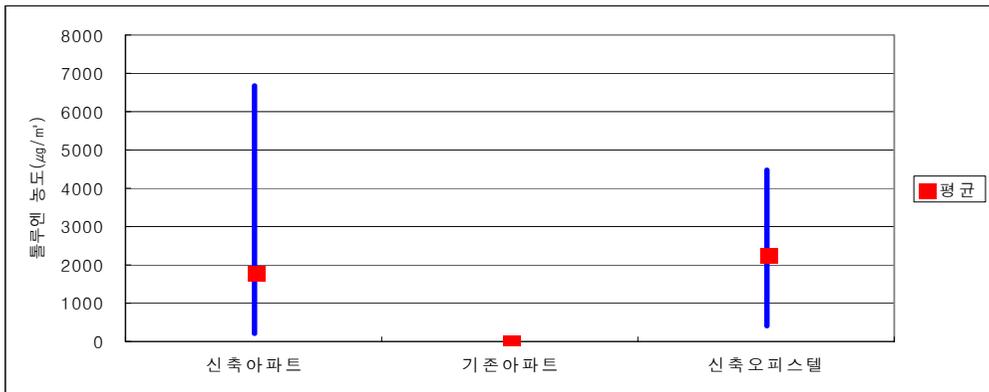


(그림 4.27) 세 집단간의 벤젠 농도 비교

<표 4.11>와 (그림 4.28)은 각 집단의 톨루엔 농도를 비교한 것으로 톨루엔이 다른 6가지 VOCs 물질에 비해 상대적으로 많은 양의 농도가 검출되었다. 최대값과 최소값의 차이는 신축 아파트의 경우가 크지만, 평균 농도는 신축 오피스텔에서 더 많이 검출되었다.

<표 4.11> 세 집단간의 톨루엔 농도 비교

톨루엔($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	6692.63	31.49	4478.61
최소값	204.79	6.34	408.46
평균	1805.17	16.80	2295.47

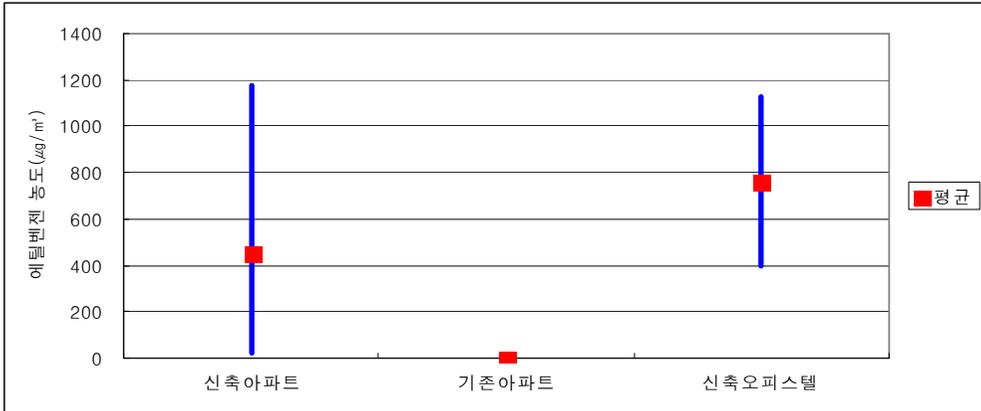


(그림 4.28) 세 집단간의 톨루엔 농도 비교

<표 4.12>와 (그림 4.29)는 각 집단의 에틸벤젠 농도를 비교한 것으로 톨루엔, 크실렌에 이어 세 번째로 많이 검출되었다. 신축 아파트에서 보다 신축 오피스텔에서 더욱 많이 검출되었으며, 기존 아파트에서는 거의 검출되지 않았다.

<표 4.12> 세 집단간의 에틸벤젠 농도 비교

에틸벤젠($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	1175.84	1.82	1130.15
최소값	19.43	0.25	394.02
평균	452.99	0.88	757.81

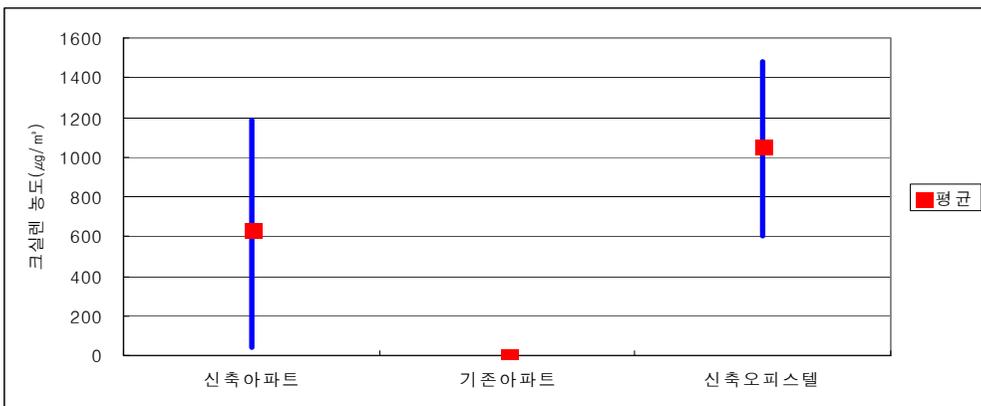


(그림 4.29) 세 집단간의 에틸벤젠 농도 비교

<표 4.13>과 (그림 4.30)은 각 집단의 크실렌 농도를 비교한 것으로 톨루엔에 이어 두번째로 많은 양의 농도가 검출되었다. 신축 아파트에서 보다 신축 오피스텔에서 더욱 많이 검출되었으며, 기존 아파트에서는 거의 검출되지 않았다.

<표 4.13> 세 집단간의 크실렌 농도 비교

크실렌 (μg/m³)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	1187.35	2.00	1479.65
최소값	41.93	0.21	598.93
평균	631.87	0.93	1057.28

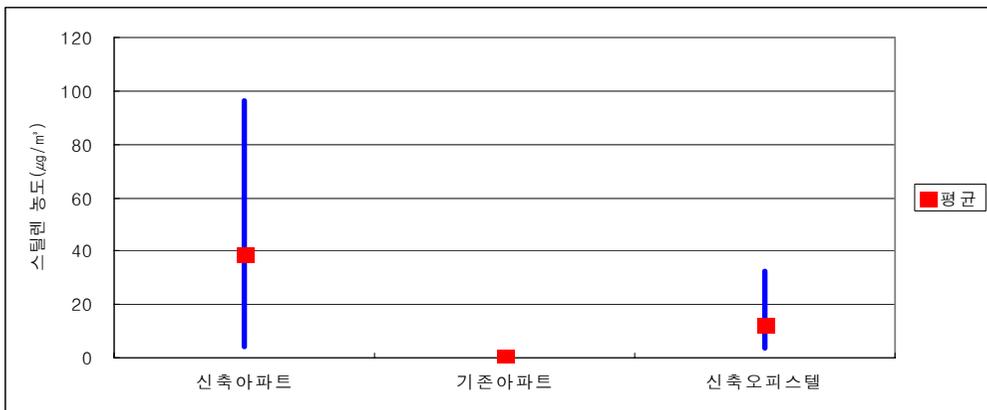


(그림 4.30) 세 집단간의 크실렌 농도 비교

<표 4.14>과 (그림 4.31)은 각 집단의 스틸렌 농도를 비교한 것으로 다른 6가지 VOCs 물질 중 벤젠에 이어 가장 적은 양의 농도가 검출되었다. 평균적으로 신축 아파트에서 많이 검출되는 것으로 나타났으며, 기존 아파트에서는 거의 검출되지 않았다.

<표 4.14> 세 집단간의 스틸렌 농도 비교

스틸렌($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	96.12	1.49	32.52
최소값	4.18	0.00	3.51
평균	39.13	0.55	12.51

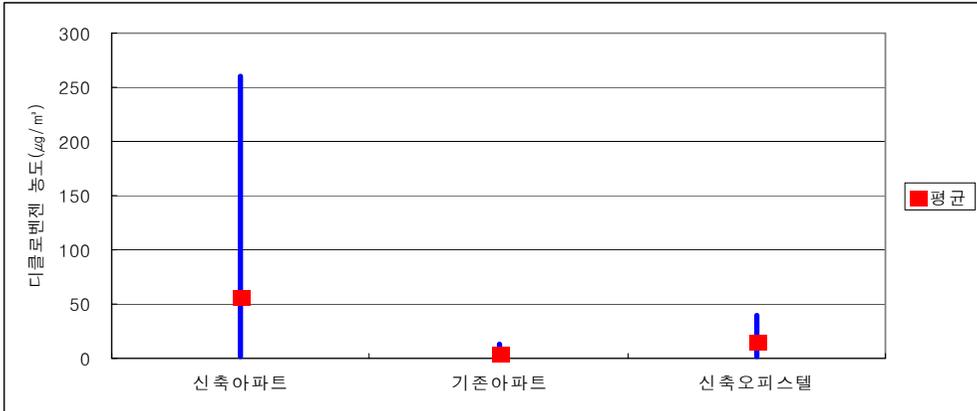


(그림 4.31) 세 집단간의 스틸렌 농도 비교

<표 4.15>과 (그림 4.32)는 각 집단의 디클로벤젠 농도를 비교한 것이다. 평균적으로 신축 아파트에서 많이 검출되는 것으로 나타났으며, 대체적으로 거실보다는 침실에서 많은 농도가 검출되었다. 기존 아파트에서는 거의 검출되지 않았다.

<표 4.15> 세 집단간의 디클로벤젠 농도 비교

디클로벤젠($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	신축아파트	기존아파트	신축오피스텔
최대값	260.69	13.09	39.92
최소값	1.56	1.65	1.01
평균	57.02	4.25	16.12



(그림 4.32) 세 집단간의 디클로벤젠 농도 비교

이상의 결과를 볼 때, 스틸렌과 디클로벤젠을 제외한 포름알데히드를 포함한 VOCs 물질은 신축 아파트에서 보다는 신축 오피스텔에서 더욱 많이 측정되었다. 이는 신축 오피스텔의 경우 12평형으로 건축자재가 시공된 표면적과 공간의 체적의 비율 (S/V 비율)이 신축 아파트의 32평, 42평, 47평형보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 오피스텔과 아파트를 같은 크기의 공간으로 가정하였을 때, 오피스텔은 아파트에 비해 큰 S/V 비율로 인하여 실내에 시공한 건축마감재의 양이 상대적으로 많아지게 되는 것이다.¹³⁾

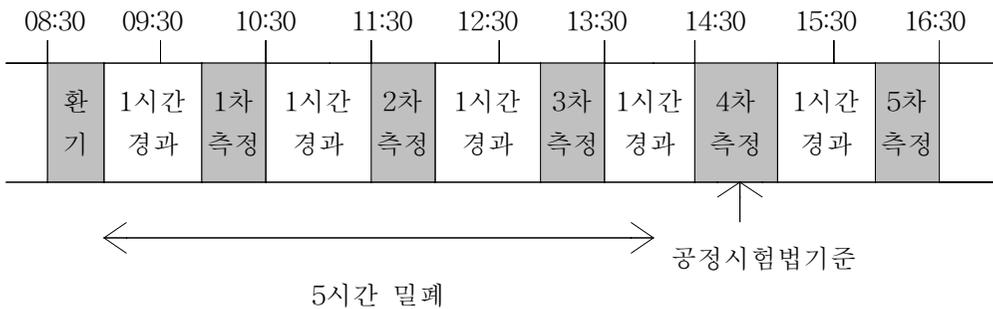
13) 어느 아파트가 10×10×3m, 오피스텔이 6×4×3m로 가정하면, 아파트의 표면적은 320m², 체적은 300m³이 되고 오피스텔의 표면적은 120m², 체적은 72m³가 된다. 이 때 표면적을 체적으로 나누어 주면 아파트는 약 1.1, 오피스텔은 약 1.7이 된다. 즉, 건축마감재를 사용한 비율이 아파트보다 오피스텔에서 더욱 많게 된다.

4.6 시간경과에 따른 실내공기오염물질 농도변화

시간경과에 따른 실내공기오염물질의 농도변화를 파악하기 위해 단기 및 장기 시간 경과로 나누어 측정하였다. 단기 시간경과 측정은 하루 중 시간간격에 따라 5회, 장기 시간경과 측정은 대상 오피스텔의 마감 후 1차 측정을 하고 한달 뒤 재측하여 시간의 경과에 따른 오염물질의 방출량 차이를 분석하였다.

4.6.1 단기 시간경과(1일)에 따른 실내공기오염물질 농도변화

현재 실내공기질 공정시험방법에서는 측정 전 30분 이상의 환기와 이후 5시간 이상밀폐한 후 측정하는 것으로 명시되어 있다. 본 연구에서는 실내가 밀폐되는 동안 시간경과에 따른 실내공기오염물질 농도변화를 측정하였다. 이를 위하여 서초D 오피스텔과 선릉 E 오피스텔에서 (그림 4.33)과 같이 하루 중 시간간격에 따라 총 5회를 측정하였다. 측정세대는 두 오피스텔 모두 중간층으로 선정하였다.



(그림 4.33) 시료채취 방법

대상 오피스텔의 실측 개요 및 결과는 <표 4.16>와 <표 4.17>과 같다.

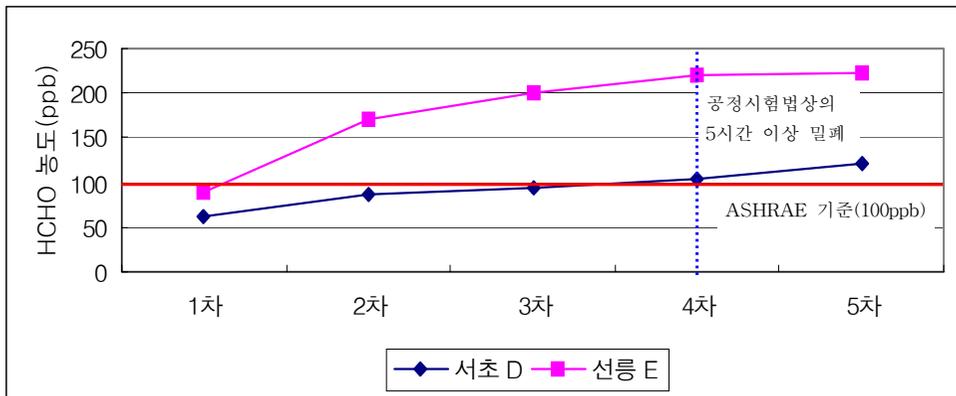
<표 4.16> 측정 대상 오피스텔의 실측 개요

종류	대상	단지	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	단지별 세대위치	세대별 측정지점	측정 간격
오피스텔	신축	서초 D	25~30	14~17	중층 (각 1세대)	실 중앙 (1지점)	90 분 (5회)
		선릉 E	21~23	30~50			

<표 4.17> 시간에 따른 대상 오염물질의 농도 변화 결과

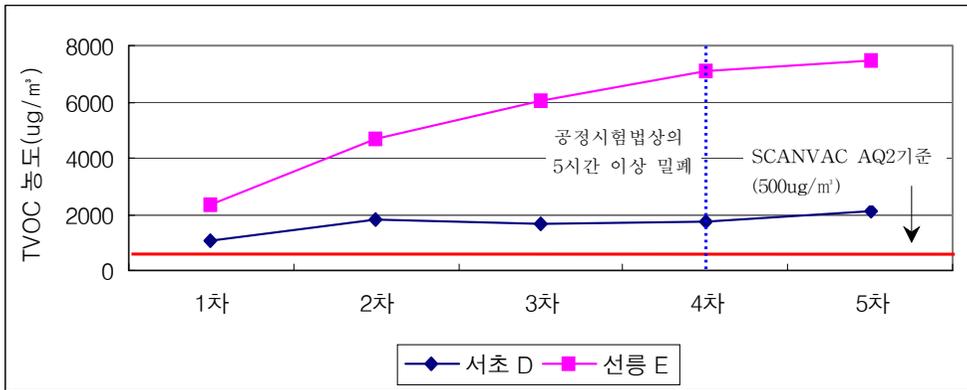
측정 대상	횟수	구분	HCHO (ppb)	TVOC (ug/m ³)	VOCs (ug/m ³)					평균 온도 (°C)	평균 습도 (%)	
					벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	스틸렌			디클로벤젠
서초 D	1차	겨울	62.87	1046.46	23.16	321.57	267.30	402.60	10.49	21.34	26.1	15.5
	2차		86.26	1814.72	36.34	470.58	508.77	746.82	18.97	33.24	27.5	21.0
	3차		93.67	1625.57	26.36	420.05	468.22	667.45	16.19	27.30	28.1	17.5
	4차		105.18	1713.66	29.93	437.81	488.18	714.04	16.62	27.08	30.7	17.5
	5차		120.63	2091.44	34.19	534.58	588.59	859.45	21.07	53.55	33.6	19.5
선릉 E	1차	겨울	88.03	2316.04	3.50	1586.18	274.39	449.10	1.32	1.56	23.0	37.5
	2차		170.11	4684.71	8.42	2966.83	667.96	1034.56	4.50	2.43	22.5	48.0
	3차		199.72	6040.06	7.96	4065.31	788.86	1171.55	2.88	3.50	22.3	51.5
	4차		221.53	7121.48	21.75	4478.61	1130.15	1479.65	5.67	5.66	21.9	56.0
	5차		223.41	7439.42	12.64	4752.82	1131.03	1536.37	3.36	3.19	21.7	58.5

(그림 4.34)은 서초D 단지와 선릉E 단지에서의 시간 경과에 따른 포름알데히드 농도변화이다. 1차 측정에서는 두 오피스텔 모두 기준치를 넘지 않았으나, 2차 측정에서는 선릉E 단지가 기준치의 1.7배인 170ppb가 검출되었다. 이후 공정시험법상의 5시간 밀폐 이후 측정에서는 두 오피스텔 모두 기준치를 초과하는 값을 나타내었다. 그러나 5시간 경과 이후에도 포름알데히드 농도는 큰 변화가 없었으며, 선릉E 단지의 경우 약간 농도가 낮아지는 결과를 나타내었다.



(그림 4.34) 시간에 따른 포름알데히드 농도변화

(그림 4.35)은 서초D 단지와 선릉E 단지에서의 시간 경과에 따른 TVOC 농도 변화이다. 포름알데히드와 달리 1차 측정에서 두 오피스텔의 농도가 기준치를 초과하였다. 서초D 단지의 경우 1차 측정 결과와 비교하여 2차 측정에서 2배에 가까운 농도가 증가하였으며, 이후 시간 변화에 따른 농도는 크지 않았다. 그러나 선릉E 단지는 시간이 경과함에 따라 농도변화가 매우 큰 폭으로 상승하였으며, 4차 측정 이후부터는 약간 둔화되고는 있지만 계속 상승하는 것으로 나타났다.



(그림 4.35) 시간 경과에 따른 TVOC 농도변화

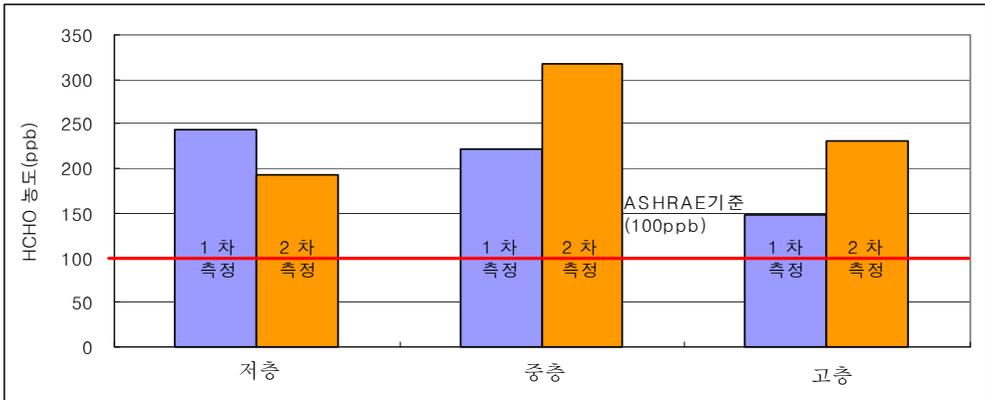
4.6.2 장기 시간경과(30일)에 따른 실내공기오염물질 농도변화

장기 시간경과에 따른 실내공기 오염물질의 농도변화 추이를 분석하기 위해 선릉 E 단지의 동일한 세대를 대상으로 한달 간격으로 2회 실측을 실시하였다. 1차 측정은 실내 마감이 이뤄진 직후였으며, 2차 측정시 저층부 측정세대에서 인테리어 마감이 추가된 직후였다. <표 4.18>은 1차 및 2차 측정 세대의 실측개요이다.

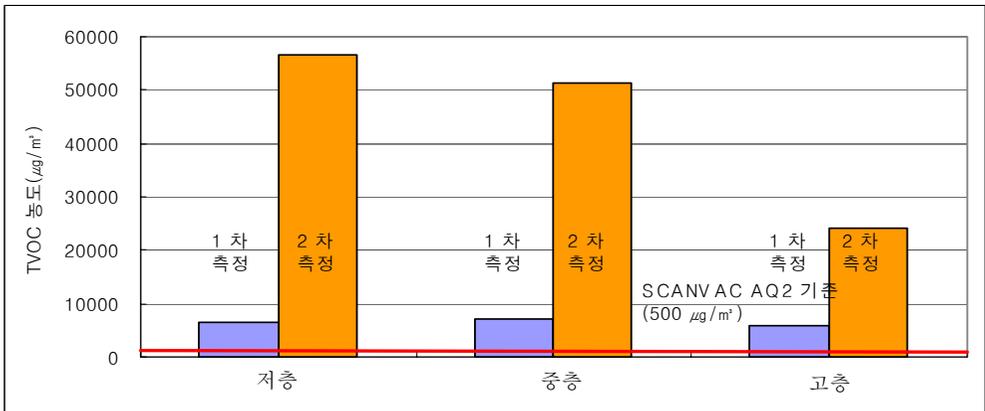
<표 4.18> 측정 대상 오피스텔의 실측 개요

종 류	단 지	측정일자	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	단지별 세대위치	세대별 측정지점
오피스텔	선릉 E	1차(2004.04.14)	21~23	30~50	저/중/고 (3세대)	실 중앙 (1지점)
		2차(2004.05.14)	22~25	35~48		

(그림 4.36)은 시간의 경과에 따른 포름알데히드 농도변화 결과이다. 한달을 간격으로 2차 측정을 하였으나 저층부를 제외한 중층과 고층에서 농도가 증가하였다. (그림 4.37)은 TVOC의 농도변화를 보여준다. TVOC는 시간의 경과와 더불어 농도증가 폭이 매우 컸으며 1차 측정과 비교하여 최대 8.7배 증가하였다.

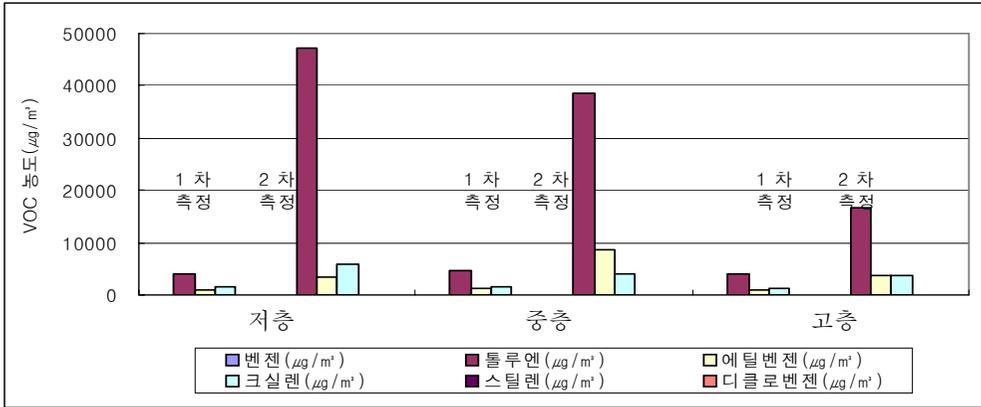


(그림 4.36) 장기시간경과에 따른 포름알데히드 농도변화



(그림 4.37) 장기시간경과에 따른 TVOC 농도변화

(그림 4.38)은 장기시간경과에 따른 6가지 휘발성유기화합물 농도변화로 톨루엔이 다른 물질에 비해 크게 증가 하였으며 에틸벤젠과 크실렌의 증가폭도 컸다.



(그림 4.38) 장기시간경과에 따른 6가지 VOCs 농도변화

1차 측정 및 2차 측정의 결과에서 시간의 경과와 함께 대상오염물질의 농도가 큰 폭으로 증가하였음을 알 수 있다. 1차 측정시는 마감공사가 완료된 직후로 작업기간 동안 작업자들에 의해 잦은 환기가 일어났을 것으로 예상된다. 또한 모든 마감공정이 끝나고 2차 측정시 까지 환기가 이루어지지 않고 상태로 실내가 밀폐되어 있었다. 따라서, 건축마감재에서 방출된 실내공기오염물질이 외부로 배출되지 못하고 실내에 계속 축적됨과 동시에 다른 자재로 재점착되었을 가능성이 있을 것으로 판단된다. 2차 측정 전 실내 인테리어가 다시 이루어진 저층부 세대에서는 실내 마감 재작업으로 인한 환기가 이루어져 포름알데히드의 방출량이 다른 세대와 비교해서 저감되었다고 사료된다.

2차 측정전 공정시험방법에 의거하여 30분간 환기를 실시하였으나, 오피스텔의 평면 구조상 외기와 한쪽 벽면만 면하고 있는 중복도형으로 오랜 기간 동안 쌓여 있던 실내오염물질을 배출하기에는 충분한 환기가 이루어지지 않았다고 판단된다.

4.7 환기설비 가동유무에 따른 실내공기오염물질의 농도변화

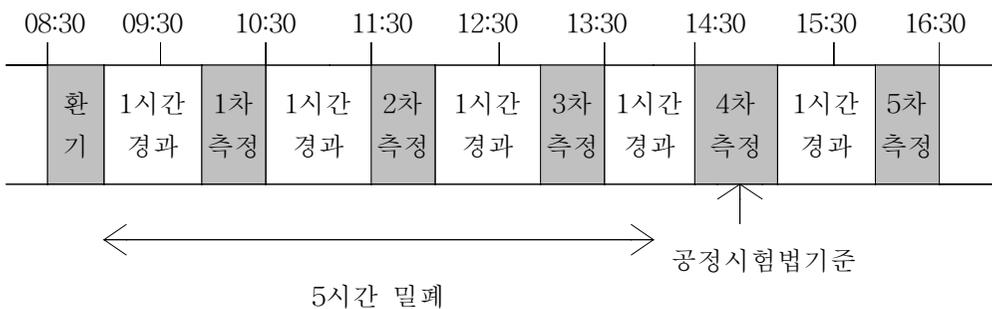
기계환기설비의 가동에 따른 실내공기오염물질 농도변화를 실험하기 위하여 (그림 4.40)과 같이 기계환기설비가 설치된 용산 B 단지를 대상으로 선정하였다. (그림 4.41)은 측정대상 세대에 설치된 환기설비의 평면도이며, 실측 및 환기장치의 개요는 <표 4.19> 및 <표 4.20>과 같으며 측정은 중층의 인접한 위 아래 세대를 선정하여 (그림 4.39)와 같은 시간간격으로 밀폐된 침실에서 실시하였다.

<표 4.19> 측정 대상 단지의 실측 개요

종 류	단지	환기 설비	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	단지별 세대위치	세대별 측정지점	측정 간격
오피스텔	용산 B	미가동	18~19	21~51	중층 (2세대)	주침실 (1지점)	90 분 (5회)
		가동	17~20	30~42			

<표 4.20> 환기장치 개요

장비명칭	용도	풍량(CMH)		전원 (∅/V/Hz)	크기 (W × L × H)
		급기	배기		
VWP-H	실내 환기용	200	200	1/220/60	1,030×500×270
2i-FAN	실내 환기용	200	200	1/220/60	300×412×375



(그림 4.39) 시료채취 방법



(그림 4.40) 실내환기설비와 연결된 열교환기

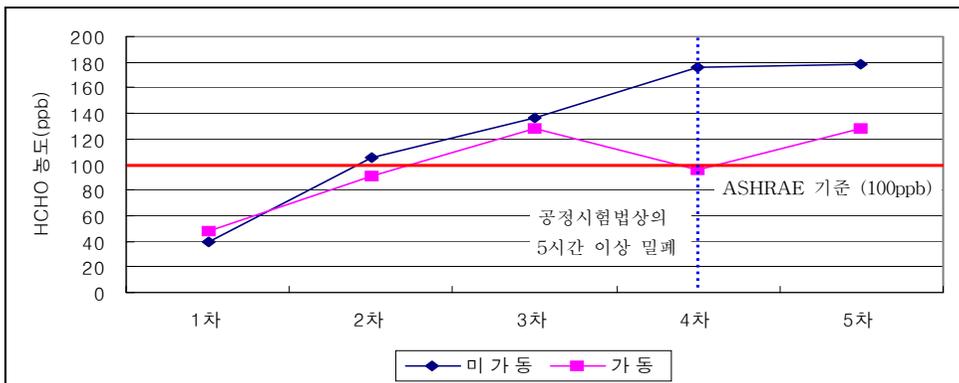
(그림 4.41) 대상 공동주택의 환기덕트 평면도

환기설비의 가동에 따른 대상오염물질의 방출량은 <표 4.21>과 같다.

<표 4.21> 환기설비 가동 유·무에 따른 대상오염물질의 농도 결과

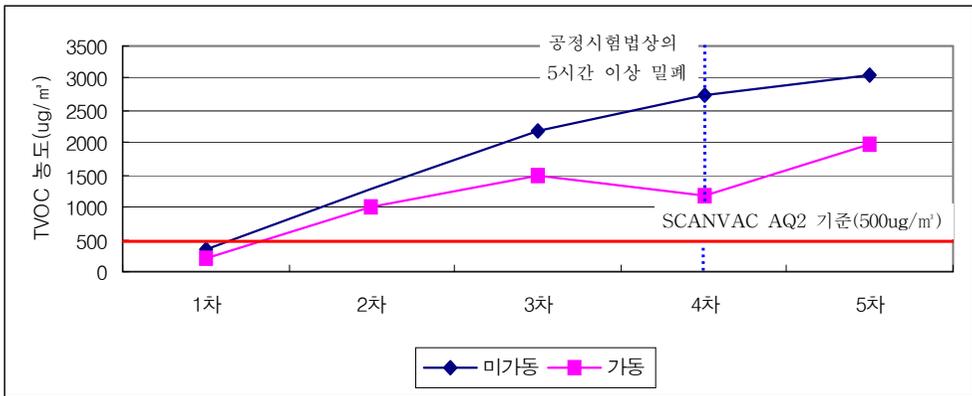
측정 대상	환기 설비	횟수	HCHO (ppb)	TVOC (ug/m ³)	VOCs (ug/m ³)					평균 온도 (°C)	평균 습도 (%)	
					벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	스틸렌			디클로벤젠
용산 B	미가동	1차	39.40	343.62	1.78	159.82	32.87	143.55	3.89	1.72	18.3	31.0
		2차	105.67	13.65	0.39	0.12	0.00	1.66	4.05	7.44	18.9	30.0
		3차	135.96	2186.97	7.87	1057.81	209.81	881.14	25.94	4.39	18.2	33.0
		4차	175.63	2747.40	5.44	1682.52	165.67	872.48	18.46	2.82	18.2	21.0
		5차	178.59	3047.17	8.56	1838.25	211.56	960.52	22.78	5.50	18.6	39.5
	가동	1차	47.74	203.89	0.78	81.82	22.12	97.50	1.19	0.48	17.9	31.0
		2차	90.73	1002.78	3.18	401.06	103.08	485.26	6.98	3.23	18.6	30.0
		3차	127.87	1499.97	4.60	715.39	136.27	630.94	9.90	2.87	19.0	31.5
		4차	95.29	1167.16	3.97	622.89	92.31	438.09	5.98	3.91	18.6	38.5
		5차	127.93	1960.45	6.10	1220.52	136.48	582.84	10.88	3.63	18.7	40.0

(그림 4.42)은 환기시설 가동 여부에 따른 포름알데히드의 농도 값을 나타낸 그래프이다. 두 세대 모두 3차 측정지점까지 비슷한 추세로 농도가 증가하지만 환기설비 가동 세대의 경우 4차 측정지점에서 농도가 하강하는 분포를 보여 80ppb이상 감소하는 것으로 나타나 포름알데히드의 농도감소에 효과가 있는 것으로 나타났지만 4차 측정점을 지나면서 ASHRAE 기준인 100ppb를 초과하였다.



(그림 4.42) 환기시설 가동여부에 따른 포름알데히드 농도 결과

(그림 4.43)은 환기시설 가동 여부에 따른 TVOC 농도변화를 보여준다. 휘발성 유기화합물(TVOC)도 두 세대 모두 포름알데히드와 마찬가지로 오염농도는 환기장치가 가동된 곳이 미가동된 곳보다 큰 폭으로 감소하고 있었다. 그러나 환기설비가 가동된 곳이라도 1차 측정지점을 지나면서 방출량이 SCANVAC AQ2기준을 2배 이상 초과함으로써 오염물질에 따른 적정환기량 산정이 필요한 것으로 나타났다.



(그림 4.43) 환기시설 가동 여부에 따른 TVOC 농도변화

제 5 장 건축자재 오염물질 방출시험

본 장에서는 자체로 제작한 향온향습조 및 챔버를 통하여 건축자재에서 방출되는 실내공기오염물질의 양을 평가하였다.

5.1 실험실 건축자재 방출실험장치의 구성

건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 방출농도를 측정하기 위하여 다음과 같이 측정 장비를 구성하였다. 본 실험 장치는 “한국공기청정협회”에서 제정한 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법 <소형챔버법>¹⁴⁾에 명시되어 있는 사양을 만족시키는 것으로 총 8개의 챔버로 구성하였으며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

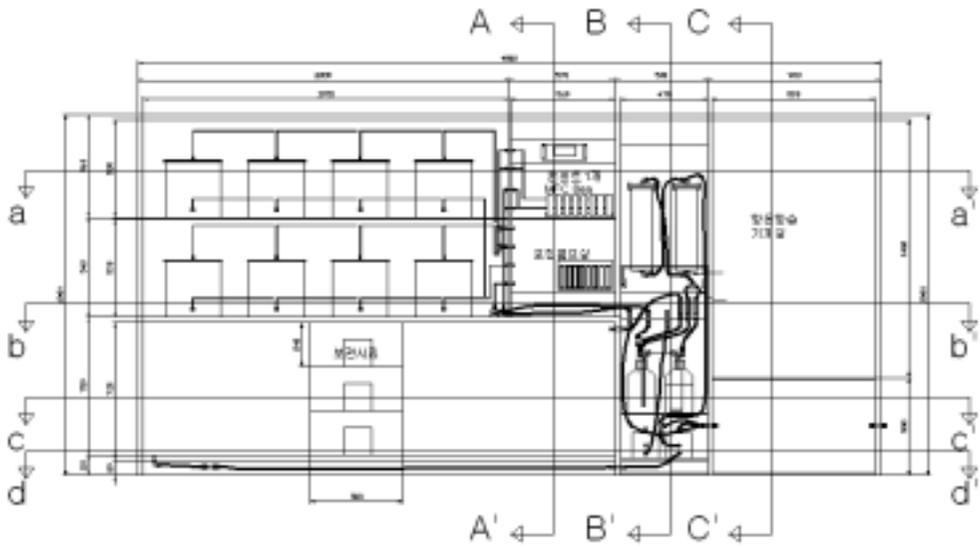
1) 향온향습조

향온향습조 내에는 총 8개의 소형챔버를 설치할 수 있도록 2단으로 설계되었으며, 챔버실 외에 재료보관실, 공기공급장치, 공기필터장치, 습도조절 및 분배장치, 유량조절 및 포집실, 향온향습기계실 등이 일체로 구성되어 있다. 향온향습조 내의 공기상태는 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $50 \pm 5\%$ 로 유지되며, 외부 공기를 일부 끌어들이고 나머지는 실내로 배기된다. 향온향습조 내부로 공급되는 공기는 HEPA 필터에 의해 청정하게 공급된다. 공급되는 소형챔버에 공급되는 공기는 향온향습조 내의 공기를 활성탄 등으로 2차 필터링하여 공급하게 된다. (그림 5.1)은 향온향습조가 설치된 실험공간이며, (그림 5.2)와 (그림 5.3)은 각각 건축자재 실내공기오염 방출시험 장비와 일체화 하기위한 향온향습조설계도면과 시스템 구성도이다.

14) 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법(소형챔버법), 한국공기청정협회, 2004,



(그림 5.1) 친환경건축연구센터



(그림 5.2) 항온항습조 설계도

3) 공기공급장치

소형챔버 내에 공기를 공급하는 펌프로써 압축공기에 의해 다이어프램식으로 작동되며, 테프론으로 제작되어 있다. 따라서 오일을 사용해야 하는 일반 펌프와는 달리 통과하는 공기가 펌프로 인해 오염될 우려가 없고, 기계적 작동에 의한 열발생이 없다. 용량은 18.6 LPM이며, 항온항습조의 공기를 흡입하여 필터장치로 공기를 가압 이송한다. 펌프를 가동하는데 사용되는 공기압축기는 30ℓ 탱크 용량이며, 소음 방지를 위해 케이싱을 한 후 방음처리 하였다.



(그림 5.5) 다이어프램펌프



(그림 5.6) 공기압축기

4) 공기필터장치

펌프를 통해 흡입한 외부 공기를 소형챔버로 보내기 전에 공기를 정화시키는 장치이다. 흡입한 외부 공기를 미세한 먼지 또는 오염물질을 1차적으로 필터링한 후, 필터장치로 들어오도록 구성하였다. (그림 5.7)에서 보는바와 같이 필터는 실리카겔, 모레큘라시브, 활성탄(조립, 입상)의 네 단계로 구성되어 있다. 실리카겔과 모레큘라 시브는 필터로 들어오는 공기의 수분을 제거하는 용도이고, (그림 5.8)의 활성탄은 공기 중에 포함되어 있는 휘발성유기화합물을 제거하는데 사용된다. 한 실험 종료 후 모든 필터를 교환하는 것을 원칙으로 하였다.



(그림 5.7) 필터장치



(그림 5.8) 활성탄

5) 습도조절 및 분배 장치

필터를 거친 공기는 모레큘라 시브와 실리카겔을 통과함으로써 건조한 공기가 된다. 이 공기를 $50 \pm 5\%$ 의 습도로 맞춰주기 위하여 필터에서 나온 공기를 두 갈래로 분기하였다. 분기된 공기는 그림과 같이 각각 빈 임핀저병과 증류수가 담긴 임핀저병으로 흐르도록 하고, 그 양을 볼유량계로 조절하도록 하였다. 습도가 맞춰진 공기는 항온항습조 내 분배기에서 각각의 소형챔버로 분배하기 위해 8 Port로 나누어진다. 이 분배기에 챔버로 들어가는 온습도를 체크할 수 있도록 온습도계를 부착하였다.



(그림 5.9) 습도조절장치



(그림 5.10) 습도조절용 볼유량계



(그림 5.11) 8 Port 분배기



(그림 5.12) 온 습도계

6) 유량조절 및 포집실

8 Port로 분배된 공기는 소형챔버 안으로 들어가기 전에 다시 불유량계를 거쳐 일정한 유량을 맞춘다. 이때 소형챔버에 정압이 걸리게 하기 위하여 약 200ml/min의 유량으로 하였다. 소형챔버를 거친 공기는 다시 MFC를 통과하여 8개 챔버가 동일한 유량으로 배출되도록 하였으며, 이때 설정 유량은 20ℓ 소형챔버의 환기횟수가 0.5회가 되도록 167ml/min 으로 하였다. 소형챔버 전단 유량을 조절하는 불유량계가 설치된 곳에서는 미량펌프를 이용하여 VOCs와 HCHO를 포집할 수 있는 포트가 설치되어 있다.



(그림 5.13) 유량조절 및 포집실

7) 소형챔버

소형챔버는 20ℓ 용량으로 총 8개를 제작하였으며, 각각의 챔버에는 두 개씩의 재료고정틀을 준비하였다. 소형챔버의 기밀을 유지하기 위하여 본체와 뚜껑 사이에 테프론 실링을 한 후 6개의 클램프로 채워지도록 하였다.



(그림 5.14) 소형챔버 (20ℓ, 8개)



(그림 5.15) 재료고정틀

8) 오븐

측정이 끝난 소형챔버는 물로 세척한 후, 증류수로 헹구고 이를 다시 260℃ 이상으로 가열하여 소형챔버 표면에 남아 있을 수 있는 휘발성 유기화합물들을 모두 제거하여야 한다. 이를 위해 최대 승온 온도 280℃이고 4개 소형챔버를 동시에 가열처리 할 수 있다.



(그림 5.16) 오븐

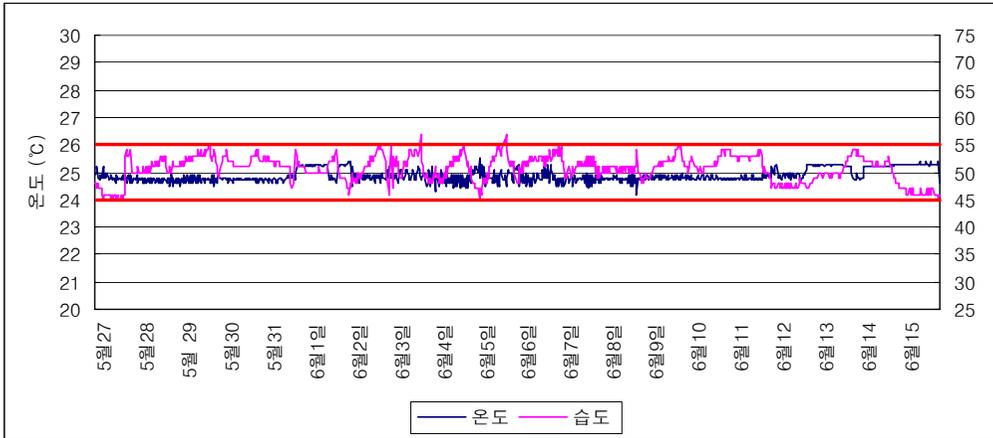
5.2 실험 장치의 운전 및 성능

시험편으로부터 방출되는 오염물질(VOCs 및 알데히드류)을 정량 및 정성하기 위해 실험장치를 적절한 조건과 방법으로 운전시킬 필요가 있다. 실험장치의 운전조건은 <표 5.2>와 같다.

<표 5.2> 실험챔버의 운전 조건

항 목	기호(단위)	실험조건	
		VOCs	HCHO
포집용량	V(ℓ)	4.5	4.5
포집시간	T(min)	30	30
포집유량	Q(ml/min)	150	150
환기량	q(m ³ /hr)	0.02	
환기회수	N(회/hr)	0.5	
챔버용적	v(m ³)	0.02	
부하율	L(m ³ /m ²)	2(액상의 경우는 0.4)	
시료크기	A(m ²)	0.0225 × 2개	
온도	Temp.(°C)	25±1	
상대습도	RH(%)	50±5	

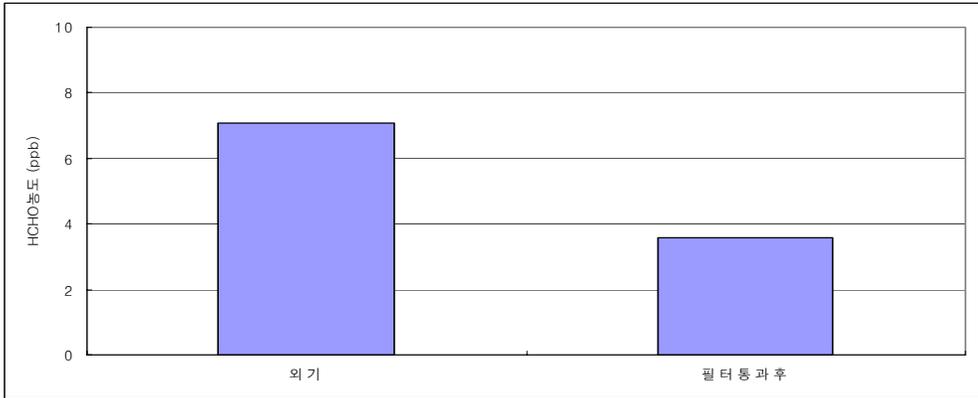
온도와 상대습도는 챔버시험에 있어서 중요한 요소로 적당한 범위를 유지하여야 한다. 만일 온도가 높을 경우 시험편에서 방출되는 오염물질의 양은 온도가 낮을 때에 비하여 높게 나타난다고 보고되고 있으며, 챔버 내의 습도가 높을 경우에는 시험편에서 방출되는 오염물질이 수분에 의해 응축되어 챔버 내벽에 응결되어 지는 현상을 유발 할 수 있어 반대로 농도를 떨어뜨리는 효과를 가져오기도 한다. 따라서 본 시험에서는 “한국공기청정협회”에서 제정한 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법 <소형챔버법>에 명시된 25±1°C, 50±5%의 조건으로 실험을 수행하였다. (그림 5.17)은 5월 27일에서 6월 15일까지 건축자재 챔버 시험 시험기간 동안의 챔버 내 온습도 변화를 자동기록 온습도계를 이용하여 30분 간격으로 기록한 것이다. 이 기간 동안의 총 953건 온도 데이터 중에서 25±1°C의 조건을 만족시키지 못한 데이터는 단 한 건도 나타나지 않았으며, 50±5%를 만족시키지 못하는 습도 데이터는 단 3건 만이 나타났다. 이 기간 동안의 챔버 내 평균 온도는 24.9°C이며, 습도는 50.7%로 나타났다. 따라서 챔버 내 온습도 유지 조건은 매우 우수한 것으로 나타났다.



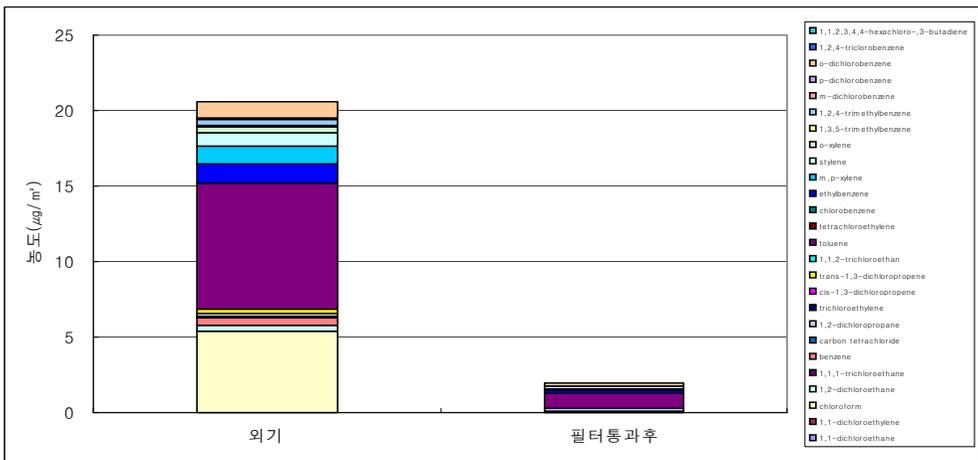
(그림 5.17) 건축자재 시험기간 동안의 챔버 내 온습도 변화

방출실험에 공급되는 공기는 청정한 수준의 공기로서 만일 챔버에 공급되어지는 공기 중에 오염물질이 포함되어 있을 경우 방출실험에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 시험을 위해 제작한 필터장치를 통과하는 공기의 오염물질의 농도를 평가함으로써 발생장치의 효율을 알아낼 수 있다.

DNPH 카트리지와 Tenax 튜브를 이용하여 외기와 시험챔버를 통과하는 공기를 채취한 후 공기 중의 포름알데히드와 휘발성유기화합물을 분석하였다. (그림 5.18)은 포름알데히드의 제거능력을, (그림 5.19)는 휘발성유기화합물의 제거능력을 보여주고 있으며, 제거효율이 각각 49.6%, 90.5%로 나타났다. 따라서 본 시험에서 사용한 공기정화필터는 매우 우수한 것이며, 포름알데히드보다 휘발성유기화합물의 제거효율이 더욱 뛰어난 것으로 나타났다.



(그림 5.18) 필터 장치의 포름알데히드 제거 능력



(그림 5.19) 필터 장치의 VOCs 제거 능력

건축자재는 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법에 나와 있는바와 같이 크게 물형태 제품, 판, 패널과 보드 등 제품, 접착제, 페인트 등으로 구분할 수 있다. 따라서 제품의 형태에 따라 시료를 설치하는 방법이 달라지게 된다. 본 연구에서는 자재의 형태에 따라 재료를 달리 설치하여 시험하였다.

1) 물형태 제품

시료의 2m 안쪽에서 시료를 채취하여 틀에 고정시킨다. 부하율(2m²/m³)에 따라 2개를 준비하였다.



(그림 5.20) 부하율에 맞게 절단



(그림 5.21) 챔버에 설치

2) 판, 패널과 보드 등 제품

절삭기를 이용하여 틀에 맞게 재료를 절단한 후 틀에 고정시킨다. 부하율 ($2\text{m}^2/\text{m}^3$)에 따라 2개를 준비하였다.



(그림 5.22) 부하율에 맞게 절단

3) 접착제, 페인트

개봉하지 않은 통에서 $300\text{g}/\text{m}^2$ 의 양을 채취하여 부하율 ($0.4\text{m}^2/\text{m}^3$)에 맞게 필요한 부분을 제외한 나머지 부분은 알루미늄 호일로 감싼 후 틀에 고정시킨다.



(그림 5.23) 유리판에 도포



(그림 5.24) 챔버에 설치

5.3 건축자재 오염물질 방출 기준

실내 화학오염물질인 TVOC 및 HCHO의 발생원이 되는 건축자재의 분류 방안으로 건물의 시공시 방출강도가 낮은 등급의 자재를 선정하도록 유도한다. 또한, 적절한 건축자재의 선정으로부터 실내공기환경을 개선하기 위하여 건축자재로부터 방출되는 TVOC와 HCHO 농도의 인증등급을 설정하여 건축자재의 분류방안을 마련과 오염물질 다량 방출 기준을 제시한다. <표 5.3>은 현재 시행중인 건축자재의 인증등급을 보여준다.

<표 5.3> 건축자재의 인증등급

단위 (mg/m³·h)

구 분		일반자재 및 페인트	접착제
최우수	TVOC	0.1 미만	0.25 미만
	HCHO	0.03 미만	0.06 미만
우수	TVOC	0.1 이상 ~ 0.2 미만	0.25 이상 ~ 0.50 미만
	HCHO	0.03 이상 ~ 0.05 미만	0.06 이상 ~ 0.12 미만
양호	TVOC	0.2 이상 ~ 0.4 미만	0.5 이상 ~ 1.50 미만
	HCHO	0.05 이상 ~ 0.12 미만	0.12 이상 ~ 0.40 미만
일반1	TVOC	0.4 이상 ~ 2.00 미만	1.50 이상 ~ 5.00 미만
	HCHO	0.12 이상 ~ 0.60 미만	0.40 이상 ~ 2.00 미만
일반2	TVOC	2.00 이상 ~ 4.00 미만	5.00 이상 ~ 10.00 미만
	HCHO	0.60 이상 ~ 1.25 미만	2.00 이상 ~ 4.00 미만

일반적으로 건축자재로부터 방출되는 화학물질은 페인트 등의 도장재료와 같이 자재의 표면으로부터 방출되는 형태와 목재합성보드 등과 같이 자재의 내부에 존재하던 화학물질이 자재의 내부에서 물질의 이동 경로에 의하여 자재의 표면으로 이동하여 표면에서 방출하는 형태로 구분할 수 있다.

실내의 마감재료로 사용되는 건축자재는 일반자재와 페인트 등의 도료는 그 제품의 특성에 따라 적정한 것으로 선정하여 시공된다. 접착제는 마감재료의 시공과정에서 사용되는 보조적인 기능을 하며, 공사의 종류나 시공방법에 따라 적절한 성능을 지닌 접착제를 선정하여 사용된다. 마감재료의 종류와 시공방법에 따라 많은 종류의 접착제가 사용되고 있으며, 사용하는 량도 무시할 수 없을 만큼 그 사용량이 증가하고 있다. 다양한 종류의 접착제를 필요에 따라 현장에서 절절하게 가공하여 사용하기도 한다. 현재까지 보편적으로 사용되는 접착제는 다량의 화학물질을 함유하고 있으며, 이는 상온에서 경화되어 접착력을 유지하여야 하는 기본적인 성능을 확보하여야 한다. 이러한 요구 성능을 지니면서 가격이 저렴하고 화학물질의 방출이 낮은 VOCs 함유 제품이나 또는 NON-포름알데히드 제품 등을 필요로 하고 있으나 아직까지 이러한 조건을 만족할 수 있는 접착제는 매우 제한적인 것이 현실이다. 이러한 점에서 접착제의 경우에는 일반자재나 페인트 등의 도료와는 구분하여 취급하는 것이 합리적이라 판단된다.

5.4 대상 건축자재의 포름알데히드 방출량

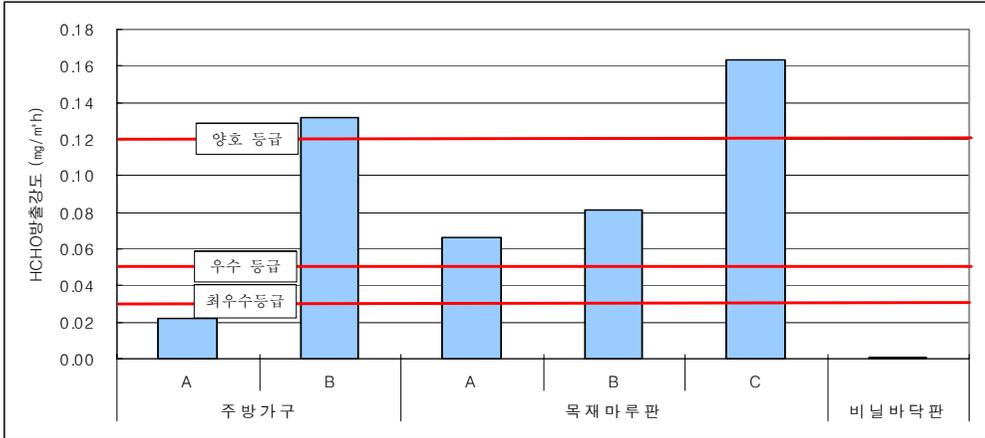
본 연구에서 시험한 건축 마감재료의 종류는 <표 5.4>와 같으며 포름알데히드 및 TVOC의 방출량은 다음과 같다. 또한 한국공기청정협회에서 제시하는 건축자재 인증등급과 비교하였다. 포름알데히드는 목재를 제외한 모든 자재에서 1등급으로 나타났으며 TVOC의 경우 친환경벽지와 일부 일반벽지를 제외하고 모두 높은 방출량을 보였다.

<표 5.4> 건축자재의 종류 및 실험실 측정 결과

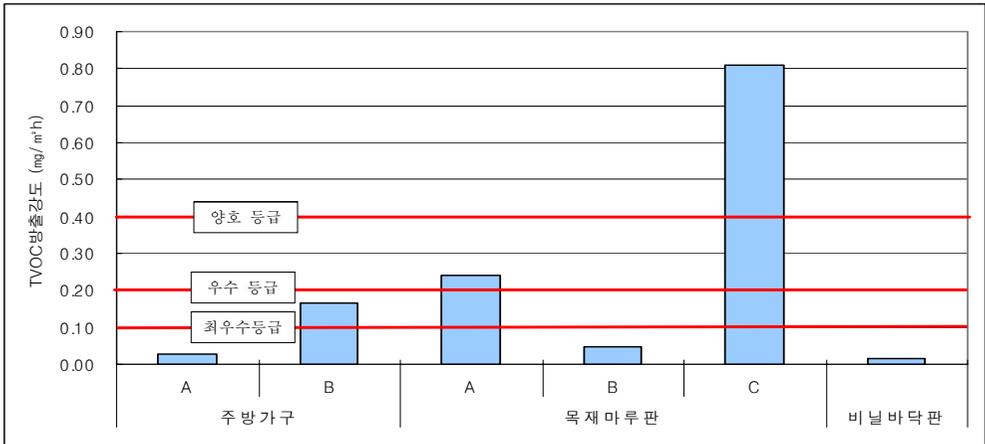
구 분		분 류	HCHO 방출강도	HCHO 인증등급	TVOC 방출강도	TVOC 인증등급
가구 재료	주방가구	A	0.0219	최우수등급	0.0265	최우수등급
		B	0.1321	일반1등급	0.1652	양호등급
바닥 재료	목재마루판	A	0.0814	양호 등급	0.2399	우수등급
		B	0.1633	양호 등급	0.0488	양호등급
		C	0.0661	일반1등급	0.8097	등급 외
	비닐바닥판	A	0.0008	최우수등급	0.0166	양호등급
벽지 재료	친환경벽지	A	0.0016	최우수등급	0.0392	최우수등급
		B	0.0007	최우수등급	0.0233	최우수등급
		C	0.0013	최우수등급	0.0649	최우수등급
	일반벽지	A	0.0150	최우수등급	0.0487	최우수등급
		B	0.0148	최우수등급	0.0494	최우수등급
		C	0.0008	최우수등급	0.0448	일반1등급
		D	0.0035	최우수등급	0.0047	양호등급
단열벽지	A	0.0029	최우수등급	0.0150	우수등급	
액상 재료	페인트	수성	0.0041	최우수등급	0.0922	양호등급
		천연-A	0.0082	최우수등급	0.0250	양호등급
		천연-B	0.0082	최우수등급	0.2800	일반1등급
		가구용	0.0144	최우수등급	0.1222	등급 외
	접착제	마루판용	0.0101	최우수등급	0.2582	등급 외
		천연가구용	0.0069	최우수등급	0.1222	일반2등급

(그림 5.25)와 (그림 5.26)은 목재(주방가구, 마루판)와 비닐바닥판의 포름알데히드 및 TVOC의 방출시험 결과이다. (그림 5.25)의 포름알데히드의 경우 제조회사가 다른 주방가구 A와 B제품이 각각 최우수등급과 일반1등급으로 많은 방출량 차이를 보였다. 목재 마루판의 경우도 대상 자재 모두 양호등급 이상의 값으로 주방가구 A제품을 제외한 목재로 이루어진 건축자재에서 포름알데히드의 방출량이 매우 큰 것을 확인하였다. 바닥용 자재 중 비닐바닥판의 포름알데히드 방출량은 극히 적어 최우수등급 기준의 절반에도 미치지 않았다.

(그림 5.26)은 TVOC의 방출량 시험 결과이다. 주방가구 B제품과 목재마루판 B 제품에서 포름알데히드의 방출량과 비교해 2등급씩 높은 우수등급 및 최우수등급으로 나타났으며 그 이외의 제품에서는 포름알데히드와 같은 등급으로 평가되었다. 주방가구 A 제품과 비닐바닥판의 경우 포름알데히드 방출량이 매우 적은 최우수등급 제품으로 판명되었다.

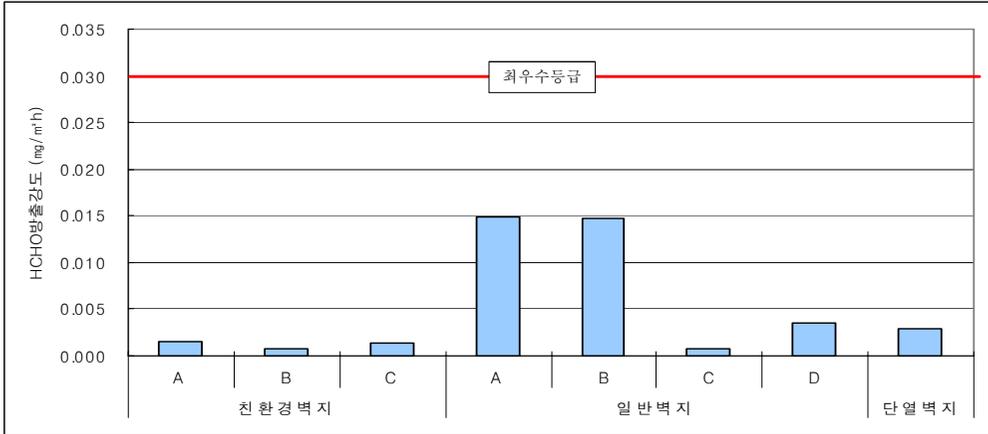


(그림 5.25) 목재 및 비닐바닥판 포름알데히드 방출시험 결과

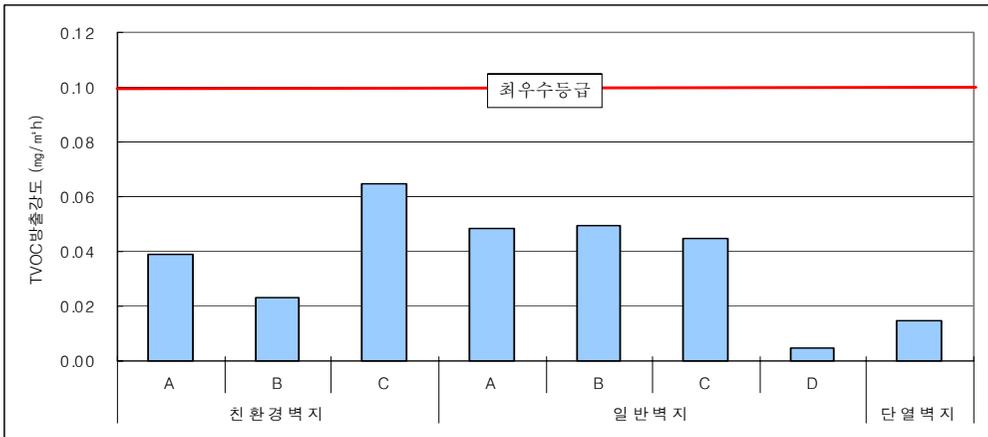


(그림 5.26) 목재 및 비닐바닥판 TVOC 방출시험 결과

(그림 5.27)와 (그림 5.28)은 친환경벽지와 일반벽지 그리고 벽지 초배공사에 사용되는 단열벽지의 포름알데히드 및 TVOC 방출시험 결과이다. 대상 자재모두 포름알데히드와 TVOC의 방출량이 건축자재 인증등급 기준에 의거 최우수등급으로 판명되었다.

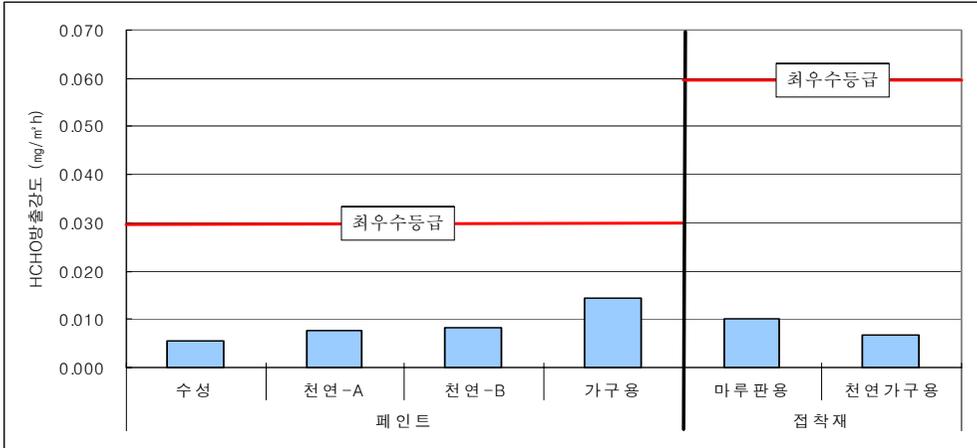


(그림 5.27) 벽지재료 포름알데히드 방출시험 결과

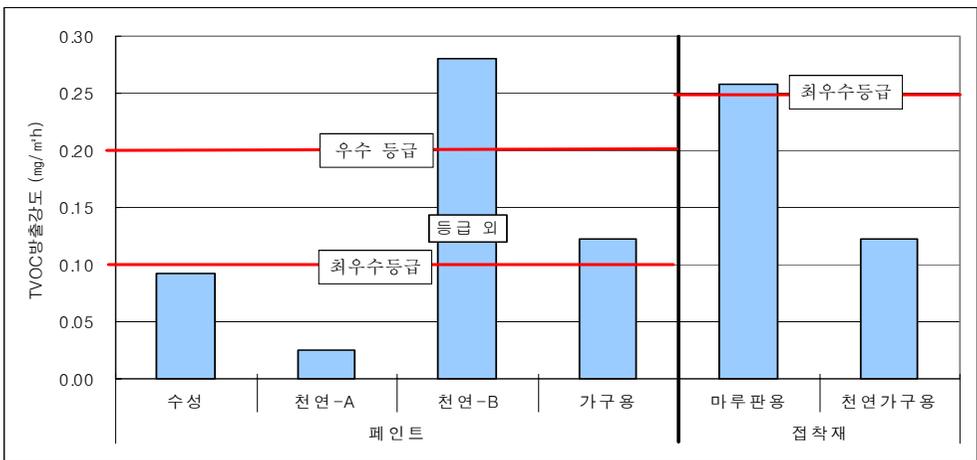


(그림 5.28) 벽지재료 TVOC 방출시험 결과

(그림 5.29)과 (그림 5.30)는 페인트와 접착제의 액상재료에 대한 포름알데히드 및 TVOC 방출시험결과이다. 포름알데히드의 경우 대상 페인트 및 접착제 모두 최우수등급으로 방출량이 매우 적었다. TVOC 방출결과에서 수성페인트 및 천연 페인트 A 제품은 최우수등급으로 판명되었으나 천연페인트 B의 경우 톨루엔의 농도는 다른 건축자재의 농도와 비슷하였지만 EPA TO-14A에서 규정한 독성 물질인 1,2,4-trimethylbenzene과 p-dichlorobenzene의 농도가 현저히 많이 검출되어 등급의 판정이 나왔다. 또한 마루판용 접착제는 우수등급으로 평가되었으나 가구용 천연 접착제는 최우수등급으로 판명되었다.



(그림 5.29) 액상재료 포름알데히드 방출시험 결과

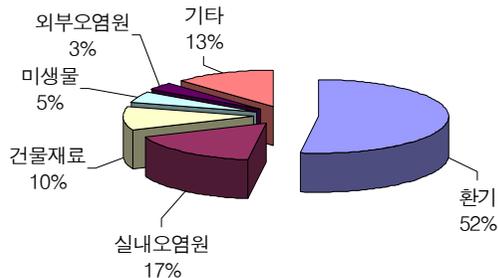


(그림 5.30) 액상재료 TVOC 방출시험 결과

제 6 장 신축공동주택의 실내공기오염물질 저감 방안

6.1 개 요

미국 NIOSH에서 미국 내 약 500개의 건물을 대상으로 한 연구 결과에 의하면, 실내공기질에 영향을 미치는 인자는 크게 환기, 실내 오염원, 실외 오염원, 건축 재료, 미생물, 기타 등으로 구분할 수 있다. 이 중 환기가 실내공기질에 가장 큰 영향을 미치고 있고 실내공기질을 제어하는 데 가장 효과적인 방법이라고 한다(그림 6.1)¹⁵⁾.



(그림 6.1) 실내공기질에 영향을 미치는 인자

즉, 건물의 실내공기질 개선을 위해서는 무엇보다도 이미 발생된 오염원의 실내확산을 억제할 수 있도록 효과적인 환기를 실시하여야 한다. 환기의 방법으로는 적절한 개구부의 설치를 통한 자연환기가 효과적이지만, 이와 함께 기계환기 장치를 도입하여 지속적인 상시환기가 가능하도록 하며, 이 때 도입되는 외부공기의 오염상태를 고려하여 공기정화장치의 설치도 고려하여야 할 것이다.

또 다른 방법으로는 사용되는 각종 건축재료의 합리적인 선택을 통하여 실내 공기환경의 오염원을 조절하는 방법이 있다. 즉, 건물에 사용되는 모든 마감건축

15) Meckler, M. Indoor Air Quality Design Guidebook. Lilburn: The Fairmont Press, 1991, p. 118.

재료는 발생하는 오염물질의 방출량이 입주자의 건강에 해로운 영향을 미치지 않도록 설계 및 시공됨으로써 기술적으로 가능한 범위까지는 최적의 실내공기의 질(IAQ)을 확보하도록 한다. 이는 실내공기환경 기준의 개선 및 재정립과 더불어 각종 자재에 대한 오염 방출량에 대한 자료제시가 선행되어야 할 것이며, 이에 따라 건축 재료공급자는 모든 건축재료가 실내공기오염의 발생을 최대한으로 줄일 수 있는 새로운 자재개발에 노력을 기울여야 할 것이다.

한편, 실내공기오염물질의 방출을 인위적으로 가속화하여 건축자재 및 재료 등을 노후화 시키는 것으로, 비겨주 상태에서 건물을 적절히 환기시키면서 동시에 온도를 35~39℃로 올린 후 최대한의 환기량으로 Flush-out을 실시하는 베이크아웃(Bake out)의 방법이 있다. 일반적으로 베이크아웃의 효과에 대해서는 다양한 견해가 나오고 있다. 베이크아웃 이후 특정 유해물질의 농도가 눈에 띄게 감소된 경우도 있는 반면, 농도 변화가 없거나 심지어 증가한 경우도 보고되고 있다. 또한 베이크아웃 직후 감소되었던 실내공기오염물질 농도가 2주후에는 베이크아웃 이전으로 돌아가는 경우도 발표되었다.

일반적으로 건축자재로부터 방출되는 화학물질은 페인트 등의 도장재료와 같이 자재의 표면으로부터 방출되는 형태와 목재합성보드 등과 같이 자재의 내부에 존재하던 화학물질이 자재의 내부에서 물질의 이동 경로에 의하여 자재의 표면으로 이동하여 표면에서 방출하는 형태로 구분할 수 있다. 오염물질이 자재의 표면으로부터 방출되는 형태의 재료는 일반적으로 두께가 얇은 반면, 자재의 내부에 존재하는 재료의 경우는 두께가 두껍다. 이 때 베이크아웃은 재료의 두께와 열용량에 영향을 받게 되기 때문에 두꺼운 재료는 일시적으로 베이크아웃을 실시하더라도 큰 효과를 기대할 수 없는 것으로 알려져 있다. 또한 베이크아웃 이후에 적절한 환기를 수행하지 않고 실내를 밀폐한 상태로 두게 되면 오염물질의 재점착 등을 통해 다시 실내공기오염물질 농도가 증가하게 되는 경우도 있다.

따라서, 본 장에서는 신축공동주택에서 실내공기오염물질의 방출량 저감방안을 도출하기 위해 각종 마감재 및 Bake-Out을 통한 실내공기오염물질의 농도변화를 파악하고자 하였다.

6.2 실내 마감재에 따른 실내공기오염물질 농도 변화

실내마감재에 따른 실내공기오염물질 농도변화를 파악하기 위해 실시한 대상 세대의 Mock-Up Test 개요는 <표 5.1>와 같으며 <표 5.2>는 실측 결과이다.

<표 6.1> 측정 대상 오피스텔의 실측 개요

종 류	대 상	세대 별 마감내용	온도분포 (℃)	습도분포 (%)	세대 위치	측정위치
신축 오피 스텔	분당 F	친환경자재	20~21	55~58	중층	중앙/창가 (2지점)
		일반자재 + 바이오코트				
		일반자재 + 광촉매				
		일반자재 + 산소촉매				
		일반자재				

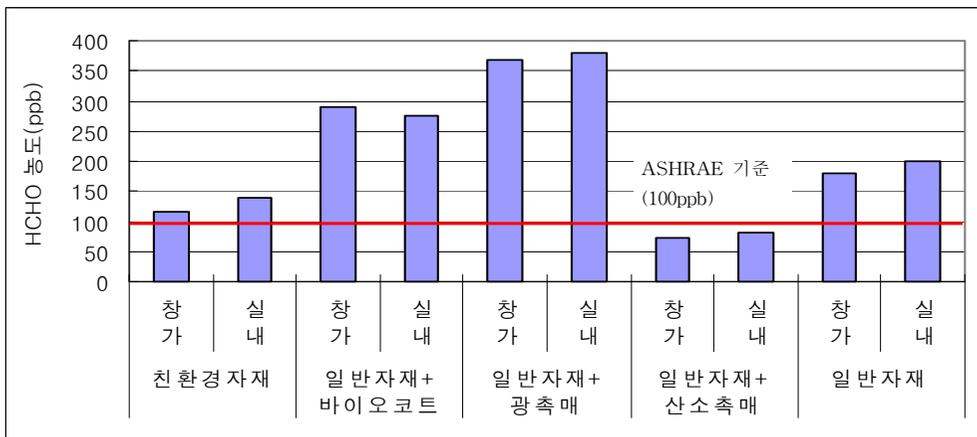
<표 6.2> 측정 대상 오피스텔의 측정 결과

대상	세대 마감내용	측정 위치	HCHO (ppb)	TVOC (ug/m ³)	VOCs (ug/m ³)					
					벤젠	톨루엔	에틸벤젠	크실렌	스티렌	디클로 벤젠
분당 F	친환경자재	창가	114.7	7117.34	41.46	6072.03	390.02	471.38	28.56	113.9
		실내	137.7	6881.81	36.28	6028.8	331.99	416.76	29.27	38.72
	일반자재 + 바이오코트	창가	290.18	9171.46	25.72	6084.92	1170.04	1828.39	24.98	37.4
		실내	274.71	8428.14	23.35	5595.28	1045.99	1703.23	29.29	30.99
	일반자재 + 광촉매	창가	366.92	11654.18	70.62	7981.67	1572.13	1917.3	56.4	56.06
		실내	378.65	11277.61	45.55	8157.13	1343.24	1659.28	30.41	42
	일반자재 + 산소촉매	창가	73.65	13493.58	29.26	9006.29	2064.04	2296.4	52.59	45
		실내	80.31	11721.88	30.11	7746.27	1811.68	2059.51	31.73	42.6
	일반자재	창가	180.04	11763.37	43.38	7456.54	1973.4	2226.72	26.07	37.26
		실내	200.26	12721.5	39.16	8001.66	2124.48	2462.24	26.2	67.76

(그림 6.2)은 마감재에 따른 대상 오피스텔의 포름알데히드의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 방출량은 광촉매(373ppb) > 바이오코트(282ppb) > 일반자재(190ppb) > 친환경자재(126ppb) > 산소촉매(77ppb)와 같은 순서로 분석되었다.

산소촉매를 쓴 세대에서 평균 77ppb로 가장 낮은 방출량을 보였다. 이는 ASHRAE 기준 100ppb 이하로 산소촉매 마감재가 포름알데히드 저감에 가장 효과가 있는 것으로 나타났으며 바이오 코트 및 광촉매로 마감된 세대에서는 일반자재만으로 마감된 세대보다 더 많이 방출되었다.

친환경 자재 마감세대와 일반자재 마감세대를 비교한 경우 친환경자재 마감세대는 평균 126ppb, 일반자재 마감세대는 평균 190ppb으로 모두 ASHRAE에서 제시하는 실내기준(100ppb)을 초과하였다. 친환경자재로 마감을 하였으나 포름알데히드의 방출량이 큰 이유로는 밀폐기간동안 실내 전체면적에서 방출되는 오염물질들의 축적, 오피스텔 특징상 중복도형식으로 환기시에도 충분한 자연환기가 이루어지지 않은 점, 좁은 공간체적에 비해 포름알데히드 배출량이 비교적 많은 블록이장과 같은 목재재질 가구재가 많았던 점이 원인으로 판단된다.



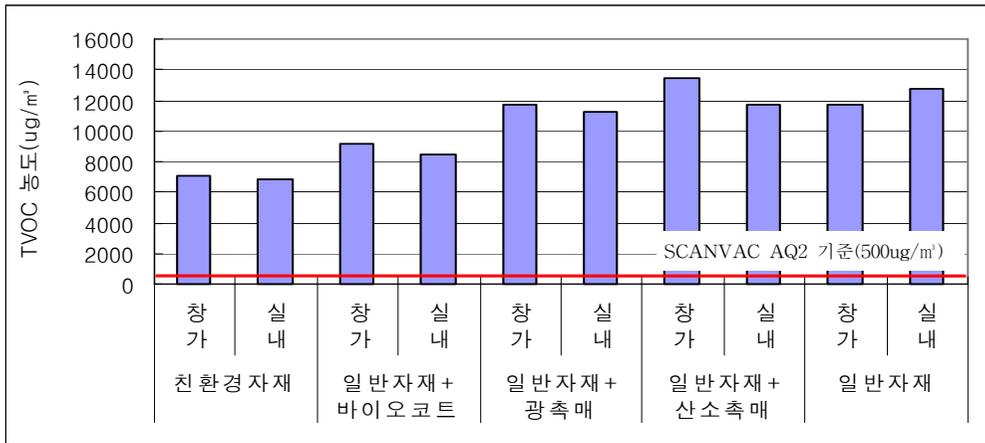
(그림 6.2) 마감재에 따른 대상 오피스텔의 포름알데히드 방출결과

(그림 6.3)는 마감재에 따른 대상 오피스텔의 TVOC 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 모든 세대에서 SCANVAC AQ2 기준인 500ug/m³을 초과하였으며 방출량은 산소촉매(12608ug/m³) > 일반자재(12242ug/m³) > 광촉매(11466ug/m³) > 바이오코트(8800ug/m³) > 친환경자재(7000ug/m³)의 순으로 분석되었다.

산소촉매 마감 세대의 경우 포름알데히드 방출량은 다른 세대와 달리 현저히 낮은 방출량을 보였으나 TVOC의 경우에는 반대로 방출량이 가장 많았다. 따라

서 포름알데히드와 TVOC를 동시 고려할 경우 친환경자재 마감세대가 가장 적은 방출량을 보이는 것으로 나타났다.

친환경 자재 마감세대와 일반자재 마감세대를 비교한 경우 일반자재 마감세대가 1.75배 높은 방출량을 보였다. SCANVAC AQ2 기준인 500ug/m³과 비교해서 친환경자재 마감세대의 경우 의 13배 이상, 일반자재 마감세대의 경우 24배 이상 방출량되었다.

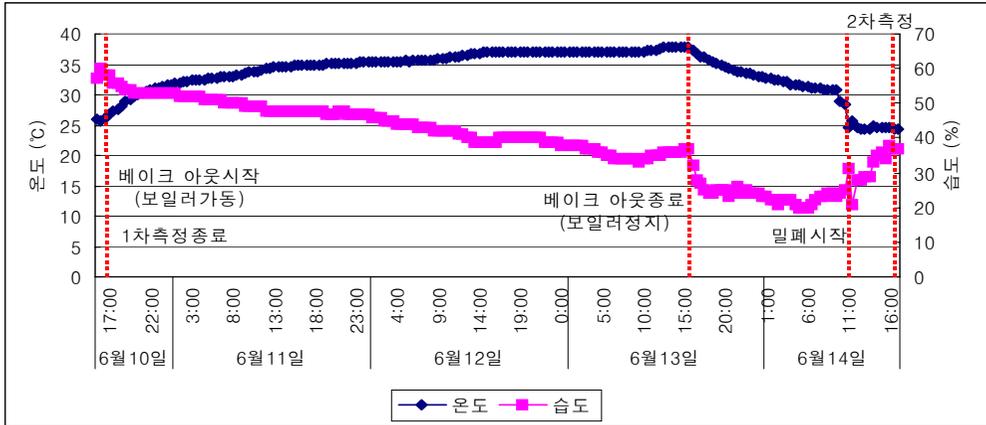


(그림 6.3) 마감재에 따른 대상 오피스텔의 TVOC 방출결과

6.3 Bake-Out에 따른 실내공기오염물질 농도 변화

베이킹 아웃은 실내공기오염물질을 신속하게 제거할 수 있는 방법 중의 하나로서 비거주 상태에서 온도를 35~39℃로 올린 후 건물을 적절히 환기시키면서 동시에 최대한의 환기량으로 Flush-out을 실시하여 실내공기오염물질의 방출을 인위적으로 가속화하여 건축자재 및 재료 등을 노후화 시키는 것이다.

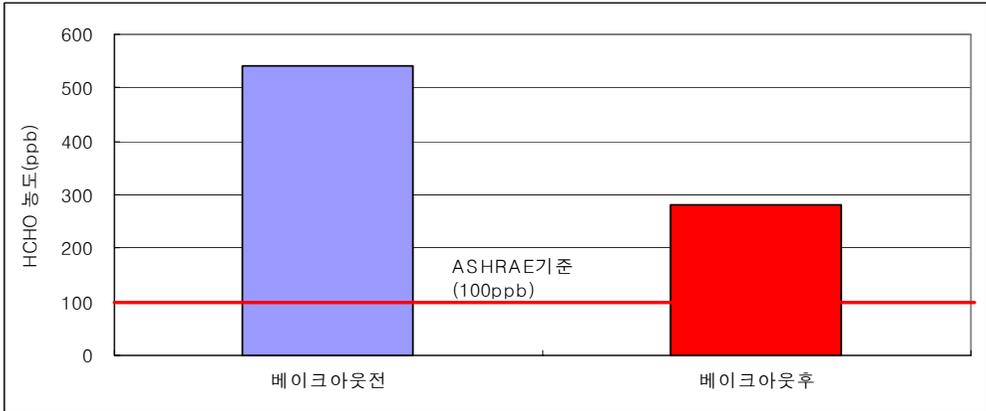
본 연구에서는 선릉 E 단지 오피스텔 중층을 베이킹 아웃 대상지로 결정하였으며, 측정은 계절적으로 하계인 6월 10일에 실시하였다. (그림 6.4)은 베이킹 아웃을 실시하는 동안의 온습도 변화를 나타내고 있으며, 이 기간 동안의 실내평균 온도는 35℃, 최고온도는 37.9℃로 나타나 베이킹 아웃이 적절하게 되고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같이 약 3일간 난방 보일러를 가동하여 베이킹 아웃을 실시한 후 난방을 종료하고 하루 동안 최대한의 환기량으로 Flush-out을 실시하였다. 이후 실내의 온도가 약 25℃로 다시 내려간 것을 확인한 후 6월 14일에 재측정을 하였다.



(그림 6.4) 베이킹 아웃 기간 동안의 온습도 변화

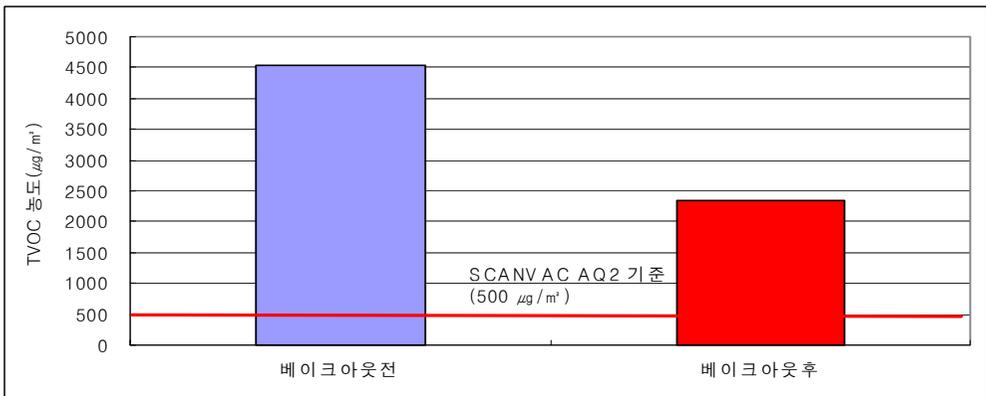
(그림 6.5)은 베이킹 아웃 전후의 포름알데히드 농도 변화를 나타내고 있다. 베이킹 아웃 전의 포름알데히드 농도는 540.17ppb로 측정되었고, 베이킹 아웃을 실시한 후에는 280.92ppb로 나타나 베이킹 아웃 전에 비해 실내공기 중의 포름알데히드가 약 48% 제거되었음을 알 수 있다. 따라서 베이킹 아웃이 포름알데히드

저감에 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 베이크 아웃 이후에도 포름알데히드의 농도는 ASHRAE 기준 100ppb의 2.8배 이상 초과하고 있는 것으로 나타나 베이크 아웃이 포름알데히드를 완전히 제거하지는 못하는 것으로 나타났다.



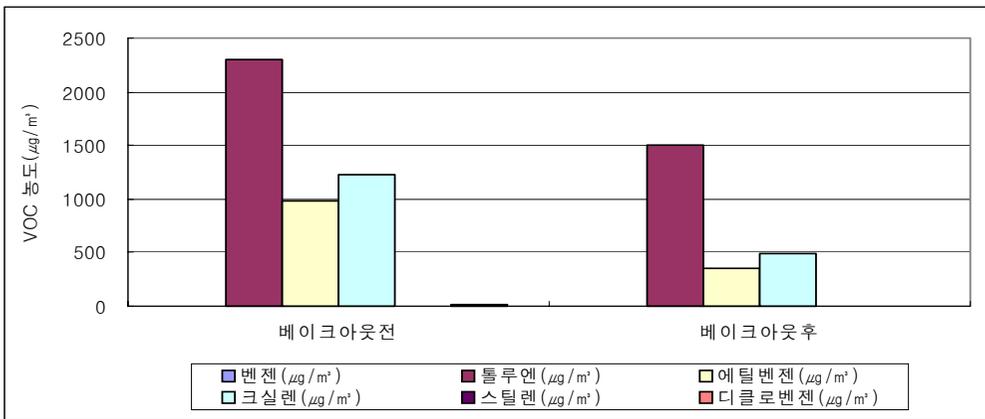
(그림 6.5) 베이크 아웃 전후의 포름알데히드 농도변화

(그림 6.6)는 베이크 아웃 전후의 TVOC 농도 변화를 나타내고 있다. TVOC 또한 포름알데히드의 경우와 같이 베이크 아웃 전과 비교하여 약 48% 이상의 TVOC가 제거되었음을 알 수 있다. 그러나 베이크 아웃 후에도 SCANVAC 기준 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 4.7배의 농도가 검출되어 실내에 다량의 TVOC가 남아 있는 것으로 확인되었다.



(그림 6.6) 베이크 아웃 전후의 TVOC 농도 변화

(그림 6.6)은 베이크 아웃 전후의 6가지 휘발성유기화합물 농도 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 베이크 아웃 전에는 6가지 대표 휘발성유기화합물 중 톨루엔의 농도가 다른 물질에 비해 월등하게 많이 나타났으며, 에틸벤젠과 크실렌 또한 상당히 많은 양이 검출되었다. 베이크 아웃 후에는 이 중 특히 에틸벤젠의 농도가 베이크 아웃전의 63.5%로 매우 많은 양이 감소하였고, 크실렌이 60%, 톨루엔은 약 35% 정도 감소한 것으로 나타났다.



(그림 6.7) 베이크 아웃 전후의 6가지 VOCs 농도 변화

6.4 소 결

1) 신축공동주택의 실내공기오염 실태 분석

신축아파트의 실내공기질 측정결과 포름알데히드의 경우 평균 107.5ppb ASHRAE 기준인 100ppb를 초과하였으며, TVOC는 평균 1726ug/m³으로 국외 SCANVAC AQ2 기준 500ug/m³과 비교해서 3배이상으로 나타나 신축 아파트의 오염실태가 매우 심각한 실정임을 확인하였다.

신축오피스텔의 측정결과 포름알데히드는 평균 166.47ppb, TVOC는 평균 4162.35ug/m³로 ASHRAE 기준(100ppb)과 SCANVAC AQ2 기준(500ug/m³)과 비교해서 각각 1.5배, 8배 이상인 것으로 분석되었다. 분석결과 일반적으로 표면적 과 공간의 체적 비율(S/V 비)이 큰 신축 오피스텔에서 아파트보다 더 많은 실내 공기오염물질이 검출되었다.

준공 후 7년 경과된 아파트의 측정결과 포름알데히드 농도는 21ppb로 ASHRAE에서 제시하고 있는 기준 100ppb를 만족하였으며, TVOC 농도는 20.75ug/m³으로 SCANVAC AQ1 기준에도 만족하는 것으로 분석되었다

단기시간경과에 따른 실내공기오염물질 농도변화 측정을 위하여 선정된 두 오피스텔에서는 밀폐상태로 하루 중 시간간격(90분 간격)에 따라 총 5회를 측정하였다. 포름알데히드의 경우 밀폐초기에는 모두 기준치를 넘지 않았으나, 2차 측정부터는 실내의 기준치가 초과하였으며 TVOC의 경우, 1차 측정 시점부터에서 두 오피스텔모두 기준치를 초과하였다. 포름알데히드와 TVOC 모두 시간이 지남에 따라 농도가 점차 증가하고 있는 것으로 분석되었다.

장기시간경과에 따른 실내공기오염물질 농도변화 측정을 위하여 선정된 오피스텔에서는 동일 세대를 한달 간격으로 2회에 걸쳐 측정을 실시하였다. 포름알데히드는 한 세대를 제외하고 두세대에서 2차 측정시 농도가 증가한 것으로 나타났다. TVOC의 경우 농도 변화 폭이 매우 크게 나타나 1차 측정과 비교하여 2차 측정시 최대 8.7배, 기준치와 비교하여 최대 102배가 검출되었다.

이는 실내마감 후 오랜 기간동안 밀폐되어, 건축마감재에서 방출된 실내공기오염물질이 실내의 다른 부위로 재점착이 되었을 가능성이 있을 것으로 판단된다. 또한 2차 측정시 공정시험법에 따라 30분간 환기를 수행하였으나, 오피스텔 평면

구조가 각 세대의 벽면이 외기와 한쪽만 면하고 있는 중복도형으로 축적된 실내 공기오염물질을 배출하기에는 부족했던 것으로 판단된다.

기계환기 설비의 가동에 따른 실내공기오염물질 농도변화를 알아보기 위한 실측에서는 1차 측정시 환기설비를 가동한 세대에서 다소 높은 값을 보였다. 4차 측정 이후 환기설비를 가동한 세대가 가동하지 않은 세대에 비해 약 80ppb이상 감소하는 것으로 나타나 환기설비가 포름알데히드 농도 감소에 효과가 있었다. TVOC의 경우 환기장치가 설치된 곳이 큰 폭으로 감소하고 있었으나, 환기설비가 설치된 곳이라 할지라도 환기량 크기와 오염물질의 방출정도에 따라 기준치를 초과함으로써 오염물질에 따른 적정 환기량 산정이 필요한 것으로 나타났다.

2) 실험실 자재 방출량 측정

건축자재에서 방출되는 실내오염물질 방출농도를 측정하기 위하여 한국공기청정협회에서 제정한 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법을 만족하는 측정 장비를 자체 설계하여 구성하였다. 건축자재 시험기간 동안 챔버 내 온습도 변화를 30분 간격으로 기록한 결과 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 및 $50\pm 5\%$ 를 만족하였다.

건축자재 오염물질 방출시험 결과 벽지의 경우 친환경 벽지와 일반벽지에 상관없이 한국공기청정협회 건축자재 인증등급 기준을 적용하였을 경우 모두 1등급으로 나타났으며, 주방가구(목재)의 측정 결과 또한 1등급으로 나타났다. 페인트의 경우 시험대상 재료가 모두 친환경 제품으로 선전되고 있으나 3등급으로 나타났다. 접착제의 경우도 모두 1등급으로 나타났다.

실내공기오염물질 방출량이 적은 친환경 건축재료를 사용하면 실내에 발생하는 오염물질의 양도 줄어들 것으로 기대된다. 그러나 친환경자재를 사용하였음에도 실내에서의 공기오염물질의 농도가 오히려 증가되는 사례도 나타나고 있다.¹⁶⁾ 이는 건축 행위가 매우 복잡하고 다양한 공정을 거치기 때문에 단순히 친환경 재료 자체만을 검토하는 것에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

16) Healthy Building 건설을 위한 실내공기환경 개선에 관한 연구. 2004. 중앙대미래신기술연구소

3) 실내마감재 및 Bake-Out 에 따른 실내오염물질 농도변화

실내마감재에 따른 오염물질 방출량을 측정하기 위해 산소촉매, 광촉매, 바이오코트, 일반자재 및 친환경자재 등으로 마감된 오피스텔을 선정하여 실측을 하였다. 또한 Bake-Out을 통한 실내오염물질 농도변화를 실측하였다.

포름알데히드의 경우 광촉매 > 바이오코트 > 일반자재 > 친환경자재 > 산소촉매와 같은 농도분포로 검출되었으며 산소촉매로 마감된 세대를 제외하고 ASHRAE 실내환경 기준(100ppb)을 초과하여 산소촉매가 포름알데히드의 저감에 효과가 있는 것으로 분석되었다. TVOC의 경우 모든 세대에서 SCANVAC AQ2 기준(500ug/m³)을 초과하였으며, 산소촉매 > 일반자재 > 광촉매 > 바이오코트 > 친환경자재의 순서로 방출량이 분석되었다.

산소촉매를 쓴 세대에서 평균 77ppb로 가장 낮은 방출량을 보였다. 이는 ASHRAE 기준 100ppb 이하로 산소촉매 마감이 포름알데히드 저감에 가장 효과가 있는 것으로 나타났으며 바이오 코트 및 광촉매로 마감된 세대에서는 일반자재만으로 마감된 세대보다 더 많이 방출되었다.

친환경 자재 마감세대와 일반자재 마감세대를 비교한 경우 친환경자재 마감세대는 평균 126ppb, 일반자재 마감세대는 평균 190ppb으로 모두 ASHRAE에서 제시하는 실내기준(100ppb)를 초과하였다.

베이킹 아웃 전후의 포름알데히드 농도는 540.17ppb로 측정되었고, 베이킹 아웃을 실시한 후에는 280.92ppb로 나타나 약 48% 제거되었다. 그러나 베이킹 아웃 이후에도 ASHRAE 기준 100ppb의 2.8배 이상 초과하고 있는 것으로 나타나 베이킹 아웃이 방출량 저감에는 효과가 있으나 오염물질을 완전히 제거하지는 못하는 것으로 나타났다.

6.5 건물에서의 실내공기오염물질 저감방안

지금까지의 연구에서 수행한 신축공동주택(아파트 및 오피스텔) 현장측정, 건축자재의 실내오염물질 방출시험 그리고 실내공기오염물질 방출 저감 방안을 위한 실험결과를 종합하여 다음과 같은 대안을 제시한다.

1) 실내공기오염물질 저방출 건축마감재 사용

건축자재 실내공기오염물질 방출시험결과에 따라 실내공기오염물질을 저감시키기 위한 건축자재 선정은 가능한 목재와 접착재의 사용량을 줄이고, 부득히 목재를 사용할 경우에는 포름알데히드와 TVOC 방출량이 적은 제품과 소량의 접착재를 사용하는 것이 바람직하다. 또한 벽지의 경우 포름알데히드 및 TVOC 방출 강도는 매우 작게 나타났으나, 이를 벽에 시공할 때 사용되는 접착제에서 휘발성유기화합물이 다량 방출되므로 가능한 천연재료를 사용한 접착재의 사용이 바람직하다.

2) 기계환기설비를 통한 실내 상시환기

건축자재에서 발생하는 실내공기오염물질은 외부에서 기인하는 분진이나, 사람의 활동에 따른 CO₂와 같이 일시적으로 발생하는 것이 아니라 오랜시간 꾸준히 발생한다. 따라서 사람이 재실하지 않을 때에도 지속적인 환기가 이루어 질 수 있는 환기시스템 도입이 필요하며 최소한 입주 초기에는 환기량을 가변적으로 증가시켜 오염물질제거를 원활히 하여야 할 것이다. 또한 실험 결과 환기장치가 작동함에도 포름알데히드와 TVOC 농도가 국외의 실내 허용기준을 초과하였으므로 오염물질에 따른 적정 환기량이 산정되어야 할 것으로 판단된다.

3) 환기관리 프로그램 실시

신축공동주택 시공현장에서는 실내마감공사 이후 입주전까지의 기간동안 실내 청결 및 내부시설보호를 위해 밀폐된 상태로 관리되고 있는 실정이다. 마감재에 따라 오염물질의 방출량은 다소 차이가 있다. 저방출 건축자재를 사용하지만 밀폐되어 있는 동안 축적되는 오염물질의 양은 상당하다. 따라서, 시공전·후의 환

기관리 프로그램등 통해 실내오염물질이 축적되지 않게 해야 할 것이다. 또한 이러한 환기관리 프로그램은 공사 단계 전반에 적용되어야 할 것이다.

4) 자연통풍 성능향상을 위한 건축적 계획

신축공동주택의 주동형태, 평면유형, 개구부 및 단위공간의 설계변수에 대한 자연통풍성능을 정량적, 정성적으로 분석하여 계획함으로써 자연환기시 통풍성능을 향상시킬 필요가 있다. 오피스텔의 경우 평면 구조가 각 세대의 벽면이 외기와 한쪽만 면하고 있는 중복도형으로 자연환기에 불리하다. 따라서, 오랜 기간 동안 쌓여 있던 실내공기오염물질을 배출하기에는 부족한 점이 크다. 외기와 면하고 있지 않는 복도측 출입문 자체에 가변적으로 여닫을 수 있는 자연통풍구를 설치하여 상시자연환기를 유도하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다고 판단된다.

5) 실내마감후 신속한 오염물질 제거

신축아파트의 기본 가구재 및 오피스텔에 많이 적용되는 Built-In 가구재에서 많이 발생하는 실내공기오염물질의 제거를 신속히 하기 위해서 시공완료단계에서 입주전까지 가구재의 모든 문은 개방한 상태로 Flush-Out을 실시하여야 한다.

6) 베이크 아웃 실시

Bake-Out을 실시하는 동안 지속적인 환기와 Bake-Out 이후 최대환기량으로 충분한 Flush-Out을 실시한다면 실내공기오염물질의 방출을 인위적으로 가속화하여 실내오염물질 방출량을 저감시킬 수 있다. Flush-Out은 오염물질 고방출자재에서 발생하는 오염물질이 저방출자재로의 재흡착을 막기 위해 필수적으로 동반되어야 할 것이다. 또한, Bake-Out을 더욱 효과적으로 달성하기 위한 실내온도와 수행기간 등에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것이다.

또한 신소재 마감에 대해서는 소재에 따라 특정 오염물질에만 효과가 있는 것으로 분석되어 더 많은 Mock-Up 테스트 등을 통한 추가 연구가 이루어져야 할 것이다.

7) 입주자의 실내공기환경에 대한 중요성 인식

그리고 입주 후에는 입주자로 하여금 자연환기의 필요성, 유해물질이 발생하는 행위와 생활패턴에 대해서 홍보 및 교육을 통하여 위생적으로 안전하고 쾌적한 실내환경유지의 중요성을 인식시킬 필요성이 있다.

제 7 장 결 론

오늘날 산업화와 도시화에 따른 경제적 생활환경의 개선으로 인하여 현대인의 생활에 많은 변화를 가져오고 있다. 특히, 실내공기질(IAQ: Indoor Air Quality)은 에너지 절감효과를 위한 건물의 밀폐화와 내부 순환식 공조시스템의 구축으로 인하여 최근에 와서야 여러 가지 위해적인 현상(건물증후군, 복합화학민감증)이 보고 되면서 부각되기 시작했으나, 특히 실내환경은 단순히 가정이나 일반 사무실을 지칭하는 것이 아니라, 실내작업장, 공공건물, 병원, 학교, 지하시설물, 상가 등 광범위하게 때문에 실내공간이 오염되었을 경우에는 장기간 거주하는 사람들의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

따라서, 본 연구는 신축아파트와 신축오피스텔 등을 대상으로 포름알데히드와 휘발성유기화합물(TVOC)의 오염농도 분포도에 대한 현장측정을 실시하였다. 또한, 현장측정건물에 사용된 마감자재를 중심으로 오염농도방출측정(Small Chamber법)을 통하여 마감자재에서의 구체적인 오염농도 방출량을 파악하였다. 그리고 오염농도의 개선방안으로 시간경과, 기계환기 및 Bake-Out 방법 등을 실시하여 신축아파트와 신축오피스텔에서의 구체적인 실내공기질 저감 방안을 강구하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 2003년 12월부터 2004년 6월까지 신축아파트 및 오피스텔의 실내공기오염농도의 현장측정결과, 포름알데히드와 휘발성유기화합물의 오염농도는 신축인 경우 기존건물보다 그 발생량이 높은 농도분포를 보이고 있음을 확인하였다. 특히, 신축에서도 비교적 평형이 작고 다양한 마감자재가 사용된 오피스텔에서 그 오염농도가 신축아파트보다 초과하고 있음을 알 수 있었다. 이는 오피스텔이 아파트에 비해 S(표면적)/V(체적) 비율이 커짐에 따라 건축마감재의 양이 상대적으로 많아져 오염농도가 증가하고 있는 것으로 판단된다. 이때 세부오염농도는 포름알데히드 인 경우 외국의 기준치를 상회하고 있었지만 TVOC 인 경우 외국 기준치를 약 6-8배정도 상회하는 높은 농도분포를 보이고 있음을 나타내었다.

둘째, 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 방출농도는 소형챔버법을 이용하여 실시하였으며 그 결과, 주방가구와 마루바닥판과 같은 목재제품인 경우 포름알데히드와 TVOC 오염물질이 모두 많이 방출되는 것으로 나타났다. 특히, 목재가 포름알데히드의 주 방출원임을 확인할 수 있었다. 또한, 페인트의 경우 포름알데히드 방출은 매우 미약하지만, 주로 TVOC가 방출되고 있었으며, 특히 특정 페인트에서는 매우 높은 TVOC 농도분포를 보이고 있음을 확인하였다. 접착제의 경우 건축자재 인증등급에 따라 우수하게 평가되었지만 상대적으로 많은 양의 TVOC가 방출되고 있었다. 특히 마루판용 접착제의 경우 실제 시공현장에서는 본 시험에서 시료로 사용한 양의 수배에서 수십배가 되기 때문에 실제 공간에서의 TVOC 방출의 주요 원인은 마루판용 접착제일 것으로 판단된다. 한편, 벽지인 경우 일반적으로 사용되는 대다수의 제품에서 포름알데히드 및 TVOC의 오염물질이 거의 방출되지 않고 있는 것으로 확인되었다.

셋째, 신축공동주택과 오피스텔의 실내공기오염 방출 저감 방안을 요약하면 다음과 같다.

1) 실내공기오염물질 저방출 건축마감재 사용

실내공기오염물질을 저감시키기 위한 건축자재 선정은 가능한 목재와 접착재의 사용량을 줄이고, 부득히 목재를 사용할 경우에는 포름알데히드와 TVOC 방출량이 적은 제품과 소량의 접착재를 사용하는 것이 바람직하다.

2) 기계환기설비를 통한 실내 상시환기

사람이 재실하지 않을 때에도 지속적인 환기가 이루어 질 수 있는 환기시스템 도입이 필요하며 최소한 입주 초기에는 환기량을 가변적으로 증가시켜 오염물질 제거를 원활히 하여야 할 것이다. 또한, 오염물질에 따른 적정 환기량이 산정되어야 한다.

3) 환기관리 프로그램 실시

시공전·후의 환기관리 프로그램등 통해 시공 후 입주전까지 실내오염물질이

축적되지 않게 해야 할 것이다. 이러한 환기 프로그램의 효과적인 적용을 위해 건축 공정의 일부로 적용되는 것이 바람직할 것이다.

4) 자연통풍 성능향상을 위한 건축적 계획

오피스텔의 경우 자연통풍성능을 향상시키기 위해 외기와 면하고 있지 않는 복도측 출입문 자체에 가변적으로 여닫을 수 있는 자연통풍구를 설치하여 상시 자연환기를 유도하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다고 판단된다.

5) 실내마감후 신속한 오염물질 제거

신축아파트의 기본 가구재 및 오피스텔에 많이 적용되는 Built-In 가구재에서 발생하는 실내공기오염물질의 제거를 신속히 하기 위해서 입주전까지 가구재의 모든 문은 개방한 상태로 Flush-Out을 실시하여야 한다.

6) 베이크 아웃 실시

Bake-Out을 실시하는 동안 지속적인 환기와 Bake-Out 이후 최대환기량으로 충분한 Flush-Out을 실시한다면 실내공기오염물질의 방출을 인위적으로 가속화하여 실내오염물질 방출량을 저감시킬 수 있다.

7) 입주자의 실내공기환경에 대한 중요성 인식

그리고 입주 후에는 입주자로 하여금 자연환기의 필요성, 유해물질이 발생하는 행위와 생활패턴에 대해서 홍보 및 교육을 통하여 위생적으로 안전하고 쾌적한 실내환경유지의 중요성을 인식시킬 필요성이 있다.

참 고 문 헌

1. 윤동원: 주거용건물의 화학물질에 관한 고찰, 주택 제 66호, 대한주택공사, 2000. 10.
2. 김신도, 윤동원: 저 VOCs 배출 천연도료의 개발, KICT2001산·학·연 공동연구개발사업 연구보고서, 2002. 6
3. 김신도, 윤동원: 실내공간의 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs) 특성 파악 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부 보고서, 2000. 12
5. 윤동원, 손장열, 박병윤 : 사무소건물의 실내환경 및 냄새에 관한 측정연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제12권 제2호, 1992년 10월
6. 김윤신 : 우리나라 실내공기오염현황과 대책, 공기조화 냉동공학 제19권제6호, 1990.
7. 한국대기보전학회 측정분석분과위원회, 대기환경과 휘발성유기화합물질, 1998.
8. 김만구, 박춘옥, 권영진, 이용근, 이대운, 1997, 왁스청소에 기인한 실내공기 중 휘발성 유기화합물의 농도변화, 한국대기보전학회지, 제13권 제3호, pp. 221~229.
9. 김영민, 박상근, 백성옥, 1995, 대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, pp 348~351.
10. 박진철, 이언구, 1998, 건축재료에서의 실내공기 오염물질 발생농도 측정연구, 한국건축설비학회지, 창간호, pp. 126~137.
11. 송정한, 김영민, 황윤정, 박상근, 백성옥, 1995, 대구지역 공중이용시설의 실내 공기중 휘발성 유기화합물의 농도(방향족과 카르보닐계 화합물을 대상으로), 대한환경공학회 추계학술 연구발표회 논문초록집, pp 344~347.
12. 신혜수, 김윤신, 허기석, 1993, 실내외 공기중 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제9권 제4호, pp. 310~390.
13. 조동우, 1998, 환경친화적 건축실현을 위한 성능인증제도, 한국건축설비학회지, vol. 1, No. 3, pp. 22~30.
14. 한화진, 1997, 선진국의 VOC 규제 및 관리동향, 첨단환경기술 7월호, pp 2~9.

15. 한화진, 2000, 국내 VOCs 관리의 최근 동향 및 전망, 첨단환경기술 7월호, pp. 50~55.
16. 대한건축학회, 1998, “21세기 실내공기환경의 질” 세미나 발표집.
17. 과학기술처, 1993, “수용성 고분자를 이용한 첨단 금속 코팅제의 개발(III)”
18. 한국표준협회, 1997, KS F 3101, KS F 3118, KS F 3119
19. 한국표준협회, 1997, KS M 1701, KS M 37017, KS M 3702, KS M 5320, KS M 5000 2411, KS M 5000 2412, KS M 5001
20. 환경부, 1999, 실내공기질 관리방안에 관한 연구.
21. 환경부, 2001, 실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사
22. 한국공기청정협회, 2000, 실내 VOCs 토론회 자료집.
23. 한국공기청정협회, 1999, 국제공기청정심포지움 '99 자료집.
24. 한국공기청정협회, 2000, 제17회 공기청정 기술 세미나 '2000 자료집.
25. 한국대기보전학회, 1998, 대기환경과 휘발성유기화합물질.
26. 한국정보기술원, 1996, VOC(휘발성유기화합물) 방지기술 세미나.
27. 壁機材料協會, 2000, 放散試驗チャンハ`一法, 建築材料の揮發性有機化合物(VOC)及びアルデヒド類放散測定.
28. Bruce A. Tichenor, Mark A. Mason, 1988, Organic Emissions from Consumer Products and Building Materials to the indoor Environment, JAPCA, Vol. 38, No, 3, pp. 264~268.
29. F R de Aquino Neto, J N Cardoso and L S R Brickus, 1999, ASSESSMENT OF INDOOR AND OUTDOOR TVOC IN A RENOVATED OFFICE IN RIO DE JANEIRO, BRAZIL, Indoor Air 99, Vol. 5, pp. 352~357.
30. K Levsen, E Iigen, J Angerer, P Schneider and J Heinrich, 1999, HUMAN'S EXPOSURE TO BENZENE AND OTHER AROMATIC HYDR OCARBONS : INDOOR AND OUTDOOR SOURCES, Indoor Air 99, Vol. 5, pp. 312~317.
31. J.S.Park, S.Fujii, 1999, EVALUATION OF VOC EMISSION FROM SOLID BUILDING MATERIALS BY DIFFUSION MODEL, Indoor Air, Vol. 5, pp. 161-166

32. Martin A. Cohen, P.Barry Ryan, Haluk Ozkaynak, Paul S Epstein, 1989, Indoor/Outdoor Measurements of Volatile Organic Compounds in the Kanawha Valley of West Virginia, JAPCA, Vol. 39, No, 8, pp 1086~1093
33. John C.S. Chang, Bruce A.Tichenor, Zhishi Guo and Kenneth A. Krebs. (1997), Substrate effects on VOC emissions from a Latex paint, Indoor Air, (7) 241-247.
34. L.Molhave, G.Clausen, B.Berglund, J.DE Ceaurriz, A.Kettrup, T.Lindvall, M.Maroni, A.C.Pickering, U.Risse, H. Rothweiler, B.Seifert and M. Younes. (1997), Total Volatile Organic Compounds(TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, Indoor Air, (7) 225-240.
35. H.N.Knudsen, U.D.Kjacr, P.A.Nielsen, P.Wolkoff. (1999), Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products : impact of concentration and air velocity, Atmospheric Environment, 1217-1230.
36. Rikke bramming jorgensen, Olav bjorseth and bjarne malvik. (1999), Chamber testing of adsorption of Volatile Organic Compounds(VOCs) on material surfaces, Indoor Air, (9) 2-9.
37. S.K.Brown, (1999), Chamber assessment of formaldehyde and VOC emissions from wood-based panels, Indoor Air, (9) 209-215.
38. Lance A. Wallace: Volatile Organic Compounds, Indoor air Pollution p.252 - 271,
39. Hal Levin: Building Materials and Indoor Air Quality, State of the Art Reviews p.667-693, Occupational Medicine 1989. 10.
40. John R. Girman: Volatile Organic Compounds and Building Bake-Out, State of the Art Reviews p.695-712, Occupational Medicine 1989. 10.
41. Jacek Namiesnik ect.: Indoor Air Quality, Pollutants, Their Sources and Concentration Levels, Building and Environment Vol. 27,No. 3 pp. 339-356, Pergamon Press, London, 1992.

42. Jonathan M. Samet, John D. Spengler: Indoor Air Pollution, The Johns Hopkins Univ. Press, U.S.A., 1991.
43. ACGIH: Advances in Air Sampling, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Lewis Publishers Inc., U.S.A, 1990
44. Susanne V. Hering: Air Sampling Instruments, American Conference of Governmental Industrial Hygienists Inc., U.S.A, 1989.
45. ASHRAE (1989) ASHRAE Standards 62-1989 "Ventilation for acceptable indoor air quality", ASHRAE, Atlanta.
46. Commission of the European Communities (1992) European Concerted Action "Indoor Air Quality and Its Impact on Man", Report No. 11, Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings, Office for Publications of the European Communities, Luxembourg.
47. IVC(1994) Ventilation and Building Airtightness, Air Infiltration and Ventilation Centre, UK.
48. P.Ole Fanger(1990) New Principles for a Future Ventilation Standard, The 5th International Conference on Indoor Air and Climate, Toronto Canada
49. Environmental Health Directorate (1989) Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality. Minister of Supply and Services, Canada
50. William P. L. Carter, Dongmin Luo, Malkina and Dennis Fitz : environmental Chamber Data Base for Evaluating Oxidant Mechanisms, U.S. EPA Research Triangle Park, Vol1, 1993.
51. William P. L. Carter, Dongmin Luo, Irina L. Malkina, and John A. Pierce, Environmental Chamber studies of atmospheric Reactivities of volatile Organic Compounds. Effects of Varying Chamber and Light Source, U.S. Statewide Air Pollution Research Center, 1995.

국 문 초 록

신축공동주택에서의 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물 측정연구

중앙대학교 대학원
건축학과 건축계획 및 환경전공
박진철
지도교수 이연구

본 연구에서는 포름알데히드 및 휘발성유기화합물의 오염물질을 대상으로 하여 신축공동주택의 오염실태와 오염물질 방출특성을 파악하고, 실내공기질에 영향을 줄 수 있는 대표적인 건축자재에 선정하여 오염물질 방출량을 분석하고자 한다. 또한 최근 실내공기오염물질 저감 방안으로 제시되고 있는 친환경자재 및 신소재 건축자재등으로 시공된 신축공동주택을 선정하여 오염물질 저감효과를 분석하고자 한다. 그리고 이를 기초로 하여 쾌적한 실내공기환경의 개선을 위한 대안을 마련하고자 하였다. 향후 관련연구 수행시의 기초자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

첫째, 2003년 12월부터 2004년 6월까지 신축아파트 및 오피스텔의 실내공기오염농도의 현장측정결과, 포름알데히드와 휘발성유기화합물의 오염농도는 신축인 경우 기존건물보다 그 발생량이 높은 농도분포를 보이고 있음을 확인하였다. 특히, 신축에서도 비교적 평형이 작고 다양한 마감자재가 사용된 오피스텔에서 그 오염농도가 신축아파트보다 초과하고 있음을 알 수 있었다. 이는 오피스텔이 아파트에 비해 S(표면적)/V(체적) 비율이 커짐에 따라 건축 마감재의 양이 상대적으로 많아져 오염농도가 증가하고 있는 것으로 판단된다. 이때 세부오염농도는 포름알데히드 인 경우 외국의 기준치를 상회하고 있었지만 TVOC 인 경우 외국 기준치를 약 6-8배정도 상회하는 높은 농도분포를 보이고 있음을 나타내었다.

둘째, 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 방출농도는 소형챔버법을 이용하여 실시하였으며 그 결과, 주방가구와 마루바닥판과 같은 목

제제품인 경우 포름알데히드와 TVOC 오염물질이 모두 많이 방출되는 것으로 나타났다. 특히, 목재가 포름알데히드의 주 방출원임을 확인할 수 있었다. 또한, 페인트의 경우 포름알데히드 방출은 매우 미약하지만, 주로 TVOC가 방출되고 있었으며, 특히 특정 페인트에서는 매우 높은 TVOC 농도분포를 보이고 있음을 확인하였다. 접착제의 경우 건축자재 인증등급에 따라 우수하게 평가되었지만 상대적으로 많은 양의 TVOC가 방출되고 있었다. 특히 마루판용 접착제의 경우 실제 시공현장에서는 본 시험에서 시료로 사용한 양의 수배에서 수십배가 되기 때문에 실제 공간에서의 TVOC 방출의 주요 원인은 마루판용 접착제일 것으로 판단된다. 한편, 벽지인 경우 일반적으로 사용되는 대다수의 제품에서 포름알데히드 및 TVOC의 오염물질이 거의 방출되지 않고 있는 것으로 확인되었다.

셋째, 신축공동주택과 오피스텔의 실내공기오염 방출 저감 방안을 요약하면 다음과 같다.

1) 실내공기오염물질 저방출 건축마감재 사용

실내공기오염물질을 저감시키기 위한 건축자재 선정은 가능한 목재와 접착제의 사용량을 줄이고, 부득히 목재를 사용할 경우에는 포름알데히드와 TVOC 방출량이 적은 제품과 소량의 접착제를 사용하는 것이 바람직하다.

2) 기계환기설비를 통한 실내 상시환기

사람이 재실하지 않을 때에도 지속적인 환기가 이루어 질 수 있는 환기시스템 도입이 필요하며 최소한 입주 초기에는 환기량을 가변적으로 증가시켜 오염물질 제거를 원활히 하여야 할 것이다. 또한, 오염물질에 따른 적정 환기량이 산정되어야 한다.

3) 환기관리 프로그램 실시

시공전·후의 환기관리 프로그램등 통해 시공 후 입주전까지 실내오염물질이 축적되지 않게 해야 할 것이다. 이러한 환기 프로그램의 효과적인 적용을 위해 건축 공정의 일부로 적용되는 것이 바람직할 것이다.

4) 자연통풍 성능향상을 위한 건축적 계획

오피스텔의 경우 자연통풍성능을 향상시키기 위해 외기와 면하고 있지 않는 복도측 출입문 자체에 가변적으로 여닫을 수 있는 자연통풍구를 설치하여 상시 자연환기를 유도하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다고 판단된다.

5) 실내마감후 신속한 오염물질 제거

신축아파트의 기본 가구재 및 오피스텔에 많이 적용되는 Built-In 가구재에서 발생하는 실내공기오염물질의 제거를 신속히 하기 위해서 입주전까지 가구재의 모든 문은 개방한 상태로 Flush-Out을 실시하여야 한다.

6) 베이크 아웃 실시

Bake-Out을 실시하는 동안 지속적인 환기와 Bake-Out 이후 최대환기량으로 충분한 Flush-Out을 실시한다면 실내공기오염물질의 방출을 인위적으로 가속화 하여 실내오염물질 방출량을 저감시킬 수 있다.

7) 입주자의 실내공기환경에 대한 중요성 인식

그리고 입주 후에는 입주자로 하여금 자연환기의 필요성, 유해물질이 발생하는 행위와 생활패턴에 대해서 홍보 및 교육을 통하여 위생적으로 안전하고 쾌적한 실내환경유지의 중요성을 인식시킬 필요성이 있다.

ABSTRACT

A Measurement of Formaldehyde and Volatile Organic Compounds in Newly-Constructed Apartment Houses.

Park, Jin Chul

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Rhee, Eon-Ku, Ph.D.

This study aims to understanding indoor pollutants in newly-constructed apartment buildings and emitting characteristics of indoor pollutants such as formaldehyde and VOCs. To analyze the emission rate of pollutants, the study selects typical building materials which might affect the Indoor Air Quality (IAQ).

In addition, to analyze the reducing effect of indoor pollutants, the study select newly-constructed apartment buildings which is constructed with environment friendly materials or advanced materials that is presented solutions for reducing indoor-pollutants. Finally, the study propose the fundamental strategies for improving the IAQ.

The fundamental strategies for improving the IAQ in newly-constructed apartment building can be assumed as follows, based on the results of the study.

After scrutinizing the results stated above, measures to improve indoor air quality in newly-constructed apartment houses are suggested as follows.

1) Building materials which have low emission rate of pollutants should be selected to resource control of indoor-pollutant which is emitted from finishing materials, furnishings and living-patterns of occupants. Manufacturer should make effort on developing Non-Toxic materials to reduce the pollutants from polluitng materials such as flooring materials and adhesives.

2) Indoor-pollutants emitted from building material is not occurs in sudden, but it occurs steadily. So the continuous ventilation should be considered through mechanical ventilation system can be supplied and in early stages in moving, ventilation quantity should be increased to reduce the indoor pollutants.

3) In recent newly-constructed apartment buildings, constructors seal the rooms tightly for interior purity and protection, The emission rate of pollutants is different for every finishings. Even using the low-emission materials accumulated pollutant is considerable. Through the ventilation program before and after the construction, indoor air pollutant should not be accumulated. And these ventilatiion program should be applicated throughout the construction stages.

4) Effect of natural ventilation need to be improved using quantitative analysis method for design variables such as building shape, plan type, opening, modular space of newly-constructed apartment buildings. In office building, there is no enough natural ventilation to exhaust indoor air pollutants to out door air

5) Reducing the indoor air pollutants emitted from basic furnishings of newly-built apartments or Built-in furnishings of office buindings, Flush-Out need to be performed by opening all the doors of furnishings and rooms until the time occupants move in.

6) Continous ventilation during the Bake-Out and operating Flush-Out with maximum ventilation after the Bake-out will cause increasing of emittion rate of indoor air pollutants on porpuse and it will result lower emittion rate of indoor air pollutats. This is essential because the pollutants from high-emission material might re-absorb to low-emission materials. Especially interior finishings in summer seasons, it seems that no Bake-Out is needed but, enough ventilation is essential.

In winter seasons, emittion rate of pollutant is low because of low temperature, the Bake-Out has to be performed under discussion of ower and related experts.

< 부 록 >

