

第 104 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

마감재 선정에 따른 신축공동주택 실내오염물질
농도예측에 관한 연구

A Prediction of Indoor Air Quality in New Apartment
Houses depending on the Selection of Finishing Materials

中央大學校 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
高 銀 嬉
2005年 12月

마감재 선정에 따른 신축공동주택 실내오염물질
농도예측에 관한 연구

A Prediction of Indoor Air Quality in New Apartment
Houses depending on the Selection of Finishing Materials

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함
2005年 12月

中央大學校 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
高 銀 嬉

高 銀 嬉의 碩士學位論文을 認定함.

審査 委員長 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

中央大學校 大學院

2005年 12月

목 차

제 1장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구 내용 및 방법	2
1.3 국내·외 연구동향	5
제 2장 실내공기 오염물질농도 예측에 관한 고찰	8
2.1 실내공기질 영향인자	8
2.1.1 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드	8
2.1.2 건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)	9
2.2 건축자재의 분류와 인증 기준	9
2.2.1 건축자재의 분류	9
2.2.2 국내 건축자재 인증 등급	11
2.2.3 해외 건축자재 인증 등급	14
2.3 실내공기 오염물질농도 예측 방법	21
2.3.1 실측에 의한 오염물질농도 예측 방법	21
2.3.2 모델링에 의한 오염물질농도 예측 방법	22
2.4 실내공기 오염물질농도 측정 방법	24
2.4.1 소형챔버법에 의한 오염물질 측정 방법	24
2.4.2 현장실측에 의한 오염물질 측정 방법	26
2.4.3 오염물질 분석 방법	27
제 3장 실내마감재의 폼알데하이드와 TVOC 방출량 실험	29
3.1 실내마감재에서 방출되는 오염물질의 방출강도 실험	29
3.1.1 실험 개요	29
3.1.2 소형챔버 시험	29
3.2 Mock-Up 실험실에서 방출되는 오염물질농도 실험	36
3.2.1 실험 개요	37
3.2.2 Mock-Up 실험실 시공 및 오염물질농도 측정	39
3.2.3 실내공기오염물질 방출농도 결과 분석	41
3.3 소결	45

제 4장 실내공기질 예측을 위한 방법론 수립	46
4.1 오염물질 방출농도 예측식 검토	46
4.1.1 오염물질 방출농도 예측식	46
4.1.2 오염물질농도 실측치와 예측치 비교분석	47
4.2 마감재선정에 따른 실내공기질 농도 예측을 위한 방법론 수립	49
4.2.1 최대 방출농도 예측	49
4.2.2 적정 방출농도 예측	52
4.3 소결	56
제 5장 평형별 폼알데하이드, TVOC 방출농도 예측	58
5.1 개요	58
5.2 25평형 공동주택의 오염물질농도 예측	58
5.2.1 폼알데하이드	59
5.2.2 총휘발성유기화합물(TVOC)	60
5.3 35평형 공동주택의 오염물질농도 예측	62
5.3.1 폼알데하이드	62
5.3.2 총휘발성유기화합물(TVOC)	64
5.4 50평형 공동주택의 오염물질농도 예측	65
5.4.1 폼알데하이드	65
5.4.2 총휘발성유기화합물(TVOC)	67
5.5 소결	69
제 6장 결 론	71
참 고 문 헌	74
국 문 초 록	77
ABSTRACT	80

표 목 차

<표 2.1> 폼알데하이드의 인체에 미치는 영향	8
<표 2.2> VOCs의 인체에 미치는 영향	9
<표 2.3> 건축자재의 용도와 재질별 분류	10
<표 2.4> KS 규격의 폼알데하이드(HCHO)방출강도 기준	11
<표 2.5> 환경마크 인증 기준	12
<표 2.6> HB 건축자재의 인증등급	13
<표 2.7> 국내 인증등급 부여 기준 비교	14
<표 2.8> SCANVAC 건축자재의 분류	15
<표 2.9> 카펫과 접착제 인증기준	16
<표 2.10> 폼알데하이드 인증기준	16
<표 2.11> National Particle board Association의 인증기준	16
<표 2.12> Green Guard의 가구 및 건축자재 인증기준	17
<표 2.13> 건축자재 인증기준	17
<표 2.14> 실내 건축마감재 인증기준	18
<표 2.15> RAL-UZ38 인증기준	19
<표 2.16> GEV의 건축자재 인증기준	19
<표 2.17> 일본 JIS의 폼알데하이드 방출기준	20
<표 2.18> 일본 JAS의 합판 등의 폼알데하이드 방출량 기준	20
<표 2.19> GC/MSD/TDS 분석장비 및 분석조건	28
<표 2.20> HPLC 분석장비 및 분석조건	28
<표 3.1> 소형챔버 시험 건축자재	30
<표 3.2> 벽지 재질에 따른 자재인증등급의 분류	30
<표 3.3> 접착제의 분류	32
<표 3.4> 접착제 재질에 따른 자재인증등급의 분류	32
<표 3.5> 바닥재 재질에 따른 자재인증등급의 분류	33
<표 3.6> 기타 건축자재 재질에 따른 자재인증등급의 분류	35
<표 3.7> 선정된 건축자재의 소형챔버 시험	37
<표 3.8> 선정된 마감재의 오염물질 방출강도	38
<표 3.9> 실험실 오염물질 방출농도 변수	39
<표 3.10> 벽, 천장 도배 시공 후 측정	40
<표 3.11> 바닥재 시공	40

<표 3.12> 시공완료 후 측정	41
<표 3.13> Mock-Up Test에 의한 오염물질 방출농도	41
<표 4.1> Mock-Up Test에 의한 오염물질 방출농도	47
<표 4.2> 폼알데하이드 실측치와 예측치의 비교	48
<표 4.3> TVOC 실측치와 예측치의 비교	48
<표 4.4> 건축자재의 오염물질 최대 방출강도	49
<표 4.5> 폼알데하이드 예측농도 결과(일부)	50
<표 4.6> TVOC 예측농도 결과(일부)	51
<표 4.7> 폼알데하이드 예측농도 결과(일부)	53
<표 4.8> TVOC 예측농도 결과(일부)	54
<표 5.1> 25평형 일반화 평면과 오염물질 방출농도 변수	59
<표 5.2> 25평형의 거실과 침실 폼알데하이드 예측농도(일부)	60
<표 5.3> 25평형의 거실과 침실 TVOC 예측 농도(일부)	61
<표 5.4> 35평형 일반화 평면과 오염물질 방출농도 변수	62
<표 5.5> 35평형의 거실과 침실 폼알데하이드 예측농도(일부)	63
<표 5.6> 35평형의 거실과 침실 TVOC 예측농도(일부)	64
<표 5.7> 50평형 일반화 평면과 오염물질 방출농도 변수	65
<표 5.8> 50평형의 거실과 침실 폼알데하이드 예측농도(일부)	66
<표 5.9> 50평형의 거실과 침실 TVOC 예측농도(일부)	68

그 립 목 차

(그림 1.1) 연구의 흐름도	4
(그림 2.1) 소형챔버를 통한 오염물질 채취 과정	25
(그림 2.2) 실내오염물질 측정	27
(그림 3.1) 실험실 평면도	39
(그림 3.2) 폼알데하이드 농도 측정	42
(그림 3.3) TVOC 농도 측정	43

제 1장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 대기오염으로 인한 오염된 외기의 실내 도입, 건축기술의 발달로 인한 건축물의 기밀·단열 성능 향상과 실내마감재 등에서 방출되는 오염물질로 인하여 건축물 실내공기오염의 심각성이 대두되고 있다.

하루 중 90%이상을 건물에 재실하고 있는 현대 사회인들을 고려할 때 재실자의 건강을 위한 실내공기질은 매우 중요하다. 특히, 국내의 경우 공동주택은 전체 주택비율에서 차지하는 비중이 높고 대량으로 건설되며 새로 개발되는 복합자재가 무분별하게 시공되기 때문에 실내공기질에 관한 사전검토가 필요하다. 신축공동주택의 실내공기오염은 각종 실내마감재 등에서 방출되는 실내 오염물질 중 폼알데하이드와 VOCs가 가장 큰 원인으로 알려지고 있으며, 이에 따른 실내 공기오염 저감 방법에 관한 연구가 다각적으로 진행 중이다.

선진국에서는 건축자재와 인체가 실내공기질에 미치는 영향을 고려하여 실내 공기환경 기준을 제정하였다. 이러한 실내공기환경 기준으로, 미국의 경우 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)와 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists), ASHRAE의 ASHRAE Standard 55-1992(Thermal Environmental Condition for Human Occupancy), ASHRAE Standard 62-1989(Ventilation for Acceptable IAQ)등이 있으며, 유럽 국가들의 경우 WHO의 실내공기환경 지침서(Air Quality Guidelines for Europe), 일본의 경우 건축기본법, 대기환경보전법 등이 있다.

또한, 선진국에서는 실내마감재에서 방출되는 오염물질 방출강도에 대한 데이터베이스를 구축하고, 친환경자재 라벨링제도(Eco-Labeling Program)를 제정하여 친환경자재의 생산과 보급을 촉진하고 있다.

실내공기질의 개선 방안으로 국내에서는 환경부에서 2004년 5월 “다중이용시설의 실내공기질 관리법”을 제정하였으며, 100세대 이상 공동주택의 시공자는 신축공동주택의 실내공기질을 측정하여 입주자에게 공고하도록 하고 있다. 2005년 10월에 환경부에서는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물 등에 대한 신축공동주택의 실내공기질 권고기준 설정을 주요 내용으로 하는 ‘다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙 일부 개정안’을 입법예고 하였다. 또한, 실내공기질 개선의 일환으로 한국공기청정협회와 환경마크협회 등의 민간단체에서 ‘HB 건축자재 인증등급’ 및 ‘환경마크’ 등 건축자재의 인증등급 제도를 도입함으로써, 오염물질 저방출 건축자재를 건물에 시공할 것을 권고하고 있다.

건축자재 인증등급의 시행으로 말미암아 건축주, 설계자와 시공자는 건축자재의

방출강도를 개략적으로 파악하여, 마감재를 선정, 시공할 수 있게 되었다.

그러나 건축자재 인증등급의 경우에는 개별 건축자재의 방출특성만을 반영함에 따라 건축주, 설계자와 시공자가 개별 건축자재의 방출강도를 바탕으로 신축공동주택의 실내공기질을 실용적으로 예측하기에는 한계가 있다.

실내 마감재에서 방출되는 오염물질의 농도에 관한 근본적인 문제를 해결하기 위하여 실내오염물질 방출농도를 예측할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 신축공동주택의 설계단계에서 개별 건축자재의 방출강도 자료에 근거하여 마감재 선정에 따른 실내공기 오염농도를 예측할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이를 통해 건축자재 인증등급 중 'HB마크'를 받은 자재를 신축공동주택 시공전에 실내오염농도를 예측하여 건축주, 설계자와 시공자가 건축마감재 선정시 합리적인 의사결정을 할 수 있도록 돕기 위한 자료를 제공하고자 하였다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 신축공동주택을 계획하는 단계에서 마감재 선정에 따른 실내 공기 오염물질 방출강도를 예측할 수 있는 방법론을 제안함으로써, 실내공기질을 고려한 체계적인 건축자재 선정 방안을 제시하고자 하였다.

본 연구의 분석대상 오염물질은 폼알데하이드(HCHO)와 총휘발성유기화합물(이하 TVOC)로 한정하였다.

본 연구에서 폼알데하이드의 농도 기준치는 신축공동주택의 실내공기질 권고기준¹⁾인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$, 휘발성유기화합물의 농도 기준치는 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실내공기질을 평가하였다.

주요 연구내용은 다음과 같다.

(1) 실내공기 오염물질농도예측에 관한 고찰

신축공동주택의 실내공기질을 예측하기 위한 기초 문헌으로 건축자재 인증등급과 실내공기 오염농도 예측 방법을 조사하였다. 또한, 오염물질 예측 데이터를 검증하기 위한 소형챔버 시험과 현장실측의 오염물질 채취방법 및 분석방법을 정리하였다.

1) 폼알데하이드의 농도는 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$, 휘발성유기화합물은 개별 물질인 벤젠 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 $700\mu\text{g}/\text{m}^3$, 스티렌 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하고 있다.

(2) 실내마감재의 폼알데하이드와 TVOC 방출량 실험

마감재를 용도와 재질에 따라 분류하고, 분류된 마감재 중 100종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시한 선행연구²⁾ 결과를 바탕으로 주요 실내마감재에 대한 오염물질 방출강도를 파악하고, Mock-Up Test를 실시하였다.

(3) 실내공기 오염물질 방출농도 예측식 도출

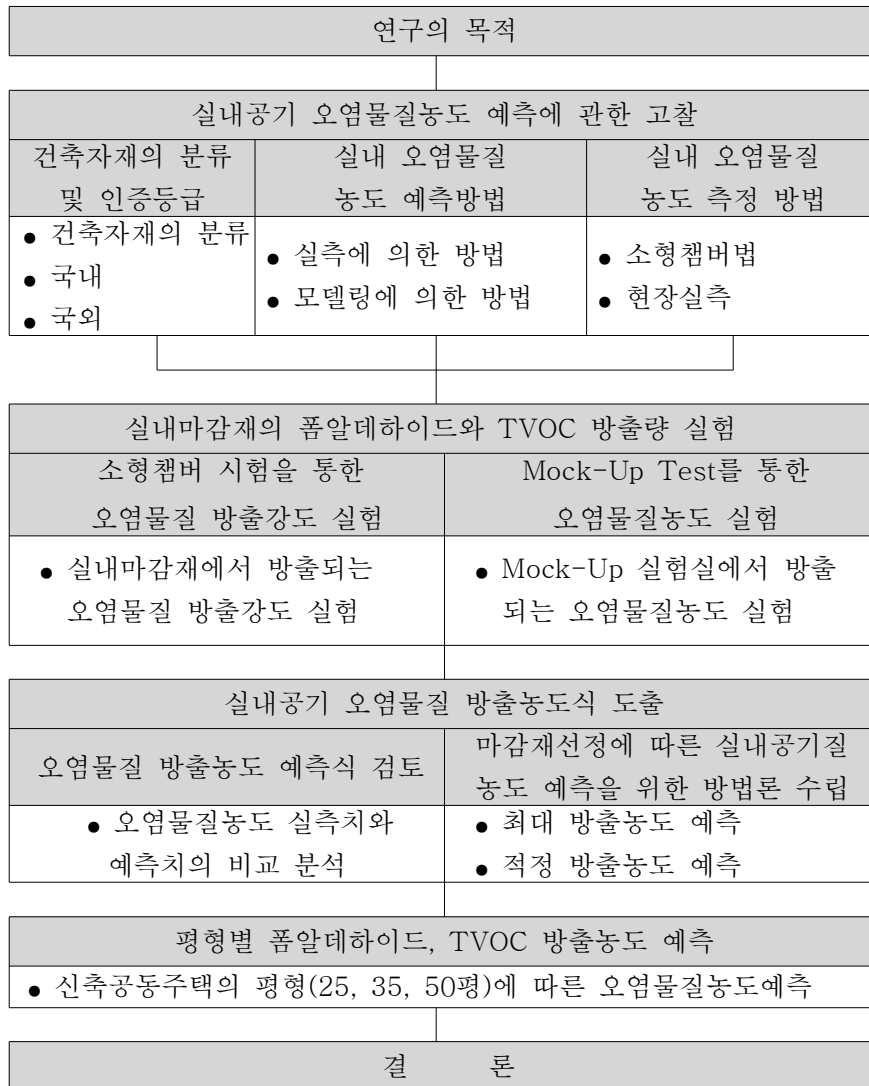
실내공기 오염물질 방출농도 예측식을 도출하기 위하여 Mock-Up Test에 의한 실측치와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 예측치를 비교·검토 하였다. 비교·검토를 통하여 오염물질 방출농도 예측식을 검증하고, 이 예측식을 바탕으로 건축자재 인증등급 중 'HB마크'에서 검증 받은 건축자재를 시공하였을 경우 오염물질 방출농도를 예측하였다.

(4) 평형별 폼알데하이드, TVOC 방출농도 예측

수립된 오염물질 방출농도 예측식을 이용하여, 주요 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제) 적용에 따른 신축공동주택 평형별(25평, 35평 50평)별 실내공기질을 예측하였다.

2) 유형규, 신축공동주택 실내공기오염물질의 발생원인 및 방출특성에 관한 실험 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2005

연구의 흐름은 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구의 흐름도

1.3 국내·외 연구동향

최근 국외 뿐 아니라 국내에서도 실내공기질에 관한 관심이 대두되고 있으며, 실내공기질은 재실자의 건강과 직결되는 문제로서 이에 대한 해결 방안으로 오염물질 저방출 건축자재 선정이 선행되어야 한다. 해외 선진국에서는 이미 건축자재 인증등급을 통해 건축주, 설계자와 시공자가 오염물질 저방출 건축자재를 선정하여 시공하도록 하고 있으며, 건물 완공 전, 오염물질의 농도예측에 관한 연구도 국내·외에서 활발하게 이루어지고 있다. 1990년대 중반 이후 국내에서도 건축자재에서 방출되는 오염물질 방출강도와 이에 따른 오염물질 저방출 건축자재에 관한 연구가 진행되고 있다.

오염물질농도 예측에 관한 연구는 실내 실내마감재의 오염물질 방출강도를 파악하기 위한 챔버 시험, 현장 측정 실험과 오염물질의 방출강도를 수식화한 모델링에 의한 방법으로 분류할 수 있다. 실내로 방출되는 오염물질의 농도예측에 관한 주요 연구 동향은 다음과 같다.

(1) 국내 연구 동향

국내에서는 건축자재 선정시 KS마크, 환경마크 및 HB건축자재 인증등급을 고려하고 있는 추세이다. 그러나 건축자재 인증등급은 개별 자재에 대한 친환경성 인증 등급이므로, 해당 자재들이 실제로 시공되었을 때의 오염물질 방출량을 예측 하는 것이 곤란하다.

기존에는 개별 자재에서 방출되는 오염물질 방출강도에 관한 연구와 공동주택 현장 측정을 통한 오염물질 실태 조사에 관한 연구가 주를 이루었다. 최근에는 현장실측, 소형챔버 시험결과를 통한 오염물질농도예측과 모델링에 의한 오염물질 예측에 관한 연구³⁾가 진행 중이다.

실측에 의한 연구는 자재의 방출강도를 분석하는 내용이 주를 이루고 있으며, 박준석⁴⁾은 복합자재의 VOCs방출량 예측 모델 개발을 목적으로 Cup법을 실시하였으며, 물질관류율 식에 개별자재의 물성치를 대입하여 얻은 복합자재에서의 전달저항의 추정치와 Cup법에 의해 측정된 전달저항 값을 비교하여 복합자재 내에서의 물질전달을 해석하였다.

방승기⁵⁾는 실내의 바닥마감재로 널리 쓰이고 있는 온돌용 마루 및 실내에 설

3) 강동화, 바닥난방 공간의 베이크 아웃에 의한 VOCs방출에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2005

4) 박준석 외, 유효확산계수를 이용한 복합자재의 VOCs방출량 평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2005

5) 방승기 외, 온돌용 마루와 가구에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)농도 감소 예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2005

치하는 대형 가구(불박이장)를 중심으로 시간경과에 따른 VOCs 농도를 측정하였다. 이러한 실측치를 바탕으로 일차감쇄모델을 이용하여 VOCs의 농도를 예측하였다. 또한, 김일호⁶⁾는 신축공동주택에서 발생하는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드 농도 예측을 위한 기초적인 연구로서, 자재 방출실험과 현장 실험을 바탕으로 일차감쇄모델을 이용하여 휘발성유기화합물과 폼알데하이드의 농도를 예측하였다.

모델링에 의한 연구로 김지영⁷⁾은 실내 유동 해석으로 실내 기류 흐름의 특성을 파악하고 환기량에 따른 각 실별 오염농도 저감의 양상을 알아본 후 각 마감재의 기여율을 해석함으로써 자재 방출량의 변화에 따른 실내 오염농도의 변화를 예측하였다.

김창남⁸⁾은 전열교환 환기시스템을 실험실에 설치하여 VOCs 농도 변화를 측정하고, CFD(Computational Fluid Dynamics)를 실내 오염물질농도 예측도구로 사용하여 그 결과를 실험실에서의 측정치와 비교분석하였다.

실측에 의한 결과를 바탕으로 모델링 방법이 이루어진 연구로 송두삼⁹⁾은 네트워크 시뮬레이션 툴인 ESP-r을 기반으로 공동주택과 같이 다실 공간의 풍압력 및 온도차에 의한 실간 기류이동 및 그에 따른 실내 오염물질농도의 변화를 예측하였다.

(2) 국외 연구 동향

해외 선진국에서는 친환경자재 라벨링제도(Eco-Labeling Program)를 제정, 시행하여 친환경적인 자재의 생산과 소비를 촉진하고 있다. 또한, 각종 건축자재의 오염물질 방출량에 대한 기초적인 데이터가 축적되어 이를 토대로 오염물질의 방출이 적은 건자재 및 시공재를 데이터베이스화하여 건설업자에게 제공하고 있다.

최근에는 실내공기질 개선을 위하여 마감재에서 방출되는 오염농도를 예측하는 다양한 모델들이 제안되고 있다. 모델링에 의한 연구로 Zhishi Guo¹⁰⁾는 솔벤트

6) 김일호 외, 신축공동주택의 VOCs&HCHO의 농도 예측에 기초적 연구, 대한설비공학회 2005하계학술발표대회 논문집, 2005

7) 김지영 외, 실내 오염농도 분포를 고려한 실내 공기질 예측방법, 대한설비공학회 2005하계학술발표대회 논문집, 2005

8) 김창남 외, 아파트 공간의 전열교환 환기시스템에 의한 실내 VOCs의 농도변화 예측, 대한설비공학회 2005하계학술발표대회 논문집, 2005

9) 송두삼 외, 실간 기류이동에 따른 오염물질 확산에 대한 평가 방법, 대한건축학회 창립 60주년 기념 학술발표대회논문집, 2005

10) Zhishi Guo et al., Estimation of the rate of VOCemissions from solvent-based indoor coating materials based on product formulation, Atmospheric Environment 33, 1999, pp. 1205~1215

코팅 마감재로부터 발생하는 TVOCs와 개별 VOCs의 방출량을 예측하기 위한 두 가지 모델을 제안하였다. 첫 번째는 두 가지 파라미터(수증기압과 분자량)를 고려하여 물질전달모델을 보완하여 만든 모델이며, 두 번째는 일차감쇄모델(first-order decay model)이다. 일차감쇄모델의 경우 실측을 통해 얻어진 방출 데이터를 바탕으로 시간의 함수로 나타낸다. 이 두 가지 모델은 소형챔버 시험 결과를 통해 신뢰도가 평가되었다.

이러한 연구 이후에 일차감쇄모델의 단순성에서 오는 부정확성을 보완하기 위하여 Molhave¹¹⁾는 일차감쇄모델에 몇 개의 계수를 추가한 다중감쇄모델(multi-compartment decay model)을 개발하였다. Yang, X¹²⁾은 목재 착색재(wood stain)와 카펫의 온도변화에 따른 VOCs 방출데이터를 예측하기 위한 CFD 모델 및 물리적 모델을 활용한 시뮬레이션을 수행하였다.

실측에 의한 결과를 바탕으로 모델링 방법이 이루어진 연구로 Jahn C, S Chang¹³⁾은 라텍스 페인트에서 방출되는 VOC를 예측하기 위하여 스테인레스 스틸과 석고보드에 각각 라텍스 페인트를 칠해 복합자재를 구성하여, 시간경과에 따른 챔버 시험을 실시하고, 또한, Chang and Gue(1992)가 목재 착색재(wood stain)의 방출량을 분석하였던 이중 경험적 모델(double experiential model)을 사용하여 오염물질 방출량을 분석하였다.

Sparks L,E¹⁴⁾는 물질전달 모델 중 Gas-Phase limited mass transfer model의 VOCs 농도 예측 적합성을 파악하였다. 이를 위하여 실험실 측정결과, 일차감쇄 모델과 물질전달 모델을 바탕으로 시간경과에 따른 오염물질농도를 파악하였다.

11) E. Sparks, RISK Version 1.5 User's Guide, US EPA, pp. 129

12) X. Yang, Study of building material emissions and indoor air quality, PhD Thesis, The Massachusetts Institute of Technology, 1999, pp. 132~135

13) Chang, John C.S. et al., Substrate effects on VOC Emissions from a latex paint, Indoor Air, 1997, pp. 241~247,

14) L.E. Sparks et al., Gas-phase mass transfer model for predicting volatile organic compound(VOC)emission rates from indoor pollutant sources, Indoor Air, 1996, pp. 31~40,

제 2장 실내공기 오염물질농도 예측에 관한 고찰

2.1 실내공기질 영향인자

실내공기질은 실내마감재에서 방출되는 오염물질에 의해 큰 영향을 받기 때문에 방출원으로서 실내공기질 문제를 근본적으로 다루기 위하여 건축자재에 대한 검토가 필요하다. 특히 복합화학 물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급이 증가함에 따라 건축자재에서 방출되는 오염물질농도가 증가하고 있다. 건축자재에서 방출되는 대표적인 오염물질은 폼알데하이드와 TVOC를 들 수 있다.

2.1.1 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드

폼알데하이드의 주요 발생원은 주거건물에서 많이 사용하는 단열재인 우레아-폼알데하이드 발포 단열재, 유리섬유, 요소계/멜라민계/페놀계 등의 합성수지, 섬유축소 방지제, 방부제 등이다. 특히 폼알데하이드는 파티클보드, 합판 등의 목재와 목재 접착제와 같은 가구 재료에서 많은 양이 방출된다.

폼알데하이드가 인체에 미치는 영향은 <표 2.1>와 같으며, 폼알데하이드는 독성의 정도에 따라 인체에 흡입, 흡수, 침투되는데, 이 중 흡입에 의한 독성이 가장 강한 것으로 알려져 있다. 폼알데하이드에 단기간 노출된 경우, 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이고, 장기간 노출된 경우, 기침, 설사, 어지러움, 구토 등의 질환을 일으킨다.

<표 2.1> 폼알데하이드의 인체에 미치는 영향

(단위: ppm)

농도	인 체 영 향	주요발생원
0.05~1.5	신경 정신적 영향	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 담배연기, 화장품, 옷감 등
0.05~1.0	냄새를 맡을 수 있음	
0.01~2.0	눈 자극	
0.1~25	상부기도 자극	
5~30	상부기도와 폐에 영향	
50~100	폐기종, 폐렴, 염증	
100 이상	사망	

2.1.2 건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)

휘발성유기화합물의 주요 발생원은 실내에 마감되는 페인트, 접착제, 파티클보드, 단열제, 코킹제, 목재에 사용되는 목재 방부제 등이 있다.

휘발성유기화합물이 인체에 미치는 영향은 <표 2.2>와 같으며, 휘발성유기화합물에 노출되었을 경우 인체 장해는 급성장해와 만성장해로 구분할 수 있다. 급성장해는 원인물질 자체의 독성에 의한 것이 큰 영향을 미치기 때문에 원인 물질 제거와 동시에 회복이 빠른 반면, 만성장해는 시각 및 청각 장해, 기억력 감퇴, 작업능률 저하, 수면 장애, 우울증 등의 장해가 지속된다.

<표 2.2> VOCs의 인체에 미치는 영향

오염물질	인 체 영 향	주요발생원
Benzene	골수손상, 혈소판, 백혈구 감소증	연기, 세척 및 청소용품, 페인트, 접착제, 파티클보드 등
Toluene	간, 혈액, 신경 등에 독성 피로감, 정신착란	페인트, 접착제, 카펫, 단열제 등
Xylene	신경계에 독성이 강함	페인트, 접착제, 카펫, 코킹제 등
Ethylbenzene	신경계에 독성이 강함	페인트, 바닥왁스 등
Pentachlorobenzene	정서불안, 신경착란, 피로감	목재방부제, 곰팡이 제거제 등
Dichlorobenzene	어지럼증, 신경계 손상, 피로감	방향제, 곰팡이 제거제 등

2.2 건축자재의 분류와 인증 기준

2.2.1 건축자재의 분류

주거건물의 건축자재는 용도와 재질에 따라 달라지기 때문에 <표 2.3>과 같이 분류할 수 있다.

<표 2.3> 건축자재의 용도와 재질별 분류

용도	재질별 대분류	재질별 세부분류	
벽 바닥 창호 가구	벽지 (벽면 마감재)	Non-PVC벽지	종이(합지)벽지 섬유(직물)벽지 목질계 벽지 숯벽지 무기질 벽지
		PVC벽지	실크벽지(PVC) 발포벽지 방염벽지 형광벽지
	도장재	수성 유성 기타	
	목재	원목 합판	
	점토소성	데코타일 도기타일 우드타일 벽돌 미장재	
	합성 수지계	폴리에스테르 멜라민치장판 판폐놀수지 바리솔	
	유리	에칭유리 베벨드유리 샌드블라스트	

2.2.2 국내 건축자재 인증 등급

최근 다양한 복합재료의 사용으로 인해 실내공기의 주된 오염원이 인체에서 인체와 실내마감재로 전환되어 가고 있다. 오염물질 방출량이 검증되지 않은 실내마감재의 사용은 실내공기질에 악영향을 미칠 수 있으므로, 마감재에 의한 건강상의 문제점을 줄이기 위하여 오염물질 저방출 실내마감재의 선정이 선행되어야 한다. 이러한 오염물질 저방출 마감재 선정을 돕는 인증등급으로 산업자원부의 '건축자재 KS규격'과 민간협회의 인증제도로 환경마크협회의 '환경마크', 공기청정협회의 'HB마크'등이 있다.

(1) KS마크

산업자원부 기술표준원의 주관으로 이루어지는 다양한 제품에 대한 규격기준으로서 실내마감재 중 벽지, 벽지용 전분계 접착제, 가구류의 재료인 합판, 섬유판, 파티클 보드 등에서 방출되는 폼알데하이드의 방출강도에 따라 <표 2.4>과 같이 구분하고 있다.

<표 2.4> KS 규격의 폼알데하이드(HCHO)방출강도 기준

(단위: mg/L)

일반자재	등 급	HCHO 방출강도	
		평균	최대
합판(KS F 3101) 기타 합판류	F1	0.5	0.7
	F2	5	7
	F3	10	12
파티클보드(KS F 3104) 섬유판(KS F 3200) 치장 목질 플로어링보드(KS F 3126)	E0	0.5	
	E1	1.5	
	E2	5	
무늬목 치장합판 플로어링보드 (KS F 3111)	일반용	10	12
벽지(KS M 7305)	온돌용	5	7
벽지(KS M 7305)	-	2	
벽지용 전분계 접착제(KS F 3217)	-	5	

(2) 환경마크

1977년 독일에서 처음 시행된 이 제도는 현재 일본, 캐나다, 유럽연합(EU) 등 선진국은 물론 개도국으로 확산되어 30여개 국가에서 성공적으로 실시하고 있다. 우리나라는 환경부와 환경마크협회의 주관으로 1992년부터 시행하고 있다.

환경마크는 일부 건축자재와 생활용품에 대해 제품의 제조에서 폐기까지 전과정에 걸친 환경성을 평가하는 인증제도로서, 환경에 유해한 정도, 재활용성, 인체

에 대한 유해성, 폐기물 활용성 등을 평가하여 친환경 마크를 부여하고 있다. 건축자재 분야에 대한 인증 기준은 <표 2.5>와 같다.

<표 2.5> 환경마크 인증 기준

종 류	기 준	
	폼알데하이드(HCHO)	TVOC
사무용 목재가구, 칸막이 부엌용 목재 식탁 붙박이형 목재 제품	1.5mg/ℓ 이하(목재)	-
목재 성형제품	0.5mg/ℓ	28일 후 0.2mg/m³h (또는, 7일 후 0.4mg/m³h)
벽지	2mg/ℓ	20mg/m³(합량)
접착제	0.5mg/ℓ 또는, 28일 후 0.005mg/m³h (또는, 7일 후 0.02mg/m³h)	28일 후 0.2mg/m³h (또는, 7일 후 0.4mg/m³h)
수성페인트	폼알데하이드 미포함 (단, 미반응 폼알데하이드의 존재는 무시)	VOCs 50g/ℓ(에멀전), 180g/ℓ(수분산형), 100g/ℓ(기타) 방향족탄화수소 1%이하의 용제 또는 제품함량 방향족탄화수소 0.15% (에멀전), 0.1% (기타) 할로겐화탄화수소 미포함
유성페인트	폼알데하이드 미포함 (단, 미반응 폼알데하이드의 존재는 무시)	VOCs 380g/ℓ(유성) 방향족탄화수소 25% 이하, 벤젠 0.1ppm이하의 용제 할로겐화탄화수소 미포함
장식용 합성수지 시트	1mg/ℓ 또는, 28일 후 0.05mg/m³h (또는, 7일 후 0.125mg/m³h)	28일 후 0.2mg/m³h (또는, 7일 후 0.4mg/m³h)

(3) HB마크

2004년 2월부터 ‘실내공기질 관리법’에 따라 공기청정협회의 주관으로 시행되고 있으며, 오염물질 저방출 건축자재의 개발을 유도하기 위하여 시행하고 있다.

협회가 제정한 친환경 건축자재 단체품질인증 규정에 의해 공인 시험기관에서 국내외에서 생산되는 건축자재를 환경부에서 제정한 실내공기질공정시험방법에 따라 시험한 후 자재의 오염물질 방출강도에 따라 제품에 인증등급을 부여하고

있다. HB마크는 건축자재에 한해 실시하고 있으며, 자재에서 방출되는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물의 방출강도를 실험하고 그 방출강도에 따라 5(최우수, 우수, 양호, 일반1, 일반2)개의 인증등급으로 구분한다.

HB마크는 <표 2.6>과 같이 클로버마크 5개(최우수 등급)에서 클로버마크 1개(일반Ⅱ등급)으로 구성되어 있으며, 건축자재 중 일반자재(판)는 소형챔버에서 7일차 실험결과를 기준으로 평가하고, 페인트와 접착제(액상)는 소형챔버에서 3일차 실험결과를 기준으로 평가한다.

<표 2.6> HB 건축자재의 인증등급

(단위: $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

구 분		일반자재	페인트	접착제
최우수 ★★★★★	TVOC	0.10 미만	0.10 미만	0.25 미만
	HCHO	0.03 미만	0.03 미만	0.06 미만
우수 ★★★★	TVOC	0.10 이상 ~ 0.20 미만	0.10 이상 ~ 0.20 미만	0.25 이상 ~ 0.50 미만
	HCHO	0.03 이상 ~ 0.05 미만	0.03 이상 ~ 0.05 미만	0.06 이상 ~ 0.12 미만
양호 ★★★	TVOC	0.20 이상 ~ 0.40 미만	0.20 이상 ~ 0.40 미만	0.50 이상 ~ 1.50 미만
	HCHO	0.05 이상 ~ 0.12 미만	0.05 이상 ~ 0.12 미만	0.12 이상 ~ 0.40 미만
일반Ⅰ ★★	TVOC	0.40 이상 ~ 2.00 미만	0.40 이상 ~ 2.00 미만	1.50 이상 ~ 5.00 미만
	HCHO	0.12 이상 ~ 0.60 미만	0.12 이상 ~ 0.60 미만	0.40 이상 ~ 2.00 미만
일반Ⅱ ★	TVOC	2.00 이상 ~ 4.00 미만	2.00 이상 ~ 4.00 미만	5.00 이상 ~ 10.00 미만
	HCHO	0.60 이상 ~ 1.25 미만	0.60 이상 ~ 1.25 미만	2.00 이상 ~ 4.00 미만

건축자재의 오염물질 방출량과 관련된 국내 인증등급은 <표 2.7>과 같다.

<표 2.7> 국내 인증등급 부여 기준 비교

	KS마크	환경마크	HB마크
목 적	'산업표준화법'에 따라 품질개선, 생산능률이 있는 공산품, 가공식품에 부여	생산,소비 전과정에서 자원재활용, 에너지 절약, 오염물질저감 등 친환경 성능이 있는 제품에 부여	국내 건축자재 생산 업체 제품과 수입건축자재를 대상으로 실내공기 오염물질 (HCHO, VOCs)방출강도가 적은 제품에 대해 부여
인증기관	한국표준협회	환경부 시행, 환경마크협회 위탁운영	한국공기청정협회
인증성격	산자부 공식인증	환경부 공인인증	민간 자율인증
인증대상	공산품(건축자재, 전자제품, 가정용품 등), 가공식품	사무용기기, 주택건설용자재, 가정용기기 제품 등 총 102개 제품군	건축물의 실내마감재로 사용되는 일반자재
시험항목	1항목 :폼알데하이드	12항목 :폼알데하이드, VOCs 등 중금속 등 유해물질 함량 :납, 카드뮴 등 자원 및 에너지 소비 등 환경전반 평가	2항목 :폼알데하이드, VOCs
사후관리	인증공장이 의무 이행 여부 점검, 이를 이행하도록 직/간접적으로 검토	인증제품이 기준에 적합한 환경성과 품질유지를 검토	인증 후 유통되는 제품을 수거해 재검사

2.2.3 국외 건축자재 인증 등급

환경라벨링(Environmental Labelling)은 제품에 대한 환경성 정보의 공개 및 전달수단으로서 가장 대표적인 제품중심의 환경 정책도구이다. 환경라벨링은 1977년 독일에서 푸른 천사(Blue Angel)라는 이름으로 가장 먼저 시작되었으며, 현재 1992년 시작된 우리나라의 환경마크를 비롯하여 유럽 회원국, 일본, 미국 등 전 세계 30여 개국에서 이를 도입, 운영 중에 있다. 최근에는 건축 시공시 정부나 민간단체를 중심으로 건축자재 인증제도(Labelling)를 시행하여 폼알데하이드와 휘발성유기화합물 방출량을 파악하여 실내환경과 건축자재에 대한 분류규

정을 제정하고 설계지침으로 사용함으로써, 오염물질 저방출 건축자재를 건축주, 설계자와 시공자가 손쉽게 선정하여 시공할 수 있다. 또한, 선진국에서는 이미 환경라벨링 국제표준화 규격 제 3 유형인 「환경성적표지규격」 제도를 도입·시행 중인데, 그 중 스웨덴은 “Certified Environment Product Declaration” 제도를 1998년부터 도입하여 ISO/TR14025에 가장 근접한 제도로 운영되고 있을 뿐만 아니라 매년 확대하고 있는 추세이다. 이러한 경향으로 앞으로는 건축자재에 대한 오염물질 방출강도가 매우 중요한 사항으로 부각될 것이며, 무공해(Non-Toxic) 건축자재의 활용이 확대되고 건축계획 및 시공과정에서 건축자재 선정 기준으로 활용될 것이다.

(1) SCANVAC

스웨덴, 노르웨이, 핀란드, 덴마크의 연합체로 구성된 HVAC, 에너지, 건축 환경, 의학 등을 전문으로 하는 학회인 SCANVAC은 건축자재에서 방출되는 폼알데하이드와 TVOC의 농도를 <표 2.8>과 같이 3단계로 분류하고 있다. 3단계의 분류는 각각 MEC-A (low-emission building materials), MEC-B(moderately emitting building materials), MEC-C(heavily emitting building materials)로 규정하고 있다. 여기서 MEC는 Material Emission Class의 약칭이다.

<표 2.8> SCANVAC 건축자재의 분류 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)

방출강도의 분류	최대 방출강도(20 °C, RH 50%)
MEC-A	40
MEC-B	100
MEC-C	450

(2) 미국

미국의 건축자재 인증 프로그램은 민간 차원에서 활발히 이루어지고 있다.

- 1) CRI(Carpet and Rug Institute)에서 주관하여 ASTM D5116 시험방법(카펫 인증 프로그램)을 적용하여 <표 2.9>의 카펫 인증 프로그램을 제정하였다.

<표 2.9> 카펫과 접착제 인증기준

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)

구 분	성 분	기 준
카펫	TVOC	0.5
	Styrene	0.4
	4-phenylcyclohexene	0.05
	HCHO	0.05
접착제	TVOC	10
	HCHO	0.05
	2-Ehtyl-1-Hexanol	3

- 2) 미국 주택도시개발부(HUD)와 합판 협회(HPVA)에서 주관하여 <표 2.10>의 폼알데하이드 인증 프로그램을 제정하였다.

<표 2.10> 폼알데하이드 인증기준

구 분	기 준(ppm)	Loading Factor(ft^2/ft^3)
벽용 합판	0.2	0.29
파티클보드 산업용합판	0.3	0.13

- 3) National Particle board Association에서 주관하여 <표 2.11>와 같은 인증 프로그램을 제정하였다.

<표 2.11> National Particle board Association의 인증기준

구 분	기 준	HCHO(ppm)	Loading Factor(ft^2/ft^3)
산업용 파티클보드	ANSI A208.1	0.3	0.13
바닥용 파티클보드	ANSI A208.1	0.2	0.13
테크용 파티클보드	HUD	0.3	0.13
MDF	ANSI A208.2	0.3	0.08

- 4) 비영리 단체인 Green Guard에서 주관하여 친환경 가구 및 자재 등을 대상으로 <표 2.12>와 같이 세분화한 인증 프로그램을 제정하였다.

<표 2.12> Green Guard의 가구 및 건축자재 인증기준

성 분	접착제 일반 건축재 바닥재	가정용 가구	천장재 단열재	사무가구 (의자,테스크 ,테이블 등)	페인트	벽지,직물, 가구 (워크스테 이션)
TVOC	0.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCHO	0.05ppm	0.05ppm	0.05ppm	0.025ppm	0.05ppm	0.05ppm
총 알데하이드	0.1ppm	0.1ppm	0.1ppm	0.05ppm	0.1ppm	0.1ppm
4-phenylcyclo hexene	0.0065 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	0.00325 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0.0065 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stylene	0.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	0.070 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-

(3) 캐나다

R-2000주택의 기본적 사양을 만족시키면서 유해 오염물질이 발생하는 도료와 건축자재를 최대한 사용하지 않도록 권고하고 있다. 실내공기질 개선의 일환인 오염물질 저방출 건축자재를 데이터베이스화하여 건설업자에게 제공하고 있다.

특히 Environmental Choice M Program은 1988년부터 캐나다 환경부에서 실시하고 있으며, 29개 생활용품에 대해 환경에 유해한 정도, 재활용성, 인체 유해성, 폐기물활용 등을 평가하여 친환경마크를 부여하고 있다. 접착제, 페인트, 카펫 등의 전자재를 포함하여 용도별 VOCs 함유량 및 독성물질 기준은 <표 2.13>과 같다.

<표 2.13> 건축자재 인증기준

종 류	성 분	기 준	비 고
페인트	VOCs 함강도	200g/L이하	-
카펫	TVOC	0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$	24시간 이후
	HCHO	0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$	48시간 이후
카펫접착제	TVOC	0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$	72시간 이후
	HCHO	0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$	72시간 이후

(4) 핀란드

건설정보센터(RTS)에서 주관하여 건축자재에서 방출되는 VOCs, 폼알데하이드, 암모니아, 발암성물질 등의 방출량에 따라 <표 2.14>와 같이 M1, M2, M3, 3등급

으로 구분하여 인증하고 있다.

<표 2.14> 실내 건축마감재 인증기준

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)

구 분	M1	M2	M3
VOCs	0.2	0.4	오염물질의 방출성능을 모르고 있는 재료, M2에서 제한하고 있는 기준값을 초과하고 있는 재료
HCHO	0.05	0.125	
암모니아	0.03	0.06	
Benzene 등 1급 발암물질	0.005	0.005	
냄새	무취성의 재료(냄새에 대한 불만족도 15%이하)	강한 냄새가 나지 않는 재료(냄새에 대한 불만족도 30%이하)	
기타	플라스터 등에는 카세인이 포함되지 않아야 함		
대상자재	바닥재, 페인트, 니스, 보드류, 광물섬유, 플라스터, 첨가제 등		

(5) 독일

UBA(Federal Environmental Agency)와 BAM(Federal Institute for Materials)이 공동으로 목재제품에 대한 Eco-Label(RAL-UZ38 rev)을 만들었다.

폼알데하이드(0.1ppm) 및 VOCs(<250g/l: 액상자재, <300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 일반자재)등 실내공기질과 관련된 오염물질 인증기준 뿐 아니라 제품 포장, 재생 원료 사용률, 사후 처리 등도 인증기준에 포함되어 있다.

1) Blue Angel

환경부에서 주관하여 88개 생활용품에 대해 환경 유해성, 재활용성, 인체 유해성, 폐기물 활용 등을 평가하여 친환경 마크를 부여하고 있다.

2) RAL-UZ38

환경부와 연방재료연구소가 제정하였으며, 챔버법에 의해 일정시간 경과 후 실내공기 오염물질농도를 측정한다. 가구, 문, 바닥재 등 목재가 자재원료의 50% 이상 함유된 완제품에 대하여 Eco-Label(RAL-UZ38 rev)인 Blue Angel을 인증하고 있다. <표 2.15>는 Eco-Label(RAL-UZ38 rev)의 인증기준이다.

<표 2.15> RAL-UZ38 인증기준

구분	평면형상의 제품 (도어, 판넬, 적층플로어링, 목재바닥)		입방형상의 제품 (가구 등)	
	초기값 24시간 후	최종값 28일 후	초기값 24시간 후	최종값 28일 후
HCHO	-	0.05ppm	-	0.05ppm
VOCs	-	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SVOCs	-	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene 등 1급 발암물질	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만

3) EMICODE

소비자들로 하여금 환경친화적 상품을 구매토록 할 목적으로 1997년 독일 접착제 생산업체들이 GEV(Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlege-werkstoffe)라는 비영리단체를 만들어 <표 2.16>의 환경라벨링을 실시하고 있으며, 현재 유럽 5개국, 30개 업체가 참가하여 400여 제품에 대해 EMICODE 등급(2000년 기준)을 부여하고 있다.

<표 2.16> GEV의 건축자재 인증기준

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

등급	방출량 범위	TVOC (프라이어)	TVOC (모르타르)	TVOC (접착제 등)
EMICODE EC1	매우 낮음	100이하	200이하	500이하
EMICODE EC2	낮음	100이상~300미만	200이상~600미만	500이상~1500미만
EMICODE EC3	다소 높은	300이상	600이상	1500이상

(6) 일본

최근 SBS(Sick Building Syndrome)가 이슈화됨에 따라 건설성을 비롯하여 후생성, 농림성 등 정부기관에서 실내공기 오염에 관한 지침을 제정하였다.

1) JIS(일본공업규격)

경제산업성과 일본공업규격협회가 주관하고 있으며, 2003년 3월 20일 개정하여

대상 자재를 확대 및 강화하고 있다. <표 2.17>은 일본 JIS의 폼알데하이드 방출 기준이다.

<표 2.17> 일본 JIS의 폼알데하이드 방출기준

등 급	규 격			비 고
	방산속도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)	방산량 (mg/L)	방산량 (mg/L)	
F☆☆☆☆	5이하	0.12이하	0.3이하	건축기본법상 제한없음
F☆☆☆	20이하	0.35이하	0.5이하	건축기본법상 면적제한
F☆☆	120이하	1.8이하	1.5이하	
등급외	120초과	1.8초과	1.5초과	건축기본법상 사용금지
적용자재	접착제류 6종 단열제류 3종	도료류 11종	보드류 2종 (섬유판, 파티클보드)	

2) JAS(일본농림규격)

농림수산성과 일본농림규격협회가 주관하고 있으며, 오염물질 방출량에 따라 3 등급으로 분류한 인증제도(Labelling)를 실시하고 있다. 2003년 2월 27일 개정하여 상위등급 추가 및 등급표시 기호를 변경하였다. <표 2.18>은 일본 JAS의 합판 등의 폼알데하이드 방출량 기준이다.

<표 2.18> 일본 JAS의 합판 등의 폼알데하이드 방출량 기준 (단위: mg/L)

이 전			개 정		
표시기호	방산량		표시기호	방산량	
	평균치	최대치		평균치	최대치
			F☆☆☆☆	0.3	0.4
Fc0	0.5	0.7	F☆☆☆	0.5	0.7
Fc1	1.5	2.1	F☆☆	1.5	2.1
Fc2	5.0	7.0	F☆	5.0	7.0
적용자재	합판(보통 합판, 구조용 합판, 특수합판, 콘크리트 거푸집용 합판, 난연합판, 방염합판), 구조용 패널, 플로어링, 집성재, 단판적층재, 구조용 단판적층재				

3) Eco Mark Program

일본환경협회가 주관하여 페인트, 목재, 벽지, 타일, 단열재 등의 재활용 및 친

환경 건축자재와 생활용품에 대해 환경에 유해한 정도, 재활용성, 인체 유해성, 폐기물 활용 등을 평가하여 친환경마크를 부여하고 있다.

2.3 실내공기 오염물질농도 예측 방법

2.3.1 실측에 의한 오염물질농도 예측 방법

실측에 의한 오염물질농도 평가 방법은 개별 건축자재의 오염물질 방출강도를 파악하는 챔버법과 현장 실측방법이 있다. 실측에 의한 오염물질농도 예측 방법은 측정된 오염물질농도를 바탕으로 경험적 모델을 이용한다.

(1) 챔버 시험법

실내마감재 표면에서 방출되는 오염물질농도를 측정하기 위하여 챔버 시험이 행해지며, 챔버 시험을 위한 챔버는 용량이 1m³이하인 소형챔버와 1m³이상인 대형챔버로 구분된다. 소형챔버는 주로 건축자재의 시편(판상: 165mm×165mm, 액상: 300g)을 이용하여 오염물질 방출강도를 파악하는데 사용되며, 대형챔버는 가구류 등과 같은 완제품 오염물질 방출강도를 파악하는데 사용된다. 주요 선진국에서는 오염물질 방출강도에 대한 소형챔버와 대형챔버를 이용한 오염물질 방출강도 측정법을 표준화하고 있다.

소형챔버법은 실내마감재 표면에 설치하여 오염물질 방출강도를 파악하는 FLEC(Field and Laboratory Emission Cell)와 챔버 내부에 마감재 시료를 설치하여 오염물질 방출강도를 파악하는 Small Chamber로 구분된다.

FLEC는 덴마크의 건설연구소, 공중위생원과 스웨덴 국립시험연구소가 공동으로 개발하여 현재 핀란드(M-Class; 건축자재 라벨링제도), 스웨덴(바닥재무역협회), 덴마크(실내환경 라벨링제도) 등 유럽 국가에서 공식 측정법으로 사용되고 있으며 최근에는 미국, 일본 등 국가에서의 사용도 늘고 있다¹⁵⁾. FLEC는 개별 건축자재 및 현장에서 발생하는 오염물질의 방출농도 측정이 가능하다.

Small Chamber는 건축자재(벽지, 접착제, 바닥재 등) 시편을 20ℓ 스테인레스 챔버에 넣어 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물의 방출강도를 측정한다.

대형챔버는 실제 크기(40m³)의 실에 가구를 비롯한 모든 인테리어를 마치고, 오염물질농도를 측정하거나, 여기에 일반적으로 실내에서 사용하는 가구류, 사무기기 등과 같은 완제품을 두어 오염물질 방출농도를 측정한다. 대형챔버는 시편

15) 조완재, 건축자재의 VOCs 방출시험방법 및 방출특성, 대한설비공학회, 2002

이 아닌 실제 크기의 완제품을 두고 실험을 하는 것이므로, 실제 환경 조건에서 실내로 방출되는 오염물질농도를 보다 정확하게 파악할 수 있다.

일본이나 유럽, 미국은 소형챔버법과 병행하여 각종 사무기기와 자동차 내·외장재, 책상, 의자 등의 가구류, 반도체 공장에 대한 평가를 대형챔버를 활용하여 실제 사용 환경에서 발생하는 유해가스물질에 대한 평가와 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 측정 및 분석을 위한 기초 장비의 대형챔버 시스템 보급이 확대되고 있다¹⁶⁾.

소형챔버 시험법은 Mock-Up Test 보다 챔버 제작비용이 저렴하며, 실험의 용이성, 실험의 신뢰성으로 인해 건축 자재의 오염물질 방출강도 실험에 많이 사용되고 있다. 그러나 소형챔버 시험이 일정한 조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수 등)에서 행해지기 때문에 실험 조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수 등)이 변하는 실제 건물에서는 오염물질의 방출 패턴이 달라질 수 있으며, 실험 건축자재의 크기를 제한하기 때문에 실제 건물에 사용되는 가구류, 사무용 기기 등의 방출강도를 파악하기 힘들다.

반면, 대형챔버 시험법은 실물크기의 실험실에서 실험이 행해지기 때문에 가구류와 같은 완제품에 대한 오염물질 방출강도 측정이 가능하다. 그러나 소형 챔버에 비해 제작비용이 많이 들며, 유지관리가 힘들다는 단점을 가지고 있다.

(2) 현장측정법

현장측정법은 실험 조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수 등)이 일정하지 않은 실제 조건에서 실내로 방출되는 오염물질농도를 측정하는 방법이다. 현장측정법은 실제 환경에서 종합적으로 오염물질 방출농도를 측정하기 때문에 실측한 실의 가장 정확한 농도를 확인 할 수 있다.

그러나 현장에서 오염물질농도를 측정하기 때문에 오염농도의 변화에 대한 개별적인 원인을 파악하는 것이 힘들며, 동일하지 않은 공간에서는 오염물질 방출농도가 달라질 수 있으므로 다수의 실험이 필요하다.

2.3.2 모델링에 의한 오염물질농도 예측 방법

실내공기 오염물질농도는 대부분 실측에 의해 진행되고 있으나 실측에 의한 오염물질 측정 방법은 실험결과가 실험조건과 현장조건에 따라 변화하므로 다수의 실험을 실시하여야 한다. 여기서 요구되는 비용과 시간상의 문제점을 보완하기 위한 방법으로 모델링을 이용한 실내공기질 예측방법이 있다.

16) 윤동원, 실내 오염물질 방출특성 규명을 위한 Test Chamber법에 대한 고찰, 대한설비공학회지, 2005

모델링에 의한 오염물질농도 예측 방법은 챔버 시험을 통해 도출된 건축자재와 완제품 등의 방출강도를 시간 경과에 따라 예측하는 것이 가능하고, 실내 마감재에서 방출되는 오염물질농도를 예측하는데 활용할 수 있다.

이러한 모델링 기법은 경험적 모델, 물질전달 모델로 분류되며, 모델링을 적용한 오염물질농도 예측방법을 통해서 설계자는 실내공기질을 쾌적하게 유지할 수 있는 설계조건을 파악할 수 있다.

(1) 경험적 모델에 의한 오염물질농도 예측 방법

경험적 모델은 실측에 의한 오염물질농도예측 방법 중 챔버 시험결과를 분석하여 단순한 수식으로 나타낸 것이다.

경험적 모델링은 오염물질 방출결과를 바탕으로 시간 함수로 나타내기 때문에 시간 경과에 따른 오염물질 방출농도에 대한 예측이 가능하며, 일반적으로 시간 함수로 나타내는 경우 일차감쇄모델 (식 2.1)의 형태로 나타난다.

경험적 모델은 경험적 상수의 물리적 의미가 전혀 없으며 챔버 시험결과를 표현하기 위한 것이므로, 방출에 영향을 미치는 내부인자와 외부인자가 한꺼번에 평가 된다¹⁷⁾. 또한, 경험적 모델은 실험 조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수 등)이 다른 건물의 오염물질농도 예측이 불가능 하다.

$$R(t) = R_0 e^{-kt} \dots\dots\dots \text{(식 2.1)}$$

여기서,

- R(t) : 시간에 따른 방출속도(mg/m²· h)
- R₀ : 초기 방출속도(mg/m²· h)
- k : 1차 감소상수(h⁻¹)

(2) 물질전달 모델에 의한 오염물질농도 예측 방법

물질전달 모델은 Fick's Law에 의해 오염물질 방출농도의 예측이 가능하며, 자재내부 및 공기영역의 압력, 농도, 온도에 따른 확산 등 물질전달 이론을 기반으로 개발 된다¹⁸⁾. 물질전달 모델은 물리적 모델과 CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학)로 분류된다.

물질전달 모델은 실내공기가 완전 혼합인 상태인 것으로 가정한 1차원 확산식으로 나타낼 수 있으며, (식 2.2)와 같은 Fick's Law로 표현할 수 있다.

17) 강동화, op. cit., p. 13

18) Ibid., p.13

CFD(Computational Fluid Dynamics)는 건축자재에서 발생하는 오염물질의 방출과 확산에 대한 예측을 위하여 실내기류를 해석하지만, 장기간 오염물질 방출을 평가하는 것은 어렵다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (D_m \frac{\partial C_m}{\partial x}) = \frac{\partial C_m}{\partial x} \dots\dots\dots (\text{식 2.2})$$

여기서,

- C : 자재 내부의 VOCs 농도(mg/m³)
- Dm : 자재 내부의 VOCs 확산계수(m²/s)
- x : VOCs 확산방향 길이(m)

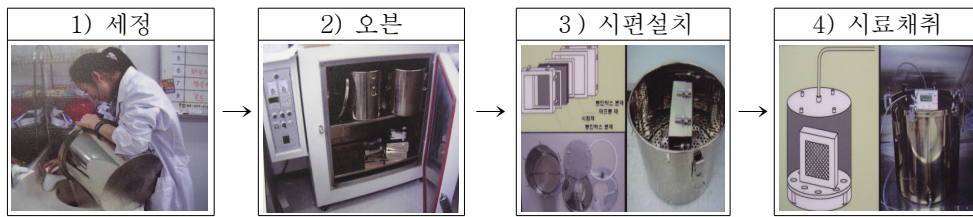
물질전달 모델은 오염물질 방출에 영향을 미치는 내부인자와 외부 인자를 구분하여 평가할 수 있으며, 물질전달 모델을 통해 개발된 모델은 실험 조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수 등)이 다른 건물의 오염물질농도 예측이 가능하다. 물질전달 과정은 건축자재 내부에서 확산하는 현상, 건축자재표면에서 공기 중으로 확산되는 현상, 공기 중의 오염물질이 건축자재에 흡착되는 현상 등을 해석해야한다. 이들을 해석하기 위한 수학적식으로 실내공기 중 건축자재내의 VOCs 수송지배방식, 흡탈착면에 관한 지배방정식이 있다. 이 수식으로 오염물질의 방출, 이동 및 확산 성상을 예측할 수 있다.

2.4 실내공기 오염물질농도 측정 방법

2.4.1 소형챔버법에 의한 오염물질 측정 방법

실내공기질 개선을 위하여 오염물질 저방출 건축자재의 선정이 선행되어야 하는데, 그 중 한 가지 대안으로 최근 한국공기청정협회에서 주관하고 있는 ‘HB 건축자재 인증등급’이 있다. 건축자재 인증등급에서 오염물질 평가방법은 실내마감재 표면에서 방출되는 오염물질농도를 측정하는 소형챔버법을 이용하고 있다.

(그림 2.1)은 소형챔버를 이용해 건축자재에서 방출되는 오염물질을 채취과정 이다.



(그림 2.1) 소형챔버를 통한 오염물질 채취 과정

(1) 오염물질 측정 방법

1) 세정(cleaning)

방출실험 챔버를 해체하고 물로 챔버를 세정한 후, 증류수로 행군다.

2) 오븐(baking)

챔버 세정 후 챔버내에 남아있는 오염물질을 완전히 제거하기 위하여 260℃에서 15분이상 가열한다.

3) 시편설치

공기가 시편 방출면 위를 균일하게 흐르도록 챔버의 중심에 고정틀을 위치시킨다. 판상 재료는 시료 부하율에 맞게 자재를 잘라 시료 고정틀에 고정한 후, 챔버내에 설치하고, 액상 재료는 시료 부하율에 맞게 전자저울로 무게를 측정하여 유리판에 골고루 도포하여 고정틀에 고정하여 챔버내에 설치한다.

4) 시료채취

챔버 내부에 순수공기를 공급하면서 액상(접착제, 페인트)재료는 3일, 판상(판넬, 판, 보드, 물제품)재료는 7일 경과 후, 자재에서 방출되는 오염물질을 채취한다. 폼알데하이드는 DNPH-Silica Cartridge, VOC's는 Tenax Tube를 이용하여 150ml/min으로 30분간 측정하여 4.5ℓ의 공기를 포집한다.

(2) 오염물질 방출강도 산출방법

소형챔버를 통해 추출한 오염물질은 다음의 환경부에서 고시한 실내공기질공정시험방법 중의 건축자재 오염물질 방출강도 계산식을 통해 방출강도를 산출한다.

계산식은 시험편을 방출시험챔버에 넣은 후, 측정을 시작하는 시간 t에서 방출량 EFa를 산출하며, 방출시험챔버 농도 Ct는 시간 t에서 대상 휘발성유기화합물과 포름알데히드의 농도를 나타낸다.

$$EF_a = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{A} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times nV}{A} = (C_t - C_{tb,t}) \times q = (C_t - C_{tb,t}) \times \frac{n}{L}$$

..... (식 2.3)

여기서,

A	: 시험편의 표면적(m^2)
Ct	: 시간 t에서의 방출시험 챔버내의 휘발성유기화합물과 폼알데하이드의 농도(mg/m^3)
Ctb,t	: 시간 t에서의 배경농도(mg/m^3)
L	: 시료부하율(m^3/m^3)
EFa	: 단위면적당 방출강도($mg/m^2 \cdot h$)
n	: 환기횟수(회/hr)
Q	: 방출 시험 챔버의 환기량(m^3/h)
q	: 단위 면적당 환기량($m^3/m^2 \cdot h$)
t	: 시험 개시 후 경과 시간(시간 또는 일수)
V	: 방출 시험 챔버의 용적(m^3)

2.4.2 현장실측에 의한 오염물질 측정 방법

실내 공기 오염물질의 채취는 환경부에서 규정한 실내공기질공정시험방법에 따라 실행하였으며, 실내공기질공정시험방법은 공동주택 실내공기 중에 포함되어 있는 오염물질 중 휘발성유기화합물(VOCs)과 폼알데하이드의 농도를 측정하기 위한 실험 방법이다.

공동주택에서 실내공기질 측정은 다음의 조건이 만족되는 경우를 표준적인 측정방법으로 한다.

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 측정 대상 실내공기의 수준을 외부 공기와 같이 유지한다.

2) 5시간 이상 밀폐

외부공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)를 5시간 이상 모두 닫아 실내외 공기의 이동을 방지한다. 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 시

료채취량의 범위를 만족하는 선에서 측정시간을 변경할 수 있다. 실내에 자연 환기구 및 기계 환기 시스템이 설치되어 있을 경우, 이를 밀폐하거나 가동을 중단하고 측정을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

시료 채취시 실내온도는 20℃ 이상을 유지하도록 하고, 실내에 자연환기구나 기계 환기 시스템이 설치되어 있을 경우, 각각의 급배기구로부터 최소 1m 이상 떨어진 곳에서 측정하도록 한다. 또한 채취시간은 일반적으로 오후 1시부터 5시 사이에 측정하는 것을 원칙으로 한다.

단위세대에서의 시료 채취는 단위세대의 거실 중앙부에서 실시하며, 원칙적으로 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치의 바닥 면으로부터 1.2~1.5m 높이를 기본 측정점으로 한다. (그림 2.2)는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물을 측정하는 장면이다.



(그림 2.2) 실내오염물질 측정

2.4.3 오염물질 분석 방법

(1) 휘발성유기화합물(VOCs)

소형챔버법 및 현장측정을 통해서 Tenax Tube에 포집된 시료는 GC(Gas Chromatography)에 주입이 되어 약 250℃에서 휘발성유기화합물을 열탈착한다.

Tube 주위에 heater를 장착하여 짧은 시간에 탈착이 일어나게 하며 이를 바로 GC에 주입하지 않고 저온에서 다시 focusing한 후에 재탈착하여 GC에 주입한다.

본 연구에서 사용한 GC/MSD/TDS 분석 장비와 분석조건은 <표 2.19>와 같다.

GC에 의해 분석이 끝난 Tenax Tube는 재사용 전에 고순도 질소나 헬륨을 통과 시키면서 흡착제의 해당 baking온도에서 baking을 하여 condition후에 사용하며, 흡착제의 오염이 분석 background에 영향을 주지 않는지 확인 한다.

Condition이 끝난 Tube는 다시 주변의 오염된 공기가 스며들어 오염이 될 수 있으므로 관에 넣어 4℃의 냉장고에서 보관한다.

<표 2.19> GC/MSD/TDS 분석장비 및 분석조건

	저온농축장치 (CIS)		Split mode 25 : 1 -50℃→12℃/s 280℃(5min)
	열탈착장치 (TDS)		Splitless mode, Flow: 50ml/min 30℃→60℃/min→240℃(5min)
	Column		HP-VOC 60m, I.D 0.2mm, Film 1.12 μm
	Carrier Gas and Flow		He(99.999), 0.8ml/min
	Temp. Program	Initial Temp	40℃(5min)
		Temp. Program	40℃→4℃/min→200℃(10min) →6℃/min→250℃
		Final Temp.	250℃(3min)
	MS Condition	Mode	EI(electron ion)
		Electron Energy	70ev
		Detection Mode	TIC(Scan), m/z : 35 ~ 350

(2) 폼알데하이드(HCHO)

소형챔버법 및 현장측정을 통해서 DNPH-Silica Cartridge에 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 추출한다. 추출이 끝난 시료는 즉시 HPLC로 분석한다. 폼알데하이드의 분석은 고성능액체 크로마토그래피(HPLC)방법이 사용되고 있으며, 본 연구에서 사용한 고성능액체 크로마토그래피(HPLC)와 분석조건 <표 2.20>과 같다.

<표 2.20> HPLC 분석장비 및 분석조건

	Mobile Phase	ACN / Water (70/30, v/v)
	Analysis Time	14 min
	Injection Volume	20 μl
	Column Temp.	25 ℃(Room Temp.)
	Flow Rate	1.3 ml/min

제 3장 실내마감재의 폼알데하이드와 TVOC 방출량 실험

3.1 실내마감재에서 방출되는 오염물질의 방출강도 실험

본 절에서는 (2.2.1)의 마감재 중 100종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시한 선행연구¹⁹⁾ 결과를 바탕으로 주요 실내마감재에 대한 오염물질 방출강도를 파악하였다. 이를 통하여 마감재 선정시 건축주, 설계자와 시공자가 건축자재의 오염물질 방출강도 패턴을 파악할 수 있도록 하였다.

3.1.1 실험 개요

실내 마감재에 따른 방출강도를 조사하기 위하여 실내마감재를 용도와 재질에 따라 분류 하고, 그 중 가장 일반적으로 사용되는 벽지, 접착제, 바닥재 및 기타 건축자재 중 100종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시하였다. 소형챔버 시험은 환경부에서 고시한 실내공기질공정실험방법에 따라 실행하였으며, 분석대상 오염물질은 새집증후군을 일으키는 대표적인 물질 중 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물(TVOC)이다.

3.1.2 소형챔버 시험

소형챔버 시험은 선행연구²⁰⁾에서 <표 3.1>과 같이 건축자재 100종을 대상으로 실시하였으며, 그 결과를 <표 3.2>, <표 3.4>, <표3.5>, <표3.6>과 같이 정리 하였다.

19) 유형규, op. cit., pp. 55~78

20) Ibid., pp. 55~78

<표 3.1> 소형 챔버 시험 건축자재

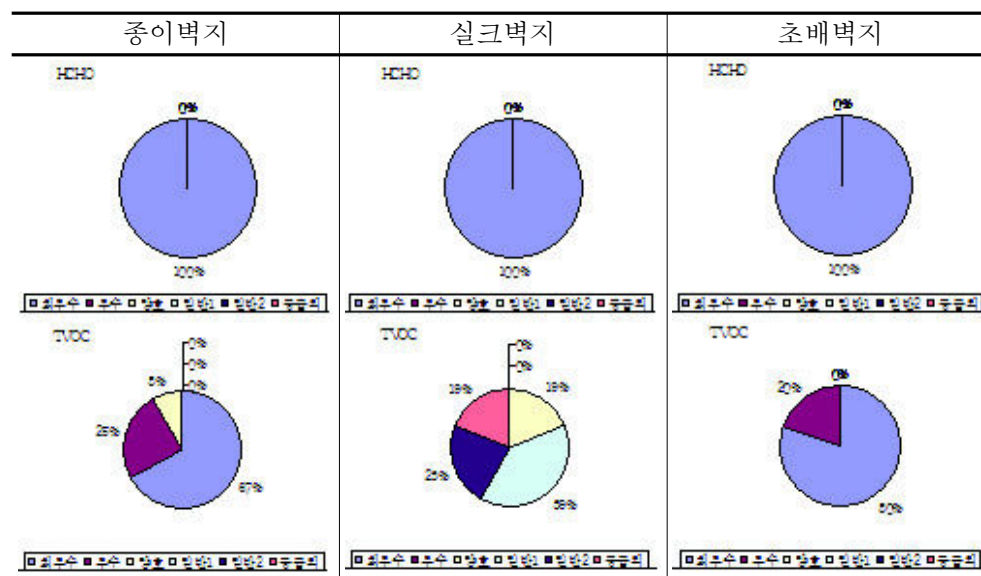
분류	소분류	수량		비고
벽지	실크벽지	26종	43종	
	종이벽지	12종		
	초배벽지	5종		
접착제	도배용	5종	32종	
	목재용	13종		
	PVC접착용	3종		
	타일용	4종		
	마루 바닥판용	5종		
	흙접착용	2종		
바닥재	온돌 마루용	5종	8종	
	바닥흙용	3종		
기타	기타 건축자재	17종	17종	접착제(석고보드, 주방싱크대 접착 등), 충진재, 방수액, 코팅제, 필름지, 벽체(미장용), 타일(욕실벽 등)
총 합계		100종		

(1) 벽지

벽지는 재료(수성, 유성), 가공방법과 시공과정에 따라 분류할 수 있으며, 특히 벽지 도배시 시공과정에 따라 정배지와 초배지로 분류할 수 있다. 정배지는 실내의 가장 표면에 시공되는 벽지로서, 종이벽지와 실크벽지(염화비닐벽지 또는 PVC벽지)로 구분할 수 있다. 초배지는 벽면의 마감상태가 고르지 않고, 주로 실크벽지를 정배지로 선정하는 경우, 정배지 내부에 시공한다.

43종의 벽지를 대상으로 소형 챔버 시험을 실시한 폼알데하이드 및 TVOC의 방출강도 실험결과는 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 벽지 재질에 따른 자재인증등급의 분류



소형챔버 시험결과, 폼알데하이드의 방출강도는 벽지 중 종이벽지 0.000~0.016 (mg/m³·h), 실크벽지 0.001~0.020(mg/m³·h), 초배벽지 0.001~0.008(mg/m³·h)가 방출되어 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’에 따라 모두 최우수 마감재인 것으로 평가되었다. 폼알데하이드의 방출강도는 초배벽지>종이벽지>실크벽지 순으로 나타났다.

소형챔버 시험결과, TVOC의 방출강도는 벽지 중 종이벽지 0.009~0.232(mg/m³·h), 실크벽지 0.282~10.824(mg/m³·h), 초배벽지 0.001~0.134(mg/m³·h)가 방출되었다. TVOC의 방출강도는 실크벽지>종이벽지>초배벽지 순으로 나타났다.

소형챔버 시험결과, 벽지의 재질에 따른 분류에서 실크벽지의 오염물질 방출강도가 가장 높은 것으로 나타났으나, 최근 실크벽지의 재료를 유성잉크에서 수성잉크로 변경하여, 오염물질 방출강도가 점차 낮아지는 추세이다.

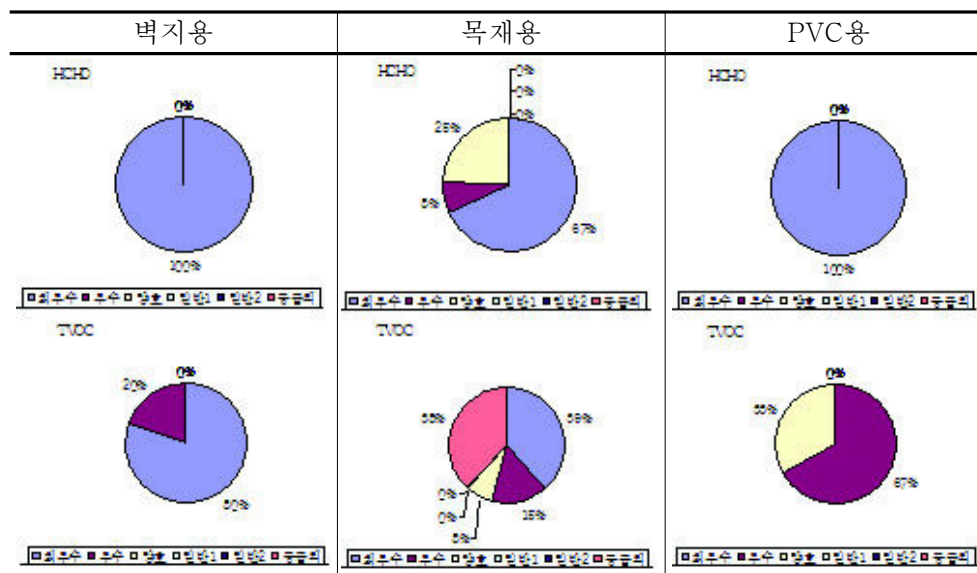
(2) 접착제

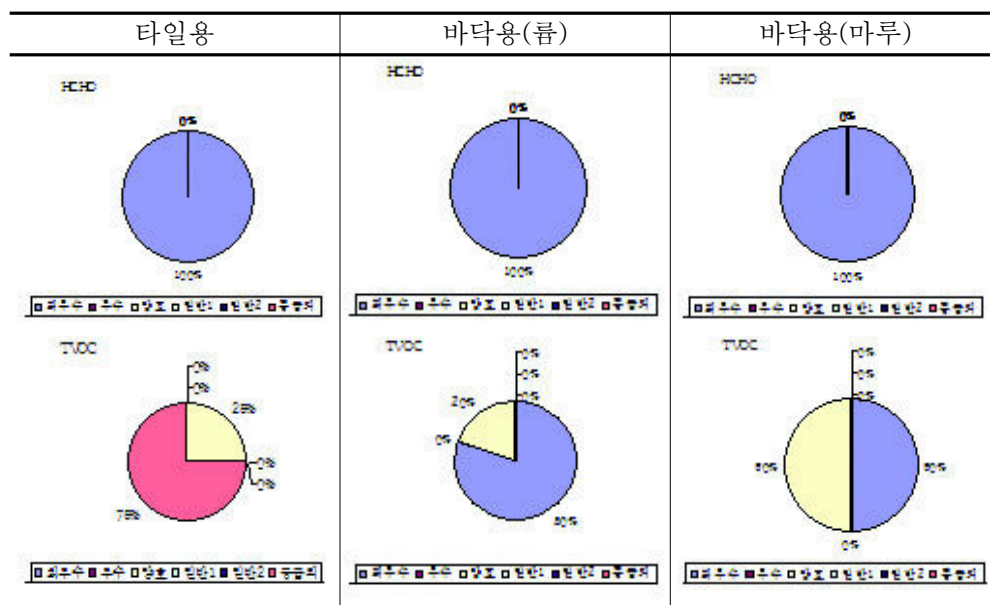
접착제의 종류는 구성 성분에 따라 무기계 접착제와 유기계 접착제로 분류할 수 있으며, 유기질은 천연수지계와 합성수지계로 분류할 수 있다<표 3.3>. 32종의 접착제를 대상으로 소형챔버 시험 실시 후 폼알데하이드 및 TVOC의 방출강도 실험결과는 <표 3.4>와 같다.

<표 3.3> 접착제의 분류

대분류		중분류	비 고
실내용	수지계	녹말계	녹말, 텍스트린 등
		단백질계	아교, 카세인등
		고무계	스티렌계, 라텍스, 고무폴등
		수지계	송진, 셀락 열경화성수지, 열가소성수지계등
		혼합계	페놀계, 에폭시계 등
	기 타	실란트	부틸계, 초산계 등
		코킹제	-
		빠 데	접착용 빠데
건 축 외부용		시멘트, 아스팔트, 세라믹 등	무기계 접착제, 구조용
비건축용		섬유용, 전자용, 선박용등	핫멜트, 순간접착제 포함

<표 3.4> 접착제 재질에 따른 자재인증등급의 분류





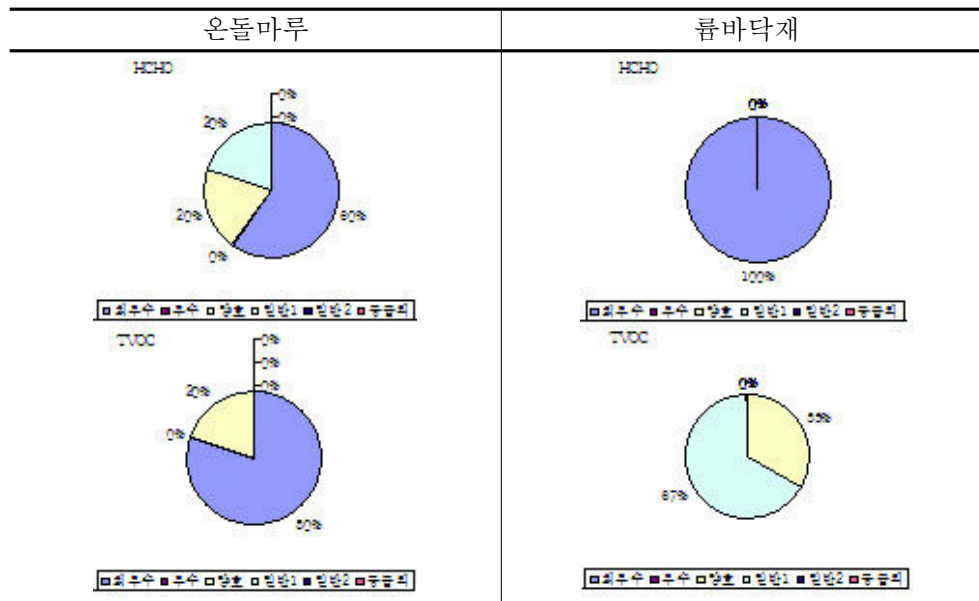
소형챔버 시험결과, 폼알데하이드의 방출강도는 접착제 중 벽지용 접착제 0.001~0.011(mg/m³·h), 목재용 접착제 0.000~0.162(mg/m³·h), PVC 접착제 0.001~0.006(mg/m³·h), 타일용 접착제 0.001~0.060(mg/m³·h), 바닥판 접착제 0.001~0.011(mg/m³·h)가 방출되어 목재용 접착제를 제외한 모든 접착제가 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’에 따라 최우수 마감재인 것으로 평가되었다. 폼알데하이드의 방출강도는 목재용 접착제>타일용 접착제>벽지용, 바닥판 접착제>PVC 접착제 순으로 나타났다.

소형챔버 시험결과, TVOC의 방출강도는 접착제 중 벽지용 접착제 0.002~0.355(mg/m³·h), 목재용 접착제 0.019~19.429(mg/m³·h), PVC 접착제 0.319~0.885(mg/m³·h), 타일용 접착제 0.780~22.024(mg/m³·h), 바닥판 접착제 0.020~1.336(mg/m³·h)가 방출되었다. TVOC의 방출강도는 타일용 접착제>목재용 접착제>바닥판 접착제>PVC 접착제>벽지용 접착제 순으로 나타났다.

(3) 바닥재

바닥재는 주거건물에 일반적으로 사용되고 있는 온돌마루와 흙바닥재를 실험하였으며, 8종의 바닥재를 대상으로 소형챔버 시험 실시 후 폼알데하이드 및 TVOC의 방출강도 실험결과는 <표 3.5>와 같다.

<표 3.5> 바닥재 재질에 따른 자재인증등급의 분류



소형챔버 시험결과, 폼알데하이드의 방출강도는 온돌마루 0.001~0.417(mg/m³·h),榻榻미 0.001~0.004(mg/m³·h)가 방출되었다. 폼알데하이드의 방출강도는 온돌마루>榻榻미 순으로 나타났다.

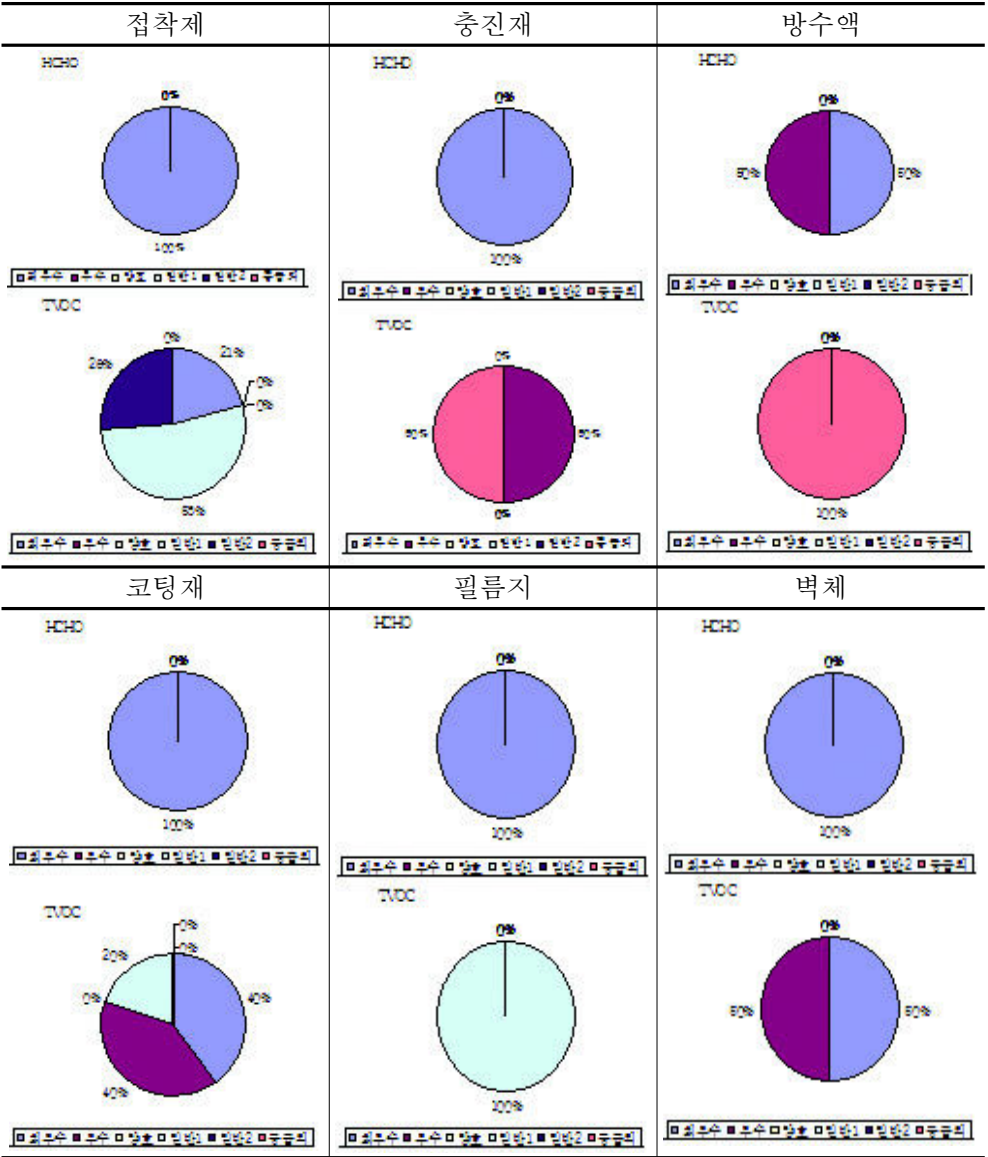
소형챔버 시험결과, TVOC의 방출강도는 온돌마루 0.009~0.327(mg/m³·h),榻榻미 0.270~1.609(mg/m³·h)가 방출되었다. TVOC의 방출강도는榻榻미>온돌마루 순으로 나타났다.

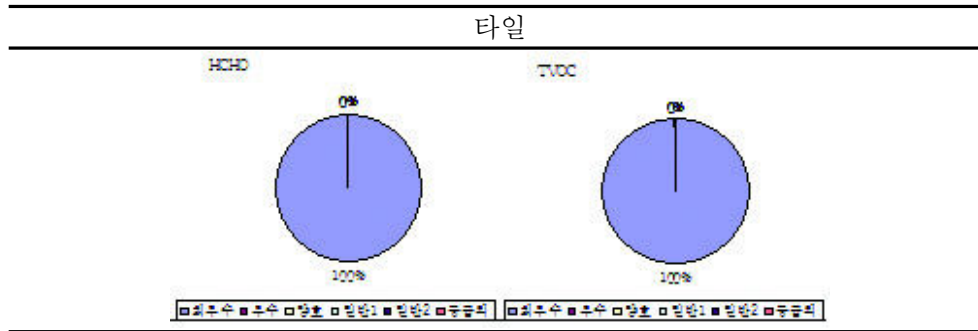
폼알데하이드는 온돌마루가榻榻미에 비하여 많이 방출되고 있으며, TVOC 농도는榻榻미가 온돌마루에 비하여 많이 방출되고 있는 것으로 나타났다.

(4) 기타 건축자재

건축공사에 사용되는 건축자재 중 일부 제품을 선정하여 실험하였다. 접착제는 Latex(합성고무), 주방 싱크대에 사용하는 자재, 충전제는 목재, 바닥재의 이음새에 사용하는 자재, 코팅제는 시멘트 벽돌, 시멘트에 사용하는 자재, 필름지는 PVC필름에 사용하는 자재, 벽체는 미장에 사용하는 자재, 타일은 주방과 욕실벽에 사용하는 자재를 선정하여 실험하였다. 17종의 기타 건축자재를 대상으로 소형챔버 시험 실시 후 폼알데하이드 및 TVOC의 방출강도 실험결과는 <표 3.6>과 같다.

<표 3.6> 기타 건축자재 재질에 따른 자재인증등급의 분류





소형챔버 시험결과, 폼알데하이드의 방출강도는 기타 건축자재 중 접착제 0.001~0.019 (mg/m³·h), 충전재 0.006~0.008(mg/m³·h), 방수액 0.011~0.049(mg/m³·h), 코팅재0.004~0.029 (mg/m³·h), 필름지 0.007(mg/m³·h), 벽체 0.002~0.005(mg/m³·h), 타일 0.006(mg/m³·h)가 방출되어 방수액을 제외한 모든 기타 건축자재가 건축자재 인증등급 중 ‘HB 마크’에 따라 최우수 마감재인 것으로 평가되었다. 폼알데하이드의 방출강도는 방수액>코팅재>접착제>충전재>필름지>타일>벽체 순으로 나타났으며 방수액을 제외한 실험대상 제품에서 방출강도가 모두 낮게 나타났다.

소형챔버 시험결과, TVOC의 방출강도는 기타 건축자재 중 접착제 0.025~8.725(mg/m³·h), 충전재 0.339~16.995(mg/m³·h), 방수액 5.011~17.370(mg/m³·h), 코팅재0.011~1.050 (mg/m³·h), 필름지 0.772(mg/m³·h), 벽체 0.005~0.173(mg/m³·h), 타일0.062(mg/m³·h)가 방출되었다. TVOC 방출강도는 방수액>충전재>접착제>필름지>코팅지>타일>벽체 순으로 나타났다.

실내 마감재 중 벽지(43종), 접착제(32종), 바닥재(8종), 기타 건축자재(17종) 100종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시한 결과 일반적으로 폼알데하이드의 방출강도는 낮은 것으로 나타난 반면 TVOC의 방출강도는 방출강도가 높은 것으로 나타났다.

각 마감재의 재질별로 비교해보면 벽지 중에서는 실크벽지, 접착제 중에선 타일용 접착제, 바닥재에서는 롬바닥재, 기타 건축자재에서는 방수액의 TVOC 방출강도가 특히 높은 것으로 분석되었다.

3.2 Mock-Up 실험실에서 방출되는 오염물질농도 실험

본 절에서는 오염농도식에 의한 예측치를 검증하기 위하여 Mock-Up Test를 실시하여 실제 오염물질 방출농도를 파악하였다.

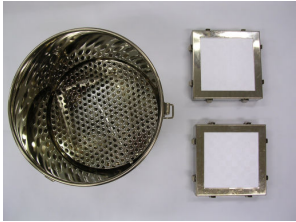
3.2.1 실험 개요

본 실험은 주거공간에서 일반적으로 사용되는 마감재들 중 비교적 오염물질 방출이 적은 두 조합(석고보드 위 종이벽지와 온돌마루 조합, 석고보드 위 실크벽지와 PVC바닥재 조합)을 대상으로 각 개별 마감재를 함께 시공하였을 때, 실제 오염물질 방출농도를 파악하기 위하여 본교 공과대학 옥상에 위치한 실험실에서 2005년 10월 14~28일까지 약 2주간 실시하였다.

Mock-Up 실험실에 시공하기 위하여 실내마감재 중 벽지(2종), 벽지 접착제, 바닥재(2종)와 바닥 접착제 6종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시하였다.

<표 3.7>은 Mock-Up 실험실에 시공하기 위한 마감재이며, 주거공간에서 일반적으로 사용되는 마감재 중 비교적 오염물질 방출 강도가 낮은 것을 선정하였다. 주재와 경화제로 이루어진 바닥 접착제는 실제 시공시와 동일하게 1:1 비율로 맞추어 소형챔버 시험을 실시하였다.

<표 3.7> 선정된 건축자재의 소형챔버 시험

벽지	온돌마루 바닥재	바닥 접착제
		

Mock-Up 실험실에 시공한 마감재의 종류, 마감재의 오염물질 방출강도와 건축자재 인증등급은 <표 3.8>과 같다.

<표 3.8> 선정된 마감재의 오염물질 방출강도

(단위: mg/m²·h)

구 분		A실		B실	
마감재 종류	벽지	종이벽지		실크벽지/창호지(초배)	
	벽지접착제	도배풀		도배풀	
	바닥재	온돌마루		PVC 바닥재	
	바닥접착제	온돌마루 접착제		온돌마루 접착제	
오염 물질 방출 강도	벽지	HCHO	0.009 최우수	0.017 최우수	
		TVOC	0.014 최우수	0.131 우수	
	벽지 접착제	HCHO	0.001 최우수	0.001 최우수	
		TVOC	0.002 최우수	0.002 최우수	
	바닥재	HCHO	0.009 최우수	0.012 최우수	
		TVOC	0.149 우수	0.027 최우수	
	바닥 접착제	HCHO	0.033 최우수	0.033 최우수	
		TVOC	0.559 양호	0.559 양호	

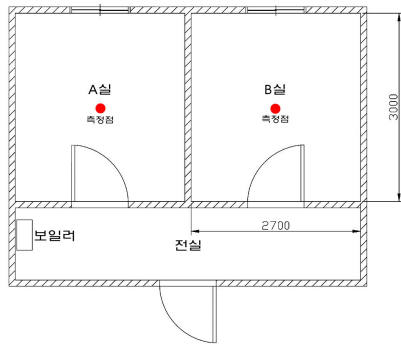
소형챔버 시험결과, A실에 시공한 종이벽지는 폼알데하이드와 TVOC 방출강도가 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’에서 모두 최우수인 마감재로 평가되었고, 바닥재는 폼알데하이드 방출강도가 최우수 마감재인 반면, TVOC 방출강도는 우수한 마감재로 평가 되었다.

B실에 시공한 실크벽지는 폼알데하이드의 방출강도가 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’에서 최우수 마감재인 것으로 평가된 반면, TVOC 방출강도는 우수한 마감재로 평가되었고, 바닥재는 폼알데하이드와 TVOC 방출강도가 최우수인 마감재로 평가되었다.

A, B실에 동일하게 적용할 벽지 접착제는 폼알데하이드와 TVOC 방출강도가 최우수인 마감재로 평가되었고, 바닥 접착제는 폼알데하이드 방출강도가 최우수 마감재인 반면, TVOC 방출강도는 양호인 마감재로 평가되었다.

Mock-Up 실험실에 시공한 벽지 접착제와 바닥 접착제는 A, B실 모두 동일한 제품으로 시공하였다. 또한, A실의 천장과 벽체는 동일한 종이벽지로 시공하였고 B실의 천장과 벽체 역시 동일한 실크벽지로 시공하였다.

실험실 평면도는 (그림 3.1)과 같으며, <표 3.9>는 실험실 오염물질 방출농도 변수로서 실내마감면적에서 창과 문의 면적은 제외하였다. 외기 폼알데하이드와 TVOC의 농도는 실험실 주변의 외기를 채취하였다.



(그림 3.1) 실험실 평면도

<표 3.9> 실험실 오염물질 방출농도 변수

변수		입력값
외기농도	폼알데하이드	$6.00\mu\text{g}/\text{m}^3$
	TVOC	$101.90\mu\text{g}/\text{m}^3$
환기횟수		0.5회/h
체적		18.63m^3
벽 및 천장 면적		34.32m^2
바닥 면적		8.10m^2

3.2.2 Mock-Up 실험실 시공 및 오염물질농도 측정

실험실 시공은 벽과 천장 도배 시공, 바닥 시공의 순으로 진행 하였으며, 실험은 실내공기질공정시험방법에 따라 실험 전 최소 30분간 자연환기를 실시하고, 5시간 밀폐 후 30분간 오염물질농도를 측정 하였다. 오염물질 측정 후에는 실의 충분한 환기를 위하여 창문을 열어두었다. A, B실의 시공과정은 다음과 같다.

(1) 벽, 천장 도배 시공 후 측정

벽과 천장 도배 시공시 A실은 종이벽지 마감으로, 온통바름을 하였으므로 초배를 생략하고 정배만을 하였고, B실은 실크벽지를 들뜬바름을 했으므로 초배와 정배를 실시하였다.

A실의 벽과 천장 도배 시공(종이벽지)은 도배풀과 물을 1:1의 비율로 맞추어 시공하였다. B실의 벽과 천장 도배 시공에서 초배지는 도배풀과 본드의 비율을 3:1로 하고 그 양의 5배의 물을 섞어 시공 하였으며, 정배지(실크벽지)는 도배풀과 물의 비율을 5:1의 비율로 하여 시공 하였다. <표 3.10>은 벽, 천장 도배 시공 완료 1, 3, 5, 7일 경과후 오염물질 방출농도를 측정하는 모습을 보여준다.

<표 3.10> 벽, 천장 도배 시공 후 측정

A 실	B 실
	

(2) 바닥 시공

바닥재는 <표 3.11>와 같이 A실에 온돌마루 바닥재, B실에 PVC바닥재를 시공하였다. 바닥 접착제는 경화제와 주재로 이루어진 접착제를 1:1 비율로 맞추어 시공하였다.

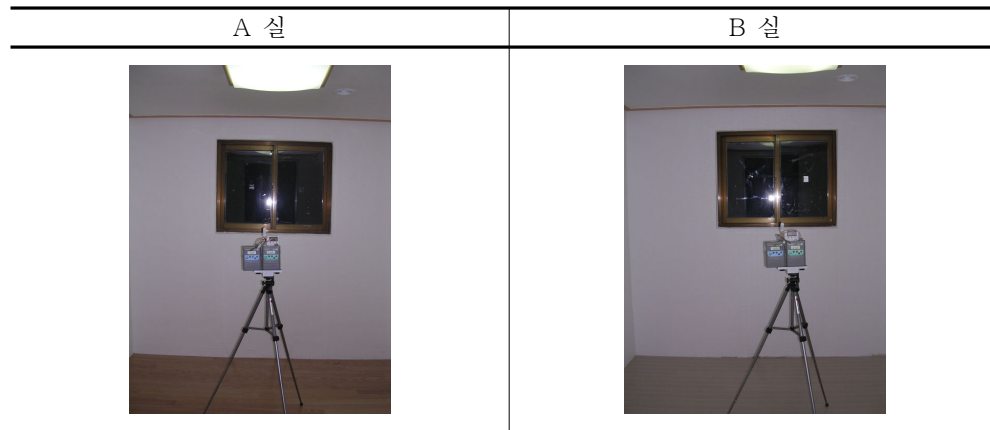
<표 3.11> 바닥재 시공

A 실	B 실
	

(3) 시공완료 후 측정

바닥 시공 1, 3, 5, 7일 경과후 오염물질 방출농도를 측정하는 모습은 <표 3.12>와 같다.

<표 3.12> 시공완료 후 측정



3.2.3 실내공기오염물질 방출농도 결과 분석

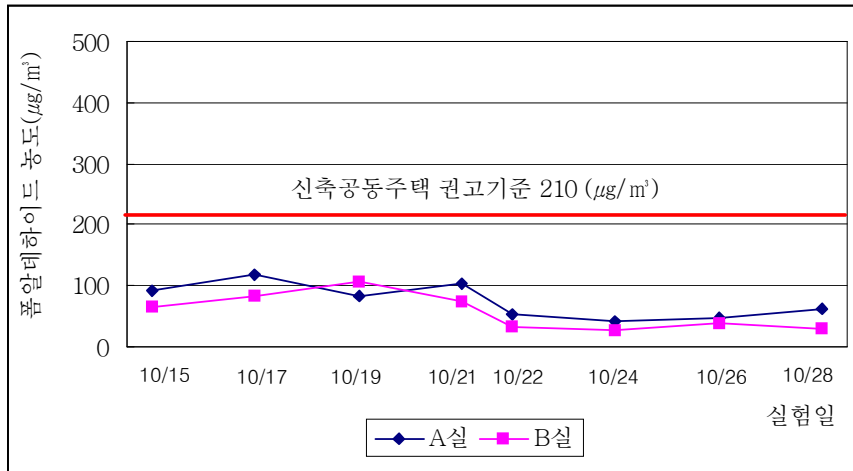
시간경과에 따른 오염물질의 방출농도 변화량을 분석하기 위하여 벽과 천장 도배 시공, 바닥 시공 1, 3, 5, 7일 경과 후 오염물질농도를 측정하였다. 시공과정에 따른 오염물질 방출농도는 <표 3.13>과 같다.

<표 3.13> Mock-Up Test 에 의한 오염물질 방출농도

시험 일	시공과정	A실				B실			
		온도 (℃)	습도 (%)	방출농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		온도 (℃)	습도 (%)	방출농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
				HCHO	TVOC			HCHO	TVOC
10/14	벽, 천장 도배 시공	-				-			
10/15	측정(1일후)	20.3	65.0	90.48	756.38	20.6	47.0	65.24	1243.29
10/17	측정(3일후)	19.8	68.0	116.90	597.16	19.9	68.0	83.10	994.26
10/19	측정(5일후)	20.8	57.0	83.57	502.49	20.6	58.0	106.90	980.33
10/21	측정(7일후)	18.4	59.0	104.05	480.10	19.0	66.0	74.29	724.24
10/21	바닥시공	-				-			
10/22	측정(1일후)	16.8	39.0	52.14	439.17	16.7	35.0	32.14	632.58
10/24	측정(3일후)	17.8	51.0	40.71	355.77	15.8	51.0	25.48	375.92
10/26	측정(5일후)	19.3	58.0	46.43	425.60	18.9	55.0	37.14	460.60
10/28	측정(7일후)	19.1	55.0	61.43	276.26	19.4	45.0	30.95	346.39

(1) 폼알데하이드 농도 분석

시간경과에 따른 폼알데하이드 농도는 (그림 3.2)과 같다.



(그림 3.2) 폼알데하이드 농도 측정

1) 벽, 천장 도배 시공 후 오염물질농도측정

도배시공 1일 경과 후 측정한 폼알데하이드의 농도는 A실의 경우 $90.48\mu\text{g}/\text{m}^3$, B실의 경우 $65.24\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮게 나타났다.

시간경과에 따른 A, B실의 폼알데하이드의 농도는 모든 측정 시점에서 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 만족하는 것으로 나타났다.

벽과 천장 도배 시공 후 측정한 A, B실의 폼알데하이드의 농도 증감을 패턴은 시간경과에 따라 상이한 것으로 나타났다. 이는 오염물질 측정 중 A실의 문이 열려 있었기 때문으로 판단된다.

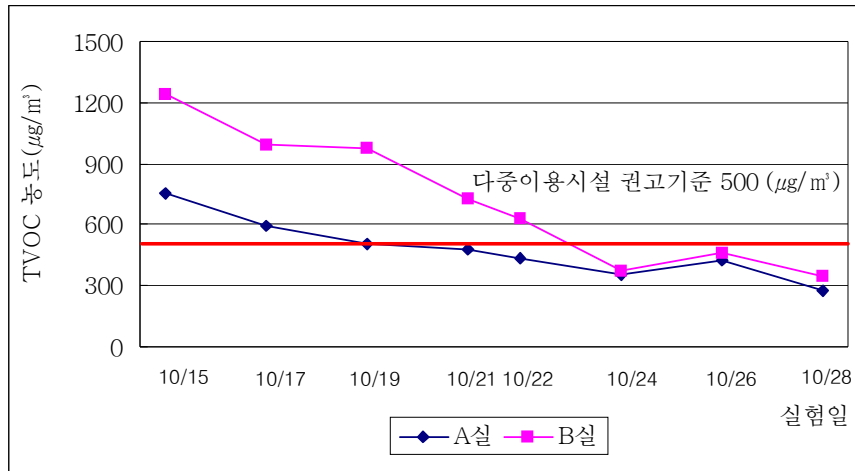
2) 시공 완료 후 오염물질농도측정

바닥 시공 1일 경과 후 측정한 A, B실의 폼알데하이드 농도는 새로운 마감재의 시공에 따라 증가할 것으로 예상하였으나, A, B실 모두 폼알데하이드의 농도가 감소하는 패턴으로 나타났다. 이는 A, B실에 시공한 벽지의 폼알데하이드 농도 감소율이 크며, A실과 B실 바닥재의 폼알데하이드 농도가 낮기 때문으로 판단된다.

바닥 마감 5일 경과 후 측정한 A실은 $46.43\mu\text{g}/\text{m}^3$, B실은 $37.14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 바닥 마감 3일 경과 후 측정한 농도보다 높은 것으로 나타났다. 이는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'가 양호인 바닥 접착제가 영향을 미친 것으로 판단된다.

(2) TVOC 농도 분석

시간경과에 따른 TVOC 농도는 (그림 3.3)과 같다.



(그림 3.3) TVOC 농도 측정

1) 벽, 천장 도배 시공 후 오염물질농도측정

시간경과에 따른 TVOC의 농도 측정결과, A실은 초기에는 $756.38\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였으나, 도배 시공 7일 경과 후 측정된 TVOC의 농도는 $480.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다중이용시설의 실내공기질 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다. 반면, 실크벽지로 천장과 벽에 시공한 B실은 시간경과에 따라 오염물질농도가 감소하기는 하지만, 도배시공 7일 경과 후 측정된 TVOC의 농도가 $724.24\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다중이용시설의 실내공기질 권고기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

2) 시공 완료 후 오염물질농도측정

바닥 시공 1일 경과 후 측정한 A, B실의 TVOC 농도는 새로운 마감재의 시공에 따라 증가할 것으로 예상하였으나, A, B실 모두 TVOC의 농도가 감소하는 패턴으로 나타났다. 이는 A, B실에 시공한 벽지의 TVOC 농도 감소율이 크며, A실과 B실 바닥재의 TVOC 농도가 낮기 때문으로 판단된다.

A실은 바닥재를 시공한 후에도 꾸준히 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 만족하고 있으나, B실은 바닥 마감 3일 경과 후 측정된 TVOC 농도가 $375.92\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다중이용시설의 실내공기질 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다.

바닥 마감 5일 경과후 측정된 TVOC의 농도는 A실의 경우 $425.60\mu\text{g}/\text{m}^3$, B실의

경우 $460.60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 바닥 마감 3일 경과후 측정한 오염물질농도보다 높은 것으로 나타났다. 이는 B실에 시공한 실크벽지 때문인 것으로 판단된다.

A, B실에 시공된 바닥재의 방출강도는 A실이 B실에 비해 높지만, 실크벽지를 선정한 B실이 종이벽지를 선정한 A실 보다 오염물질농도가 높게 나타났다. 이를 통해 개별 자재의 방출강도 보다 자재의 마감면적이 실 전체 공기질에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.3 소결

본 장에서는 용도와 재질에 따라 건축자재를 분류하고, 100종의 마감재를 대상으로 소형챔버 시험을 실시하였다. 100종의 마감재 중 일반적으로 주거건물에 시공되는 마감재를 선정하여 Mock-Up Test를 실시하였다.

주요 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) (2.2.1)의 마감재 중 100종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시한 선행연구 결과를 바탕으로 주요 실내마감재에 대한 오염물질 방출강도를 파악하였다. 시험결과, 마감재에서 방출되는 오염물질 중 폼알데하이드의 방출강도는 비교적 낮은 것으로 나타났으나, TVOC의 방출강도는 모든 재료에서 많은 양이 방출되는 것으로 나타났다. 특히, 마감재의 재질에 따라 벽지에서는 실크벽지, 접착제에서는 목제용, 타일용 접착제, 바닥재에서는 립바닥재, 기타 자재에서는 충전재와 방수액 등에서 TVOC의 방출강도가 높은 것으로 나타났다.
- (2) Mock-Up Test에 시공하기 위하여 실내마감재 중 벽지(2종), 벽지 접착제, 바닥재(2종)와 바닥 접착제 6종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시하였다. 실험결과, A실의 바닥재인 온돌마루(폼알데하이드-우수), B실에 벽과 천장에 시공한 실크 벽지(TVOC-우수), 두 실에 공통적으로 시공한 바닥접착제(TVOC-양호)를 제외한 모든 마감재는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'가 최우수인 마감재로 평가되었다.
- (3) Mock-Up Test를 실시하여 시간경과(1, 3, 5, 7일)에 따른 오염물질농도 측정결과, A, B실의 폼알데하이드 농도는 모든 측정 시점에서 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 만족하는 것으로 나타났다. TVOC의 농도는 A실의 경우 시간경과에 따라 크게 감소하여 벽과 천장 도배 시공 7일 경과 후 다중이용시설의 실내공기질 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다. 반면, B실의 경우 시간경과에 따라 감소하지만, B실의 TVOC 농도가 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 떨어지는 것은 벽과 천장 도배 시공 10일 경과 후인 것으로 나타났다. 본 실험을 통해 개별 자재의 방출강도 보다 자재의 마감면적이 실 전체 공기질에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

제 4장 실내공기 오염물질 방출농도식 도출

4.1 오염물질 방출농도 예측식 검토

본 절에서는 (3.2)의 Mock-Up Test 결과인 오염물질 방출농도와 (2.4.1)에서 설명한 오염물질 방출농도 예측식 (식 2.3)에 의해 예측된 오염물질 방출농도를 검증하여 오염물질 방출농도 예측식의 적용가능성을 파악하였다.

4.1.1 오염물질 방출농도 예측식

오염물질농도 예측을 위한 방법으로서, 본 연구에서는 실내공기질공정시험방법에 제시하고 있는 건축자재 오염물질 방출강도 계산식 (식 4.1)²¹⁾을 이용하였다.

$$EF_a = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{A} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times nV}{A} = (C_t - C_{tb,t}) \times q \dots\dots\dots (\text{식 4.1})$$

여기서,

- A : 시험편의 표면적(m²)
- Ct : 시간 t에서의 방출시험 챔버내의 휘발성유기화합물과
폼알데하이드의 농도(mg/m³)
- Ctb,t : 시간 t에서의 배경농도(mg/m³)
- EFa : 단위면적당 방출강도(mg/m²·h)
- n : 환기횟수(회/hr)
- Q : 방출 시험 챔버의 환기량(m³/h)
- q : 단위 면적당 환기량(m³/m²·h)
- t : 시험 개시 후 경과 시간(시간 또는 일수)
- V : 방출 시험 챔버의 용적(m³)

(식 4.1)은 소형챔버 시험을 통한 개별 자재의 방출강도를 구하는 식이다. 오염물질 농도를 예측하기 위한 예측식을 세우기 위하여 (식 4.1)을 Ct에 대해 이항 정리하면 (식 4.2)로 변환할 수 있다.

(식 4.2)는 실내에 마감되는 자재들이 복합자재인 것을 고려하여 개별 자재의 합으로 나타냈다. 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’에서 일반자재는 7일 경과 후

21) 환경부, 실내공기질공정시험방법 2004, p. 171

의 방출강도를 측정토록 하고 있기 때문에 오염물질 방출농도 예측식의 EFa는 7일을 기준으로 오염물질 농도를 예측하였다.

$$C_t = \frac{\Sigma(EF_a \cdot A)}{n \cdot V} + C_{tb,t} \dots\dots\dots (\text{식 4.2})$$

여기서,

- A : 실내표면적(m²)
- Ct : 시간 t에서의 실내 TVOC, 폼알데하이드 방출농도(mg/m³)
- Ctb,t : 시간 t에서의 외기 TVOC, 폼알데하이드 농도(mg/m³)
- EFa : 단위면적당 방출강도(mg/m²h)
- n : 환기횟수(회/hr)
- V : 실체적(m³)

4.1.2 오염물질농도 실측치와 예측치 비교분석

오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)의 오염물질 예측 적합성을 검증하기 위하여 Mock-Up Test 결과와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 방출농도를 비교·검증하였다.

비교시 대상 마감재는 (식 4.2)가 7일차를 기준으로 하였기 때문에 Mock-Up Test에서 마감 후 14일이 경과한 바닥재를 제외한 벽과 천장 도배 시공 7일 경과후 측정된 오염물질 농도를 선정하였다.

건축자재 인증등급 중 'HB마크'에서 접착제는 3일 경과 후의 측정치를 적용토록 규정하고 있으나 본 연구에서는 이를 고려하지는 않았다.

<표 4.1>은 Mock-Up Test에서 벽과 천장 도배 시공 7일 경과 후 얻은 A, B실의 실측결과이다.

<표 4.1> Mock-Up Test에 의한 오염물질 방출농도 (단위: µg/m³)

시공과정	A실		B실	
	폼알데하이드 방출농도	TVOC 방출농도	폼알데하이드 방출농도	TVOC 방출농도
벽, 천장 시공	104.05	480.10	74.29	724.24

벽과 천장 도배 시공 7일 경과 후Mock-Up Test 실측치와 (식 4.2)에 의한 예

측치의 비교는 <표 4.2>, <표 4.3>과 같다.

<표 4.2> 폼알데하이드 실측치와 예측치의 비교

마감재		7일 경과 시편의 방출강도(mg/m ² h)				예측치 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	실측치 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	오차 (%)
		벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제			
A실	벽+ 천장	0.009	0.001	-	-	24.69	104.05	421.42
B실	벽+ 천장	0.017	0.001	-	-	39.64	74.29	187.41

<표 4.2>에서 오차는 예측치를 기준으로 한 실측치의 증가한 양이다. 폼알데하이드의 실측치와 예측치 농도 오차를 비교한 결과, 폼알데하이드의 농도는 A실에서 421.42%, B실에서 187.41%로 실측치가 예측치 보다 높은 것으로 나타났다.

<표 4.3> TVOC 실측치와 예측치의 비교

마감재		7일 경과 시편의 방출강도(mg/m ² h)				예측치 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	실측치 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	오차 (%)
		벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제			
A실	벽+ 천장	0.014	0.002	-	-	161.71	480.10	296.88
B실	벽+ 천장	0.131	0.002	-	-	599.06	724.24	120.89

<표 4.3>에서 오차는 예측치를 기준으로 한 실측치의 증가한 양이다. TVOC의 실측치와 예측치 농도 오차를 비교한 결과, TVOC의 농도는 A실에서 296.88%, B실에서 120.89%로 실측치가 예측치 보다 높은 것으로 나타났다.

이와 같은 오차가 생기는 원인은 기존 마감재 철거 직후 벽과 천장에 벽지를 시공함에 따라 기존 마감재에서 나온 오염물질의 잔류가 일부 있었으리라는 추정과 Mock-Up Test의 실측치와 (식 4.2)에 의한 예측치의 실험조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수, 마감재의 시공방법 등)이 상이하기 때문인 것으로 판단된다.

실측치와 예측치의 농도 비교결과, 실측치와 예측치 간의 오차가 생기지만 이러한 오차는 Mock-Up Test와 같은 오염물질 실측시에 생기는 변수(온도, 습도, 기류, 환기횟수, 마감재의 시공방법 등) 중 환기횟수가 큰 원인이기 때문에 실측치와 예측치의 농도는 거의 유사한 것으로 판단된다.

4.2 마감재선정에 따른 실내공기질 농도 예측을 위한 방법론 수립

본 절에서는 마감재 선정에 따른 실내공기질을 평가하였다. 마감재 선정에 따른 오염물질농도를 예측하기 위해서 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 개별 건축자재 방출강도를 대입하였다. <표 4.4>는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 건축자재별 최대 방출강도를 나타낸 것이다.

<표 4.4> 건축자재의 오염물질 최대 방출강도 (단위: mg/m² · h)

구 분		일반자재	접착제
최우수	TVOC	0.10	0.25
	HCHO	0.03	0.06
우수	TVOC	0.20	0.50
	HCHO	0.05	0.12
양호	TVOC	0.40	1.50
	HCHO	0.12	0.40
일반 I	TVOC	2.00	5.00
	HCHO	0.60	2.00
일반 II	TVOC	4.00	10.00
	HCHO	1.25	4.00

4.2.1 최대 방출농도 예측

건축자재 인증등급 중 'HB마크'에서 각 등급별로 오염물질을 가장 많이 방출하는 것으로 평가된 마감재를 Mock-Up 실험실에 시공하였을 때, 실내공기질을 예측하기 위하여 <표 4.4>의 오염물질 최대 방출강도를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

(1) 폼알데하이드

(식 4.2)에 의해 예측된 폼알데하이드의 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예

측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개의 결과를 <표 4.5>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 최대 방출강도를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.03, 우수인 마감재의 경우 0.05, 양호인 마감재의 경우 0.12, 일반1인 마감재의 경우 0.60, 일반2인 마감재의 경우 1.25로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.06, 우수인 마감재의 경우 0.12, 양호인 마감재의 경우 0.40, 일반1인 마감재의 경우 2.00, 일반2인 마감재의 경우 4.00로 가정 하였다.

<표 4.5>의 농도비는 각 조합의 예측 농도를 예측 농도가 가장 낮은 조합(모든 마감재의 등급이 최우수)의 예측 농도로 나눈 결과이다.

<표 4.5> 폼알데하이드 예측농도 결과(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측 농도	농도비
벽 지	벽지 접착제	바 닥 재	바닥 접착제		
0.03	0.06	0.03	0.06	213.34	1.00
0.03	0.06	0.05	0.06	222.04	1.04
0.03	0.06	0.03	0.12	239.43	1.12
0.05	0.06	0.03	0.06	250.72	1.18
0.03	0.06	0.05	0.12	248.13	1.16
0.05	0.06	0.05	0.06	259.42	1.22
0.05	0.06	0.03	0.12	276.81	1.30
0.05	0.06	0.05	0.12	285.51	1.34
0.03	0.06	0.12	0.06	252.47	1.18
0.03	0.06	0.12	0.12	278.56	1.31
벽지, 바닥재	최우수 0.03	우수 0.05	양호 0.12	일반 I 0.60	일반 II 1.25
접착제	최우수 0.06	우수 0.12	양호 0.40	일반 I 2.00	일반 II 4.00

마감재 조합에 따른 최대 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재 조합이 모두 최우수인 마감재로 조합이 이루어진 경우에도 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 모두 초과하는 것으로 나타났다.

(2) 총휘발성유기화합물(TVOC)

(식 4.2)에 의해 예측된 TVOC의 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개의 결과를 <표 4.6>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 최대 방출강도를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.10, 우수인 마감재의 경우 0.20, 양호인 마감재의 경우 0.40, 일반1인 마감재의 경우 2.00, 일반2인 마감재의 경우 4.00로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.25, 우수인 마감재의 경우 0.50, 양호인 마감재의 경우 1.50, 일반1인 마감재의 경우 5.00, 일반2인 마감재의 경우 10.00으로 가정 하였다.

<표 4.6>의 농도비는 각 조합의 예측 농도를 예측 농도가 가장 낮은 조합(모든 마감재의 등급이 최우수)의 예측 농도로 나눈 결과이다.

<표 4.6> TVOC 예측농도 결과(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측 농도	농도비
벽 지	벽지 접착제	바 닥 재	바닥 접착제		
0.10	0.25	0.10	0.25	1714.57	1.00
0.10	0.25	0.20	0.25	1888.48	1.10
0.10	0.25	0.10	0.50	1931.96	1.13
0.20	0.25	0.10	0.25	2001.42	1.17
0.10	0.25	0.20	0.50	2105.87	1.23
0.20	0.25	0.20	0.25	2175.33	1.27
0.20	0.25	0.10	0.50	2218.81	1.29
0.10	0.25	0.40	0.25	2236.31	1.30
0.20	0.25	0.20	0.50	2392.72	1.40
0.10	0.25	0.40	0.50	2453.70	1.43
벽지, 바닥재	최우수 0.10	우수 0.20	양호 0.40	일반 I 2.00	일반 II 4.00
접착제	최우수 0.25	우수 0.50	양호 1.50	일반 I 5.00	일반 II 10.00

마감재 조합에 따른 최대 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재 조합이 모두 최우수인 마감재로 조합이 이루어진 경우에도 다중이용시설의 실내공기질 권고기

준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 모두 초과하는 것으로 나타났다.

폼알데하이드와 TVOC의 농도가 실내공기질 권고기준을 초과하는 것으로 예측된 첫 번째 원인은 건축자재 인증등급 중 'HB마크'에서 규정한 일반자재(벽지, 바닥재)는 7일 경과후의 방출강도를 측정토록 하는데, 본 예측에서도 'HB마크'에서 규정한 일반자재(벽지, 바닥재)는 7일 경과후의 오염물질 최대 방출강도를 (식 4.2)에 대입하였기 때문이다.

오염물질의 농도가 높게 예측된 두 번째 원인은 일반자재(최우수인 경우 TVOC의 방출강도가 소형챔버 7일 경과후 $0.10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 건축자재 인증등급 기준이 완화된 접착제(최우수인 경우 TVOC의 방출강도가 소형챔버 3일 경과후 $0.25\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 벽지와 바닥재 내부에 도포되었기 때문이다.

예측된 오염물질 농도가 실내공기질 권고기준을 초과하는 것으로 평가되었으나 건축마감재에서 방출되는 오염물질 농도는 시간경과에 따라 점차 감소하는 패턴을 보이기 때문에 시공 초기에는 실내마감재에 의한 오염물질의 농도가 높게 나타나지만, 입주 시점에는 오염물질농도가 감소할 것으로 판단된다.

4.2.2 적정 방출농도 예측

(4.2.1)에서 건축자재 인증등급 중 'HB마크'를 기준으로 Mock-Up 실험실의 최대 오염물질농도를 예측한 결과, 마감재 조합이 모두 최우수인 마감재로 조합이 이루어진 경우에도 실내공기질 권고기준을 초과하는 것으로 나타났다.

따라서 본 절에서는 마감재 조합에 따른 오염물질농도가 실내공기질 권고기준을 만족할 수 있는 마감재의 방출강도를 도출하였다.

실내공기질 권고기준을 만족하도록 오염물질 농도를 예측한 결과, 개별 오염물질의 방출강도가 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 최대 방출강도의 20%만 반영한 경우인 것으로 평가되었다.

(1) 폼알데하이드

건축자재 인증등급 중 'HB마크' 등급별 최대 방출강도의 20%만 반영한 방출강도를 (식 4.2)에 대입하여 폼알데하이드의 농도를 예측하였다.

예측된 폼알데하이드의 농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 20개의 결과를 <표 4.7>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와

바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.006, 우수인 마감재의 경우 0.010, 양호인 마감재의 경우 0.024, 일반1인 마감재의 경우 0.120, 일반2인 마감재의 경우 0.250로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.012, 우수인 마감재의 경우 0.024, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정 하였다.

<표 4.7>의 농도비는 각 조합의 예측 농도를 예측 농도가 가장 낮은 조합(모든 마감재의 등급이 최우수)의 예측 농도로 나눈 결과이다.

<표 4.7> 폼알데하이드 예측농도 결과(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측 농도	농도비
벽 지	벽지 접착제	바 닥 재	바닥 접착제		
0.006	0.012	0.006	0.012	88.94	1.00
0.006	0.012	0.010	0.012	95.89	1.08
0.006	0.012	0.006	0.024	99.37	1.12
0.010	0.012	0.006	0.012	100.41	1.13
0.006	0.012	0.010	0.024	106.33	1.20
0.010	0.012	0.010	0.012	107.37	1.21
0.010	0.012	0.006	0.024	110.85	1.25
0.010	0.012	0.010	0.024	117.80	1.32
0.006	0.012	0.024	0.012	120.24	1.35
0.006	0.012	0.024	0.024	130.68	1.47
0.010	0.012	0.024	0.012	131.72	1.48
0.006	0.024	0.006	0.012	133.79	1.50
0.024	0.012	0.006	0.012	140.57	1.58
0.006	0.024	0.010	0.012	140.75	1.58
0.010	0.012	0.024	0.024	142.15	1.60
0.006	0.024	0.006	0.024	144.23	1.62
0.010	0.024	0.006	0.012	145.27	1.63
0.024	0.012	0.010	0.012	147.53	1.66
0.006	0.012	0.006	0.080	148.07	1.66
0.024	0.012	0.006	0.024	151.00	1.70
벽지, 바닥재	최우수 0.006	우수 0.010	양호 0.024	일반 I 0.120	일반II 0.250
접착제	최우수 0.012	우수 0.024	양호 0.080	일반 I 0.400	일반II 0.800

마감재 조합에 따른 적정 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재 조합이 벽지는 양호, 벽지 접착제는 최우수, 바닥재는 우수, 바닥 접착제는 양호인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 총휘발성유기화합물(TVOC)

건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’ 등급별 최대 방출강도의 20%만 반영한 방출강도를 (식 4.2)에 대입하여 TVOC의 농도를 예측하였다.

예측된 TVOC의 농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 20개의 결과를 <표 4.8>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.020, 우수인 마감재의 경우 0.040, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.050, 우수인 마감재의 경우 0.100, 양호인 마감재의 경우 0.300, 일반1인 마감재의 경우 1.000, 일반2인 마감재의 경우 2.000로 가정 하였다.

<표 4.8>의 농도비는 각 조합의 예측 농도를 예측 농도가 가장 낮은 조합(모든 마감재의 등급이 최우수)의 예측 농도로 나눈 결과이다.

<표 4.8> TVOC 예측농도 결과(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측 농도	농도비
벽 지	벽지 접착제	바 닥 재	바닥 접착제		
0.020	0.050	0.020	0.050	424.43	1.00
0.020	0.050	0.040	0.050	441.82	1.04
0.020	0.050	0.020	0.100	467.91	1.10
0.020	0.050	0.080	0.050	476.61	1.12
0.040	0.050	0.020	0.050	499.19	1.18
0.040	0.050	0.040	0.050	516.59	1.22
0.020	0.050	0.080	0.100	520.09	1.23
0.040	0.050	0.020	0.100	542.67	1.28
0.040	0.050	0.080	0.050	551.37	1.30

벽 지	벽지 접착제	바 닥 재	바닥 접착제	예측 농도	농도비
0.040	0.050	0.040	0.100	560.06	1.32
0.040	0.050	0.080	0.100	594.85	1.40
0.020	0.100	0.020	0.050	611.34	1.44
0.020	0.100	0.040	0.050	628.73	1.48
0.020	0.050	0.020	0.300	641.82	1.51
0.080	0.050	0.020	0.050	648.72	1.53
0.020	0.100	0.020	0.100	654.81	1.54
0.020	0.050	0.040	0.300	659.22	1.55
0.020	0.100	0.080	0.050	663.51	1.56
0.080	0.050	0.040	0.050	666.11	1.57
벽지, 바닥재	최우수 0.020	우수 0.040	양호 0.080	일반 I 0.400	일반 II 0.800
접착제	최우수 0.050	우수 0.100	양호 0.300	일반 I 1.000	일반 II 2.000

마감재 조합에 따른 적정 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 벽지는 우수, 벽지 접착제는 최우수, 바닥재는 최우수, 바닥 접착제는 최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

Mock-Up Test에 의한 오염물질농도 결과와 (식 4.2)에 의해 예측된 오염물질농도 결과를 통하여 실내공기질에 큰 영향을 미치는 마감재는 벽지접착제> 벽지> 바닥접착제> 바닥재 순인 것으로 평가되었다.

이를 통해 건축자재 인증기준이 일반자재(벽지, 바닥재) 보다 완화된 접착제가 실내공기질에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었기 때문에 접착제의 선정은 실내공기질 권고기준을 만족하기 위하여 건축자재 인증등급이 최우수인 것을 선정해야 할 것으로 판단된다.

따라서 마감재의 선정은 건축자재 인증등급에서 오염물질 방출강도가 낮은 것을 선정하는 것이 쾌적한 실내공기질을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 소결

본 장에서는 Mock-Up 실험실에 건축자재 인증등급 중 'HB마크'를 받는 마감재를 선정하여 시공한 경우의 실내공기질을 예측하였다.

주요 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) Mock-Up Test 결과인 오염물질 방출농도와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 방출농도를 비교한 결과, 실측치와 예측치 간의 오차가 생긴다. 이러한 오차는 기존 마감재 철거 직후 벽과 천장 도배 시공을 함에 따라 기존 마감재에서 나온 오염물질의 잔류가 일부 있었으리라는 추정과 Mock-Up Test의 실측치와 (식 4.2)에 의한 예측치의 실험조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수, 마감재의 시공방법 등)이 상이하기 때문인 것으로 판단된다. 특히, 실험조건 중 환기횟수는 실험실의 기밀성과 환기방법에 따라 달라지기 때문에 환기횟수로 인한 오차가 큰 것으로 판단된다.
- (2) 건축자재 인증등급 중 'HB마크'에서 각 등급별로 오염물질을 가장 많이 방출하는 것으로 평가된 마감재를 Mock-Up 실험실에 시공하였을 때, 실내공기질을 예측한 결과, 마감재의 조합이 모두 최우수인 마감재로 조합이 이루어진 경우에도 실내공기질 권고기준을 모두 초과하는 것으로 나타났다.
실내공기질 권고기준을 초과하는 첫 번째 원인은 'HB마크'에서 규정한 일반자재(벽지, 바닥재)는 7일 경과후의 오염물질 최대 방출강도를 (식 4.2)에 대입하였기 때문이다.
실내공기질 권고기준을 초과하는 두 번째 원인은 일반자재(최우수인 경우 TVOC의 방출강도가 소형챔버 7일 경과후 $0.10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 건축자재 인증등급 기준이 완화된 접착제(최우수인 경우 TVOC의 방출강도가 소형챔버 3일 경과후 $0.25\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 벽지와 바닥재 내부에 도포되었기 때문이다.
예측된 오염물질 농도가 실내공기질 권고기준을 초과하지만 건축마감재에서 방출되는 오염물질 농도는 시간경과에 따라 점차 감소하는 패턴을 보이기 때문에 시공초기에는 실내마감재에 의한 오염물질의 농도가 높게 나타나지만, 입주 시점에는 오염물질농도가 감소할 것으로 판단된다.
- (3) 실내공기질 권고기준을 만족하도록 오염물질 농도를 예측한 결과, 개별 오염물질의 방출강도가 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 최대 방출강도의 20%만 반영한 경우인 것으로 평가되었다. 따라서 건축자재 인증등급의 최대 방출강도의 20%만 반영한 방출강도를 (식 4.2)에 대입하여 TVOC의 농도

를 예측한 결과, 대부분 접착제의 인증등급이 최우수인 마감재로 조합된 경우 실내공기질 권고기준을 만족 하였다.

따라서 접착제의 선정은 실내공기질 권고기준을 만족하기 위하여 건축자재 인증등급이 최우수인 것을 선정해야 할 것으로 판단된다.

- (4) 우리나라의 건축자재 인증등급제도는 선진국에 비해 완화하여 규정하고 있기 때문에 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위하여 마감재의 선정은 건축자재 인증등급에서 오염물질 방출강도가 낮은 것을 선정해야 할 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 건축자재 인증등급 상으로 최우수인 마감재로 유효하더라도 건축물 준공 당시에 실내공기질 권고기준을 만족하기 위하여 건축자재 인증제도가 강화되어야 할 것으로 판단된다.

제 5장 평형별 폼알데하이드, TVOC 방출농도 예측

본 장에서는 4장에서 오염물질농도 평가 대상이었던 실험실뿐만 아니라 공동주택의 평형별 실내공기질을 예측하였다.

5.1 개요

신축공동주택의 평형별 오염물질농도를 예측하기 위하여 선행연구²²⁾를 참고하여 공동주택 평면 중 25평, 35평과 50평을 선정하였다.

신축공동주택의 실내공기질을 예측하기 위하여 다음 (식 4.2)에 환기횟수 0.7회/h²³⁾을 대입하여 오염물질 농도를 예측하였다.

$$C_t = \frac{\Sigma(EF_a \cdot A)}{n \cdot V} + C_{tb,t} \dots\dots\dots (\text{식 4.2})$$

여기서,

- A : 실내표면적(m²)
- C_t : 시간 t에서의 실내 TVOC, 폼알데하이드 방출농도(mg/m³)
- C_{tb,t} : 시간 t에서의 외기 TVOC, 폼알데하이드 농도(mg/m³)
- EF_a : 단위면적당 방출강도(mg/m²h)
- n : 환기횟수(회/hr)
- V : 실체적(m³)

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재, 바닥 접착제)의 방출강도는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 오염물질 최대 방출강도의 20%만 반영하였다.

5.2 25평형 공동주택의 오염물질농도 예측

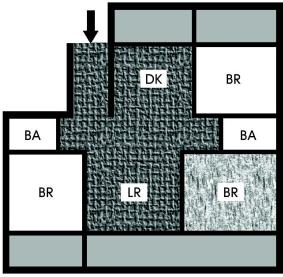
본 절은 25평형 신축공동주택의 일반형 평면에 대해 실내공기질을 평가하였다. <표 5.1>은 25평형 거실 및 침실의 용도별 마감 면적과 체적을 나타낸 것으로 침실은 25평형 평면에서 가장 큰 면적을 차지하는 침실을 선정하여 오염물질을

22) 김기훈, 공동주택의 환기효율 향상을 위한 환기계획에 관한 연구, 박사학위논문, 중앙대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2004

23) 건교부에서 입법예고하여 2006년 1월부터 시행되는 신축공동주택의 환기횟수

예측하였다. 단, 벽 및 천장은 동일한 벽지로 마감하는 것으로 가정하여 오염물질 농도를 예측하였다.

<표 5.1> 25평형 일반화 평면과 오염물질 방출농도 변수

	구 분		거실	침실
	벽 및 천장 면적		83.97m ²	40.32m ²
	바닥 면적		25.58m ²	9.17m ²
	체적		61.39m ³	22.00m ³
	외기농도	폼알데하이드	6.00μg/m ³	
		TVOC	101.90μg/m ³	
	환기횟수		0.7회/h	

5.2.1 폼알데하이드

마감재 선정에 따른 25평형 신축공동주택의 폼알데하이드 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개를 <표 5.2>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.006, 우수인 마감재의 경우 0.010, 양호인 마감재의 경우 0.024, 일반1인 마감재의 경우 0.120, 일반2인 마감재의 경우 0.250로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.012, 우수인 마감재의 경우 0.024, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정 하였다.

<표 5.2> 25평형의 거실과 침실 폼알데하이드 예측농도(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측치	모델링 변수				예측치
벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	거실 농도	벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	침실 농도
0.006	0.012	0.006	0.012	51.89	0.006	0.012	0.006	0.012	63.85
0.006	0.012	0.010	0.012	54.27	0.006	0.012	0.010	0.012	66.23
0.006	0.012	0.006	0.024	59.03	0.006	0.012	0.006	0.024	70.99
0.010	0.012	0.006	0.012	59.70	0.006	0.012	0.010	0.024	73.37
0.006	0.012	0.010	0.024	61.41	0.010	0.012	0.006	0.012	74.32
0.010	0.012	0.010	0.012	62.08	0.006	0.012	0.024	0.012	74.56
0.006	0.012	0.024	0.012	62.60	0.010	0.012	0.010	0.012	76.70
0.010	0.012	0.006	0.024	66.85	0.010	0.012	0.006	0.024	81.46
0.010	0.012	0.010	0.024	69.23	0.006	0.012	0.024	0.024	81.71
0.006	0.012	0.024	0.024	69.74	0.010	0.012	0.010	0.024	83.85

폼알데하이드의 방출농도를 예측하기 위하여 <표 5.1>의 오염물질 방출농도 변수를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

마감재 조합에 따른 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-일반1, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-최우수, 바닥접착제의 인증등급-양호인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

S/V(표면적/체적)비는 침실이 거실보다 약 24%정도 높은 것으로 나타났고, 오염물질농도는 침실이 거실보다 약 17%정도 높은 것으로 나타났다.

5.2.2 총휘발성유기화합물(TVOC)

마감재 선정에 따른 25평형 신축공동주택의 TVOC 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개를

<표 5.3>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.020, 우수인 마감재의 경우 0.040, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.050, 우수인 마감재의 경우 0.100, 양호인 마감재의 경우 0.300, 일반1인 마감재의 경우 1.000, 일반2인 마감재의 경우 2.000로 가정 하였다.

<표 5.3> 25평형의 거실과 침실 TVOC 예측 농도(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측치	모델링 변수				예측치
벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	거실 농도	벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	침실 농도
0.020	0.050	0.020	0.050	280.35	0.020	0.050	0.020	0.050	326.85
0.020	0.050	0.040	0.050	292.25	0.020	0.050	0.040	0.050	338.76
0.020	0.050	0.020	0.100	310.11	0.020	0.050	0.020	0.100	356.63
0.020	0.050	0.080	0.050	316.06	0.020	0.050	0.080	0.050	362.58
0.040	0.050	0.020	0.050	319.43	0.020	0.050	0.040	0.100	368.54
0.020	0.050	0.040	0.100	322.02	0.040	0.050	0.020	0.050	379.22
0.040	0.050	0.040	0.050	331.33	0.040	0.050	0.040	0.050	391.13
0.020	0.050	0.080	0.100	345.83	0.020	0.050	0.080	0.100	392.35
0.040	0.050	0.020	0.100	349.19	0.040	0.050	0.020	0.100	408.99
0.040	0.050	0.080	0.050	355.15	0.040	0.050	0.080	0.050	414.95

TVOC의 방출농도를 예측하기 위하여 <표 5.1>의 오염물질 방출농도 변수를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

마감재 조합에 따른 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-양호, 바닥접착제의 인증등급-우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-최우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을

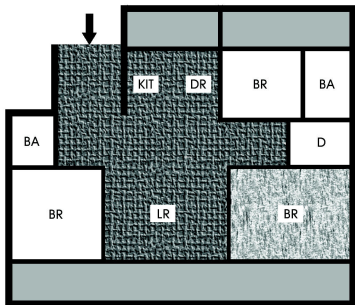
만족하는 것으로 나타났다.

S/V(표면적/체적)비는 침실이 거실보다 약 24%정도 높은 것으로 나타났고, 오염물질농도는 침실이 거실보다 약 15%정도 높은 것으로 나타났다.

5.3 35평형 공동주택의 오염물질농도 예측

본 절은 35평형 신축공동주택의 일반형 평면에 대해 실내공기질을 평가하였다. <표 5.4>는 35평형 거실 및 침실의 용도별 마감 면적과 체적을 나타낸 것으로 침실은 35평형 평면에서 가장 큰 면적을 차지하는 침실을 선정하여 오염물질을 예측하였다. 단, 벽 및 천장은 동일한 벽지로 마감하는 것으로 가정하여 오염물질농도를 예측하였다.

<표 5.4> 35평형 일반화 평면과 오염물질 방출농도 변수

		구 분	거실	침실
		벽 및 천장 면적	124.84㎡	55.28㎡
		바닥 면적	39.67㎡	15.87㎡
		체적	95.21㎡	38.09㎡
		외기농도	폼알데하이드 TVOC	6.00μg/㎡ 101.90μg/㎡
		환기횟수	0.7회/h	

5.3.1 폼알데하이드

마감재 선정에 따른 35평형 신축공동주택의 폼알데하이드 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개를 <표 5.5>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.006, 우수인 마감재의 경우 0.010, 양호인

마감재의 경우 0.024, 일반1인 마감재의 경우 0.120, 일반2인 마감재의 경우 0.250로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.012, 우수인 마감재의 경우 0.024, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정 하였다.

<표 5.5> 35평형의 거실과 침실 폼알데하이드 예측농도(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측치	모델링 변수				예측치
벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	거실 농도	벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	침실 농도
0.006	0.012	0.006	0.012	50.30	0.006	0.012	0.006	0.012	54.03
0.006	0.012	0.010	0.012	52.65	0.006	0.012	0.010	0.012	56.41
0.006	0.012	0.006	0.024	57.35	0.006	0.012	0.006	0.024	61.18
0.010	0.012	0.006	0.012	57.79	0.010	0.012	0.006	0.012	62.33
0.006	0.012	0.010	0.024	59.70	0.006	0.012	0.010	0.024	63.56
0.010	0.012	0.010	0.012	60.14	0.010	0.012	0.010	0.012	64.71
0.006	0.012	0.024	0.012	60.87	0.006	0.012	0.024	0.012	64.75
0.010	0.012	0.006	0.024	64.84	0.010	0.012	0.006	0.024	69.47
0.010	0.012	0.010	0.024	67.19	0.010	0.012	0.010	0.024	71.85
0.006	0.012	0.024	0.024	67.93	0.006	0.012	0.024	0.024	71.89

폼알데하이드의 방출농도를 예측하기 위하여 <표 5.4>의 오염물질 방출농도 변수를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

마감재 조합에 따른 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-일반1, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-최우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-일반1, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

S/V(표면적/체적)비는 침실이 거실보다 약 5%정도 높은 것으로 나타났고, 폼알데하이드의 농도는 침실이 거실보다 약 6%정도 높은 것으로 나타났다.

5.3.2 총휘발성유기화합물(TVOC)

마감재 선정에 따른 35평형 신축공동주택의 TVOC 방출농도는 4종의 마감재 (벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개를 <표 5.6>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 ‘HB마크’의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.020, 우수인 마감재의 경우 0.040, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.050, 우수인 마감재의 경우 0.100, 양호인 마감재의 경우 0.300, 일반1인 마감재의 경우 1.000, 일반2인 마감재의 경우 2.000로 가정 하였다.

<표 5.6> 35평형의 거실과 침실 TVOC 예측농도(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측치	모델링 변수				예측치
벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	거실 농도	벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	침실 농도
0.020	0.050	0.020	0.050	274.16	0.020	0.050	0.020	0.050	288.69
0.020	0.050	0.040	0.050	285.92	0.020	0.050	0.040	0.050	300.60
0.020	0.050	0.020	0.100	303.55	0.020	0.050	0.020	0.100	318.45
0.020	0.050	0.080	0.050	309.42	0.020	0.050	0.080	0.050	324.41
0.040	0.050	0.020	0.050	311.62	0.040	0.050	0.020	0.050	330.16
0.020	0.050	0.040	0.100	315.30	0.020	0.050	0.040	0.100	330.36
0.040	0.050	0.040	0.050	323.38	0.040	0.050	0.040	0.050	342.06
0.020	0.050	0.080	0.100	338.81	0.020	0.050	0.080	0.100	354.17
0.040	0.050	0.020	0.100	341.01	0.040	0.050	0.020	0.100	359.92
0.040	0.050	0.080	0.050	346.89	0.040	0.050	0.080	0.050	365.87

TVOC의 방출농도를 예측하기 위하여 <표 5.4>의 오염물질 방출농도 변수를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

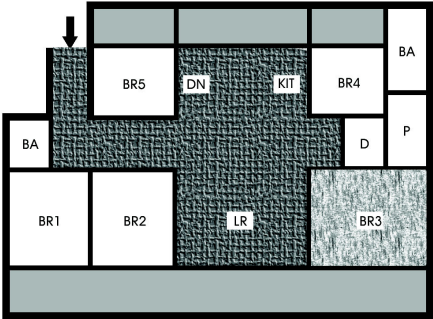
마감재 조합에 따른 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-최우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

S/V(표면적/체적)비는 침실이 거실보다 약 5%정도 높은 것으로 나타났고, TVOC의 농도는 침실이 거실보다 약 5%정도 높은 것으로 나타났다.

5.4 50평형 공동주택의 오염물질농도 예측

본 절은 50평형 신축공동주택의 일반형 평면에 대해 실내공기질을 평가하였다. <표 5.7>은 50평형 거실 및 침실의 용도별 마감 면적과 체적을 나타낸 것으로 침실은 50평형 평면에서 가장 큰 면적을 차지하는 침실을 선정하여 오염물질을 예측하였다. 단, 벽 및 천장은 동일한 벽지로 마감하는 것으로 가정하여 오염물질농도를 예측하였다.

<표 5.7> 50평형 일반화 평면과 오염물질 방출농도 변수

		구 분	거실	침실
		벽 및 천장 면적	149.59m ²	60.00m ²
		바닥 면적	47.95m ²	18.84m ²
		체적	115.08m ³	45.22m ³
		외기 농도	폼알데하이드 TVOC	6.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 101.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		환기횟수	0.7회/h	

5.4.1 폼알데하이드

마감재 선정에 따른 50평형 신축공동주택의 폼알데하이드 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 'HB

마크'의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개를 <표 5.8>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.006, 우수인 마감재의 경우 0.010, 양호인 마감재의 경우 0.024, 일반1인 마감재의 경우 0.120, 일반2인 마감재의 경우 0.250로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.012, 우수인 마감재의 경우 0.024, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정 하였다.

<표 5.8> 50평형의 거실과 침실 폼알데하이드 예측농도(일부) (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측치	모델링 변수				예측치
벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	거실 농도	벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	침실 농도
0.006	0.012	0.006	0.012	50.14	0.006	0.012	0.006	0.012	51.17
0.006	0.012	0.010	0.012	52.52	0.006	0.012	0.010	0.012	53.55
0.006	0.012	0.006	0.024	57.28	0.006	0.012	0.006	0.024	58.32
0.010	0.012	0.006	0.012	57.57	0.010	0.012	0.006	0.012	58.83
0.006	0.012	0.010	0.024	59.66	0.006	0.012	0.010	0.024	60.70
0.010	0.012	0.010	0.012	59.95	0.010	0.012	0.010	0.012	61.21
0.006	0.012	0.024	0.012	60.85	0.006	0.012	0.024	0.012	61.89
0.010	0.012	0.006	0.024	64.71	0.010	0.012	0.006	0.024	65.97
0.010	0.012	0.010	0.024	67.09	0.010	0.012	0.010	0.024	68.35
0.006	0.012	0.024	0.024	68.00	0.006	0.012	0.024	0.024	69.03

폼알데하이드의 방출농도를 예측하기 위하여 <표 5.7>의 오염물질 방출농도 변수를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

마감재 조합에 따른 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-일반1, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-양호, 벽

지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-양호인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

S/V(표면적/체적)비는 침실이 거실보다 약 1%정도 높은 것으로 나타났고, 폼알데하이드의 농도는 침실이 거실보다 약 2%정도 높은 것으로 나타났다.

5.4.2 총휘발성유기화합물(TVOC)

마감재 선정에 따른 50평형 신축공동주택의 TVOC 방출농도는 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재와 바닥 접착제)와 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 인증등급 5종의 경우의 수를 고려한 결과 625개의 조합으로 나타났으나, 본 연구에서는 예측 오염물질 농도를 오름차순으로 정렬하여 625개 중 일부인 10개를 <표 5.6>에 나타냈다.

오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 적정 방출강도(최대 방출강도의 20%)를 기준으로 표에 표현하였다. 벽지와 바닥재는 최우수인 마감재의 경우 0.020, 우수인 마감재의 경우 0.040, 양호인 마감재의 경우 0.080, 일반1인 마감재의 경우 0.400, 일반2인 마감재의 경우 0.800로 가정을 하고, 벽지 접착제와 바닥 접착제는 최우수인 마감재의 경우 0.050, 우수인 마감재의 경우 0.100, 양호인 마감재의 경우 0.300, 일반1인 마감재의 경우 1.000, 일반2인 마감재의 경우 2.000로 가정 하였다.

<표 5.9> 50평형의 거실과 침실 TVOC 예측농도(일부)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

모델링 변수				예측치	모델링 변수				예측치
벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	거실 농도	벽지	벽지 접착제	바닥재	바닥 접착제	침실 농도
0.020	0.050	0.020	0.050	273.55	0.020	0.050	0.020	0.050	277.57
0.020	0.050	0.040	0.050	285.46	0.020	0.050	0.040	0.050	289.48
0.020	0.050	0.020	0.100	303.32	0.020	0.050	0.020	0.100	307.33
0.020	0.050	0.080	0.050	309.27	0.020	0.050	0.080	0.050	313.29
0.040	0.050	0.020	0.050	310.69	0.040	0.050	0.020	0.050	315.86
0.020	0.050	0.040	0.100	315.22	0.020	0.050	0.040	0.100	319.24
0.040	0.050	0.040	0.050	322.60	0.040	0.050	0.040	0.050	327.77
0.020	0.050	0.080	0.100	339.03	0.020	0.050	0.080	0.100	343.04
0.040	0.050	0.020	0.100	340.46	0.040	0.050	0.020	0.100	345.62
0.040	0.050	0.080	0.050	346.41	0.040	0.050	0.080	0.050	351.57

TVOC의 방출농도를 예측하기 위하여 <표 5.7>의 오염물질 방출농도 변수를 오염물질 방출농도 예측식 (식 4.2)에 대입하였다.

마감재 조합에 따른 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-최우수1, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-최우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

S/V(표면적/체적)비는 침실이 거실보다 약 1%정도 높은 것으로 나타났고, TVOC의 농도는 침실이 거실보다 약 2%정도 높은 것으로 나타났다.

5.5 소결

본 장에서는 Mock-Up 실험실뿐만 아니라 신축공동주택의 오염물질 농도를 평가하기 위하여 공동주택의 평형별 실내공기질을 예측하였다.

신축공동주택의 실내공기질 예측시 환기횟수는 건교부에서 입법예고하여 2006년 1월부터 시행되는 0.7회/h를 (식 4.2)에 대입하여 오염물질 농도를 예측하였으며, 오염물질 예측시 고려한 4종의 마감재(벽지, 벽지 접착제, 바닥재, 바닥 접착제)의 방출강도는 건축자재 인증등급 중 'HB마크'의 등급별 오염물질 최대 방출강도의 20%만 반영하였다.

주요 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 25평형 신축공동주택의 마감재 조합에 따른 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-최우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-양호, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다. 마감재 조합에 따른 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-양호, 바닥접착제의 인증등급-우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-최우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 35평형 신축공동주택의 마감재 조합에 따른 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-최우수, 바닥접착제의 인증등급-우수인 조합, 침실에서 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-최우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다. 마감재 조합에 따른 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-최우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질

권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.

- (3) 50평형 신축공동주택의 마감재 조합에 따른 폼알데하이드의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-최우수, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-일반1, 바닥접착제의 인증등급-양호인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-양호, 바닥접착제의 인증등급-양호인 마감재로 이루어진 경우까지 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.
- 마감재 조합에 따른 TVOC의 방출농도 예측결과, 마감재의 조합이 거실은 벽지의 인증등급-양호, 벽지접착제의 인증등급-최우수, 바닥재의 인증등급-최우수1, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 조합, 침실은 벽지의 인증등급-최우수, 벽지접착제의 인증등급-우수, 바닥재의 인증등급-우수, 바닥접착제의 인증등급-최우수인 마감재로 이루어진 경우까지 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하는 것으로 나타났다.
- (4) 예측한 장소에 따른 오염물질 방출농도는 25평>35평>50평의 순으로 25평형 신축공동주택의 실내오염물질농도가 가장 높은 것으로 나타났으나 25평, 35평과 50평의 오염물질 농도차(差)는 적은 것으로 판단된다.
- (5) 침실과 거실을 기준으로 오염물질 방출농도를 예측한 결과, S/V(표면적/체적)비가 큰 침실의 오염물질농도가 거실의 오염물질농도보다 높은 것으로 나타나 S/V(표면적/체적)비가 실내공기질에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

제 6장 결 론

최근 건축물 실내공기오염의 심각성이 대두됨에 따라 실내공기질 개선을 위한 연구가 진행 중이다. 실내공기질 개선을 위한 대표적인 방안으로 오염물질 저방출 건축자재의 선정이 선행되어야 하기 때문에 최근 건축자재 인증제도에 관한 연구가 진행 중이다.

그러나 건축자재 인증등급은 개별자재에서 방출되는 오염물질의 방출강도만 파악할 수 있기 때문에 건축주, 설계자와 시공자는 개별자재 등급의 성능만 가지고 실내공기질을 파악하는 것이 어렵다.

따라서 본 연구는 신축공동주택의 설계단계에서 개별 건축자재의 방출강도만으로도 마감재 선정에 따른 실내공기 오염농도를 예측할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이를 통해 건축자재 인증등급 중 'HB마크'를 받은 자재를 신축공동주택 시공전에 실내오염농도를 예측하여 건축주, 설계자와 시공자가 건축마감재 선정시 합리적인 의사결정을 할 수 있도록 돕기 위한 자료를 제공하고자 하였다.

본 연구의 분석대상 오염물질은 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물(TVOC)로 한정하고, 폼알데하이드는 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$, TVOC는 다중이용시설의 실내공기질 권고기준인 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 쾌적한 실내공기질 기준으로 설정하였다.

주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) (2.2.1)의 마감재 중 100종을 대상으로 소형챔버 시험을 실시한 선행연구²⁴⁾ 결과를 바탕으로 주요 실내마감재에 대한 오염물질 방출강도를 파악하였다. 그 결과 마감재에서 방출되는 오염물질 중 폼알데하이드의 방출강도는 비교적 낮은 것으로 나타났으나, TVOC의 방출강도는 모든 재료에서 많은 양이 방출되는 것으로 나타났다.
- (2) Mock-Up Test를 실시하여 시간경과(1, 3, 5, 7일)에 따른 오염물질농도 측정결과, A, B실의 폼알데하이드 농도는 모든 측정 시점에서 신축공동주택의 실내공기질 권고기준인 $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 만족하는 것으로 나타났다. TVOC의 농도는 A실의 경우 벽과 천장 도배 시공 7일 경과 후, B실의 경우 10일 경과 후 다중이용시설의 실내공기질 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다.

24) 유형규, op. cit., pp. 55~78

본 실험을 통해 개별 자재의 방출강도 보다 자재의 마감면적이 실 전체 공기질에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

- (3) Mock-Up Test 결과인 오염물질 방출농도와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 방출농도를 비교한 결과, 실측치와 예측치 간의 오차가 생긴다. 이러한 오차는 기존 마감재 칠거 직후 벽과 천장 도배 시공을 함에 따라 기존 마감재에서 나온 오염물질의 잔류가 일부 있었으리라는 추정과 Mock-Up Test의 실측치와 (식 4.2)에 의한 예측치의 실험조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수, 마감재의 시공방법 등)이 상이하기 때문인 것으로 판단된다.
- (4) 건축자재 인증등급 중 'HB마크'에서 각 등급별로 오염물질을 가장 많이 방출하는 것으로 평가된 마감재를 Mock-Up 실험실에 시공하였을 때 마감재의 조합이 모두 최우수로 이루어진 경우에도 실내공기질 권고기준을 모두 초과하는 것으로 나타났다. 이와 같은 첫 번째 원인은 'HB마크'에서 규정한 일반자재(벽지, 바닥재)는 7일 경과후의 오염물질 최대 방출강도를 (식 4.2)에 대입하였기 때문이다. 두 번째 원인은 일반자재(최우수인 경우 TVOC의 방출강도가 소형챔버 7일 경과후 $0.10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 건축자재 인증등급 기준이 완화된 접착제(최우수인 경우 TVOC의 방출강도가 소형챔버 7일 경과후 $0.25\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 벽지와 바닥재 내부에 도포되었기 때문이다.
예측된 오염물질 농도가 실내공기질 권고기준을 초과하지만 건축마감재에서 방출되는 오염물질 농도는 시간경과에 따라 점차 감소하는 패턴을 보이기 때문에 시공초기에는 실내마감재에 의한 오염물질의 농도가 높게 나타나지만, 입주 시점에는 오염물질농도가 감소할 것으로 판단된다.
- (5) Mock-Up Test에 의한 오염물질농도 결과와 (식 4.2)에 의해 예측된 오염물질농도 결과를 통하여 실내공기질에 큰 영향을 미치는 마감재는 벽지접착제>벽지>바닥접착제>바닥재 순인 것으로 평가되었다. 따라서 접착제의 선정은 실내공기질 권고기준을 만족하기 위하여 건축자재 인증등급이 최우수인 것을 선정해야 할 것으로 판단된다.
- (6) 우리나라의 건축자재 인증등급제도는 선진국에 비해 완화하여 규정하고 있기 때문에 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위하여 마감재는 건축자재 인증등급에서 오염물질 방출강도가 낮은 것을 선정하는 것이 쾌적한 실내공기질을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

(7) 신축공동주택의 평형(25평, 35평 50평)별 오염물질농도를 예측하기 위하여 공동주택의 일반화 평면을 조사하여 침실과 거실의 오염물질농도를 예측한 결과, 공동주택 평형별 오염물질 방출농도는 25평>35평>50평의 순으로 25 평형 신축공동주택의 오염물질농도가 가장 높은 것으로 나타나, S/V(표면적/체적)비가 실내공기질에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(8) 연구의 한계와 추후 연구

본 연구는 신축공동주택의 실내공기질을 예측하기 위하여 건축자재 오염물질 방출강도 계산식(식 4.2)의 오염물질 방출농도 예측식으로 변환하였다. Mock-Up Test 결과인 오염물질 방출농도와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 방출농도를 비교한 결과, 오차가 발생하기 때문에 이러한 오차를 줄일 수 있는 오염물질 방출농도 예측식을 세워 보다 정확하게 실내공기질을 예측할 수 있도록 추후 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 마감재 선정에 따른 신축공동주택의 실내공기질을 평가하기 위한 연구로서 실내 마감재 중 벽지와 벽지 접착제, 바닥재와 바닥접착제 접착제만 고려하여 실내공기질을 예측하였다. 그러나 실제 주거건물에서는 가구와 불박이장 등이 설치되기 때문에 실내공기질은 더욱 악화될 것으로 판단된다.

따라서 신축공동주택의 실내공기질을 쾌적하게 유지하기 위하여 마감재는 건축자재 인증등급에서 오염물질 방출강도가 낮은 것을 선정해야한다. 또한, 건축자재 인증등급 상으로 최우수인 마감재로 유효하더라도 건축물 준공 당시에 실내공기질 권고기준을 만족하기 위하여 현재 시행중인 건축자재 인증제도가 강화되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[국내문헌]

- 1) 이윤규, 최근 실내공기환경 기준의 국제적 연구동향, 대한건축학회 세미나, 1998
- 2) 池田耕一, 실내공기오염의 메커니즘, 동아기술, 2001
- 3) 조완재, 건축자재의 VOCs 방출시험방법 및 방출특성, 대한설비공학회, 2002
- 4) 환경부, 오염물질 방출 건축자재 선정관련 연구, 2003
- 5) 환경부, 실내공기질공정시험방법, 환경부고시 제2004-80호, 2004
- 6) 한국태양에너지학회 보고서, 신축 주거건물(공동주택 및 오피스텔)에서의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 2004
- 7) 이언구, 신축공동주택의 실내공기환경 개선방안, 대림기술정보 2004 겨울호, 2004
- 8) 윤동원, 건축자재에서 발생하는 오염물질과 특성, 한국설비기술협회, 설비/공조/냉동/위생, 2004
- 9) 장성기, 새집증후군 관련 외국 및 국내 기준 실태 및 재정근거와 방향, 국립환경연구원, 2004
- 10) 주택저널 2005년 8월호
- 11) 박진철, 실내공기질의 국내외 관리현황 및 기준치에 관한 고찰, 건축환경위원회 세미나, 2005
- 12) 유형규, 신축공동주택 실내공기오염물질의 발생원인 및 방출특성에 관한 실험 연구, 중앙 대학교 대학원 박사 학위 논문, 2005
- 13) 성민기 외, 신축공동주택 마감자재의 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 방출 특성 평가, 대한건축학회 창립 60주년 기념 학술발표대회논문집, 2005
- 14) 박준석 외, 유효확산계수를 이용한 복합자재의 VOCs방출량 평가에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년 기념 학술발표대회논문집, 2005
- 15) 방승기 외, 온돌용 마루와 가구에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)농도 감소 예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2005
- 16) 김일호 외, 신축공동주택의 VOCs&HCHO의 농도 예측에 기초적 연구, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005
- 17) 김지영 외, 실내 오염농도 분포를 고려한 실내공기질 예측방법, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005
- 18) 김창남 외, 아파트 공간의 전열교환 환기시스템에 의한 실내 VOCs의 농도변화 예측, 대한설비공학회 2005하계학술발표대회 논문집, 2005

- 19) 송두삼 외, 실간 기류이동에 따른 오염물질 확산에 대한 평가 방법, 대한건축학회 창립 60주년 기념 학술발표대회논문집, 2005
- 20) 이승민 외, 친환경 자재 사용에 대한 업계 의견, 대한건축학회 워크샵, 2005
- 21) 윤동원, 실내 오염물질 방출특성 규명을 위한 Test Chamber법에 대한 고찰, 대한설비공학회지, 2005
- 22) 강동화, 바닥난방 공간의 베이크아웃에 의한 VOCS방출에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교 대학원 건축학과 건축환경전공, 2005

[국외문헌]

- 1) ASHRAE Standards 62-1989, Ventilation for acceptable in door air quality, ASHRAE, Atlanta, 1989
- 2) Ivars Neretnieks et al., Modeling of Emission and Re-emission of VOCs from Building Materials with Indoor Air Applications, Indoor Air, 1993, pp.2~11
- 3) Chang, John C.S. et al., Modeling of Alkane Emissions from a Wood Stain, Indoor Air, 1994, pp.35~39
- 4) L.E. Sparks et al., Gas-Phase Mass Transfer Model for Predicting Volatile Organic Compound(VOC) Emission Rates from Indoor Pollutant Sources, Indoor Air, 1996, pp. 31~40
- 5) Chang, John C.S. et al., Substrate Effects on VOC Emissions from a Latex Paint, Indoor Air, 1997, pp.241~247
- 6) Yu. Chuck, A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in Building, Building and Environmental, 1998, Vol. 33, No.6,S pp.357~374
- 7) Bruce A. Tichenor et al., Organic Emissions from Consumer Products and Building Materials to the indoor Environment, JAPCA, Vol. 38, No.3, 1988, pp.264~268
- 8) Zhishi Guo et al., Estimation of the Rate of VOC Emissions from Solvent-based Indoor Coating Materials based on Product Formulation, Atmospheric Environment 33, 1999, pp.1205~1215
- 9) X. Yang, Study of Building Material Emissions and Indoor Air Quality, PhD Thesis, The Massachusetts Institute of Technology, 1999, pp.132~135
- 10) Rikke Bramming Jorgensen et al., Chamber Testing of Adsorption of

Volatile Organic Compounds (VOCs) in Material Surfaces, Indoor Air, 1999, pp.2~9

- 11) Rikke Bramming Jorgensen et al., Introduction of a Sink-Diffusion Model to Describe the Interaction between Volatile Organic Compounds (VOCs) and Material Surfaces, Indoor Air, 2000, pp.27~38
- 12) Air Quality Guideline for Europe 2nd Edition, WHO, 2001
- 13) X. Yang et al., Effects of Environmental and Test Conditions on VOC Emissions from "Wet" Coating Materials, Indoor Air, Vol.11 2001, pp.270-278
- 14) X. Yang et al., A Mass Transfer Model for Simulating VOC Sorption on Building Materials, Atmospheric Environment, 2001, pp.1291-1299
- 15) A. Afshari et al., Comparison of Three Small Chamber Test Methods for the Measurement of VOC Emission Rates from Paint, Indoor Air, 2003, Vol.13 pp.156-165

[Web Sites]

- 1) <http://www.kela.or.kr/>
- 2) <http://iaenv.kict.re.kr/>
- 3) <http://www.me.go.kr/>
- 4) <http://www.auric.or.kr/>

국 문 초 록

마감재 선정에 따른 신축공동주택 실내오염물질 농도 예측에 관한 연구

중앙대학교 대학원
건축학과 건축계획 및 환경전공
고 은 희
지도교수 이 언 구

최근 오염된 외기의 실내 도입, 건축물의 기밀·단열 성능 향상과 실내마감재 등에서 방출되는 오염물질로 인하여 건축물 실내공기오염의 심각성이 대두되고 있다. 특히 우리나라는 전체 주택 중 공동주택이 차지하는 비중이 높고, 새로 개발되는 복합 자재가 대량으로 사용됨에 따라 건축 마감재에 의한 실내공기 오염이 심각하다. 이에 따라 실내공기질 개선에 관한 연구가 다각적으로 진행 중이다.

실내공기질의 개선 방안으로 국외·내에서는 실내공기환경 기준과 친환경 자재 라벨링 제도를 제정하여 시행하고 있다.

건축자재 인증등급의 시행으로 말미암아 건축주는 개별 자재의 방출강도를 파악하고, 시공전에 마감재의 방출강도에 따라 마감재를 선정하여 시공할 수 있게 되었다.

그러나 건축자재 인증등급은 개별 자재의 방출특성을 반영하기 때문에 건축주, 설계자와 시공자가 개별 건축자재의 방출특성을 바탕으로 신축공동주택의 실내공기질을 실용적으로 예측하기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구는 신축공동주택의 설계단계에서 개별 건축자재의 방출특성만으로도 마감재 선정에 따른 실내 오염물질농도를 예측할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이를 통해 건축자재 인증등급을 받은 자재를 신축 공동주택에 시공할 때, 실내로 방출되는 오염물질 농도를 예측하여 건축주, 설계자와 시공자가 건축마감재 선정시 합리적인 의사결정을 돕기 위한 자료를 제공하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 마감재를 용도와 재질에 따라 분류하고, 그 중 일부를 선정하여 소형챔버 시험을 실시한 결과, 마감재에서 방출되는 오염물질 중 폼알데하이드의 방출강도는 비교적 낮은 것으로 나타났으나, TVOC의 방출강도는 모든 재료에서 많은 양이 방출되는 것으로 나타났다.

- 2) Mock-Up Test를 실시하여 시간 경과(1, 3, 5, 7일)에 따른 오염물질 농도 측정하였다. 측정결과, A, B실의 폼알데하이드 농도는 모든 측정 시점에서 신축공동주택의 실내공기질 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다. TVOC의 농도는 A실의 경우 벽과 천장 도배 시공 7일 경과후 B실의 경우 벽과 천장 도배 시공 10일 경과후 다중이용시설의 실내공기질 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 개별 자재의 방출강도 보다 자재의 마감면적이 실 전체 공기 질에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 3) Mock-Up Test 결과인 오염물질 방출농도와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 방출농도를 비교한 결과, 실측치와 예측치 간의 오차가 생긴다. 그러나 예측치와 실측치는 실험조건(온도, 습도, 기류, 환기횟수 등)에 따라 변하기 때문에 실측치와 예측치의 오차는 거의 유사한 것으로 판단된다.
- 4) Mock-Up Test 결과와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 농도를 비교한 결과 실내공기질에 큰 영향을 미치는 마감재는 벽지 접착제> 벽지> 바닥 접착제> 바닥재 순인 것으로 평가되었다. 특히 접착제의 선정은 건축자재 인증등급에서 오염물질 최우수 등급인 것을 선정하는 것이 쾌적한 실내공기질을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 우리나라의 건축자재 인증등급제도는 선진국에 비해 완화하여 규정하고 있어, 건축자재 인증등급 중 'HB마크'를 기준으로 최대 방출농도를 예측한 결과, 마감재의 조합이 모두 최우수인 마감재로 이루어진 경우에도 실내공기질 권고기준을 모두 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 마감재는 건축자재 인증등급에서 오염물질 방출강도가 낮은 것을 선정하는 것이 쾌적한 실내공기질을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 신축공동주택의 평형(25평, 35평 50평)별 오염물질 농도를 예측하기 위하여 공동주택의 일반화 평면을 조사하여 침실과 거실에서 방출 가능한 오염물질 농도를 예측한 결과, 평형에 따른 오염물질 방출농도는 25평>35평>50평의 순으로 25평형 공동주택의 오염물질 농도가 가장 높은 것으로 나타나 S/V(표면적/체적)비가 실내공기질에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구는 신축공동주택의 실내공기질을 예측하기 위하여 건축자재 오염물질 방출강도 계산식을 오염물질 방출농도 예측식으로 변환하였다. Mock-Up Test 결과인 오염물질 방출농도와 오염물질 방출농도 예측식에 의한 방출농도를 비교

한 결과, 오차가 발생하기 때문에 이러한 오차를 줄일 수 있는 오염물질 방출농도 예측식을 세워 보다 정확하게 실내공기질을 예측할 수 있도록 추후 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 마감재 선정에 따른 신축공동주택의 실내공기질을 평가하기 위한 연구로서 실내 마감재 중 벽지와 벽지 접착제, 바닥재와 바닥접착제 접착제만 고려하여 실내공기질을 예측하였다. 그러나 실제 주거건물에서는 가구와 불박이장 등이 설치되기 때문에 실내공기질은 더욱 악화될 것으로 판단된다.

따라서 신축공동주택의 실내공기질을 쾌적하게 유지하기 위하여 마감재는 건축자재 인증등급에서 오염물질 방출강도가 낮은 것을 선정해야한다. 또한, 건축자재 인증등급 상으로 최우수인 마감재로 유효하더라도 건축물 준공 당시에 실내공기질 권고기준을 만족하기 위하여 현재 시행중인 건축자재 인증제도가 강화되어야 할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

A Prediction of Indoor Air Quality in New Apartment Houses depending on the Selection of Finishing Materials

**Ko, Eun-Hee
Dept. of Architecture
The Graduate School of Chung-Ang University
Advised by Prof. Rhee, Eon-Ku, Ph. D.**

The contamination of indoor air is being aggravated from contaminated outdoor air, improved airtightness and insulation efficiency and pollution emitted from interior finishing. Especially in Korea, apartment houses take high percentage of living house and large use of newly invented complex materials, contamination of indoor air to be aggravated. So, research on the improvement for indoor air quality is multilaterally on progress.

The indoor air quality standards and the environment materials labelling system are established from inside and outside of countries for improving indoor air quality.

From enforcement of building material grades, constructor can grasp single material's emission rate and according to emission rate of finishing materials constructor can select finishing material before the construction.

But the building material grades only reflects single material's emission characteristics, designer and constructor can not estimate newly built apartment house's indoor air quality base on single finishing material's emission rate.

So, in this study present the methodology to predict indoor contaminant density according to selection of finishing material only from characteristics of single construction material in design phase. According to this, when constructing apartment house using material that achieved building material grades can predict indoor contaminant density to rationally select finishing material.

The results of the study can be summarized as follows.

- 1) First, classify finishing material according to use and quality, then select partial of each division and enforce small chamber test. The result of test is emission rate of formaldehyde is relatively low but emission rate of TVOC is very high in all materials.
- 2) Execute mock-up test and measure the contaminant density according to time release(1,3,5,7day). Density of formaldehyde of room A, B meets the interior air quality patronage standard of multiplex use facility. TVOC density of room A, after 7 days from wall construction, in room B, after 10 days from wall and ceiling construction meets the interior air quality patronage standard of multiplex use facility. Also, material's area effect indoor air quality more than single material's emission rate.
- 3) Result on the comparison between mock-up test value and prediction value have errors. But prediction value is from fixed test condition and test value has changing test condition so values of test and prediction is very similar.
- 4) As the test result and prediction formaldehyde and TVOC result, finishing material that effect indoor air quality are wall glue>wall paper>floor glue>floor material. Especially, selecting high level of glue can maintain pleasant indoor air quality.
- 5) Since the domestic building material grades is relaxed compare to advanced nations, select highest contaminant density material in each level and predicted contaminant density, as a result they exceeded indoor air quality patronage standards. So, selecting low level of contaminant density materials can maintain pleasant indoor air quality as to meet the interior air quality patronage standards.
- 6) Research the floor plan to predict the contaminant density according to floor area(25, 35, 50 pyeong), and result of prediction is 25 pyeong>35 pyeong>50 pyeong, so S/V effect the indoor air quality.

Change finishing material contaminant emission rate equation into contaminant density equation to predict indoor air quality of newly built apartment houses. There is a error between the mock-up test value and prediction value from contaminant density equation because of mock-up test condition. So, make more accurate equation to reduce errors and further research has to be followed to predict more accurate indoor air quality.

This study aims to predict indoor air quality according to finishing material selection only for wall paper, glue and floor material.

But in real situation indoor air quality can be worse as furniture and built-in chest of drawers. So to meet the indoor air quality patronage standards, select the finishing material below half level of emission rate and present enforcing building material grades has to be strengthened.

감 사 의 글

어느새 제주도를 떠나 서울 생활을 한지도 2년이 되었습니다. 그동안 대학원 생활을 하면서 학문적 지식도 많이 배웠지만, 무엇보다도 세상을 살아가는 지혜를 많이 배운 것 같아 정말 뜻 깊었습니다. 부족한 제가 이러한 많은 경험을 할 수 있도록 도와주신 모든 분들에게 감사의 말씀을 전하며, 무엇보다도 뒤늦게 알게 되었지만, 저에게 믿음을 주신 하나님께 감사와 영광을 돌립니다.

먼저 항상 부족한 저에게 인자함으로 학문적 지식과 삶의 지혜를 가르쳐 주신 이연구 교수님께 진심으로 깊은 감사와 존경을 표합니다. 제가 논문을 완성하는데 있어 세세한 부분까지 신경써주신 박진철 교수님, 김남규 교수님, 이동주 교수님께 진심으로 감사드립니다. 학부 때부터 지금까지 격려를 아끼지 않으신 은희창 교수님, 건축 환경이라는 분야에 관심을 갖도록 도와주시며, 논문을 꼼꼼히 지도해주신 나수연 교수님께 진심으로 감사드립니다.

멀리 제주도에서 와서 제가 이렇게 성장할 수 있도록 모범이 되어주신 송국섭 교수님, 황정하 교수님, 안태경 교수님, 권영철 교수님, 이관호 교수님께 감사드립니다. 바쁜 와중에도 연구실에 오셔서 항상 웃음을 주시고, 논문을 완성할 수 있도록 도와주신 김세훈 교수님, 제가 논문을 완성할 수 있도록 도와주신 전성원 박사님, 부족한 저에게 항상 격려를 아끼지 않으셨던 이호준 선배님, 김기훈 선배님, 이상형 선배님, 홍민호 선배님, 전주영 선배님, 소연언니, 홍석오빠, 처음부터 지금까지 논문 지도를 해주신 형규오빠, 진철오빠, 현진언니, 선이언니, 진명오빠, 경옥언니, 기혁오빠, 소이언니, 일이 많아 바쁜 와중에서 직접 학교에 오셔서 논문을 봐주신 진경언니에게 진심으로 감사드립니다. 2년 동안 연구실 생활하면서 많은 도움을 주셨던 박창봉 선배님, 유대중 선배님, 종연오빠, 바쁜 와중에도 제 실험을 도와주신 진영언니, 같이 논문 쓰면서도 많은 도움을 주었던 우진오빠, 정신적으로 큰 힘을 주고, 논문도 많이 수정해주었던 혜진언니, 바쁜 와중에도 같이 밤을 지새우며 논문을 수정해 주었던 옥이언니, 멀리서도 부족한 저를 챙겨주었던 용우오빠에게 감사드립니다. 후배지만 동갑이라 마음이 많이 통했던 미니, 태신오빠에게 감사드립니다.

학창시절부터 지금까지 소중한 인연이 되어준 윤숙, 지현, 민경, 상미, 피가 물보다 진하다는 것을 알려준 진영, 제가 어디에 있던지 저에게 정신적인 지주가 되어주었던 우리 ABC가족, 항상 부족한 저를 챙겨주었던 효성과 우리 ANGEL 5, 제주도에 있어 더 보고 싶은 수야와 고동여니, 찾아갈 때마다 항상 반겨주며 논문을 쓸 수 있도록 도와주었던 제주대학교 건축환경연구실 후배들, 항상 바쁜 척 했던 나를 잊지 않고 찾아주었던 C.K가족, 그리고 저와 소중한 인연이 되어주었던 모든 분들에게 감사드립니다.

장녀이지만 저를 서울이라는 낯선 곳으로 보내시면서 걱정하시고, 끊임없는 격려를 아끼지 않으셨던 부모님과 군대에 보내면서 더욱 가까워진 우리 은수에게 깊은 감사를 드리며, 이 논문을 바칩니다.

아직도 부족한 저 이지만 연구실에 보탬이 되며, 사회로 내딛는 첫 직장에서 열심히 노력하는 고은희가 될 수 있도록 노력하겠습니다.

2005년 1월 고은희 드림.