creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공 학 석 사 학 위 논 문

바닥 매립형 환기 시스템이 적용된 공동 주택에서의 실내오염 물질 저감효과에 대한 고찰 및 경제성 검토

A Study on the Efficiency and Economical Efficiency of Indoor Air Pollutants Reducing Effect in Apartment Buildings Applying Floor Embedded Ventilation System

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

2018년 02월

부경대학교 산업대학원

냉동공조공학과

조 원 익

바닥 매립형 환기 시스템이 적용된 공동 주택에서의 실내오염 물질 저감효과에 대한 고찰 및 경제성 검토

A Study on the Efficiency and Economical Efficiency of Indoor Air Pollutants Reducing Effect in Apartment Buildings Applying Floor Embedded Ventilation System

지도교수 금 종 수

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2018년 02월

부경대학교 산업대학원

냉동공조공학과

조 원 익

조 원 익 의 공학석사 학위논문을

인준함

2018년 02월

주 심 공학박사 최 광 환 (인)

위 원 공학박사 정 석 권 (인)

위 원 공학박사 금 종 수 (인)

목 차

그림 목록 ····· iii

표 목록 ····· iv

Abstract ····· v

제1장 서 론 ····· 1

1.1 연구 배경 및 목적 ····· 1

1.2 기존 연구 ····· 4

1.3 연구 범위 ····· 5

제2장 본론 ····· 7

2.1 기초이론 ····· 8

2.2 바닥 매립형 환기시스템 ····· 20

2.3 실험 방법 ····· 29

2.4 측정 장비 ····· 34

2.5 실험 결과 ····· 35

제3장 결 론 ····· 51

참고문헌 ····· 54

감사의 글 ····· 56

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

List of figures

Fig. 1.1 Status of ventilation system applied floor embedded type.....9

Fig. 2.1 Residence time of air paticle.....14

Fig. 2.2 Floor fill type ventilation system.....21

Fig. 2.3 Floor embedded ventilation system details.....22

Fig. 2.4 Floor embedded ventilation system details.....23

Fig. 2.5 Construction system diagram.....25

Fig. 2.6 Process of construction and Inspection by process.....25

Fig. 2.7 Equipment installation.....26

Fig. 2.8 Self- cleaning & replace restrictive filter 27

Fig. 2.9 Case defect study of duct construcioon & improvements.....28

Fig. 2.10 Construction methods for embedded floor heating system.....29

Fig. 2.11 Measurement point of indoor contamination 30

Fig. 2.12 Measurement of indoor pollutants & measurement of indoor

air volume.....32

Fig. 2.13 Measurement of indoor air pollutants after bake out.....33

Fig. 2.14 Sight of measuremeant point 34

Fig. 2.15 Number of sample house ventilation 36

Fig. 2.16 Ventilation system 37

Fig. 2.17 Initial measurement data 38

Fig. 2.18 101-1501 Pollutant measurement data.....39

Fig. 2.19 101-1503 Pollutant measurement data.....40

Fig. 2.20 102-302 Pollutant measurement data.....41

Fig. 2.21 102-3003 Pollutant measurement data.....42

Fig. 2.22 Pollutant reduced amount data 43

Fig. 2.23 Pollutant reduced data between case-2 and case-3.....44

Fig. 2.24 Energy used data.....46

Fig. 2.25 Energy cost 47

Fig 2.26 Temperature variation 49

List of tables

Table 2.1. Classification of the indoor air pollutants..... 9

Table 2.2. Classification of ventilation.....10

Table 2.3. Ventilation volume of countries.....13

Table 2.4 Experimental schedule.....31

Table 2.5 Temperature measurement location 34

Table 2.6 Measuring equipment 35

Table 2.7 Pollutant reducing data.....43

Table 2.8 Pollutant reducing data between case-2 and case-3.....44

Table 2.9 Variation of Floor Thermal Storage Temperature.....50

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

A Study on the Efficiency and Economical Efficiency of Indoor Air Pollutants Reducing Effect in Apartment Buildings Applying Floor Embedded Ventilation System

IK-WON CHO

Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, Graduate School of Industry, Pukyong National University

Abstract

Recent developments in the construction industry are rapidly changing the direction of construction of residential buildings and energy consumption, and the indoor housing of apartment houses is enhanced by the refinement and diversification of indoor spaces due to the refinement and diversification of indoor buildings.

Moreover, while the ratio of the ventilation system is becoming more important, the housing design is underway to minimize the

profitability of the site and minimize the cost of construction. In this case, there are many underground ventilation systems where floor fill ventilation is applied to the floor of the floor if there is a lack of floor space due to the lack of floor space. Therefore, analyze the low quality and energy consumption of indoor pollutants in the site of the apartment housing where the ventilation system is applied, and examine whether it is possible to use an alternative room based on an objective data heater in the absence of a floor heating system.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

제 1장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

1990년대 이후부터 국내에서는 도시 주거의 형태가 공동주택이라는 큰 패러다임으로 자리를 잡으면서 일반 아파트도 고밀화 고급화 고층화되는 추세로 진화하고 있다.

서울, 인천, 부산 등의 대도시를 중심으로 급격히 증가하고 있고, 서울 등 대도시와 수도권 신도시에서 신규대지 확보의 어려움 및 재건축, 재개발 시의 용적율 확대를 위하여 고층 주택이 늘어가고 있다.

건물이 고층화됨으로써 강한 풍압과 내·외적 부하에 대응하기 위해서 고단열화 및 기밀화 할 수 밖에 없으며, 신선외기의 공급부족에 따른 실내 공기질의 악화는 당연한 결과이다.

실내 공기환경의 오염에 의한 폐해는 수년전부터 사회적 문제로 대두되어 오고 있고, 오염된 공기의 재순환 등을 통한 실내 이산화탄소 축척과 실내 인테리어 등으로 각종 유해 건축자재에서 유발되는 휘발성 유기화합물(VOCs)과 폼알데히드(HCHO)등은 새건물증후군(Sick building syndrome)을 유발하는 주원인으로 분류된다.

새건물 증후군과 같은 환경성 질병의 피해사례 증가와 매스컴에 의한 많은 보도로 인하여 국민의 실내공기환경에 대한 인식이 크게 변화하고는 실정이다.

최근의 건축물은 기밀성능이 예전보다 우수하므로 내부 마감재 및 실내인테리어에서 발생하는 오염물질과 재실자의 활동에 의해서 발생하는 오염물질을 배출하고 신선외기를 충분히 도입하여 희석할 수 있도록 환기풍량을 확보해야 하고, 취기를 포함하는 욕실과 주방의 배기는 실내로 유입되지 않아야 하므로 적절한 환기시스템의 설계 및 적용이 요구된다. 반면에 도심재생 및 구도심의 재개발, 재건축현장의 증가로 인하여 분양의 수익성 확보 및 공사비 절감을 위해 층고를 최소화하는 방향으로 주택설계가 종종 진행되고 있는 것도 사실이다. 이런 설계가 진행된 건축물들은 천정속 공간부족의 문제가 발생되어 바닥 매립타입의 환기설비가 적용될 수밖에 없으며 이중 온돌난방의 특성을 이용한 바닥매립형 환기설비가 적용된 현장이 다수 발생하였다.

따라서 이러한 바닥 환기설비가 적용된 공동주택 현장에서 실내오염물질의 저감량과 에너지 소비량을 분석하여 층고가 부족한 현장에서 객관적 자료에 기초한 대안 방안으로 제시할 수 있는지를 검토하고 우리나라 전통 온돌난방 방식의 축열을 이용해 열교환이 가능한지를 실험을 통해 확인하고 문제점을 검토하여 추가 연구에 필요한 방향을 제시하고자 한다. 또한 실제 단위세대 환기량과 실내오염물질 저감량을 측정함으로서 바닥환기 설비의 환기효과를 실험적으로 확인하여 실생활에 필요한 환기방안을 제시할수 있는 기초 자료를 제공하고자

한다.

현재까지 적용된 바닥 매립형 환기시스템이 적용된 사례를 보면 전국적으로 2015년까지 공사를 완료한 세대는 전국에 260,292세대가 되며 이중 민영주택은 126,496세대, 주택공사 88,677세대 , 도시공사 45,119세대로 조사되었으며 2016년 까지 공사중인 세대는 민영 77,615세대, 공공 41,645세대가 되고 2016년 설계완료된 세대는 민영 139,331세대, 공공 15,226세대 등 총 154,557세대로 파악되고 있다

이와같이 전국적으로 적지않은 공동주택현장에서 적용되는 바닥매립형 환기시스템에 대한 실내 오염물질 저감율을 확인하고 문제점을 검토하여 보다 나는 방향의 환기 방법을 제시한다면 국가적으로도 친환경 저소비형 건축 주택 건설방향에 부합하는 것이며 에너지 절감을 위한 환기 방식을 선택할 수 있을 것이다.

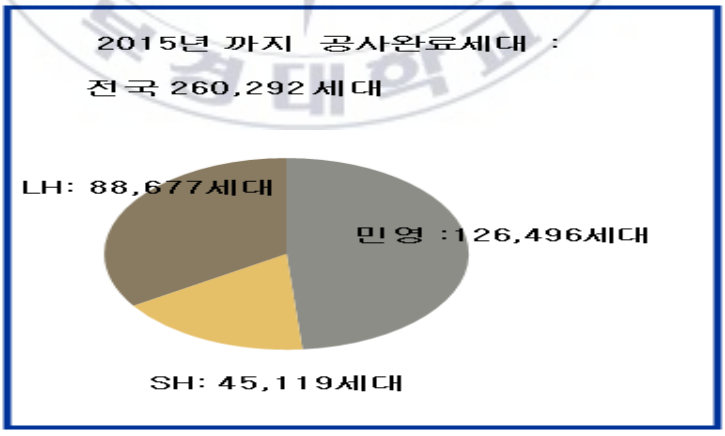


Fig. 1.1 Status of ventilation system applied floor embedded type

1.2 기존 연구

본 논문과 관련하여 공동주택 바닥 매립타입에 관한 연구 및 실내 오염물질 저감에 대한 기존연구내용을 조사 및 분류 하였다.

1) 김동석외 2명은 바닥매립형 환기시스템 적용시 외기온도에 따른 손실열량에 관한 연구 (2017.04. 대한 건축학회)에서는 외기온도 변화에 따른 손실열량을 확인하여 외기온도에 따라서 바닥 매립형 환기설비의 손실열량이 변화하는 것으로 연구하였다.

2) 김남규외 2명은 바닥온돌 매립형 환기 시스템에 관한 연구 (2005.09. 대한 설비 공학회)에서는 바닥매립형 환기시스템에 대한 설명 및 실내 CO 및 CO_2 저감량의 변화를 측정하여 환기시스템에 대한 연구를 진행하였다.

3) 조완제 외1명은 베이크 아웃 실시 조건이 실내 공기질에 미치는 영향 (2008.09. 대한 건축학회)의 연구에서는 실내오염물질의 발생량과 저감량을 환기방식별로 제거량을 측정 하고 이에 대한 적정한 환기방식을 제한하였다.

4) 김은수외 3명은 공동주택 실내 마감재 사용에 따른 실내공기질 예측(2004.10.29. 대한 건축학회)에서는 공동주택 실내 마감재 사용에 따른 실내공기질을 측정하고 CFD를 통해 환기횟수 변화에 따른 오염 물질 분석 하였다.

그 외 다수의 연구 논문이 있으나 본 연구에서는

1) 바닥환기설비가 작용된 공동주택에서 4개의 case 별로 오염 물질의 저감량을 각 각 분석하고 자연환기시와 바닥환기설비의 환기성능과 에너지 사용량을 비교 검토하는데 중점을 두었다.

2) 또한 외기온도와 급기 온도와의 온도차를 측정하여 실제 열교환이 이루어지는 지를 현장에서 실험적으로 확인코자 하였다.

3) 또한 실제 실생활에서 환기를 시키는 방법인 자연환기와 기계환기의 에너지 사용량을 분석하여 실제 경제적인 환기방식을 제안하였다

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

1.3 연구 범위

본 연구는 부산광역시 광안동에 신축되는 공동주택의 샘플 세대 4세대를 선정하여 실제 시공 되어 있는 상태에서 연구를 진행하였다

1) 바닥매립형 타입의 환기설비가 적용된 세대에서 4개 세대를 선정하여 법적인 사항인 실내오염물질 측정을 위한 기초자료와 병행 하며 실시하였으며, 정상적인 실내 온도 상태에서는 실제 바닥환기설비의 환기성능을 확인하는데 있어 현장에서 인위적으로 실내오염물질을 대량으로 방출시켜서 측정하는 방법이 가장 적정할 것 같아 bake out 실시시기와 병행하여 4개의 case별로 실험여건 및 방법은 감안하여 진행하였다.

2) 또한 세대내 실제 온도 측정기를 설치하여 바닥 매립방식의 열교환 효과를 확인하였다 .

   측정점은 5군데를 측정하여 온도를 측정하고 이에 대한 온도차 및 실제 열교환 되는지를 확인하였다.

3) 본 실험을 진행한 여건이 간절기임을 감안 하더라도 실제 열교환의 온도변화를 측정하면 바닥환기설비의 열교환이 되는지를 실측 데이터에 의해서 검증하고 실제 발생하는 문제점을 제시하고 해결방안을 제안하였다. 2장 본 론

2.1 기초이론

2.1.1 환기 (Ventilation)

환기의 대상은 실내 공기환경(Indoor air quality)을 저해하는 공기중의 각종 유해한 물질 또는 불필요한 물질을 말한다.

실내공기 오염원인에는 건물 주변의 대기오염에 의한 영향과 실내에서 발생하는 오염물질로 나누어지며, 대기오염에 의한 영향은 자동차 매연, 공장 등에서 배출되는 폐기 가스 등이 주원인이 된다.

건축물의 에너지 절약을 위하여 시행되고 있는 건물외피의 고기밀화 및 내부 마감 재료로 부터 발생하는 휘발성 유기화합물질(VOCs) 및 폼알데히드(HCHC)등의 유해물질로 인하여 실내 거주자에게 기본적으로 요구되는 필요환기량이 부족하여 실내공기질이 급격히 악화되고 있다.

그리고 공동주택의 환기 대상은 실내에서 발생하는 오염물질 대부분이며 이러한 오염물질은 주로 재실자로부터 발생하는 이산화탄소, 수증기, 채취, 담배연기 및 새로운 건축 내장재의 사용으로 발생되는 각종 총 휘발성유기화합물(TVOCs)과 같은 가스상 오염물질과 작업시 발생하는 각종 분진과 같은 입자상의 오염물질, 각종 병원성세균 등이며 공동주택의 주요한 실내공기 오염원이자 환기의 대상이다.

Table. 2.1 Classification of the indoor air pollutants

	Source	Pollutants
Human activitities	Conversation etc Skin Clothing Cosmetic Smoking Gas Walking Combustion Appliances Office equipment	Bacteria, Viruses Dandruff, Vmmonia and Odor Fiber, Sand dust, Bacteria, Fungi Various trace substances Dust,Tar, Nicotine CO, CO_2 , Ammonia Sand dust, Fibers, Bacteria CO, CO_2 ,NO , NO_2 , Smoker, Odor Volatile organic compounds Ammonia,Ozone, Solvents
Building materials	Plywood flow refractory Insulation paint	HCHO, Glass fibers, Asbestos, Adbestos, Radon, Mold, Mite
Outdoor air	The exhaust gas of the automobile Combustion of fuel	CO, CO_2 ,NO , NO_2 ,SO_3 ,PAHS Volatic organic compounds Dust, NO_2 ,SO_2
Living	Workiong Materials Direct scattering Re-scatter	Dust, Sand, Dirt, Detergents, Mildew Enemy priest, Pesticides Disinfectants, Repellents Insecticides,Fungicides, but clearing Defense chemicals ,Insect repellent

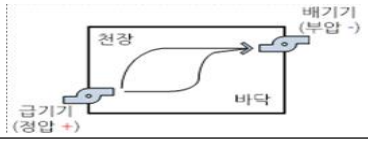
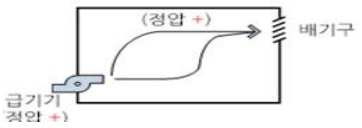
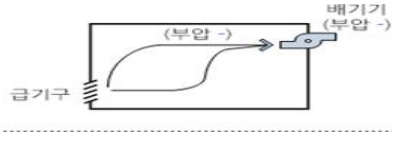
2.1.2 환기의 종류

환기는 실외의 바람이나 건물내외의 공기 밀도 차에 의해 생기는 압력차를 이용하는 자연환기(natural ventilation)와 급배기팬을 사용하는 기계환기(mechanical or forced ventilation)로 크게 분류된다. 기계환기는 급배기 팬 설치에 의해 3가지로 분류된다.

제1종 환기는 급배기량을 조절함으로써 실내압력을 임의로 조정하는 것이 가능하다. 제2종 환기는 실을 정압으로 유지, 오염공기등의 유입을 방지하는 경우에 사용된다. 제3종 환기는 실을 부압으로 유지, 오염공기 등의 유출을 방지하는 경우에 각각 사용된다.

최근에는 환기방식에도 하이브리드환기, 교류환기, 바닥 매립형 환기설비등 등 새로운 형태가 제안되고 있다.

Table. 2.2 The Classification of Ventilation

Classification		Features
Kind	Concept	
Ventilation type Ⅰ		-Indoor press balancing is possible -Waste heat recovery available
Ventilation type Ⅱ		-Indoor pressure: positive pressure -Air pollution: Ingress Protection
Ventilation type Ⅲ		-Indoor pressure: negative pressure -Air pollution: Prdiferation prevention

2.1.3 필요 환기량

필요 환기량은 일본의 HASS-102 환기규격에 의하면 “오염물질의 농도를 설계기준농도 이하로 유지하기 위하여 필요한 최소한의 취입 외기량”이라고 정의하고 있다.

실내에 공급되는 깨끗한 공기가 실내의 오염된 공기와 완전하게 혼합되는 것으로 가정하면 일정한 오염원의 발생량이 존재하는 실내에서 오염물질의 농도는 환기량에 의해서 결정된다.

실제 오염물질이 발생하면 그곳의 공기의 움직임에 따라 오염물질이 서서히 확산되어 오염물질의 농도분포가 생기게 된다. 그러나 실내의 평균적인 오염물질 농도를 예측하고 싶은 경우에는 계산이 간편하므로 대체로 완전확산을 가정하여 실내평균농도를 구할 수 있다.

완전확산을 가정하는 경우 측정 오염물질 발생량에 대하여 그 농도를 허용농도 이하로 유지하기 위하여 필요한 최소환기량(필요환기량)은 (식 1)과 같이 산출할 수 있다.

$$Q_r \geq \frac{M}{C_p - C_O} \qquad \text{(식1)}$$

여기서

Q_r : 환기량 l/s
M : 오염물질발생량 , ug/s
C_p : 유지하고자하는실내농도 , ug/s
C_o : 도입외기중의오염물질농도, ug/s

유럽의 환기기준과 일본의 HASS-102, 미국의 ASHRAE Standard 62-1989R에서는 공통적으로 거주자의 건강을 유지하기 위한 필요환기량을 환기효율을 고려하여 (식 2)과 같이 산정하고 있다.

$$Q_r = \frac{M}{C_p - C_o} X \frac{1}{E} \quad (식\ 2)$$

여기서
Q_r : 건강유지를 위한 필요환기량, l/s
M : 오염물질 부하량, ug/s

오염물질의 농도를 측정하고 발생량을 확인하기에는 어려움이 있으므로 세계 각국에서는 대상공간에 대한 일정한 필요환기량을 권장하고 있고, 우리나라에서도 공동주택의 경우 아래와 같은 내용으로 시간당 0.5회 이상의 환기량을 확보하도록 하고 있다.

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 (2013년 9월2일 개정) 22) 제11조 (공동주택 및 다중이용시설의 환기설비기준 등) ①영 제87조 제2항의 규정에 따라 신축 또는 리모델링하는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 주택 또는 건축물(이하 신축공동주택등" 이라 한다)은 시간당 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계 환기 설비를 설치하여야 한다.

Table. 2.3 The Ventilation volume of countries

Standard	Residential building (total ventilation)	Living Room	Bed Room	Kitchen	Bad room / Toilet	Toilet (Single)
미 국 (ASHRAE 62-1989)	환기횟수 0.35회 이상 (7.5l/sec 인 이상의 환기량 확보 요함)	-	-	간헐환기시 환기량 50l/sec 또는 환기창 설치	간헐환기시 25l/sec 또는 연속환기시 10l/sec	-
영 국 (BS 5720-1979, BS 5925-1991 Build Regs PtF , CIBSE Guides A,B)	권장치 12~18l/sec 인 최 소 8~12l/sec 인	바닥면적의 1/20이상인 환기구 설치, 환기구 면적은 최소 4000㎟이상일것	바닥면적의 1/20이상인 환기구 설치, 환기구 면적은 최소 4000㎟이상일 것	기계급기 60l/sec 또는 30l/sec배기후드 설치와 최소 4000㎟이상의 환기구 설치 또는 환기횟수 1회 확보	간헐환기시 15l/sec 환기량	바닥면적의 1/20이상인 환기구 설치, 간헐적으로 3회이상의 환기횟수 확보
스위스 (SLA 384/2 SLA 382/1)	-	-	80~120㎥/h	-	30~60㎥/h	-
스웨덴 (BFS 1988 ch4 1)	최소(급기) 0.35l/sec㎡	0.35l/sec㎡ 급기	4.0 l/sec㎡ 급기	10 l/sec 실 배기	배기 10~30 l/sec	배기 10 l/sec
노르웨이 (NBC ch47-1987)	-	급기외벽에 100㎠이상의 개구부 설치	급기외벽에 100㎠이상의 개구부 설치	배기,기계 배기시에 60㎥/h 또는 자연환기시 지붕 선위에 단면적 150㎠이상의 덕트 설치	배기,기계 배기시에 60㎥/h 또는 자연환기시 지붕 선위에 단면적 150㎠이상의 덕트 설치	배기,기계 배기시에 40㎥/h 또는 단면적 100㎠이상의 자연환기 덕트 설치
뉴질랜드 (A S H R A E 62-1989)	각실의 바닥면적당 5%이상의 개폐가능한 유리창 설치	-	-	-	25l/sec실 (간헐) 10l/sec실 (연속)	
네덜란드 (NEN 1087)	-	0.1㎥/sec㎡	0.1㎥/sec㎡	2.1㎥/sec㎡	1.4㎥/sec㎡	0.7㎥/sec㎡
이탈리아 (MD 05 07.75)	0.35~0.5회/h	15㎥/h 인	-	1.0회/h	1.0~2.0회/h	-
독 일 (DIN18017; DIN1946,VD12 088)	-	최소 60~120㎥/h 최대 60~180㎥/h	-	최소 40㎥/h 최대 60㎥/h	최소 40㎥/h 최대 60㎥/h	최소 20㎥/h 최대 30㎥/h
프랑스 (Arrete 24,03 82)	-	-	-	20~135㎥/h	15~30㎥/h	15~30㎥/h
핀랜드 (NBC-D2)	-	0.5l/sec ㎡	0.5l/sec 인 0.5l/sec ㎡	배기 20 l/sec	배기 15 l/sec	-
덴마크 (DS 418)	-	0.4~0.6회/h	-	0.7회/h	0.7회/h	-
캐나다 (CSAF3261-M 1989, ASHRAE 62-1989)	0.3회/h 3 l/sec 인	-	-	간헐배기 50 l/sec 연속배기 30 l/sec	간헐배기 25 l/sec 연속배기 15 l/sec	-
벨기에 (NBNB62-003)	0.7~1.0회/h 20~30㎥/h 인	-	0.1㎥/sec ㎡	50~75㎥/sec ㎡	1.4 ㎥/sec	0.7 ㎥/sec

2.1.4 공기입자의 실내체류시간

급기구를 통하여 실내로 유입된 공기가 실내 임의의 점에 도달할 때까지 소요된 시간을 연령이라고 한다. 공기입자는 여러 가지 경로를 통하여 그 지점에 도달할 수 있으므로 그 지점에 도달하는 공기입자연령의 평균값을 국소평균연령(Local Mean Age, LMA)이라 한다.

또한, 실내 임의의 점으로부터 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요된 시간을 잔여체류시간이라고 하는데 이것도 여러 가지 경로를 통한 입자들의 평균값으로서 국소평균잔여체류시간(Local Mean Residual Life Time, LMR)이라고 한다. 또한, 국소평균연령과 국소잔여 체류시간의 합은 그 지점을 통과하는 공기입자의 실내 체류 시간 (Residence Time)이 된다. 공기연령과 잔여체류시간의 개념을 나타내었다.

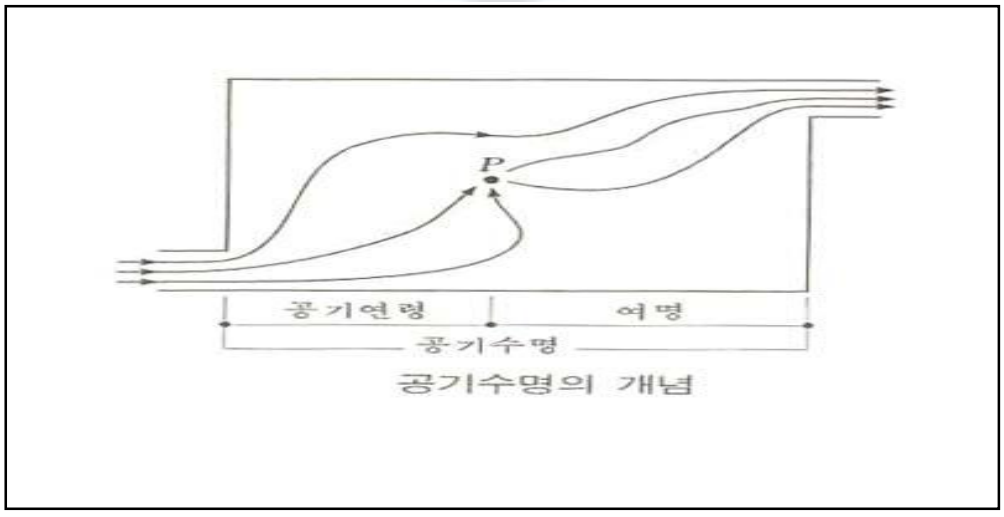


Fig. 2.1 Residence time of air particle

2.1.5 실내오염물질

(1) 미세먼지(PM10)

먼지는 대략 0.005~500㎛의 크기를 가지고 있으며, 먼지는 입자의 동역학 직경 2.5㎛ 미만의 미세입자와 2.5㎛ 이상의 거대입자로 분류한다.

거대입자와 미세입자의 총합을 총부유분진(TSP : Total suspended particulate)이라고 한다. 미세입자는 심폐질환으로 인한 수명 단축과 시정 감소의 원인으로 작용하여 건강에 직·간접적인 피해를 주고 있다. 미세입자는 대기 중에 오랫동안 떠다니면서 기도를 통해 체내에 들어와 폐 깊숙이 안착하여 각종 호흡기 질환을 일으키는 원인이 된다. 미세입자가 유발하는 질환으로는 천식이 대표적이며 천식은 만성 호흡기 질환으로 기침, 호흡곤란, 흉부 압박감 등의 증상을 초래한다. 천식은 환경변화에 민감하게 반응하여 환경보건의 건강지표로 사용되고 있다.

(2) 이산화탄소(CO_2)

이산화탄소는 무색, 무미, 무취의 기체로 일반적으로 대기 중에 0.04% (400 ppm) 정도 포함되어 있으며, 주로 실내공기질 또는 환기상태의 척도로 사용되고 있다. 실내공간에서 이산화탄소의 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되므로 일산화탄소와 함께

중요한 실내 오염물질 중의 하나로 취급되고 있다.

이산화탄소의 위생적인 허용기준은 0.1% (1,000 ppm)로 보고 있다.

실내에서 이산화탄소의 발생은 주로 재실자들의 호흡에 의하여 발생하게 되는데 사람들이 많이 모이는 곳에 가면 두통이나 권태, 현기증등의 현상이 나타나는 것은 많은 재실자로 인하여 실내 이산화탄소의 농도가 증가하였기 때문이다. 그러나 이산화탄소 그 차제 만 으로는 인체에 큰 피해를 주지는 않아 중독을 일으키거나 신체장애를 일으키지는 않는다.

(3) 폼알데히드(HCHO)

폼알데히드는 주로 실내에서 발생되는 오염물질로서 건축자재, 단열재, 가구, 가정용품 등이 주요 발생 원인이다.

폼알데히드의 성분은 건축자재에 광범위하게 쓰이는 페놀계 단열재, 아스테이트계 단열재, 합판, 섬유, 가구 등의 접착재에 함유되어 있다.

폼알데히드가 함유된 건축자재는 수년 동안 지속적으로 폼알데히드 기체를 실내로 방출하며 방출량은 시간에 비례하여 서서히 감소하고 특히, 습도가 높을 때 방출량이 증가하는 특성을 지닌다.

일반적으로 폼알데히드는 낮은 습도에서 단시간 노출되었을 때 눈, 코, 목 등에 가려움을 느끼고 장시간 노출되었을 경우에는 기침, 구토,어지러움, 두통, 불면증, 피부질환 등을 유발한다. 또한, 기관지

천식에도 영향이 있으며, 동물실험 결과 발암성도 있는 것으로 나타났다.

(4) 일산화탄소(CO)

일산화탄소는 탄소를 포함하는 모든 물질의 연소과정에서 발생하는 것으로, 물질의 연소 시 산소가 부족하거나 연소 온도가 낮은 상태에서 완전 연소가 일어나지 못하는 경우 불완전 연소 생성물로 생성된다. 일산화탄소는 체내에 산소를 운반하는 역할을 하는 혈액 중의 헤모글로빈과 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈을 만들어 혈액의 산소 운반능력을 저하시키는 작용을 하므로, 과다하게 노출될 경우 사망에 이를 수 있다.

일산화탄소의 급성 중독은 뇌조직과 신경계통에 가장 많은 피해를 가져오며, 증상은 시야감소, 정신적 영향, 생리적 영향, 중독피해, 심폐환자의 병세악화 등이 있다. 만성적으로는 성장장애, 만성 호흡기질환등의 영향을 미치게 된다.

(5) 이산화질소(NO_2)

이산화질소는 알칼리 및 클로로폼에 용해되는 자극성 냄새를 가진 적갈색 기체이다. 실내에서의 질소산화물은 취사용 시설이나 난방, 흡연 등에 의해 발생하며, 외부에서 유입되는 양도 상당량 존재 한다.

화석연료의 연소에 의해 발생되는 질소산화물은 인체에 유해한 영향을

끼치며, 실내에서의 이산화질소는 주로 취사용 프로판가스 기구의 사용, 흡연, 난방연료의 연소로 발생된다.

일산화질소(NO)는 공기중에 서서히 산화되어 이산화질소가 되는데, 실제로 건강에 장애를 주는 것은 이산화질소로써, 호흡할 때에 체내로 침입해서 폐포까지 깊이 도달하여 헤모글로빈의 산소 운반 능력을 저하시키고, 수 시간 내에 호흡곤란을 수반한 폐수종 염증을 일으키는 독성이 강한 물질이다. 또한, 점막 자극이 강하고 메트헤모글로빈을 형성하여 호흡기와 폐에 장애를 초래한다.

이산화질소는 일산화질소의 5~10배의 독성을 가지고 있다.

(6) 라돈(Radon)

라돈은 토양이나 암석 등 자연계의 물질 중에 함유된 우라늄이 연속 붕괴하면서 생성되는 물질인 라듐이 붕괴할 때 생성되는 원소로써 불활성 기체 형태의 무색, 무미, 무취의 방사성 가스이다.

실내에서 라돈은 건물 지반이나 주변 토양, 광석, 상수도 및 건축자재, 그리고 요리나 난방 목적으로 사용되는 천연가스 등에서 발생된다.

라돈이 토양에서 대기 중으로 이동하는 경우 토양의 투과성, 기공성 수분 함유량, 온도 및 토양과 건축물의 압력차와 같은 인자에 영향을 받으며, 이와 같은 확산은 기본적으로 분자 확산과 대류 이동에 의해 발생하게 된다. 건축자재 역시 실내 라돈의 중요한 오염원 중의

하나이다.

건축자재로부터 발생되는 라돈은 건축 구조물에 사용된 자재량과 자재의 라돈 발생률에 따라 달라진다.

라돈 및 라돈의 부산 물질이 인체에 미치는 영향은 호흡기계 질환발생으로 이것은 개인이 들이마시는 공기의 물질적 특성, 양, 폐의 생물학적 특성 등에 따라 달라질 수 있다. 특히, 라돈은 호흡기 질환 중 폐암을 유발시키는 것으로 나타나 그 중요성이 새롭게 인식되고 있다.

(7) 석면(Asbestos)

석면은 자연계에서 산출되는 섬유상 물질로써 내열성, 불활성, 절연성 등의 성질을 갖고 있어 불연소성, 내전도성, 화학적 불활성이 요구되는 곳에 사용할 수 있는 섬유상 규산염 광물로, 기본구조는 SiO4이다.

건축물에 사용되는 석면제품의 종류는 매우 다양하며, 주로 석면 시멘트관, 석면 슬레이트, 바닥용 타일, 마찰재, 파이프 등의 보온재, 방화용 물질, 방화용 피복재, 전기제품의 절연 등에 사용된다.

석면은 사람에게 암을 유발시키는 무서운 물질로 알려져 있으며, 공기중의 석면은 육안으로 식별이 불가능하여 주로 위상차 현미경을 통해서 관찰된다.

석면은 호흡 및 섭취에 의해 노출되며 직경 3 ㎛ 이하의 섬유는 기도를 거쳐 폐에 침착 되고, 석면폐, 폐암 및 중피종을 발생시키는 등

유해성이 큰 물질로 알려져 있어 선진국에서는 이미 규제대상이거나 사용금지 물질로 정하고 있다. 일단 석면에 한 번 노출되면 그 후 노출되는 일이 없어도 질병이 계속 진행되고, 새로운 증상도 나타나 약 20년 후에는 치명적인 암으로 발전할 수 있다.

(8) 휘발성유기화합물질(VOCs)

휘발성 유기화합물은 증기압이 높아 대기중으로 쉽게 증발되고, 물질에 따라 인체에 발암성을 보이며, 대기중에서는 광학화학 반응을 일으켜 오존 등에 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학 스모그를 유발하는 물질로 많이 알려져 있다.

실내의 VOCs 발생원은 건축자재와 마감재료, 건물의 유지 관리 용품, 소모성 재료, 연소과정의 물질, 재실자의 활동, 외부공기 등으로 구분할 수 있다.

실내에서 VOCs의 농도가 증가하는 주요 원인으로는 건축자재와 시공의 측면에서 보았을 때 복합 화학물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급과 시공과정에서 노무비의 절감, 숙련공의 부족 등으로 인한 공법의 변화로 많은 양의 접착제 사용 등을 들 수 있다. 대부분의 건축자재는 시공 후 초기 단계에서 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간이 경과함에 따라 방출량이 점차로 감소된다.

2.2 바닥 매립형 환기설비

2.2.1 바닥매립형 환기시스템

1)스마트환기시스템=바닥스마트급기+스마트배기연동
(욕실배기팬과 연동)

바닥열을 이용한 급기시스템을 통해 고성능 외기 청정필터를 통과하여 실내온도와 유사한 신선공기를 해당 실에 공급하고, 스마트팬(욕실 겸용 환기배기팬)을 이용하여 해당 실을 개별 및 집중배기가 가능하도록 구성한 연동제어 환기방식이다.

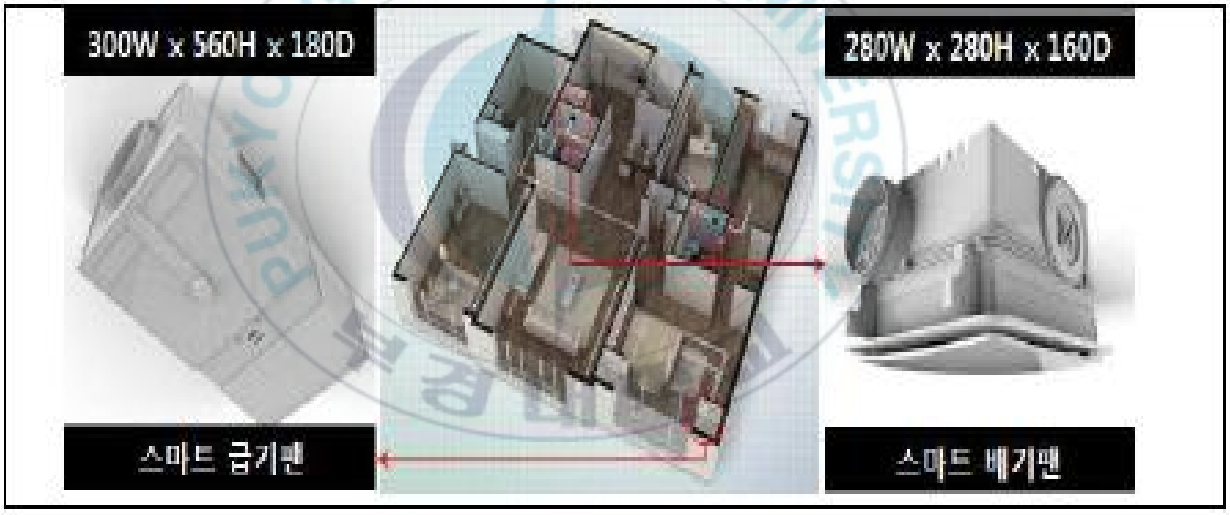


Fig. 2.2 Floor fill type ventilation system

2) 바닥스마트 급기

바닥열을 이용한 급기시스템은 바닥 모르타르층 하부에 급기관로를 설치함으로써 바닥열을 이용해 외부공기를 실내공기와 유사한 온도로 변환하여 공급하는 시스템이다. 열교환 소자나 히터 등별도의 온도변환

매개체가 필요 없다는 점이 기존열교환방식과는 전혀 다른 점이다.

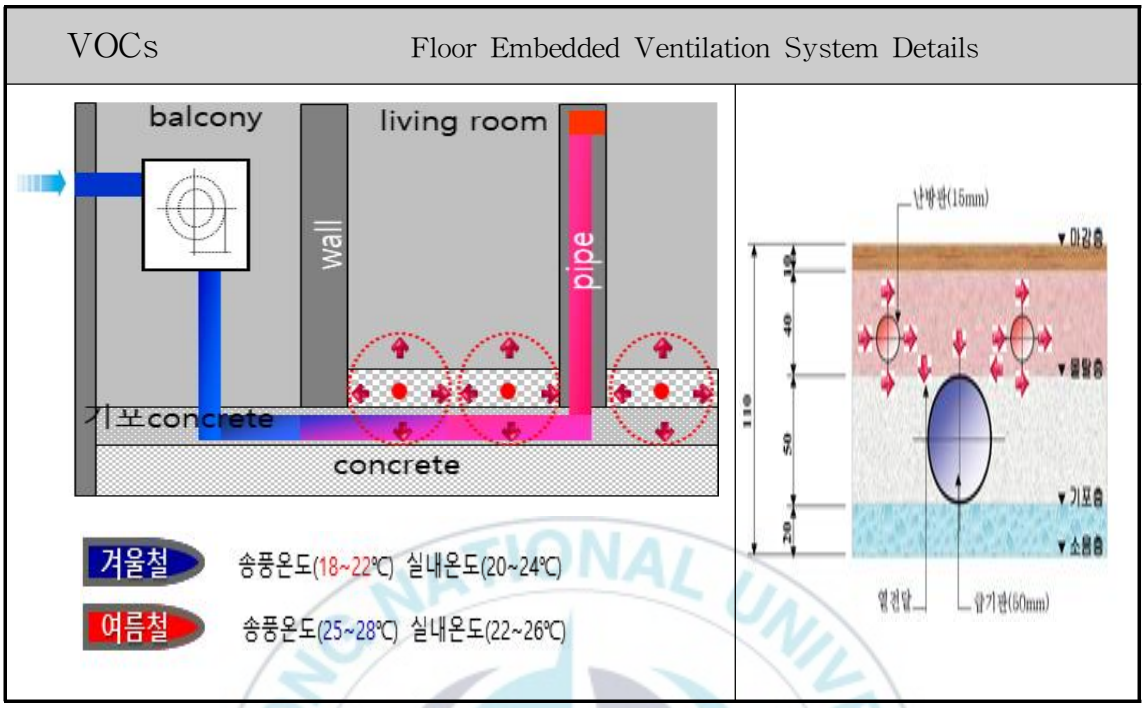


Fig. 2.3 Floor embedded ventilation system details

3) 바닥 스마트 배기

하나의 배기팬으로 욕실배기는 물론 해당 실과 드레스룸까지 개별 및 집중배기가 가능하도록 구성한 멀티다기능 욕실 겸용 환기배기팬이다. 전자석의 기능을 댐퍼에 응용하여 자동댐퍼기능을 수행할 수 있도록 하였으며, 급기시스템과 연동되는 급배기 환기방식은 물론 배기만 단독으로 운전이 가능하여 드레스룸이나 신발장과 같은 환기 취약구역을 집중배기할 수 있도록 설계되었다.

2.2.2 주방후드연동 환기시스템

미세먼지는 지속적으로 노출될 경우 건강에 악영향이 나타날 수 있다. 미세먼지(PM10)는 크기가 10 ㎛(마이크로미터) 이하의 작은 먼지

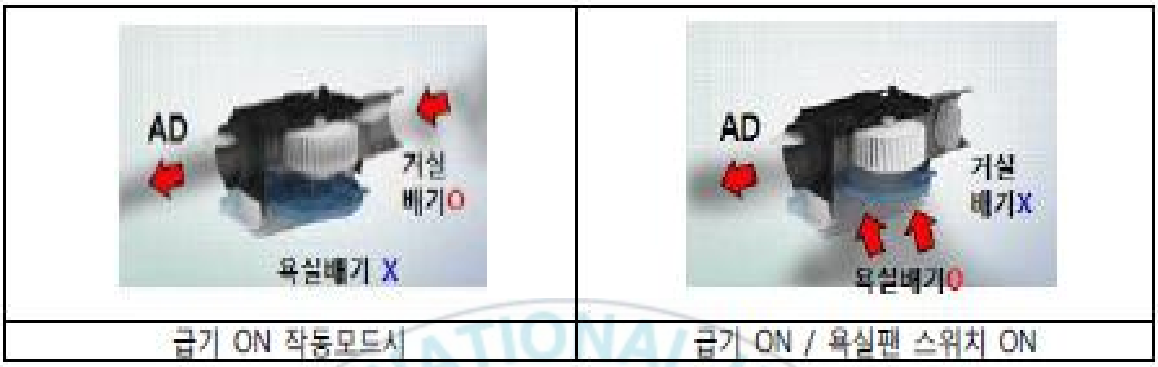


Fig. 2.4 Floor embedded ventilation system details

입자들로 폐와 혈중으로 유입될 수 있어 건강에 큰 위협이 될 수 있으며, 특히 지름 2.5 ㎛ 이하의 초미세먼지 (PM2.5)는 기도 깊숙한 폐세포까지 직접 침투하여 심장질환과 호흡기 질병에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

이미 세계보건기구(WHO)는 미세먼지를 1급 발암물질로 지정하였다. 실내 미세먼지의 발생원을 살펴보면 실내 자체발생 원인에 의한 경우와 외부공기의 실내 유입에 따른 경우로 나눌 수 있는데 실내에서 발생되는 주된 원인은 인간의 활동, 주방조리, 난방기구의 연소,실내 흡연, 실내에 쌓여 있는 먼지의 비산 등이 있다. 2013년 환경부 국립환경과학원의 미세먼지 발생 연구결과에 따르면 조리시에는 미세먼지가 평소보다 최대 10배 이상 발생되는 것으로 나타났으며 생선굽기,

기름끓이기, 육류굽기, 육류튀기기, 육류삶기 등의 순으로 미세먼지 농도가 높게 나타나는 것으로 알려졌다. 여성 폐암 환자의 10명중 9명이 비흡연자인데 폐암의 원인이 바로 주방 안에 있었다는 것이다.

이에 스마트 환기시스템은 조리시는 급기팬만 가동시켜 후드배기성능을 높여주고, 조리후에는 30분간 지연환기를 운전하여 잔존미세먼지를 제거 하는 주방후드연동 제어시스템을 구축할 수 있다.

2.2.3 필요환경에 따라 급·배기 개별제어

실내공기의 주오염원이 인체에서 건축자재로 변화되면서 이산화탄소에서 포름알데히드 및 TVOC등으로 바뀌었으며, 최근에는 실내환기량 설정을 위해 미생물이나 미세먼지 등을 오염물질 지표로 산정대상이 변화 되고 있다.

기존의 세대환기설비가 새집증후군 저감에 초점을 맞춰 왔다면 앞으로는 미세먼지나 국소오염물질을 신속하게 제거하기 위한 급기, 배기, 급배기가 필요환경에 따라 독립적으로 운전되어 최적의 환기성능을 발휘 할 수 있어야 할 것이다.

2.2.4 공사 계획 및 시공순서

1) 공사계획순서 및 계통도

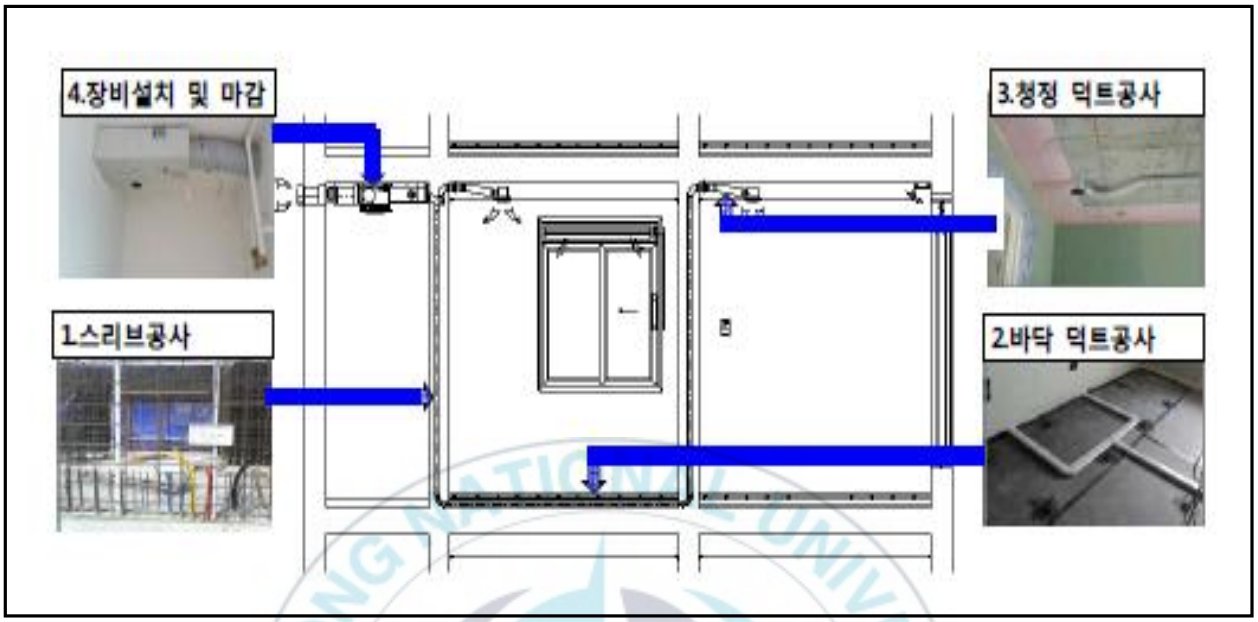


Fig. 2.5 Construction System diagram

Fig.2.5는 실제 시공시 바닥 환기설비의 시공순서를 나타낸 것이다.

2) 공정별 시공 및 점검 순서

Fig. 2.6 Process of construction and inspection by process

2.2.5 바닥 환기 덕트공사의 특징

1)우수한 공간 활용성

공동주택의 특성상 공간적인 측면에서 제한 범위가 크고, 11층 이상의 공동주택에는 전층 스프링클러 설비 설치가 의무화 되면서 환기설비에 할당할 수 있는 공간은 더욱 부족하게 되었다.

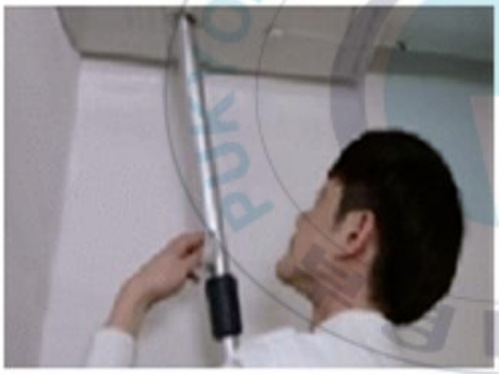
스마트 환기시스템은 별도의 배기장비를 설치할 설치공간이 요구되지 않으며, 급기장비는 발코니(장비실) 폭이 700 mm 이상이면 설치가 가능하도록 콤팩트하다. 뿐만 아니라 기계환기설비의 설치가 의무화된 오피스텔의 경우 장비설치 공간이 전혀 확보되지 않는 평면 구조에서도 천장공간(200mm)이 확보되면 설치가 가능하다. 또한 해당 실 디퓨저 설치를 위한 천장 최소설치유효공간도 80 mm로 타 공종과의 간섭회피가 용이한 장점이 있다.

Fig. 2.7 Equipment installation

Fig.2.7은 바닥 환기 장비의 최소 설치 공간과 설치 설치방법을 나타내고 있다.

2) 편리한 유지관리- 수납식 필터교체 및 자가 청소

필터교체방법은 Fig. 2.9와 같이 수납식으로 제작되어 사용자가 손쉽게 교체할 수 있으므로 출장비 등이 들지 않으며, 열교환소자와 같은 별도의 온도변환 매개체가 필요 없어 주기적으로 필요한 청소 및 교체 비용이 들지 않는다. 또한 장비 본체에는 청소점검구가 있어 가정용 청소기를 통해 자가 청소가 가능한 구조이다.



self- cleaning

replace restrictive filter

Fig. 2.8 Self- cleaning & replace restrictive filter

6.2.7 시공 사례 및 개선 사항

1)입상덕트(Case studies and improvements)

	하자사례	개 선
유형1		
	▶ 입상 배관 상하부 엘보 묻힘	▶ 엘보지지대 보강으로 엘보 이탈 방지 나사 조절형 엘보 구조로 벽체 두께에 따른 길이 조절가능
사용자재		
	90°Long Elbow(원형) 보양 테이프	조절소켓 90°롱조절엘보조절소켓+90°롱조절엘보 엘보지지대 엘보마개
	입상파이프 상부고정	입상파이프 상부고정
	이형 Elbow(원형-타원형) 보양 테이프	이형 Elbow(원형-타원형) 엘보마개
	입상파이프 하부고정	입상파이프 하부고정
	▶ 바닥스라브 두께에 따른 하부 엘보 높이 변화 ▶ 입상 엘보 고정 불량으로 틀어짐	▶ 상부 엘보지지대를 사용 밀착 시공 ▶ 차음재 높이에 따른 하부 지지대 설치

Fig 2.9 Case defect study of duct construcioon & improvements

2) 바닥덕트(Case studies and improvements)

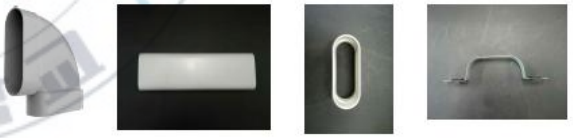
<table>
<tr><th></th><th>하자사례</th><th>개 선</th></tr>
<tr><td rowspan="11">유
형
2</td><td>
 </td><td> </td></tr>
<tr><td>▶ 50mm원형 배관시공으로 차음재 절단 (2010년 이후 타원형으로 변경 시공)
▶ 타원형 시공시 가스총 고정으로 인한 차음재 파손</td><td>▶ 90*35mm 오발시공으로 차음재 간섭없음
▶ 에어타카 고정으로 차음재 파손 개선</td></tr>
<tr><td rowspan="11">사
용
자
재</td><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>90°롱엘보 파이프 커플링 반새들</td><td>90°엘보 파이프 커플링 오발새들</td></tr>
<tr><td>바닥 원형배관(50mm) 시공</td><td>바닥 오발덕트(90*35mm) 시공</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>가스타정총 가스핀</td><td>에어타카 콤푸레샤 에어호스 타카핀</td></tr>
<tr><td>바닥 배관 고정</td><td>바닥 배관 고정</td></tr>
<tr><td>▶ 가스총의 충격으로 고정부위 하부 차음재가 파손되어 우레탄폼으로 파손부위 충진 작업 필요</td><td>▶ 차음재 파손없이 새들을 고정함</td></tr>
</table>

Fig 2.10 Construction methods for embedded floor heating system

2.3 실험방법

2.3.1 실내 오염물 저감량 측정-1

실내 오염물질의 저감량을 정확히 분석하기 위해 정상적인 환기조건이 아닌 강제적으로 오염물질을 대량 방출시키기 위해 bake out을 실시 하여 case별로 저감량과 에너지 비용을 측정하였다

실험장소는 준공을 앞둔 부산 광안리의 신축현장을 선정하여 그중 샘플세대 4세대를 선정하였다.

시험 실시기간은 2017년 09. 14일부터 10.18일간 측정하였다.

각 세대별 실험을 하기 전에 최초의 오염물질을 측정하였고 이후 실험조건을 달리하여 가스보일러를 3일간 가동하여 실내 오염 물질을 대량 방출시킨후 이틀후에서부터 각 각 3일간 환기방식을 달리하여 3회에 걸쳐서 저감량을 분석하고 이때 사용된 에너지량을 분석하였다.

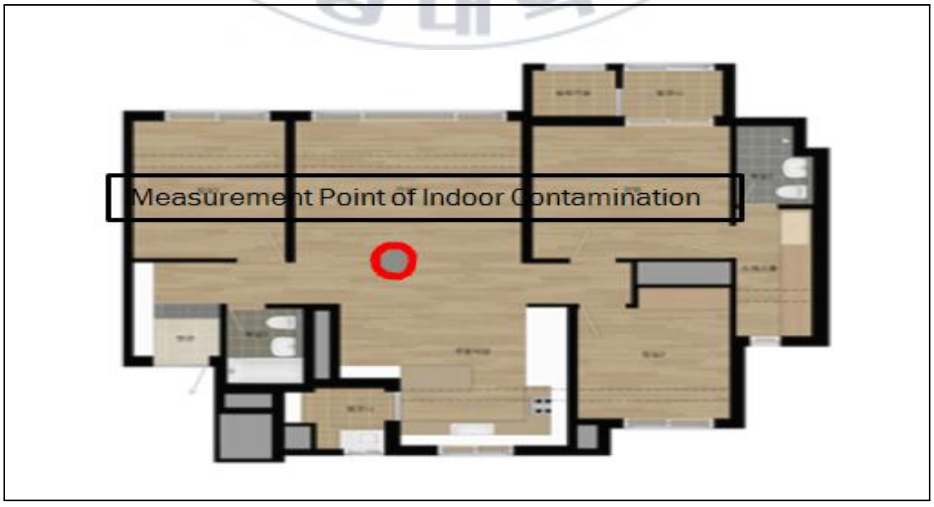


Fig. 2.11 Measurement point of indoor contamination

Measuring point	Experimental schedule
CASE-1 (APT 101-1501)	Interior seal + boiler 3 day running (8 H) + 2 days after Measurement of Indoor Contamination
CASE-2 (APT 101-1503)	Operate on boiler 3 days (8 H) + 2 days after + 3 day Floor ventilator operation (6 H) after + Measurement of Indoor Contamination
CASE-3 (APT 102-302)	Operate on boiler 3 days (8 H) + 2 days + after + 3 days Natural ventilation (6 H) after + Measurement of Indoor Contamination
CASE-4 (APT 102-3003)	Operation of boiler and floor ventilators 3 days (8 H) + 2 days after+ 3 days Natural ventilation (6 H) + Measurement of Indoor Contamination

Table 2.4 Experimental schedule

실험방법은 4가지 case 별로 실시 하였다.

case-1은 101동 1501호를 선정하여 실내 오염물질을 최초 측정 후 실내를 밀폐 시킨 다음 보일러를 3일 8시간동안 가열하고 2일이 지난 후 실내오염 물질의 자연 변화량을 측정 하였다.

case-2은 101동 1503호 세대를 선정하여 최초 측정후 보일러를 3 일 8시간동안 가동하여 실내 오염물질의 발생량을 최대화 시킨 상태에서 2 일이 지난 후 바닥환기팬을 3일 동안 가동시켜 바닥환기팬을 통한 오염물질의 저감량을 분석하였다.

case-3은 102동 302호세대를 선정하여 최초 측정후 보일러를 3 일 8시간동안 가동하여 실내 오염물질의 발생량을 최대화 시킨 상태에서

2일이 지난후 거실과 부엌창을 1M이상 3일간 개방하여 자연환기를 통한 오염물질의 저감량을 분석하였다.

특히 case-2와 case-3의 경우는 실제 거주시 가장많이 사용되는 환기방식으로서 따로 이에 대한 저감량 분석과 여기에 사용되는 에너지 (전기+가스량) 비용을 분석하였다.

case-4에서는 102동 3003호세대를 선정하여 보일러와 바닥환기팬을 동시에 3일간 가동(8H)시킨후 2일이 경과후 자연환기를 3일간 실시하면서 오염물질 저감량을 측정하였다 . case-4 의 경우 실제 오염물질을 최대한 발생시킨후 자연환기와 기계환기를 동시시킬 경우의 오염량 저감율의 기준치 대비 얼마만큼 저하하는지 확인하기 위하여 실시하였다.

Measurement of indoor pollutants

Measurement of indoor air volume

Fig. 2.12 Measurement of indoor pollutants & measurement of indoor air volume

Measurement of Indoor Air Pollutants after Bake Out-1	Measurement of Indoor Air Pollutants after Bake Out-2

Fig2.13 Measurement of Indoor Air Pollutants after Bake Out

2.3.2 실내 오염물 저감량 측정-2

실험-2에서는 실제 바닥환기설비를 가동하여 외기급기가 바닥축열과 열교환이 되는 지를 실험하였다.

실험장소는 역시 같은 신축 공동주택 현장의 세대를 실험장소로 잡았다. 간절기 임을 감안하여 보다 정확한 data를 내기 위해 외기온도가 떨어지는 야간에 진행하였다.

열전대 온도센서를 이용하여 총5군데의 온도센서를 달아서 온도를 측정하였다. 아직 입주전의 새아파트로써 매립된 duct 내부를 측정하지는 못하고 환기덕트위 필연적으로 열교환이 이루어진다면 온도차가 발생할 것으로 예상하여 환기 duct위 에 온도센서 부착하였고 각각

외기와 디퓨져 급기 및 실내에 온도센서를 부착하여 실시간 온도 변화를 측정하였다. 온도 측정 장비로서 Yokogawa mv200장비를 사용하였다.

실험실시기간은 2017년 11월 15일 18:30 ~ 21:30(3h) 실시하였다.

Measuring point	Location	Measurement Temperature
Measuring point-1	Outside grille	Outside Temperature
Measuring point-2	supply air diffuser	Supply air Temperature
Measuring point-3	The bottom of the floor	Floor Temperature
Measuring point-4	Floor on the supply duct	Floor temperature on the supply duct measurement
Measuring point-5	In Door	Room temperature measurement

Table 2.5 Temperature measurement location

Measuring equipment	Measuring point-2	Measuring point-3	Measuring point-4	Measuring point-5

Fig.2.14 Sight of measuremeant point

2.4 측정장비

Measuring equipment picture	Equipment name	Purpose of use
	Yokogawa (MV-2000)	Data collection
	Wind gauge	Wind volume measure
	T-type thermocouple	Temperature measure
	carbotrap 300	Indoor pollutant measuring device

Table 2.6 Measuring equipment

2.5 실험결과

2.5.1 측정 자료

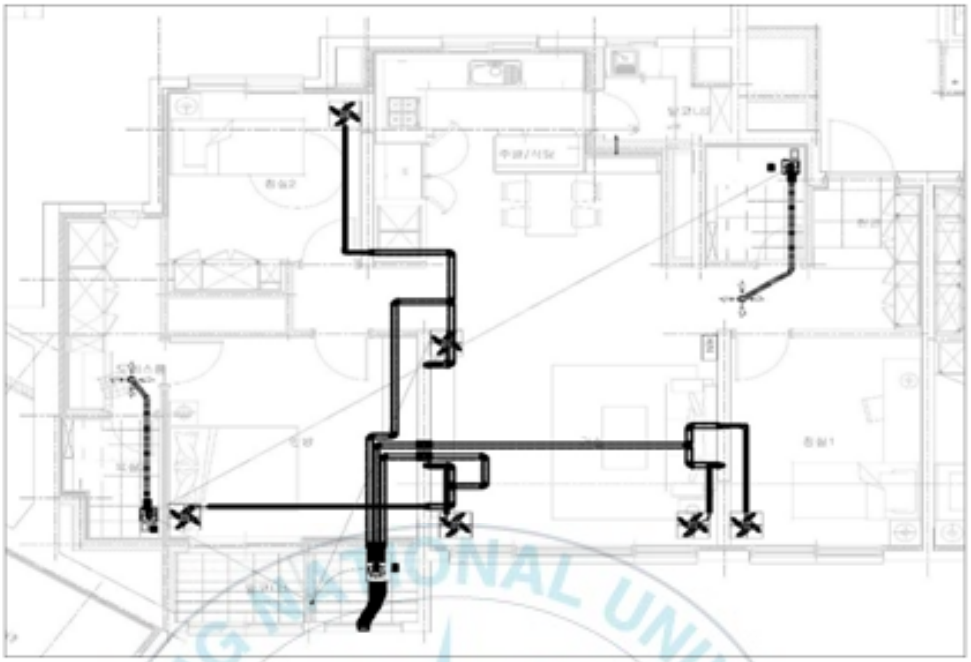
1) 환기량 측정

실내 오염물질을 측정하기에 앞서 CASE 별 각세대의 기초 환기량을 측정한결과 Fig. 2.15에서와 같이 모두 설계 환기량 0.7회/h에 거의 근접하는 환기량을 보이고 있어 실제 측정량의 오차범위를 줄일수 있을 것으로 판단된다. Fig. 2.16은 실험대상세대의 환기duct system을 나타내고 있다.

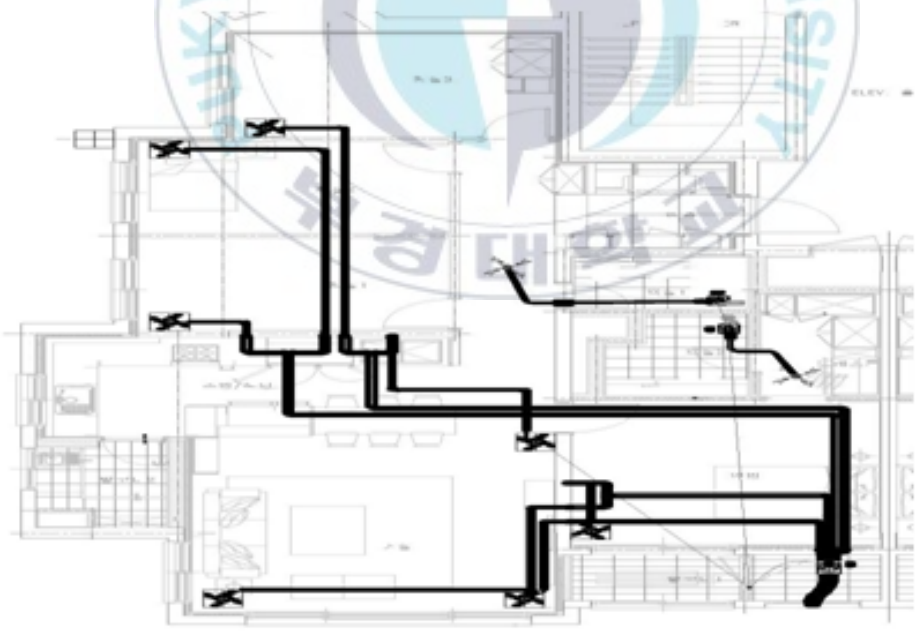
AREA(㎡)	HEIGHT(m)	VOLUME(㎥)	AIR VOLUME(m³/h)
101	2.3	233.3	164

LINE	ROOM	VOLUME(㎥/h)	number of times Of ventilation
Line 1	LIVING ROOM-1	27.3/26/28.3/27.1	0.69 /0.69/0.70/0.694
	ROOM-1	25.6/26.1/27.1/26	
Line 2	LIVING ROOM-2	27.6/27.5/27.4/27.2	
	BEDROOM-1	27.9/28.3/28.2/28.8	
Line 3	LIVING ROOM-3	27.5/28.2/27.2/27.8	
	BEDROOM-2	25.6/26.1/25.4/25.1	
합계		161.5/162.2/163.6/162	

Fig.2.15 Number of sample house ventilation



The Ventilation system - A TYPE



The Ventilation system - B TYPE

Fig 2.16 The Ventilation system

2.5.2 실내오염물질 저감량

각 각 case별로 실내 오염물질 저감량을 분석한 결과는 다음과 같다

1) 최초 측정자료

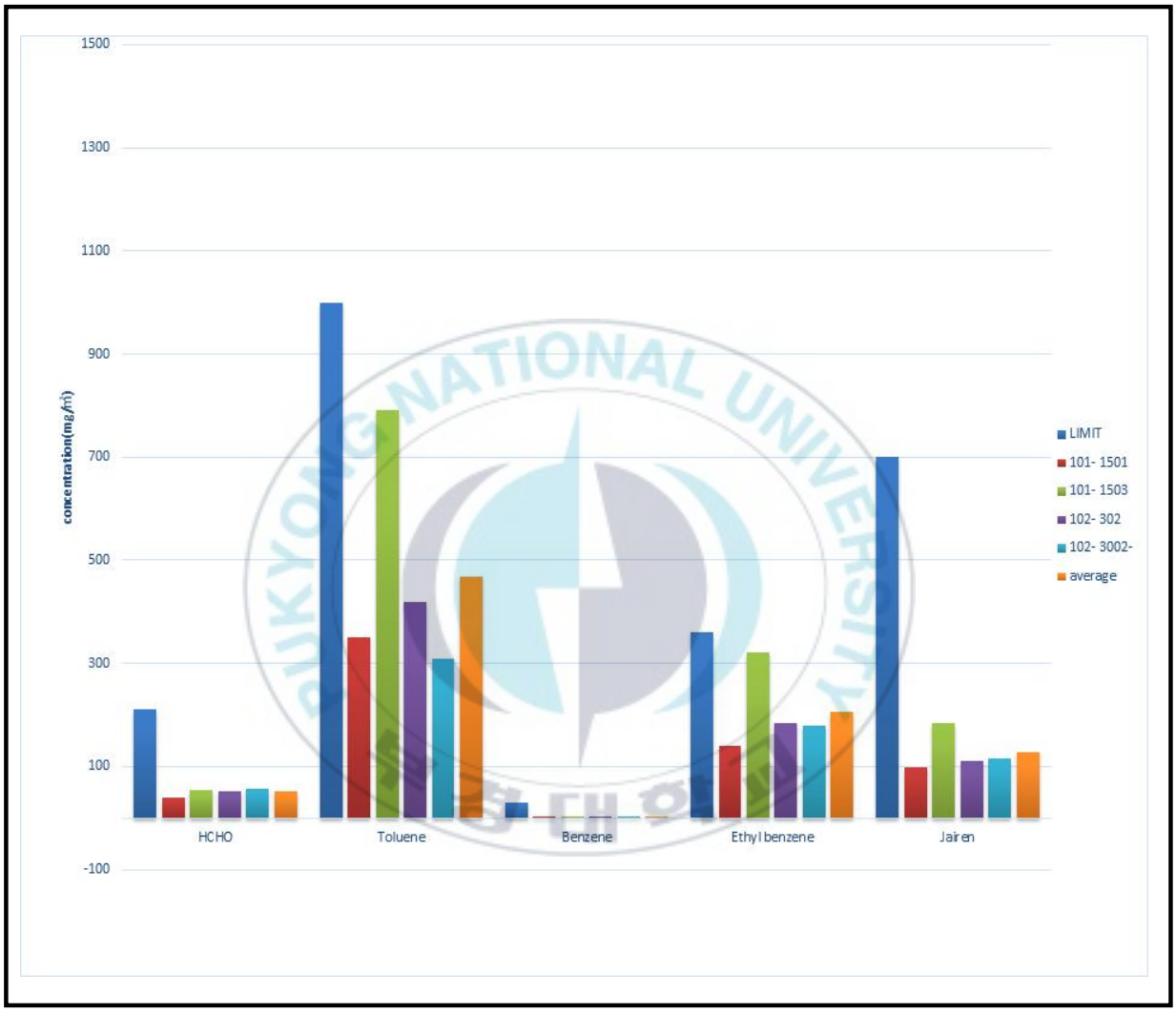


Fig 2.17 Initial measurement data

실험을 실시하기전 샘플 세대에 대한 최초 오염물질을 측정하였다.

각 샘플 세대의 오염물질을 측정한 결과 법적인 6가지 오염물질에 대한 농도는 모두 기준치 아래로 측정되었다. 다만 샘플세대의 방향 및 온도에 따라 모두 다른 오염물질이 측정되었다. 측정시 가장 온도가 높았던 101동 1503호

세대의 경우 측정시 온도가 타 샘플세대 보다 높았던 26.8℃로서 가장 많은 오염물질을 방출하였다 . 이는 오염물질을 방출방법으로 실내온도를 높이는 방법이 가장 좋은 방법이며, bake- out 의 실험을 검증 할수 있는 좋은 data 임이 확인되었다.

2) case-1 (101동 1501호)-밀폐후 가열한 후 측정

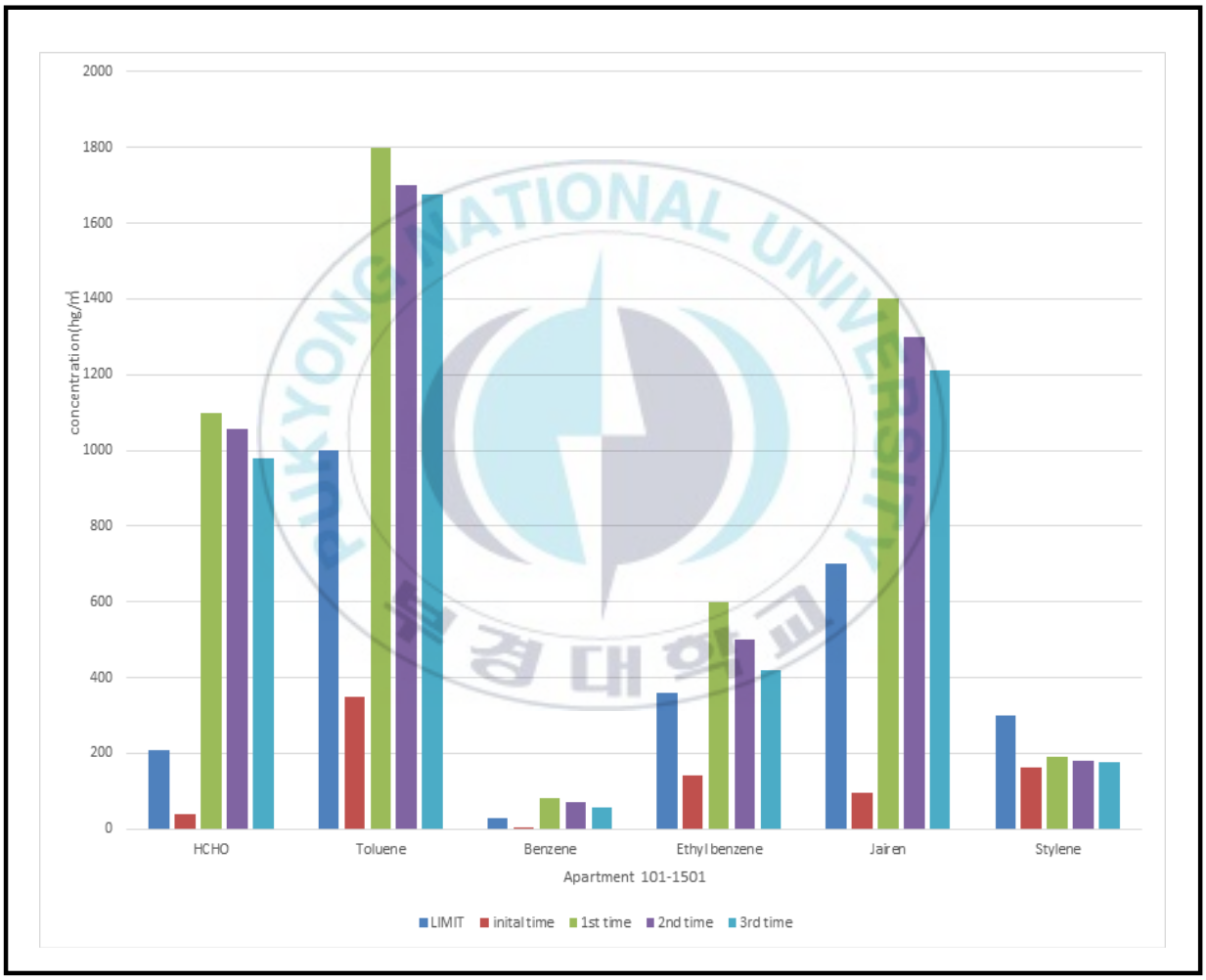


Fig 2.18 101-1501 Pollutant measurement data

case-1에서는 밀폐한후 bake out을 실시한 경우로서 최초 측정시에는 기본치보다 아래였으나 온도를 높이면서 6가지 법정오염물질이 많게는

5배 이상시 상승하였다. 그러나 벤젠과 스틸렌의 경우는 폼 알데히드와 톨루엔에 비해서는 적은 양이 방출되었다

2) case - 2(101동 1503호) -바닥환기 실시후 측정

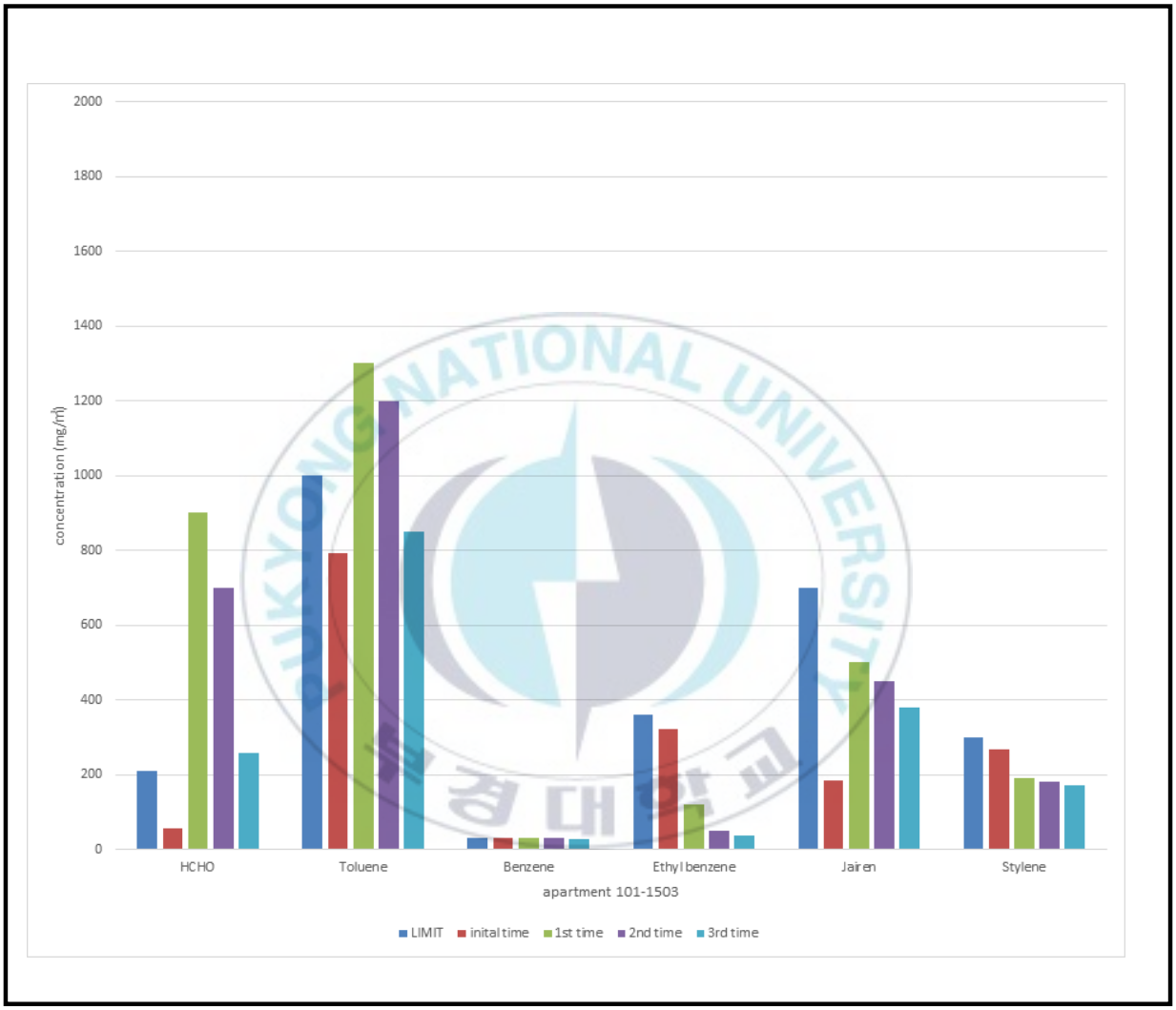


Fig 2.19 101-1503 Pollutant measurement data

case-2에서는 보일러를 가동한후 이틀이 지난다음 바닥환기설비를 작동한 상태로서 최초 측정시에서는 밀폐시와 유사한 오염물질 발생량을 보였으나 환기팬을 가동한 2일차부터 상당한 량의 물질 감소치를

보였으며 3일차 측정시에는 기준치에 근접하는 물질저감량을 보였다. 그러나 포름알데히드의 경우는 기준치를 넘지는 못하였다.

3) case-3(102동 302호)-환기창을 통한 자연 환기실시 후 측정

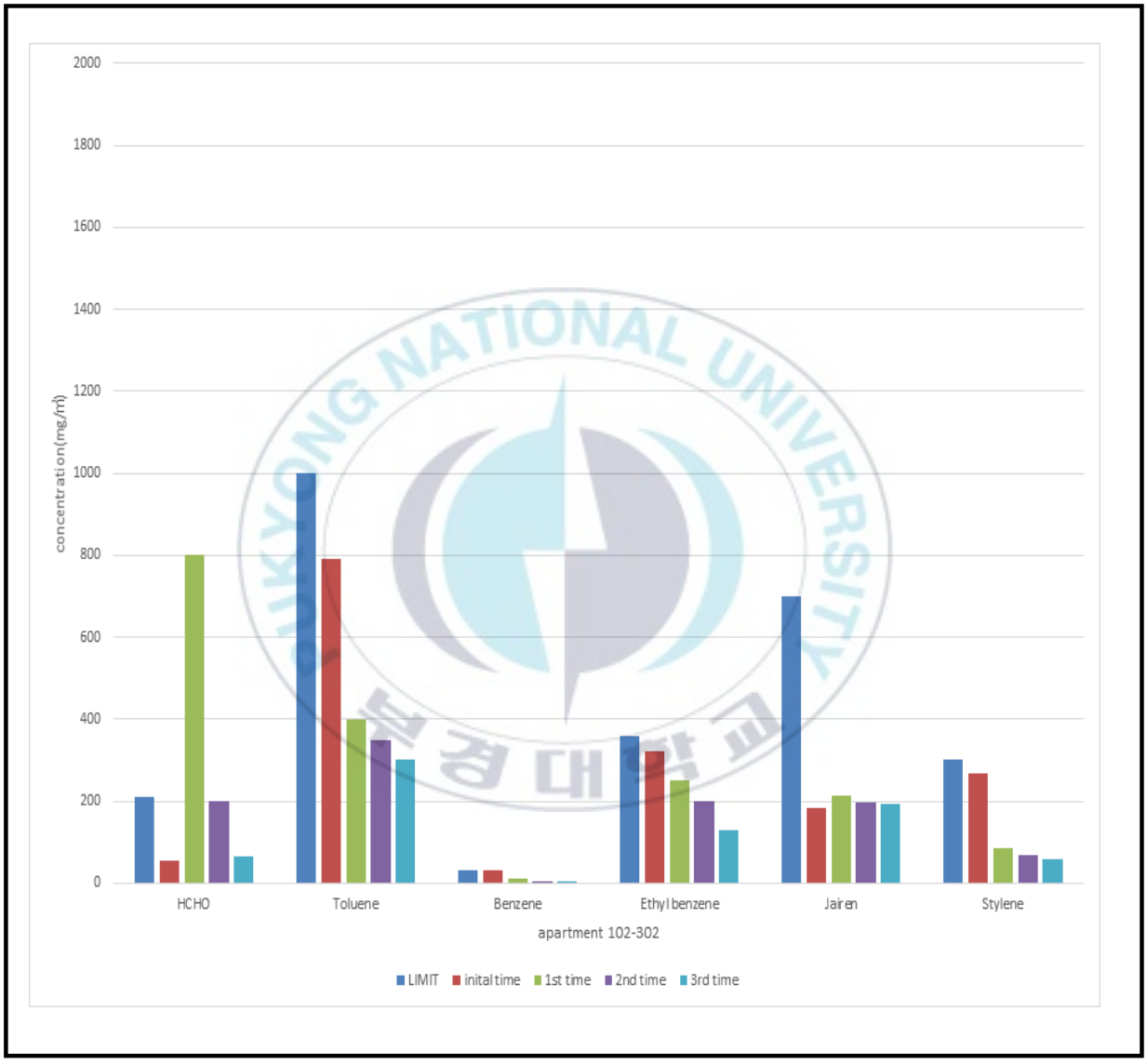


Fig 2.20 102-302 Pollutant measurement data

case-3은 bake out 후 환기창을 열고 자연환기를 실시한 세대로서 2차 측정부터 상당한 감소량을 보였다. 특히 포름알데히드는 상당한

저감량을 보였는데 포름알데히드를 저감시킬수 있는 가장 좋은 방법은 환기임이 증명되었다.

4) case -4 (101동 303호) -바닥환기+ 자연환기한후 측정

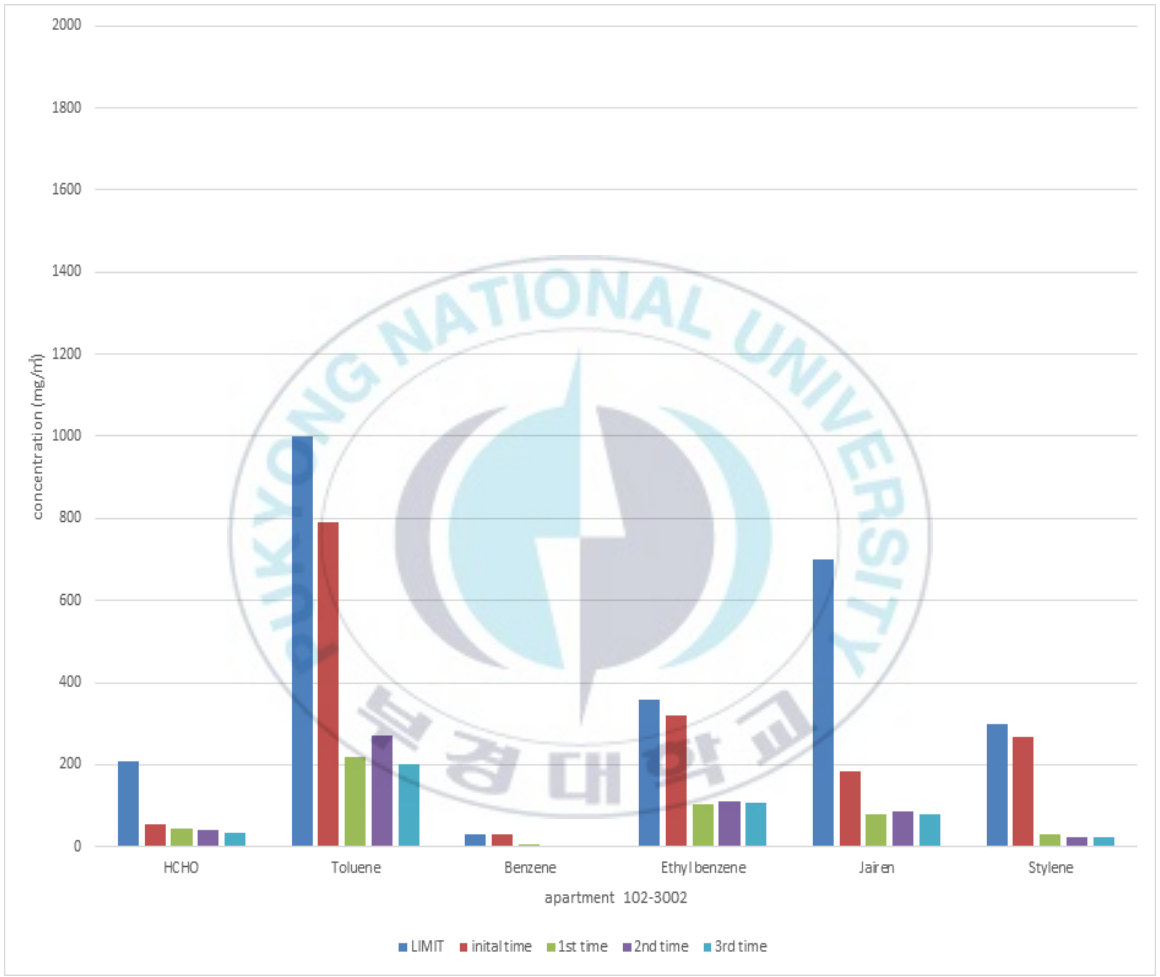


Fig 2.21 102-3003 Pollutant measurement data

case-4에서는 bake out 후 바닥환기+자연환기를 실시한 세대로 예상했던대로 상당한 감소량을 보였으며 특히 모든 오염물질이 기준치보다 50%이상의 감소량을 보였으며 준공후 입주전 실내오염물질 제거를

위해서는 반드시 bake out통한 자연환기와 바닥환기를 해주면 쾌적한 거주공간을 조성할수 있을 것 같다.

이를 4가지 case별 오염물질 저감량을 분석해보면 다음과 같은 결론을 알수 있다 . 가장 많은 오염물질 저감량을 보인 것은 자연환기와 바닥환기를 사용하여 실험한 case이지만 바닥 환기에의한 기계환기 방식도 자연환기 못지않은 저감량을 보였다는 것이다.

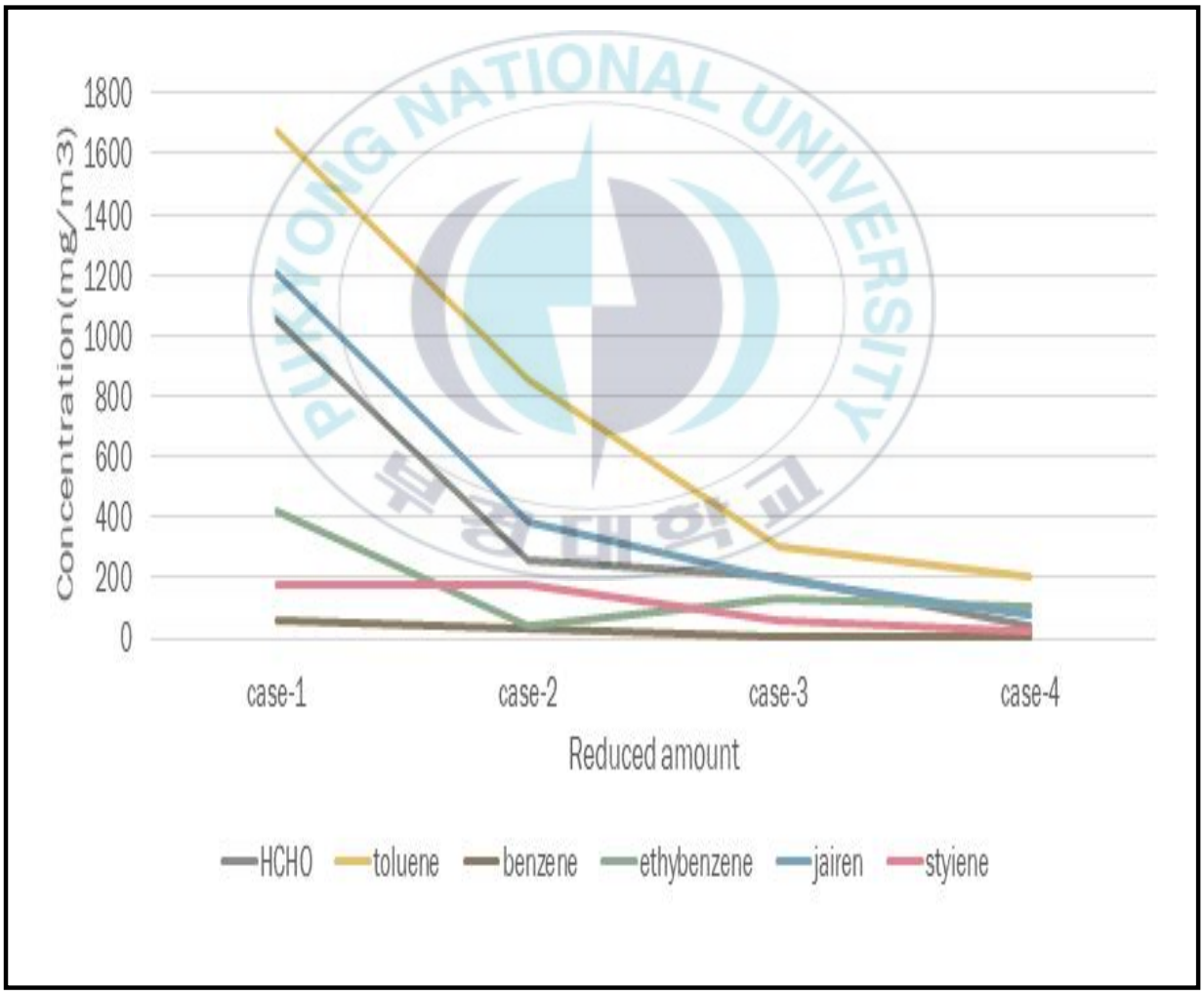


Fig. 2.22 Pollutant reduced amount data

	case-1	case-2	case-3	case-4
HCHO		75.6% reducing	81% reducing	96% reducing
stylene		49.3% reducing	64.7% reducing	88% reducing
benzene		50.6% reducing	86.5% reducing	94.2% reducing
ethyl benzene		91.2% reducing	67% reducing	16.6% reducing
jairen		68.62% reducing	48.8% reducing	93.4% reducing
stylene		3.4% reducing	66.9% reducing	85.9% reducing

Table 2.7 Pollutant reducing data

여기서 가장 많이 사용하는 환기방식의 바닥환기방식(case-2)과 자연환기 방식(case-3)을 비교 검토해 보았다.

바닥환기방식과 자연환기방식의 저감량을 비교해 보면 Fig. 2.23과 같다.

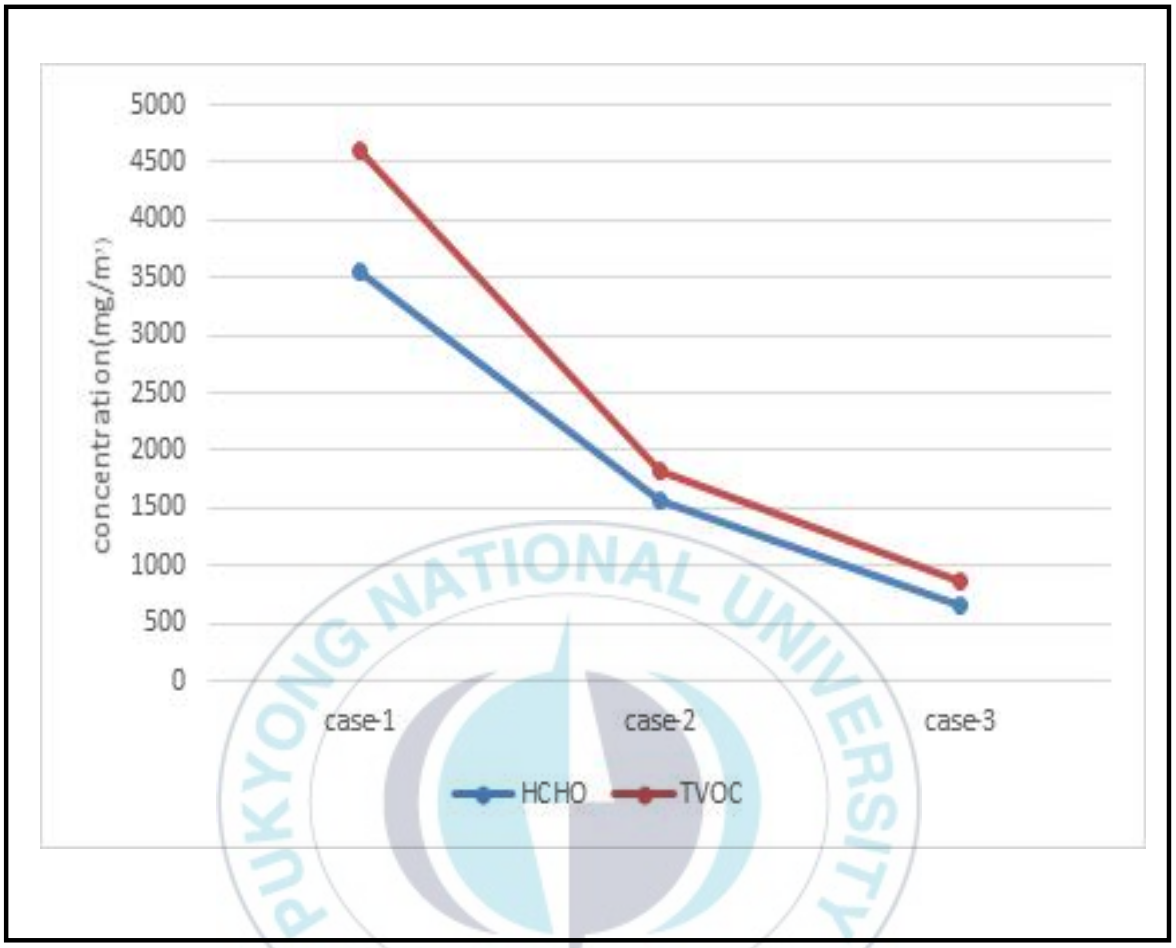


Fig. 2.23 Pollutant reduced data between case-2 and case-3

	case-2 (101-1503)	case-3 (102-302)	difference
HCHO	75.6%	81%	5.4 %
TVOC	55.9%	64.7%	8.8 %

Table 2.8 Pollutant reducing data between case-2 and case-3

case-2(바닥환기)와 case-3(자연환기)를 비교해보면 HCHO(포름알데히드)는 5.4%높고 , TVOC(총 휘발성 유기 화합물)의 제거량은 8.8% 높았다. 하지만 case-2도 HCHO의 경우 기준치(210mg/㎥)에 근접하는 257mg/㎥을 나타내었고 TVOC의 경우 case-2, case-3 모두 기준치 아래로 측정되었다.

상기와 같은 데이터를 분석하면 비록 실험 여건이 제한적이긴 하지만 바닥환기방식도 자연환기에 못지 않은 환기 효과를 확인할수 있었다. 따라서 바닥환기방식의 운영시간과 계절적요인을 감안하여 작동시킨다면 충분한 실내 오염물질의 저감효과를 나타낼수 있을 것으로 판단된다.

이때 각 case별 실험에 사용된 에너지(전기량+가스사용량)을 비교해 보았다.

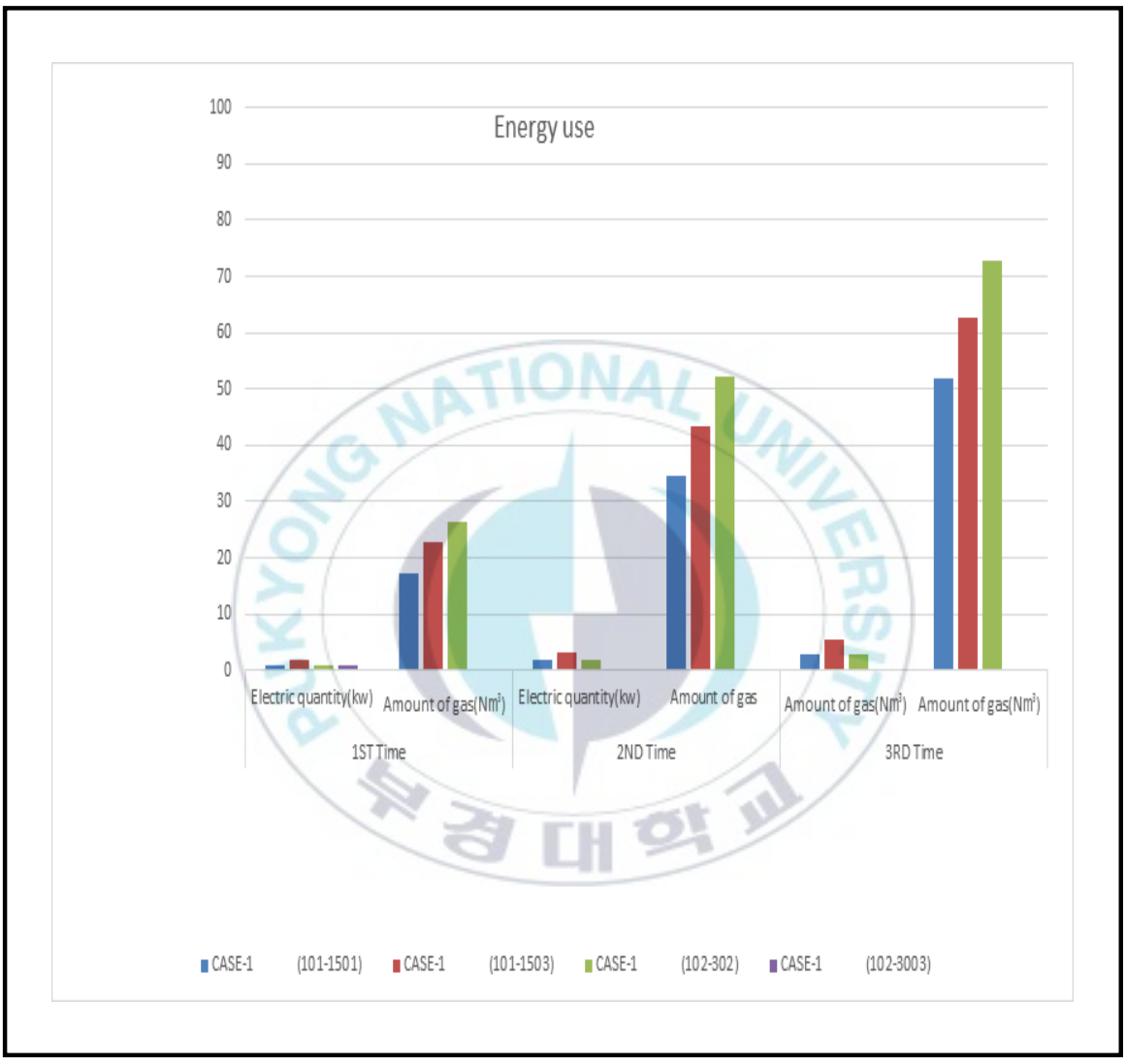


Fig 2.24 Energy Used data

각 case 별 사용된 에너지에 전기단가와 가스비용을 산정하여 Fig. 2.23 와 같이 비교 검토 하였다.

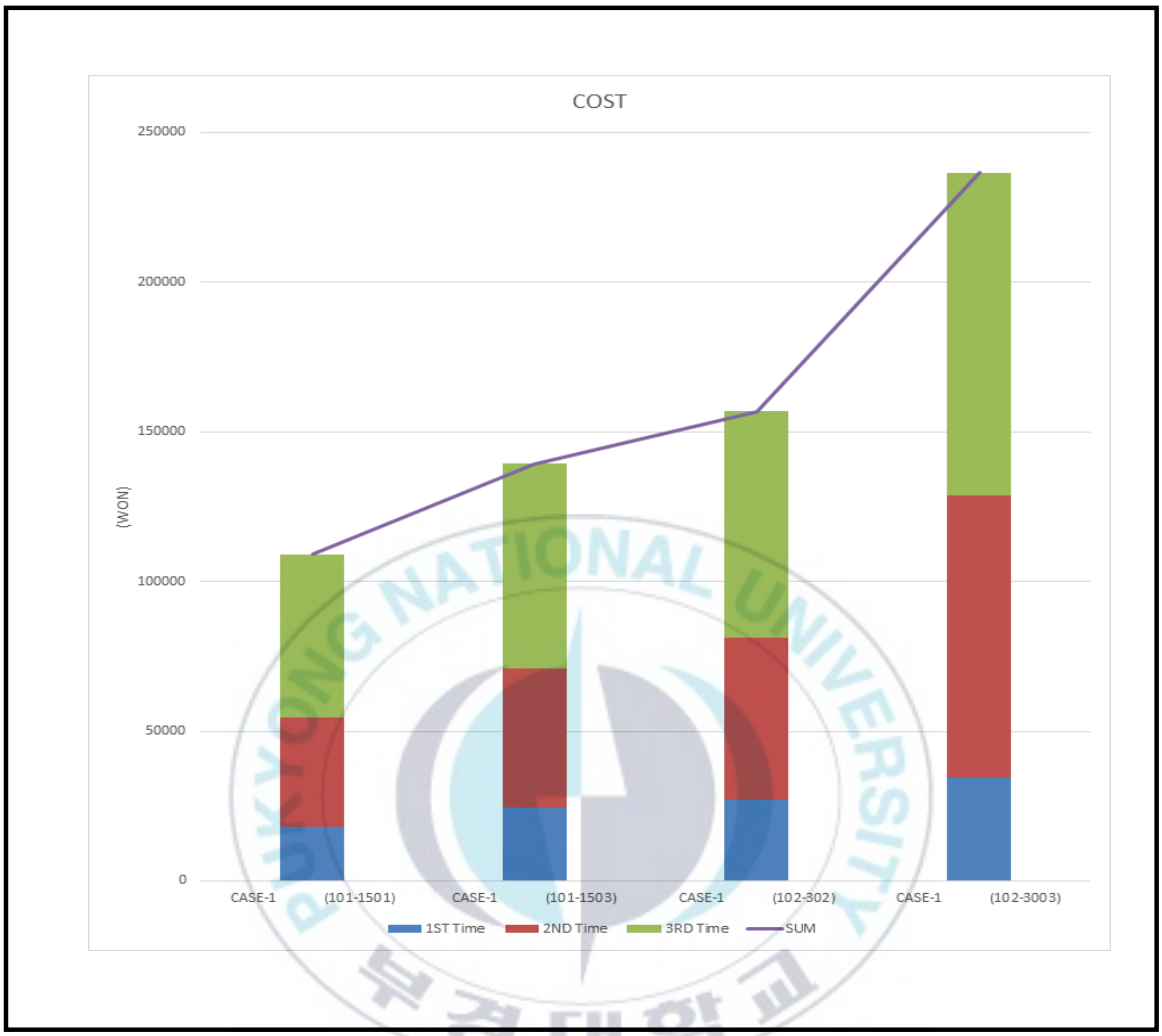


Fig 2.25 Energy Cost Data

상기 Fig. 2.23와 같이 각 case별 사용 비용을 분석한 결과 case-4, case-3, case-2, case-1 순으로 사용비용이 지불되었다. 이때 자연환기(case-3)와 바닥환기(case-2)와의 실제 시험비용을 분석한 결과 바닥환기시 사용된 비용은 139,000원이, 자연환기시 사용된 비용은 156,000원으로 여러 가지 변수 요인이 있지만 실험에 사용된 에너지 비용을 분

석한 결과 바닥환기가 꼭 자연환기에 비하여 비경제적인 부분은 아닌 것으로 판단되며 특히 정상적인 실내환기시 간헐적 기계환기 방식을 작동시켰을 경우 오히려 자연환기에 의한 손실비용보다 많지 않을 것으로 판단된다.

이는 실제 생활에서 실내환기를 위해서 많이 사용하는 자연환기방식이 겨울철이나 여름철 외기부하에 의한 에너지 손실이 많다는 것이 확인되었으며 상식적으로 생각하기 쉬운 기계환기팬을 사용하게 되면 전기료가 많이 든다는 것은 간절기 환기의 경우 적용될수 있고 겨울철이나 여름철에는 환기를 위해서는 기계환기 방식을 권장해야 할 것으로 판단 된다.

이는 공동주택에만 적용되는 것이 아니라 다중 이용 건축물에서도 다양한 방식의 기계환기방식을 적용하는 관리기법이 접목된다면 상당한 에너지 절감이 될 것으로 판단된다.

2.5.3 바닥환기온도 측정

실험-2에서 실제 바닥축열을 이용하여 바닥환기설비가 별도 열교환소자 없이 열교환이 가능한지를 실험해 보았다.

이에 대한 결과를 아래와 같다.

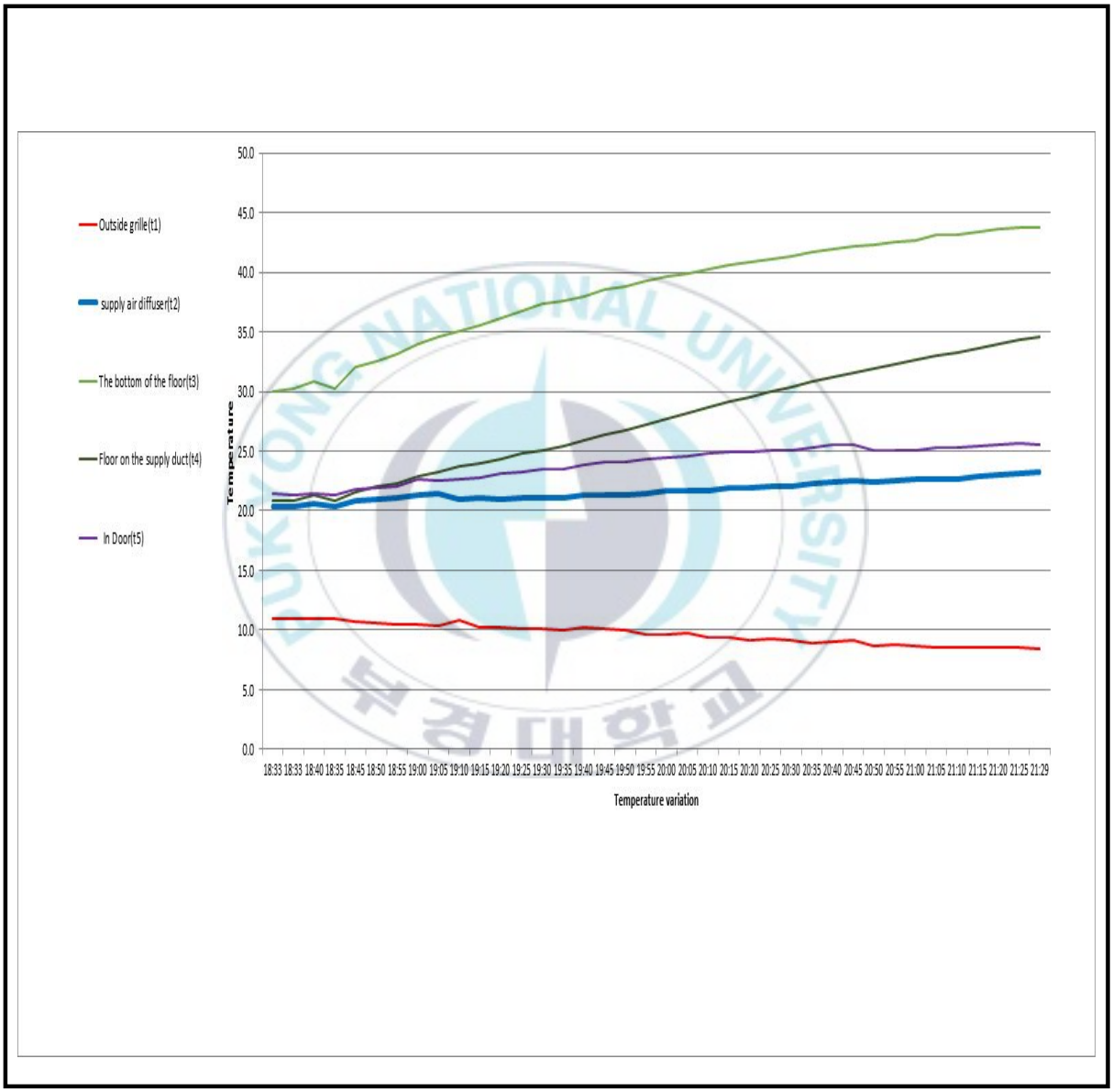


Fig. 2.26 Temperature Variation

Measuring point	Measurement Temperature	first.(℃)	final(℃)	dif.(℃)
Measuring point-1	Outside Temperature	11	8.4	- 2.6
Measuring point-2	Supply air Temperature	20.3	23.2	+ 2.9
Measuring point-3	Floor Temperature	30	43.7	+ 13.7
Measuring point-4	Floor temperature on the supply duct measurement	20.8	34.6	+ 13.8
Measuring point-5	Room temperature measurement	21.4	27.4	+ 6

Table 2.9 Variation of Floor Thermal Storage Temperature

실제 현장에서 온도측정기를 사용하여 측정점 5군데를 측정하여 열교환이 되는지를 측정한 결과 실험기간동안 외기온도는 11℃에서 8.4℃ 로 2.6℃ 내려갔지만 디퓨져 급기온도는 20.3℃에서 23.2℃로 2.9℃ 상승하여 바닥 축열을 통한 열교환이 이루어 졌음을 확인 하였다.

이때 온도차와의 계산에 의해 바닥 열교환에 사용된 열량 및 환기에 따른 손실열량을 계산한 결과 가각 1,744kcal/h , 340kcal/h로 보일러 발열량 대비 7%의 열교환손실을 보였다.

제 3 장 결 론

본 연구에서는 바닥 매립형 환기 시스템이 적용된 공동주택에서의 실내오염물질 저감효과에 대한 고찰 및 경제성 검토에 대하여 연구하였다.

이에 대한 것을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 실험-1에서와 같이 case 별 4가지로 측정방법을 달리하여 인위적으로 실내오염물질을 대량 발생시켜 실내 오염물질 저감량을 분석하였다. 이중 현실적인 환기방식 case-2(바닥환기)와 case-3의 저감량을 비교한다면

① 폼알데히드의 경우 case-2(바닥환기)은 75.6%, case-3(자연환기) 81%의 감소량을 보였으며 TVOC는 case-2(바닥환기) 55.9% , case - 3(자연환기)은 64.7%의 감소량을 보이면서 바닥환기방식의 오염물질 저감비율이 자연환기 방식에 못지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

② 포름 포름알데히드이 경우 cas-2에서 기준치에 조금 미치지 못한 것 으로 나타났다. 이는 실험 기간이 짧고 단시간에 많은 오염물질을 인위적으로 방출한데서 기인한 것으로 생각되며 일상적인 환기 가동상태에서는 기준치 아래로 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

③ 이때 사용된 에너지 사용량을 비교한 결과

case-2의 전기량과 가스사용량은 각각 5.5kw, 62.64 NM^3

case-3의 전기량과 가스사용량은 각각 2.9kw, 72.89 NM^3으로

이를 금액으로 환산하면 case-2 는 140,000원, case-3은 156,000원의 비용이 사용되었다.

이는 실험세대의 방향, 측정시점의 풍속, 실제 환기시간등 여러 가지 변수 요인이 있다 하더라도 자연환기 대비하여 기계환기 방식이 꼭 사용비용이 많이 든다고 판단할 수는 없다.

위 결과치를 판단하며 천정형 설치가 어려운 현장에서 대안 시스템의 하나로 제시할수 있다는 결론을 얻었다.

다만 바닥환기 방식을 적용할시 실제 천정형 시스템과 시공방법, 장단점 및 공사비등을 비교 검토하여 채택할 필요가 있을 것이다.

2) 실험-2에서와 같이 실제 현장에서 온도 측정기를 사용하여 측정점 5군데를 측정하여 열교환이 되는 지를 측정하였다.

① 실험기간동안 외기온도는 11도에서 8.4도씨로 2.6℃ 내려갔지만 디퓨져 급기온도는 20.3℃에서 23.2℃로 2.9℃ 상승하여 바닥 축열을 통한 열교환이 이루어 졌음을 확인할수 있었고 이때 보일러의 발열량 대비 7%정도의 열교환 손실이 발생한 것으로 나타났다.

② 그러나 관련업체에서 제시한 급기온도와 외기온도와의 차이가 2℃

내외라는 것과 열교환효율이 90%라는데 대하여서는 확인할 수 없었다. (실험치는 4℃내외 임)

따라서 이부분에 대하여서는 보다 명확한 시뮬레이션을 통한 검증과 열교환을 높일 수 있는 연구가 따라야 할것으로 판단된다.

상기와 같은 실험을 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 층고가 부족한 신축건축물에서 바닥환기방식이 기계방식의 한 대안으로 제시할 수 있다.

2) 기계환기 방식은 에너지 비용면이나 오염물질 저감효율에 있어서 자연환기 방식에 못지 않고 특히 겨울철이나 여름철의 경우 기계환기 방식의 운영 요령을 적절히 활용한다면 에너지 절감을 위한 적절한 대응이 될 수 있다.

3) 바닥환기방식이 전열소자 없이 바닥열만으로 열교환이 이루어 지고 있는 것을 실험적으로 확인하였으나 보다 명확한 시뮬레이션을 통한 검증과 열교환을 높일수 있는 방안에 대한 연구가 차후 진행되어 에너지 저소비형 기계 환기방식의 대안제시가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

(1) Kwak. Myung-Jin, Jo Wan-Je, Pang. Seung-Ki, Sohn. Jang-Yeul, 2005, The Impact of Method on the Reduction of Pollutant Concentration. Vol 25, pp.411～414.

(2) Song. Nam-Gill, 2009, A Study on Improvement Indoor Air Quality and to Control Approprite Ventilation Rate for Reduction of Energy Consumption in Residential Building

(3) Gil-Tae Kim, Chu-Young Chun, Sun-Dong Kim ,2015, A Comparative Analysis of Energy Performance according to the Ventilation System in Apartment House, pp.217～219.

(4) Hyang-in Jang, Seung-Jik Suh, 2012, Comparison on the Indoor Thermal Load of Underfloor Air Distribution System According to Modeling Method, pp.334 ～337.

(5) Kim. Dong-Seok, Kim .Jong-Won, Yee. Jung- Jae, The study on heat loss according to the outside temperature when applied the floor embedded ventilation system,pp. 495～496.

(6) Nam-Gyu Kim, Woo-Jin Park, Jin-Chol Park, 2005, The Embedded Duct Ventilation System in Ondol, pp.1006～1011.

(7) Kim. Dong-Hee, Yu.Ji-Yong, Yu. Ki-Hyung , Cho. Dong-Woo, Huh. Jung ho, 2005 , An Analysis of the Energy Performance of Unerfloor System and Overhead Air Distribution System based on Outdoor Air Flow Rate in Office Building, pp. 271~274.

(8) Dong-Hee Kim, Jung- Ho Huh, Dong-Woo Cho, Ki-Hyung Yu, Ji-Yong Yu, 2006, Analysis of Energy Consumption in Underfoor Air Distribution System depending on Outdoor Air Intake Rates pp. 826~831.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

감사의 글

졸업하고 현업에 종사한지 25여년만에 다시 캠퍼스에서 수업을 듣는다는 긴장감과 두려움과 설레임으로 2년의 석사과정을 마치며 언제 그런 마음이 들었는지 하는 생각이 들정도로 정신없이 시간이 지나간 것 같습니다. .모든 산업대학생들이 그렇지만 직장생활과 학업생활을 병행하는 것은 힘들었지만 반대 급부로 수업을 들을때면 늦은 나이지만 뿌듯한 마음이 들었다. 건설현장에서 엔지니어의 자부심으로 근무했지만 항상 부족하고 아쉬움이 많았지만 그동안 몰랐던 사실들과 정보를 얻으며 부족한 나를 다시 돌아보는 계기가 되었습니다. 때늦은 학업에 논문작성에 이르기까지 격려와 헌신적인 지도를 해주신 금종수 교수님과 바쁜 와중에서도 저녁에 남아서 늦은 시간동안 논문의 완성도를 높여주신 열정적인 김동규 교수님, 연구실의 김민수 박사에게 먼저 감사인사와 깊은 존경의 마음을 표하고자 합니다.

부족한 논문에 대해 항상 부드러운 카리스마와 온화한 미소로 세심히 지도해 주신 지도교수인 최광환 교수님과 정석권 교수님, 2년 동안 주말에도 수업하신다고 고생하신 윤정인 교수님, 김은필 교수님 항상 예리한 건설적 비평으로 가르쳐 주신 김종수 교수님께 감사 드립니다. 그리고 항상 학사일정에 대해 많은 도움을 주신 권 용하 조교님에게도 감사의 마음을 표합니다.

그리고 마직막으로 항상 부족한 가장을 격려해주고 공부한다고 주말에 에도 쉬지도 못한 사랑하는 가족에게 감사의 마음을 전합니다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교