



## 주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구

A Preliminary Study to Evaluate the Impact of Outdoor Dust on Indoor Air by Measuring Indoor/Outdoor Particle Concentration in a Residential Housing Unit

---

저자 (Authors)	강동화, 최동희 Kang, Dong Hwa, Choi, Dong Hee
출처 (Source)	<a href="#">한국건축친환경설비학회 논문집 9(6)</a> , 2015.12, 462-469(8 pages) <a href="#">Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 9(6)</a> , 2015.12, 462-469(8 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국건축친환경설비학회</a> Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06606846">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06606846</a>
APA Style	강동화, 최동희 (2015). 주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구. 한국건축친환경설비학회 논문집, 9(6), 462-469
이용정보 (Accessed)	이화여자대학교 203.255.***.68 2020/04/25 15:45 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 주거건물의 실내외 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구

강동화\* 최동희\*\*

\*서울시립대학교 건축공학과

\*\*경일대학교 건축공학과

### A Preliminary Study to Evaluate the Impact of Outdoor Dust on Indoor Air by Measuring Indoor/Outdoor Particle Concentration in a Residential Housing Unit

Kang, Dong Hwa\* Choi, Dong Hee\*\*

\*Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea

\*\*Department of Architectural Engineering, Kyungil University, Gyeongsan, Korea

#### Abstract

Indoor particle concentration is partly affected by penetration of outdoor particle through building envelopes. Therefore, understanding particle penetration phenomenon in buildings is crucial for evaluation of indoor air pollution caused by fine particle. The objective of the present work is to investigate the impact of outdoor dust on indoor dust level in residential buildings. Field measurements to examine concentration ratio between indoor and outdoor particles (I/O ratio) were carried out in a residential housing unit located in Daegu, Korea. The I/O ratio of size-resolved particle, ranging from  $0.3\mu\text{m}$  to  $10.0\mu\text{m}$ , was compared to examine the impact of outdoor particle on indoors. The results showed that the I/O ratio of small particle (less than  $1.0\mu\text{m}$ ) is higher than that of large particle (larger than  $3.0\mu\text{m}$ ). The study also showed that the I/O ratio in the day with higher infiltration was higher in the day with lower infiltration, indicating that the building infiltration rate is related to particle penetration.

주요어 : 미세먼지, 주거건물, 실내외 농도비, 실내공기질

Keywords : Fine dust, Residential building, I/O (indoor-outdoor concentration) ratio, Indoor air quality

#### 1. 서론

최근 미세먼지로 인한 대기환경의 악화로 인하여 건강상의 위해에 대한 사회적 관심이 증대되고 있다 현재 서울 등 수도권지역의 미세먼지 오염수준은 OECD 주요국과 비교하여 2~3배 높은 실정이며, 서울지역의 미세먼지로 인한 조기사망자수는 연간 9,641명에 달한다(환경부, 2005). 대기환경 악화는 이동오염원(도로 및 비도로 교통)과 사업장(에너지 산업, 제조업 연소, 생산공정) 등 국내발생 요인과 중국발 황사 및 미세먼지에 의한 국외 발생 요인이 주요 원인으로 지목된다 경유자동차 보급 확산 등 국내요인과 중국의 지속적인 경제성장 및 미진

한 환경보호정책의 추이를 고려할 때 이러한 미세먼지로 인한 대기환경 악화는 단시일 안에 해결되기 어려운 것으로 판단된다(환경부 외, 2013).

대기환경의 악화는 실내 미세먼지 농도의 상승에도 영향을 미친다. 건축물의 실내외 환기, 침기 등에 의해 외부와 끊임없이 공기를 교환한다 이 때 미세먼지 역시 건축물 외피 및 창호의 틈새 또는 개구부를 통하여 실내로 유입되며, 실내의 영향도는 이러한 먼지의 침투경로의 특성에 따라 달라진다(Liu and Nazaroff, 2001).

외기도입시 공기조화기의 필터를 통해 정화된 공기가 실내에 공급되는 상당수의 상업용 건물과 달리 주거용 건물은 침기 및 자연환기에 의존하고 있는 것이 보통이다. 최근에는 기계환기설비가 설치된 주거건물이 신축되고 있지만 아직은 거주자들의 기계환기설비 이용 의존도는 낮은 편으로 판단된다. 특히 노약자 및 영유아 등 호흡기 질환에 취약한 계층은 주거건물에 오랜시간 거주하므로 주거건물에 있어서 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가는 매우 중요하다고 할 수 있다.

#### Corresponding Author

성명 : 최동희, 경일대학교 조교수, 공학박사

전화 : +82-53-600-5445

E-mail : dhchoi@kiu.kr

#### Article History

접수일 : 2015년 12월 22일

수정접수일 : 2015년 12월 28일

채택일 : 2015년 12월 28일

그 동안 국내의 미세먼지 연구는 주로 대기 중 미세먼지의 발생특성(서영호 외, 2015; 박지연과 임호진, 2006) 등 외부 미세먼지에 연구의 관심을 둔 사례가 다수 진행되었으며, 기상청 황사 예보 시스템(PM<sub>10</sub> 농도 제공), 대기 중 미세먼지 농도 모델링 등의 연구가 수행되었다(경기연구원, 2016). 건축물의 실내공간에 주목한 연구는 지하공간(김서진 외, 2010) 등을 중심으로 일부 수행된 사례가 있으며, 기타 관련 연구사례로는 미세먼지 농도센서 및 시각화방법 개발이상의 외, 2015), 실내공간의 바닥재 및 HVAC 덕트 등 침착된 미세먼지의 재부유 및 실내확산 해석방법(최동희와 강동화, 2013) 등의 연구가 있었다.

이와 같이 기존연구들은 어린이집(손종렬 외, 2014) 등의 다중이용시설에 주목하였거나 측정 및 시뮬레이션 방법론에 관한 연구가 일부 있을 뿐이며 주거건물에서의 환기시스템에 의한 미세먼지 실내유입(Park et al., 2014)을 주제로 한 연구가 발표되었으나 침기에 의한 영향평가는 제한적이다. 최근 이병희(2015) 등은 사무소 건물을 대상으로 자연적 침기에 의한 미세먼지 침투를 연구한 사례가 있지만 아직까지 국내의 주거건물을 대상으로 한 미세먼지 침투연구는 초기단계에 머무르고 있는 것으로 파악된다.

이에 본 연구에서는 미세먼지의 실내 유입이 클 것으로 예상되는 대로변 주거건물을 대상으로 봄철 황사기간 중 실내외 미세먼지 현황을 측정 분석하여, 실외 미세먼지의 실내 영향도를 분석하고자 하였다. 실외 미세먼지의 실내공기 영향도를 분석하기 위하여 실내외 미세먼지 농도비(I/O ratio; indoor-outdoor concentration ratio)에 기반한 입도분석을 실시하였다.

## 2. 문헌자료 고찰

### 2.1. 주거건물의 미세먼지 I/O ratio 측정사례

Table 1은 국외에서 수행된 주거건물의 I/O ratio 측정 사례를 정리한 결과이다. 많은 연구자들이 실외와 실내

미세먼지의 상관관계를 파악하기 위하여 I/O ratio를 측정하였으며, 다양한 범위의 I/O ratio가 측정결과로 제시되고 있음을 알 수 있다. Wichmann et al. (2010)는 18개 주거를 대상으로 겨울과 여름기간의 PM<sub>2.5</sub>의 I/O ratio를 분석하였으며, Jung et al. (2010)은 고교통량 지역의 주거를 대상으로 난방기간과 비난방기간의 PM<sub>2.5</sub>의 I/O ratio를 분석하였다. Sajani et al. (2015)는 유사한 형태의 주거가 교통량이 현저하게 차이나는 도심 및 교외에 각각 위치하는 경우를 대상으로 PM<sub>2.5</sub> 농도 등 오염물질을 측정하여, 이때 비재실상태를 측정하여 도로교통에 따른 실외 발생원의 영향을 분석할 수 있도록 하였다.

그러나 I/O Ratio는 미세먼지 직경에 따라 달라지는데(Liu and Nazaroff, 2003), 상기의 연구들은 특정 직경군집에 대한 미세먼지 I/O ratio만을 제시하고 있어 다양한 미세먼지 직경에 따른 I/O ratio 정보를 제시하고 있지 못하다. 반면 미세먼지 직경에 따른 I/O ratio 분석을 수행한 연구도 있었다. Prasauskas et al. (2014)는 50개 주거를 대상으로 PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> 농도를 분석하였다. Massey et al. (2012)는 5개의 도로변 주거와 5개의 도심 주거의 PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>5</sub>, PM<sub>10</sub>를 모니터링하였으며, Stranger et al. (2009)는 도심 및 교외에 위치한 19개 주거를 대상으로 PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> 농도를 분석하였다. 그러나 상기 연구들은 재실자 행위를 고려한 실내 미세먼지 평가를 주요 목적으로 하고 있어, 주거 및 비주거기간의 I/O ratio를 명확히 구분하고 있지 않으므로, 제시된 측정값만으로 외부 미세먼지의 실내 영향도를 판단하기에는 한계가 있다.

### 2.2. 국내 실외 미세먼지 PM10 농도

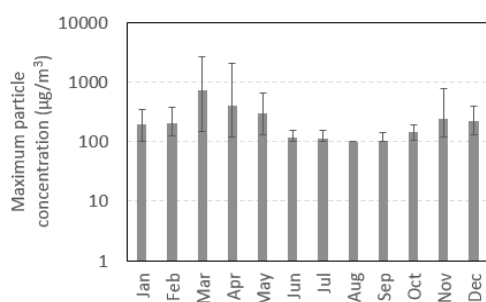
Figure 1은 측정실험이 수행될 대상주거가 위치한 대구지역의 외기 중 미세먼지의 농도특성을 나타낸다. 2007~2014년 PM<sub>10</sub> 농도 및 온습도를 기상청 데이터를 활용하여 분석한 결과를 나타내었으며, 본 연구의 실험 시기의 선정 및 데이터분석에 활용을 위하여 분석을 수

Table 1. Previous researches on particle indoor-outdoor ratio in residential buildings

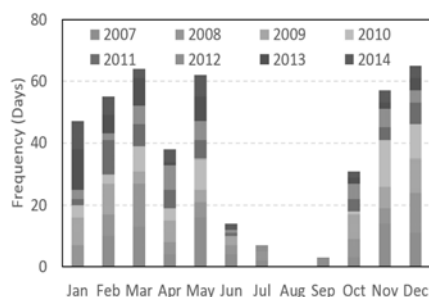
References	Building type	Location	Period	Area	I/O ratio
Sajani et al. (2015)	Residential	Bologna, Italy	Winter, summer	High traffic Residential	0.74(PM <sub>2.5</sub> ) 0.59(PM <sub>2.5</sub> )
Prasauskas et al. (2014)	Residential	Kaunas, Lithuania	Winter	Urban	0.69(PM <sub>1</sub> ), 0.70(PM <sub>2.5</sub> ), 0.98(PM <sub>10</sub> )
Massey et al. (2012)	Residential	Agra, India	Winter, summer, monsoon	Roadside, urban	1.01(PM <sub>1</sub> ), 0.93(PM <sub>2.5</sub> ), 1.08(PM <sub>10</sub> )
Jung et al. (2010)	Residential	New York, USA	All season	High traffic	1.63(PM <sub>2.5</sub> )
Wichmann et al. (2010)	Residential	Stockholm, Sweden	Winter, summer	City center, suburban	0.87(PM <sub>2.5</sub> )
Stranger et al. (2009)	Residential	Antwerp, Belgium	N/A	Urban, suburban	2.0(PM <sub>1</sub> ), 1.5(PM <sub>2.5</sub> ), 1.3(PM <sub>10</sub> )

행하였다.

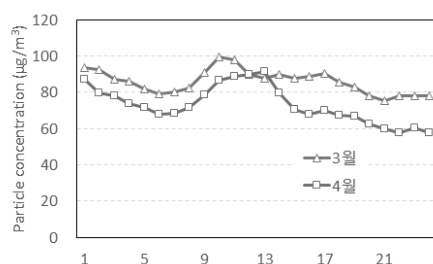
Figure 1-a와 같이 여름철인 8월의 PM<sub>10</sub> 농도가 가장 낮은 값을 보였으며, 10월부터 겨울까지 지속적으로 증가 추세를 보이다가 3월과 4월에 가장 높게 나타난다. 월별 PM<sub>10</sub> 100 µg/m<sup>3</sup> 이상인 날의 빈도 역시 여름철인 6월에서 9월 사이가 가장 낮았고 10월 이후부터 상승하여 3월에 가장 높은 것으로 나타났다. 3월과 4월의 PM<sub>10</sub> 100µg/m<sup>3</sup> 이상인 날의 하루 중 시간별 농도 분석결과 오전에 상대적으로 높은 미세먼지 농도를 보였으며, 특히 사람들의 활동이 많은 오전 7시 이후에 증가되었다가 서



a) Monthly maximum PM10 concentration in Daegu between 2007~2014



b) Frequency of days over 100 µg/m³ of PM10 between 2007~2014



c) Average PM<sub>10</sub> concentration on March and April between 2007~2014

Figure 1. Analysis of outdoor PM10 profile in Daegu

서히 낮아지는 경향을 보인다

이와 같은 대상지역의 특성을 고려하여 외기 미세먼지가 높을 것으로 예상되는 3월과 4월에 집중적으로 실험을 계획하였다.

### 3. 실내외 미세먼지 및 실내환경 측정

#### 3.1. 측정 대상공간

측정 대상공간은 대구지역에 위치한 108 m<sup>2</sup>의 면적의 공동주택으로 측정 대상공간의 평면은 Figure 2와 같다. 대상 공동주택은 왕복10차선의 대로변에 위치하여 출퇴근 시간 이외에도 항상 차량의 통행이 많아 외부 미세먼지 농도가 높을 것으로 예상된다. 10차선 대로는 공동주택의 남측면에 위치하고 있으며 대로부터의 거리는 약 10 m 가량이다. 실외의 미세먼지 농도가 지나치게 낮을 경우 실외 미세먼지의 실내 침투현상의 평가결과가 뚜렷하게 나타나지 않을 가능성이 있어 이를 고려하여 측정 시기 및 측정위치를 선정하였다.

#### 3.2. 실내외 미세먼지 측정 방법 및 조건

실내외 미세먼지는 거실 중앙 1개소, 실외 1개소에서 측정하였다. 실외 미세먼지의 실내 침투현상은 미세먼지의 직경에 따라 다르게 되므로 광학식 파티클카운터(OPC; optical particle counter, TSI 9306-v2, USA) 2대를 사용하여 0.3µm, 0.5µm, 1.0µm, 5.0µm, 10.0µm의 미세먼지 직경 별로 개수농도(PNC; particle number concentration) 측정하였다. 미세먼지 개수농도의 시간경과에 따른 변동이 큰 편이므로 5분 간격으로 포집간격을 짧게 설정하였으며, 결과 분석 시에는 시간경과에 따른 미세먼지 개수

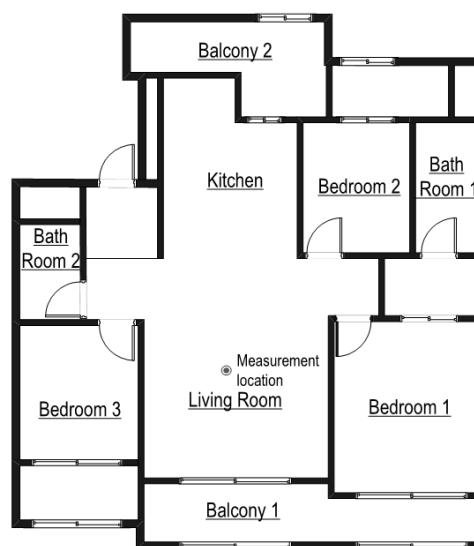


Figure 2. A floor plan of the test house

변화와 함께, 측정된 미세먼지의 농도분포를 함께 제시하였다.

거주자가 세대 내에 재실 시 특별한 활동에 제약을 두지 않고, 취사, 청소, 환기 등의 활동을 허용하였으며, 이와 별도로 비재실 기간을 기록하였다. 측정결과를 바탕

으로 I/O ratio는 1) 전 측정기간과 2) 비재실 기간으로 구분하여 산정하였다. 전 측정기간의 I/O ratio로부터 실외 미세먼지 침투, 실내 미세먼지 발생 등 미세먼지 발생 메커니즘이 모두 반영된 실제 공간의 미세먼지 발생 경향에 대한 정보를 알 수 있으며, 비재실 기간의 I/O ratio으로부터 외부 미세먼지의 침투에 의한 실내 미세먼지 농도에 미치는 영향을 판단할 수 있다.

### 3.3 침기율 추정

측정세대의 실내외 미세먼지비 I/O ratio는 측정기간 중의 침기율에 따라 영향을 받을 수 있다. 따라서 미세먼지 측정기간 중의 대상공간의 침기율을 추정하기 위하여 재실자 발생 CO<sub>2</sub> 가스를 활용한 침기율 추정법을 활용하였다. 재실자 발생 CO<sub>2</sub> 가스법의 상세방법 및 절차와 타 추적가스법과의 상관관계는 선행연구(강동화, 2013)에서 제시된 바 있으며, 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 방법과 동일한 방법을 사용하여 침기율을 추정하였다. 세대 내의 CO<sub>2</sub> 농도는 세대 중앙에서 1분단위로 측정(CO<sub>2</sub> monitor, TSI 7545, USA)되어 기록되었으며, 이 데이터는 침기율 추정 뿐만 아니라 재실자의 재실 및 비재실 여부의 확인을 위하여서도 사용되었다.

대상공간의 재실자 수에 따른 이산화탄소 배출량은 식(1)(ASHRAE, 2005)을 활용하여 산정하였다.

$$V_{O_2} = \frac{0.00276 A_D M}{0.23 RQ + 0.77} \quad (1)$$

여기서,

V <sub>O<sub>2</sub></sub>	산소 소모율 (l/s)
RQ	호흡계수 (-)
M	활동량 (met)
A <sub>D</sub>	DuBois 인체체표면적 (m <sup>2</sup> )

대상세대의 침기율 추정시에서는 재실자가 충분히 해당공간에 거주하여 충분히 CO<sub>2</sub> 가스가 실내에서 완전확산에 도달한 것으로 가정하였으며, 식(2)과 같은 질량보존식이 성립하게 된다. 최소자승법(least square method)을 활용하여 측정된 실내 CO<sub>2</sub> 농도값의 변화와 질량보존식에 의해 추정된 실내 CO<sub>2</sub> 농도값의 차이가 최소가 될 때의 공기교환율을 해당세대의 침기율로 산정하였다.

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = Q C_o - Q C_i + G \quad (2)$$

여기서,

V	실부피 (m <sup>3</sup> )
t	시간 (h)
Q	공기교환율 (m <sup>3</sup> /h)
C	CO <sub>2</sub> 농도 (g/m <sup>3</sup> )
C <sub>o</sub>	실외 CO <sub>2</sub> 농도 (g/m <sup>3</sup> )
C <sub>i</sub>	실내 CO <sub>2</sub> 농도 (g/m <sup>3</sup> )
G	추적가스 발생량 (g/h)

## 4. 측정결과 및 고찰

### 4.1. 실내외 직경별 개수농도 측정결과

Figure 3은 측정기간 중 외기 중의 미세먼지의 농도가 높아 실내 미세먼지 농도에 대한 영향을 잘 드러내었던 날 (Day 1 - 4월 18일, Day 2 - 4월 22일, Day 3 - 4월 26일)을 선택하여 실외 미세먼지와 실내 미세먼지 개수를 직경별로 나타낸 것이다. 미세먼지의 외기농도 변화에 따라 3일의 특성이 구분된다. Day 1은 오전에 외기농도가 높았다가 시간경과에 따라 외기농도가 낮아지는 경우이며, Day 2와 Day 3은 오전에 외기농도가 낮았다가 시간경과에 따라 외기농도가 높아지는 경우이다. Day 2와 Day 3는 침기율에서 차이를 보인다. Table 1에서와 같이 4월 22일의 침기율은 0.11 회/h으로써 Day 3의 0.19 회/h에 비하여 낮은 값을 나타낸다.

침기율이 0.20 회/h, 0.19 회/h였던 Day 1과 Day 3의 경우 미세먼지의 실외농도의 변화에 따라 실내농도가 대체로 추종하는 경향을 보이거나 0.11 회/h이었던 Day 2에는 이러한 경향이 뚜렷하지 않은 것을 확인할 수 있다. 한편 큰 사이즈의 미세먼지에 비하여 작은 사이즈의 미세먼지일수록 실외와 실내 미세먼지 개수농도의 차이가 적어지는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Estimated infiltration rates at the test house by occupant-generated CO<sub>2</sub> method

Experiment day	Day 1	Day 2	Day 3
Infiltration rate (1/h)	0.20	0.11	0.19

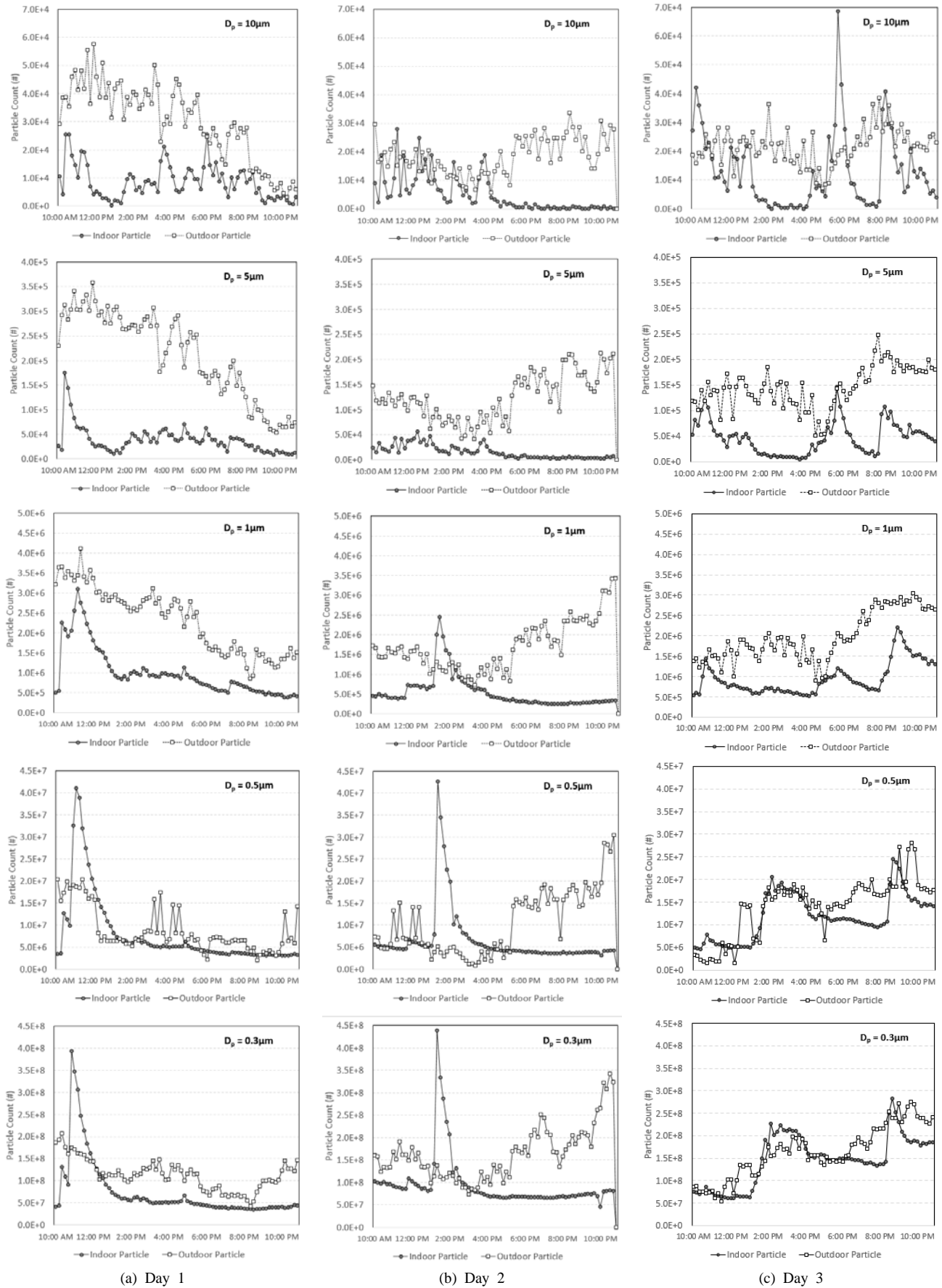


Figure 3. Particle size-resolved indoor and outdoor number concentrations measured in the test house

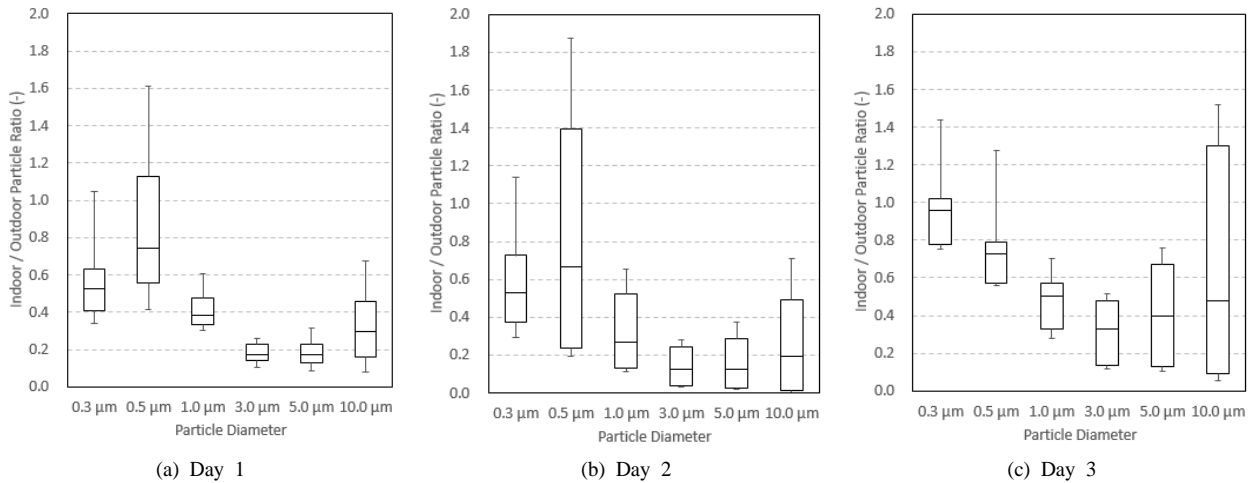


Figure 4. Particle size-resolved I/O ratio during entire period

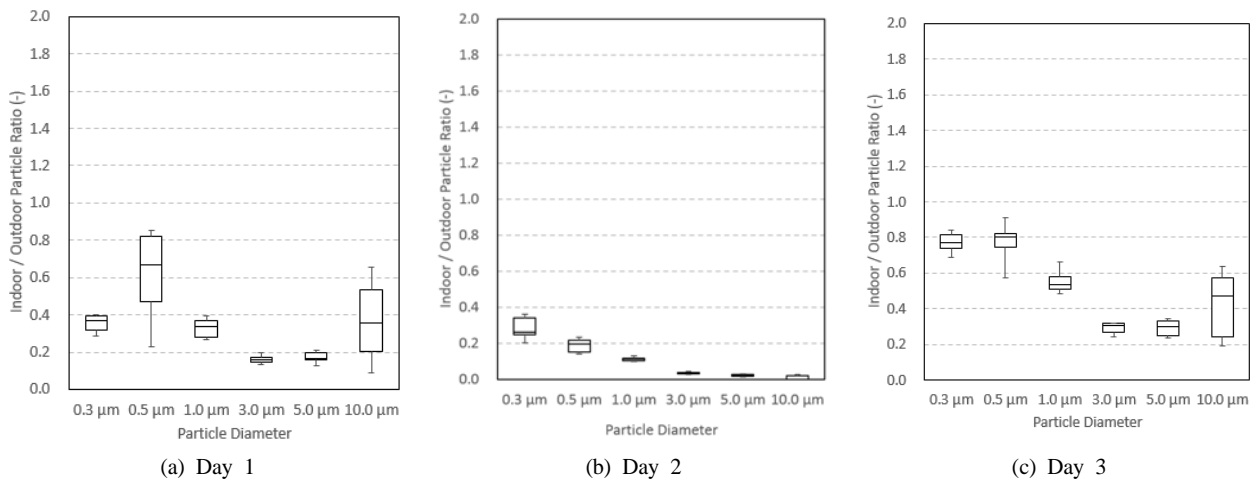


Figure 5. Particle size-resolved I/O ratio only during unoccupied period

#### 4.2. 실내외 미세먼지 농도비

실내외의 미세먼지 개수농도 차이를 정량적으로 비교하기 위하여 Figure 4와 Figure 5와 같이 I/O ratio를 분석하였다. Figure 4는 재실 및 비재실을 포함한 전체기간의 I/O ratio를 나타내며, Figure 5는 비재실 시간만의 I/O ratio를 나타낸다. Figure 4와 같이 I/O ratio는 1.0보다 큰 경우도 나타나는데 이는 재실자의 실내활동으로 인한 실내 발생 미세먼지의 영향이 더해졌기 때문이다. 이와 같은 측정결과는 실외 미세먼지가 높은 경우에 미세먼지 유입을 위해 창문을 밀폐하는 경우가 많은데 이 때 발생하는 실내활동에 의해 오히려 실외보다 미세먼지 농도가 높아져 실내공기질이 실외보다 안 좋아질 경우도 있음을 의미한다. 본 연구에서는 실내 재실자의 활동을 체계적으로 제어하면서 실험을 수행되지는 않았으므로 재실자의 행태별 I/O ratio의 영향을 정량적으로 분석하기는 어렵다. 하지만 분석결과, 대체로 0.5 $\mu$ m 이하의 작은 먼지에서 I/O ratio가 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있다.

Figure 5는 재실자의 행위를 배제하여 비재실 기간을 대상으로 I/O ratio를 분석한 결과를 나타낸다. 모든 미세먼지 직경 군에서 I/O ratio는 1.0 이하를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 앞서 설명하였듯이 Figure 5의 결과는 외부 미세먼지의 실내침투에 의한 영향이 지배적으로 반영된 결과로써 미세먼지 직경에 따라 실내에 미치는 영향이 차이가 있음을 확인할 수 있다. 외부의 미세먼지는 건물의 틈을 통하여 일부는 실내로 유입되며 일부는 틈새표면에 침착(deposition)된다. 실험결과에서 대체로 작은 먼지 직경에서 높은 I/O ratio가 분석되었으므로, 작은 먼지일수록 틈새 표면에 침착되는 양이 적은채로 실내로 더 많이 유입됨을 알 수 있다. Day 3의 경우 0.3 $\mu$ m, 0.5 $\mu$ m, 1.0 $\mu$ m의 I/O ratio 평균값은 각각 0.77, 0.80, 0.53으로 상당히 높은 값을 나타내는 반면 3.0 $\mu$ m, 5.0 $\mu$ m, 10.0 $\mu$ m의 상대적으로 큰 먼지의 경우 I/O ratio의 평균값이 0.30, 0.30, 0.47으로 상대적으로 낮게 나타난다. 이는 초미세먼지로 분류되는 PM<sub>2.5</sub> 이하의 미세먼지 직경에서 실외 미

세면지의 실내 유입으로 인한 실내공기오염의 우려가 더욱 큼을 시사하는 것이다.

한편 침기율이 낮았던 Day 2에서는 I/O ratio가 모든 직경에 대해서 Day 3에 비하여 낮아졌으며, 0.3 $\mu$ m, 0.5 $\mu$ m, 1.0 $\mu$ m, 3.0 $\mu$ m, 5.0 $\mu$ m, 10.0 $\mu$ m의 I/O ratio 평균값이 각각 0.26, 0.19, 0.11, 0.03, 0.02, 0.00으로 분석되었다. 이러한 결과는 외부 미세먼지의 침투에 의한 실내영향도가 침기율의 변동에 큰 영향을 받음을 나타냄을 보여주는 것이다.

이러한 결과를 종합하여볼 때, 주거건물에서 실외 미세먼지의 실내침투 현상은 먼지의 직경과 주택의 침기율과 관계가 있을 것으로 판단된다. 특히 PM<sub>2.5</sub>에 해당하는 초미세먼지 군에서 실외 미세먼지의 실내 영향도가 매우 큰 것으로 나타나 후속 심화 연구의 필요성을 확인하였다. 특히 실외 미세먼지의 실내 영향도는 주거건물의 침기율과도 관계가 있는 것으로 나타나, 침기율에 영향을 미치는 건축적 특성과의 상관관계를 밝히기 위한 후속연구 또한 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 실외 미세먼지가 주거건물의 실내 미세먼지 농도에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 공동주택 세대를 대상으로 실내외 미세먼지 개수농도의 변동을 측정하였으며, 측정기간 중의 침기율 추정치와의 비교를 통하여 직경별 외부 미세먼지의 실내영향도를 분석하였다.

연구의 결과, 미세먼지의 직경이 작을수록 실외 미세먼지의 실내 영향도가 높아지는 것으로 나타났으며, 특히 PM<sub>2.5</sub>와 같은 초미세먼지의 경우 실내 영향도가 더욱 높게 나타나는 것으로 나타났다. 이러한 영향도는 침기율이 높은 경우에 더욱 크게 나타났으며, 실외 미세먼지의 실내영향도는 침기율과 같은 건축적 특성과의 상관관계가 있음을 확인하였다.

주거건물은 기계환기설비가 설치되어 있다 하더라도 주택환기를 침기 및 자연환기에 의존하는 경우가 많으므로 필터와 같은 여과장치 없이 외부 미세먼지 농도가 실내에 영향을 줄 수 있다. 본 연구는 주거건물에서의 미세먼지의 실내외 미세먼지의 이동을 이해하기 위한 지식의 범위를 확장을 위하여 계획되었으며, 연구의 결과로 관찰된 사항을 확고히 하기 위하여 다양한 주거건물 유형을 대상으로 건축적 특성과미세먼지 침투와의 상관관계를 규명하기 위한 후속연구를 수행할 예정이다.

## 후 기

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로

한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2014R1A1A3051924)

## 참 고 문 헌

1. 강동화. (2013). 재실자 발생 이산화탄소 가스를 활용한 주거건물의 공기교환율 추정, 대한건축학회논문집(계획계), 29(10), 293-300.
2. 김서진, 강호성, 손윤석, 윤상력, 김조천, 김규식, 김인원. (2010). 지하역사 내 미세먼지 실시간 모니터링을 위한 광산란법 보정. 한국대기환경학회지, 26(5), 533-542.
3. 백지민, 이수환, 이병희, 강동화, 여명석, 김광우. (2015). 겨울철 침기에 따른 실내외 미세먼지 농도 관계에 관한 연구. 대한건축학회논문집(계획계), 31(9), 137-144.
4. 서영호, 구명성, 최진원, 김경민, 김상미, 설경화, 조효재, 김수진, 김기현. (2015). 상업지역의 초미세먼지 (PM<sub>2.5</sub>) 발생특성 연구. 한국대기환경학회지, 31(2), 97-104.
5. 손종렬, 김진만, 오현주, 남인식, 양진호, 이도희, 이병양. (2014). 어린이집 실내공기 중 미세먼지와 부유 미생물의 평가분석. 한국내환경학회지, 13(1), 40-48.
6. 이상익, 이진국. (2015) 실내 공간별 미세먼지농도 비교 데이터의 시각화. 한국주거학회논문집, 26(4), 55-62.
7. 최동희, 강동화. (2013). 실험과 CFD를 활용한 건물 내 미세먼지 재부유 및 확산해석 방법. 대한건축학회논문집(계획계), 29(10), 275-282.
8. 박지연, 임호진. (2006). 대구 주거지역 겨울과 봄철 미세먼지 및 수용성 이온성분. 한국대기환경학회 학술대회논문집, 364-365.
9. 경기연구원. (2006). 수도권 미세먼지 모델링 연구.
10. 환경부. (2005). 미세먼지(PM<sub>10</sub> 이하) 저감대책.
11. 환경부, 안전행정부, 외교부, 문화체육관광부, 교육부, 보건복지부, 식품의약품안전처, 기상청. (2013). 미세먼지 종합대책.
12. Jung, K.H., Patel, M.M., Moors, K., Kinney, P.L., Chillrud, S.N., Whyatt, R., Hoepner, L., Garfinkel, R., Yan, B., Ross, J., Camann, D., Perera, F.P., Miller, R.L. (2010). Effects of heating season on residential indoor and outdoor polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon, and particulate matter in an urban birth cohort. Atmospheric Environment, 44, 4545-52.
13. Liu, D., Nazaroff, W.W. (2003). Particle penetration through building cracks. Aerosol Science and Technology, 37, 565-573.
14. Liu, D., Nazaroff, W.W. (2001). Modeling pollutant penetration across building envelopes. Atmospheric Environment,



- 35, 4451-4462.
15. Massey, D., Kulshrestha, A., Masih, J., Taneja, A. (2012). Seasonal trends of PM<sub>10</sub>, PM<sub>5.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> & PM<sub>1.0</sub> in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. *Building Environment*, 47, 223-231.
16. Park, J.S., Jee, N.Y., Jeong, J.W. (2014). Effects of types of ventilation system on indoor particle concentration in residential buildings, *Indoor Air*, 24(6), 629-638.
17. Prasauskas, T., Martuzevicius, D., Krugly, E., Ciuzas, D., Stasiulaitiene, I., Sidaraviciute, R., Kauneliene, V., Seduikyte, L., Jurelionis, A., Haverinen-Shaughnessy, U. (2014). Spatial and temporal variations of particulate matter concentrations in multifamily apartment buildings. *Building Environment*, 76, 10-17.
18. Sajani, S.Z., Ricciardelli, I., Trentini, A., Bacco, D., Maccone, C., Castellazzi, S., Lauriola, P., Poluzzi, V., Harrison, R.M. (2015). Spatial and indoor/outdoor gradients in urban concentrations of ultrafine particles and PM<sub>2.5</sub> mass and chemical components. *Atmospheric Environment*, 103, 307-320.
19. Stranger, M., Potgieter-Vermaak, S.S., Van Grieken, R. (2009). Particulate matter and gaseous pollutants in residences in Antwerp, Belgium. *Science of the Total Environment*, 407, 1182-1192.
20. Wichmann, J., Lind, T., Nilsson, MA-M., Bellander, T. (2010). PM<sub>2.5</sub>, soot and NO<sub>2</sub> indoor-outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment*, 44, 4536-4444.
21. American Society for Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. (2005). *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE.