



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](#)

공학석사학위논문

건물 공기유동특성을 고려한  
침기 저감방안 평가에 관한 연구

The Evaluation of the Effects of Infiltration  
Reduction Methods on the Characteristics  
of Air Flow in a Building

2015 년 2월

서울대학교 대학원

건축학과

김 효 진

# 건물 공기유동특성을 고려한 침기 저감방안 평가에 관한 연구

The Evaluation of the Effects of Infiltration  
Reduction Methods on the Characteristics  
of Air Flow in a Building

지도교수 여 명 석

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2015 년 10월

서울대학교 대학원

건축학과

김 호 진

김호진의 공학석사 학위논문을 인준함

2015 년 1월

위원장	인
부위원장	인
위원	인

## 국문 초록

본 연구에서는 중규모 사무소 건물의 침기의 영향요인을 고려한 계절별 건물 내 공기유동 분석을 통해 그 특성을 규명하고 침기로 인한 건물의 공기유동으로 인한 문제점 관리 및 개선을 위해 체계적이고 효율적인 저감방안 평가방법을 수립하였다. 이를 위해 기존문헌 고찰을 통해 기존 침기 저감방안의 특징 및 적용방법의 한계점을 분석하고 대표적인 공기유동 영향인자를 도출하였다. 도출된 기존 연구의 한계점을 보완 및 영향인자를 고려하여 중규모 사무소 건물의 건물 외피를 통한 건물 내 공기유동, 확산 특성에 미치는 영향 분석을 수행하여 연구를 진행하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건물에서 공기유동은 건물 외피를 통한 침기와 실간 공기유동으로 정의할 수 있으며, 이는 환경 관련 요인과 건축 관련 요인에 의해 영향을 받았다.
- 2) 환경 관련 요인은 외기온, 풍속, 풍향이 있으며, 건축 관련 요인은 건물 외피 구성 요소의 기밀성능과 실내 구성요소의 기밀성능, 수직 샤프트가 있었다.
- 3) 주요 유동경로인 E/V 샤프트를 통한 유동량은 지하주차장 램프 통한 침기에서 기인하는 것으로 나타났으며, 지하주차장 출입구의 방향으로 바람이 부는 동풍(90°)일 때, 최대 1,286CMH이 발생함. 특히 겨울철 서울시 풍향 분석결과, 겨울철 북동풍이 우세한 것으로 나타나 지하주차장 출입구를 통한 외기 유입이 증가하여 연돌효과의 영향이 클 것으로 사료되었다.

4) 많은 양의 침기가 발생하고 건물 내 주요 공기유동 경로의 유동량에 기인하는 지하주차장 출입구를 통한 연간 침기량은 겨울철에 평균 417 m<sup>3</sup>/h로 가장 많은 양의 외기 유입이 일어났고 그 다음으로 봄 (241m<sup>3</sup>/h), 가을 (181m<sup>3</sup>/h), 여름 (70m<sup>3</sup>/h) 순으로 나타났다. 외기온이 가장 높은 여름을 포함하여 많은 양의 외기가 개방형 지하주차장 출입구를 통해 사계절 내내 실내로 유입되고 있었다.

5) 침기량의 영향정도를 파악하기 위해 외기온, 풍속, 풍향을 분리해 시뮬레이션을 수행하였다. 영향인자와의 상관관계 분석을 위해 분석 영향인자가 아닌 인자는 고정값을 시뮬레이션에 적용하였다. 침기량에 영향을 미치는 인자는 외기온 > 풍속 > 풍향의 영향 정도로 나타났다.

**주요어** : 침기, 공기유동, 네트워크 모델, 건물 기밀성능, 건물 구성요소, 사무소 건물

**학 번** : 2013-20555

# 목 차

## 제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 범위 및 방법 .....	3

## 제 2 장 건물의 공기유동에 관한 예비적 고찰 .....

7

2.1 건물의 공기유동에 관한 이론적 고찰 .....	7
2.1.1 공기유동 기본이론 .....	7
2.1.2 공기유동 요소 .....	10
2.2 기존 연구문헌 분석을 통한 침기가 건물에 미치는 영향 및 문제점 도출 ...	13
2.3 소 결 .....	15

## 제 3 장 건물의 공기유동 모델 해석 방법 고찰 .....

17

3.1 건물 공기유동 해석모델의 검토 .....	17
3.1.1 공기유동 해석 모델 .....	18
3.1.2 네트워크 모델 .....	21
3.1.3 공기유동 경로(Airflow Path)의 정의 .....	25
3.2 건물 공기유동 모델 .....	29
3.2.1 대상건물 개요 및 측정 .....	29
3.2.2 모델링 및 검증 .....	35
3.3 소 결 .....	37

제 4 장	건물의 침기와 영향인자 분석	39
4.1	개요	39
4.2	대상건물의 공기유동 특성	40
4.3	건물에서의 공기유동 영향인자 분석	41
4.3.1	영향인자 정의	41
4.3.2	환경관련 인자	42
4.3.3	건축관련 인자	44
4.4	소결	46
제 5 장	대상건물 구성요소의 침기량과 영향인자 분석	47
5.1	개요	47
5.2	분석지점 선정	48
5.3	침기량과 영향인자의 상관관계 분석	51
5.3.1	외기온	55
5.3.2	풍향	56
5.3.3	풍속	57
5.4	건물 내 확산 분석	58
5.5	건물의 침기 저감방안 평가	62
5.6	소결	65
제 6 장	결론	67
참고 문헌		69
ABSTRACT		73

## 표 목차

<표 3.1> 대상건물의 개요 .....	31
<표 4.1> 건물 공기유동 영향인자 .....	41
<표 4.2> 기상 조건 .....	42
<표 4.3> 대상건물의 주요 구성요소 .....	44
<표 5.1> 주요 공기 유동경로의 유량 .....	49
<표 5.2> 시뮬레이션 적용 기상데이터 .....	54
<표 5.3> 시뮬레이션 case .....	58
<표 5.4> 누기면적 적용 데이터 .....	62



## 그림 목차

[그림 1.1] 연구의 흐름도 .....	1
[그림 3.1] Network model의 예 .....	20
[그림 3.2] 대상건물의 전경 .....	30
[그림 3.3] 대상건물의 평면도 (3층) .....	32
[그림 3.4] 대상건물의 평면도 (지하 2층) .....	32
[그림 3.5] 대상건물의 단면 .....	33
[그림 3.6] 건물 구성요소의 예 .....	35
[그림 3.7] 건물 구성요소 기밀화 작업 .....	35
[그림 3.8] 건물 Airflow network modeling (3층) .....	36
[그림 3.9] E/V 내부와 외부의 차압 측정값과 시뮬레이션 결과 값 .....	37
[그림 4.1] 대상건물의 연간 침기량 .....	40
[그림 4.2] 계절별 풍향 빈도 .....	43
[그림 4.3] 구성요소의 누기면적 분포와 측정값 .....	45
[그림 5.1] 계절별 총 지하주차장 출입구를 통한 침기량과 Core 수직 샤프트 통 한 통과유량 .....	50
[그림 5.2] 계절별 주요 Core 수직 샤프트 통한 통과유량 .....	51
[그림 5.3] 지하주차장 출입구를 통한 봄철 침기량 .....	52
[그림 5.4] 지하주차장 출입구를 통한 여름철 침기량 .....	52
[그림 5.5] 지하주차장 출입구를 통한 가을철 침기량 .....	53
[그림 5.6] 지하주차장 출입구를 통한 겨울철 침기량 .....	53
[그림 5.7] 외기온과 지하주차장 출입구 침기량의 상관관계 .....	55
[그림 5.8] 풍향과 지하주차장 출입구 침기량의 상관관계 .....	56
[그림 5.9] 풍속과 지하주차장 출입구 침기량의 상관관계 .....	57
[그림 5.10] Case 1 공기유동 통로의 유량 .....	59

[그림 5.11] Case 2 공기유동 통로의 유량 .....	59
[그림 5.12] Case 3 공기유동 통로의 유량 .....	60
[그림 5.13] Case 4 공기유동 통로의 유량 .....	60
[그림 5.14] Case 4 공기유동 통로의 유량 .....	60
[그림 5.15] Core1 E/V Shaft 침기량 .....	63
[그림 5.16] Core2 E/V Shaft 침기량 .....	63
[그림 5.17] Core1 계단실 침기량 .....	64
[그림 5.18] Core2 계단실 침기량 .....	64

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

침기는 의도하지 않은 공기의 건물 내 유입을 뜻하며, 건물의 에너지 손실 뿐만 아니라 재실자의 불쾌감과 실내 공기질 저하 등을 유발할 수 있다. 건물의 외기 유입은 외피 구성요소의 기밀성능과 건물의 내부 외부의 압력차의 영향을 받는다.<sup>1)</sup> 외기의 건물 내 유입 시에는 건물의 외피 면의 구성요소와 건물 내 샤프트가 주요한 경로로 작용한다. 겨울철에는 건물의 실내·외 온도차가 커지면서 실내·외 공기 간 압력차가 발생하고 이러한 경로를 통해 건물 내부에 공기유동이 발생한다. 특히 겨울철 처럼 빌딩 내·외부의 온도차가 클 경우 외기가 내부로 유입되면서 연돌효과는 심화한다. 주로 1층의 로비나 지하 출입문으로 유입된 차가운 외기는 엘리베이터, 계단실과 같은 수직 이동 경로를 통해 상승하는데, 건물의 높이가 높아질수록 이러한 연돌 효과에 의한 외기 유입은 더욱 커진다.

최근 건물의 규모 증가와 함께 건물 외피에 작용하는 외부 풍속과 엘리베이터 샤프트와 같은 건물 내 수직적 공기유동 경로가 증가함에 따라 풍압 및 연돌효과에 의한 공기유동 특성이 매우 복잡해지면서 건물 내 침기 및 침기의 확산으로 인한 문제가 대두되고 있다. 건물의 대형화, 복합화와 함께 토지의 고효율성, 주거환경 향상, 차량 보유대수의 증가 등의 이유로 지하주차장은 점차 증가함에 따라 지하주차장 출입구를 통한 침기 및 침기의 확산으로 인한 문제가 대두되고 있다. 램프가 연결된 지하주차장 출입구를 통해 많은 양의 외기가 유입되며 대부분의 지하주차장은 재실자의 편의를 위하여 계단실과 엘리베이터와 같은 수직 동선 연결하는 샤프트가 건물의 공기유동의 주요 경로 역할을 하고 있다. 실외에서 유입된 대기 오염물질과 더불어 지하주

---

1) Load Calculation Manual, Chapter 6, 1997, ASHRAE

발생하는 오염물질이 연돌효과의 영향으로 수직 샤프트를 통해 건물 전체로 확산되어 재실자의 건강에 악영향을 미칠 수 있다.<sup>2)</sup> 또한, 연돌 효과로 인하여 발생한 건물 내부에서의 강한 유동은 엘리베이터 부품의 손상을 일으켜 엘리베이터 고장의 주요한 원인이 되고 각종 소음을 발생시키는 문제가 된다.

따라서 건물에서 쾌적한 공기환경의 제공, 공조 시스템의 적절한 설계, 거주성 향상, 에너지 소비의 감소를 위해서는 대상건물의 침기의 영향을 고려한 문제에 가장 적절한 대책방안이 선정되어야 한다. 그러나 건물 완공 후에는 문제 해결을 위한 대책적용이 설계단계에서부터 건물공기유동 및 압력분포의 정확한 예측이 어렵고 또한, 각 대책방안에 대한 적용방법 및 개선효과가 명확하지 않기 때문에 정확한 평가결과에 근거하여 대책방안을 선정하는 것이 중요하다. 대상 건물의 공기유동 시뮬레이션을 통해 다양한 조건에 대한 건물 내 공기유동 특성과 이로 인한 건물의 다양한 성능을 실제와 유사하게 예측할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 연돌효과 및 외부바람에 따른 공기유동 특성을 반영할 수 있도록 건물 전체 공기유동 관점에서 분석하는 시뮬레이션이 필요하다.

따라서, 본 연구는 중규모 사무소 건물의 침기의 영향요인을 고려한 계절별 건물 내 공기유동 분석을 통해 그 특성을 규명하고 침기로 인한 건물의 공기유동으로 인한 문제점 관리 및 개선을 위해 체계적이고 효율적인 저감방안 평가방법을 제시하는데 목적을 두고 있다.

---

2) 박성원. (2010). 공동주택 지하주차장 평면형태 및 환기구의 배치에 따른 공기유동에 관한 연구, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, 2010, pp59-64

## 1.2 연구의 범위 및 방법

연구에서는 건물의 외피를 통한 계절별 침기 및 건물 내 공기유동, 확산의 특성을 분석을 위해 먼저 기존연구문헌 고찰을 통해 대표적인 공기유동 영향인자를 분류하고, 분류된 영향인자에 대해 시뮬레이션을 통해 중규모 사무소건물의 건물 외피를 통한 외기유입량과 유입지점, 유동경로를 분석한 후, 건물 내 공기유동, 확산 특성에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

아울러 기존연구문헌 고찰과 시뮬레이션 결과를 바탕으로 건물 내 공기유동에 미치는 인자에 대한 검토를 통해, 대표적인 영향인자로 외기온, 외부바람, 건물의 층수, 건물 외피 구성요소의 누기면적 등으로 규정하고 이러한 영향인자가 건물 외피를 통한 외기유입과 건물 내 공기유동 및 확산에 어떻게 작용하고 있는지를 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다.

이를 위하여 국내의 일반적인 중규모의 사무소 건물로 지하주차장과 연결된 진입 램프를 갖춘 건물을 대상으로 연구의 범위를 한정하였다. 모델 건물의 압력 차를 유발하는 연돌효과, 바람, 건물 공조 중 공조 압력에 의한 압력 차는 발생하지 않는 것으로 가정한다.

건물에 공기의 유출입이 일어날 수 있는 구성요소는 다양하나, 상대적으로 누기면적이 큰 출입문, 창문, 램프, 엘리베이터샤프트, 계단실을 건물의 주요 외기 유동경로가 되는 구성요소로 한정하였다. 건물의 공기유동에 영향을 주는 기상조건은 기존 연구자들의 연구결과를 바탕으로 외기온, 풍속, 풍향으로 한정하여 상관관계를 산출하였다. 건물의 외기유입량에 영향을 미치는 인자를 도출하고, 최종적으로 건물의 외기 유입에 영향을 미치는 외기조건과의 상관관계 해석하였다. 본 연구의 범위 및 방법을 연구의 진행 순서에 따라 정리하면 다음과 같다.

### (1) 건물의 공기유동 대한 예비적 고찰

인한 공기유동이 건물에 미치는 영향과 건물의 외피를 통한 침기발생 과정을 해석하기 위하여 건물 내의 공기유동 메커니즘에 대한 기초적인 연구와 관련 이론적 검토를 진행하였다. 이와 함께 관련된 선행연구를 통해 침기가 건물에 미치는 영향과 문제점을 제시하고 본 연구진행과 관련한 기존 연구의 동향과 한계를 파악하였다.

### (2) 건물의 공기유동 모델 해석 방법 고찰

건물 외피로 유입되는 외기의 영향인자와 그 영향도를 파악하기 위해 대상건물을 모델링한 후 시뮬레이션을 실시하였다. 기존의 Airflow 해석 프로그램 및 관련 연구 문헌조사를 통하여, 본 연구의 목적에 부합하는 모델링 방법을 결정하기 위한 근거자료로 활용하였다. 공기유동해석 방법들을 고찰하여 본 연구에 적합한 해석방법으로 Airnet을 엔진으로 사용하는 CONTAM을 선정하고 기본 이론 방정식 및 수치해석 방법을 고찰하였다. 또한, 공기유동해석 프로그램에 필요한 입력데이터인 기상데이터와 기밀도 데이터를 확보를 위해 서울시 표준데이터와 기존문헌 조사 및 대상건물 실측을 수행하였다. 구현한 모델링의 검증을 위하여, 건물의 수직, 수평 압력분포를 측정하여 모델링과 비교하였다.

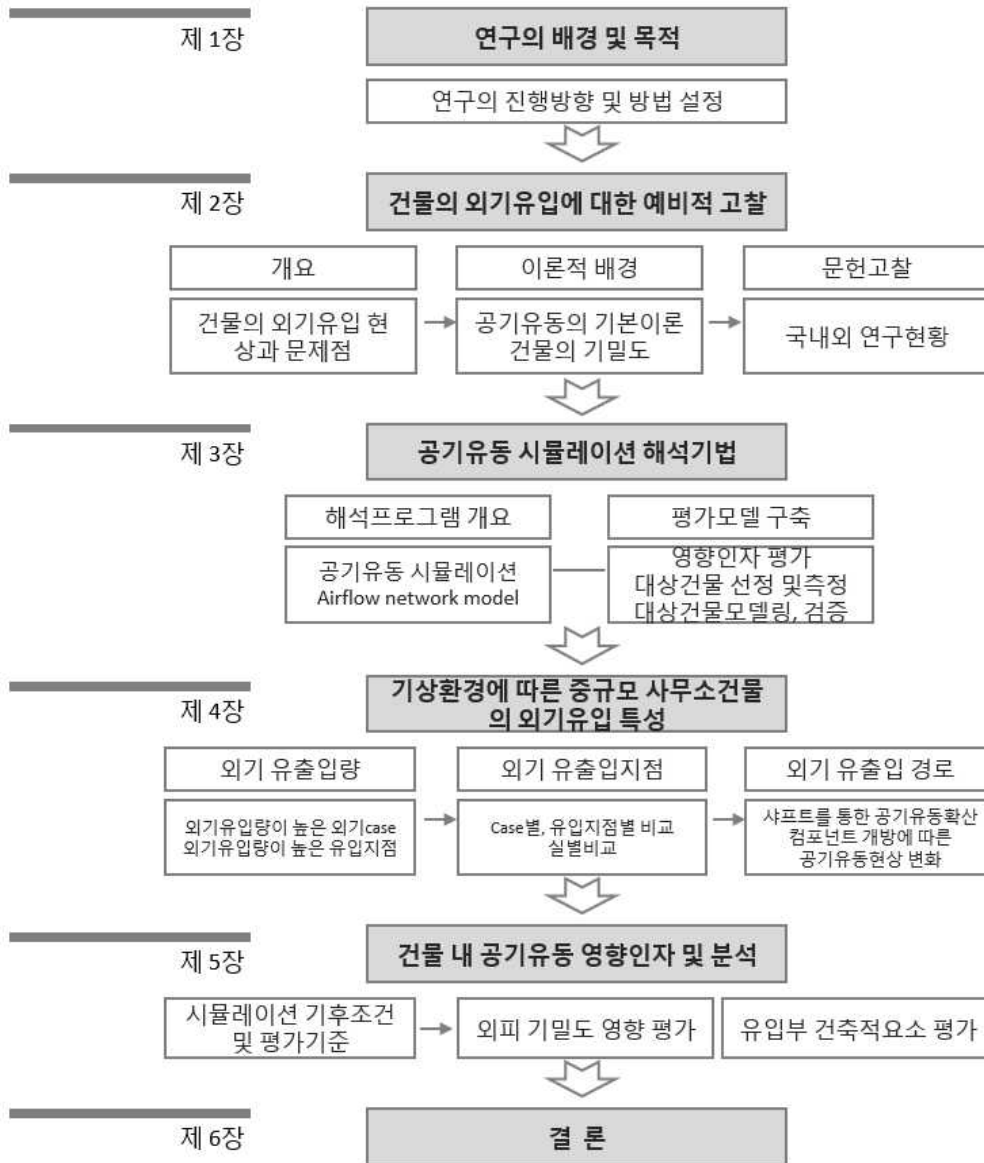
### (3) 건물의 공기유동 영향 요인 분석 및 특성파악

문헌조사를 통해 건물의 외기유입에 영향을 미치는 기후인자들을 도출하고 각 인자의 변화에 따른 외기유입량을 분석하여 주요 인자들을 선정하였다. 각 인자들의 조합으로 외피 구성요소의 외기유입량이 가장 많은 기상조건 시뮬레이션 case로 설정하고, 시뮬레이션 하였다.

#### (4) 건물 외피를 통한 침기와 건물 내 공기유동의 분석

통해 외부, 내부 영향인자에 따른 국내 중규모 사무소 건물의 공기유동 및 확산 특성을 파악한다. 건물 공기유동 특성을 영향을 미치는 인자를 분석하여 건물에서 침기량, 실간 공기유동량, 압력차에 영향을 미치는 인자를 선별할 수 있었다. 그 중 건물의 침기로 인한 문제점을 발생시키는 인자를 선별하고 인자가 공기유동량 변화에 미치는 특성을 파악하였다. 침기로 인한 공기유동의 저감방안에 대해 고찰하고 효과적인 적용방법을 제시하였다.

본 연구의 범위 및 방법에 의한 연구 진행은 다음 [그림 1.1]의 연구 흐름도와 같다.



[그림 1.1] 연구 흐름도



## 제 2 장 건물의 공기유동에 관한 예비적 고찰

장에서는 건물의 공기유동 메커니즘에 대한 기초적인 연구와 관련 이론식을 검토하여 건물에서 침기가 일어나는 과정에 대한 분석을 진행하였다. 이와 함께 관련된 국내외의 침기와 공기유동 선행연구를 통해 침기가 건물에 미치는 영향과 문제점을 도출하고 본 연구와 관련된 기존 연구의 동향과 한계를 파악하였다.

### 2.1 건물의 공기유동에 관한 이론적 고찰

본 절에서는 건물의 공기유동에 대한 이해를 돕기 위한 기본 이론 고찰을 수행하고 공기유동 영향 인자, 공기유동 구동력을 검토하여 침기와 건물 내 공기유동의 발생원인을 고찰하였다.

#### 2.1.1 공기유동 기본이론

건물 내 공기유동은 환경적 요소, 건축적 요소, 설비적 요소, 재실자 요소 등에 의해 결정된다. 즉, 건물 내 공기유동 구동력인 바람, 연돌효과, 공조 시스템, 또는 이들의 결합으로 인한 압력차가 건물 내 공기유동을 결정하게 된다<sup>3)</sup>. 실내외 온도차는 실내외 밀도차에 의한 공기 부력차에 기인하며 건물에 정압으로 작용하여 수직적 공기유동을 발생시킨다. 기계적 공조시스템은 팬을 통해 대상 공간에서 인위적으로 기류를 생성시키며, 풍량은 덕트 및 팬의 영향을 받는다. 경우에 따라 특성대상공간을 기계적으로 가압하거나 감압하여 공간 내 압력 변화를 발생시키기도 한다. 이처럼 건물

---

3) Chun Chen, Bin Zhao, Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor Review Article. Atmospheric Environment, Volume 45, Issue 2, January 2011, Pages 275-288

공기유동이 발생하기 위해서는 외부 바람, 실내외 온도차, 기계적 공조시스템 중 어느 하나의 구동력이 필요하다. 구동력으로부터 발생된 압력차는 공기유동을 발생시키게 되며 건물의 수평적, 수직적 공기 이동 경로 특성에 따라 압력분포 및 공기유동 흐름이 결정된다. 여기서, 공기유동경로에 해당하는 창문, 출입문 등은 재실자의 움직임에 의해 개폐되므로 실제 생활에서는 건물의 누기면적을 변화시키는 요소이며 누기면적 분포변화에 큰 영향을 미치고 있다.<sup>4)</sup>

### (1) 건물 내외의 공기유동 구동력의 정의

건물 내 공기유동의 주요한 영향인자인 공기유동 구동력은 유동이 발생하는 두 지점의 압력차, 밀도차, 높이차에 의해 발생되며 이러한 현상은 베르누이 방정식에 의해 설명될 수 있다. 베르누이 방정식은 아래 식 (4.1) 과 같다.

$$\Delta P = \left( P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} \right) - \left( P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} \right) + \rho g (z_1 - z_2) \quad (2.1)$$

여기서,

$\Delta P$  : 두 지점에서의 전체 압력강하(Pa)

$P_1, P_2$  : 입력과 출력의 정압(Pa)

$V_1, V_2$  : 입력과 출력의 속력(m/s)

$\rho$  : 공기밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 중력가속도(9.81m/s<sup>2</sup>)

$z_1, z_2$  : 입력과 출력의 높이(m)

---

4) Chun Chen, Bin Zhao, Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor Review Article. Atmospheric Environment, Volume 45, Issue 2, January 2011, Pages 275-288

각각의 존에서 압력과 온도를 고려하고 존의 높이를 이용하여 연돌효과에 의한 압력 계산을 하게 된다. 여기에 건물 외피의 개구부에 작용하는 바람에 의한 압력을 더하여 압력의 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta P = P_j - P_i + P_s + P_w \quad (2.2)$$

$P_i, P_j$  : 존 i와 j에서의 전체 압력(Pa)

$P_s$  : 연돌효과에 의한 압력(Pa)

$P_w$  : 바람에 의한 압력(Pa)

## 2.1.2 공기유동 요소(Airflow Elements)

### (1) 개구부를 통한 공기유동의 특성

통해 유입되는 공기유동량은 개구부 전후에 작용하는 압력차의 크기 및 개구부의 기하학적 형상에 의존한다. 틈새를 통한 공기 유동량은 다음과 같은 멱급수(power law)의 형태로 계산된다.<sup>5)</sup>

개구부의 모양과 크기의 각 개구부별로 유동 특성을 가지고 있으며 레이놀즈 수(Reynolds number:Re)의 영향을 반영하는 것으로 알려져 있다. 작은 단면적의 긴 통로를 가진 경우는 층류적인 흐름의 성격을 띠어 속도에 비례하는 저항의 성격을 나타내고, 의도된 개구부와 같은 큰 구멍의 경우는 속도의 제곱 값에 비례하는 저항의 성격을 띤다.

건물에 있어서는 이러한 유동의 현상을 다음과 같이 표현하고 있다.

$$E = f(Re) \quad (2.3)$$

여기서,

E : 오일러 수(Euler's number)

Re : 레이놀즈 수(Reynolds number)

그리고,

$$\frac{\delta P}{\rho V^2} = k \left( \frac{VD_p}{\mu} \right)^m \quad (2.4)$$

$$V = k' \rho^{-\frac{1+m}{2+m}} \mu^{\frac{m}{2+m}} \delta P^{\frac{1}{2+m}} \quad (2.5)$$

---

5) Tamura, G.T., Smoke Movement and Control in High-rise Buildings, NFPA, 1994, pp.32-34.

(mass flow rate, kg/s)은 다음 식(2.6)과 같이 표현된다.

$$w = A V \rho \quad (2.6)$$

식 (2.4)에서 표현된  $V$ 를 대입하면 다음 식(2.7)로 표현할 수 있다.

$$w = k' A \rho^{\frac{1}{2+m}} \mu^{\frac{m}{2+m}} \delta P^{\frac{1}{2+m}} \quad (2.7)$$

여기서,  $n=1/2+m$ ,  $C' = k' \mu^{1-2n}$  이라 두면, 식(2.7)은 다음과 같이 정리된다.

$$w = k' A \rho^n \mu^{1-2n} \delta P^n \quad (2.8)$$

$$w = C' A \rho^n \delta P^n \quad (2.9)$$

$w = \rho Q$  이므로,  $Q$ =부피의 유동율(volume flow rate, m<sup>3</sup>/s)은 다음과 같다.

$$Q = C' A \rho^{n-1} \delta P^n \quad (2.10)$$

일반적으로  $n=0.65$  값으로 많은 경우의 틈새와 개구부에 대입한다.

$$Q = C (\delta P)^n \quad (2.11)$$

흐름계수  $C$ 와 흐름지수  $n$ 의 값은 건물에서 존재하는 틈새구멍의 특성에 따라서 정의된다. 그리고 아주 협소한 구멍의 경우에는 다음과 같이 주어진다.

$$Q = KA [(2/\rho)(\delta P)]^n \quad (2.12)$$

식 (2.10), (2.11)과 (2.12)에서 보는 바와 같이 틈새에서의 공기유동 흐름은 벽이나 문 등의 개별특성과 압력차에 의해서 정의된다.

,  
 $\delta P$  : 압력차(Pa)  
 $\rho$  : 밀도(kg/m<sup>3</sup>)  
 $V$  : 속도(m/s)  
 $k$  : 상수  
 $\mu$  : 절대속도(m/s)  
 $m$  : 지수  
 $A$  : 단면적(m<sup>2</sup>)  
 $K$  : 흐름계수  
 $n$  : 흐름지수

## 2.2 기존 연구문헌 분석을 통한 침기가 건물에 미치는 영향 및 문제점 도출

통해 건물에서의 공기유동 관련한 연구흐름을 파악하고 기존 연구의 한계점으로부터 본 연구의 방향을 설정하고자 한다.

Tamura와 Wilson<sup>6)</sup>은 측정을 통해 건물 외피의 기밀성과 건물의 압력분포특성과의 관계에 대해 검토하였으며, 일반적인 사무조건물의 외피 기밀성능 파악하였다. 엘리베이터 및 계단실 문에 대해 평균적인 누기량을 측정하여 현장실측의 제한적 문제점을 지적하고 시뮬레이션 방법을 제시하였다.

Helmut와 Diamond<sup>7)</sup>는 고층건물의 환기설계 전략을 제시하기 위한 목적으로, 고층 주거건물의 압력분포 및 온도분포와 세대기밀성을 측정하였다. 아울러 실측한 값을 바탕으로 Airflow network model을 이용하여 온도차별, 풍향, 풍속별 환기시스템의 공기유동량 분석하였다.

Maatouk 등<sup>8)</sup>은 연돌효과 압력분포에 대한 외부 바람의 영향을 검토하였다. 건물 계단실의 외부풍속 및 풍향, 외벽 기밀성의 변화에 따른 건물의 공기유동의 변화를 검토하였다.

---

6) Tamura, G. T. and Wilson, A. G., Building pressure caused by chimney action and mechanical ventilation, ASHRAE Transactions, Vol 73, Part2, 1968

7) Helmut, E. F. and Diamond, R. C., Air flow distribution in a high-rise residential building, Proceedings of Roomvent 98, Vol. 1, 1998, pp2-8.

8) Maatouk, K., Yoshino, H., Liu J., The effect of the wind speed velocity on the stack pressure in medium-rise buildings in cold region of China, Building and Environment, Vol. 42, 2007, pp.1081-1088.

경우, 조재훈 등<sup>9)</sup>은 연돌효과의 문제점을 파악하고, 이에 대한 저감방안을 수립하기 위해 실측 및 시뮬레이션을 수행하고 각 방안에 대한 연돌효과의 영향을 평가하여 저감방안을 제시하였다.

박동률<sup>10)</sup>은 건물의 영향요인을 분석하고 이를 바탕으로 여러 가지 저감대책을 제안하고 분석하였으며, 건물에 대한 종합적인 연돌효과 대책을 제시하였다.

서정민 등<sup>11)</sup>은 건물 내 공기유동 영향인자들이 건물의 공기유동 특성에 어떤 영향을 미치는지 파악하기 위해, 다수의 시뮬레이션을 수행하였다.

건물 전체의 공기유동을 규명하기 위한 관련 연구는 건물의 고층화와 함께 본격적으로 시작되었으며, 국내에서도 최근 건물 규모의 증가와 함께 건물의 공기유동에 따른 문제점이 나타나게 되었고, 이를 저감하고자 하는 연구가 활발히 수행되고 있다. 특히 최근 건물의 초고층화와 건설기술의 발달로 인한 건물의 고기밀화에 의한 오염물질 확산에 대한 검토도 점차 이루어지고 있다.

그러나 여러 가지 요인으로 다양하게 나타날 수 있는 건물 내 공기유동 특성에 대한 분석은 부족한 점을 확인할 수 있었으며 건물 내 발생하는 공기유동에 따른 문제에 대해 해결방안을 제시하고 있으나 건물 전체적인 규모에서의 문제점 검토 및 해결하기 위해서는 한계가 있었다. 또한, 대다수의 연구가 겨울철 발생하는 연돌효과에 집중되어 있었으며 봄철 국내 대기오염도의 증가로 인한 실내 공기질 저하와 여름철 냉방부하의 문제 등 건물의 공기유동이 야기하는 문제는 연중 발생하는 점으로 보았을 때, 관련 연구와 특성에 대한 분석도 사계절에 걸쳐 이루어져야 할 것으로 사료된다.

---

9) 조재훈, 양인호, 여명석, 김광우, 사례연구를 통한 고층건물에서의 연돌효과 실측 및 저감방안, 대한건축학회논문집 계획계, 제18권 제7호(통권165호), 2002

10) 박동률, 고층건물에서 연돌효과의 영향요인 분석 및 저감방안에 대한 연구, 성균관대학교 석사논문, 2008

11) 서정민, 윤성민, 이중훈, 송두삼, 고층 주거건물의 공기유동에 영향을 미치는 인자 분석, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, 2010, pp59-64



## 2.3 소 결

장에서는 건물의 침기의 영향을 고려한 건물에서의 공기유동 특성에 관한 연구를 진행하기에 앞서 건물의 침기에 의한 문제점과 관련된 이론식을 고찰하였다. 또한 기존의 시뮬레이션을 통한 분석과 관련문헌 조사를 통하여 건물에서의 공기유동 관련한 연구흐름을 파악하고 기존 연구의 한계점을 살펴보았다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.<sup>12)13)</sup>

- 1) 계단, 엘리베이터 샤프트, 설비 샤프트, 공조 덕트 등을 통한 공기유동은 오염물질을 건물전체에 확산시켜 실내 공기질 저하를 초래할 수 있기 때문에 중요하게 다루어져야 한다. 겨울철 난방시에 실내외의 온도차가 커서 이에 따른 건물 내외부의 압력차에 의해 출입구나 창의 개구부에서 외기침입이 쉽고, 창바람이 입구에서 계단이나 샤프트를 통하여 건물의 내부에 스며들게 된다. 또한 상층부에서의 따뜻한 공기가 실외로 유출되면서 외벽에 결로가 발생하여 결로수가 결빙되는 현상과 그에 따른 외표면 백화현상이 발생하기도 한다.
- 2) 겨울철 연돌효과의 영향으로 엘리베이터 문 및 출입문 개폐의 어려움과 틈새 소음의 문제점이 발생할 수 있다. 연돌효과로 인한 압력분포와 공기유동 특성을 고려하지 않은 기계 공조시스템은 실내 및 복도의 환기성능을 저하시킬 수 있다.
- 3) 건물 전체의 공기유동을 규명하기 위한 관련 연구와 해결방안을 제시하고 있으나 건물 전체적인 규모에서의 문제점 검토 및 해결하기 위해서는 한계가 있었다. 또

---

12) 한국FM학회, 수원화성 관망탑의 연돌효과에 의한 영향분석 최종보고서, 한국FM학회, 2000, pp.9-10.

13) ASHRAE Research Project 661 "Field Verification of Problems Caused by Stack Effect in Tall Buildings", 1993, pp.4-5.

, 대다수의 연구가 겨울철 발생하는 연돌효과에 집중되어 있었으며 봄철 국내 대기오염도의 증가로 인한 실내 공기질 저하와 여름철 냉방부하의 문제 등 건물의 공기유동이 야기하는 문제는 연중 발생하는 점으로 보았을 때, 관련 연구와 특성에 대한 분석도 사계절에 걸쳐 이루어져야 할 것으로 사료된다.

- 4) 따라서, 건물의 고층화에 따른 연돌효과의 문제를 해결하기 위해서는 건축계획 초기단계에서 이를 고려하여 그 문제를 최소화하는 방향으로 계획이 이루어져야 할 필요성이 있다. 이를 위해서 먼저 공기유동 모델을 통한 건물에서의 공기유동 해석이 필요하고, 다음으로 이러한 분석을 바탕으로 공기유동의 저감방안을 효과적으로 적용할 수 있는 적용방법이 마련돼야 한다.

## 제 3 장 건물의 공기유동 모델 해석 방법 고찰

장에서는 건물의 침기 영향인자를 시뮬레이션하기 위해, 기존에 건물 내에서의 공기유동 해석을 위해 사용되는 시뮬레이션 방법을 분석하여 본 연구에 적합한 시뮬레이션 툴을 선정하였다. 다음으로 대상건물을 영향평가 모델링을 위한 데이터 마련을 위하여 해석 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션의 입력값은 측정된 기상데이터, 기존 연구에서 제시된 데이터, 건물에서 측정한 주요 개구부의 기밀도 데이터가 사용되었다.

### 3.1 건물 공기유동 해석모델의 검토

다수의 존, 공기유동경로, 공조 시스템으로 이루어진 고층 주거건물의 특성 상, 건물 전체 모델링에는 많은 시간과 노력이 필요하며, 특히 모델링을 위한 입력데이터의 양이 상당히 많아진다. 실제와 유사한 합리적인 결과를 도출하기 위해서는 건물의 공기유동 특성을 기반으로 모델의 설정, 입력변수의 수집 및 정의, 시뮬레이션 모델의 보정과 같은 모델링 전반의 각 작업을 타당하게 진행해야 한다.

### 3.1.1 공기유동 해석 모델

원하는 결과의 요구에 따라 다양한 공기유동해석 모델들과 이러한 모델들의 알고리즘을 바탕으로 한 프로그램들이 개발되어 사용되고 있다. 일반적으로 모델링의 복잡한 정도에 따라 건물에서의 공기유동 해석방법들은 다음의 4가지로 크게 구분된다.<sup>14)</sup>

- ① 실험적 모델 (Empirical Models)
- ② 네트워크 모델 (Network Models)
- ③ 존 모델 (Zone models)
- ④ 필드 모델 (Field or CFD Models)

#### (1) 실험적 모델 (Empirical Models)

각국의 건축관련 협회나 학회에서 건물의 실에서 공기의 평균속도나 공기 흐름의 양을 추정하는 방법으로 채택하고 있는 간단한 이론적 모델이다. 주로 실험적인 측정치와 경험치를 바탕으로 개구부의 형태나 위치에 따라 유동계수값을 정리하여 이용할 수 있도록 하였고 간단한 수계산이 가능한 형태로 주어져 있다.

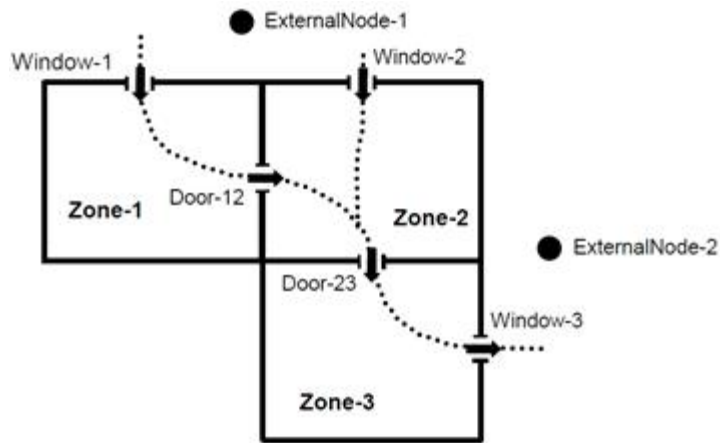
#### (2) 네트워크 모델 (Network Models)

일반적으로 건물은 다양한 존의 상호 관계에 의해서 공기 유동이 결정되어진다. 이러한 경우에 다수의 존에서의 공기유동 해석은 네트워크 모델을 이용하여 해석할 수가 있다. 네트워크 모델에서 건물은 다수의 존들과 외기 존이 모여진 결점(node)으로 이루어져 그리드의 형태로서 구현되고 다양한 결점간의 상호연결은 각각의 주어진

---

14) Francis Allard, NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS, James&James, London, 1998, pp.63 ~ 122.

갖는 유동경로(flow path)로써 연결되어진다. 따라서 건물에서 실은 존으로, 개구부는 그 실을 연결시켜주는 유동경로로서 표현되어진다. 외부와 내부의 모든 결점들은 실 간의 압력값에 영향을 준다. 네트워크 모델을 이용한 프로그램으로는 CONTAMW, COMIS, PASSPORT-AIR, BREEZE 등이 있다.<sup>15)</sup>



[그림 3.2] Network model의 예

### (3) 존 모델 (Zone models)

건물에서 실내 온도나 습도, 그리고 기류의 분포를 해석하는 것이 중요하게 여겨지는 경우에 공기유동 해석은 실내 존을 여러 개의 작은 존으로 나누거나 온도나 밀도에 따라 한 개 이상의 레이어(Layer)로 나누어서 유동을 해석하는 것이 필요하다. 존 모델은 실내에서의 온도나 압력분포를 해석하기 위해서 대상의 존을 몇 개의 거시적인 하부존(subzone)으로 나눈 다음 질량이나 에너지 방정식을 통하여 공기유동을 해석하는 방법이다. 일반적으로 존 모델은 네트워크 모델과 필드 모델의 중간적인 해

15) Dols, W. S., Walton, G. N., CONTAMW 2.4 user guide and program documentation, NISTIR 7251, National Institute of Standards and Technology, 2006. (이미지 출처)

방법으로 필드모델 보다는 덜 복잡한 방법으로 네트워크 모델에서 구하지 못하는 구체적인 온도나 기류속도의 결과값을 구할 수 있다. 존 모델을 이용한 프로그램으로는 ASET, FAST, Harvard 5 Code, CFAST 등이 있다.

#### (4) 필드 모델 (Field or CFD Models)

건물에서 하나의 큰공간에서 구체적인 기류나 온도, 기류의 속도와 방향을 분석할 때에는 대상이 되는 존을 수많은 제어체적(control volume)으로 나누어 미소체적간의 역학 관계를 계산하여 공기유동을 해석하는 필드 모델이 사용된다.

이 중 CFD(Computational fluid dynamics)는 유체의 흐름을 실험에 의한 측정적 방법이 아닌 컴퓨터를 이용한 수치 해석을 하는 것이다. 컴퓨터를 이용한 수치 해석적 방법은 많은 비용과 시간이 드는 실험에 의한 방법보다 빠르고 경제적인 장점이 있다. 프로그램은 STAR-CD, FLUENT, PHOENICS 등이 있다.

### 3.1.2 네트워크 모델<sup>16)</sup>

네트워크 모델은 개별 실 사이의 공기유동을 해석하기 위한 것으로 중고층 공동주택 또는 고층건물과 같이 다중 존으로 구성된 건물에서 외피와 개구부, 실내공간을 통한 공기유동 해석에 적합하다. 본 연구에서는 각 존과 존사이의 공기 흐름과 이동량을 주요한 분석 대상으로 삼고 있기 때문에 앞서 분석한 방법 중 이에 가장 적합한 네트워크 모델을 선정하여 분석에 활용하였다. 멀티존 모델을 이용한 네트워크 해석방법은 개별 개구부를 통한 공기유동량을 계산하는데 적용되며, 이 해석방법은 실제 기계설비와 침기에 의한 공기유동량을 가장 근사하게 해석하고 있다.

#### (1) 네트워크 모델의 원리

네트워크 모델은 건물의 실이나 존(zone)을 각각의 결점(nodes)으로 고려하고 건물전체를 이러한 결점으로 구성된 격자시스템(grid system)으로 가정하며, 두개의 결점간의 연결은 주어진 저항을 갖는 공기유동 경로(airflow path)로 시뮬레이션 된다. 네트워크 모델에서의 공기유동 방정식(airflow equation)은 각 유동경로간의 압력차와 그에 따른 개구부를 통한 공기유동을 고려하여 구해진다.

#### (2) 기본이론 방정식

네트워크 모델의 공기유동 해석은 다음의 알고리즘을 바탕으로 하고 있다. 존 j에서 존 i로의 공기유동량  $F_{j,i}$ 는 다음 식 (3.1)과 같이 압력차의 함수로 주어진다.

$$F_{j,i} = f(P_j - P_i) \quad (3.1)$$

---

16) Dols, W. S., Walton, G. N., CONTAMW 2.4 user guide and program documentation, NISTIR 7251, National Institute of Standards and Technology, 2006.

존 i에서의 공기질량은 이상기체법칙을 따른다고 가정하면 다음 식 (3.2)처럼 표현할 수 있다.

$$m_i = \rho_i V_i = \frac{P_i V_i}{R T_i} \quad (3.2)$$

비정상 상태의 해석은 질량보존의 법칙에 의하여 다음과 같다.

$$\frac{\partial m_i}{\partial t} = \rho_i \frac{\partial V_i}{\partial t} = \sum_j F_{j,i} + F_i \quad (3.3)$$

네트워크 모델에서는 각 존에서의 공기유동을 준정상상태(quasi-steady condition)라는 가정 하여 전체 존에서의 공기유동량은 다음과 같다.

$$\sum_j F_{j,i} = 0 \quad (3.4)$$

여기서,

$F_{j,i}$  : 존 j에서 i로의 공기유동량(kg/s)

$V_i$  : 존 i의 용적( $m^3$ )

$m_i$  : 존 i에서의 공기질량(kg)

P : 압력(Pa)

$T_i$  : 존 i에서의 절대온도(K)

R : 기체상수(J/kgK)

t : 시간(sec)



### (3) 존의 압력 해를 구하기 위해 활용된 수치해석 방법

모델은 건물의 각 실이 압력 결점으로 표현된 개념에 근거하고 있다. 결점들은 크랙이나 창문과 문의 누기면적을 통한 유동경로에 의하여 연결되어져 있다.

경로 사이의 압력차에 따른 공기유동량은 비선형 방정식에 의존하므로, 뉴튼-랩슨 방법(Newton-Raphson Method: N-R)에 의한 선형방정식의 반복계산으로 수치적 해를 구할 수 있다.

N-R방법에서, 특정 결점의 미래의 압력은 현재 압력과 수정압력으로 식(3.5)와 같이 표현한다.

$$\{P\}^* = \{P\} - \{C\} \quad (3.5)$$

여기서  $\{P\}$ 는 현재압력,  $\{C\}$ 는 수정압력이고  $\{C\}$ 는 다음 행렬식에 의해 구하여진다.

$$[J]\{C\} = \{B\} \quad (3.6)$$

여기서  $\{B\}$ 의 각 열의 성분은 식(3.7)에서 구할 수 있다.

$$B_{i,j} = \sum_j F_{j,i} \quad (3.7)$$

그리고  $[J]$ 는 정방(결점수 $\times$ 결점수)자코비안 행렬인데 그것의 성분은 다음과 같이 주어진다.

$$J_{i,j} = \sum_i \frac{\partial F_{j,i}}{\partial P_j} \quad (3.8)$$

(3.7), (3.8)에서  $F_{j,i}$  과  $\frac{\partial F_{j,i}}{\partial P_j}$  은 현재 계산된 압력{P}에서 값을 구할 수 있다.

### 3.1.3 공기유동 경로(Airflow Path)의 정의

모델에서 공기유동 경로가 되는 각각의 개구부와 틈새 등과 같은 공기유동 요소(Airflow elements)에 관하여 정의가 되어져야 한다. 일반적으로 공기유동 요소는 공기유동 경로를 통하는 유동량과 경로 사이의 압력강하로 묘사된다.

#### (1) 공기유동 요소(Airflow Elements)

##### ① 멱급수 유동요소(Powerlaw Flow Elements)

대부분의 공기유동 모델은 유동량과 크랙이나 건물 개구부에서의 압력차 사이의 다음 실험식을 기본으로 한다.

$$Q = C (\Delta P)^n \quad (3.13)$$

급수 방정식의 일반적인 변형으로 F는 질량 유동율이며 단위는 kg/s이다.

$$F = C (\Delta P)^n \quad (3.14)$$

또 다른 변형식인 다음 식은 구멍의 방정식과 관련이 있다.

$$Q = C_D A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (3.15)$$

여기서,

$Q$  : 침기/누기량( $m^3/s$ )

$C_D$  : Discharge coefficient

$A$  : 누기 면적( $m^2$ )

, Flow coefficient는 0.5 ~ 1.0 사이에 있게 된다. 작은 크랙의 경우는 0.65에 근접하는 값을 가지는 반면에, 커다란 개구부의 경우는 0.5에 가까운 값을 가진다. 측정값은 일반적으로 0.6~0.7사이의 값을 갖는다.

## ② 틈새면적(Leakage Areas)

멱급수 모델(Powerlaw model)이 개구부의 특성에 따라 누기면적 계산식에 이용되어져, 유효 누기면적은 식(3.15)의 다른 정리인 다음 식(3.16)로 구해진다.

$$L = \frac{Q_r \sqrt{\rho/2\Delta P_r}}{C_D} \quad (3.16)$$

여기서,

$L$  : 유효 혹은 실제 누기면적(m<sup>2</sup>)

$\Delta P_r$  : 압력차(Pa)

$Q_r$  :  $\Delta P_r$ 에서의 기류량(m<sup>3</sup>/s)

$C_D$  : Discharge coefficient

## ③ 계단실(Stairwells)

계단실은 작은 저항을 가지면서, 각 층에 수직적으로 연결된 존으로 모델링 된다. 이러한 계단실에서의 공기흐름은 Achakji와 Tamura의 실험식<sup>17)</sup>을 바탕으로 하고 있다. 각 층에서의 공기저항을 고려한 계단실의 유효면적  $A_e$ 를 다음 식(3.17)과 식(3.18)로 구할 수 있다.

$$A_e \approx A_s (0.089h)(1.0 - 0.14\sqrt{d}) \quad (3.17)$$

---

17) Achskji, G.Y. & G.T. Tamura., "Pressure Drop Characteristics of Typical Stairshafts in High-rise Buildings", ASHRAE Transactions, Vol 94, Part1, 1988, p.1224.

$$A_e \approx A_s(0.083h)(1.0 - 0.24\sqrt{d}) \quad (3.18)$$

- ,  
 $A_s$  : 유효면적(m<sup>2</sup>)  
 $h$  : 층간 높이(m)  
 $d$  : 단위면적(m<sup>2</sup>)당 채실자 수

#### ④ 크랙(Cracks)

떡급수의 식으로 직접 변환되는 크랙을 통한 유동량은 다음 식(3.19)로 구할 수 있다.

$$Q = ka (\Delta P)^n \quad (3.19)$$

여기서,

- $n$  :  $0.5 + 0.5 \exp(-W/2)$   
 $k$  :  $0.0097 (0.0092)^n$   
 $C_b$  :  $\sqrt{\rho_0} a 0.0097 (0.0092)^n$   
 $W$  : 크랙의 폭(mm)  
 $a$  : 크랙의 길이(m)

## (2) 해석 프로그램(CONTAMW)

모델의 알고리즘을 바탕으로 하는 전산 툴들은 시간이 적게 들고 사용이 편리하다는 장점이 있다. 사용자가 정의한 건물구현과 특정 순간의 기후조건을 고려한 공기유동 예측의 결과를 얻을 수 있다. 현재 네트워크 모델을 기반으로 하고 국제적으로 신뢰도를 인증 받은 주요 다중 공기유동 해석 프로그램으로는 CONTAMW, BREEZE, ESP, PASSPORT-AIR, COMIS 등이 있다. 본 연구에서 사용한 CONTAMW는 NIST에서 개발한 실내공기환경 분석 네트워크 모델 프로그램이다. 특히 CONTAMW는 고층건물의 연돌효과 분석을 위한 공기유동 해석에 사용되어 검증되어진 바 있고 건물에서 각 실과 수직적 샤프트의 구현이 용이하고 유동경로를 정의하는 사용자 인터페이스가 편리하다는 장점이 있다.<sup>18)</sup>

---

18) Walton, G.N., CONTAMW-User Manual, NISTIR 6476, Building and Fire Research Laboratory-National Institute of Standards and Technology, 2000.

## 3.2 건물 공기유동 모델

### 3.2.1 대상건물 개요 및 측정

오피스 건물을 대상건물로 선정하여 CONTAMW를 이용한 건물의 모델링 입력 값으로 사용될 건물 구성요소의 기밀성능과 모델링 검증을 위해 압력분포 측정을 실시하였다.

#### (1) 대상건물 개요

대상건물은 서울시 관악구에 위치한 중규모 사무소 건물로 단일동이며 지상5층 지하 2층 규모로 건물의 높이는 약 23m이다. 철근 콘크리트 구조이며 커튼월 외벽 건물이다. 본 건물은 지하 2층에서부터 지하1층까지 주차장 및 다중이용시설로, 지상 1층은 다중이용시설, 지상 2층부터 지상 5층까지 사무소로 사용된다. 대상건물 개요는 <표 3.1>와 같다.

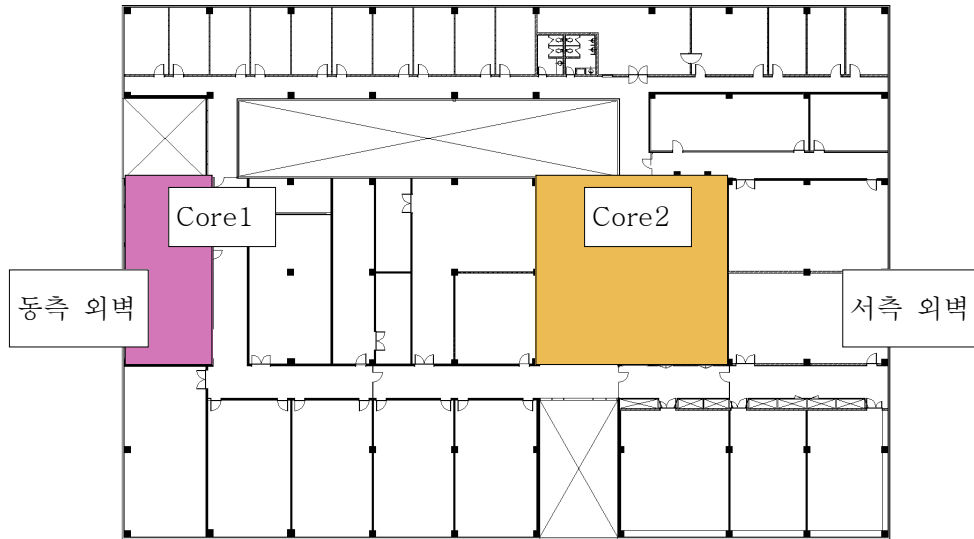


[그림 3.3] 대상건물의 전경

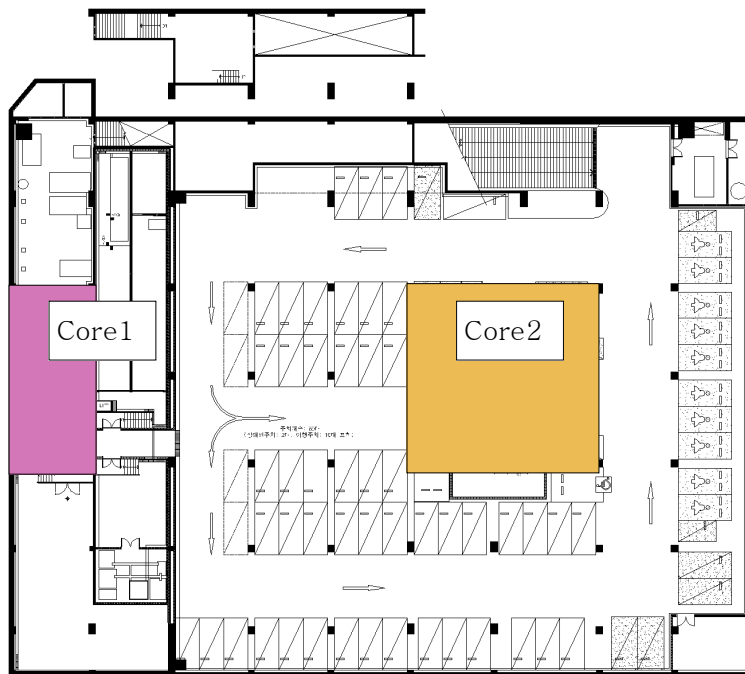
<표 3.1> 대상건물 개요

위 치	서울시 관악구
규 모	지상 5층, 지하 2층
구 조	철근 콘크리트, 커튼월
용 도	사무소, 판매시설
주 차 방 식	램프진입 지하주차장 (Drive-in parking)
연면적	약 17,000㎡
건축면적	약 4,815 ㎡





[그림 3.3] 대상건물의 평면도 (3층)

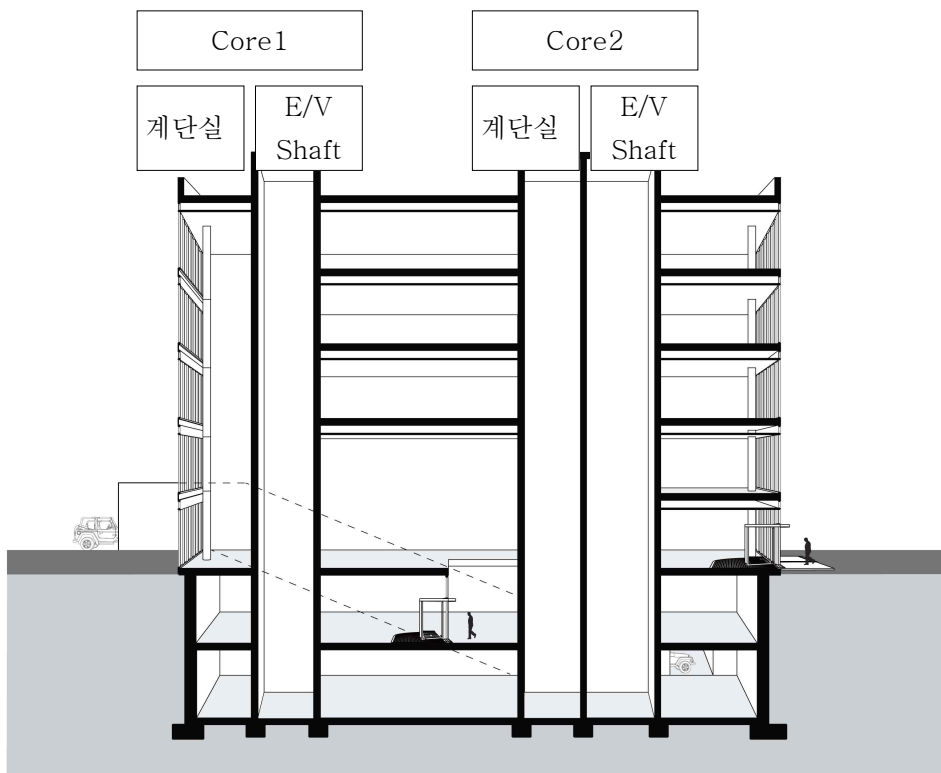


[그림 3.4] 대상건물의 평면도 (지하 2층)

## (2) 대상건물 측정

모델링 입력 값으로 사용될 건물의 구성요소의 기밀성과 모델링 검증을 위한 압력분포 측정을 실시하였다. 건물을 구성하는 요소의 조사를 통해 반복적으로 사용되는 대표 구성요소를 선정하였으며 블로어 도어를 이용한 가/감압법으로 구성요소의 기밀성을 측정하였다. 측정일의 실내외 온도차는 6℃ (평균 외기온도 : 20℃ , 평균 실내온도 : 26℃ )이었다. 공조시스템은 가동하지 않고 있었다.

본 건물은 수직적 공기유동경로가 되는 지하부터 최상층까지 연결된 2개의 코어가 있으며 편의상 동측 코어를 Core1, 서측 코어를 Core2라고 정하였다. Core1의 계단실은 외벽과 접해있고 Core2는 건물의 내주부에 위치하고 있다. 출입구는 방풍실을 갖춘 미닫이문이 설치되어있다.



[그림 3.5] 대상건물의 단면

## 1) 측정

건물의 기밀성능을 측정하는 방법에는 크게 Tracer gas method와 Blower door method가 있다. 이중 Blower door method는 건물의 구성요소에 팬을 설치하고 실내로 외기를 도입하여 가압하거나 실내공기를 외부로 방출시켜 실내고 감압시킨 후 실내외 압력차가 임의의 설정값에 도달하였을 때 팬의 풍량을 측정하여 실측대상의 침기량 또는 누기량을 산정하는 방법이다. 비교적 적은 비용으로 신속하게 측정대상의 기밀성능을 파악할 수 있다는 장점이 있어 현장 실측에 널리 사용되고 있다.<sup>19)</sup>

## 2) 압력 측정

시뮬레이션 모델을 검증하기 위해 시뮬레이션 모델에서 해석한 주요 지점에서의 절대압과 건물에서 실측한 절대압의 비교를 수행하였다. 이를 위해 건물의 수직 수평의 압력분포를 절대압계를 통해 측정하고 외기와 홀, 홀과 엘리베이터의 차압은 차압계를 통해 측정하였다. 대상건물은 반복적인 공간 구조 및 요소로 구성되어 있다.

---

19) Henri C. Fennell and Jonathan Haehnel, Setting airtightness standards, 2005, ASHRAE journal, Vol.47, pp.26-30



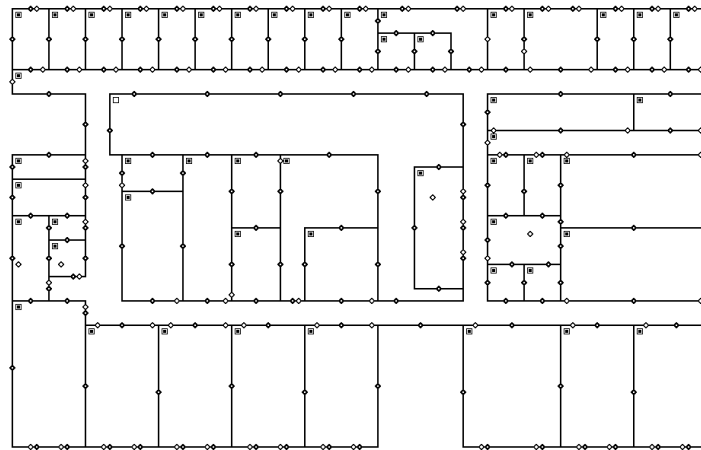
[그림 3.7] 건물 구성요소의 예



[그림 3.8] 건물 구성요소 기밀화 작업

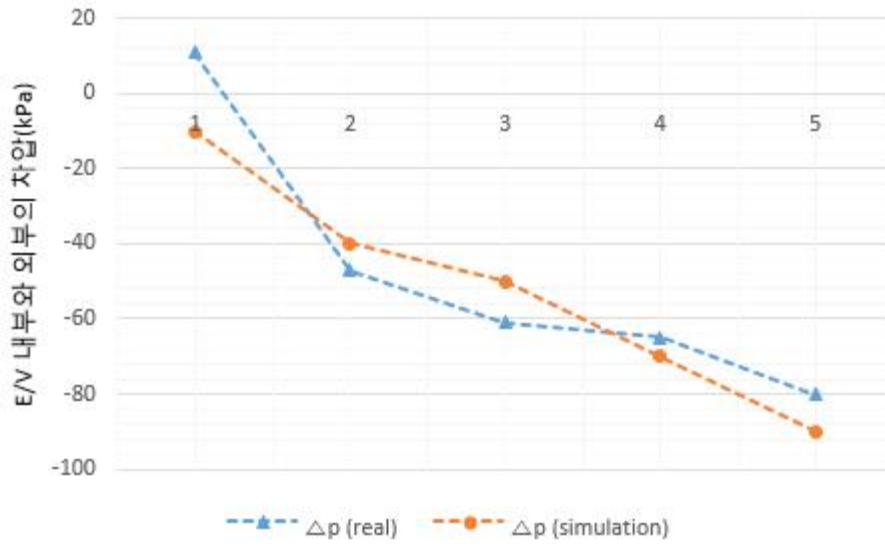
### 3.2.2 모델링 및 검증

위한 시뮬레이션 프로그램으로 CONTAMW 3.0을 이용하였다. 미국 NIST에서 개발한 CONTAMW 3.0은 Airflow network model 구현 가능하며, 외부와 건물의 존, 존과 존 간의 공기유동 해석이 가능하다. CONTAMW 모델에서의 공기유동경로는 창, 현관문, 내부 출입문, 엘리베이터 홀, 계단실, 수직 샤프트, 주차 출입 등이며, 공기의 수직 이동이 가능하도록 모델링 하였다. 기밀성능 측정을 통해 도출한 구성요소의 누기면적을 CONTAMW에 입력하여 Airflow network model 을 구현하였다. 건물 외피를 통한 외기유입을 해석을 위해 외부풍속을 고려할 때, 건물 표면의 풍압계수가 필요하다. 대상건물은 직사각형의 단순한 형태로 CONTAM Library에서 제공하는 풍압계수는 차용하였다.



[그림 3.9] 건물 Airflow network modeling (3층)

실내외 및 실간 차압을 측정하여 비교함으로써 모델의 타당성을 검증하였다.



[그림 3.9] E/V 내부와 외부의 차압 측정값과 시뮬레이션 결과 값

### 3.3 소 결

장에서는 공기유동해석 방법들을 조사하여 본 연구에 적합한 해석방법을 선정하고 네트워크모델의 기본 이론 방정식을 고찰하였다. 또한 공기유동해석을 위한 평가모델 개발 프로세스를 진행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 여러 가지 공기유동 해석 방법 중에서 고층건물과 같이 다중 존으로 구성된 건물에서의 외피와 개구부, 실내공간을 통한 공기유동은 건물 부위별 형상, 개구면적 등의 저항에 영향을 받기 때문에, 다중 존을 해석하기 위한 네트워크 모델 방법이 적합하다.
- 2) 본 연구에서는 네트워크 모델 알고리즘을 기본으로 NIST에서 개발하여 지금까지 다수의 연구에 적용되어 신뢰성을 인정받은 CONTAMW 프로그램을 선정하였다.
- 3) 대상건물은 서울시내에 있는 건물로 설정하고, 건물의 모델링 입력 값으로 사용될 건물의 구성요소의 기밀성능과 모델링 검증을 위한 압력분포 측정을 실시하였다. 실내외 온도는 서울지역의 일반 설계기준으로 하였다. 외벽은 커튼월이 이었으며 기존 연구문헌을 통해 조사한 값과 비교했을 때 비교적 기밀한 것으로 나타났다. 출입구는 방풍실을 갖춘 미닫이문이 설치되어있다.
- 4) 건물의 공기유동에 영향을 주는 건축적 요소 중 대상건물의 구성요소의 기밀성능을 측정하였다. 그 결과 계단실문과 엘리베이터문의 경우 기존 연구에서 측정한 기밀도 값과 유사한 것으로 나타났다. 기존 연구문헌의 결과를 참조하여 인자의 수준을 정하였다.





## 제 4 장 건물의 침기와 영향인자 분석

### 4.1 개 요

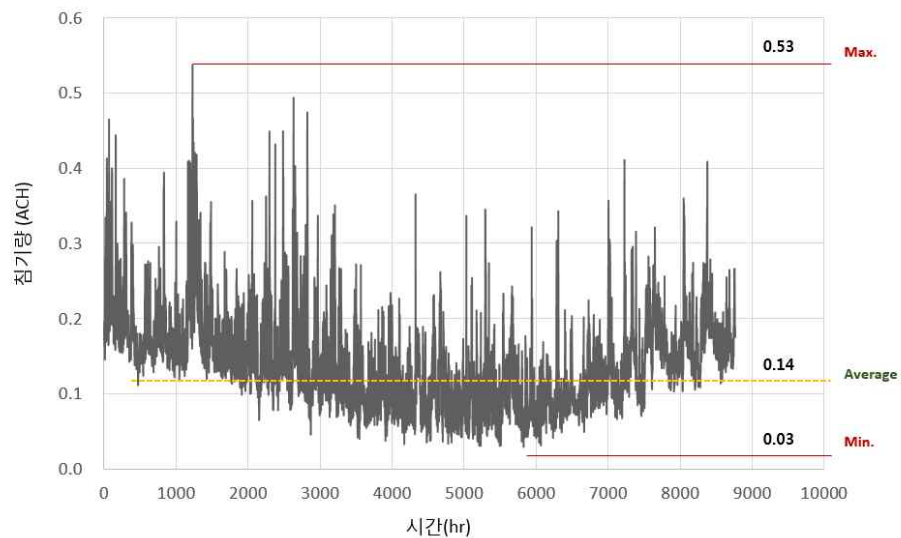
공기유동은 침기와 실간 공기유동에 의해 발생된다. 침기는 난방부하 증가, 열쾌적성 저하의 주요원인이며, 실간 공기유동은 오염물질 확산, 냄새확산의 주요 원인으로 알려져 있다. 건물의 공기유동 경로에 해당하는 구성요소의 기밀성능과 실내외 온도에 따라서 건물 내의 압력분포가 달라진다. 건물의 공기유동 영향분석을 위해서는 각 요소들에 대한 이해가 요구되며, 이를 위해서는 실제 건물에서 공기유동에 영향을 주는 인자들을 분석하는 과정이 필요하다.

본 장에서는 건물의 침기와 실간 공기유동에 대한 요인 및 영향인자 분석하기 위해서 제 3장에서 확인한 건물의 공기 유동에 대한 이론적 고찰을 바탕으로 대상건물의 공기유동 경로의 특성을 분석하고 공기유동에 영향인자를 정의하였다.

## 4.2 대상건물의 공기유동 특성

### 4.2.1 대상건물의 연간 침기량

[ 4.1]은 대상건물의 연간 침기량을 나타내고 있다. 대상 건물의 연간 침기량의 평균값은 0.14ACH, 연간 침기량 범위는 0.03~0.53ACH로 비교적 침기량의 변화 폭이 큰 것으로 나타났다. 특히 겨울철에 변화폭이 큰 것을 확인할 수 있으며, 연평균 침기량보다 적은 구간은 여름철에 집중되어 있다.



[그림 4.11] 대상건물의 연간 침기량

### 4.3 건물에서의 공기유동 영향인자 분석

#### 4.3.1 영향인자 정의

공기유동은 온도차, 공기유동경로 위치와 크기 건물 높이, 외피 및 내벽의 재료 유형과 시공 정밀성, 침기량과 누기량 등에 다양한 인자들의 영향을 받는다. 이것은 압력차에 기인하는 환경관련 인자와 누기민적에 기인하는 건축관련 인자로 구분할 수 있다. 공기유동에 미치는 영향을 조사하기 위해 실내외온도차, 풍향, 풍속, 외피 누기면적과 실내 공기유동에 영향을 주는 내부 기밀성능, 샤프트와 지하주차장 램프의 면적을 분석 대상으로 선정하였다. <표 4.1>은 건물 공기유동에 영향을 미치는 인자들을 나타낸다.

<표 4.1> 건물 공기유동 영향인자

구 분		인 자
환경 관련 인자		실내외온도차
		풍속
		풍향
건물 관련 인자	건물 외피	커튼월 누기면적
		현관문 누기면적
		지하주차장 출입구
	실내	계단실 문
		계단실 샤프트
		E/V 문
		E/V 샤프트

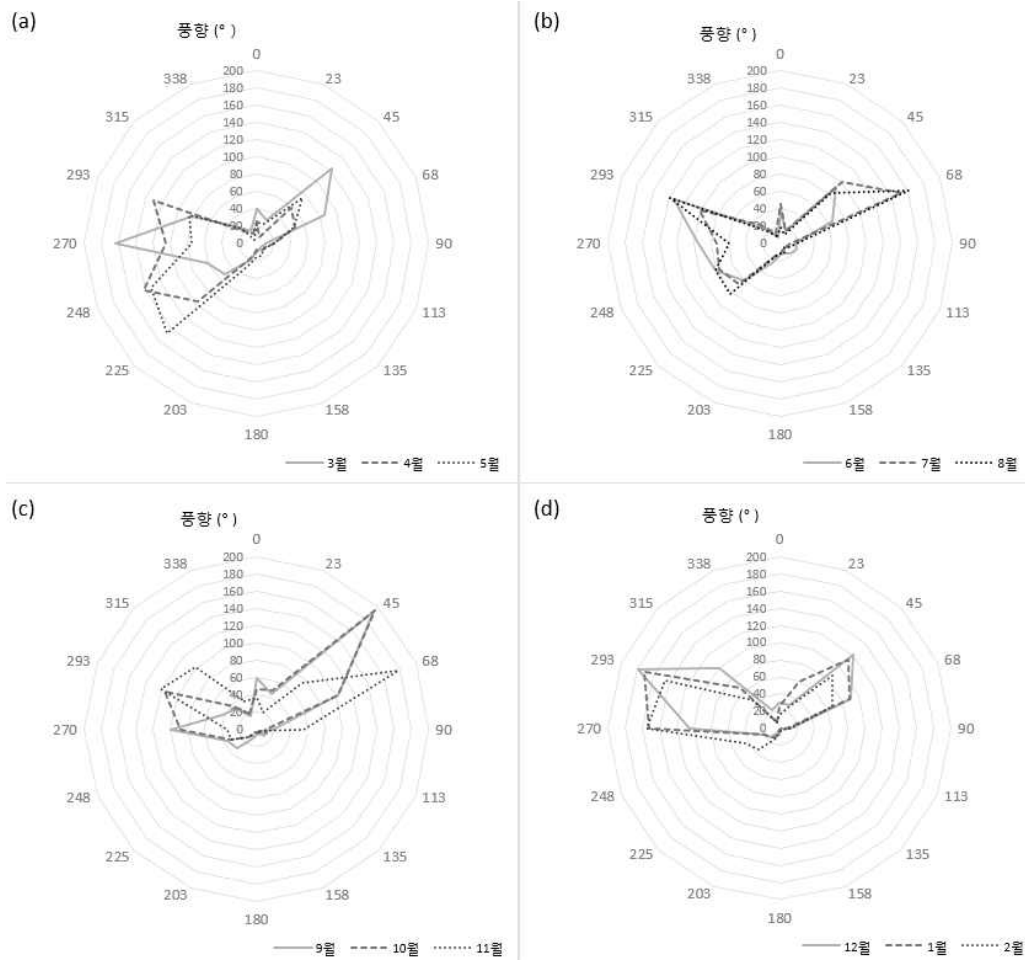
### 4.3.2 환경관련 인자

기후인자의 분포를 파악하기 위해서 본 연구의 시뮬레이션에 적용한 서울시 표준기상데이터를 분석하였다. 본 연구에서는 3월~5월을 봄, 6월~8월을 여름, 9월~11월을 가을, 12~2월을 겨울로 정의하였다. 온도는 -14.4℃~32.7℃ 범위로 나타났고 풍속은 0m/s~ 15.5m/s범위를 나타냈다. 계절별 평균 외기온과 풍속은 <표 4.2>과 같다.

<표 4.2> 기상 조건

	봄	여름	가을	겨울	연평균	범위
외기온 (℃)	10.5	23	14.3	-0.4	11.8	-14.4~ 34.7
풍 속 (m/s)	1.2	2.4	2.2	3.1	2.25	0~ 15.5

풍향 분석 결과 봄철의 풍향을 분석한 결과 서, 남서, 북동에 해당하는 270°, 248°, 225°, 45° 풍향이 우세하였다. 여름은 북동동, 남서서, 북동 (68°, 293°, 45°), 가을은 북동, 북동동, 북서서 (45°, 68°, 293°), 겨울은 북서서, 서, 북동 (293°, 270°, 45°) 순으로 높은 빈도의 풍향을 나타냈다.



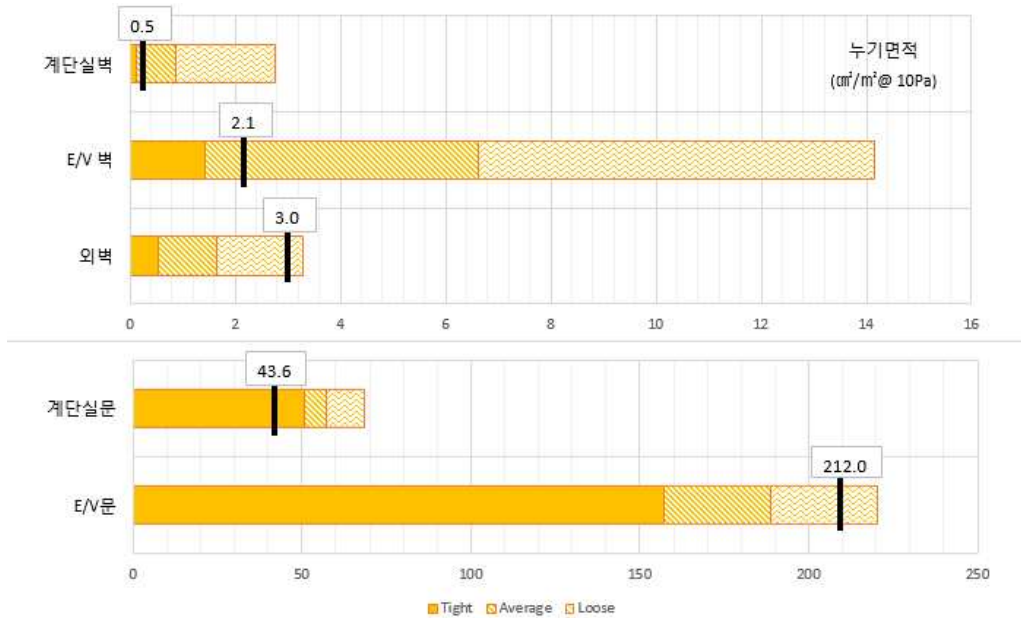
[그림 4.12] 계절별 풍향 빈도 (a) 봄, (b) 여름, (c) 가을, (d) 겨울

### 4.3.3 건축관련 인자

조건에서 공기유동의 영역은 크게 외기에 면해 외기가 직접 유입되어 침기가 발생하는 외피와 유입된 침기가 건물 내로 이동하는 실간 공기유동 영역으로 구분할 수 있다. 외피영역에 해당하는 공기유동 경로로는 건물 외벽, 현관문, 지하주차장 출입구가 있다. 건물 내 공기유동은 계단실과 엘리베이터와 같은 수직 샤프트가 주요 유동경로 역할을 하며 계단실문과 엘리베이터문의 기밀성능도 중요한 인자가 된다. 본 연구의 대상건물의 주요 공기유동 구성요소와 각 구성요소의 기밀성능 측정값은 <표 4.3>과 같다.

<표 4.3> 대상건물의 주요 구성요소

구분	인자	Powerlaw Model	기밀성능 측정값	
건물 외피	외벽(커튼월)	Leakage area	0.5 ( $\text{cm}^2/\text{m}^2 @ 10\text{Pa}$ )	
	현관문	Leakage area	4 ( $\text{cm}^2/\text{EA} @ 10\text{Pa}$ )	
	지하주차장 입구	Shaft description	-	
수직 샤프트	계단실	계단실 문	43.6 ( $\text{cm}^2/\text{EA} @ 10\text{Pa}$ )	
		계단실	Stairwell description	-
	엘리베이터	E/V 문	Leakage area	212 ( $\text{cm}^2/\text{EA} @ 10\text{Pa}$ )
		E/V 샤프트	Shaft description	-



[그림 4.3] 구성요소의 누기면적 분포와 측정값

[ 4.3]에서 대상건물 구성요소의 측정 누기면적과 선행연구.<sup>20)21)22)</sup>에서 측정한 값들을 비교하였다. 대상건물 구성요소의 기밀성능은 계단실벽과 엘리베이터 벽은 평균에 해당되었고 외벽과 엘리베이터 문은 기밀하지 못한 편에 해당되었지만 계단실 문은 기밀한 편이었다.

20) 조재훈, 고층건물에서의 연돌효과 실측과 시뮬레이션 평가. 대한건축학회 학술발표 논문집, 21(2), ppa. 965-968, 2001

21) 배상환 외2, 건축물의 부위별 기밀성능에 관한 실태조사 연구, 한국화재 소방학회 2004년도 하계학술발표논문 발표회 논문집, pp. 158-162

22) Tamura, G. T. and Wilson, A. G., Building pressure caused by chimney action and mechanical ventiation, ASHRAE Transactions, Vol 73, Part2, 1968

#### 4.4 소결

장에서는 건물의 침기와 실간 공기유동에 대한 요인 및 영향인자 분석하기 위해서 제 3장에서 확인한 건물의 공기 유동에 대한 이론적 고찰을 바탕으로 대상건물의 공기유동 경로의 특성을 살펴보고 공기유동에 영향을 주는 영향인자들을 정의, 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대상건물의 외피를 통한 연간 침기량의 평균값은 0.14 ACH로 비교적 변화폭이 큰 것으로 나타났다.
- 2) 3장의 이론적 고찰을 바탕으로 대상건물의 공기유동 영향인자를 분석한 결과, 압력차에 기인하는 환경관련 인자와 누기민적에 기인하는 건축관련 인자로 구분할 수 있다. 공기유동에 미치는 영향을 조사하기 위해 실내외온도차, 풍향, 풍속, 외피 누기 면적과 실내 공기유동에 영향을 주는 내부 기밀성능, 샤프트와 지하주차장 램프의 면적을 분석 대상으로 선정하였다.
- 3) 시뮬레이션에 적용한 서울시 표준기상데이터 중에서 대상건물의 환경관련 인자에 해당하는 외기온, 풍속, 풍향을 분석한 결과, 외기온의 평균은 여름> 봄> 가을> 겨울, 풍속의 평균은 겨울> 여름> 가을> 봄 순으로 나타났다.
- 4) 분석지점으로 선정된 구성요소의 기밀성능을 측정한 선행연구들의 측정값과 비교하였을 때, 대상건물 구성요소의 기밀성능은 계단실벽과 엘리베이터 벽은 평균에 해당되었고 외벽과 엘리베이터 문은 기밀하지 못한 편에 해당되었지만 계단실문은 기밀한 편이었다.



## 제 5 장 대상건물 구성요소의 침기량과 영향인자 분석

### 5.1 개요

공기유동은 침기와 실간 공기유동에 의해 발생된다. 침기는 난방부하 증가, 열쾌적성 저하의 주요원인이며, 실간 공기유동은 오염물질 확산, 냄새확산의 주요 원인으로 알려져 있다. 건물의 공기유동 경로에 해당하는 구성요소의 기밀성능과 실내외 온도에 따라서 건물 내의 압력분포가 달라진다. 건물의 공기유동 영향분석을 위해서는 각 요소들에 대한 이해가 요구되며, 이를 위해서는 실제 건물에서 공기유동에 영향을 주는 인자들을 분석하는 과정이 필요하다.

본 장에서는 영향인자가 건물의 침기량에 미치는 영향을 파악하기 위해 건물 외피의 건물 내의 주요 공기유동 경로가 되는 구성요소를 파악하여 주요 영향인자들과 침기량의 관계를 분석하였다. 건물에서 외기 유입과 건물 내 공기유동에 대해 각각 어떤 인자에 민감하게 영향을 받고 있는지에 대해 검토하고자 중요 영향인자가 변화할 때 각 항목들을 분석하였다. 다음으로 선정된 인자들의 변수 값들을 마련하여 시뮬레이션 입력 데이터를 작성하고 시뮬레이션을 수행하였다.

## 5.2 분석지점 선정

공기의 유출입이 일어날 수 있는 구성요소는 다양한 종류가 있으나, 앞서 시행한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 공기 유동량이 많은 출입문, 창문, 램프, 엘리베이터샤프트, 계단실을 건물의 주요 외기 유동경로가 되는 구성요소로 한정하였다.

분석지점 선정방법은 대상건물의 주요 공기유동 경로가 되는 건물의 구성요소 중 외기가 직접 유입되는 외피 구성요소, 연돌효과로 인한 문제점 발생시킬 우려가 있는 수직 샤프트의 구성요소, 오염물질이 유입되어 채실자와 실내공기질에 악영향을 미칠 수 있는 지점을 선택하였다. 같은 구성요소가 연속적으로 있을 때는 구성요소의 특징을 대표할 수 있는지, 층마다 위치하여 특별 특성 비교에 활용될 수 있는지를 고려하였다.

그 결과, 대상건물 모델링에 구현된 1159개 공기유동 경로 중 총 63개의 중요 공기유동 경로에 해당되었고 이 중에서 통과 유량이 많은 10개 공기유동 경로를 분석 대상으로 선정하였다. <표 5.1>은 주요공기유동 경로의 유동량을 나타내고 있으며 분석대상으로 선정된 유동량이 많은 상위 10개 유동경로를 진한색으로 표시하였다.

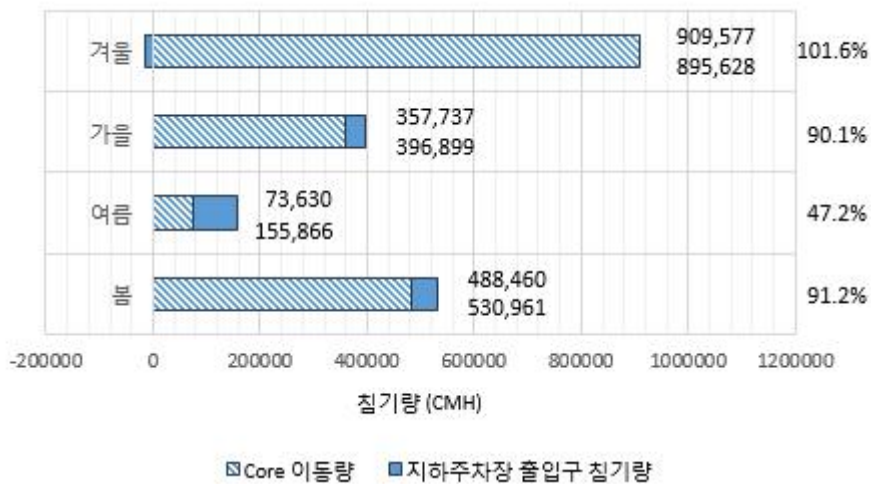
<표 5.1> 주요 공기 유동경로의 유량

[단위 : CMH]

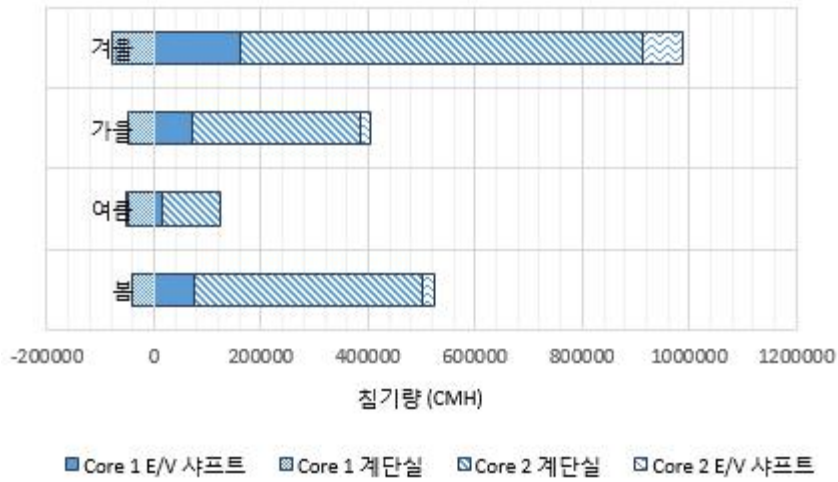
		동측외피		Core1				Core2				서측외피		지하주
		현관 문	외 벽	계단실		E/V		계단실		E/V		외 벽	현 관 문	출입구
				커튼 월	계단 실	계단 Shaft	E/V문	E/V Shaft	계단 실	계단 Shaft	E/V문			
5F	Path no.	-	153	174	138	167	139	137	149	126	130	190	-	-
	Max		3.28	13.2	0.07	2	9.1	2.5	0.1	11.2	0.01	11.9		
	Min		-19	-4.4	0	-11	-0.1	-13	0	-2.7	-1	-7.4		
	Average		-5.2	4.8	-0.02	-	0	-4.8	0	2.9	0	-0.9		
4F	Path no.	-	379	372	0.02	393	385	383	373	330	334	414	-	-
	Max		2	9.9	384	1.4	0.1	1.85	0.1	6.15	0.03	13.8		
	Min		-11	-3.8	0.2	-3.7	-0.1	8.7	1.1	-1.3	0	-3.2		
	Average		-3.6	3	0	-1.7	0	-3	8	1.7	0	0.12		
3F	Path no.	-	639	675	664	674	665	663	632	636	636	701	-	-
	Max		0.48	7.9	0.29	1.8	0.1	0	-1	0.03	0.03	13.2		
	Min		-4	-3.5	0	-2	0	0	0	0	0	-4		
	Average		-1.4	1.3	0.1	0.1	0	0	0	0.2	0	0.23		
2F	Path no.	-	915	-	828	-	829	825	814	795	798	-	-	-
	Max		3.23		0.2		0.1	0	0.04	0.86	0.04			
	Min		-1		0		0	0	0	-3.2	-0.1			
	Average		0.6		0		0	0	0	-1	0			
1F	Path no.	944	916	-	926	934	927	925	915	902	903	920	957	872
	Max	9.63	11.6		0.03	3.97	0.1	0.1	0	.8	0.08	22.2	8.48	2.34
	Min	-2.27	-2.8		0	-2.5	0	-0.1	0	-3.2	-0.1	-5.3	-1.7	-2
	Average	1.42	3.1		0	1.5	0	0	0	-0.9	0	3.3	1.3	0.93
B1F	Path no.	-	-	1034	1044	1049	1045	1043	1036	1017	1018	-	1068	-
	Max			3.7	0.04	1	0	0.4	0.09	0.83	0.09		0.9	
	Min			-2.4	0	-0.1	0	0	0	-3.2	-1		-3.7	
	Average			1.2	0	0.3	0	0	0	-0.9	0		-1.9	
B2F	Path no.	-	-	1126	-	1137	-	1133	-	1118	-	-	-	1108
	Max			2.24		6.9		0		0.85				2.75
	Min			-4.7		-2.4		0		-3.2				-0.12
	Average			-1.2		2.3		0		-0.9				1.01

많은 유동경로는 지하주차장 출입구와 대상건물의 수직 유동경로인 Core1 의 엘리베이터 샤프트와 Core2의 계단실이었다. Core1 의 엘리베이터는 외주부에 위치하여 외피를 통한 침기가 쉽게 유입되어 많은 양의 유동량이 발생하였고 Core2의 계단실은 내주부에 위치하고 있지만 계단실문을 사용하지 않고 상시 개방하여 많은 양이 공기가 유입되는 것으로 사료된다.

Core1 계단실, E/V 샤프트, Core2 계단실, E/V샤프트는 대상건물의 주요 수직 유동경로로 계절별로 상이하나 이 경로를 통한 유동량의 높은 비율이 지하주차장 출입구를 통해 실내로 유입된 침기에서 기인한 것으로 나타났다. 계절별 지하주차장 출입구를 통한 침기량에 대한 4개의 수직 샤프트를 통한 이동량의 합의 비율은 [그림 5.1]에 나타나있다.



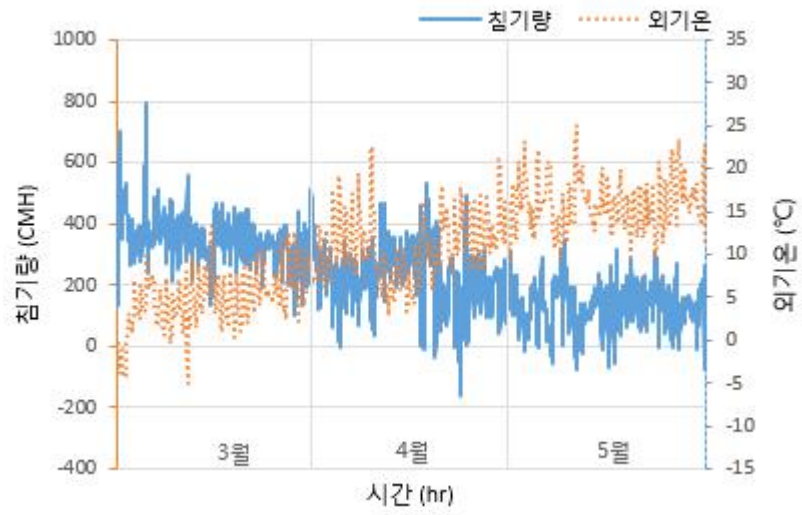
[그림 5.1] 계절별 총 지하주차장 출입구를 통한 침기량과 Core 수직 샤프트 통한 통과유량



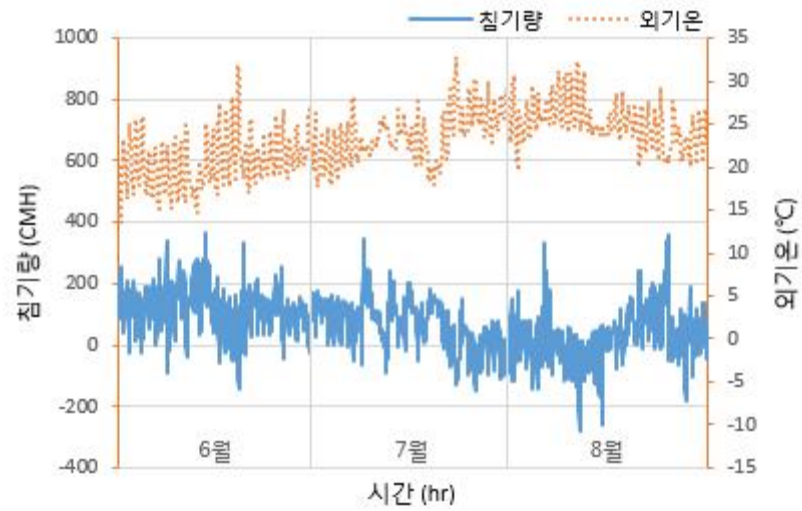
[그림 5.2] 계절별 주요 Core 수직 샤프트 통한 통과유량

### 5.3 영향인자와 침기량의 상관관계 분석

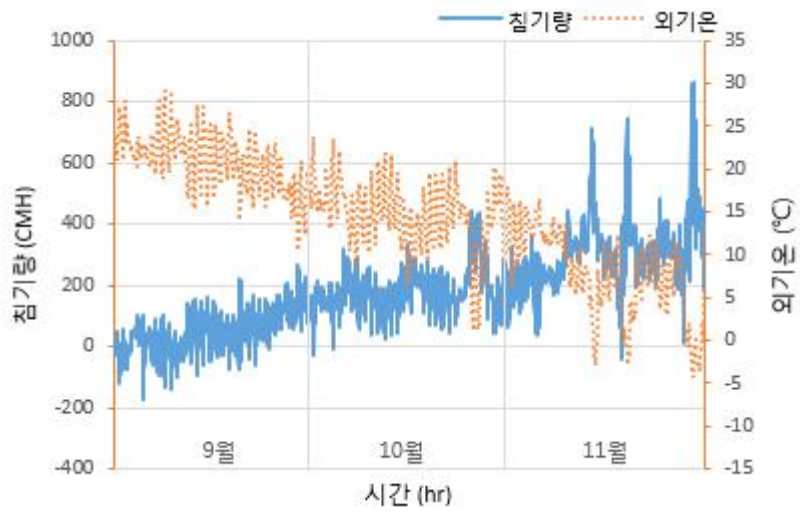
선정된 분석 대상 중 많은 양의 침기가 발생하고 건물 내 주요 공기유동 경로의 유동량에 기인하는 지하주차장 출입구를 통한 연간 침기량을 살펴보고 침기량의 영향인자와의 상관관계를 분석하였다.



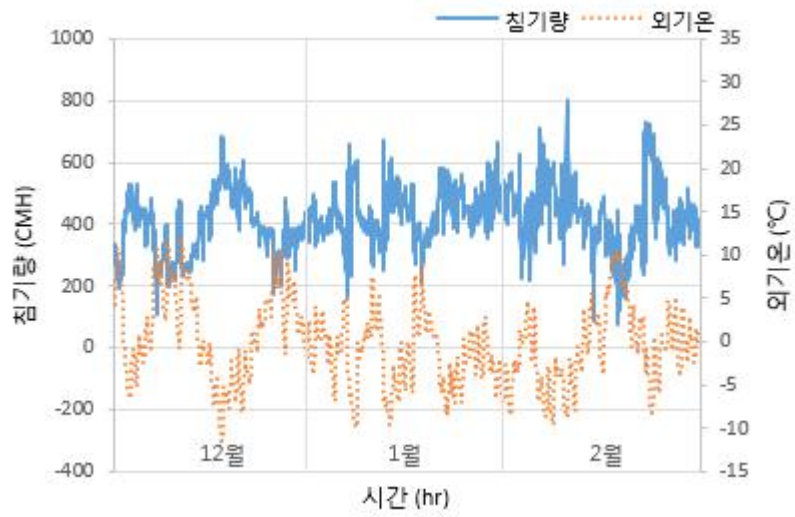
[그림 5.3] 출입구를 통한 봄철 침기량



[그림 5.4] 지하주차장 출입구를 통한 여름철 침기량



[그림 5.5] 출입구를 통한 가을철 침기량



[그림 5.6] 지하주차장 출입구를 통한 겨울철 침기량

[그림 5.3]에서 [그림 5.6]까지는 각각 대상건물 지하주차장 출입구를 통한 계절별 침기량을 나타내고 있다. (+)가 실내로 유입되는 양, (-)가 실외로 유출되는 양을 뜻한다. 겨울철에 평균 417 m<sup>3</sup>/h로 가장 많은 양의 외기 유입이 일어났고 그 다음으로 봄 (241m<sup>3</sup>/h), 가을 (181m<sup>3</sup>/h), 여름 (70m<sup>3</sup>/h) 순으로 나타났다. 외기온이 높을수록 적은 양의 외기가 유입되고 낮을수록 많은 양의 외기가 유입되는 것으로 나타났다지만 외기온이 가장 높은 여름을 포함하여 많은 양의 외기가 개방형 지하주차장 출입구를 통해 사계절 내내 실내로 유입되고 있었다.

보다 정확한 침기량의 영향정도를 파악하기 위해 외기온, 풍속, 풍향을 분리해 시뮬레이션을 수행하였다. 영향인자와의 상관관계 분석을 위해 분석 영향인자가 아닌 인자는 <표 5.2>의 고정값을 시뮬레이션에 적용하였다. 계절별 외기온, 지하주차장 기온, 실내 기온, 풍속 입력데이터는 대상건물 실측값과 함께 기상청에서 제공하는 서울시 계절별 평균 외기온과 풍속을 적용하였고 선행연구에서 실측한 지하주차장 계절별 평균 기온<sup>23)</sup>, 에너지공단에서 지정한 권장실내온도를 적용하였다.

< 5.2> 시뮬레이션 적용 기상데이터

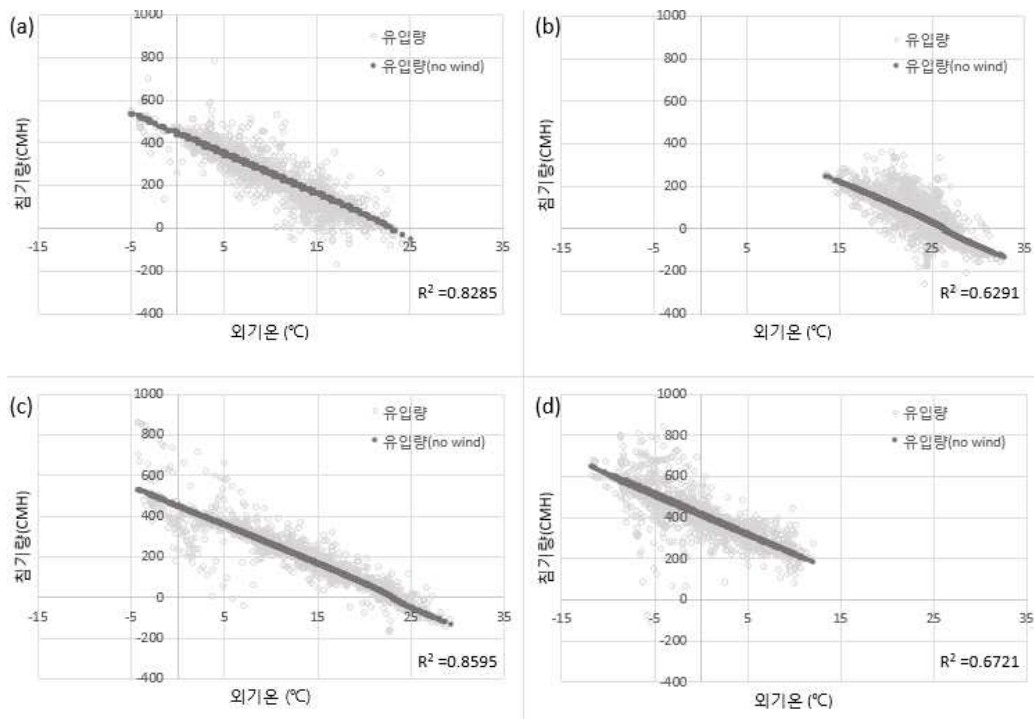
	외기온 (℃)	지하주차장 기온 (℃)	실내 기온 (℃)	풍속 (m/s)
여름	24	24	26	2.4
봄, 가을	12	21	23	1.2
겨울	-2	16	20	3.1

23) 김천용, 지하공간 구조체 결로현상 조사, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집. pp. 466-471, 2010



### 5.3.1 외기온

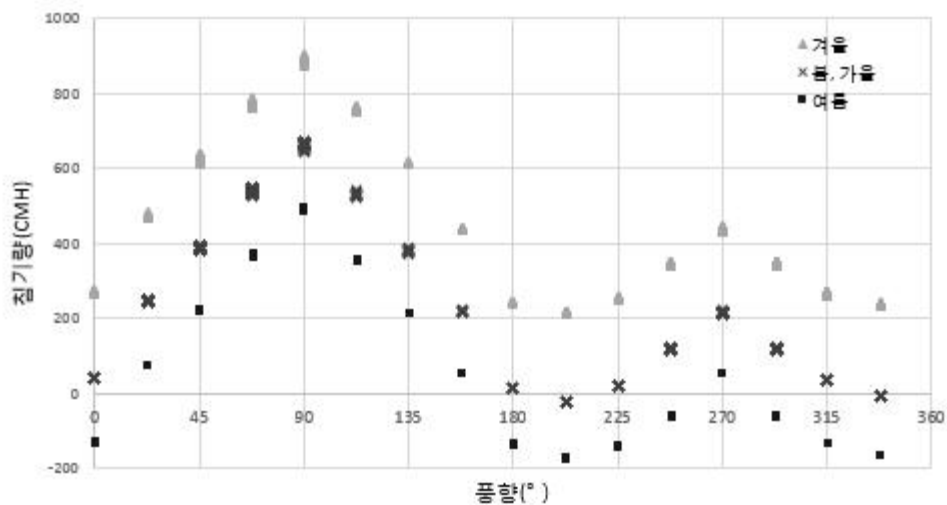
외기온의 상관관계를 분석하기 위해서 풍속과 풍향을 고정값을 입력한 후 시뮬레이션을 수행하였다. [그림 5.7]은 계절별 외기온에 따른 대상건물 지하주차장 출입구를 통한 침기량을 바람의 영향이 있을 때와 없을 때로 나누어 비교하였다. 바람의 영향이 없을 때는 침기량이 외기온과 반비례하였으며, 바람의 영향이 발생하면, 분산되는 것을 확인하였다. 상관계수는 가을철에 평균 0.8595, 봄철 0.8285로 높은 상관관계를 나타냈다. 이는 앞서 분석한 풍속 기상데이터에서 가을철, 봄철의 풍속이 상대적으로 낮은것의 영향으로 사료된다. 그 다음으로 겨울 0.6721, 여름 0.6291순으로 나타났다.



[그림 5.7] 외기온과 지하주차장 출입구 침기량의 상관관계  
(a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철

### 5.3.2 풍향

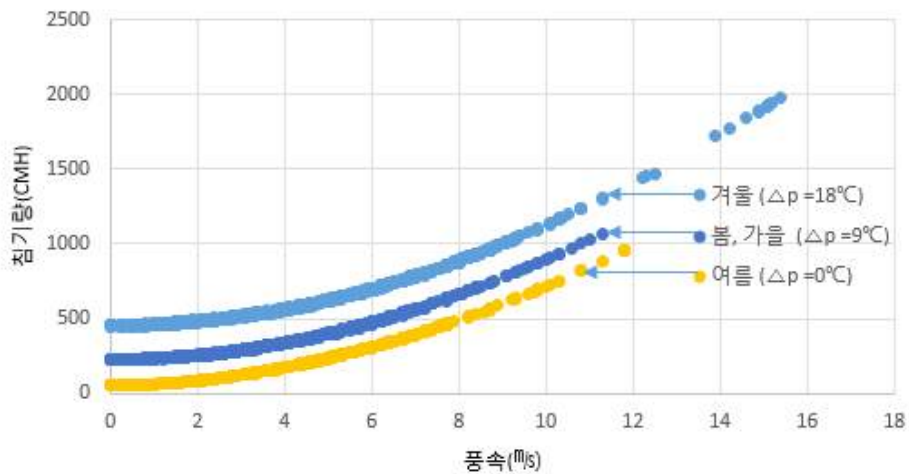
[ 5.8]은 풍향과 지하주차장 출입구를 통한 침기량의 상관관계를 나타내고 있다. 침기량에 미치는 온도의 영향을 제외한 풍향과 침기량의 상관관계를 분석하기 위해 <표 5.2>를 기준으로 겨울철 지하주차장과 실외의 기온차는 18℃, 봄과 가을은 9℃, 여름은 0℃로 고정하였다. 가장 많은 양의 침기가 발생하는 풍향은 90° (동풍)로 대상지하주차장 출입구 진입방향과 일치하였다. 가장 적은 침기가 발생하는 풍향은 가장 많은 양의 침기가 발생하는 방향과 약 110° 떨어진 각도였다.



[그림 5.8] 풍향과 지하주차장 출입구 침기량의 상관관계

### 5.3.3 풍속

[ 5.9]은 풍속과 지하주차장 출입구를 통한 침기량의 상관관계를 나타내고 있다. 풍향과 마찬가지로 침기량에 미치는 온도의 영향을 제외한 풍속과 침기량의 상관관계를 분석하기 위해 <표 5.2>를 기준으로 겨울철 지하주차장과 실외의 기온차는 18℃, 봄과 가을은 9℃, 여름은 0℃로 고정하였다. 풍속의 영향을 극대화 하기 위해 가장많은 침기가 발생하는 90° 로 풍향은 고정하였다. 침기량은 풍속에 비례하였고 겨울철에 최소 500 CMH에서 최대 2000CMH로 평균 가장 많은 양의 침기가 발생하였다. 봄, 가을철은 250CMH에서 1150CMH가 발생하였고 여름은 가장 적은 80CMH에서 950CMH가 발생하였다.



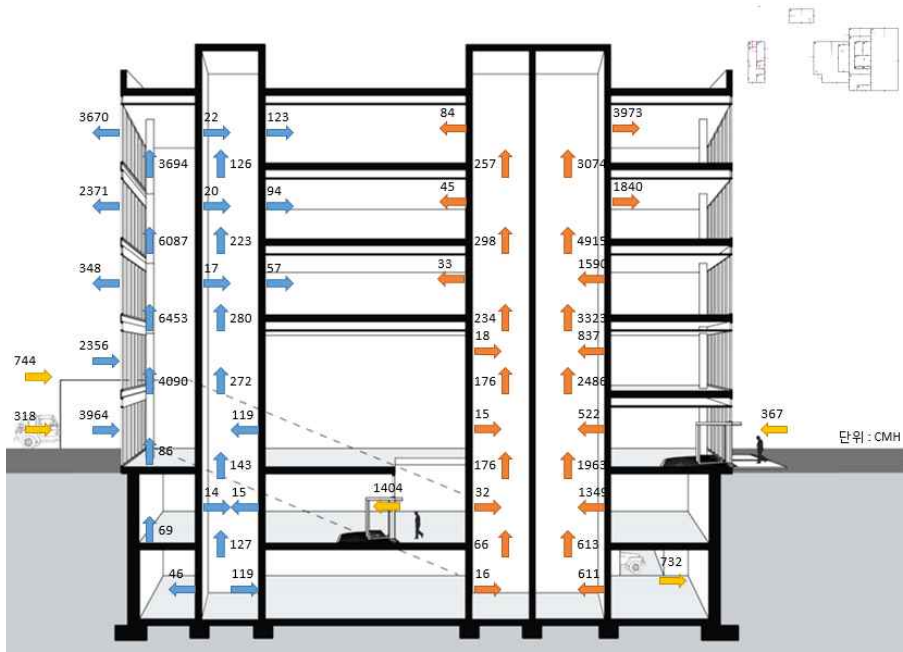
[그림 5.9] 풍속과 지하주차장 출입구 침기량의 상관관계

## 5.4 건물 내 확산 분석

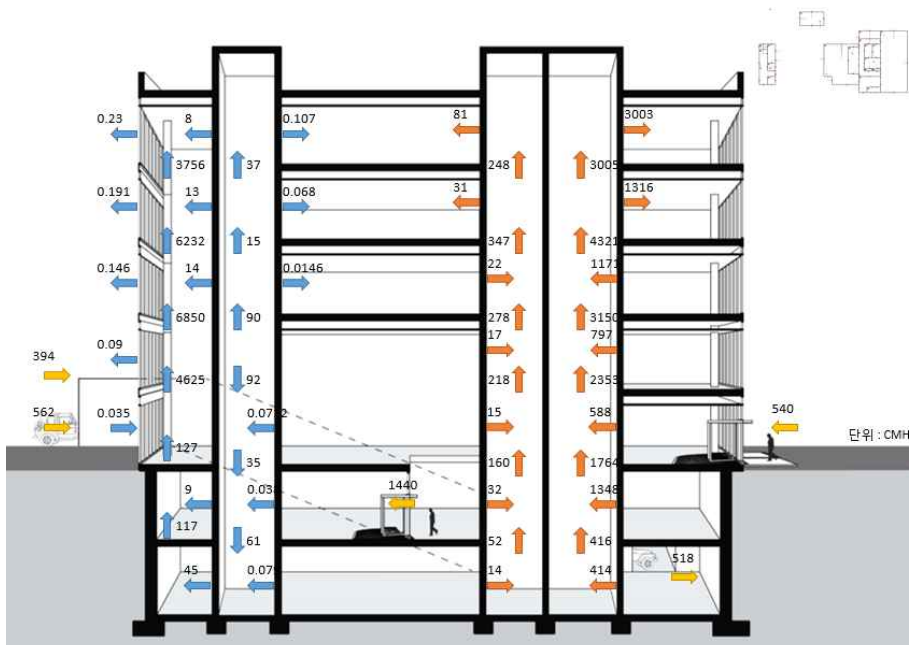
환경 관련 인자 데이터를 바탕으로 <표 5.3>과 같이 9가지 시뮬레이션 case를 선정하고 이 인자들이 건물의 침기량에 미치는 영향을 분석하였다. 저감방안 설정을 위해 공기의 유동량이 많은 구성요소들과 많은 유동량을 발생시키는 기후인자를 선정하기 위해 구성요소별 연간 공기유동량을 시뮬레이션을 수행하였다.

<표 5.3> 시뮬레이션 case

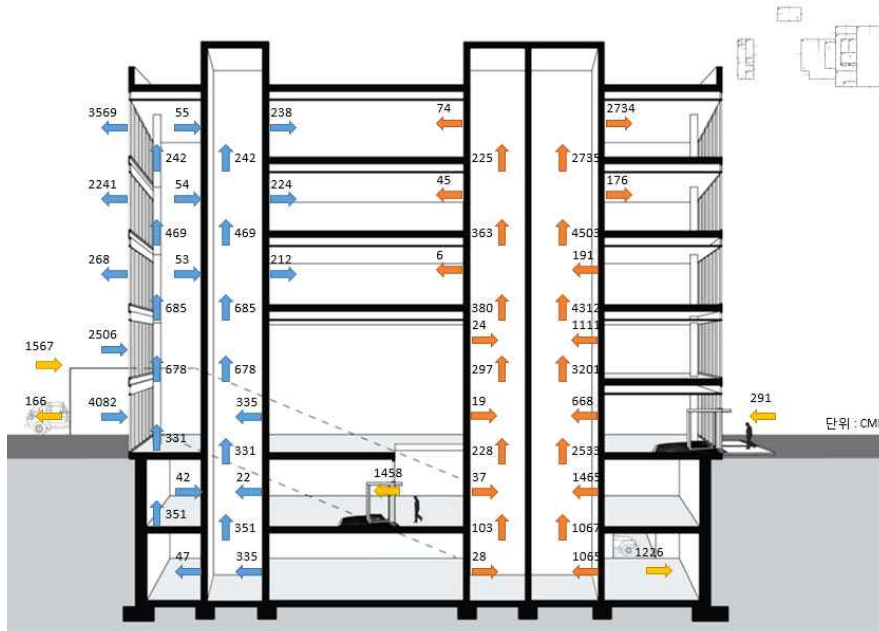
구분	case no.	기온 (℃)	풍속 (m/s)	풍향 (°)	비고	
겨울철 극값	1	-14.4	0	-	겨울 최저기온, 최저풍속	Stack
	2	-14.4	7.6	90	겨울 최저기온, 최고풍속	Stack+Wind
	3	-14.4	7.6	270	겨울 최저기온, 최고풍속	Stack+Wind
여름철 극값	4	34.7	0	-	여름 최고기온, 최저풍속	-
	5	34.7	7.6	90	여름 최고기온, 최고풍속	Wind



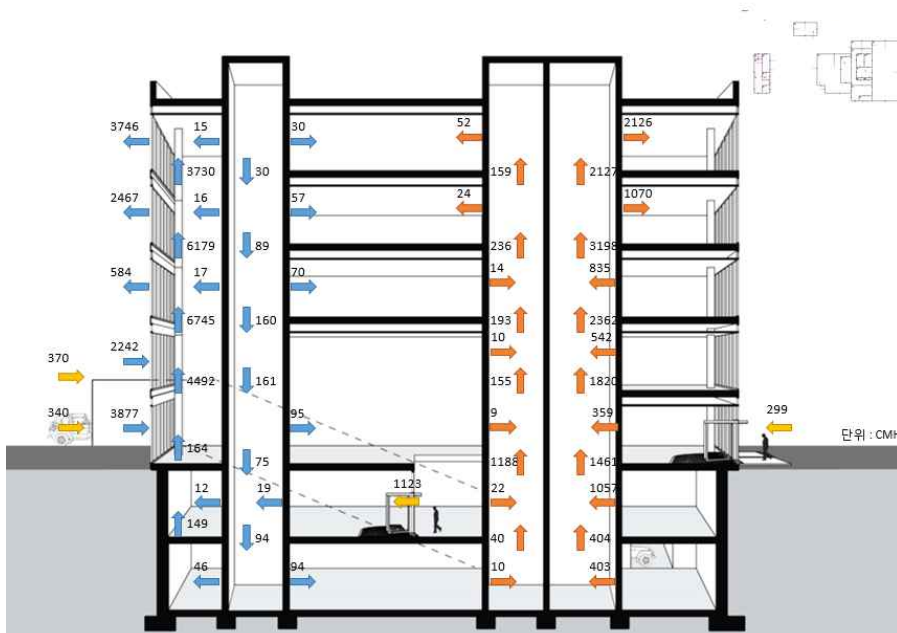
[그림 5.10] Case 1      통로의 유량



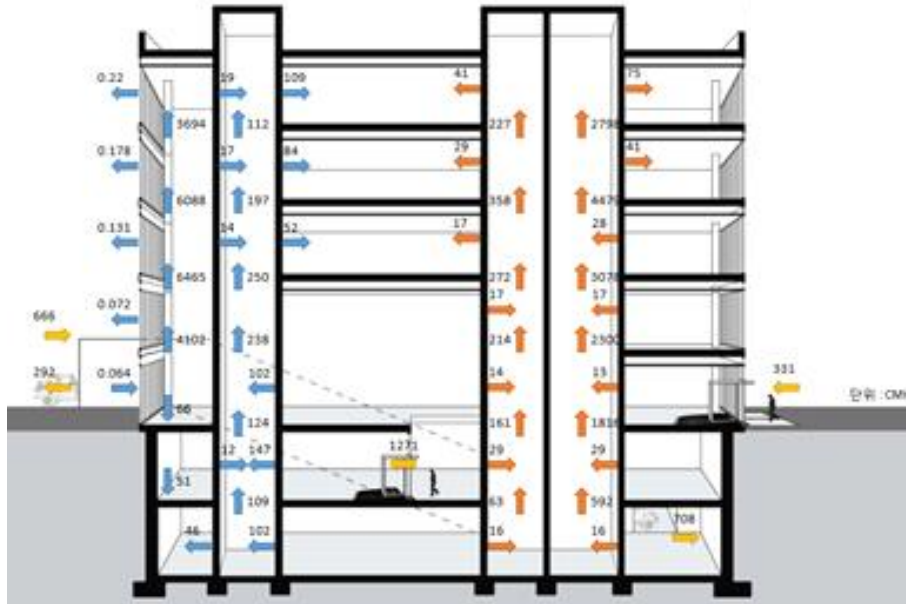
[그림 5.11] Case 2 공기유동 통로의 유량



[그림 5.12] Case 3 통로의 유량



[그림 5.13] Case 4 공기유동 통로의 유량



[그림 5.14] Case 5      통로의 유량

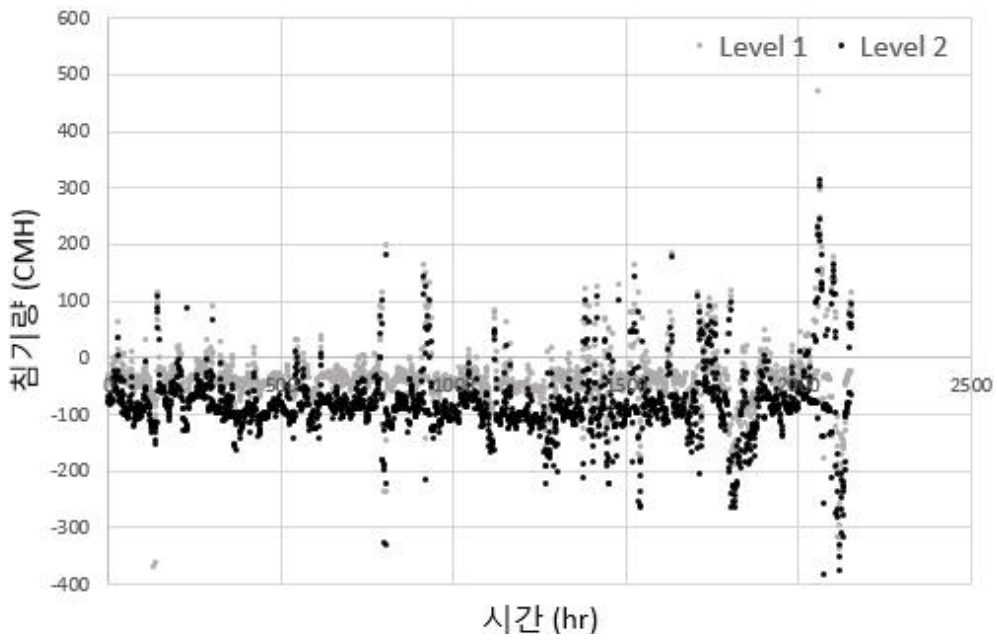
## 5.5 건물의 침기 저감방안 평가

앞서 선정된 분석 대상 중 많은 양의 침기가 발생하고 건물 내 주요 공기유동 경로의 유동량에 기인하는 지하주차장 출입구를 통한 연간 침기량을 살펴보고 침기량의 영향인자와의 상관관계를 분석하였다.

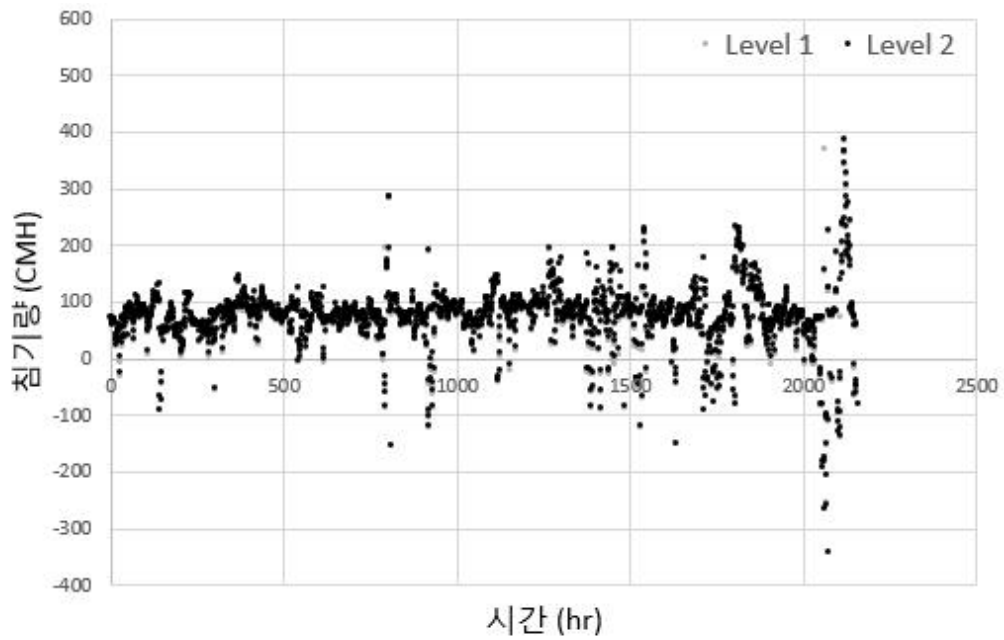
< 5.4> Leakage area 적용 데이터

적용 구성요소	Level 1	Level 2
지하주차장 출입구	Open wall	고속차단문 설치 24.7(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> @ 10Pa)

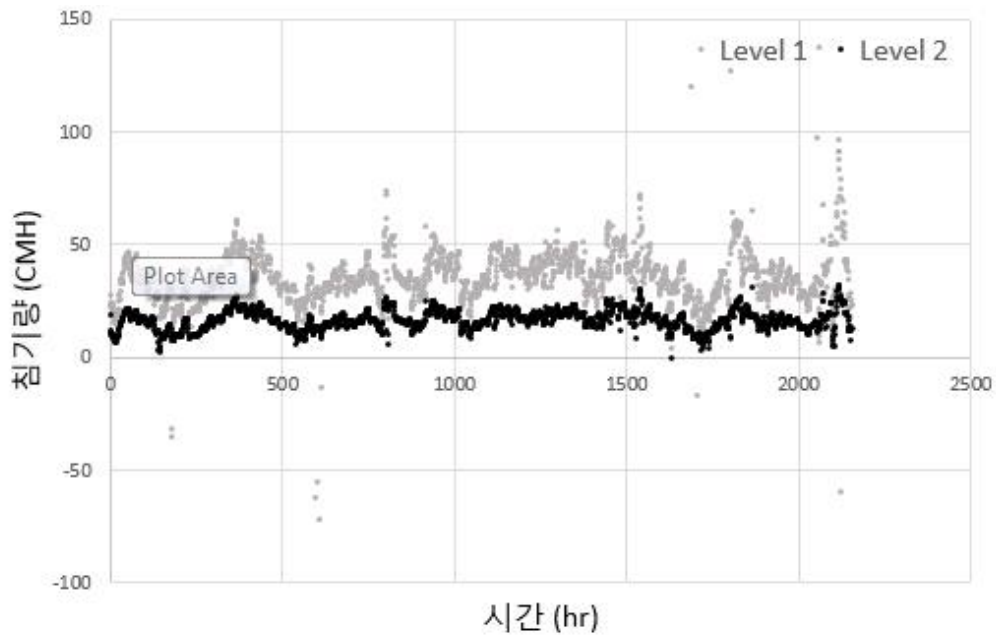




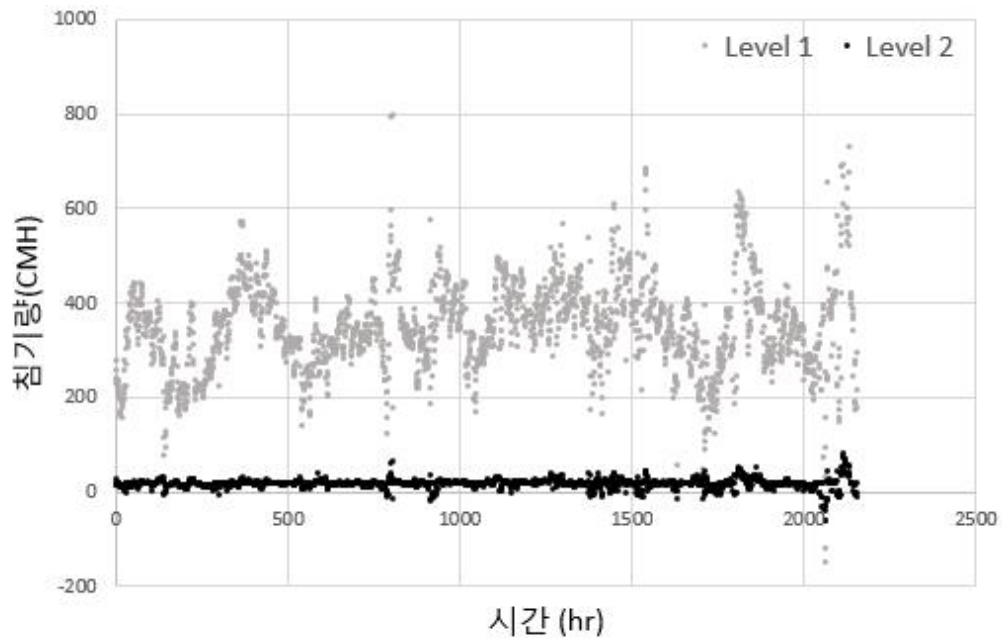
[그림 5.15] Core1 E/V Shaft 침기량



[그림 5.16] Core2 E/V Shaft 침기량



[그림 5.17] Core1 계단실 침기량



[그림 5.18] Core2 계단실 침기량

## 5.6 소 결

장에서는 영향인자가 건물의 침기량에 미치는 영향을 파악하기 위해 건물 외피의 건물 내의 주요 공기유동 경로가 되는 구성요소를 파악하여 주요 영향인자들과 침기량의 관계를 분석하였다. 건물에서 외기 유입과 건물 내 공기유동에 대해 각각 어떤 인자에 민감하게 영향을 받고 있는지에 대해 검토하고자 주요 영향인자가 변화할 때 각 항목들을 분석하였다. 다음으로 선정된 주요 공기유동 경로에 인자들의 변수 값들을 시뮬레이션 입력 데이터로 작성하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 분석지점 선정방법은 대상건물의 주요 공기유동 경로가 되는 건물의 구성요소 중 외기가 직접 유입되는 외피 구성요소, 연돌효과로 인한 문제점 발생시킬 우려가 있는 수직 샤프트의 구성요소, 오염물질이 유입되어 채실자와 실내공기질에 악영향을 미칠 수 있는 지점을 선택하였다. 같은 구성요소가 연속적으로 있을 때는 구성요소의 특징을 대표할 수 있는지, 층마다 위치하여 특별 특성 비교에 활용될 수 있는지를 고려하여 분석대상으로 선정하였다.

2) 많은 양의 침기가 발생하고 건물 내 주요 공기유동 경로의 유동량에 기인하는 지하주차장 출입구를 통한 연간 침기량은 겨울철에 평균 417 m<sup>3</sup>/h로 가장 많은 양의 외기 유입이 일어났고 그 다음으로 봄 (241m<sup>3</sup>/h), 가을 (181m<sup>3</sup>/h), 여름 (70m<sup>3</sup>/h) 순으로 나타났다. 외기온이 가장 높은 여름을 포함하여 많은 양의 외기가 개방형 지하주차장 출입구를 통해 사계절 내내 실내로 유입되고 있었다.

3)                   영향정도를 파악하기 위해 외기온, 풍속, 풍향을 분리해 시뮬레이션을 수행하였다. 영향인자와의 상관관계 분석을 위해 분석 영향인자가 아닌 인자는 고정 값을 시뮬레이션에 적용하였다. 침기량에 영향을 미치는 인자는 외기온 > 풍속 > 풍향의 영향 정도로 나타났다.

## 제 6 장 결 론

연구는 침기의 영향 요인을 고려한 계절별 건물 내 공기유동 분석을 통해 그 특성을 규명하고, 건물의 공기유동 저감방안 수립과 이를 효과적으로 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.

- 1) 건물에서 공기유동은 건물 외피를 통한 침기와 실간 공기유동으로 정의할 수 있으며, 이는 환경 관련 요인과 건축 관련 요인에 의해 영향을 받았다.
- 2) 환경 관련 요인은 외기온, 풍속, 풍향이 있으며, 건축 관련 요인은 건물 외피 구성 요소의 기밀성과 실내 구성요소의 기밀성능, 수직 샤프트가 있었다.
- 3) 주요 유동경로인 E/V 샤프트를 통한 유동량은 지하주차장 램프 통한 침기에서 기인하는 것으로 나타났으며, 지하주차장 출입구의 방향으로 바람이 부는 동풍(90°)일 때, 최대 1,286CMH이 발생함. 특히 겨울철 서울시 풍향 분석결과, 겨울철 북동풍이 우세한 것으로 나타나 지하주차장 출입구를 통한 외기 유입이 증가하여 연돌효과의 영향이 클 것으로 사료되었다.
- 4) 많은 양의 침기가 발생하고 건물 내 주요 공기유동 경로의 유동량에 기인하는 지하주차장 출입구를 통한 연간 침기량은 겨울철에 평균 417 m<sup>3</sup>/h로 가장 많은 양의 외기 유입이 일어났고 그 다음으로 봄 (241m<sup>3</sup>/h), 가을 (181m<sup>3</sup>/h), 여름 (70m<sup>3</sup>/h) 순으로 나타났다. 외기온이 가장 높은 여름을 포함하여 많은 양의 외기가 개방형 지하주차장 출입구를 통해 사계절 내내 실내로 유입되고 있었다.

5) 침기량의 영향정도를 파악하기 위해 외기온, 풍속, 풍향을 분리해 시뮬레이션을 수행하였다. 영향인자와의 상관관계 분석을 위해 분석 영향인자가 아닌 인자는 고정값을 시뮬레이션에 적용하였다. 침기량에 영향을 미치는 인자는 외기온 > 풍속 > 풍향의 영향 정도로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 김광우 외, 건축환경계획원론, 태림문화사, 1993.
2. , 여명석, 양인호, 김광우. (2000). 고층건물에서의 연돌효과에 관한 연구
3. 조재훈, 여명석, 김광우, 고층 주거건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 21(5), 2005
4. 박성원. (2010). 공동주택 지하주차장 평면형태 및 환기구의 배치에 따른 공기유동에 관한 연구
5. 현대건설 기술연구소, 초고층건물 공동연구 보고서(건축설비 분야), 1995.
6. 현세훈, 박철수, 문현준, 2006, 공동주택 침기의 불확실성 분석, 대한설비공학회 하계 학술발표대회논문집, pp369-374
7. 홍성민, 윤동원, 2012, 공동주택 실내오염농도 평가에 의한 CO2와 TVOC 센서기반 환기제어방법 특성 연구, 대한건축학회 논문집, Vol.28, pp.303-310
8. 황장승, 김강수, 2009, 건물에너지 시뮬레이션을 활용한 사무소 건물의 에너지성능평가, 한국건축환경설비학회, 추계학술대회논문집, pp.238-243
9. Achskji, G.Y. & G.T. Tamura., "Pressure Drop Characteristics of Typical Stairshafts in High-rise Buildings", ASHRAE Transactions, Vol94, Part1, 1988.
10. Alan Meier, ACH divided by 20, Home energy magazine, Minneapolis blower door manual, Appendix E, 1996
11. ASHRAE Research Project 661 "Field Verification of Problems Caused by Stack Effect in Tall Buildings", 1993.
12. ASHRAE, 1997 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, ASHRAE, Atlanta, 1997.

13. Clarke, J.A., Energy Simulation in Building Design, Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston, 1985.
14. Christopher Y.H. Chao, M.P. Wan, Eddie C.K. Cheng, Penetration coefficient and deposition rate as a function of particle size in non-smoking naturally ventilated residences, Atmospheric environment vol.37, 2003, pp.4233-4241
15. Chun Chen, Bin Zhao, Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor Review Article. Atmospheric Environment, Volume 45, Issue 2, January 2011, Pages 275-288
16. Dols, W. S. and Walton, G. N., CONTAMW 3.0 user manual. NTIR 6921, National Institute of standards and Technology, USA
17. Emmerich, S.J., A.K. Persily and G.N. Walton, "Application of a Multi-zone Airflow and Contaminant Dispersal Model to Indoor Air Quality Control in Residential Buildings", the Role of Ventilation 15th AIVC Conference, 1994.
18. Feustel, H.E. and J. Dieris, "A survey of Air Flow Models for Multizone Structures", Energy and Buildings, 1992.
19. Francis Allard, NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS, James&James, London, 1998.
20. Henri C.Fennell and Jonathan Haehnel, Setting airtightness standards, 2005, ASHRAE journal, Vol.47, pp.26-30
21. Klote, John H., "DESIGN of SMOKE CONTROL SYSTEMS for BUILDINGS", ASHRAE, 1983.
22. Lovatt, John E., "Stack effect in tall buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 100, Part 2, 1994.



23. Musser AMY. and G.K. Yuill, "Comparison of residential air infiltration rates predicted by single-zone and multizone models". ASHRAE Transactions, Vol 105, Part1, 1999.
24. Tamura, G.T., & A.G. Wilson, "Pressure differences caused by Chimney effect in the tall building", ASHRAE Transactions, Vol. 73, part 2, 1967.
25. Tamura, G.T., & A.G. Wilson, "Building pressures caused by Chimney action and michenical ventilation", ASHRAE Transactions, Vol. 73, part 2, 1967.
26. Tamura, G.T., Smoke Movement and Control in High-rise Buildings, National Fire Protection Association Quincy, NFPA, Massachusetts, 1994.
27. Tamblyn, R.T., "Coping with air pressure problems in tall buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 1, 1991.
28. Tamblyn, R.T., "HVAC system effects for tall buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 99, Part 2, 1993.
29. Tareq Hussein, Lenka Kubincová, Lucie Džumbová, Deposition of aerosol particles on rough surfaces inside a test chamber Original Research Article Building and Environment, Volume 44, Issue 10, October 2009, Pages 2056–2063
30. Thatcher, T.L., Lai, A.C.K., Moreno-Jackson, R., Sextro, R.G. and Nazaroff, W.W., Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors, Atmospheric Environment vol. 36, 2002, pp.1811–1819
31. Tracy L. Thatcher, Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence, Atmospheric environment vol.29, 1995, pp.1487–1497
32. Upham, R., A validation study of the airflow and contaminant migration computer model CONTAM as applied to tall building, Master's thesis, The

Pennsylvania State University, 1997.

33. Walton, G.N., "Air flow network models for element-based building air flow modelling", ASHRAE Transactions, Vol 95, Part2, 1989.
34. Walton, G.N., "AIRNET-A Computer Program for Building Airflow Network Modeling", NISTIR 4072, National Institute of Standards and Technology, 1989.
35. Walton, G.N., CONTAM96-User Manual, NISTIR 6056, National Institute of Standards and Technology, 1997.
36. Walton, G.N., CONTAMW-User Manual, NISTIR 6476, National Institute of Standards and Technology, 2000
37. Walton GN, Dols WS. CONTAM user guide and program documentation. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology; 2010. NISTIR 7251.

#### Internet

<http://epb1.lbl.gov/thermal/hydraulic.html>

[http://www.ondol.net/control\\_sys/control\\_sys\\_01.htm](http://www.ondol.net/control_sys/control_sys_01.htm)

<http://www.mathcad.com/library/LibraryContent/MathML/cvalve.htm>

[http://www.dt.co.kr/contents.html?article\\_no=2007072402011832717002](http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2007072402011832717002)

<http://eetd.lbl.gov/newsletter/n114/eetd-n114-1-aerosols.html>

<http://www.tsi.com/AEROTRAK-Handheld-Particle-Counter-9306/>

