

## 초고층 주상복합 아파트의 연돌효과 특성에 관한 연구 -D 프로젝트를 중심으로-

### A Study on the Stack Effect Characteristics in High-Rise Apartments

최동탁<sup>1</sup>, 손원득<sup>2</sup>, 최영식<sup>3†</sup>  
Dong-Tak Choi<sup>1</sup>, Won-Tug Son<sup>2</sup>, Young-Sik Choi<sup>3†</sup>

<Abstract>

Study of stack effects in the early design stage is the most appropriate moment to draw any problems and provide the right solutions. However, In a real process, The pre-design planning stage review is not thoroughgoing enough to high-rise construction site. Therefore, this study has reviewed by selecting one of inappropriate project [D] to find the possible stack effect alternatives in an early design documentation stage and provide countermeasures to be a foundations of stack effect in the construction stages.

**Keywords :** Stack effect, Air-leakage rate, Indoor-outdoor pressure, Auto swing door, Auto sliding door

#### 1. 서 론

최근 건물의 복합화 및 초고층화 되면서 초고층 건물의 연돌효과에 대한 중요성이 점차커지고 있다. 이와 같은 초고층 건물의 연돌효과로 인한 문제 등을 효과적으로 해결하기 위해서는 초기 계획 설계 단계부터 적극적인 검토와 대책 수립이 바람직하며, 시공후의 문제 해결은 상당히 제한적이고 어려울 수밖에 없다.

초고층 건물에서의 연돌효과로 인한 문제점으로는 코어부분 출입문 개폐의 어려움, 엘리베이터문의 오동작과 엘리베이터 카의 흔들림으로 인한 불안감, 침기와 누기에 따른 소음, 결로, 건물화재 시 화재의 확산과 방화구획의 파괴, 강한 외기에 의한 불쾌감, 지하층의 배기가

스 및 냄새의 확산 등이 있으며 또한 에너지 손실량 증가에도 영향을 미치게 되어 종합적인 건물성능 및 실내 쾌적성의 저하를 초래한다.

이러한 문제를 사전에 방지하기 위해서는 설계 초기단계에서 연돌효과에 대한 대책을 고려하는 것이 가장 효과적이다. 그러나 국내 많은 초고층 건설 프로젝트의 경우 설계단계가 아닌 시공 초기단계에서 연돌효과의 대응방안을 고려하고 있는 실정이다.

연돌효과의 후발 대응은 실시설계 이후 건물 구조체 변경이 불가능하여 공기상승부의 역할을 담당하는 엘리베이터 샤프트 등의 수직 통로 대응책(수직 조닝)<sup>1)</sup>이 불가능하므로 연돌효과 대응방안의 한계를 가지는 문제점이 발생한다.

따라서 본 연구에서는 시공초기단계에서 적

<sup>1</sup>정회원, (주)이에이엔테크놀로지, 선임연구원  
<sup>2</sup>정회원, (주)이에이엔테크놀로지 이사, 工博  
<sup>3</sup>교신저자, 영남이공대학, 건축과 교수, 工博  
E-Mail : cys@ync.ac.kr

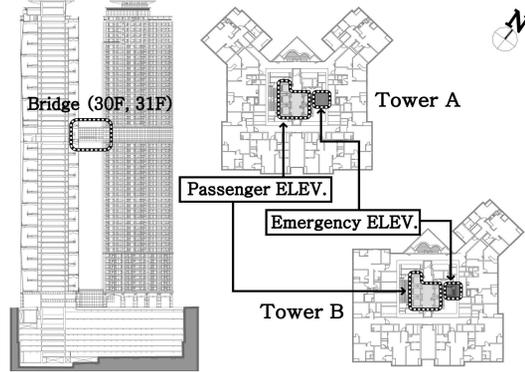
<sup>1</sup>Senior research worker of EAN Technology Co.

<sup>2</sup>Director of EAN Technology Co. Ph.D.

<sup>3</sup>Corresponding Author, Prof., Department of Architecture, Yeungnam College of Science & Technology, Ph.D.

용 가능한 연돌효과 대응방안을 모색하고 가능한 범위내의 설계변경, 대응방안의 모의실험을 통한 검증 및 시공 시 고려사항 등을 중점적으로 검토하여 시공단계에서의 유용한 정보와 적용 가능한 대응 방안을 제공하는 것에 목적을 두고 있다.

이를 위해 본 연구에서는 고층 주거건물을 대상으로 공기유동 시뮬레이션을 실시하여 압력분포 특징을 명확히 하고 관련 문제점을 파악한 후, 이를 해결하기 위한 대응방안을 제시하였다.



(a) Section (b) Typical Plan

Fig. 1. Typical plan & section.

## 2. 연구의 내용 및 방법

### 2.1 연구의 내용

연구대상 D 프로젝트 건물은 주거, 업무, 판매, 문화시설로 구성된 복합용도의 건물로서 주거 2개동, 업무 1개동, 업무동 저층부에 판매, 문화 등의 복합시설로 계획되어 있다.

주거동은 업무, 복합시설과 분리된 형태로 계획되어 있어 본 연구에서는 주거동만을 연구 대상으로 하였고, 건물은 지하7층 지상 51층, 높이 186m(옥탑 2개층 별도)이며, 평면 및 단면 구성은 Fig. 1과 같고 건축개요는 Table 1에 나타내고 있다.

엘리베이터의 구성은 지하 6층에서 지상 51층까지 운행되는 5기와 지하 7층에서 지상 51층까지 운행되는 비상용 엘리베이터 1기를 포함 총 6기가 각 동에 동일하게 수직구 없이 계획되어 있다. 이는 지하차차장, 지상 1층 주출입구 및 홀의 외피 등을 통해 유입된 공기가 총 6기의 엘리베이터 샤프트를 통해 고속 상승하면서 저층 및 최상층부에 과도한 압력을 유발할 것으로 예상된다.

또한 각 동 사이 30층을 연결하는 브릿지(Bridge)까지 계획되어 과도한 압력과 더불어 복잡한 공기유동 발생이 예상된다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 연돌현상 가중원인에 대한 분석과 그 저감방안에 대하여 모색 하였다.

Table 1. Project summary

Type	Description	
Location	Seoul, Yeongdeungpo-gu	
Structure	SRC	
Level	B7F, 51F	
Max high	186m	
Building use	Residential	

### 2.2 연구의 방법

본 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

- 대상 건물의 기본 설계안 검토를 통해 연돌효과 가중원인 분석
- 연돌현상 가중조건 별 기류 이동 및 압력분포 예측을 위해 CONTAMW 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 대상 건물의 동절기 연돌현상 평가 및 1차 연돌현상 저감방안 제시
- 제안된 연돌 저감방안 중 현장 적용성이 우수한 방안을 선정하고, 선정안 적용 전·후의 연돌현상에 대한 2차 시뮬레이션을 수행, 최종 연돌현상 저감방안 제안
- 최종 제안된 연돌현상 저감방안의 모의실험을 통한 성능 검증 및 현장 시공성, 경제성 등의 분석을 통해 연돌현상 저감방안의 설계·시공 지침 제안

또한, 본 연구 결과로 도출된 연돌현상 저감방안은 설계변경을 통해 적용될 예정이며 연돌현상 저감효과에 대한 현장실측이 수행될 예정이다.

### 3. 실시 설계안 검토 및 시뮬레이션

#### 3.1 실시 설계안 검토

대상 건물의 실시 설계안 검토 결과, 지하층 엘리베이터 홀과 지상 1층의 주출입구의 경우 방풍실이 구획되어 있지만 일반 강화유리 도어로 마감되어 기밀성 저하가 예상된다. 또 지상 1층부터 2층까지 계획된 홀의 외피 면적이 상당히 외피를 통한 공기유입량이 심각할 것으로 예상되며, 각층 엘리베이터 도어의 기밀성능 역시 보통 수준정도이다.

또한, 중성대 근처(약 28층)에 인접하여 각종 30층, 31층을 연결하는 Bridge가 계획되고, 주동 전·후면에 위치한 실내정원은 각층 엘리베이터 홀과 인접하여 4개 층이 연결되는 형태로 계획되어 있어 복잡한 공기유동이 발생할 것으로 예상된다.(Fig. 2 참조)

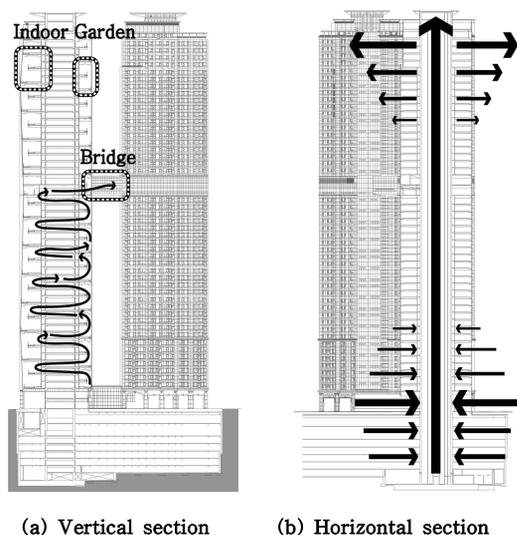


Fig. 2. Expected air-flow path in the cold season.

#### 3.2 시뮬레이션 조건 및 기준

##### 3.2.1 해석모델

실시 설계안에 대한 동절기 기류 이동과 압력분포 평가를 위하여 네트워크 알고리즘을 기본으로 하는 미국 NIST(National Institute of

Standards and Technology)에서 개발하여 지금까지 다수의 연구에서 신뢰성을 인정받은 CONTAMW 프로그램을 사용하였다.

공기유동을 해석하기 위해서 존과 공기유동 경로의 단순화 작업을 하였고, 계단실, 엘리베이터 샤프트 등은 개개의 존으로 구성하여 연결하였으며 건물과 연결된 모든 공기유입 부분을 구현하였다.

##### 3.2.2 실내외 해석 조건

시뮬레이션 조건으로 온도는 건축물에너지절약설계기준 중부지방 기준인 외기  $-11.9^{\circ}\text{C}$ , 실내  $21^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 실내외 온도차  $32.9^{\circ}\text{C}$ , 대기압  $1013\text{ hPa}$ 로 설정하였다.

바람에 의한 영향은 순간적으로 발생하는 것으로 연돌효과처럼 그 영향이 지속되는 것이 아니고, 그 변화도 다양하여 예측이 어려운 문제점이 있어 외부풍속은 고려하지 않았다. 외부 출입문, 실내 출입문 등의 각 기밀도는 제조사 성적서, 실험실 실험치, ASHRAE 및 NIST 제공 데이터를 적용하였고, Table 2에 나타내었다.

Table 2. The common air-leakage performances in the building

Method	Part	Air-leakage performances	Note
Power law model	Auto swing door	(25Pa) $0.9\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$	Material verification report
Crack method	Curtainwall	$9.25\text{ cm}^2/\text{m}^2$	Mock-up test
	Door(indoor)	$23\text{ cm}^2/\text{item}$	ASHRAE
	Auto sliding door	$120\text{ cm}^2/\text{item}$	
	Main door	$25\text{ cm}^2/\text{item}$	
	Access hall	$30\text{ cm}^2/\text{item}$	
	Al. grill	$380\text{ cm}^2/\text{m}^2$	NIST
	Door(outdoor)	$6\text{ cm}^2/\text{item}$	
Elevator door	$263\text{ cm}^2/\text{item}$		
	Door(staircase)	$188\text{ cm}^2/\text{item}$	

##### 3.2.3 시뮬레이션 평가 기준

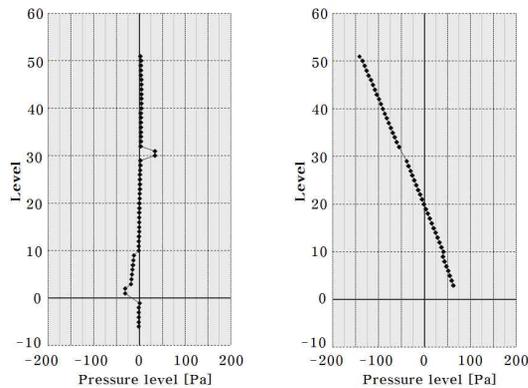
연돌현상에 의한 각종 문에서 문제를 야기할 수 있는 압력차는 국외 문헌조사를 바탕으로 세대 현관문은  $50\text{ Pa}^2)$ , 엘리베이터문은  $25\text{ Pa}^3)$  압력차를 기준으로 분석하였다.

### 3.3 실시 설계안 시뮬레이션 결과

동계 연돌현상에 대한 시뮬레이션 결과는 Table 3, Fig. 3과 같다.

**Table 3. Simulation performance result (Only maximum pressure level above the standard limit is shown on the table)**

Level	Main door	Elevator door	Indoor garden door
R2F			
R1F			
51F	158 Pa		
47F-50F	150 Pa		145 Pa
40F-46F	129 Pa		129 Pa
32F-39F	92 Pa		91 Pa
31F		39 Pa	
30F		39 Pa	
20F-29F			
10F-19F			
3F-9F	69 Pa		65 Pa
2F		34 Pa	
1F		34 Pa	
B1			
B6~B2			



(a) Elevator door (b) Main door  
Fig. 3. Main, elevator door pressure level.

엘리베이터 문의 경우 1-2층에서 34 Pa, 30-31층에서 39 Pa로 예측되어 기준압력 25 Pa를 초과하며, 세대 현관문의 경우 3-5층, 32-51층에서 기준압력 50 Pa를 초과하고 최고 158 Pa까지 발생하는 것으로 나타났고, 실내정원 출입문은 32-51층에서 기준을 초과하며 최대 145 Pa까지 나타나 연돌현상에 의한 문제가 심각하

게 발생할 것으로 판단되며, 이것은 지상 1-2층 주출입구 및 홀의 외피를 통해 과도하게 유입되는 외기의 영향으로 분석된다.

실제로 이와 같은 압력차가 발생할 경우 엘리베이터 문 개방 시 기류 유출 및 소음문제가 발생할 것이고, 세대현관문의 경우 40층 이상 고층부에서 100Pa 이상 과도한 압력이 작용하여 노약자 등은 자가 개폐가 불가할 것으로 예상된다.

### 3.4 연돌현상 저감 방안 제안

D 프로젝트 건물에 대한 실시 설계안의 시뮬레이션을 통해 도출된 대상 건물의 연돌현상 가장요인에 따른 저감방안은 다음과 같다.

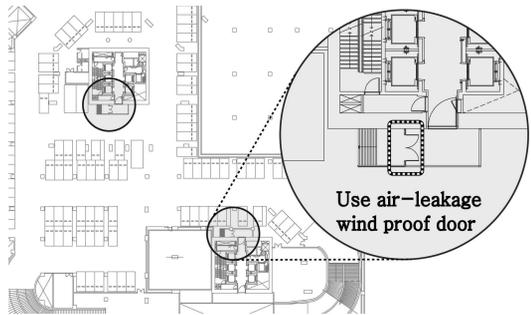


Fig. 4. Alternative solution for stack effect : [basement 2].

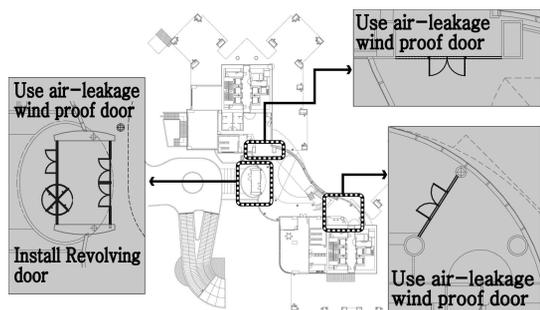


Fig. 5. Alternative solution for stack effect : [ground floor]

첫째, 저층부에서 외기 유입 가능성이 매우 큰 지하층 방풍실 출입문을 기밀성 강화 도어로 교체하고, 지상 1층의 출입문을 기밀성이 우

수한 회전문으로 교체 또는 로비에서 엘리베이터 홀까지의 이동구간에 방풍구획을 설치한다 (Fig. 4, 5 참조).

둘째, 기류 유동량이 많은 30, 31층의 엘리베이터 홀과 Bridge사이에 방풍구획을 설치한다 (Fig. 6 참조).

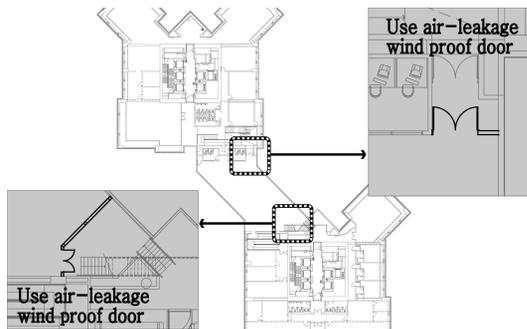


Fig. 6. Alternative solution for stack effect : [30th floor].

셋째, 옥탑 1,2층의 환기그릴창을 Fix 창호로 교체하고, 엘리베이터 기계실의 환기창을 폐쇄하고 패키지 에어컨을 설치할 것을 제안 한다. 기타 사항으로 외기의 유입이 예상되는 모든 외부 출입문에 모헤어의 적용을 제안하며, 개폐방향 또한 가능한 외기가 유입되는 반대 방향으로 계획하고 외기 유입 차단 및 연돌 효과로 인한 문제점을 개선할 것을 제안 한다.

### 3.5 연돌현상 저감 방안 적용 후 결과

연돌효과 저감방안 적용후 본 건물의 동계 연돌현상에 대한 시뮬레이션 결과는 Table 4, Fig. 9와 같다.

결과적으로 실시설계안 대비 최고 압력이 약 10 Pa 정도만 저감되는 미흡한 결과가 도출되었다. 이것은 총 6기의 엘리베이터가 지하 6층에서 지상 51층까지 수직 구획 없이 연결되어 연돌현상을 가중시키고, 지상1층의 주출입구 외에 홀의 과도한 외피 면적을 통해 다량의 외기가 유입된 이유로 분석된다. 따라서 근본적인 해결방안은 엘리베이터의 수직 구획과 외피의

기밀성이 향상되어야 할 것이다. 하지만 본 연구 당시 D 프로젝트는 이미 구조체가 지상 6층까지 시공된 상태였고 외피 시공업체 역시 계약이 진행되는 상황이었으므로 최선의 연돌효과 대응방안 적용이 불가하였다.

Table 4. Simulation performance result (Only maximum pressure level above the standard limit is shown on the table)

Level	Main door	Elevator door	Indoor garden door
R2F			
R1F			
51F	148 Pa		
47F-50F	140 Pa		137 Pa
40F-46F	121 Pa		119 Pa
32F-39F	89 Pa		82 Pa
31F			
30F			
20F-29F			
10F-19F	48 Pa		
3F-9F	66 Pa		55 Pa
2F			
1F			
B1			
B6~B2			

이에 차선택으로 세대현관문의 과도한 압력을 부담하며, 충분한 개폐성능이 보장되는 자동문 설치를 전층(지하6층-지상51층)에 제안하였다.

## 4. 최종 연돌현상 저감방안 제안 및 성능검증

### 4.1 압력 부담 자동문의 성능 기준 제안

세대현관문의 압력을 50 Pa 이하로 유지하려면 자동문의 기밀성능은 차압 25 Pa에서 공기 누설량이 65 CMH 이하이어야 하며, 안전율을 고려한 최고압력 약 200 Pa에서도 원활한 열림과 닫힘이 가능하고 닫힘 시 인체 또는 사물의 협착 방지를 위한 안전센서가 원활하게 구동되어야 하고, 문의 개폐 방식은 실시설계안의 변경을 최소화 할 수 있도록 Swing type을 제안한다.(Fig. 7 참조)

### 4.2 압력 부담 자동문의 성능 모의실험 결과

상기 열거된 성능 기준 중 기밀성능은 자동문 제조사가 제시한 시험성적서를 통해 확인하여 기밀성능에 관한 추가 실험은 진행하지 않았으

며, 차압 200 Pa에서 원활한 개폐성능을 확인하는 실험을 실시한 결과 차압 200 Pa에서 원활히 작동하였고, 안전센서도 오작동 없이 정상 작동하여 본 건물에 적용 가능한 것으로 판단하였다.(Fig. 8 참조)

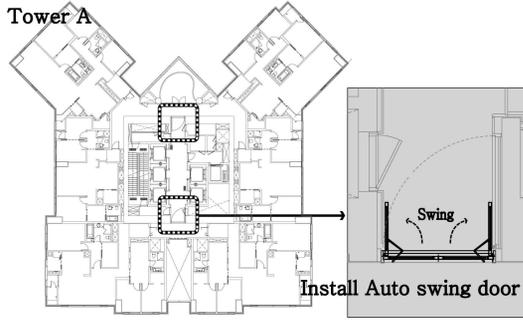


Fig. 7. Install Auto swing door : B6-51F.



Fig. 8. Auto swing door test.

실험 당시 기준 압력 50 Pa에 대한 인체의 감각 수준을 판단하기 위해 본 저자가 직접 50-200Pa의 압력 하에서 인력에 의한 문 개폐 여부를 확인한 결과, 50 Pa은 전혀 힘을 쓰지 않고 개폐 가능하며 100 Pa까지는 적당히 힘을 가하면 개폐가 가능하였다. 150 Pa을 넘으면서 매우 많은 힘이 들었고 180 Pa 이상은 개폐가 불가능 하였다. 이를 미루어 볼 때 어린이나 노인의 경우 100 Pa 이상의 압력이 발생하면 문의 개폐가 매우 어렵거나 불가능 할 것으로 판단된다.

#### 4.3 최종 저감방안의 시뮬레이션 결과

1차 제안된 저감방안과 자동문 설치 방안을 모두 적용하여 시뮬레이션을 실시한 결과, 자동문을 제외한 전 층의 출입문에서 기준압력 50 Pa이하의 압력이 예측되었다. 이것은 자동문에

의한 공기의 유입·유출량이 저감된 이유로 분석된다.

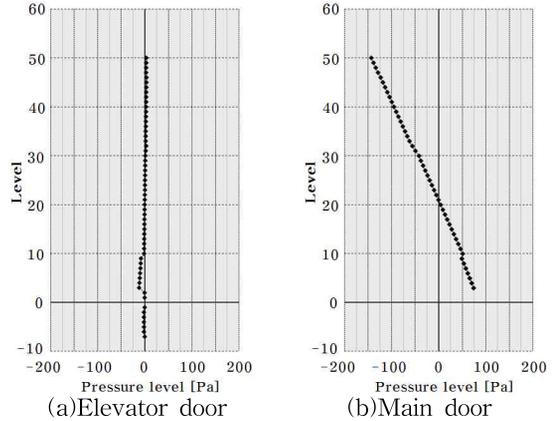


Fig. 9. Main, elevator door pressure level.

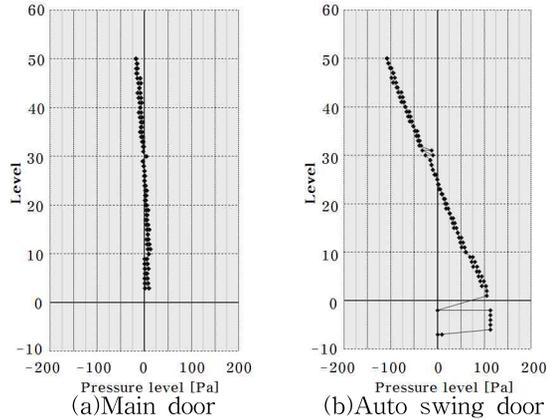


Fig. 10. Main, auto swing door pressure level.

따라서 연돌효과에 의한 문제점은 발생하지 않을 것으로 예상되고, 자동문은 지상 51층에서 최고 압력 113 Pa이 예측되어 충분한 개폐가 가능 할 것으로 판단된다. (Fig. 9 참조)

#### 5. 결론 및 토의

D 프로젝트 건물에 대한 연돌현상 가장요인 및 저감방안 제안을 통해 초고층 건물의 연돌현상 저감 방안을 평가하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다

첫째, 수직구획이 되지 않은 다수의 엘리베이

터 샤프트가 계획되면 과도한 압력차가 작용하므로 출입구외 외피의 침기량이 증가하여 건물내 출입문에서 압력차 문제가 심각하게 발생할 것으로 사료된다.

둘째, 건물 외부 출입구의 기밀성능이 우수하더라도 각종 엘리베이터 홀에 존을 구획하는 것이 연돌효과 저감 효과가 큰 것으로 나타났다.

셋째, 연돌효과의 대응은 설계 초기 단계에서 고려되어야 근본적인 대응방안 수립이 가능하므로 설계초기 단계에서 고려되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- 1) Jo, J. H., Kim, C. R., and Kim, K. W., *proceedings of AIK*, **23**, 5, 195, (2007)
- 2) Tambllyn, R. T., *ASHRAE Transactions*, **97**, 1, 826, (1991)
- 3) ASHRAE Research Project 661 "Field Verification of Problems Caused by Stack Effect in Tall Building", pp.33, (1993)

---

(접수:2010.12.27, 수정:2011.01.20, 게재확정:2011.02.18)