

# 공동주택 지하주차장의 개구유형에 따른 풍력환기 성능에 관한 연구

- 풍동실험에 의한 풍압계수 검토 -

## A Study on Wind-Driven Ventilation Performance According to Opening Types in Basement Parking Lots of Apartment

- Investigation of Wind Pressure Coefficient by Wind Tunnel Test -

노 지 웅\*

Roh, Ji-Woong

### Abstract

This Paper aims for analyzing the effect of opening types on wind-driven ventilation performance in basement parking lots of apartment. The scale model of basement parking lot was made, wind tunnel tests conducted. Wind pressure of three opening types was measured, wind pressure coefficient calculated.

As the result, it showed that the air flow pattern of stack type opening was strongly changed by wind direction, but it was almost not at scuttle vent type. But, as for the difference of wind pressure coefficient, stack type opening was more than the other two types.

키워드 : 지하주차장 환기, 축소모형, 풍동실험, 풍압계수

Keywords : Underground lot ventilation. Scale model, Wind tunnel test, Wind pressure coefficient

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

공동주택과 같은 인구밀집지역을 중심으로 주차공간의 부족현상이 심각한 문제로 대두되고 있다. 최근의 아파트 고층화 추세는 이 문제를 가중시켜 필요주차면적을 확보하기 위하여 고심도의 지하주차장 건설이 더욱 증가하고 있다.

지하공간은 그 특성상 자연환기가 행해지기 어렵기 때문에 주로 급배기팬에 의한 기계환기를 채용하고 있다. 그러나, 대형팬에 의한 소음과 유지관리상의 문제로 인하여 설치 후 방치되는 경우가 빈번하여 결과적으로 비용만 낭비한 채 공기환경은 악화되는 우(愚)를 범하게 되고 있다. 이에 대한 유력한 대책으로서 자연환기와 기계환기를 혼용한 Hybrid형 지하환기가 검토될 수 있다. 즉, 자연환기와 연동하여 기계환기를 함으로써 기계환기의 용량과 가동시간을 줄임으로 초기투자비와 에너지 비용 저감을 기하는 것이다. 그러나 자연환기는 시시각각 변화하

는 외기조건과 주변지형, 그리고 개구조건 등에 따라 다르게 나타나기 때문에 이를 정량화하여 환기설계에 반영하기 위해서는 다양한 측면에서의 면밀한 보완연구가 뒤따라야 할 것이다.

자연환기는 풍력과 온도차에 의해 구동되지만 지하공간에서는 공간의 특성상 온도차 환기가 발생하기 어렵고 주로 풍력에 의한 환기가 대부분을 차지한다. 풍력에 의한 자연환기방식은 지하주차공간의 형태, 주변건축물의 배치, 개구부의 위치, 차량진입방향등 많은 외적요인의 영향을 받기 때문에 개구부의 면적과 외기풍속만으로 지하주차공간의 환기량을 산정하는 것은 여러 가지 문제점을 발생 시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 지하주차장의 다양한 환기구의 풍력환기 성능을 검토하고자 축소모형을 제작하여 풍동실험을 행하여 환기구 주변의 풍압계수와 환기구 전후의 풍압계수차를 측정, 분석 하였다. 이는 향후 Hybrid형 지하환기 설비설계의 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

\* 교신저자, 홍익대학교 건축공학부 조교수  
(jwroh@hongik.ac.kr)

2. 본 론

2.1 바람환경에 관련한 예측방법

예측 방법을 대별하면 수학적 모델과 물리적 모델을 사용하여 실험을 하는 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 수학적 모델은 유동의 지배방정식(Navier - Stokes 방정식)의 해를 얻는 모든 방법을 지칭하며 주로 수치해석법이 사용되고 있다. 근래에 초대형 컴퓨터의 발달과 함께 각종 난류모델 즉 Vortex method, Spectral method, Large eddy simulation 등 여러 가지 방법이 시도되고 있으며 특히  $\kappa - \epsilon$  모델을 유한차분법으로 해를 구하는 방법이 보편화 되어있다. Large eddy simulation 은 난류모델에 의존하지 않고 난류스펙트럼상의 대형 와류에 제한하여 유동 지배방정식을 직접 해석하는 방법으로 정확성과 신빙성이 여타 난류모델에 비해서 우수하므로 근래에 상당한 관심 속에 연구가 진행되고 있다. 그러나 진술한 난류모델해법에 비교해서 더욱 많은 계산시간이 필요하므로 이들도 컴퓨터의 제한으로 인해 아직까지는 3차원 난류장의 해석에 적용하기는 매우 어려운 처지에 있다.

물리적 모델은 풍동 혹은 수리실험장치(Wind tunnel or Water tunnel)내에 실제 대기유동장과 역학적 상사의 유동장을 생성시키고 또한 지형지물의 기하학적 상사모델을 사용하여 대상물 주변에 발생하는 유동장을 모형실험을 통하여 파악하는 방법이다. 이러한 풍동실험은 구미 지역이나 일본지역에서 이미 많은 연구가 수행되어 단독 각형 건물 주위의 유동장에 대해서는 정성적, 정량적 통계자료가 많이 보고 되어있다. 그러나 건축물의 형상은 매우 다양하고 동일한 모양의 건축물일지라도 주변환경에 따라 그 유동장은 상당히 차이가 나므로 위의 자료를 활용하기가 쉽지는 않다.

풍동실험을 수행하기 위해서는 실험상과 물리적 모델 간에 역학적·기하학적 상사 조건을 만족해야 한다. 그러나 풍동의 제약상 이 상사조건을 완전히 맞추는 것은 매우 어렵기 때문에 이들의 완화 방법이 각 연구자들에 의해 제시되어 있다. 우선 실험과 모형은 기하학적으로 상사되어 하며 둘째는 접근류의 상사가 있어야 한다. 그리고 마지막으로 건물주변유동의 상사가 요구된다. 풍환경이나 풍압실험에 있어서 기하학적 상사는 건물의 외형이 축척비가 동일하면 문제점은 없으나 건물의 진동이나 연돌동 확산장에서는 각각 모형의 탄성과 연돌의 크기 등의 상사조건을 만족시키는 것이 문제시 될 경우가 발생한다.

먼저 접근류의 상사조건은 아래와 같이 설명할 수 있다.

1. 경계층의 평균유속 수직분포
2. 난류강도, 즉 변동유속(Turbulent Fluctuation)과 평균유속의 비에 대한 수직분포
3. 난류스케일(Integral Scale or Spectral Scale)

건물 주변 유동장의 상사는 유동의 지배방정식의 상사로부터 얻어지는 각각의 무차원 수, 즉 레이놀즈(Reynolds)수, 리차드슨(Richardson)수, 로스비(Rossby)수, 프란틀(Prandtl)수가 실험과 모형간에 동일하다면 역학적으로 정확한 상사가 된다. 프란틀 수는 풍동내에서

같은 대기의 공기를 사용하므로 문제가 없고 리차드슨 수나 로스비 수는 각각 대기 성층화와 지구의 회전을 고려한 것이나 풍환경 문제에 관한 대상지역이 좁고 주로 강풍시가 문제되므로 이 무차원 수들은 유동장의 상사에는 크게 문제되지 않는다. 다만 풍동실험에서 같은 대기 공기를 사용하는 한 레이놀즈 수를 실험과 동일하게 맞추기는 매우 어렵다. 모델은 보통, 수백 배로 축소하며 그에 따라 레이놀즈 수를 일치시키려면 유속을 축척만큼 증가시켜야 한다. 이 경우에는 유동 자체가 압축성 유동장이 되어 실제와 전혀 다른 특성을 나타낼 수 있기 때문에 레이놀즈 수가 동일하여도 상사가 되지 않는다. 그러나 일반적으로 여러 가지 장애물주위의 유동특성은 대부분이 일정 레이놀즈 수( $Re_c$ ) 이상이 되면 유동특성이 변하지 않는다. 이에 일정  $Re_c$  이상에서 풍동실험에 대한 수행을 통해 유동의 상사를 성립시킬 수 있다. 경험적으로 풍동내  $Re_c$  가  $10^4 \sim 10^5$  정도 이상이 되면 실험의  $Re_c$  가 그 이상이라 할지라도 건물주변의 유동상에는 큰 영향이 미치지 않는 것으로 보고 되어있다.

2.2 실험개요

2.2.1 풍동, 접근류 및 실험풍속

본 연구에서 사용된 풍동은 소형의 경계층풍동으로 측정부의 크기는 폭 1.0m, 높이 1.5m, 길이 6.0m의 개방형(open type)이며 풍속범위는 0.3m/s~22.5m/s이다.

접근류는 측정부 상류측에 삼각팬스, 스파이어, 크고작은 조도블럭을 사용하여  $U \propto Z^2$ 의 풍속연직분포를 작성하였다. 실험풍속은 건물모형 상당높이 (풍동 바닥에서 22.5cm 상부)에서 6.8m/s로 하였다. 측정부 중심의 평균 풍속과 난류강도의 연직분포는 그림1과 같다.

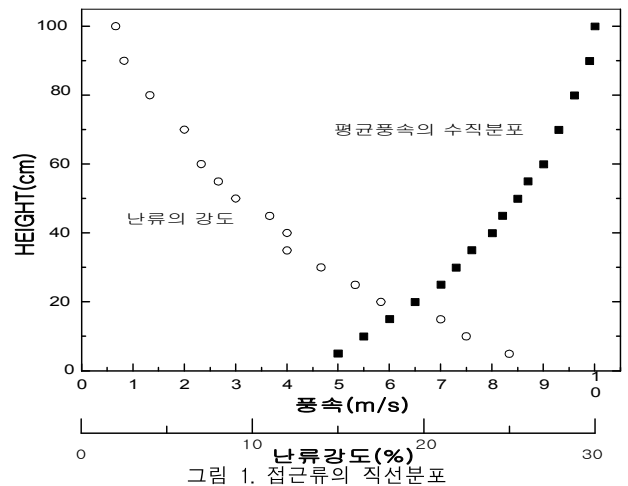


그림 1. 접근류의 직선분포

2.2.2 대상모형의 개요

실험에서 사용한 대상모형은 일반적인 공동주택 단지의 지하주차장공간을 주변건물과 함께 1/100축적으로 아크릴로 제작하였다. 주차장은 39.8m×55.8m, 총 높이 8.0m의 지하2층의 구조로 되어있으며 주변은 42.1m×9.3m, 높이 22.5m 크기의 건물 3개동이 N, E, S 방향에 위치해 있다 (그림 2). 모형은 4가지 유형의 환기구의 성능을 측정할

수 있도록 천창 8개, Dry Area 8개를 실험종류에 따라 개폐가 가능하도록 설치하였다(그림 3). 각 환기구의 개구면적은 개구부에 따른 환기량을 비교하기 위하여 동일하게 배려했다. 또한, 축소모형의 지하 1, 2층에는 내경 1mm의 동과이프를 된 105개의 풍압 측정공을 천창면에 41개, 각 개구부 유출입면에 2개씩 설치하였다.

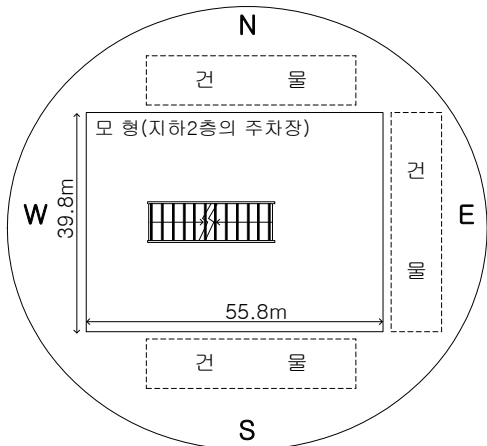


그림 2. 모형의 개요

2.2.3 실험Case

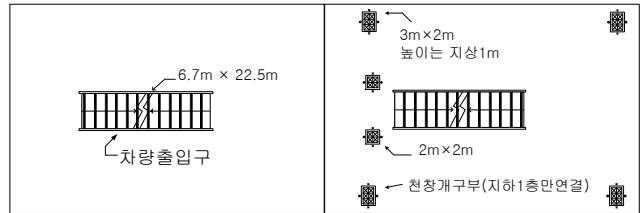
실험Case는 표 1에 표시한 것과 같이 환기구 유형과 풍향별 변화를 알 수 있도록 총 10개의 경우로 실시하였다. 환기구 유형은 차량출입구를 제외한 별도의 환기구가 없는 것을 기본형인 Type I로 하고, 지하1층에만 연결된 천창을 환기구로 설치한 것을 Type II로 하였다. 또한, 지하1,2층에 연결된 Dry Area형 환기구를 설치한 것을 Type III, 천창형과 Dry Area의 개구면적을 동일면적으로 혼합하여 설치한 혼합형을 Type IV로 하였다. 풍향은 빈도가 가장 높은 서풍(W)을 기본풍향으로 하여 남서, 또는 북서풍(SW/NW)과 남동, 또는 북동풍(SE/NE)의 3가지 풍향을 대상으로 하였다. 추가적으로 기본형(Type I)의 기본풍향(W)에 대하여 건물유무의 영향을 검토하였다.

2.2.4 풍압 측정 및 풍압계수 산출

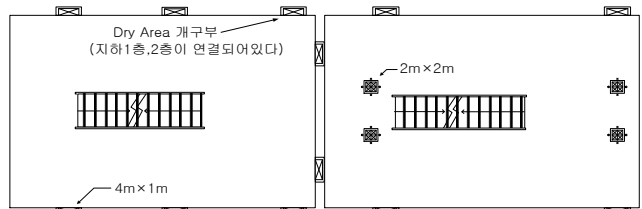
Pito Tube(LK-5, Okano, Japan)와 Digital Micromanometer (DP-20A, Okano, Japan)을 사용하여 축소모형 각 부에서의 풍압분포를 측정하였다. 이를 이용하여 아래와 같이 풍압계수를 산출하였고 환기구 출입구부의 풍압계수차를 도출하였다.(그림 4참조).

표 1. 실험 Case

Model Type \ 풍향	W	SW/NW	SE/NE
Type I (환기구부)	1-1	-	-
Type II (천창형)	2-1	2-2	2-3
Type III (Dry Area형)	3-1	3-2	3-3
Type IV (혼합형)	4-1	4-2	4-3

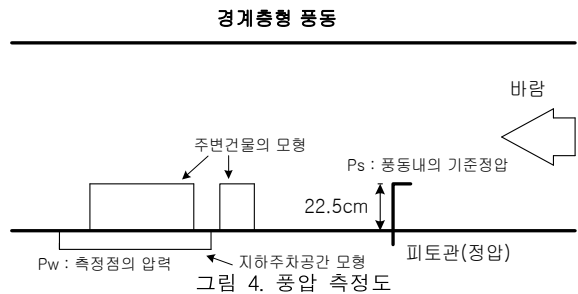


(1) Type I. 주차장 평면도(지상바닥) (차량출입구 예만 환기개구부가 존재)  
(2) Type II. 주차장 평면도(지상바닥) (차량출입구, 천창의 환기개구부가 있는 경우)



(3) Type III. 주차장 평면도(지상바닥) (차량출입구, Dry Area의 환기개구부가 있는 경우)  
(4) Type IV. 주차장 평면도(지상바닥) (차량출입구, 천창, Dry Area의 환기개구부가 있는 경우)

그림 3. 개구부 유형



경계층형 풍동

그림 4. 풍압 측정도

$$C_p = \frac{P_w - P_s}{\frac{\gamma}{2g} V^2} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, Cp : 풍압계수  
Pw : 측정점의 압력[mmH<sub>2</sub>O]  
Ps : 기준정압[mmH<sub>2</sub>O]  
V : 주변건물 높이에서의 풍속[m/s]

- 단, ① 기준정압 Ps : 주변건물의 영향을 받지않는 장소의 피토관의 정압으로함.
- ② 기준동압 Pv : 주변건물이 없는 경우에 대하여 모형높이의 동압( $\frac{\gamma}{2g} V^2$ )으로함.

2.3 실험결과 및 고찰

2.3.1 풍압계수 분포

풍압계수를 개구부 Type 및 풍향별로 측정해 본 결과, 별도의 환기용 개구부가 없는 Type I의 Case 1-1에서는, 지하1,2층에서 0.25~0.29의 값을 나타냈다(그림생략).

천창형 환기구를 설치한 Type II에서는 대체로 풍향의 변화에 상관없이 출입램프를 통해 유입된 바람이 천창을 통해 유출되고 있는 것으로 나타났다. 서풍이 부는 Case

2-1의 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>천정에서는 평균 0.26정도의 고른 값을 나타냈고, 천장 개구부에서는 실내측에서 0.23~0.28, 실외측에서 0.12~0.22로서 유출구로 작용하는 것으로 나타났다(그림 5). 남서, 또는 북서풍(SW/NW)이 부는 Case 2-2의 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>천정에서는 약 -0.04의 균등한 값을 나타냈으며, 천장 외측부분에서는 -0.04~-1.9로서 실외로 유출되고 있다(그림 6). 남동, 또는 남서풍(SE/NE)이 부는 Case 2-3의 경우, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 천정에서는 약 -0.78의 값이 측정되었고, 천장 외측부에서는 -0.73~-1.0으로 역시 유출되고 있는 것으로 나타났다(그림 7).

Dry Area를 설치한 TypeⅢ에서는 바람방향의 변화에 따라 환기구에서의 유출입 방향이 크게 달라지는 것으로 나타났다. Case 3-1(W)에서는 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>에서 0.25~0.28로서 Type I, TypeⅡ와 유사한 값을 나타냈다. 그러나, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>의 환기 유출입구에서 측정된 결과에 의하면 건물의 영향을 비교적 적게 받는 남,북 측면 개구부에서는 유출되는 반면, 건물에 부딪쳐 되돌아오는 기류의 영향을 받는 동측면 개구부에서는 유입되는 경향을 보였다(그림 8의 (a), (b)). Case 3-2(SW/NW)의 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 천정에서는 약 -0.03, 환기구에서는 -0.64~0.02로서 바람이 지상방향으로 유출되고 있다(그림9). Case 3-3(SE/NE)의 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 천정에서는 -0.83~-0.86, 환기구에서는 -0.69~-1.09이며 바람의 유입과 유출방향이 매우 복잡하게 나타났다(그림 10). 본 실험에서 측정된 개구부 유출입구의 풍압계수에 의하면 Dry Area형이 풍향의 변화에 따라 환기구에서의 공기흐름, 즉 유입과 유출방향이 바뀌기 쉬운 것으로 나타났다. 그 경향은 다소 복잡하여 추가적인 실험을 통하여 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

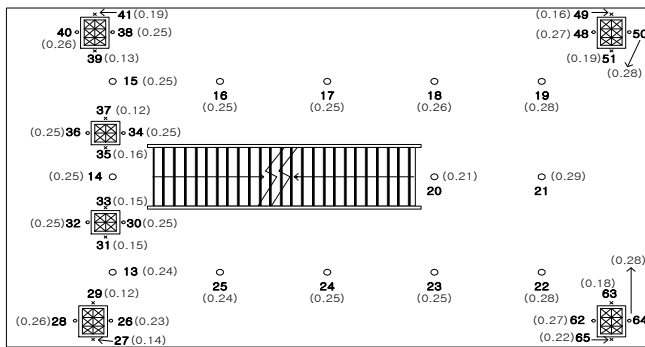


그림 5. 풍압계수 분포(Case 2-1)

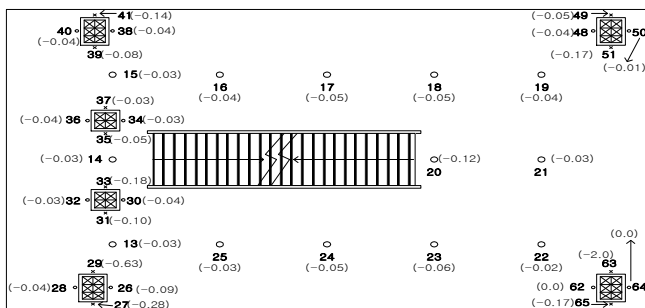


그림 6. 풍압계수 분포(Case 2-2)

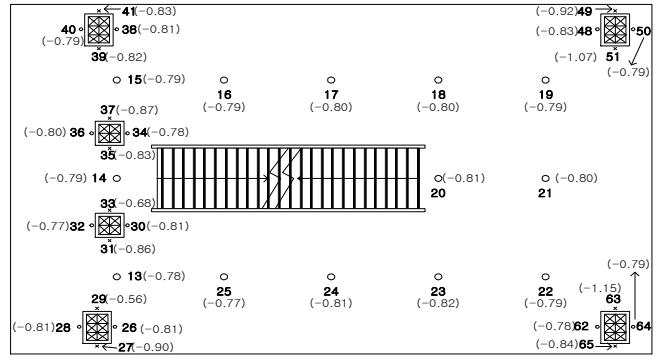


그림 7. 풍압계수 분포(Case 2-3)

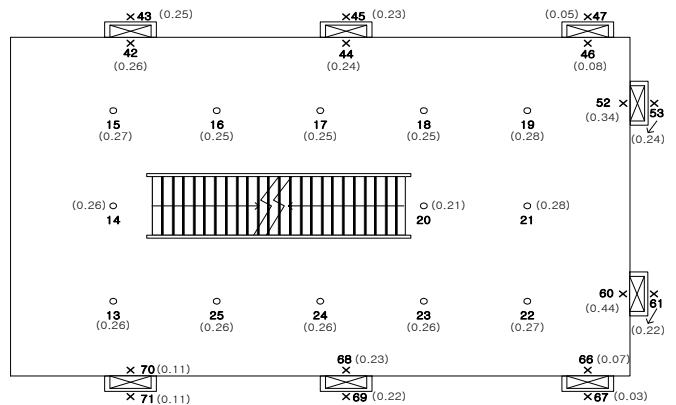
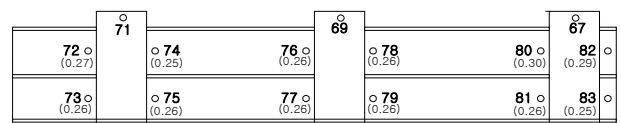
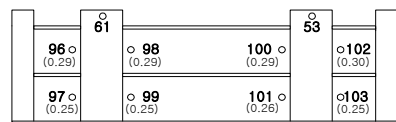


그림 8. (a) 풍압계수 분포(Case 3-1)

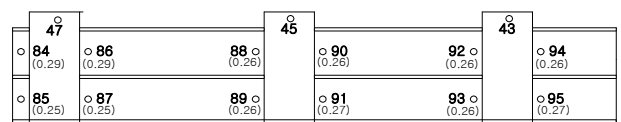
천정개구부와 Dry Area를 복합적으로 사용한 TypeⅣ에서는 대체적으로 풍향에 관계없이 출입램프를 통해 유입된 바람이 전체 천장을 통해 유출되고 있는 것으로 나타났다. Case 4-1에서는 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>천정에서 평균 0.24, 환기구에서는 0.05~0.14로서 유출경향을 나타냈다. Case 4-2에서는 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>천정에서 약 -0.04, 환기구에서 -0.39~-0.03을 나타냈다. Case 4-3에서는 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>천정에서 -0.84~-0.87, 환기구에서 환기구에서 -0.64~-0.9로 나타났다.



정면도(S)



우측면도(E)



배면도(N)

그림 9. (b) 풍압계수 분포(Case 3-1)

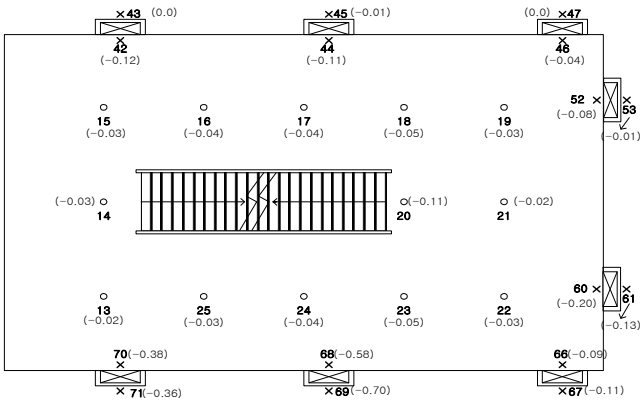


그림 10. 풍압계수 분포(Case 3-2)

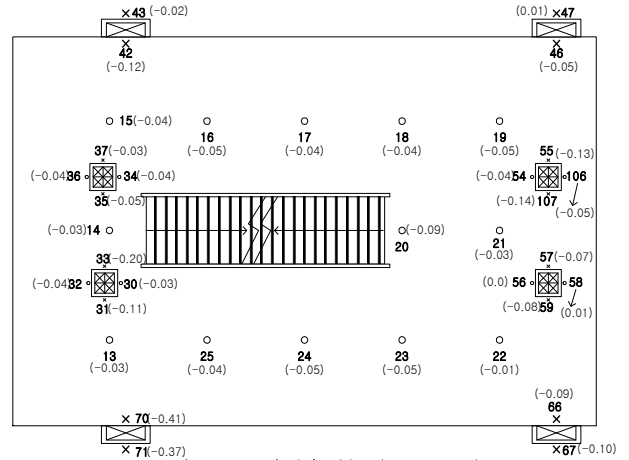


그림 14. 풍압계수 분포(Case 4-2)

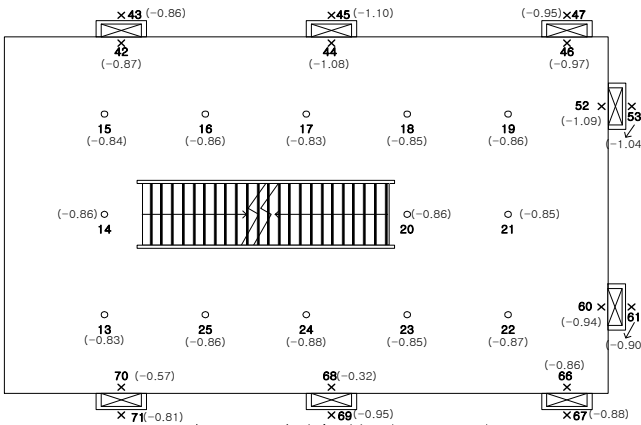


그림 11. 풍압계수 분포(Case 3-3)

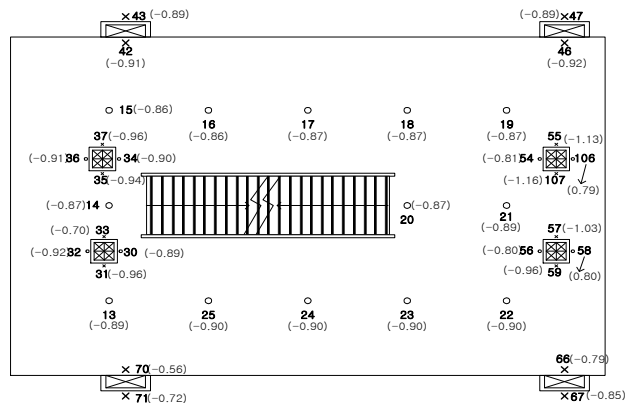


그림 15. 풍압계수 분포(Case 4-3)

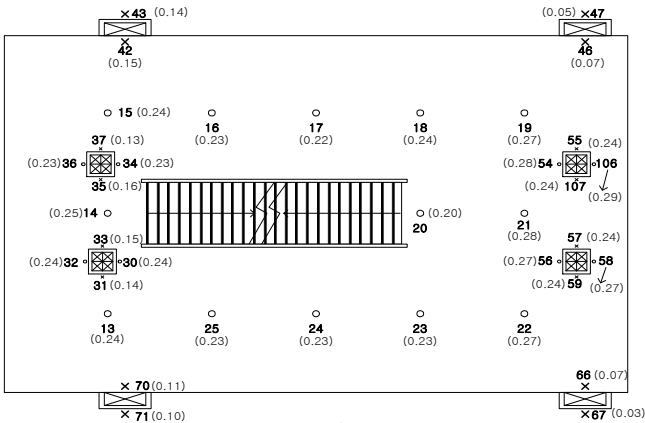
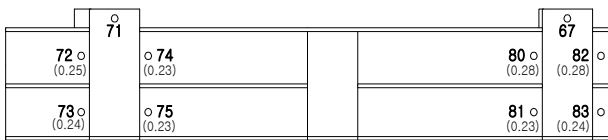
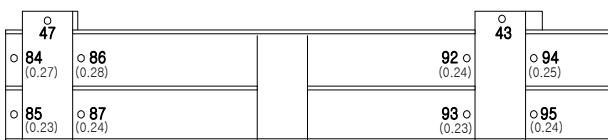


그림 12. (a) 풍압계수 분포(Case 4-1)



정면도(S)



배면도(N)

그림 13. (b) 풍압계수 분포(Case 4-1)

### 2.3.2 환기부의 풍압계수차

천창형 환기구(Type II)의 Case 2-1(W)에서는 0.079~0.113의 분포로서 평균 0.1의 값을 나타냈다. Case 2-2(SW/NW)에서는 0.005~0.39의 값으로 각 개구부별로 편차가 크게 나타났다. 즉, 6개의 개구부 가운데 남측면(그림 14의 측정점 c, d)에서는 비교적 큰 값을, 그 외(그림 14의 측정점 a, b, e, f)에서는 비교적 작은 값을 나타냈다. Case 2-3(SE/NE)에서는 일부 개구부(그림 15의 측정점 d, e)에서 다른 개구부와는 달리 바람이 유입되는 것으로 나타났고 개구부별 편차도 비교적 크게 나타났다. 기계환기와의 일률적인 조합이 전체 환기 성능에 악영향을 미칠 수 있음을 보여주고 있다.

Dry Area형 환기구(Type III)의 Case 3-1(W)에서는 바람이 유출되는 곳에서 평균 0.13, 유입되는 곳에서 평균 -0.03의 값을 나타냈다. 전체적으로 환기구가 바람의 유출구 역할을 하고 있는 Case 3-2(SW/NW)는 0.01~0.61로서 비교적 분포가 크며 평균 0.15의 값을 나타냈다(그림 16). 바람의 유입과 유출이 비교적 복잡하게 나타난 Case 3-3(SE/NE)의 경우, 유입부에서는 평균 0.12, 유출부에서는 평균 -0.11의 값을 나타냈다(그림 17).

혼합형 환기구(Type IV)의 Case 4-1(W)에서는 평균 0.13, Case 4-2(SW/NW)에서는 평균 0.1의 값으로 유출되는 것으로 나타났다. 일부 개구부가 바람이 유입구 역할을 하는 Case 4-3(SE/NE)에서는 유출부에서 평균 0.12, 유입부에서 평균 -0.14의 값을 나타냈다.

3가지 유형의 풍압계수차를 분석한 결과, 환기구의 위치와 풍향별로 편차가 크게 나타났지만, 평균적으로 Type II가 0.1, Type III에서 0.14, Type IV에서 0.13정도의 값을 나타냈다. 또한, Type

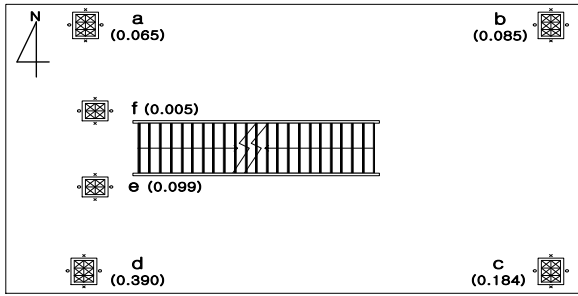


그림 16. 풍압계수차 분포(Case2-2)

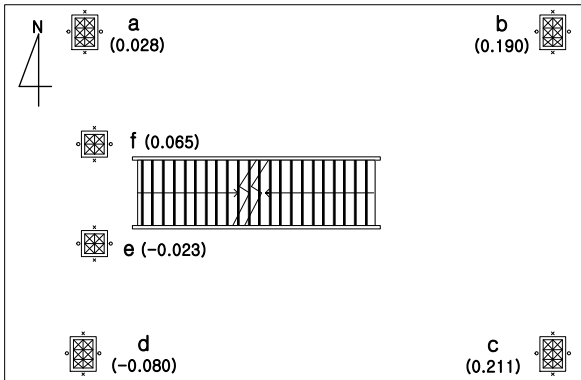


그림 17. 풍압계수차 분포(Case2-3)

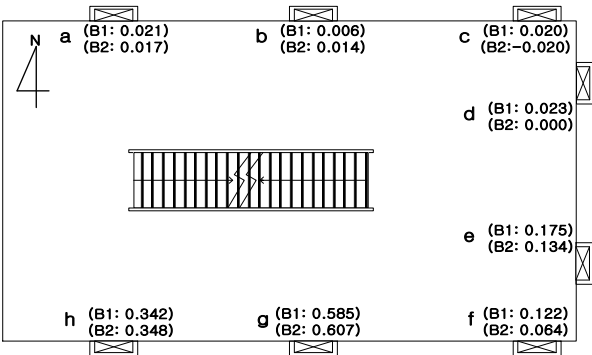


그림 18. 풍압계수차 분포(Case3-2)

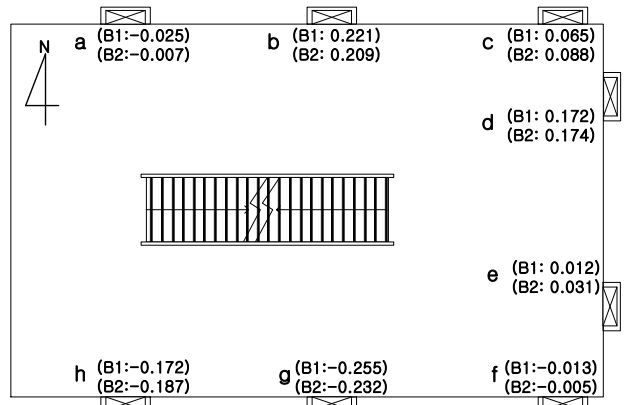


그림 19. 풍압계수차 분포(Case3-3)

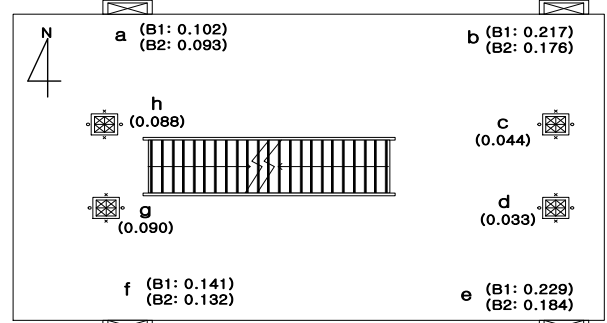


그림 20. 풍압계수차 분포(Case4-1)

본 실험을 통하여 바람의 방향과 지상의 건물배치, 개구부 위치 등이 풍압계수에 복합적인 영향을 미치고 있는 것을 확인하였다. 향후 추가적인 실험을 통하여 보다 면밀한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 서정민, 이중훈, 송종의, 정정화, 송두삼, 공동주택 지하주차장의 자연환기 향상방안에 관한 연구, 설비공학논문집 v.13 n.3 (통권13호), 2011.2
2. 황민규, 김성식, 김강수, 지하주차장의 환기성능 평가에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집 통권 12호, 2007.6
3. 이시용, 노지용, 풍동실험을 통한 공동주택 지하주차장의 자연환기 성능 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 v.4 n.3(통권13호), 2004.9
4. 박명식, 차광석, 이재현, 문정환, 추적가스법에 의한 지하주차장 자연환기량 측정, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, 2002.11
5. 신현준, 조성식, 박병규, 지하주차장의 환기시스템 개발, 한국건설기술연구원, 1989.12
6. Bailey and vincent, Wind pressure on building including effects of adjacent buildings, Journal of the institute of civil engineering, vol. 19-20 no. 1
7. Boutet and terry s., Controlling air movement, McGraw-hill book co., 1987
8. Martin w. liddament, A guide to energy efficient ventilation, oscar faber consulting engineers, 1996.3
9. ASHRAE, Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE standard 62-1989
10. ASHRAE, ASHRAE fundamentals handbook, 1993

투고(접수)일자: 2011년 11월 21일  
수정일자: 2011년 12월 26일  
게재확정일자: 2011년 12월 27일