

저층건축물의 구조골조 설계용 풍압계수 및 풍하중 평가 약산식의 제안

A Proposal of the Wind Pressure Coefficient and Simplified Wind Load Estimating Formula for the Design of Structural Frames of the Low-Rise Buildings

박재형¹⁾ · 정영배²⁾ · 하영철³⁾

Park, Jae Hyeong · Chung, Yung Bea · Ha, Young Cheol

요약 : 본 연구는 각주형 저층건축물에 작용하는 지점별 풍압을 다점동시측정시스템을 이용하여 건물 폭과 깊이변화에 따른 평균풍압분포 특성에 대한 기초적인 결과를 정리한 것이다. 본 실험에서는 건물의 폭과 깊이를 변화시킨 5개의 각주형 풍압실험모형이 사용되었으며, 풍동실험은 금오공과대학교 소재 토출식 경계층풍동에서 실시하였다. 실험결과는 저층건축물의 건물 폭 및 깊이의 변화에 따른 저층건축물의 평균풍압분포 변화경향을 건축물의 풍상면, 풍측면 및 풍하면 중심으로 특성을 분석하였다. 실험결과를 토대로 저층건축물의 구조골조 설계용 풍하중을 합리적으로 산정하기 위해 필요한 새로운 풍압계수 및 간략한 약산식을 제시하였다.

ABSTRACT : This study summarizes basic results on the characteristics of mean wind pressure distribution on rectangular low-rise buildings with various breadths and depths through simultaneous multi-point wind pressure test. 5 types of rectangular wind pressure test models with various breadths and depths have been made for this study. Wind pressure tests are conducted on the Boundary Layer Wind Tunnel at Kumoh National Institute of Technology. The characteristics of mean wind pressure distribution with respect to various breadths and depths of low-rise buildings are analyzed into windward face, leeward face and side faces of building. From the results, new wind pressure coefficients and simplified wind load estimating formula for the reasonable design of the structural frames of low-rise building were proposed.

핵심용어 : 저층건축물, 평균풍압, 풍압계수, 변장비, 풍동실험, 구조골조

KEYWORDS : Low-rise building, Mean wind pressure, Wind pressure coefficient, Side ratio, Wind tunnel test, Structural frame

1. 서론

최근의 일본(2004), 미국(2006), 캐나다(2006) 등의 기준에서는 건축물의 규모가 크거나 유연하여 바람에 의한 동적인 영향을 받기 쉬운 건축물인 경우에는 정산법(A analytical Procedure)을 적용하여 풍하중을 평가하고 있으며, 규모가 작은 저층건축물이나 소규모 건축물인 경우 강성이 커서 바람에 의한 동적인 영향을 받을 우려가 적으므로 약산법(Simplified Procedure)을 이용하여 풍하중을 손쉽게 평가할 수 있도록 하고 있다. 그러나 우리나라의 건축구조설계기준(대한건축학회, 2005, 이하 KBC-2005라 약칭함)에서는 저층, 중층 및 고층 등의 건물규모에 따라 별도의 풍하중 산정식을 마련하고 있지 않고, 모든 건축물의 구조골조용 풍하

중은 정산식에 의하여 평가하도록 하고 있다.

풍속은 지표면으로부터의 높이에 따라 지수적으로 커지고 풍하중은 풍속의 2승에 비례하여 증가한다. 저층건축물은 고층건축물에 비하여 지표면으로부터의 난류의 영향을 많이 받는다. 난류의 영향으로 저층건축물의 피해가 발생하면서 저층건축물에 대한 연구의 필요성이 대두 되었으며, 이미 국외에서는 Davenport(1977, 1978)에 의해 저층건축물의 풍압분포 연구가 선행되었다. 최근에는 Yasushi Uematsu(1997, 1999) 등의 연구자들에 의하여 좀 더 합리적인 풍압계수에 대한 저층건축물에 대한 연구가 이루어지고 있다. 또한 각국마다 이러한 연구자들에 의한 연구결과를 토대로 각국실정에 맞는 연구결과를 기준에서 활용하고 있다. 건축물의 높이 변화에 따른 풍압실험을 통하여 구한 풍하중과 KBC-

1) 금오공과대학교 건축공학과, 석사과정(michael2325@naver.com)

2) 한국국제대학교 실내건축과 교수(retus@hanmail.net)

3) 교신저자, 금오공과대학교 건축학부 교수

(Tel. 054-478-7586, Fax. 054-478-7859, E-mail: ycha@kumoh.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2009년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

2005의 정산식에 의한 풍하중을 비교한 연구결과에 따르면 (하영철, 2007, 2008) KBC-2005의 정산식은 고층건축물의 풍하중에는 적합하지만 높이가 낮은 저층건축물의 경우에는 풍하중이 과대평가된다고 하였다. 따라서 저층건축물의 풍하중의 합리적인 평가를 위해 풍압실험을 통하여 적합한 풍압계수를 마련할 필요가 있으며 복잡한 정산식을 사용하지 않고 간편한 약산식을 사용토록 하여야 할 것이다. 특히 현재 공장건물 및 체육관, 전시장과 같은 대규모 저층건축물들이 활발히 건설되고 있는 상황에서는 저층건축물에 적합한 평가방법을 확립할 필요가 있다.

본 연구에서는 건축물의 형상비(H/\sqrt{BD})가 1이하인 저층건축물을 대상으로 건물의 폭(B)과 깊이(D)가 변할 때 건축물의 벽면 및 지붕면에 작용하는 평균풍압분포 특성을 분석한 후, 구조골조용 풍상면, 풍하면, 측면 및 지붕의 풍압계수를 합리적으로 제시하고, 나아가 풍하중을 손쉽게 평가할 수 있는 약산식을 제시하였다.

2. 풍동실험

2.1 실험모형

실험모형은 바람에 의한 변형이 없는 아크릴로 제작하였다. 실험모형의 형상은 사각형 단면을 가진 각주이며, 저층건축물의 건물 폭과 깊이의 변화에 따른 풍상면, 풍측면 및 풍하면에 작용하는 평균풍압분포 특성을 분석하기 위해 건물의 높이를 고정하고 폭과 깊이를 변화시킨 M1, M2, M3, M4, M5 5종류의 모형을 제작하였다. 표 1은 실험모형의 형태와 형상비(Asspect ratio: H/\sqrt{BD}) 및 변장비(Side ratio: D/B)변화를 나타낸 것이다. 풍압측정공은 변장비가 1인 M3 모형에는 각면에 25공씩 총100공을 설치하였고, 그 외 M1, M2, M3, M5 모형에는 각각 단면에는 25공, 장변 및 지붕면에는 50공씩 총150공의 풍압공을 배치하였다.

표 1. 실험모형의 형태

No.	Breadth B (mm)	Depth D (mm)	Height H (mm)	Side ratio D/B	Aspect ratio H/\sqrt{BD}
M1	320	80	80	0.25	0.5
M2	160	80	80	0.5	0.7
M3	80	80	80	1	1
M4	80	160	80	2	0.5
M5	80	320	80	4	0.7

그림 1은 건물면의 명칭 및 모형 입면에 대해 정의한 것이며, 그림 2는 M5 풍압실험 모형 및 실험전경 사진이다.

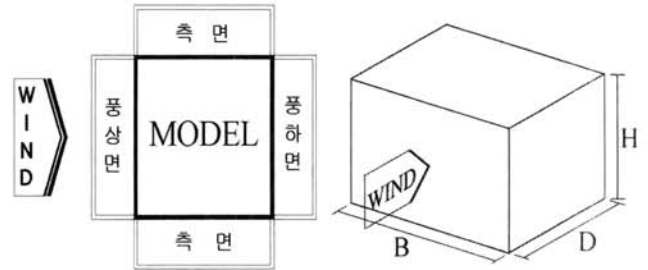


그림 1. 면의 명칭 및 모형입면 정의

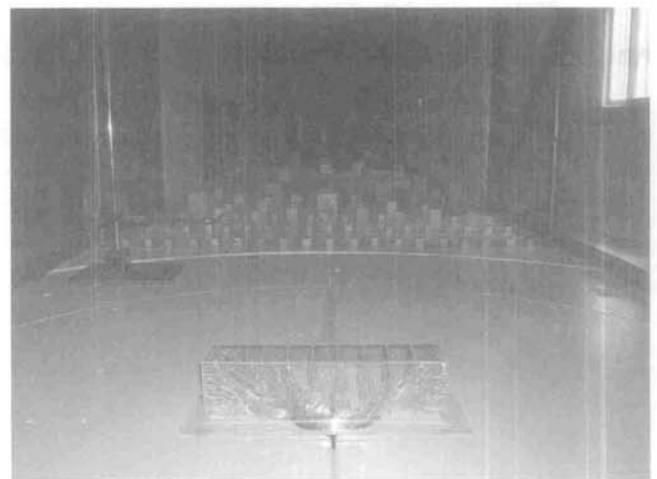


그림 2. M5 풍압실험 모형 및 실험전경 사진

2.2 풍동기류

본 연구에 사용된 풍동실험장치는 금오공과대학교의 토출식 경계층풍동으로써 측정부의 크기는 폭(W)×높이(H)×길이(L)=3.0m×1.3m×17.5m이며 풍속의 범위는 0.2m/s~17.0m/s이다. 실험에 사용된 지표면의 상태는 주택지가 밀집한 지역에 해당하는 노풍도 B로 하고 이를 풍동 내에 재현하였다. 노풍도 B의 재현은 스파이어(Spire)와 측정부 바닥면에 조도블록을 설치하여 재현하였다. 그림 3은 본 실험을 위해 풍동 내에 재현한 풍속의 연직분포 및 난류강도분포를 나타낸 것이다. 풍동 내에 재현한 풍속의 연직분포는 노풍도 B에 근접하였으며, 난류강도분포는 풍동바닥면 높이 100mm에서 17%정도를 나타냈다. 그림 4는 풍동높이 30cm에서 측정된 실험풍속의 파워스펙트럼밀도(Power Spectral Density)를 나타낸 것으로 Karman Type에 근사하였다.

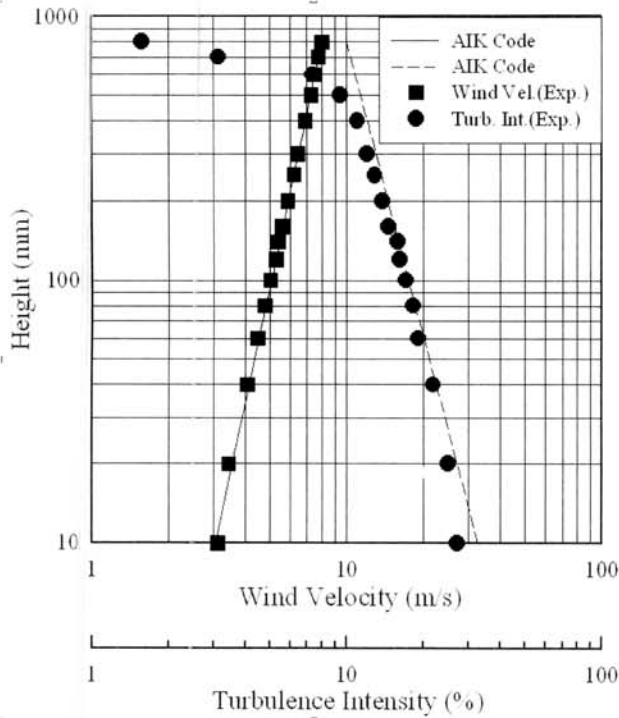


그림 3. 풍동풍속의 연직분포와 난류강도

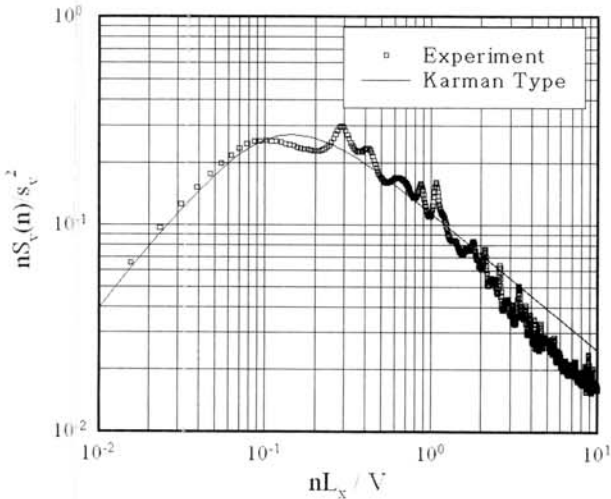


그림 4. 실험풍속의 파워스펙트럼밀도

2.3 실험데이터 측정방법

실험모형의 각면에 설치된 각각의 풍압공에 내경 1mm 알루미늄 관을 사용하여 도압튜브를 연결하였다. 각각의 풍압공에서 받아들인 압력을 풍압계를 통하여 전산데이터로 전환하여 풍압을 측정하였다. 본 실험에서는 실험풍향을 0°로 고정하여 실험하였고, 실험모형의 축적은 자연풍과 풍동풍의 난류적분스케일로부터 1/150으로 결정하였다. 풍속스케일은 1/5, 시간스케일은 1/30로 실험을 시행하였다. 풍압실험을 위한 데이터 수집조건은 표 2에 나타내었다.

표 2. 데이터 수집조건

모형 스케일 : L_m/L_f	1/150
풍속 스케일 : V_m/V_f	1/5.0 (기본풍속 : 35m/s)
시간 스케일 : T_m/T_f	1/30 (실물시간 : 600초)
측정횟수	4회
Sampling Frequency	200 (Hz)
Sampling Number	4000 개 × 4 회
Low Pass Filter	100 (Hz)

2.4 실험데이터 해석방법

본 연구에서의 평균풍압계수 C_{pe} 은 다음과 같이 정의하였다.

$$C_{pe} = \frac{\bar{P}_i}{q_h} \tag{1}$$

단, $\bar{P}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$

$$q_h = \frac{1}{2} \rho V_h^2$$

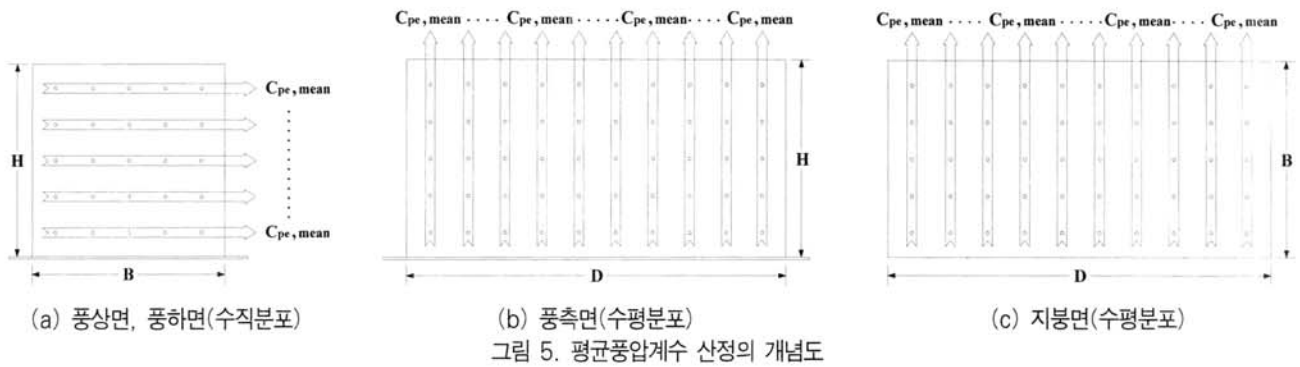
여기서, \bar{P}_i 는 풍압의 평균값, P_i 는 풍압의 i 번째 측정값, N 은 데이터 개수, q_h 는 모형 지붕높이 h 에서의 설계속도압, ρ 는 공기밀도, V_h 는 모형 지붕높이 h 에서의 평균풍속이다. (1)식을 통해 각각 풍압공의 평균풍압계수를 산정하였다.

각 높이에 대한 평균적인 경향을 확인하기 위하여 (1)식을 통해 각각 풍압공의 평균풍압계수를 산정하고, 같은 높이에 위치한 풍압공의 계수 값을 다시 평균하였다. 그림 5(a)에 나타난 것처럼 풍상면과 풍하면의 각 높이에 대해 하나의 평균풍압계수로 평균풍압분포 특성을 분석하였다. 그림 5(b),(c)에 나타난 것처럼 풍측면 및 지붕면의 경우 수평분포 경향을 확인하기 위하여 (1)식을 통해 각각 풍압공의 평균풍압계수를 산정하고, 상하 및 풍직각 방향으로 같은 열에 위치한 풍압공의 계수 값을 다시 평균하여 풍측면 및 지붕면에 작용하는 평균풍압계수의 수평분포특성을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 변장비 변화에 따른 평균풍압분포 특성 분석

건물의 폭과 깊이 변화에 따른 각주형 저층건축물에 작용하는 평균풍압분포 변화 특성을 알아보기 위하여 건물의 높이를 고정시키고 변장비를 0.25, 0.5, 1, 2, 4 로 변화 시킨



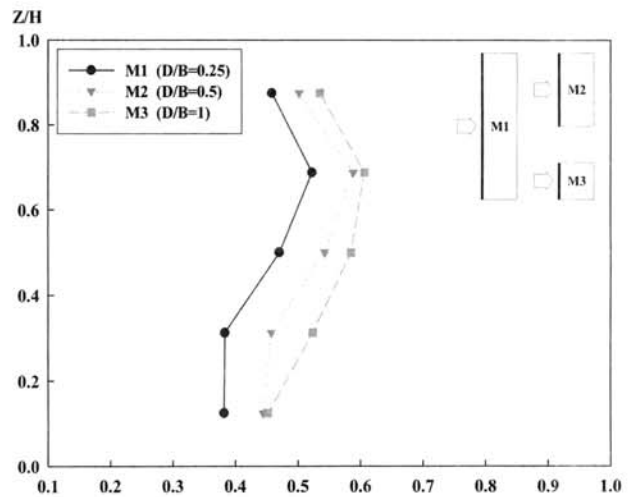
M1, M2, M3, M4, M5 모형에 대한 평균풍압분포 특성에 대해 분석하였다.

3.1.1 풍상면의 평균풍압분포 특성

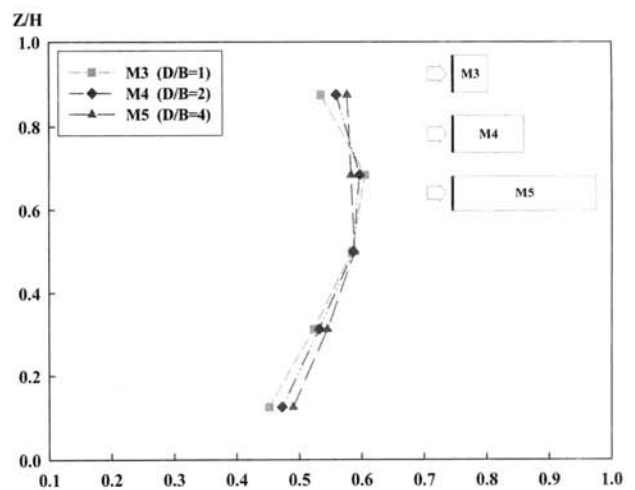
그림 6은 저층건축물의 평균풍압분포 특성을 분석하기 위하여 M1, M2, M3, M4, M5 모형에 대하여 풍압실험을 실시한 결과를 풍상면에 대해 나타낸 그래프이다. 그래프는 높이에 대한 평균적인 연직분포 경향을 파악하기 위해 그림 5(a)와 같이 풍상면 벽면에 위치한 풍압공에서 측정된 평균풍압계수를 동일한 높이별로 평균하여 나타내었다. 건물의 깊이와 폭의 변화에 따른 풍상면의 평균풍압분포 경향을 확인하기 위하여 건물의 깊이가 같고 폭이 서로 다른 M1, M2, M3 모형과 폭이 같고 깊이가 서로 다른 M3, M4, M5 모형을 분리하여 각각 나타내었다.

그림 6(a)는 건물의 깊이가 같고 폭이 서로 다른 M1, M2, M3 모형의 풍상면에 작용하는 평균풍압계수의 연직분포를 나타낸 것이다. 평균풍압계수의 최대값은 모형의 중앙부에서 발생하고, 건물의 폭이 가장 짧은 M3 모형에서 0.6정도를 나타내며 건물의 폭이 길어짐에 따라 평균풍압계수가 감소하여 M1의 경우 0.52가 된다. 그림 6(b)는 건물의 폭이 같고 깊이가 서로 다른 M3, M4, M5 모형의 풍상면에 작용하는 평균풍압계수의 연직분포를 나타낸 것이다. M3, M4, M5 모형 모두 평균풍압계수의 최대값은 모두 모형의 중앙부에서 0.6정도를 나타내며, M3, M4, M5 모형의 전체적인 평균풍압분포의 경향 또한 유사하다.

전체적인 경향을 살펴보면 저층건축물의 풍상면에 작용하는 평균풍압계수는 0.6을 넘지 않으며, 측정높이에 따른 뚜렷한 변화경향이 없음을 알 수 있다. 건물의 폭과 깊이변화에 따른 평균풍압계수의 변화 경향은 건물 폭의 변화에 큰 영향을 받지만, 건물 깊이의 변화는 영향을 작게 받음을 알 수 있다.



(a) 깊이가 같고 폭이 변하는 경우(M1, M2, M3)



(b) 폭이 같고 깊이가 변하는 경우(M3, M4, M5)

그림 6. 풍상면의 평균풍압계수의 연직분포

3.1.2 측면 평균풍압분포 특성

그림 7은 풍측면에 대한 평균풍압분포를 나타낸 그래프이다. 그림 5(b)와 같이 상하로 같은 열에 위치한 풍압공의 평균풍압계수 값을 다시 평균하여 측면에 작용하는 평균풍압계

수의 수평분포를 나타내었으며, 모형 양 측면의 평균풍압계수의 분포경향이 유사하기 때문에 한쪽 면에 대해서만 그래프로 나타내었다.

그림 7(a)는 건물의 깊이가 같고 폭이 서로 다른 M1, M2, M3 모형의 측면에 작용하는 평균풍압계수의 수평분포를 나타낸 것이다. 평균풍압 계수의 수평분포를 살펴보면 풍상측 가까운 곳에서 -0.9~-0.8 정도의 값을 나타내며 풍상측에서 멀어질수록 부압값이 줄어들어 측면 끝단에서는 M1의 경우 -0.74, M2는 -0.54, M3는 -0.35까지 감소하였다. 모든 모형에서 측면에 작용하는 평균풍압계수의 수평 변화 경향은 유사하였다. 또한 건물 폭의 변화에 따른 평균풍압계수의 변화 경향은 폭이 가장 긴 M1 모형의 경우 부압이 평균 -0.83으로 가장 크고, 건물의 폭이 감소함에 따라 측면에 작용하는 평균 풍압계수도 감소함을 알 수 있다.

그림 7(b)는 건물의 폭이 같고 깊이가 서로 다른 M3, M4, M5 모형의 측면에 작용하는 평균풍압계수의 수평분포를 나타낸 것이다. 평균풍압 계수의 수평분포를 살펴보면 측정위치가 풍상측 가까운 곳에서 -0.8~-0.7정도의 값을 나타내고, 풍상측에서 멀어질수록 부압이 줄어들어 풍하측 측면 끝단에서는 M3의 경우 -0.35, M4는 -0.16, M5는 -0.18까지 감소하였다.

전체적인 경향으로 저층건축물의 측면에 작용하는 평균풍압계수는 건물의 폭이 증가함에 따라 전반적으로 부압이 커지며, 측정 지점이 풍상측과 멀어짐에 따라 부압이 크게 감소함을 알 수 있다. 그림 8은 각 모형의 측면에 작용하는 평균풍압계수의 수평분포에 대한 이해를 돕기 위해 화살표를 이용하여 측면에 작용하는 평균풍압계수를 도식화한 것이다. 그림에서 화살표의

방향 및 길이는 모형의 측면에 작용하는 부압과 크기를 벡터적으로 나타낸 것이다.

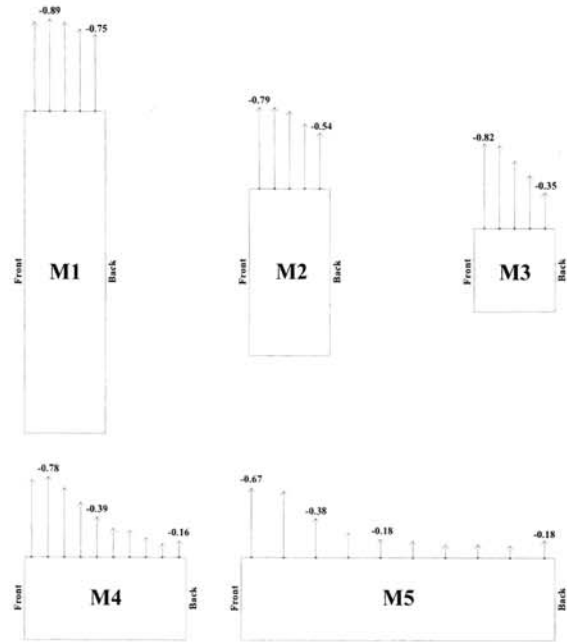
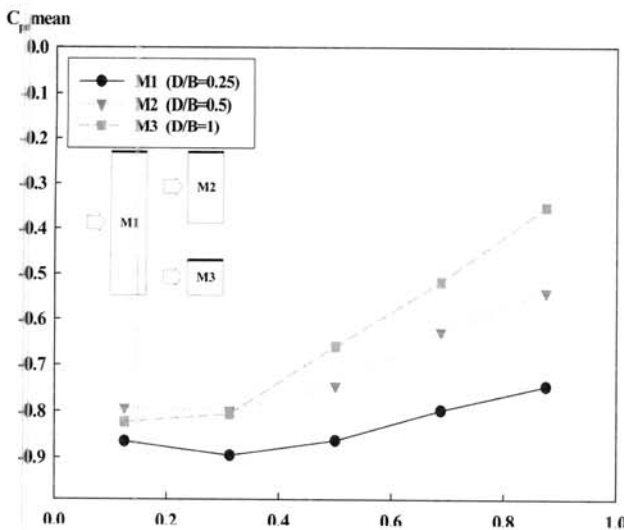


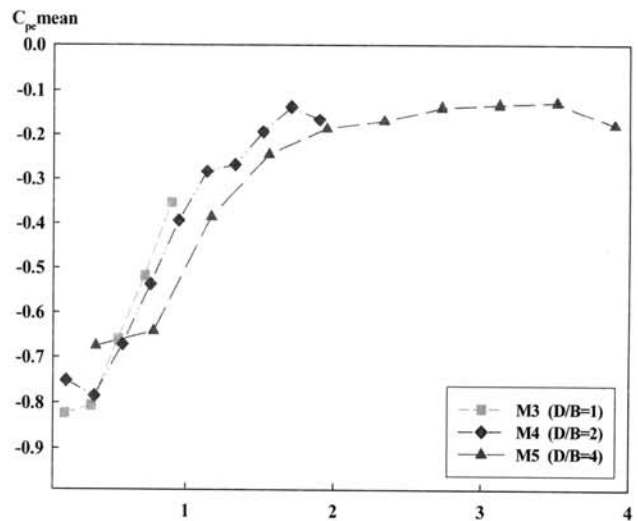
그림 8. 측면 평균풍압계수의 수평분포도

3.1.3 풍하면 평균풍압분포 특성분석

그림 9는 풍하면에 대한 평균풍압분포를 나타낸 것이다. 평균적인 연직분포 경향을 확인하기 위해 그림 5(a)와 같이 풍하면 벽면에 위치한 각각의 풍압공에서 측정된 평균풍압계수를 같은 높이 별로 평균하여 나타내었다.



(a) 깊이가 같고 폭이 변하는 경우(M1, M2, M3)



(b) 폭이 같고 깊이가 변하는 경우(M3, M4, M5)

그림 7. 측면의 평균풍압계수의 수평분포

그림 9(a)는 건물의 깊이가 같고 폭이 서로 다른 M1, M2, M3 모형의 풍하면에 작용하는 평균풍압계수의 수직분포를 나타낸 것이다. 건물이 깊이가 같고 폭이 서로 다른 저층건축물의 풍하면에 작용하는 평균풍압계수는 건물의 폭이 가장 긴 M1 모형에서 -0.5정도의 가장 큰 부압을 나타내며, 건물의 폭이 감소함에 따라 부압은 점차 줄어들어 M3 모형의 풍하면에서는 -0.3정도를 나타낸다. 그림 9(b)는 건물의 폭이 같고 깊이가 서로 다른 M3, M4, M5 모형의 풍하면에 작용하는 평균풍압계수의 수직 분포를 나타낸 것이다. 건물의 깊이 변화에 따른 평균풍압계수는 건물의 깊이가 가장 짧은 M3 모형에서 -0.3정도를 나타내며, 건물의 깊이가 증가함에 따라 부압은 감소하여 M4 모형에서는 -0.2, M5 모형에서는 -0.25정도를 나타낸다. 여기서 건물의 깊이가 가장 긴 M5 모형에서 M4 모형보다 다소 큰 부압이 작용하고 있는데 이는 건물의 깊이가 길어짐에 따라 풍상면에서 박리된 바람이 측면에 재부착되어 후류부에 생성되는 불규칙한 기류(vortex)의 형성에 의해 이상부압이 작용하는 원인에 기인한 것으로 사료된다.

전체적으로 저층건축물의 풍하면에 작용하는 평균풍압계수는 건물의 폭이 증가함에 따라 부압이 증가하며, 건물 깊이가 길어짐에 따라 부압이 감소함을 알 수 있다. 즉, 풍하면에 작용하는 부압은 변장비(D/B)에 반비례함을 확인할 수 있다.

3.1.4 지붕면 평균풍압분포 특성

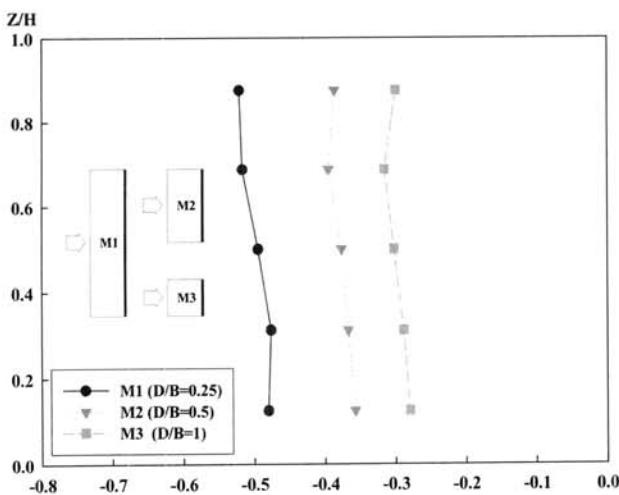
그림 10은 지붕면에 대한 평균풍압분포를 나타낸 그래프이다. 그림 5(c)와 같이 풍직각 방향으로 같은 열에 위치한

각 풍압공의 계수 값을 다시 평균하여 지붕면에 작용하는 풍압계수의 수평분포를 나타내었다.

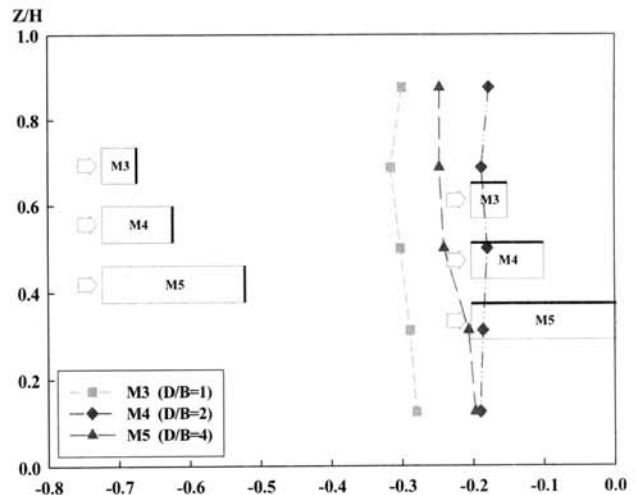
그림 10(a)는 건물의 깊이가 같고 폭이 서로 다른 M1, M2, M3 모형의 지붕면에 작용하는 평균풍압계수의 수평분포이다. 평균풍압계수의 수평분포는 풍상측 가까운 곳에서 -1.0~-0.9정도의 값을 나타내며 풍상측에서 멀어질수록 부압이 줄어들어 지붕면 말단에서는 M1의 경우 -0.66, M2는 -0.50, M3는 -0.30까지 감소하였다. 모든 모형에서 지붕면에 작용하는 평균풍압계수의 수평 변화 경향은 유사하였다. 또한 건물 폭의 변화에 따른 평균풍압계수의 변화 경향은 폭이 가장 긴 M1 모형의 경우 부압이 평균 -0.85정도 가장 크고, 건물의 폭이 감소함에 따라 지붕면에 작용하는 부압은 감소함을 알 수 있다.

그림 10(b)는 건물의 폭이 같고 깊이가 서로 다른 M3, M4, M5 모형의 지붕면에 작용하는 평균풍압계수의 수평분포이다. 평균풍압계수의 수평분포를 살펴보면 풍상측 가까운 곳에서 -1.0~-0.9정도의 값을 나타내며 풍상측에서 멀어질수록 부압이 줄어들어 풍하측 지붕면 끝단에서는 M3의 경우 -0.35, M4는 -0.16, M5는 -0.18까지 감소하였다. 이는 풍상면에서 박리된 바람의 재부착되는 현상이 원인이라고 생각된다.

전체적으로 저층건축물의 지붕면에 작용하는 평균풍압계수는 건물의 폭이 증가함에 따라 전반적으로 부압도 커지며, 측정 지점이 풍상측과 멀어짐에 따라 부압이 크게 감소함을 알 수 있다.

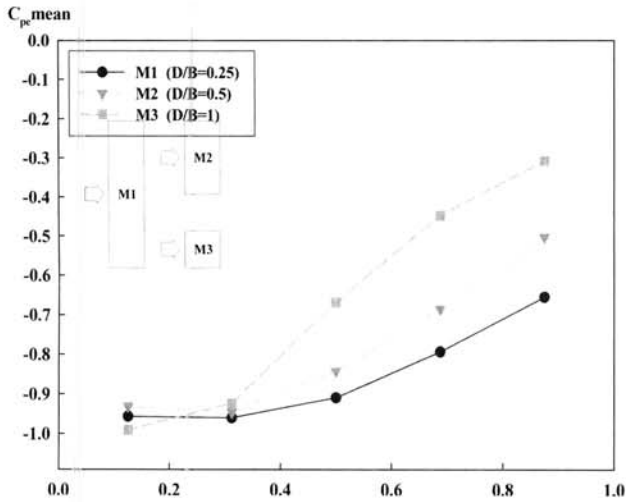


(a) 깊이가 같고 폭이 변하는 경우(M1, M2, M3)

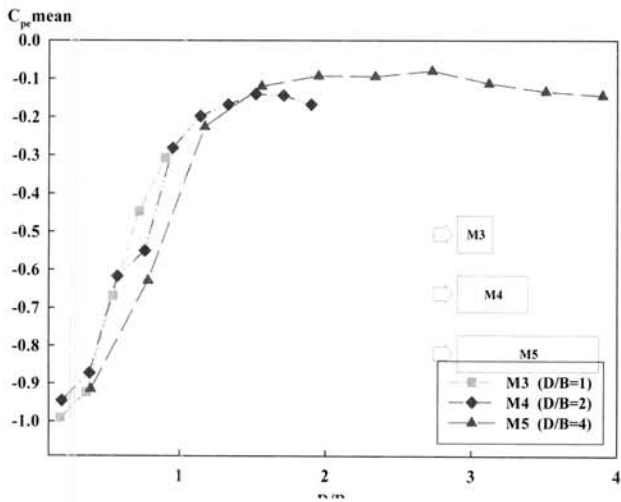


(b) 폭이 같고 깊이가 변하는 경우(M3, M4, M5)

그림 9. 풍하면의 평균풍압계수의 수직분포



(a) 깊이가 같고 폭이 변하는 경우(M1, M2, M3)



(b) 폭이 같고 깊이가 변하는 경우(M3, M4, M5)
그림 10. 지붕면 평균풍압계수의 수평분포

3.2 저층건축물의 설계용 풍압계수 및 산정식

3.2.1 풍상면 구조골조용 풍압계수

KBC-2005에서는 건물의 규모 및 변장비 구분 없이 풍상면의 구조 골조용 풍압계수를 0.8로 규정하고 있다. 하지만 본 실험을 통해 저층건축물의 건물의 폭과 깊이가 변할 때 풍상면에 작용하는 풍압분포 특성을 분석한 결과 건물 높이에 대한 폭의 비(B/H)가 1이상으로 비교적 길이가 긴 저층 건축물의 경우 풍상면에 작용하는 평균풍압계수는 0.6을 넘지 않음을 확인할 수 있었다. KBC-2005에서 제시하고 있는 '풍상면의 구조골조용 풍압계수 0.8'을 이용하여 저층건축물의 풍하중을 산정하게 되면 풍하중이 과대평가 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 저층건축물의 풍하중을 합리적으로 평가하기 위해서는 건물의 규모가 15m이하로 저층 건축물에 해

당하고, 건물높이에 대한 폭의 비(B/H)가 1을 초과하는 경우에는 풍압계수를 0.6으로 하는 것이 합리적일 것이다.

표 3은 각국 및 KBC-2005에서 제시하고 있는 풍상면의 구조골조용 풍압계수에 대한 사항과 본 연구결과를 비교 정리한 것이다. 본 연구에서 제안한 값이 합리적임을 알 수 있다.

표 3. 풍상면 구조골조용 풍압계수 비교

	구분	C _{pe}
KBC-2005	모든값	0.8
AIJ-2004	B/H ≤ 1	0.8 k _z
	B/H > 1	0.6
NBC-2005	H/D ≥ 1	0.8
	0.25 < H/D < 1	0.27(H/D+2)
	H/D < 0.25	0.6
본 연구	B/H ≤ 1	0.8
	B/H > 1	0.6

(1) k_z = (Z/H)^{2a} ; Z는 임의의 지점에서의 높이

3.2.2 측면 구조골조용 풍압계수

KBC-2005에서는 건물의 규모 및 변장비에 구분 없이 측면의 구조 골조용 풍압계수를 -0.7로 규정하고 있다. 그림 7(a)에서 알 수 있듯이 변장비(D/B)가 0.5인 M2 모형의 경우 측면의 절반 이상의 구간에서 -0.7을 초과하고, 변장비(D/B)가 0.25인 M3 모형의 경우에는 전 구간에서 -0.7 초과하고 있다. 그러므로 변장비(D/B)가 0.5이하인 경우에는 풍압계수를 -0.8로 하는 것이 합리적일 것이다.

또한 그림 7(b)에서 알 수 있듯이 변장비(D/B)가 1이상인 경우에는 평균풍압계수는 풍상측에 가까운 열에서 최대부압 -0.8~-0.67이고, 풍상측과의 거리가 건물 폭의 2배가 되는 곳까지는 -0.2정도 까지 감소하며, 그 후에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. KBC-2005의 구조골조용 풍압계수 -0.7을 변장비가 1이상인 저층건축물에 적용하면 풍하중이 과대하게 평가되어짐을 알 수 있다. 그러므로 풍하중을 합리적으로 평가하기 위해서는 변장비(D/B)가 1이상인 저층건축물의 측면을 풍상측으로 부터 그림 11과 같이 S₁, S₂, S₃로 구분하여, S₁구간은 -0.7, S₂구간은 -0.3, S₃구간은 -0.2로 차등을 두어 제안하고자 한다. 그림 11에서 S₁구간이란 측면중 풍상측으로 부터 거리가 건물의 폭만큼 떨어진 거리까지의 측면을 의미하며, 건물의 폭만큼 떨어진 곳에서 건물 폭의 2배 떨어진 거리까지의 측면을 S₂구간, 건물 폭의 2배 이상 떨어진 측면 S₃구간으로 구분한 것이다. 표 4는 각국 및 KBC-2005에서 제시하고 있는 측면의 구조골조용 풍압계수에 대한 사항과 본 연구결과 비교 정리한 것이다. 본 연구결과가 합리적임을 알 수 있다.

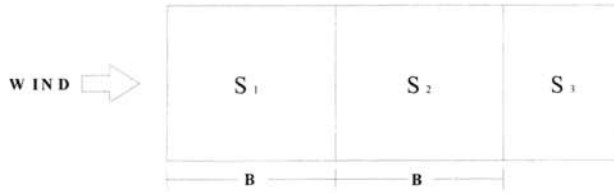


그림 11. 측면 구분

표 4. 측면 구조골조용 풍압계수 비교

	구분	C_{pe}
KBC-2005	모든값	-0.7
AIJ-2004	$S_a^{(1)}$	-0.7
	$S_b^{(1)}$	-0.4
	$S_c^{(1)}$	-0.2
NBC-2005	모든값	-0.7
본 연구	$D/B > 0.5$	-0.8
	S_1	-0.7
	S_2	-0.3
	S_3	-0.2

(1) S_a 은 풍상측으로 부터 거리가 0.5ℓ 이내. S_b 는 $0.5\ell \sim 1.5\ell$. S_c 는 1.5ℓ 이상인 구역 (ℓ : 4H와 B중 작은 값)

3.2.3 풍하면 구조골조용 풍압계수

저층건축물의 풍하면에 작용하는 평균풍압계수는 변장비(D/B)가 증가할수록 감소하는 경향이 있다. KBC-2005에서는 건축물의 변장비(D/B)에 따라 차등을 두어 풍압계수를 규정하고 있다. KBC-2005와 본 실험 결과를 비교해 보면 변장비(D/B)가 0~1에 해당하는 M1, M2, M3 모형 및 변장비가 2인 M4 모형의 풍하면에 작용하는 평균풍압계수는 KBC-2005와 비슷하다. 하지만 변장비가 4인 M5 모형의 경우에는 -0.3~-0.2정도로 KBC-2005의 -0.2 보다 크게 나타났다. 이는 건물의 깊이가 길어지게 되면서 풍상면에서 박리된 바람이 측면에 재 부착되어 후류부에 불규칙한 기류(vortex)가 형성되어 이상 부압이 발생하는 것으로 추정된다. 따라서 변장비가 4이상인 저층건축물의 풍하면 구조골조용 풍압계수는 -0.3로 하는 것이 합리적일 것이다.

표 5는 각국 및 KBC-2005에서 제시하고 있는 풍하면의 구조골조용 풍압계수에 대한 사항과 본 연구결과를 비교 정리한 것이다. 변장비가 2이상 일때 KBC-2005보다 풍압계수가 증가 되었다.

표 5. 풍하면 구조골조용 풍압계수 비교

	구분	C_{pe}	
KBC-2005	$D/B = 0 \sim 1$	-0.5	
	$D/B = 2$	-0.3	
	$D/B \geq 4$	-0.2	
AIJ-2004	$L_a^{(1)}$	$D/H \leq 1$	-0.6
		$D/H > 1$	-0.4
	$L_b^{(1)}$	$B/H < 6$	-0.6
		$B/H \geq 6$	-0.4
NBC-2005	$H/D \geq 1$	-0.5	
	$0.25 < H/D < 1$	$-0.27(H/D+0.88)$	
	$H/D < 0.25$	-0.3	
본 연구	$D/B = 0 \sim 1$	-0.5	
	$D/B \geq 2$	-0.3	

(1) L_a : 풍하면 양끝단에서 0.5ℓ 사이의 풍하면. L_b : L_a 를 제외한 풍하면 (ℓ : 4H와 B중 작은값)

3.2.4 지붕면 구조골조용 풍압계수 제안

KBC-2005에서는 지붕면의 구조 골조용 풍압계수를 -0.7로 규정하고 있다. 하지만 그림 10(a)에서 알 수 있듯이 변장비(D/B)가 0.5 이하인 M1, M2 모형의 경우에는 풍압계수의 평균이 -0.85, -0.78로 KBC-2005의 -0.7을 초과하는 것을 알 수 있다. 그러므로 변장비(D/B)가 0.5를 초과하는 경우의 지붕면풍압계수는 -0.9로 하는 것이 합리적일 것이다.

표 6. 지붕면 구조골조용 풍압계수 비교

	구분	C_{pe}		
KBC-2005	H/B 또는 H/L	≤ 0.25	-0.7	
		> 0.25	-0.8	
AIJ-2004	$R_a^{(1)}$	$B/H \leq 2$	-1.0	
		$B/H \geq 6$	-1.2	
	$R_b^{(1)}$	$D/H \leq 1$	-1.0	-0.8
		$D/H > 1$	-0.8	-1.0
$R_c^{(1)}$	-0.4	-0.6		
$R_c^{(1)}$	-0.2	-0.4		
NBC-2005	$H/D \geq 1$	-1.0		
	$H/D < 1$	$X^{(2)} = 0 \sim H$	-1.0	
		$X^{(2)} > H$	-0.5	
본 연구	$B/D > 2$	-0.9		
	R_1	-0.8		
	R_2	-0.3		
	R_3	-0.2		

(1) R_a 은 풍상측으로 부터 거리가 0.5ℓ 이내. R_b 는 $0.5\ell \sim 1.5\ell$. R_c 는 1.5ℓ 이상인 구역 (ℓ : 4H와 B중작은 값)

(2) X : 풍상측과의 거리

변장비가 1이상인 지붕면의 경우에는 그림 10(b)와 같이 풍상측과 멀어짐에 따라 평균풍압계수가 감소한다. 이를 고려하여 변장비가 1이상인 저층건축물의 지붕면인 경우에는 풍상측으로부터 R₁, R₂, R₃로 구역을 구분하여, R₁구간은 -0.8, R₂구간은 -0.3, R₃구간은 -0.2로 계수를 차등을 두어 제안하고자 한다. 지붕면의 R₁, R₂, R₃ 구역구분은 그림 11의 S₁, S₂, S₃의 구역구분과 동일하다. 표 6은 각국 및 KBC-2005에서 제시하고 있는 지붕면의 구조골조용 풍압계수에 대한 사항과 본 연구결과를 비교 정리한 것이다. AIJ-2004 와 유사함을 알 수 있다.

3.2.5 저층건축물의 구조골조용 풍하중 산정식

KBC-2005에서 규정하고 있는 건축물의 구조골조용 풍하중을 평가하기 위한 풍압계수 및 산정식은 형상비가 2 이상 되는 중고층 건축물의 경우에는 적합하지만, 형상비가 2보다 작은 저층 건축물에 적용하면 과대하다는 연구 결과(하영철 등, 2008)를 본 연구에서도 적합하지 않음을 실험적으로 재차 검증 하였다. 따라서 저층건축물의 풍하중을 합리적으로 평가하기 위해서는 저층건축물에 적합한 풍압계수를 마련해야하고, 산정식도 간략화하여 손쉽게 풍하중을 평가할 수 있는 약산식을 마련할 필요가 있다.

본 연구에서는 다음과 같은 조건을 가정하여 약산식을 유도한다. 대상건축물은 높이가 15m 이하, 형상비가 1이하이고, 구조적 형상적으로 특수하지 않아야 하며, 주택, 점포, 창고, 공장 등의 건축물로 소규모여야 한다. 노풍도는 B인 '주택이 밀집해 있거나, 중층건축물이 산재해 있는 지역'을 기준으로 하고(노풍도 A에 대해서는 안전측이 됨), 노풍도 C인 '저층건축물이 산재해 있는 평탄한 지역'에 대해서는 할증계수 C_e를 따로 정하며, 노풍도 D에 해당하는 곳에는 건축물을 짓는 경우가 드물기 때문에 제외시킨다. 재현기간은 50년으로 중요도계수 I_w = 0.95로 한다.

KBC-2005에서 구조골조용 풍하중 W_f 및 설계풍속 V_z는 각각 다음 식으로 주어진다.

$$W_f = G_f(q_z C_{pe1} - q_h C_{pe2})A \quad (1)$$

$$V_z = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w \quad (2)$$

여기서, G_f : 구조골조 및 지붕골조용 가스트영향계수

C_{pe1} : 풍상벽의 외압계수

C_{pe2} : 풍하벽의 외압계수

q_z : 지상 임의높이 z에서의 설계속도압(N/m²)

q_h : 지붕면 평균높이 h에서의 설계속도압(N/m²)

A : 유효수압면적(m²)

V₀ : 기본풍속(m/s)

K_{zr} : 풍속의 고도분포계수

K_{zt} : 지형에 의한 풍속할증계수

I_w : 건축물의 중요도계수

평탄한 지형인 경우, 건축물 지붕평균높이 h에서의 설계풍속 V_h는 노풍도 B, C인 경우 각각 다음과 같이 된다.

$$V_{h,B} = V_0(0.45h^{0.22}) \times 0.95 = 0.428 V_0 h^{0.22} \quad (3)$$

$$V_{h,C} = V_0(0.71h^{0.15}) \times 0.95 = 0.675 V_0 h^{0.15} \quad (4)$$

저층 건축물의 경우 풍상면의 적용속도압을 q_h로 하고, 건축물 지붕평균높이 h에서의 설계속도압 q_h는 공기밀도 ρ = 1.25kg/m³로 하면, 노풍도 B, C인 경우 다음과 같이 된다.

$$q_{h,B} = (V_{h,B})^2 / \rho = 0.115 V_0^2 h^{0.44} \quad (5)$$

$$q_{h,C} = (V_{h,C})^2 / \rho = 0.285 V_0^2 h^{0.30} \quad (6)$$

구조골조용 가스트영향계수는 KBC-2005에서 강체건축물에 대해 노풍도 B는 2.2, 노풍도 C는 1.9로 규정하고 있으므로 (1)식에 (5)식을 대입하고, 풍력계수 C_f = C_{pe1} - C_{pe2}라고 하면, 저층건축물의 구조골조용 풍하중 W_{sf}는 다음 식과 같이 간략하게 정리된다.

$$W_{sf} = 0.253 V_0^2 h^{0.44} C_f A \quad (7)$$

저층건축물의 구조골조용 풍하중 산정식은 노풍도 B, 지상높이 15m 이하를 기준으로 하고 있다. 만약 건설지역이 노풍도 C에 위치하는 경우에는 식(7)에 다음 식으로 주어지는 할증계수 C_e를 곱하여 산정하면 된다.

$$C_e = \frac{W_{sf,C}}{W_{sf,B}} = \frac{0.542 V_0^2 15^{0.30} C_f A}{0.253 V_0^2 15^{0.44} C_f A} = 1.5 \quad (8)$$

또한 저층건축물의 지붕골조용 풍하중은 다음 식으로 주어지는 풍력계수를 사용하면 된다.

$$C_f = C_{pe} - C_{pi} \quad (9)$$

여기서, C_{pe} : 지붕면 외압계수

C_{pi} : 내압계수(0 또는 -0.4)

최종적으로 저층건축물의 구조골조용 풍하중을 KBC-2005와 본 연구에서의 제안식인 식(7)을 사용하여 평가해 본 결과, 노풍도 B에 위치하고, 높이가 15m이며, 변장비(D/B)가 2인 경우, KBC-2005의 값이 식(7)식 의한 값보다 약 1.4배 정도 크다. 따라서 저층건축물은 식(7)식에 의하여 평가하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

4. 결론

저층건축물의 구조설계용 풍압계수 및 풍하중 평가 약산식을 실험적인 연구에 의하여 구하였다. 실험은 건물의 높이를 고정시키고, 건물의 폭과 깊이를 변화 시킨 5개의 풍압모형에 대해 풍압실험을 하여 폭과 깊이변화에 따른 벽면 및 지붕면의 풍압분포 특성을 분석한 후 풍하중을 평가할 때 필요한 합리적인 풍압계수 및 풍하중 산정식을 제시하였다. 본 논문의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 풍상면에 작용하는 평균풍압계수는 최대 0.6을 넘지 않으며, 건물 폭이 증가할수록 감소한다. 또한 측정높이에 따른 뚜렷한 연직분포 경향은 나타나지 않았다.
- (2) 측면에 작용하는 평균풍압계수는 건물의 폭이 증가함에 따라 전체적으로 증가하고, 측정 지점이 풍상측과 멀어짐에 따라 부압이 감소하였다.
- (3) 풍하면에 작용하는 평균풍압계수는 건물의 폭이 증가함에 따라 부압이 증가하며, 건물 깊이가 길어짐에 따라 감소하였다. 즉, 풍하면에 작용하는 부압은 변장비에 반비례함을 알 수 있었다.
- (4) 지붕면에 작용하는 평균풍압계수는 건물폭이 커질수록 증가하고, 측정지점이 풍상측으로부터 멀어질수록 크게 감소하였다.
- (5) 표 7은 본 연구에서 제안한 저층건축물의 구조골조용 풍압계수를 KBC-2005와 종합적으로 비교한 것으로서, 풍상면의 경우 풍압계수를 0.6으로 제안하였으며, 또한 적용속도압을 q_h 로 제안하였다. 측면 및 지붕면은 구역을 구분하여 풍압계수를 제안하였으며, 풍하면의 경우 변장비가 4이상에서도 풍압계수를 -0.3로 제안하였다.
- (6) 저층건축물의 풍하중을 손쉽게 평가할 수 있는 약산식을 다음과 같이 제안하였다.

$$W_{sf} = 0.253 V_0^2 h^{0.44} C_f A$$

- (7) 본 연구에서 제안하는 약산식은 노풍도 B를 기준으로 산정하였기 때문에 노풍도 C 또는 D의 경우에는 별도

의 할증계수(C_e)를 구하고, 이를 제안식에 곱하여 풍하중을 산정한다. 지붕골조용 풍하중은 제안식에서 풍력계수 C_f 에 지붕골조용 풍력계수 산정식에 의해 구한 C_f 를 적용하여 하중을 산정하면 된다.

표 7. 본 연구 제안값과 KBC-2005 풍압계수의 종합 비교

	구분	C_{pe}		적용 속도압	
		KBC-2005	제안	KBC-2005	제안
풍상면	B/H > 1	0.8	0.6	q_z	q_h
측면	D/B ≤ 0.5	-0.7	-0.8	q_h	
	S ₁		-0.7		
	S ₂		-0.3		
	S ₃		-0.2		
풍하면	D/B = 0~1	-0.5	-0.5	q_h	
	D/B = 2	-0.3	-0.3		
	D/B ≥ 4	-0.2	-0.3		
지붕면	B/D > 2	-0.7	-0.9		
	R ₁		-0.8		
	R ₂		-0.3		
	R ₃		-0.2		

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후 대비시설 기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(0.5-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고 문헌

대한건축학회(2005) 건설교통부고시 건축구조설계기준, 기문당.
 하영철, 이은지, 김동우(2007) 변장비 변화에 따른 고층건축물의 평균풍압분포 특성에 관한 고찰, 한국풍공학회 학술발표회 논문집, pp. 279-284
 하영철, 이은지, 황성권, 김동우(2008) 고층건축물의 풍상면 및 풍하면 평균풍압위 연직분포 특성, 대한건축학회논문집, 제24권 제3호, pp. 35-42
 하영철, 박재형, 이은지, 황성권(2008) 건물의 높이변화에 따른 풍상면 및 풍하면 평균풍압의 연직분포 특성, 대한건축학회 대구·경북지회 학술발표대회논문집, 제11권 제1호, pp. 129-132
 日本建築學會(2004) 建築物 荷重指針・同解説, 日本.
 American Society of Civil Engineers(2005) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
 National Research Council Canada(2006) User's Guide-

- NBC 2005: Structural Commentaries
- Davenport, A. G., Surry, D., and Stathopoulos, T.(1977) Wind loads on low-rise buildings., Final Report on Phases III, BLWT-SS8, University of Western ontario, London, Ontario, Canada
- Davenport, A. G., Surry, D., and Stathopoulos, T.(1978) Wind loads on low-rise buildings., Final Report on Phases I and II, BLWT-SS8, University of Western ontario, London, Ontario, Canada
- Yasushi Uematus, Nicholas Isyumov(1997) Wind Pressure Acting on the Roof and Wall Edges of a Low-Rise Building ; Part 1 Characteristics of Pressure Distributions, Japen of Wind Engineering No. 70 3-14
- Yasushi Uematus, Nicholas Isyumov(1997) Wind Pressure Acting on the Roof and Wall Edges of a Low-Rise Building ; Part 2 Statistical Properties of Fluctuating Pressures, Japen of Wind Engineering No. 72 11-19
- Yasushi Uematus, Nicholas Isyumov(1997) Wind Pressure Acting on the Roof and Wall Edges of a Low-Rise Building ; Part 3 External Pressure Coefficients for Cladding Design, Japen of Wind Engineering No. 73 15-24
- Yasushi Uematus, Nicholas Isyumov(1999) Wind pressures acting on low-rise building, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics No. 82 1-25
- (접수일자 : 2009. 3. 23 / 심사일 2009. 4. 20 / 게재확정일 2009. 6. 15)