

구조물에 작용하는 풍하중

풍속의 설정은 각 지역 기상대의 풍속기록에 근거를 두고 통계적으로 유도한 통상 50년 재현기간의 지상 특정 고도에서의 최대풍속을 나타내며, 구조물이 높으면 높을 수록 더 큰 풍하중이 작용하게 된다.



1 서론

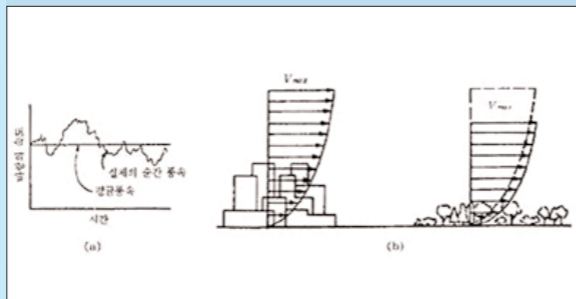
1-1. 풍하중의 개요

구조물에 미치는 풍하중의 영향은 바람의 속도와 방향, 공기의 밀도, 구조물의 형상 및 강성, 그리고 평면의 형태 등에 따라 변화한다. 여기서 풍속의 설정은 각 지역 기상대의 풍속기록에 근거를 두고 통계적으로 유도한 통상 50년 재현기간의 지상 특정 고도에서의 최대풍속을 나타내며, 구조물이 높으면 높을 수록 더 큰 풍하중이 작용하게 된다.

1-2. 평균풍속과 순간최대풍속

바람은 정적인 성질과 동적인 성질을 갖는다. 바람의 속도는 그림 1-1(a)와 같이 일정한 값의 평균적 속도와 순간순간 변화되는 순간최대속도로 나누어 생각할 수 있다. 일반적으로 평균 풍속은 그림 1-1(b)에서 보는 바와 같이 고도가 높아질수록 증가되는데 그 증가율은 지표의 조도(roughness)에 따라 다르다. 높은 건물이 많은 지역일수록 최대풍속이 나타나는 고도가 높아지게 된다.

■ 그림 1-1. 바람의 속도



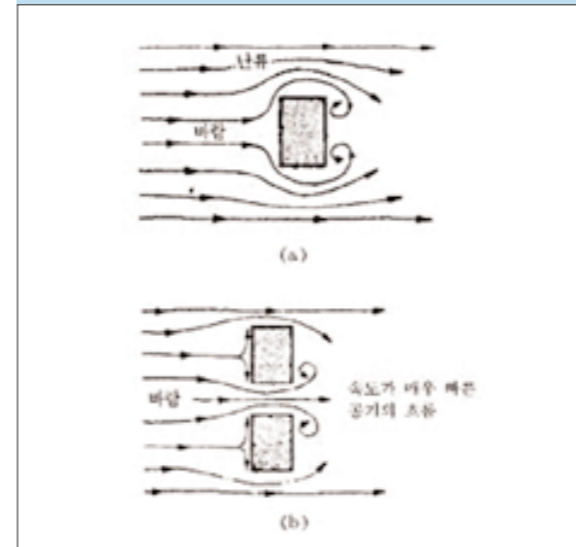
1-3 건물주변에 바람의 난류와 건물의 진동

공기가 흐르다가 건물과 같은 장애물을 만나며, 액체와 같이 양쪽으로 나뉘어 흐르다가 본래의 기류로 재결합한다. 단위 시간에 단위면적을 통과하는 공기가 많을수록 풍속은 증가하고

그림 1-2(a)와 같이 난류가 발생하고, 그림 1-2(b)와 같은 벤트리(Venturi) 효과는 난류작용의 한 유형으로서 두개의 고층건물 사이의 좁은 공간을 통과 할 때 발생한다. 이 공간에서의 풍속은 보통 기류의 풍속보다 훨씬 빠르게 된다. 난류가 작용할 때 건물의 측면에는 소용돌이(vortex)와 회오리 바람(eddy)이 발생하고 그 영향에 따라 작용되는 바람방향의 직각방향으로 건물이 진동하게 된다.

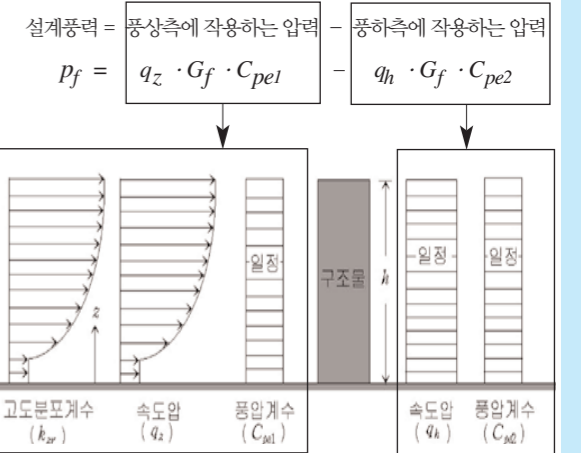
여러 가지 요소(건물위치의 지역상황, 건물의 형태, 건물의 표면상황)에 의하여 풍하중의 설정에는 여러 가지 불명확한 요소가 많기 때문에 모델을 통한 풍동실험이나 실험자료에 의한 정확한 공식과 이론적인 모형의 구축 등을 통하여 근접한 풍하중 설정이 필요하다.

■ 그림 1-2. 바람의 난류



1-4. 벽면 풍압력 산정

풍상면에 불어오는 바람은 지표면에서 기준경도풍높이까지 높이에 따라 풍속이 변동하고, 난류강도도 시간적으로 불규칙하게 변동한다. 따라서 풍상측 벽면에는 불규칙적으로 높이 방향에 따라 변동하는 압력에 대하여 풍상측 높이에 따라 풍속을 지수분포로 변화하는 고도분포계수로 정하고 풍상측 벽면의 풍압계수는 일정하게 하였다. 풍하측 벽면의 압력분포는 건축물의 형상, 규모에 큰 영향을 받지 않으므로 풍속을 지붕면 높이에서의 풍속을 기본으로 하여 설계하고 풍압계수는 일정하게 한다.



※ 풍하중은 구조물에 구조물의 면에 작용하나 구조해석을 할 때는 면적을 고려하여 층마다 하중을 가한다.

2 설계기준에 의한 풍하중 산정

바람의 특성은 매우 복잡한 것이지만 특수한 구조물을 제외한 일반적인 건물의 구조설계에서는 실용적인 방법으로 바람에 의한 동적압력을 등가의 정적인 힘으로 전환하여 적용한다.

$$P = C \cdot q \cdot A \quad (\text{식 2-1})$$

P (kgf) : 풍하중, C : 풍력계수, q : 설계속도압(kgf/m²), A : 유효풍압면적(m²)

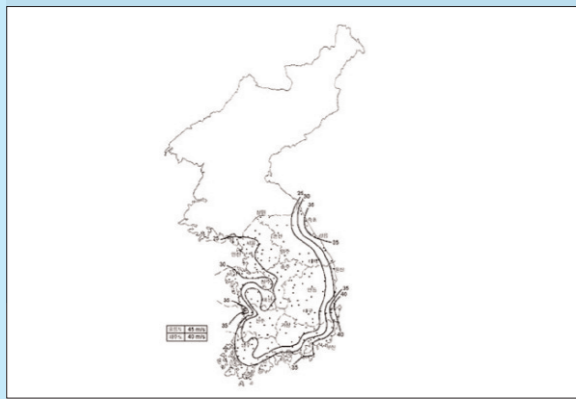
2-1. 설계기본풍속 (V₀)

기본풍속 V₀는 설계풍속을 구하고자 할 때 기본이 되는 풍속이다. 기본풍속은 지리적 위치에 따라 달라지기 때문에 건설지점에 있어서 관측된 자료에 근거하여 정하는 것이 이상적이다. 그러나, 현실적으로 그러한 자료를 가진 지점은 기상관측소가 설치된 지점에 국한된다고 볼 수 있다. 따라서, 우리나라 전국의 기상관측소의 자료에 근거하여 확률통계적 방법에 의하여 그 지점의 기본풍속을 확정하고, 이로부터 임의지점의 기본풍속을 추정한다.

기본풍속을 추정하기 위한 자료는 전국기상관측소가 설치된 전지점(110개소)을 대상으로 하였고, 그 가운데 관측이 중지된 곳과 통계년수가 20년 미만인 곳을 제외한 56개 지점의 관측자료(최대통계년수 45년, 최소통계년수 20년)을 사용하였다.

또한, 기상관측소가 이전하였거나 풍속계의 높이가 변경된 경우에는 보정을 행하였고, 기상관측소가 산중턱이나 산위에 위치하는 지점의 경우에는 지표면으로부터의 유효높이를 고려하여 높이에 따른 풍속의 보정을 행하였다. 이 풍속자료를 사용하여 Gumbel의 적률법에 의해 각 지점의 100년 재현기대값을 구한다. 이때 전국의 전국 모든 지역을 동일한 조건으로 만들기 위하여 지역은 평탄한 지형, 지상높이 10m에서의 풍속으로 환산하였다.

■ 그림 2-1. 기본풍속도



■ 표 2-1. 지역별 기본풍속

지역	V_0 (m/sec)
서울,경기도	30
강원도	35
충청도	30
경상도	30
전라도	30
제주도	40

2-2. 풍속의 고도분포계수 (K_z)

대기경계층 내의 풍속은 지표면의 마찰의 영향으로 지표면 가까이 에서는 약하고 지표면으로부터 높아질수록증가하여 경도풍고도높이에서는 항상 일정한 바람이 분다. 또한, 풍속은 지표면의 상태에 따라 세기가 달라진다. 이처럼 지표면 상태에 의해 변하는 높이에 따른 풍속의 분포양상을 반영하기 위한 것이 풍속의 고도분포계수 (K_z) 이다.

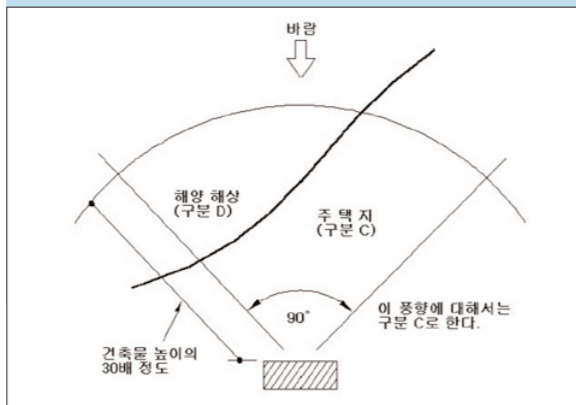
1) 지표면 상태

구기준의 경우 지표면의 조도상태를 표4에 타낸 것과 같이 3종류로 구분하였으나, 신기준에서는 1980년대 이후 경제 발전으로 인하여 급격한 도시화가 진행되면서 건축물의 신축, 댐의 건설, 도로의 건설, 간척 및 산지의 절토 등으로 인하여 지표면의 상태가 급격히 변화한 상황을 반영하기 위하여 지표면조도구분을 4부류로 세분화하고 주변의 상황도 상세하게 명시하였다.

■ 표 2-1. 지표면조도구분의 비교

노풍도 구분	내 용
A	대도시중심부에서 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역
B	3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역,중층 건축물건축물이 산재 해 있는 지역
C	높이 1.5m~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역저층건축물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고 주변 장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역해안, 초원, 비행장

■ 그림 2-2. 지표면조도구분의 선정의 예



2) 풍속의 고도분포계수 (K_z)

풍속의 고도분포계수 (K_z) 은 평균풍속의 연직분포가

Power Law에 근사하다는 가정 하에 유도된 것이다. 우리나라는 기본적으로 10분간 평균풍속을 사용하고 있으므로 평균 풍속의 연직분포가 Power Law에 근사하다는 가정하에서 유도된 다음식을 사용하였다.

$$\sqrt{K_z} = 1.61 \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (\text{식 2-2})$$

■ 표 2-3. 연직분포지수(α) 및 경도풍고도높이(Z_g)

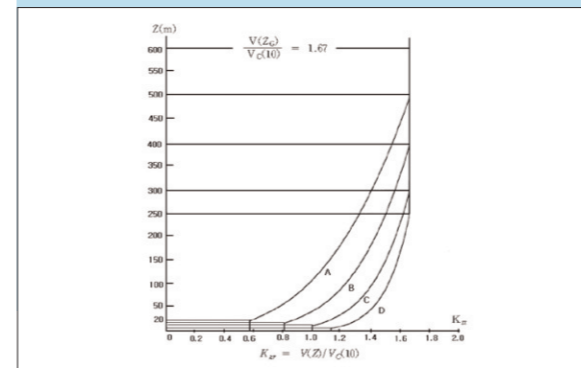
노풍도 구분	α	Z_g
A	0.33	500m
B	0.22	400m
C	0.15	300m
D	0.10	250m

표2-4은 기준에 따른 고도분포계수를 나타낸 것이다. 위 식의 α 및 Z_g 에 값을 주어 지상높이에 따라 손쉽게 고도분포계수를 구할 수 있도록 간편화시켰다. 고도분포계수는 높이에 따라 그림2-3과 같은 변화형상을 나타낸다.

■ 표 2-4. 풍속의 고도분포계수 (K_z)

지표면으로부터의 높이 Z(m)	지표면조도구분			
	D	C	B	A
$Z \leq Z_g$	1.13	1.0	0.81	0.58
$Z_b < Z \leq Z_g$	$0.96 Z^{\alpha}$	$0.71 Z^{\alpha}$	$0.45 Z^{\alpha}$	$0.22 Z^{\alpha}$
Z_b	5m	10m	15m	20m

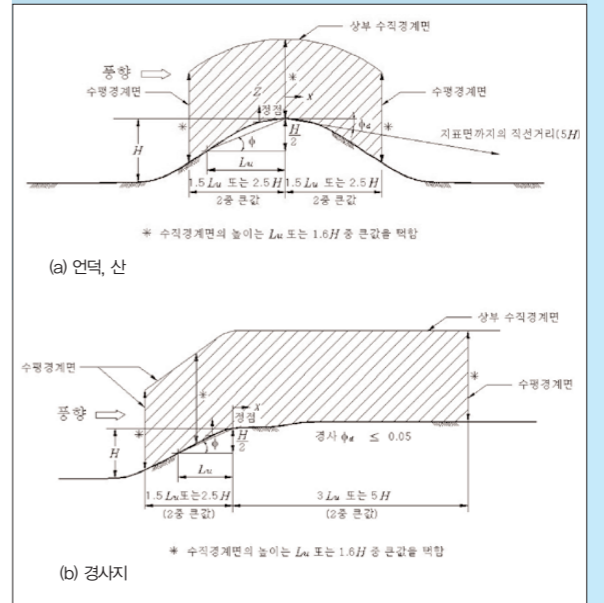
■ 그림 2-3. 고도분포계수 (K_z)의 변화형상



3) 풍속할증계수 (K_{zt})

산의 능선이나 산의 정상, 언덕, 경사지, 절벽 등에서는 국지적인 지형의 영향으로 인하여 풍속이 증가한다. 이처럼 건설하고자 하는 건축물이 지형의 영향을 받는 곳에 위치 할 경우 풍속의 증가현상을 반영하기 위한 것이 풍속할증계수 (K_{zt}) 이다.

■ 그림 2-4. 풍속할증의 적용범위



■ 표 2-4. 지형에 의한 풍속할증계수 (K_{zt})

풍상층 중 가장 불리한 경사(θ)	풍속할증계수 (K_{zt})	
	경사지 ($\theta_d \leq 0.05$)	언덕, 산 ($\theta_d \geq 0.1$)
0.05	1.05	1.11
0.1	1.09	1.21
0.2	1.18	1.41
≥ 0.3	1.27	1.61

4) 중요도계수 (I_v)

건축물을 설계하는 경우 구조물의 사용년수에 비해 긴 재현기간의 풍속을 설계풍속으로 선택하면 안전하지만 경제적인지는 못하다. 반면, 구조물의 사용년수와 동일한 정도의 재현기간의 풍속을 사용하게 되면 구조물의 사용기간중에 설계 풍속을 초과하는 강풍을 받을 수도 있기 때문에 안정성이 문제가 된다.

■ 표 2-5. 중요도계수 (I_v)

중요도	건축물의 용도 및 규모	설계용 재현기간	중요도 계수
1	· 연면적이 1천 제곱미터이상인 위험물저장 및 처리시설 · 종합병원 병원방송국, 전산전화국, 발전소, 공공업무시설 및 노약자시설 · 15층이상 아파트	300년이상	1.10
2	· 1,3,4를 제외한 건축물 · 연면적이 5천제곱미터 이상인 관람 집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 · 오피스텔, 가숙사 및 아파트	100년이상	1.00
3	· 주택, 근린생활시설 · 중도 1,2에 해당하지 않는 건축물	50년이상	0.95
4	· 가설건축물	10년이상	0.81

따라서 건축물에 대한 안전율을 $1/e=0.3679$ 에 수렴하는 것으로 가정하고, 건축물의 용도, 사회성, 경제성, 중요도를 고려하여 건축물에 따라 설계용 재현기간을 표2-5와 같이 정한 후, 재현기간 100년 기대풍속을 기준으로 하였을 때 건축물의 설계용 재현기간에 따른 기대풍속의 비율로써 중요도계수를 정의 하여 사용하도록 하였다.

5) 가스트영향계수(G_f)

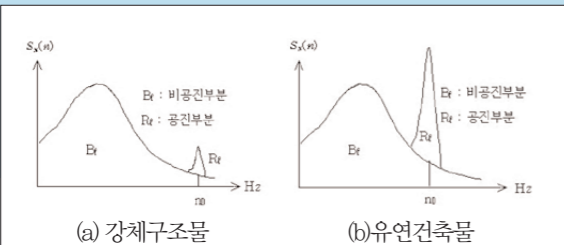
풍하중을 받는 건축물의 구조설계를 행할 때에는 최대변위를 발생시키는 하중분포가 필요하다. 일반적인 건축물의 풍방향진동의 경우에는 고차진동의 영향이 매우 미약하여 평균 풍하중에 의한 건축물의 최대변위와 변동풍하중을 포함한 건축물의 최대변위의 분포형태는 거의 차이가 없다. 따라서, 설계풍속으로서 평균풍속을 사용하는 경우에는 변동풍하중을 포함한 건축물의 최대변위와 동등한 변위를 발생시킬 수 있도록 평균풍하중을 할증하여 이 하중(등가정적 최대풍하중)을 건축물에 작용시킨 경우의 변위를 최대변위로 생각하여 사용하면 편리하다. 이 할증계수를 가스트영향계수(G_f)라 부르며, 건축물의 최대변위와 평균변위의 비로 다음식과 같이 정의된다.

$$G_f = \frac{X_{max}}{\bar{X}} = \frac{X + X_{max}}{\bar{X}} = 1 + g_f \frac{\delta_x}{\bar{X}} = 1 + g_f \cdot r_f \cdot \sqrt{\dots} \quad (식 2-3)$$

여기서, X_{max} 는 최대변위, \bar{X} 는 평균변위, X 는 변동변위의 최대값, g_f 는 피크팩터, $\frac{\delta_x}{\bar{X}}$ 는 변동변위의 근, r_f 는 풍속변동계수, B_f 는 비공진계수, R_f 는 공진계수이다.

바람의 난류에 의하여 발생하는 풍방향 진동의 정적하중 효과는 그림2-5.(a)~(b)에 나타난 것처럼 바람의 난동에 의한 직접적인 효과(B_f)와 난동에 의하여 유발되는 건축물의 공진 효과(R_f)의 합으로 나타낼 수 있다. 바람의 난동에너지는 저주

■ 그림 2-5. 변동변위의 파워스펙트럼밀도



파수영역에 편중되어 있기 때문에 난동에 의한 공진효과는 건축물의 고유진동수가 작아질수록 커진다.

따라서, 가스트영향계수를 위에서 언급한 공진효과의 크고 작음에 따라 2가지 방법으로 구분하였다. 첫째는, 강체건축물 산정용 가스트영향계수로써 그림2-5(a)에 나타난 것과 같이 건축물의 고유진동수가 커서 난동의 직접적인 효과(B_f)에 비하여 공진효과(R_f)를 무시할 수 있는 정도로 작은 경우에는 공진부분을 무시한 (식 2-4) 또는 사용의 편리성을 위하여 강체건축물의 분기점인 $B=15m$, $H=45m$ 인 건축물의 산정결과를 기초로 얻어진 표2-6을 적용하도록 하였다.

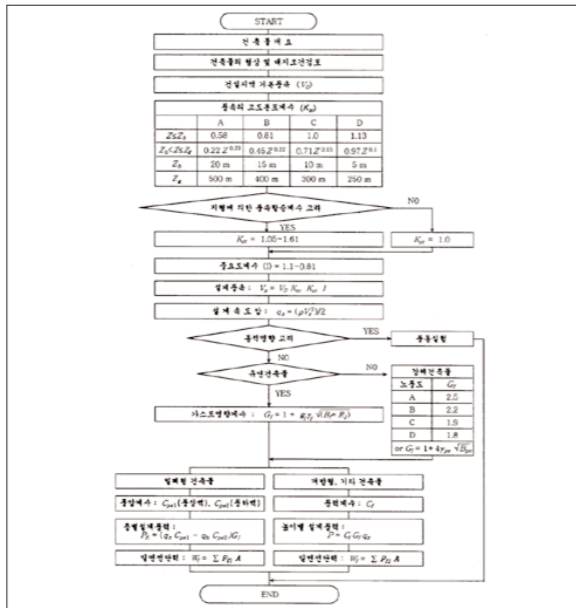
$$G_f = 1 + 4 \cdot r_f \cdot \sqrt{B_f} \quad (식 2-4)$$

노풍도구분	가스트영향계수()
A	2.5
B	2.2
C	1.9
D	1.8

둘째는, 유연건축물산정용 가스트영향계수로써 그림2-5(b)에 나타난 것과 같이 건축물의 고유진동수가 작아 공진효과(R_f)가 큰 경우에는 공진부분을 고려한 다음식만을 적용할 수 있도록 하였다.

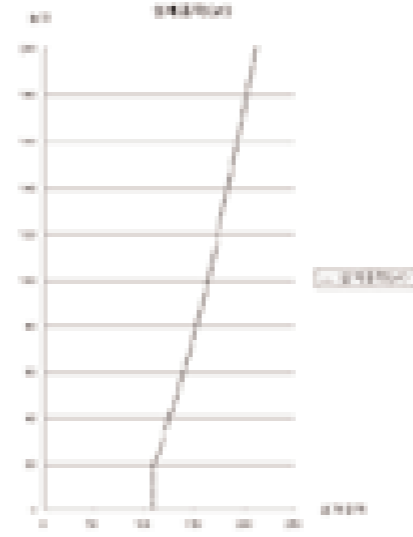
$$G_f = 1 + 4 \cdot r_f \cdot \sqrt{R_f} \quad (식 2-5)$$

3 구조골조용 풍하중 산정의 흐름도



4 풍하중 산정의 예

■ 설계풍력 (pf)



$$설계풍력 pf = q_e \cdot G_f \cdot C_{pe1} - q_b \cdot G_f \cdot C_{pe2}$$

- ▷ 노풍도: A
- ▷ 지역: 서울 (기본풍속: 30m/s)
- ▷ 건물높이: 200m
- ▷ 가스트영향계수 (G_f): $G_f = 1 + 4 \cdot r_f \cdot \sqrt{R_f} = 1.49$
- ▷ C_{pe1} (풍상면의 풍압계수): 0.8
- ▷ C_{pe2} (풍하면의 풍압계수): -0.5

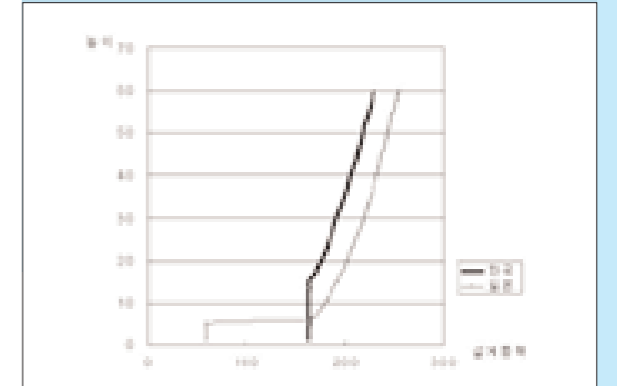
5 풍하중에 대한 한국과 일본에 대한 비교

■ 풍하중에 대한 한국과 일본에 대한 비교

분류	한국기준	일본기준
배경	기본풍속 35m/s, 노풍도 B	기본풍속 35m/s, 노풍도 3
설계속도압	$q_b = \frac{1}{2} \rho V^2$	$q_b = \frac{1}{2} \rho U^2$
공기밀도	0.125 kgf · s ² / m ⁴	0.125 kgf · s ² / m ⁴
설계풍속	$V_z = V_o \times K_r \times K_x \times I_w$ V_o : 기본풍속 35m/s K_r : 풍속감속계수 (1.0) I_w : 중요도계수 (1.0) K_x : 고도분포계수 $K_r: Z \leq Z_b \Rightarrow 0.81$ $Z_b < Z \leq Z_g \Rightarrow 0.45 Z^{\alpha}$	$U_h = U_o \times E_h \times R$ U_o : 기본풍속 35m/s R : 재현주기 환산계수 (1.0) E_h : 기준높이에 대한 풍속의 연직분포 계수 $E_h = E_z \times E_o$ E_z : 연직분포계수 $\Rightarrow 0.69$ $Z_b < Z \leq Z_g \Rightarrow 1.7 Z / Z_g^{\alpha}$ E_o : 풍속감속계수 1.0
구조골조용 가스트 영향계수	건축물 하중기준 및 해설 참조 (한국과 일본에서 구하는 식이 동일) 다른점이 있다면 한국에서는 바람에 의한 공진을 무시할 수 있는 경우 표에 의해 찾을 수 있지만 일본에서도 식으로서 모두 구한다.	

가스트 계수	1.866	1.83
벽면의 외압계수	풍상벽 (C_{pe1}): 0.8 풍하벽 (C_{pe2}): -0.5	풍상벽(): 0.8 $KZ: Z \leq Z_b (Z_b/h) 2^{\alpha}$ $KZ: Z < Z_b \leq (Z_b/h) 2^{\alpha}$ 풍하벽 (C_{pe2}): -0.6 풍하벽 (C_{pe2}): $C_{pe1} - C_{pe2}$
설계풍력	$P_f = q_z G_f C_{pe1} - q_z G_f C_{pe2}$	$P_f = q_h G_f C_f$

■ 한국과 일본의 풍하중 비교그래프



6 결론

- 1) 우리나라의 기상관측소의 풍속은 10분간 평균풍속을 측정하고 있다. 따라서, 풍하중 산정의 기본이 되는 기본풍속이 평균풍속이므로 내풍설계 기법은 평균풍속을 기본으로 하는 개념이다.
- 2) 지표면의 상태 및 주위건물환경을 고려한 지표면조도 구분 및 설계기본풍속을 설정되어있다.
- 3) 많은 건축물들이 산지에 건설되고 있는 우리나라의 상황과 산악지형이 많은 지형학적 영향을 반영되어있다.
- 4) 대규모적인 건축물의 용도, 사회성, 경제성 및 중요성의 고려하여 반영되었다.
- 5) 가스트영향계수를 적용하여 강체구조물과 유연구조물에 따른 풍하중영향을 다르게 고려하였다.
- 6) 일본기준과의 비교해보면 5m까지는 한국기준의 설계풍력이 크나 그 이후로는 일본기준의 설계풍력이 크게 나타난다. 하지만 그래프의 방향성 및 형태는 아주 유사하다는 것을 알 수 있다.