

“高層建築物의 風荷重 設計에 대한 研究”

成 天 慶
建築學科

〈要　約〉

建物은 高層化될수록 橫力에 의한 영향을 많이 받게 된다. 특히 우리나라 建築法에서 规定한 風荷重은 高層建物에 適用하기에는 너무 큰값을 갖고 있어 經濟的인 構造設計에 큰 지장을 주고 있다.

Davenport가 提案한 風速分布式이 사용하기에 편리하며 合理的이므로, 이 式에 의하여 서울地域의 高層建物에 알맞는 속도압설계式을 만들어 보았다.

“A study on the wind load design of the highrise buildings”

Seong, Chun Kyung
Dept. of Architecture.

〈Abstract〉

When a building become highrised, the effect of the lateral force will be increased.

The wind load provided under the present Korean Building Code is too large for the economical design of the highrise buildings. Because the equation for the wind velocity distribution proposed by Davenport was a convenient and rational one, I suggest an equation for the velocity pressure of the highrise buildings in Seoul area on the basis of it.

될 것이다.

I. 序　論

建築物에 作用하는 힘은 크게 나누어 垂直荷重과 水平荷重(橫力)으로 나누며, 힘의 원인에 따라 自重, 固定荷重, 積載荷重, 積雪荷重, 風荷重, 土壓, 水壓, 地震, 기타 진동 및 충격에 의한 荷重으로 나눌 수 있다. 建物이 高層화될수록 水平荷重(橫力)에 의한 構造設計는 한층 복잡하여지고 그 영향은 점점 擴大되어 構造部材의 經濟的인 使用에 큰 문제가 된다.

우리가 構造物을 解析할 때 作用하는 荷重에 대하여 항상 合理的이고, 解析이 명료하도록 荷重을假定한다. 解析과 設計의 出發點인 材料의 設計應力와 그 構造物이 받아야 할 荷重假定에 잘못이 있었다면, 아무리 正確하고 정밀한 構造解析과 設計를 하였다고 하더라도 그 結果 역시 不適合하게

따라서 建築物 構造設計의 기본이라고 할 수 있는 荷重假定中에서도 특히 風荷重에 대하여 現行 建築法 施行令에서 规定하고 있는 計算方法에 대하여 檢討하고 高層建築物 設計에 있어서 특히 風荷重假定에 고려할 사항을 이야기 하려고 한다.

II. 現行 建築法 施行令中の 風荷重

建築法 施行令 第3章 77조 ①, ②항에서 風壓力 (p)은 다음과 같이 규정하고 있으니

$$p=c \cdot q \quad (1)$$

c: 風力係數(建物의 모양에 따라 결정되는 수치)

q: 速度壓(kg/m²)

速度壓(q)은 다음 (2)式으로一律적으로 규정하고 있다.

$$q=50\sqrt{h} \quad (2)$$

h: 地盤面에서 부터의 높이

建築物에 接近하여 그 建築物을 風向에 대해서 有効하게 차폐하여 주는 다른 建築物, 防風林 기타 이 類似한 것이 있을 때는 速度壓을 (2)式의 半까지 즉 $q=25\sqrt{h}$ 까지 減할 수 있다고 規定하고 있다.

III. 風速과 速度壓

1. 平均最大風速과 瞬間風速

보통 使用하고 있는 風速은 Robinson 風速計로서 測定하는 10分間의 平均風速이고 이 平均風速中의 最大値를 平均最大風速이라고 한다. 建築物의 構造設計에 있어서 風壓계산에 필요한 것은 瞬間最大風速이다.

再發期間을 50年으로 잡고 確率的統計에 의한, 平均最大風速에서 瞬間最大風速을 推定하는 관계식으로는 다음과 같은 式이 日本에서 發表 되었다. 瞬間最大風速을 V (m/sec), 平均最大風速을 V' (m/sec)라고 하면

$$V=1.05V'+n \quad (3)$$

n: 0~10까지의 수로서 一般的으로

*n=7*을 使用

이다.

다음 (速度壓 計算等)에서 言及하는 風速은 모두 ① 瞬間最大風速임을 미리 밝혀 둔다.

2. 風速의 垂直分布

風速은 일 반적으로 地上에서 부터의 높이가 높아질수록 增加하여 간다. 風速의 垂直分布는 地形 및 주위 建築物群과의 差에 의하여 變化가 생기며, 海上에서 보다도 都市와 같이 起伏이 많은 장소에서 變화의 정도가 심하다.

(1) 風速分布의 對數法則(logarithmic Law) 이 法則은 風速을 높이의 對數관계로 表示한 것으로 地表面부근의 亂流境界層內의 風速의 垂直分布를 Prandtl이 理論의 으로 誘導한 式이다.

$$V_h = V_* \cdot \ln \frac{h}{Z_0} \quad (4)$$

여기에서

V_h: 높이 *h*에서의 風速

$$V_* = \sqrt{\frac{\tau}{\varphi}} : \text{마찰속도}$$

τ: 地表面에서의 空氣의 剪斷力

φ: 空氣密度

k: Karman 定數 (*k*=0.4)

Z₀: 粗度係數

특히 地表面에서 障害物이 密密하게 配置되어 있는 狀態에 대하여는 높이의 原點을 地表面으로 取하는 것은 不適當하며 障害物의 平均높이 *H*만을 原點을 옮긴 (5)式을 使用한다. 즉

$$V_h = \frac{V_*}{k} \ln \frac{h-H}{Z_0} \quad (5)$$

이 對數分布式은 風洞境界層에 대한 實驗值와 잘 符合되며 또한 岸原이나 海面과 같은 평坦한 表面을 가진 地表面境界層에 대한 관계결과와 잘一致한다. 그러나 市街地와 같이 表面의 粗度가 심한 場所라던지 반대로 表面마찰력의 영향이 감소되어 偏向力의 영향이 작용하게 되는 上部 마찰층과 같은 部分에 대하여는 이 對數分布와 實際의 分布間に 상당한 차이가 있다고 한다.

原點높이 *H*의 實用值로서는 大都市의 中心部일 때 20m 또는 부근 建築物의 平均높이의 3/4을 보고 있고, 기타 다른 例 반지역의 경우는 *H*=0을 提案하고 있다.

일반적으로 높이 10m에 대한 風速을 측정하고 있으므로 높이 10m에 대한 風速 *V₁₀*을 알고 있으면서는 마찰속도 *V_{*}*는 開放된 地域에 대해 다음 (6)式에 의해 求할 수 있다.

$$V_* = V_{10} / 2.5 \ln \left(\frac{10}{Z_0} \right) \quad (6)$$

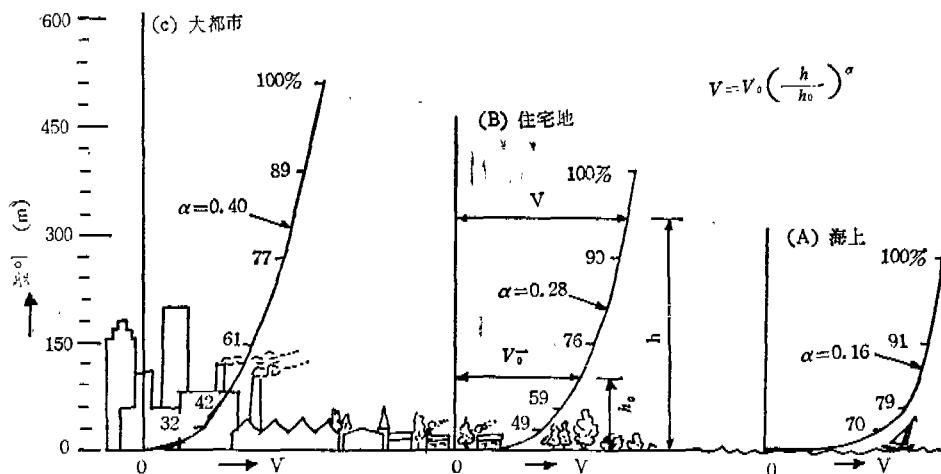
또한 粗度係數 *Z₀*의 實用值로서는 다음 表 1의 值을 使用하고 있다.⁶⁾

表 1. 粗度係數 *Z₀*

場 所	<i>Z₀</i>
海 岸	0.005~0.01
開放된 地域	0.03~0.10
市街地 周邊, 郊外	0.20~0.30
市街地 中心部	0.35~0.45
大都市의 中心部	0.60~0.80

(2) 風速分布의 指數法則(power law)

基準高度 *h₀* (보통 地上 10m)에서의 平均風速을 *V₀*라고 하고 任意의 높이 *h*에서의 未知의 風速을 *V*라고 하면, 風速과 地上에서의 높이와의 관계식을 다음 (7)式과 같은 指數分布式으로 나타낸다.

Fig. 1. 風速의 垂直分布⁽¹⁾

$$V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha \quad (7)$$

이 式 中의 α 는 地面의 기친성도를 나타내는 數로서 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{10}$ 사이의 값이며 주변 建物群을 포함한 진물의 모형을 $\frac{1}{500}$ 또는 $\frac{1}{1,000}$ 의 缩尺으로 정교하게 만들어서 風洞實驗을 통하여 구하기도 한다.¹⁾

風速과 높이와의 관계를 모형적으로 나타내면 위의 그림과 같다.

指數 α 의 平均값으로는 다음의 수치가 提案되어 있다.

平坦한 草原이나 海岸 : $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{7}$

田園地帶 : $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{4}$

森林 또는 市街地 : $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$

이 (7)式은 學者와 國家에 따라서는 다음과 같이 定하여 使用하기도 한다.

Douglas Archibald 日本 구조계 산 채용치 : $V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}}$

Schmidt : $V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{-\frac{1}{4.5}}$

Eiffel (1880~1885) : $V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{2}}$

美國 구조계 산 채용치 : $V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{7}}$

이 指數分布式은 觀測의 増의상 보통 10m를 基

準高度로 하고 있으나, 이와 같은 높이에서의 風速은 地表面狀態의 영향을 過度하게 받고 있다. 따라서 보다一般化된 취급을 위하여, A.G.Davenport는 地表面의 영향을 거의 받지 않는高度를 기준으로 하는 다음과 같은 分布式을 提案하였다.

$$V_h = V_c \left(\frac{h}{h_c} \right)^\alpha \quad (8)$$

V_h : 高度 h 에서의 風速

h_c : 傾向風의 下限高度

V_c : 傾向風의 風速

그런데 h_c 는 地表面의 條件에 의하여 變化하기 때문에 이것을 指數 α 와 並行하여 다음과 같이 提案하고 있다.

開放된 地域 : $h_c = 270m, \alpha = -\frac{1}{7}$

都市周邊의 市街 : $h_c = 360m, \alpha = -\frac{1}{4.5}$

大都市의 中心部 : $h_c = 450m, \alpha = -\frac{1}{3}$

이 Davenport式의 한 가지 難點은 h_c 와 같이 높은高度에 대한 風速의 資料가 현실적으로 아주稀少하다는 點이다. 따라서 Davenport는 傾向風의 風速 V_c 를 산출하는 方法으로서 近接한 開放地域에 대한 10m高度의 基本風速 V_{10m} 을 사용하는 實用的方法을 提示하였다. 즉 近接한 開放地域의 風速分佈式은

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^{1/7}$$

이므로, 高度 270m (즉 $h_c = 270m$)에서의 開放地域

傾向風速은

$$V_c = V_{10} \left(\frac{270}{10} \right)^{\frac{1}{7}} = 1.6V_{10} \quad (9)$$

이다. 이 傾向風의 風速 V_c 는 近接한 都市中心部의 $h_c=450m$ 및 그 周邊地域의 $h_c=360m$ 上空에서의 風速과 同一하므로 이 $V_c=1.6V_{10}$ 을 (8)式에 適用하면

$$\begin{aligned} \text{開放地域} : V_z &= V_c \left(\frac{h}{270} \right)^{\frac{1}{7}} \\ &= 1.6V_{10} \left(\frac{h}{270} \right)^{\frac{1}{7}} \end{aligned} \quad (9-1)$$

$$\begin{aligned} \text{大都市中心部} : V_z &= V_c \left(\frac{h}{450} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 1.6V_{10} \left(\frac{h}{450} \right)^{\frac{1}{3}} \end{aligned} \quad (9-2)$$

$$\begin{aligned} \text{周邊의 市街} : V_z &= V_c \left(\frac{h}{360} \right)^{\frac{1}{4.5}} \\ &= 1.6V_{10} \left(\frac{h}{360} \right)^{\frac{1}{4.5}} \end{aligned} \quad (9-3)$$

이 된다.⁶⁾

3. 速度壓

바람이 장애물이 없는 空間을 일정한 速度 V 로서運動하고 있을 때의 空氣의 壓力은 靜壓 P_s 라고 하면, 이 바람이 建物에 碰아서 速度 V 가 變할 때 壓力 P_s 도 變한다. 空氣를 粘性이 있는 非壓縮性의 完全流體라고 假定하면 Bernoulli의 定理로부터

$$P_s + \frac{1}{2} \varphi V^2 = P' + \frac{1}{2} \varphi V'^2 = \text{const.} \quad (10)$$

φ : 空氣의 密度

와 같은 관계가 成立된다. 즉 靜壓 P_s 속도 V 의 流體中에 建物과 같은 物體가 놓여 있다고 하면, 建物周圍의 어떤 點의 流體速度 V' 와 流體의 壓力 P' 는 (10)式과 같은 관계를 가진다. 物體의 風上前面(마람을 낮는 面)에서, 바람의 速度 V' 가零이 될 때, 그 點의 壓力增加는

$$P' - P_s = q = \frac{1}{2} \varphi V^2 \quad (11)$$

이 된다. 이 때의 $q=P'-P_s$ 를 速度壓이라고 하며 標準狀態에서의 空氣의 密度(φ)는 $0.125 \text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ 이므로 이 (11)式을 고쳐쓰면 다음과 같은 式이 된다.

$$q = \frac{1}{16} V^2 \quad (12)$$

IV. 高層建物의 設計風荷重

앞의 II章에서 言及한 現行 韓國建築法 施行中的 速度壓 $q=50\sqrt{h}$ 는 高層建物에 대하여는 무나 큰 風荷重을 나타낸다. 이 값은 日本建築基準法에 規定되어 있는 速度壓 $q=60\sqrt{h}$ 와 거의 같을 수 있다.

日本建築基準法이 速度壓으로 $q=60\sqrt{h}$ 를 規定하였을 당시에는 대부분의 建築物이 地上高 30m를 만이었고 또 이를 中低層建物을 對象으로 規定하였다. 1964年 建築基準法의 改定 이후, 霞ヶ關ビル(Gasmigaseki Building)과 같은 超高層建物로 異なる 構造物의 設計가 差別化 되었고 이에 “高層建物에 關한 技術指針”을 制定發行하였고, 여기에 地上高 45m를 超過하는 建築物의 風荷重에 대하여 常用速度壓으로 $q=120\sqrt{h}$ 를 사용하도록 규정하였다. 이 式은 地上高 16m에서的大瞬間速度 $V_0=63 \text{m/sec}$ 을 基準으로 하여 美國構造計算採用式을 使用하여 得한 것이다.²⁾

우리 나라 内陸地方의 경우 다음 表 2에서 보는 바 같이 日本에서 채택한 最大瞬間風速보다 더부족하고, 또 보다 實際와 잘 符合될 수 있는 風速分布 위하여, Davenport의 式을 사용하여서 高層建物의 設計風荷重으로 일맞는 式을 구하여 한다.

서울地方의 地上高 11.5m에서의 平均最大風速 25.0m/sec으로 瞬間最大風速은 (3)式에서

$$\begin{aligned} V_{11.5} &= 1.05 \times 25.0 + 7 \\ &= 33.25 \text{m/sec} \end{aligned}$$

이다. 따라서 地上高 10m에서의 開放地域 基本風速은

表 2. 最大風速記錄(10分間 平均值)²⁾

地 域	地 名	10分間 平均最大風速 m/sec	風速計의 地 上 高 m	비 고
内 陸 地 區	内 地 區 서 울	25.0	11.5	1907年~현재 관상대설치 후 현재까지
	대 구	25.3	22.1	
	전 주	19.0	8.9	"
海 岸 地 區	부 산	34.7	17.8	"
	인 천	35.0	14.0	"
岸 地 區	울 산	31.7	10.8	"

表 3. 高度에 따른 速度壓(서울의 경우)

地 域	式	速 度 壓			비 고
		100m	150m	200m	
開放地域	$q=34.3h^{\frac{2}{7}}$	127.9kg/m ²	135.2kg/m ²	146.8kg/m ²	
周邊市街	$q=2.87h^{\frac{2}{3}}$	90.5kg/m ²	108.3	123.1	
都市中心部	$q=12.44h^{\frac{2}{4.5}}$	58.7	76.9	93.1	

$$V_{10} = V_{11.5} \left(\frac{10}{11.5} \right)^{\frac{1}{7}}$$

$$\approx 32.6 \text{ m/sec}$$

가 된다. 따라서開放地域의 基本風速을 이용하여 大都市인 서울의 각 地域에 대한 速度壓을 (9-1), (9-2), (9-3)式을 이용하여 求하면 다음과 같다.

(1) 開放地域

風速分布式 (9-1)을 式(12)에 代入하면 速度壓은

$$q = 0.0323V_{10}^2(h)^{\frac{2}{7}}$$

이로, $V_{10}=32.6 \text{ m/sec}$ 으로 이 式은 다시

$$q = 34.33(h)^{\frac{2}{7}} \approx 35 h^{\frac{2}{7}}$$

로 쓸 수 있다.

(2) 서울 中心部 地域

마찬가지로 하여 風速分布式 (9-2)을 式(12)에 代入하면 速度壓은

$$q = 0.00273V_{10}^2(h)^{\frac{2}{3}}$$

이 되고, $V_{10}=32.6 \text{ m/sec}$ 으로 이 式은 다시

$$q = 2.87(h)^{\frac{2}{3}}$$

와 같이 쓸 수 있다.

(3) 서울周邊의 市街地

마찬가지로 (9-3)式을 (12)式에 代入하면

$$q = 0.0117V_{10}^2(h)^{\frac{2}{4.5}}$$

이며, $V_{10}=32.6 \text{ m/sec}$ 를 代入하면

$$q = 12.44(h)^{\frac{2}{4.5}}$$

와 같이 된다.

이렇게 구한 3개 地域에 대해 高度 100m, 150m, 200m 일 때의 각각의 速度壓을 구하여 보면 다음 表 3과 같다.

表 3에서 알 수 있는 바와 같이 都市中心部에서는 여러 장애물로 인하여 速度壓이 훨씬 떨어져 있다.

拘束力を 가진 規準으로 사용할 수 있으려면, 使用하기에 편리하고, 항상 安全側(safe side)에 있어야 하므로, 위의 세 지역 중開放地域의 速度壓을 수정하여 적용하면 특수한 경우(海岸, 山間, 절벽위)를 제외한 内陸地方의 速度壓으로 알맞을 것이다. 즉開放地域의 速度壓 q 는

$$q = 34.3(h)^{\frac{2}{7}}$$

$$= 34.3(h)^{\frac{1}{4}}(h)^{\frac{1}{28}}$$

로 고쳐 쓸 수 있다. 그런데 高度 h 가 1,000m 以内일 경우

$$1.0 < (h)^{\frac{1}{28}} < 1.28$$

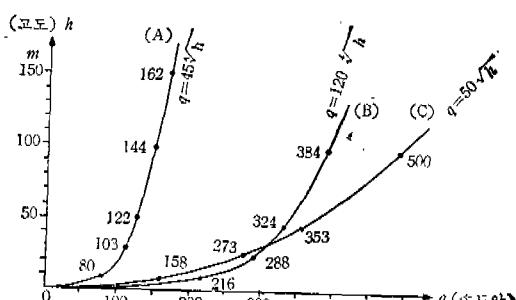
이다. 그러므로 安全側에 있기 위하여 $h^{\frac{1}{28}} = 1.28$ 이라고 하면

$$q = 43.9 h^{\frac{1}{4}}$$

이 된다. 따라서 規準式으로는 $q = 45\sqrt{h}$ 을 사용하면 알맞는 式이 될 것이다.

V. 結論

Davenport의 風速分布式을 이용하여 求한 우리



(A) 韓國內陸地方
(B) 日本의 技術指針
(C) 現行韓國建築法施行令

Fig. 2. 速度壓의 비교

나라 内陸地方의 速度壓에 알맞는 $q=45\sqrt{h}$ 斗, 日本의 改定 技術指針에 의한 速度壓 $q=120\sqrt{h}$ 및 現行 韓國建築法에 規定되어 있는 $q=50\sqrt{h}$ 에 대한 graph를 그려 비교하면 앞의 Fig.2와 같다.

速度壓 $q=45\sqrt{h}$ 은 馬春景氏가 1968년 3月 Douglas Archibald의 式을 이용하여 산출한 速度壓 $q=50\sqrt{h}$ 과 거의 비슷한 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

參 考 文 獻

1. 武藤 清, “超高築建築への アプローチ—霞ヶ関ビル”, 鹿島研究所出版會, 昭和 41年

2. 馬春景 “高層建物의 設計 風荷重” 大韓建築學會誌, 12卷 27號, 1968.
3. 李昌男 “高層建物의 構造方式”, 大韓建築學會誌, 13卷 31號, 1969.
4. 李艮基 “風壓力에 대한 高層라인의 研究”, 大韓建築學會誌, 13卷 31號, 1969.
5. 崔暢根, “高層建物의 構造시스템”, 大韓建築學會誌, 20卷 68號, 1976.
6. 馬春景, “建築物의 風荷重斗動的 應答解析”, 大韓建築學會誌, 22卷 82號, 1978.
7. 李昌漢, “韓國各地의 凍結深度와 構造物의 短期荷重 (I), (II)”, 大韓建築學會誌, 11卷 24號, 1967.