

## 아치형 2連棟하우스의 風力係數 分布에 關한 研究

李錫健, 李賢雨

慶北大學校 農科大學 農工學科

### Distribution of Wind Force Coefficients on the Two-span Arched House

Lee, Suk-Gun · Lee, Hyun-Woo

Department of Agricultural Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-701

#### Summary

The wind pressure distributions were analyzed to provide fundamental criteria for the structural design on the two-span arched house according to the wind directions through the wind tunnel experiment. In order to investigate the wind force distributions, the variation of the wind force coefficients, the mean wind force coefficients, the drag force coefficients and the lift force coefficients were estimated using the experimental data.

The results obtained are as follows :

1. The variation of the wind force with wind directions on the side walls was the greatest at the upwind edge of the walls.
2. The maximum negative wind force along the length of the roof appeared at the upwind edge at the wind direction of 60°.
3. The maximum negative wind force along the width of the roof appeared at the width ratio and wind direction of 0° and 0.4 in the first house and 0.6 and 30° in the second house, respectively.
4. The mean negative wind force on the side walls of the first house at the wind direction of 0° was far greater than that of the second house, and the maximum negative wind force on the roof occurred at the wind direction of 30°.
5. The maximum lift force appeared on the second house at the wind direction of 30°, but the lift force on the first house was far greater than that on the second house at the wind direction of 0°.
6. The parts to be considered for the local wind forces were the edges of the walls, and the edges of the x-direction and the width ratio, 0.4 of the y-direction in the roofs.

키 워 드 : 2連棟, 局部風力, 風荷重, 風力係數, 揚力, 抗力

Key words : drag forces, lift forces, local wind forces, wind force coefficient, wind loads, Two-span house

#### 序 論

하우스의 棟形式은 單棟과 連棟으로 구분할 수 있으며 이는 시설의 光環境과 溫·濕度環境에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 連棟은 單棟에

비하여 하우스의 내부면적이 커지므로 土地利用率이 높고 保溫力과 作業能率이 우수하여 대규모 하우스에 유리하다. 1991년도 國內에 보급되어 있는 蔬菜用 하우스의 棟形式은 單棟이 약 90%, 連棟이 약 10% 정도이지만 앞으로 施設園藝의 규모가 커

본 연구는 1990년도 학술진흥재단연구비로 수행하였음.

지고 固定式 施設이 확대·보급될 것으로 전망되어 이에 따른 連棟하우스의 비율이 높아질 것으로 예상된다.

따라서, 本 研究는 아치형 2連棟하우스의 構造設計에 必要한 基礎資料를 提示하기 위하여, 아치형 2連棟하우스 모델을 製作하여 境界層흐름條件下에서 風洞實驗을 실시하여 하우스 表面의 各 部位에 發生되는 風壓을 測定하고, 測定資料를 이용하여 風向別로 風壓의 分布形態, 局部風力係數, 平均風力係數, 抗力係數 및 揚力係數를 分析하였다.

## 實驗裝置 및 方法

### 1. 實驗裝置

本 實驗에 사용된 風洞은 open circuit type의 低速風洞이며, 試驗部의 斷面은 450mm×450mm이고 風速은 최고 33m/sec까지 無段變速이 가능하였다. 風速 및 風壓은 3孔 皮토투브, 스키타벨브, 差壓變換機, 디지털 壓力指示計 등을 사용하여 測定하였으며 세부적인 측정시스템의 構成은 前報와 同一하다<sup>3)</sup>. 本 實驗에 사용된 아치형 2連棟하우스 모델은 前報<sup>3)</sup>에서 사용한 아크릴製 單棟하우스 모델(두께 5mm, 幅(W) 108mm, 壁體의 前面높이(H<sub>1</sub>) 32mm, 中央部 높이(H<sub>2</sub>) 58mm, 길이(L) 200mm) 2棟을 組合하여 製作하였다. 模型의 配置와 座標系는 Fig. 1과 같으며, 風上側 棟을 1棟(first house), 그 다음棟을 2棟(second house)으로 表記하였다.

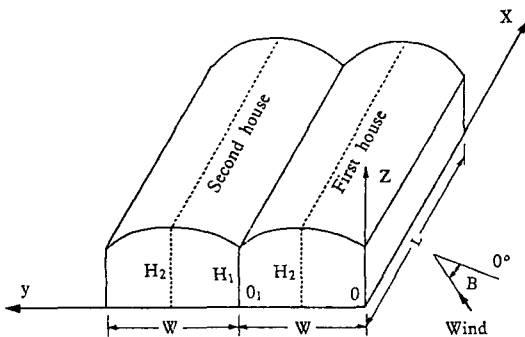


Fig.1. Layout and coordinate system of the test model.

### 2. 實驗方法

本 風洞實驗은 前報<sup>3)</sup>에서와 같이 速度의 垂直分布가 指數函數로 나타날 경우 指數가 0.12인 境界層흐름조건하에서 실시하였다. 風速은 15m/sec로

維持하였고, 風向은 Fig. 1에서 前壁(x-z平面)에 垂直인 方向을 0°로 하여 時計方向으로 30°, 60°, 90°로 變化시켜 風向別로 하우스 表面에 發生되는 風壓을 測定하였다.

### 3. 分析方法

各 面에 대한 風力係數의 分布形態를 分析하기 爲하여 Fig. 1의 座標系에서 x軸 方向을 길이方向, y軸 方向을 幅方向, z軸 方向을 높이方向으로 하였다. 또, 座標系에서 靜壓孔의 位置를 나타내기 爲하여 原點 O를 基準으로 한 靜壓孔의 x, y 및 z座標를 길이(L), 幅(W) 및 높이(H<sub>1</sub> 또는 H<sub>2</sub>)로 각각 나누어 이를 길이比(length ratio, x/L), 幅比(width ratio, y/W), 높이比(height ratio, z/H<sub>1</sub> 또는 z/H<sub>2</sub>)로 나타내었으며, 2棟의 幅比는 O<sub>1</sub>을 原點으로 하여 y座標를 계산하였다. 또한, 風上側壁(windward wall)을 前壁(front wall), 風下側壁(leeward wall)을 後壁(back wall)이라 하였고 風向쪽에서 볼때 왼쪽 側壁을 左側壁(left side wall), 오른쪽 側壁을 右側壁(right side wall)으로 하였다.

한편, 風壓係數(wind pressure coefficient, C<sub>p</sub>)는 測定點의 表面壓力과 自由흐름의 靜壓과의 差를 速度壓으로 나누어 算定하였고, 風力係數, 抗力係數 및 揚力係數는 分割面積(tributary area)을 考慮한 面積加重值를 이용하여 구하였다<sup>3, 8, 9, 13)</sup>.

## 結果 및 考察

### 1. 風向別 風壓係數의 分布

아치형 2連棟하우스에서, 前壁과 後壁의 風壓係數分布는 單棟하우스와 類似하였고, 側壁에 대한 水平方向(y軸方向)의 風壓分布 形態는 單棟하우스와 差異가 있었으나 그 變化傾向은 類似하였으며, 垂直方向(z軸方向)의 風壓變化 形態는 單棟하우스와 거의 동일하였다<sup>3)</sup>. 따라서, 本 研究에서는 2連棟하우스의 지붕에 대한 風壓係數의 分布形態만 分析하였다.

Fig. 2는 2連棟하우스의 지붕에 對한 風向別 風壓係數의 分布를 圖示한 것으로, 風向 0°와 30°의 경우는 두棟 모두 幅方向으로 風壓變化가 크게 나타났으며 最大負壓은 幅方向의 中間位置(幅比 0.5)로부터 1棟은 若干 앞쪽에서 2棟은 若干 뒷쪽에서 發生하였다. 한편, 風向 60°일때는 幅方向과 길이方向으로 同時에 風壓의 큰 變化가 發生하였으며 風向 0°와 30°인 境遇와는 달리 두棟 모두 風向쪽 端部에서 最大負壓이 發生하였다. 또한, 風向 90°일때는 길이方向으로 風壓의 큰 變化가 發生하였고,

幅方向으로의 風壓變化는 거의 없었으며 大體로 두棟 사이의 谷部에서 負壓이 增加하는 것으로 나타났다.

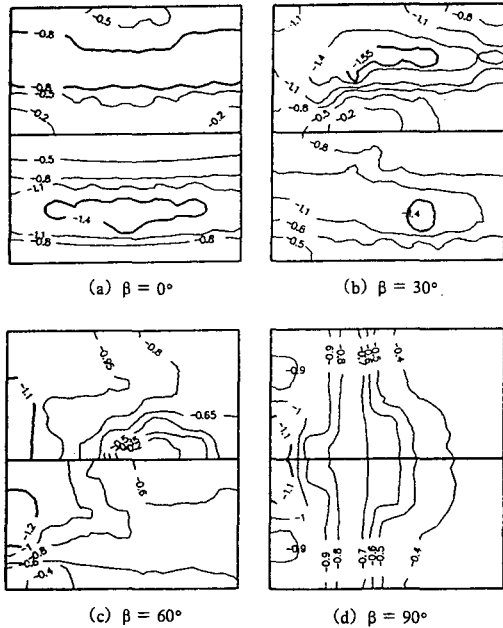


Fig.2. Distribution of the wind pressure coefficients on the roofs of the two-span house.

2. 壁體의 風力係數 變化

前述한 바와 같이 前壁과 後壁의 風壓分布形態와 側壁에 대한 垂直方向의 風壓變化形態는 單棟하우

스와 類似하였으므로<sup>3)</sup> 本 研究에서는 左·右壁體의 水平方向에 對한 風力係數의 變化만 分析하였다.

Fig. 3은 左·右壁體의 水平方向에 對한 風力係數의 變化를 圖示한 것이다. 2連棟하우스에서 側壁의 幅은 單棟하우스 幅의 2배가 되므로 風向 0°의 境遇 1棟에서는 幅比가 增加함에 따라 負壓이 急激히 減少하였으나 2棟에서는 거의 一定한 값으로 나타났다. 이는 1棟은 大體로 流線이 壁體에서 分離된 區間이지만 2棟은 流線이 다시 닿아서 흐르는 區間이기 때문인 것으로 判斷된다.<sup>7,10,11,12)</sup> 한편, 左側壁의 境遇 風向 30°일때 1棟에서는 正壓과 負壓이 同時에 發生하였으나, 2棟에서는 負壓만 發生하였고 그 크기는 幅比가 增加함에 따라 增加함을 알 수 있었다. 風向 60°에서 1棟의 境遇는 幅比가 增加함에 따라 正壓이 減少하였고, 2棟의 境遇는 全體적으로 正壓의 크기는 1棟보다 작고 幅比가 增加함에 따라 正壓이 減少하여 幅比 0.7 以上에서는 負壓이 作用하고 있음을 알 수 있었다. 風向 90°의 境遇는 各棟 幅方向의 中央部에서 最大正壓이 發生하는 것으로 나타났다. 이와 같이 2個所에서 最大正壓이 發生한 것은 전술한 바와 같이 2連棟하우스에서 側壁의 幅이 單棟하우스 幅의 2배가 되어 壁體길이의 增加로 因한 發生位置의 變化와 谷部의 影響에 基因된 것으로 思料된다. 또한, 風向變化에 따른 風力의 變化範圍가 가장 큰 곳은 風上側 端部인 것으로 나타났다.

右側壁의 風力係數는 左側壁과는 달리 風向 30° ~ 90° 範圍에서 水平方向으로 큰 變化가 없음을 알 수 있었다.

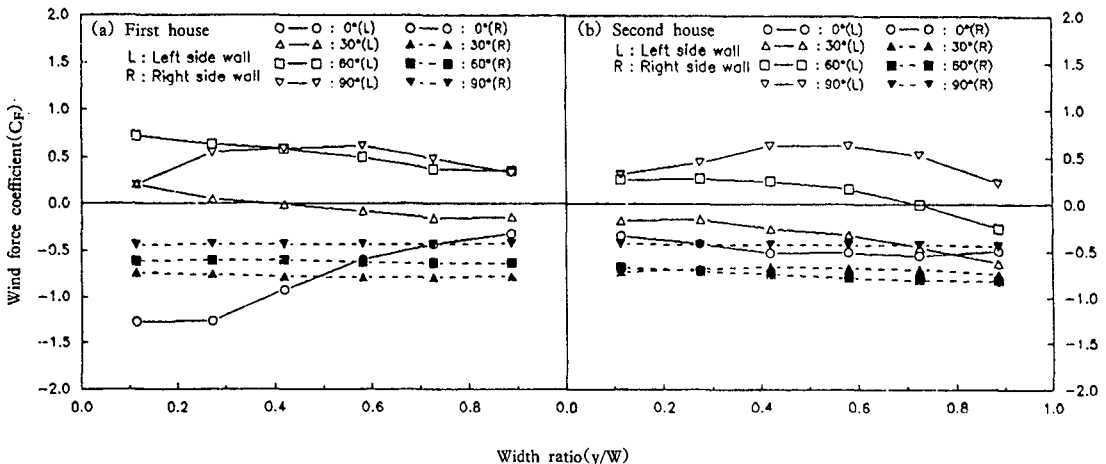


Fig.3. Horizontal variation of the wind force coefficients for the side walls of the two-span house.

3. 지붕에 대한 風力係數의 變化

가. 길이方向

Fig. 4는 지붕의 길이方向에 對한 風力係數의 變化를 圖示한 것이다. 風向 0°와 30°에서는 風力係數의 變化가 若干의 起伏는 있으나, 두棟 모두 水平方向의 큰 變化는 없는 것으로 나타났다. 風向 60°와 90°의 境遇는 두棟 모두 길이比가 增加함에 따라 負壓이 減少하는 傾向을 보였으며 最大負壓은 두棟 모두 風向 60°일때 길이比 0.1 附近에서 發生함을 알 수 있었고 全體적으로 風向 30°일때 大體로 큰 負壓이 發生하였다.

나. 幅方向

Fig. 5는 지붕의 幅方向에 對한 風力係數의 變化를 圖示한 것이다. 風向 0°의 境遇에 1棟에서는 幅比 0.4 程度에서 最大負壓이 發生하였고 兩端部로 갈 수록 負壓이 減少하는 傾向을 보였으며, 2棟의 경우 最大負壓의 發生位置는 1棟과 같았으나 그 크기는 작게 나타났다. 또한, 風向 30°일때 1棟에서는 風向 0°인 境遇보다 最大負壓의 크기가 약간 작지만 幅比에 따른 變化 傾向은 비슷하였고, 2棟에서는 風向 0°와는 달리 最大負壓이 幅比 0.6 程度에서 나타났다. 風向 60°의 境遇는 두棟 모두 幅比가 增加함에 따라 負壓이 多少 增加한 後 다시 減少하는 傾向을 나타내었으며, 風向 90°의 境遇는 風壓分布에서 言及한 바와 같이 두棟이 隣接한 谷

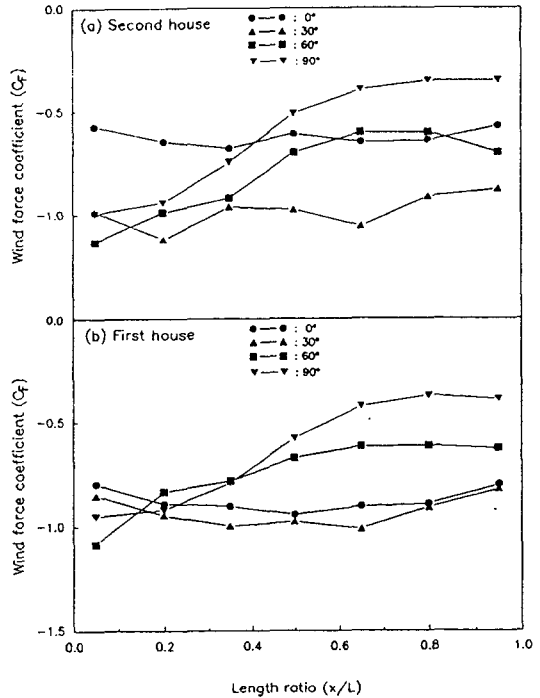


Fig.4. Variation of the wind force coefficients along the x-axis of the roofs for the two-span house.

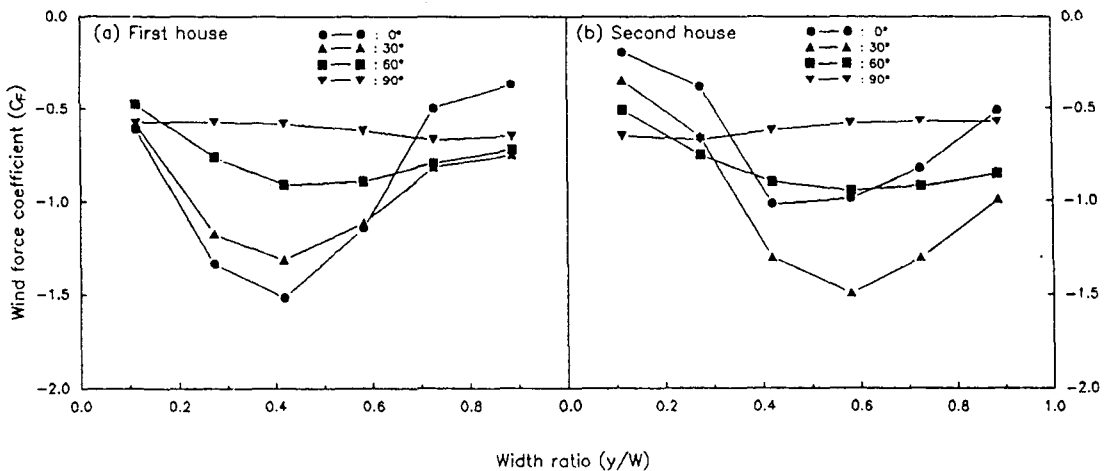


Fig.5. Variation of the wind force coefficients along the y-axis of the roofs for the two-span house.

部에서 負壓이 若干 增加하였으나 거의 一定한 負壓이 發生하였다. 全般的으로 1棟의 境遇는 幅比에 따른 風壓의 變化形態가 單棟하우스와 類似하여<sup>3)</sup> 幅比 0.4 程度에서 最大負壓이 發生하였고, 2棟의 境遇는 風向 0°일때 1棟의 影響을 받아 全般的으로 1棟보다 작은 負壓이 發生하였으나 風向 30°일때는 幅比에 따른 負壓의 變化 範圍가 오히려 增加하였으며, 1棟과는 달리 幅比 0.6程度에서 最大負壓이 發生하는 特徵이 있음을 알 수 있었다.

4. 平均風力係數의 變化

Fig. 6은 風向變化에 따른 平均風力係數의 變化를 圖示한 것이다. 前·後壁의 境遇는 大體로 單棟하우스와 類似한 傾向을 나타내었고<sup>3)</sup>, 左側壁의 境遇 1棟은 單棟하우스의 境遇와 傾向은 비슷하였으나 風向이 60°에서 90°로 變化함에 따라 正壓이 若干 減少하였고, 2棟은 風向 0°~60°範圍에서 全般的으로 1棟보다 風向變化에 따른 平均風力係數의 變化가 적게 나타났으며 風向 0°인 境遇에는 1棟보다 훨씬 작은 負壓이 發生하는 特徵이 있었다. 또, 右側壁은 1棟의 境遇에 風向 0°에서 가장 큰 負壓이 發生하였고 風向이 90°로 增加함에 따라 減少하였으며 2棟은 風向 60°에서 가장 큰 負壓이 發生하였다.

한편, 지붕의 境遇는 두棟 모두 風向 30°에서 最大平均負壓이 發生하였고, 2棟에서는 1棟의 影響을 받아 風向 0°에서 1棟보다 負壓이 적게 發生하였으나, 風向 30°~60°範圍에서는 1棟보다 負壓이 若干 크게 나타났다.

5. 風向變化에 따른 抗力係數 및 揚力係數의 變化

Fig. 7은 風向變化에 따른 抗力係數와 揚力係數의 變化를 圖示한 것으로, 最大抗力은 風向 30°附近에서 發生하였으며, 風向角이 커짐에 따라 急激히 減少하여 風向 90°에서는 抗力이 0으로 나타났다.

한편, 全 風向에 對한 最大揚力은 風向 30°일때 2棟에서 發生하였으나, 風向이 0°일때는 2棟보다 1棟에서 훨씬 더 큰 揚力이 發生함을 알 수 있었다. 이러한 사실은 하우스의 構造設計時 轉倒나 支點의 안전성 검토는 風荷重의 크기뿐만 아니라 風向도 함께 고려하여야 할 것으로 판단된다.

6. 局部風力을 考慮해야할 位置

局部風力의 크기와 發生位置는 風速, 風向 및 하우스의 構造形態에 따라 相異하므로 하우스 設

置地域의 全風向에 對한 局部風力을 分析한 結果로부터 決定해야 한다<sup>4,5)</sup>. 本 研究에서는 局部風力을 考慮해야 할 개략적인 位置를 壁體와 지붕의 길이方向과 幅方向에 對한 風力係數의 變化를 全風向에 對하여 分析한 結果로부터 正壓이 1.0보다 크거나 負壓이 -1.0보다 큰 部分을 基準으로하여 決定하였다.

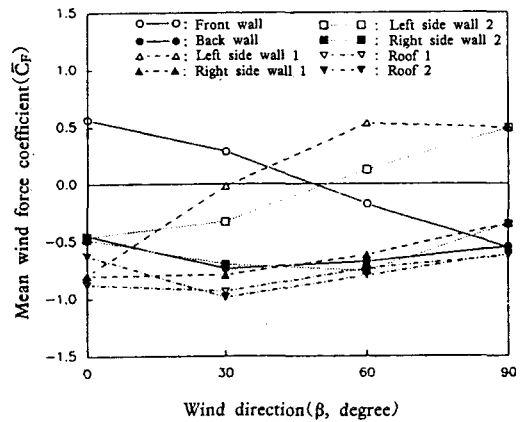


Fig.6. Variation of the mean wind force coefficients with wind directions for the two-span house.

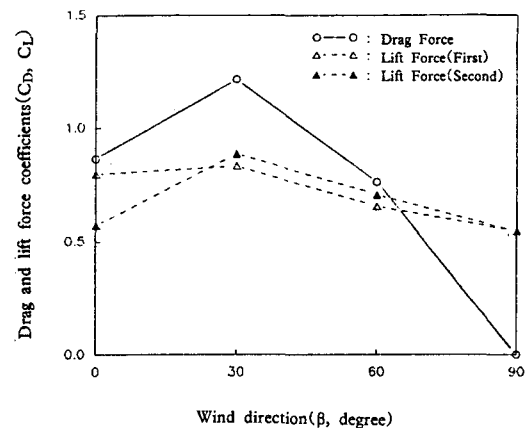


Fig.7. Variation of the drag and lift force coefficients with wind directions.

Fig. 8은 局部風力을 考慮해야 할 개략적인 位置를 圖示한 것으로 壁體의 境遇는 兩側端部이고, 지붕의 境遇는 길이方向의 端部와 幅方向의 幅比 0.4 程度의 位置인 것으로 나타났으며 局部風壓에 관한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

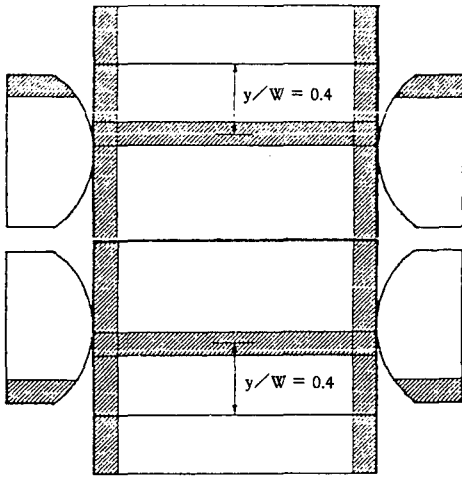


Fig.8. Parts to be considered for the local wind forces in the two-span house.

### 結 論

風荷重을考慮한 아치형 2連棟하우스의 設計를爲한 基礎資料를 提供하기爲하여 風向變化에 따른 하우스 表面에 發生되는 風壓을 風洞實驗을 通하여 測定하고, 風力係數, 平均風力係數, 抗力係數 및 揚力係數의 變化를 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 側壁의 水平方向에 대한 風力係數의 變化를 分析한 結果, 風上側 端部에서 風向變化에 따른 風壓의 變化範圍가 가장 크게 나타났으며, 風向이 壁面에 垂直일때 最大正壓은 各面의 幅方向 中央에서 發生하는 것으로 나타났다.
2. 지붕의 길이방향에 대한 最大負壓은 두棟 모두 風向 60°일때 風上側 端部에서 發生하였고, 全 길이에 대하여 風向 30°일때 큰 負壓이 發生하였다.
3. 지붕의 幅方向에 대한 最大負壓이 1棟의 경우는 風向 0°일때 幅比 0.4 정도에서 發生하였으나, 2棟의 경우는 風向 30°일때 幅比 0.6 정도에서 發生하는 특징이 있음을 알 수 있었다.
4. 各 面에 대하여 風向變化에 따른 平均風力係數의 變化를 분석한 結果, 風向 0°일때 2棟의 側壁은 1棟에 비하여 훨씬 적은 負壓이 發生함을 알 수 있었고, 지붕은 두棟 모두 風向 30°일때 最大 負壓이 發生하였다.
5. 最大揚力은 風向 30°일때 2棟에서 發生하였으나 風向 0°일때는 2棟보다 1棟에서 훨씬 더 큰 揚

力이 發生함을 알 수 있었다.

6. 局部風力을 考慮해야할 位置는 壁體의 경우 兩 側端部이고, 지붕의 경우는 길이方向의 端部와 幅方向의 幅比 0.4정도의 位置인 것으로 나타났다.

### 引用文獻

1. 金文基, 高在君, 李信昊. 1987. 플라스틱하우스의 構造實態의 調査研究. 韓國農工學會誌 29(3) : 113-124.
2. 高광출, 염도의, 이병일, 표현구. 1986. 시설원에. 한국방송통신대학 : 13-32.
3. 李錫健, 李賢雨. 1992. 아치형 單棟하우스의 風力係數 分布에 關한 研究. 韓國生物生産施設環境學會誌 1(1) : 28-36.
4. 羽倉弘人, 藤野宏道. 1992. 비닐하우스에 作用하는 風荷重에 關する 研究-風洞實驗による 基礎的な 風壓特性. 日本農業施設學會誌 23(1) : 15-24.
5. 日本施設園藝協會. 1981. 園藝用施設安全構造 基準(暫定基準). 日本施設園藝協會 : 12-17.
6. American Society of Agricultural Engineers. 1976. Designing building to resist snow and wind loads. ASAE(R288.3) : 373-377.
7. Cook, N. J. 1985. The Designer's guide to wind loading of building structures, Part 2, Butterworths : 8-130, 235-478.
8. Mathews, E. H. and J. P. Meyer. 1988. Computation of wind loads on a semicircular greenhouse. Advances in Wind Engineering, Part 2 : 225-233.
9. Nelson, G. L., H. B. Manbeck and N. F. Meador. 1988. Light agricultural and industrial structures. Van Nostrand Reinhold Co. : 147-161.
10. Simiu, E. and R. H. Scanlan. 1978. Wind effects on structures, John Wiley and Sons Inc. : 1-70, 318-342.
11. Stathopoulos, T., D. Surry and A. G. Davenport. 1981. Effective wind loads on flat roofs. ASCE 107(ST2) : 281-298.
12. Toy, N. and B. Tahouri. 1988. Pressure distributions on semi-cylindrical structures of different geometrical cross-sections. Advances in Wind Engineering, Part 2 : 263-272.
13. White, F. M. 1979. Fluid mechanics. McGraw-Hill Book Company : 400-512.