生物生産施設環境(J. Bio. Fac. Env.) 4(1) : 1~8 , 1995

아치형 單棟溫室의 最適設計를 위한 風力係數分布圖의 分析

李錫健 • 李賢雨 • 權武男
慶北大學校 農科大學 農工學科

An Analysis of Wind Force Coefficient Distributions for Optimum Design of Single-Span Arched Greenhouse

Lee, Suk Gun • Lee, Hyun Woo • Kwon, Moo Nam
Deptartment of Agricultural Engineering, College of Agriculture,
Kyungpook National University

Summary

One of the most destructive forces around greenhouses is wind. Wind loads can be obtained by multiplying velocity pressure by demensionless wind force coefficient. Generally, wind force coefficients can be determined by wind tunnel experiments. The wind force coefficient distribution on a single-span arched greenhouse was estimated using experimental data and compared with reported values from various countries.

The results opbatined are as follows :

1. The coefficients obtained from this study agree with the values proposed by G. L. Nelson except about 0.5 of difference in the middle region of roof section. This discrepancy is mainly attributed to the dissimilarity of experimental conditions for wind tunnel test such as Reynolds number, type of terrain, surface roughness of model, location of the tapping and measuring methods.

2. Considering that the wind force coefficients are varied along the height of a wall at wind direction perpendicular to wall, structural analysis using subdivided wind force coefficient distribution is more resonable for wall.

3. It is recommendable that wind force coefficient distribution on a roof should take more subdivision than the existing four equal divisions for more accurate structural design.

4. Structural design using wind forces close to real values is more advantageous in safty and expense.

키 워 드 : 構造設計, 아치형 單棟溫室, 風力係數의 分布, 風荷重, 휨모멘트
Key words : structural design, single-span arched greenhouse, wind force coefficient distributions, wind load, bending moment

Ⅰ. 序 論

溫室의 구조설계시 고려해야 하는 風荷重은 溫室構造의 파괴에 큰 영향을 미치는 중요한 인자이

며, 速度壓과 風力係數의 곱으로 산정한다.[1),9),10),12)]

風力係數(wind force coefficients)는 受壓面에 작용하는 風壓의 總合을 速度壓과 受壓面積으로 나눈 값으로 정의되며 風向, 구조물의 형상과 크기, 開口部形態 및 防風狀態 등에 따라 相異하다.[5),6)] 일반적으로 풍력계수는 風洞(wind tunnel)實驗으로 수압면 각 부위의 靜壓을 측정하여 구하기 때문에, 실험조건에 따라 各國에서 사용하고 있는 農業施設 設計用 風力係數의 分布는 약간씩 차이가 있다. 벽체의 풍력계수는 벽체에 작용하는 風壓의 合을 벽체의 全體面積으로 나누어 벽체의 전체높이에 대하여 균일한 평균값을 취하고 있다. 즉, 벽체의 전높이에 대하여 세기가 일정한 等分布荷重으로 표시하고 있다. 한편 아치형 지붕인 경우, 대부분의 硏究結果는 斷面의 지붕길이를 4等分하여 풍력계수를 表示하고 있다.[3),4),7),8),11)] 벽체나 지붕에 작용하는 風壓의 合力은 일정하지만 풍력계수의 분포형태에 따라 斷面力은 달라지게 된다. 따라서, 溫室設計에서 골조재의 斷面은 주로 最大斷面力의 크기에 의하여 결정되므로, 벽체나 지붕의 풍력계수는 가능한 한 실제와 유사하도록 分布시키는 것이 타당하다고 생각한다.

이에 本 硏究는 單棟 아치형 溫室構造에 대하여 風洞實驗을 실시하여 測定된 風壓資料[2)]를 사용하여 산정한 풍력계수와 外國의 기존 풍력계수 자료를 비교하고, 벽체와 지붕에 대한 풍력계수의 等分形態에 따른 斷面力을 비교하여 溫室構造의 最適設計에 필요한 합리적인 風力係數分布圖를 작성할 목적으로 수행하였다.

Ⅱ. 硏究資料 및 方法

1. 溫室 모델

本 硏究에 적용한 아치형 單棟溫室의 모델은 Fig. 1과 같고 실물크기는 폭(W) 5.4m, 벽체의 처마높이(H_1) 1.6m, 지붕높이(H_2) 2.9m이고 길이(L)는 10m이다. 風壓은 縮尺 1/50의 模型을 이용하여 境界層흐름(Boundary layer flow)條件下에서 風洞實驗을 실시하여 측정된 값을 使用하였다[2)]. 또, 風力係數에 대하여 기존의 연구결과와 비교하기 위한 본 모델의 構造的인 特性은 $H_2-H_1=f$라 놓을 때, $\frac{f}{W}\simeq0.24$, $\frac{H_1}{W}\simeq0.3$, $\frac{W}{L}\simeq0.5$이다.

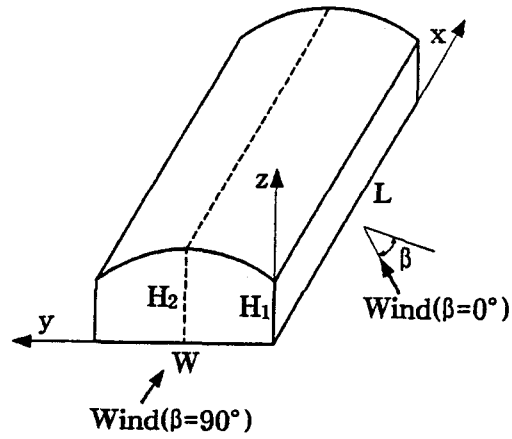


Fig. 1. A greenhouse model with applied wind direction.

2. 風力係數의 分析 및 構造解析

模型을 이용한 風洞實驗을 통해 측정된 風壓과 Fig. 2에서와 같이 靜壓孔의 位置에 따라 受壓面積을 分割하여 얻은 分割面積(Tributary area)을 적용하여 다음式과 같이 風力係數를 算定하였다.[2),9)]

$$C_{FK}=\frac{(a_{k1}\cdot P_{k1}+a_{k2}\cdot P_{k2}+\cdots a_{kn}\cdot P_{kn}+\cdots)}{A_k\cdot q_h} \quad (1)$$

여기서, C_{FK} : k번째 分割面에 대한 風力係數

a_{kn} : k번째 分割面의 n번째 靜壓孔에 該當하는 分割面積(m^2)

P_{kn} : k번째 分割面의 n번째 靜壓孔에서 測定된 風壓(kgf/m^2)

A_k : 分割面積(m^2)

q_h : 지붕과 처마의 중간높이에서의 速度壓(kgf/m^2)을 나타낸다.

算定된 係數들을 사용하여 溫室의 벽체 및 지붕에 대한 風力係數 分布斷面圖를 작성하고 風力係數의 變化를 분석하여 風荷重 계산시 필요한 風力係數 分布斷面圖를 작성하기 위한 합리적인 방법을 고찰하였다.

構造解析時 設計荷重을 무시하고 風荷重만을 적용하였고, 風荷重(W_w)은 (2)식을 이용하여 산정하였다. 여기서, 受壓面積(A)은 單位面積인 1로 가정하였고, 速度壓(q)도 1로 가정하였다.[1),9),10),12)]

$$W_w = C \cdot q \cdot A \qquad (2)$$

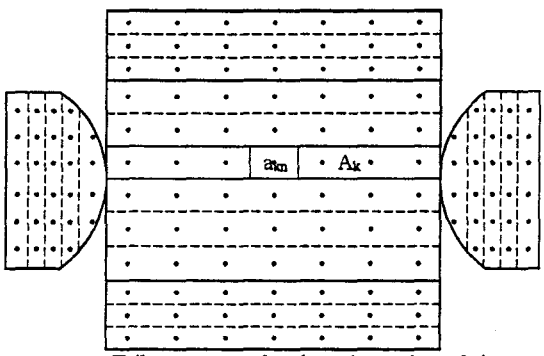
여기서, W_w : 風荷重(kgf)

C : 風力係數

q : 速度壓(kgf/m^2)

A : 受壓面積(m^2)이다.

構造解析은 구조해석용 프로그램인 SAP 90 (Structural Analysis Program 90)을 이용하였고, 構造解析 결과를 이용하여 휨모멘트도를 작성하였다.



a_{kn} : Tributary area for the nth tapping of A_k
A_k : The kth tributary area

Fig. 2 Tributary areas for estimating wind force coefficients.

3. 風力係數의 比較

外國에서 사용하고 있는 여러가지 風力係數와 本 硏究의 結果를 比較하기 위하여 外國에서 사용하고 있는 기존의 風力係數 分布斷面形態에 맞추어 風力係數分布圖를 작성하였다. 이때의 풍력계수는 나누어진 各 區間(風上側 및 風下側 벽체, 지붕 4구간)에 대하여 벽체는 전체 平均값으로 하였고, 지붕은 직선보간법을 이용하여 산정하였다. 본 연구에서 비교분석을 위해 사용한 외국의 풍력계수에 관한 자료는 ANSI 基準[7], G. L. Nelson[11], ASAE 基準[8] 및 日本基準[4]이 제시하고 있는 값들이다. 또한, 旣存의 基準들이 온실의 길이방향에 직각($\beta=0°$)인 풍향과 평행($\beta=90°$)인 풍향에 대해서만 풍력계수를 제시하고 있기 때문에 본 연구에서는 이들 風向에 대해서만 比較分析하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 風力係數의 比較

가. 風向이 溫室 稜線에 직각($\beta=0°$)인 경우

Fig.3은 風向이 溫室의 길이방향에 직각일때의 각국의 風力係數 分布斷面圖이다. 여기서 Nelson이 제시한 값은 ANSI基準과 同一하나 벽체에 대하여 ()안의 값을 추가로 제시하고 있다.

먼저 風上側 벽체의 係數는 各 基準들 사이에 차이가 있으나 본 연구의 결과는 0.56으로서 Nelson이 제시한 0.5~0.8범위에 있음을 알 수 있다. 이와같이 다른 기준과는 달리 Nelson이 風力係數를 0.5~0.8범위로 제시한 것은 境界層의 두께나 벽체의 높이 등에 따라 風壓分布가 달라지므로 이들을 고려하여 결정한 값으로 생각되고 다른 기준들보다 실제적으로 가장 타당성이 있는 것으로 판단된다[9),10),12)]

지붕의 風上側 1/4區間에서는 본 연구의 결과가 0.67로서 ANSI基準 및 日本基準과는 비슷한 결과를 나타내고 있으나 ASAE基準과는 상당한 차이를 보여주고 있어 이에 대해서는 보다 자세한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

지붕의 중간 1/2구간에서는 본 연구의 결과뿐만 아니라 美國基準과 日本基準들 사이에도 상당한 차이를 보여주고 있다.

지붕의 風下側 1/4구간에서는 본 연구의 결과가 美國의 基準들과는 비슷한 값을 보여주고 있으나 日本의 基準과는 비교적 큰 차이를 나타내고 있다.

風下側 벽체에서는 본 연구의 결과가 다른 기준들과 거의 유사한 값을 나타내고 있고, 특히 Nelson이 提示한 範圍에 속하는 값으로 잘 일치함을 보여주고 있다.

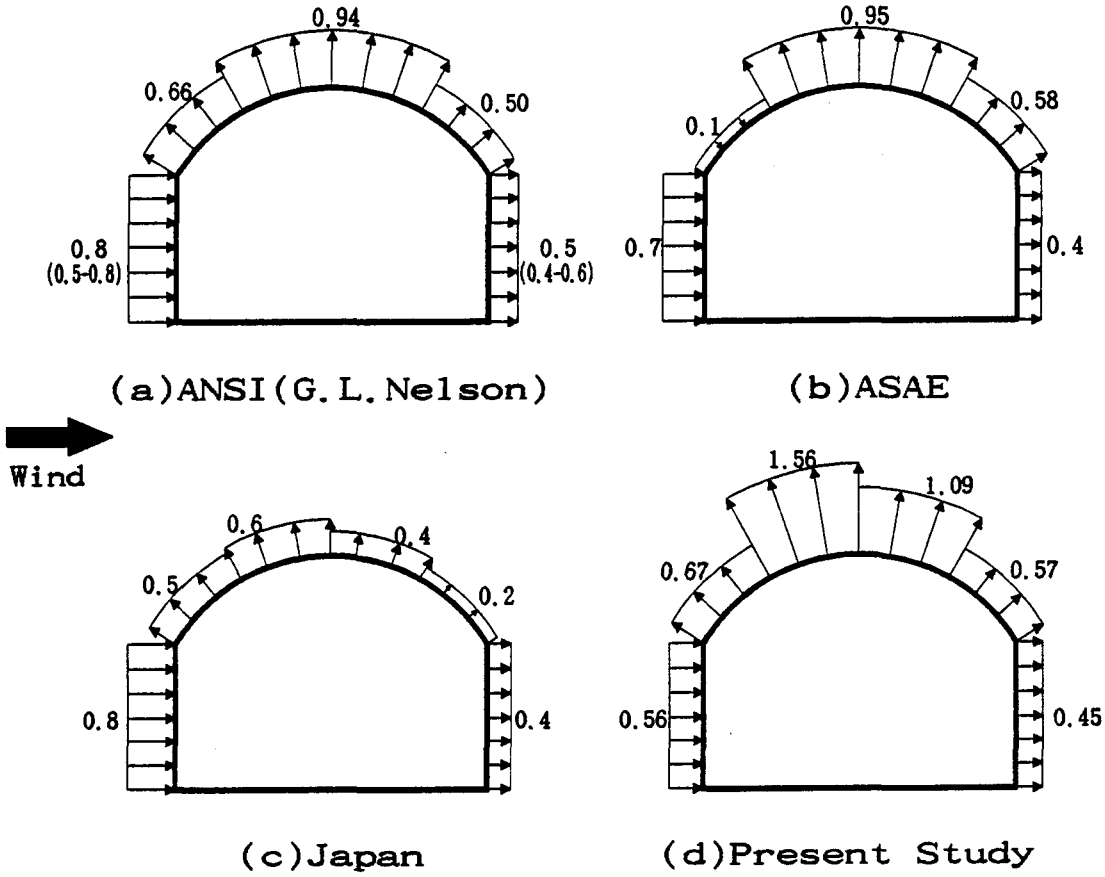


Fig. 3. Comparison of wind force coefficient distributions($\beta=0°$).

나. 風向이 溫室 稜線에 평행($\beta=90°$)인 경우

Fig. 4는 風向이 온실 능선에 평행일때 각국의 風力係數分布 斷面圖이다.

風上側 壁面의 경우에는 본 연구의 결과가 外國의 基準들과 차이가 있으며 이는 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 境界層의 두께나 벽체의 높이 차이 등의 영향으로 인한 것으로 생각된다.

側壁과 風下側 벽체 및 지붕은 本 硏究의 결과가 日本의 基準과 ANSI基準이 提示한 값들과 비슷하였다.

外國基準의 實驗條件에 對한 正確한 資料가 없기 때문에 本 硏究의 結果와 直接 比較한다는 것이 多少 問題點이 있을 것으로 생각되지만 風力係數의 分布에 對하여 槪略的으로 比較하였다. 그 結果 本 硏究의 結果가 全般的으로 Nelson이 제시한 값에 가장 近接한 값을 보여주고 있으나 풍향 0°일 때 지붕의 中間部位에서 最高 0.5정도의 큰 差異가 있음을 알 수 있었다. 이러한 差異는 레이놀드수, 地表面의 粗度, 模型의 表面粗度, 靜壓孔의 位置 및 計測方法 等 風洞實驗條件의 不一致때문인 것으로 判斷되며 앞으로 이에 대한 보다 자세한 硏究가 必要할 것으로 판단된다.

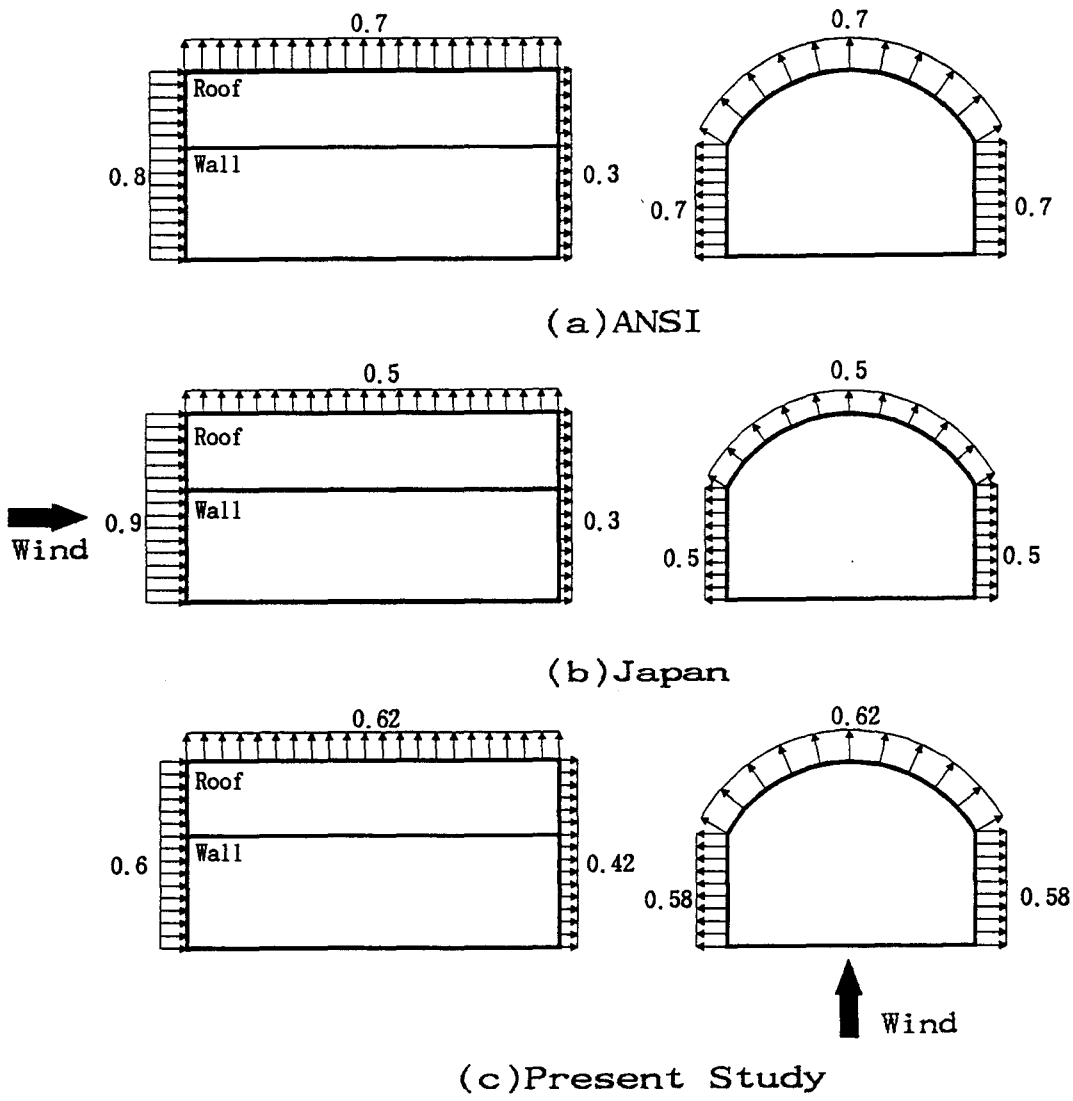


Fig. 4. Comparison of wind force coefficient distributions($\beta=90°$)

2. 風力係數 分布의 提案

가. 壁體

Fig. 5는 分析結果로 얻어진 風力係數의 分布圖로서 (a)는 風向 0°일때, (b)는 風向 90°일때의 分布圖이다.

風上側 벽체의 경우 風向 0°일때는 Fig. 5의 (a)에서 보는 바와 같이 높이가 높아짐에 따라 風力係數가 增加하였으나, 風向 90°일때는 Fig.5의 (b)에서와 같이 높이비가 0.6~0.8범위에서 最大가 되고 높이가 이보다 낮거나 높으면 減少하였다. 境界層흐름조건하의 風上側 壁體에 일반적인 風壓分布

樣相은 벽체 높이의 2/3정도 위치에서 풍압이 최대가 된다는 사실을 고려해 볼때[9),12)] 풍향 90°일때의 결과가 타당한 것으로 판단되고, 풍향 0°일때와 같은 분포현상은 靜壓孔數의 不足 및 靜壓孔의 位置 選定의 잘못으로 인해 發生한 問題点으로 생각된다.

또한, 外國의 基準에서는 風向에 수직인 벽체에 대한 풍력계수의 분포를 Fig. 3과 Fig. 4에서와 같이 等分布로 基準을 제시하고 있으나 本 硏究의 結果에 의하면 Fig. 5에서와 같이 높이에 따라 變化하므로 벽체의 全 區間에 대한 等分布 보다는 區間을 分離하여 표시하는 것이 더 合理的인 分布가 될 것으로 판단된다.

風下側 壁體와 側壁에서는 높이에 따라 큰 변화없이 거의 一定한 風力係數를 나타내고 있기 때문에 벽체의 全 區間에 대하여 等分布로 分布시켜도 될 것으로 판단된다.

나. 지붕

풍향 0°일때의 지붕에 대한 풍력계수의 분포도를 보면, Fig. 3에서 美國과 日本의 基準은 지붕단면을 4等分으로 區間을 나누어 各 區間에 대하여 等分布로 風力係數를 表示하고 있다. 그러나 Fig. 5에서 보는 바와 같이 本 硏究의 結果에 의하면 지붕 中央部의 風上側 部位에서 풍력계수의 크기가 最大가 되고 全幅에 대해 크게 변화하고 있기 때문에 風荷重 算定을 위한 風力係數 分布圖는 각 구간을 더 細分하여 표시하는 것이 더 타당할 것으로 생각되고, 더 정확한 構造設計를 위해서는 세분된 각 구간에 대하여 等變分布로 표시하는 것이 더 실제에 가까운 分布狀態가 되므로 바람직할 것으로 판단된다.

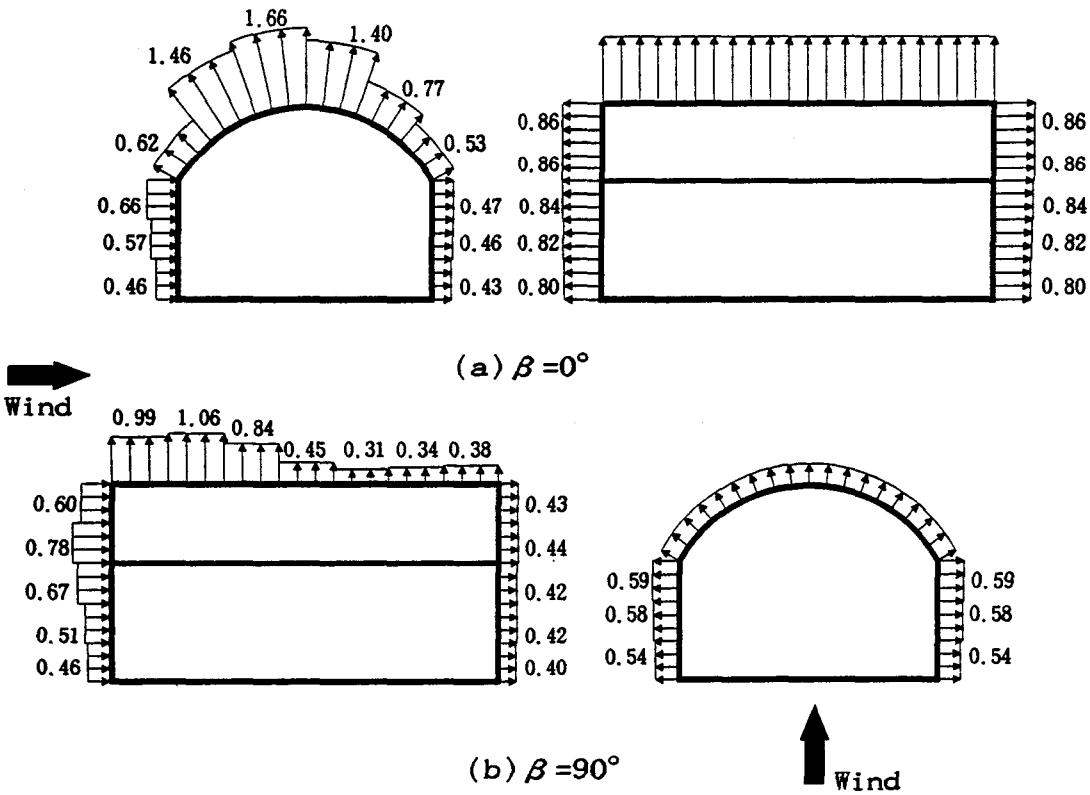
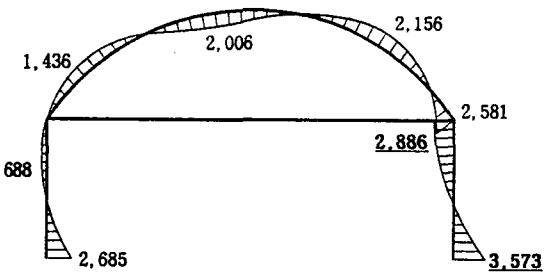


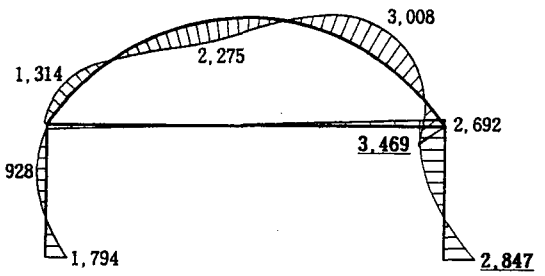
Fig. 5. Suggested wind force coefficient distributions.

3. 휨모멘트의 比較

Fig. 6은 本 硏究에서 얻어진 風力係數의 分布를 적용하여 구조해석을 한 결과인 휨모멘트도로서 Fig. 6의 (a)는 지붕단면을 4等分으로 區間을 나누어 표시한 기존형태의 風力係數分布 [Fig. 3(d)의 풍력계수분포]를 적용한 경우이고, Fig. 6의 (b)는 지붕과 벽체에 대하여 區間을 더 細分화한 風力係數分布 [Fig. 5(a)의 풍력계수분포]를 적용한 경우이다.



(a) application of conventional wind force coefficient distribution



(b) application of subdivided wind force coefficient distribution

Fig. 6. Comparison of bending moments.

壁體에서는 더 細分된 風力係數를 적용한 Fig. 6의 (b)의 경우가 기존의 형태인 (a)의 경우보다 최대휨모멘트의 크기가 더 작았으나, 지붕에서는 반대로 더 컸다. 더 細分된 分布인 (b)가 실제에 더 근접한 風力係數分布임을 고려할때, 기존의 형태인 (a)의 휨모멘트를 적용하여 構造設計를 하게 되면 벽체는 過多設計가 될 것이고 지붕은 不安全한 設計가 될 것이다. 따라서 溫室의 構造設計時 區間을 더 細分化시켜 實際分布에 近接한 風力係數를 적용하는 것이 安全하고 經濟的인 設計가 될 것으로 판단된다.

Ⅳ. 結　　論

風荷重은 溫室의 構造設計時 고려해야 하는 중요한 因子이고, 이를 算定하기 위해서는 실험을 통해서 얻어지는 風力係數가 필요하다. 아치형 單棟溫室의 風力係數分布圖를 작성하는데 필요한 基礎資料를 제공하기 위하여 風力係數의 分布를 분석하여 旣存의 硏究結果와 비교하고, 風力係數의 分布形態에 따른 斷面力의 변화를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 本 硏究의 結果가 Nelson이 제시한 값에 가장 近接하였으나, 0.5정도의 多少 큰 差異도 있었다. 이러한 差異는 레이놀드수, 地表面의 粗度, 模型의 表面粗度, 靜壓孔의 位置 및 計測方法 등 風洞實驗條件의 不一致때문인 것으로 判斷되며 앞으로 이에 대한 보다 자세한 硏究가 必要할 것으로 생각된다.

2. 風向에 垂直인 壁面에 대한 風力係數의 分布는 區間을 여러개로 分離하여 各 區間에 대하여 等分布로 分布시키는 것이 더 합리적인 分布가 될 것으로 판단된다.

3. 지붕에 대한 風力係數의 分布는 旣存의 外國基準보다 區間을 더 細分하여 표시하는 것이 필요하고, 더 정확한 構造設計를 위해서는 各 區間에 대하여 等變分布로 표시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 溫室의 構造設計時 風力係數 分布가 實際分布에 근접한 경우가 더 安全하고 經濟的인 設計가 될 것으로 판단된다.

參考文獻

1. 李錫健 外 10인. 1993. 원예시설의 구조안전기

준 작성(Ⅰ). 농어촌진흥공사.
2. 李錫健, 李賢雨. 1992. 아치형 單棟하우스의 風力係數 分布에 關한 硏究. 韓國生物生産施設環境學會誌 1(1) : 28－36.
3. 立花一雄, 羽倉弘人, 高橋和彦. 1978. 施設園藝ハウスの設計と施工. オム社 : 19－41.
4. 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.
5. 羽倉弘人, 藤野宏道. 1992. ビニルハウスに作用する風荷重にする硏究 －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.
6. 黃 裕益 外 4人. 1993. 臺灣における溫室の自然換氣に關する硏究. －パイプハウスの換氣用風壓係數について－. 日本農業施設學會誌 23(3) : 51－57.
7. American National Standards Institute. 1982. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ANSI 58.1 : 1－100.
8. American Society of Agricultural Engineers. 1976. Designing building to resist snow and wind loads. ASAE(R288.3) : 373－377.
9. Cook, N. J. 1985. The designer's guide to wind loading of building structures, part 2, Butterworths : 1－308.
10. Liu, H. 1991. Wind engineering －A handbook for structural engineers－, Prentice hall : 1－198.
11. Nelson, G. L., H. B. Manbeck and N. F. Meador. 1988. Light agricultural and industrial structures. Van Nostrand Reinhold Co. : 147－161.
12. Simiu, E. and R. H. Scanlan. 1978. Wind effects on structures, John Wiley and Sons Inc. : 1－70, 318－342.

학 회 광 고

한국생물생산시설환경학회에서는 본 학회의 취지에 찬동하는 개인 및 단체(구독, 찬조)회원을 아래와 같이 접수하고 있사오니 많은 참여를 바랍니다.

－ 아 래 －

1. 회원가입접수 : 수시접수
2. 회원가입방법 : 학회지에 삽입된 입회원서에 기재
3. 회비(입회비) : 정회원 10,000원(준회원은 제외)
   (년회비) : 정회원 20,000원, 준회원 10,000원
   구독회원 40,000원, 종신회원 200,000원
   찬조회원 1구좌 이상「1구좌 150,000원」
4. 접 수 처 : 본 학회 사무국