

아치형 연동온실의 최적설계를 위한 풍력계수분포도의 분석

An Analysis of Wind Force Coefficient Distributions for Optimum Design of Multi-Span Arched Greenhouses

이 현 우 · 이 석 건
Lee, Hyun Woo · Lee, Suk Gun

Summary

Wind force coefficients of multi-span arched greenhouses with respect to wind direction of 0° and 30° were estimated to give more reasonable coefficient. The conventional and subdivided division types of wind force coefficient distribution diagrams were constructed by using the wind tunnel experimental data. Bending moments on the greenhouses were determined through structural analysis using obtained wind force coefficients, and were analyzed.

Because actual wind pressure values on a face of greenhouse varied with locations, the more divisions of wind force coefficient distribution were subdivided, the better distribution type was coincided with actual state. In order to calculate the more accurate section force occurred on the arched greenhouse by the wind loads, it was recommendable that the wind force coefficient distribution should take more subdivision type.

The maximum bending moment at the multi-span greenhouse frame at wind direction of 30° was greater than that at 0° , therefore the wind force coefficient at inclined wind direction to the wall was needed to be considered for the multi-span greenhouse structural design.

I. 서 론

풍력계수는 풍동(wind tunnel)실험에 의하여 산출하므로 풍동의 규모, 조도, 실험모형,

계측방법 등 실험조건에 따라 다르므로 각국에서 사용하고 있는 풍력계수는 다소 상이하 다. 또한, 실제로 구조물에 작용하는 풍압의 분포는 임의의 나누어진 구간에 대해 풍력계

* 경북대학교 농과대학

키워드 : 아치형 연동온실, 풍력계수의 분포도, 풍하중, 구조해석, 휨모멘트

수가 일정한 것이 아니라 전 구간에서 대하여 연속적으로 변화한다.^{5,6,9,11)} 그러나 현재 사용되고 있는 대부분의 풍력계수분포도의 경우 벽체에 대해서는 작용하는 풍압의 합을 벽체의 전체면적으로 나눈 값을 전체높이에 대하여 균일한 값으로 취하고 있고, 아치형 지붕에 대해서는 폭방향 길이를 4등분하여 각 구간에 대해 풍력계수값을 표시하고 있다.^{1,4,7,8,10)} 이와 관련하여 아치형 단동온실에 대한 풍력계수분포도의 분석 결과에 따르면 벽체나 지붕에 작용하는 풍압의 합력은 일정하지만 풍력계수의 분포형태에 따라 구조물의 각 부위에 발생하는 단면력은 달라졌다.²⁾ 따라서, 풍하중을 고려한 구조해석시 실제의 풍력분포에 근접하는 풍력계수분포를 적용하는 것이 보다 정확한 분석이 될 것이며, 아치형 연동온실형태에 대해서도 보다 정확한 구조해석을 위한 풍력계수분포도가 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 아치형 연동온실 구조의 최적설계에 필요한 풍력계수분포도를 작성하기 위한 기초자료를 제공할 목적으로 풍동실험을 통해 얻은 풍압자료를 사용하여 기존의 형태와 세분된 형태의 두가지 풍력계수분포도를 작성하고 이들을 고려하여 각각의 경우에 대한 구조해석을 실시한 후 단면력의 변화를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연동온실의 모델 및 풍압 측정방법

아치형 연동온실의 모델은 Fig. 1과 같은 등의 실물크기는 폭(W) 5.4m, 벽체의 처마높이(H₁) 1.6m, 지붕높이(H₂) 2.9m이고 길이(L)는 10m이며, 본 연구에서는 2연동과 3연동 온실에 대하여 분석을 하였다. 풍압은 축척 1/50의 모형을 이용하여 경계층흐름(Boundary layer flow)조건하에서 풍동실험을 실시하여 풍향 0°와 30°에 대하여 측정하

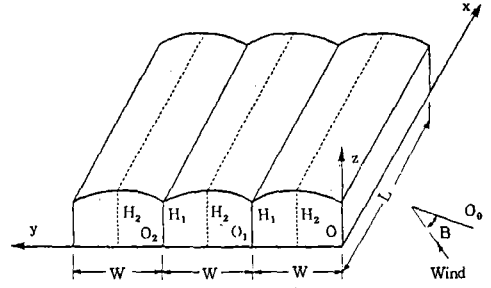


Fig. 1. Multi-span greenhouse model

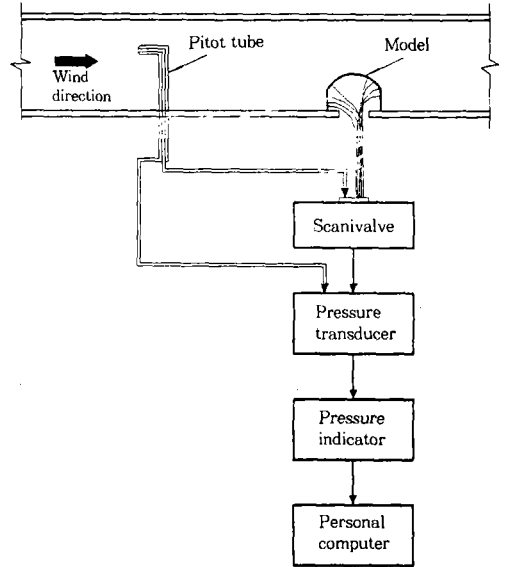
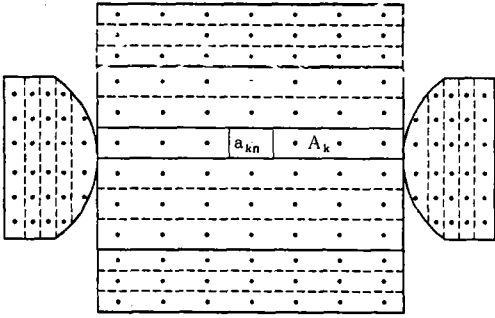


Fig. 2. Schematic diagram of the data acquisition system

였다. 풍압측정을 위한 계측장치의 구성도는 Fig. 2와 같고, 풍압측정시의 풍속은 15m/sec 이었다. 또한, 시험부 단면에서의 풍속의 수직 분포는 지수함수로 나타낼 경우 지수가 약 0.12인 경계층 흐름조건이었다. 사용된 풍동은 시험부의 크기가 450cm×450cm인 Open circuit type의 저속풍동이다.

2. 풍력계수의 분석 및 구조해석

풍동실험을 통해 측정된 풍압과 Fig. 3에서와 같이 정압공의 위치에 따라 수압면적을 분할하여 얻은 분할면적(Tributary area)을 적



a_{kn} : Tributary area for the n-th tapping of A_k
 A_k : The k-th tributary area

Fig. 3. Tributary areas for estimating wind force coefficients

용하여 다음식과 같이 풍력계수를 산정하였다.

$$C_{Fk} = \frac{(a_{k1} \cdot P_{k1} + a_{k2} \cdot P_{k2} + \dots + a_{kn} \cdot P_{kn} + \dots)}{A_k \cdot q_h} \dots (1)$$

여기서, C_{Fk} : k번째 분할면에 대한 풍력계수
 a_{kn} : k번째 분할면의 n번째 정압공에 해당하는 분할면적(m^2)
 P_{kn} : k번째 분할면의 n번째 정압공에서 측정된 풍압(kgf/m^2)
 A_k : 지붕의 폭방향과 벽체의 높이방향으로 분할된 분할면적(m^2)
 q_h : 지붕과 처마의 중간높이에서의 속도압(kgf/m^2)을 나타낸다.

산정된 계수들을 사용하여 풍력계수 분포단면도를 작성하고 풍력계수의 변화를 분석하여 풍하중 계산시 필요한 풍력계수 분포단면도를 작성하였다. 이러한 풍력계수 분포도는 실험조건의 차이에 의해 각국마다 상당한 차이가 있다. Fig. 4는 아치형 3연동온실에 대한 일본의 풍력계수 기준이며,^{3,4)} 다른 외국에서도 이와 비슷한 형태로 기준을 제시하고 있다.^{7,8,10)} 그림에서 지붕은 2~4구간으로, 벽체는 1구간으로 풍력계수를 표시하고 있다. 본 연구에서는 이와같은 기존의 형태에 맞춰 지붕은 4구

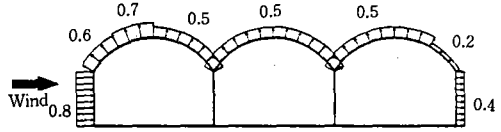


Fig. 4. Wind force coefficient standard of the three-span arched greenhouse in Japan

간, 벽체는 1구간으로 나누어 풍력계수분포도를 작성하였고, 또 구간을 더 세분하여 지붕은 6구간으로 벽체는 3구간으로 나누어 더 세분된 풍력계수분포도를 작성하였으며, 각 면에 대한 풍력의 전체 합력은 기존의 형태와 세분된 형태가 같다. 이때 기존의 형태에 대한 풍력계수는 벽체는 전체면에 대한 평균값으로 하였고, 지붕은 직선보간법을 이용하여 산정하였다.

또, 이들 두가지 풍력계수 분포형태를 풍하중으로 작용시킬 경우에 발생하는 단면력의 변화를 규명하기 위하여 구조해석을 실시하였고, 이때 자중은 무시하였으며 풍하중의 계산은 (2)식을 이용하였다.^{1,3,9)} 여기서, 수압면적은 단위면적 1로 가정하였고, 속도압도 1로 가정하였다.

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

여기서, W_w : 풍하중(kgf)
 C : 풍력계수
 q : 속도압(kgf/m^2)
 A : 수압면적(m^2)이다.

구조해석은 구조해석용 프로그램인 SAP 90(Structural Analysis Program 90)을 이용하였고, 구조해석 결과를 이용하여 휨모멘트도를 작성하였다.

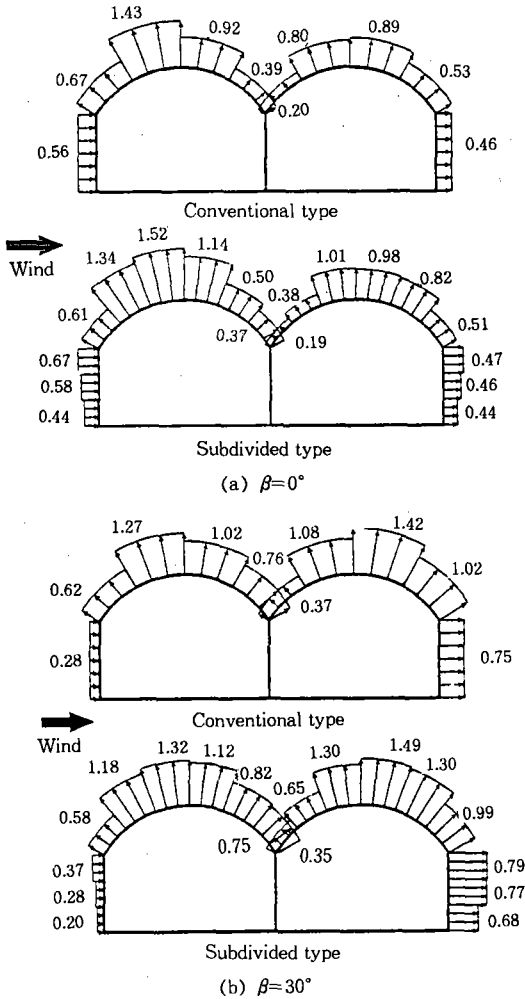


Fig. 5. Wind force coefficient distributions of the two-span arched greenhouse

III. 결과 및 고찰

1. 풍력계수 분포단면도

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 2연동과 3연동 온실의 풍력계수분포도로서 (a)는 풍향이 0°일 때 (b)는 30°일 때의 분포도이다. 풍력계수분포형태에 따른 단면력의 변화를 규명하기 위하여 각 풍향별로 지붕 4구간과 벽체 1구간으로 나눈 기존의 형태와 지붕 6구간과 벽체 3구간으로 나눈 세분된 형태에 대하여 풍력계

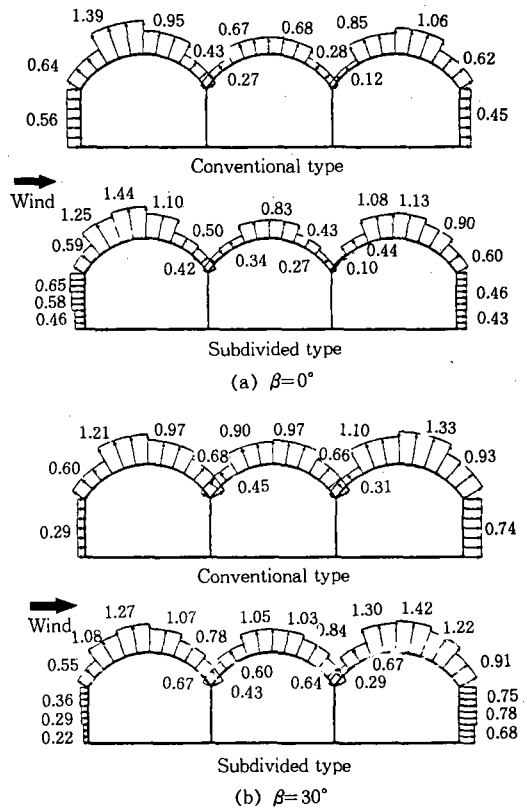


Fig. 6. Wind force coefficient distributions of the three-span arched greenhouse

수 분포단면도를 작성하였다.

벽체에 대하여 기존의 형태와 세분된 형태의 풍력계수 분포를 비교한 결과, 기존의 형태는 전체면에 대해 등분포로 표시하고 있으나 세분된 형태에서는 나누어진 3구간에 대해 값이 각각 다르게 나타났다. 실제의 풍압분포는 동일한 면 내에서도 위치에 따라 풍압의 크기가 다르고 연속적으로 변화하기 때문에 구간이 더 세분된 형태일수록 실제의 계수분포에 더 근접하게 될 것이다.^{5,6,9,11)} 따라서 기존의 형태보다 세분된 형태가 실제의 풍압분포에 더 근접한 분포임을 알 수 있다. 그러나 두가지 풍력계수 분포형태를 고려한 구조해석 결과 부재의 단면에 발생하는 단면력이 서로 차이가 없다면 구간을 더 세분화 시킬 필요가

없다. 따라서, 단면력 중 온실구조의 안전에 가장 큰 영향을 주는 휨모멘트의 변화를 규명할 필요가 있다.

풍향 0°와 30°에 대한 풍력계수의 분포를 비교한 결과, 2연동과 3연동 온실 모두 많은 차이가 있었다. 특히, 풍향 반대쪽 동의 풍력계수가 풍향 30°인 경우가 0°에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 따라서, 지금까지 대부분 풍향 0°인 경우에 대해서만 구조검토를 실시하여 왔지만 앞으로 경사진 풍향에 대해서도 구조검토가 필요할 것으로 판단되었으며, 본 연구에서는 풍향 0°와 30°인 경우에 대해서 구조해석을 실시하여 비교를 하였다.

2. 휨모멘트도

작성된 여러가지의 풍력계수분포도를 적용

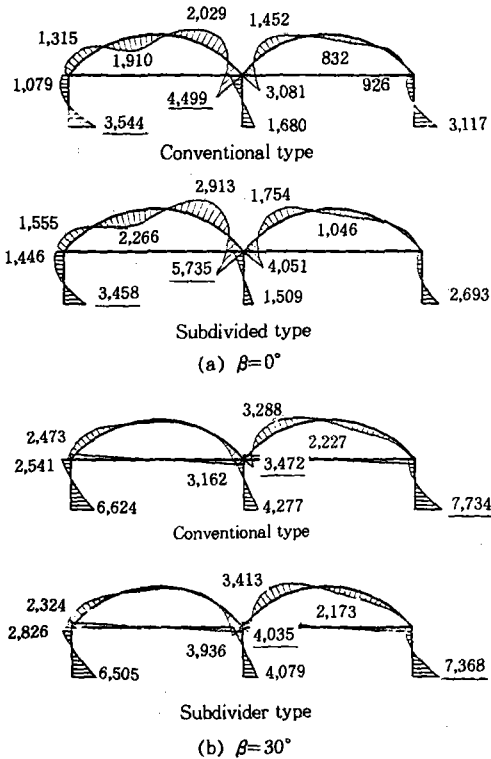


Fig. 7. Bending moment diagram of the two-span arched greenhouse

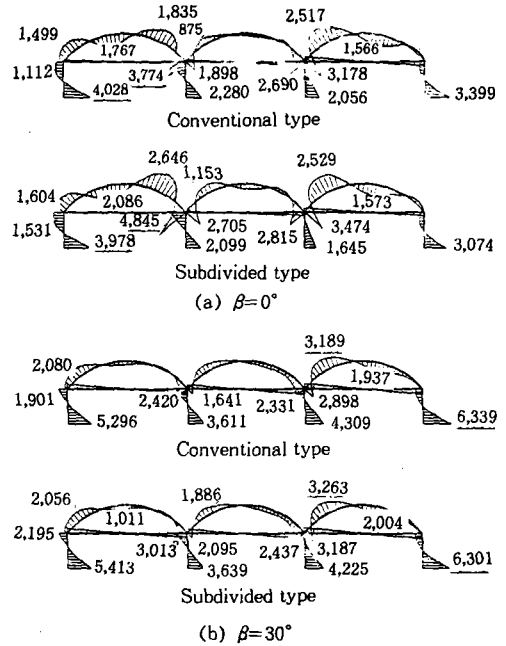


Fig. 8. Bending moment diagram of the three-span arched greenhouse

하여 구조해석을 실시하였으며, 2연동과 3연동 온실에 대한 휨모멘트도는 각각 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. (a)는 풍향 0°일 때, (b)는 풍향 30°일 때의 휨모멘트도로서 기존의 형태와 세분된 형태의 풍력계수분포도를 적용한 결과를 도시한 것이다.

기존의 형태와 세분된 형태의 휨모멘트도를 비교한 결과, 2연동과 3연동 모두 휨모멘트도의 분포양상은 비슷하고 최대휨모멘트의 발생 위치는 같으나, 값의 크기는 차이가 있었다. 이는 풍력계수의 분포형태가 휨모멘트의 크기에 영향을 미친다는 것을 의미하므로 가능하다면 실제의 풍압분포 상태에 근접하는 풍력계수분포도를 구조설계시 이용하는 것이 타당할 것이다.

풍향 0°인 경우와 30°인 경우를 비교한 결과, 최대휨모멘트의 발생위치 및 값의 크기 뿐만 아니라 휨모멘트의 분포양상도 차이가 있었다.

Table-1. Maximum bending moment

Number of span	Wind direction (degree)	Division type	Maximum bending moment	
			Roof	Support
Two	0	Conventional	4,499	3,544
		Subdivided	5,735	3,458
	30	Conventional	3,472	7,734
		Subdivided	4,055	7,368
Three	0	Conventional	3,744	4,028
		Subdivided	4,845	3,978
	30	Conventional	3,189	6,339
		Subdivided	3,263	6,301

3. 최대휨모멘트

Table. 1은 2연동과 3연동 온실의 각 부위별 최대휨모멘트의 값을 나타낸 표이다.

기존의 형태와 세분된 형태에 대한 최대휨모멘트의 값을 비교한 결과, 풍향에 관계없이 지붕에서는 세분된 형태가 기존의 형태보다 더 컸으나 지점에서는 반대로 기존의 형태에서 더 컸다. 따라서, 앞에서 언급한 바와 같이 구조설계시 구간을 더 세분화 시켜 실제에 더 근접하는 풍력분포도를 이용하는 것이 더 타당하다고 본다. 기존의 형태로 작성된 풍력계수분포도를 이용하여 구조설계를 하게 되면 지붕은 불안정한 설계가 될 것이고 지점은 과다설계가 될 것이다. 이 결과는 단동온실에 대한 연구결과와 일치한다.²⁾ 결과적으로 풍하중에 의해 실제로 온실에 발생하는 단면력을 정확하게 산정하기 위해서는 가능하면 더 세분된 풍력계수분포도를 적용하는 것이 바람직하다.

풍향 0°일 때와 30°일 때의 최대휨모멘트 값을 부위별로 비교한 결과, 풍향 0°일 때는 지붕에서 더 크고 30°일 때는 지점에서 더 컸다. 또한, 전체의 최대휨모멘트는 풍향 30°일 때 지점에서 발생하였다. 이와같이 풍향에 따라 최대휨모멘트의 발생위치가 다르고 풍향

30°일 때가 0°일 때보다 최대휨모멘트가 더 클 수도 있기 때문에 아치형 연동온실의 구조설계시 경사진 풍향에 대한 검토도 병행되어야 할 것으로 판단되고, 이와 더불어 경사진 풍향에 대한 풍하중을 산정하기 위한 풍력계수에 관한 자료도 구비되어야 할 것이다.

IV. 적 요

아치형 연동온실 구조의 최적설계에 필요한 풍력계수분포도를 작성하기 위한 기초자료를 제공할 목적으로 풍동실험을 통해 얻은 풍압 자료를 사용하여 기존의 형태와 세분된 형태의 두가지 풍력계수분포도를 작성하고 이들을 적용하여 각각의 경우에 대한 구조해석을 실시한 후 단면력의 변화를 분석하였다.

실제의 풍압분포는 동일한 면 내에서도 위치에 따라 풍압의 크기가 다르고 연속적으로 변화하기 때문에 구간을 더 세분하여 풍력계수의 분포를 표시하는 것이 실제의 풍압분포에 더 근접하게 된다. 따라서, 기존의 형태로 작성된 풍력계수분포도를 이용하여 구조설계를 하게 되면 지붕은 불안정한 설계가 되고, 지점은 과다설계가 된다. 결과적으로 풍하중에 의해 실제로 온실에 발생하는 단면력을 정확하게 산정하기 위해서는 가능하면 더 세분된 풍력계수분포도를 적용하는 것이 바람직하다.

부위별 최대휨모멘트를 비교한 결과, 풍향 0°일 때는 지붕에서 더 크고 30°일 때는 지점에서 더 컸다. 또한, 전체의 최대휨모멘트는 풍향 30°일 때 지점에서 발생하였다. 이러한 점들을 고려하면 아치형 연동온실의 구조설계시 앞으로 경사진 풍향에 대한 검토도 병행되어야 할 것으로 판단되고, 이와 함께 경사진 풍향에 대한 풍하중 산정을 위한 풍력계수에 관한 자료도 구비되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 李錫健 外 15인. 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종). 농어촌진흥공사.
2. 李錫健, 李賢雨, 權武男. 1995. 아치형 單棟溫室의 最適設計를 위한 風力係數分布圖의 分析. 韓國生物生産施設環境學會誌 4(1) : 1-6.
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関する研究 -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.
6. 黃裕益 外 4인. 1993. 台灣における 온실의 自然換氣に関する研究. -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. NGS. 1978. Greenhouse structural requirements. NEN 3859 : 10-15.
11. Simiu, E. and R. H. Scanlan. 1978. Wind effects on structures, John Wiley and Sons Inc. : 1-70, 318-342.

(접수일자 : 1996년 2월 7일)