

園藝施設의 지붕형식에 따른 斷面力의 比較 分析

Comparison of Maximum Section Forces of Greenhouse Structures with respect to Roof Types

李 錫 健* · 李 賢 雨* · 孫 禎 翼** · 李 鍾 元*
Lee, Suk Gun · Lee, Hyun Woo · Son, Jung Eek · Lee, Jong Won

Summary

Section forces of greenhouse structures were studied to suggest basic information for the structural design of greenhouses with respect to roof types and support conditions. Structural analyses were performed for pitched and arched roof, and fixed and hinged support under snow loads and wind loads. Followings are the results obtained and are expected to be useful in determining the span length and roof type in greenhouse design.

1. Special considerations might be required for roof design at the heavy snow region, and for the support design at the strong wind region, respectively.

2. Single-span structure was found to be stronger than multi-span structure under the snow load, but the former was found to be weaker than the latter under the wind load.

3. Arched roof structure was expected to be safer than pitched roof structure if the dimensions and loads were equal.

4. Greenhouse orientation and roof slope should be considered in optimum structural design of greenhouses, because these two factors are closely related with the influence of wind load and snow load.

I. 緒 論

施設栽培은 제한된 공간내에서 작물의 재배가 이루어지므로, 이의 성패를 좌우하는 요인

은 경제적인 施設構造의 設計, 적정내부환경의 유지, 적합한 작물의 선정 및 재배기술의 개발이라 할 수 있다. 이 중 파이프하우스나 철골온실을 포함한 園藝施設의 구조는 強風이

* 慶北大學校 農科大學

** 서울大學校 農業生命科學大學

키워드 : 斷面力(Section forces), 양지붕형(Pitched type), 아치형(Arched type), 風荷重(Wind loads), 積雪荷重(Snow loads), 園藝施設(Greenhouse structures)

나 積雪 등으로 인한 구조의 파손방지나 환경 조절 및 자동화 설비의 설치에 직접적인 영향을 주는 요인이 된다. 특히, 園藝施設の 지붕형식은 採光, 通風 및 構造의 安全性 등을 고려하여 재배하는 作物의 종류와 지역적인 氣象特性에 따라 다르게 결정된다. 園藝施設の 지붕형식은 여러가지가 있으나 가장 많이 이용되고 있는 형식은 양지붕형과 아치형이다.

園藝施設은 自重이 작은 輕量構造物에 속한다. 따라서 구조의 안전성은 強風이나 積雪 등의 氣象荷重에 의하여 지배를 받게 된다. 이러한 기상하중을 設計荷重으로 고려할 때 시설의 골조설계는 각 부재에 발생하는 最大斷面力과 사용자재의 허용용력을 사용하여 수행된다. 또한, 동일한 氣象條件하에서도 지붕형식에 따라 荷重의 作用狀態가 달라지므로 最大斷面力의 크기 및 그 發生位置가 相異하다. 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)

이에 본 연구는 園藝施設の 지붕형식중 양지붕형과 아치형에 대하여 시설 모델의 외형치수를 포함한 解析條件을 동일하게 하여 構造解析을 실시하고, 計算된 斷面力을 比較·檢討함으로써 園藝施設の 구조설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 分析모델 및 方法

1. 分析모델

分析用 기본 모델로는 Fig. 1의 (b)에서와 같은 농촌진흥청 원예시험장의 현대화 하우스 모델 1-2W형(아치형 3連棟하우스)을 선정하였다. Fig. 2는 분석모델의 종류를 나타낸 것이다. 單棟, 2連棟 및 3連棟의 세가지 동형태에 대하여 지붕형식을 양지붕형과 아치형의 두가지 형식으로 나누어 構造解析 대상형태를 선정하였다. 支點條件은 固定支點과 hinge支點으로 구분하고, 載荷荷重은 積雪荷重과 風荷重으로 나누어 전체의 분석모델을 구성하였다. 이때, 單棟, 2連棟 및 3連棟 각 모델의 기

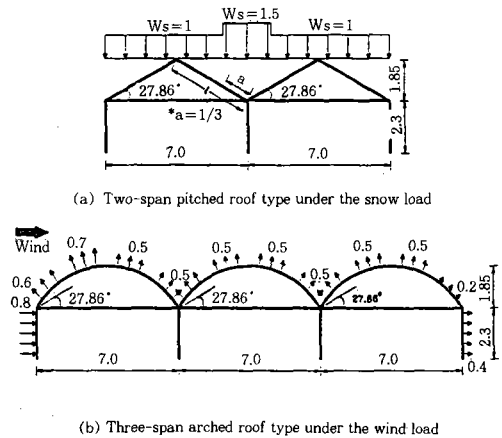


Fig. 1. Dimensions and loads of the structural analysis models

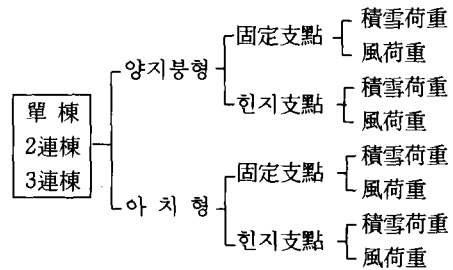


Fig. 2. Kinds of the structural analysis models

본의형치수는 Fig. 1과 같이 幅 7m, 棟高 4.15m, 側高 2.3m로 동일하게 가정하였다.

2. 分析方法

上記 각 모델들에 대하여 構造解析을 수행하였으며, 지붕의 기울기, 支點條件 및 斷面力을 줄이기 위한 보강재의 위치 등에 따라 最大斷面力의 발생 위치가 상당히 달라지지만 본 연구에서는 각 모델의 斷面力을 직접 비교하기 위하여 시설의 외형치수를 포함한 대부분의 解析條件(지점조건, 지붕의 기울기, 사용자재의 강도, 작용하중의 크기, 횡보강대 등)을 동일하게 가정하였다.

設計荷重은 自重을 무시하고 積雪荷重과 風荷重만을 적용하였다. 積雪荷重(W_s)은 여러

가지 조건에 따라서 荷重分布가 달라지나 본 연구에서는 균형된 하중(Balanced Load)인 등분포荷重으로 가정하였고, 하중의 크기는 단순 비교를 목적으로 單位荷重인 1로 가정하였으나 連棟谷部の 積雪荷重은 Fig. 1의 (a)에서 보는 바와 같이 지붕경사면 길이의 1/3 범위에 대해 1.5로 가정하였다. 風荷重(W_w)은 (1)식을 이용하여 산정하였다. 여기서, 風力係數(C)는 Fig. 1의 (b)에서와 같이 적용하였으며, 단순히 직접 비교하기 위하여 受壓面積(A)은 單位面積인 1로 가정하였고, 速度壓(q)도 1로 가정하였다.^{7), 8), 9), 10), 11), 12), 13), 14)}

$$W_w = C \cdot q \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

여기서, W_w : 風荷重 (kgf)

C : 風力係數

q : 速度壓 (kgf/m²)

A : 受壓面積(m²)이다.

構造解析 결과를 이용하여 휨모멘트를 작성하고 각 모델별 最大斷面力을 구하여 지붕형식별, 작용하중별, 동형태 및 지점조건별로 비교 분석하였다. 構造解析은 구조해석용 프로그램인 SAP 90(Structural Analysis Program 90)을 이용하였다.

III. 結果 및 考察

일반적으로 施設物의 部材 設計에 이용하는 斷面力은 最大斷面力이기 때문에 각 모델의 斷面力 중 最大斷面力을 힌지지점과 고정지점으로 구분하여 比較·分析하였다. 또한, 現代化 하우스 모델의 대부분의 支點條件이 固定支點으로 되어 있고, 斷面力 중 시설물의 안전을 지배하는 斷面力은 대부분의 경우 휨모멘트이기 때문에 固定支點을 가진 시설 모델에 대하여 最大휨모멘트의 發生位置와 그 變化를 究明하기 위하여 휨모멘트도를 작성하여 比較·분석 하였다.

1. 最大斷面力의 比較

Table 1은 각 모델별 最大斷面力을 나타낸 것이다. 두가지 지붕형식의 전단력과 휨모멘트의 크기를 비교해 보면, 아치형보다 양지붕형에서 훨씬 더 큰 것으로 나타나 동일한 시설의 외형치수와 荷重條件下에서 구조의 안전을 고려한 資材의 절감면에서는 아치형이 훨씬 더 유리함을 알 수 있었다.

동형태별 最大휨모멘트를 比較·분석 해 본 결과, 積雪荷重 작용시는 단동보다 連棟에서 더 컸으나, 風荷重 작용시는 連棟보다 단동에서 더 큰 것으로 나타났다. 따라서, 아치형과 양지붕형 두가지 지붕형식 모두 積雪荷重 작용시는 連棟이 불리하나 風荷重 작용시는 連棟이 유리함을 알 수 있었다.

支點條件別 最大휨모멘트를 比較·分析 해 본 결과, 積雪荷重 작용시는 힌지支點인 경우와 固定支點인 경우에 비슷한 크기의 휨모멘트가 發生하였으나 風荷重 작용시는 힌지支點인 경우가 固定支點인 경우보다 다소 더 큰 휨모멘트가 발생하였다.

2. 單棟施設의 휨모멘트

Fig. 3은 固定支點을 가진 단동시설의 휨모멘트도이다. 最大휨모멘트의 部位別 發生位置를 보면, 積雪荷重이 作用하는 경우에는 두가지 지붕형식 모두 지붕에서 最大휨모멘트가 발생하였고, 그 위치는 양지붕형은 용마루 부위였고 아치형은 兩側部였다. 그러나, 風荷重이 作用하는 경우에는 積雪荷重의 경우와는 달리 두 지붕형식 모두 지붕이 아닌 風上側 支點部位에서 最大휨모멘트가 발생하였으며, 風下側 支點에서도 큰 휨모멘트가 발생하였다.

3. 2連棟施設의 휨모멘트

Fig. 4는 固定支點을 가진 2連棟施設의 휨모멘트도이다. 單棟施設의 경우와 마찬가지로

Table-1. Comparison of the maximum section forces

| Maximum section forces | Support Conditions | Span numbers | Snow load | | Wind load | |
|------------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | | Pitched type | Arched type | Pitched type | Arched type |
| Axial force | Fixed | Single | 480 | 477 | 115 | 198 |
| | | Two | 829 | 809 | 312 | 346 |
| | | Three | 824 | 812 | 347 | 366 |
| | Hinged | Single | 485 | 476 | 135 | 208 |
| | | Two | 831 | 808 | 314 | 346 |
| | | Three | 825 | 812 | 355 | 365 |
| Shear force | Fixed | Single | 167 | 73 | 230 | 135 |
| | | Two | 203 | 69 | 165 | 114 |
| | | Three | 205 | 69 | 152 | 118 |
| | Hinged | Single | 170 | 72 | 220 | 130 |
| | | Two | 202 | 68 | 147 | 114 |
| | | Three | 205 | 68 | 132 | 102 |
| Bending moment | Fixed | Single | 11,910 | 2,227 | 23,310 | 8,318 |
| | | Two | 13,120 | 2,597 | 13,170 | 5,429 |
| | | Three | 13,490 | 2,651 | 11,310 | 6,104 |
| | Hinged | Single | 12,210 | 2,310 | 29,500 | 11,050 |
| | | Two | 12,940 | 2,656 | 20,170 | 5,429 |
| | | Three | 13,450 | 2,729 | 14,020 | 6,537 |

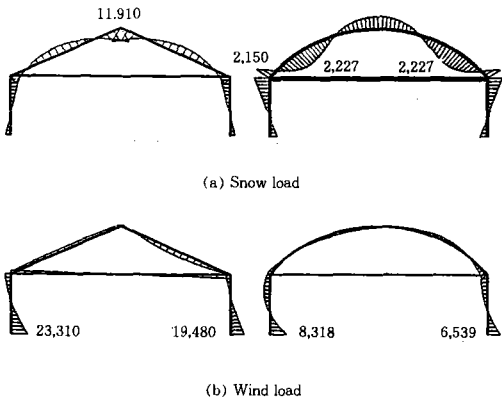


Fig. 3. Bending moment diagram of the single-span structures (fixed support)

2連棟施設の 경우도 積雪荷重 작용시는 지붕에서, 風荷重 작용시는 風上側 支點에서 最大 휨모멘트가 발생하였다. 그러나, 積雪荷重이 작용하는 경우에는 最大휨모멘트가 單棟과는 달리 양지붕형에서는 谷部에서 發生하였고, 아치형에서는 兩側部에서 發生하였다. 또한, 風荷重 작용시 양지붕형의 경우는 中間支點과

風下側 支點에서 큰 휨모멘트가 발생하였으나,

4. 3連棟施設の 휨모멘트

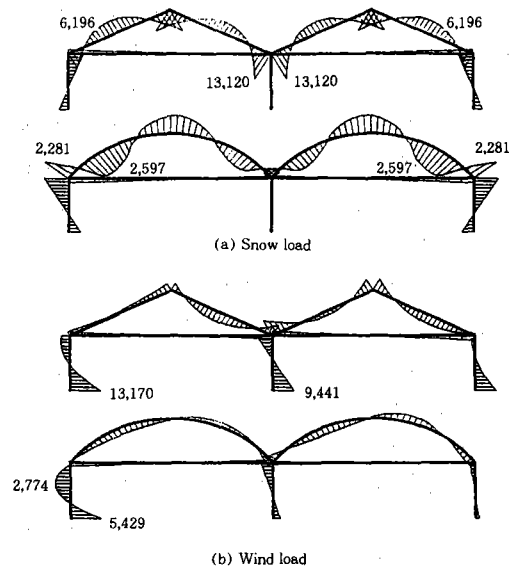


Fig. 4. Bending moment diagram of the two-span structures (fixed support)

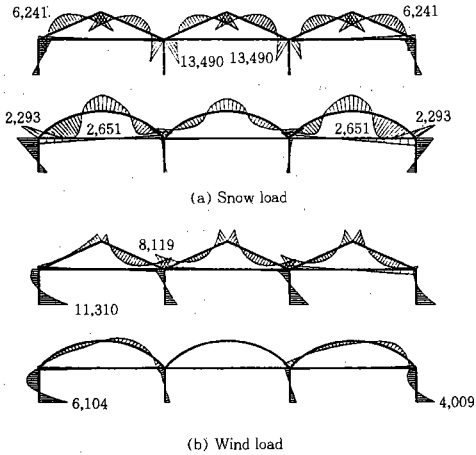


Fig. 5. Bending moment diagram of the three-span structures(fixed support)

아치형에서는 휨모멘트가 아주 작게 나타났다.

Fig. 5는 固定支點을 가진 3連棟施設의 휨모멘트도이다. 3連棟施設의 경우도 2連棟施設의 경우와 마찬가지로 積雪荷重 작용시 最大휨모멘트가 양지붕형은 谷部에서 발생하였고, 아치형은 兩側部에서 발생하였다. 風荷重 작용시에도 두 지붕형식 모두 風上側 支點에서 最大휨모멘트가 발생하였으나 양지붕형의 경우는 2連棟의 경우와 마찬가지로 中間支點과 風下側 支點에서 휨모멘트가 다소 컸고, 아치형의 경우는 風下側 支點에서 휨모멘트가 다소 컸지만 中間支點에서는 훨씬 작았다.

이상과 같이 단동, 2連棟 및 3連棟 시설의 지붕형식별 휨모멘트도를 분석해 본 결과 지붕형식, 棟形式 및 荷重形態에 따른 휨모멘트의 발생특징을 알 수 있었다. 따라서, 얻어진 결과를 토대로 施設 設置地域의 氣象條件과 기타조건을 고려하여 棟形式과 지붕형식을 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히, 하중의 종류, 分布形態 및 지붕형식에 따라 最大휨모멘트의 발생위치가 상당히 달라졌으므로 多雪地域에서는 지붕의 설계에, 強風地域

에서는 支點의 설계에 특히 유의해야 할 것으로 판단된다.

IV. 結 論

園藝施設의 構造設計에 필요한 기초자료를 제공하기 위하여, 아치형과 양지붕형에 대하여 支點條件을 固定端과 힌지端으로 구분하고 風荷重과 雪荷重을 작용시켜 構造解析을 실시하여 比較·分析 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 園藝施設의 構造設計時 多雪地域에서는 지붕설계에, 強風地域에서는 지점설계에 특히 주의해야 할 것으로 판단된다.
2. 最大휨모멘트의 측면에서 積雪荷重 작용시는 連棟이 單棟보다 불리하고 風荷重 작용시는 連棟이 더 유리함을 확인 할 수 있었다.
3. 동일한 외형치수와 하중조건하에서는 아치형이 양지붕형보다 구조적인 안전성 측면에서 유리한 것으로 나타났다.
4. 溫室의 設置方向과 지붕경사에 따라 風荷重과 積雪荷重의 影響이 현저한 差異를 보일 것으로 豫想되므로, 構造安全에 대한 최적 모델을 결정할 경우에 이들 요소에 대한 복합적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 1993년도 농어촌진흥공사의 연구비지원으로 수행된 것임.

參 考 文 獻

1. 金文基, 高在君, 李信昊. 1987. 플라스틱 하우스의 構造實態의 調査研究, 韓國農工學會誌 29(3) : 113-124
2. 박병용, 김덕재, 마춘경, 이리형. 1981. 雪荷重 및 風荷重 規準案. 大韓建築學會誌 29(98) : 76-81.
3. 李錫健, 外 10인. 1993. 원예시설의 구조 안전기준 작성(1). 농어촌진흥공사.

4. 李錫建, 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.
5. 李錫健, 李賢雨. 1992. 아치형 2連棟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(2) : 142-147.
6. 李賢雨, 李錫建. 1993. 아치형 3連棟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 2(1) : 46-52.
7. 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.
8. 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.
9. American Society of Agricultural Engineers. 1976. Designing building to resist snow and wind loads. ASAE(R288.3) : 373-377.
10. Cook, N. J. 1985. The designer's guide to wind loading of building structures, Part 1, Butterworths : 6-45, 138-201.
11. National Greenhouse Manufacturers Association. 1989. Standard of quality environmental control, NGMA : 1-44.
12. Nelson, G. L., H. B. Manbeck and N. F. Meador. 1988. Light agricultural and industrial structures. Van Nostrand Reinhold Co. : 147-161.
13. Simiu, E. and R. H. Scanlan. 1978. Wind effects on structures, John Wiley and Sons Inc. : 1-70, 318-342.
14. 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.