

生物生産施設の 構造設計에 關한 研究

(2) 設計荷重 算定 및 安全性 檢討를 위한 簡易法の 開發

金文基, 孫禎翼, 南相運

서울대학교 農業生命科學大學 農工學科

Studies on the Structural Design of Biological Production Facility

(2) Simple Methods for Design Load Estimation and Safety Test

Kim, Moon-Ki · Son, Jung-Eek and Nam, Sang-Woon

Dept. of Agr. Eng., Coll. of Agr. & Life Sciences, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744

Summary

This study was attempted to develop the simple methods for design load estimation and safety test in order that any person engaged in biological production division could easily judge the structural safety of the greenhouse.

The following results were obtained :

1. A simple method for dead load estimation was developed by analyzing the dead loads acting on the representative shape of existed greenhouses with actual design data.
2. Wind load and snow load dominated regions were clearly divided with the magnitude of maximum stresses for local design loads.
3. Maximum bending moments for hinged and fixed supports were analyzed and compared by structural analysis ; The former was mostly larger than the latter, even maximum bending moment occurred in the same frame for both case.
4. For the simple test of structural safety, interrelations between frame interval, section size and design load were represented in the forms of diagram for the arch type pipe house and the gable type steel frame one.

키 워 드 : 생물생산시설, 안전성검토, 간이법, 고정하중, 구조해석

Key words : biological production facility, safety test, simple method, dead load, structural analysis

序 論

일반적으로 구조물의 안전성은 구조형태, 하중의 크기, 구조부재의 크기와 간격등에 의하여 생기는 부재의 최대응력이 재료의 종류에 따라 시방서 혹은 법령에 의하여 규정된 허용응력보다 작아야 한다는 원칙에 따르고 있다. 이러한 원칙에 의하여 구조 형태와 구조부재의 크기, 간격등을 결정하는 것이 합리적인 설계 방법이라 할 수 있고 이와 같은

설계를 가장 크게 좌우하는 것이 하중의 크기라고 할 수 있다.¹⁾ 생물생산시설을 설계함에 있어서 설계하중은 고정하중에 적설하중 또는 풍하중을 조합하여 정한다. 여기서 적설하중과 풍하중은 前報²⁾에서 구한 지역별 설계적설심 및 설계풍속에 의해서 산정이 가능하지만 고정하중(자중)은 부재단면이 결정되기 전이므로 우선 추정에 의한 값을 사용하여 구한 후 구조해석에 의한 단면결정과 하중산출

과정을 반복해야 한다. 그러나 생물생산시설에 관한 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 설계시 고정하중의 초기값을 합리적으로 추정하기 위해서는 이에 관한 국내 실정에 맞는 자료가 요청된다.

그리고 구조설계 과정은 복잡하고 전문적 지식을 요하므로 전문가에 의해서 수행되고, 또한 전문가가 아니면 간단한 구조물이라 할지라도 안전성을 진단한다는 것은 불가능하다. 그러나 생물생산시설에 있어서는 규모나 형태등이 비슷한 경우가 많으므로 대표적인 몇가지 시설에 대하여 구조해석을 실시하고, 구조물의 안전에 관계되는 대표적인 인자를 추출하여 이들간의 관계를 수식 또는 도표화함으로써 생물생산분야 종사자가 간편하게 시설의 구조적 안전성을 진단할 수 있을 것으로 생각한다.

따라서 본 연구는 고정하중 추정식을 유도하여 생물생산시설의 안전구조 설계기준 마련을 위한 기초자료를 제공하고, 생물생산시설의 구조적 안전성 진단을 간편하게 할 수 있는 간이법을 개발할 목적으로 수행하였다.

研究內容 및 方法

1. 고정하중 추정식의 유도

온실의 대표적인 형태인 아치형 파이프하우스와 지붕형 철골하우스의 국내 설계자료를 수집하여 실제의 자중을 산출하여 분석하고, 이들로 부터 구조설계시의 고정하중의 초기치 또는 구조 안전진단시의 고정하중의 개략치를 추정할 수 있는 식을 유도하였다.

2. 안전설계 지역구분

前報⁴⁾에서 보고한 지역별 설계적설심 및 설계풍속 데이터로부터 구조해석을 실시하여 응력을 크게 유발하는 하중에 따라서 풍하중 및 설하중 지배지역으로 지역구분을 실시하였다.

3. 지점상태의 비교

대표적인 형태와 규모의 온실에 대하여 구조해석을 실시하여 지점의 상태를 힌지(hinge)와 고정(fixed)으로 했을때의 최대 휨모멘트의 발생 위치 및 크기를 비교 분석 하였다.

4. 구조안전진단을 위한 간이법의 개발

아치형 파이프하우스와 지붕형 철골하우스를 단동과 연동으로 구분하여 부재단면의 크기와 간격,

적설하중 및 풍하중을 변화시키면서 구조해석을 실시하였다. 그 결과로 부터 부재단면의 크기와 간격, 설계적설심 및 설계풍속들의 상호관계를 도표화하여 간편하게 구조적 안전성 진단을 할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 실시한 모든 구조해석은 유한요소법을 이용한 구조해석 프로그램인 SAP90(Structural Anaysis Program 90)을 이용하였다¹³⁾.

結果 및 考察

1. 고정하중 추정식의 유도

국내의 온실 설계자료를 수집하여 분석한 온실의 고정하중은 Table 1과 같았다. 기존의 아치형 파이프하우스는 정확한 구조적 설계를 실시하지 않고 관행적으로 시설을 설치해 왔으며, 구조적 안전성 검토시에도 자중을 무시하였으나^{1, 3)} 국내의 온실 설계자료를 분석한 결과, 고정하중으로서 3.0kg/m²의 자중을 고려해야 할 것으로 판단된다.

지붕형 철골하우스의 경우에는 국내의 자료가 없기 때문에 일본의 시설원예기준(식 1)을 적용해 왔으나 Fig.1과 같이 기존에 적용해온 것에 비하여 단동은 크게, 연동은 다소 적게 나타났다^{5, 7, 8)}. 따라서 안전성을 확보하기 위해서는 보다 많은 자료 분석을 통하여 국내의 설계기준을 설정할 필요가 있을 것으로 판단되며, 본 연구에서는 잠정적으로 안전성을 고려하여 단동의 경우는 식 (2), 연동의 경우는 식 (3)의 적용을 추천한다.

$$W_d = 10.0 + 0.4L \quad (1)$$

$$W_d = 10.3 + 0.4L \quad (2)$$

$$W_d = 9.6 + 0.4L \quad (3)$$

여기서, W_d 는 단위 투영면적당 고정하중(kg/m²), L 은 온실의 폭(m)이다.

Table 1. Dead loads of greenhouses(kg/m²)

Arch type pipe house					Gable type steel frame house				
Width (m)	Frame		Cover		Width (m)	Frame		Cover	
	Single	Double	Single	Double		Single	Double	Single	Double
5.9	3.1	3.0	0.06	0.06	6.0	12.7	11.6	0.23	0.19
7.0	3.0	2.8	0.05	0.05	7.5	13.0	12.4	0.21	0.16
					8.0	13.4	12.8	0.18	0.15

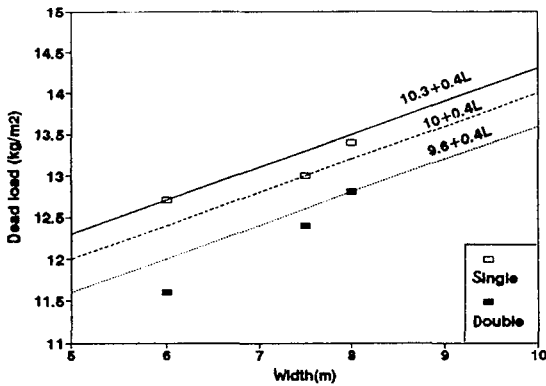


Fig.1 Comparison of the equations for dead load estimation.

2. 안전설계 지역구분

각 지역별 설계적설심 및 설계풍속을 적용하여 구조해석을 실시하여 더 큰 응력을 유발시키는 하중에 따라서 안전설계지역을 구분한 결과 Fig.2와 같이 설하중 지배지역과 풍하중 지배지역으로 각각 구분할 수 있었다. 빗금친 부분은 단동에 있어서는 풍하중, 연동의 경우는 설하중 지배지역을 의미한다.

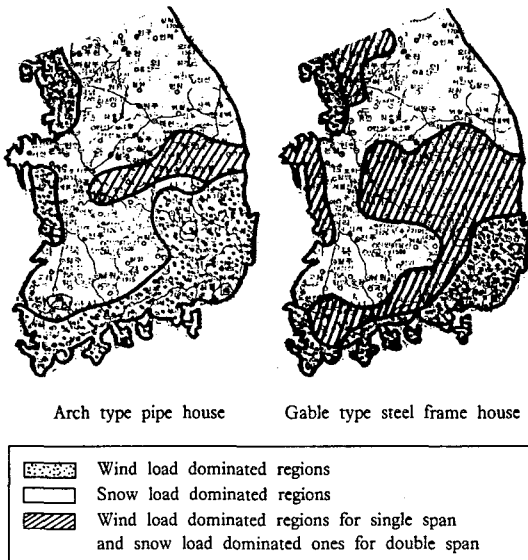


Fig.2 Wind load or snow load dominated regions by structural analysis.

본 분석에 사용한 풍속과 적설심 자료는 안전도 50%를 기준으로 하여 아치형 파이프하우스는 8년

빈도, 지붕형 철골하우스는 30년 빈도의 자료를 이용하였다^{7, 8)}.

기존의 안전설계지역은 단순히 기후조건에 따라 내풍형지대, 내설형지대 등으로 구분하고 있으나²⁾, 구조역학적인 해석에 의하여 구분한 본 연구의 결과와 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 설하중과 풍하중이 구조물에 작용하는 형태나 크기가 상이하기 때문이며, 같은 출현빈도의 적설심 및 풍속에 대하여 구조해석을 통하여 발생되는 응력의 크기에 따라서 지역구분을 실시하는것이 합리적일 것으로 사료된다.

3. 지점상태의 비교

지점의 상태는 지반과 기초의 형태에 따라서 다른데 정확히 구분하기 어렵기 때문에 일반적으로 힌지로 가정하여 구조설계를 해왔다^{3, 9)}. 힌지와 고정으로 했을 때의 최대휨모멘트값은 Table 2와 같이 아치형 연동에 풍하중 작용시만 제외하고 나머지는 모두 힌지인 경우가 약간씩 크게 나타났다. 또 최대휨모멘트의 발생위치는 은실의 형태나 연동 수에 관계없이 힌지일때는 기둥의 상단, 고정일때는 지점으로 나타났다. 따라서 고정이나 힌지 모두 같은 부재에서 최대휨모멘트가 발생되고, 힌지 일때가 약간 크게 나타나므로 안전성 면에서는 힌지로 가정하여 설계하는것이 큰 문제가 없는것으로 판단된다.

Table 2. Maximum bending moments according to the supports

Span	Arch type		Gable type	
	Wind load	Snow load	Wind load	Snow load
Single	119.6	115.8	121.9	107.1
Double	96.1	102.1	128.7	124.1

(Note) The value of hinged support to fixed one(100)

4. 구조안전진단을 위한 간이법의 개발

구조물에 작용하는 하중을 등분포하중으로 가정하고, 골조(Frame)의 간격을 D(m)라 할때 하나의 골조에 작용하는 단위길이당의 하중 W(kg/m)는 다음과 같다.

고정하중 : $W = D \cdot W_d$ (4)

적설하중 : $W = \phi_p S \cdot D$ (5)

풍 하 중 : $W = 0.016 V^2 \sqrt{h} \cdot D$ (6)

여기서, ϕ 는 지붕의 기울기에 따른 감소계수(국내 대부분의 하우스는 지붕의 기울기가 20~30° 사이

에 있으므로 0.75를 적용함)이고, ρ 는 적설심에 따른 단위적설하중(본 연구에서는 적설심 50cm 까지만을 고려하여 1.0kg/cm/m²로 하였으며, 그 이상의 적설심에 대해서는 적용할 수 없고 세부 해석을 실시해야함)이다^{3,5,7,8,9}. 또한 h 는 구조물의 평균높이(m), S 는 설계적설심(cm), V 는 설계풍속(m/s)이다.

구조물에 발생하는 응력은 인장응력, 압축응력, 휨응력, 전단응력 등이 있으나 온실의 구조해석 결과 휨응력이 가장 크고, 기타응력은 휨응력의 1/10~1/100 정도밖에 되지 않으므로 본 연구에서는 휨응력만을 검토하였다^{3,5}. 부재단면에 발생하는 최대휨응력(σ_{max})은 부재의 허용응력(σ_{aw})을 초과하지 않아야 하므로 다음식과 같이 된다.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} \leq \sigma_{aw} \quad (7)$$

여기서, M_{max} 는 최대휨모멘트, Z 는 부재의 단면계수이다.

고정하중, 적설하중 및 풍하중을 단위하중(1kg/m)으로 작용시킨 상태에서 구조해석을 실시하여 각 하중에 의해서 발생하는 부재단면의 휨모멘트를 각각 $M_d(i)$, $M_s(i)$, $M_w(i)$ 라 하면, 적설시와 폭풍시에 하나의 부재단면에 발생하는 임의 지점 i 에서의 휨모멘트 $M(i)$ 는 다음과 같이 된다.

$$\text{적설시: } M(i) = 0.75 S \cdot D \cdot M_s(i) + W_d \cdot D \cdot M_d(i) \quad (S \leq 50\text{cm}) \quad (8)$$

$$\text{폭풍시: } M(i) = 0.016 V^2 \sqrt{h} \cdot D \cdot M_w(i) + W_d \cdot D \cdot M_d(i) \quad (9)$$

여기서, $M(i)$ 의 단위는 $kg \cdot cm$ 이고, $M_d(i)$, $M_s(i)$, $M_w(i)$ 는 단위하중 작용시의 휨모멘트이므로 $kg \cdot cm/(kg/cm)$ 이다.

하중의 조합에 의해서 발생하는 휨모멘트의 최대값은 하중의 작용상태에 따라서 최대휨모멘트의 발생 위치가 다르기 때문에 각 하중에서의 최대휨모멘트의 합과는 같지 않다. 따라서 식(8) 및 식(9)와 같이 부재중의 임의지점 i 에 대하여 각각의 휨모멘트를 합하여 이중에서 최대값을 휨모멘트의 최대값으로 채택해야 한다. 식(8) 및 식(9)의 우변을 D 로 나눈 식을 각각 $MS(i)$, $MW(i)$ 라 하면 적설시와 폭풍시의 최대휨모멘트는 다음과 같이 된다.

$$\text{적설시: } M_{max} = D \cdot MS(i)_{max} \quad (10)$$

$$\text{폭풍시: } M_{max} = D \cdot MW(i)_{max} \quad (11)$$

식(10) 및 식(11)을 식(7)에 대입하고 부재단면의 크기와 간격, 설계적설심과 설계풍속에 관해서 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\text{적설시: } \frac{D}{Z} = \frac{\sigma_{aw}}{MS(i)_{max}} \quad (12)$$

$$\text{폭풍시: } \frac{D}{Z} = \frac{\sigma_{aw}}{MW(i)_{max}} \quad (13)$$

온실의 형태와 규모를 변화시키면서 구조해석을 실시하고 식(12)와 식(13)에 의해서 부재의 간격, 단면, 설계하중 사이의 관계를 도표화 하여 간편하게 구조적 안전성 진단을 할 수 있도록 하였으며, 그 결과는 Fig.3~Fig.6과 같다. 여기서 아치형 파이프하우스의 경우는 부재단면을 현재 농가에서 가장 많이 사용되고 있는 25mm GI파이프(연동의 기둥은 40mm 구조용 강관)로 고정하여 설계하중과 부재의 간격과의 관계를 도시하였으며, 지붕형 철골하우스는 부재단면의 크기도 변수로 취급하였다.

도표의 사용 방법은 前報⁴)에서 발표한 재현기간에 따른 지역별 설계풍속 및 설계적설심에 해당되는 점의 수직선과 온실의 형태 및 규모에 따른 도표상의 곡선이 교차하는 점의 수평선상의 부재간격 또는 D/Z 가 실제보다 작거나 같으면 구조물은 안전한 것이고, 역으로 실제의 부재간격 또는 D/Z 로부터 구한 적설심 또는 풍속이 지역별 설계자료보다 크면 안전한 것이 된다.

이때 온실의 규모(폭과 높이) 변화에 따른 휨모멘트의 변화는 이론적으로 2차곡선을 따르지만 Fig.7에서 보는바와 같이 실용가능한 온실의 규모(본 연구에서는 온실 1동의 폭을 5.0~9.0m, 처마높이를 1.5~3.0m의 범위로 함)에서는 거의 직선적으로 변화하는 것으로 나타났다. 따라서 간이식 안전진단을 위한 도표상의 곡선과 일치하지 않는 규모의 온실에 대하여는 직선보간법을 이용하여 사용이 가능하다.

또한, 본 도표는 생물생산시설의 안전성 진단뿐 아니라 구조설계과정에 있어서 지역별 설계적설하중, 설계풍하중 및 온실의 규모에 따라서 부재단면의 크기 및 부재 간격 등에 관한 초기치의 설정에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

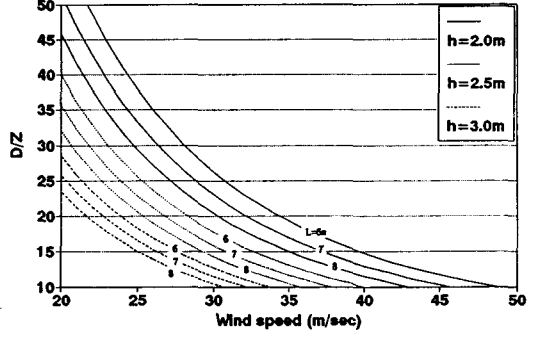
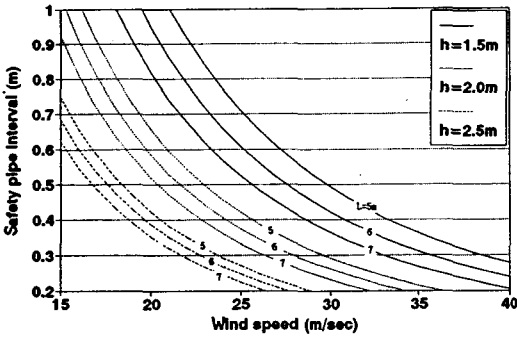
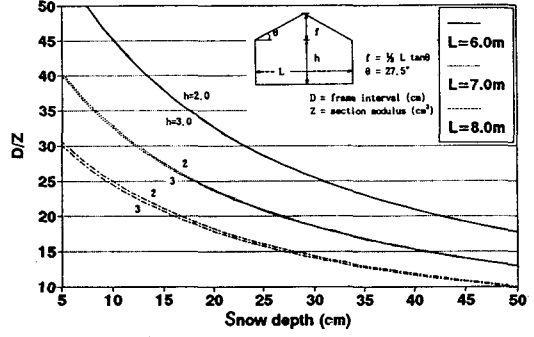
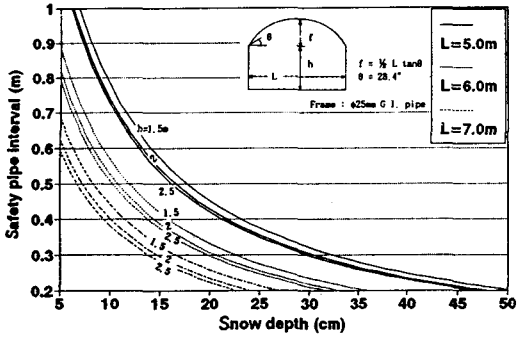


Fig.3 Relation between design load and frame interval for arch type single-span house.

Fig.5 Relation between design load and frame interval over section modulus for gable type single-span house.

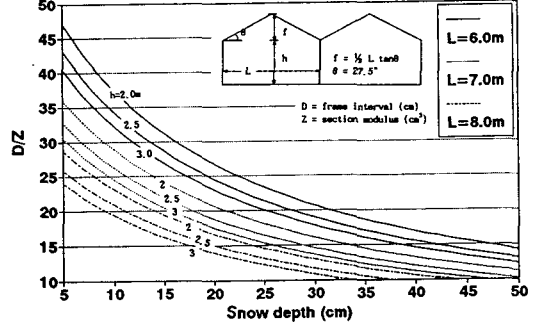
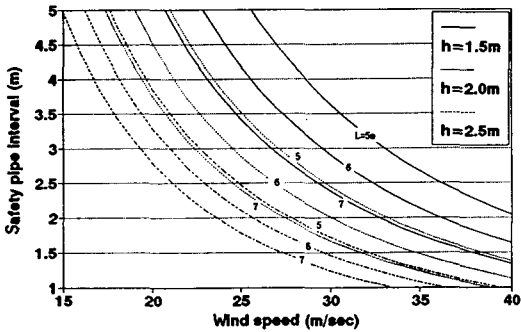
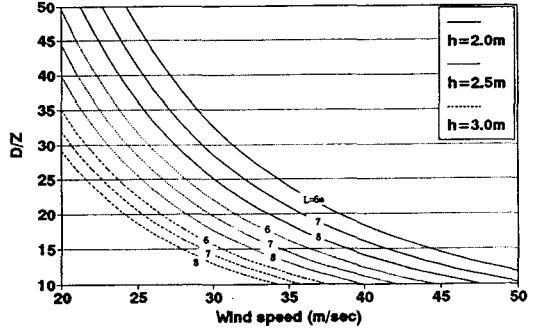
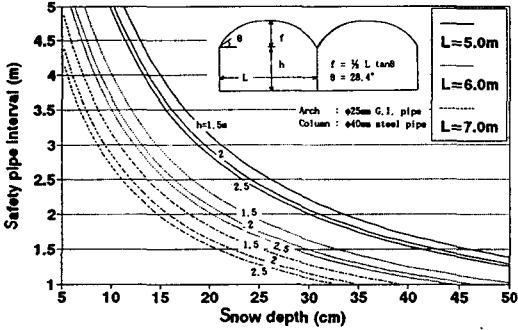


Fig.4 Relation between design load and frame interval for arch type double-span house.

Fig.6 Relation between design load and frame interval over section modulus for gable type double-span house.

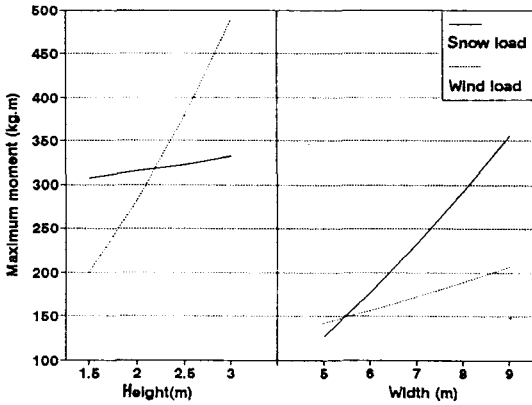


Fig.7 Change of maximum bending moment according to greenhouse size.

摘 要

본 연구는 생물생산시설의 구조설계 과정에서 초기단계의 고정하중을 합리적으로 추정하기 위한 식을 유도하여 구조설계 기준 설정에 기초자료를 제공하고, 생물생산분야 종사자가 간편하게 구조적 안전성을 진단할 수 있는 방법을 개발할 목적으로 수행하였으며 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내의 온실설계자료를 수집하여 실제 자중을 산출, 분석해 본 결과 기존의 일본 시설원에 기준 적용치와는 차이가 있었으며, 잠정적으로 국내 시설에의 적용을 위한 추정식을 유도하였다.
2. 지역별 설계하중을 적용하여 구조해석을 실시하고, 발생하는 응력의 크기에 따라서 풍하중 및 설하중 지배지역으로 안전설계 지역구분을 실시하였다.
3. 지점의 상태에 따른 최대휨모멘트의 발생 위치 및 크기를 구조해석을 통하여 비교하였으며, 대부분 고정단보다 힌지로 가정하여 설계한 경우의 안전도가 큰 것으로 나타났다.
4. 대표적인 형태의 온실에 대하여 간편하게 구조적 안전성을 진단할 수 있도록 부재단면의 크기와

간격 및 설계하중 사이의 관계를 도표화 하였다 (Fig.3~Fig.6).

參 考 文 獻

1. 고재균, 김문기, 이신호. 1986. 하우스 안전 구조 설정을 위한 역학적 연구. 농촌진흥청 농시논 문집(농업산학협동편) : 251-266.
2. 권영삼. 1984. 기상재해에 대한 시설원에 안전 구조대책. 농업기술 부록 연구지도속보 3(3) : 10-12.
3. 김문기, 고재균, 이신호. 1987. 플라스틱 하우스의 구조상태의 조사 연구. 한국농공학회지 29(3) : 113-124.
4. 김문기, 손정익, 남상운, 이동근, 이석재. 1992. 생물생산시설의 구조설계에 관한 연구(1). 생물생산시설환경1(1) : 1-13.
5. 김문기, 손정익. 1992. 집종작물생산시설의 개발을 위한 기본설계 방법. 한국농업과학협회 92 농업과학 심포지움 : 61-73.
6. 편집부. 1980. 건축 토목 구조메뉴얼. 중앙기능계발 연구사.
7. 農林水産技術會議事務局. 1980. 高能率施設園藝に關する總合研究 - 高能率園藝施設設計・設計基準に關する研究成果. pp.9-53.
8. 日本施設園藝協會. 1981. 園藝用施設安全構造基準. pp.1-19.
9. 立花一雄, 羽倉弘人, 高橋和彦, 大塚 榮. 1979. 施設園藝ハウスの設計と施工. オーム社.
10. Meriam, J. L. and L.G. Kraige. 1986. Engineering mechanics. John Wiley and Sons.
11. MWPS. 1983. Structures and environment handbook (11th ed.). MWPS-1. Iowa.
12. Whitaker, J. H. 1979. Agricultural buildings and structures. Reston Publishing company.
13. Wilson, E.L. and A. Habibullah. 1989. A Series of computer programs for the static and dynamic finite element analysis of structures. Computers & Structures, Inc.