

# 단열형 2중구조 버블온실의 구조설계

## Structural Design of the Insulated Double Covered Greenhouse Filled with Bubbles

윤남규 · 김학주 · 이시영 · 염성현 · 전희 · 강운임  
원예연구소 시설원예시험장

Yun, N.K. · Kim, H.J. · Lee, S.Y. · Yum, S.H. · Chun, H. · Kang, Y.I.  
Protected Horticulture Experiment Station, National Horticultural Research  
Institute, RDA, Busan, 618-800

### 서 론

1970년대 백색혁명 이후 급속하게 확산되어온 국내 시설원예산업은 최근 들어 날로 증가하고 있는 난방비에 대한 부담으로 그 경영이 날로 위축되어 가고 있다. 통계자료에 의하면 2001년 우리나라 전체 시설원예 면적 52,135ha 중 난방을 하고 있는 시설원에 면적은 12,710ha로서 약 24%정도를 차지하고 있다. 또한, 시설재배면적의 지역분포를 비교해 보면, 시설채소의 경우 중부 이북지역에 44%, 남부에 56%의 비율로 분포해 있으며, 시설화훼의 경우 중부 이북 58%, 남부 42%인 것으로 보고되었다. 따라서, 국내 시설원예의 분포는 난방비가 많이 소요되는 지역이라도 수도권을 중심으로 유통이나 지리적 면에서 유리한 지역에 시설재배면적이 많이 분포해 있는 소비지중심형 분포임을 알 수 있다.

또한 난방연료의 90% 이상이 경유나 동유와 같은 유류로 한정되어 있어 농가에서는 면세유 가격에 대해 아주 민감한 반응을 보이고 있다. 그러나 면세경유가격은 '96년 201원에서 '99년 330원, 2002년 10월 394원으로 상승을 거듭하여, 급기야 2004년 후반기에는 500원을 상회하게 되었다. 더구나 2005년 7월 1일부터 면세유의 면세율을 조정이 시행되게 되면 그 가격은 더욱 오를 전망이어서 난방비의 부담으로 인해 작물 재배 포기 의향을 갖고 있는 농가가 속출하고 있는 실정이다.

이와 같이 현재, 국내 시설원예 산업은 석유연료를 이용한 기존의 난방방식으로는 더 이상 에너지비용의 증가를 막기 힘든 상황에 처해 있다. 이에 따라 시설원예 경영의 난방비 부담을 줄이기 위한 방편으로 보온에 대한 인식이 더욱 높아져 단열이 우수한 보온자재 및 온실의 고효율 보온시스템에 대한 필요성과 요구도는 더욱 커지고 있다.

윤 등(2003)은 버블층의 단열성능에 대한 실험을 통해 적정 두께의 버블을 충전함으로써 온실의 보온력 강화에 기여할 수 있음을 보고한 바 있다. 그러나, 버블을 충전하는 단열형 보온온실모델이 개발되기 위해서는 충전시 블로워의 동작으로 인해 발생하는 팽압에 의한 구조적 안전성과 적설심과 풍속이 큰 지역에 설치시 구조물의 안전성을 확보할 수 있는 구조설계가 필수적으로 선행되어야 한다.

따라서, 본 연구는 단열성능이 높은 버블을 충전하는 이중피복온실의 이중층내 팽압

및 풍속, 적설에 대한 구조적 안정성 검토하여, 단열형 버블온실의 구조모형을 제시하기 위하여 수행되었다.

### 재료 및 방법

본 연구에서 고려된 단열형 버블온실의 구성은 Fig. 1과 같다. 그림에서와 같이 버블온실은 지하에 매입된 버블용액탱크의 내부에서 발생된 버블을 블로워에 의해 온실의 이중층에 불어 충전시키는 형식으로 설계되었다. 따라서, 필연적으로 버블이 충전되는 동안 온실의 이중피복사이에는 블로워에 의해 과압이 발생하게 되고, 이는 내외부 골조와 피복재에 팽압으로서 작용하게 된다.

해석대상인 버블온실의 면적은  $300\text{m}^2$ 이고, 폭은 6m, 측고는 1.6m, 동고는 3.2m이다. 버블용액탱크는 직경 2m, 높이 1.8m의 원통형이며, 블로워의 최대 풍량은  $26\text{m}^3/\text{min}$ 이며, 버블이 투입되는 덕트의 직경은 30cm이다. 버블온실의 내외피복면 사이의 버블충전공간은 완전히 밀폐되어 있고, 버블충전에 소요되는 시간은 20분으로 설정하였다.

온실의 골조는 내부와 외부 모두  $\varnothing 31.8$  1.5t의 원형파이프를 사용하였고, 서까래 간격은 외부 60cm, 내부 80cm로 지정하였다. 피복재는 내외부 모두 0.1mm PE필름을 사용하였다. 기초는 내외부 골조 모두 지면에서 30cm를 매입하였다.

버블이 충전되는 이중층의 팽압은 반대편의 압력배출구의 크기에 따라 수치시뮬레이션을 이용해 계산하였고, 구조물의 안전성 분석은 구조해석 프로그램인 SAP2000을 이용하여 수행하였다.

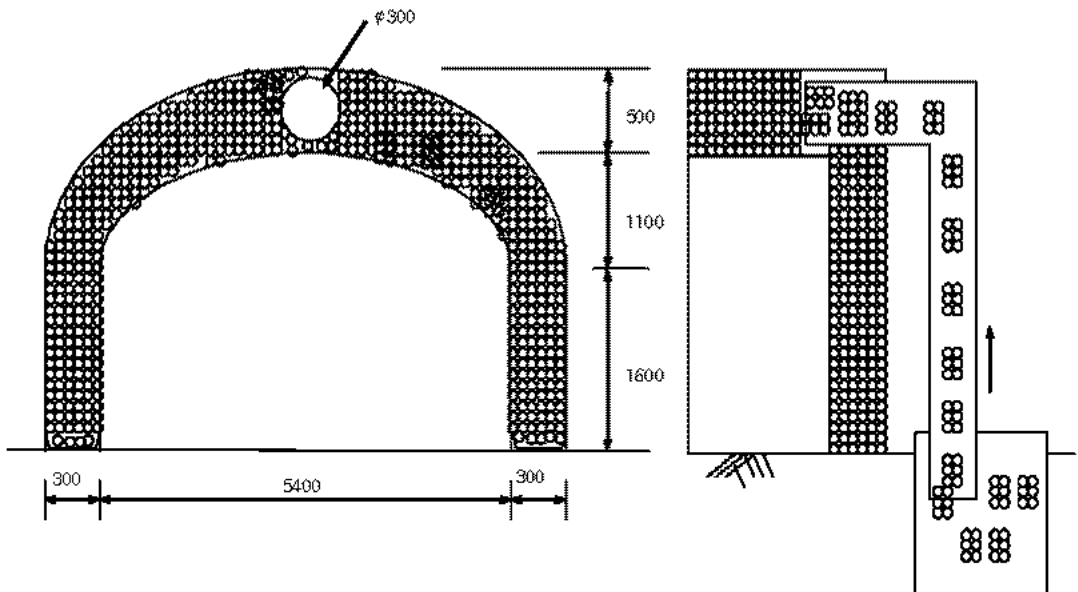


Fig. 1. Layout of the insulated bubble greenhouse.

### 결과 및 고찰

버블이 충전되는 이중피복층의 체적은  $213.4\text{m}^3$ 이고, 버블발생장치의 블로워의 풍량

이 최대 26m<sup>3</sup>/min이므로 버블의 충전이 완료되는 20분후에는 520m<sup>3</sup>의 공기가 이중피복층의 제한된 용적에 갇혀있게 된다. 따라서, 버블충전으로 인한 정압의 증가를 수치시물레이션으로 계산한 결과 0.042kgf/cm<sup>2</sup>로 전체 이중피복층 내부에 걸쳐 균등한 분포를 나타내었다. 이 팽압을 내부골조의 재하하중으로 변환하여 내부골조의 구조해석을 실시한 결과, 서까래 간격이 60cm 이하인 경우에도 구조물이 불안정한 것으로 분석되어 이중피복층의 블로어 반대편 벽면에 압력 소산을 위한 배압구의 설치가 필수적인 것으로 판단되었다. 배압구의 크기는 버블유입 덕트 단면적과 같은 면적으로 설치하여, 충전중 버블의 유출 및 충전후 외기의 영향을 최소화할 수 있도록 하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 최적의 배압구 면적 및 이중피복층 정압의 감소에 따른 내부 골조의 단면축소 및 적정 서까래 간격 등은 금후 이중피복층의 정압 예측 수치시물레이션과 구조해석을 통해 결정할 예정이다.

적설 및 풍속에 대한 외부골조의 구조해석 결과, 본 연구에서 제시한 기준 모델이 견딜 수 있는 최대 적설심은 23cm이고, 최대 풍속은 30m/s인 것으로 분석되었다. Fig. 2는 서까래 간격 60cm인 경우에 대한 풍속 및 적설심 변화에 따른 최대휨모멘트값을 나타낸 그래프이다.

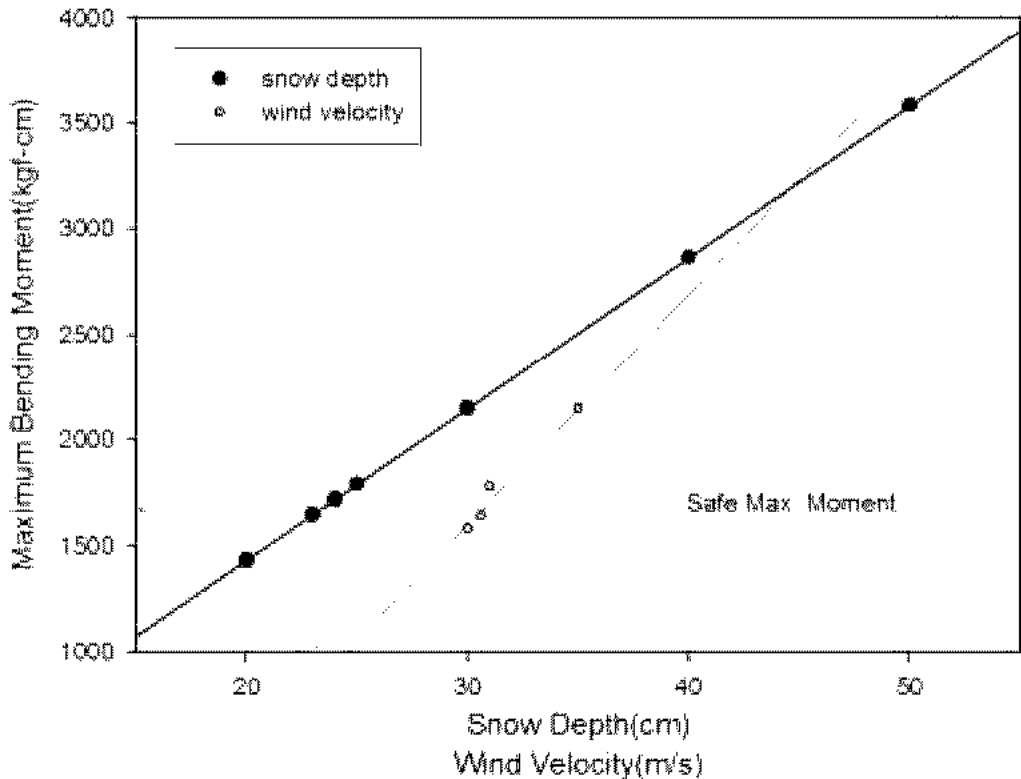


Fig. 2 The variations of maximum bending moment according to the values of snow depth and wind velocity.

본 연구결과를 통하여 서까래 파이프의 규격이  $\varnothing 31.8$  1.5t인 경우, 폭 6m × 높이 3.2m × 길이 50m, 서까래 간격 60cm인 외부골조와 폭 5.4m × 높이 2.7m × 길이 48m, 서까래 간격 80cm인 내부골조로 구성된 단열형 버블온실의 모델은 최대 적설심 23cm, 최대 풍속 30m/s의 설계조건에서 구조적으로 안전한 것으로 분석되었다.

## 요약 및 결론

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 체적 213.4m<sup>3</sup>인 이중피복층에 26m<sup>3</sup>/min 용량의 블로워로 버블을 20분간 충전할 경우, 이중피복층의 팽압은 0.042kgf/m<sup>2</sup>로 계산되었다.
2. 팽압에 의한 피복재, 내부골조의 구조적 안전성 분석 결과  $\varnothing 31.8$  1.5t의 파이프를 구조재로 사용하는 경우, 서까래 간격이 60cm 이하인 경우에도 불안정한 것으로 분석되어 팽압의 감소를 위한 배압구의 설치가 필요한 것으로 판단되었다.
3. 적설 및 풍속에 대한 외부골조의 구조해석 결과, 본 연구에서 제시한 버블온실 모델의 안전최대적설심은 23cm이고, 안전최대풍속은 30m/s으로 분석되었다.

## 인용문헌

1. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석건, 이현우. 2000. 농업시설공학. 향문사.
2. 남상운 외. 2001. 파이프 골조 온실의 유지보수 보강기술 개발. 농림부 연구보고서.
3. 윤남규, 김학주, 이시영, 염성현, 남윤일, 최상진. 2003. 이중피복온실의 보온용 충전재로서 버블의 물리적 특성. 한국농업기계학회 하계학술대회논문집 8(2).
4. 이석건 외. 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성. 농어촌진흥공사 연구보고서.