

제주지역 감귤재배용 단일피복 무가온하우스의 구조안전성 분석

염성현* · 김학주 · 전 희 · 이시영 · 강윤임 · 김영호¹ · 김용호²

원예연구소 시설원예시험장, 제주도농업기술원, 2)난지농업연구소

Analysis of the Structural Safety in a Non-heating Greenhouse with a Single Cover for *Citrus* Cultivation in Jeju

Sung Hyun Yum*, Hak Joo Kim, Hee Chun, Si Young Lee, Yun Im Kang, Young Hyo Kim¹, and Yong Ho Kim²

Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

¹Agricultural Research & Extension Services, Jeju-do 690-170, Korea

²National Institute of Subtropical Agriculture, RDA, Jeju-do 690-150, Korea

Abstract. This study was carried out to evaluate the structural stability in a non-heating greenhouse with a single cover for *Citrus* cultivation which was built up in Jeju on the basis of the drawing designed by Jeju Agricultural Research & Extension Services and also to make use of the data for developing a standardized non-heating greenhouse in Jeju. The analysis of a structural stability was conducted by using CFX-5.7 and ANSYS under the design condition of a maximum accumulated snow-depth of 19.1 cm as well as an instantaneous maximum wind velocity of $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ which was set up on the basis of meteorological statistics in Jeju. As a result, the maximum von-Mises stress applied on pipes under the wind velocity of $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ showed a value of $250 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ which was greater than the allowable stress of the pipe with a value of $235.4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ($\approx 2,400 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) and also $53.8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ under the snow-depth of 19.1 cm, respectively. This result suggested that the greenhouse be unstable under the design condition of an instantaneous wind velocity of $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ so that it was necessary for the greenhouse to be reinforced to secure the structural stability.

Key words : ANSYS, CFD, CFX, Fluid-structure, Maximum stress

*Corresponding author

서 언

제주지역의 감귤 시설재배 면적은 1,566 ha로 전체 감귤재배 면적(24,560 ha, '03)의 6% 수준에 있으나 지역 특성상 강풍 등으로 인하여 과수재배용 플라스틱 하우스가 빈번히 파손되고 있다. 제주지역의 관련 시설 전문가와 시공업체 등을 통하여 폭설 및 태풍 등 기상재해로 인한 피해를 줄이기 위한 다양한 구조적 보강이 수년에 걸쳐 이루어져 왔으나 기상재해로 인한 시설 피해 보상 등을 위한 감귤재배용 하우스 시설공사 도면이 부분적으로 작성되고 있을 뿐 구조적 안전성 분석을 통한 내풍형 고강도의 플라스틱하우스 개발은 미미한 상태에 있어 제주지역 기상을 고려한 과수재배용 표준화 시설모델 개발이 필요한 실정이다.

제주지역 과수재배용 플라스틱하우스는 가운데여부에

따라 무가온하우스 형태인 단일피복 구조이거나 가운데를 고려한 2중 또는 3중 피복 구조로 설치되어 있으며 지역적 특성상 강풍으로 인한 시설 및 작물의 피해를 최소화하고 동시에 자연적 방풍림으로 인한 일사량 감소를 줄일 목적으로 하우스 외부에 파풍망을 별도로 설치하고 있다. 또한, 제주지역에서만 유일하게 볼 수 있는 구조로 하우스 전·후면 및 양 측면 그리고 시설 내부 주기둥 사이에 일정 간격으로 강선을 설치하여 구조적 보강을 하고 있으며, 일부 플라스틱하우스의 경우에는 하우스 내부는 일반적인 경우처럼 연결되도록 하고, 길이 방향으로서는 하우스 중간을 분리하여 피복재 교체 등 작업의 편의를 도모한 구조도 볼 수 있다.

플라스틱하우스에 대한 지금까지의 구조 안전성 분석은 강 구조물이나 콘크리트 구조물의 해석에 사용되

고 있는 SAP90을 이용하여 풍하중과 적설하중 작용 시 하우스 골조의 간격에 따른 구조 안전성에 관한 연구(Lee와 Lee, 1995; Lee와 Lee, 1995)와 실험적 접근 방법으로 풍하중 계산에 필요한 풍력계수 분포도 작성에 대한 연구(Lee와 Lee, 1996)가 꾸준히 이루어져 왔으나 다연동 플라스틱하우스가 갖는 특이성을 해석에 포함시키지 못하고 파이프의 적정 규격별 세부 분석을 수행하기가 어려울 뿐만 아니라 피복재에 가해지는 풍압력을 직접적으로 구조해석의 경계조건으로 처리할 수 없어 해석의 정확도에 한계가 있어 왔다. 또한, 풍력계수를 이용한 기존의 풍하중 산출 방법을 이용하여 해석할 경우에는 풍력계수가 구해져 있는 하우스 형태에 국한될 수밖에 없고 하우스 형태가 다른 경우에는 각각에 대하여 새로이 풍동실험을 통해 풍력계수를 산정하여야 하나 축소모형 자체가 가지는 실험 오차가 있을 뿐만 아니라 하중분포 계측 지점 수의 한계로 하우스 세부 부위에 정확한 풍하중 분포를 적용하기가 어려운 문제가 있었다. 그러나 최근 전산기의 성능 향상 및 난류유동 해석 기법의 발달로 전산유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용하여 임의의 풍속 및 풍향에 대하여 플라스틱하우스 피복재에 가해지는 전체압력을 구할 수 있고, 공학 분야에서 널리 활용되고 있는 유한요소해석(Finite Element Method, FEM) 프로그램을 이용할 경우 유체-구조 연성해석(Fluid-Structure Coupled Field Analysis)이 가능해 압력분포를 구조해석의 경계조건으로 처리할 수 있어 파이프 규격을 세부적으로 구분하여 3차원 구조 안전성 분석을 용이하게 수행할 수 있게 되었다. 이러한 유체-구조 연성해석 기법의 활용에 관한 연구로

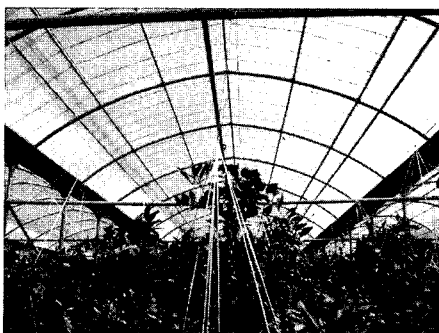
FLUENT와 ANSYS를 이용하여 대립계 포도 비가림 시설에 대한 적정 서까래 간격 등을 결정한 바가 있으나(Yum 등, 2005) 이 경우 CFD의 압력분포를 ANSYS의 입력조건으로 이용하기 위해 구조해석 입력 자료를 추가로 작성해야 하는 등의 번거로움이 있었다. 그러나 최근 CFD와 FEM 자료가 상호간 또는 최소한 1-Way 방식으로 호환되는 유체-구조 연성해석 기법이 개발되어 임의의 풍속 및 풍향, 하우스 형태 그리고 파이프 규격에 대하여 최적 설계가 가능하게 되었다.

따라서 본 연구는 제주지역에 적합한 과수재배용 플라스틱하우스 표준화모델 개발의 기초 자료로 활용하고자 현재 제주지역 농가에 시공된 감귤재배용 단일피복 8연동 무가온하우스에 대하여 CFX와 ANSYS를 이용한 연성해석 기법으로 설계적설심과 설계풍속 조건에서 구조적 안전성을 분석하였다.

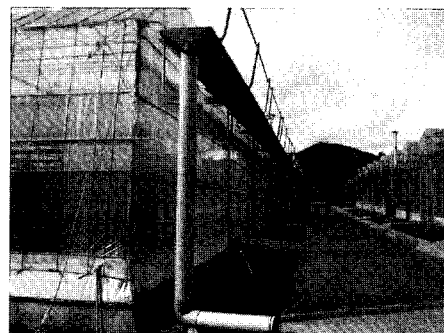
재료 및 방법

1. 해석 모델

구조적 안전성을 분석하고자 하는 시설형태는 제주도농업기술원에서 작성한 도면에 기초하여 현재 제주 지역 농가에 시공되어 있는 단일피복 구조의 길이 40 m, 8연동(5.5 m×8 = 44 m) 무가온하우스로 시설 형태와 그 세부 치수는 Fig. 1과 2와 같다. 본 연구에서는 강풍으로 인한 시설 피해를 줄이기 위해 설치되고 있는 파풍망은 고려하지 않고 무가온하우스만을 해석 대상으로 하였다. 해석 대상 플라스틱하우스는 서까래가 주서까래와 보조서까래로 나뉘어져 있어 시공



(a) Single cover



(b) Strong wire

Fig. 1. Configuration of a non-heating greenhouse with a single cover for *Citrus* cultivation in Jeju.

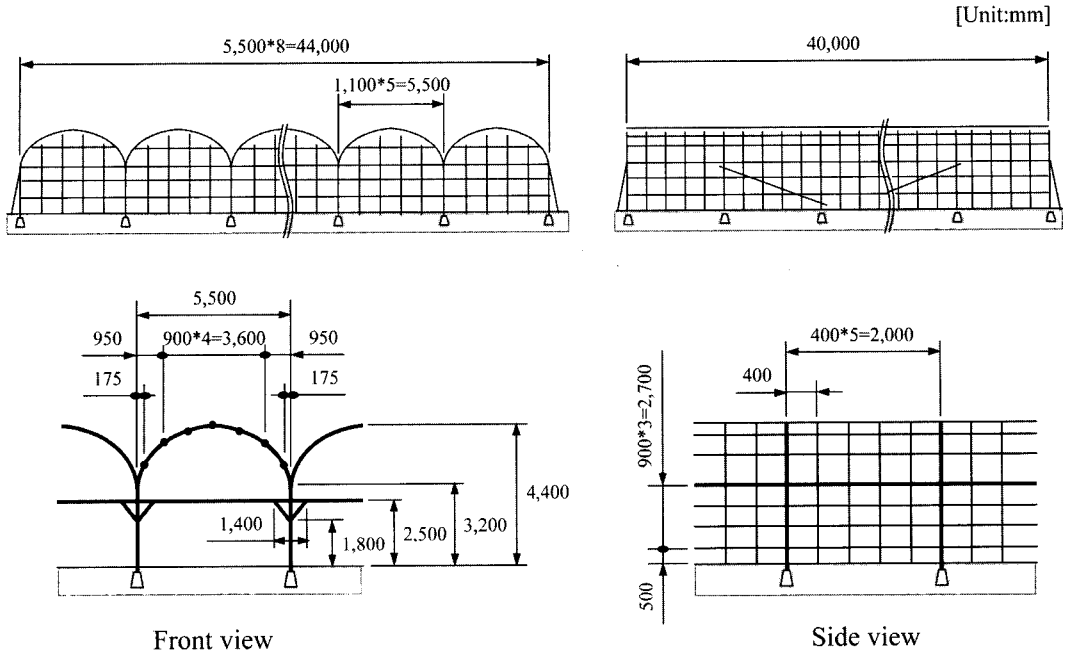


Fig. 2. Geometry of a non-heating greenhouse to be analyzed.

Table 1. Specification of pipes to be analyzed.

Classification	Main column	Cross beam	Supp. cross beam	Main rafter	Sub. rafter	Floor beam
Material (Spec.)	SPP 50A (φ60.5×3.65t)	SPS 40A (φ48.6×1.8t)	SPS 25A (φ34.0×1.8t)	SPS 40A (φ48.6×1.8t)	SPS 20A (φ27.2×1.8t)	SPS 20A (φ27.2×1.8t)
Interval & No.	2 m	2 m	2 m	2 m	40 cm	5P/house
Classification	Side beam	Bracing	Front/Back column	Front/Back cross beam	Wire (Inner)	Wire (Outer)
Material (Spec.)	SPS 20A (φ27.2×1.8t)	SPS 40A (φ48.6×1.8t)	SPP 50A (φ60.5×3.65t)	SPS 40A (φ48.6×1.8t)	-	-
Interval & No.	3P/face	2P/house	4P/face	4P/face	8 m	4 m

치수 그대로 2m와 40 cm로 각각 분리하여 적용하였으며, 4 m 간격으로 양 측면과 전 · 후면 그리고 하우스 내부에 설치된 강선은 압축하중에는 관여를 하지 않으므로 구조해석 시 인장하중에만 작용하는 요소를 적용하였다. 해석에 사용된 주요 파이프의 두께와 간격은 Table 1과 같다.

2. 해석 방법

하우스에 대한 구조해석 시 적용된 하중은 적설하중과 풍하중으로 설계하중의 재현기간을 22년으로 보고 제주지역의 기상자료에 근거하여 적용하였으며 설정된

설계적설심과 설계풍속은 각각 $19.1 \text{ cm} (W_s = \rho \times D \times \alpha = 1,873.7 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2})$ 와 $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다(Lee et al., 1995). 또한 기상통계로 설정된 설계적설심과 설계풍속 외에 제주지역 기상 관측 이래 가장 크게 기록된 최대 적설심 $37.8 \text{ cm} (W_s = 3,708.2 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}, 1963. 1. 25)$ 와 순간최대풍속 $60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2003. 9. 12)에 대해서도 구조안전성을 검토하였다. 풍하중으로 인한 구조안전성 분석은 범용 열 · 유동 해석 코드인 CFX를 이용하여 측면으로 바람이 불었을 때 플라스틱하우스 피복재에 걸리는 전체압력을 구하고 그 값을 유한요소해석 프로그램인 ANSYS의 경계조건으로 적용하여 구조해

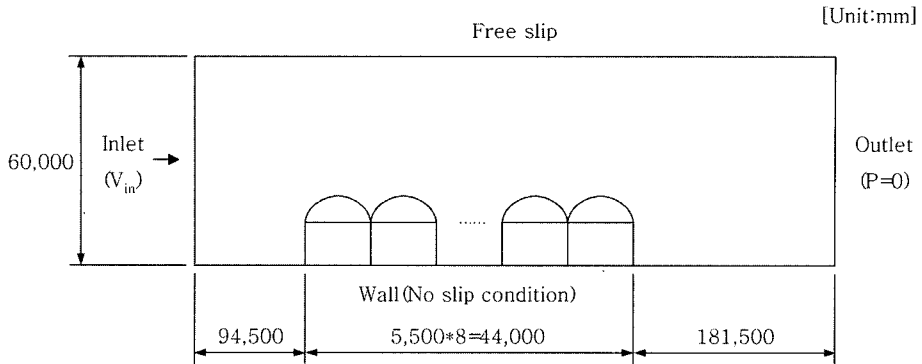


Fig. 3. The computational domain and boundary conditions for an applied wind load in CFX.

Table 2. Descriptions and boundary conditions of the CFD model.

Classification	Methods and conditions
Simulation type	3D, Steady state
Boundary conditions	Inlet : $V_{in}=36.6$ and $60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, Turbulence intensity = 5%(Default) Outlet : $P = 0$, Turbulence intensity = 5%(Default) Upper and lateral : Free slip condition Greenhouse : No slip condition Ground : No slip condition
Domain models	Fluid : Air at 25°C Reference pressure : 1 atm Buoyancy option : Non Buoyant
Advection scheme	Specified Blend Factor = 0.75
Convergence control	Auto Timescale

석을 수행하였다. 하우스 기초의 지점조건은 지하에 매몰된 파이프 단부를 고정단으로 가정하여 해석하였다 (Nam과 Kim, 1995).

Fig. 3은 측면으로 바람이 불 때 하우스 피복재에 걸리는 전체압력을 구하기 위한 유동해석 영역 및 경계조건을 나타낸 것으로 3차원 정상상태에서 지배방정식인 연속방정식과 운동량방정식을 이용하여 유동장을 해석하였으며 Separation, Natural convection, Heat transfer 문제 등에 있어서 $k-\epsilon$ 난류모델 보다 성능이 뛰어나고 벽면에서 Robust하다고 알려진 SST(Shear Stress Transport) 난류모델을 적용하였다. 유동장의 해는 운동량 방정식과 난류유동 방정식의 잔차가 모두 10^{-5} 이하였을 때를 수렴으로 보았으며 세부 해석 조건은 Table 2와 같다. 하우스 상단 아치부위에 가해지는

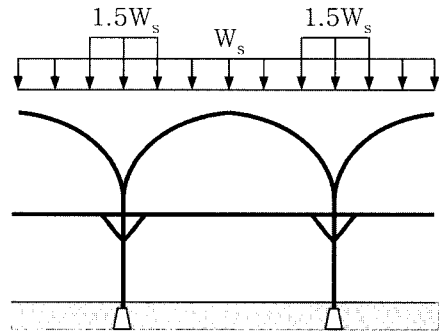


Fig. 4. Distribution of an applied snow load in ANSYS.

적설하중 분포는 Lee et al.(1995)이 제안한 방식대로 곡부보 부위는 $1.5W_s$, 그 외 부분은 W_s 가 작용한다고 보았다(Fig. 4).

Fig. 5는 각각 유동해석을 위해 생성한 유한체적 격자와 구조안전성 분석을 위해 유한요소로 분할한 격자를 각각 나타낸 그림으로 유동해석에 사용된 격자는 1,085,184개의 6면체 격자를 사용하였으며, 구조해석에 사용된 격자는 총 61,525개의 node를 사용하였다. 주어진 적설하중과 풍하중 조건에서 하우스의 구조적 안전 판단 기준은 피복재와 파이프에 걸리는 최대응력(Maximum von-Mises stress)이 재료의 허용응력 미만일 때 하우스가 안전한 것으로 보았으며, 최대응력이 허용응력보다 클 때 불안정한 것으로 판단하였다.

3. 재료 물성값

구조해석에 사용된 파이프와 피복재(PE 필름, 0.1 mm)의 물성치는 Table 3에 나타내었으며, 강선에 대한 물성 값은 정확한 응력-변형률 선도를 구해 재료

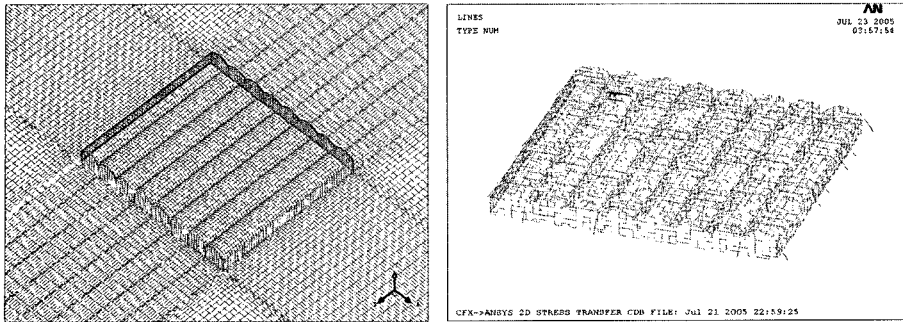


Fig. 5. Illustration of grids near the greenhouse in CFX(left view) and meshes used in ANSYS(right view).

Table 3. Specification of material characteristics and the corresponding allowable stress.

Materials	Modulus of elasticity (E, $N \cdot mm^{-2}$)	Poisson's ratio (ν)	Allowable stress (σ_a , $N \cdot mm^{-2}$)
Pipe	200.0×10^3	0.3	235.4
Film (PE)	0.2×10^3	0.4	10.8

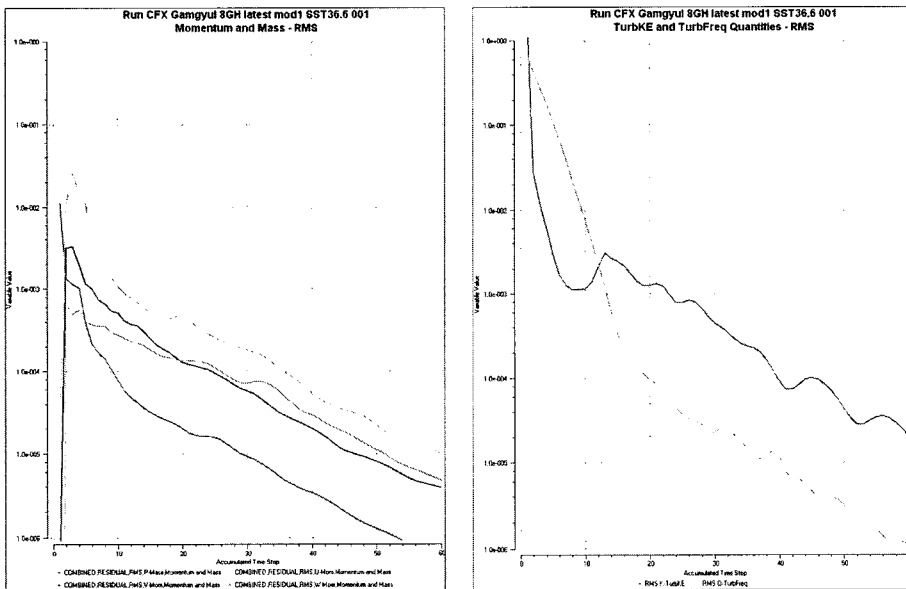


Fig. 6. Convergence behavior of the momentum(left view) and turbulent equations(right view) for the $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ inlet flow.

의 탄성계수와 허용응력을 적용해야 하나 본 연구에서는 Hardwire, LLC 12x-12-12 Medium Density Composite에 대한 탄성계수 35.2 GPa과 허용응력 496 MPa을 적용하였다.

결과 및 고찰

길이 40 m, 폭 5.5 m의 단일피복 구조의 8연동 플

라스틱하우스 상단부에 설계적설심 19.1 cm의 눈이 쌓인다는 조건과 시설 측면으로 설계풍속 $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 바람이 분다는 조건 그리고 참고자료로 활용하기 위해 제주지역 관측개시 이후의 최대적설심 37.8 cm 조건과 순간최대풍속 $60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 각각 구조안전성을 검토하였다. Fig. 6은 $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 CFX를 이용하여 유동장 해석 시 운동량 방정식과 난류유동 방정식에 대한 잔차를 나타내는 그림으로 Iteration

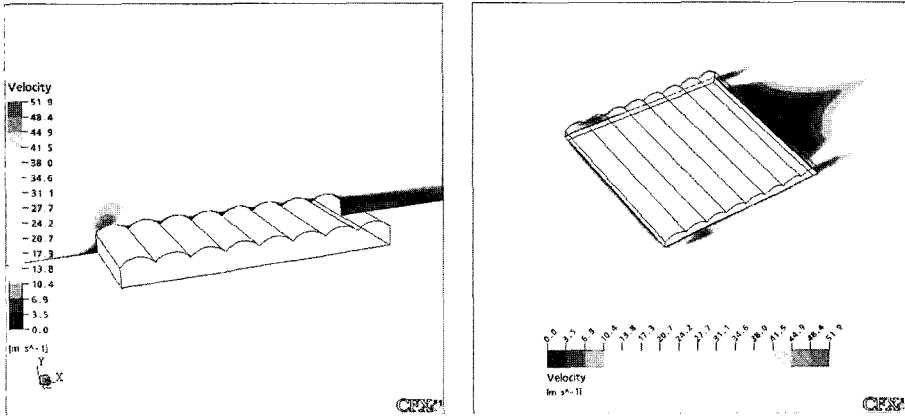


Fig. 7. Velocity contours for the $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ inlet flow.

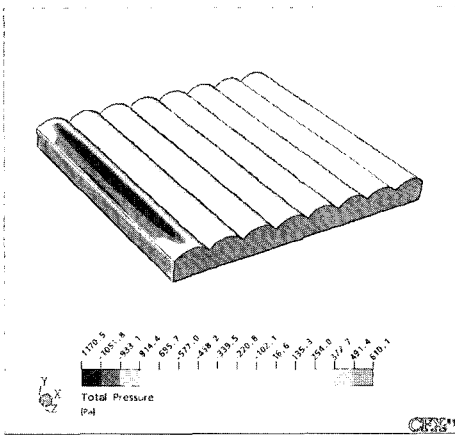


Fig. 8. Distribution of the total pressure for the $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ inlet flow.

= 60에서 차이가 10^{-5} 이하로 떨어져 수렴됨을 볼 수 있다.

Fig. 7은 $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 8연동 무가온하우스 주위의 속도분포를 나타낸 것으로 첫 번째 하우스의 아치 상단 부위 최고유속이 각각 $51.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 국부적으로 큰 유속이 나타남을 알 수 있으며, $V_{in} = 60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 최고유속이 $85.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 외부 풍속이 클수록 아치 상단부에 나타나는 유속은 더욱 커지는 것으로 나타났다. Fig. 8은 $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 하우스 피복재에 걸리는 전체압력 분포를 나타낸 것으로 첫 번째 하우스의 아치형 상단부에서 상향으로 큰 부압이 걸리는 것을 볼 수 있으며 외부 풍속이 커질수록 그 부압은 더 커지는 것으로 나타났다. $V_{in} = 36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우 바람을 맞는 하우스 측면에서

는 최대 610.1 Pa 의 미는 힘이, 아치 상단부에서는 최대 $-1,170.5 \text{ Pa}$ 의 부압이 걸리는 것으로 분석되었으며, $V_{in} = 60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우에는 하우스 측면부에 최대 $1,655.0 \text{ Pa}$, 아치 상단부에 최대 $-3,157.5 \text{ Pa}$ 의 부압이 걸리는 것으로 나타났다. 따라서 다연동 무가온하우스 표준화 모델 개발 시 아치 상단부에 걸리는 부압으로 인한 하우스 파단을 방지하기 위해 중간에 위치한 하우스보다 양측 2~3동에 대하여 안전성이 강화된 파이프 규격 적용 등 세심한 설계 검토가 필요하다고 판단된다.

Fig. 9는 설계적설심 19.1 cm 의 적설하중 조건에서 피복재(PE 필름)와 파이프 각각의 변위와 응력분포를 나타낸 것이다. 피복재에 걸리는 최대응력은 $0.3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 으로 피복재의 허용응력인 $10.8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 보다 작게 나타나 찢어지지 않고 피복재에 가해진 압력(적설하중)을 하우스 골조인 파이프에 모두 전달하는 것으로 나타났으며 그 결과 파이프에 걸리는 최대응력은 $53.8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 으로 일반구조용 탄소강관(SPS)의 허용응력($235.4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$) 보다 작아 하우스가 구조적으로 안전한 것으로 나타났다. 그리고 최대적설심 37.8 cm 에서도 파이프에 걸리는 최대응력이 $107 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 으로 역시 안전한 것으로 분석되었다(Table 4).

Fig. 10은 설계풍속 $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 풍하중 조건에서 피복재(PE 필름)와 파이프 각각의 변위와 응력분포를 나타낸 것이다. 파이프에 걸리는 최대응력은 $250 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 으로 파이프의 허용응력을 초과하여 파이프가 불안정한 것으로 분석되었으며, 대형 태풍수준인 순간최대풍속 $60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 최대응력이

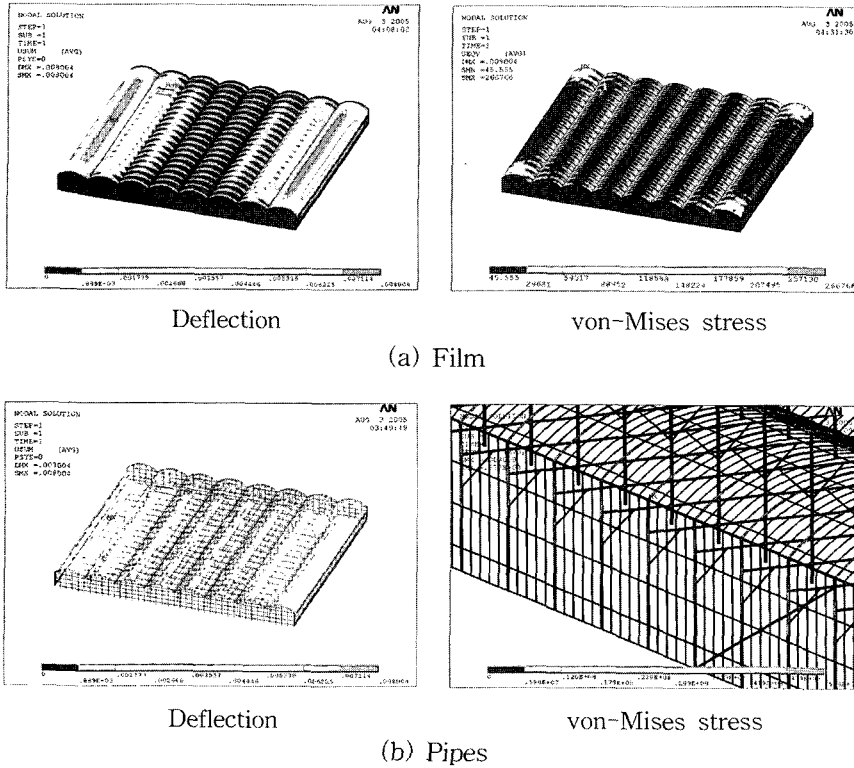


Fig. 9. Deflection and von-Mises stress of the film and pipes for a maximum accumulated snow-depth of 19.1 cm.

Table 4. Deflection and von-Mises stress of pipes and the PE film.

Condition	Results	Max. deflection(mm)		Max. stress(N · mm ⁻²)	
		Pipe	Film(PE)	Pipe	Film(PE)
Max. accumulated snow-depth	19.1 cm	8.0	8.0	53.8	0.3
	37.8 cm ²	15.8	15.8	107.0	0.5

²Recorded as a maximum accumulated snow-depth on Jan. 25, 1963 in Jeju.

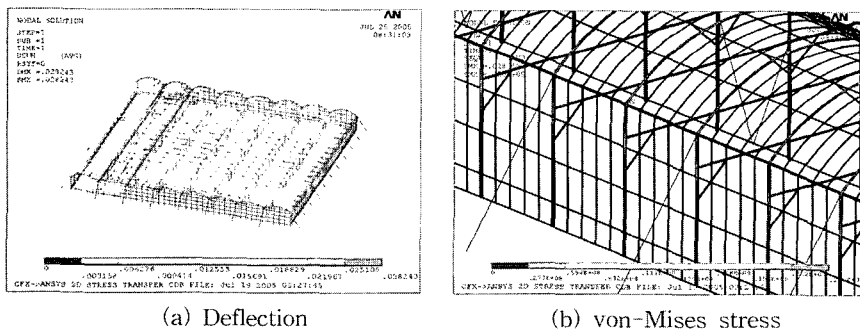


Fig. 10. Deflection and von-Mises stress of pipes for an instantaneous maximum wind velocity of 36.6 m · s⁻¹.

672 N · mm⁻²으로 크게 나타나 역시 불안정한 것으로 나타났다. 파이프의 변위는 풍속 36.6 m · s⁻¹와

60.0 m · s⁻¹에서 각각 최대 28.2 mm와 76.2 mm로 크게 변형되는 것으로 분석되었다(Table 5). 따라서

Table 5. Deflection and von-Mises stress of pipes and the PE film.

Condition	Results	Max. deflection(mm)		Max. stress($N \cdot mm^{-2}$)	
		Pipe	Film(PE)	Pipe	Film(PE)
Instantaneous maximum wind velocity	$36.6 m \cdot s^{-1}$	28.2	-	250.0	-
	$60.0 m \cdot s^{-1}$ ²	76.2	-	672.0	-

²Recorded as an instantaneous maximum wind velocity on Sep. 12, 2003 in Jeju.

제주지역에 설치된 플라스틱하우스가 기상자료와 재현기간을 바탕으로 설정된 설계풍속에 견디기 위해서는 전체적인 파이프 규격 재선정 및 강선 규격 조정 등이 필요할 것으로 판단되었으며, 대형 태풍 수준인 초속 50~60 m의 강풍에 견디기 위해서는 보다 적극적인 구조보완 방법 즉, 하우스 외부에 파풍망을 설치하는 등의 적극적인 구조적 보강이 이루어져야 할 것으로 판단되었다. 또한 8연동 무가온하우스에 대한 풍동실험을 통해 전체압력과 속도분포에 대한 CFD 해석 결과와 실험값의 오차를 검증하고 이를 구조해석에 반영하는 등의 지속적인 연구가 필요하며, 피복재 및 강선에 대한 정확한 물성 값에 대한 실험 자료 확보와 이에 대한 추가적인 연구결과 보완이 필요할 것으로 판단되었다.

적 요

길이 40 m, 폭 5.5 m의 단일피복 구조의 8연동 무가온하우스 상단부에 설계적설심 19.1 cm의 눈이 쌓인다는 조건과 시설 측면으로 설계풍속 $36.6 m \cdot s^{-1}$ 의 바람이 분다는 조건 그리고 참고자료로 활용하기 위해 적용한 최대적설심 37.8 cm의 눈이 쌓인다는 조건과 순간최대풍속 $60.0 m \cdot s^{-1}$ 의 강풍이 분다는 조건에서 유동 및 구조강도 해석을 수행하였다. 적설하중 조건에서는 설계적설심 19.1 cm와 최대적설심 37.8 cm에서 파이프에 걸리는 최대응력이 각각 $53.8 N \cdot mm^{-2}$ 과 $107 N \cdot mm^{-2}$ 으로 재료의 허용응력 보다 작은 것으로

나타나 안전한 것으로 분석되었으나, 설계풍속 $36.6 m \cdot s^{-1}$ 와 순간최대풍속 $60.0 m \cdot s^{-1}$ 의 풍하중 조건에서는 파이프에 걸리는 최대응력이 각각 $250 N \cdot mm^{-2}$ 과 $672 N \cdot mm^{-2}$ 으로 재료의 허용응력을 모두 초과하여 플라스틱하우스가 불안정한 것으로 분석되었다.

주제어 : 유체-구조, 최대응력, ANSYS, CFD, CFX

인 용 문 헌

1. Kim, M.K. and S.W. Nam. 1995. Experimental Studies on the Structural Safety of Pipe-Houses. Journal of Bio-Environment Control 4(1):17-24 (in Korean).
2. Lee, S.K. et al. 1995. Greenhouse Structural Requirements (in Korean). Rural Development Corporation of Korea.
3. Lee, H.W. and S.K. Lee. 1996. Analysis of Wind Force Coefficients for Structural Design of Houses. Acta Horticulturae 440:280-285 (in English).
4. Lee, H.W. and S.K. Lee. 1995. A Study on the Safety Frame Interval of Pipe Houses in Kyungpook Region. Journal of Bio-Environment Control 4(2):195-202 (in Korean).
5. Lee, H.W. and S.K. Lee. 1995. Structural Design of Plastic Greenhouse for Prevention of Meteorological Disaster. Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference 4(1):39-42 (in Korean).
6. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, and S.Y. Lee. 2005. Analysis of the Structural Stability in a Rain-Sheltering Facility of a Deok type for Large-grain Grapevine Cultivation. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery 13(2):164-168 (in Korean).