

## ANSYS와 CFX를 이용한 방풍벽의 구조 안전성 분석

염성현<sup>1\*</sup> · 김철수<sup>2</sup> · 최영돈<sup>3</sup>

<sup>1</sup>원예연구소 시설원예시험장, <sup>2</sup>원주대학 자동차서비스과, <sup>3</sup>고려대학교 기계공학과

### Analysis of the Structural Safety of a Wind-Protecting Wall Using ANSYS/CFX

Sung Hyun Yum<sup>1\*</sup>, Chul Soo Kim<sup>2</sup>, and Young Don Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Automobile Engineering, Wonju National College, Kangwondo 220-711, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

**Abstract.** This study was carried out to evaluate the structural safety for both the attached wind-protecting wall in greenhouse and the detached one installed outside. Regarding the attached wind-protecting wall in greenhouse, the analysis was conducted by doing a fluid-structure coupled field analysis using both CFX-5.7 and ANSYS 8.1 and also under the design condition of an instantaneous maximum wind velocity of  $30.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Three kinds of the width ranged from 30 to 90cm were considered in this study. With regard to the detached wind-protecting wall, the structural safety was analyzed under the pressure difference of 1,117 Pa which corresponded to a wind velocity of  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  and the analytical results were also compared with theoretical ones. The result showed that there was little difference in the distribution of velocity overall and total pressure on the lateral side according to the width of the attached wind-protecting wall, but greenhouse with wind-protecting widths of 30 to 60cm has been reinforced to the extent of about 11% when compared with the case of being without the wall. The result also showed that the detached wind-protecting wall with a main-column interval of 3m was not stable so that it was necessary for the detached wind-protecting wall to be adequately reinforced to secure structural stability. Finally, there was great difference between analytical results and theoretical studies. The difference meant that there was some possibility of including errors when a theoretical study was done in three dimensional structure.

**Key words :** ANSYS, CFX, fluid-structure, greenhouse, maximum stress, structural analysis, wind-protecting wall, wind-screening mesh

\*Corresponding author

## 서 언

태풍의 직접적인 영향권에 드는 제주와 영남지역 그리고 일부 호남지역의 경우 강풍으로 인하여 농업 시설물의 파손이 빈번해지고 있으며 최근 국내에 큰 피해를 준 태풍으로 '02년 루사(순간최대풍속  $40.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 서귀포)와 '03년 매미( $60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 제주)를 들 수 있다. 강풍으로 인한 비닐하우스의 구조적 안전성 강화를 위하여 일반적으로 비닐하우스 양측 외벽에 방풍벽을 설치하거나 태풍의 직접적인 영향권에 드는 제주지역의 경우에는 바람으로 인한 노지재배 과실의 품질 저하, 자연 방풍림으로 인한 일조량 감소 및 비닐하우스 피

해를 최소화하기 위하여 파풍망(방풍네트)을 이용한 분리형 방풍벽을 설치하고 있다. 풍속  $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  조건에서 제주지역 감귤하우스를 대상으로 한 구조 안전성 분석 결과, 분리형 방풍벽 설치 시 비닐하우스 파이프의 최대응력이  $250 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 에서  $99.2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 로 감소하고, 초속 50m의 대형 태풍 조건에서는  $466 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 에서  $183 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 으로 줄어들어 그 설치 효과가 상당한 것으로 보고되고 있다(Yum et al., 2005). 또한 강한 바람으로 인한 농작물의 품질 저하를 막기 위하여 파풍망 메쉬 2mm(PE), 길이 100m×높이 1.7m의 직립형 방풍시설을 간척지에 설치한 사례가 보고되고 있다(Makitaichi et al., 2005). 현재 농가에서

는 비닐하우스 부착형 방풍벽의 경우, 방풍벽의 폭이 20~95cm로 다양하게 시공되고 있으며 분리형 방풍벽의 경우에는 대부분 파풍망 매쉬 4mm, 주기둥  $\phi 48.1$ , 가로대  $\phi 21.2 \sim 27.2$ 와 지지파이프  $\phi 48.1$ 을 주기둥 2~3개 간격마다 설치하고 있다. 그러나 비닐하우스 부착형 방풍벽에 대한 구조보강 효과에 대한 실험이나 해석 자료가 없는 실정이며 분리형 방풍벽의 경우에는 구조 자체가 비닐하우스보다 취약하므로 그 기능을 유지하기 위한 적정 파이프 규격 선정 등 구조적 안전성에 관한 연구가 시급한 실정이다. 따라서 본 연구는 비닐하우스 부착형 방풍벽 설치로 인한 비닐하우스의 구조보강 효과를 분석하고 분리형 방풍벽 자체의 구조적 안전성을 검토하고자 수행하였다.

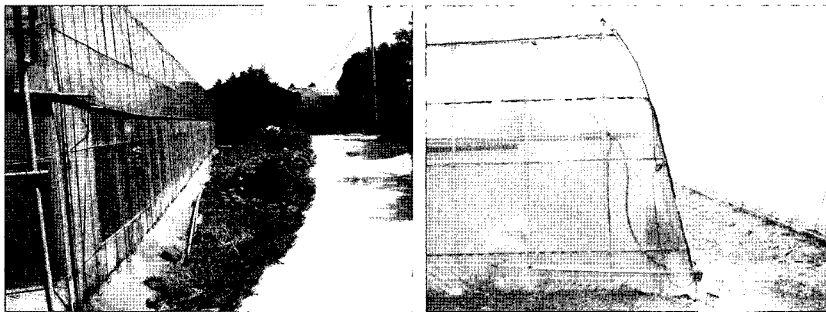
### 재료 및 방법

비닐하우스 부착형 방풍벽(Fig. 1b)에 대한 구조 안

전성은 범용 열·유동해석 코드인 CFX-5.7과 범용 구조해석 코드인 ANSYS 8.1을 이용한 유체-구조 연성 해석 기법을 이용하였으며 노지나 비닐하우스 외부에 설치한 분리형 방풍벽(Fig. 2)에 대하여는 ANSYS 8.1을 이용하여 구조 안전성을 검토하였다. 그리고 분리형 방풍벽의 구조해석 결과를 재료역학에 근거한 이론적 고찰 결과와 비교하였다.

#### 1. 해석 모델

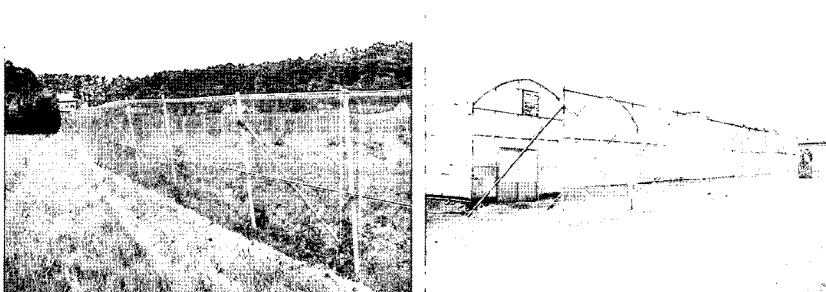
비닐하우스 부착형 방풍벽은 길이 40m, 폭 3.6m  $\times$  측고 2.3m  $\times$  동고 3.8m, 주기둥 간격 2m 그리고 서까래 간격이 66.7cm인 대립계 포도재배용 8연동 비가림하우스(Fig. 3)를 대상으로 하여 방풍벽의 폭을  $W=0, 30, 60, 90$ cm로 변경하면서 구조적 안전성을 검토하였다. 구조 해석에 사용된 하우스용 파이프는 대립계 포도 비가림하우스에서 일반적으로 사용되고 있는 규격을 적용하였으며 주요 파이프 규격은



(a) Without wind-protecting wall

(b) Typical wind-protecting wall

Fig. 1. General shape of the attached wind-protecting wall in greenhouse.



(a) For outside

(b) For greenhouse

Fig. 2. General shape of detached wind-protecting walls.

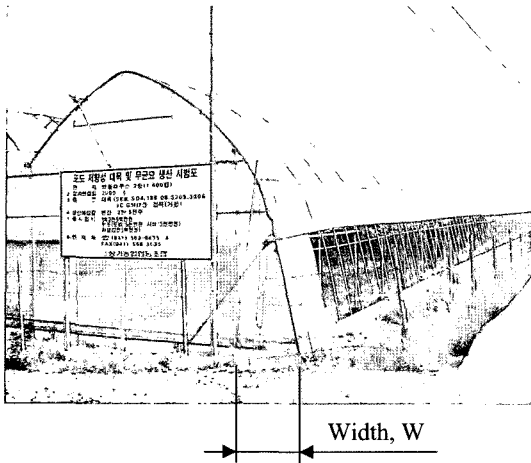


Fig. 3. General shape of the attached wind-protecting wall in greenhouse for grapevine cultivation.

Table 1과 같다. 분리형 방풍벽은 파풍망 메쉬 4mm, 길이 L=48m, 높이 H=4m, 주기둥 간격  $L_m=3m$ ,

가로대 간격  $a=1m$ , 지지파이프 경사각  $\theta=26.6^\circ$ 인 방풍벽(Fig. 4)을 대상으로 지지파이프와 보조 지지파이프 설치 유무에 따라 해석하였으며 일반적으로 농가에서는 지지파이프를 주기둥 2~3개 마다 설치하므로 설치 간격을 3m(주기둥마다 설치)와 6m(주기둥 2개 간격마다 설치)로 구분하여 해석하였다(Table 2).

## 2. 해석 방법

### 가. 유동 및 구조해석

구조해석에 사용된 풍하중은 방풍벽 형태에 따라 달리 적용하였다. 즉, 비닐하우스 부착형 방풍벽의 경우, 천안·안성 지역의 재현기간 30년에 해당하는 설계풍속  $30.9m \cdot s^{-1}$ 를 적용하였으며 분리형 방풍벽의 경우, 설치지역이 태풍의 영향을 받는 남부지역이므로 대형 태풍수준의 풍속인  $50m \cdot s^{-1}$ 를 적용하였다. 하우스 부착형 방풍벽에 대한 외부 유동장은 Dell PC Pentium (R)4 CPU 3.4GHz를 이용하여 해석하였으며, SST

Table 1. Specification of pipes in greenhouse for grapevine cultivation.

Classification	Gutter beam	Main column	Cross beam	Supp. cross beam	Main rafter	Sub. rafter
Specification	$\phi 48.1 \times 2.1t$	$\phi 48.1 \times 2.1t$	$\phi 48.1 \times 2.1t$	-	$\phi 25.4 \times 1.5t$	$\phi 25.4 \times 1.5t$
Interval & No.	-	2m	2m	-	2m	66.7cm
Classification	Floor beam	Side main rafter	Side sub. rafter	Side beam	Front/Back column	Front/Back cross beam
Specification	$\phi 25.4 \times 1.2t$	$\phi 31.8 \times 1.5t$	$\phi 25.4 \times 1.5t$	$\phi 25.4 \times 1.2t$	$\phi 25.4 \times 1.5t$	$\phi 25.4 \times 1.5t$
Interval & No.	5P/house	2m	66.7cm	3P/side	3P/house	3P/house

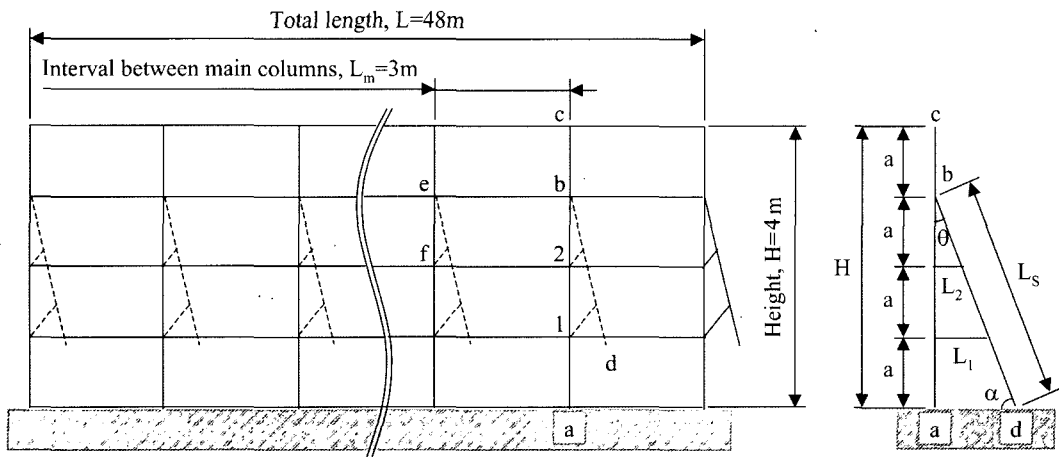
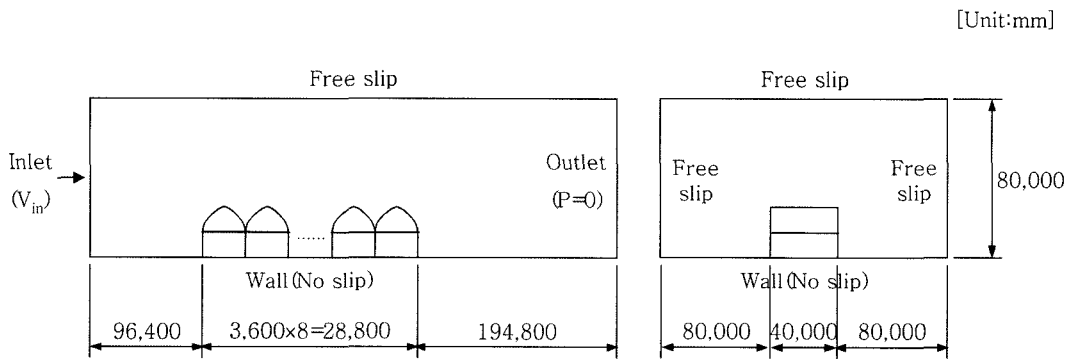


Fig. 4. Configuration and dimensions of a detached wind-protecting wall.

**Table 2.** Specification and dimensions of pipes of detached wind-protecting walls (unit:).

	Classification	Main column	Side beam	Supporting pipe	Sub. supp. pipe 1	Sub. supp. pipe 2
	Specification	$\phi 48.1 \times 3.2t$	$\phi 25.4 \times 1.5t$	$\phi 48.1 \times 2.1t$	$\phi 48.1 \times 2.1t$	$\phi 48.1 \times 2.1t$
Case 1	Interval	$L_m$	$a = 1,000$	$L_m$	$L_m$	$L_m$
	Length	H	$L_m$	$L_S = 3,354.1$	$L_1 = 1,000$	$L_2 = 500$
Case 2	Interval	$L_m$	a	$L_m$	-	-
	Length	H	$L_m$	$L_S$	-	-
Case 3	Interval	$L_m$	a	-	-	-
	Length	H	$L_m$	-	-	-
Case 4	Interval	The same as Case 1		$2L_m$	$2L_m$	$2L_m$
	Length	The same as Case 1				



**Fig. 5.** Schematic of computation domain for flow over greenhouse. The greenhouse is not drawn to scale.

**Table 3.** Descriptions and boundary conditions of the CFD model.

Classification	Methods and conditions
Simulation type	3D, Steady state
Boundary conditions	Inlet : $V_{in} = 30.9m \cdot s^{-1}$ , Turbulence intensity = 5%(Default) Outlet : $P = 0Pa$ , Turbulence intensity = 5%(Default) Top and lateral side : Free slip condition Greenhouse(Plastic film) : No slip condition Ground : No slip condition
Domain models	Fluid : Air at 25°C Reference pressure : 1atm Buoyancy option : Non Buoyant
Turbulence model	SST(Shear Stress Transport) turbulence model
Advection scheme	Specified Blend Factor = 0.75
Convergence control	Physical Timescale = 0.1s

(Shear Stress Transport) 난류모델을 적용하여 운동량 방정식과 난류유동 방정식의 잔차가  $10^{-5}$  이하일 때를 수렴으로 보았다. Fig. 5는 유동해석 영역을, Fig. 6은 6면체 격자와 수렴과정의 잔차를, Table 3은 경계 조건과 해석 조건을 각각 나타낸 것이다. 유동해석 시

사용된 격자수는 총 1,083,648개의 6면체 격자로 인접한 격자 간 각도가  $10.7^{\circ} \sim 23.6^{\circ}$ 로 하여  $9^{\circ}$  이상이 되도록 하였으며 방풍벽의 폭에 따른 수렴까지의 반복수와 유동해석 시간은 Table 4와 같다. 구조해석 시 피이프와 피복재(PE 필름, 0.1mm)의 탄성계수와 프외송

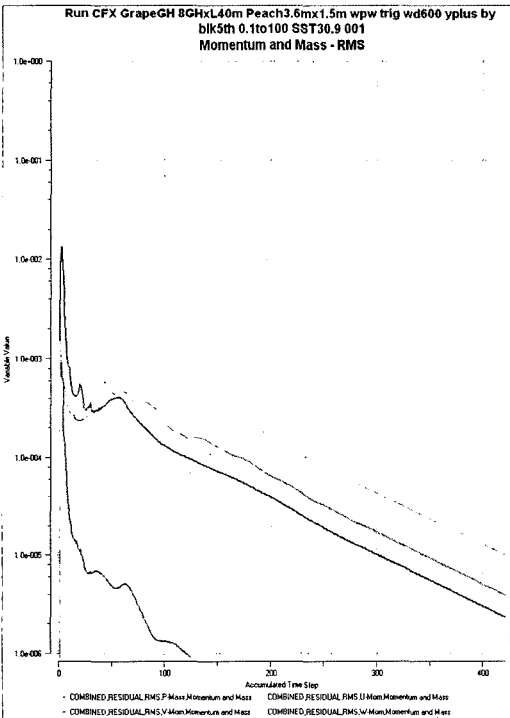
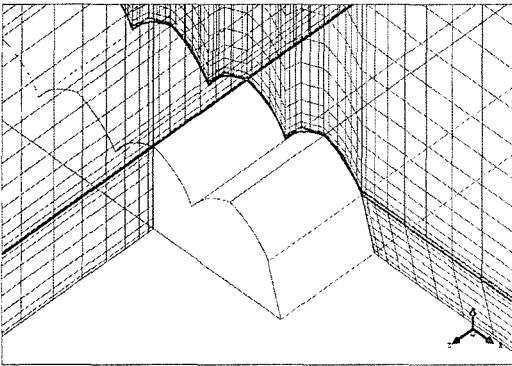
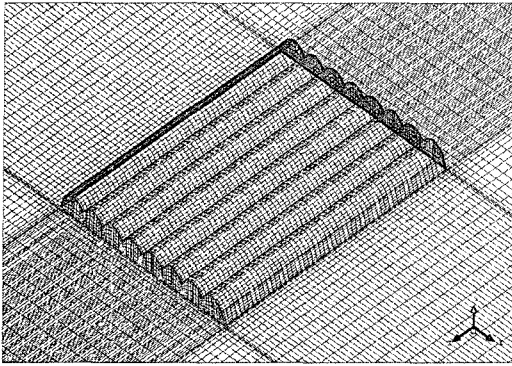


Fig. 6. Illustration of grid(top, middle) and convergence plot(bottom) for an attached wind-protecting width of 60cm and an inlet velocity of  $30.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

비는 각각 200GPa, 0.3과 1,100MPa, 0.42를 적용하였으며 비닐하우스용 파이프와 분리형 방풍벽 파이프의 허용응력은 모두  $157\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ 으로 보았다. 구조해석 시 풍하중에 대한 경계조건은 풍동실험을 통하여 구한 파풍망 메쉬 4mm에서의 풍속  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 대한 압력차 1,117Pa를 적용하였다(Yum et al., 2005). 또한 구조해석 시 하우스 기초의 지점 조건은 파이프 단부를 고정단으로 가정하여 해석하였다(Kim과 Nam, 1995). 비닐하우스 부착형 방풍벽 구조해석 시 파이프 자중(밀도 =  $7,850\text{kg}/\text{m}^3$ )을 고려하였으나 분리형 방풍벽의 경우에는 파이프 자중을 고려하지 않았다.

#### 나. 이론적 고찰

분리형 방풍벽은 Case 1의 경우 주기둥, 가로대, 지지파이프와 보조 지지파이프로 구성되며 Fig. 7은 이들 파이프에 작용하는 모든 하중을 고려한 자유도를 나타낸 것이다. 여기에서 주기둥과 가로대에 작용하는 등분포하중  $q$ 와  $q'$ 은 폭  $3\text{m}\times$ 높이  $1\text{m}$ 로 이루어진 한 개의 파풍망 셀(Fig. 4의 2-b-e-f)에서 받는 풍하중(압력차  $\times$  면적)을 인접한 주기둥과 가로대가 동일하게 분담한다고 가정하여 구하였다.

$$\text{주기둥} : q = \frac{\left(\frac{\Delta P \times A_{\text{cell}}}{4}\right) \times 2}{1000} \approx 1.68\text{N}\cdot\text{mm} \quad (1)$$

$$\text{가로대} : q' = \frac{\left(\frac{\Delta P \times A_{\text{cell}}}{4}\right) \times 2}{3000} \approx 0.56\text{N}\cdot\text{mm} \quad (2)$$

여기서,  $q$ 와  $q'$ 은 주기둥과 가로대에 작용하는 등분포하중( $\text{N}\cdot\text{mm}$ ),  $\Delta P$ 는 파풍망 전후 압력차( $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ),  $A_{\text{cell}}$ 은 파풍망 단위 셀의 면적( $\text{mm}^2$ )을 나타낸다.

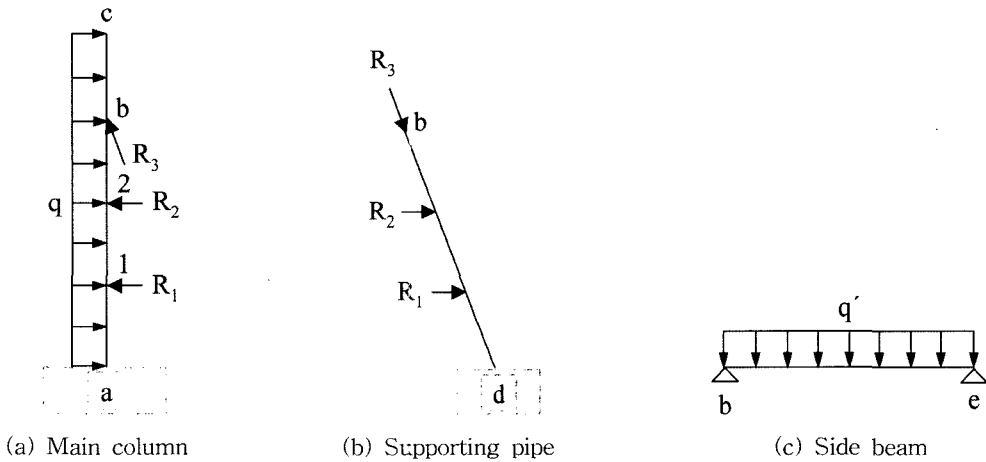
주기둥에는 등분포하중  $q$ 와 각 절점에서의 미지의 반력  $R_1$ ,  $R_2$  및  $R_3$ 가 작용한다고 보았으며 절점 1과 2에서는 보조 지지파이프가, 절점 b에서는 지지파이프가 지지를 하고 있으므로 세 개의 절점 1, 2와 b에서는 처짐이 없다고 가정하여 아래의 방정식을 유도하였다.

$$\delta_1 = 0 = \frac{27qa^4}{8EI} - \frac{R_1a^3}{3EI} - \frac{5R_2a^3}{6EI} - \frac{4(R_3\sin\theta)a^3}{3EI} \quad (3)$$

$$\delta_2 = 0 = \frac{34qa^4}{3EI} - \frac{5R_1a^3}{6EI} - \frac{8R_2a^3}{3EI} - \frac{14(R_3\sin\theta)a^3}{3EI} \quad (4)$$

**Table 4.** Information on grid and iteration effort in CFX according to the variation of width of a wind-protecting wall in greenhouse for an inlet velocity of 30.9m·s<sup>-1</sup>.

Width	No. of hexahedrons	Min. angle of hexahedrons (Mesh quality)	Dimensionless distance from the wall, $y^+(y_{min}^+ \sim y_{max}^+)$		Iterations converged	Total CPU
			Greenhouse	Ground		
0cm	1,083,648	23.6°	4.6~407.9	16.2~397.8	1,115	-
30cm	1,083,648	15.1°	5.4~373.5	12.2~386.3	589	-
60cm	1,083,648	11.0°	1.5~420.7	6.9~445.6	421	15.4h
90cm	1,083,648	10.7°	6.5~1,668.5	17.7~452.8	451	16.3h



**Fig. 7.** Free body diagrams of the pipes in a detached wind-protecting wall (Case 1).

$$\delta_b = 0 = \frac{171qa^4}{8EI} - \frac{4R_1a^3}{3EI} - \frac{14R_2a^3}{3EI} - \frac{9(R_3 \sin\theta)a^3}{EI} \quad (5)$$

여기서,  $\delta_b$ 는 처짐량(mm)으로서 침자 1은 주기둥과 첫 번째 보조지지파이프의 연결점, 침자 2는 주기둥과 두 번째 보조지지파이프의 연결점, 침자 b는 주기둥과 지지파이프가 만나는 지점을 각각 나타낸다. 또한,  $R_1$ 과  $R_2$ 는 첫 번째와 두 번째 보조지지파이프의 반력(N),  $R_3$ 는 지지파이프의 반력(N),  $E$ 는 탄성계수(N·mm<sup>-2</sup>),  $I$ 는 중립축에 대한 단면 2차 관성모멘트(mm<sup>4</sup>),  $\theta$ 는 주기둥과 지지파이프 연결점의 상대 각도(°)이다.

위 세 개의 연립방정식으로부터 다음의 세 지지 반력  $R_1$ ,  $R_2$  및  $R_3$ 를 구하였다.

$$R_1 = 1997.74N \quad (6)$$

$$R_2 = 547.74N \quad (7)$$

$$R_3 = 7601.07N \quad (8)$$

굽힘모멘트 선도로부터 주기둥에 작용하는 최대 굽힘모멘트( $M_{max}$ )는 절점 b에서 나타나므로 이 부위의 전방표면에 나타나는 최대응력  $\sigma_m$ 은 최대 굽힘모멘트  $M_{max}$ 로 인한 굽힘응력과 인장하중  $P=R_3 \cos\theta$ 로 인한 인장응력을 더하여 구하였다.

$$M_{max} = \frac{qa^2}{2} \quad (9)$$

$$\sigma_m = \frac{M_{max}}{I}y + \frac{P}{A} = \frac{M_{max}}{\frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)} \times \frac{d_o}{2} + \frac{R_3 \cos\theta}{\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)} \quad (10)$$

여기서,  $y$ 는 중립축으로부터의 거리(mm),  $d_o$ 와  $d_i$ 는 각각 파이프의 외경(mm)과 내경(mm)을 나타낸다. 가로대에는 등분포하중  $q'$ 으로 인하여 가로대 중앙에서 최대 굽힘모멘트가 발생하므로 가로대 중앙의 전·후방 표면에서 나타나는 최대응력은 중앙부의 최대 굽힘모멘트로부터 구하였다. 지지파이프의 경우 고정단 d에서

**Table 5.** Maximum bending moment and maximum stress on each of the pipes.

Values	Main column	Side beam	Supporting pipe
Max. bending moment ( $M_{max}$ )	$\frac{qa^2}{2}$	$\frac{q'L_m^2}{8}$	$-R_1\sin\alpha \times \frac{L_S}{3} - R_2\sin\alpha \times \frac{2L_S}{3}$
Axial load (P)	$R_3\cos\theta$	-	$R_1\cos\alpha + R_2\cos\alpha + R_3$
Max. stress ( $s_m$ )	$\frac{M_{max}}{I}y + \frac{P}{A}$	$\frac{M_{max}}{I}y$	$\frac{M_{max}}{I}y + \frac{P}{A}$

최대 굽힘모멘트가 나타나므로 고정단 d의 후방표면에 나타나는 최대응력  $\sigma_m$ 은 최대 굽힘모멘트  $M_{max}$ 로 인한 굽힘응력과 압축하중  $P=R_1\cos\alpha + R_2\cos\alpha + R_3$ 로 인한 압축응력을 더하여 구하였다(Table 5). 그리고 보조 지지파이프의 경우에는 압축하중이 걸려 좌굴이 발생할 수 있으므로 좌굴 발생 여부를 검토하였다. 즉, 보조 지지파이프를 양단이 핀 연결된 기둥으로 간주하여 압축하중  $R_1$ 과  $R_2$ 가 임계하중  $P_{cr}$ 보다 작은 지를 검토하였다.

보조 지지파이프 1 :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_1^2} = \frac{\pi^2 E \times \frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)}{L_1^2} \quad (11)$$

보조 지지파이프 2 :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_2^2} = \frac{\pi^2 E \times \frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)}{L_2^2} \quad (12)$$

Case 2에 대해서는 보조 지지파이프 1과 2가 없으므로  $R_1=R_2=0$ 이고 절점 b에서의 처짐이 없다는 가정, 즉  $\delta_b=0$ 으로부터  $R_3$ 를 구하였다(식 13). 또한 이 경우에는 전단력 선도 상에 전단력이 0인 지점이 나타나므로 자유단 c로부터 전단력이 0인 지점까지의 거리 x를 구하여 굽힘모멘트를 구하고 그 값을 고정단 a의 굽힘모멘트와 비교하여 그 중 큰 값을 최대 굽힘모멘트로 보았다. 이 경우 계산 결과, 최대 굽힘모멘트가 고정단 a에 나타나 주기둥의 고정단 전방표면에 걸리는 최대응력은 Case 1에서와 같이 최대 굽힘모멘트로 인한 굽힘응력과 인장하중  $P=R_3\cos\theta$ 로 인한 인장응력을 더하여 구하였다. 또한 가로대에 나타나는 최대 굽

힘모멘트와 최대응력은 Case 1에서와 동일한 방법으로 구하였다.

$$\delta_b = 0 = \frac{171qa^4}{8EI} - \frac{9(R_3\sin\theta)a^3}{EI} \quad (13)$$

$$V = 0 = qx - R_3\sin\theta \quad (14)$$

$$M_{max} = R_3\sin\theta(x - a) - \frac{q}{2}x^2 \quad (15)$$

여기서, V는 전단력(N), x는 주기둥 끝단으로부터의 거리(mm)이다.

Case 3의 경우 주기둥은 등분포하중 q만 작용하는 외팔보가 되며 최대 굽힘모멘트는 고정단 a에 나타나므로 주기둥 전방표면에 나타나는 최대응력은 이 부위의 최대 굽힘모멘트로부터 구하였다. 또한 가로대에 작용하는 최대 굽힘모멘트와 최대응력은 Case 1과 2에서와 동일한 방법으로 구하였다.

$$M_{max} = -\frac{qL_m^2}{2} \quad (16)$$

$$\sigma_m = \frac{M_{max}}{I}y = \frac{M_{max}}{\frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)} \quad (17)$$

## 결과 및 고찰

### 1. 하우스 부착형 방풍벽

Fig. 8은 비닐하우스 측면부로  $30.9m \cdot s^{-1}$ 의 바람이 분다는 조건에서 방풍벽이 없을 때( $W=0cm$ )와 방풍벽을 설치했을 때( $W=60cm$ ) 하우스 길이 중간 단면에서의 유동장과 비닐하우스 피복재 표면에서의 압력분포를 나타낸 것이다. 하우스 상단부위에 나타나는 최대

ANSYS와 CFX를 이용한 방풍벽의 구조 안전성 분석

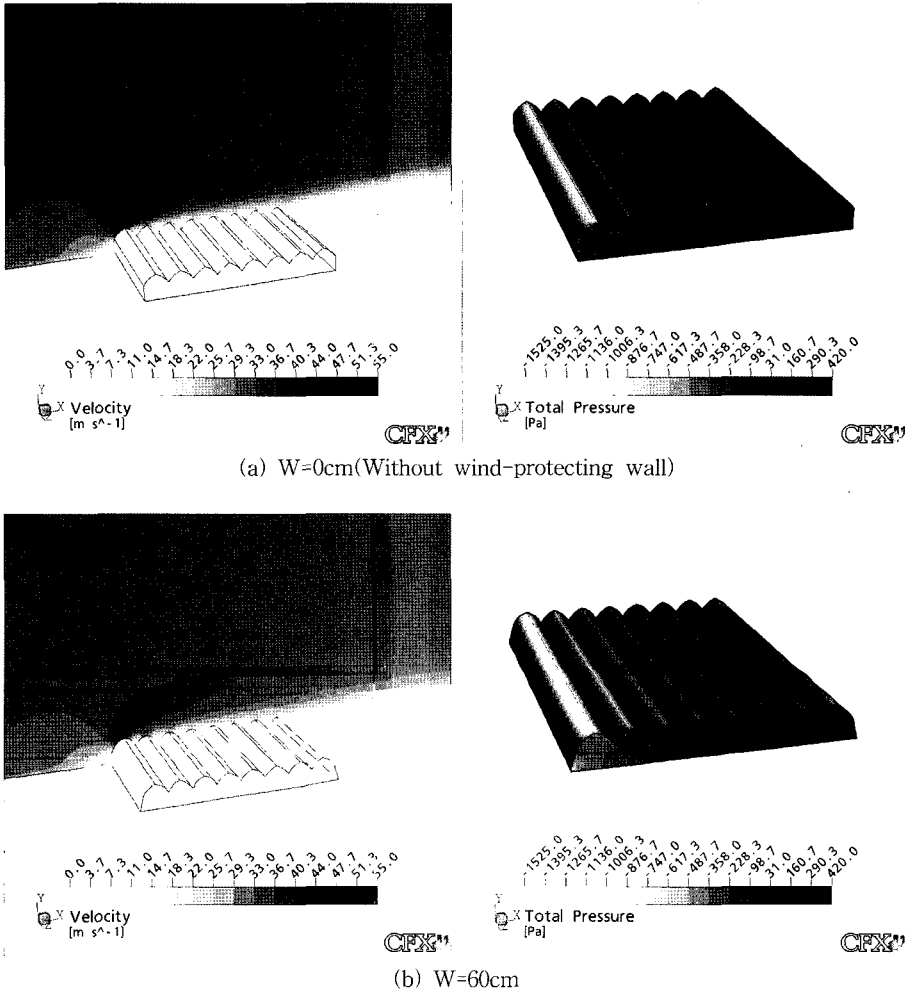
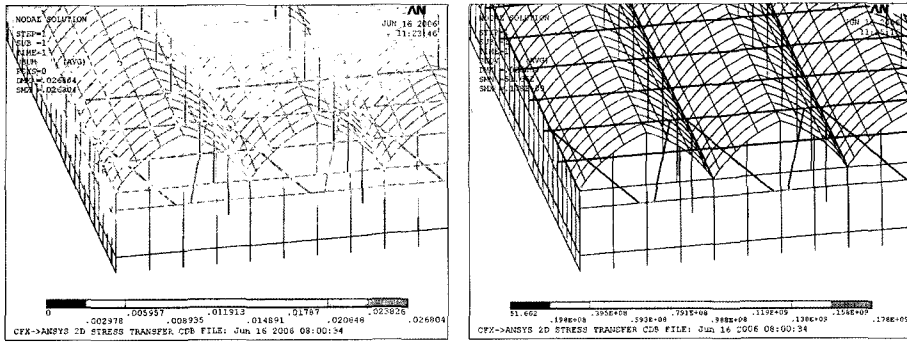


Fig. 8. Distribution of velocity contour( $m \cdot s^{-1}$ , left) and total pressure(Pa, right) on the surface of the wind-protecting wall according to the variation of width in greenhouse for an inlet velocity of  $30.9m \cdot s^{-1}$ .

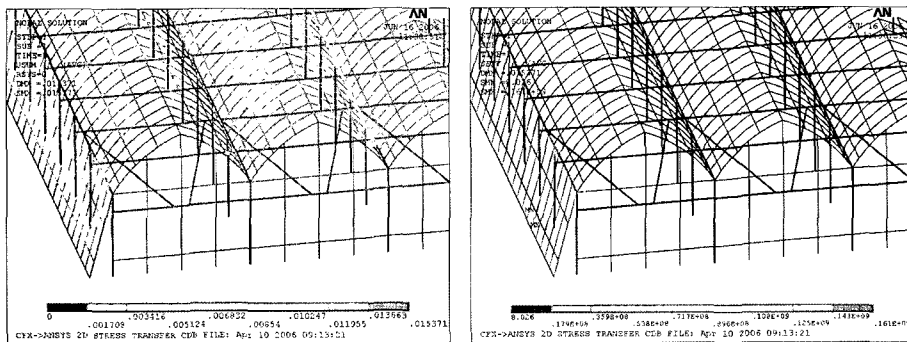
속도는 방풍벽이 없을 때  $53.7m \cdot s^{-1}$ 이었으나 방풍벽의 폭이 60cm일 때는  $54.3m \cdot s^{-1}$ 로 방풍벽이 있을 때 약간 증가하는 것으로 나타났다. 방풍벽 설치유무에 따른 양(+)의 최대압력은 387.7~415.9Pa로 큰 차이를 보이지 않았으나 최대압력이 나타나는 부위의 면적은 방풍벽을 설치했을 때가 없을 때보다 다소 작아지는 것으로 나타나 방풍벽이 측면부의 강한 풍하중을 작으나마 다소 완화시키는 것으로 분석되었다. Fig. 9는 유동해석에서 구해진 풍압(전체압력)에 의한 비닐하우스 파이프의 변위와 응력분포를 나타낸 것이다. 파이프에 걸리는 최대응력의 경우, 방풍벽이 없을 때( $W=0cm$ )  $178.0N \cdot mm^{-2}$ 이었으나  $W=30\sim 60cm$ 로 설치

시  $161.0N \cdot mm^{-2}$ 로 감소하여 방풍벽 설치로 인하여 약 11% 정도 구조 안전성이 향상되는 것으로 나타났다. 방풍벽 설치 유무에 따른 유동장 측면에서 큰 차이를 보이지 않았음에도 불구하고 방풍벽 설치 시 비닐하우스의 구조 강도가 어느 정도 향상된 것은 방풍벽 설치 시 부가적인 파이프가 투입되어 구조적으로 보강되었기 때문인 것으로 판단된다. 방풍벽의 폭  $W=90cm$ 의 경우  $W=30\sim 60cm$ 에서 보다 최대응력이 약간 더 크게 나타나는 이유는 무차원 거리  $y'$ 가 다른 경우에서보다 부정확하여 방풍벽 인근의 유동을 정확하게 예측하지 못했기 때문인 것으로 판단된다(Table 6).





(a) W=0cm(Without wind-protecting wall)



(b) W=60cm

**Fig. 9.** Distribution of deflection(mm, left) and von Mises stress( $N \cdot mm^{-2}$ , right) of pipes according to the variation of width in greenhouse for an inlet velocity of  $30.9m \cdot s^{-1}$ .

**Table 6.** Results of flow and structural analysis according to the variation of width of a wind-protecting wall in greenhouse for an inlet velocity of  $30.9m \cdot s^{-1}$ .

Width	Result	Flow analysis		Structural analysis	
	Max. velocity ( $m \cdot s^{-1}$ )	Total pressure (Pa)	Max. deflection (mm)	Max. stress ( $N \cdot mm^{-2}$ )	
0cm	53.7	-1,522.3~415.9	26.8	178.0	
30cm	54.6	-1,477.7~405.6	14.6	161.0	
60cm	54.3	-1,519.3~398.7	15.4	161.0	
90cm	53.1	-1,461.1~387.7	17.3	168.0	

**Table 7.** Von-mises stress on each of pipes according to the variation of width of a wind-protecting wall in greenhouse for an inlet velocity of  $30.9m \cdot s^{-1}$ .

Width	Pipe	Max. stress( $N \cdot mm^{-2}$ )										
		Gutter beam	Main col.	Cross beam	Main rafter	Sub. rafter	Floor beam	Side main rafter	Side sub. rafter	Side beam	F/B col.	F/B cross beam
0cm		23.5	-	49.4	70.0	69.9	111.0	178.0 <sup>2</sup>	173.0	89.1	54.7	77.3
30cm		42.5	92.1	36.7	76.8	79.2	136.0	161.0	150.0	55.8	22.0	28.4
60cm		50.0	88.9	33.3	78.6	81.2	139.0	161.0	156.0	57.0	18.0	33.2
90cm		60.0	91.9	32.6	80.9	79.5	135.0	168.0	166.0	57.3	14.9	41.1

<sup>2</sup>Main column included.

**Table 8.** Maximum stress of pipes resulted from structural analysis using ANSYS.

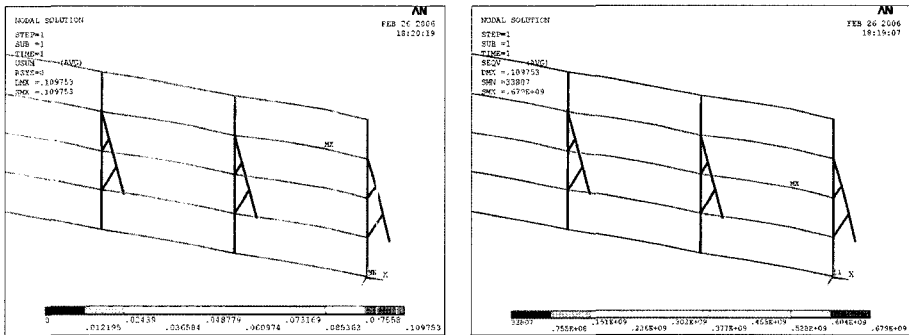
Classification	Maximum stress(N·mm <sup>-2</sup> )					
	Main column	Side beam	Supporting pipe	Sub. supp. pipe 1	Sub. supp. pipe 2	
50.0m·s <sup>-1</sup>	Case 1	193.0	679.0	223.0	135.0	136.0
	Case 2	303.0	712.0	253.0	-	-
	Case 3	4,620.0	821.0	-	-	-
	Case 4	1,800.0	1,830.0	572.0	302.0	350.0

**2. 분리형 방풍벽**

Table 8은 풍속 50m·s<sup>-1</sup>의 바람이 분다는 조건에서 분리형 방풍벽의 3차원 구조 안전성 결과를 나타낸 것으로 Case 1, 2, 3 및 4의 경우 모두 파이프의 응력이 허용응력(157.0N·mm<sup>-2</sup>)을 초과하여 불안정해지는 것으로 분석되었으며 Case 1의 경우 가로대에서 응력이 가장 크게 걸리는 것으로 나타나 이 부위에 대한 구조보강이 필요한 것으로 나타났다. Case 2의 경우에는 보조 지지파이프가 없음으로 인해 지지파이프의 응력이 다소 증가하나 주기둥의 응력은 1.5배 정도 증가하는 것으로 분석되었으며 지지파이프와 보조 지지파이프 없이 주기둥과 가로대만으로 이루어진 Case 3의 경우에는 주기둥에 걸리는 최대응력이 상당히 증가하는 것으로 나타나 지지파이프가 구조적으로 분리

형 방풍벽에 있어서 매우 중요한 부재인 것으로 분석되었다.

Table 9는 이론적 고찰을 통한 분리형 방풍벽의 구조 안전성 결과를 나타낸 것으로 구조해석 결과와 마찬가지로 Case 1, 2, 3의 경우 모두 구조적으로 불안정한 것으로 나타났다. Case 1과 2의 경우 주기둥에 걸리는 응력은 3차원 구조해석 결과와 비슷하게 나타났으나 가로대, 지지파이프 및 보조 지지파이프의 경우에는 큰 차이를 보였으며 Case 3의 경우 주기둥에 걸리는 최대응력은 2,827.3N·mm<sup>-2</sup>로 구조해석 결과(4,620N·mm<sup>-2</sup>)와 상당한 차이를 보였다. 이는 파풍망이 받는 풍하중을 주기둥과 가로대가 동일하게 분담한다는 가정과 절점 1, 2 및 b에서 처짐이 없다는 가정 그리고 지지파이프와 보조 지지파이프가 축 하중만을



**Fig. 10.** Distribution of deflection(mm, left) and von-Mises stress(N·mm<sup>-2</sup>, right) of pipes in a detached wind-protecting wall for an inlet velocity of 50m·s<sup>-1</sup>(case1).

**Table 9.** Maximum stress of pipes resulted from theoretical studies.

Classification	Maximum stress(N·mm <sup>-2</sup> )					
	Main column	Side beam	Supporting pipe	Sub. supp. pipe 1	Sub. supp. pipe 2	
50.0m·s <sup>-1</sup>	Case 1	176.7	991.0	953.6	17.7	4.9
	Case 2	333.6	991.0	29.3	-	-
	Case 3	2,827.3	991.0	-	-	-

받는다든가 가정에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 3차원 구조물을 2차원적으로 해석하거나 이론적 고찰을 통하여 구조적 안전성을 평가할 경우 그 정확성에 한계가 있음을 알 수 있다.

## 적 요

대립계 포도 비가림하우스에 부착된 일체형 방풍벽과 노지에 설치된 분리형 방풍벽의 구조 안전성을 설계풍속  $30.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 와  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  조건에서 각각 분석하였다. 비닐하우스 부착형 방풍벽의 경우, 방풍벽을 설치했을 때 방풍벽의 경사각이 측면부의 유동분포에 미미한 변화를 주어 측면부가 받는 풍압면적이 다소 감소하는 것으로 나타났으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나 구조강도 측면에서는 방풍벽 설치를 위한 추가적인 파이프 투입 효과로 약 11% 정도 구조 안전성이 향상되는 것으로 분석되었다. 주기동 간격이 3m인 분리형 방풍벽의 경우, 대형 태풍수준인  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 구조적으로 불안정한 것으로 나타났으며 분리형 방풍벽의 이론적 고찰 결과와 해석 결과와는 큰 차이를 보여 3차원으로 구성된 구조물의 2차원 모델 시 그 정확성에 한계가 있음을 알 수 있었다. 추후 분리형 방풍벽의 효율성을 증대하기 위하여 최적 파이프 규격 설정에 관한 세부적인 연구가 필요할 것으로 판단되며 비닐하우스 부착형 방풍벽의 경우, 태풍으로 인한 비닐하우스 피해 발생 시 정밀한 피해실태 조사를 통하여

분석 결과의 정확성을 향상시킬 수 있는 구조 안전성 분석 기법 개발에 관한 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

**주제어** : 구조해석, 방풍벽, 비닐하우스, 유체-구조, 최대응력, 파풍망, ANSYS, 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. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, Y.I. Kang, Y.H. Kim, and Y.H. Kim. 2005. Analysis of the Structural Safety in a Non-heating Greenhouse with a Single Cover for Citrus Cultivation in Jeju. *Journal of Bio-Environment Control* 14(3):166-173 (in Korean).
3. Yum, S.H., H.J. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, Y.I. Kang, N.G. Yun, and J.H. Jeong. 2005. Analysis on the Effect of Structural Reinforcement on the Components of the Non-heating Greenhouse in Jeju Using ANSYS/CFX. *Proceedings of the International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural Systems* 339-344 (in English).
4. 直木太一, 大部美保, 塚元谷一郎, 化房秀敏, and 高木杏子. 2005. 練早湾 干拓地における PE 防風ネットの効果特性. *Proceedings of the International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural Systems* 293 (in Japanese).