

## 전산 해석에 의한 파풍망의 설치 효과와 최적 파이프 규격

염성현 권기정 성시흥 최영돈

### The Installation Effect and Optimal Pipe Sizes of an Anti-Wind Net by Computational Analysis

S. H. Yum K. J. Kwon S. H. Sung Y. D. Choi

#### Abstract

This study was carried out to: (1) visualize the installation effect of an anti-wind net; (2) evaluate structural stability of typical anti-wind nets in Jeju; and (3) present the optimal specification of pipes in an anti-wind net for maximum instant wind velocities of 40 m/s and 45 m/s. The analyses were done for anti-wind nets with a mesh of 4 mm and a height of 3 m by using CFX and ANSYS. The results showed that the wind went down due to flow resistance when passing through an anti-wind net. The anti-wind net with the supporting pipe being installed every two main columns was certainly unstable because the main column not sustained by the supporting pipe became cantilever. With regard to the position of a fixing point of the supporting pipe, von Mises stress on pipes was certainly increased as vertical positions of the supporting pipe were changed to be too lower or higher than an adequate position but there was little difference according to horizontal positions. The adequate vertical position was 2~2.5 m high from the ground. For a maximum instant wind velocity of 40 m/s, the optimal specification of pipes was a main column of  $\phi 48.1 \times 2.1$  t@2,000, cross beams(bottom and top) of  $\phi 26.7 \times 1.9$  t, cross beams(center) of  $\phi 33.5 \times 2.1$  t/2ea and a supporting pipe of  $\phi 31.8 \times 1.5$  t@2,000. In case of a maximum instant wind velocity of 45 m/s, the optimal specification of pipes with structural stability was a main column of  $\phi 48.6 \times 3.25$  t@2,000, cross beams(bottom and top) of  $\phi 26.7 \times 1.9$  t, cross beams(center) of  $\phi 48.1 \times 2.1$  t/2ea and a supporting pipe of  $\phi 31.8 \times 1.5$  t@2,000.

**Keywords :** ANSYS, Anti-wind net, CFX, Pressure drop, Structural stability, Wind tunnel

#### 1. 서론

제주는 태풍의 영향을 많이 받는 지역이다. 한라산을 중심으로 제주에서도 지역마다 차이가 있으나 태풍이 지나갈 때 순간최대풍속은 35~60 m/s 정도에 이른다. 최근 국내에 큰 피해를 준 태풍으로 '02년 8월 31일 루사(순간최대풍속 고산 56.7 m/s와 서귀포 40.8 m/s), '03년 9월 12일 매미(순간최대 풍속 제주 60.0 m/s와 서귀포 36.8 m/s)와 '07년 9월 16일 나

리(순간최대풍속 고산 52.0 m/s와 제주 36.1 m/s) 등을 들 수 있다.

제주지역은 빈번한 태풍 내습으로 인한 시설 및 작물을 보호하기 위하여 비닐하우스의 경우 주서까래를  $\phi 48.1 \times 2.1$  t@2,000(외경×두께@설치 간격)으로 시공하고, 노지 감귤의 경우에는 방풍림을 이용하거나 파풍망을 설치하여 감귤의 피해를 최소화하고 있다(Yum et al., 2006). 그러나 파풍망의 경우 파이프 규격이 약하여 파풍망을 지지하는 파이프 자체

The article was submitted for publication in October 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2007. The authors are Sung Hyun Yum, Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering(NIAE), Ki Jeong Kwon, Researcher, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Korea, Si Heung Sung, Professor, Dept. of Agricultural & Biosystems Engineering, Konkuk University, Chungju, Korea, and Young Don Choi, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul, Korea. Corresponding author: S. H. Yum, Researcher, Agricultural Facilities and Resources Engineering Division, NIAE, RDA, Suwon, 441-707, Korea; Fax: +82-31-290-1945; E-mail: <shyum@rda.go.kr>.

가 강한 풍하중으로 도복될 우려가 있다. 파풍망은 방풍 넷(메쉬)와 세 개의 주요 파이프 즉 주기둥(main column), 가로대(cross beam) 및 지지파이프(supporting pipe)로 구성되어 지나 농가마다 파이프 규격을 달리하여 사용하고 있는 실정이다. 지지파이프 없이 주기둥과 가로대만으로 이루어진 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 4 m, 주기둥 3 m × 지지파이프 6 m)의 경우 주기둥에 최대응력이 걸려 지지파이프가 매우 중요한 부재인 것으로 알려져 있다(Yum et al., 2006). 본 연구는 농가에 시공된 파풍망(메쉬 4 mm × 높이 3 m)의 유동감속 효과와 구조적 안전성을 검토하고 제주지역에서 이용가능한 파이프 규격 중 구조적으로 안전하면서 시공비가 저렴한 최적 파이프 규격을 제시하기 위하여 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 설계아중

제주는 태풍의 내습 등으로 바람의 세기가 강하다. 그림 1은 제주시의 1961년부터 2005년까지 연도별 순간최대풍속을 나타낸 것으로 1961~2005년까지 순간최대풍속의 평균치가 32.4 m/s에 이른다. 본 연구에서는 30년 빈도 기준 제주지역의 설계풍속이 40 m/s 이상(농림부와 농촌진흥청, 2007)인 점을 고려하여 순간최대풍속을 40 m/s와 45 m/s로 구분하여 파풍망 시설의 구조적 안전성을 검토하였다.

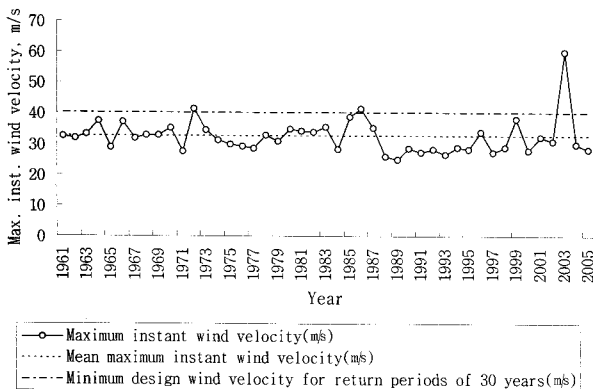


Fig. 1 Variation of maximum instant wind velocity in Jeju.

파풍망 메쉬는 작을수록 촘촘한 것을 의미하며 바람을 막는 효과가 그만큼 커진다. 그림 2는 제주지역에서 일반적으로 사용하는 파풍망(메쉬 4 mm) 설치 모습(a), 파풍망 메쉬(b), 풍동실험 모습(c)과 풍속에 따른 압력강하 특성(d)을 각각 나타낸 것이다. 파풍망 전후 압력차는 풍동(폐쇄형 1×0.75 m, 최대풍속 100 m/s, 한국항공우주연구원) 내부에 파풍망이 장

착된 넷 지그를 설치한 후 풍속을 증가시켜 가면서 측정하였다. 풍동실험을 통하여 구한 메쉬 4 mm인 파풍망의 풍속에 따른 압력강하 특성은 그림 2(d)로부터 회귀식 (1)을 구할 수 있다.

$$\Delta P = 0.6672 V + 0.4331 V^2 \quad (1)$$

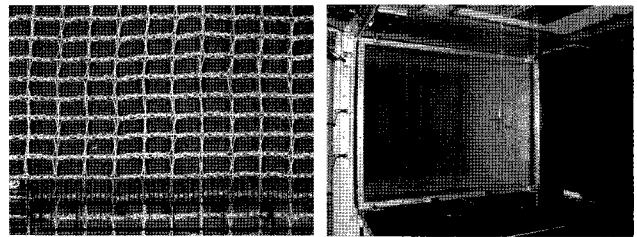
여기서,  $\Delta P$  : 압력차(Pa)

$V$  : 풍속(m/s)

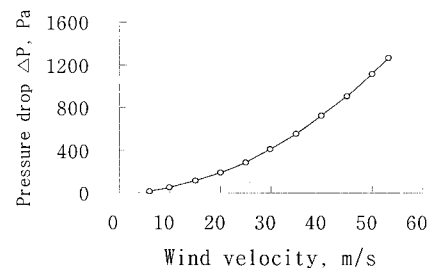
식 (1)은 파풍망 주위 유동해석 시 다공성 매체의 특성 값으로 이용하였고 파풍망에 부가되는 풍하중은 풍동실험으로부터 직접 구해진 순간최대풍속 40 m/s와 45 m/s에서의 압력차 722.0 Pa과 906.0 Pa을 적용하였다.



(a) Typical anti-wind nets generally used in Jeju



(b) An anti-wind net of 4 mm (c) Test view in wind tunnel



(d) Relationship between wind velocity and pressure drop

Fig. 2 Pressure drop characteristics according to wind velocity through an anti-wind net of 4 mm.

### 나. 유동해석

열·유동해석 상용코드인 CFX 11.0(ANSYS Inc., USA)을 이용하여 파풍망을 통한 유동감속 효과를 검토하였으며 유동영역에 대한 정상상태 운동량방정식은 식 (2)와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_i \quad (2)$$

여기서,  $\rho$ 는 밀도,  $U$ 는 속도,  $p$ 는 압력,  $g$ 는 중력가속도,  $\tau$ 는 응력,  $S$ 는 Momentum source를 나타낸다. 유동해석 시 파풍망은 압력강하를 일으키는 다공성 매체(porous media)로 처리하였으며 다공성 매체에서의  $S_i$ 는 식 (3)으로 표현되어질 수 있다.

$$S_i = -C_{R1} U_i - C_{R2} |U| U_i \quad (3)$$

여기서,  $C_{R1}$  : linear resistance coefficient

$C_{R2}$  : quadratic resistance coefficient

그리고 다공성 매체에서의 압력강하는 Darcy's law의 형태인 식 (4)로 표현된다.

$$- \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\mu}{K_{perm}} U_i + K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_i \quad (4)$$

여기서,  $\mu$ 는 점성계수,  $K_{perm}$ 은 Permeability,  $K_{loss}$ 는 실험적 손실계수(empirical loss coefficient)를 나타낸다. 식 (1), (3) 및 (4)로부터  $C_{R1}$ 과  $C_{R2}$ 를 구하여 CFX Solver의 관련 계수 항목에 적용하였다. 염 등(2005)은 순간최대풍속 50 m/s 조건에서 파풍망을 두께 0.2 mm의 다공성 매체로 보고 Momentum source 항을 처리하였으나 본 연구에서는 파풍망을 1 mm의 두께를 갖는 다공성 매체로 처리하였다.

$$C_{R1} = 0.6672/0.001 = 667.2 \text{ [kg/m}^3\text{/s]} \quad (5)$$

$$C_{R2} = 0.4331/0.001 = 433.1 \text{ [kg/m}^4\text{]} \quad (6)$$

그림 3은 파풍망(메쉬 4 mm × 높이 3 m)의 유동해석 영역(파풍망 폭 60 m, 전체 폭 200 m)과 경계조건을 나타낸 것이며 표 1은 세부 해석 조건을 나타낸 것이다. 파풍망의 높이를

3 m로 하고 파풍망 전면에 균일 입구 풍속을, 후면에는 압력 조건을 주었다. 또한 지면은 No slip 조건을, 상면과 양 측면에는 Free slip 조건을 주어 유동장을 해석하였다. 난류모델은 SST(Shear Stress Transport) 모델을 적용하였으며 난류강도는 입구와 출구 모두 5 %로 가정하였다. 해석에 사용된 격자수는 1,087,065개로 정렬 육면체 격자(structured hexahedrons)를 사용하였다.

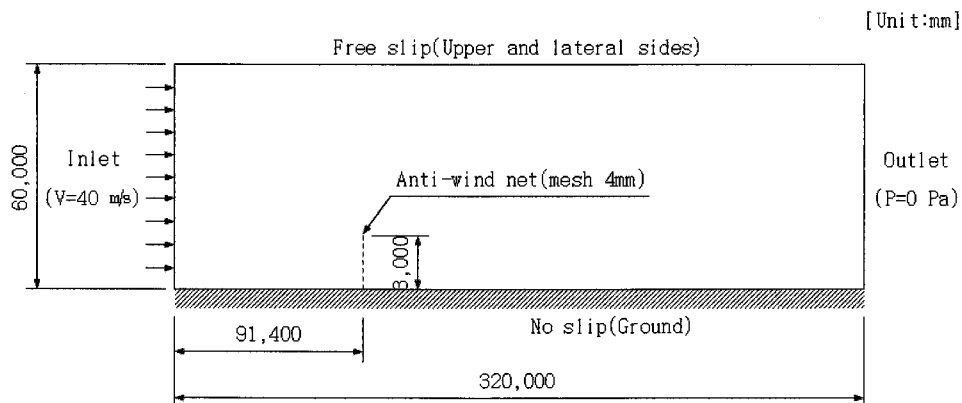
**Table 1** Descriptions and boundary conditions of the CFD model.

Classification	Methods and conditions
Simulation type	3D, Steady state
Boundary conditions	Inlet : V = 40 m/s Outlet : P = 0 Pa Upper and lateral sides : Free slip Ground : No slip Anti-wind net : Porous media
Domain models	Fluid : Air at 25 °C Reference pressure : 1 atm Buoyancy option : Non buoyant
Advection scheme	Specified blend factor = 0.75

그림 4는 순간최대풍속 40 m/s 조건에서 운동량 방정식과 난류운동에너지 등의 잔차를 나타낸 것이며 잔차가  $10^{-5}$  이하로 떨어졌을 때 해가 수렴된 것으로 보았다.

#### 다. 구조 안전성 분석

원예시설 등의 구조 안전성은 파이프 소재의 강도에 따라 달라진다. 지금까지 골조용 파이프로 일반 농업용 파이프(인장강도 27.0 kg/mm<sup>2</sup>, 항복강도 20.5 kg/mm<sup>2</sup>)를 이용하였으나 폭설 및 강풍 등으로 인한 빈번한 시설 피해로 2007년 4월부터 가격 면에서 차이가 없으면서 파이프 소재의 강도를 높인 SGH400(인장강도 40.0 kg/mm<sup>2</sup>, 항복강도 29.5 kg/mm<sup>2</sup>) 이상의 파이프를 골조용 파이프로 사용하도록 규정하고 있다



**Fig. 3** Computational domain and boundary conditions around an anti-wind net. the domain is not drawn to scale.

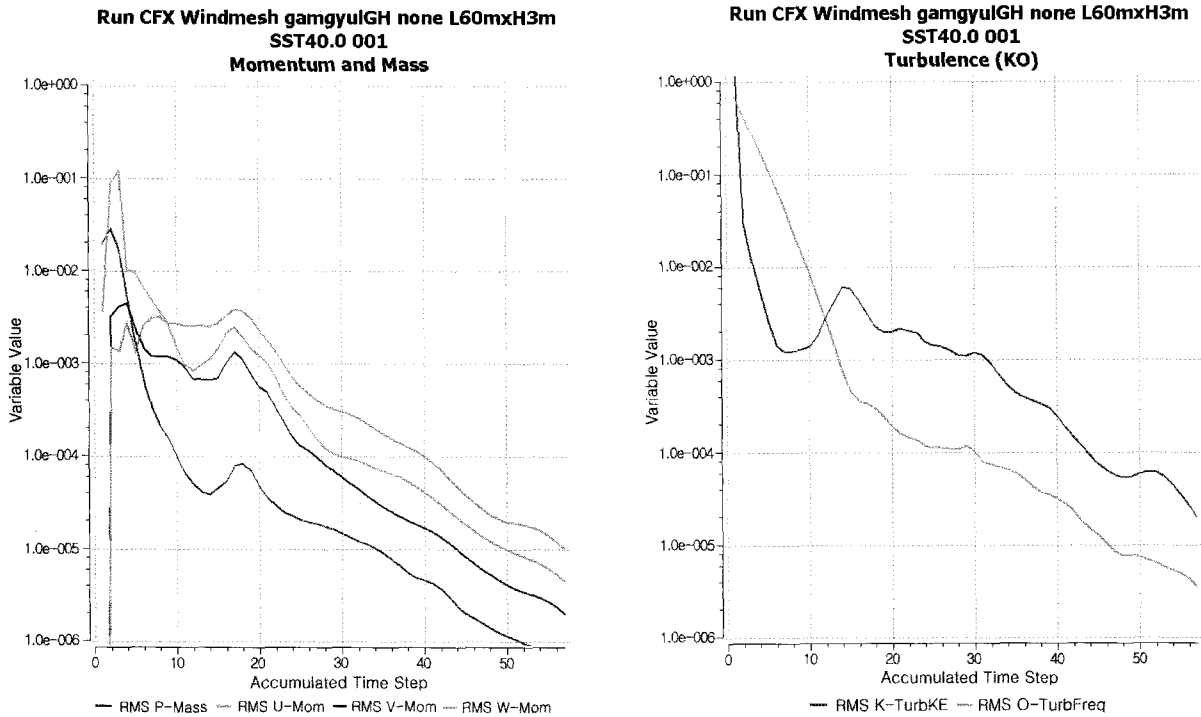


Fig. 4 Convergence behavior of momentum and turbulence equations for the V = 40 m/s inlet flow.

(농림부와 농촌진흥청, 2007). 따라서 본 연구에서는 SGH400 파이프를 이용하여 파풍망 시설에 대한 구조 안전성을 검토하였다. 표 2는 구조해석에 사용된 파이프(SGH400)와 파풍망(PE)의 물성치를 나타낸 것이다. 순간최대풍속에서의 압력차는 유한요소해석 상용코드인 ANSYS 11.0(ANSYS Inc., USA)의 경계조건으로 적용하였으며 파풍망 전후 압력차를 직접 파이프에 부가시키지 않고 파풍망에 해당하는 면(Surface)을 생성하여 압력을 부가하였다. 주기둥과 지지파이프의 구속 조건은 고정으로 가정하였으며 파풍망의 저항력이 가장 크게 되는 조건 즉, 풍속이 파풍망 정면으로 분다는 조건에서 파풍망의 구조적 안전성을 검토하였다.

Table 2 Material properties used in structural analysis.

Material	Modulus of elasticity (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson's ratio
Pipe (SGH400)	200×10 <sup>3</sup>	0.30
PE	0.2×10 <sup>3</sup>	0.42

파풍망 시설의 구조 안전 판단 기준은 SGH400 파이프에 걸리는 최대응력이 부재의 허용응력( $\sigma_a = 211.0 \text{ N/mm}^2$ ) 미만일 때로 보았으며 구조 안전성은 크게 네 가지로 나누어 검토하였다. 1) 기존 파풍망 시설의 구조적 안전성, 2) 지지파이프의 설치 간격에 따른 구조적 안전성, 3) 지지파이프의 고정 위치에 따른 구조적 안전성, 4) 파풍망 시설의 최적 파이프 규격을 검토하였다. 파풍망 시설의 파이프 규격 설정 시에는

파이프와 파이프 체결부품을 고려하여 규격을 설정하였다. 현재 제주지역에서 주기둥과 가로대를 체결할 수 있는 결속 부품으로 U 클램프(50×40, 40×40, 40×25 및 40×20)와 회전(또는 고정) 클램프(50×50, 50×40 및 40×40) 등을 이용할 수 있어 파이프 규격을  $\phi 26.7(20A) \times 1.9 \text{ t}$ ,  $\phi 31.8 \times 1.5/1.7 \text{ t}$ ,  $\phi 33.5(25A) \times 2.1/2.3 \text{ t}$ ,  $\phi 48.1 \times 2.1/2.3 \text{ t}$ ,  $\phi 48.6(40A) \times 3.25 \text{ t}$ ,  $\phi 60.5(50A) \times 3.65 \text{ t}$  등으로 제한하여 검토하였다. 표 3과 그림 5는 제주지역에서 현재 설치된 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 3 m)과 파이프 규격을 나타낸 것으로 가로대 수(3개와 4개)에 따라 순간최대풍속 40 m/s 조건에서의 구조 안전성을 검토하였다.

Table 3 Specification of pipes in an existing anti-wind net (4 mm × 3 m) in Jeju.

Pipes	Main column	Cross beam	Supporting pipe
Diameter × thickness	$\phi 48.1 \times 2.1 \text{ t}$	$\phi 26.7 \times 1.9 \text{ t}$	$\phi 48.1 \times 2.1 \text{ t}$
Interval or No.	3,000	3ea, 4ea	6,000

또한 지지파이프 설치 간격과 가로대 수에 따른 파풍망 시설(메쉬 4 mm×높이 3m)의 구조 안전성을 검토하기 위하여 세 개의 시설 형태를 검토하였다(Fig. 6). 먼저 지지파이프 설치 간격이 구조 안전성에 미치는 영향을 보기 위하여 가로대 3개를 갖는 시설에서 주기둥 2개마다 지지파이프를 설치한 경우(모델 I)와 주기둥 마다 지지파이프를 설치한 경우(모델

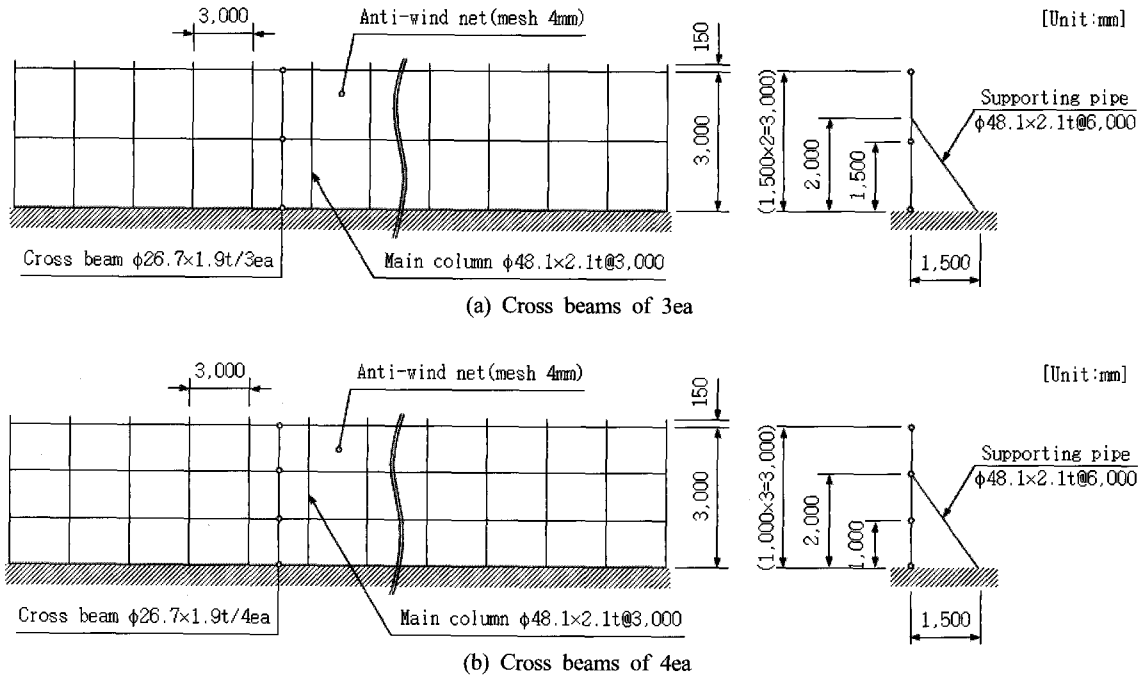


Fig. 5 Schematic drawing of existing anti-wind nets in Jeju.

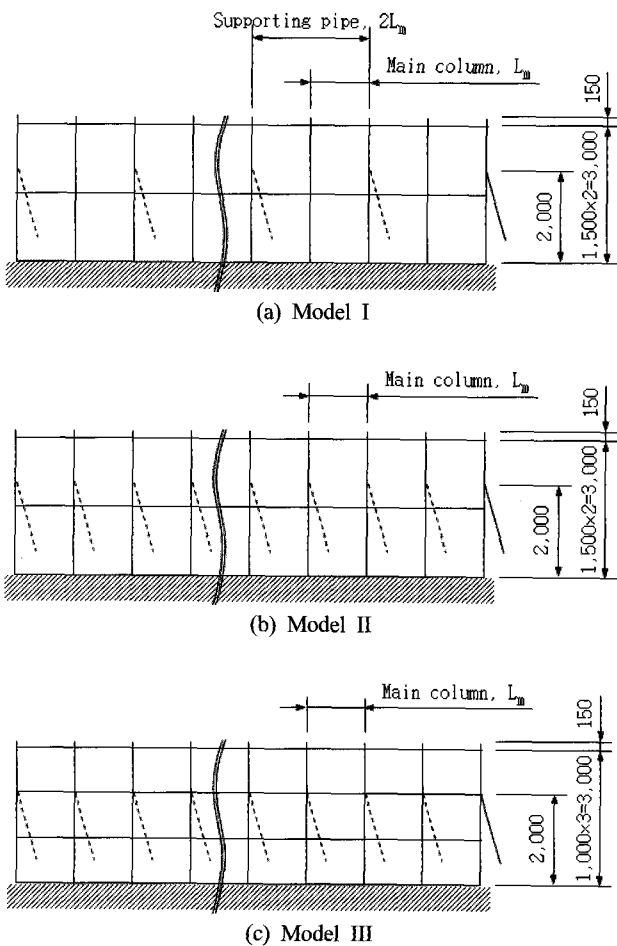


Fig. 6 Classification of anti-wind nets according to the interval between pipes and the number of cross beams.

II)를 검토하였다. 그리고 가로대 수가 구조 안전성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 주기둥 마다 지지파이프를 설치한 시설에서 가로대 3개인 경우(모델 II)와 4개인 경우(모델 III)를 검토하였다. 이때 사용된 파이프 규격은 모두 제주지역에서 사용하는 수준의 규격 즉, 주기둥  $\phi 48.1 \times 2.1$  t, 가로대  $\phi 26.7 \times 1.9$  t와 지지파이프  $\phi 48.1 \times 2.1$  t를 사용하였다.

마지막으로 지지파이프의 수평 및 수직 고정위치에 따른 파풍망 시설의 구조 안전성을 검토하였다. 그림 7은 지지파이프의 고정위치인 수평거리(x)와 수직높이(y)를 나타낸 것이다. 지지파이프는 지면으로부터 y 높이( $y = 1,000 \sim 3,100$ )에 클램프나 용접 등으로 주기둥에 부착될 수 있다고 가정하였으며 주기둥으로부터 x 거리( $x = 1,500 \sim 3,000$ )에 지지물을 설치하여 고정되었다고 가정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 유동분포

그림 8은 파풍망 전후에 작물 같은 유동의 장애물이 없다는 조건에서 순간최대풍속 40 m/s의 바람이 파풍망(메쉬 4 mm  $\times$  높이 3 m)을 통과할 때의 속도 백터와 분포도를 나타낸 것이다. 파풍망으로 인한 유동저항으로 인하여 후면의 풍속이 상당히 감소되었음을 알 수 있으며 대부분의 바람은 파풍망 상층부로 흐르고 파풍망 후면에 역방향의 약한 후류가 발생하고 있음을 볼 수 있다.

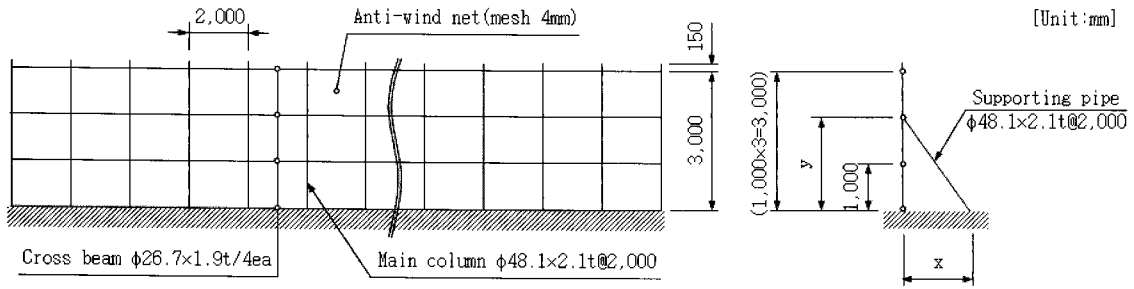


Fig. 7 Schematic drawing represented the position of a fixing point of the supporting pipe.

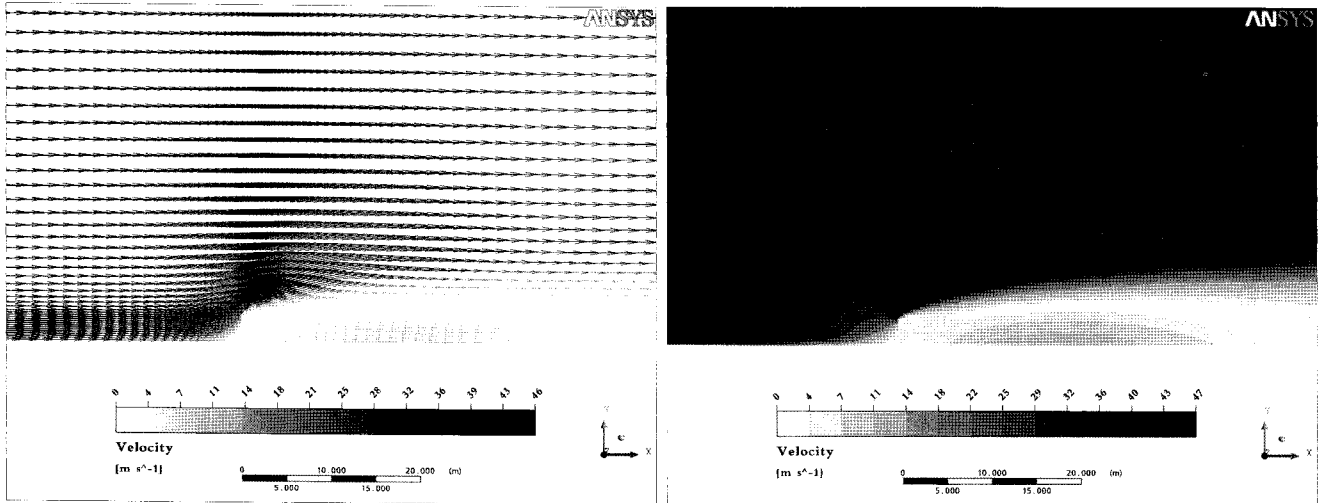


Fig. 8 Velocity vector (Left) and contour (Right) around an anti-wind net.

나. 구조 안전성

1) 농가 설치기준

표 4는 제주지역 농가에 설치된 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 3 m, 주기둥 3 m × 지지파이프 6 m)에 대하여 가로대 수에 따른 순간최대풍속 40 m/s 조건에서의 구조적 안전성을 나타낸 것이다. 가로대가 4개인 경우에 파이프에 걸리는 최대 응력이 1,620 N/mm<sup>2</sup>으로 부재의 허용응력( $\sigma_a = 211.0 \text{ N/mm}^2$ )을 초과하여 구조적으로 불안정한 것으로 나타났다. 이 최대 응력 값은 파이프 골조를 강체로 보아 해석한 조건에서의 결과로 소성영역에서의 비선형성이 포함되지 않은 결과이긴 하나 부재의 인장강도 392.4 N/mm<sup>2</sup> 보다도 큰 것으로 나타났다. 파이프에 걸리는 최대응력과 최대변위는 지지파이프가 설치되지 않은 주기둥 최하단부와 최상단부에 각각 나타나는 것으로 분석되었다(Fig. 9). 파이프에 걸리는 응력은 주기둥

에서 가장 크게 나타나는데 지지파이프가 설치되지 않은 주기둥은 외팔보가 되어 지표면과 맞닿는 부위에 큰 응력이 걸리기 때문이다. 따라서 주기둥 규격 강화 이전에 지지파이프를 주기둥 간격마다 설치하여 주기둥이 외팔보가 되지 않게 하는 시설 형태로의 구조 개선이 필요함을 알 수 있다.

2) 지지파이프 설치간격 및 가로대 수

표 5는 농가 설치 기준 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 3 m)에 대하여 주기둥 간격( $L_m$ )과 지지파이프 설치간격(모델 I : 2  $L_m$ , 모델 II와 III :  $L_m$ ) 그리고 가로대 개수(모델 I과 II : 3개, 모델 III : 4개)에 따른 파풍망의 구조적 안전성을 나타낸 것이다. 먼저 가로대가 3개인 경우에서 지지파이프 설치간격이 구조 안전성에 미치는 영향을 살펴보면, 지지파이프를 주기둥 간격마다 설치한 파풍망 시설(모델 II)이 지지파이프

Table 4 Structural stability of an existing anti-wind net (4 mm × 3 m) in Jeju for a maximum instant wind velocity of 40 m/s.

No. of cross beams	von Mises stress (N/mm <sup>2</sup> )		
	Main column $\Phi 48.1 \times 2.1 \text{ t} @ 3,000$	Cross beam $\Phi 26.7 \times 1.9 \text{ t} / 4ea$	Supporting pipe $\Phi 48.1 \times 2.1 \text{ t} @ 6,000$
3ea	1,730.0	1,450.0	424.0
4ea	1,620.0	1,240.0	459.0

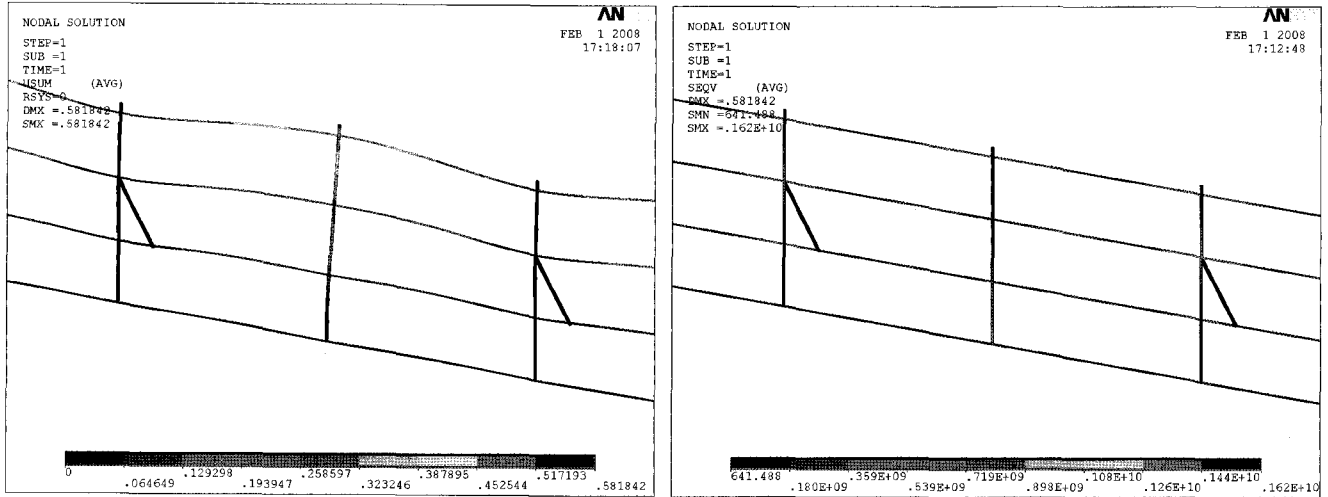


Fig. 9 Distribution of deflection (Left) and von Mises stress (Right) of pipes for an existing anti-wind net with cross beams of 4ea in Jeju.

Table 5 Structural stability of an anti-wind net (4 mm × 3 m) according to the interval of main columns and supporting pipes for a maximum instant wind velocity of 40 m/s.

Model	Interval between pipes <sup>2</sup>	von Mises stress (N/mm <sup>2</sup> )		
		Main column (φ48.1×2.1 t)	Cross beam (φ26.7×1.9 t)	Supporting pipe (φ48.1×2.1 t)
I	3,000×6,000	1,730.0	1,450.0	424.0
	2,500×5,000	1,210.0	1,170.0	329.0
	2,000×4,000	763.0	841.0	236.0
II	3,000×3,000	380.0	963.0	205.0
	2,500×2,500	314.0	645.0	140.0
	2,000×2,000	246.0	384.0	89.1
III	3,000×3,000	308.0	687.0	208.0
	2,500×2,500	258.0	473.0	140.0
	2,000×2,000	207.0	297.0	86.9

<sup>2</sup>Main column (mm) × supporting pipe (mm)

를 주기둥 2개 간격으로 설치한 파풍망 시설(모델 I)보다 구조적으로 안전함을 알 수 있다. 지지파이프를 주기둥 2개 간격으로 설치한 모델 I이 구조적으로 취약한 이유는 지지파이프가 설치되지 않은 주기둥이 외팔보가 되는 구조이기 때문이다. 주기둥과 지지파이프 간격을 줄일수록 최대응력은 줄어든다. 주기둥의 간격을 줄이더라도 최대응력이 너무 크게 나타나 파이프 규격 보강만으로는 한계가 있음을 알 수 있다. 그리고 지지파이프를 주기둥 간격마다 설치한 경우에 가로대 개수의 영향을 살펴보면, 가로대를 4개로 설치했을 때 지지파이프에는 거의 영향을 미치지 않으나 가로대와 주기둥 순으로 최대응력이 작아짐을 알 수 있다. 따라서 가로대 개수도 구조 안전성에 어느 정도 영향을 주고 있다고 판단할 수 있다. 그러나 어떤 경우에도 주어진 파이프 규격으로는 최대응력이 부재의 허용응력보다 크게 나타나 부재의 규격 강화가 필요함을 알 수 있다.

### 3) 지지파이프의 고정 위치

그림 10은 매쉬 4 mm × 높이 3 m의 파풍망과 주기둥 φ 48.1×2.1 t@2,000, 가로대 φ26.7×1.9 t/4ea, 지지파이프 φ 48.1×2.1 t@2,000의 파이프 규격에 대하여 지지파이프 고정 위치에 따른 최대응력을 나타낸 것이다. 지지파이프 수직 고정 위치에서 수평 고정 위치(x) 변화에 따라 파이프에 걸리는 최대응력은 거의 차이를 보이지 않았으나 주어진 수평 고정 위치에서 수직 고정 위치(y)에 따라서는 큰 차이를 보였다. 지지파이프의 수직 고정 위치는 지면으로부터 2~2.5 m가 가장 적절한 것으로 나타났다.

### 4) 최적 파이프 규격

파풍망으로 유입되는 풍속이 증가할수록 유동저항은 증가한다. 이는 풍속이 증가함에 따라 구조적으로 안전하기 위해서는 파이프 규격이 강화되어야 함을 의미한다. 표 6은 순간

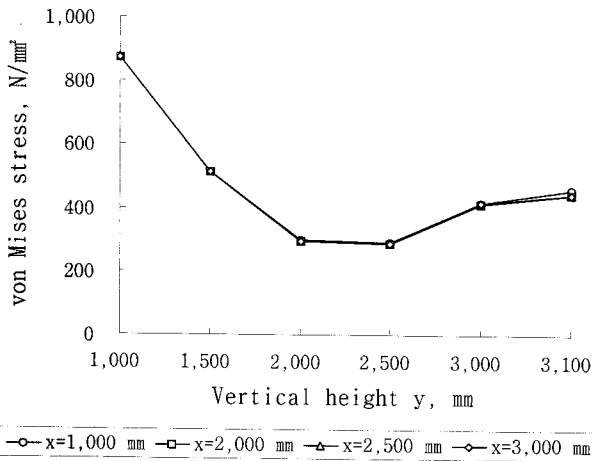


Fig. 10 Variation of von Mises stress on pipes in an anti-wind net (4 mm × 3 m) with the position of a fixing point of the supporting pipe at a maximum instant wind velocity of 40 m/s.

최대풍속 40 m/s에서 모든 파이프가 탄성영역에 있을 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 3 m)의 파이프 규격을 시공비 순으로 나타낸 것이다. 순간최대풍속 40 m/s에서 구조적으로 안전한 파이프 규격은 주기둥 간격(2 m, 2.5 m 및 3 m)과 가로대 수(3개와 4개)에 따라 여섯 경우로 구분할 수 있었으며 이중 가장 시공비가 적게 소요되는 파이프 규격은 주기둥 φ 48.1×2.1 t@2,000, 가로대(상·하단) φ26.7×1.9 t, 가로대(중간) φ33.5×2.1 t/2ea, 지지파이프 φ31.8×1.5 t@2,000이었다. 그림 11은 순간최대풍속 40 m/s에서 구조적으로 안전한 최적 파이프 규격을 설계도로 표현한 것이다.

표 7은 순간최대풍속 45 m/s에서 구조적으로 안전한 파풍망 시설(메쉬 4 mm×높이 3 m)의 파이프 규격을 시공비 순으로 나타낸 것이다. 순간최대풍속 45 m/s에서 구조적으로 안전한 파이프 규격은 주기둥 간격(2 m, 2.5 m 및 3 m)과 가로대 수(3개와 4개)에 따라 네 경우로 구분할 수 있었으며 이중

Table 6 The specification of pipes in an anti-wind net (4 mm × 3 m) with cross beams of 3ea and 4ea which is to be stable at a maximum instant wind velocity of 40 m/s.

Main column	Cross beam (bottom)	Cross beam (s) (center)	Cross beam (top)	Supporting pipe	Installationcost
von Mises stress (N/mm <sup>2</sup> )					
Φ48.1×2.1 t@2,000	Φ26.7×1.9 t	Φ33.5×2.1 t/2ea	Φ26.7×1.9 t	Φ31.8×1.5 t@2,000	694,437*
209.0	137.0	170.0, 187.0	149.0	78.9	
Φ48.6×3.25 t@2,000	Φ26.7×1.9 t	Φ48.1×2.1 t/1ea	Φ26.7×1.9 t	Φ31.8×1.5 t@2,000	778,356
171.0	185.0	114.0	200.0	62.0	
Φ60.5×3.65 t@2,500	Φ33.5×2.1 t	Φ48.1×2.1 t/1ea	Φ33.5×2.1 t	Φ31.8×1.5 t@2,500	854,770
127.0	174.0	183.0	195.0	70.2	
Φ48.6×3.25 t@2,500	Φ33.5×2.1 t	Φ48.1×2.1 t/2ea	Φ33.5×2.1 t	Φ31.8×1.5 t@2,500	879,573
177.0	123.0	129.0, 141.0	135.0	77.5	
Φ60.5×3.65 t@3,000	Φ33.5×2.1 t	Φ48.1×2.1 t/2ea	Φ33.5×2.1 t	Φ31.8×1.5 t@3,000	913,974
124.0	180.0	186.0, 199.0	202.0	87.3	
Φ60.5×3.65 t@3,000	Φ48.1×2.1 t	Φ48.6×3.25 t/1ea	Φ48.1×2.1 t	Φ31.8×1.5 t@3,000	937,074
157.0	119.0	186.0	139.0	77.6	

\* expense installing pipes except for an anti-wind net. The labor costs was not included.

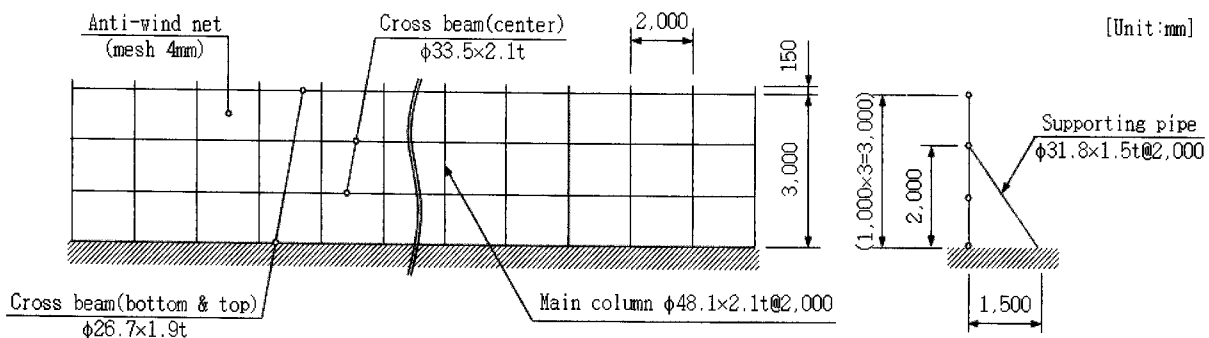
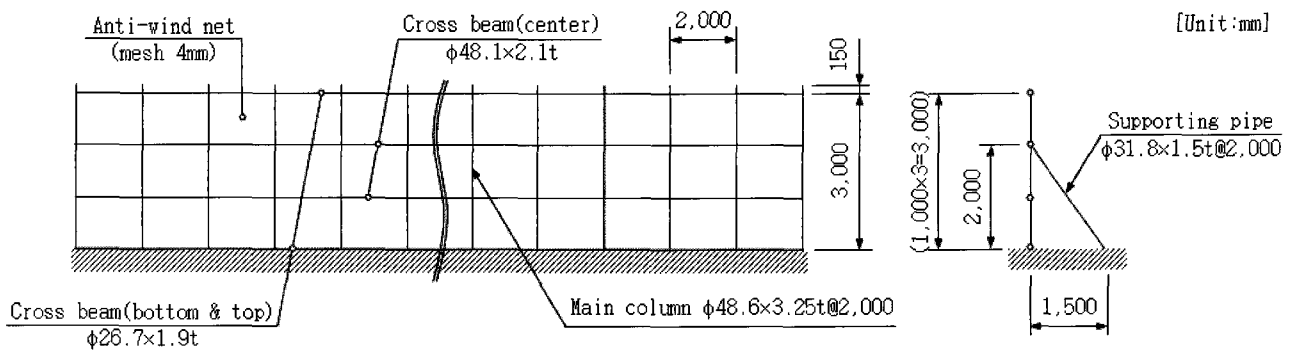


Fig. 11 The schematic drawing represented the optimal specification of pipes with the lowest construction cost at a maximum instant wind velocity of 40 m/s.



**Table 7** The specification of pipes in an anti-wind net (4 mm × 3 m) with cross beams of 3ea and 4ea which is to be stable at a maximum instant wind velocity of 45 m/s.

Main column	Cross beam (bottom)	Cross beam (s) (center)	Cross beam (top)	Supporting pipe	Installationcost
von Mises stress (N/mm <sup>2</sup> )					
Φ48.6×3.25 t@2,000 177.0	Φ26.7×1.9 t 172.0	Φ48.1×2.1 t/2ea 97.1, 112.0	Φ26.7×1.9 t 181.0	Φ31.8×1.5 t@2,000 74.6	920,496
Φ60.5×3.65 t@2,000 125.0	Φ33.5×2.1 t 130.0	Φ48.1×2.1 t/1ea 138.0	Φ33.5×2.1 t 142.0	Φ31.8×1.5 t@2,000 59.9	979,174
Φ60.5×3.65 t@2,500 130.0	Φ33.5×2.1 t 154.0	Φ48.1×2.1 t/2ea 159.0, 172.0	Φ33.5×2.1 t 170.0	Φ31.8×1.5 t@2,500 79.1	996,910
Φ60.5×3.65 t@3,000 158.0	Φ48.1×2.1 t 103.0	Φ48.6×3.25 t/2ea 160.0, 169.0	Φ48.1×2.1 t 119.0	Φ31.8×1.5 t@3,000 97.0	1,154,454



**Fig. 12** The schematic drawing represented the optimal specification of pipes with the lowest construction cost at a maximum instant wind velocity of 45 m/s.

가장 시공비가 적게 소요되는 파이프 규격은 주기둥 Φ48.6×3.25 t@2,000, 가로대(상·하단) Φ26.7×1.9 t, 가로대(중간) Φ48.1×2.1 t/2ea, 지지파이프 Φ31.8×1.5 t@2,000이었다. 이 경우 최적 파이프 규격에서의 최대응력이 일반 농업용 파이프의 허용응력(157.0 N/mm<sup>2</sup>) 보다 작아 비닐하우스 구조용 강관뿐만 아니라 일반 농업용 파이프도 적용 가능성을 알 수 있다. 그림 12는 순간최대풍속 45 m/s에서 구조적으로 안전한 최적 파이프 규격을 설계도로 표현한 것이다.

전산 구조해석으로부터 구한 최적 파이프 규격(Tables 6 and 7)은 주기둥과 지지파이프가 완전구속 즉 고정되어 있다는 조건에서의 결과이다. 따라서 실제 순간최대풍속 40 m/s와 45 m/s에서 구조적으로 안전하기 위해서는 주기둥을 지중 90~100 cm 정도의 깊이로 매설하고 지지파이프 또한 동일 수준으로 지중 매설하거나 적정 지지물로 고정시켜 강풍으로 인하여 시설이 뒤틀리거나 들뜨지 않도록 하여야 한다. 또한 제시된 파이프 규격은 Φ48.1×2.3 t 이상에서 Φ48.6×3.25 t와 Φ60.5×3.65 t로 제한하여 검토하였으나 그 사이에 HGI 아연도금 강관인 Φ59.9×2.1/2.3 t도 있어 다양한 크기의 결속부품이 개발될 경우 규격이 더 세분화될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

강풍 피해를 줄이기 위하여 제주지역에 설치되고 있는 파풍망 시설(매쉬 4 mm × 높이 3 m)의 설치효과와 구조 안전성을 검토하였으며 순간최대풍속 40 m/s와 45 m/s에서 구조적으로 안전한 최적 파이프 규격을 설정하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 파풍망의 유동저항으로 인하여 파풍망을 통한 풍속의 뚜렷한 감속을 확인할 수 있었다.
- (2) 지지파이프를 주기둥 2개 간격으로 설치한 시설은 지지파이프가 설치되지 않는 주기둥이 외팔보가 되어 지지파이프를 주기둥마다 설치한 시설보다 구조적으로 취약하였다.
- (3) 지지파이프의 수직 고정위치가 주기둥 하단부와 상단부에 치우칠수록 최대응력이 증가하였으며 지면으로부터 2~2.5 m가 가장 적정한 것으로 나타났다. 지지파이프의 수평 고정위치에 따라서는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

- (4) SGH400 파이프를 사용하는 조건에서 순간최대풍속 40 m/s에 대한 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 3 m)의 최적 파이프 규격은 주기둥  $\phi 48.1 \times 2.1$  t@2,000, 가로대(상·하단)  $\phi 26.7 \times 1.9$  t, 가로대(중간)  $\phi 33.5 \times 2.1$  t/2ea 및 지지파이프  $\phi 31.8 \times 1.5$  t@2,000이었다.
- (5) SGH400 파이프를 사용하는 조건에서 순간최대풍속 45 m/s에 대한 파풍망 시설(메쉬 4 mm × 높이 3 m)의 최적 파이프 규격은 주기둥  $\phi 48.6 \times 3.25$  t@2,000, 가로대(상·하단)  $\phi 26.7 \times 1.9$  t, 가로대(중간)  $\phi 48.1 \times 2.1$  t/2ea 및 지지파이프  $\phi 31.8 \times 1.5$  t@2,000이었다.

### 참고 문헌

1. 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. pp. 339-344.
2. Yum, S. H., C. S. Kim and Y. D. Choi. 2006. Analysis of the structural safety of a wind-protecting wall using ANSYS/CFX. Journal of Bio-Environment Control 15(2):138-148. (In Korean)
3. Yum, S. H., H. J. Kim, H. Chun, S. Y. Lee and Y. H. Kim. 2006. Actual status of horticultural facilities in Jeju. Journal of Bio-Environment Control 15(1):104-107. (In Korean)
4. 농림부, 농촌진흥청. 2007. 원예특작시설 내재해형 설계도 및 시방서(비닐하우스·인삼재배시설).