

## 풍동시험과 CFD를 통한 방풍망의 풍속저감 효과

염성현<sup>1</sup> · 강승희<sup>2</sup> · 김승희<sup>1</sup> · 이상봉<sup>1</sup> · 김민영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립농업과학원 농업공학부, <sup>2</sup>전북대학교 항공우주공학과

### Effects of an Anti-wind Net on Wind Velocity Reduction by a Wind Tunnel Test and CFD

Sung Hyun Yum<sup>1</sup>, Seung-Hee Kang<sup>2</sup>, Seoung Hee Kim<sup>1</sup>, Sang Bong Lee<sup>1</sup>, Min Young Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, Suwon, 441-707, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Aerospace Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea

(Received: September 26<sup>th</sup>, 2011; Revised: October 6<sup>th</sup>, 2011; Accepted: October 12<sup>th</sup>, 2011)

#### Abstract

This study was carried out to analyze the installation effect of an anti-wind net on reducing wind velocity which was used to protect orchards as well as single-span plastichouses. The pressure drop through three types of anti-wind net was measured in a subsonic wind tunnel. The wind reduction through the anti-wind facility for several sets in respect to three types of the net and heights of the facility ranging from 3 to 11 m was analyzed by using computational fluid dynamics (CFD). The measured data showed that the pressure drop increased as an equation of the second degree of the inlet wind velocity. Numerical computations exhibited that the effect of wind reduction definitely augmented as the net size became smaller and increased with the height of the facility being heightened to some extent. For the typical and widely used anti-wind facility with a height of 5 m and a net size of 4mm, the amount of wind reduction came up to 5.1 m/s for the inlet wind velocity of 20 m/s, and also 7.6 and 10.1 m/s for the inlet wind velocities of 30 and 40 m/s, respectively. In case for the orchard's longitudinal length to be within about 200 m, the appropriately effective height of the facility was predicted to be 5 m. Finally, the negative total pressure on the top face of the single-span plastichouse certainly reduced for all the cases with the anti-wind facility being installed. In particular, the reduction of the negative total pressure was more considerable as the inlet wind velocity increased.

**Keywords :** Anti-wind net, CFD, Pressure drop, Wind tunnel

#### 1. 서론

방풍망은 농작물과 농업시설의 강풍피해를 줄이기 위하여 제주지역, 일부 해안지역 및 과수 재배지에 설치되고 있다. 일정 풍속이상의 바람이 과수원에 불 경우 성숙기 과실에 풍하중이 부가되어 낙과율이 증가하며, 파이프줄기초 등이 설치되지

않은 단동하우스의 경우에는 양력으로 서까래가 뽑히는 시설 피해가 발생한다. 태풍 곤파스(2010. 9) 내습 시 순간최대풍속 41.4 m/s의 강풍으로 단동하우스 642 ha, 인삼재배시설 1,038 ha 및 과수원 121 ha의 피해가 발생한 바 있다. 강풍피해 경감을 위해 방풍시설이 최근 많이 설치되고 있으나 방풍네트와 방풍높이에 따른 실질적인 풍속저감 효과와 방풍망 설치로 인한 비닐하우스 주위 풍속 및 피복면 압력분포에 관한 기초 연구는 미미한 실정이다. 방풍림이나 방풍망에 관련된 연구로는 방풍림 주위의 유동분포에 관한 연구(Green, 1992)와 방풍높이 3 m

\*Corresponding author: Sung Hyun Yum  
Tel: +82-31-290-1944; Fax: +82-31-290-1960  
E-mail: shyum@korea.kr

를 갖는 방풍시설의 설치효과 및 최적 파이프 규격에 관한 연구(Yum et al., 2007) 등이 있다. 본 연구는 현재 방풍망에 사용되고 있고, 향후 방풍시설에 이용 가능한 방풍네트에 대하여 방풍망 설치 시 풍속저감 효과를 분석함으로써 방풍망 선택 및 설치 시의 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 풍동시험

방풍네트 전후 압력차는 방풍네트 3종에 대해 전북대학교 항공우주공학과 아음속풍동 시험부에 방풍네트를 직각으로 설치하고 유입풍속을 5~30 m/s 범위에서 5 m/s 간격으로 증가시켜 가면서 측정하였다. 시험부는 0.6 m(폭)×0.4 m(높이) 크기의 개방형으로 난류도는 0.3% 이내이다. 방풍네트 전·후의 압력차는 방풍네트 전방과 후방에 각각 설치된 피토관(pitot tube)과 차압센서(Setra model 239, F.S. : 1,245 Pa)를 사용하여 측정하였다. 피토관의 위치는 방풍네트의 전방으로 0.43 m, 후방으로 0.47 m에 각각 설치하였으며, 압력차 측정 시 피토관에 의한 상호 간섭영향을 배제하고자 두 피토관이 횡 방향으로 0.25 m 차이가 나도록 설치하였다. 그림 1

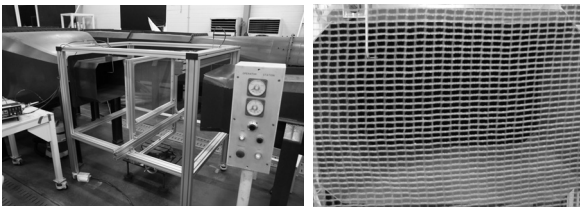


Fig. 1 View of a wind tunnel test.

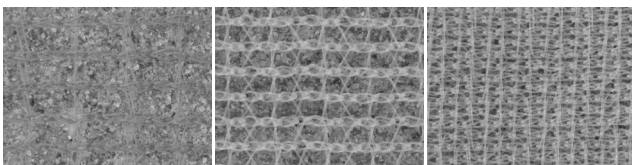


Fig. 2 Anti-wind nets (Left: #1, Middle: #2, Right: #3) used in a wind tunnel test as well as CFD.

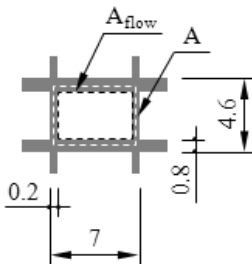


Fig. 3 Geometric dimensions of the anti-wind net with a blue-colored 4mm mesh. The dimensions are not drawn to scale (Unit : mm).

은 풍동시험 전경을, 그림 2는 실험에 사용된 3종의 방풍네트를 각각 나타낸 것이다.

그림 3은 일반적으로 4 mm 메쉬라고 부르는 방풍네트 #1의 단면을 확대하여 나타낸 것으로  $A_{flow}$ 는 공기 흐름 단면적( $= (7 \text{ mm} - 0.2 \text{ mm}) \times (4.6 \text{ mm} - 0.8 \text{ mm})$ )이며, A는 공기 흐름과 관련된 네트요소의 전체 단면적( $= (7 \text{ mm} - 0.2 \text{ mm}) \times (4.6 \text{ mm} - 0.8 \text{ mm})$ ) 이다.

풍동시험으로부터 측정한 압력차를 실험식과 비교하였다. 손실계수 실험식을 이용한 압력차는 식 (1)로부터 구하였다(Eckert et al., 1976).

$$K = K_{RN} K_{MESH} \left(1 - \frac{A_{flow}}{A}\right) + \left(\frac{A}{A_{flow}} - 1\right)^2 \quad (1)$$

Where, K : Mesh screen loss factor

$K_{RN}$  : Reynolds number factor

$K_{MESH}$  : Mesh screen factor(=1.3 for average circular metal wire)

$A_{flow}$  : Cross-sectional flow area( $m^2$ )

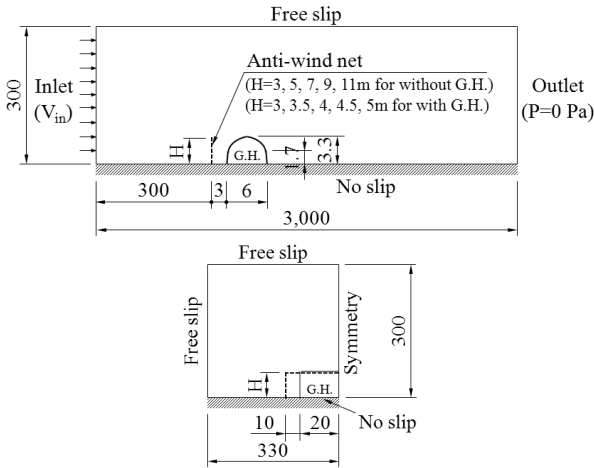
A : Total net area( $m^2$ )

### 나. 유동분포 시뮬레이션

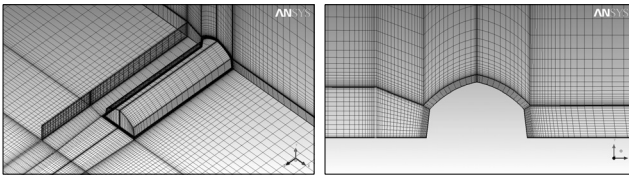
방풍망 주위 유동분포를 분석하기 위하여 3차원 정상상태 유동해석(CFD)을 수행하였다. ICEM-CFD(ANSYS Inc., USA)를 이용하여 정렬 육면체 격자(structured hexahedrons)를 생성하였고 CFX 12.1(ANSYS Inc., USA)을 사용하여 해석하였다. 방풍망 앞쪽에는 균일속도( $V_{in}$ )를, 뒤쪽에는 압력 조건( $P=0 \text{ Pa}$ )을 주었으며 지면에는 No slip 조건을, 윗면과 한 쪽 측면에는 Free slip 조건을 주고, 단동하우스 단면상에 놓인 다른 쪽 측면에는 대칭조건을 적용하였다. 유동영역 설정 시 방풍망의 높이를 최고 15 m까지 설치할 수 있다고 가정하여 방풍망의 전면부와 윗면은 300 m( $= 15 \text{ m} \times 20$ )로 하였으며 후면부는 속도장이 균일하게 나오는 조건을 만족할 수 있도록 멀리 떨어진 거리인 2,700 m( $= 15 \text{ m} \times 180$ )로 하였다. 해석에 사용된 실제 방풍망의 높이는 3, 5, 7, 9, 11 m, 길이는 30 m이며 단동하우스는 폭 6 m×측고 1.7 m×동고 3.3 m, 길이

Table 1 Physical properties of air and geometric dimensions of the anti-wind net with a blue-colored mesh of 4 mm

	Symbol (Unit)	Value
Physical properties	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	1.18706
	$\mu$ ( $kg/m \cdot s$ )	$1.7527 \times 10^{-5}$
Geometric dimensions	$D_{max}$ (m)	$0.8 \times 10^{-3}$
	$D_{min}$ (m)	$0.2 \times 10^{-3}$
	$A_{flow}$ ( $m^2$ )	$19.80 \times 10^{-6}$
	A ( $m^2$ )	$25.84 \times 10^{-6}$



**Fig. 4** Computational domain (Top: side view, Bottom: front view) and boundary conditions around an anti-wind net with a height of H and a length of 30 m. The domain is not drawn to scale (unit : m).



**Fig. 5** Multi-blocking and grid refinement for CFD.

는 20 m이다. 방풍망의 길이는 방풍망을 지난 유동이 유동 공간상에 놓인 단동하우스 출입 면에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 단동하우스 길이보다 10 m 길게 하였다. 유동 해석 시 방풍망은 다공성 매체(porous media)로 처리하였으며(Yum et al., 2007), CFX에서의 다공성 매체에 대한 압력 손실 계수(linear resistance coefficient 및 quadratic resistance coefficient)는 CFD 모델링 상에서의 방풍망 두께를 고려하여 적용하였다. 난류모델은 SST(Shear Stress Transport) 모델을 적용하였으며(Bardina et al., 1997), 수렴 판단은 잔차(residual)가  $1.0 \times 10^{-5}$  이하로 떨어졌을 때로 보았다.

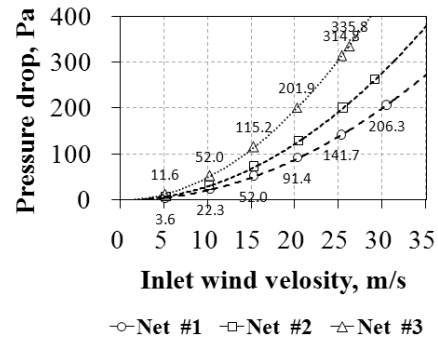
단동하우스 지붕 아치의 곡률로 인한 격자의 찌그러짐을 작게 하기 위하여 O-grid를 이용하였으며, 정렬 육면체 격자를 생성할 수 있고 격자의 조밀을 쉽게 조절할 수 있도록 Multi-blocking 개념을 적용하였다. 벽면으로부터의 무차원 거리  $y^+$ 는 0.1~100에 있게 하였으며 해석에 사용된 격자는 총 1,046,616개 이다.

그리고, 방풍망 전후 풍속변화는 지표면으로부터 2.5 m 높이에서의 값을 참조하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 방풍네트 전후 입력차

그림 6은 유입풍속에 따른 방풍네트별 압력차를 나타낸 것



**Fig. 6** Pressure drop measured for different nets.

**Table 2** Resistance coefficients for three types of the net

Net	$C_1$	$C_2$
#1	-0.1131	0.2259
#2	-0.0844	0.3117
#3	0.1750	0.4841

으로 유입풍속이 클수록, 방풍네트가 조밀할수록(방풍네트 #1(Coarse) < #2 < #3(Fine)) 압력차가 증가하는 것으로 나타났다.

방풍네트를 통한 압력강하는 식 (2)와 같이 유입풍속의 2 차 항으로 나타낼 수 있는 것으로 나타났으며 방풍네트에 따른  $C_1$ 과  $C_2$ 는 표 2와 같다.

$$\Delta P = C_1 V + C_2 V^2 \quad (2)$$

방풍네트로의 유입풍속  $V=20.2$  m/s, 방풍네트의 평균직경  $d = (0.8 + 0.2)/2 = 0.5$  mm 에서의 레이놀즈수는  $Re = \rho V d / \mu = 685$  이고, 이에 대한 레이놀즈 계수는  $K_{RN} = 1$  이다. 따라서 식 (1)로부터 손실계수  $K = 1.0 \times 1.3 \times (1 - 0.77) + (\frac{1}{0.77} - 1)^2 = 0.388$  를 계산할 수 있다. 유입풍속에 대한 동압은  $q = 242$  Pa 이므로 압력차는  $\Delta P_T = K \times q = 0.388 \times 242 = 94$  Pa임을 알 수 있다. 이 값은 해당 유입풍속에서의 풍동시험 측정치인  $\Delta P_T = 92$  Pa와 거의 일치해 본 연구에 사용된 방풍네트가 원형강선(circular metal wire)과 유사한 압력손실을 가져온다는 것을 알 수 있었다.

#### 나. 방풍망 전후 풍속변화

그림 7은 초속 30 m의 바람이 지면과 평행하게 방풍망으로 유입되는 조건(평행 유입풍속,  $V_{in}=30$  m/s)에서 방풍높이 5 m를 갖는 방풍망 전후의 풍속 변화를 나타낸 것이다. 방풍망이 놓인 곳은 -8.6 m 지점으로 방풍망으로 인하여 풍속이 감소함을 알 수 있다. 그리고 방풍네트가 조밀할수록 풍속변화의 정도 즉, 풍속저감 효과는 증가하였다. 이는 주어진 유입풍속에 대하여 방풍네트가 촘촘할수록 유동저항(압력차)이

증가하여 풍속변화의 정도를 더 크게 하기 때문이다. 완전 막힌 벽(Wall)의 경우 벽 뒤에서는 풍속이 거의 0에 가까우며 뒤로 갈수록 후류로 인하여 어느 정도의 풍속이 나타나다가 먼 거리에서는 방풍망의 풍속 특성에 가까워짐을 볼 수 있다.

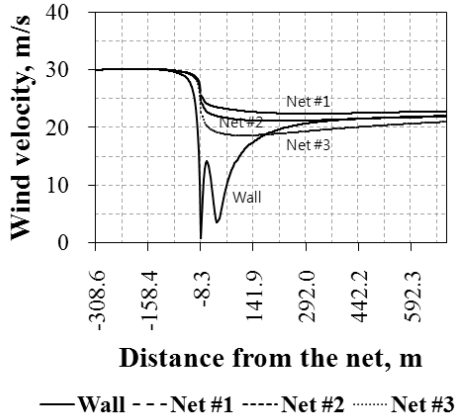


Fig. 7 Variations of the wind velocity along the distance before and after the anti-wind net with a height of 5 m for an inlet wind velocity of  $V_{in}=30$  m/s.

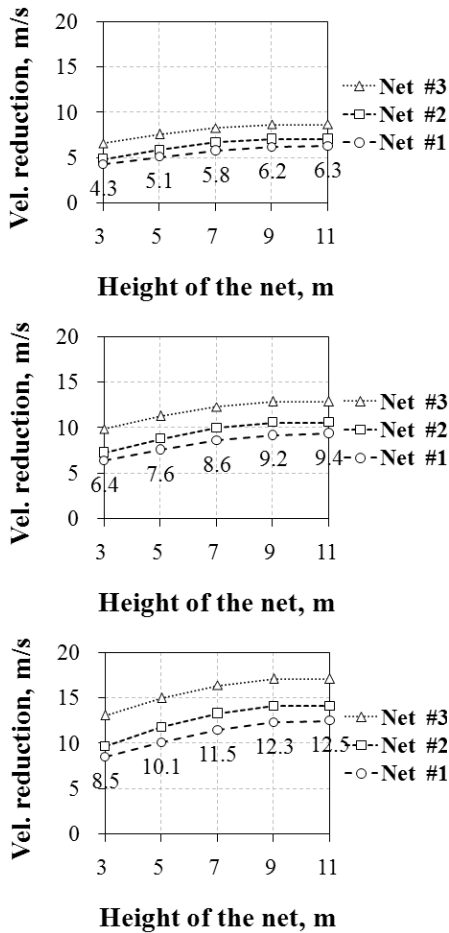


Fig. 8 Wind velocity reduction for the different anti-wind nets according to its heights (Top:  $V_{in}=20$  m/s, Middle: 30 m/s, Bottom: 40 m/s).

그림 8은 유입풍속 및 방풍네트별 풍속저감 효과를 방풍높이에 따라 나타낸 것이다. 주어진 유입풍속에서 방풍네트가 조밀할수록 그리고 방풍높이가 클수록 풍속저감 효과는 증가하였으며 그 증가 폭은 방풍높이가 증가함에 따라 감소하여 방풍높이 9 m 이상에서는 풍속저감 효과가 현저히 떨어짐을 볼 수 있었다. 또한 주어진 방풍높이와 방풍네트에 대해 유입풍속이 클수록 풍속저감 효과는 증가하는 데 유입풍속이 증가할수록 압력차가 2차 함수로 증가하여 풍속변화의 정도를 더 크게 하기 때문이다. 방풍높이 5 m를 갖고 방풍네트 #1을 사용할 경우 방풍망을 통한 풍속저감 효과는 유입풍속 20 m/s에서 5.1 m/s, 30 m/s에서 7.6 m/s, 40 m/s에서 10.1 m/s이었다. 동일 방풍높이에 대하여 방풍네트 #2를 사용하는 경우 유입풍속 20, 30, 40 m/s에서 풍속저감 효과는 각각 5.9, 8.8, 11.8 m/s이었으며 방풍네트 #3을 사용하는 경우에는 유입풍속 20, 30, 40 m/s에서 각각 7.6, 11.3, 15.0 m/s이었다.

그림 9는  $V_{in}=40$  m/s에서 방풍높이별 방풍망 전후의 풍속 변화를 방풍망으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다. 방풍

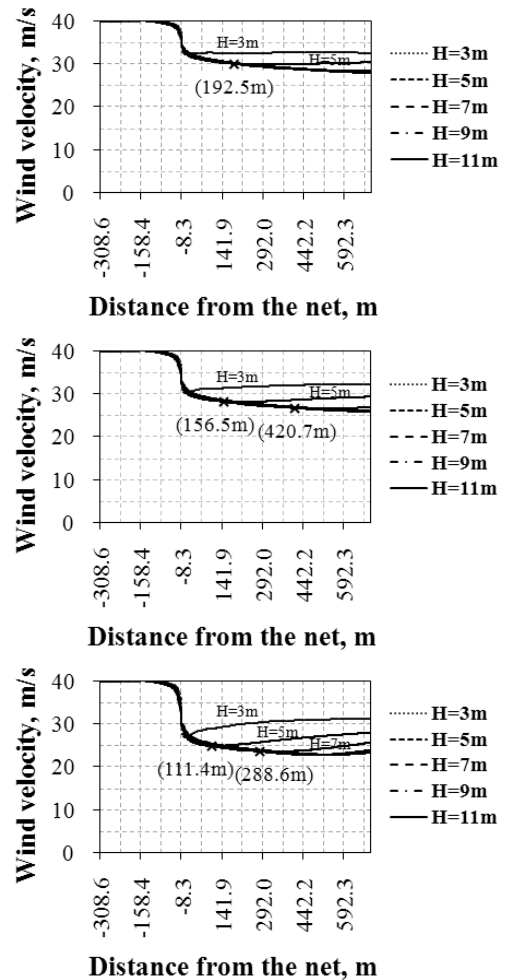


Fig. 9 Variations of the wind velocity along the distance before and after the anti-wind net (Top: Net #1, Middle: Net #2, Bottom: Net #3) for  $V_{in}=40$  m/s.

네트 #1을 사용하는 경우 방풍망이 놓인 곳으로부터 192.5 m 이내에서는 방풍높이 5~11 m 사이에 차이가 없음을 볼 수 있는데 과수원의 규모(방풍망으로부터 수직방향 거리)가 약 200 m 이내라면 방풍높이는 5 m로 충분함을 알 수 있다. 방풍네트 #2를 사용하는 경우 과수원의 규모가 150 m 정도 이내라면 방풍높이는 5 m, 400 m 정도 이내라면 7 m로 방풍 효과가 충분한 것으로 나타났다. 방풍네트 및 방풍높이에 따라 풍속저감의 유효 영역이 달라지므로 경제적인 방풍망을 설치하고자 할 때에는 풍속저감 효과뿐만 아니라 과수원의 규모도 고려하여야 할 것으로 판단되었다.

그림 10은 폭 6 m×측고 1.7 m×등고 3.3 m인 단동형 비닐 하우스의 측면으로 지면과 평행한 바람이 초속 30 m/s로 불 때 (측면 유입풍속,  $V_{in}=30$  m/s) 방풍네트 #1을 갖는 방풍망 설치 시 단동하우스 주위 풍속 및 피복 면에 가해지는 전체압력을 나타낸 것이다. 방풍망은 주 흐름에 영향을 주어 지붕 상단에 나타나는 최고 풍속의 크기를 감소시킴을 알 수 있으며 지붕 상단의 고속의 흐름은 국부적으로 압력을 떨어트려

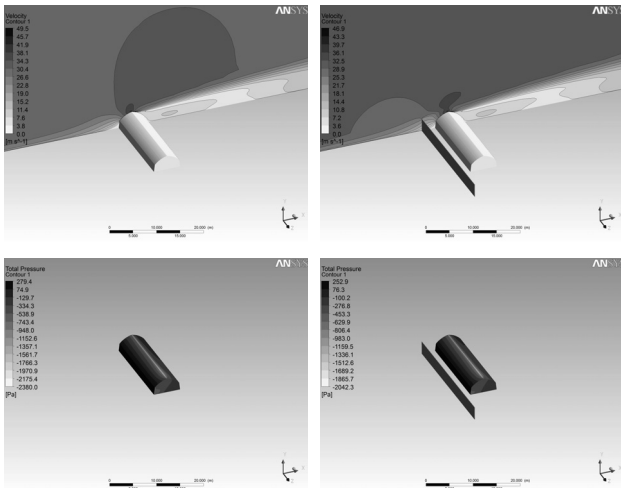


Fig. 10 Computation of the velocity field (Top) around the single-span plastichouse and the total pressure field (Bottom) on its film in case with and without the 3 m-height anti-wind net (Net #1) at  $V_{in}=30$  m/s.

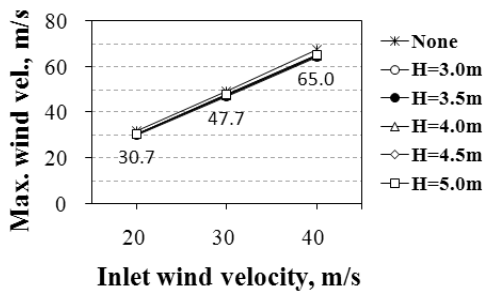


Fig. 11 Changes of maximum wind velocity around the single-span plastichouse according to the different heights of the anti-wind net (Net #1) for inlet wind velocities of 20 to 40 m/s.

지붕 상부에 음(-)의 압력을 발생시키고 있음을 볼 수 있다. 최고 풍속과 최대 음(-)의 압력은 단동하우스 지붕 상단에, 최대 양(+)의 압력은 풍상 측면에 나타남을 알 수 있다.

그림 11은 동일 규격을 갖는 단동하우스 측면에 방풍망을 설치했을 때 방풍높이별 최고 풍속을, 그림 12는 단동하우스 지붕 상단 피복면의 최대 전체압력(최대 양(+))의 압력)과 최소 전체압력(최대 음(-)의 압력)을 나타낸 것이다. 양(+)의 압력과 음(-)의 압력은 방풍망 미설치 시와 비교하여 모두 감소하며 그 감소 폭은 유입풍속이 클수록 증가하는 것으로 나타났는데 양(+)의 압력 보다는 음(-)의 압력이 더 크게 감소되어 방풍망이 기초 안전성에 더 큰 효과를 줄 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 양(+)의 압력과 음(-)의 압력 모두 방풍높이 3 m 이상에서 큰 차이가 없어 본 연구에 사용된 단동하우스 보호용으로 방풍망을 설치할 경우 방풍높이는 3 m로 충분할 것으로 분석되었다. 그러나 이 결과는 방풍망과 단동하우스의 거리가 3 m인 경우에 한하며 향후 방풍망과 단동하우스 간 거리에 따른 속도 및 전체압력 변화를 분석할 필요성이 있을 것으로 판단되었다.

그림 13은  $V_{in}=30$  m/s 조건에서 방풍망(방풍네트 #1)의 높이에 따른 단동하우스 피복면에 작용하는 전체압력 분포를 나타낸 것이다. 단동하우스의 길이는 20 m로 길이에 따라 전체압력은 약간 달라진다. 그림 13은 대칭면(그림 4)에 놓인 하우스 단면에서의 전체압력을 나타낸 것으로 하우스 길이 전체에 걸쳐서 구한 최대 양(+)의 압력과 최대 음(-)의 압력 보다는 다소 작다.

단동하우스 피복면에 작용하는 전체압력 분포는 방풍망 설

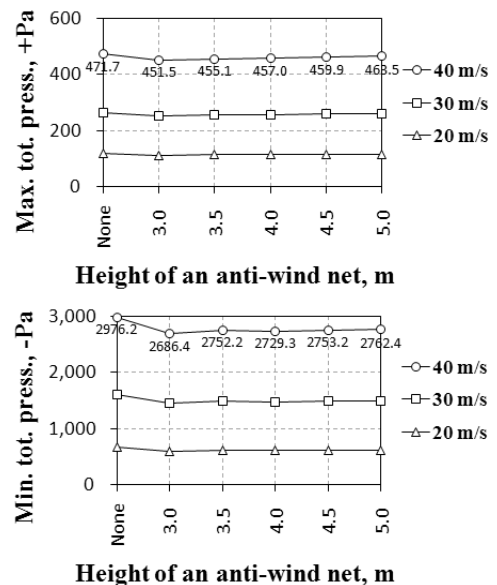


Fig. 12 Changes of maximum total pressure (Top) and minimum total pressure (Bottom) on the film of a single-span plastichouse according to the different heights of the anti-wind net (Net #1) for inlet wind velocities of 20 to 40 m/s.

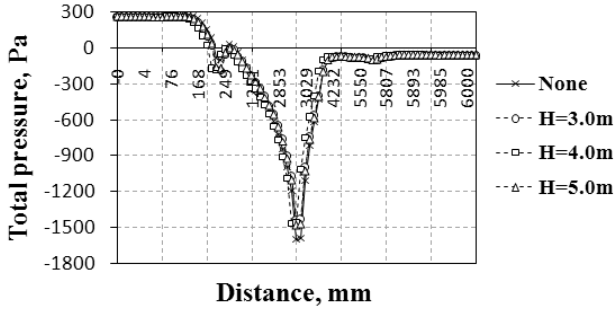


Fig. 13 Distribution of the total pressure on the film of a single-span plastichouse according to the different heights of the anti-wind net (Net #1) for an inlet wind velocity of 30 m/s.

치 유무 및 방풍높이에 관계없이 모두 유사한 양상을 갖는 것으로 나타났다. 즉, 바람을 맞는 풍상측면에는 큰 양(+)의 압력이, 지붕 상단에는 음(-)의 압력이 크게 작용하고, 풍하측면에는 작은 음(-)의 압력이 작용하고 있음을 알 수 있었다.

하우스 피복 면에 작용하는 전체압력은 하우스에 가해지는 풍하중으로 단동하우스의 안전풍속에 직접적인 영향을 미친다. 단동하우스의 풍하중에 대한 구조안전성은 현재 풍력계수를 적용하여 평가분석하고 있으나 하우스 형태 및 지붕경사도에 따른 제한이 있어 왔다. 다양한 하우스 형태에 대한 안전풍속의 결정은 유동-구조 연성해석(FSI, Fluid-Structure Interaction)으로부터 구할 수 있으며 본 연구는 이에 대한 기초 자료를 확보하는 데 있다. FSI는 CFD(Computational Fluid Dynamics)에서 구한 전체압력을 FEA(Finite Element Analysis)의 피복 면에 부가시켜 골조 파이프에 작용시킴으로써 단동하우스의 안전풍속을 결정하는 수치적 기술이다. FSI의 효율성을 위해 3차원 유동해석이 필요하나 3차원 유동해석 시 격자수의 제한이 있을 수밖에 없으며 격자수의 부족은 단동하우스 지붕 아치면 상부의 유동박리 등 급격한 유동현상을 모사하기에 한계가 있음을 의미한다. 따라서 향후 2차원 유동해석을 통한 정확한 풍력계수의 산정과 3차원 FSI의 정확도 비교가 필요할 것으로 판단되었다.

#### 4. 요약 및 결론

평탄한 노지 및 단동하우스 측면에 설치한 방풍망의 설치 효과를 분석하였다. 풍동시험을 통해 방풍네트별 압력차를, 3차원 CFD를 통해 방풍네트 및 방풍높이별 풍속저감 효과와 방풍높이에 따른 단동하우스 주위 풍속분포 및 피복면에 작용하는 전체압력 분포를 분석하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 풍동시험으로부터 방풍네트 전후 압력차는 유입풍속의 2차 함수로 증가하며, 방풍네트가 조밀할수록(방풍네트 #1 (Coarse) < #2 < #3 (Fine)) 압력차는 크게 증가하였다.
- (2) CFD 결과로부터 방풍높이 5 m를 갖고 방풍네트 #1, #2 및 #3을 사용하여 방풍망을 설치 할 경우 풍속저감 효과는 유입풍속 20 m/s에서 5.1~7.6 m/s, 30 m/s에서 7.6~11.3 m/s, 40 m/s에서 10.1~15.0 m/s 이었다.
- (3) 방풍네트 #1을 사용하는 경우 과수원의 규모가 약 200 m 이내라면 방풍높이는 5 m로 충분함을 알 수 있었다. 또한 방풍네트 #2를 사용하는 경우 과수원의 규모가 150 m 정도 이내라면 방풍높이는 5 m, 400 m 정도 이내라면 7 m로 방풍효과가 충분한 것으로 나타났다.
- (4) 단동하우스 측면에 설치한 방풍망은 최고 풍속, 최대 양(+)의 압력과 최대 음(-)의 압력을 모두 감소시키나 그 감소 폭은 음(-)의 압력에서 가장 컸으며 유입풍속이 증가할수록 감소 폭은 또한 증가하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ006402)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

#### 참고 문헌

1. ANSYS, Inc. 2009. ANSYS CFX-Solver modeling guide. ANSYS CFX Release 12.1.
2. Bardina, J.E., P.G. Huang and T.J. Coakley. 1997. Turbulence modeling validation testing and development. NASA Technical Memorandum 110446.
3. Eckert, W. T., K. W. Mort and J. Jope. 1976. Aerodynamic design guidelines and computer program for estimation of subsonic wind tunnel performance. NASA TN D-8243.
4. Green, S. R. 1992. Modeling turbulent air flow in a stand of widely-spaced trees. The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics and its applications 5(1):294-307.
5. Yum, S. H., K. J. Kwon, S. H. Sung and Y. D. Choi. 2007. The installation effect and optimal pipe sizes of an anti-wind net by computational analysis. Journal of Biosystems Engineering 32(6):430-439. (In Korean)