



원예시설용 망의 압력강하 특성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Characteristics of Pressure Drop of Screens Used in Horticultural Facilities

염성현* · 강승희**†

Yum, Sung Hyun · Kang, Seung-Hee

ABSTRACT

This study was carried out to present the pressure drop for various wind speeds through nine types of screens used in horticultural facilities. The screens have been widely used to prevent harmful insects from being entered into agricultural facilities, to reduce strong wind and to shade a light as well. Whatever the usage of the screens was, it was necessary to have good knowledge of how much the screen caused a pressure drop for wind speeds when analyzing both the inner thermal-flow distribution in the facility and the effect of reducing wind speed by using CFD. Furthermore, as for wind screens, the pressure drop for wind speeds was needed as a design load in evaluating the structural stability of the structures supporting the screens. Therefore, the pressure drop through the screens for wind speeds of $5\sim 30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at about $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ interval and inflow angles of $0\sim 45^\circ$ at an interval of 15° was respectively measured in a subsonic wind tunnel. The relation of the pressure drop for various screens was well fitted as a second-order polynomial expression.

Keywords: Pressure drop; Screen; Wind tunnel test

1. 서 론

원예시설용 망 (screen)은 유리온실과 플라스틱하우스의 측창 및 천창 환기부에 설치되는 방충망 (anti-insect screen), 강풍으로부터 과수원이나 온실을 보호하기 위하여 설치되는 방풍망 (wind screen) 그리고 온실 내부로 투과되는 햇빛을 막기 위하여 설치되는 차광망 (shading screen) 등에 폭넓게 이용되고 있다. 일반적으로 이러한 종류의 망은 원형의 가는 끈 또는 플라스틱 필름으로 제작되어 바람이 통과하거나 햇빛이 투과되는 단위 셀 (cell)을 갖는 구조로 되어 있다. 천창과 측창 환기구에 설치되는 방충망은 작은 해충뿐만 아니라 조류에 의한 온실 내 농작물의 피해를 막기 위하여 설치되는 것으로 망을 구성하는 단위 셀의 크기가 기본적으로 작다. 차광망은 강한 일사를 차단 (차광율 35, 55, 75, 80, 90, 95, 98 % 등) 하기 위하여 온실 피복재 외부에 또는 온실 내부 스크린의 형태로 설치되나 최근에는 차

광망도 방풍망으로 이용되는 등 그 이용범위가 다양해지고 있다. 차광망을 방풍망으로 이용한 사례로 전남 고흥 지역에서 참다래의 강풍피해 경감을 위해 백색의 차광망에 백색 방풍망을 덧댄 2중 방풍망을 농가단위에서 사용하고 있으며, 강원 평창 소재 고려농업연구소 시험포장에서는 흑색 차광망을 망 온실 (철재 파이프 하우스의 피복재가 망으로만 이루어진 온실) 주위에 설치한 경우가 있고, 경기 용인의 농가에서도 차광망을 방풍망 용도로 사용하였다. 바람을 막기 위하여 차광망을 방풍용으로 이용할 때 망 바로 후면에 위치한 온실과 농작물은 바람으로부터 보호되는 효과를 얻을 수 있으나 검은색 차광망을 사용할 경우에는 그늘로 인해 작물생육에 영향을 받을 수 있다고 알려져 있다. 이러한 이유 등으로 대부분의 농가에서는 차광망을 방풍용으로 이용할 때 과수의 생육특성을 고려하여 검은색보다는 흰색을 선호하고 있다. 이러한 방충망과 차광망 외에 강풍 및 태풍으로부터 농업시설이나 농작물을 보호하기 위하여 주로 제주와 남부 일부 해안지역 그리고 사과·배 등 주요 과수 재배 지역에서는 일반적인 방풍망이 설치되고 있다.

방풍망에 대한 연구는 그동안 방풍망 설치로 인한 농작물의 생육특성 영향 평가, 방풍망 설치 시의 풍속저감 효과 및 방풍시설 자체의 구조안전성 등을 중심으로 진행되어 왔다. 풍해를 받을 수 있는 동해안 지역에 방풍망을 설치했을 때 방풍스크린이 춤춤할수록 벼의 생육이 촉진되고 증수효과가 있으며 풍속저감 효

* 농촌진흥청 국립농업과학원 재해예방공학과 연구사
 ** 전북대학교 항공우주공학과 교수
 † Corresponding author Tel.: +82-63-270-2469
 Fax: +82-63-270-2472
 E-mail: ksh@jbnu.ac.kr

2012년 12월 4일 투고
 2013년 9월 6일 심사완료
 2013년 10월 7일 게재확정

과가 방풍높이의 10배 까지 달하는 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 1990). 또한 과수원에서 사용하고 있는 방풍망 (스크린 4 mm, 높이 5 m)은 유입풍속 $20 \sim 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 $5.1 \sim 10.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 풍속을 저감시키는 효과가 있는 것으로 제시되고 있다 (Yum et al., 2011). 그리고 방풍시설의 안전성은 강 뼈대의 규격, 방풍스크린의 조밀 및 방풍높이에 따라 달라지며 이 세 가지를 고려하여 안전풍속을 제시한 연구가 지속적으로 진행되고 있다 (Yum et al., 2007; NAAS, 2011). 그리고 현재 정부에서는 강풍·태풍 등 기상재해의 경감대책 일환으로 「원예·특작시설 내 재해형 규격 설계도·시방서」에 방풍스크린 4 mm, 방풍높이 3 m 인 방풍시설의 규격을 제시하여 보급하고 있다 (MIFAFF and RDA, 2010). 이밖에도 방풍망을 이용하여 음향특성 평가를 수행하고 있는 등 (Jung et al., 2009) 비농업 분야에서도 그 연구 범위가 다양해지고 있다. 그러나 이러한 다양한 노력과 시도에도 불구하고 방풍망에 대한 기초연구 및 응용연구가 여전히 부족한 실정이다. 망의 크기 및 설치 위치에 따른 구조지지물 최적설계를 위한 공기역학적 특성, 온실 등에서 방풍망 설치에 따른 열·유동 분포 및 환기 영향 평가와 온실을 보호하기 위한 목적으로 방풍망 설치 시 온실의 풍상 면 및 지붕 아치 면에 작용하는 풍압 분포 및 풍력계수의 산정 그리고 대규모 온실 단지에 적합한 적정 방풍시설 모델 개발 등이 현재 우선적으로 해결되어야 할 과제이다.

온실에서 자연환기 해석과 바람에 대한 망 시설의 구조안전성 분석 등을 위해서는 망 전·후의 압력강하 특성이 필수적이다. 여름철 온실의 시설 내 환경은 자연대류 현상에 의해 이루어지고 양 측면 및 천창부에 설치된 망은 유동저항을 발생시켜 시설 내 열·유동 분포에 영향을 미친다. 따라서 설치되는 망 종류에 따른 다양한 풍속 및 풍향 조건에서의 망 전·후 압력차가 제시되어야 최적의 환기 성능을 평가할 수 있다. 또한, 망 시설의 설치를 위해 사용되는 골조파이프와 기초구조물의 최적 설계를 위해서는 망 종류와 유입풍향 각도에 따른 압력차가 정확히 제시되어야 최적의 구조설계가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 온실 주위의 열·유동 해석 경계조건과 구조물의 설계하중으로 활용 가능하도록 망의 압력강하 특성을 실험적으로 분석하는 연구를 수행하여 방풍망의 종류 (방풍스크린의 조밀)에 따른 풍속 및 풍향별 압력강하를 제시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 망 (screen)의 종류

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 9종의 망을 나타낸 것으로 현재 국내 원예시설 농가에서 이용하고 있는 방풍망들이며 생산업체

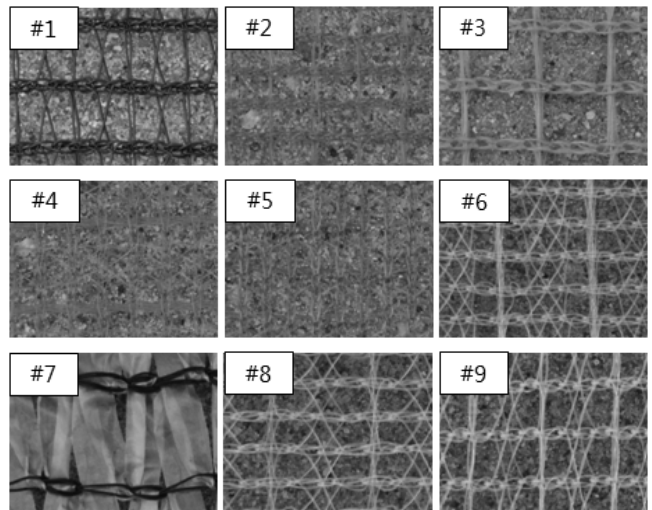


Fig. 1 Screens without any tension placed on the ground, which were used in a wind tunnel test

Table 1 Geometric dimensions of the wind screen (unit : mm)

Screen	Shape		Size (a×b)
	Boundaries	Innards	
#1			7.3×7.3
#2			5.7×4.2
#3			9.1×7.1
#4			3.7×10.6
#5			2.9×6.2
#6			11.6×3.9
#7			4.3'×13.5
#8			12.4×4.0
#9			8.8×6.2

*: The width of a slice of film

로부터 직접 수집한 것이다. 망 #7을 제외한 모든 망은 원형의 가는 끈을 이용한 것으로 각각의 단위 셀을 가지나, 망 #7은 플라스틱 필름의 재질을 갖는 일정폭의 조각으로 이루어진 전형적

인 흰색 차광망이다. Fig. 1의 망 번호는 풍동시험 순으로 부여한 것으로 공극률이나 물리적 특성 값의 순서 등의 의미를 가지지 않는다.

2. 풍동시험 및 자료처리

본 연구에 사용된 풍동은 전북대학교 항공우주공학과 아음속 풍동이다. 이 풍동은 단일 폐회로 방식으로 시험이 수행된 시험부 (test section)는 0.6 m (폭)×0.4 m (높이) 크기의 개방형이며 난류도는 0.3 % 이내이다. 망은 인위적인 인장 (tension) 없이 유입풍속 방향에 직각이 되도록 설치하였으며, 풍속은 $5 \sim 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 범위에서 약 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 간격으로 시험을 수행하였다. 그리고 풍향은 망을 고정하기 위한 지지대 하부에 고정된 회전반을 이용하여 0° (직각)~ 45° 범위에서 15° 간격으로 변경시키면서 망 전·후의 압력강하를 측정하였다. 망 전·후의 압력차는 망의 전·후방에 피토관을 설치하고 이 내부에 우레탄 튜브에 연결시킨 차압센서를 이용하여 측정하였다. 풍동 시험부 자유흐름 속도의 동압은 Setra model 239 (1,245 Pa), 정압은 Setra model 270 (1.379×10^5 Pa)을 사용하여 계측하였다. 피토관의 위치는 망의 전방으로 0.43 m, 후방으로 0.47 m 위치에 설치하였으며, 압력차 측정 시 피토관에 의한 상호 간섭영향을 배제하고자 두 피토관은 횡 방향으로 0.25 m 차이가 나도록 설치하였다. 측정된 동압으로부터 속도를 계산하기 위해 KIMO 사의 TH 200을 사용하여 매 시험 시 실시간으로 온도와 습도를 측정하였으며 이들 값으로부터 밀도를 계산하였다. 측정된 모든 신호들은 NI사의 SCXI-1000을 사용하여 디지털 신호로 변환된 후 자료처리 컴퓨터에 저장하였으며 자료는 초당 100 Hz로 10 초간 획득하여 그 평균값을 사용하였다. 망 전·후에서 흐름의 특성을

관찰하기 위하여 SAFEX fog 용액을 사용하여 흐름가시화 하였다. Fig. 2는 아음속 풍동과 시험 전경을 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 3은 본 연구에 사용된 9가지 망의 풍속 및 풍향별 망 전·후 압력강하를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 망에 의한 압력강하는 풍속의 제곱에 비례하는 경향을 보임을 알 수 있으며 각 망별 압력강하의 크기는 망별로 차이가 발생함을 볼 수 있었다. 이의 원인은 방직 형태에 따른 망의 다공성의 차이가 발생되어 나타나는 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제시하지는 않았지만 이러한 압력강하를 무차원화 하여 압력계수로 구해보면 대부분 풍속 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상에서는 균일한 특성 즉, 일정 압력계수를 보임을 확인할 수 있었다. 망으로 유입되는 바람의 각도 즉, 흐름각에 따라서는 망 #1과 #5의 경우 풍향각도 45° 에서 $0 \sim 30^\circ$ 에서의 값 보다 다소 크게 나타남을 볼 수 있었으며 망 #7의 경우에는 풍향각도 15° 에서 다소 큰 분포를 보였다. 풍속에 따른 압력차는 망 #7>#5>#4>#9≐#6>#8≐#2≐#3>#1 순으로 망 #7에서 가장 큰 압력차 즉, 유동저항이 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 어느 정도의 다공성을 갖는 일반 망에 비해 차광용으로 사용되는 망 #7은 일정폭을 갖는 조각으로 이루어져 다른 망에 비해 다공성이 비교적 작으니까 통과 시의 에너지 손실로 다른 망에서보다 훨씬 큰 압력차를 가지기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 시험에 사용되었던 망 중에서 망 #7이 바람을 줄이는 효과 즉, 풍속저감 효과가 가장 클 것으로 기대되었다.

Table 2는 망별 풍향각도 0° 에서의 유입풍속에 대한 압력차를 상관 관계식으로 표현한 것이다. 상관 식은 2차의 다항식으로 표현할 때 가장 잘 일치하였다. 2차식으로 표현된 압력차는 풍속이 클 때에는 주로 2차 항에 지배를 받지만 풍속이 낮은 구간에서는 1차 항도 무시할 수 없게 된다. 따라서 압력차의 절대치는 ‘1차 항 계수의 부호와 크기’ 그리고 ‘2차 항 계수의 크기’에 따라 달라지는데 망의 사용목적이 바람을 줄이기 위한 방풍용이라면 기대 효과는 풍속이 클 때이므로 2차 항의 계수 값만으로도 압력차의 크기를 쉽게 가늠해 볼 수 있다. #7의 경우 2차 항 계수의 크기가 가장 커 압력차가 가장 큼을 알 수 있고, 그 다음으로 1차 항 계수의 부호가 양 (+)이면서 2차 항 계수의 크기도 두 번째로 큰 #5가 두 번째로 큰 압력차를 가짐을 알 수 있다.

풍속에 따른 압력차 상관 관계식 ($\Delta P = C_1 V + C_2 V^2$, 여기서 ΔP 는 압력차, V 는 풍속)은 전산유체역학 (Computational Fluid Dynamics, CFD)에서 유동공간에 놓인 망 영역을 다공성 매체 (porous media)로 처리하고, 해당되는 압력강하를 운동량보존

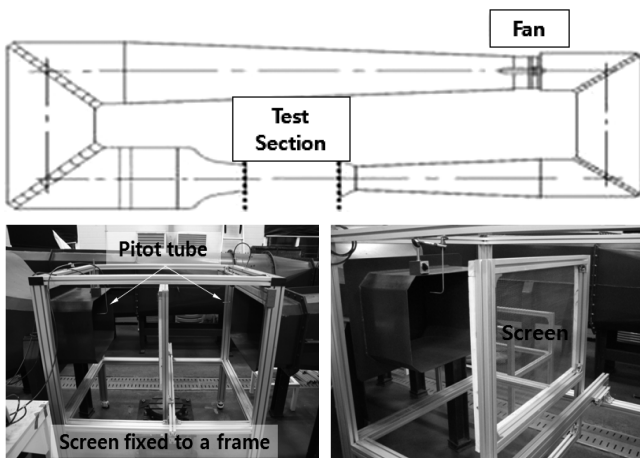


Fig. 2 Schematic views of the subsonic wind tunnel in Chonbuk National University and the typical pressure-drop test

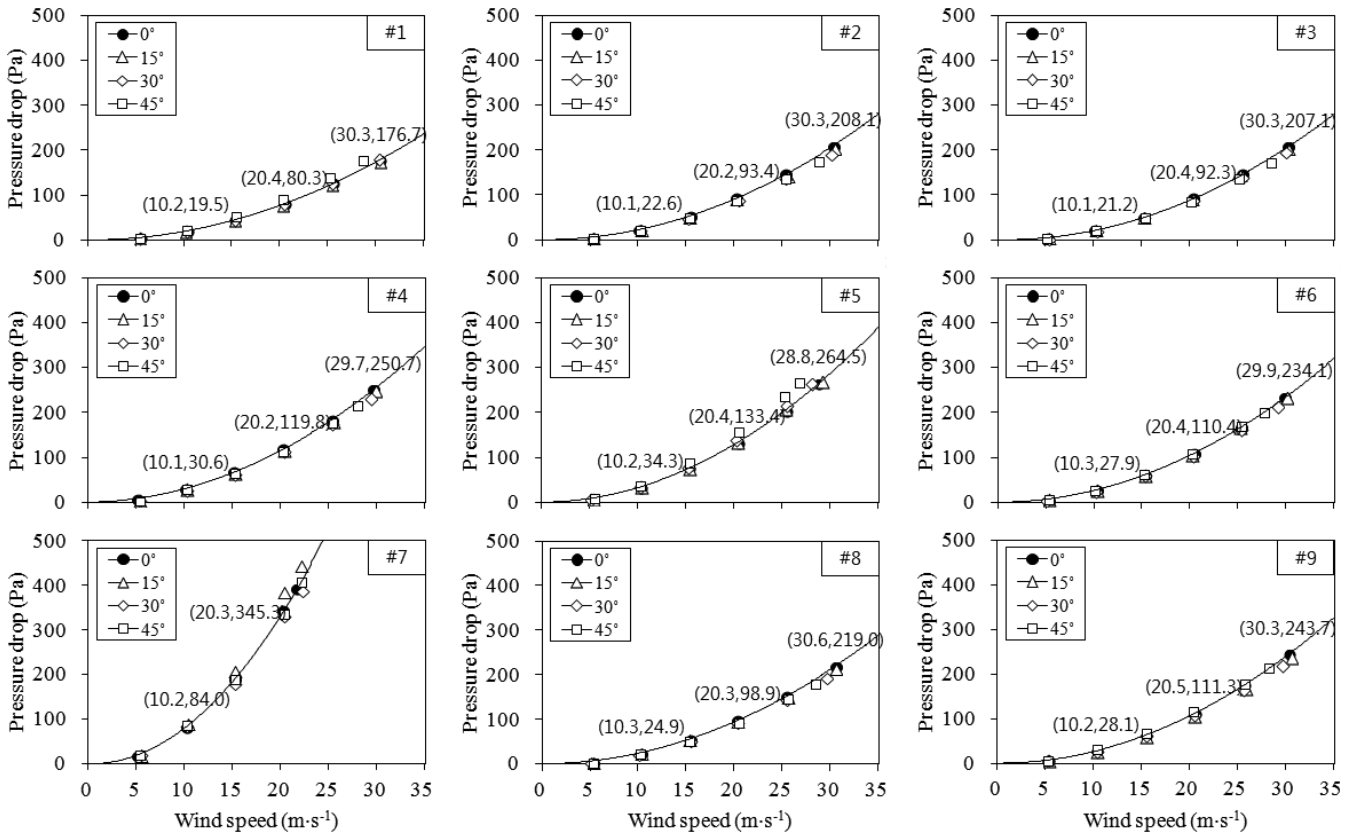


Fig. 3 Pressure drop through the screens in the wind tunnel

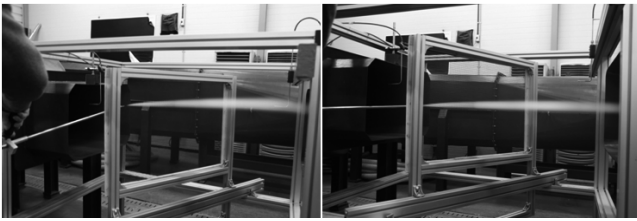
Table 2 Pressure drop according to the screens for an inflow angle of 0°

Screen	Pressure drop (ΔP , Pa) vs. wind speed (V , $m \cdot s^{-1}$)
#1	$\Delta P = -0.0435V + 0.1952V^2$ ($R^2 = 0.9996$)
#2	$\Delta P = -0.0293V + 0.2289V^2$ ($R^2 = 0.9997$)
#3	$\Delta P = -0.2766V + 0.2353V^2$ ($R^2 = 0.9999$)
#4	$\Delta P = +0.3089V + 0.2741V^2$ ($R^2 = 0.9998$)
#5	$\Delta P = +0.1549V + 0.3129V^2$ ($R^2 = 0.9999$)
#6	$\Delta P = +0.0598V + 0.2603V^2$ ($R^2 = 0.9999$)
#7	$\Delta P = -0.4433V + 0.8571V^2$ ($R^2 = 1.0000$)
#8	$\Delta P = +0.1043V + 0.2318V^2$ ($R^2 = 0.9997$)
#9	$\Delta P = -0.0490V + 0.2676V^2$ ($R^2 = 0.9999$)

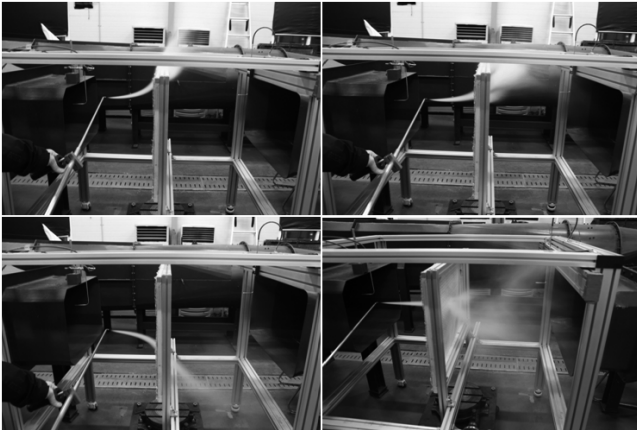
방정식의 소스 항으로 표현한 Darcy's law ($-\frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\mu}{K_{perm}}U_i + K_{loss}\frac{1}{2}\rho U|U|$), 여기서 $\partial P/\partial x_i$ 는 i 번째 (x , y 및 z) 운동량방정식에서의 압력강하, μ 는 공기의 점성계수, ρ 는 공기의 밀도, U_i 는 풍속, K_{perm} 은 투과계수, K_{loss} 는 저항계수의 계수를 구하는데 이용될 수 있다 (ANSYS, 2010). 즉, Darcy's law를 $\frac{\Delta P}{\Delta x}$

$= C_{R1}V + C_{R2}V^2$ (여기서 ΔP 는 압력차, Δx 는 망의 실제 두께가 아닌 유동해석 모델링 공간에서의 망 처리 두께, V 는 망을 통과하는 풍속)으로 표현하고, 풍동시험을 통하여 구한 1차 항의 계수 (C_1)와 2차 항의 계수 (C_2)를 이용하여 유동해석 코드의 저항계수인 C_{R1} (풍속의 1차 선형성에 관계되는 계수)과 C_{R2} (풍속의 2차승에 관계되는 계수)를 구할 수 있게 된다. C_{R1} 과 C_{R2} 는 전산유체역학 모델링 상에서의 Δx 와 관계가 있으므로 본 연구에서는 이 값을 따로 제시하지 않았다. 또한 풍동시험을 통하여 구한 망 전·후 압력차는 구조해석 (Finite Element Analysis, FEA)에서의 풍하중으로 작용시켜 방풍시설의 안전풍속을 구할 수 있으며 골조 하단 (기초)에 작용하는 지지력과 인발력을 계산할 수 있다. 즉, 망 전·후 압력차를 망의 면에 압력으로 부가시키거나 골조에 작용하는 선 분포하중으로 부가시켜 방풍시설 구조물의 안전성을 분석할 수 있게 된다.

Photo 1은 망을 통과하는 유동의 흐름을 가시화한 결과를 나타낸 것으로 흐름가시화에 사용된 망은 방풍망 #1과 Yum et al. (2011)이 풍속저감 효과에 사용했던 공극률이 작은 방충용 망 ($\Delta P = +0.1750V + 0.4841V^2$)이다. 흐름가시화에 사용된 망 중에서 방충용 망은 유동저항의 정도를 망 #1과 비교하기 위하



(a) Screen #1



(b) Anti-insect screen (Yum et al., 2011)

Photo 1 Flow visualization through the screens in the wind tunnel

여 나타내었다. 상대적으로 공극률이 큰 망 #1의 경우에는 망을 직진으로 통과하면서 작은 확산정도를 보여 유동저항이 비교적 크지 않음을 볼 수 있으며 (Photo 1 (a)), 공극률이 작은 방충망의 경우 망을 통과한 흐름의 확산이 매우 크게 나타남을 볼 수 있으며 이러한 흐름가시화 결과로 부터 유동저항이 매우 크게 될 것임을 확인할 수 있다 (Photo 1 (b)).

IV. 결 론

본 연구는 원예 분야에서 다양하게 이용되는 일반적인 여러 다공성 망 9종에 대하여 풍속과 풍향에 따른 압력강하 특성을 실험적으로 구하기 위하여 풍속 5~30 m·s⁻¹에서 5 m·s⁻¹ 간격과 풍향 0°~45°를 15° 간격으로 풍동시험을 수행하였다. 그 결과 유입풍향에 따른 영향은 미미하게 나타났으며, 다공성 변화에 따른 압력강하가 매우 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 망 전·후의 압력강하는 풍속의 2차 함수로 변하는 특성을 보이며,

본 연구에서는 이러한 압력강하 특성을 풍속의 2차 다항식으로 제시하였다. 이러한 연구 결과는 추후 강제대류 및 시설 내 자연환기 해석과 망 시설의 구조해석에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006402)으로 이루어진 것임.

REFERENCES

1. ANSYS. 2010. *ANSYS CFX-Solver modeling guide*. ANSYS CFX Release 13.0.: ANSYS, Inc.
2. Jung, S. S., B. S. Jeon, J. G. Seo, and S. J. Chun, 2009. Evaluation of the acoustical characteristics of a windscreen for various wind speeds. *Journal of the Korean Physical Society* 59(4): 343-348 (in Korean).
3. Lee, S. P., S. G. Kim, G. S. Lee, D. W. Choi, and C. Y. Kim, 1990. Effect of different wind-break net on reducing damage of cold sea wind. *Korean Journal of Crop Science* 35(4): 352-361 (in Korean).
4. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), and Rural Development Administration (RDA), 2010. The drawings and detailed statements of anti-disaster specifications for horticultural and special-crops facilities: 43-50 (in Korean).
5. National Academy of Agricultural Science, 2011. Annual research report of agricultural engineering 2010, 610-611. Suwon, Korea (in Korean).
6. 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).
7. Yum, S. H., S.-H. Kang, S. H. Kim, S. B. Lee, and M. Y. Kim, 2011. Effects of an anti-wind net on wind velocity reduction by a wind tunnel test and CFD. *Journal of Biosystems Engineering* 36(5): 355-360 (in Korean).