

그물망을 이용한 서리 저감 효과 구명

유석철¹ · 김유용^{1*} · 임성윤¹ · 송호성²

¹국립농업과학원 농업공학부 재해예방공학과 연구사, ²국립농업과학원 농업공학부 재해예방공학과 박사후연구원

Investigation of Frost Reduction Effect using Mesh Net

Seok cheol Yu¹, Yu yong Kim^{1*}, Seong yoon Lim¹, Ho sung Song²

¹Researcher, Disaster prevention Engineering Division, Department of Agricultural Engineering,
National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea

²Post Doctoral researcher, Disaster prevention Engineering Division, Department of Agricultural Engineering,
National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate reduction of the frost damage using the mesh net used for the purpose of non-bagged cultivation. A device measuring the weight of frost was developed and installed in both the control and the experimental, and the effect of frost reduction was evaluated with their weights. As a result, weight of frost in the control was reduced from 37% to 59% with mesh net on the day the frost was observed. In addition, the device for automatically observing the amount of frost was developed and the height of the windbreak of the frost measuring device was determined to be 30 cm through wind tunnel experiment. The results of this study are expected to reduce frost damage during the flowering season of fruit trees by installing mesh net and it is expected to be used as basic data for agricultural use of mesh net.

Additional key words : crop, damage prevention, frost monitoring, micro weighing scale

서 론

과수 개화기에 내륙과 산간 일부 지역에서 기온이 영하로 떨어지면서 서리가 내려 과수의 꽃눈이 열고 농작물이 고사하는 등의 피해가 증가하고 있다. 이로 인한 농작물의 피해면적은 기상청이 발표한 이상기후 보고서(KMA, 2019, 2020)에 따르면 최근(2018~2019년) 2년 동안 57,677 ha에 달하였으며, 이중 과수의 피해면적은 40,749 ha로 전체 농작물 피해면적 70.6%를 차지하고 있다. 지구 온난화로 인한 기온 상승은 서리의 발생을 줄여주고 있지만, 과수 개화시기를 앞당기는 결과를 초래하고 있다. Chmielewski 등(2004)은 과수가 일찍 꽃을 피우면 늦서리를 입을 위험이 있고, 개화기의 서리는 꽃에 직접적인 피해를 주어 흉작이 발생할 수 있으므로 지속적인 작물 모니터링이 필요한 것으로 보고하였다. 향후 더 잦은 서리 피해가 예상되어 그 대책 마련이 시급한 현실이며 이에 따라 서리의 저감 및 피해를 예방하는 연구가 이루어지고 있다.

Choi 등(2011)은 과수 개화기의 서리나 냉해 피해를 방지

하기 위해 방상팬을 이용하여 기온 역전층 상부의 따뜻한 공기를 아래쪽으로 불러 내려 시설 내부의 기온을 상승시키는 방법과 물이 얼음으로 변화할 때 방출되는 잠열을 이용하는 미세살수법에 따른 개화기 배 과원의 온도변화와 과실의 서리 피해 경감효과를 구명하였다. 그 결과로 방상팬과 미세살수는 대조구에 비해 화서별로 서리피해율을 약 50% 감소시켰으며, 평균 착과율은 2배 이상 증가시키는 등 서리피해 방지에 효과가 있는 것으로 보고하였다. 경기도 농업기술원에서 수행한 연구보고서(GARES, 2015)에 따르면 배 과수원에서 왕겨를 이용한 연소법으로 서리 피해 저감 효과를 구명하기 위해 시험구에 신문지(갯지)를 배치하고 왕겨를 연소하여 수분을 제거한 이후의 수분 함량, 온도 차이 등의 측정을 통해 서리 제거 효과를 시험하였다.

또한 서리가 내리는 것을 미리 인지하여 피해 방지를 위한 방법을 적절히 활용하는 것이 더욱더 효과적이다. Kim 등(2019)은 서리와 서리 발생 전날의 기상요인을 분석해 기계학습법의 하나인 랜덤 포레스트(Random Forest)를 이용하여 서리 발생 예측모형을 구축하였다. 그러나 서리가 내리는 것을 광범위한 지역에서 예측하는 것은 가능하나 국지적으로 예측하지 못하는 한계가 있었으며, 내리는 서리의 양도 예측이

*Corresponding author: kimkyu12@korea.kr

Received September 11, 2020; Revised October 13, 2020;

Accepted October 14, 2020

어려워 서리의 양에 따른 과수 피해 예방 효과는 구명하지 못하였다. Kim 등(2009)은 센서 표면의 물방울로 인한 저항값이 변하는 특성을 이용해 서리 발생 유무를 판단하는 서리감지 시스템을 구현하여 미세살수 장치나 방상팬 등이 서리 발생 시에 자동으로 작동하도록 하였으나 정확한 서리의 양 측정이 불가능해 서리의 저감 효과를 구명하지 못하였다.

이처럼 서리는 발생을 예측하기 어렵고 발생 후의 제거는 이미 손해를 입은 후의 소극적인 방법이기 때문에 그 효과에는 한계가 있다. 최근 배 과원의 무봉지 재배를 통한 노동력 절감을 위해 그물망을 이용하고 있으며(Yu 등, 2019) 여름철 일소 피해를 예방하기 위해 그물망을 설치하여 과실 품질 저해 요인을 저감할 수 있는 현장적용 연구(Kang 등, 2019)가 수행된 바 있다. 농작물 상부에 설치한 망 시설이 서리 피해를 감소하는데 효과적으로 나타났으며(Teitel 등, 1996) 과수 주변에 그물망을 설치하게 되면 외부로부터 유입되는 서리를 감소함으로써 과수 개화기에 발생하는 서리 피해를 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 서리의 양을 자동으로 관측하는 장치를 개발하여 그물망의 서리 저감 효과를 구명하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 서리의 특성

서리는 이동성 고기압의 영향을 받고 있을 때 맑고 바람이 없는 날의 야간에 복사 냉각이 진행되면서 접지층의 대기가 안정되고 기온이 0°C 이하로 하강한 경우에 수증기가 승화하여 발생(Kwon 등, 2008)하거나 복사냉각에 의해 역전층이 형성되었을 때 지표층이 상층부보다 차가워진 상태에서 수증

기가 유입되면서 발생하거나 대류 현상에 의해 습한 기단에 차가운 공기가 유입되면서 서리가 발생한다(Temeyer 등, 2003). 서리의 밀도는 0.05 g/cm³(Monaghan, 2011)이며, 서리는 포화 기체의 수증기가 얼음으로 증착된 것으로 지면에 닿으면 흘러내릴 수 있어 측정하기가 어려우므로 서리를 수집할 수 있어야 하며, 수집한 서리를 실시간으로 모니터링 및 측정할 수 있는 시스템이 필요할 것으로 판단된다.

2. 서리 측정 방법 및 장치 구성

가. 서리 측정 방법 및 장치

서리 측정 장치는 Fig. 1과 같이 기상 측정 장치, 서리 중량 측정용 정밀 전자저울, 바람에 의한 영향을 줄이는 방풍함과 데이터를 수집 및 전송하는 데이터 획득 장치(DMU, Data measurement unit)로 구성되었다.

기상 측정 장치는 기상 센서(WS501, Lufft, Fellbach, Germany)와 강우량 센서(WTB100, Lufft, Fellbach, Germany)로 구성되어 온도, 습도, 일사량, 풍속 및 강우량을 측정하여 RS-485 통신으로 DMU에 기상 데이터를 1분 간격으로 전송한다.

배 과수원에서 왕겨를 태워 연소에 의한 수분 제거 효과를 구명하기 위해 지면에 갱지를 깔아 수분을 흡수한 정도를 관측(GARES, 2015)한 기존 문헌을 참고하여 정밀 전자저울의 측정부 위에 탈지면(25×30 cm)을 사각 채반에 올려놓고 탈지면이 흡수한 수분의 무게를 측정하였으며, 탈지면은 매일 새 것으로 교체하였다. 서리가 0.01 cm 내려 탈지면에 쌓이게 되면 식(1)에 따라 서리의 무게는 최소 0.4 g이 된다. 따라서 서리의 무게를 측정하기 위해서는 최소 0.4 g 미만의 측정이 가능한 저울을 사용해야 한다. 본 연구에서는 분해능이 0.01 g이

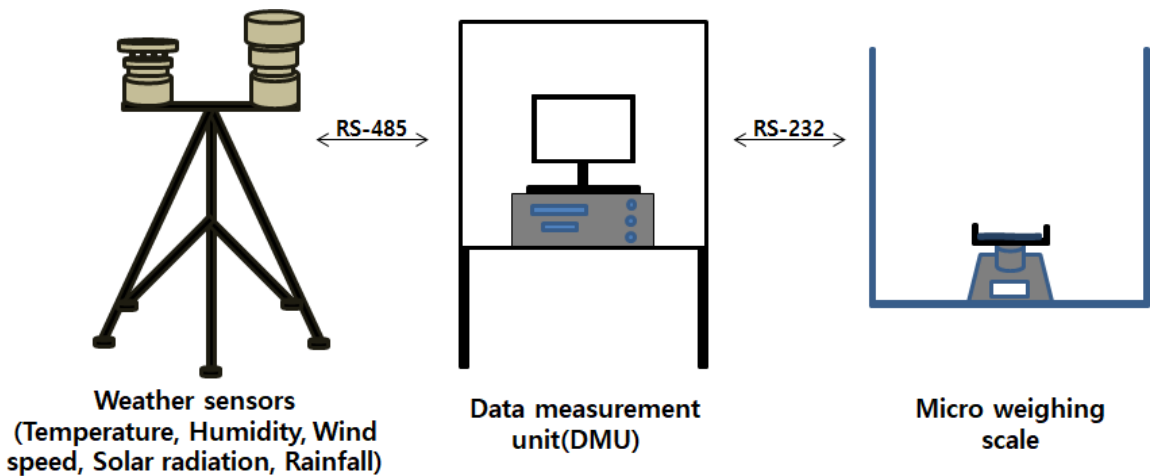


Fig. 1. Diagrams of frost weight measuring.

고, RS-232 통신을 통해 데이터를 전송할 수 있으며, 방수 기능이 있는 정밀 전자저울(FX-3000iwp, AND, Korea)을 선정하였다(Table 1).

$$W = \rho \cdot h \cdot A \quad (1)$$

나. 풍동실험을 통한 방풍함 높이 결정

정밀 전자저울을 이용한 서리의 양을 측정하기 위해서는 환경 여건상 외부에 설치해야 하는데, 바람이 불었을 때 저울 측정부에 양력이 발생하여 서리가 내리지 않은 경우에도 무게가 발생할 수 있다. 또한 바람이 저울 측정부의 모서리 부분에서 박리하여 와류(Karman vortex)가 발생하면서 미세한 진동을 유발할 수도 있다(Simiu와 Scanlan, 1996). 또한 방풍함의 높이에 비례하여 수평면적과 항력이 커지므로, 강풍으로 인한 저울 측정시스템이 전도되지 않도록 적절한 높이를 결정하는 것도 중요하다. 이에 본 연구에서는 바람에 의한 영향을 최소화할 수 있는 방풍함의 높이를 결정하기 위하여 Fig. 2와 같

이 저울 측정부에서 방풍함 상단까지 높이를 10, 20, 30 cm 가 되도록 방풍함을 제작하였으며, 방풍함이 없는 경우까지 포함한 풍동실험을 실행하여 비교하였다. Kwon 등(2008)의 연구 결과 내륙지역 서리 현상일의 평균 풍속이 대부분 지역에서 2 m/s 이하, 최대 3.7 m/s로 나타났으며, 따라서 실험 풍속은 약 0.5 m/s부터 서리가 발생할 수 있는 임계풍속인 3.8 m/s까지로 하여 각 풍속에 대해 저울의 측정값을 관측하였다.

본 연구에 사용된 풍동은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부에 설치된 개방형 아음속 경계층 풍동으로 풍동의 주요 사양은 Table 2와 같다.

3. 그물망의 서리량 저감 효과 시험

가. 서리저감 효과 구명

서리 측정 장치를 이용하여 서리량 저감 효과를 구명하기 위해 국립농업과학원 농업공학부 시험포장에 망 격자 크기가 4 mm이며 UV 산화방지제가 첨가된 PE 소재의 그물망(NO.4001, Pyunghwa Industry, Korea)을 길이 4 m, 폭 5 m,

Table 1. Specifications of micro weighing scale.

Maximum weight	Resolution	Linearity	Communication function	Ingress protection
3,200 g	0.01 g	± 0.02 g	RS-232C	IP65

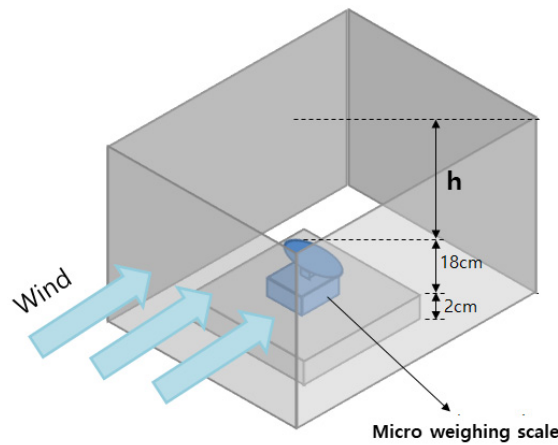


Fig. 2. Diagram of wind tunnel test setup.

Table 2. Specifications of the wind tunnel.

Item	Specification
Type	Eiffel type boundary layer wind tunnel
Test section size	3 (width) × 2 (height) × 15 (length) m
Wind speed range	0~22 m/s
Flow uniformity	Less than ±1%
Turbulence intensity	Less than 1%

높이 4.2 m 규모의 망 시설(Fig. 3)을 설치하고, 시험구(망 내부)와 대조구(망 외부)에 서리 측정 장치를 설치하였다. 외기 기상은 2.5 m 높이에 망 시설로부터 3 m 떨어진 위치에서 외기 기상 요인을 측정하였으며, 서리 측정 장치는 구조물로 인한 영향을 최소화하기 위해 입구로부터 1.5 m 떨어져 서까래나 기둥과 같은 구조물의 영향이 없는 곳에 배치하였다. 2019년 11월 20일 정오부터 11월 30일 16시까지 시험구와 대조구에 각각 설치된 저울을 이용하여 서리량을 측정하고, 각각의 기상관측장비를 통해 온도, 습도, 풍속, 및 일사량 데이터를 측정하였다. 모든 측정값은 1분 간격으로 측정하여 저장하였다.

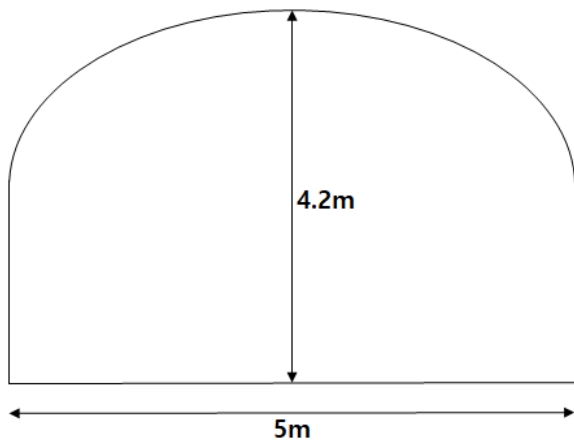
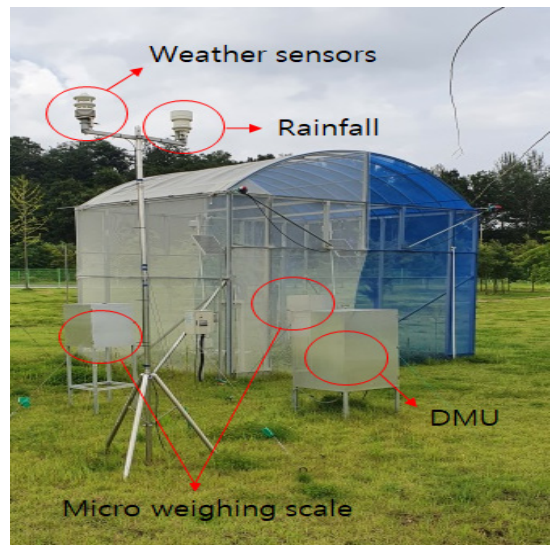


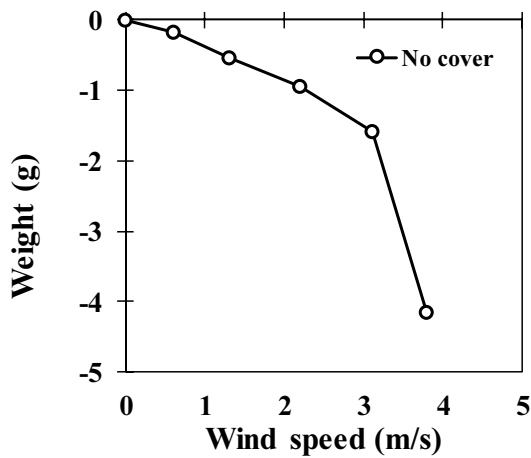
Fig. 3. View of installed net facilities and sensors in the experiment.



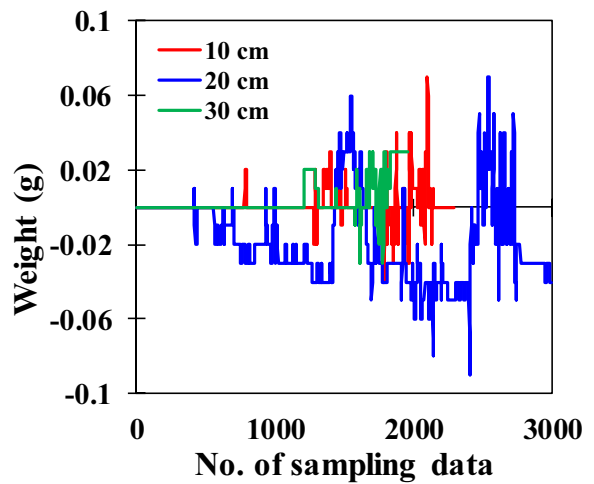
결과 및 고찰

1. 방풍함 높이 결정

서리의 중량을 측정하는 정밀 전자저울의 바람에 대한 영향을 확인하기 위해 풍동실험을 실시한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 방풍함이 없는 경우 풍속이 증가함에 따라 저울에 측정되는 값이 큰 폭으로 증가하며 변동하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4a). 방풍함이 있는 경우 방풍함 높이에 따른 풍속별 저울의 영향은 모든 풍속범위 내에서 최댓값이 0.1 g 미만으로 측정되어, 서리가 발생할 수 있는 임계풍속까지의 구간에서 서리 무게 측정에 필요한 최소값인 0.4 g을 초과하지 않았



(a) Without windbreak



(b) With windbreak

Fig. 4. Micro weighing results of wind tunnel test.

다(Fig. 4b). 그러나 10 cm와 20 cm인 경우 풍속이 증가하면 서 그 변동이 커지는 경향을 보이고 있기 때문에, 바람에 의한 영향이 가장 적은 상단부에서 방풍함의 상단까지의 높이가 30 cm가 되도록 제작하였다.

2. 서리저감 효과 구명

2019년 11월 20일 정오부터 11월 30일 16시까지 시험구와 대조구에 각각 설치된 저울을 이용하여 서리량을 측정하고, 각각의 기상관측장비를 통해 온도, 습도, 풍속, 및 일사량 데이터를 측정하였다. 저울에 측정된 값은 서리뿐만 아니라 이슬이나 강우에 따른 수분에 의해서도 값이 변화할 수 있기 때문에 그에 대한 구별이 필요하다. 서리 발생 여부를 육안으로 직접 확인하는 것이 가장 좋은 방법이나, 서리는 주로 새벽 시간대에 발생하기 때문에 매일의 기상 현상을 직접 확인하는 것은 어려운 상황이다. 이에 기상청에서 발표한 기상 현상을

참조하는 간접적인 방법을 이용하여 서리 발생 여부를 확인하였다. Table 3는 기상청(KMA)으로부터 획득한 현장시험 기간 중 전주지역의 기상 현상이다. 측정 기간 중 서리는 총 6번의 서리가 발생하였으나, 11월 20일은 정오부터 저울 측정과 기상 관측을 시작하였기 때문에 제외하였다.

Fig. 5는 2019년 11월 21일부터 11월 30일까지의 기상데이터 중 서리가 발생한 날을 기준으로 전날의 정오부터 당일 새벽 6시까지 대조구와 시험구의 기온과 습도를 비교한 것이다. 서리가 발생한 시점의 온도와 습도를 모두 대조구와 시험구가 눈에 띄는 차이는 보이지 않았다. 온도의 경우 일몰 이전에는 시험구가 높지만 일몰 이후에는 역전되어 시험구가 더 낮게 측정되었다. 이는 시험구가 대조구에 비해 더 큰 일교차를 보인다고도 볼 수 있다. 습도의 경우 반대로 낮 시간대에는 시험구가 더 낮게 나타나지만, 일몰 이후부터는 시험구가 대조구보다 더 높게 관측되었다. Fig. 5의 모든 경우에서 온도와 습도

Table 3. Weather phenomena during measurement period.

Date (yy-mm-dd)	Weather phenomena
2019-11-20	-
2019-11-21	Frost, Freezing
2019-11-22	Dew
2019-11-23	Dew
2019-11-24	Rainfall, Fog
2019-11-25	(No phenomena)
2019-11-26	Frost, Freezing
2019-11-27	Rainfall
2019-11-28	Frost, Freezing
2019-11-29	Fog, Dew, Frost, Freezing
2019-11-30	Frost, Freezing

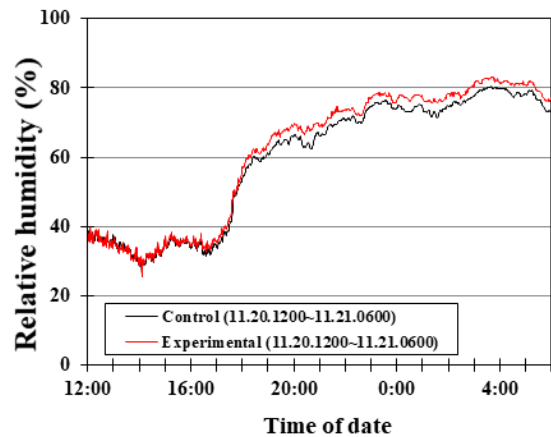
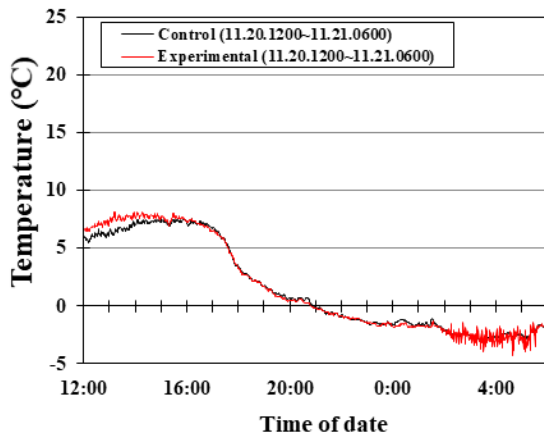


Fig. 5. Weather data of frost day (continued).

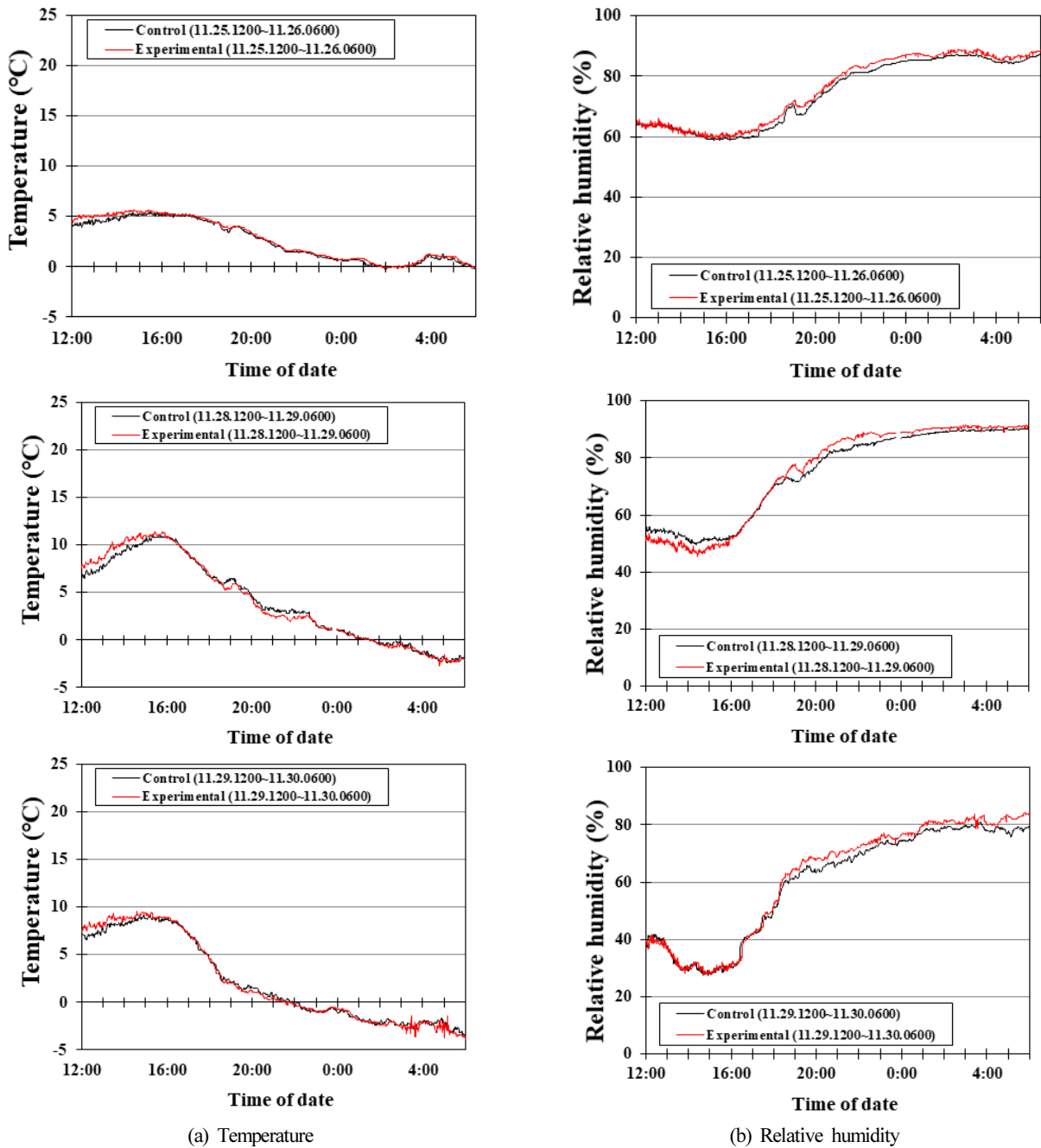


Fig. 5. Weather data of frost day.

의 시계열 값은 비슷한 경향을 보이고 있다.

Fig. 6의 a)는 2019년 11월 20일부터 11월 30일까지 저울에 측정된 값을 일 중 시간대별로 나타내고 있다. 그런데 11월 24일 오후에 비가 내려서 강우량이 저울에 측정되었기 때문에 강우 당시의 데이터를 제외한 저울 데이터를 Fig. 6의 b)에 나타내었다. 저울에 측정된 값은 채반과 탈지면 무게가 포함되었기 때문에, 소량의 습기로 인한 데이터의 오류를 범하지

않기 위해서 전체 기간의 데이터에서 하루 중 기온이 가장 높은 12시부터 13시까지 저울값을 평균하여 빼준 값을 순수한 저울 측정값으로 결정하였다.

저울에 측정된 값을 살펴보면 약 12시부터 16시까지 그 값이 거의 0에 가깝게 유지되다가, 일몰 즈음인 18시 전후를 기준으로 조금씩 증가하는 추세를 보이고 있다. 그 값은 6시에서 8시에 최댓값을 보이다가 일출 직후부터 급격하게 감소하

는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향으로 보았을 때, 밤새 축적된 저울값의 최대치가 되는 시점을 6시부터 7시까지로 설정할 경우, 그날 발생하는 서리나 이슬의 무게를 측정할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 6시부터 7시까지 측정된 대조구와 시

험구의 저울값의 평균을 Table 4에 정리하였다. 서리를 관측한 시기의 평균 풍속은 2 m/s 이하로 나타났다. 이는 풍속이 강한 날에는 역전층이 형성되지 않아 서리 현상이 잘 발생하지 않으며 대부분 지역에서 서리 현상일의 평균풍속이 2 m/s 이

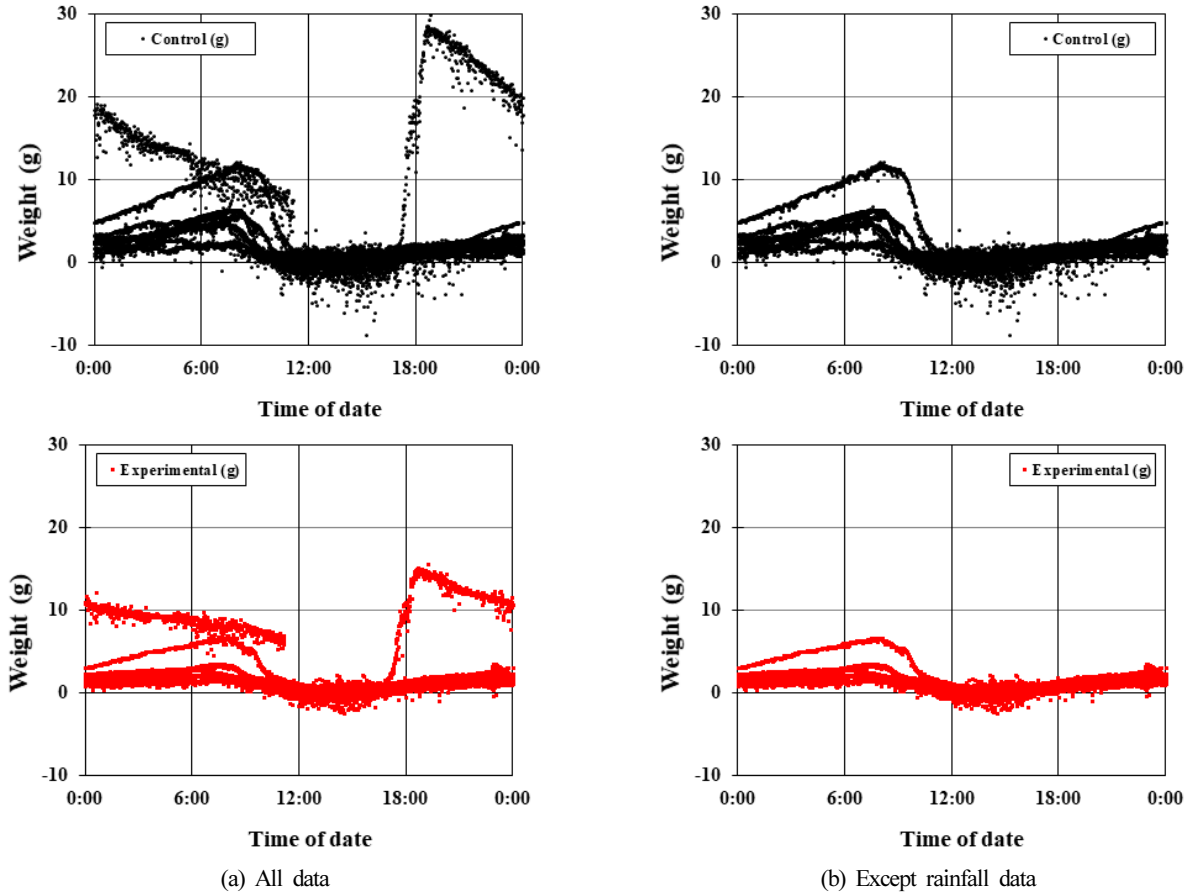


Fig. 6. Variations of frost weight.

Table 4. Reduction ratio of frost around the control and experimental.

Date	Mean wind speed at control (m/s)	Mean wind speed in experimental (m/s)	Mean weight at control (g)	Mean weight in experimental (g)	Reduction ratio
2019-11-21	1.37	0.01	4.17	2.06	49.3% (Frost)
2019-11-22	1.07	0.01	1.24	0.90	72.5%
2019-11-23	1.17	0	4.62	2.70	58.5%
2019-11-24	1.05	0.02	1.96	1.36	69.7%
2019-11-25	2.06	0.71	10.57	8.24	78.0%
2019-11-26	1.31	0.11	5.79	2.14	36.9% (Frost)
2019-11-27	0.59	0	-	-	-
2019-11-28	1.1	0.01	5.81	3.25	56.0% (Frost)
2019-11-29	0.9	0.04	10.37	6.12	59.0% (Frost)
2019-11-30	1.23	0.36	5.30	3.13	59.1% (Frost)

하였던 Kwon 등(2008)의 연구와 일치하였으며, 11월 27일은 장비 오작동으로 인하여 데이터가 저장되지 않았다. 대조구와 시험구에 설치된 각각의 저울값을 비교해보면, 대조구에 비해 시험구의 저울값이 최소 약 37%에서 최대 약 78%까지 적게 측정되었다. 관측일의 기상 현상이 서리인 날로 한정할 경우 대조구에 비해 시험구의 서리의 양이 약 37%에서 59%까지 감소하는 것으로 볼 수 있다.

적 요

본 연구에서는 서리의 피해 저감을 위하여 과수 무봉지 재배를 목적으로 사용하고 있는 그물망을 이용하고자, 서리의 양을 관측하는 장치를 대조구와 시험구에 설치하여 그 비교를 통해 서리 저감 효과를 구명하였다. 시험 결과 실제 서리가 관측된 날을 기준으로 시험구에서 37%에서 59%까지 저감 효과를 확인할 수 있었다. 또한 서리의 양을 자동으로 관측하는 장치를 개발하고 풍동실험을 통해 서리 측정 장치의 방풍합 높이를 30 cm로 결정하였다. 이러한 연구 결과는 그물망 설치함으로써 과수 개화기에 서리 피해를 저감할 수 있을 것으로 판단되며, 그물망의 농업적 이용에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

추가 주제어: 기상현상, 습도, 온도, 저감효과, 풍속

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구 개발사업(과제번호: PJ014164012019)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Chmielewski, F-M., A. Muller, and E. Bruns. 2004. Climate change and trends in phenology of fruit trees and field crops in germany, 1961-2000. *Agricultural and forest Meteorology* 121:69-78.

Choi, H.S., Y.S. Jo, W.S. Kim, J.A. Jo, Y.J. An, and Y. Lee. 2011. Effect of sprinkler and wind machine on frost protection during flowering of pear trees. *J Korean Soc Agric* 24:60-64 (in Korean).

Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services. 2015. The development of combustion method for reducing chilling injury when pear blooming period 277-282 (in Korean).

Kang, K.J., J.H. Seo, H.K. Yoon, J.S. Seo, T.Y. Choi, and J.P. Chun. 2019. Effects of wind net shading and sprinkling on growing conditions and fruit quality in 'Hongro' and 'Fuji' apple fruits. *Protected Hort. Plant Fac* 28:126-133 (in Korean)

Kim, M.H., B.R. Son, D.K. Kim, and J.G. Kim. 2009. Agricultural products traceability management system based on RFID/USN. *J Comp Sci Eng* 15:331-343 (in Korean).

Kim, Y.S., J.N. Hur, K.M. Shim, and K.K. Kang. 2019. A study on frost occurrence estimation model in main production areas of vegetables. *J. Korean Earth Sci Soc* 40:606-612 (in Korean).

Korea meteorological administration (KMA). 2019, 2020. abnormal report (in Korean).

Kwon, Y.A., H.S. Lee, W.T. Kwon, and K.O. Boo. 2008. The weather characteristics of occurrence days for protecting crops against frost damage. *Journal of the Korean Geographical Society* 43:824-842 (in Korean).

Monaghan, P.F. 2011. Frosting. *Heat & Mass Transfer and Fluids Engineering* DOI: 10.1615/AtoZ.f.frosting.

Simiu, E. and R. Scanlan. 1996. *Wind effects on structures: fundamentals and applications to design*. 3rd edition. John Wiley and Sons p. 135-155.

Teitel, M., U.M. Peiper, and Y. Zvieli. 1996. Shading screens for frost protection. *Agricultural and Forest Meteorology* 81:273-286.

Temeyer, B.R., W.A. Gallus Jr, K. A. Jungbluth, D. Burkheimer, and D. McCauley. 2003. Using an artificial neural network to predict parameters for frost deposition on Iowa bridgeways. *Proceedings of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Iowa State University, Iowa, USA.

Yu, S.C., J.H. Choi, H.C. Lee, and U.Y. Lee. 2019. Micrometeorology analysis of pear orchard with anti-insect nets for non-bagged cultivation. *Protected Hort Plant Fac* 28:150-157 (in Korean).