

농업용 풍속 및 풍향 센서 검증시스템 개발

한철우*, 백선욱*, 권나원*, 김영태*, 배남진*, 강동현^o

Development for Verification System of Agricultural Wind Speed & Direction Sensor

Cheolwoo Han*, Sunwook Baek*, Nawon Kwon*, Youngtae Kim*, Namjin Bae*,
Donghyeon Kang^o

요약

본 연구는 스마트팜 ICT기자재 중 풍향·풍속 센서의 성능을 시험하기 위하여 구성된 시스템을 개발하고자 하였다. 이 시스템의 구성은 다음과 같은데, 1. 인공풍을 생성하기 위한 송풍기 및 인공풍을 센서에 정확하게 전달하기 위한 풍로, 2. 송풍기에서 발생하는 풍속 측정 및 기준센서의 역할을 하는 열선형 풍속센서, 3. 시험용 센서를 고정하고 풍로의 직선방향으로 맞추기 위한 수직이동 장비 및 지그, 풍향 센서 검증용 무빙 플레이트, 4. 시스템을 제어하고 센서로부터 데이터를 취득하기 위한 DAQ 등으로 구성된다. 송풍기에서 발생하는 풍속의 범위는 0 ~ 25 m/s, 고성능의 기준 센서를 풍로에 설치하여 풍속을 측정한다. 본 연구에서는 스마트팜 현장에서 활용되는 각 3 종류의 풍향센서, 풍속센서 등을 시험하였으며 선택한 센서는 풍로의 끝에 위치한 지그에 고정하고, 각 풍속 및 풍향에 대한 시험 및 기준 센서 값을 비교 분석하였다.

Key Words : Agriculture wind speed sensor, Agriculture wind direction sensor, Smart farm, Verification system

ABSTRACT

In this study, explain about development system for wind speed sensor and directing sensor verification, one of the components of smart farm ICT equipment, and performed the performance evaluation of the test target sensor. The entire verification system constructed as follows. 1. Air blower that generating artificial wind, 2. Reference sensor to measure the wind speed of artificial wind, 3. Sensor to be evaluated, moving plate and jig for fixing the test sensor 4. DAQ boards and industrial computer for data acquisition and artificial wind control. Air blower can control artificial wind speed in the range of 0 to 25 m/s. A high-precision reference sensor is installed at the center of the airway for accurate wind speed measurement. three types of agricultural wind speed sensors and wind direct sensors in the market were selected for the study. The selected sensors fixed the on the Jig located at the end of the air path, and the test and reference sensor values for each wind speeds were compared and analyzed.

※ 본 연구는 농림식품기술기획평가원(322031-3) 지원 및 한국농업기술진흥원 관리로 수행되었습니다.

• First Author : Korea Agriculture Technology Promotion Agency, facthcw7@koat.or.kr, 정희원

◦ Corresponding Author : Korea National University of Agriculture and Fisheries, kang6906@korea.kr, 정희원

* Korea Agriculture Technology Promotion Agency

논문번호 : 202207-136-0-SE Received June 30, 2022; Revised September 1, 2022; Accepted September 6, 2022

I. 서론

우리나라의 농업의 현실은 시간이 지날수록 고령화 및 노동력 부족의 상황이 악화되고 있으며, 이를 기술적 방법을 통해 문제점을 극복하고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다.^[1,2] 이러한 여건하에서 농작물 및 가축의 생육정보와 환경정보 등에 대한 정확한 데이터를 기반으로 언제 어디서나 농작물과 가축의 생육환경을 점검하고, 적기에 처방함으로써 노동력, 에너지, 양분 등을 효율적으로 사용함으로써 생산성과 품질을 제고할 수 있는 기술인 스마트팜은 다양한 분야에서 활발히 연구개발이 진행되고 있다.^[3] 연구개발된 다양한 스마트팜 센서와 구동기는 작물을 생육 혹은 가축을 사육하는 시스템으로 탑재됨으로써 농업현장의 노동인구 부족 및 고령화 문제를 해결할 수 있는 기술이라 할 수 있다. '22년 9월 기준으로 스마트팜코리아에 등록된 관련 업체는 시설원에 및 축산물 포함하여 866개의 업체가 스마트 팜 기자재 관련 업체로 등록되어 있으며, 2088여개의 스마트 팜 관련 기자재를 판매하고 있다. 이러한 스마트팜 기자재 판매의 확대는 시스템을 이해하고 적절히 활용하면 생산성 향상에 크게 기여하지만, 많은 자원과 비용이 투입된 스마트 팜 기술이 그 기능을 다하지 못하게 된다면 효용성을 잃게되는 부정적 결과를 초래할 수 있다.^[4] 또한 현재 보급되어 있는 상당수의 국내 제품은 기자재에 대한 검정기준이나 표준 등이 제정되기 전에 보급된 제품이 많아 정확도에 대한 보증이 어렵고 A/S가 어려운 것이 현실이다.^[5] 이러한 문제점은 농업인들의 잠재적인 경제적 피해 및 스마트팜 시스템의 안정성에 대한 문제로 이어질 수 있다.^[6] 농촌진흥청에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 ICT 기자재 단계 표준을 제정하고 있으며, 개발된 시설원예용 기자재 중 센서 13종, 구동기 9종 그리고 환경제어용 3종 등 총 25종의 표준규격에 대한 검정이 요구되어, 표준규격 부합 여부를 객관적으로 확인하기 위한 검인증 체계를 구축하고 있다.^[7] 기상을 예측하기 위한 기존의 풍향·풍속 센서는 상대적으로 높은 풍속 환경의 조성을 위하여 대형풍동을 설치하여 한국기상산업기술원에서 검정을 진행하고 있으나, 스마트팜 ICT기기자재로서의 활용을 위해서는 호환성·신뢰성 등의 검사를 포함하여 시험해야 하므로 상대적으로 작은 크기의 소형 풍동을 구성하여 시험할 필요성이 있다. 본 연구에서는 스마트팜에서 사용되는 기자재 중 풍향/풍속센서의 성능을 평가할 수 있는 시스템을 개발하고, 시중에 판매되고 있는 농업용 센서에 대한 성능을 평가하였다.

II. 본론

2.1 검정 시스템

인공적으로 바람을 발생시켜 시험하는 풍동은 목적에 따라 다양한 종류가 존재하며, 우주, 항공, 차량 등에 대상체의 바람의 영향을 모델링 하는데 주로 사용되고 있으며, 농업에서는 주로 농업시설의 열손실 분석, 구조안전성, 환기성능 평가 등에 활용되고 있다.^[8,9] 농업시설 또는 건물을 평가 대상으로 하는 대형풍동은 시설 자체가 인공바람만을 발생하기 위한 장치로 사용되며, 스마트팜 기자재와 같은 소형 크기 센서의 성능평가용으로는 공간 및 비용적 측면에서 적절하지 못한 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 센서의 성능평가를 위한 소형 풍동을 설계 및 제작하여 검정시스템을 구성하였다. 대상 센서를 검정하기 위한 시스템과 신호의 흐름은 Fig. 1과 같이 인공바람을 발생시킬 수 있는 송풍기, 인공바람의 풍속을 측정할 수 있는 기준 센서, 풍향 측정을 위한 풍향판, 데이터획득을 위한 Data Acquisition System(이하 DAQ) 보드, 풍력터빈 제어 및 데이터 저장을 위한 중앙제어 장치인 산업용 컴퓨터, 검정센서 고정을 위한 지그 등으로 1270×750×2550(W×H×L, mm)구성하였다.

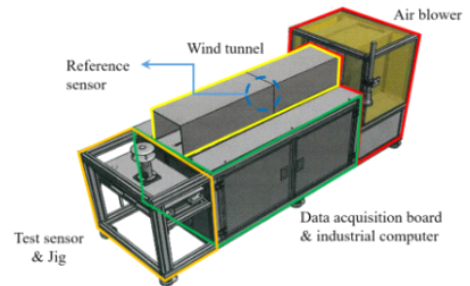


그림 1. 풍향·풍속센서 검정시스템
Fig. 1. Anemometer verification system

2.1.1 인공바람 발생장치

풍속 및 풍향센서의 검정을 위한 인공바람 발생장치는 모터(TIS-310GS, INNOTECH, KOREA)의 회전으로 인해 비교적 강한 바람 발생이 가능한 터빈형 임펠러가 탑재된 팬을 이용하였으며, 그 제원은 Table 1과 같다. 인공바람 발생장치에서 발생한 인공바람은 풍로를 통해 이동하며 기준센서와 검정대상 센서에 전달된다. 스마트팜 센서 인터페이스 관련 KS표준에 따르면 풍속센서의 최대풍속 측정범위는 측사 75 m/s ± 5%, 시설온실 40 m/s^[10]로 정의하고 있으나, 기상청에서 발표한 지역별 기후특성에 따르면 국내 연 평

표 1. 송풍기 제원
Table 1. Specifications of air blower

Model	Source (V, Hz)	Current (A)
TIS-310GS	220, 60	5.0
Power Consumption (W)	Air Volume (m ³ /h)	Rated Speed (rpm)
1,050	5,670	1,130

균 풍속은 1.6 m/s로 비교적 낮고, 고풍속 구간(강풍경보 기준 20 m/s 이상)에서는 시설온실 및 축사 등을 무조건적으로 폐쇄하여야 하므로 환경 제어에 있어서 저풍속 구간(20 m/s 이하)이 중요하다고 사료되어 최고풍속을 25 m/s까지 확인할 수 있도록 설계하였다. 인공바람의 속도는 중앙제어장치에서 주파수를 통해 제어하였다.

2.1.2 기준 풍속센서

높은 오차율을 가진 센서를 기준 센서로 사용할 경우 비교 센서로서 역할을 하지 못하며 검정 신뢰성에 영향을 미치게 된다. 따라서 검정 대상 센서의 성능을 객관적인 비교평가를 위해서는 기준 센서의 신뢰할 만한 높은 정확도 및 정밀도를 확보해야 한다.^[11] 연구에 사용된 기준 센서는 CTV210-BOS(KIMOCOREA CO., KOREA)를 사용하였으며, 기준 센서는 0 ~ 3 m/s, 3 ~ 30 m/s의 범위에서 정확도는 각각 ±0.03 m/s, ±0.1 m/s, 분해능은 0.01 m/s, 0.1 m/s의 특성을 가진다. 기준 센서는 공기 및 가스 형태의 풍속(유속) 및 온도 측정용 센서이며 최대 측정 범위는 30 m/s까지 풍속을 측정이 가능하다. 기준 센서의 정확도 및 정밀도를 확보하기 위해 국가교정기관으로 지정된 업체로부터 열선형 유속계 교정작업지침(CP-20901)에 의거하여 측정 및 교정하여 검정시스템에 탑재하였다.

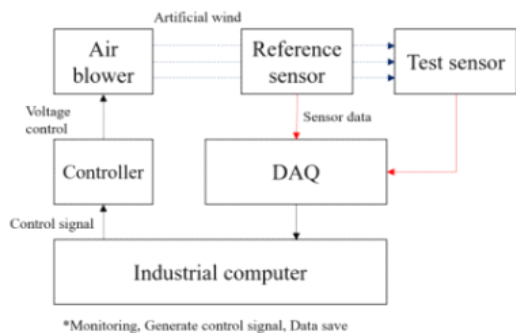


그림 2. 풍향 풍속센서 검정시스템 제어 다이어그램
Fig. 2. Schematic diagram of anemometer verification system

풍동의 단면적은 200×300(W×H, mm), 길이는 정속 유지를 위하여 1.5 m 길이로 제작하였고, 기준센서는 풍동 시작점에서 0.8 m 위치하고, 프로브는 단면의 정중앙에 위치하도록 제작하였다. 기준 센서는 Fig. 2와 같이 검정시스템의 풍로 내부 중앙에 설치되어 구동기로부터 발생하는 풍속을 실시간으로 측정할 수 있도록 설계되었다.

2.1.3 풍향 측정장치

풍향센서의 측정정확도는 Fig. 3과 같이 회전 스테이지 상단에 각도측정이 가능한 센서 고정장치를 설치하여 측정하였다. 시험은 풍동에서 1 m/s의 바람을 발생시킨 후 센서고정 스테이지를 회전시켜 풍향 측정값과 비교분석하였다. 국내에서 활용되고 있는 풍향센서는 그레이코드식, 전위차계식, 초음파식 등이 있으며, 국내에서 농업용으로 연구개발된 대부분의 풍향센서는 그레이코드식 혹은 전위차계식을 채용하고 있어 이러한 형식의 풍향센서에 대해 측정이 가능하도록 설계하였다. Fig. 4의 회전스테이지는 R-120-AMB(JAEWON, KOREA)를 사용하였으며, 기준 회전 스테이지는 테이블 직경 120 mm, 이동범위 0 ~ 360°, 내하중 100 N, 분해능 1°, 평행도는 0.04 mm의 특성을 가진다.

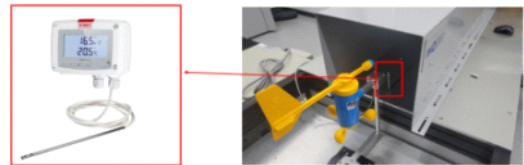


그림 3. 송풍로 내부 기준센서
Fig. 3. Reference sensor installed inside the wind tunnel

2.1.4 DAQ 보드 및 산업용 컴퓨터

각 센서로부터 입력되는 데이터 획득 및 인공바람 발생을 위한 모터제어는 DAQ 보드(T36-PR, AJINEXTEK, USA)와 중앙제어장치 역할을 하는 산업용 컴퓨터(INDUSTRIAL COMPUTER 610H, Advantech Co., Ltd., China)를 이용하였다. DAQ 보드는 기준 센서와 검정 대상 센서의 풍속 데이터를 위한 Analog Input 채널과 모터 제어를 위한 Analog Output 채널이 있으며, 추가적으로 센서의 최종 신호가 전류가 아닌 데이터로 발생하는 센서를 위한 RS-485 및 232 등의 신호를 수집할 수 있는 통신 변환 장치를 탑재하였다. DAQ 데이터를 초당 10개 이상의 발생하는 신호를 측정할 수 있으며, 수집된 신호는 산업용컴퓨터에서 디스플레이 및 저장된다.

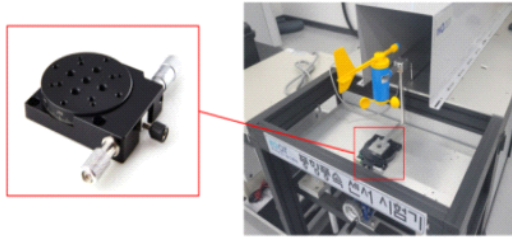


그림 4. 이동판에서의 회전스테이지 배치
Fig. 4. Reference manual stage installed on the moving plate

2.2 시험 방법

풍속 시험은 구축한 검정 시스템에 각기 다른 방식과 성능을 가진 센서 3종을 검정시스템 말단의 검정용 지그에 고정하고 송풍기의 제어를 통하여 단계별 인공바람을 발생시켜 기준 센서와 검정 센서의 데이터를 동시에 획득하여 비교 분석하였다. 송풍기에서 발생하는 인공바람의 크기는 6단계로 제어신호 0 ~ 60 Hz까지 10 Hz 간격으로 증가시켰으며 각 단계별로 1분 단위로 5분간 기준 센서 및 검정 센서의 데이터를 수집하여 분석하였다.

풍향 시험은 풍향센서를 설치하고 회전 스테이지와 풍향센서에서 출력되는 영점을 일치화 시킨 후 송풍기에서 인공바람을 약 1 m/s ± 5 % 로 발생시키고 회전 스테이지를 10°씩 회전시키면서 검정 센서의 데이터를 수집하여 분석하였다.

2.2.1 풍속 기준센서 위치 선정시험

풍속 센서의 검정을 위해서는 풍동 내 동일한 위치에 기준센서와 검정센서가 위치하는 것이 가장 정확하지만, 동일한 위치에 두 개의 센서를 설치하는 것은 불가능하다. 또한 광초파식, 초음파식 등 다양한 방식의 풍속센서에 대해 검정을 수행하기 위해서는 기준센서와 검정센서의 위치를 다르게 설치할 수 밖에 없다. 이에 따라 풍속의 차이가 발생할 가능성이 있기 때문에 개발된 풍속검정 시스템에서 기준센서와 검정센서 위치 사이에서 발생하는 오차를 최소화 하여야 한다. 따라서 검교정이 완료된 기준센서와 동일한 모델 두 개의 센서를 이용하여 기준센서와 검정센서 위치에 고정 후 인공바람을 발생시켰을 때 오차를 분석하였다.

2.2.2 검정 대상 풍속 센서

구축한 검정 장비를 활용하여 시중에 판매되고 있는 다양한 측정방식의 풍속 센서에 대해 성능을 평가

하였다. 풍속 측정방식은 광초파식, 초음파식, 열선식 등 다양한 형태가 있다. 광초파식은 센서에 장착된 3개의 풍배가 바람에 의해 회전할 때 발생하는 펄스를 기반으로 풍속을 측정하는 방식으로 정밀도는 낮지만 저가로 제작할 수 있어 스마트 팜에서 다수 채용되는 방식이다. 또한 초음파식 풍속계는 음파의 풍속에 의한 전파 속도 변화를 감지하여 풍속을 측정하는 방식으로 고가이지만 정밀도가 높다는 장점이 있다. 시험에 이용된 센서의 측정 방식은 기준센서와 다른방식인 광초파식 2종의 센서와 초음파식 1종의 센서를 선정하여 시험을 진행하였다. Table 2는 시험에 이용한 센서의 제원으로 첫 번째 테스트 센서는 농가에서 주로 많이 사용하는 광초파식 방식의 풍속 측정계로 0.5 ~ 89 m/s범위의 풍속을 측정할 수 있으며 0.1 m/s의 분해능과 1 m/s의 정확도를 가지고, 두 번째 센서는 첫 번째 센서 같은 방식인 광초파 방식의 풍속 센서로 측정 범위는 0 ~ 70 m/s, 분해능 0.1 m/s, 정확도 ±0.3 m/s이며, 세번째 센서는 초음파를 이용한 풍속 측정계로 0 ~ 60 m/s 범위의 풍속이 측정 가능하며 0.01 m/s의 고 분해능 및 ± 0.2 m/s의 정확도를 가진다.

2.2.3 검정 대상 풍향 센서

풍속센서는 측정 방식에 따라 풍차식, 풍배식, 초음파식 풍향센서로 구분된다. 풍차식과 풍배식 풍향센서는 회전체의 기계적 마모에 의해 발생하는 짧은 주기의 부품 교체 및 부품 교체에 따른 특성차 발생, 낮은 신뢰성 등으로 인해 정밀한 풍향이 요구되는 장소에서 활용하기 어려운 단점이 있다.^[12] 하지만 정밀도가 높은 초음파식은 고가이기 때문에 농업용으로 활용되

표 2. 시험용 풍속센서
Table 2. Test sensor for wind speed measurement

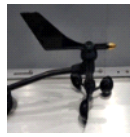


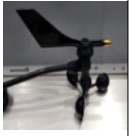

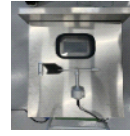
			
Name	Wins speed Sensor1	Wins speed Sensor2	Wins speed Sensor3
Measuring method	Photo chopper type	Photo chopper type	Ultra sonic
Measuring range	0.5~89 m/s	0~45 m/s	0~60 m/s
Resolution	0.1 m/s	0.1 m/s	0.01 m/s
Accuracy	±1 m/s	±0.3 m/s	±0.2 m/s
Output signal	RS485Modbus (KSX3279)	4-20 mA	RS485Modbus (KSX3279)

표 3. 시험용 풍향센서
Table 3. Test sensor for wind direction measurement

			
Model name	Wins direction Sensor1	Wins direction Sensor2	Wins direction Sensor3
Measuring method	Photo chopper type	Photo chopper type	Photo chopper type
Measuring range	0 ~ 359 °	0 ~ 359 °	0 ~ 359 °
Resolution	0.1 °	0.1 °	0.1 °
Output signal	RS485Modbus (KSX3279)	RS485Modbus (KSX3279)	RS485Modbus (KSX3279)

는 대부분의 풍향센서는 풍배식 혹은 풍차식이 활용된다. 본 시험에서는 풍향검정시스템을 이용하여 Table 3과 같이 시중에서 농업용으로 활용되고 있는 3가지 풍향센서에 대해 풍향 정밀도를 측정하였다.

III. 결 과

3.1 기준센서 위치선정 및 교정

풍속센서 기준기의 위치선정을 위하여 풍로에 센서를 1개 배치하고 동일하게 교정된 센서를 측정위치에 배치하여 시험방법에 따라 시험한 결과는 Fig. 5와 같다. 시험결과 기준센서가 위치해 있는 풍동 내에서 발생한 바람이 풍동을 벗어나면서 공기의 확산으로 인해 풍속의 차이가 발생하는 것으로 조사되었다. 기준센서와 시험센서 간 풍속차를 없애기 위한 관계는 식 (1)을 적용하면 결정계수가 1로서 정확한 풍속 측정이 가능한 것으로 분석되었다.

$$y = 1.0842x - 0.057 \quad (1)$$

여기서, y는 실제 풍속, x는 시험풍속센서의 값이다. 검정시스템은 시험센서 입력되는 값에 식(1)을 적용한 후 기준센서와 비교한다면 시험센서의 정밀도에 대한 검정이 가능할 것으로 사료된다.

3.2 검정 대상 풍속 센서

개발된 검정시스템을 이용하여 검정 대상 센서와 기준센서의 평균풍속, 표준편차, 상관관계 분석을 통하여 성능평가를 수행하였다. Fig. 6은 풍속별 기준데이터와 3개의 이중 센서의 데이터를 나타낸 것이다.

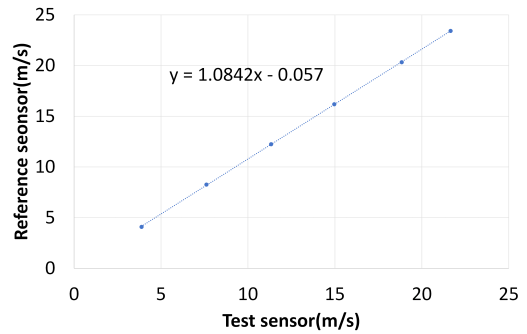


그림 5. 기준 및 시험센서의 관계
Fig. 5. Relationship between reference sensor and test sensor

풍속센서 2는 인공바람 6단계 구간에서 표준편차 0.8 m/s로 가장 큰 편차가 나타났으며, 기준센서와의 값 차이는 1단계에서 0.39 m/s에서 6단계에 이르러서는 최고 2.62 m/s까지 풍속 높아질수록 오차가 커지는 것으로 조사되었다. 초음파 방식인 풍속센서 3은 풍속 단계와 관계없이 전 구간에 걸쳐서 평균적으로 0.05 m/s의 낮은 표준편차와 안정적인 출력 값을 보였다. 하지만 기준 센서와 비교하여 풍속 세기가 강해질수록 기준 센서의 값과의 오차 값이 커지는 경향을 보였으며 6단계에서는 기준센서와의 평균값 차이는 3.07 m/s로 매우 크게 나타났다. 이는 센서 자체 결함이 아닌 센서 신호를 풍속 값으로 변환하는 과정에서 생기는 판단되며 추가적인 수치보정작업으로 교정할 수 있는 요소인 것으로 판단된다. 풍속센서 1은 각 단계 별로 기준 센서와의 오차 값은 최대 0.62 m/s로 기준 센서 데이터와 높은 유사성을 띄었으며, 표준편차는 구간별 0.3 m/s 이하로 낮은 값을 보였다. 시험결과 광 초퍼식인 풍속센서 1의 신뢰성이 높은 것으로 조사되었고, 초음파식의 경우 전 구간에 걸쳐 안정적인 풍속 측정이 가능하나 기준센서와 비교하여 큰 오차를 발생하였다. 풍속센서 3은 출력 전류값을 풍속 값으로 변환하는 과정에서 수치보정을 수행하면 좋은 성능을 보일 것으로 판단되며, 풍속센서 2는 평균오차를 포함하여 풍속이 커질수록 풍속데이터의 편차가 커지는 경향을 보였다. 센서가 이러한 경향을 보이는 사유로는 농산업체에서 센서를 구입 후 자체 DAQ를 제작하여 부착하면서 교정을 진행하지 않아서 발생한 문제점으로 판단되며, 이를 극복하기 위하여 검정시스템을 활용한 시험을 개발모델 별로 실시함으로써 시중에 유통되는 풍속센서 신뢰성을 확보할 수 있을 것이라고 사료된다.

3.3 검정 대상 풍향 센서

풍향센서가 탑재된 회전 스테이지를 10도 간격으로 회전하면서 풍향센서의 성능을 검정한 결과는 Fig. 7과 같다. 풍향센서 1과 3는 풍향 최대오차가 5° 이하인 것으로 조사되었고, 풍향센서 2는 최대 오차가 10도까지 발생하는 것으로 조사되었다. 기상청 관측 센서의 표준규격에 따르면 풍향센서의 불확도는 ±5° 이내로 규정하고 있어 검정시험을 실시한 3개의 센서 중 2개의 센서가 만족하는 것으로 조사되었다. 따라서 시중에 판매되고 있는 풍향센서에 대해 검정 시스템을 이용한 검정을 통해 풍향에 대한 정밀도를 향상시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

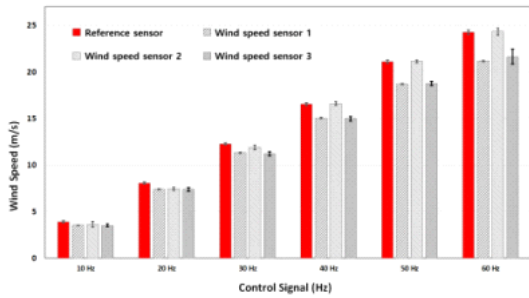


그림 6. 풍속센서 시험 결과
Fig. 6. Result of wind speed sensor test

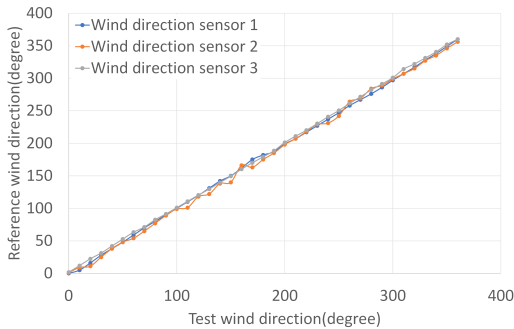


그림 7. 풍향센서 시험결과
Fig. 7. Result of wind direction sensor

IV. 결 론

개발된 검정시스템을 활용하여 스마트팜 ICT기자를 시험한 결과에 따르면, 시험장치의 특성상 풍속을 기준센서의 데이터와 정확하게 비교하기 위해서는 관계식을 한번 적용해야 하나, 성능시험에는 문제가 없는 것으로 판단되었으나 초음파 센서 등에서 발생

하는 오차범위에 대해서는 추가적인 시험이 필요하다고 사료된다. 풍향센서의 경우, 시험에 사용된 3개의 장비가 어느정도의 오차가 있는 것으로 나타났으며 회전스테이지의 경우 정확한 각도를 나타냄으로서 풍향을 측정하는 성능시험에서 활용하는 것이 가능하다고 판단되었다. 그러나, 본 시험장비의 경우 시험자의 재량 등에 의하여 판단되는 경우가 있으므로 이를 측정불확도 부분에서 확실하게 반영할 필요성이 있다고 사료되며 차후 시험기를 전동식 등으로 변경한다면 더욱 정확한 시험이 가능할 것이다.

References

- [1] S. Blackmore, "Developing the principles of precision farming." in *ICETS 2000*, pp. 11-13, Beijing, China, 2000. (<https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.269521>)
- [2] J. M. Kim and W. Chung, "Proliferation of smart agriculture through advanced ICT technology," *The J. IIBC*, vol. 18, no. 4, pp. 117-122, 2018. (<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.4.117>)
- [3] S. W. Ryu and D. Y. Park, "Economic analysis based on smart farm cooling technology," *KIEAE J.*, vol. 21, no. 5, pp. 55-65, 2021. (<http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2021.21.5.055>)
- [4] T. H. Kim and D. H. Kim, "A model study for development of evaluation criteria for smart farm horticultural," *J. Korea Convergence Soc.*, vol. 8, no. 9, pp. 339-345, 2017. (<https://doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.9.339>)
- [5] S. J. Kim, J. H. Lim, K. H. Yang, H. Yoe, and C. S. Shin, "Design of standard for nutrient solution supply device in smart greenhouse," *J. Knowledge Inf. Technol. and Syst.*, vol. 16, no. 3, pp. 545-555, 2021. (<https://doi.org/10.34163/jkits.2021.16.3.015>)
- [6] S. Y. Rho, J. S. Lee, G. H. Kim, K. S. Han, and H. D. Lee, "A study on the standardization of precision livestock farming breeding management device," in *Proc. KSAM & ARCS 2018 Conf.*, vol. 23, no. 2, p. 202, 2018.

(<https://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3639618>)

[7] Y. T. Kim, S. H. Cho, T. H. Han, C. K. Ahn, K. C. Kim, G. B. Kwon, J. G. Park, and T. K. Cho, "Built up research of smart farm verification and certification system," in *Proc. Korean Soc. Agric. Mach. Conf.*, vol. 22, no. 1, p. 172, 2017.
(<https://koreascience.kr/article/CFKO201735858345188.page>)

[8] K. S. Gam, Y.-G. Kim, and I. Yang, "Calibration of thermistors for precision temperature measurements," *J. Sensor Sci. and Technol.*, vol. 20, no. 5, pp. 329-335, 2011.
(<https://doi.org/10.5369/JSST.2011.20.5.329>)

[9] J. S. Ha, I. B. Lee, K. S. Kwon, and T. H. Ha, "Analysis on internal airflow of a naturally ventilated greenhouse using wind tunnel and PIV for CFD validation," *Protected Horticulture and Plant Factory*, vol. 23, no. 4, pp. 391-400, 2014.
(<http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2014.23.4.391>)

[10] Y. H. Kim, H. K. Kim, T. S. Lee, S. S. Oh, and Y. S. Ryou, "Analysis on heat loss of single-span greenhouse using small-scaled wind tunnel," *J. Bio-Environ. Contr.*, vol. 29, no. 1, pp. 73-79, 2020.
(<http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2020.29.1.73>)

[11] National Radio Research Agency(NRRA) 2022. *Sensor interface for smart greenhouse* (KS X 3266).

[12] S. G. Lee, Y. S. Moon, and S. Y. Choi, "The ultrasonic type wind sensor with piezoelectric actuator," *J. Sensor Sci. and Technol.*, vol. 22, no. 4, pp. 292-296, 2013.
(<https://doi.org/10.5369/JSST.2013.22.4.292>)

한 철 우 (Cheolwoo Han)



2012년 2월 : 경상대학교 생물
산업기계공학과 졸업
2014년 8월 : 경상대학교 생물
산업기계공학과 석사
2019년 8월 : 경상대학교 생물
산업기계공학과 박사
2018년 10월~현재 : 한국농업기
술진흥원 디지털농업본부 ICT신뢰성평가팀 연구
원

<관심분야> 제어공학, 정밀농업, 로봇, 농업기계
[ORCID:0000-0001-8344-9716]

백 선 옥 (Sunwook Baek)



2013년 2월 : 전남대학교 생물
산업기계공학과 졸업
2015년 2월 : 전남대학교 생물
산업기계공학과 석사
2015년 3월~현재 : 전남대학교
생물산업기계공학과 박사과
정

2019년 5월 ~현재 : 한국농업기술진흥원 디지털농업
본부 ICT신뢰성평가팀 연구원
<관심분야> 제어공학, 정밀농업, 로봇, 농업기계
[ORCID:0000-0002-5147-6637]

권 나 원 (Nawon Kwon)



2021년 8월 : 원광대학교 기계
공학과 졸업
2021년 8월~현재 : 한국농업기
술진흥원 디지털농업본부 ICT
신뢰성평가팀 전임연구원
<관심분야> 기계공학, 농업기
계

[ORCID:0000-0003-4193-390X]

김 영 태 (Youngtae Kim)



2001년 2월 : 전남대학교 농업
기계학과 졸업
2003년 2월 : 전남대학교 농업
기계학과 석사
2009년 2월 : 전남대학교 농업
기계학과 박사

2010년 8월 ~ 현재 : 한국농업
기술진흥원 디지털농업본부 ICT신뢰성평가팀 팀
장

<관심분야> 센서공학, 로봇, 선별시스템, 농업기계
[ORCID:0000-0001-6515-6637]

강 등 현 (Donghyeon Kang)



2006년 2월 : 경상대학교 공학
박사
2008년 3월 : 교토대학 농학박사
2008년 11월~2020년 3월 : 국립
농업과학원 에너지환경공학
과 농업연구사
2020년 3월~현재 : 한국농수산

대학교 교양학부 조교수

<관심분야> 스마트농업, 디지털농업, 농업로봇
[ORCID:0000-0001-5247-330X]

배 남 진 (Namjin Bae)



2012년 2월 : 순천대학교 정보
통신공학과 졸업
2014년 2월 : 순천대학교 정보
통신공학과 석사
2013년 11월~2014년 5월 : 한
국전자통신연구원 IoT융합연
구부 연구원

2014년 5월~현재 : 한국농업기
술진흥원 디지털농업본부 ICT신뢰성평가팀 선임
연구원

<관심분야> 정보통신공학, 로봇, 농업기계
[ORCID:0000-0001-5029-9109]