온실 공기유동 계측 시스템 개발

노재승¹ · 권진경² · 김유용^{1*}

¹국립농업과학원 농업공학부 재해예방공학과, ²국립원예특작과학원 시설원예연구소

Development of Device Measuring Real-time Air Flow in Greenhouse

Jae Seung, Noh¹, Jinkyong, Kwon², and Yu Yong, Kim^{1*}

¹Agricultural Safety Engineering Division, National Institute of Agricultural Science,
Rural Development Administration, Jeonju 55365, Korea

²Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Haman 52054, Korea

Abstract : This study was conducted to develop a device for measuring the air flow by space variation through monitoring program, which acquires data by each point from each environmental sensor located in the greenhouse. The distribution of environmental factors(air temperature, humidity, wind speed, etc.) in the greenhouse is arranged at 12 points according to the spatial variation and a large number of measurement points (36 points in total) on the X, Y and Z axes were selected. Considering data loss and various greenhouse conditions, a bit rate was at 125kbit/s at low speed, so that the number of sensors can be expanded to 90 within greenhouse with dimensions of 100m by 100m. Those system programmed using MATLAB and LabVIEW was conducted to measure distributions of the air flow along the greenhouse in real time. It was also visualized interpolated the spatial distribution in the greenhouse. In order to verify the accuracy of CFD modeling and to improve the accuracy, it will compare the environmental variation such as air temperature, humidity, wind speed and CO₂ concentration in the greenhouse.

Additional key words : computational fluid dynamics(CFD), controller area network(CAN), greenhouse, monitoring, 3D-interpolation

서 론

우리나라의 동절기는 비교적 추위 시설원에 난방을 위한 연료비용이 많이 들고, 여름은 지나친 고온으로 인해 시설재배에 불리한 환경 조건을 가지고 있다. 따라서 작물생육의 품질 및 생산량에 중요한 영향을 미치는 온실 내 환경 관리 기술에 관한 연구는 증가하고 있는 실정이다. 환경 관리 기술에 관한 연구로 온실 내 환경을 효율적으로 제어하기 위하여 실내환경 분포특성에 대해 지점별로 연구하였으나 (Choi 등, 1998) 공기유동을 고려하지 않았다. 온실내외의 공기유동흐름 해석에 대한 연구는 센서설치의 어려움 및 실험장소에 따른 오차에 따라 제한적이었던 것을 전산유체프로그래밍(CFD) 이용하여 작물군락내 미기상을 연구할 수 있는 토대를 마련하였다 (Lee 등, 2006a, 2006b). 온실 내 팬 위치 및 용량에 따른 기상요인들의 분포를 균일화할 수 있는 CFD 시뮬레이션 모델을 구축하고 실험을 통해 검증하였으며 (Yu

등, 2014), 온실의 환기효율 분석을 위해 풍동을 이용하고 CFD 모델링을 통해 온실 내부 공기유동에 대해 분석하고 연구하였다 (Ha 등, 2014).

농업 환경 센서를 이용한 온실 모니터링 시스템 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 온실 내 환경관리 및 제어 시스템을 무선통신인 지그비(Zigbee)로 Wi-Fi 및 Bluetooth를 비교하여 제안하였다 (Zhang et al., 2007). 온습도, 조도, 일사량, pH, EC 센서 및 외부기상 센서 등을 독립된 하나의 무선통신 모듈을 이용하여 온실 내 환경 연구를 하였다 (Seo 등, 2008). 그러나 무선으로 통신하는 경우는 작물생장 환경에 따라 데이터 손실이 발생하며 통신거리가 짧다는 단점이 있다. 따라서 통신거리가 짧은 영역에서는 무선통신의 장점을 적극 활용하고 거리가 먼 곳은 CAN(Controller Area Network)통신을 통하여 온실 환경관리로 사용할 수 있는 유무선 복합 네트워크를 개발하였지만(Jo, 2015), 토양환경에 대하여 고려하였을 뿐 공기유동에 대해 고려하지는 않았다.

온실을 관리하는 모니터링 및 자동시스템에 대한 연구는 활발히 진행되었으나 온실 환경을 공간 내 환경요인을 모니터링하는 연구는 미비하였다. 온실 내 한 두 지

*Corresponding author: kimkyu12@korea.kr

Received September 11, 2017; Revised November 15, 2017;

Accepted November 20, 2017

Fig. 1. Air flow measuring system.

Table 1. Specification of sensors for measuring air flow.

Item	Specification				
Model	HT-01DL	HD403 TS4	GS34	LI-200R	AT 5 B420L
Supply voltage	5.0Vdc	12~40Vdc	24Vdc	5V(0.7mA)	20~30Vdc
Output	0.5~4.5V	4~20mA	0~5V 4~20mA	0~4.5V	4~20mA
Measuring range	-50~150°C 0~100% RH	0.05~5.00 m/s (-10~70°C)	0~5000 ppm -Environment (-20~70°C 0~95% RH)	3000W/m ² -Environment (-40~65°C 0~95% RH)	5 A -Environment (-20~60°C)

점에 대해서만 측정하여 온실 전체를 관리하는 방식이 주를 이루고 있으며 공간 내 환경분포에 대한 온실관리 시스템 연구는 진행되지 않았다. 현재 여러 환경데이터를 얻기 위한 시스템은 각각의 데이터 로거(data logger) 및 센서간의 배선들로 인하여 복잡하게 되어 있다. 따라서 본 논문에서는 상기의 문제점들을 개선하고자 CAN 통신 기술을 적용하여 온실 내 공간 내 환경요인 분포를 실시간으로 정량화 할 수 있는 공기유동 계측 시스템을 구축하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 온실 공기유동 계측 시스템 구성

본 연구에서 제안하는 온실 공기유동 계측 시스템은 Fig. 1과 같다. 온실 내 지점별 온도 및 습도, 풍속, 일

사량, 전류량(환풍량), CO₂ 데이터를 계측하는 모듈은 마이크로 컨트롤러 (MCU, micro control unit, PIC 18F4680)를 이용하여 구성되었다. 지점별 데이터 계측 모듈의 ID는 DIP 스위치를 통해 각각 설정이 가능하고 디지털 포트를 통해 획득된다. CAN bus high와 low 사이에 한 개의 125 Ω 저항이 종단저항으로 연결되었다. 온도와 습도는 디지털 신호출력 온습도 센서(HT-01DL, Korea)로 측정하였으며, 풍속은 열선풍속 트랜스미터(HD403 TS4, Delta OHM, Italy)로, CO₂ 측정은 CO₂ Transmitter(GS34, eyc-tech, Taiwan)로, 일사량은 수평면 일사계(LI-200R pyranometer, LI-COR Inc, USA)로, 전류량은 교류전류 변환계(AT 5 B420L, LEM, Swiss)로 측정하였다. 연구에 사용된 각 센서의 사양은 Table 1과 같다.

CAN 통신은 열악한 환경이나 고온, 충격이나 진동,

Fig. 2. View of experimental greenhouse and measurement location.

노이즈가 많은 환경에서도 잘 전달 수 있다는 장점들로 인하여 자동차, 각종 산업 설비에서 제어, 자동화 관련 장비들 간에 데이터 교환 및 농업용 설비를 위한 통신 망으로 사용되고 있다. 지점별 계측 모듈을 통해 수집된 데이터는 CAN통신을 통하여 주 컴퓨터의 데이터 획득 장치에 전송된다. CAN통신은 High-speed CAN transceiver chip (MCP 2551, Microchip Technology Inc, USA)을 사용하여 데이터를 전송하며, 고속 CAN 통신 모듈(NI 9862, National Instruments, USA)을 통하여 데이터 획득장치인 Compact-RIO (NI cDAQ-9133, National Instruments, USA)에 데이터가 전송되도록 구성되었다. CAN통신 데이터의 최대 전송속도는 버스길이에 따라 달라지고 40m 버스 길이에서는 최대 1M bit/s를 전송할 수 있으며, 1,000m 버스 길이에서는 최대 59 kbit/s를 전송한다 (Cook, 2008). CAN 네트워크에서 달성 가능한 최대 버스 라인 길이는 주로 비트 길이와 비교할 때 버스 라인의 지연에 의해 제한된다. 본 연구에서는 데이터 손실 및 다양한 온실 조건을 고려하여 CAN 통신에서 이용 가능한 비트레이트를 저속 125 kbit/s로 설정하여 온실 내 100m 구역내에서 센서를 추가적으로 연장(총 90개)할 수 있도록 구축되었다.

외부기상데이터는 RS-485 통신을 통해 주 컴퓨터와 독립적으로 통신되도록 구성되었으며, 온도, 습도, 일사량, 풍향, 풍속, 대기압을 측정할 수 있는 WS-501(lufft, Germany)과 강우량을 측정할 수 있는 WB-100(lufft, Germany)을 지지대와 함께 온실 외부에 설치하였다.

2. 실험대상공간 및 자료수집

개발된 온실 공기유동 측정 시스템을 적용하기 위하여

실험대상 온실은 농업공학부 시험포장 내에 위치한 14m(폭), 20.4m(길이), 4.1m(높이) 규모의 광폭하우스를 선정하여 실험을 실시하였다 (Fig. 2). 피복재는 PE 0.1t로 누빔 보온재와 비닐로 시공되어 있으며, 개폐 1.1m 권취식 양쪽 측창과 차광막 누빔 보온재 50 A(60.5) X 3.9를 설치하였다. 외부기상 데이터는 온실 입구로부터 5m 떨어진 위치에 지지대를 세우고 1.8m 높이에서 외부환경요인을 측정하였다.

온실 내 공간의 환경분포를 보기 위해 기온, 상대습도 및 풍속 센서 등을 12개 지점에 Fig. 2와 같이 배치하였다. 센서간의 균등간격 배치를 위해서 폭 방향(x축)으로 4.08m 간격을 두고 3개의 단면을, 길이방향(y축)으로 3.50m 간격을 두고 4개의 단면으로 나누었다. 온실 내 각 지점마다 지면으로부터의 측정높이(z축)는 대표작물인 토마토의 생육높이에 따라 달리하였다. 하단은 지면으로부터 0.8m, 중간 1.6m, 상단은 2.4m로 지지대를 설치하여 측정하였다. 온습도 및 풍속의 환경 데이터는 온실 내 지점별 환경분포를 상세히 파악할 수 있도록 x, y, z 축으로 다수의 측정점(총 36점)을 선정하였다. 온실 내에 설치된 모든 온습도센서에는 외부 환경으로부터 센서를 보호하는 케이스를 설치하고 온실의 결로현상에 대비해 센서의 측정방향을 지면으로 향하게 하여 데이터의 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다. 일사량 센서는 차광막의 개방에 따른 온실 내 중앙부(일사에 노출되지 않는 부분)를 고려하여 출입구 상단에 위치하도록 설치하였다. 환기의 정도를 측정하기 위해서 팬 가까운 곳과 끝 지점에 CO₂ 센서를 설치하여 매초 농도를 측정하였다. 환풍량을 측정하기 위해서 팬 가동여부에 따라 측정할 수 있는 전류량 센서를 팬이 설치된 3곳에 설치하였다. 온실 내외에 모

Fig. 3. Installed sensors in test green house

든 환경센서들은 Fig. 3과 같이 설치하여 측정하였다. 온실 내 설치된 각 환경센서로부터 매초마다 측정된 데이터는 실시간으로 주 컴퓨터의 데이터 획득장치에 전송된다.

3. 실시간 모니터링 프로그램

본 연구에서는 Windows 기반의 GUI를 제공하는 LabVIEW 2015를 통하여 온실 환경 계측 프로그램을 운용할 수 있도록 구성하였다. 프로그램은 데이터 디스플레이, 가공, 연산, 저장, 센서 노드 데이터 요청, 센서 값 잔류편차(Offset)를 수행하도록 작성하였다. 또한 사용자가 편리하게 조작 할 수 있도록 인터페이스를 구성하였다. 광폭 온실의 구역별로 전달되어 온 환경 데이터는 실시간 모니터링 프로그램의 각 좌표 센서 노드에 데이터 값이 디스플레이 된다. 저장파일명은 시간형식(년/월/일)파일로 10Mb씩 저장되며 모든 환경센서의 값을 출력한 후 외기조건 센서 데이터를 매초마다 기록하게 된다.

4. 온실 공간의 환경분포 3D 보간

보간(interpolation)이란 알려진 지점의 값 사이에 위치한

Fig. 4. 3D Interpolation for 3d gridded data

값을 알려진 값으로부터 추정하는 것을 말한다. 두 지점을 보간하는 방법은 다항식 보간(polynomial interpolation), spline 함수 보간 등 여러 가지 방법이 있으나 그 중 선형 보간법(linear interpolation)은 두 지점 사이의 값을 추정할 때 그 값을 두 지점과의 직선 거리에 따라 선형적으로 결정하는 방법이다. 1차원 선형 보간법은 다음 식과 같다.

$$f(x) = \frac{d_2}{d_1+d_2}f(x_1) + \frac{d_1}{d_1+d_2}f(x_2)$$

3차원 보간은 삼선형 보간법(Trilinear interpolation)으로 선형 보간법을 3차원으로 확장한 것이다. 3차원 공간에서 8개의 꼭지점으로 이루어진 육면체의 변 및 내부의 임의의 점에서의 데이터 값을 선형적으로 보간하는 방법은 Fig. 4와 같다.

본 연구에서는 MATLAB 프로그램을 통해 interp3 기능을 이용하여 각 좌표(x, y, z 축)에 대한 데이터를 3D 행렬로 정렬한 후 임의의 점으로부터 C₀, C₁, C₂ 순으로 삼선형 보간이 된다. 보간 된 데이터 값은 LabVIEW에 연동되어 데이터를 확인 및 가시화 할 수 있도록 구현되었다.

결과 및 고찰

1. 실시간 모니터링 프로그램

온실 공기유동 프로그램의 데이터 디스플레이는 Fig. 5와 같이 구성되었다. 지점별 계측 모듈에 연결된 온도, 습도, 풍속, 일사량, CO₂ 및 외부기상에 대한 센서정보들은 실시간으로 모니터링 화면을 통해 센서 정보 출력이 가능하도록 구현되었다. 센서 노드에서 전달 되어온 환경 값들은 전압 값으로 출력되기 때문에 데이터 연산을 통해 각각의 환경 값으로 변환된 뒤에 디스플레이 된다. 각 좌표에 설정된 센서 노드가 정상적으로 작동하고 있을 경우 초록색으로 표시하여 데이터의 수신상태 정상유무를 확인 할 수 있으며, 개발된 장치는 온실 내부의 각 지점별 공기유동 측정을 위해 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5. Air flow monitoring program.

Fig. 6. Trilinear interpolation (original) for wind according to yz axis.

Fig. 7. Trilinear interpolation(0.25) for wind according to yz axis.

적 요

작물생육의 품질 및 생산량에 중요한 영향을 미치는 온실 내 환경관리에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다. 주로 온실 내 환경분포를 측정하는 방법으로는 한 두 지점에 대해서만 측정하여 온실 전체를 관리하는 시스템으로 이루어졌으며 기존 환경데이터 측정방식은 각각의 데이터 로거 및 센서간의 배선들로 인하여 복잡한 시스템으로 구성되었다.

본 연구에서는 온실 내 설치된 각 환경센서들로부터 지점별 데이터를 획득하고 획득된 데이터는 모니터링 프로그램을 통하여 공기유동흐름을 측정하는 장치를 개발하였다. CAN 네트워크 통신을 통하여 환경센서들의 배선 토폴로지를 간소화 했으며 프로토콜의 견고함으로 온실 내 모니터링을 안정적으로 데이터를 수집할 수 있도록 구현되

었다. 온실 내 공간의 환경요인 분포(온습도 및 풍속 등)들을 12개 지점에 배치하고 온습도 및 풍속의 환경 데이터는 상세히 파악할 수 있도록 X, Y, Z 축으로 다수의 측정점(총 36점)을 선정하였다. 데이터 손실 및 다양한 온실 조건을 고려하여 비트레이트를 저속 125kbit/s로 구현하여 온실 내 100m 구역내에서 센서를 추가적으로 연장(총 90개)할 수 있도록 구축되었다. 온도, 습도, 일사량, 풍향, 풍속, 대기압 및 강우량 등 측정된 데이터는 LabVIEW에 연동되어 실시간으로 센서 정보 출력이 가능하도록 구현되었다. 온실 내 환경 분포는 사용자의 편의에 따라 환경분포를 수평(XZ), 수직(YZ)축으로 가시화 할 수 있으며, 보간의 범위를 원하는 값으로 설정하여 보간 할 수 있도록 구현되었다. 추후에 온실 내의 공간에 따라 온도, 습도, 풍속, CO₂ 등의 환경 측정 실험을 통하여 CFD 모델링과의 검증 및 비교에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

추가주제어 : 모니터링, 3D보간, 온실, CAN통신

사 사

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ01203802)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature cited

- Choi, D. H., J. C. Huh, and J. H. Lim. 1998. Influence of solar control on indoor thermal environment in a green house. Journal of the Architectural Institute of KOREA Planning & Design (in Korean).
- Cook, J. A., and J. S. Freudenberg. 2007. Controller Are Network (CAN).
- Ha, J. S., I. B. Lee, K. S. Kwon, and T. H. Ha. 2014. Analysis on internal airflow of a naturally ventilated greenhouse using wind tunnel and PIV for CFD validation. Protected Horticulture and Plant Factory, Vo.23.(4) pp 391-400 (in Korean).
- Jo, S. S. 2015. The study of the greenhouse soil environment monitoring system using Zigbee and CAN communication. MS thesis. Dong-A university (in Korean).
- Lee, I. B, N. K. Nam, Thierry Boulard, Jean Claude Roy, S. H. Lee, G. W. Kim, S. K. Lee, and S. H. Kwon. 2006a. Development of an Aerodynamic simulation for studying microclimate of plant canopy in green house-(1) Study on aerodynamic resistance of tomato canopy through wind tunnel experiment-. Journal of Bio-Environment Control, 15(4):289-295 (in Korean).
- Lee, I. B, N. K. Nam, Thierry Boulard, Jean Claude Roy, S. H. Lee, G. W. Kim, S. W. Hong, and S. H. Sung. 2006b. Development of an aerodynamic simulation for studying microclimate of plant canopy in green house-(2) Development of CFD model to study the effect of tomato plants on internal climate of greenhouse-. Journal of Bio-Environment Control, 15(4):296-305 (in Korean).
- Seo, J. S, M. S Kang, Y. G Kim, C. B Sim, S. C. Joo, and C. S Shin. 2008. Implementation of ubiquitous greenhouse management system using sensor network. Journal of Internet Computing and Services 9.3 (2008): 129-139 (in Korean).
- Yu, I. H., N. K. Nam, M. W. Cho, H. R. Ryu, and D. G. Moon. 2014. Development of CFD model for analyzing the air flow and temperature distribution in greenhouse with air-circulation fans. CNU Journal of Agricultural Science (in Korean).
- ZHANG Qian, X. L. Yang, Y. M. ZHOU, L. R. WANG, and X. S. GUO. 2007. A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on Zigbee technology. Journal of Zhejiang University SCIENCE A 2007 8(10):1584-1587.