

에너지 효율 향상을 위한 스마트팜 제어 시스템

최민석

삼육대학교 지능정보융합학부 교수

Smart Farm Control System for Improving Energy Efficiency

Minseok Choi

Professor, Division of AI Informatics, Sahmyook University

요 약 정보통신기술과 융합된 스마트팜의 도입은 농업 분야의 생산성을 높이고 경쟁력을 강화하고 있다. 각종 센서를 통한 환경 모니터링과 이를 통한 재배 환경의 자동제어가 가능하며 원격제어를 지원하는 기술들이 개발되어 보급되었고, 스마트팜에서 생성된 데이터를 이용하여 스마트팜 기술의 고도화를 위한 연구들이 진행되고 있다. 본 논문에서는 스마트팜의 환경 및 제어 데이터를 이용하여 스마트팜의 에너지 소비를 줄이기 위한 환경 제어 방법을 제안한다. 누적된 환경 데이터를 이용하여 환경 예측 모델을 만들고, 다중 환경 요소를 고려하여 주어진 상황에서 에너지 소비를 최소화할 수 있는 제어 방식을 선택함으로써 독립적 환경 제어 방식과 비교해 에너지 사용량을 줄일 수 있음을 확인하였다. 향후 예측 모델의 고도화와 복합제어 알고리즘의 개선 통하여 더 높은 에너지 효율을 얻기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

주제어 : 스마트팜, 에너지 효율, 환경 제어, 환경 예측, 기계 학습

Abstract The adaptation of smartfarm technology that converges ICT is increasing productivity and competitiveness in the agriculture. Technologies have been developed that enable environmental monitoring through various sensors and automatic control of the cultivation environment, and researches are underway to advance smartfarm technology using data generated from smartfarms. In this paper, an environmental control method to reduce the energy consumption of a smartfarm by using the environment and control data of the smartfarm is proposed. It was confirmed that energy consumption could be reduced compared to an independent environmental control method by creating an environmental prediction model using accumulated environmental data and selecting a control method to minimize energy consumption in a given situation by considering multiple environmental factors. In the future, research is needed to obtain higher energy efficiency through the advancement of the predictive model and the improvement of the complex control algorithms.

Key Words : smart farm, energy efficiency, environmental control, environmental prediction, machine learning

1. 서론

4차 산업혁명으로 이어지는 정보통신기술(ICT)의 발전은 다양한 분야와 접목되어 상호 간의 상승효과를 이끌고 있다. 특히 농촌 인구의 감소와 노령화로 인한 농업 기반의 약화 문제를 해결하고 경쟁력 강화로 나아가기 위해 정보통신기술을 접목한 첨단 농업환경에 대한 요구가 증가하고 있다[1,2]. 정보통신기술과 농업이 융합된 스마트농업은 정제된 농업의 혁신과 지속 성장을 이끌 새로운 지표로 주목받고 있다[3]. 경험적으로 축적된 지식에 기반한 농업에서 축적된 데이터를 활용한 지능형 농업으로 전환하며 네트워크를 통한 시공간의 제약이 없는 스마트 환경을 미래 농업의 모델로 보고 이를 확산시키기 위한 노력을 지속하고 있다[4].

초기 단순한 자동화 단계를 넘어서 다양한 작물 재배 환경의 분석을 위해 각종 센서를 이용하여 데이터를 수집하고 이를 기반으로 학습하여 최적 재배 환경을 제어하기 위해 클라우드 시스템과 연동하여 데이터 수집과 관리를 수행하는 스마트팜 개발이 연구되었다[5]. 스마트팜에서 수집된 환경 및 생육 데이터들을 이용하여 생육 함수와 최적 재배 환경 모델을 찾기 위한 연구들이 진행되고 있지만[6-8], 재배 작물의 종류에 따라 특성이 다르고, 생육 데이터의 객관적이고 정량적인 측정 및 수집이 어려운 관계로 실험 시설이 아닌 실제 농가에서 활용하기에는 아직 어려움이 따른다.

축적된 환경 데이터를 활용하기 위한 또 다른 방법으로 재배 환경 제어의 최적화를 생각해 볼 수 있다. 작물의 최적 재배 환경을 구현하기 위해서는 많은 환경 요소들의 고려가 필요하다[9,10]. 개별 환경 요소들은 독립적으로 작용하지 않고 상호 연관성을 갖고 있기에 이들 상호 간의 관계를 이해하기에도 어려움이 따른다. 하지만 기존의 환경 제어 시스템은 온도, 습도, 이산화탄소 등의 각 환경 요소들을 독립적으로 제어하는 방식을 주로 사용하고 있어 제어의 효율성이 떨어질 수 있다.

외부와 분리되어 폐쇄적 환경으로 운영되는 스마트팜의 경우 환경 제어를 위해 냉난방 기기 등을 이용하여 능동적 환경 제어를 수행한다. 따라서 많은 에너지를 소모하게 되어 생산 원가의 상승을 유발하게 되며 나아가 에너지 소비 증가에 따른 환경문제에도 영향을 끼치게 된다. 본 논문에서는 스마트팜에서 수집된 환경 데이터와 제어 데이터를 활용하여 최적 재배 환경 구현에 필요한 에너지 사용량을 줄이는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서 기존에 구현된 스마트팜 시

스템에 대하여 설명하고, 3장에서는 에너지 소비를 줄이기 위한 효율적 제어 시스템에 대하여 설명한다. 4장에서는 비교 결과를 확인하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 선행 연구

2.1 스마트팜

한국농촌경제연구원에서 정의한 스마트팜은 정보통신 기술을 농축산 산업에 접목하여 생육 환경을 원격에서 자동으로 유지 관리할 수 있는 농장으로 생육 및 환경 데이터를 기반으로 시간과 장소의 제약 없이 생육 환경의 확인과 조절이 가능하여 생산성 제고와 품질 향상이 가능한 농업을 이야기한다[4,11]. 스마트팜은 Fig. 1과 같이 온도, 습도, 이산화탄소 등의 환경 데이터를 수집하는 기능과 냉방, 난방, 환기 등의 환경을 제어하는 기능을 연동하는 복합 환경 제어 시스템으로 구성된다[12].

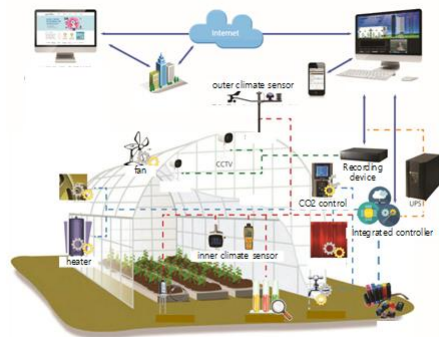


Fig. 1. Structure of environment control system for smart farm [13]

2.2 기존 시스템 구성

선행 연구에서는 Raspbrry Pi를 이용하여 스마트팜 제어 시스템을 구현하고, AWS를 이용해 클라우드로 연동되는 클라우드 기반 스마트팜 제어 기술을 제안하였다. 구현된 시스템은 Fig. 2와 같이 로컬에서 운영되는 스마트팜 클라이언트 시스템과 인터넷을 통하여 연결된 다수의 로컬 스마트팜을 통합 관리하고 수집된 환경 데이터를 저장하는 클라우드 관리 시스템, 그리고 사용자 애플리케이션으로 구성되어 있다.

로컬 스마트팜 시스템은 단위 시설에서 환경 데이터를 수집하고 재배 환경의 제어를 수행하는 시스템으로 Fig. 3과 같이 구성된다.

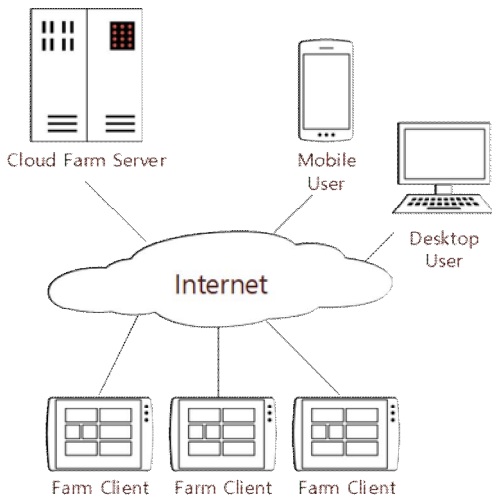


Fig. 2. Configuration of cloud smart farm system [5]

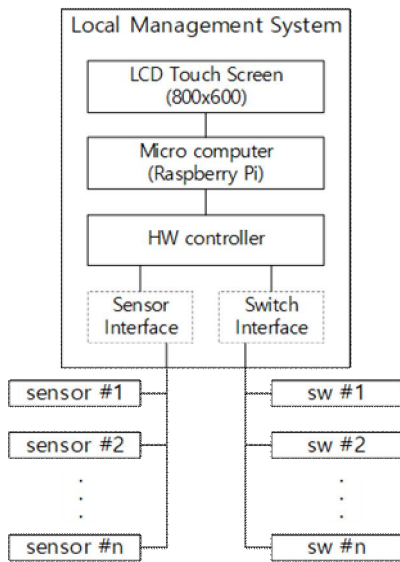


Fig. 3. Structure of local client system [5]

로컬 스마트팜 시스템은 센서 인터페이스를 통하여 조도, 습도, 온도, CO2 농도 등의 환경 데이터를 측정 및 수집하고, 스위치 인터페이스를 통해 조명, 난방, 냉방, 가습, 제습, 환기 등의 환경을 제어하도록 설계되었다. 실제 로컬 스마트팜 유닛의 구현은 외부 환경과 분리된 생육 환경을 위하여 Fig. 4와 같은 컨테이너 구조의 폐쇄형 단위 스마트팜 형태로 구현되었다.



(a) Outer view of local smart farm



(b) Inner view of local smart farm



(c) Control panel

Fig. 4. Overview of local smart farm unit [5]

3. 에너지 최적화 제어 설계

기존에 구현된 로컬 스마트팜의 에너지 소비를 줄이기 위해서는 에너지 소비가 큰 환경 제어 장비의 사용 시간을 줄이는 것이 필요하다. 기존 스마트팜의 환경 제어 중 소비전력이 가장 많이 소요되는 것은 온도 조절을 위한 냉방 및 난방 장치이다. Shin등은 온실의 창문을 제어하

여 외부 환기를 통하여 냉방 장치의 사용을 감소시키는 방법을 제안하였다[14]. 외부 환기를 이용하면 온도뿐 아니라 습도 및 CO2 농도도 변화가 되기 때문에 이를 적절히 활용하여 전체적인 에너지 소비를 줄일 수 있는 환경 제어를 구현할 수 있다.

3.1 하드웨어 구성 변경

기존에 구현된 스마트팜은 내부 환경 모니터링을 위하여 조도센서, 온도센서, 습도센서, CO2 센서를 부착하여 환경 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 기반으로 설정된 재배 환경을 유지하도록 설계되었다. 폐쇄형 구조에 각 환경 요소에 따른 설정을 독립적으로 제어하도록 설계되었기 때문에 외부 환경을 모니터링 하기 위한 센서는 사용하지 않았다. 새롭게 제안된 시스템은 외부 환경 요소를 이용하여 내부 환경을 변화시켜 에너지 소비가 큰 능동적 환경 제어를 줄이고자 하므로 외부 환경 모니터링을 위한 센서를 추가하였다. 폐쇄형 시스템 구조의 특성상 외부의 빛이 유입될 수 없으므로 Fig. 5와 같이 조도센서를 제외하고 온도, 습도, CO2 센서를 외부에 추가하여 외부 환경을 확인할 수 있도록 하였다.

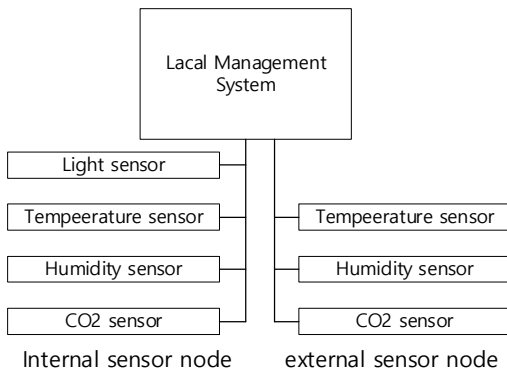


Fig. 5. Sensor configuration of proposed system

3.2 재배 환경 제어부 설계

기존 시스템의 환경 제어는 내부 센서를 통하여 측정된 환경 데이터를 기반으로 각각의 환경 설정값이 자동으로 유지될 수 있도록 제어하는 방식으로 설계되었다. 온도, 습도, CO2 농도는 독립적으로 제어되며 온도는 냉방기와 난방기를 이용하여, 습도는 가습기와 제습기를 이용하여 능동 제어를 하게 되어 있다. CO2의 경우 작물의 특성에 따라 CO2 발생기를 이용하거나 외부 환기를 통하여 제어하도록 설계되었다. 각 환경 변수는 독립적으로 제어되며 한가지 변수가 제어 중일 경우 다른 변수의 제

어는 보류되어 한 번에 하나의 변수만을 제어하도록 설계되었다.

기존 시스템의 환경 변수 독립제어 방식에서 벗어나 에너지 최적화를 위해 새롭게 제안된 방법은 외부 환기를 통해 에너지를 소비하는 능동적 환경 제어를 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 외부 환기에 따른 온도, 습도, CO2의 변화를 예측하기 위한 모델을 생성하고, 예측된 환경 변수값을 이용하여 에너지 소비가 적은 제어 방법과 시간을 선택하도록 하였다. Fig. 6은 개선된 환경 제어 프로세스의 구조를 보여준다.

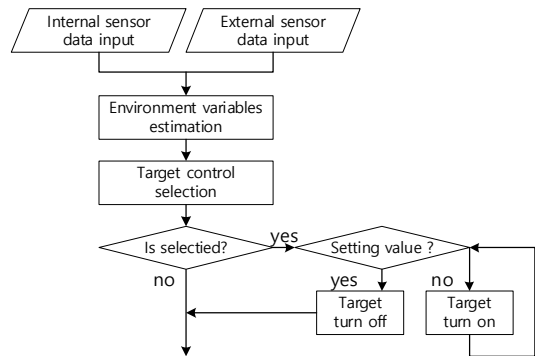


Fig. 6. Proposed environment control process

기존의 방식에서는 각 환경 변수를 중첩되지 않게 독립적으로 제어하였으나, 개선된 방식에서는 환기에 따라 모든 환경 변수가 변화하기 때문에 모든 환경 변수를 동시에 고려하여 최적 제어를 수행할 수 있도록 알고리즘을 설계하였다.

3.3 환경 변수 예측 모델

외부 환기에 의한 내부 환경 변수 변화 모델은 온도, 습도, CO2에 대한 모델이 요구된다. Yao 등은 [15]에서 온실에서 외부 공기 유입에 따른 내부 온도 변화 모델을 제시하였지만, 모델의 복잡도가 높고 폐쇄형 스마트팜의 강제 환기 방식과도 부합되지 않아 식(1)과 같이 단순화된 선형 모델을 사용하여 학습을 진행하였다.

$$\frac{dV_i}{dt} = \alpha(V_o - V_i) + \beta \quad (1)$$

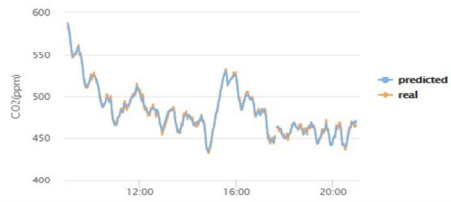
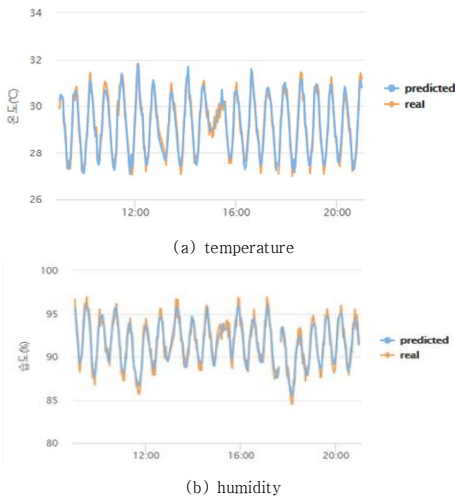
위 식에서 V_i, V_o 는 각각 내부와 외부 환경 변수(온도, 습도, CO2 농도)를 나타내며 이를 이용하여 단위 시간당 내부 환경 변수의 변화량을 예측할 수 있다. 온도, 습도, CO2 농도 각각에 대하여 식 (1)을 이용하여 선형 회귀(Linear Regression) 모델을 학습하였

다. 스마트팜의 환경 데이터는 3분 간격으로 수집되고 있어 약 100여 일간 수집된 50,000건의 데이터 세트 중 환기 상황에서 측정된 데이터 세트를 이용하여 예측 모델을 만들었다.

4. 실험 및 분석

4.1 실험 환경

제안된 환경 제어 방법의 에너지 효율성을 확인하기 위한 실험은 운영 중인 스마트팜에 직접 적용하기 어려운 관계로 시뮬레이션을 통하여 이루어졌다. 시뮬레이션을 위하여 외부 환기에 대한 모델에 추가하여 기존 환경 제어 상태에서의 내부 온도 및 습도 변화 모델도 선형 회귀 모델로 학습을 진행하였다. 해당 기간 난방과 제습은 거의 사용되지 않아 냉방 상태, 가습 상태, 비제어 상태에 대하여 온도, 습도 예측 모델을 생성하였다. 앞서 언급한 50,000건의 데이터 세트를 격일로 2개 그룹으로 나누어 각각 학습과 검증에 이용하였다. 스마트팜의 각 환경 변수에 대한 실제 측정값과 실제 환경 제어 정보를 이용한 예측 모델의 예측값 오차는 5% 이내를 보였다. Fig. 7은 각 환경 변수에 대한 실측값과 예측값을 비교한 그래프이다.



(c) CO2

Fig. 7. Comparison between real and predicted value

4.2 에너지 사용량 분석

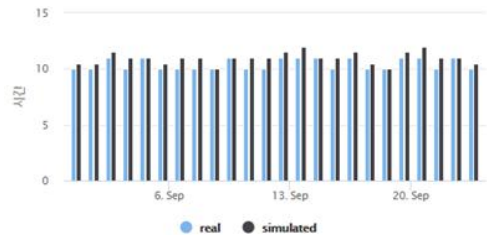
제안된 환경 제어 방법의 에너지 사용량을 확인하기 위하여 운영 중인 스마트팜의 실제 환경 제어 데이터를 이용하여 냉방기와 가습기의 가동시간을 측정하고, 제안된 방법으로 환경 제어를 수행한 시뮬레이션 데이터에서 냉방기와 가습기의 가동시간을 측정하였다. Table 1은 3주간 냉방기와 가습기의 실제 운영 데이터와 시뮬레이션 데이터를 비교한 결과를 보여준다.

Table 1. Comparison of operating time and energy consumption

	A	B	C	D
cooler	12600	11379	-9.7%	-30.5KW
humidifier	13260	13980	+5.4%	+3.6KW

위 표에서 A와 B는 각각 기존 제어 방식과 제안된 제어 방식에서 기기의 총 동작시간을 분 단위로 보여준다. C는 제안된 방법에 따른 동작시간 증감률을 계산한 것이며, D는 실제 전기소모량의 증감을 계산한 것이다. 냉방기와 가습기의 소비전력은 각각 1.5KWh와 0.3KWh 이다.

Fig. 8은 실제 운영 데이터와 시뮬레이션 데이터를 비교한 것이다. (a)는 일별 가습기의 작동 시간을 비교한 것이며, (b)는 냉방기의 작동 시간을 비교한 것이다.



(a) operating time of humidifier

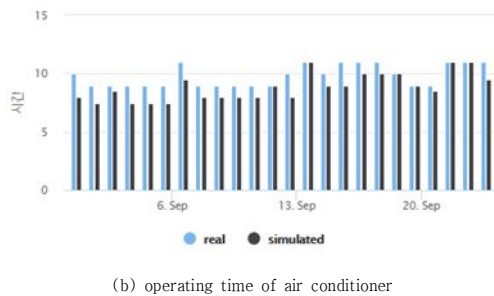


Fig. 8. Comparison of operating time of devices

습도의 경우 해당 스마트팜이 높은 습도를 요구하는 작물을 재배함에 따라 설정 습도가 90% 이상으로 높아 외부 환기를 통해 습도를 조절할 수 없어 작동 시간의 감소 효과가 없는 것으로 보인다. 온도의 경우 제안된 방법으로 냉방기의 사용을 약 10% 정도 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 스마트팜의 에너지 사용량을 줄이기 위한 효율적인 재배 환경 제어 방법을 제안하였다. 기존의 경우 각 환경 변수를 독립적으로 제어하는 방식을 사용하였다. 이는 제어 구조를 단순화하여 안정적 환경 제어가 가능한 장점이 있지만, 환경 변수 사이의 상관성이 고려되지 않아 효율성이 떨어질 수 있다. 제안된 방법은 에너지 사용량이 큰 능동형 조절 방식 외에 외부 환기를 통한 자연적 조절 방식을 추가하고, 누적된 환경 데이터를 기반으로 학습을 통하여 환경 변수 예측 모델 만들어 상황에 따른 제어 방법을 선택하여 능동형 조절을 최소화할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션을 통하여 에너지 소모가 큰 냉방기의 가동시간을 10%가량 줄일 수 있음을 보였다.

제안된 방법은 외부 환기에 의한 자연 조절 방식으로 에너지 사용을 줄이도록 설계됨에 따라 실제 외부 환경의 영향을 많이 받게 된다. 재배 작물에 따라 또 계절에 따라 그 효율성이 달라질 수 있다. 추후 환경 변수 예측 모델을 고도화하고, 환경 변수들 사이의 상호 관계를 더 잘 반영할 수 있도록 제어 알고리즘을 개선하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

- [1] H. S. Kim, D. D. Lee & H. S. Kim. (2014). *Strategies and Tasks of ICT Convergence for the Creative Agriculture Realization(R736)*, Seoul: Korea Rural Economic Institute.
- [2] . Y. Lee, C. M. Heo. (2019). A Study on the Influence of Acceptance Factors of ICT Convergence Technology on the Intention of Acceptance in Agriculture : Focusing on the Moderating Effect of Innovation Resistance. *Journal of Digital Convergence*, 17(9), 115–126.
DOI : 10.14400/JDC.2019.17.9.115
- [3] M. H. Ahn, C. M Heo. (2019). The Effect of Technical Characteristics of Smart Farm on Acceptance Intention by Mediating Effect of Effort Expectation. *Journal of Digital Convergence*, 17(6), 145–157.
DOI : 10.14400/JDC.2019.17.6.145
- [4] N. G. Yoon, J. S. Lee, G. S. Park & J. Y. Lee. (2017. May). Korea smart farm policy and technology development status. *Rural Resources*, 59(2), 19–27.
- [5] M. Choi. (2020). A study on the efficient Implementation method of cloud-based smart farm control system. *Journal of Digital Convergence*, 18(3), 171–177.
DOI: 10.14400/JDC.2020.18.3.171
- [6] H. Choi, H. Ahn, Y. Jeong and B. Lee. (2019). A Smart Fram Environment Optimization and Yield Prediction Platform based on IoT and Deep Learning. *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, 12(6), 672–680.
DOI : 10.17661/jkiiect.2019.12.6.672
- [7] J. E. Lee, S. R. Kang, Y. Ok, M. Chun and M. H. Na. (2019). A Study on the Optimal Environmental Factors Affecting the Growth of Facility Cucumbers. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 21(6), 2913–2920.
DOI : 10.37727/jkdas.2019.21.6.2913
- [8] J. C. Kim, S. Kwon, I. D. Ha and N. H. Na. (2021). Survival analysis for tomato big data in smart farming. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 32(2), 361–374.
DOI : 10.7465/jkdi.2021.32.2.361
- [9] K. W. Lee, J. O. Jeon, K. J. Lee, Y. H. Kim, C. J. Lee, and M. J. Jang. (2019). Analysis of growth environment of *Flammulina velutipes* using the smart farm cultivation technology. *Journal of mushrooms*, 17(4), 197–204.
DOI : 10.14480/JM.2019.17.4.197
- [10] H. K. Kim, J. G. Jeon, L. Baek, H. Y. Pyo, J. Y. Jeong & Y. C. Kim. (2015). Analysis of Temperature Changes in greenhouses with Recirculated Water Curtain System. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 24(2), 93–99.
DOI : 10.12791/KSBEC.2015.24.2.093
- [11] J. Y. Yoon, B. H. Lee. (2017). Implementation strategy

- and development methods for smart farms in Gangwon Province. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, 29(2), 137–151.
DOI : 10.12972/jales.20170013
- [12] S. J. Oh. (2017). A Design of intelligent information system for greenhouse cultivation. *Journal of Digital Convergence*, 15(2), 183–190.
DOI : 10.14400/JDC.2017.15.2.183
- [13] Smart Farm Korea. (2019). *Structure of smart greenhouse*. EPIS(online).
<https://www.smartfarmkorea.net/contents/view.do?menuId=M01010103>
- [14] H. Y. Shin, H. K. Yim & W. T. Kim. (2018). Intelligent Green House Control System based on Deep Learning for Saving Electric Power Consumption. *Journal of IJKEE*, 22(1), 53–60.
DOI : 10.7471/ijkee.2018.22.1.53
- [15]] Z. Yao, Z. Xu & S. Du. (2013, June). Optimal control based on temperature dynamic model of greenhouse crop germination period. *Fourth International Conference on Intelligent Control and Information Processing(ICICIP)*. (pp. 267–270). Beijing : IEEE

최 민 석(Minseok Choi)

[상화인]



- 1996년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1998년 8월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 한양대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 지능

정보융합학부 부교수

- 관심분야 : 정보처리, 정보시스템
- E-Mail : mschoi@syu.ac.kr