

Research Article



CrossMark

Open Access

스마트온실 배양액 관리를 위한 클라우드 기반 데이터 분석시스템 설계

허정욱¹, 박경훈², 이재수¹, 홍승길³, 이공인¹, 백정현^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부, ³농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부

Design of Cloud-Based Data Analysis System for Culture Medium Management in Smart Greenhouses

Jeong-Wook Heo¹, Kyeong-Hun Park², Jae-Su Lee¹, Seung-Gil Hong³, Gong-In Lee¹ and Jeong-Hyun Baek^{1*}
(¹Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Korea, ²Ginseng Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development of Administration, Eumseong 369-873, Korea, ³Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Korea)

Received: 16 October 2018/ Revised: 7 November 2018/ Accepted: 13 November 2018

Copyright © 2018 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jeong-Wook Heo

<http://orcid.org/0000-0002-9968-7783>

Jeong-Hyun Baek

<http://orcid.org/0000-0002-5867-2171>

Abstract

BACKGROUND: Various culture media have been used for hydroponic cultures of horticultural plants under the smart greenhouses with natural and artificial light types. Management of the culture medium for the control of medium amounts and/or necessary components absorbed by plants during the cultivation period is performed with ICT (Information and Communication Technology) and/or IoT (Internet of Things) in a smart farm system. This study was conducted to develop the cloud-based data analysis system for effective management of culture medium applying to hydroponic culture and plant growth in smart greenhouses.

METHODS AND RESULTS: Conventional inorganic Yamazaki and organic media derived from agricultural byproducts such as a immature fruit, leaf, or stem were used for hydroponic culture media. Component changes of the solutions according to the growth stage were monitored and plant growth was observed. Red and green lettuce seedlings

(*Lactuca sativa* L.) which developed 2~3 true leaves were considered as plant materials. The seedlings were hydroponically grown in the smart greenhouse with fluorescent and light-emitting diodes (LEDs) lights of 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ light intensity for 35 days. Growth data of the seedlings were classified and stored to develop the relational database in the virtual machine which was generated from an open stack cloud system on the base of growth parameter. Relation of the plant growth and nutrient absorption pattern of 9 inorganic components inside the media during the cultivation period was investigated. The stored data associated with component changes and growth parameters were visualized on the web through the web framework and Node JS.

CONCLUSION: Time-series changes of inorganic components in the culture media were observed. The increases of the unfolded leaves or fresh weight of the seedlings were mainly dependent on the macroelements such as a $\text{NO}_3\text{-N}$, and affected by the different inorganic and organic media. Though the data analysis system was developed, actual measurement data were offered by using the user smart device, and analysis and comparison of the data were visualized graphically in time series based on the cloud database. Agricultural management in data

*Corresponding author: Jeong-Hyun Baek
Phone: +82-63-238-4063; Fax: +82-63-238-4035;
E-mail: butterfly@korea.kr

visualization and/or plant growth can be implemented by the data analysis system under whole agricultural sites regardless of various culture environmental changes.

Key words: Hydroponic Culture medium, Greenhouse culture, Monitoring, Web virtual machine

서론

현재 네트워크(인터넷)와 자동화 기술을 융합하여 시·공간의 제약없이 농업 환경을 관측하고 정보를 계량화하며 생산, 유통, 소비의 각 분야에서 ICT (Information and Communication Technology) 및 IoT (Internet of Things)를 활용하여 시스템화하고 이를 농업에 적용, 생산성을 향상시키고 비용을 절감하는 스마트팜 기술이 주목받고 있다(Sundmaeker et al., 2016; Yeo et al., 2016; Atole et al., 2017; Liu, 2017; Wolfert, 2017). ICT나 IoT 기술이 적용되는 스마트온실에서는 다양한 종류의 유·무기 수경배양액을 이용하여 작물을 재배하는데, 작물 재배과정에서 발생하는 폐기 부산물에 의한 환경오염 및 부산물 처리비용 저감 등 농업부산물의 경제적 가치를 향상시키기 위하여 자원화 및 액비화 등 부산물 활용에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히, 온도, 습도 및 광과 같은 환경 이외에 시설재배지에서는 폐기 부산물의 재활용을 위하여 농업부산물로 유기액비를 제조, 이를 혼용 또는 단용하여 작물 생육에 필요한 양과 양분을 공급·보충하는 등 세심한 배양액 관리가 중요하다. 한편 자연광 스마트온실과 같은 시설재배지에서 발생하는 농업부산물은 주로 잎, 줄기, 미성숙과 및 폐과 등으로 연간 발생량은 대략 200만톤 이상으로 추정된다. 현재 이들 농업부산물은 방치되거나 자연부패, 소각 등의 방법으로 폐기되고 있는데, 농업부산물 폐기로 인한 경비부담, 환경오염 등 여러 가지 문제점이 대두되고 있다. 이와 같이 폐기 또는 방치되고 있는 대량의 농업부산물 활용 및 자원 재순환을 위하여 퇴비화 및 액비화 등 폐기 농업부산물의 활용성 제고에 대한 연구가 진행 중에 있다(An et al., 2012). 자연광 시설이나 노지재배의 경우에는 농업부산물 유래 유기액비를 기비나 추비로 사용하는 등 화학비료 사용량 저감을 위한 시도가 이루어지고 있으나, 인공광 스마트온실에서는 전적으로 무기성분으로 구성된 수경배양액을 사용하고 있다(Premuzic et al., 1998; Williams and Nelson, 2016). 그러나 이들 수경배양액 원료는 수입에 의존하고 있

며 수경재배후의 폐수발생 문제나 무기성분 투입량 저감 및 폐배양액 재순환 등에 대한 보다 체계적인 기술개발이 필요한 실정이다.

특히, 외부의 기후변화와 무관하게 온·습도, 광 및 이산화탄소 등의 환경요인을 인공적으로 제어하면서 작물을 재배하는 인공광 스마트온실에서는 일반적으로 자연광을 이용하는 생산시설과 달리, 작물재배를 위하여 인공광을 사용하고 토양 대신 다양한 종류의 무기배양액을 사용하는 수경재배방식을 채택한다(Khattak and pearson, 2005; Morrow, 2008; Shimizu et al., 2011). 따라서 인공광을 이용한 작물 수경재배시, 폐기 부산물의 자원재활용 및 경제적 가치향상을 위하여 관행의 수경배양액과 함께 부산물 유래 액비를 단용 또는 혼용하여 작물 생육에 필요한 양과 성분을 공급·보충하는 선관리기술이 필요하다. 또한 스마트팜 기술은 작물생산과 관련된 정보를 정량적으로 데이터화하여 농업현장에서 발생할 수 있는 문제를 파악하고 해결할 수 있기 때문에 배양액 관리기술 개발에 ICT 기술이 접목된 스마트팜 기술을 적용할 수 있다고 판단된다.

그러나 자연광이나 인공광 스마트온실과 같은 시설내 작물 생육은 물론 온도, 습도 및 배양액 공급과 같은 물리·화학적 재배환경과 관련된 데이터 분석 및 가시화에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 우리나라 스마트팜 기술은 시설내 센서 데이터 모니터링이나 제어기 구동 등의 단순한 제어작업에 국한되어 있기 때문에 제어대상에 대한 보다 정밀한 실측 데이터 수집 및 관리기술이 요구된다. 자연광 시설과 달리 외부 환경요인의 영향을 받지 않는 인공광 스마트온실에서는 온도 및 습도 등 작물 재배에 필요한 다양한 환경 모니터링 및 환경 제어 시스템을 활용하여 작물생장에 적합한 환경조건을 보다 정밀하게 제공할 수 있어 인공광 스마트온실내 물리·화학적 환경요인뿐만 아니라 작물 생육 제어가 용이하다. 따라서 본 연구에서는 작물 수경재배에 있어서 농업부산물 유래 유기배양액의 적절한 활용 및 Yamazaki와 같은 관행의 무기 배양액과의 혼용 등 작물 생육관리기술 개발을 목적으로, 작물 생육단계별 사용 배양액의 성분변화를 모니터링하고 이들 실측 데이터처리를 위하여 클라우드 기반 데이터 분석시스템을 설계하였다.

재료 및 방법

작물 수경재배조건

온도 및 습도가 25℃ 및 50%로 제어된 환경조건에서 토

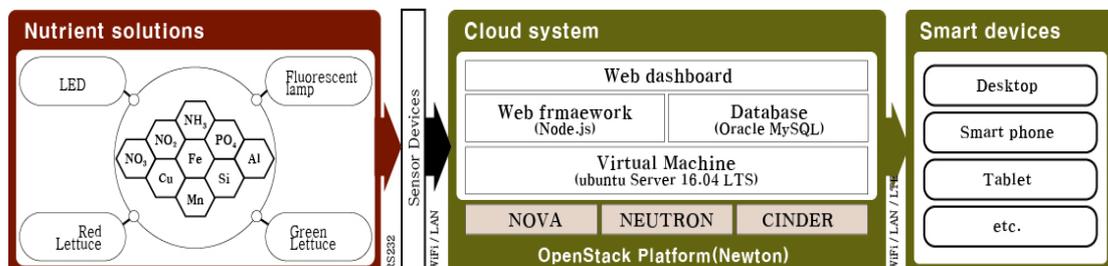


Fig. 1. Schematic diagram of the data analysis system development.

마토 미성숙과, 케일 잎줄기 등 부산물은 비협기 방식으로 액비화 하여 유기배양액으로 공시하였으며 관행의 무기배양액은 Yamazaki 잎상추액(Y) 및 시판중인 클로렐라(C), 아카디안(A)과 같이 액비 등 수종의 유·무기 배양액을 공시하였다. 이들 배양액은 단용 및 혼용 처리하였으며 혼용처리시에는 1:1 비율로 혼합하였고, 재배시험중 공시 배양액의 EC 및 pH는 1.5 dS/m 및 5.8로 제어하였다. 배양액 농도변화를 모니터링 하기 위하여 본엽이 2~3매 전개한 청치마와 적치마 상추(*Lactuca sativa* L.) 2종을 수경재배 작물로 공시하였다. 상추 실생묘는 우레탄 스폰지에 파종하여 12일간 육묘한 후 파종 트레이에서 꺼내어 각 재배베드내 정식판에 정식하였으며 각 배양액 공급관을 통해 저수조의 배양액을 자동 급·배수 되도록 담액방식(DFT, Deep Flow Technique)으로 제어하였다. 작물 재배실내 평균 온도 및 습도는 각각 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 $50 \pm 10\%$ 로 5주간 제어하였다. 재배기간 동안 재배실내 CO_2 는 사용하지 않았으며 대기중 농도는 $400 \pm 100 \mu\text{mol/mol}$ 로 계측되었다. 재배실내 인공광원은 적색, 청색 및 백색 LED의 혼합광원(BRW, 혼합비율 1:2:1)과 형광등(FL)으로, 광강도는 재배개시 2주간 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로, 2주 이후부터 실험 종료 시까지 $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 제어하였다. 또한 재배실내 광조사시간(명기시간)은 1일 12시간이었다.

공시 배양액내 영양성분 농도의 변화 패턴은 작물 생육단계별로 모니터링하였다. 1주 간격으로 발색법에 의한 흡광광도법을 활용하여 유·무기 배양액내 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, PO_4^{3-} 및 Cu 등 총 9종의 성분농도 변화를 측정하여 산출하였다. 재배개시 5주차에는 재배베드내 작물 중 16 개체를 임의로 선택하여 수확한 후에 생체중, 전개엽수 및 엽면적을 측정하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(Version 6.21; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 수행하였으며, ANOVA 분석후 Duncan의 다중검정($P=0.05$)을 실시하였다.

데이터 분석시스템

클라우드 시스템 내부에 데이터 분석 시스템은 입·출력 및 처리할 데이터의 처리량에 소요되는 시간이나 처리용량(비용)을 산출하고 특정기간의 데이터 처리소요 비용이 큰 이벤트

가 발생하는 경우가 있는데(Baek and Lee, 2014; Baek et al., 2018) 이때 시스템의 가용자원을 증설할 수 있도록 하여 분석 시 투입되는 시스템의 자원 비용을 감소시켰다.

데이터 분석시스템의 각 모듈은 데이터의 입력, 저장, 분석 및 가시화의 4가지로 구분하였다. 각 센서로부터 측정된 작물의 기초 생육량 및 배양액 성분 변화 데이터를 오픈스택 클라우드 시스템에 생성된 가상머신(Virtual machine)에 전달하는 역할을 하는 데이터 입력 모듈을 사용하였다(Fig. 1). 데이터 저장 모듈은 가상머신 내에 관계형 데이터베이스를 구축하여 수집 항목별로 분류하여 데이터를 저장할 수 있도록 설계하였다. 데이터 분석 모듈은 데이터가 수집되는 동시에 데이터를 분석하기 위하여 가상머신내에 저장된 작물별 배양액의 성분변화와 생육량 데이터 수집을 위하여 노드제이에스(Node.js) 소프트웨어 프레임워크(Framework)를 사용하였다. 또한 데이터 분석시스템을 웹 서비스로 개발하기 위하여 작물 재배기간 동안 변화하는 공시배양액의 성분변화 실험 측정치와 작물 생육량 데이터 처리를 위하여 사용자 스마트 디바이스(Smart devices)를 활용하였으며, 가시화 모듈을 사용하여 작물의 종류와 배양액 성분 등, 각 데이터의 비교 및 분석을 위하여 시계열 그래프에 의한 가시화방식을 도입하였다.

결과 및 고찰

Table 1에서 보는 바와 같이, 재배개시 5주째에 데이터베이스 구축을 위하여 공시한 상추 2종의 엽 생성은 유기 또는 무기 및 유·무기 혼합 등 사용한 수경배양액의 종류에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다. 형광등 조사조건에서 적치마의 경우 관행의 무기배양액 처리구인 Y구의 생체중은 LED조사나 기타 유·무기 배양액 처리구에 비해 통계적으로 유의하게 증가하였다. 유기 배양액 처리구의 경우에는 유·무기 혼합배양액 처리구에 비해 생체중 증가가 현저히 억제되었으며, 특히 형광등 조사구인 Y구에서는 부산물 유래 유기액비 처리 K구에 비해 58배 증가하였다. 유·무기 혼합배양액 처리구인 YA구에서 생체중은 유기 배양액 단용처리 A구에 비해 18배 이상 증가하는 등 유기 배양액 단용처리보다 무기배양액과의

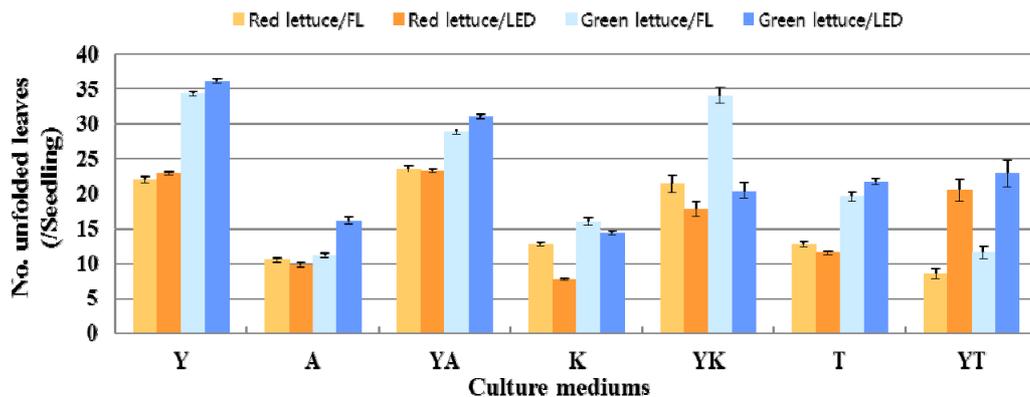


Fig. 2. Change sample in number of unfolded leaves of the lettuce seedlings grown under the different culture mediums under the smart greenhouse system with fluorescent lamps (FL) and mixture LED (LED) light sources for 35 days for data analysis system development. Treatments see Table 1.

Table 1. Growth samples of the lettuce seedlings grown under the different nutrient mediums for 35 days for data analysis system development

Culture Mediums	Fresh weight (g/seedling)		SPAD value (/leaf)	
	<FL ^y >	<LED>	<FL>	<LED>
<Red Lettuce>				
Yamazaki (Y)	115.9a ^z	89.6b	19.0b	22.1b
Chlorella (C)	3.8f	1.7h	7.8e	9.5e
Acadian (A)	4.6e	7.1g	9.6e	11.5d
Kales (K)	1.8g	7.8g	16.9d	17.1c
Tomatos (T)	13.6d	16.4f	20.8b	20.5b
Yamazaki+Chlorella (YC)	65.6b	76.8c	19.4b	19.7b
Yamazaki+Acadian (YA)	83.8b	101.6a	20.7b	21.1b
Yamazaki+Kales (YK)	20.5c	56.4d	27.5a	25.3a
Yamazaki+Tomatos (YT)	3.9f	36.6e	17.8c	19.9b
<Green Lettuce>				
Yamazaki (Y)	191.3b	168.6a	22.9b	27.6b
Chlorella (C)	1.5h	2.4h	9.9e	9.3e
Acadian (A)	13.0f	7.6g	19.5c	16.1d
Kales (K)	4.8g	8.3g	23.1b	21.1c
Tomatos (T)	28.5d	26.0f	26.2a	26.7b
Yamazaki+Chlorella (YC)	92.6c	128.9c	23.7b	25.0b
Yamazaki+Acadian (YA)	167.0a	146.3b	22.8b	26.6b
Yamazaki+Kales (YK)	16.6e	79.1d	26.6a	30.6a
Yamazaki+Tomatos (YT)	4.7g	42.2e	16.9d	19.3c

^zFluorescent lamps and mixture LEDs of blue, red and white (1:2:1 in energy ratio) used for lighting source.

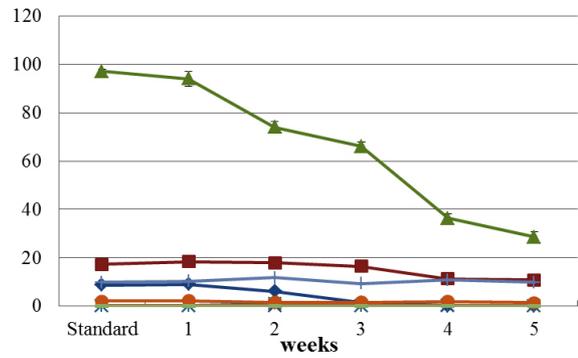
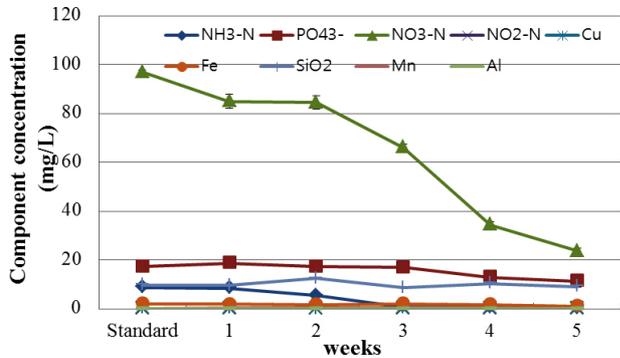
^yDifferent letter indicates significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

혼용처리에 의해 적치마의 생체중 증가에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 생체중과 달리 적치마의 엽내 SPAD치는 광원의 종류와 상관없이 혼합 배양액 처리구인 YA구에서 최대값을 나타내었는데, Y구 대비 각각 형광등 조사시 45%, LED 조사시 14% 이상 증가하였다. 적치마 상추의 엽내 색소형성은 생체중 증가와 마찬가지로 단용처리에 비해 YK, YC 및 YT구와 같은 유·무기 혼용 처리구에서 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 청치마의 생체중 증가는 적치마에서와 마찬가지로 무기배양액 단용처리에 비해 혼용배양액 처리구에서 증가하였으며 단용 배양액 처리구인 C구에서 최소값을 나타내었다. 배양액 혼용 처리구에서는 광원의 종류와 상관없이 YA구>YC구>YK구>YT구 순으로 증가하였으며, YA구에서는 YT구에 비해 각각 형광등 조사시 약 36배, LED 조사시 3.5배 증가하였다. 또한 엽내 색소형성은 광원의 종류와 상관없이 YK구에서 최대값을, C구에서 최소값을 나타내었다.

생체중이나 건물중 증가에 미치는 광원의 영향은 방풍, 상추 및 화훼류 등 다양한 작물에서 연구되고 있는데, 특히 인공광 스마트온실 조건에서 대부분의 연구결과들은 작물 종에 의한 광원의 반응 차이에 대하여 언급하고 있으며, 다양한 광질역 중에서도 적색광역을 많이 포함하는 경우에 증가한다고

보고되고 있다(Khattak and Pearson, 2005; Heo *et al.*, 2013). 특히 적색광역은 작물의 생체중 증가와 같은 양적생장 뿐만 아니라 특정성분 증감, 줄기생장이나 엽수증가에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데(Heo *et al.*, 2012; Heo *et al.*, 2013; Heo *et al.*, 2017), 적치마의 전개엽수는 Y구를 제외한 모든 처리구에서 형광등의 영향이 큰 것으로 나타났는데, YT구에서는 형광등에 비해 LED 조사구에서 10배 이상 증가하였다(Fig. 4). 청치마 실생묘의 전개엽수는 YK구를 제외한 모든 처리구에서 형광등 대비 LED 조사구에서 증가하는 경향을 나타내었는데, YK구에서 전개엽수는 LED 조사구에 비해 형광등 조사 시 10배 이상 증가하였다. 전개엽수의 증가에 있어서 광원의 종류에 의한 영향이 가장 크게 나타난 YT구에서는 YK구에서와 달리 LED조사구에서 10배 이상 증가하였다. Heo 등(2013)의 연구결과에 의하면 단일광 보다는 혼합 LED광원에서, 혼합 LED광원의 경우에는 적색광량이 상대적으로 높은 광원하에서 전개엽수가 증가한다고 보고하고 있는데, 본 실험조건에서 공시작물의 전개엽수 증감은 작물 종의 차이뿐만 아니라 배양액의 종류 및 광원의 영향을 받은 것으로 판단된다. 생체중 증가나 엽내 색소함성은 전개엽수 증가와 달리 광원의 종류에 의한 영향보다 시용한 배양액의 종류에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

[Red lettuce]



[Green lettuce]

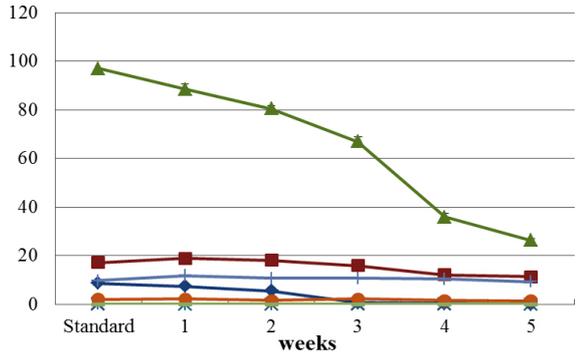
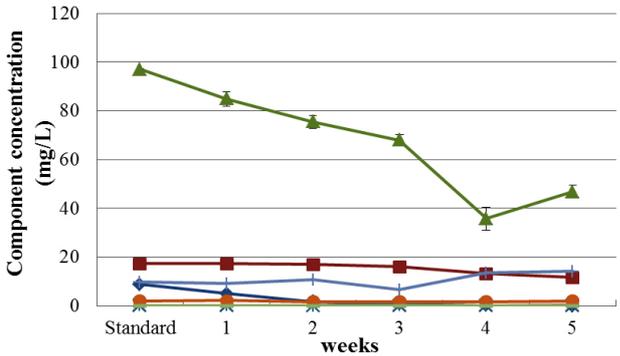


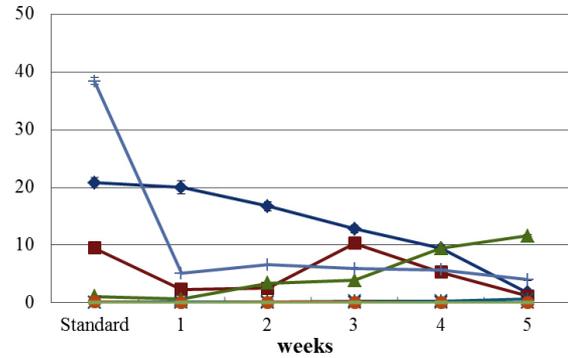
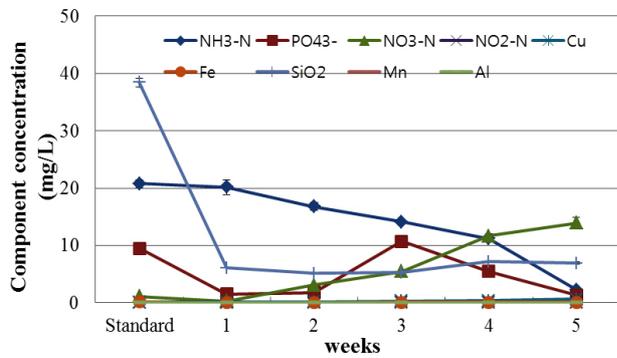
Fig. 3. Change pattern samples of the component concentrations in the conventional Yamazaki solution (Y) under the smart greenhouse system with fluorescent lamps (FL) and mixture LED (LED) lights for 35 days for data analysis system development. Left and right side of the graphs represent FL and mixture LED light sources, respectively.

한편, 배양액 농도변화 기준 데이터 분석시스템 개발을 위한 기초자료 수집을 위하여 성분농도 변화를 조사하였는데 작물재배기간 동안 공시배양액 농도변화를 조사한 결과, 부산물 유래 제조배양액의 종류에 따라 배양액내 포함되어 있는 성분의 양은 생육단계별로 관행의 무기배양액에 비해 NO₃-N의 함량차이가 큰 것을 알 수 있었다(Fig. 3, 4). 재배개시 전 무기배양액내 NO₃-N 함량은 토마토 부산물 유래 액비인 T액에 비해 현저히 증가하였으며, T액에서는 무기배양액과 달리 SiO₂ 성분이 약 4배 높았으며 NH₃-N 함량 역시 무기배양액에 비해 약 2배 높은 것으로 나타났다. 기타 미량성분에 비해 작물에 의한 흡수량이 높은 NO₃-N의 경우 관행의 무기배양액과 달리 유기배양액내 낮은 NO₃-N 함량이 작물 생육에 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나, Cometti 등(2011)과 Gamao 등(2015) 이외에 N 성분과 작물생육과 관련된 다수의 연구결과가 보고되고 있으나 무기 배양액내 대량성분을 중심으로 한 배양액 농도제어 기술개발은 부족한 실정이다. 실험결과 재배종료 시에도 NO₃-N의 함량이 유기배양액의 재배전 농도에 비해 현저히 높은 것으로 보아 초기 투입량을 조절하여 작물 생육단계별 필요농도에 따른 특정 성분의 선택적 공급에 대한 기술개발이 필요하다. 최근 작물 수경재배시 부산물 유래 유기액비 시용효과 관련 연구를 진행하는 등, 작물생산 시스템내에서 부산물 유래 액비를 활용한 유기적 수경재배에 주목한 연구가 진행 중에 있다(Williams and

Nelson, 2016). 선행의 연구결과는 유기적 수경재배시에는 작물의 양적생장이 관행의 무기 배양액에 비해 저하하는 결과를 제시하고 있으나, 수경배양액과 관련하여 무기배양액이나 부산물 활용 제조액비의 단용처리보다는 유기액비와의 혼용시용에 의해 생체중 증가나 색소합성량 증가로 보아 인공광 스마트온실내 수경재배에 있어서 농업부산물 유래 액비 시용에 의한 유기적 수경재배 가능성은 매우 높다는 것을 알 수 있다. 작물 수경재배시 관행의 무기배양액 대신 유기배양액을 사용한 선행의 연구에서 알 수 있듯이(Marsic and Osvald, 2002; Lee and Chung, 2006; Nilton *et al.*, 2011) 인공광 스마트온실의 경우 관행의 수경재배용 무기배양액의 경우 작물체내 질산염 농도가 높으며 배양액 구성 물질을 전량 수입에 의존하고 있는 등 문제점이 지적되고 있어 유기액비 도입, 시용방법 등 농업부산물의 활용도 제고가 필요하다. 또한 작물의 생육 비교보다는 액비의 물리성 유지 등 배양액 제어와 관련된 연구의 필요성을 강조하고 있는 유기적 수경재배 관련 연구결과에서와 같이, 농업부산물 유래 유기액비를 인공광 스마트온실에 도입할 경우에는 작물 안정생산을 위하여 액비 안정공급, 제조 매뉴얼 개발, 액비성분의 정량화 등의 상세연구가 필요하다(Cha *et al.*, 2012; Cho *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2012).

상기 서술한 생육 데이터 및 공시 배양액 성분변화 등의 데이터를 기반으로 1개의 데이터베이스와 7개의 테이블을 스

[Red lettuce]



[Green lettuce]

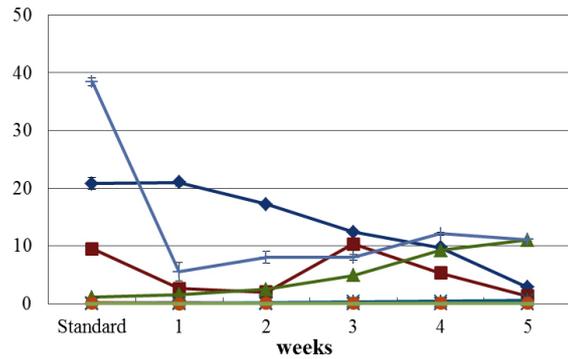
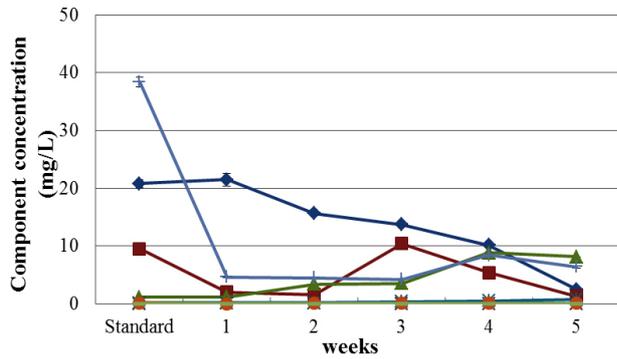


Fig. 4. Change pattern samples of the component concentrations in the tomato solution (T) derived from agricultural by-products under the smart greenhouse system with fluorescent lamps (FL) and mixture LED (LED) lights for 35 days for data analysis system development. Left and right side of the graphs represent FL and mixture LED light sources, respectively.

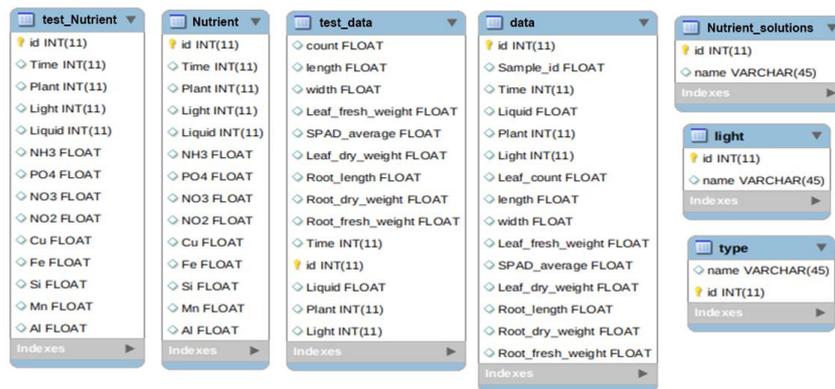


Fig. 5. Table for data input in the cloud.

키마(Schema)로 작성하였다. 실험 결과에 따라 입력하는 2개 범주의 주차별 데이터는 원시 데이터로 test_Nutrient와 test_data 테이블 2개에 각각 구분되어 저장되며, 분석을 통해 변환되는 최종적인 결과 데이터는 Nutrient(공시배양액)와 data 테이블에 각각 구분하여 저장하였다(Fig. 5). 또한 작물 중, 날짜 및 실험 조건에 대한 테이블은 각각 Nutrient_solution, light(재배환경조건), type 테이블로 분류하여 저장하였다. 논리 스키마를 기준으로 물리적 스키마를 클라우드 시스템에 구축되어 있는 가상머신에 구현하고 실험 데이터를 저장하였다.

웹서버로 만든 데이터 분석 시스템은 웹 프레임워크인 익스프레스(Express)로 분석 시스템의 기본 구조를 만들고, MySQL을 이용해서 데이터를 저장하였다. 또한 클라이언트(Client)에 응답을 송신할때에 사용하기 위하여 미리 웹문서의 원형인 뷰 템플릿(View template)을 만들었다. 데이터베이스에 저장한 각 데이터의 분석 및 검색을 위하여 가상머신에 소프트웨어 프레임워크인 Node.js를 활용하여 웹서비스 데이터 분석 시스템을 구현하였다. 기존의 데이터 분석 시스템은 단방향 통신으로 되어 있어 데이터 실시간 입력이 곤란

Fig. 6. Data input structure of the plant growth and nutrient concentrations on the Web.

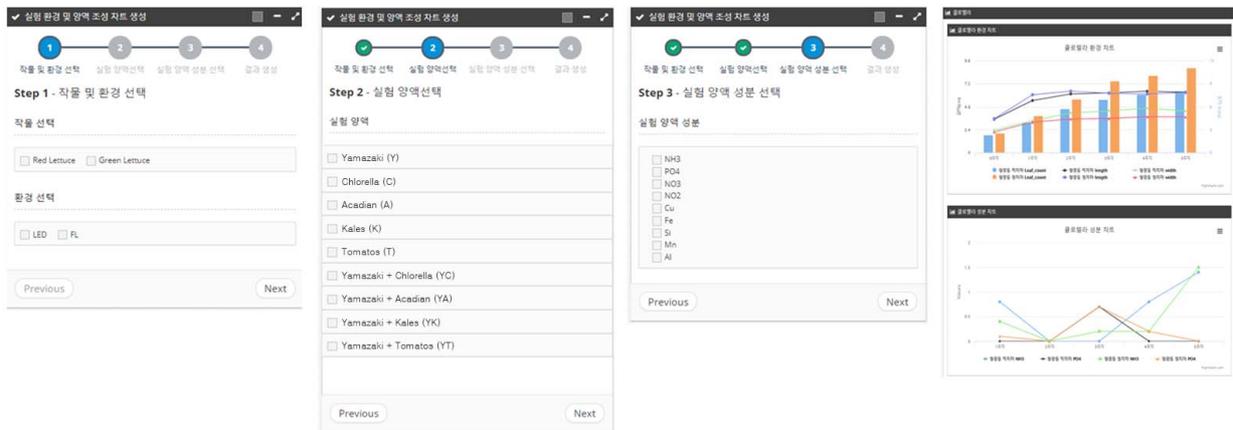


Fig. 7. Process of the data analysis system for data visualization.

하기 때문에 본 연구에서는 수동입력과 실시간 입력방식을 고려하여 실험관련 데이터 입력은 다음과 같은 2가지 방식으로 설계하였다(Baek *et al.*, 2018). 첫 번째 방식은 데이터 값을 인공광 스마트온실과 같은 재배시설 이외에 시설재배지나 노지와 같은 농업현장에서 웹을 통해 바로 입력할 수 있도록 가상머신 내부에 구성된 데이터베이스 컬럼(Column)명에 mapping한 공시 배양액의 성분변화 및 작물 생육 데이터 입력 페이지를 구성하였다(Fig. 6), 두 번째 방식은 센서의 측정 데이터가 로그형태로 저장된 파일을 센서 기기에서 다운로드하여 분석 시스템의 웹페이지에서 CSV (Comma-Separated Values)파일로 입력할 수 있도록 입력 폼으로 구성하였다. 각 입력 데이터는 결과 데이터를 시계열적인 변화 추이량으로 나타내기 위해 수집 일자별로 실험 항목을 입력할 수 있도록 구성하였다.

분석 결과 데이터는 사용자 의사에 따라 작물 중 및 환경 조건 선택, 공시 배양액 및 배양액 성분의 3단계 조건을 선택

할 수 있으며 각 재배환경 조건에 따른 분석결과를 웹을 통해 실시간으로 가시화하여 제공할 수 있다(Fig. 7). 1단계 검색 조건에서는 적치마나 청치마와 같은 작물 중 및 형광등이나 LED와 같은 작물재배용 인공광원을 선택할 수 있으며, 2단계 검색 조건에서는 1단계 선택 조건에 따라 분기하여 각 대조군의 조합을 선택할 수 있도록 하였다. 최종적으로 3단계 검색 조건에서는 2단계 각 대조군의 실험에 사용된 각 배양액 성분을 선택하여 분석을 완료한다. 각 단계별로 선택된 조건을 웹서버에서 하나의 데이터베이스 질의문(Query)과 세부 질의(Sub-query)로 완성하여, 데이터베이스에 요청하게 된다. 데이터베이스 서버에 요청한 질의의 응답을 가상머신내 웹서버로 다시 보내면 서버내의 프로그래밍된 데이터 분석 시스템에서 응답 결과를 가시화하여 보여준다. 이러한 단계별 검색 방법을 통해서 다양한 재배환경의 결과를 하나의 화면에 복잡하게 보여줬던 방식과 달리 사용자가 원하는 조건을 선택하므로써 상세하면서 체계적인 작물의 생육현황을 파악

할 수 있다. 또한 분석시스템에는 데이터 입력 작업 후에 시스템의 응답을 기다리지 않으면서 다른 데이터 작업을 하거나 결과를 확인할 수 있는 논블록킹 입출력(Non-blocking input/output) 기능으로 구현하여 시스템의 이용효율성을 향상시켰다. 본 연구에서는 인공광 스마트온실 조건에서 작물 중, 광원의 종류 및 배양액 종류와 관련된 환경조건을 요인으로 하는 분석시스템을 구현하였는데, 실험실 이외 시설재배나 노지재배 등 농업현장의 다양한 환경조건에서도 생육, 물리적 생육환경, 배양액 EC, pH 등 다양한 재배환경 변화에 따른 생육반응을 실시간으로 파악하여 관리할 수 있다.

이상으로 스마트온실내 작물재배에 있어서 ICT 기술을 활용한 스마트 팜 기술 연구를 통하여, 물리화학적 재배환경의 경시변화를 정밀하게 파악하여 수치화하고 이를 가시화하여 실시간 사용자에게 정보를 제공하므로써 보다 효율적인 작물 생육과 생육환경에 대한 정밀한 관리가 가능해질 것으로 생각된다. 배양액별 생육량 및 성분변화 모니터링 데이터를 기반으로 하여 생육에 필요한 특정성분 농도를 파악하고, 작물 생육단계별로 N, P 및 K 성분을 중심으로 한 성분 선택적 배양액 공급장치를 개발할 예정이다. 또한 연구결과를 기반으로 하여 수종의 유·무기 배양액 시용조건에서 작물의 생육단계별 N, P 및 K 성분을 중심으로 한 성분 선택적 배양액 공급장치 및 실측 데이터 중심의 맞춤형 작물생육 관리 서비스 제공 시스템을 구축해가고 있다.

요 약

스마트온실에서 사용하고 있는 다양한 종류의 수경배양액 관리와 관련하여 ICT 기술을 활용한 작물생육 기반 배양액 제어시스템 개발을 위하여, 본 연구에서는 작물 생육단계별 시용배양액의 성분변화를 모니터링하고 이들 실측 데이터를 바탕으로 한 클라우드 기반 데이터 분석시스템을 설계하였다. 수집한 데이터 분석 및 시스템 구축을 위하여 인공광 스마트 온실에서 사용하는 관행의 무기 배양액, 기존 액비 및 폐기 농업부산물 유래 제조액비 등 수종의 배양액을 공시하였으며, 수경재배 작물 생육단계별 시용 배양액내 성분 변화패턴을 모니터링하였다. 발색법에 의한 흡광광도법을 활용하여 NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N, SiO₂, PO₄³⁻ 및 Cu 등 총 9종의 성분농도 변화를 산출하고 작물의 기초 생육량을 조사하였다. 각 작물의 기초 생육량 데이터는 오픈스택 클라우드 시스템에서 생성된 가상머신(Virtual machine)에 관계형 데이터베이스를 구축하여 수집 항목별로 분류·저장하였다. 저장된 작물별 배양액의 성분변화와 생육량 데이터는 노드제이에스(Node.js) 웹 프레임워크(Framework)를 통해 매주 수집된 데이터를 가시화하여 제공한다. 클라우드 기반 데이터베이스를 구축을 통하여 배양액 성분 실측치 비교와 작물 생육상황은 사용자 스마트 디바이스(Smart devices)를 활용, 작물중과 배양액 성분을 순차적 선택하고, 각 데이터의 비교 및 분석을 시계열 그래프로 실험 결과를 가시화할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발한 클라우드 기반 데이터 분석시스템 스마트온실내

수경배양액 성분변화 및 재배 작물의 생육을 정기적으로 모니터링한 실측치를 기반으로 데이터베이스를 구축한 것으로 시설재배지나 인공광 스마트온실 등 다양한 농업현장에서 생육관리를 위하여 활용할 수 있다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was funded by a research program (PJ012566022017) of Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

References

- An, N. H., Jo, Y. S., Jo, J. R., Kim, Y. K., Lee, Y., Jee, H. J., Lee, S. M., Park, K. L., & Lee, B. M. (2012). The survey of actual using conditions of farm-made liquid fertilizers for cultivating environment-friendly agricultural products. *Korea Journal of Organic Agriculture*, 20(3), 345-356.
- Atole, A., Biradar, A., Asmar, A., Kothawade, N., & Sarode, S. (2017). IoT based Smart Farming System. In *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 4(4), 29-31.
- Baek, J. H., & Lee, H. R. (2014). Design and implementation of crop-environmental control cloud systems based on growth patterns. *Database Research*, 30(2), 57-66.
- Baek, J. H., Heo, J. W., Kim, H. H., Hong, Y. S., & Lee, J. S. (2018). Research-platform design for the Korean smart greenhouse based on cloud computing. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 27(1), 27-33.
- Cha, M. K., Kim, J. S., & Cho, Y. Y. (2012). Growth response of lettuce to various levels of EC and light intensity in plant factory. *Journal of Bio-Environment Control*, 21, 205-311.
- Cho, Y. Y., Choi, K. Y., Lee, Y. B., & Son, J. E. (2012). Growth characteristics of sowthistle (*Ixeris dentata* Nakai) under different levels of light intensity, electrical conductivity of nutrient solution, and planting density in a plant factory. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 53(5), 368-372.
- Cometti, N. N., Martins, M. Q., Bremenkamp, C. A., & Nunes, J. A. (2011). Nitrate concentration in lettuce leaves depending on photosynthetic photon flux and nitrate concentration in the nutrient solution. *Horticultura Brasileira*, 29(4), 548-553.
- Gamao, V., Naumann, H. D., & Lambert, B. D. (2015).

- Nitrate concentration of water in hydroponic system impacts nitrogen concentration of wheatgrass roots and shoots differently. *Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, 28, 27-32.
- Heo, J. W., Kang, D. H., Bang, H. S., Hong, S. G., Chun, C. H., & Kang, K. K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 30(1), 6-12.
- Heo, J. W., Kim, D. E., Han, K. S., & Kim, S. J. (2013). Effect of light-quality control on growth of *Ledebouriella seseloides* grown in plant factory of an artificial light type. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(3), 193-200.
- Heo, J. W., Lee, J. S., Lee, G. I., & Kim, H. H. (2017). Growth of kale seedlings affected by the control of light quality and intensity under smart greenhouse conditions with artificial lights. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 36(3), 193-200.
- Khattak, A. M., & Pearson, S. (2005). Light quality and temperature effects on antirrhinum growth and development. *Journal of Zhejiang University Science B*, 6(2), 119-124.
- Lee, S. G., Choi, C. S., Lee, J. G., Jang, Y. A., Nam, C. W., Yeo, K. H., Lee, H. J., & Um, Y. C. (2012). Effects of different EC in nutrient solution on growth and quality of red mustard and par-choi in plant factory. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4), 322-326.
- Lee, Y. J., & Chung, J. B. (2006). Comparison of nitrate accumulation in lettuce grown under chemical fertilizer or compost applications. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 25(4), 339-345.
- Liu, Y., & Bi, C. (2017). The design of greenhouse monitoring system based on ZigBee WSNs. In *Computational Science and Engineering (CSE) and Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*, 2017 IEEE International Conference, 2, 430-433.
- Marsic, N. K. (2002). Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) grown hydroponically under greenhouse conditions. *Gartenbauwissenschaft*, 67(4), 128-134.
- Morrow, R. C. (2008). LED lighting in horticulture. *HortiScience*, 43(7), 1947-1950.
- Premuzic, Z., Bargiela, M., Garcia, A., Rendina, A., & Iorio, A. (1998). Calcium, iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *HortScience*, 33(2), 255-257.
- Shimizu, H., Saito, Y., Nakashima, H., Miyasaka, J., & Ohdoi, K. (2011). Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 605-609.
- Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., & Pérez Freire, L. (2016). Internet of food and farm 2020. Digitising the Industry-Internet of Things connecting physical, digital and virtual worlds (eds. Vermesan, C., Friess, P.), pp. 129-151, River Publisher, Gistrup/Delft.
- Williams, K. A., & Nelson, J. S. (2014). Challenges of using organic fertilizers in hydroponic production systems. In *XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014)*, 1112, 365-370. DOI:10.17660/ActaHortic.2016.1112.49.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Yeo, U. H., Lee, I. B., Kwon, K. S., Ha, T. H., Park, S. J., Kim, R. W., & Lee, S. Y. (2016). Analysis of research trend and core technologies based on ICT to materialized smart-farm. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 25(1), 30-41.