https://doi.org/10.7840/kics.2023.48.12.1645

토마토 줄기 두께 변화와 양액 흡수량 변화를 이용한 작물의 스트레스 판별 시험

박 성 진◆, 임 동 혁*, 김 태 현*, 김 만 중*, 이 정 호*, 양 오 석*, 백 정 현°

Stress Discrimination Test of Crops Using Changes in Tomato Stem Thickness and Nutrient Solution Absorption

Seong-Jin Park◆, Dong-Hyeok Im*, Tae-Hyun Kim*, Man-Jung Kim*,
Jeong-Ho Lee*, Oh-Seok Yang*, Jeong-Hyun Baek°

요 약

본 연구에서는 토마토의 스트레스 여부를 파악하는 하나의 방법으로 토마토 줄기의 두께와 수액의 흡수량 변화를 측정하는 방법의 활용 가능성을 분석하기 위해 시험을 진행하였다. 샘플1의 평균 양액 흡수량은 77.5g/h, 최대 양액 흡수량은 341.1g/h, 주간 줄기 두께 변화폭은 0.035mm, 샘플2의 평균 양액 흡수량은 66.4g/h, 최대 양액 흡수량은 264.2g/h, 주간 줄기 두께 변화폭은 0.055mm로 차광에 의한 변화가 명확하게 나타났다. 강우시 최대 양액 흡수량과 하루평균 양액 흡수량은 적정환경에서의 샘플1의 평균값 대비 14%, 22% 수준으로 나타났다. 방제작업에 의한 변화는 일시적인 것으로 확인하였다. 따라서, 토마토의 건강 상태 또는 환경조건의 이상 유무를 판단하는 척도로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 토마토, 스트레스, 줄기 두께, 양액 흡수량, 일일 광량, 강우

Key Words : Tomato, Stress, Stem thickness, Nutrient solution absorption, Daily light volume, Rainfall

ABSTRACT

In this study, a test was conducted to analyze the possibility of using a method of measuring the thickness of the tomato stem and the change in the absorption amount of nutrient solution as a way to determine whether tomatoes are stressed. Sample 1's average nutrient absorption was 77.5g/h, maximum nutrient absorption was 341.1g/h, weekly stem thickness change was 0.035mm, Sample 2's average nutrient absorption was 66.4g/h, maximum nutrient absorption was 264.2g/h, and weekly stem thickness change was 0.055mm. The maximum amount of nutrient solution absorption during rainfall and the average daily amount of Nutrient solution absorption were 14% and 22% compared to the average value of Sample 1 in an appropriate environment. It was confirmed that the change caused by the pest control work was temporary. Therefore, it is judged that it can be used as a measure to determine whether tomatoes have abnormal health conditions or environmental conditions.

※ 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호:RS-2021-RD010195)의 지원에 의해 이루어진 연구입니다.
◆ First Author : National Institute of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering, psj8475@korea.kr, 정회원
° Corresponding Author : National Institute of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering, butterfy@korea.kr, 정회원
* National Institute of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering, imdh1004@korea.kr; thkim8205@korea.kr; kmj0403@korea.kr; ljh09150915@korea.kr; dhtjr9596@gmail.com, 학생회원
논문번호 : 202307-142-0-SE, Received June 30, 2023; Revised September 6, 2023; Accepted September 11, 2023

Ⅰ. 서 론

지구 온난화로 인한 이상기후 문제가 점점 심각해지면서 시설재배의 중요도가 더욱 커지고 있다. 우리나라는 1980년부터 2019년까지 전국 연평균기온과 최고기온이 1.4°C 이상 상승했고, 연 최저기온은 2.0°C 이상 상승했다[1]. IPCC 6차 보고서의 향후 기후 전망이 부정적인 것을 고려하면 시설재배 농가는 지속적으로 늘어날 것으로 전망된다.

시설재배분야에서는 온실 내외부의 다양한 환경 인자(일사량, 누적 일사, 외기 온·습도, 내부 온·습도, CO2, 토양, 배지 등)를 조절하여 작물에 최적의 재배환경을 조성하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 관련 연구사례에 따르면 대기의 온도와 이산화탄소농도를 기준으로 온도와 이산화탄소를 인위적으로 높였을 때, 온도를 높이면 과실 수량과 크기가 감소하고, 이산화탄소를 높이면 증가하는 것으로 나타났고[2], 광주기를 단축하여 누적 일사량을 줄였을 때, 염록소 함량이 감소하고 황화 현상이 나타났다[3]. 또, 각종 연작 장해가 나타남에 따라 객토와 토양소독에 소요 비용을 낮추기 위해 저렴한 인공배지 시험을 통해 질석, 훈탄, 모래, 폐놀수지, 입상면, Perlite 등의 이용가능성을 제시하고 있다[4]. 하지만, 이러한 인위적인 재배환경의 조절이 작물에 외적인 변화로 나타나는 데에는 상당한 시간이 소요되며, 극단적인 환경 차이가 아니라면 작물의 적응 능력으로 인해 명확한 판단을 하기 어렵다[5]. 또한, 환경인자의 변화로 인한 증상이 아닌 병의 감염 또는 충의 확산과 같은 이유로 외적인 변화가 나타날 수 있다. 철원군 농업기술센터에서 2015년부터 2017년까지 철원군 내의 시설재배 과채류의 바이러스로 인한 병 발생 현황 및 감염경로 역학조사를 수행한 결과, 주로 토마토반점위조바이러스((Tomato spotted wilt virus, TSWV)와 오이모자이크바이러스(Cucumber mosaic virus, CMV)에 의한 바이러스 병이 확인되었고, TSWV는 육묘에서, CMV는 정식 중기 때 급속하게 확산이 되었다[6].

본 연구에서는 국립농업과학원 농업공학부에서 재배 중인 토마토(데프니스)를 대상으로 뚜렷한 증상이 발생하기 이전에 작물의 스트레스 여부를 파악하는 하나의 방법으로 토마토 줄기의 두께와 수액의 흡수량 변화를 측정하는 방법의 활용 가능성을 분석하기 위해 시험을 진행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

2.1 실험 준비

2.1.1 실험 재료

실험은 농촌진흥청 농업공학부의 첨단 디지털 온실 2(길이 39×폭 16×높이 7m) 1개 동에서 재배 중인 토마토(정식일 2022년 11월 8일, 데프니스)를 대상으로 4~5월간 진행하였다(그림 1). 시험 작물은 온실 중앙의 환경제어 센서와 가까운 토마토 중 두 개의 작물을 임의로 선정하여 샘플1·2로 명명하고 샘플1은 4월, 샘플2는 5월 각각 1달 동안 데이터를 수집하였다. 이때, 샘플2는 광량이 높은 오후 12시 30분부터 오후 3시까지 차광커

그림 1. 첨단 디지털 온실
Fig. 1. High-tech digital greenhouse

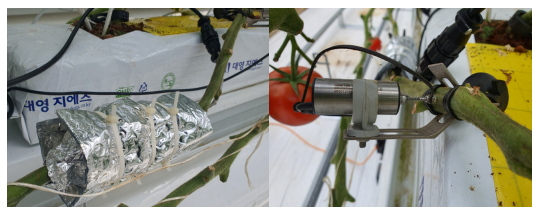

그림 2. 양액 흡수량 센서(좌)와 줄기 두께 센서(우)
Fig. 2. Nutrient solution absorption sensor (left) and stem thickness sensor (right)

Diameter variation sensor		
	Sensor unit of measurement	0.0001 mm
	Operating temperature	-5 ~ 70°
	Voltage	10 VDC
	Weight (sensor)	30g
	Weight (sensor holder)	26g
	Dimensions (sensor)	19 mm (diameter) × 45 mm (length)
	Dimensions (sensor holder)	20×45×90 mm
Sap flow sensor		
	Sensor unit of measurement	0.000001 g/h
	Operating temperature	0 ~ 50°
	Voltage	4.5 VDC
	Weight (sensor+insulation)	110g
	Dimensions (sensor)	19 mm (diameter) × 45 mm (length)
	Dimensions (sensor holder)	20×45×90 mm

그림 3. PhttoStem 제원
Fig. 3. PhttoStem specification

튼(차광률 55%)을 닫는 변수를 주었다. 토마토 줄기의 두께와 양액 흡수량의 변화는 PhytoStem(2GROW, Belgium)장비를 이용하였다(그림 2, 그림 3). 센서는 흡수된 수액의 양과 열 손실을 최소화하기 위해 배지와 가까운 줄기 부분에 센서를 설치하고 3분 단위로 데이터 수집을 하였다.

2.1.2 실험 방법

수집한 각 샘플의 데이터는 구름이나 강우에 의한 날씨 영향이 없는 맑은 날씨의 데이터 중 온실 내부 환경요소(온도, 상대습도, CO2)와 온실 외부 환경요소(일사량, 누적 일사, 외기온도)가 유사한 데이터 3개를 선정 및 평균하였다. 유사성 판단은 각 환경 요소들의 24시간 측정 데이터를 동일한 시간대의 다른 날짜 데이터와 유클리드 거리를 계산하여 판단하였다[7]. 해당 데이터를 기반으로 온실 환경요소에 극적인 변화를 주는 강우와 방제작업 시, 토마토 줄기와 양액 흡수량의 변화를 비교하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

3.1 토마토 양액 흡수량과 줄기 두께 변화

샘플 1, 2 모두 토마토 줄기 두께와 양액 흡수량의 변화는 일출을 기점으로 변화가 나타나며 두께의 변화와 흡수량의 변화는 시간에 따라 반비례에 가까운 경향을 나타내었다(그림 4, 그림 5). 샘플1의 평균 양액 흡수량은 77.5g/h, 최대 양액 흡수량은 341.1g/h, 주간 줄기 두께 변화폭은 0.035mm, 샘플2의 평균 양액 흡수량은 63.4g/h, 최대 양액 흡수량은 264.2g/h, 주간 줄기 두께 변화폭은 0.055mm로 측정되었다(표 1). 샘플1의 평균 광량은 218w, 샘플2의 평균 광량은 230w로 샘플2의 광량이 샘플1보다 5% 높지만, 샘플1 대비 최대 양액 흡수량은 23%, 평균 양액 흡수량은 18% 낮게 나타났다(그림 6). 이는 작물의 광합성이 활발한 시기에 차광커튼을 이용하여 광량을 줄인 것이 큰 영향을 미친 것으

표 1. 최대 및 평균 양액 흡수량 및 줄기 두께 변화폭
Table 1. Maximum and average of nutrient solution absorption and stem thickness variation

Item	Sample 1	Sample 2
Average of nutrient solution absorption	77.5 g/h	63.4 g/h
Maximum of nutrient solution absorption	341.1 g/h	264.2 g/h
Stem thickness variation	0.035 mm	0.055 mm
Average of Lichtmenge	218 w	230 w

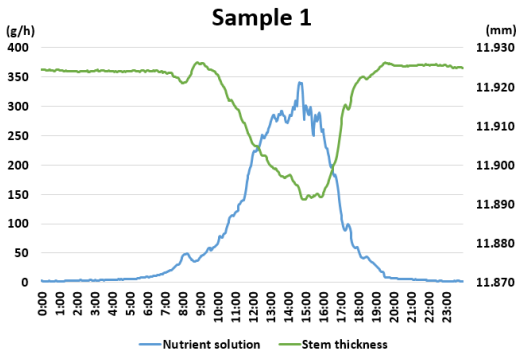

그림 4. 샘플1의 일일 양액 흡수량 및 줄기 두께 변화
Fig. 4. Changes in daily nutrient solution absorption and stem thickness of sample 1

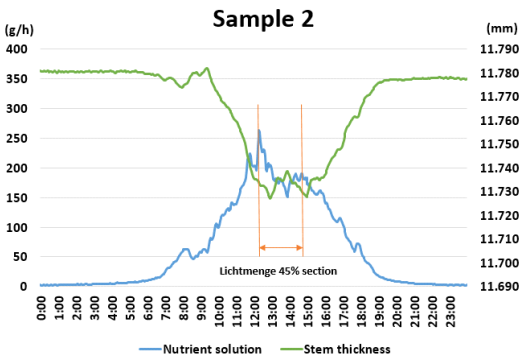

그림 5. 샘플2의 일일 양액 흡수량 및 줄기 두께 변화
Fig. 5. Changes in daily nutrient solution absorption and stem thickness of sample 2

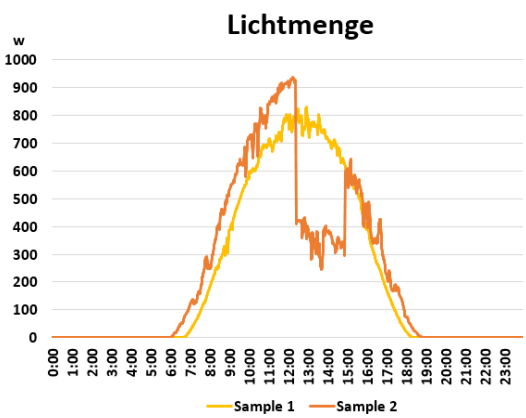

그림 6. 샘플1과 샘플2의 일일 광량 비교
Fig. 6. Comparison of Daily Light Volume of Sample 1 and Sample 2

로 생각된다. 따라서, 적절한 환경조건에서 양액 흡수량과 줄기 두께는 샘플1과 유사하고, 온실 내부로 유입되는 광량에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

3.2 환경변화에 따른 줄기 두께와 흡수량 변화

작물의 광합성은 환경적 요인에 의한 스트레스나 병충해로 인한 피해로 차이가 나타날 수 있다. 양액 흡수량은 광합성과 밀접한 영향이 있으므로, 본 연구를 통해 확보한 데이터 중 강우, 방제작업과 같은 작물의 광합성에 큰 영향을 끼치는 상황의 데이터를 이용하여 줄기 두께와 양액 흡수량의 변화를 분석하였다.

3.2.1 강우시 변화

강우 데이터는 수집한 데이터 중 강우가 24시간 가까이 유지되고, 순간 최대 광량이 가장 낮은 데이터를 선정하였다. 강우시에는 온실 내부 차광을 하지 않으므로 샘플1뿐만 아니라, 샘플2도 표본에 포함하여 강우 데이터를 선정하였다. 그 결과, 샘플2의 강우시 광량은

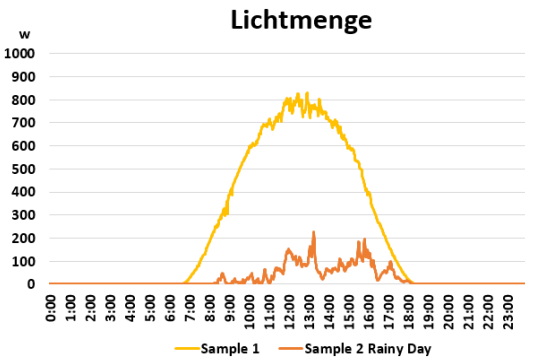

그림 7. 샘플1과 강우시 광량 비교
Fig. 7. Comparison of Sample 1 and the amount of light during rainfall

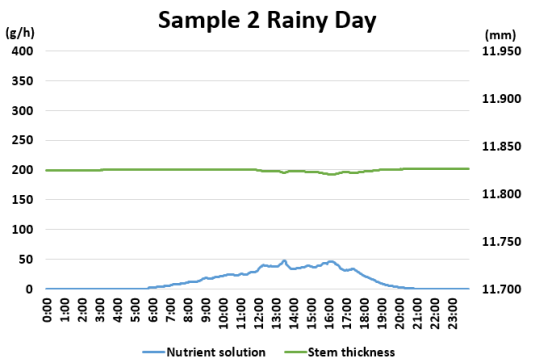

그림 8. 강우시 양액 흡수량 및 줄기 두께 변화
Fig. 8. Changes in nutrient solution absorption and stem thickness during rain

표 2. 샘플1 대비 샘플2(강우시)의 측정값
Table 2. Measurement value of Sample 2 (in case of rain) compared to Sample 1

Item	Sample 2 Rainy day	Ratio compared to Sample 1
Maximum of Lichtmenge	226 w	27 %
Average of Lichtmenge	24 w	11 %
Average of nutrient solution absorption	17.2 g/h	14 %
Maximum of nutrient solution absorption	47.5 g/h	22 %
Stem thickness variation	0.006 mm	17 %

최대 광량 226w, 평균 광량 24w로 샘플1 광량 대비 각각 27%, 11% 수준으로 측정되었다(그림 7). 이때 순간 최대 양액 흡수량은 47.5g/h, 하루평균 양액 흡수량은 17.2g/h, 줄기 두께 변화 폭은 0.006mm로 샘플1 대비 각각 14%, 22%, 17% 수준으로 매우 낮게 나타났다(표 2). 기상 조건에 따라 광량이 더욱 낮아질 경우, 샘플1과의 차이는 더 증가할 것으로 판단된다.

3.2.2 방제작업 시 변화

4월 27일 샘플1을 대상으로 오후 1시 35분부터 약 20분간 방제작업을 진행하였다. 그림9는 오후 1시 30분부터 오후 3시 30분까지 양액 흡수량과 줄기의 두께 변화를 나타내며, 그림10은 같은 시간에 샘플1의 양액 흡수량과 줄기의 두께 변화를 나타내었다. 방제작업이 시작된 후, 양액 흡수량이 감소하고 줄기 두께가 두꺼워지기 시작하였고, 작업 종료 후 변화가 더 커졌다. 이러한 현상은 약 30분간 유지된 후에 반전하여 천천

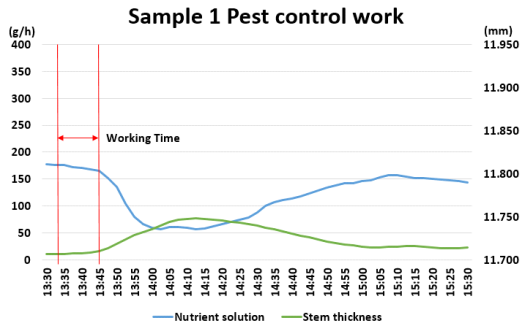

그림 9. 방제작업에 의한 양액 흡수량과 줄기 두께 변화
Fig. 9. Changes in nutrient solution absorption and stem thickness by pest control work

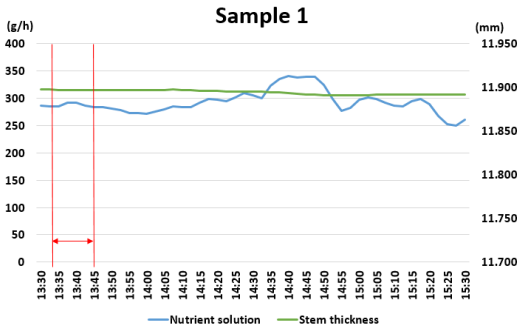

그림 10. 방제작업과 같은 시간대의 샘플1
Fig. 10. Sample 1 at the same time as the pest control work

히 정상으로 돌아왔다. 강우와 방제작업 모두 온실 내부의 상대습도를 토마토의 적정 상대습도[8] 범위를 넘는 환경을 형성한다는 공통점이 있지만, 방제의 경우 외부 광량에 영향을 주지 않고, 상대습도의 상승이 일시적이기 때문에 작물에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.

Ⅳ. 결 론

지구 온난화로 인한 이상기후 문제가 점점 심각해지면서 시설재배의 중요도가 더욱 커지고 있다. 하지만, 이러한 인위적인 작물 재배환경이 해당 작물에 적합한지에 대한 외적인 변화가 나타나는 데는 상당한 시간이 소요된다. 본 연구에서는 토마토에 직관적으로 관측이 가능한 이상증세가 나타나기 전에 스트레스 여부를 판단하는 방법으로 양액 흡수량과 줄기 두께 변화 데이터를 수집 및 분석하였다. 수집된 데이터 중 날씨가 맑고 온실 내외부 환경조건이 유사한 날짜의 데이터를 선정하여 관행 조건과 차광조건에서의 양액 흡수량과 줄기 두께 변화를 분석하고, 온실 내부 또는 외부의 환경조건에 큰 영향을 미치는 강우와 방제작업 데이터와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 적절한 환경에서 토마토 줄기 두께와 양액 흡수량 변화를 나타낸 그래프는 유의미한 규칙성을 나타내었다.
2. 샘플2의 강우시 데이터는 순간 최대 양액 흡수량 47.5g/h, 하루평균 양액 흡수량 17.2g/h로 샘플 1 대비 각각 14%, 22% 수준으로 큰 차이를 보였고, 광량이 더욱 낮아질 경우, 샘플1과의 차이는 더 증가할 것으로 판단된다.
3. 방제작업으로 인한 인위적인 과습은 토마토 양액 흡수량과 줄기 두께 변화의 경향을 반전시키는 수준의 영향을 미치지만, 본 시험에서 방제작업을 종료한 후 그러한 경향이 유지되는 시간은 약 30분이었다. 즉, 방제작업의 영향은 일시적이며 작물에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

따라서, 병충의 피해 또는 적절하지 못한 환경조건에 노출될 경우, 정확한 병명 또는 충의 종류를 판단할 수는 없으나 토마토의 건강 상태 또는 환경조건의 이상 유무를 판단하는 척도로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] C.-S. Shim, J.-K. Moon, J.-H. Han, J.-H. Seo, Y.-I. Song, J.-W. Hong, M.-S. Yu, “Implications of climate change prospects and adaptation policy by region in Korea”, Korea Environment Institute (KEI), vol. 263, pp. 1-37, 2022. (https://kiss.kstudy.com/DetailOa/Ar?key=4002314)

[2] I.-B. Lee, S.-B. Kang, and J.-M. Park, “Effect of elevated carbon dioxide concentration and temperature on yield and fruit characteristics of tomato (Lycopersicon esculentum Mill),” *J. Environ. Agric.*, vol. 27, no. 4, pp. 428-434, 2008. (https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.4.428)

[3] S.-H. Chi, “Effect of photoperiod shortening on the nutrient uptake and carbon metabolism of tomato and hot pepper seedlings grown hydroponically,” *J. Bio-Environ. Control*, vol. 12, no. 3, pp. 121-126, 2003. (https://kiss.kstudy.com/DetailOa/Ar?key=52639434#)

[4] Y.-B. Lee, K.-W. Park, M. Roh, E.-S. Chae, S.-H. Park, and S.-H. Kim, “Effects of ecologically sound substrates on growth and yield of tomato(Lycopersicon esculentum Mill) in bag culture,” *J. Biological Production Facilities & Environ. Control*, vol. 2, no. 1, pp. 37-45, 1993. (https://kiss.kstudy.com/DetailOa/Ar?key=52639143)

[5] S. Hwang, T. Kwon, E.-S. Doh, and M. Park, "Growth and physiological adaptations of tomato plants(Lycopersicon esculentum Mill) in response to water scarcity in soil," *J. Bio-Environ. Control*, vol. 19, no. 4, pp. 266-274, 2010. (https://kiss.kstudy.com/DetailOa/Ar?key=52639801)

[6] H.-B. Kil, M. Kang, W.-S. Choi, J.-I. Kim, Mi Sa Vo Phan, J.-H. Im, M.-K. Kim, and M.-R. Park, "Survey of the routes and incidence of viral infection of tomato and paprika growing in greenhouses in cherwon province, Korea during 2015-2017," *Res. in Plant Disease*, vol. 24, no. 2, pp. 145-152, 2018. (https://doi.org/10.5423/RPD.2018.24.2.145)

[7] Y. M. Chun and S. S. Chung, "A comparison of euclidean distance and grey relational grade," *J. Korean Data Anal. Soc.*, vol. 9, no. 2, pp. 687-702, 2007. (UCI:G704-000930.2007.9.2.032)

[8] Rural Development administration, Smart Greenhouse Management and Crop Cultivation, Rural Development administration Rural Support Bureau Technology Extension Department, 8-19, 2020 (http://lib.rda.go.kr/serach/mediaview.do?mets_no=000000312312)

박 성 진 (Seong-Jin Park)

2018년 8월 : 순천대학교 산업기계공학과 학사
2020년 2월 : 순천대학교 산업기계공학과 석사
2022년 4월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원
<관심분야> 스마트팜, 자동화 온실, 농업로봇
[ORCID:0000-0001-8808-6686]

임 동 혁 (Dong-Hyeok Im)

1999년 2월 : 성균관대학교 생물기전공학과 석사
2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 박사
2016년 4월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 연구관
<관심분야> 객체지향시스템, 빅데이터, 스마트팜
[ORCID:0000-0003-1204-8274]

김 태 현 (Tae-Hyun Kim)

2011년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 박사수료
2019년 1월 : (주)아이앤씨테크놀로지 책임연구원
2019년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사
<관심분야> HCI, 인공지능, 스마트팜
[ORCID:0000-0002-4478-667X]

김 만 중 (Man-Jung Kim)

2022년 2월 : 전북대학교 기계시스템공학과 박사
2023년 1월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원
2023년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사
<관심분야> 농업 로봇, 농업자동화, 자동화시스템
[ORCID:0000-0003-0600-489X]

이 정 호 (Jeong-Ho Lee)

2015년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 석사
2022년 8월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스 박사
2022년 9월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원

<관심분야> 영상처리, 인공지능, 스마트팜
[ORCID:0009-0003-4088-7064]

양 오 석 (Oh-Seok Yang)

2018년 2월 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 졸업
2021년 2월 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 석사
2021년 3월~현재 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정
<관심분야> 객체지향시스템, 빅데이터, 스마트팜
[ORCID:0000-0001-5016-6146]

백 정 현 (Jeong-Hyun Baek)

2016년 2월 : 군산대학교 컴퓨터정보공학 박사
2020년 1월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원
2020년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
<관심분야> 스마트팜, 클라우드컴퓨팅, 데이터분석
[ORCID:0000-0002-5867-2171]