

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제	연구분야	수행기간	연구실	책임자	
인공지능의 농업적 활용 기술 개발	미래농업	'17~	농업기술원 원에연구과	이영석	
영상을 이용한 작물생장 진단 기술 개발	미래농업	'20~'21	농업기술원 원에연구과	이영석	
색인용어	영상, 인공지능, 자동 측정, RGB, ToF				

## ABSTRACT

This study attempted to develop crop image data-based automatic sensing and growth diagnosis technology by introducing 3D modeling technology to build RGB of crops and building growth measurement models.

As a result, it was found that the RGB camera installation height of 1.2m, the distance between crops and cameras of 50cm, and the camera installation angle of 30° are suitable for growth data collection conditions. In addition, eggplant measurement device was developed using integration algorithms and Depth measurement stereo cameras. Lastly, the appropriate compensation coefficient for each amount of light was found and the accuracy in the greenhouse environment was improved to 98%.

**Key words** : Image, Artificial Intelligence, Automatic Sensing, RGB, ToF

### 1. 연구목표

클라우드 슈باط의 4차 산업 선언 이후, 빅데이터, 인공지능 등 첨단 기술과 기존 산업 기술 간에 융복합을 통해 새로운 부가가치 기술이 개발되고 이 기술이 또 다른 기술을 창조하는 도미노 현상이 일어나고 있다. 모든 산업분야에서 '4차 산업 융복합 기술'은 새로운 부가가치를 창출하는 '키 테너트'로 떠올랐다.

작물의 생장 지표로 사용되는 초장, 경경, 엽면적 등은 증산 및 광합성과 밀접한 관계가 있고, 이러한 지표는 정량화를 통해 최적의 조건을 규명하는데 활용될 수 있어 매우 중요하다(김강석 등, 2020). 그러나 생장 지표를 측정하는 기존의 방식은 파괴적이고 인적 자원을 많이 필요로 하여 시간과 비용 소모가 클 뿐만 아니라, 조사자의 숙련도나 방법론에 따라 신뢰성이 떨어질 수 있다(민병로 등, 2004 ; 김동욱 등, 2018).

이를 극복하기 위하여 3차원 영상 데이터를 이용하는 연구들이 제시되어 왔으며(강민석 등, 2021 ; 박주현, 2017) 최근 스마트폰, 소형 CCTV 등 다양한 기기들이 개발되고 비용도 감소하면서 디지털 영상 자료에 대한 접근성이 현저하게 높아지고 있다(서명철 등, 2021). 작물 생육에 대한 영상 등 디지털 데이터의 취득 방법이 용이해지고 다양해짐과 함께 통신 기술도 비약적으로 발전하고 있어 실시간 원격으로 관찰 분석하고 이미지를 수집할 수 있게 되었다.

본 연구는 3D 모델링 기술을 도입하여 작물의 RGB를 구축하고 이를 기반으로 인공지능 기반의 딥러닝을 통해 생장 측정 모델을 구축하여 작물 영상 데이터 기반 자동 센싱 및 생장 진단 기술을 개발하고자 하였다.




## 2. 재료 및 방법

### 가. 영상이용 작물생장 데이터 수집 조건 구명

본 연구는 시험작물로 옥수수를 선정하여 2020년부터 2021년까지 2년간 경기도농업기술원 첨단온실에서 3차례 진행하였다. 스테레오 비전은 기하학적 관점 규칙을 사용하여 서로 다른 위치에서 가져온 객체의 두 개 이상의 이미지 간의 차이를 기반으로 객체를 3D로 재구성할 수 있다(Osama 등, 2007). 따라서 3차원 영상 수집을 위한 최적 스테레오 데이터 산정(Kise.M 등, 2005 ; 강운석 등, 2011 ; Takumi 등, 2018)을 위해 프레임(가로 3m, 세로 2m, 높이 1.8m)에 종·횡경 12수준(종경: 0m, 1.2m, 1.8m. 횡경: 0°, 90°, 180°, 270°)으로 고정 RGB카메라를 배치하였으며, 자연광 조건에서 120초 간격으로 영상 데이터를 수집하였다. 또한 생육 데이터와 영상 데이터의 맵핑을 위해 3차 데이터 수집부터 매달 10일 간격으로 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 줄기직경을 조사하였다.

RGB 카메라 운영체제는 실시간 통신 환경 구축을 위해 리눅스 기반의 Raspberry Pi를 사용하였으며(Jie-Yan Lue 등, 2019), 조형물은 3D 프린터를 활용하여 자체 제작 하였다. 카메라 모듈은 3종류의 RGB 모듈을 사용하였다(표 1).

표 1. 고정 RGB 카메라 제원

규격	카메라1	카메라2	카메라3
화소수	5.0M Pixel	8.0M Pixel	12.0M Pixel
Slow Motion	-	-	8x
동영상 녹화해상도	1080P @30fps	1920p @30fps	4K @60fps
메모리	MicroSD(128GB)	MicroSD(128GB)	MicroSD(512GB)
이미지			

### 나. 작물생장 진단기술의 스마트팜 적용 연구

2021년부터 경기도농업기술원 첨단온실에서 가지를 대상으로 연구를 실시하였다. 1년차 시험과 동일하게 12수준(횡경 4수준, 종경 3수준)으로 고정 RGB카메라를 설치하였으며, 자연광 조건에서 120초 간격으로 영상 데이터를 수집하였다. 또한 맵핑과 광량별 보상계수 산정(표 2)을 위해 10일 간격으로 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 줄기직경, 과장(직선), 과장(곡선), 광량을 조사하였다.


3차원 영상 획득을 위해 RGB카메라, ToF 센서를 사용하여 Depth 측정 스테레오 카메라를 제작하였다. 노이즈 감소를 위해 HD 이상의 RGB 카메라 모듈로 변경하였고 깊이 정보(depth information)를 획득하기 위해 ToF센서를 모듈 아래 설치하였다(Dupuis J 등, 2014). Depth 측정 스테레오 카메라의 자세한 제원은 표 3과 같다.

3차원 영상처리는 MATLAB 프로그램을 이용하여 데이터 입력, 이진 영상 전환, 노이즈 제거, 배경분리, 결함보정 순으로 진행하였다. 위 과정은 그림 1과 같다(Stefan Paulus, 2019 ; 김동엽 등, 2018 ; 장동화 등, 2019 ; 장은채 등, 2021). ToF와 RGB를 이용하여 획득된 3차원 영상에서 작물의 곡선길이는 상단으로부터 하단까지의 곡률에 따른 곡선거리로 정의된다. RGB 이미지를 Gray로, 이를 다시 Binary 이미지로 변환한 다음 Contour를 추출하였고 PCD Distance 기반 곡선 길이 도출은 선적분 식  $L = \int_a^b \sqrt{1 + f'(x)^2} dx$ 을 적용하여 계산하였다.

표 2. 보상계수 산정을 위한 생육 조사 항목

종 류	단 위	설 명
과장(직선)	cm	직선길이가 10cm 이상인 과실의 직선 길이
과장(곡선)	cm	직선길이가 10cm 이상인 과실의 곡선 길이

표 3. Depth 측정용 스테레오 카메라

Depth 측정용 센서	항 목	사양 & 규격
	크기	20X25X10mm, 2g
	촬영	5M픽셀의 정지
	배열크기	2592X1944
	출력형식	8비트/10비트/ raw RGB data
	QSXGA	2592X1944, 15 프레임/초
	1080p	30 fps
	무게	PCB+Camera module(2.4g), 리본케이블(1.0g)

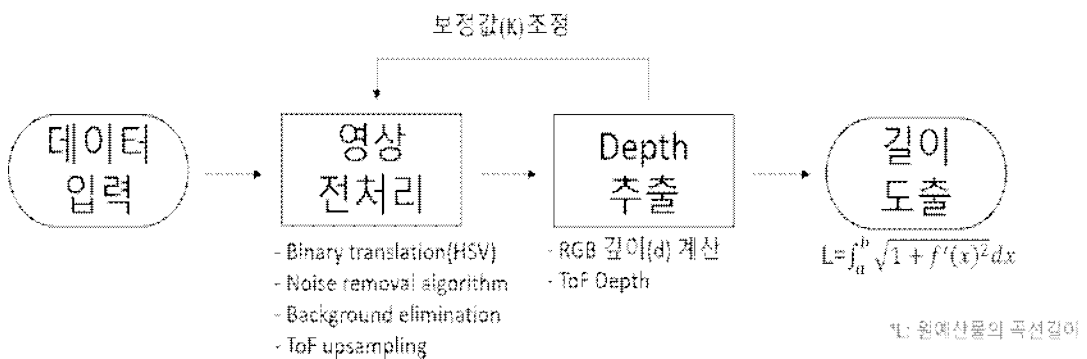


그림 1. 3차원 영상 처리 알고리즘

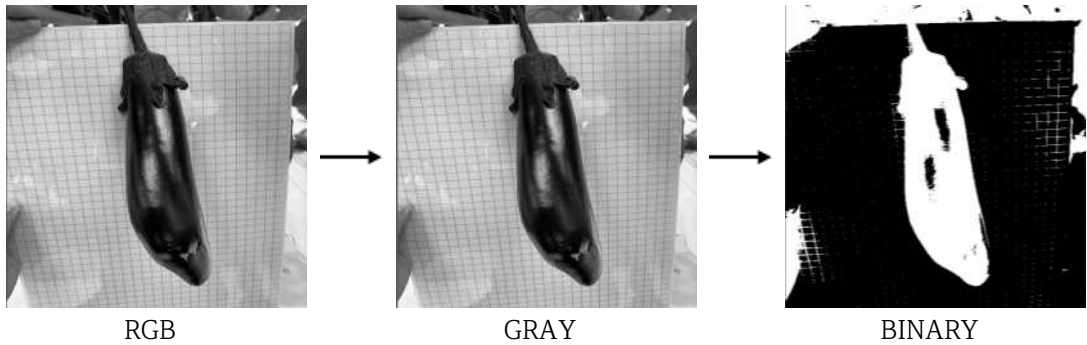


그림 2. RGB 이미지 이진화 과정

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 영상이용 작물생장 데이터 수집 조건 구명

고정형 RGB카메라로 영상 데이터를 수집한 결과는 표 4와 같다. 시범 시험 단계인 1차 시험에는 파종부터 3엽기까지의 영상 데이터를 수집하였다. 총 85,343개의 이미지를 확보하였다.

2차 시험은 파종부터 신장기까지 총 114,974 개의 이미지를 확보하였으며, Raspberry Pi를 활용하여 실시간 데이터를 획득하였다. 종 · 횡경 12수준으로 영상 수집 · 분석 결과, RGB 카메라 설치 높이 1.2m, 작물과 카메라와의 거리 50cm, 카메라 설치 각도 30°가 식별 장애 요소가 적어 개체를 인식하기 용이해 생육 데이터 수집 조건에 적합하다는 사실을 확인하였다.

3차 시험은 파종부터 출용 · 출사기까지 총 116,585 개의 이미지를 확보하였으며, Raspberry Pi를 활용하여 실시간 데이터를 획득하였다. OpenCV 라이브러리를 활용하여 영상 이미지와 생육 데이터(표 5) 맵핑을 실시하였으며 이를 통해 인공지능 생육조사 프로그램의 기반을 구축할 수 있었다.

표 4. 시험별 데이터 수집 현황

시험	촬영 기구	이미지 수	파일 용량
1차	RGB 카메라	85,343 장	13.4 GB
2차	RGB 카메라 + Raspberry Pi	114,974 장	216 GB
3차	RGB 카메라 + Raspberry Pi	116,585 장	191 GB

표 5. 옥수수 생육에 따른 옥수수 생육 상황

파종일 (2020.06.30.)	초장(cm)	엽수(개)	엽장(cm)	엽폭(cm)	줄기직경(cm)
27일묘	7.2	3.0	5.6	11.0	0.8
37일묘	22.3	4.0	23.4	24.0	1.0
47일묘	34.1	5.0	38.1	31.3	1.3
57일묘	57.0	6.0	52.2	36.1	1.7
67일묘	88.2	7.0	63.2	41.0	1.9
77일묘	125.1	8.0	86.0	44.4	2.3

### 나. 작물생장 진단기술의 스마트팜 적용 연구

수집된 가지 이미지는 124,699장으로 생육 데이터(표 6)와 맵핑을 실시하였으며, MATLAB IMAGE PROCESSING TOOLBOX를 활용하여 인공지능 생육조사 프로그램을 구축하였고, 이를 사용하여 가지 생육 영상 측정기 모델을 개발하였다.

표 6. 가지 생육에 따른 가지 생육 상황

정식일 (2021.01.20.)	초장(cm)	엽수(개)	엽장(cm)	엽폭(cm)	줄기직경(cm)
1일묘	11.4	9.0	11.6	3.4	0.3
10일묘	14.8	14.0	13.4	4.9	0.4
20일묘	38.2	18.0	17.0	11.8	0.8
30일묘	50.2	31.0	22.2	15.0	1.1
40일묘	62.1	49.0	26.1	19.0	1.2
50일묘	75.4	72.0	29.3	20.2	1.3



그림 3. 인공지능 생육조사 프로그램



그림 4. 가지 생육 측정기 개발

스마트팜 온실 광조건별에 따라 영상 측정기 실증 조사를 실시하였다. 온실 내 광량은 4000 ~ 9000 Lux 사이였으며, 7000 Lux 부터 오차 폭이 커지기 시작했다. 측정 정확도를 높이기 위해 광량을 5000, 7000, 9000 Lux로 분류하였고, 각각 지수(3, 6, 9)를 대입하여 센서의 광량에 따른 오차를 측정하였다. 그 결과 광량별로 오차를 보정하는 지수를 발견했으며, 특히 5000Lux의 경우, 적정 보상계수 6을 찾아내 온실 환경에서의 정확도가 98%까지 개선되었다.

표 7. 광량별 보정지수 및 오차 보정 결과

광량	보정지수	표본개수	MSE(Linear)	MSE(Curve)
5000Lux	6	50	3.14	0.61
7000Lux	9	50	3.60	5.05
9000Lux	3	50	6.31	5.68

온실 환경에서는 광량에 따라 이미지 과실 및 식물 측정 오차가 크게 달라짐을 알 수 있었다. 이 연구를 바탕으로 실제 온실 환경에서 식물 성장 연구를 진행할 수 있을 것이다.

#### 4. 적 요

작물 영상 데이터 기반 자동 센싱 및 생장 진단 기술을 개발하고자 2년간 연구한 결과 영상 분석을 활용한 생육 측정 알고리즘과 생육 측정기를 개발하였다.

- 가. RGB 카메라 설치 높이 1.2m, 작물과 카메라와의 거리 50cm, 카메라 설치 각도 30°  
가 영상 처리 식별 장애요소가 적어 개체를 인식하기 용이해 생육 데이터 수집 조건

에 적합하다는 사실을 확인하였다.

- 나. 스마트팜 온실 광조건별 센서의 광량에 따른 오차를 측정하여 광량별 오차를 보정하는 지수를 발견했으며, 광 5000Lux는 적정 보상계수를 찾아내 온실 환경에서 정확도를 98%까지 개선하였다.
- 다. 적분으로 가지 열매 측정 최적 알고리즘을 추출하였고 적분알고리즘과 Depth 측정 스테레오 카메라를 활용한 가지 과실 측정 기기를 개발하였다.

## 5. 인용문헌

- Dupuis J, Paulus S, Behmann J, Plümer L, Kuhlmann H. 2014. A multi-resolution approach for an automated fusion of different low-cost 3D sensors. *Sensors* 14:7563-79
- Jie-Yan Lu, Chung-Liang Chang, Yan-Fu Kuo. 2019. Monitoring Growth Rate of Lettuce Using Deep Convolutional Neural Networks. Presentation OF ASABE Annual International Meeting
- 장동화, 김현태, 김용현. 2019. 3차원 영상을 이용한 원예산물의 크기와 플러그묘의 평균초장 추정. *Protected Horticulture and Plant Factory* 28(4): 358-365
- 장은채, 박성진, 박우준, 배영환, 김혁주. 2021. 3D 영상을 활용한 매실 인식 및 크기 추정. *한국콘텐츠학회논문지* 21(2): 130-139
- 강민석, 김학진, 김동욱. 2021. 상추 생육정도 실시간 센싱을 위한 합성곱 신경망과 다중 선형회귀 모델링 방법 비교. *한국생물조절환경학회 학술발표 논문집* 30(2): 121
- 강윤석, 호요성. 2011. 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 3차원 장면의 깊이 정보 생성 방법. *전자공학회논문지-SP* 48(3): 13-18.
- Kise. M., Q. Zhang, F. Rovira Más. 2005. A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. *Biosyst Eng.* 90: 357-367.
- 김강섭, 홍영기, 김현종, 김국환, 김경철, 이명훈. 2020. 영상처리를 이용한 토마토 생육량 측정 시스템. *한국통신학회논문지* 45(8): 1460-1471.
- 김동엽, 이재민, 전세웅. 2018. SPAD과 CNN의 특성을 반영한 ToF 센서와 스테레오 카메라 융합 시스템. *로봇학회논문지* 13(4): 230-236
- 김동욱, 윤희섭, 정상진, 권영석, 김석구, 이원석, 김학진. 2018. Modeling and Testing of Growth Status for Chinese Cabbage and White Radish with UAV-Based RGB Imagery. *Remote Sensing* 10(4): 563
- 민병로, 김웅, 김동우, 이대원. 2004. 영상처리를 이용한 작물의 모종시기 결정. *생물환경조절학회지* 13(3): 178-184.
- Omasa K, Hosoi F, Konishi A. 2007. 3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and canopy structure. *J Exp Bot* 58(4): 881-98



박주현. 2017. 영상을 이용한 식물생육 모니터링 시스템 개발. 2017년 사업연구보고서(경기도농업기술원): 387-395

서명철, 상완규, 조정일, 김준환, 백재경, 권동원. 2021. 옥수수 포장에서 깊이센서 카메라를 활용한 생육측정기술 개발. 한국토양비료학회 학술발표회

Stefan Paulus. 2019. Measuring crops in 3D: using geometry for plant phenotyping. plant methods 15: 103

Takumi et al. 2018. An Image Analysis Method for Lettuce Leaf and Root Growth Analysis in Hydroponic Culture. TENCON-2018 - IEEE

## 6. 연구결과 활용제목

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						'20	'21
영상을 이용한 작물생장 진단 기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구사	이영석	세부과제 총괄	○	○
	공동연구자	원예연구과	"	정현경	자료분석	○	○
		"	"	박남원	"	○	○
		"	농업연구관	정운경	목표관리	○	○
		"	"	원선이	"	○	○
		작물연구과	"	전명희	자료분석	○	-
연구개발국	"	조창휘	연구자문	○	-		