

과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
데이터 기반 인공지능 농업적 활용 연구		농업정보	'22~'27	원예연구과	김혜형
이미지 활용 버섯 재배프로그램 개발		농업공학	'23~'25	원예연구과	김혜형
색인용어	시뮬레이션, 교육용 콘텐츠, 프로그램, 버섯				

ABSTRACT

This study was conducted with the aim of developing an educational mushroom cultivation simulation program to help understand the mushroom growth process. *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes* were selected as test crops, and cultivation tests were conducted in a container cultivation facility, collecting growth data, environmental data, and images data. Based on the collected data, a 3D simulation was created using the Blender 3D program to visually reproduced changes in the medium, growth stage changes, and growth characteristics of mushrooms under different environmental conditions.

Pleurotus ostreatus showed a tendency for growth characteristics and quality to vary depending on the timing of flipping and cultivation environment conditions, while *Lentinula edodes* exhibited differences in growth from and quality based on the degree of thinning, temperature, humidity, and light conditions. Reflecting these growth characteristics, five scenarios were implemented: changes in the medium, growth process by growth stage, growth comparison under different environmental conditions, cultivation management tasks, and quality grading. The produced simulation content was generated as an mp4 video and implemented as a web-based program using GitHub Pages, allowing users to select cultivation conditions and compare growth changes.

As a result of using the program in an educational settings, it was confirmed that it helps improve understanding and interest in mushroom growth, indication its potential as educational content. The mushroom growth simulation program developed in this study is considered a digital deucational material based on actual cultivation data and can be used as supplementary learning material in mushroom cultivation education courses.

Key words: Simulation, Educational contents, Program, Mushroom

1. 연구목표

최근 버섯은 단백질과 기능성 성분을 함유한 건강식품으로 인식되면서 전 세계적으로 생산과 소비가 지속적으로 증가하고 있으며 버섯 재배 산업 또한 지속적인 성장세를 보이고 있다(IMR, 2026). 전 세계 버섯 생산량은 약 2,500~3,000만 톤 수준으로 추정되며, 이 중 중국이 전체 생산량의 약 70% 이상을 차지하는 것으로 보고되고 있다(Yoo 등, 2016). 국내의 경우 2024년 기준 농산 버섯 생산량은 152,671톤으로 나타났으며, 이 중 느타리버섯은 58,115톤(38%), 표고는 20,544톤(13%)을 차지하는 주요 식용 버섯이다(농림축산식품부, 2025; KREI, 2024).

버섯은 균류를 이용한 재배 산업으로 생육 단계별로 온도, 상대습도, 이산화탄소 농도, 광 등의 환경 요인에 민감하게 반응하며 이러한 환경 조건은 균사 생장, 자실체 형성 및 품질 형성에 직접적인 영향을 미친다(이 등, 2017; 조 등, 2024). 또한 버섯은 종류 및 품종에 따라 생육 단계별 적정 환경 조건이 서로 다르기 때문에 환경 관리 기술의 정밀성이 매우 중요하다.

최근 버섯 재배 연구는 환경 제어 기술, 스마트팜 시스템 및 데이터 기반 생산 관리 기술 연구로 확대되고 있다. 특히 환경 센서 데이터를 활용하여 버섯 생육 특성을 분석하고 재배 안정성과 생산성을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다(장 등, 2013; 조 등, 2017; 이 등, 2019). 또한 영상 분석 및 인공지능 기술을 활용하여 버섯 생육 상태를 판별하거나 수량을 예측하는 연구 또한 증가하는 추세이다(Wang 등, 2022). 그러나 기존 연구는 실제 재배 관리 기술 개발에 주로 초점이 맞추어져 있어 교육 및 학습 목적으로 활용할 수 있는 시각화 기반 콘텐츠는 제한적인 실정이다.

한편 스마트농업 분야에서는 디지털 트윈(digital twin) 및 시뮬레이션 기반 기술을 활용하여 작물 생육 과정을 가상 환경에서 재현하고 환경 조건 변화에 따른 생육 반응을 분석하는 연구가 증가하고 있다(Wolfert 등, 2017; Subeesh 등, 2025). 그러나 버섯 분야에서는 이미지 데이터와 생육 정보를 활용한 연구가 병해 탐지나 생육 상태 판별 등 단일 목적의 분석 연구에 집중되어 있으며(Vidanapathirana 등, 2023), 재배 환경 변화에 따른 생육 과정을 단계적으로 시각화하고 학습할 수 있는 시뮬레이션 프로그램에 대한 연구는 아직 제한적인 실정이다.

따라서 본 연구에서는 버섯 생육 데이터와 이미지 정보를 기반으로 버섯 재배 과정을 시각적으로 구현할 수 있는 버섯 생육 시뮬레이션 프로그램을 개발하고, 재배 환경 변화에 따른 생육 반응을 가상 환경에서 학습할 수 있는 교육용 콘텐츠로서의 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 버섯 생육 데이터 수집 및 분석, 이미지 기반 생육 단계 매칭과 3차원 시뮬레이션 모델 구축, 웹 기반 교육용 프로그램 개발 및 현장 실증을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 버섯 데이터 수집 및 분석

이미지 기반 버섯 생육 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 시험 작목으로 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)과 표고(*Lentinula edodes*)를 선정하였다. 버섯 생육 단계별 데이터를 수집하기 위해 컨테이너를 개조한 시험용 버섯 재배사를 제작하여 재배시험을 수행하였다. 재배사의 내부 크기는 3.3m(L)×2.6m(W)×2.5m(H)이며, 내부 균상은 3단 2열 구조로 설치하였다. 각 균상의 폭은 65cm이며 균상 높이는 바닥으로부터 각각 62cm, 123cm, 184cm로 구성하였다. 재배사 내부 환경 제어를 위해 가습기, 환기 팬 및 냉방용 쿨러를 설치하였다(그림 1).

버섯 재배 시험은 농업기술원 시험연구용 컨테이너 재배사에서 수행하였다. 느타리버섯은 균 배양이 완료된 850ml PP 병배지를 사용하였으며, 표고는 3kg 봉지배지를 사용하였다. 시험에 사용된 배지는 농업기술원 친환경미생물연구소 및 경기도 양주 및 양평 지역 버섯 재배 농가에서 공급받았다.



[재배사 가습기]

[재배사 냉방용 쿨러]

[재배사]

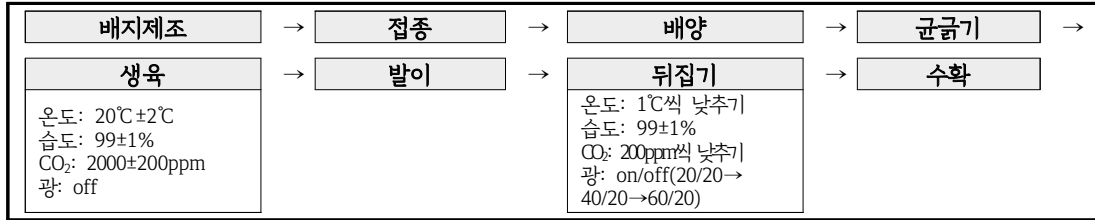
그림 1. 시험용 컨테이너 버섯 재배사 내부 및 환경 제어 장치

버섯 생육 특성 분석을 위해 생육데이터, 환경데이터 및 이미지데이터를 수집하였다. 느타리버섯은 총무게(g), 유효경수(개/배지), 개체중(g/개), 갓 직경(mm), 대 길이(mm), 대 직경(mm) 등을 조사하였으며, 표고는 발이수(개/배지), 갓 두께(mm), 갓 직경(mm), 대 길이(mm), 대 직경(mm) 등을 조사하였다. 느타리버섯과 표고의 갓 색은 색차계(Minolta CR400, Japan)를 이용하여 L, a, b 값을 측정하였다. 환경데이터는 온도, 상대습도 및 CO₂ 농도를 센서를 이용하여 1분 간격으로 uni-Farm 작물 관리 시스템을 통해 자동 수집하였다. 이미지 데이터는 발이 이후 생육 단계별 형태 변화를 기록하기 위해 정면 및 측면에서 1일 간격으로 촬영하였다.

느타리버섯과 표고의 재배 시험은 각각의 표준 재배 조건을 기준으로 수행하였다(그림 2, 그림 3). 느타리버섯은 생육 단계에서 온도 20±2℃, 상대습도 99±1%, CO₂ 농도 2,000±200ppm 조건에서 발이를 유도하였으며, 뒤집기 이후에는 온도를 1일 간격으로 1℃씩 낮추고 CO₂ 농도를 200ppm씩 낮추는 조건에서 재배하였다. 뒤집기 이후 광원은 청백청 LED를 이용하였고 2.9μmol·m⁻²·s⁻¹의 광량에서 시험하였으며, 광주기(on/off)는 20/20min에서 1일 간격으로 40/20min, 60/20min으로 조정하였다. 표고

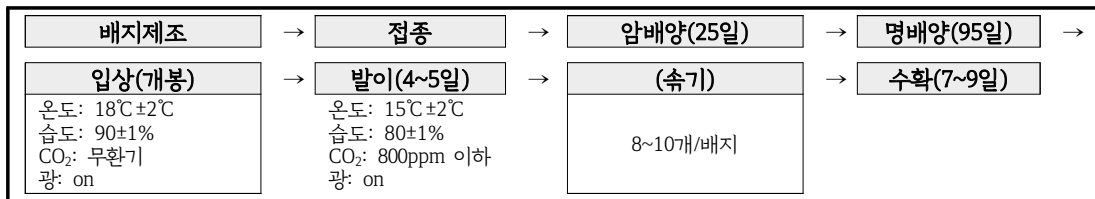


는 입상 단계에서 온도 $18\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $90\pm 1\%$, CO_2 농도 $1,600\pm 200\text{ppm}$, 청백청 LED는 $2.9\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량 조건을 유지하였으며, 발이 이후에는 온도 $15\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $80\pm 1\%$, CO_2 농도 $800\pm 200\text{ppm}$ 이하 조건에서 재배하였다(김 등, 2023).



※ 균급기 이후 단계부터 데이터 수집

그림 2. 느타리버섯 재배 단계 및 표준 재배 환경 조건



※ 입상(개봉) 단계부터 데이터 수집

그림 3. 표고 재배 단계 및 표준 재배 환경 조건

버섯 재배 환경 조건에 따른 생육 반응을 확인하기 위해 온도, 습도, 광 조건 및 재배 관리 작업(뒤집기, 숙기 등)을 처리 요인으로 설정하여 생육 변화를 조사하였다. 환경 요인 별 생육 특성 비교 시험에서는 특정 환경 요인을 제외한 나머지 환경 조건을 표준 재배 조건으로 유지하여 처리 간 생육 특성을 비교하였다. 수집된 생육데이터, 환경데이터 및 이미지데이터는 시간축 기준으로 정리하여 버섯 생육 단계별 데이터셋을 구축하였으며, 이는 버섯 생육 시뮬레이션 콘텐츠 제작을 위한 기초 자료로 활용하였다.

<시험 2> 이미지 매칭 및 프로그램 개발

2023년부터 2025년까지 수행된 버섯 재배시험에서 수집된 생육데이터, 환경데이터 및 이미지데이터를 시간축 기준으로 정렬하여 버섯 생육 단계별 변화가 반영된 데이터셋을 구축하였다. 구축된 데이터셋은 버섯 생육 단계에 따른 형태 변화와 색상 변화를 시각적으로 재현하기 위한 기초 자료로 활용하였다.

버섯 생육 시뮬레이션 제작에는 Blender(ver.4.0.2)를 활용하였으며, 수집된 이미지와 생육 데이터를 기반으로 버섯의 갓, 대 및 균생 형태를 모델링하고 생육 단계에 따른 형태 변화와 색상 변화를 애니메이션 형태로 구현하였다. 또한 실제 촬영 이미지를 활용하여 표면 질감과 색상을 반영하였다. 이미지 보정 및 텍스처 편집에는 Adobe Photoshop을 활용하였다.

생육 조건에 따른 버섯 생육 변화를 비교할 수 있도록 다양한 재배 환경 시나리오에 대한 시뮬레이션 영상을 제작하였다. 제작된 영상은 느타리버섯과 표고의 생육 단계 및 재배 조건별 변화 과정을 시각적으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

교육용 활용을 위해 제작된 시뮬레이션 영상은 웹 기반 뷰어 형태의 프로그램으로 구현하였다. 프로그램은 HTML, CSS 및 JavaScript 기반으로 개발하였으며 GitHub Pages를 이용하여 웹 환경에서 접근 가능하도록 구축하였다. 사용자는 웹 페이지에서 재배 조건을 선택하여 해당 조건에 따른 버섯 생육 시뮬레이션 영상을 확인할 수 있도록 설계하였다. 또한 서로 다른 재배 조건에 따른 생육 변화를 비교할 수 있도록 다중 영상 비교 기능을 구현하였다.

<시험 3> 버섯재배 시뮬레이션 프로그램 실증

시험 2에서 개발된 버섯 생육 시뮬레이션 프로그램의 교육 활용 가능성을 검토하기 위해 교육 현장에서 프로그램을 활용한 실증 시험을 수행하였다. 실증 대상은 버섯 재배 관련 교육을 수행하는 교육자를 대상으로 하였으며, 프로그램을 교육 보조 자료로 활용한 후 활용성 및 만족도를 평가하였다.

설문조사는 “버섯 생육 시뮬레이션 뷰어 교육 만족도 설문조사”로 구성하였으며, 프로그램 조작 편의성, 생육 이해도 향상, 영상 품질, 웹 기반 접근성, 학습 몰입도 및 교육 활용성 등을 평가하는 총 7개 문항으로 구성하였다. 각 문항은 5점 척도로 평가하였다. 본 설문조사는 프로그램의 교육 활용 가능성을 검토하기 위한 목적으로 실시되었으며, 향후 교육 현장 적용 확대를 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 버섯 데이터 수집 및 분석

본 시험에서는 느타리버섯과 표고의 표준 재배 조건을 기준으로 환경 요인별 처리를 수행하였으며, 특정 환경 요인을 처리할 경우 다른 환경 조건은 표준 재배 조건으로 유지하였다. 느타리버섯 재배시험을 통해 생육데이터 22set, 표고 23set를 포함하여 총 45set의 생육데이터를 확보하였으며, 버섯 생육 단계별 이미지 데이터 약 70.5GB를 구축하였다. 수집된 데이터는 발이 이후 생육 단계별 형태 변화를 기록하기 위한 자료로 활용되었으며, 버섯 생육 단계에 따른 형태 변화와 재배 조건에 따른 생육 반응을 분석하기 위한 기초 데이터셋으로 활용하였다.

수집된 이미지데이터는 발이 이후 초기 생육 단계부터 수확 단계까지 정면 및 측면에서 촬영되었으며, 버섯 균생 형태, 갓 직경, 대 길이 등 생육 특성 변화를 시각적으로 확인할 수 있도록 구축하였다. 이러한 데이터는 이후 버섯 생육 시뮬레이션 제작을 위한 기초 자료로 활용되었다.

느타리버섯 병 배지의 뒤집기 시기에 따른 생육 특성을 비교하기 위하여 발이 2일 후, 3일 후, 4일 후로 뒤집기 시기를 달리하여 재배한 결과는 표 1과 그림 4와 같다. 뒤집기 시기가

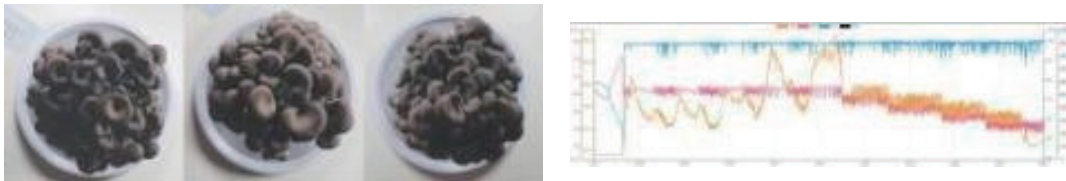


늦어질수록 총무게는 증가하는 경향을 보였으나, 개체당 중량은 감소하는 경향을 나타냈다. 발이 3일 후 뒤집기 처리에서 개체중 0.49g/개, 갓 직경 8.6mm로 나타나 수량과 품질 측면에서 가장 양호한 생육 특성을 보였다. 반면 발이 4일 후 뒤집기 처리에서는 총무게가 증가하였으나 개체중이 감소하여 균생 밀도가 증가하는 경향을 보였다. 따라서 느타리버섯 재배에서 뒤집기 시기는 발이 이후 약 3일 후가 생육 균형 측면에서 가장 적절한 것으로 판단되었다.

표 1. 느타리버섯 뒤집기 시기별 생육 특성 비교

구분 ^a	총무게 (g/배지)	유효경수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
뒤집기 1	200.4	103.3	0.46	7.4	38.5	3.0	32.0	3.7	8.6
뒤집기 2	214.3	95.7	0.49	8.6	38.1	2.8	38.0	3.8	7.7
뒤집기 3	216.7	120.0	0.43	7.5	38.1	3.0	38.7	3.8	7.4

^a 구분: 뒤집기 1(발이 2일 후), 뒤집기 2(발이 3일 후), 뒤집기 3(발이 4일 후)



[처리 1] [처리 2] [처리 3] [환경 조건]

그림 4. 느타리버섯 뒤집기 시기별 생육 특성 비교

뒤집기 이후 재배 온도에 따른 생육 특성을 비교한 결과는 표 2와 그림 5와 같다. 표준 온도 조건에서 총수량은 218g/배지, 갓 직경은 16.6mm, 대 길이는 45.3mm로 나타났다. 고온 처리구(20±1℃)에서는 총수량이 288.7g/배지, 갓 직경이 17.3mm, 대 길이가 49.3mm로 전반적으로 생육이 촉진되는 경향을 나타냈다. 그러나 색 발현이 충분히 이루어지지 않아 상품성이 다소 저하되는 경향을 보였다. 반면 저온 처리구(15±1℃)에서는 갓 직경이 11.8mm, 대 길이가 31.5mm로 표준 온도 대비 생육이 지연되는 경향을 나타냈으며 버섯 표면 색의 균일성 또한 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 느타리버섯 재배 시 적정 온도 범위를 유지하는 것이 생육 균형과 품질 확보에 중요한 요인임을 보여준다.

표 2. 느타리버섯 뒤집기 후 재배 온도에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	총무게 (g/배지)	유효경수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
표준	218.0	93.0	1.2	16.6	45.3	4.0	37.7	4.1	7.8
저온	209.3	85.8	1.2	11.8	31.5	6.1	27.8	3.3	4.0
고온	288.7	90.3	1.8	17.3	49.3	5.0	41.3	3.8	8.0

^a 구분: 표준(뒤집기~수확 단계 20℃에서 1℃씩 하강), 저온(15±1℃), 고온(20±1℃)

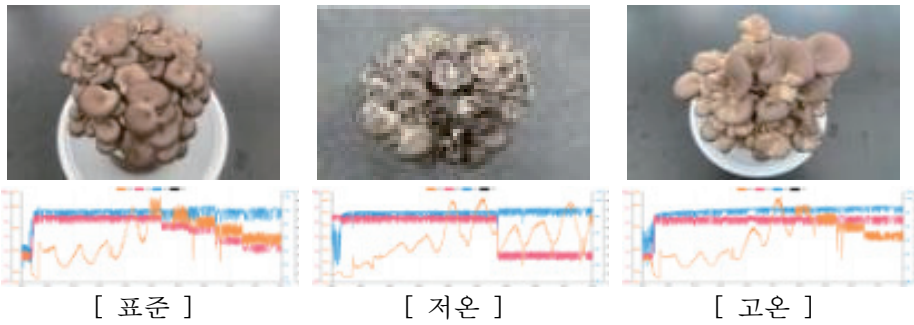


그림 5. 느타리버섯 재배 온도에 따른 생육 특성 비교

재배 습도에 따른 생육 특성을 비교한 결과는 표 3과 그림 6과 같다. 표준 습도 조건 ($99 \pm 2\%$)에서 총무게는 208.5g/배지, 갓 직경 13.5mm, 대 길이 45.5mm로 나타났다. 반면 저습 조건($80 \pm 10\%$)에서는 총무게 186.3g/배지, 갓 직경 12.9mm, 대 길이 42.4mm로 전반적인 생육량이 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 버섯 생육 과정에서 습도 환경이 자실체 발달에 중요한 요인으로 작용함을 보여주는 결과로 판단된다.

표 3. 느타리버섯 뒤집기 후 재배 습도에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	총무게 (g/배지)	유효경수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
표준	208.5	95.3	1.05	13.5	45.5	4.9	29.9	3.9	5.9
저습	186.3	93.2	0.96	12.9	42.4	4.3	31.9	3.9	6.7

^a 구분: 표준($99 \pm 2\%$), 저습($80 \pm 10\%$)

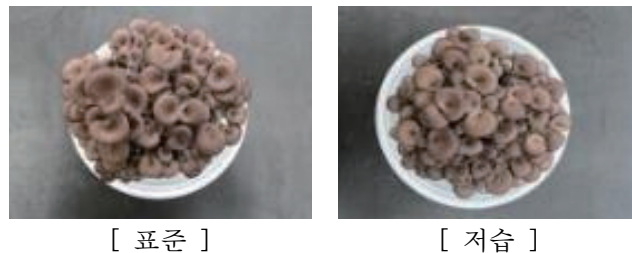


그림 6. 느타리버섯 재배 습도에 따른 생육 특성 비교

광 조건에 따른 생육 특성을 비교한 결과는 표 4, 그림 7과 같다. 광 off 처리구에서는 총무게가 179.4g/배지로 가장 높게 나타났으나 대 길이가 51.3mm로 길어지고 갓 직경이 12.6mm로 작아져 형태적 불균형이 나타났다. 반면 광 on 처리구에서는 갓 직경이 16.8mm로 가장 크게 나타났으며 전반적인 생육 형태가 안정적인 경향을 보였다. 그러나 광 on 조건에서는 유효경수가 65개/배지로 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 광



조건이 느타리버섯의 형태 형성에 영향을 미치는 주요 요인임을 보여준다.

느타리버섯 표준 재배 조건을 기준으로 주요 생육 특성을 종합적으로 비교한 결과는 표 5와 같다. 광 on 조건에서는 표준 재배 조건과 유사한 생육 특성을 나타냈으나 유효경수가 감소하는 경향을 보였다. 고온 및 저습 조건에서는 품질지수가 4점으로 평가되어 색 발현이 다소 미흡하거나 갓 직경이 작아지는 경향을 보였다. 반면 저온 및 광 off 조건에서는 품질지수가 2점으로 평가되어 생육 지연 또는 과신장으로 인한 형태 불균형이 나타났다. 이러한 결과를 종합하면 느타리버섯 재배에서 온도, 습도 및 광 조건은 생육 형태와 품질 형성에 중요한 영향을 미치는 요인으로 판단되며, 적정 재배 환경 조건 유지가 안정적인 생육과 품질 확보에 중요함을 확인할 수 있다.

표 4. 느타리버섯 뒤집기 후 광에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	총무게 (g/배지)	유효경수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
표준	147.9	80.7	1.6	14.4	40.3	7.5	38.7	3.7	7.0
광 on	145.2	65.0	1.6	16.8	42.5	7.3	37.4	4.0	7.3
광 off	179.4	71.5	1.5	12.6	51.3	4.9	36.5	4.2	7.1

^a 구분: 표준(광 on/off (20/20 → 40/20 → 60/20)), 광 on(뒤집기 후 on), 광 off(뒤집기 후 광 off)



[표준]

[광 on]

[광 off]

그림 7. 느타리버섯 광에 따른 생육 특성 비교

표 5. 느타리버섯 재배 조건별 생육 주요 특성 비교

구분 ^a	총무게 (g/배지)	유효경수 (개/배지)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	품질지수 ^b (1~5점)	주요 생육특성
표준	기준	기준	기준	기준	5	균형 잡힌 형태
저온	↓ ^c	↓	↓	↓	2	생육 지연, 갓이 작고 밀도 낮음
고온	↑	-	↑	↑	4	생육 촉진, 색 발현 미흡
저습	↓	-	↓	↓	4	갓이 작고 대 길이가 짧은 형태
광 on	↓	↓	↑	↓	5	표준과 유사하나 유효경수 감소
광 off	↑	↓	↓	↑↑	2	대 길이 과신장, 형태 불균형

^a 구분: 표준(뒤집기~수확 단계 20℃에서 1℃씩 하강), 저온(15±1℃), 고온(20±1℃), 저습(80±10%)

^b 품질지수: 상대 비교(5점; 매우 우수, 4점; 우수, 3점; 보통, 2점; 미흡, 1점; 매우 미흡)



° 품질비교: ↓(기준 대비 낮음), ↑(기준 대비 높음), ↑(기준 대비 매우 높음)

표고 입상 후 발이된 개체의 숙기 정도에 따른 생육 특성을 비교하기 위해 배지당 남겨두는 개체수를 달리하여 재배하였다. 숙기 후 개체수가 적을수록 개체중과 갓 두께, 갓 직경이 증가하는 경향을 보였으며 전반적으로 생육이 양호하게 나타났다. 반면 발이 개체를 숙지 않은 처리에서는 배지당 총발이수가 74개로 과다하게 발생하여 개체중이 3.8g/개로 크게 감소하였고, 갓 두께와 갓 직경도 각각 10.9mm, 33.1mm 로 감소하는 경향을 보였다(표 6, 그림 8).

표 6. 표고 숙기 정도에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	총발이수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
숙기1	5	31.4	24.4	64.1	43.8	16.0	42.7	7.1	11.0
숙기2	10	21.2	21.6	65.4	41.3	11.0	41.8	7.1	10.0
숙기3	20	15.3	22.0	53.0	42.5	10.8	42.6	6.0	9.1
무숙기	74	3.8	10.9	33.1	35.3	5.7	40.0	5.7	8.4

^a 구분: 숙기1(숙기 후 5개체), 숙기2(숙기 후 10개체), 숙기3(숙기 후 20개체), 무숙기(숙기 없음)



그림 8. 표고 숙기 정도에 따른 생육 특성 비교

표고 입상 후 발이까지의 재배 온도를 달리하여 생육 특성을 비교한 결과는 표 7, 그림 9와 같다. 고온($23\pm 2^{\circ}\text{C}$) 조건에서 개체중이 32.4g/개 로 표준 온도($18\pm 2^{\circ}\text{C}$)의 21.1g/개 보다 증가하였고, 대 길이 또한 59.7mm 로 증가하여 초기 발이 및 생육이 촉진되는 경향을 보였다. 그러나 대 신장이 과도하게 증가하여 형태 균형이 다소 저하되는 경향이 나타났다. 반면 저온($13\pm 2^{\circ}\text{C}$) 조건에서는 생육 속도가 전반적으로 느려지고 개체중이 12.6g/개 로 감소하였으며 갓 직경과 대 길이도 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 입상 후 발이 단계의 재배 온도가 초기 발이 속도와 개체 성장에 중요한 영향을 미치며, 특히 고온 조건에서는 생육 촉진 효과가 있으나 대의 과신장이 발생할 수 있음을 보여준다.



표 7. 표고 입상 후 발이 전 온도에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	개체중 (g/개)	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
표준	21.1	18.4	64.5	38.7	10.3	53.9	8.0	15.1
저온	12.6	14.7	50.8	33.8	9.6	47.7	6.6	11.9
고온	32.4	17.9	57.1	59.7	21.3	34.5	7.7	9.8

^a 구분: 표준(18±2°C), 저온(13±2°C), 고온(23±2°C)

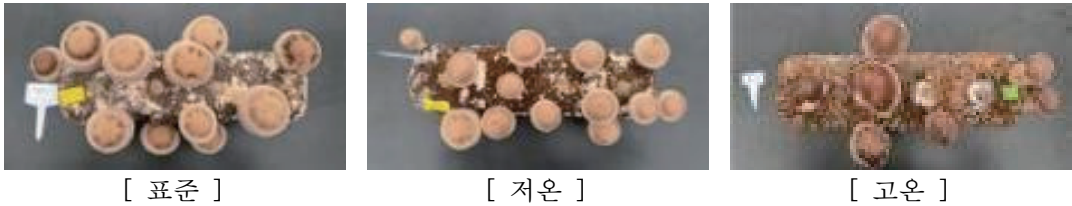


그림 9. 표고 재배 온도에 따른 생육 특성 비교

표고 발이 이후 수확까지의 재배 온도를 달리하여 생육 특성을 비교한 결과, 고온(18±2°C) 처리구에서 갓 직경이 75.0mm로 표준 온도(15±2°C)의 52.5mm보다 크게 나타났다. 반면 대 길이는 55.6mm로 표준 처리구보다 짧아지는 경향을 보였다. 고온 조건에서는 갓의 빠른 확장으로 인해 가장자리 색이 밝아지는 경향이 나타났으며 이로 인해 외관 품질이 다소 저하되는 것으로 관찰되었다(표 8, 그림 10). 이는 발이 이후 수확 단계의 재배 온도가 갓 성장과 품질 형성에 중요한 영향을 미치며, 온도가 높을 경우 갓 생장은 촉진되지만 품질 안정성 측면에서는 표준 온도 유지가 유리할 것으로 생각된다.

표 8. 표고 발이 후 온도에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
표준	20.2	52.5	63.3	19.3	37.0	7.2	9.7
고온	20.3	75.0	55.6	10.4	45.4	7.6	13.2

^a 구분: 표준(15±2°C), 고온(18±2°C)



그림 10. 표고 발이 후 재배 온도에 따른 생육 특성 비교

표고 발이 이후 재배 습도를 저습(60±2%)과 다습(99±2%)으로 처리하여 비교한 결과, 다습 조건에서 갓 직경이 66.0mm로 증가하고 개체중도 46.7g/개로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 높은 습도로 인해 명도(L=29.6)는 낮아지고 적색도(a=10.0)는 증가하여 갓 색이 진한 적갈색으로 나타났다. 반면 저습 조건에서는 갓 두께가 36.8mm로 두꺼워지는 경향을 보였으나 갓 직경은 56.1mm로 다습 처리보다 작게 나타나 전반적인 생육이 위축되는 경향을 보였다(표 9, 그림 11). 이는 발이 이후 재배 습도가 표고의 성장과 외관 품질에 동시에 영향을 미치며, 높은 습도 조건에서는 생육은 촉진되지만 색상 특성이 변화할 수 있음을 보여준다.

표 9. 표고 발이 후 재배 습도에 따른 생육 특성 비교

구분 ^a	총발이수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
저습	7.4	27.0	36.8	56.1	46.4	18.2	39.5	6.8	9.8
다습	10.3	46.7	27.0	66.0	48.0	16.5	29.6	10.0	9.8

^a 구분: 저습(60±2%), 다습(99±2%)



그림 11. 표고 발이 후 재배 습도에 따른 생육 특성 비교

표고 봉지 배지 입상 이후 LED 광을 24시간 조사한 결과, 배지당 총발이수가 71개로 광을 조사하지 않은 처리구(41개)보다 증가하여 광이 표고 발이 유도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 광 on 조건에서는 갓 직경과 갓 두께가 각각 47.2mm, 17.1mm로 광 off 조건 대비 증가하는 경향을 보였다. 반면 광 off 조건에서는 대 길이가 65.3mm로 증가하여 대가 길어지는 경향이 나타났으며, 명도(L=40.8)와 황색도(b=15.8)가 증가하여 밝은 황갈색의 색조를 보였다(표 10, 그림 12).

또한 발이 이후 수확 단계에서의 광 처리 유무에 따른 총발이수 차이는 크지 않았으나, 광 off 조건에서 대 길이가 65.4mm로 증가하는 경향이 나타났다(표 11, 그림 13). 이러한 결과는 표고 재배에서 광 조건이 발이 유도와 형태 형성에 영향을 미치는 중요한 환경 요인임을 보여준다.

표 10. 표고 입상 후 광 처리에 따른 생육 특성 비교

구분*	총발이수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
광 on	71	22.2	17.1	47.2	58.7	17.5	34.6	8.8	12.3
광 off	41	21.8	15.6	42.2	65.3	18.6	40.8	10.2	15.8



그림 12. 표고 입상 후 광에 따른 생육 특성 비교

표 11. 표고 발이 후 광 처리에 따른 생육 특성 비교

구분*	총발이수 (개/배지)	개체중 (g/개)	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	대 직경 (mm)	L	a	b
광 on	39.6	22.2	19.2	46.4	60.4	18.1	29.4	6.4	8.1
광 off	38.8	24.3	18.9	43.8	65.4	20.2	34.1	7.3	10.0



그림 13. 표고 발이 후 광에 따른 생육 특성 비교

표고의 표준 재배 조건을 기준으로 주요 생육 특성을 비교한 결과는 표 12와 같다. 입상 후 발이 단계의 고온(23℃) 조건에서는 품질지수가 4점으로 생육이 촉진되어 개체중이 증가하는 경향을 보였으나 대 길이가 과도하게 신장하는 경향이 나타났다. 반면 저온(13℃) 조건에서는 품질지수가 2점으로 평가되었고 생육 속도가 감소하여 갓 직경과 개체중이 감소하는 경향을 보였다. 광을 차단한 조건에서는 대 길이가 증가하여 형태 균형이 다소 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 종합하면 표고 재배에서 온도, 습도 및 광 조건은 생육 형태와 품질 형성에 중요한 영향을 미치는 요인으로 판단되며, 적정 환경 조건 유지가 안정적인 생육과 품질 확보에 중요함을 확인할 수 있다.

표 12. 표고 재배 조건별 생육 주요 특성 비교

구분 ^a	개체중 (g/개)	갓 두께 (mm)	갓 직경 (mm)	대 길이 (mm)	품질지수 ^b (1~5)	주요 생육특성
표준	기준	기준	기준	기준	5	균형 잡힌 형태
저온	↓ ^c	↓	↓	↓	2	생육 지연 갓이 작고 품질 저하
고온	↑	↓	↓	↑	4	생육 촉진되나 대 길이 과 신장
저습	↓	↓	↓	-	3	건조한 표면
다습	↑	↓	↑	-	4	높은 수분함량, 진한 적갈색
광 off	↑	-	↓	↑	3	갓이 작고 대 길이 과 신장

^a 구분: 표준(18±2℃), 저온(13±2℃), 고온(23±2℃), 저습(60±2%), 다습(99±2%)

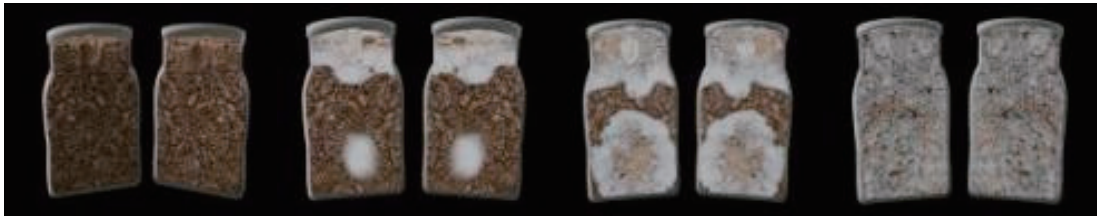
^b 품질지수: 상대 비교(5점; 매우 우수, 4점; 우수, 3점; 보통, 2점; 미흡, 1점; 매우 미흡)

^c 품질비교: ↓(기준 대비 낮음), ↑(기준 대비 높음)

<시험 2> 이미지 매칭 및 프로그램 개발

버섯 생육 단계별 생육, 환경 및 이미지 데이터를 시간 축 기준으로 매칭하여 시각화 모델을 구축하였다. 수집된 생육 데이터를 기반으로 Blender 3D(ver. 4.0.2)를 활용하여 버섯의 갓, 대, 배지, 균생 구조 등을 3D 모델로 구현하였다. 또한 파티클 시스템을 이용하여 동일 형상의 버섯 개체를 다수 배치하고, Graph Editor를 이용해 시간에 따른 성장 곡선을 설정함으로써 실제 생육 패턴과 유사한 형태로 개체 크기와 형상이 변화하도록 시뮬레이션을 제작하였다. 느타리버섯과 표고의 생육 및 이미지 데이터를 기반으로 배지 변화, 생육 단계별 성장 과정, 환경 조건별 생육 비교, 재배 관리 작업(뒤집기, 숙기) 처리 비교 및 품질 등급 표현 등 총 5가지 시나리오를 구현하였다. 생성된 시뮬레이션 결과는 렌더링을 통해 mp4 형식의 영상 콘텐츠로 제작하였다. 이러한 시각화 모델은 실제 재배 과정에서 관찰되는 생육 변화와 환경 조건에 따른 형태적 차이를 직관적으로 이해할 수 있도록 구성하였다.

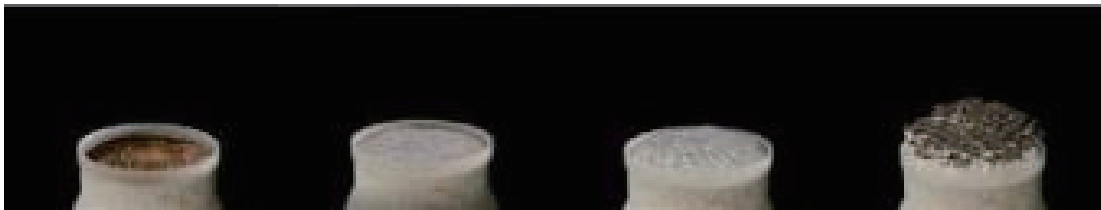
느타리버섯의 배지 변화 시뮬레이션은 병배지 내 균사체 접종 후 1일차부터 21일 차까지의 변화를 표현하였으며, 병배지 내부의 균사체 확산과 밀도 증가 과정을 단계적으로 확인할 수 있도록 구현하였다(그림 14). 실제 배양 과정에서 나타나는 균사 확산과 백화 진행 과정을 시각적으로 재현함으로써 버섯 배양 단계의 변화를 학습자가 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.



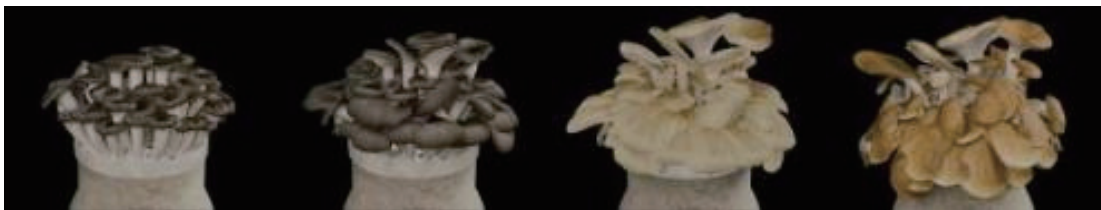
[접종 후 1일차] [접종 후 7일차] [접종 후 14일차] [접종 후 21일차]

그림 14. 느타리버섯 병 배지 변화 시물레이션

느타리버섯 생육 단계 변화 시물레이션은 병배지 입상 초기부터 발이, 성장 및 노화 단계까지의 과정을 재현하였다. 입상 후 약 6~8일에 자실체가 형성되기 시작하였으며, 약 12일 이후 갓이 급격히 확장되는 성장 단계가 나타났다. 이후 15일 이후에는 수분 감소와 색상 변화가 나타나는 노화 단계의 특징을 반영하였다(그림 15). 이러한 단계별 시물레이션은 실제 생육 데이터를 기반으로 생성된 것으로, 버섯 생육 과정에서 나타나는 형태 변화와 성장 속도 차이를 시각적으로 확인할 수 있다는 점에서 교육적 활용 가치가 높은 것으로 판단된다.



[입상] [입상 후 3일] [입상 후 5일] [입상 후 8일]



[입상 후 10일] [입상 후 12일] [입상 후 15일] [입상 후 17일]

그림 15. 느타리버섯 생육 단계 변화 시물레이션

느타리버섯의 환경 조건별 시물레이션은 <시험1>에서 수집한 생육 및 이미지 데이터를 기반으로 환경 조건에 따른 생육 특성을 반영하여 생성하였다. 저온(15℃) 처리에서는 생육 속도가 느리고 갓 표면이 청회색을 나타내는 특징을 보였으며, 고온(20℃) 처리에서는 생육이 빠르게 진행되고 갓이 크게 확장되며 색조가 밝은 갈색으로 형성되는 특징을 재현하였다(그림 16).

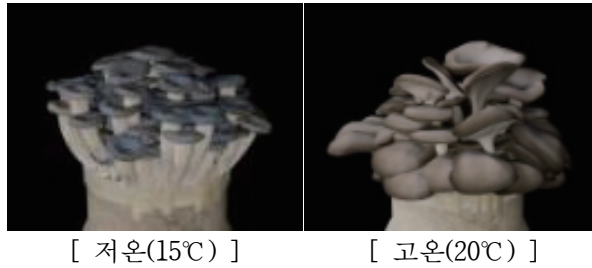


그림 16. 느타리버섯 재배 온도에 따른 생육 시물레이션

느타리버섯의 품질 등급별 시물레이션은 외형적 특성에 따른 상품성을 시각적으로 비교할 수 있도록 구성하였다. 보통 등급의 경우 개체 크기와 배열이 불균일한 형태로 표현되었으며, 상 등급은 갓 형태가 비교적 균일하나 개체 간 배열이 다소 불규칙한 특징을 나타냈다. 반면 특상 등급은 갓의 크기와 색조가 균일하고 배열이 정돈된 형태로 재현되어 전체적으로 상품성이 가장 우수한 형태를 나타내도록 구현하였다(그림 17).



그림 17. 느타리버섯 품질 등급 비교 시물레이션

표고 붕지 배지 변화 시물레이션은 배지 제조, 암배양, 명배양 단계의 배양 과정을 시각적으로 재현하였다. 배지 제조 초기에는 균사가 보이지 않는 갈색 배지 상태를 나타내며, 암배양 단계에서는 균사가 배지 내부로 확산되는 과정을 표현하였다. 이후 명배양 단계에서는 균사가 배지 전반으로 확산되어 백화가 진행되는 모습을 재현하였다(그림 18). 이러한 배양 단계 표현을 통해 실제 배양 기간 동안 나타나는 배지 상태 변화를 시각적으로 이해할 수 있도록 하였다.



그림 18. 표고 배지 변화 시물레이션



표고 생육 단계 변화 시뮬레이션은 배지 입상 이후 생육 과정을 시간 흐름에 따라 재현하였다. 입상 5일 후 자실체가 형성되기 시작하였으며 8~9일차에는 수확 가능한 상태에 도달하였다. 이후 갓의 과도한 확장과 색상 변화가 나타나는 노화 단계의 특징을 반영하였다(그림 19). 이러한 시뮬레이션은 실제 재배 시험에서 관찰된 생육 패턴을 기반으로 생성된 것으로 생육 단계별 특징을 직관적으로 이해할 수 있도록 구성하였다.

표고의 환경 조건별 시뮬레이션에서는 저온(13℃) 조건에서 생육 속도가 느리고 자실체 크기가 작게 형성되는 경향을 재현하였으며, 고온(23℃) 조건에서는 생육이 빠르게 진행되나 갓의 가장자리 색이 밝아지고 균일도가 다소 낮아지는 특징을 반영하였다. 또한 다습(90%) 조건에서는 갓이 넓고 매끈하게 형성되는 특징을 나타냈으며, 광 차단(off) 조건에서는 대 길이가 길어지고 갓 크기가 상대적으로 작은 형태 불균형이 나타나는 특징을 반영하였다(그림 20).

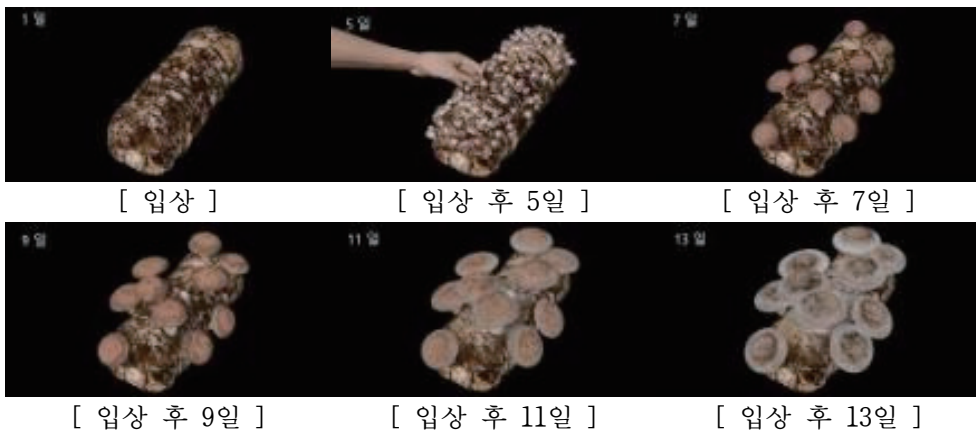


그림 19. 표고 생육 단계 변화 시뮬레이션

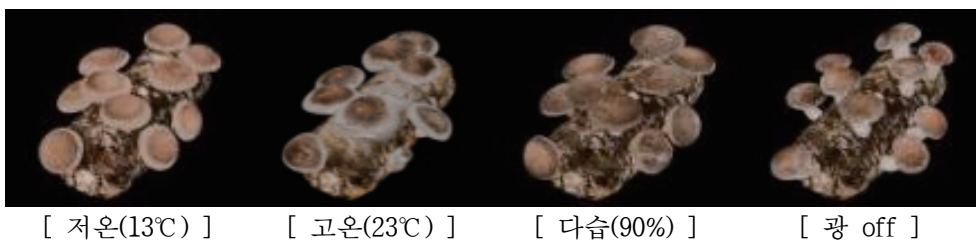
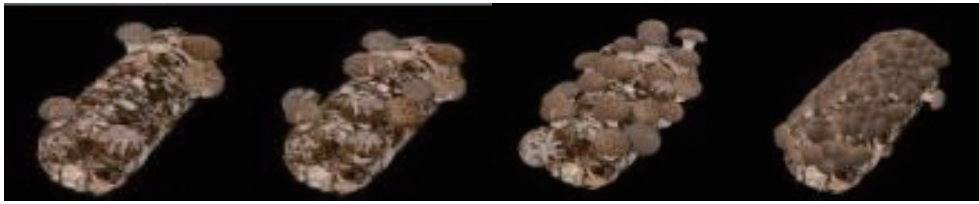


그림 20. 표고 재배 온도 및 습도에 따른 생육 시뮬레이션

습기 정도에 따른 시뮬레이션에서는 습기 개체 수가 적을수록 개체당 생육이 왕성하고 갓 직경이 크게 형성되는 특징을 재현하였다. 반면 습기를 하지 않은 경우 개체 간 경쟁으로 인해 생육이 불균일하고 갓 크기가 작게 형성되는 경향을 반영하였다(그림 21). 또한 표고의 외형적 특성에 따른 품질 등급을 비교하여 보통, 상, 특상 등급별 형태와 색상, 배열의 차이를 시각적으로 재현하였다(그림 22).



[숙기 후 5개체] [숙기 후 10개체] [숙기 후 20개체] [무처리]

그림 21. 표고 숙기 정도에 따른 생육 시물레이션



[보통]

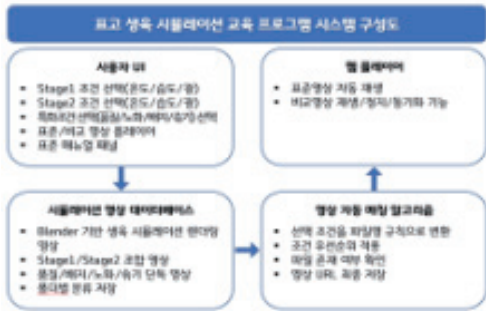
[상]

[특상]

그림 22. 표고 품질 등급 비교 시물레이션

이와 같이 구현된 느타리버섯 및 표고 시물레이션 콘텐츠는 사용자가 직접 환경 조건을 선택하여 생육 변화를 확인할 수 있도록 GitHub Pages를 활용한 웹 기반 뷰어 형태로 구현하였다. 사용자가 환경 조건을 선택하면 해당 조건에 따른 버섯 생육 시물레이션 영상이 재생되는 인터랙티브 구조로 구성하였으며 주요 기능으로는 재배 조건 선택, 시물레이션 영상 재생 및 재배 매뉴얼 제공 기능을 포함하였다. 또한 느타리버섯과 표고의 생육 단계를 구분하여 환경 조건을 선택할 수 있도록 구성하였으며 품질 등급, 노화 단계, 물리적 작업(뒤집기, 숙기 등)과 같은 요소는 별도의 탭에서 비교할 수 있도록 설계하였다.

본 연구에서 제작된 버섯 생육 시물레이션 콘텐츠는 실제 재배 데이터를 기반으로 제작된 교육용 시각화 자료로 버섯 생육 과정과 환경 조건에 따른 생육 변화를 직관적으로 이해할 수 있도록 제작된 디지털 교육 콘텐츠라는 점에서 의의가 있다. 특히 실제 재배 과정에서 관찰하기 어려운 생육 단계 변화나 환경 조건에 따른 생육 차이를 반복적으로 확인할 수 있어 버섯 재배 교육 자료로 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.



[프로그램 시스템 구성도]



[웹 기반 프로그램 화면]

그림 23. 버섯 생육 시뮬레이션 교육 프로그램 구성도 및 화면

<시험 3> 버섯재배 시뮬레이션 프로그램 실증

<시험 2>에서 개발한 웹 기반 버섯재배 시뮬레이션 프로그램의 교육 활용 가능성을 검증하기 위한 교육 현장 실증 수행은 A 고등학교(여주시 소재)의 버섯 창업 동아리와 B 대학교 교육 과정으로 개발된 웹 프로그램과 사용 매뉴얼을 제공하여 교육 과정에서 보조 학습 자료로 활용하도록 하였다.

프로그램 활용 후 교육자를 대상으로 조작 편의성, 버섯 생육 이해도, 영상 품질, 학습 효과 및 교육 활용 가능성에 대한 만족도 설문조사 결과 조작 편의성은 3.5점, 버섯 생육 이해도 향상은 4점으로 나타나 시뮬레이션 기반 교육 자료가 버섯 생육 과정 이해에 도움을 주는 것으로 나타났다(표 16). 영상 품질 및 재생 속도에 대한 만족도는 4점으로 평가되어 웹 기반 시뮬레이션 콘텐츠의 시각적 전달 효과가 비교적 높은 것으로 확인되었다. 또한 “버섯 생육 시뮬레이션 뷰어를 통한 학습 흥미와 몰입도가 높았다” 문항 설문 결과는 4점으로 나타났으며 “다른 작목이나 주제에도 활용되기를 바란다”는 문항에 대한 결과는 4.5점으로 가장 높은 점수를 나타내어 본 프로그램이 버섯 재배 교육뿐만 아니라 다른 작물 교육 콘텐츠에 대한 수요를 확인하였다.

교육자 의견에서는 “버섯 재배시설이 없는 기관에서 시각적으로 학습할 수 있어 교육 자료로 활용하기에 유용하다”, “실제 재배 과정 없이도 버섯 생육과정을 이해할 수 있다”는 의견이 제시되었다. 또한 품종 선택이나 극단적인 환경 조건을 적용한 시나리오 학습에 대한 활용 가능성도 제시되어 향후 교육 콘텐츠 확장 가능성을 확인할 수 있었다.

이와 같은 결과를 종합하면 본 연구에서 개발한 버섯 생육 시뮬레이션 프로그램은 실제 재배 데이터를 기반으로 제작된 교육용 시각화 콘텐츠로서 버섯 재배 교육 과정에서 보조 학습 자료로 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 특히 실제 재배 과정에서 관찰하기 어려운 생육 단계 변화와 환경 조건에 따른 생육 차이를 반복적으로 확인할 수 있다는 점에서 교육적 활용 가치가 높은 것으로 판단된다.



표 16. 버섯 생육 시뮬레이션 뷰어 교육 만족도 설문 결과

연번	설문 문항	설문결과 (5점 척도)
1	“버섯 생육 시뮬레이션 뷰어”의 조작이 쉽고 직관적이었다	3.5
2	“버섯 생육 시뮬레이션 뷰어” 활용 시 버섯의 생육을 이해하는 데 도움이 되었다	4.0
3	“버섯 생육 시뮬레이션 뷰어”의 화질·재생속도 등 영상 품질에 전반적으로 만족한다	4.0
4	웹 기반 뷰어의 접근성과 사용 환경에 전반적으로 만족한다	3.0
5	“버섯 생육 시뮬레이션 뷰어”를 통한 학습 흥미와 몰입도가 높았다	4.0
6	“버섯 생육 시뮬레이션 뷰어”는 수업(학습) 목표를 달성하는데 실질적인 도움이 되었다	3.0
7	다른 작목이나 주제에도 “생육 시뮬레이션 뷰어”가 활용되기를 바란다	4.5

4. 적 요

버섯 생육 과정의 이해를 돕기 위한 교육용 버섯 재배 시뮬레이션 프로그램을 개발하기 위해 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 시험 작목으로 느타리버섯과 표고를 선정하여 컨테이너 재배사에서 재배시험을 수행하고 생육데이터, 환경데이터 및 이미지 데이터를 수집하였으며, 수집된 데이터를 기반으로 Blender 3D 프로그램을 활용하여 버섯의 생육 단계 변화, 배지 변화, 환경 조건에 따른 생육 특성, 재배 관리 작업 및 품질 등급을 표현한 시뮬레이션 콘텐츠를 제작하였다.
- 나. 느타리버섯은 뒤집기 시기 및 재배 환경 조건에 따라 생육 특성과 품질이 달라지는 경향을 보였으며, 표고는 숙기 정도, 온도, 습도 및 광 조건에 따라 생육 형태와 품질에 차이가 나타났다. 이러한 생육 특성 데이터를 반영하여 버섯 생육 과정과 환경 조건에 따른 생육 변화를 시각적으로 확인할 수 있는 시뮬레이션 모델을 구축하였다.
- 다. 개발된 시뮬레이션 콘텐츠는 GitHub Pages를 활용한 웹 기반 프로그램으로 구현하여 사용자가 재배 환경 조건을 선택하고 버섯 생육 과정을 비교·학습할 수 있도록 하였다. 또한 교육 현장에서 프로그램을 활용한 결과 버섯 생육 이해도와 학습 흥미 향상에 도움이 되는 것으로 나타나 교육용 콘텐츠로서 활용 가능성을 확인하였다.
- 라. 본 연구에서 개발한 버섯 생육 시뮬레이션 프로그램은 실제 재배 데이터를 기반으로 제작된 디지털 교육 자료로서 버섯 재배 교육 과정에서 보조 학습 자료로 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.



5. 인용 문헌

- 김정환, 김연진, 이채영, 최준영, 이찬중, 임갑준, 강영주. 2023. 표고 자담 톱밥재배 매뉴얼. 농림축산식품부. 2025. 농림축산식품 주요통계. 364-365.
- 농업관측센터(KRED). 2024. 단기임산물 수급 동향과 전망. 697-707.
- 이성현, 유병기, 이찬중, 윤남규. 2017. 느타리 병버섯 재배사 원격환경 모니터링 및 제어시스템 개발. J. Mushrooms. 15(3):118-123.
- 이찬중, 이은지, 박해성, 이성현, 유병기. 2019. 느타리버섯 정밀재배를 위한 최적 생육 모델 개발 및 버섯재배사 표준화. 농촌진흥청 완결과제 최종보고서.
- 장명준, 이윤혜, 김정환, 이한범, 주영철. 2013. Effects of LED(Light emitting diode) on quality and storage period of mushroom by bottle cultivation. 농촌진흥청 완결과제 최종보고서.
- 조우식. 2024. 농림부보고서를 이용한 한국의 버섯 연구동향 분석(1995~2020). J. Mushrooms. 22(4):133-141.
- 조우식, 이성학, 박우람, 신승호, 박창민, 오지현, 박후원. 2017. 컨테이너형 수출용 버섯식물공장시스템설계 및 표고버섯 생산 연구. J. Mushrooms. 15(4):264-268.
- IntelMarketResearch(IMR). 2026. Mushroom Cultivation Market Growth Analysis, Dynamics, Key Players and Innovations, Outlook and Forecast 2026-2034.
- Subeesh A., and Chauhan N. 2025. Agricultural digital twin for smart farming:A review. Green Technologies and Sustainability. 4(2):100299.
- Vidanapathirana D.R., and Arachchi R.S.W. 2023. Oyster mushroom disease detection using machine learning. RICIT.
- Wang Y., Yang L., Chen H., Hussain A., Ma C., and Malek A. 2022. Mushroom-YOLO: A deep learning algorithm for mushroom growth recognition based on improved YOLOv5 in agriculture 4.0. IEEE. 239-244.
- Wolfert S., Ge L., Verdouw C., and Bogaardt M.J. 2017. Big Data in smart farming-A riview. Agricultural Systems. 153:69-80.
- Yoo Y.B., Oh M.J., Oh Y.L., Shin P.G. Jang K.Y., and Kong W.S. 2016. Development trend of the mushroom industry. J. Mushrooms. 14:142-154.

6. 연구결과 활용제목

- 이미지 기반 느타리 생장량 측정 프로그램(영농활용, 2025년)
- 환경조건별 표고 생육 비교 및 시뮬레이션 기반 교육자료 개발(학술발표, 2025년)
- 표고 생육 시뮬레이션 교육 프로그램(저작권, 2025년)
- 버섯 생육 시뮬레이션 교육용 웹 프로그램 및 구현방법(특허출원, 2026년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
						'23	'24	'25	
이미지 활용 버섯 재배프로그램 개발	책임자	원예연구과	농업연구사	김혜형	세부과제 총괄	-	○	○	
	공동 연구자	원예연구과	농업연구사	이영석	과제총괄	○	-	-	
		〃	〃	〃	정현경	자료조사	○	-	○
		〃	〃	〃	이슬기	생육조사	-	○	○
		〃	〃	〃	안주연	생육조사	-	-	○
		〃	〃	〃	이채영	연구자문	○	○	○
		〃	〃	농업연구관	김정한	연구자문	○	○	-
		〃	〃	〃	심상연	연구자문	-	-	○
		〃	〃	〃	이지영	연구자문	○	○	-
		〃	〃	〃	김진영	방향제시	-	-	○
		〃	〃	〃	이수연	방향제시	○	○	-