

식물공장 운영관리 교육

제 1 단원: 식물공장의 이해

Plant Factory Operations Management Training

대상: 식물공장 입문자 / 초보 직원

구성: 1.1 식물공장의 뜻과 등장배경 | 1.2 시설 개요(내부구조 및 시설 명칭)

목 차

1.1 식물공장의 뜻과 등장배경 3

- 1.1-1 식물공장의 정의
- 1.1-2 등장 배경 및 역사
- 1.1-3 식물공장의 종류
- 1.1-4 식물공장의 필요성 – 식량·환경 위기
- 1.1-5 국내외 현황
- 1.1-6 식물공장의 장점과 한계

1.2 시설 개요 – 내부구조 및 시설 명칭 9

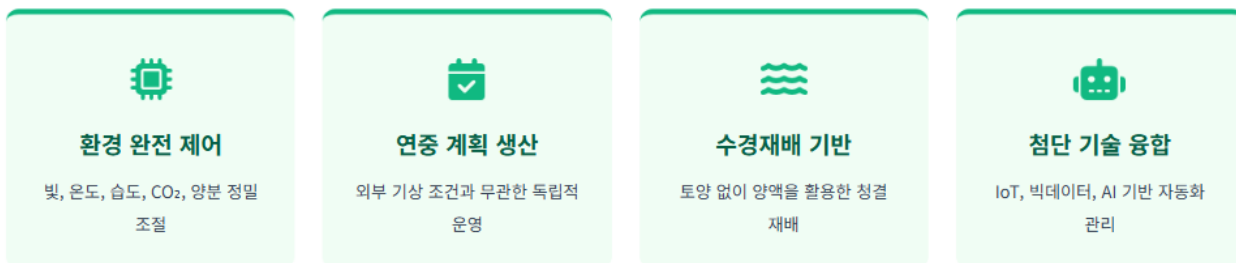
- 1.2-1 식물공장의 전체 구조 이해
- 1.2-2 주요 시설 및 명칭
- 1.2-3 광원 시스템 (LED 조명)
- 1.2-4 양액(수경재배) 시스템
- 1.2-5 환경제어 시스템
- 1.2-6 위생·안전 구역 구분

1.1 식물공장의 뜻과 등장배경

학습 목표: 식물공장이 무엇인지 정확하게 이해하고, 왜 이 기술이 현대 농업에서 중요하게 떠오르고 있는지를 설명할 수 있다.

1.1-1 식물공장의 정의

식물공장(Plant Factory)이란 외부 기후·계절의 영향을 차단한 밀폐·반밀폐 공간에서 빛·온도·습도·이산화탄소 농도·양액(營液) 등 식물 생육에 필요한 모든 환경 요소를 인위적으로 조절하여, 계획된 수량과 품질의 농산물을 연중 안정적으로 생산하는 농업 시설입니다.



식물공장은 단순한 온실과 구분됩니다. 비닐하우스나 유리온실이 자연광을 활용하면서 온도만 일부 조절하는 데 그치는 반면, 식물공장은 광원까지 인공적으로 공급하여 하루 24 시간, 연중 365 일 생육 환경을 정밀하게 유지합니다.

따라서 농업 기술 발달의 관점에서 노지재배 → 시설원예(온실) → 수경재배 → 식물공장의 순서로 발전했다고 볼 수 있습니다.

구분	특징	환경 제어 수준	생산 안정성
노지 재배	자연 기상·토양 의존	통제 불가	계절성 강함 (낮음)
비닐하우스/온실	자연광 활용, 온도 조절	부분 제어	중간 (외부 영향 존재)
수경 재배	흙 없이 양액으로 재배	상당 부분 제어	높음
식물 공장	인공광 및 환경 완전 통제	완전 제어	최상 (연중 무휴)

참고 자료

농촌진흥청 국립원예특작과학원, 「식물공장 기술 개발 로드맵」, KISTI ScienceON
(<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201300014245>)
농림축산식품부, 「스마트팜 개념 및 의의」, 농림축산식품부 공식 누리집
(<https://www.mafra.go.kr/home/5280/subview.do>)

1.1-2 등장 배경 및 역사

등장 배경

식물공장이 주목받게 된 배경에는 크게 4 가지 요인이 있습니다.

- **인구 증가와 식량 수요 확대**

세계 인구는 2022 년 약 80 억 명에서 2050 년 97 억 명으로 증가할 전망이며, 이에 따른 식량 수요도 함께 늘어납니다.

- **농경지 감소와 기후 변화**

도시화로 인해 2030 년까지 전 세계 농경지 약 3,000 만 헥타르가 사라질 것으로 예측되며, 신선 식품의 현지 생산과 물류비 절감을 위한 도심형 식물공장의 중요성이 커지고 있습니다. 또한 이상 기후에 따른 작물 수급 불안정성도 심화되고 있습니다. 특히 한반도의 기후 변화 속도는 세계 평균의 2 배에 달해 국내 농업 환경의 취약성을 더욱 부각시키고 있습니다.

- **농업 인력 고령화**

국내 농업인 평균 연령이 65 세를 넘어서면서, 지속 가능한 식량 생산을 위한 기술 혁신이 반드시 필요합니다.

역사적 발전 과정

시기	주요 내용
1960~1970 년대	미국 칼텍(Caltech)의 식물 연구 시설(Phytotron)에서 아이디어 출발
1980 년대	일본에서 인공광원을 이용한 상업적 식물 생산 연구 시작 및 '식물공장' 명칭 사용
1993 년	국내 수경재배 기술 국산화 근간 마련 (농촌진흥청 주도)
1996 년	농촌진흥청에서 식물공장 재배 시험 착수
2000 년대	LED 광원 기술 발전으로 상업적 식물공장 확산 가속
2010 년대~현재	IoT·빅데이터·AI 결합, 완전자동화 스마트팜으로 진화

현재 글로벌 식물공장(스마트팜) 시장은 눈부신 성장을 이어가고 있습니다. 2025 년 기준 약 120 억 달러로 추정되는 시장 규모는 연평균 성장률(CAGR) 9.5%를 기록하며 2030 년까지 190 억 달러 규모로 확대될 전망입니다. 특히 북미와 아시아 지역이 이 혁신적인 농업 시장을 주도하고 있습니다.

국내 식물공장 산업도 빠르게 성장하고 있습니다. 2024 년 한국의 식물공장 시장은 약 4,500 억 원 규모로 형성되었으며, 정부의 적극적인 스마트팜 확산 정책에 힘입어 연간 15% 이상의 높은 성장률을 보이고 있습니다.

한국무역협회 국제무역통상연구원, 「우리나라 스마트팜 산업 활성화 전략」, 기계신문 보도
(<https://www.mtnews.net/news/articleView.html?idxno=18301>)
KISTI, 「식물공장 - 시장 현황과 향후 주요 과제」, ScienceON
(<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=KMR2013000132>)
스마트에프엔, 「수평형부터 다단식까지 韓 식물공장, 내부구조 차이 뚜렷」
(<https://www.smartfn.co.kr/article/view/sfn201909300001>)

1.1-3 식물공장의 종류

광원의 종류와 외부 환경 차단 정도에 따라 크게 세 가지로 구분됩니다.

유형	설명
① 완전 인공광형 (완전폐쇄형)	태양광을 전혀 사용하지 않고 LED 등 인공광원만으로 운영. 외부와 완전 차단되어 병해충·계절 영향 없음. 에너지 비용이 높은 편.
② 태양광 병행형 (부분폐쇄형)	태양광이 기본이되 인공광을 보조로 사용. 유리온실·비닐하우스에 ICT 환경제어 시스템 결합하여 에너지 효율이 상대적으로 유리함.
③ 태양광 이용형 (개방형)	자연광을 주 광원으로 사용하면서 온도·습도·양분 등 일부 환경 요소를 제어. 일반 온실에서 진화한 형태.

재배 방식에 따른 구분

- 수평형(단층): 넓은 면적을 수평으로 배치. 관리가 편하지만 단위 면적당 생산성이 낮음.
 - 다단식(수직형): 재배 베드를 여러 층으로 쌓아 단위 면적당 생산성을 수 배 이상 높임.
- 현재 상업용 식물공장 대부분은 완전인공광형 + 다단식(수직형) 조합을 채택합니다.

1.1-4 식물공장의 필요성 - 식량·환경 위기 대응

식물공장은 단순한 농업 기술이 아니라, 현대 사회가 직면한 복합적 위기에 대응하는 솔루션으로 평가받고 있습니다.

① 식량 안보 강화

기후변화로 인한 작물 수급 불안정성이 높아지는 상황에서, 2023 년에만 전 세계 16 개국이 농산물 수출 제한·금지 조치를 발표하였습니다. 식물공장은 외부 기상 조건에 관계없이 안정적으로 농산물을 생산할 수 있어 국가 식량 안보를 강화하는 수단으로 주목받고 있습니다.

② 농업 인력 부족 해소

고령화와 인구 감소로 농촌 인력이 급격히 줄고 있습니다. 식물공장은 자동화·데이터 기반 운영을 통해 개인의 경험과 노하우에 덜 의존하면서도 누구나 안정적으로 농산물을 생산할 수 있는 환경을 제공합니다.

③ 안전한 먹거리 생산

완전폐쇄형 식물공장은 외부 병해충이 침투하지 못하므로 농약을 사용하지 않거나 극소량만 사용할 수 있습니다. 따라서 소비자에게 더욱 안전하고 위생적인 농산물을 공급할 수 있습니다.

④ 지속 가능한 농업

양액 순환 시스템을 통해 물 사용량을 노지재배 대비 대폭 줄일 수 있으며, 도시 건물 내부나 지하 공간에도 설치할 수 있어 유휴 공간을 농업에 활용하는 도시 농업의 핵심 기술로도 발전하고 있습니다.

참고·첨부 자료

한국무역협회, 「우리나라 스마트팜 산업 활성화 전략」, 기계신문
(<https://www.mtnews.net/news/articleView.html?idxno=18301>)

Park et al., 「Advanced technologies in plant factories」, PubMed Central
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11979330/>)

농림축산식품부, 「스마트팜의 개념 및 의의」 (<https://www.mafra.go.kr/home/5280/subview.do>)

1.1-5 국내외 현황

국내 현황

우리나라의 식물공장 관련 기술 수준은 인공조명 설비, 수경재배 기술 등 개별 분야에서 세계 최고 수준 대비 50~80% 정도로 평가됩니다. 2024년 한국의 식물공장 시장은 약 4,500억 원 규모로 형성되었으며, 정부의 적극적인 스마트팜 확산 정책에 힘입어 연간 15% 이상의 높은 성장률을 보이고 있습니다.

정부의 확산정책은 스마트팜 혁신밸리(스마트팜에 특화된 청년농 육성, 스마트팜 기자재 연구·실증 기능을 집약해 농업인-기업-연구기관 간 시너지를 창출하는 거점) 조성, 전문적인 스마트팜 전문가를 키우기 위한 스마트팜 청년창업보육센터 운영 등이 있습니다. 또한 노지분야의 스마트팜 기술 고도화, 데이터 기반 스마트 농업 확산지원 사업, 스마트팜 패키지 수출 활성화 사업 등을 진행하고 있습니다.



사진| 스마트팜 혁신밸리 조감도(예시)

해외 현황

국가/기업	주요 내용
일본	세계에서 식물공장 연구·사업화가 가장 앞선 나라. 도시바, 후지쯔, 파나소닉 등 대기업이 구형 반도체·카메라 공장을 식물공장으로 전환. 후쿠시마 원전 사고 (2011) 이후 안전 농산물 수요 급증.
네덜란드	세계 2 위 농산물 수출국. 자국 소비 토마토·파프리카의 80%를 식물공장(유리온실형)에서 생산. 태양광+LED 병행 방식 강점.
미국	에어로팜(AeroFarms, 6,400㎡)이 규모의 경제를 실증. 수직농장(Vertical Farm) 형태로 대도시 근교에 확산.
싱가포르	국토 면적 한계로 농산물 90%를 수입에 의존하던 중, 식물공장을 통한 자국 생산 확대 추진. 파나소닉 등 외국 기업 현지 투자 유치.

참고·첨부 자료

KISTI, 「국내외 식물공장 시장 동향과 전망」 (<https://www.irsglobal.com/bbs/rwdboard/13824>)

KISTI ScienceON, 「식물공장 - 시장 현황과 향후 주요 과제」
(<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=KMR2013000132>)

스마트에프앤 기사, 「수평형부터 다단식까지 韓 식물공장」
(<https://www.smartfn.co.kr/article/view/sfn201909300001>)

1.1-6 식물공장의 장점과 한계

장점	한계 및 과제
연중 계획 생산 가능 (계절·기상 무관)	초기 시설 투자비 높음 (조명·공조·자동화)
병해충 방제 농약 사용 최소화	전기 에너지 비용 부담 (특히 완전인공광형)
노지 대비 단위 면적당 생산량 대폭 증가	현재 업체류 중심 → 과채류·과일 재배 어려움
도시 내 유헴 공간 활용 (공장건물, 지하공실, 컨테이너 등)	식물공장 전용 품종 개발 미흡
양액 순환으로 물 사용량 절감	수익성 확보를 위한 규모의 경제 필요
초보자도 안정적 생산 가능(데이터기반 재배)	운영 노하우·인력 양성 체계 구축 필요

식물공장은 '농업과 기술의 융합'입니다. 자연에 의존하던 전통 농업의 한계를 극복하고, 데이터와 자동화로 안전하고 안정적인 식량 생산을 실현하는 미래 농업입니다. 매뉴얼과 시스템을 이해하면 농업에 대한 지식이 부족한 사람도 충분히 운영할 수 있습니다.

참고·첨부 자료

콜드체인뉴스, 「식물공장형 스마트팜, 미래 식량안보 책임진다」
(<https://www.coldchainnews.kr/news/article.html?no=24566>)

Park et al., 「Advanced technologies in plant factories: exploring current and future economic and environmental benefits」, PMC
(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11979330/>)

1.2 시설 개요 - 내부구조 및 시설 명칭

학습 목표: 식물공장의 내부 구조와 각 시설의 명칭·역할을 설명할 수 있으며, 작업 구역을 구분하여 안전하게 이동·작업할 수 있다.

1.2-1 식물공장의 전체 구조 이해

식물공장은 단일 공간처럼 보이지만, 실제로는 목적과 기능에 따라 여러 구역으로 구획됩니다. 외부와의 차단을 유지하고 위생을 관리하기 위해 출입 구역, 작업 구역, 재배 구역, 기계 설비 구역 등이 체계적으로 분리되어 있습니다.

구역	주요 역할
외부 출입구	외부 공기·이물질 차단을 위한 이중 출입문 또는 에어커튼 설치
전처리·파종 구역	씨앗 선별, 파종, 초기 발아 처리가 이루어지는 공간
육묘 구역	발아된 모종을 정식 전까지 키우는 공간. 온도·습도 별도 관리.
재배 구역	정식된 작물이 성장하는 핵심 공간. 다단식 재배 베드, LED 조명, 양액 공급 라인 집중.
손질·포장 구역	수확한 작물을 선별·손질·포장하는 공간. 재배 구역과 분리하여 교차오염 방지.
기계·설비 구역	양액 탱크, 공조 장치, 전기 배전반, 양수 펌프 등 기계 장비 집중 배치. 전문 담당자만 출입.

1.2-2 주요 시설 및 명칭

① 재배 베드(Growing Bed / Channel)

작물의 뿌리가 양액에 접촉하거나 암면(록울)·펄라이트 등 배지 위에 놓이는 재배 트레이입니다. 흘러내리는 박막 양액 방식(NFT, Nutrient Film Technique)과 깊은 수경(DFT, Deep Flow Technique) 방식이 주로 사용됩니다.

- NFT(박막 수경): 얇은 양액 흐름이 뿌리 하단만 적시는 방식. 상추 등 엽채류에 적합.
- DFT(심액 수경): 뿌리 전체가 양액에 잠기는 방식. 안정적 양분 공급 가능.



사진 | 재배 베드에서 자라고 있는 엽채류 채소

② 재배 선반(Growing Rack / 다단 선반)

재배 베드를 층층이 쌓아 올린 구조물입니다. 다단식 설계를 통해 동일 바닥 면적에서 최대 5~8 배의 재배 공간을 확보할 수 있습니다. 각 층마다 LED 조명이 설치됩니다.



사진 | 수직으로 재배선반을 쌓아올린 식물공장의 모습

③ 파종 트레이(Seeding Tray) / 정식 패널(Planting Panel)

씨앗을 발아시킬 때에는 파종 트레이를 사용합니다. 육묘대에 거치한 뒤 발아한 작물이 모종상태가 될때까지 키웁니다. 모종을 재배 베드에 고정하기 위해 걸 뚜껑에 구멍이 뚫린 거터를 사용합니다. 구멍의 간격은 작물의 크기와 종류에 따라 다르게 적용 됩니다.



사진 | 육묘대에 거치된 파종트레이



사진 | 재배베드에 정식된 육묘의 모습

1.2-3 광원 시스템 - LED 조명

빛은 식물이 광합성을 수행하기 위한 가장 기본적인 에너지원입니다. 완전인공광형 식물공장은 LED(발광 다이오드) 조명을 유일한 광원으로 사용합니다.

LED를 사용하는 이유는 식물의 광합성에 필요한 특정 파장(빨강·파랑)을 선택적으로 공급 가능하며, 형광등 대비 전력 소비가 낮고 수명이 길어 운영비 절감이 가능하기 때문입니다. 또한 발열이 적어 재배 베드와 근접하게 설치 가능하기 때문에, 공간을 효율적으로 사용할 수 있는 다단 재배에 유리합니다. 식물공장에서는 LED의

조명시간을 조절하여 낮과 밤을 인위적으로 설정하며, 이를 통해 작물의 개화·성장 속도 조절합니다.

파장 색상	파장 범위	식물에 미치는 영향
청색광(Blue)	400~500nm	잎의 기공 개폐, 엽록소 합성, 줄기 도장 억제
녹색광(Green)	500~600nm	잎 내부 깊은 곳까지 침투, 광합성 보완
적색광(Red)	600~700nm	광합성 주요 파장, 성장 촉진, 개화 촉진

PPFD(광합성 광자속 밀도): 조명 강도를 나타내는 단위($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). 작물 종류와 생육 단계에 따라 적정 PPFD 값이 다르므로, 작업 지침서에 명시된 값을 준수해야 합니다.



사진 | 재배작물에 최적화된 광원 조합을 개발하여 설치한 LED 설비

참고·첨부 자료

이 Lee S.W., 「Plant Factory and Plant Cultivation Using LED Light」, Optical Science and Technology, 2010 - DBpia 요약 (<https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE02477898>)

KISTI ScienceON, 「식물공장과 LED 인공광 이용한 식물재배」 (<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201012155229360>)

KISTI, 「LED 파장 제어 가정용 식물공장 시스템개발」 보고서 (<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201700006961>)

1.2-4 양액(수경재배) 시스템

양액(養液)은 수경재배시에 식물에 필요한 영양소를 흙 없이 공급하는 영양 수용액입니다. 식물 공장에서는 재배 베드에 양액을 공급하고 회수하는 폐쇄형 구조로 물 낭비를 최소화합니다.

주요 구성 요소

구성 요소	기능
원수 탱크(저수조)	정수된 물을 저장하는 기본 탱크
양액 탱크(혼합 탱크)	원수에 각종 비료 원액을 혼합하여 목표 농도의 양액을 만드는 탱크
양수 펌프	양액을 재배 베드로 이동시키는 동력 장치
배관·호스 라인	양액이 이동하는 PVC·스텐 배관. 주기적인 막힘 및 누수 점검 필요
회수 배관	재배 베드를 지난 양액을 다시 탱크로 모으는 순환 라인
EC 센서	양액의 전기전도도(EC)를 측정하여 양분 농도를 확인
pH 센서	양액의 산도를 측정. 작물마다 적정 pH 범위가 다름 (일반 5.5~6.5)



사진 | 재배 베드에 양액을 공급하는 양액탱크와 육묘 베드에 양액을 공급하는 양액탱크. 재배시기와 육묘시기의 최적화된 EC, pH 가 다르기 때문에 양액 탱크 및 양액 조절 시스템을 구분해서 운영.

EC와 pH란?

EC는 전기 전도도(Electrical Conductivity)의 약어로 양액에 녹아 있는 이온(양분) 농도를 간접적으로 측정하는 수치. 단위는 mS/cm.

- EC가 너무 낮으면: 양분 부족으로 생육 불량
- EC가 너무 높으면: 양분 과잉으로 뿌리 손상

pH(수소이온농도): 용액의 산성·알칼리성 정도. pH 7이 중성.

- pH가 맞지 않으면 양분이 침전되거나 흡수가 되지 않음.

참고·첨부 자료

농촌진흥청, 「식물공장 기술 개발 로드맵」 - 수경재배시스템 범위, KISTI
(<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201300014245>)

1.2-5 환경제어 시스템

식물공장에서 '환경제어'란 식물이 최적으로 자랄 수 있도록 재배 공간의 물리적·화학적 조건을 자동으로 유지·관리하는 시스템입니다.

환경 요소	관련 장비	주요 역할	예시 사진
온도 (Temperature)	히트펌프, 냉난방기, 항온항습기	작물별 적정 온도 유지 (보통 20~25℃)	
습도 (Humidity)	가습기, 제습기, 공조기	적정 상대습도 유지 (60~80% 내외)	
CO ₂ 농도	CO ₂ 공급 장치(보일러), 센서	광합성 촉진을 위해 대기 농도(400ppm) 이상 공급	
공기 순환	순환 팬(Fan)	재배 구역 내 공기 정체 방지, 균일한 환경 유지	
필터	HEPA 필터, 프리필터	외부에서 유입되는 먼지·병원균·곤충 차단	

이 모든 장비들은 중앙 모니터링 시스템(컨트롤러 또는 컴퓨터)과 연결되어, 센서가 측정한 실시간 데이터를 바탕으로 자동 또는 수동으로 조절됩니다. 초보 직원은 각 계기(센서 디스플레이)의 수치를 정기적으로 확인하고, 이상이 발생하면 즉시 담당자에게 보고하는 것이 핵심 역할입니다.

참고·첨부 자료

농촌진흥청, 「식물공장 기술 개발 로드맵」, KISTI ScienceON
(<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201300014245>)
농림축산식품부, 「스마트팜 개념 및 의의」 (<https://www.mafra.go.kr/home/5280/subview.do>)

1.2-6 위생·안전 구역 구분 및 기본 수칙

식물공장은 위생이 생산물의 품질과 직결됩니다. 구역별 위생 관리와 안전 수칙을 반드시 숙지하고 준수해야 합니다.

출입 시 주의사항

- 외부인 출입 최소화
- 손 세정(비누 손씻기 또는 알코올 소독)
- 외부 흙이 묻은 물품 반입 금지

구역별 출입 통제

구역	출입 가능 대상
재배 구역	위생 교육을 이수한 모든 직원 (위생복 필수)
기계·설비 구역	장비 담당자, 관리자 (전기·기계 위험 구역)
수확·포장 구역	담당 직원 (식품위생 기준 준수)

안전 주의사항 (전기·기계)

- △ 전기 배전반·제어판은 반드시 담당자 외 조작 금지
- △ 양액 펌프 점검 시 전원 차단 후 작업
- △ 다단 선반 위에 올라갈 때 전용 발판·사다리 사용
- △ CO₂ bombe(가스통) 취급 시 환기 후 작업
- △ 이상 소음·냄새·화재 감지 시 즉시 작업 중단 및 보고

참고·첨부 자료

농촌진흥청 국립농업과학원, 「농작업 단계별 공통안전작업지침」, 농업인안전 365
(https://farmer.rda.go.kr/farmAttach/healthSafety/publishBook/240571_MF_ATTACH_01.pdf)

단원 마무리 확인 문제

- Q1.** 식물공장이 일반 온실(비닐하우스)과 다른 가장 큰 특징은 무엇인가요?
- Q2.** 완전인공광형 식물공장에서 LED 조명을 사용하는 이유 두 가지를 설명해 보세요.
- Q3.** 양액의 EC와 pH가 각각 무엇을 의미하는지, 기준값을 벗어났을 때 어떤 문제가 생기는지 설명해 보세요.
- Q4.** 재배 구역에 들어가기 전에 반드시 해야 하는 위생 절차를 순서대로 나열해 보세요.

