

스마트팜의 공간배치 특성 연구

Research on Spatial Layout Characteristics of Intelligent Farm

주 저 자 : 진 려 (Chen, Li)

국민대학교 테크노디자인전문대학원 공간문화디자인학과
박사과정

교 신 저 자 : 윤재은 (Yoon, Jae Eun)

국민대학교 테크노디자인전문대학원 공간문화디자인학과
교수 / dreamask@hanmail.net

<https://doi.org/10.46248/kidsr.2024.2.457>

접수일 2024. 05. 24. / 심사완료일 2024. 06. 19. / 게재확정일 2024. 06. 21. / 게재일 2024. 06. 30.

Abstract

Globally, decreasing arable land, insufficient food supply, and rapid urbanization have intensified the contradiction between small urban farmlands and inadequate crop production. To address this, the study explores vertical crop cultivation in urban buildings using smart farm models. Employing literature review, inductive reasoning, analytical methods, and case studies, the paper determines smart farm spatial compositions and technical elements, analyzes spatial layouts, and examines Aero Farms in the USA and Spread in Japan. Smart farms include crop production, energy, and auxiliary spaces. Crop production spaces meet growth requirements, energy spaces reprocess waste for irrigation, and auxiliary spaces use smart technology to regulate the environment. Urban smart farms can alleviate food stress, using crop production technology, waste treatment, and renewable energy. This study promotes urban vertical planting and a new agricultural revolution.

Keyword

Agricultural Production Space(농산물 생산 공간), Energy Space(에너지 공간), Auxiliary Space(보조 공간)

요약

세계적으로 1인당 경작지가 감소하고, 식량 공급이 부족하며, 도시화가 급속히 진행되면서 도시의 작은 경작지와 농작물 생산 부족 사이의 모순이 두드러진다. 이를 해결하기 위해 도시 건물을 기반으로 수직 공간에서 농산물을 재배하고, 현대 지능형 농업 생산 모델을 활용한 스마트팜을 연구한다. 본 논문에서는 문헌연구, 귀납법, 분석방법, 사례 분석을 사용한다. 문헌조사를 통해 스마트팜의 공간구성과 기술적 요소를 결정하고, 귀납법으로 설계 요구사항을 정리한다. 분석방법으로 스마트팜의 공간배치 특성을 분석하고, 미국 Aero Farms와 일본 Spread 스마트팜의 현황을 사례분석한다. 스마트팜 공간은 농산물 생산 공간, 에너지 공간, 보조 공간으로 구성된다. 농산물 생산 공간은 물리적 환경 요구 사항을 충족해야 하고, 에너지 공간은 도시 폐기물 및 폐수를 재처리해 농작물 관개에 사용하여 에너지를 절약한다. 보조 공간은 스마트 기술을 활용해 정보를 수집하고 실내 온도와 습도를 조절한다. 연구를 통해 도시에 스마트팜을 건설하면 식량 스트레스 문제를 해결할 수 있다. 스마트팜은 농산물 생산공간, 에너지 절약형 공간, 지능형 보조공간으로 구성되며, 농산물 생산 기술, 도시 폐기물 및 폐수 처리 기술, 재생 에너지 포집 기술이 필요하다. 스마트팜 벽에 유리를 사용하면 작물이 더 많은 빛을 받을 수 있고, 스마트 기기로 실내 환경을 조절할 수 있다. 본 연구가 도시 공간의 수직 식재 개발을 촉진하고 새로운 농업 혁명으로 이어지길 바란다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 배경 및 목적
- 1-2. 연구 범위 및 방법

2. 이론적 배경

- 2-1. 스마트팜의 개념
- 2-2. 스마트팜의 공간 구성

2-3. 스마트팜의 기술 요소

3. 스마트팜 공간 설계 요구사항

- 3-1. 물리적 환경 구성
- 3-2. 실내 환경 구성
- 3-3. 환경제어장치 구성

4. 수직농장 공간 설계 요구사항

- 4-1 환경 장식 요구 사항
- 4-2 내부 레이아웃 설계 요구 사항
- 4-3 공간 실내 환경 디자인 및 배치

5. 스마트팜의 공간분포특성 분석

5-1 분석의 틀

- 5-2 사례 분석
- 5-3 소결

6. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1 연구 배경 및 목적

도시화 과정이 발전함에 따라 도시 문제는 점점 더 뚜렷해지고 있으며, 이러한 문제는 사람들로 하여금 도시 문제에 대해 깊이 생각하게 한다. 중국 농업 기구와 세계 식량 계획 기구가 2009년에 발표한 보고서에 따르면, 전 세계 기아 상황이 악화되어 기아 인구가 10억 2천만 명에 달한다고 한다.¹⁾ 동시에, 지구상의 경작지 면적은 감소하고 있는 반면 세계 총인구는 증가하고 있어, 경작지 부족과 식량 생산 부족 사이의 갈등이 더욱 심화되고 있다.

이러한 도시 생태 문제와 식량 위기 문제를 해결하기 위해, 본 논문은 수직 농장에 대한 연구에 중점을 둔다. 수직 농장은 도시 농업의 개념으로, 도시 소비자의 농업 생활 요구를 충족시키기 위해 자연 자원과 도시 폐기물을 활용하여 현대적인 스마트 농업 생산 방식을 통해 도시 내에서 다양한 농산물을 재배하고 사육하며, 가공 및 판매하는 것이다. 도시 농장은 도시 자원과 폐기물을 농산물 생산에 최대한 활용하며, 점점 성숙해지고 있는 도시 수직 녹화 기술과 결합하여 수직 농장을 형성한다. 이는 도시 생태 문제를 효과적으로 해결하여 도시 식량 문제를 해결할 수 있다.

수직 농업은 도시 건축을 기반으로, 도시 수직 공간 건축물을 활용하고 현대 스마트 기술, 자본 등의 자원을 이용하여 현대 도시 판매 네트워크를 통해 농산물을 생산하고 도시 유기 폐수 및 폐기물을 효율적으로 처리하는 도시 농업을 의미한다. 수직 농장은 적은 토지를 차지하여 농업 경작을 하며, 농업용지가 적고 건축 밀도가 높은 도시에 적합하다. 이는 도시 농업 문제를 해결할 수 있는 방법이다.

1-2 연구 범위 및 방법

본 연구를 위해 선정된 대표적인 수직 농장 6곳은 난징농업대학교식물공장(分别是南京农业大学植物工厂), 장쑤성농업현대화장비센터(江苏省农业现代化装备中心), 미국 에어로팜 수직농장, 중국 베이징 수직농장, 프랑스 로맹빌 수직농장, 일본 스프레드 수직농장이다.

본 연구의 연구 방법은 다음과 같다. 첫째, 문헌 조사법을 통해 스마트팜의 개념과 정의를 확립하고, 스마트팜의 공간 구성 및 기술 요소를 파악한다. 둘째, 귀납법을 사용하여 스마트팜의 공간 구성, 환경 구성, 환경 제어 장치 및 공간 환경 장식 요구 사항을 귀납한다. 셋째, 분석법을 사용하여 스마트팜의 공간 배치 특성을 분석한다. 넷째, 사례 연구법을 사용하여 스마트팜의 공간 배치 사례를 분석한다.

2. 이론적 배경

2-1 스마트팜의 개념

스마트팜은 "ICT(정보통신기술) 기술을 융합해 온실, 농장, 작물재배시설, 과수원 등을 관리하는 농업" 즉, 시간과 장소의 제약을 받지 않고 언제 어디서나 농작물을 관찰할 수 있는 농업이다. 인터넷에 연결된 기계를 통해 환경, 원격제어 관리, 편의성을 향상시킵니다. 이러한 기술로 축적된 데이터를 분석하여 인공지능을 활용하여 정밀한 생산관리와 효율성 향상, 작물의 육종 환경 최적화 등을 수행한다(서지명, 2021, p. 11).

스마트팜은 인터넷 기술과 모바일 정보 기술의 농업 내 단편적인 적용이 아니라, 농업을 중심 시스템으로 보고 "인터넷+농업 기업"과 "인터넷+농업 산업"을 통해 농업 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷을 결합하여 완전한 스마트 농업 산업 체계를 구축하는 것이다. 이를 통해 현대 정보 기술과 농업 생산의 전과

1) 수직 농업에 관한 예비 연구[D]. 천진대학교 건축학과, 2010. 석사 논문.

정을 결합하여 새로운 발전 시스템을 형성한다. 이렇게 하면 과학 기술의 종합적인 응용을 통해 농업 생산의 각 단계를 효과적으로 연결하여 농업의 지능형 제어를 실현할 수 있을 뿐만 아니라, 디지털화에 기반한 새로운 농업 생태계를 구축하여 농업 생산자와 소비자의 개념을 완전히 변화시킬 수 있다.

‘스마트팜’과 ‘스마트농업’은 서로 다른 개념이다. 스마트농업은 스마트팜을 중심으로, 시설원예, 과수, 축산 분야의 ICT 융합 시스템 노장이 바로 스마트팜이다. 그러나 스마트농업은 단순히 생산뿐만 아니라 유통과 소비를 포함한 개념이다. 스마트팜이 농업 산업으로 확장됨에 따라 개념이 스마트농업으로 확대되었다. 과거 전통 농업이 곡물, 원예, 축산 등 농산물의 생산에 집중했다면, 현대 농업은 농업 산업으로 확장되며, 특히 스마트농업의 특성은 기계 기술에 기반을 두고 있기 때문에 농업 관련 산업에서 농업 시설 장비, 농업 기계, 농업 서비스 등의 비중이 크게 증가할 것이다(Lee Jooryang et al., 2019).

2-2 스마트팜의 공간 구성

스마트팜의 주요 기능은 농산물 생산이다. 농산물 생산에는 에너지가 필요하며, 농산물 생산과 에너지 확보에는 현대적 스마트 관리가 필요하다. 따라서 스마트팜의 공간 구성은 농산물 생산 공간, 에너지 공간, 스마트 관리 보조 공간의 세 부분으로 나눌 수 있다. 농산물 생산 공간은 식물 농산물 생산 공간과 동물 농산물 생산 공간으로 나눌 수 있다. 농산물 생산에 필요한 에너지 확보 공간은 도시 폐기물 및 폐수 처리 공간과 재생 에너지 확보 공간으로 나뉜다. 보조 공간에는 농장의 스마트 운영을 지원하기 위한 다양한 첨단 장비들이 있으며, 여기에는 정보 수집 장비 공간, 온도 및 습도 제어 공간 등이 포함된다(그림 1).



[그림 1] 스마트팜의 공간 구성 (출처: 저자)

2-3 스마트팜의 기술 요소

스마트팜은 농산물을 재배해야 하며, 에너지를 절약하기 위해서는 도시 폐기물과 폐수를 재사용하는 동시

에 태양 에너지, 풍력 에너지 등의 에너지를 사용하여 전기를 생산하고 열을 저장할 수 있어야 한다. 스마트팜의 요소로는 농산물 생산기술, 도시폐기물 처리기술, 신재생에너지 확보기술 등이 있다.(그림 2)



[그림 2] 스마트팜의 기술적 요소 (출처: 본인)

2-3-1 농산물 생산기술

농산물 생산 기술은 농업 재배 기술과 수직 농업 기술로 나뉜다. 농업 재배 기술은 무토 재배 기술, 시설 농업 기술, 식물 공장 기술의 여러 단계로 구분된다. 스마트팜은 주로 무토 재배 기술과 시설 농업 기술을 결합하거나, 식물 공장 기술을 사용한다.

무토 재배 기술은 토양을 사용하지 않기 때문에 무토 재배라고 불린다. 무토 재배 기술에는 수경 재배, 기경 재배, 기질 재배가 포함된다. 시설 농업 기술은 인공 시설을 사용하여 농작물이 성장하는 데 필요한 온도, 습도, 광 환경을 조절하여 농작물의 성장 각 단계를 제어하는 기술이다(양기장, 장성파, 2005, p.15). 시설 농업 기술에는 필름 기술, 차광 장치, 온실, 비닐 하우스가 포함된다. 식물 공장 기술은 무토 재배 기술과 시설 농업 기술을 기반으로 발전한 재배 방식이다. 이 기술은 컴퓨터를 통해 농작물 성장 과정의 온도, 습도, 조명, 이산화탄소 농도 및 영양액 등의 환경 조건을 자동으로 제어한다.

식물 공장 기술에는 다음이 포함된다: 모판, 파종, 수확, 비료 공급, 포장 기술, 정보 수집 기술, 인공 환경 제어 기술. 식물 공장은 자동 파종과 자동 모내기를 포함한다. 스마트 물-비료 통합 시스템을 사용하여 농작물의 물과 비료 요구량 및 센서 데이터를 바탕으로 생장 기간, 계절, 시간, 기상 정보 등을 실시간으로 계산하고 스마트 의사 결정 모델을 통해 정밀한 물주기와 비료 공급을 실현한다(그림 3). 자동 정밀 위치 수

확, 기계 포장, 일부는 기계 진공 포장과 건조도 가능하다. 정보 수집 기술은 농작물 실내 환경의 수분, 비료량, 온도, 습도, 조명, 통풍 상태를 수집하고 보충이 필요한 경우 필요한 보충량을 계산한다. 인공 환경 제어 기술에는 인공 조명, 통풍, 실내 온도 및 습도 제어 기술이 포함된다.



[그림 3] 스마트 물-비료 통합 시스템 (출처:본인)

2-3-2 생활 폐기물 및 폐수 처리 기술

바이오매스 에너지(스마트팜의 필수 기능을 위해서는 재생 에너지에서 바이오매스 에너지의 활용이 필요하며, 기타 재생 에너지 장치는 생태 건물에서 일반적인 방법이며 스마트팜의 기능에 필수적인 부분은 아님), 비가식 작물 및 동물 부품은 메탄을 생성하여 에너지를 생산할 수 있다. 빗물 수집 탱크는 빗물을 모으고 농작물에 관개하는 데 사용할 수 있습니다. 도시 폐기물 및 폐수 처리 장비에는 바이오가스 소화기가 포함한다.

2-3-3 재생에너지 획득기술

스마트팜은 에너지 소모가 크기 때문에 재생에너지 활용 장비와 기술의 도입이 필요하다. 재생 가능 에너지 기술에는 태양광 발전 패널, 풍력 에너지, 지열 에너지가 포함된다. 태양광 패널과 풍력 에너지는 발전과 난방에 사용된다. 유리커튼월에 유약태양광발전장치를 설치해 태양광 발전을 통해 태양에너지를 전기에너지로 변환한다. 건물 옥상에는 풍력 에너지를 전기 에너지로 변환하는 풍력 발전소가 있습니다. 이 전기는 스마트팜 장비에 전력을 공급하고 식물 성장에 필요한 온도를 제공하는 데 사용될 수 있다. 스마트팜의 기술적 요소는 아래 그림과 같이 간단히 그림으로 표현할 수 있다 (그림 3).

3. 스마트팜 공간 설계 요구사항

3-1 스마트팜의 물리적 환경 요구사항

농업 생산 과정에서 환경 요소의 특성에 따라 각 환경 요소를 물리적 환경, 화학적 환경, 생물적 환경으로 나눌 수 있다. 물리적 환경에는 작물 주변의 조명, 온도, 습도, 풍속 등이 포함되며, 물리적 환경은 온실 농업 생산에 주요한 영향을 미치는 요소이다.

3-1-1 조명

농작물의 성장은 햇빛이 필요하다. 수직 농업은 동쪽, 남쪽, 서쪽 방향의 햇빛과 상층의 햇빛을 통해 농작물에 필요한 조명을 제공할 수 있으며, 실내 조명을 통해 조명을 대신할 수도 있다. 동쪽, 남쪽, 서쪽 벽은 유리 투광 디자인으로 설정하여 햇빛을 더 잘 받을 수 있게 한다.

[표 1] 작물 광합성의 광보상점, 광포화점 및 광합성 속도

PPFD(광합성광량자밀도) 단위: $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$			
작물 유형	광보상점 PPFD	광포화점 PPFD	광포화점에서의 광합성속도
오이	51.0	1421.0	21.3
리코펜	53.1	1985.0	24.2
고수	35.0	1719.0	19.2
가이랑	47.0	1441.0	23.1
천도복숭아	43.0	1095.0	17.3

출처: 저우즈룽, 샤오샤오허우, 시설 농업 환경 공학, 중국 농업출판사, 2008, p.43.

연구에 따르면, 형광등, 백열등, 고압 나트륨등, LED등이 제공하는 적색-주황색 광과 청색-자주색 광의 파장이 햇빛을 대신하여 농작물에 빛을 공급할 수 있다. 조명이 필요 없는 농작물은 건물의 하층이나 중간 층에 배치할 수 있으며, 이러한 농작물에는 버섯, 콩나물, 마늘 등이 있다. 조명 요구가 적은 농작물은 건물의 북쪽에 재배할 수 있다. 일반적으로 건물이 정남향과 정북향이 아니기 때문에, 아침과 저녁 햇빛이 북쪽에 비치게 된다. 햇빛이 적게 필요한 농작물은 이 빛만으로도 충분히 성장할 수 있다. 이러한 농작물에는 무, 상추, 부추 등이 있다. 많은 빛이 필요한 농작물이나 녹화 과정에서 많은 빛이 필요한 경우, 남쪽, 동쪽, 서쪽 방향과 상층에 재배할 수 있으며, 회전 가능한 공간에 배치하거나 인공 광과 자연광을 함께 사용하는 온실에 배치할 수 있다. 농작물 성장의 일부 단계에서는 적은 빛이 필요하므로, 묘화 단계에서는 고압 나트륨등을 사용하여 보광할 수 있다. 재배 단계는 인공 광과 자연광을 함께 사용하는 재배실에서 이루어진다. 빛이

필요 없는 경우, 건물의 중간이나 하층에 배치할 수 있으며, 예를 들어 파종, 발아 촉진 단계에서 빛이 필요 없다. 수확, 포장, 냉장, 시장 판매 단계에서도 빛이 필요하지 않다. 아래 표는 몇 가지 채소의 빛 보상점, 빛 포화점 및 광합성 속도를 나타낸 것이다(표 1).

3-1-2 환기

농작물의 성장은 공기 중의 산소와 이산화탄소 농도를 유지하기 위해 통풍이 필요하다. 또한 통풍은 실내 온도와 습도를 조절하고, 꽃가루를 퍼뜨리며, 곤충을 유인하여 꽃가루를 옮기게 한다.

스마트팜의 통풍 방법에는 두 가지가 있다: 자연풍과 인공풍. 자연풍은 스마트팜의 사방 벽에 설치된 상승-하강 유리를 이용하는 것이다. 자연풍이 필요할 때는 유리를 내리고, 필요하지 않을 때는 유리를 올린다. 인공풍은 실내에 인공적으로 바람을 일으키는 방법으로, 전기 팬 등을 사용하여 농작물 성장에 필요한 바람을 제공하는 것이다.

3-1-3 실내 온도

농작물 성장의 세 가지 기준 온도는 최적 온도, 최저 온도, 최고 온도를 말한다. 최고 온도와 최저 온도에서는 농작물이 일반적으로 성장과 발육을 멈춘다. 최적 온도에서는 농작물이 가장 빠르게 성장한다. 최고 온도와 최저 온도에서는 온도가 더 올라가거나 내려가면 농작물에 해를 끼치거나 심지어 죽음에 이를 수 있다. 각 농작물의 성장에 필요한 세 가지 기준 온도는 다르다. 아래 표는 여러 작물의 세 가지 기준 온도를 나타낸 것이다(표 2). 각 농작물의 성장을 돕기 위해 적절한 온도를 제공해야 한다.

[표 2] 시금치, 무, 양배추, 양배추의 3가지 기준점 온도

채소 종류	최저 온도	최적온도	최고 온도
시금치	8℃	20-15℃	25℃
당근	8℃	20-15℃	25℃
배추	5℃	18-13℃	23℃
가이랑	2℃	17-7℃	20℃

출처: 저우즈롱, 샤오샤오후, 시설 농업 환경 공학, 중국 농업출판사. 2008. p.43.

3-1-4 공기

공기에는 질소, 산소, 이산화탄소가 포함되어 있

며, 이들 기체는 농작물 성장에 필수적이다. 질소는 토양에 약 1.5% 정도 존재하며, 소수의 뿌리혹 박테리아를 가진 식물만이 대기 중의 자유 질소를 고정하여 식물 성장에 사용할 수 있다. 따라서 질소는 식물 성장에 결정적인 역할을 하지 않으며, 질소 비료를 토양에 주는 것이 더 쉽게 식물에 흡수된다. 농작물의 광합성은 이산화탄소(CO₂)에 의존하며, CO₂ 농도가 높아지면 식물의 발육 과정을 단축시킬 수 있다. 예를 들어, 높은 CO₂ 농도에서는 대두(장약임, 장경국, 악위 등, 2005)와 토마토(고우, 최세무, 송양 등, 2018)의 출기 높이와 잎 면적 지수가 정상 농도 대비 더 높다. 따라서 각 농작물의 성장 시기에 필요한 CO₂ 농도를 맞추기 위해 CO₂ 농도를 조절할 필요가 있다. 광합성에는 산소도 필요하다. 낮 동안 햇빛이 충분할 때는 농작물이 생산하는 산소량이 자신이 필요한 산소량보다 많지만, 밤에는 생산되는 산소량이 필요량보다 적어 외부에서 산소를 흡수해야 한다. 따라서 인공 기후실을 사용하여 농작물의 다양한 성장 시기에 필요한 산소 농도를 맞추어야 한다.

3-2 실내환경 구성에 따른 설계 요구사항

3-2-1 식물 농산물 성장 공간

수직 농장은 다양한 채소에 맞는 다양한 재배 공간을 제공해야 한다. 계절에 따라 다른 채소를 재배하며, 반계절 채소를 재배하지 않도록 한다. 계절별로 재배할 수 있는 채소는 아래 표에 나와 있다(표 3). 건물 외벽은 대규모의 상승-하강 유리로 구성되어 있어, 조명, 온도, 통풍을 모두 만족시킬 수 있다.

[표 3] 다양한 계절에 재배할 수 있는 작물

계절	채소
봄	아마란스, 넓은 콩, 녹색 이끼, 국화 잎, 완두콩, 부추, 마조람, 양상추, 풀 머리, 콜리 플라워, 마늘
여름	토마토, 오이, 줄콩, 완두콩, 고추, 가지, 겨울 참외, 수세미, 조롱박, 털콩, 양배추
가을	채소, 순무, 감자, 호박, 셀러리, 렌즈 콩
겨울	양배추, 청경채, 무, 시금치, 오이, 양상추, 케일, 고수, 마늘, 죽순

딸기, 블루베리, 라즈베리, 포도, 수박, 용과 등과 같은 드워프 과일 나무는 실내에서 자랄 수 있습니다. 일부 덩굴 과일의 경우, 제한된 공간에서 더 많은 과일을 생산할 수 있도록 덩굴이 더 높게 올라가도록 노력하십시오. 일부 관목형 과수는 일정 높이까지 자랄 때 윗

부분을 잘라 가지가 최대한 수평으로 자라도록 하여 제한된 높이에서 더 많은 열매를 맺을 수 있도록 한다 (그림 4).



[그림 4] 난징농업대학교 식물공장의 3차원 야채 재배 (자료: 본인)

3-2-2 에너지 공간

수집된 빗물이나 순환 재사용된 물은 스마트농장의 농작물 관개에 사용할 수 있다. 빗물 수집 시스템은 지붕이나 상층 주변의 벽에 설치할 수 있으며, 비가 올 때 빗물을 받아들이는 홈 형태로 펼쳐진다. 수집된 물은 지정된 배관을 통해 물 순환 처리 장비로 들어간다. 폐수 순환 재사용은 주로 도시의 생활 폐수에서 비롯되며, 현재 폐수 처리 기술에는 생물 순환 처리 기술이 있다. 생물 순환 처리 기술 시스템은 원통형 용기 내에 여러 개의 2차 생물 정화 시스템 작업 라인을 형성한 후, 일련의 습지 처리 연못으로 들어가 다양한 혐기성 반응, 무산소 반응, 호기성 반응 등의 처리 과정을 완료한다. 처리된 물은 소독을 거쳐 재활용수로 농작물 관개, 장비 세척 등에 사용될 수 있다.(그림 5)



[그림 5] Living Machine 시스템 구성도 (자료: www.pdxactionsports.com)

혐기성 반응 등을 통해 생활 유기 폐기물을 식물 체계에서 처리하여, 폐기물이 분해되는 동시에 재생 에너지와 유기 비료로 전환할 수 있다. 농작물의 줄기와 잎 등의 폐기물은 분해 처리 후 바이오가스와 바이오슬로 변환되어 토양 비옥도를 높일 수 있다. 태양 에너지는

건물의 에너지 절약에 크게 기여할 수 있으며, 수직 농장의 태양광 패널 설치 위치는 스마트팜 건물의 지붕, 햇빛이 잘 드는 벽, 건물의 유리 등을 태양광 패널로 만들 수 있다.

3-3 스마트팜 환경조절장치 요구사항

3-3-1 온도 조절 장치

스마트팜의 온실 내부는 농작물 성장에 필요한 온도를 유지해야 한다. 이는 농작물 성장에 매우 중요하다. 예를 들어, 여름철에 성장하는 농작물은 높은 온도가 필요하고, 겨울철에는 낮은 온도가 필요하다. 현재 온실 난방에는 파이프 난방과 에어컨 난방이 있다. 파이프 난방은 일반적으로 가스, 천연가스, 전기 난방을 사용하며, 이는 주로 넓은 면적의 온실에 적합하다.(그림 6) 에어컨 난방은 온실 내부에 에어컨을 설치하여 난방을 제공하며, 이는 주로 작은 면적의 온실에 적합하다.

3-3-2 에너지 제어 장치

스마트 장비를 사용하여 가까운 거리나 원거리에서 온실 내의 온도, 습도, 조도 등을 모니터링하고, 식물 성장에 필요한 온도, 습도, 조도를 조정한다. 또한, 가까운 거리나 원거리에서 관개를 수행할 수 있다. 스마트 장비의 예는 다음과 같다.(그림 6)



[그림 6] 온실 온도 조절 장비 및 지능형 장비의 작동 원리 (자료: 본인)

4. 수직농장 공간 설계 요구사항

4-1 환경 장식 요구 사항

4-1-1 색상

수직 농장의 농작물 대부분은 녹색이며, 빨간색 고추, 토마토, 딸기, 노란색 호박, 감자 등이 있다. 따라

서 수직 공간의 색상은 담백해야 하며, 농작물의 색상과 혼합되지 않도록 해야 한다. 이렇게 하면 작업자가 건물과 농작물을 시각적으로 쉽게 구분할 수 있다. 수직 농장의 색상은 흰색, 연회색, 연한 파란색, 우유빛 흰색, 우유빛 노란색 등이 좋다.

4-1-2 재료

벽체 재료는 유리를 사용할 수 있다. 유리 커튼 월은 햇빛이 잘 들어오게 하여 채소가 자연광을 잘 받을 수 있게 한다. 유리 커튼 월은 확장 가능하면 좋다. 낮 동안 햇빛이 필요할 때는 유리를 열어 빛과 바람을 받을 수 있고, 밤에 온도가 낮아지고 햇빛이 없을 때는 유리 커튼 월을 닫아 보온할 수 있다. 이중 커튼 월은 건물 내부 에너지 소모를 줄이고, 단열, 방음 및 실내 쾌적성을 높이는 혁신적인 기술로 수직 농장에 사용할 수 있다(그림 7).



[그림 7] 뒤셀도르프 "Gate to the City"의 복도 커튼월, 단면 및 입면도 (자료: Östler Lieb, Lutz Heusler)

바닥 재료는 시멘트를 사용할 수 있다. 시멘트 바닥은 물에 젖어도 금방 마르고 미끄러지지 않으며, 가격도 저렴하다(그림 8).



[그림 8] 바닥재 - 시멘트 바닥 (출처: 본인)

채소 선반과 천장 재료는 스테인리스 재료를 사용할

수 있다. 채소 선반은 무거운 채소 무게를 견딜 수 있어야 하며, 견고해야 한다. 또한 물과 비료에 닿아도 녹슬지 않아야 한다. 따라서 스테인리스 재료는 이상적인 채소 선반 재료이다. 농장 내에는 습기가 있으므로, 천장도 녹슬지 않는 스테인리스를 선택하는 것이 좋다 (그림 9).



[그림 9] 야채 선반, 상단 재질 - 스테인리스 스틸 (자료: 본인)

4-1-3 형태

현대 사회에서 모더니즘의 영향으로 대부분의 건축물은 직사각형 형태를 띠고 있다. 수직 농장의 형태는 기본적으로 수직면, 경사면, 테라스형의 세 가지로 나눌 수 있다. 이러한 형태들은 농장이 최대한 넓은 면적으로 태양광을 받을 수 있도록 설계되었다. 포스트모더니즘 건축 디자인 스타일의 영향을 받아 다양한 형태가 등장했지만, 이러한 형태들도 모두 앞서 언급한 수직면, 경사면, 테라스형 형태를 기반으로 변형된 것이다. 예를 들어, 두바이의 오아시스 타워, 덴마크의 스카이 빌리지, 피라미드형 수직 농장 등이 있다(표 4).

[표 4] 수직 농장의 형태

형태	수직면	테라스	경사면
사진			
장점	테라스 농업에 유리하며 남향 테라스가 태양광에 최적 조건 제공	테라스 농업에 유리하며 남향 테라스가 태양광에 최적 조건 제공	최적의 태양광을 받아 테라스 공간 및 경사면에 농작물 재배, 건물을 식물로 덮인 작은 산처럼 보이게 함
파생조형			

4-2 내부 레이아웃 설계 요구 사항

4-2-1 농산물 생산공간

채소가 햇빛을 잘 받을 수 있도록 수직 농장의 외부 벽체는 투명 유리로 만들 수 있다. 햇빛을 많이 필요로 하는 채소는 수직 농장의 남쪽에 배치하고, 햇빛을 덜 필요로 하는 채소는 북쪽에 배치할 수 있다. 대부분의 건물은 정확한 남북 방향이 아니기 때문에 아침과 오후에 햇빛을 받을 수 있다. 햇빛이 필요 없는 채소는 중간 위치에 배치할 수 있다. 보조 공간은 햇빛이 필요 없기 때문에 수직 농장의 중앙에 배치할 수 있다(그림 10).



[그림 10] 수직농장 공간의 내부 배치 (자료: 본인)

4-2-2 에너지 공간

태양광 패널은 건물의 상층 북쪽에 설치하여 최상층 아래층의 채소에 햇빛이 방해되지 않도록 한다. 또한 외벽 기둥 등 여러 부품에도 설치할 수 있으며, 건물의 유리도 태양광 패널로 만들 수 있다. 풍력 발전 시설은 일반적으로 옥상 태양광 장치의 뒤쪽에 설치한다. 빗물 수집 시스템은 건물 상층에 설치하여 빗물을 최대한으로 받을 수 있게 한다(그림 11). 폐기물 및 폐수 처리 공간은 건물의 하층에 배치할 수 있다.



[그림 11] 태양광 및 풍력 에너지 레이아웃 (출처: 본인)

4-2-3 보조 공간

보조 공간에는 정보 수집 장비와 온도 및 습도 조절 장비를 배치해야 하며, 농기구를 놓을 공간도 필요하다. 따라서 보조 공간은 정보 수집 공간, 온도 및 습도 조절 공간, 농기구 배치 공간으로 나눌 수 있다. 보조 공간의 외부 상황을 더 잘 관찰할 수 있도록 보조 공간 주변은 유리 칸막이를 사용한다(그림 12).



[그림 12] 수직농장 보조공간 평면 배치 (출처: 본인)

4-3 공간 실내환경디자인 및 배치

4-3-1 농작물 수직 계층 공간 분배

농장의 최상층에는 햇빛이 많이 필요한 농작물을 재배한다. 예를 들어, 청경채, 토마토, 감낭콩, 오이 등을 재배할 수 있다. 중간 층에는 햇빛이 적게 필요한 농작물을 재배한다. 예를 들어, 무, 상추, 부추 등을 재배할 수 있다. 하층에는 햇빛 없이도 성장할 수 있는 농작물을 재배한다. 예를 들어, 버섯, 마늘 등을 재배할 수 있다.

4-3-2 동일 층 공간 디자인

동일 층 공간에서는 채소가 햇빛을 잘 받을 수 있도록 수직 농장의 외부 벽체에 투명 유리를 사용할 수 있다. 햇빛이 많이 필요한 채소는 수직 농장의 남쪽에 배치하고, 햇빛이 적게 필요한 채소는 북쪽에 배치할 수 있다. 대부분의 건물은 정확히 남향 또는 북향이 아니기 때문에 아침과 오후에 햇빛을 받을 수 있다. 햇빛이 필요 없는 채소는 중앙에 배치할 수 있다. 보조 공간은 햇빛이 필요 없으므로 수직 농장의 중앙에 배치할 수 있다.

4-3-3 농작물 성장 공간

재배 선반에 있는 채소는 성장할 공간이 필요하며, 각 농작물 사이에 간격이 필요하다. 키가 작은 농작물은 각 식물당 필요한 공간이 적다. 예를 들어, 청경채, 시금치 등은 작은 공간을 필요로 한다. 덩굴성 농작물

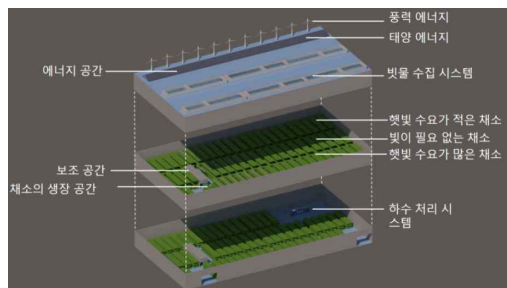
은 더 많은 공간이 필요하다. 예를 들어, 오이는 덩굴이 약 3미터 정도 자란다. 재배 선반 사이에는 사람이 수확하고 이동할 수 있는 공간을 확보해야 하며, 각 선반 간격은 약 1미터 정도가 적당하다(그림 17). 건물을 한 층 더 건설할 때마다 비용이 증가하기 때문에 층고를 높일 수 있다. 각 층의 재배 선반은 높게 설계할 수 있으며, 층고는 10미터가 적당하다.



[그림 13] 1m 간격으로 배치된 식재 랙 (출처: 본인)

4-3-4 수직농장 공간 실내환경디자인 및 배치 모델

위의 내용을 바탕으로 수직농장 공간 실내환경디자인 및 배치 모델을 작성하였다(그림 14).



[그림 14] 수직농장 공간 실내 환경 설계 공간 레이아웃 설계 모델 (자료: 본인)

5. 스마트팜의 공간 배치 특성 분석

5-1 분석의 틀

본 연구에서는 이전 장의 연구를 바탕으로 스마트팜의 공간 배치 특성을 분석하기 위한 분석의 틀을 구축하였다(표 5).

공간구성: 농산물 생산 공간, 에너지 공간, 보조 공간의 존재 여부를 분석한다.

농산물 생산 공간: 농산물 성장을 위한 물리적 환경 요구 사항을 충족하는지를 분석한다.

기술요소: 농산물 생산 기술, 도시 폐기물 및 폐수 처리 기술, 재생 가능 에너지 확보 기술의 사용을 분석한다.

농장 내 환경 제어 장치: 요구 사항을 충족하는지를 분석한다.

5-2 분석 방법

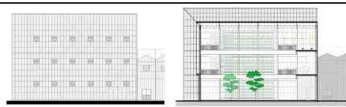









사례 분석 방법을 사용하여 스마트 팜의 농산물 생산 기술, 도시 폐기물 및 폐수 처리 기술, 재생 에너지 획득 기술의 작동 원리를 추가로 결정하기 위한 분석을 수행한다.

5-3 분석 대상

미국 Aero Farms 수직 농장, 중국 베이징 수직 농장, 프랑스 Romainville 수직 농장, 일본 Spread 수직 농장을 분석한다.

[표 5] 분석의 틀






프로젝트		
위치		
건설시간		
규모		
인지도		
면적		
이미지		
평면도, 입면도, 단면도		
공간		
공간배치 (A)	공간환경장식 (a)	색상:
		재료:
		조형:
	평면배치 (b)	
	공간배치 (c)	
공간구성 (B)	농산물생산공간 (a)	작물농산물생산공간
	에너지공간 (b)	도시폐기물처리공간
		재생에너지획득공간
	보조공간 (c)	정보수집장비공간
		온습도제어공간
기술요소		
농산물 생산 기술 (C1)		
도시 폐기물 처리 기술 (C2)		
재생 에너지 획득 기술 (C3)		
정보 수집 기술 (C4)		
온습도 제어 기술 (C5)		


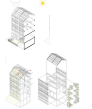
입면도/ 단면도			
공간			
(A)	(a)	색상:회백색	유
		재질: 유리 외벽, 지붕, 시멘트 또는 타일 바닥	유
		모양: 팬이 있는 정사각형	유
	(b)	햇빛이 많이 필요한 오이는 지붕 위에 배치, 건물 옆면에는 햇빛을 받아 야채 재배.	유
	(c)	본관은 3층으로 총 19.5m 규모. 1층에는 과일나무를 심었으며, 그 위에는 열린 공간이 있어 과일나무가 자라기에 적합하게 구성. 1층 야채전시관은 충분한 공간 확보. 회의실은 1층에 위치하고 있음	
(B)	(a)	작물농산물생산공간	
		도시폐기물처리공간	
	(b)	재생에너지획득공간	유
		정보수집장비공간	유
	(c)	온습도제어공간	유
기술요소			
(C1)	자동화된 랙 시스템		
	잎채소 재배를 위한 깊은 부유형 화분과 영양막 탱크		
	와이어정지재배		
	led 조명		
	토양 경작		
(C2)	도시 폐기물 처리 기술 - 빗물 수집 및 폐수 재활용 시스템		유
(C3)	지속가능한 기후조절, 건물 내 물이 낭비되지 않으며 관개용으로 남은 물은 재활용 및 재사용. 여름에는 건물이 자연 환기와 증발을 통해 냉각되고, 겨울에는 태양열과 LED 조명의 수동적 추출을 통해 난방 하고 있음		
(C4)	인식 기술, 데이터 과학, 머신 비전, 인공지능과 같은 도구		유
	시스템 모니터링 빅데이터 관리, 실시간 데이터 추적, 영양분의 동적 분포, 식물 성장 과정의 정확한 최적화, 식물 성장 속도 및 품질 제어.		유
(C5)	지붕 환기, 종합 차광, 과일 나무 온도 섭씨 10~25도/ 잎채소 온도 섭씨 6~18도.		유

5-4-3 프랑스 로맹빌 수직 농장

프랑스의 Romainville 수직 농장 계획은 OPH Romainville이 주최한 농업 건축 설계 대회에서 우승했으며 Secousses 건축가, Scoping, Etamine, Terr'eau ciel 및 Land'act와 협력하여 완성되었습니다.(표 8)

[표 8] 프랑스 로맹빌 수직 농장

위치	프랑스 파리 근교 로맹빌		
건설시간	2018년		
규모	프랑스 최초의 수직 농장		
인지도	채광과 자연통풍을 극대화한 수직형 농업단지		
면적	1,000 평방미터		
			
평면도			
입면도/ 단면도			
공간			
(A)	(a)	색상: 미색	유
		재료: 유리벽, 스테인레스 스틸 기둥, 시멘트 바닥	유
		모양: 사각형	유
	(b)	더 많은 햇빛이 필요한 야채는 최상층에서 재배. 보조공간에는 온도조절장치와 정보수집장치 등을 갖추고 있음. 1층에는 교육공간과 농작물을 판매하는 공간을 배치함. 햇빛을 좋아하는 채소는 남쪽 방향에, 그늘을 좋아하는 채소는 북쪽에 심도록 가이드.	유
	(c)	바닥 높이는 4미터. 야채 진열대를 놓을 공간 확보하고 있음. 1층에는 장비 공간 마련.	
(B)	(a)	농산물 생산공간: 고층에 인큐베이터를 활용, 특수관수를 구현하며 공간 구성을 탄력적으로 변경 가능하도록 구성.	
	(b)	도시 폐기물 처리 공간 재생에너지가 공간: 지붕은 빗물을 모으고 벽을 환기시키며 태양광, 풍력 발전	없음









	(c)	빛을 흡수할 수 있도록 함	전 부족
		정보 수집을 위한 장비 공간	1층 장비 공간
		온도와 습도가 조절되는 공간	각 층에 제어 공간 있음
기술요소			
(C1)	토양재배법		
	토양 내 중금속 오염을 제거하고 제초제, 농약의 사용을 배제하기 위한 완전밀폐조업		유
(C2)	도시 폐기물 처리 기술 - 빗물 수집 및 폐수 재활용 시스템		무
(C3)	1. 물 소비를 줄이고, 관리하고, 저장하고, 재분배		
	2. 낮 동안 과열을 피하기 위해 태양 에너지와 환기를 사용		
(C4)	시스템 모니터링 빅데이터 관리, 실시간 데이터 추적, 영양분의 동적 분포, 식물 성장 과정의 정확한 최적화		유
(C5)	최첨단 온도 조절 시스템		유

5-4-4 일본 Spread 수직 농장

일본은 인구 고령화로 인해 수직 농장이 빠르게 발전하고 있다. 교토에 본사를 둔 Spread 수직 농장은 일본의 수직 생태계에서 가장 잘 알려진 기업 중 하나로, 9년 전에 설립된 채소 재배 회사이다. Spread 수직 농장은 작은 면적을 차지하며, 물 사용량이 적고, 농약을 사용할 필요가 없다. Spread는 지속 가능한 사회를 만들어 후손들이 마음의 평안을 얻을 수 있도록 하는 데 전념하고 있다. 현재 Spread는 상추 재배에 집중하고 있으며, 여러 실내 농장과 협력하여 딸기 재배도 시도하고 있다.(표 9)

[표 9] 일본 Spread 수직 농장

위치	일본 교토	
건설시간	2006년	
규모	일본 최대 규모의 수직 농장	
인지도	세계에서 가장 자동화된 수직 농장 중 하나로 알려져 있다.	
면적	3000 평방 미터	
		
공간		
(A)	(a)	색상:라이트 블루
		재료:유리 벽면, 스테인레스 스틸 스탠드, 시멘트 바닥
		모양:사각형

	(b)	햇빛 수요가 비교적 많은 채소는 건물의 남쪽에 심는다.보조 공간에는 온도 조절, 정보 수집 장치가 있음	
	(c)	층높이는 7m이다. 남쪽에서는 양지에 좋은 채소를 심고 북쪽에서는 음지에 좋은 채소를 심음 아래 진열대 공간도 충분함 설비 공간은 1 층에 배치함.	
(B)	(a)	작물농산물생산공간	
	(b)	도시폐기물처리공간 있음 재생에너지획득공간 확보 가능	
	(c)	정보수집장비공간 있음 온습도제어공간 있음	
기술요소			
(C1)	재배과정 70% 자동화, 로봇관리, 수확, 재배환경은 무균과 온도제어 가능		
	재래식농업용수의 1% 사용. 생산손실률은 10%.		
	살충제를 사용하지 않음		
	led 전등은 24시간 중단없이 농작물의 광합성을 도와주도록 구성		
	수경재배		
(C2)	물 재활용은 90%의 회수율 보임. 폐품을 40%p 줄이고, 생산효율은 100배 향상시킴		
(C3)	없음		무
(C4)	클라우드 소프트웨어는 센서를 모니터링하여 식물 성장을 추적. 시설 내 영양성분과 일조량을 조절할 수 있고, 신장질환자에게 적합한 저칼륨 상추 등 신제품을 개발할 수 있음. 무인 재배관리를 위해 사물인터넷과 인공지능을 활용.		
(C5)	온도, 습도, 일조 강도, 이산화탄소 및 기타 변수들을 정밀하게 조절하여 수확량과 품질을 일정하게 하며, 모든 배양 환경은 무균하고 온도 조절이 가능해 작물이 기후 영향을 최소화 함		

5-5 소결

위의 사례를 통해 수직 농장의 현황과 개선이 필요한 부분에 대한 소결은 다음과 같다.

공간 배치

환경 장식 색상, 재료 및 모양이 적절하였다. 대부분의 농장에서는 햇빛을 좋아하는 채소를 남쪽 방향으로, 그늘을 좋아하는 채소를 북쪽으로 심을 수 있지만 일부 수직 농장에서는 이러한 요소를 고려하지 않았다. 대부분의 농장의 바닥 높이는 덩굴식물의 성장에 도움이 되는 약 8m이다. 일부 농장의 높이는 덩굴식물의 성장에 도움이 되지 않는 것으로 나타났다.

공간 구성

농장은 농산물 생산공간, 에너지 공간, 보조공간으로 구성된다. 농산물 생산공간은 농산물 재배에 필요한 물리적 환경요구를 충족하고 있다. 일부 수직지역에는 도시폐기물을 처리할 공간이 없고 도시폐기물을 합리적으로 활용하지 못하는 경우도 있었다. 대부분의 농장에는 태양에너지, 풍력에너지, 빗물을 최대한 활용하는 재생 에너지를 위한 구성이 있었다. 보조 공간은 센서 네트워크, 사물 인터넷 등 첨단 기술을 사용해 온도, 습도 등을 정확하게 제어하고, 환경 제어 장치는 요구 사항을 충족할 수 있었다.

기술 요소

각 농장은 LED 조명, 가스 및 안개 재배, 무농약, 기계화 식재 및 수확 등 고도로 지능화된 선진 식재 기술을 보유하고 있었다. 그러나 일부 농장에는 지능이 부족한 것으로 나타났으며, 도시 폐기물, 폐수, 재생에너지를 활용하지 않는 농장도 있음을 확인할 수 있었다. 정보 수집 장비와 온도 조절 장비는 모두 갖추고 있었다.

6. 결론

도시화의 진전과 전 세계 경지 면적 감소 및 인구 증가로 인해 세계 식량 부족 문제가 심각해지고 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 스마트 농장의 도입을 제안한다. 스마트 농장의 개념과 공간 환경을 정리하고 공간 구성 설계 요구를 분석한 후, 미국 Aero Farms 수직 농장, 중국 베이징 수직 농장, 프랑스 Romainville 수직 농장, 일본 Spread 수직 농장의 공간 배치 특성을 사례 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 도시화의 빠른 진전과 전 세계 경지 면적 감소 및 인구 증가로 인해 발생하는 식량 부족 문제는 도시에 수직 농장을 건설함으로써 해결할 수 있다.

둘째, 수직 농장은 새로운 건축 형태로, 수직 농장의 공간 구성은 농산물 생산 공간, 에너지 절약 공간, 스마트 보조 공간이 필요하며, 수직 농장의 기술 요소는 농산물 생산 기술, 도시 폐기물 및 폐수 처리 기술, 재생 에너지 확보 기술이 필요하다고 판단된다.

셋째, 스마트 농장의 공간 구성 설계 요구를 분석하였다. 농작물 생산에는 일정한 물리적 요구가 필요하며, 농작물 성장 공간의 온도, 습도, 햇빛 등의 요구 사항을 합리적이고 에너지 절약적으로 충족시키는 방법

과 농산물 및 에너지 공간의 배치 방법, 농장의 스마트 장치 요구 사항에 대해 상세히 설명하였다.

미국 Aero Farms 수직 농장, 중국 베이징 수직 농장, 프랑스 Romainville 수직 농장, 일본 Spread 수직 농장의 사례를 분석하여 공간구성 특성을 알아보았다. 스마트팜을 분석하였다. 농장 공간 구성 요소로 농산물 생산 공간, 에너지 공간, 보조 공간의 존재 여부, 농산물 생산 공간이 농작물 성장의 물리적 환경 요구를 충족하는지 여부, 기술 요소로 농산물 생산 기술, 도시 폐기물 및 폐수 처리 기술, 재생 에너지 확보 기술의 존재 여부, 농장 내 환경 제어 장치가 요구 사항을 충족하는지 여부를 분석하였다.

분석 결과, 일부 스마트팜은 공간배치, 에너지기술, 식재기술 측면에서 매우 좋은 성과를 거두었지만, 농장 공간 배치가 완벽하고, 벽면이 잘 되어 있고, 다음과 같은 측면에서 여전히 개선이 필요한 스마트팜도 있음을 확인할 수 있었다. 투명한 유리로 만들어졌으며, 남 쪽에는 햇빛을 좋아하는 채소를, 북쪽에는 그늘을 좋아하는 채소를 심고 있었다. 농장 바닥 높이는 약 8m로 등산 야채의 성장에 더 도움이 되도록 구성하고 있었다. 에너지 기술 측면에서는 도시 폐기물 처리 공간과 도시 폐기물 및 폐수의 완전한 활용이 필요하다. 또한 태양에너지, 풍력에너지, 빗물을 최대한 활용하는 재생 에너지의 여지도 필요하다. 식재기술 측면에서는 첨단 센서, 사물인터넷 등 기술을 활용해 온도와 습도를 정확하게 제어하고, LED조명, 가스 및 미스트 재배, 무농약, 기계화 식재 등 고도의 지능화가 필요한 것으로 나타났다.

다섯째, 본문에서는 현재 일부 국가에서 시행 중인 생물 다양성 기술을 이용한 농작물 해충 방제와 관련된 내용은 이론과 실천적 뒷받침이 부족하여 포함하지 않았다. 또한, 농작물이 직접 햇빛을 받지 못하는 경우 이러한 농산물이 인체에 미치는 영향에 대한 추가 연구가 필요하다. 이 두 가지 연구가 진전되어 스마트팜에 적용될 수 있기를 기대한다.

또한, 본 연구가 기존의 제한된 도시 공간에서 수직 재배를 통해 세계 식량 부족 문제를 해결하고, 농업 생산 비용을 줄이며, 건강하고 친환경적인 농산물이 일상 생활에서 널리 사용될 수 있기를 바란다. 또한, 수직 농업이 새로운 농업 혁명을 이끌어가기를 기대한다.

참고문헌

1. 양기장, 장정보, 식물 공장 개론, 중국농업과학기술출판사, 2005 .
2. 추지영, 소효후, 시설 농업 환경 공학, 중국농업출판사, 2011.
3. 장을, 도시 농업과 지속 가능한 발전, 화학 공업 출판사 환경 과학과 공학 출판 센터, 2005.
4. 양페이링, 도시농업공정과과학기술의 혁신과 발전, 중국수리수력발전출판사, 2005.
5. 장취안궈, 메탄가스 기술과 그 응용, 화학공업출판사, 2009.
6. Sunjimyong, '국제 비교를 토대로 한 한국 스마트팜의 영향 요인과 대응방안 연구', 청다오과학기술대학 석사학위논문, 2021.
7. 무다웨이, '도시 건축의 농업 환경 적응성 및 관련 기술에 관한 연구', 텐진대학 박사학위논문, 2017.
8. Liu Ye, '수직적 농업에 대한 초보적 연구', 천진대학 건축학원, 석사학위논문, 2010.
9. Lee Jooryang, Choo Sujin, Lim Yeonghun, et al. A Study on the Improvement of Technology Policy for Smart Agriculture Field Approach, Institute of Science and Technology Policy, 2019.
10. 무자년, 장샤오파, 왕첼매, CO₂ 농도 상승이 가을잠을 자는 각이한 류형의 알팔초의 생장발육에 미치는 영향, 초업 과학, 2017.
11. 고소화, 곽건평, 모비, CO₂ 농도 상승이 식물 종자의 발아 및 잎에 미치는 영향, 자원 과학, 2000.
12. 이지화, 장싱촨, 천레이, CO₂ 체적분율 증가가 영경궈의 주요숙주식물의 종자발아 및 유묘생장에 미치는 영향, 원난농업대학학보 (자연과학판), 2014.
13. 장약림, 장경국, 악위, 대기 CO₂ 농도가 높아지는 것이 콩의 생장과 생산량에 미치는 영향. 중국 농학 통보, 2005.
14. 주세동, 서문연, 조관염, 비닐하우스 수박, 참외의 모종기에 CO₂ 가 증가하는 생리효과, 화중농업대학 학보, 2004(증보 2).
15. 고우, 최세모, 송양, CO₂ 가 토마토의 새싹의 생장 및 광합성 특성에 미치는 영향, 장쑤농업과학, 2018.
16. 황건엽, 양홍건, 동계춘 등이 있다, 개방공기의 CO₂ 농도 증가가 벼 생산량 형성에 미치는 영향, 응용생태학신문, 2002.
17. 고문해, 진건, 시설 농업의 현황 분석 및 전망, 농기계화 연구, 2004.
18. <http://www.pdxactionsports.com/>