

도시농업의 지속가능한 디자인 방향 연구

- 에어로포닉스(Aeroponics)와 수직농장을 중심으로 -

A Study on the Sustainable Design Method of Urban Agriculture - Focused on Aeroponics and Vertical Farms -

○김 예 립* 김 수 미**
Kim, Yerim Kim, Soomi

Abstract

The purpose of this study is to explore the form of sustainable urban farms. In particular, Korea faced the problems of land waste, environmental pollution, and aging rural areas due to agriculture, and agriculture is taking a leap into a new form as the hydroponic cultivation method deviating from soil cultivation develops worldwide. In addition, efforts are being made to restore the circulation structure of the urban ecosystem through a new agricultural method dealing with aeroponics that can save water. In order to design an architecturally sustainable agricultural space, the purpose of this study is to analyze domestic and foreign cases of agricultural spaces incorporating new agricultural technology in the city and consider vertical farm spaces for systems that can be applied in the city.

키워드 : 도시농업, 수직농장, 에어로포닉스, 온실형, 모듈형, 타워형

Keywords : Pharmaceutical market, place identity, aligned type, crossed type, interwoven type

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

유엔의 세계 인구전망 보고서에 따르면 2022년 기준 세계의 인구가 79억 명에서 2050년까지 97억 명으로 증가할 것으로 예상되며, 도시 인구는 무려 68%에 달 하하할 것이라는 연구 결과가 발표되었다. (UN, 2022) 또한 코로나 19팬데믹, 우크라이나 전쟁과 같은 문제로 인해 식량의 생산, 공급망 차질과 기후 변화로 인한 작황 부진이 식량 위기를 조성한다. 우리나라의 경우 대부분의 곡물을 해외 수입에 의존하고 있으며, ‘세계식량안보지수’를 보면 2022년에는 OECD 국가 가운데 32위로 심각한 수준이다.²⁾ 그러나 농업의 상황을 보면, 기존 농민의 고령화와 불안정한 물 공급으로 현재 농업 체계를 유지하는 것에는 한계가 있다. 우리나라는 식품 안보와 자급률을 향상하고, 도시 내 생태계를 복원하여 안정적인 식자재 공급을 위한 생산 및 관리 기술의 혁신이 필요하다. 이러한 상황에서 농업의 혁신 사례로서 수경 재배 방식을 활용하는 수직농장이 주목받고 있다. 더 나아가 수경재배의 단점을 완화하는 에어로포닉스(분무재배)의 성장으로 새로운 도시

농업의 가능성이 제기되고 있다. 에어로포닉스를 활용한 수직농장은 도시의 인구 증가와 제한된 공간의 제약에 대비해 도시민들에게 식량을 제공할 수 있는 역할을 하며, 미래 세대들이 자연 생태계 가치와 자연을 이해할 수 있는 교육의 장으로도 활용할 수 있다.

따라서 본 연구는 전통 농업인 토경재배에서 벗어나 적은 물로 높은 생산력을 갖춰 제한적인 환경에서 농작물 공급이 가능한 에어로포닉스 재배를 활용할 수 있는 도시 농업 공간을 탐구하여 도시농업의 지속가능한 디자인 방향을 연구하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구의 방법은 에어로포닉스와 수직농장의 개념에 대해 알아보고 관련 사례를 비교 분석하는 것으로 이루어진다. 에어로포닉스를 활용한 농업과 기존 토경재배, 수경 재배를 활용한 농업의 자원 활용 비율을 조사하였으며, 에어로포닉스가 가지는 생산력을 알아보기 위해 서울특별시 동작구 흑석동을 예시로 채소 소비량에 만족하는 재배량과 재배에 필요한 공간의 면적을 확인했다. 또한 다양한 재배 방식을 채택하는 수직농장 사례들을 비교 분석하여 차세대 도시농업을 위한 공간을 비교 연구한다.

2. 에어로포닉스와 수직농장의 고찰

2.1 에어로포닉스의 개념 및 특성

에어로포닉스는 NASA의 토양 환경에서 벗어난 식물 성

* 송실대 건축학부 학사과정

** 송실대 건축학부 부교수, 공학박사

(Corresponding author : School of Architecture, Soongsil University, soomikim@ssu.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2021R1F1A104582).

²⁾ 해외곡물시장 동향 제12권 제2호, 김종진, 김범석(2023.04)

장에 대한 연구를 기반으로 발전한 농업의 기술이다. 토양에 식물 뿌리를 심는 전통적인 농업 방식 ‘토경재배’와 다르게, 식물 뿌리를 공중에 노출해 영양분과 물을 직접 뿌리에 분무하여 식물을 재배하는 농업 방식이다. 에어로포닉스를 기존 농업 방식과 비교했을 때의 특성은 다음과 같다. 기존 토경재배에 필요한 물이 100퍼센트라고 했을 때, 뿌리를 물에 담근 채 수확하는 ‘수경재배’는 30퍼센트의 물이 필요하며, 에어로포닉스(분무재배)는 9퍼센트의 물이 필요하다. 또한 수경재배 방식에 비해 필요한 물탱크의 용량이 적기 때문에 하중 문제에도 자해유류다. 또한 뿌리 성장에 유리해 식물의 성장 속도가 기존 방식들보다 빠르다는 이점이 있다. 건축적으로는 경작지가 토경재배 대비 90퍼센트 줄어들어 건축 면적이 제한적인 도심에서 활용하기에 적합하다.

현 농업이 전 세계 담수 사용의 70%를 차지한다는 점에서 에어로포닉스의 활용은 전 세계 식량과 물 수요의 증가에 대비하는 해결책이 될 수 있으며, 에어로포닉스 시장은 2023년부터 2028년에 걸쳐 41억 3,000만 달러 확대되고, 예측 기간 중 연평균 복합 성장률(CAGR)은 25.89%를 나타낼 것으로 예측된다.³⁾

따라서 건축적 측면에서 이 기술을 활용하는 도시농업 공간을 탐구할 필요성이 있다.

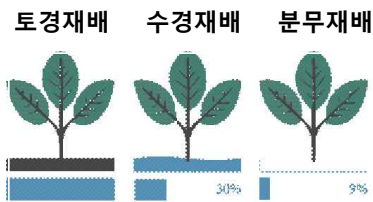


그림1 농업방식에 따른 물 사용량 (출처: 저자 작성)

2.2 에어로포닉스 활용 분석

서울특별시 동작구 흑석동을 한 예시로 인구 당 채소 소비량을 측정하여 채소 재배에 필요한 노지 면적과 에어로포닉스 재배 면적을 비교하여 에어로포닉스의 효율성을 따져본다. 흑석동의 인구수는 2023년 12월 기준 27,504명이다. 국내 채소류 소비량은 1년 약 150.0kg으로 흑석동 인구의 1년 채소 소비량은 $27,504 \times 150.0(\text{kg}) = 4,125,600(\text{kg}) \approx 4,126(\text{t})$ 이다. 국내 채소류 재배 면적과 국내 채소 생산량으로 비교했을 때 1ha의 면적에서 약 36.5(t)의 채소가 재배된다. 따라서 노지에서 전통 방식으로 재배하는 경우 흑석동 1년 채소 소비량 공급을 위해서

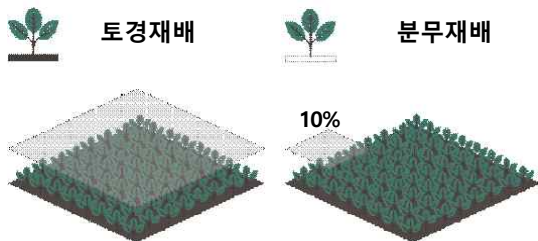


그림2 토경재배와 에어로포닉스의 토지 사용량 비교 (출처: 저자 작성)

는 노지 113.0(ha)가 필요하다. 이에 비해 에어로포닉스 방

식으로 재배하는 경우 토경재배 경작 면적의 1/10이 필요하므로 $11.3(\text{ha}) = 113,000\text{m}^2$ 의 면적이 필요하다. 따라서 흑석동의 약 6,000m² 부지에 19층의 에어로포닉스 수직농장이 있다면, 흑석동 주민들은 1년간 신선한 채소를 자급자족할 만큼 확보가 가능하다는 것을 말한다.

2.3 수직농장의 개념

수직농장은 ‘도시농업’의 일부를 차지하는 개념으로, 1999년 콜롬비아 대학의 덕슨 테스포미어 박사에 의해 제시되었다. 농경지 부족 현상의 해소 및 도시공간의 농지 활용, 인구 증가에 따른 식료품 수요 증가와 기후 변동 등 사회문제, 환경문제 등에 대응하기 위해 도출된 개념이다. 식물공장에서 진보된 개념의 수직농장은 기존의 수평적인 농업용지를 수직으로 쌓아 토지를 효율적으로 사용하고자 하는 것으로, 생태가 그 기능을 재생시킬 수 있도록 건물의 수평적 크기를 줄인다는 개념이다. 특히 수직농장은 쇠퇴한 도시지역에서 유휴공간을 친환경적, 집약적으로 활용할 수 있는 중요 수단 중 하나이다.⁴⁾

3. 사례 분석

도시 속 수직농장으로서 지속 가능한 농업 방안을 담고 있는 여섯 가지 사례를 선택했다. 공간 유형을 파악하기 위해 디자인 형태에 따라 온실형, 모듈형, 타워형으로 구분하여 <표 1>로 정리하였다.

3.1 온실형

(1) Vertical Urban Farm(버티컬 어반 팜)

개발도상국의 농업 공간이 줄어드는 것을 고려하는 것에서 시작한 이 사례는 파리 교외 로맹빌에 위치한 수직농장이다. 수직 농장의 1층은 교육용 정원과 식당, 작업장으로 계획되었으며, 2층 이상으로 작물 생산을 위한 재배 공간으로 계획되었다. 각각 원예용 온실과 산업 용도의 건물로 구분된 두 채의 건물을 1층 교차로에서 이어준다. 햇빛과 자연환기를 극대화하는 온실을 통해 도시에서 농산물 생산이 가능하게 한다. 이 지역 건축 특성인 박공지붕 형태를 참조해 빗물을 모으고, 천장의 유리는 두 방향으로 열리며 햇빛을 이용하거나 그늘을 만드는 형식으로 식물을 관리한다.




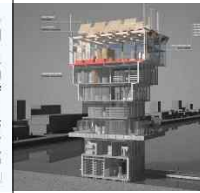
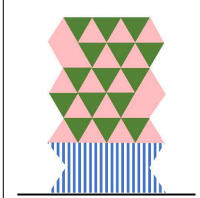
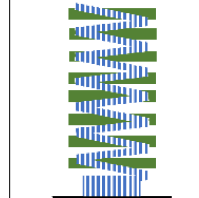
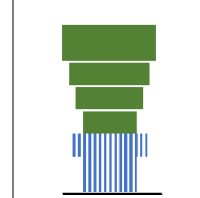
(2) Vertical Farm Beijing(버티컬 팜 베이징)

버티컬 팜 베이징은 중국 농업 과학 아카데미 CAAS에 위치한 중국 최초 도시 식품 생산 혁신 센터이다. 투명한 3층 건물의 입구는 연구 시설로서 베이징 시내의 도시와 순환 도로를 내려다볼 수 있다. 홀 주변으로는 수직 재배 시스템이 둘러싸고 있으며, 교육 통로에는 과일나무와 베리나무, 자동화 상추 재배 시스템, 토마토와 오이 온실이 있다. 새로운 유형의 건물로서 중국 대도시 주민들에게 친환경적이고 건강한 음식을 공급하기 위해 통합된 생산 시

³⁾ Global Aeroponics Market 2024-2028, Global Information(2023.11)

⁴⁾ 탄소중립 시대 도시농업 정책 동향 및 국내외의 사례 분석, 국토연구원(2022.11)

표1. 사례 분석

분류	온실형		모듈형		타워형	
	Vertical Urban Farm	Vertical Farm Beijing	The Farmhouse	GLASIR	VERTICAL FARM -SEOUL	Super Farm
*사진						
건축가		Kolpa		FRAMLAB	ZAA	NAB
연도	2021(준공)	2023	2017(계획)	2018 (착공)	2017(계획)	2019(계획안)
대지면적	2 060 m ²	3,500m ²	-	-	20,120m ²	-
규모	B1, 7F	3F	18F	파빌리온	30F	6F
농업 유형	토경재배	에어로포닉스	수경재배	에어로포닉스	수경재배	수경재배, **아쿠아포닉스
특징	유기적 건축 자재, 자연환기 시스템	투명한 교육의 장, 자원 순환 시스템	목재 A형 프레임 모듈의 적층, 자급자족형 주거	농업의 거리화, 나무 성장 시스템 적용	경사로 연결로 접근성 강화, 물길 조성	바닥 면적 확보를 위한 면적 증가 전략
단면 및 시스템						
*** 다이어그램						

* 사진 출처 : (1) “Vertical Urban Farm”, archdaily, <https://www.archdaily.com/tag/vertical-farming> (2) “Vertical Farm Beijing ”, archdaily, <https://www.archdaily.com/1014197/vertical-farm-beijing-van-bergen-kolpa-architects> (3) “The Farm House “, dezeen, <https://www.dezeen.com/2019/02/22/precht-farmhouse-modular-vertical-farms/amp/> (4) “Glasir “, framlab, <https://www.framlab.com/glasir> (5) “VERTICAL FARM -SEOUL” , ZAA, https://zaa.archi/portfolio_page/vertical-farm-seoul/ (6) “Super Farm” , archdaily, <https://www.archdaily.com/911677/studio-nab-designs-a-floating-urban-farming-tower-for-future-cities>

**아쿠아포닉스: 물고기 양식(Aquaculture)과 식물의 수경재배(Hydroponics)를 결합한 신기술로, 물고기를 키우면서 발생하는 유기물을 이용해 식물을 수경 재배하는 순환형 친환경 농법을 말한다.

*** 다이어그램 출처 : 저자 작성

**** 범례  재배 공간 || || || || || || || || 공용 공간  주거 공간

스텝을 제안한다. 또한 식물에 공급하고 남은 물을 재활용하거나 증발을 기반으로 실내 온도 조절 장치를 통해 자연환기 및 냉방을 하고, 태양열과 조명의 잔열을 난방에 사용하여 물과 에너지의 지속 가능한 사용을 추구한다.

3.2 모듈형

(3) The Farmhouse(더 팜하우스)

모듈러 시스템을 통해 주거용 타입과 농업용 타입을 교차하여 자연과 사람의 연결을 추구하는 주거형 수직농장이다. A형 목재 프레임을 적용하는 구조로서 30층 이상

적층이 가능해 발전 가능성을 가지고 있다. 모듈의 벽들은 세 개로 구성되어 있는데, 내부층은 마감재, 전기 및 파이프를 포함하고, 중간층은 구조와 단열, 외부층은 원예와 물을 공급하는 역할을 한다. 주민들은 필요에 따라 정원 요소를 수정하고, 재배한 농산물을 건물 저층의 실내 농산물 시장에서 공유하거나 팔 수 있다. 정원 모듈은 빗물을 여과하여 정수 처리 시스템으로 영양분을 주입한 후 온실에서 이용되며, 음식물과 유기성 폐기물은 건물 지하실에 수집, 퇴비화되어 다음 계절에 재사용되는 방식으로 지속 가능성을 달성한다.

(4) GLASIR(글라시르)

에어로포닉스 성장 모듈을 활용해 도심 속 낙후된 지역을 대상으로 신선한 채소 공급을 목적으로 한 사례로서, 식량 자원 확보를 위한 진보적인 시스템을 고안했다. ‘나무’의 특징을 연구해 자라나는 모듈을 제안했으며, 각 모듈의 입면들은 태양광 패널로서 재배에 필요한 에너지를 자체 생산한다. 나무 기둥을 둘러싼 데크와 모듈 사이의 데크가 거리의 놀이터, 휴식 공간으로 사용된다. 현재는 직접 농작물을 수확해야 하지만, IoT 기술과 드론 사용의 발전에 따라 도시 곳곳에 쉽게 채소를 공급할 수 있는 미래 모습을 기대한다.

3.3 타워형

(5) VERTICAL FARM -SEOUL(버티컬 팜 -서울)

서울 청계천로에 계획된 수직농장 및 식물원 프로젝트로서, 농업 규모를 도시화하고 도시 규모를 인간화하는 것을 과제로 한 수직농장이다. 신선한 자원을 공유하고 공동체 의식을 키울 네트워크를 위해 청계천으로부터 건물 옥상까지 이어지는 램프를 조성하였다. 전망대와 갤러리를 최상층과 옥상에 배치하여 방문자가 자연스럽게 올라올 수 있도록 배치하였으며, 빗물 수집과 재활용 기능을 하는 시스템을 고층에 두었다. 연구실과 축산 공간이 그 아래로 이어지고, 중간층에 농축산물 재배 시설을 두었다. 지상층과 청계천으로 연결되는 저층부에는 농산물 상점점과 커뮤니티 시설을 두어 접근성을 높였다. 농업에 필수적인 수자원을 쉽게 얻을 수 있는 강변에 계획된 프로젝트이다. 각 층이 올라감에 따라 면적이 점점 넓어지면서 좁은 공간에 계획할 수 있도록 설계되었으며, 온실과 아쿠아포닉스, 조류 배양, 곤충 사육 공간이 각 층에 배치된 타워형 수직농장이다.

(6) Super Farm(슈퍼팜)

슈퍼팜은 증가하는 세계 인구, 도시화와 전통적인 농업 방식의 대안으로서 농업에 필수적인 수자원을 쉽게 얻을 수 있는 강변에 계획된 수직농장 프로젝트이다. 각 층이 올라감에 따라 면적이 점점 커지면서 좁은 공간에도 활용할 수 있도록 설계되었으며, 셀러드, 과일 및 채소로 제한되는 전통적인 도시 농장의 유형론에서 벗어나 생선, 꿀과 같은 다양한 식품 생산에 관심을 넓혔다. 온실과 아쿠아포닉스, 조류 배양, 곤충 사육 공간이 각 층에 배치되었고, 해조류 양식과 양봉도 포함하여 도시 환경에서 생태계를 재현하고자 했다.

3.4 소결 : 비교연구 종합

앞서 설명한 6가지 사례는 자연과 사람이 공존하고, 도시와 농업이 공존함에 따라 기존의 농업 방식에서 벗어나 인구 증가와 환경오염 등의 문제를 적극적으로 해결하고, 자연과 상생하는 생태계를 조성하는 것에 의미가 있다. 사례들로 본 각 유형의 특징을 살펴본 결과는 다음과 같다. 온실형의 경우 자연환기와 IoT 기술의 접목으로 다양한 시스템을 통해 식물을 관리할 수 있고, 투명성으로 건물 내부의 식물 재배나 자연의 모습을 바깥으로 드러낼 수 있다. 모듈형은 식물 재배 시스템의 확장 가능성과 주변 환경으로의 적응력이 큰 특징으로 보인다. 마지막으로 타워형은 좁은 도시 공간에서 최대한의 효율로 재배할 수 있고, 각각의 방식으로 도시 주변 텍스트와 자연스럽게 연결하는 노력이 필요한 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 지속 가능한 도시 농업의 디자인 유형을 알아보는 것에서부터 시작되었다. 식량난과 환경오염을 해결할 수 있는 지속 가능한 농업이 가능하도록 건축 공간이 뒷받침할 수 있을 것이라는 기대가 된다. 연구를 통해 얻어낸 것들을 세 가지 측면에서 정리하면 다음과 같다.

첫째, 여섯 가지 사례를 통해 전 세계적 문제인 식량난과 환경오염을 줄일 수 있는 지속 가능한 수직 장이 꾸준히 제기되고 있다는 점이다. 자연과 인간이 공존하고, 농업과 도시가 공존할 수 있도록 에어로포닉스라는 새로운 농업 기술과 함께 수직농장 디자인이 시대에 맞춰 발전할 것이다.

둘째, 주목할 점은 수직농장이 온실형, 모듈형, 타워형으로 세 가지 형태로 나뉘는 것에서 건축적으로 적용할 수 있는 프로토타입이 구체적으로 제안되고 있다는 점이다. 계속해서 진화하고 있는 농업 기술이 건축 공간에 담겼을 때 자연을 지지하고 생태계를 새로이 구축할 수 있다는 점이 의미가 있다.

셋째, 사례조사를 통해 살펴본 결과 식물공장이 아닌 수직농장으로써 사용되고 있는 실제 사례가 많지 않다는 점이 아쉬움으로 남는다. 이번 연구에서는 사례 중 과반수가 계획안이라는 것이 한계점이었으며, 이 연구를 바탕으로 후속 연구에서는 실현된 사례를 통해 좀 더 구체적인 방향으로 분석이 이루어지길 기대한다.

참고문헌

2. 해외곡물시장 동향 제12권 제2호, 김종진, 김범석 (2023.04)
3. Global Aeroponics Market 2024-2028, Global Information(2023.11)
4. 탄소중립 시대 도시농업 정책 동향 및 국내외 사례 분석, 국토연구원(2022.11)