



RESEARCH ARTICLE

온실의 에너지 소비에 대한 연구 동향 고찰

송수빈¹ · 윤성환^{2*}¹부산대학교 건축학과 대학원과정, ²부산대학교 건축학과 교수

Domestic Research Trends in Greenhouse Energy: A Comprehensive Review

Song, Su-Bin¹ · Yoon, Seong-Hwan^{2*}¹Ph.D Candidate, Division of Architecture, Pusan National University, Busan, Korea²Professor, Division of Architecture, Pusan National University, Busan, Korea

***Corresponding author:** Yoon, Seong-Hwan, Tel: +82-51-510-6224, E-mail: yoon@pusan.ac.kr

ABSTRACT

In the wake of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report, an array of supplementary studies has been undertaken to investigate the repercussions of climate change on crop production and associated variables. The results reveal a decline in global average yields of major crops, including corn, wheat, and soybeans, by 4.1%, 1.8%, and 4.5%, respectively, in comparison to the pre-industrial climate era. This phenomenon portends a further exacerbation of food security concerns with a projected additional temperature increase of 1.5°C in the foreseeable future. The emergence of sustainable agricultural practices, encompassing greenhouse cultivation and advancements in smart farming technology and markets, has gained traction. Greenhouse farming, characterized by its capacity for consistent crop production irrespective of weather conditions, presents a viable solution. However, it is incumbent upon us to address the energy-intensive nature of greenhouse operations, which necessitate heating, cooling, and lighting. In pursuit of sustainable agriculture and bolstered food security, a paradigm shift toward energy-efficient smart farming practices tailored to the local context is imperative. This study undertakes a comprehensive analysis and discourse on prevailing trends in domestic research pertaining to energy in smart farming. The aim is to provide foundational insights that can underpin future research endeavors focused on innovative low-energy greenhouse design techniques.

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2024 February, 18(1): 26-36
<https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20240003>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: January 2, 2024

Revised: February 16, 2024

Accepted: February 20, 2024

© 2024 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

연구의 배경과 목적

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 5번째 기후변화보고서 발표 이후 기후변화가 작물 생산 및 관련 변수에 미치는 영향을 문서화하는 추가 연구가 진행되었다. 그

결과에 따르면 산업화 이전 기후에 비해 옥수수, 밀, 대두의 세계 평균 수확량이 4.1%, 1.8%, 4.5% 감소한 것으로 나타났으며, 앞으로 1.5°C 의 추가적인 기온상승이 발생할 경우, 식량안보는 더욱 악화될 것으로 예측되었다.

특히 한국의 경우, 기후변화에 따른 식량 위기에 더욱 취약한 상황이다. 농림축산식품부의 발표에 따르면 2021년 국내의 전체 식량자급율은 44.4% 곡물자급율은 20.9%로 OECD 국가중 최하위 수준이며, 세계식량안보지수 또한 전체 국가중 39위 수준으로 기후위기로 인한 식량 공급의 불안정에 대해 더욱 취약할 수밖에 없다.

이에 정부에서는 ‘농업, 농촌 및 식품산업 기본법’, ‘스마트팜 확산방안’ 등 관련 법령 및 상위계획에 따라 농업의 생산성 향상, 산업 인프라 구축 등을 목적으로 스마트 농업 육성 정책 및 사업을 시행 중이다.

스마트 농업의 대표적인 형태인 ‘스마트 온실’의 경우, 최적 생육환경 제어가 가능하여 농작물의 생산량이 노지농사 대비 최대 11배까지 높다는 장점이 있으며, 특히 최근 시도되는 수직농장의 경우, 경작지 개간을 위한 산림의 훼손이 적으며, 물의 재사용으로 수자원을 아낄 수 있다는 장점까지 있다. 그러나 이 같은 실내 경작 시설의 경우, 냉난방을 위한 에너지와 생육에 필요한 조명 에너지를 필요로 하기 때문에 최적 생육 환경을 유지하기 위해 드는 에너지 비용은 전체 경영비의 30~40% 최대 60%까지 발생하는 것으로 알려져 있다(Lee, 2022).

지속가능한 농업과 먹거리를 위해서는 국내 실정에 맞는 에너지 절감형 실내경작시설, 스마트 온실에 대한 고민이 필요하다. 이에 본 연구에서는 국내 온실의 에너지 관련 연구 동향을 분석·고찰하여 향후 저에너지 온실 설계 기법 연구의 기초 자료로 활용하고자 한다.

연구의 방법 및 범위

온실의 경우, 기후대와 지역의 농경 문화에 따라 그 규모와 형태가 상이한 바, 이번 연구의 연구문헌 조사의 범위는 국내로 한정하고, 외피의 단열 성능이나 냉난방 설비 등에 대한 기준을 검토하기 위해 국내 규격을 우선 검토하였다.

국내 기준이나 규격은 관련 법규와 KS (Korean Standards) 검토를 진행하였고, 기술 및 연구동향 분석은 KCI (Korea Citation Index, 한국학술지인용색인)을 활용하였다.

온실의 에너지 연구와 관련된 KCI 등재논문 183편을 대상으로 하였으며, ① 시계열별 연구 동향, ② 에너지 절감에 대한 접근 방안과 세부 기술, ③ 연구 방법에 대한 분류 및 분석을 진행하였다.

온실하우스 에너지 소비와 관련된 연구 동향 고찰

국내 규격

관련 연구 동향 분석에 앞서 국내 온실 에너지 관련 기준이나 규격에 대한 선행 조사를 진행하였다. 국내의 경우, 시설 원예가 가설 건축물로 분류되어 별도의 건축물 단열, 에너지 기준에 대한 규제를 받지 않도록 되어 있다.

다만 시설물의 안전을 위해 1997년 국내 유리온실 표준 설계도가 최초 작성되었고, 2001년 농가 보급형 자동화 하우스 표준설계서가 작성된 이후 수정·보완되어 2010년에는 원예·특작 시설 내재해형 규격 설계도 시방서가 제공되고 있다. 2017년에 들어서야 ‘원예·특작시설 내재해 설계기준 및 내재해형 시설규격의 등록 등에 관한 규정’이 시행되었다.

관련된 규격은 국가 산업표준인 KS (Korean Standards)와 단체표준인 SPS (Standards of Private Sectors)에서 온실 및 스마트 온실과 관련된 내용을 규정하고 있다.

Figure 1은 국내의 KS 규격을 정리한 내용이다. 현대화된 온실에서 필수로 사용되는 동력 개폐기나 연결부품이 제조사별로 차수가 상이하여 온실 시공 및 유지보수에 불편을 초래함에 따라 KS B 7929, KS B 7705 등의 규격에서는 부품의 치수 및 규격을 특정하고 있다.

스마트 온실의 도입과 시장성장에 따라 2022년 이후 KS X 3265~67 외 규격들이 새롭게 개정 혹은 제정되었다. KS X 3265에서는 스마트 온실에 적용되는 ICT (Information and Communication Technology) 장치의 설치, 유지관리, 활용이 용이하도록 천창, 측창, 차광막 등의 주요 구성품 9가지에 대한 기계적, 전기적 연결규격과 작동방식에 대해 기술하고 있다. KS X 3266은 온습도, 일사, 풍량 등, 13종 센서의 측정 범위와 기계적, 전기적 연결 규격, 센서 사용의 예에 대해서 설명하고 있다. 또한 KS X 3268~3269에서는 구동기와 센서를 통해 수집되는 데이터 타입과 단위, 메타데이터 구성 등을 표준화하여 다양한 인터페이스 프로토콜에서 사용 가능하도록 하며, 생육 환경을 최적화하기 위한 알고리즘 개발의 기본 자료로 활용될 수 있도록 지원한다.

Korean standards regarding the primary equipment in greenhouse
KS B 7929 (2019) Dimensions of driving shafts and connecting sockets of vinyl roll-up-down device for greenhouses
KS B 7705 (2020) Dimensions of driving shaft and connecting socket of geared motors for greenhouse curtain rollers
KS B 7952 (2022) Agricultural irrigation equipment — Nutrient solution supplier — General requirements
KS B 7955 (2022) Smart greenhouse — nutrient solution supplier — control information and data collection requirements

Korean standards regarding the Interface of smart greenhouses
KS X 3265 (2022) Interface for actuators in smart greenhouses
KS X 3266 (2022) Interface for sensors in smart greenhouses
KS X 3267 (2022) RS485-based modbus interface for integration control between smart greenhouse sensor-actuator nodes and greenhouse central controller
KS X 3268 (2022) Metadata for smart greenhouse actuators
KS X 3269 (2022) Metadata for smart greenhouse sensors
KS X 3286 (2022) Registration procedure and technical specification for RS485/Modbus-based smart greenhouse node_device.
KS X 3287 (2022) Metadata for smart greenhouse nodes
KS X 3288 (2022) RS485-based modbus interface between smart greenhouse central controller and nutrient solution device nodes

Figure 1. Korean Standards for Greenhouses

온실과 관련된 단체 표준인 SPS는 국가 표준에서 다루고 있지 않지만 실제 운영을 위해 표준화가 필요한 장비 등의 규격에 대해 다루고 있으며, 주로 한국농업기술진흥원과 한국농기계공업협동조합이 주도로 한다.

단체 표준에서 제정한 각 규격의 내용을 따라가면 국내의 온실과 스마트 온실의 기술이 어떤 방향으로 이어지는지 알 수 있다. Figure 2에서와 같이 1989년 온실용 비닐개폐기와 환기 팬 셔터의 주요 치수 등 온실 환경을 제어하는 장비에 대한 규격을 시작으로 온실 전체의 구조

와 품질 등에 대한 규격으로 확대, 2022년 이후에는 스마트 온실 제어를 위한 인터페이스와 메타데이터에 대한 규격으로 확대되고 있다.

SPS X FACT 0020-7567에서는 ‘첨단 과학기술이 접목되어 작물의 최적 생육 환경을 제공하는 지능화된 온실’로 스마트 온실을 정의하고 있으며, 기본개념 외 범위와 구성도에 대해서도 정보를 제공하고 있다. SPS X KOAT-0004-7466에서는 센서와 구동기 사이의 구체적인 시험방법을 제시하고 있고, SPS X KOAT-0005-7467에서는 제어형 노드와 같이 자체 제어기능을 가진 노드의 표준화된 인터페이스를 제안하여 스마트 온실의 상호 연동성을 개선하였다.

Standards of Private Sectors for Greenhouse	
SPS KAMICS B091 1999-0113 (1989)	Main dimensions of the attachment for supporting the power vinyl switch for greenhouse
SPS KAMICS B094 1999-0117 (1989)	Main dimensions of ventilation fan shutter for greenhouse
SPS KAMICS-B7932-144-5648 (2014)	Main dimensions of greenhouse ventilation fan frame attachment part
SPS B KAMICS 155-7530 (2022)	Structure and quality of northern greenhouse – Part 1: Daylight greenhouse
SPS X KOAT-0004-7466 (2022)	Test method for RS485 modbus interface between sensor/actuator node and greenhouse integrated controller in smart greenhouse
SPS X KOAT-0005-7467 (2022)	RS485 modbus Interface between controllerable node and greenhouse integrated controller in smart greenhouse
SPS X KOAT-0006-7468 (2022)	Growth information metadata for fruits and vegetables in smart greenhouse (Eggplant, red pepper, mini cucumber, cherry tomato, cucumber, tomato, paprika, strawberry, melon, oriental melon)
SPS X KOAT-0008-7469 (2022)	Smart greenhouse cut flower growth information metadata (rose)
SPS X KOAT-0007-7471 (2022)	Smart greenhouse leafy vegetable growth information metadata (lettuce)
SPS X FACT-0022-7554 (2023)	Transmission control protocol between smart greenhouse node and greenhouse integrated controller
SPS X FACT-0020-7567 (2023)	Smart farm — basic conception and structure

Figure 2. Standards of Private Sectors for Greenhouses

국내 연구 동향

온실과 에너지를 주요 키워드로 하는 183개 등재 논문 중 관련도가 유의미하다고 판단되는 149편의 논문을 대상으로 분석을 진행하였다. Table 1은 게재된 학술지의 종류에 따른 분류이다. 생활환경조절학회지에서 총 74편(49.7%)의 가장 높은 빈도로 온실의 에너지와 관련된 논문이 게재되었고, 뒤를 이어 농업생명과학연구학회에서 12편(8.1%)이 게재되었다. 건축학회를

Table 1. Classification by academic journal

Name of Journal	Number of Papers	Percentage
Journal of Bio-Environment Control	74	49.7
Journal of Agriculture & Life Science	12	8.1
Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers	8	5.4
Journal of the Korean Solar Energy Society	6	4.0
Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society	6	4.0
Journal of the Korean Society of Mechanical Technology	4	2.7
Korea Institute of Ecological Architecture and Environment	4	2.7
Korean Society for Agricultural Machinery	4	2.7
Horticultural Science & Technology	3	2.0
Journal of the Architectural Institute of Korea	3	2.0
Journal of Knowledge Information Technology and Systems	2	1.3
New & Renewable Energy	23	15.4

포함한 건축 관련 학회에 게재된 건수는 총 16편(10.7%)으로 그 비중이 높지 않다. 이는 아직 온실이 건축 영역보다는 농업용 가시설물로 인식되고 있기 때문인 것으로 판단된다.

(1) 시계열별 연구 동향

온실의 에너지와 관련된 연구는 2002년 이후 첫 문헌을 시작으로, 꾸준한 증가 추세에 있다. 관련 연구를 에너지 절감 기법에 대한 접근 방식으로 한 번 더 세분화하여 액티브와 패시브 기술에 대한 기술 및 기법을 시계열 분석하였고, 이를 그래프로 표현하면 Figure 3과 같다.

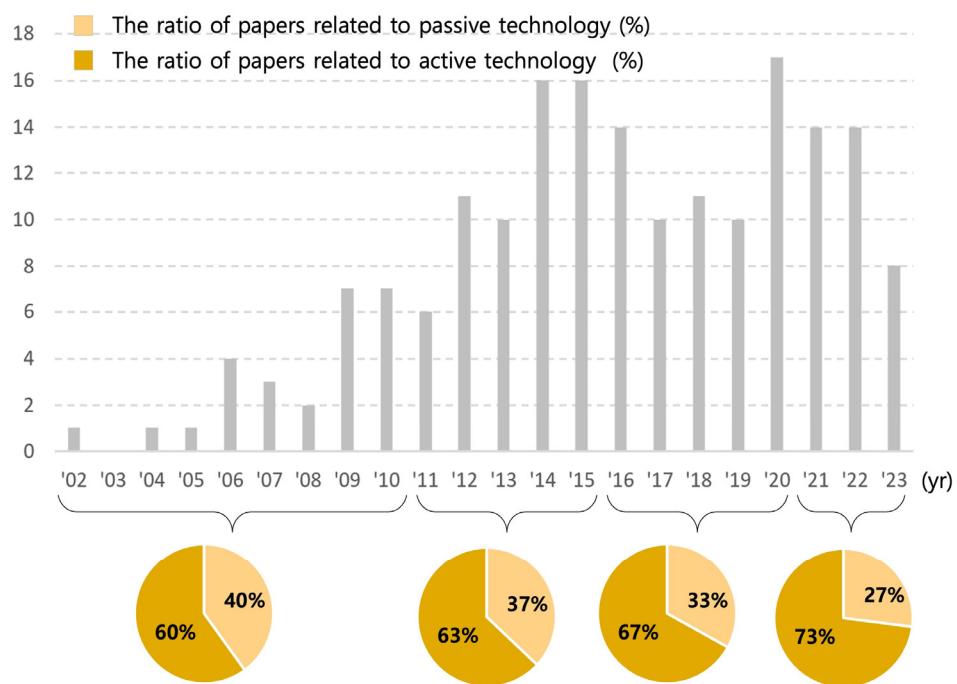


Figure 3. Time-Series Research Trends in Greenhouses and Energy

온실에 적용된 대표적인 액티브 기술 요소는 온실에 가장 흔하게 적용되는 FCU (Fan Coil Unit), 히트펌프 효율 등 설비에 대한 연구와 태양광과 지열을 활용한 신재생 에너지 시스템 등으로 구성되어 있으며, 패시브 기법은 단열 외피와 차양이 대표적이다. 연도별 온실의 에너지 효율과 관련된 기술을 구분하여 분석하면 2010년 이전까지 액티브 관련 기술이 60%에서 2020년 이후 70% 이상까지 점차 증가하는 추세이며, 패시브적 접근보다는 설비와 기계적인 접근을 통해 에너지를 절감하려는 시도가 많았음을 알 수 있다.

(2) 온실 에너지 절감 기술별 분류

온실의 에너지 소비와 관련된 연구를 ① 온실의 에너지 소비량 분석, ② 온실의 온열환경 분석, ③ 기타 경제성과 기후 분석에 대한 연구로 구분하였다.

온실의 에너지 소비량 분석은 접근 방식에 따라 패시브와 액티브 방식으로 한 번 더 구분하고, 세부적인 접근 방식을 분석하였고, 이를 Figure 4로 정리하였다. 분석 결과, 액티브 절감 기술과 관련된 논문이 38.9%로 가장 높게 나타났다. 적용된 액티브 기술을 다시 세분화하여 분석하면, 신재생 에너지 관련 연구가 41.4%로 가장 활발히 진행 중이다. 특히 태양열이나 지열, 축열조가 연동된 시스템의 실증 연구가 주를 이루고 있으며, 여러 개의 시스템이 연동된 하이브리드 방식에 대한 연구가 높은 비중을 차지한다(Jeon et al., 2015).

Kim and Choi (2017)의 연구에서는 지열과 태양열을 활용한 트럼월 시스템 시험체를 제작하고, 트럼월 축열관의 길이, 단열여부, 흡입과 배기구의 유속에 따른 난방 효과를 실험과 시뮬레이션을 통해 성능 검증하고 있다.

신재생 에너지 외 액티브 기술에 대한 연구는 온실에 가장 높은 빈도로 적용되고 있는 히트 펌프와 FCU, 축열조의 적정 용량 산정과 성능 검증에 대한 연구가 있다.

액티브 기술에 이어 패시브 기술에 대한 연구 건수는 20.8%를 차지한다. 패시브 기술을 또 다시 세분화하면 외피 사양 및 개폐에 따른 냉난방 부하나 에너지에 대한 연구가 38.7%로 가장 높게 났고, 이어서 차양의 제어나 온실의 형태, 외피와 차양의 효과를 종합적으로 평가하는 연구가 진행되고 있다.

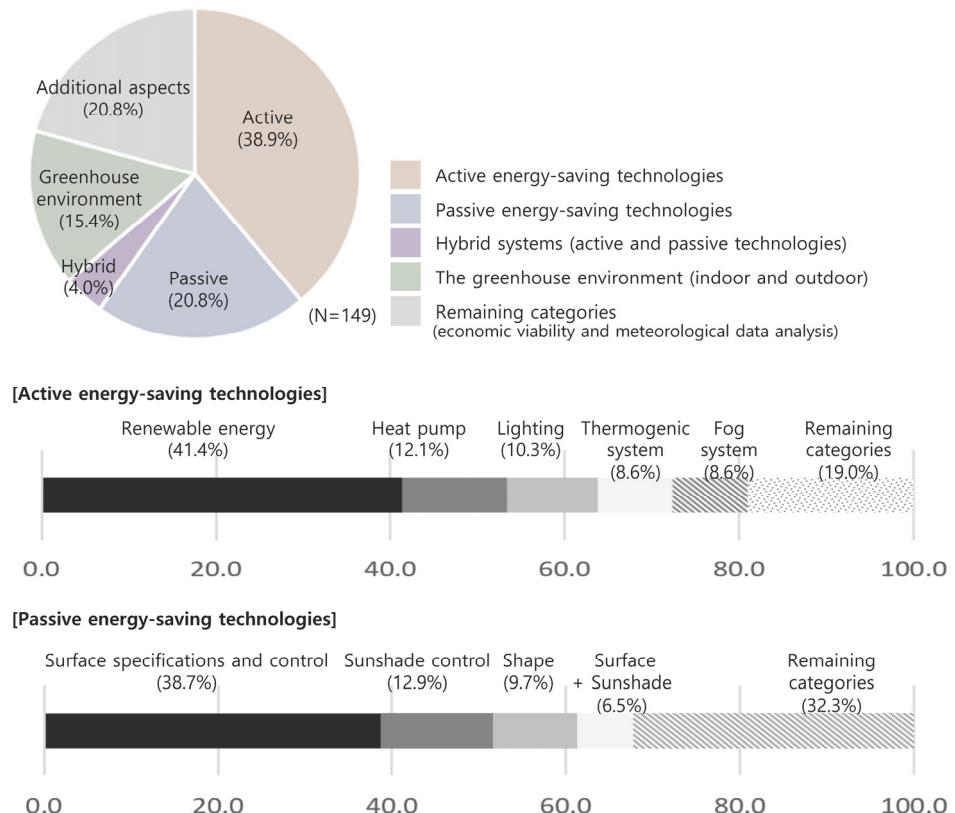
Seo et al. (2023) 등은 새만금 간척지에 계획된 온실단지의 외피를 최적화하기 위해 챔버 실험을 진행하였다. 단판유리와 복층유리, PMMA와 PC 판을 적용하였을 때 각각의 표면온도와 에너지 사용량을 측정하였고, 그 결과 PC 판 적용 시 단판유리 대비 27%에너지가 절감됨을 확인하였다. Park et al. (2022) 등은 1,584 m² 규모의 나주 농업기술센터를 대상으로 PE, PMMA, PC복층판, 직조필름을 적용한 4가지 케이스와 차광 적용 유무에 따른 냉방 에너지 소요량을 시뮬레이션 평가하였고, 외피에 따른 냉방 부하는 최대 24%, 차광 여부에 따라 33.4%까지 차이가 남을 확인하였다.

다만 기술간 에너지 효율을 비교함에 있어, 패시브의 기술 요소와 액티브의 기술 요소를 종합적으로 상호 비교 평가한 케이스는 존재하지 않아 가장 효율적인 기술대안을 도출해 내기에는 한계가 있었다.

에너지 사용량과 관련된 주제 외 많이 다루어지고 있는 연구 주제는 온실 환경과 관련되어 있다. 온실 환경에 대한 연구는 농작물의 생장 환경과 직접적으로 관련된 온열 환경 및 일조 혹은 인공조명에 의한 광환경에 대한 비중이 높으며, 온실의 난방을 위해 잉여 태양 에너지를 분석하는 연구 또한 2010년 전후로 활발히 진행중이다.

Yang (2020)은 벤로형 유리 온실의 보온 스크린에 따른 겨울철 온도 분포와 차광 스크린의 높이와 개폐율에 따른 여름철 온도 분포를 시뮬레이션 평가하였고, 그 결과 온실 보온 스크린은 낮을수록 차광 스크린설치는 높을수록 온열 환경에 유리하게 나타났다. Choi et al. (2013)은 지역별 온실의 난방부하와 잉여 태양에너지를 분석하여 축열 시스템을 설계하기 위한 기초 자료를 제공하고 있다.

그 외 그 비중은 높지 않지만 에너지 절감 기술 적용에 따른 경제성에 대한 연구와 환경 제어에 따른 생산량을 분석한 연구가 있다(Chung and Yoon, 2014).

**Figure 4.** Detailed Classification of Energy-saving Technologies in Greenhouses

이 같은 온실의 에너지 연구와 관련된 연구 동향은 건축 분야에서의 에너지 절감 기법 연구의 접근과 유사한 경향성을 보이며, 특히 기후 위기의 심각성과 에너지 저감에 대한 인식 확산이 농업 영역에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

다만, 건축 분야에서의 에너지 절감 기법이 부하를 절감하는 패시브적 접근을 우선하고, 다음 단계로 건물 부하에 맞는 설비 용량 설계에 대한 연구와 검토를 진행하는 것과는 달리, 온실의 경우 설비를 포함한 액티브 기술에 대한 연구 비중이 높다. 이는 전통적인 온실의 소재가 연질 폴리머 소재로 한정되고, 온실의 형태 또한 한정되어 있어 에너지 절감을 위한 설비적인 접근이 더 많은 것으로 판단된다.

최근 국가주도의 대규모 온실 단지에서 경질판 폴리머와 유리를 적용하는 사례가 증가하고 있으며, 네덜란드의 경우 온실 로아유리 적용에 대한 연구를 진행하고 있다. 또한 온실의 형태 또한 식물공장, 옥상형 온실 등으로 다양해짐에 따라 온실의 패시브 기법에 대한 연구가 중요해지는 시점이라 사료된다.

과거 온실에서 사용하는 에너지는 대부분 난방 에너지였으나, 최근 최첨단 유리온실, 식물공장, 옥상형 온실 등 실내 경작시설의 형태가 다양화됨에 따라 그 안에서 사용되는 에너지의 형태도 다양해지고 있다(Son et al., 2021).

Figure 5는 온실의 에너지 소비에 대한 연구 분포를 나타낸 그래프이다. 온실의 주요 에너지 소비는 건물에서와 마찬가지로 난방, 냉방, 조명, 환기로 구분되는데, 그 중 외피의 단열이

나 지열과 잉여 태양열 사용과 같은 난방 에너지 절감에 대한 연구가 55.8%로 가장 높게 나타났다. 이는 시설 원예 농가의 경영비 중 난방비가 차지하는 비율이 30~50% 수준으로 가장 높은 비중을 차지(Seo et al., 2023)하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그 뒤를 이어 냉방, 조명과 관련된 연구가 각각 9.5%로 동일하게 나타났으며, 연간 냉난방 에너지를 함께 분석한 연구도 8.4% 비율로 수행되고 있다.

계절의 특성이 뚜렷한 국내 기후의 특성상, 난방과 냉방에 필요한 기술요소가 서로 상이하며, 경우에 따라 난방부하 절감을 위한 기술요소가 냉방부하를 높이는 작용을 할 수 있으므로 냉난방 에너지 소요량을 연간으로 반영하는 연구가 더욱 중요해지리라 사료된다.

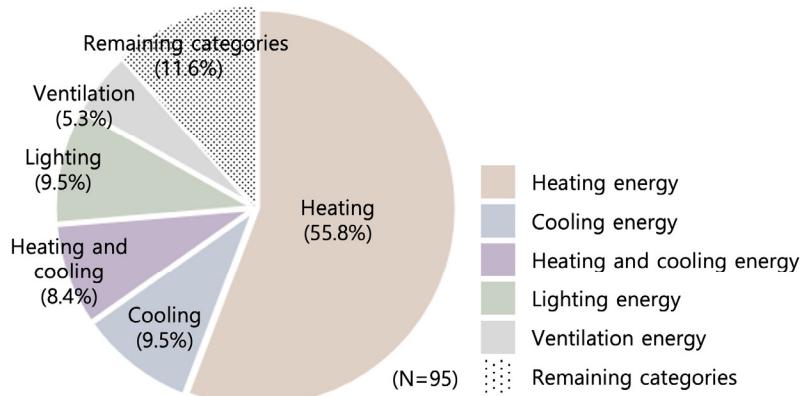


Figure 5. Distribution of Research on Greenhouse Energy Consumption

(3) 연구의 수행방법에 대한 고찰

온실의 환경 및 에너지 분석을 위해 진행된 연구 방법은 각각 ① 실험연구, ② 시뮬레이션 연구 ③ 실험과 시뮬레이션을 통한 검증, 그 외 연산 로직 연구 혹은 조사 연구 등으로 구분할 수 있다.

Figure 6은 다양한 연구 방법들이 온실 에너지 분석에 대해 어떻게 적용되었는지 분류한 그래프이다. 실험 연구는 축소 모형이나 Mock-up 대상이 아닌 운영 중인 실규모 온실을 대상으로 냉난방 에너지 실증, 시스템에 대한 장기 성능 평가 등을 주를 이루고 있다.

실규모 온실의 실증은 주로 정부 주도의 농업기술센터나 스마트팜 단지를 대상으로 계획된 설계 효율을 검증하는데 활용되고 있으며, 특히 Moon et al. (2020)은 시설원예연구소에 시공된 온실을 대상으로 필름 종류에 따른 일사량, 온열환경, 에너지 소비 등을 실측하는 연구를 진행하여 PO (Polyolefin) 필름이 PE (Polyethylene) 필름 대비 모든 성능면에서 우수함을 검증하였다.

시뮬레이션의 경우, 50% 이상이 냉난방 부하나 에너지 관련 연구가 진행되었으며, 그 중 40%가 TRNSYS 프로그램을 활용하고, 그 외 Energy Plus, Ecotect, PHPP (Passive House Planning Package) 등을 사용하는 것으로 나타났다. 이는 TRNSYS가 타 프로그램 대비 설비 및 신재생 에너지 시스템의 설계 자유도가 높기 때문인 것으로 예상되며, 특히 Lee et al.

(2016)은 TRNSYS 내 작물 및 토양의 에너지 교환 모델을 설계하여 TRNSYS 내 모듈화하여 반영하고 이를 실험적으로 검증하였고, Lee et al. (2017)은 TRNSYS를 활용하여 온실에 적용된 PV에 대한 연구를 진행하였다.

또한 Lee (2022)는 Relux를 활용하여 온실 내외부 구조물에 따른 조도와 균제도를 평가하여 광효율을 극대화할 수 있는 자연광과 인공광의 적정 비율과 배치 등에 대해 제안하고 있다.

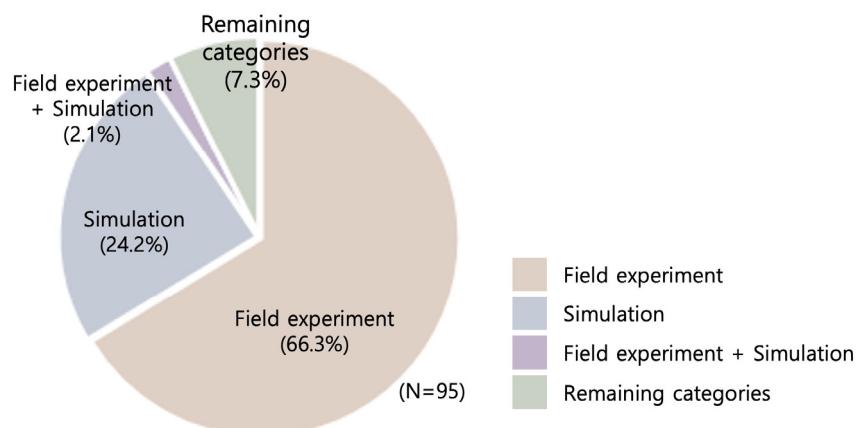


Figure 6. Classification of Research Methods Related to Greenhouse Energy

결론 및 향후 연구방향

결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 온실의 에너지와 환경과 관련된 연구는 액티브 기술에 대한 연구가 38.9%로 가장 높게 나타났고, 그 중 40% 이상이 신재생 에너지 시스템과 관련된 연구이다.
- (2) 온실의 유지 관리비에서 가장 높은 비중을 차지하는 난방비 절감을 위한 난방 에너지 절감 기술에 대한 연구가 55.8%로 냉방이나 조명 등의 에너지 절감 연구 대비 높게 나타났다.
- (3) 연구 방법은 실제 운영하고 있는 온실을 대상으로 한 실험 실증이 66.3%이며, 24.2%는 시뮬레이션 검증으로 진행되고 있다. 시뮬레이션 검증 툴은 에너지에 대한 평가는 TRNSYS, 조도에 대한 평가는 Relux의 사용 빈도가 높게 나타났다.

향후 연구방향

이미 다양한 분야의 온실에 대한 연구가 진행되었으나 그 한계는 다음과 같다.

- (1) 최근 온실의 에너지 관련 연구는 액티브 기술 중심으로 진행되고 있으며, 패시브 기법 중 가장 중요하다고 할 수 있는 외피의 소재는 PC나 PMMA, 단판 유리 등 제한적으로 검토하고 있다. 이는 경제적인 측면과 투명 외피 소재에 따른 중량 증가 등이 복합적으로 영향을 미친 것으로 보인다. 그러나 기후변화에 따른 온실의 역할이 점차 중요해지는

시점이며, 그 시장이 성장하고 있다는 점에서 온실의 외피에 소재에 대한 연구는 전통적 범주에서 벗어나 다양하게 이루어질 필요성이 있다.

- (2) 현재까지의 연구는 패시브 기술과 액티브 기술, 각각의 독립 기술에 대한 에너지 효율 연구가 상당수 차지하고 있었으나, 최적의 대안 기술을 선택하기 위해서는 패시브와 액티브 기술을 통합적으로 비교 분석하는 연구가 필요하다고 사료된다.
- (3) 온실 에너지와 관련하여 경제성까지 이어진 연구는 기타 범주에 분류될 수준으로 적게 이루어지고 있다. 기술에 대한 효과적인 선택을 위해서는 각 기술요소의 경제성 분석에 대한 연구까지 이어져야 할 것으로 보인다.

이에 향후 연구에서는 본 연구 조사를 시작으로 투명/불투명 외피의 비율, 적외선 반사 필름을 활용한 투명 외피의 U-value와 G-value의 최적화와 차양 운전의 최적화 및 그 경제성에 대한 연구를 진행할 계획이다. 진행된 연구를 통해 온실의 계획 요소와 에너지, 경제성에 대한 데이터베이스를 구축, 제공하여 지역별 최적 설계가 가능한 기초 자료로 활용될 수 있도록 하겠다.

후기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. RS-2023-00218875).

이 본 연구는 환경부 “기후변화특성화대학원사업”의 지원으로 수행되었습니다.

이 논문은 2023년도 4단계 두뇌한국21 사업(4단계 BK21 사업)에 의하여 지원되었습니다.

References

1. Choi, M.K., Shin, Y.S., Yun, S.W., Kim, H.T., Yoon, Y.C. (2013). Analysis of Surplus Solar Energy in Venlo Type Greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory, 22(2), 91-99.
2. Chung, J.H., Yoon, S.Y. (2014). Economic Analysis of High-tech Glass Greenhouse through the Convergence of New Renewable Energy Focusing on the Convergence of Geothermal and Solar Power. Korea Journal of Organic Agriculture, 22(4), 593-610.
3. Jeon, J.G., Lee, D.G., Paek, Y., Kim, H.G. (2015). Study on Heating Performance of Hybrid Heat Pump System Using Geothermal Source and Solar Heat for Protected Horticulture. Journal of the Korean Solar Energy Society, 35(5), 49-56.
4. Kim, B.Y., Choi, Y.S. (2017). A Basic Study on the Air Circulation System for Heating using Solar and Geothermal Heat. Korean Institute of rural Architecture, 19(4), 49-56.
5. Lee, B.J. (2022). The Glass Greenhouse's Lighting Characteristics for Ginseng with Structures and the Lighting Simulation for Energy Saving. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 23(3), 9-15.

6. Lee, M.H., Lee, I.B., Ha, T.H., Kim, R.W., Yeo, U.H., Lee, S.H., Park, G.Y., Kim, J.G. (2017). Estimation on Heating and Cooling Loads for a Multi-Span Greenhouse and Performance Analysis of PV System using Building Energy Simulation. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 26(4), 258-267.
7. Lee, S.N., Park, S.J., Lee, I.B., Ha, T.H., Kwon, K.S., Lee, S.Y. (2016). Design of Energy Model of Greenhouse Including Plant and Estimation of Heating and Cooling Loads for a Multi-Span Plastic-Film Greenhouse by Building Energy Simulation. *Journal of Bio-Environment*, 25(2), 123-132.
8. Moon, J.P., Park, S.H., Kim, J.G., Lee, J.H., Kang, Y.G., Im, M.Y., Kim, H.M. (2020). Yield Increase and Energy Saving Effect on Plastic Greenhouse Covered with Polyolefin Film. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 29(4), 428-439.
9. Park, D.Y., Lee, H.J., Park, D.J., Choi, S.G. (2022). Performance Evaluation and Cooling Load Analysis Through Testing of Smart Farm Applied Covering Material. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 34(2), 91-99.
10. Seo, H.J., Seo, I.H., Noh, D.H., Lee, H.S. (2023). Analysis on Insulation of Wind Environment and Greenhouse Cover Materials Insulation for Advanced Greenhouse Energy Design in Saemangeum Reclaimed Land. *Journal of Bio-Environment Control*, 32(1), 57-63.
11. Yang, W.M. (2020). CFD Analysis for Microclimate of Venlo Type Glasshouse with the Screen Height and Air-inflow Quantity. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 29(1), 52-61.
12. Son, J.I., Kim, I.S., Choi, J.M., Bea, J.H. (2021). Horticultural Facilities Management, Hangmunsa.