



광융합 기반 미래형 바이오플랜트 실증사업 동향 및 전망

황중호 선임연구원 ((재)광주테크로파크 LED센터)

1. 서론

세계적으로 인공조명을 이용하여 작물의 개화시기를 조절하고 생산량을 늘리는 재배기술(전조재배, 보광재배)이 오래전부터 이용되어 왔으며, 이 같은 인공광원을 이용한 재배기술에는 형광등이나 백열등, 나트륨등과 같은 전구들이 이용되어 왔다. 하지만 이러한 전구들은 광전환 효율이 낮아 전력소모량이 많고 전구 수명도 짧아 시설재배농가들에게는 생산비가 증가되는 부담이 있고 전구 자체에서 발생하는 열로 인하여 온도와 습도 제어에 애로 사항이 있어 대체광원으로써 LED가 주목받기 시작하였다. 농촌진흥청에서는 LED를 농업에 활용하기 위하여 2003년부터 기술개발에 착수하여 온 이래 농가보급형 원추형 LED광처리장치를 최초로 개발하였다. 또한, 비닐하우스, 과수원 그리고 대형온실과 같은 시설작물 재배형태별로도 이용이 가능하도록 천정 부착식, 독립기둥 부착식 및 LED광처리장치를 개발하여 식물생장 재배 및 실험에 사용 중에 있다. LED를 이용한 식물자동화공장이나 지하 식물공장, 또는 빌딩농장 등 미래농업에 적용하는 연구와 더불어 LED이용 시 농작물의 기능성 성분 증대 등 새로운 연구들이 시도되고 있다. 현재까지 국내·외에서 LED를 이용하여 식물의 광 생리에 대한 다양한 기초연구가 수행되어 왔으나 영농 현장에서 실용적이

며 경제적으로 사용할 수 있는 기기와 기술은 거의 정립되어 있지 않고 있다. 식물공장은 비용은 생산비용과 초기 설비 투자비용으로 구분되어 지며, 특히, 이에 관련한 전후방 산업 성장 및 농업 고도화의 장점에도 불구하고, 현재까지 LED를 조명설비로 사용할 경우, 초기 설비 투자비용이 매우 높아 시장진입이 어려운 단계에 봉착한 실정이며, LED를 조명설비로 사용할 경우 기존 조명설비에 비해 전기요금 최대 1/3로 감소될 수 있는 이점이 있으며, 향후 기후변화에 대한 적극적인 대응방안의 하나로써 글로벌 공장설비 수출을 기대할 수 있는 미래 신 성장 산업의 하나로 각광받는 연구라 할 수 있다. 최근 LG CNS, 롯데, 농심 등 대기업에서 식물공장 분야에 대한 기술연구가 이루어지고 있으며 중소기업을 중심으로도 요소기술에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 불과 2~3년 전의 일본과의 기술적 격차가 최근 정부와 지자체의 관심과 더불어 민간 기술시장에도 기술개발 동인이 되어 상당부분 기술 성숙이 진행되었으며 연구개발을 위한 테스트베드 구축은 국내 다수 사이트가 가동 중에 있다. 구체적으로 식물공장 구성요소별 기술수준을 보면, 공장설비 51.2~58.0%, 환경 및 생체제어시스템 51.9~61.9%, 인공조명 50%내외, 배지 및 수경재배시스템 62.3~64.3%, 파종 및 육묘시스템 66.5%, 이송장치 및 기계설비(자동수확·선별·포장시



스텝 포함) 72.0% 정도이다. 이와 같이 국내 기술수준이 아직 선진국 수준에 이르지 못하는 이유는 국내에서 시설원에 또는 식물공장에 관한 기술수요가 적었고, 그로 인해 이 분야에 대한 기술개발 투자도 적어 기술수준이 향상될 기회가 없었다고 볼 수 있다. 국내에서 식물공장 관련 기술개발 투자의 필요성 및 타당성은 우선 기술개발 및 실용화의 가능성에 대해 전문가들은 핵심기술에 따라 다르지만 대체로 3~5년의 기술개발 투자로 식물공장 관련기술의 국산화가 가능하다. 또한 이 분야 기술은 미래에 있어서 매우 유망한 분야로 볼 수 있음 다만, 국내 기술시장의 한계, 해외 기술수출의 경쟁력 비교열위 등을 감안하면 상당부분의 기반기술 개발은 정부와 민간의 공동투자가 요구된다고 할 수 있다.

식물생산시설에서 광과 식물의 관계는 식물은 대기에서 흡수된 이산화탄소와 뿌리에서 흡수된 물을 이용하여 광합성산물, 즉 탄수화물을 생성하는 데 이 과정에 빛에너지는 반드시 필요하다. 광합성이라고 하는 이 반응은 빛이 없으면 일어나지 않기 때문에 빛은 식물의 생장에 절대적으로 필요한 환경요소이다. 광합성 작용에 의해서 만들어진 탄수화물은 식물의 잎, 줄기, 열매 등에 축적되면서 식물의 생장에 기여하게 된다. 특히, 300~3,000 nm의 파장을 갖는 태양 복사에너지에서 식물의 광합성에 영향을 미치는 400~700 nm의 영역을 광합성유효복사 (Photosynthetically active radiation, PAR)라 한다. PAR에서 식물의 평균 광합성속도는 660 nm 영역의 적색광과 450 nm의 청색광 영역에서 극대값을 갖게 된다. 그림 1은 식물의 평균 광합성속도를 나타낸다.

그림 2에서 확인할 수 있듯이, 최근의 식물재배는 재배규모는 작으나 단위면적당 생산성이 높은 재배방식으로 변화되어 가고 있으며, 재배시스템 또한 폐쇄도가 높은 방향으

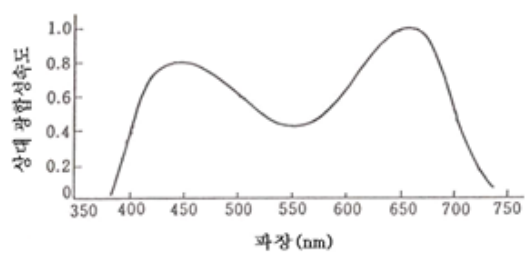


그림 1. 식물의 평균 광합성 속도.

로 바뀌어가고 있다. 여기에서 폐쇄도는 재배시설의 경계를 통하여 식물재배에 필요한 에너지 또는 물질 (물, 이산화탄소) 출입의 제한 정도를 의미한다. 다시 말해, 노지재배에서는 빛에너지 또는 물질의 출입이 제한받지 않으나, 온실과 같은 시설에서는 빛에너지 또는 물질의 출입이 제한을 받게 되며, 식물공장의 경우 폐쇄도가 더욱 높은 재배방식으로 경계를 통한 에너지 또는 물질의 출입이 상당할 정도로 제한을 받게 된다. 폐쇄도가 높은 시설일수록 시설 내부에 미치는 외부 환경의 영향이 작기 때문에 재배시설 내의 환경을 목표한 수준으로 제어하기가 쉬운 장점을 가지고 있다.

식물공장은 식물생장에 이용되는 광원의 종류에 따라 태양광이용형, 태양광 및 인공광 병용형, 인공광이용형으로 구분될 수 있다. 그림 3에서 태양광이용형의 경우 식물생장에 필요한 광원으로 태양을 이용하는 것으로서, 온실은 대표적인 태양광이용형 식물생산 시스템에 해당하며, 태양광 병용형은 주로 태양광을 이용하나, 날씨가 흐리거나 강우 등으로 일사량이 부족한 경우 인공광을 이용하여 보광을 하는 식물생산 시설이다. 또한, 그림 4에서 인공광이용형의 경우 식물생장에 필요한 광을 자연광에 의존하지 않고 오직 인공광원에 의해서만 재배가 이루어지는 특징을 가지고 있다.

식물공장은 좁은 의미에서 인공광이용형만을 의미하며, 식물이 재배되는 시설 내의 생육 환경을 제어하면서 무농약 및 안전성

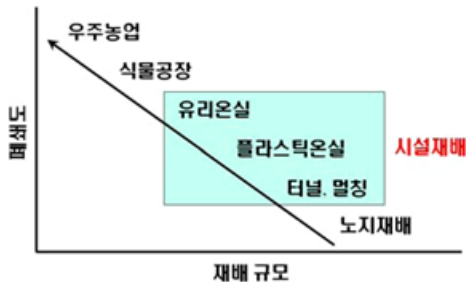
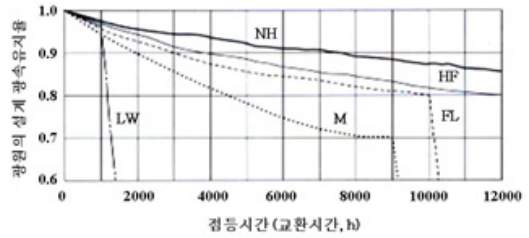


그림 2. 식물재배 방식의 변화.



NH: 고압나트륨램프, HF: 형광수은램프, M: 메탈할라이드램프
FL: 형광램프, LW: 백열전구

그림 5. 각종 광원의 광속 유지율.

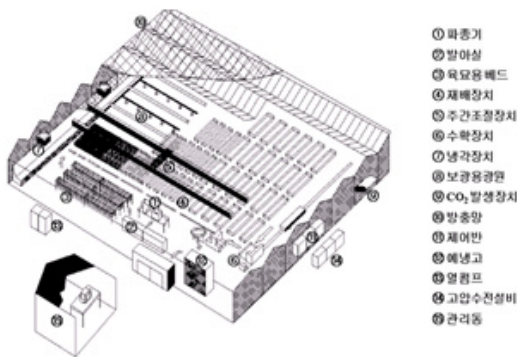


그림 3. 태양광 병용형 식물생산 시설.

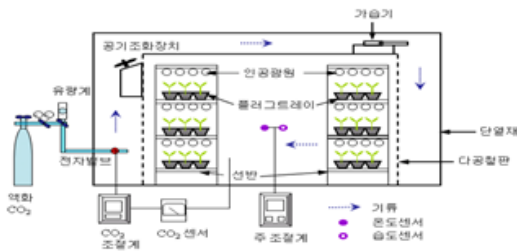


그림 4. 인공광이용형 식물생산 시설.

이 우수한 식물을 계획적으로 생산할 수 있는 식물생산 시설을 의미한다. 외부 환경의 변화와 무관하게 식물공장 내의 환경을 일정하게 조절할 수 있기 때문에 소비자가 밀집한 도시지역은 물론 사막, 극지와 같이 식물재배가 불가능한 지역에서도 식물공장을 이용하면 식물의 연중 생산이 가능할 것으로 기대되어진다. 이러한 식물공장에서는 주로 상추, 시금치, 허브 등의 엽채류와

딸기, 토마토와 같은 과채류가 생산되고 있으며, 일본의 경우 태양광 및 인공광 병용형 식물생산 시설을 넓은 의미의 식물공장에 포함시키고 있다. 네덜란드를 비롯한 유럽의 경우 태양광 및 인공광 병용형 시설을 이용하여 과채류와 분화류를 널리 재배하고 있지만 이러한 식물생산 시설들은 식물공장에 포함되지 않고 단지 온실로 구분지어지고 있다.

식물공장의 인공광원으로는 주로 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프, 형광등이 사용되어 왔다. 그림 5에서 보듯 고압나트륨램프는 조명효율이 100~140 lm/W로써 백색 광원 중에서 효율이 가장 높으며 광속 유지율도 우수한 장점을 가지고 있다. 하다. 그러나 고압나트륨램프의 경우 적색광을 포함한 장파장을 포함하고 있기 때문에 발열이 많은 단점을 지니고 있으며, 메탈할라이드램프의 경우 조명효율은 80~105 lm/W로써 고압나트륨램프에 비해서 작고, 광속 유지율도 방전램프 중에서 가장 낮은 편이며, 청색광 또는 자외선을 많이 포함하고 있기 때문에 식물의 초장을 억제할 수 있는 특징 때문에 식물성장용 인공광원으로 단독으로 사용되기보다는 고압나트륨램프와 함께 사용되는 경우가 많다. 형광등의 경우 고압나트륨램프와 같은 고휘도 방전등에 비해서 광속은 낮으나, 광이용효율이 높고, 가격이 저렴하므로 식물생산용 근접 조명 광원으로 많이 사용되고 있는 실정이다.



2. 시장 동향

우리나라의 식물재배시스템은 이제 시작하는 초기 단계로써 시범적으로 식물공장이 운영되고 있으며 고가의 시설비가 투자되어야 하는 단점이 있어 생산을 목적으로 하는 경우 쉽게 접근할 수 없으며, 재배작물에 대한 세부적인 연구가 병행되지 않아 다양한 작물로의 적용이 어렵다. 국내에서는 경기도 남양주시와 부천시가 식물공장 건설을 추진 중에 있으며, 전라북도과 광주시 역시 LED와 광기술을 융합한 식물공장 사업을 추진 중에 있다. LED조명은 거주나 디스플레이 등을 목적으로 하는 감성조명분야와 경관조명 분야에서 먼저 이용되어 왔으며 이러한 조명시장은 큰 규모를 가지고 있는 것으로 파악되고 있으나 농업용 작물재배를 위한 제품개발에 따른 시장상황은 식물공장 상용화 및 지도도시 발달에 따라 급속히 신장할 것이다. 국내 제품생산과 시장 현황은 단색광 LED기술에 의존하여 있으며 최근 광파장 조합에 의한 기술의 필요성이 대두되고 있다. LED조명에 이용되는 LED모듈의 경우 국내 생산품보다는 주로 중국, 대만 등의 제품을 이용하고 있어 패키지 형태의 완제품 생산보다는 모듈에 대한 생산을 통해 가격하락 요인을 제공하여 농업용 시장 및 식물공장시스템에 이용되는 시장에 쉽게 접근할 수 있어야 할 것이다. 실내 재배시스템 조명은 식물뿐만 아니라 인간의 감성과 경관성을 고려하여 백색 조명으로 개발되어야 하며 이에 따른 파장의 조합 등은 새롭게 구성하여야 된다. 전북대 연구결과에 따르면, 국내 딸기, 잎들깨, 국화의 전조용 백열전구를 LED조명으로 대체할 경우 LED업체 매출액은 약 1,740억 원, 식물공장 살균용 LED조명 매출은 약 2,500억 원 규모에 달할 것으로 추정된다. 하지만, 이러한 농업용 LED조명시스템의 초기구축 시 투입되는 비용이 일반 비닐하우스 건설비용에 약 17

배에 달하고 있어 성공적인 식물 Plant 산업에 적용을 위해서는 초기설비투자비용의 절감문제가 가장 큰 선결과제로 손꼽히고 있다. 이러한 초기 설비비용 문제만 해결한다면 농업용 LED조명으로 연 120억 원 전기에너지를 절감할 수 있고, 생산량과 상품성의 향상, 연 6만 8,000톤의 탄소배출 절감효과를 가져올 것으로 예측될 뿐만 아니라 한국광기술원에 보고한 농수산업 LED응용시장은 2010년 50억 원에서 2012년 500억 원으로 10배 이상 성장할 것으로 예상된다. 따라서 2018년에는 무려 3,300억 원의 시장을 형성, 연평균 68.8%의 성장률을 보일 것으로 기대된다. 농촌진흥청은 올해 LED를 이용한 식물자동화 공장이나 지하식물공장, 또는 빌딩농장 등 미래농업에 적용하는 연구와 함께 LED이용 시농작물의 기능성분 증대 등 새로운 연구를 추진할 계획 중임. 이를 위하여 전라북도 또한 친환경 LED특화사업을 추진키로 하고, 2014년까지 약 1,500억 원의 자금을 투입할 예정이며, 주요 사업은 LED농생물 융합기술개발, 식물공장 시범사업, 농생물 제품 인증 사업 등으로 추진할 것으로 사료된다. 일본의 식물공장은 형태를 구분할 때, 완전인공광형 34개소와 태양광인공광병행형 16개소로 하여 총 50개의 시설에서 연간 생산량도 48억 엔에 달하며 재배품목은 상추류나 샐러드용 채소가 주를 이루고 그 외는 허브 등이나 채소묘종 등이 있다. 일본은 2009년 경제산업성과 농림수산성이 공동으로 향후 3년간 식물공장을 3배(50개→150개)로 확대하고 생산비를 30% 절감하는 것을 목표로 150억엔을 편성하여 지원하고 있다. 일본 식물공장 시장규모는 2009년 95억엔에서 2020년에는 417억엔으로 급속히 성장할 전망이다. 이러한 성장에는 보조금제도를 통해 민간기업 참여를 유도하여 향후 3년간 식물공장수를 현재의 50개 정도에서 150개로 늘릴 계획 중에 있다. 이를 위해 지난해 5월부터 농업인단체가 공장을 새로 짓거나 민간기업에 임대방식 등으



표 1. 시장규모 및 성장전망.

구분	2010	2012	2015	2018
국내	50	500	1,800	3,300
국외	3,000	8,000	20,000	32,000
계	3,050	3,050	21,800	35,300

로 참여하는 경우 투자비의 절반을 보조해 주는 제도를 통해 민간기업 참여를 유도한다는 방침이다. 현재 시판되는 양상추의 1% 정도가 식물공장에서 생산되었다고 보고된다. 일본의 성장은 정부의 식물공장 보조금지원에 의한 것으로 판단되며 현재 50여 개의 식물공장이 운영되고 있으나 2012년에 150여 개로 확대 될 예정이다.

국내 식물공장은 현재 (주)농심 (50평), (재)전주생물연구소 (50평), 인성테크 (50평) 내외의 식물공장을 가동되고 있으며 이동식 컨테이너식물공장은 기후조건으로 식물을 재배하지 못하는 중동 등 사막지나 극지 등에 유용한 작물 재배시스템으로 적극적 마케팅에 의한 수출 가능성이 높을 것으로 판단된다. 실내 식물재배시스템에 대한 시장은 명확한 통계가 없으나, 국내 전체 시장규모는 2,000억 원 이상으로 예상된다.

3. 기술 개발 동향

국내에서 1990년대 후반부터 LED를 식물의 생리 반응 연구에 활용하기 시작하였으며 최근에 LED의 발광 효율이 점차 증진되어 이를 작물 생산에 적용 하고 있다. 전북도의 경우 LED융합기술 지원센터를 2009년 2월에 개소하고 2012년까지 식물공장 모델을 완성, 공장의 운영·제어 체계와 작목 재배 체계를 정립하고 특화 브랜드 상품을 출시할 예정이다. 현재 전주생물소재연구소에서는 국내 최초로 수경재배에 LED조명기술을 이용하여 인삼과 고추냉이를 재배하는 식물공장을 연구소 내에 운영 중으로 실제 전

주생물소재연구소에서 기른 인삼에서는 발인삼보다 생육기간이 단축되었으며, 효능 면에서는 사포닌이 뿌리에서는 2~3배, 잎에서는 5~10배나 추출되는 등 더 강화되는 효과를 거두었다. 정부주도의 연구 이외에도 (주)태종은 현재 광주광역시에 2곳의 식물공장을 운영 중이며 신가동의 경우 1층 레스토랑과 연계 운영하고 있으며 덕흥동의 경우 완전 상용 식물공장을 표방하고 있고 (주)인성테크는 현재 용인에 50평 규모의 식물공장을 운영 중이며, 최대 월 1만 5천 포기의 채소생산이 가능하다고 보고하고 있으며, 이러한 식물공장에 적용되는 LED시스템은 비용 면에서는 형광등에 비해 초기 설치 비용이 약 20배 정도 비싸지만, 실제 시스템의 구현 후 사용시간이 약 5만 시간으로, 2500시간마다 교체하는 형광등에 비해 월등히 우수한 경제성을 보여주고 있다. 현재 식물공장과 관련한 국내 기술수준은 세계 최고수준(100%)에 비하여 약 50% 정도의 기술적 완성도 수준에 불과한 실정이며, 구체적으로 식물공장 구성요소별 기술수준을 보면, 공장설비 51.2~58.0%, 환경 및 생체 제어시스템 51.9~61.9%, 인공조명 50% 내외, 배지 및 수경 재배시스템 62.3~64.3%, 파종 및 육묘 시스템 66.5%, 이송장치 및 기계 설비 72.0% 등에 머물러 있는 실정이다. 또한, 이러한 기술개발이 국가기반기술연구 분야 뿐만 아니라 기업·대학들에게까지 파급되어 그동안 진행되어 왔던 조명용 단일 LED광원의 기술개발에만 치중하는 것이 아닌 전자, 환경, 농·생물학, 화공학 등의 복합학제적 연구에 대한 새로운 기술적 요구가 증대될 것으로 사료되며, 이는 궁극적으로 우리나라의 기술 개발의 기폭제가 될 것으로 판단된다.

일본의 식물 공장 역사는 매우 오래되었는데 태양광을 이용하는 식물 공장은 1960년대에 실용화 되었으며, 완전제어형 식물공장의 연구는 1974년 히타치 제작소 중앙연구소에서 타카즈지 마사모토 등의 연구 그룹이 최초

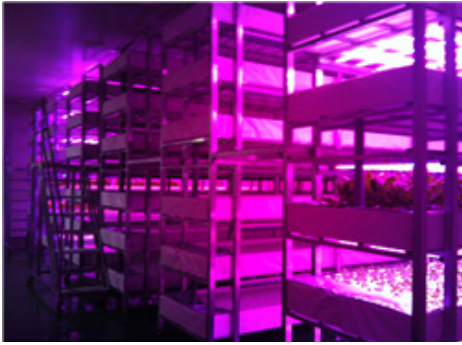


그림 6. 국내 식물공장 시설업체 시공 사진 (주)태중.



그림 7. 아이스 플랜트 재배 식물공장 (일본).



그림 8. 해외 식물공장 성공사례.

로 시작하였다. 일본은 지역경제 활성화 차원에서 식물공장 사업을 추진하고 있으며, 최근에는 기후변화 대응의 주요 대안으로 사업을 진행 중이다. 2009년 식물공장 시장이 95억 엔에서 2020년에는 417억 엔으로 성장할 전망이다. 보조금제도를 통해 민간기업 참여를 유도하여 향후 3년간 식물공장 수를 현재의 50개 정도에서 150개로 늘릴 계획이다.

일본은 기업들이 식물공장 사업 진출이 이 어지면서 기업형 대형 재배시설이 도입되고 있으며 향후 시장 확대 및 글로벌 시장 진출에 전망이 밝은 상황이며, 해당지역별 기반 경제를 활성화하고, 기후변화에 대응 차원에서 식물공장 사업을 추진 중에 있다. 해당 자치도별로 식물공장은 대부분 한 개의 층에 다단식으로 인공조명 시설을 만들어 운영하고 있으며 형광등을 주로 사용 중이다.

미국의 식물공장은 초기 우주식량공급 목

적으로 개발되었으나, 최근에는 도심의 대규모 고층수직 식물공장으로 진화 중에 있으며, 컬럼비아대학교 건축학과, 일리노이대학교 연구팀, 미턴 건축사무소에서 고층 건물 방식을 채택한 수직형 식물공장 (Vertical farming) 개발에 착수하여, 풍력 및 태양력 등의 신재생에너지를 사용한다. 고층의 설계로 인해 재배면적 증가 재배 작물의 수확량은 동일 면적의 야외 농경지보다 10배 정도의 수확량을 가지며, 30층짜리의 경우는 약 5만 명에게 평생 공급할 음식을 만들 수 있을 것이라고 한다.

식물공장 분야의 선진국이라고 할 수 있는 유럽에서는 현재보다 더욱 발전된 식물공장을 실현하기 위하여 자동화 등의 분야에서 활발한 연구를 수행하고 있다. 덴마크의 크리스텐센 농장은 1957년 최초의 식물공장으로 현재의 태양광이용형과 거의 유사하며,





평면시설로 컨베이어시스템을 통해 작물을 운반하였고, 태양광의 보광원으로 고압나트륨 램프를 사용하였다. 네덜란드에서는 최근 2020년까지 자급 에너지 뉴트럴 온실 시스템을 구축하기로 발표하였으며, 네덜란드 정부와 유리 온실 산업계는 환경에 미치는 영향을 최소화하는 동시에 유리 온실에서의 에너지 비용을 줄이는 것을 목표로 에너지 절감, 작물 보호, 생산 증대 등 다목적 프로그램들을 수립해 운영하고 있다.

4. 결론

최근 LED를 이용한 농업용 조명개발 및 이를 적용한 식물공장에 대한 연구는 주로 미국과 일본, 유럽 등의 선진국에서 활발히 진행 중에 있음. 이러한 선진국들은 빌딩형 구성을 갖는 식물공장에 대해 집중적으로 연구 중에 있으며, 특히, 일본이 가장 앞서 있는 것으로 평가되고 있다. 일본은 정부뿐만 아니라 건설업체나 종합무역상사, 식품회사 등 민간 기업 차원에서 미래 전략산업의 하나로 활발한 투자가 이뤄지고 있어서 지난해까지 약 50여 개의 식물공장이 들어서 가동되고 있는 것으로 보고되고 있다. 이 밖에도 미국, 네덜란드, 캐나다, 오스트리아 등에서도 초기 형태의 식물공장 시스템이 시도되고 있으며, 그 중 오스트리아에서는 골조를 철제빔으로, 외벽을 유리로 하고 재배 공정이 상하로 이동하는 타워형 식물공장을 운영 중임. 네덜란드에서는 온실과 육묘 상에 고압나트륨등과 LED조명을 광원으로 활용하는 농법이 시험적으로 운영되고 있고, 캐나다 정부는 토론토 도심에 58층짜리 수직농장 '스카이 팜 (Sky Farm)'을 구상 중이며, 미국 뉴욕시는 풍력과 태양열 발전을 에너지원으로 하는 30층 높이의 수직농장 건립의 타당성 조사를 진행하고 있다. 반면 우리나라의 경우 2000년대 후반에 들어서면서부터 정부

주도 하에 식물공장에 대한 첫 걸음을 시작한 단계에 있다. 정부주도로 교육과학기술부에서는 미래형 농업생산 모델을 제시하고, 관광, 교육 및 국가를 대표하는 랜드마크, 극지방 국가를 대상으로 한 플랜트 비즈니스를 목표로 검토 중이며, 농촌진흥청에서는 올해부터 5개년 계획으로 '수직형 식물공장'과 '수직(빌딩)농장'에 대해 중장기 계획을 수립한 초기상태라 이에 대한 시급한 연구개발 및 지원이 절실히 요구되고 있다.

참고 문헌

- [1] 원예식물의 성장 및 광형태형성에 미치는 LED의 효과, 농림부 (2003).
- [2] 테크타임즈, 색깔별 LED-적색 LED에서 백색 LED까지, 김진우 (2007).
- [3] 차세대 광원 LED의 부상과 대응방안, 삼성경제연구소 (2007).
- [4] 반도체 조명(LED)의 중요성과 육성전략, 주대영 (2006).
- [5] 高辻正基, 植物工場の基礎と實際, 裳華房 (2006).
- [6] 高辻正基編, 植物工場ハンドブック, 東海大學出版 (1997).
- [7] 森 康裕, 高辻 正基, 植物工場學會誌, 14, 136 (2002)
- [8] 주목받는 식물공장 개발동향과 향후전망, 데이코 (2011)

제자약력



성명 : 황중호
 ◆ 학력
 • 2001년 호남대학교 공과대학 전자공학과 공학사
 • 2003년 호남대학교 대학원 전기전자대학원 공학석사
 • 2011년 전남대학교 대학원 광공학협동과정 공학박사
 ◆ 경력
 • 2003년 - 2006년 신한포토닉스(주) 연구원
 • 2006년 - 현재 (재)광주테크로파크 LED센터 선임연구원