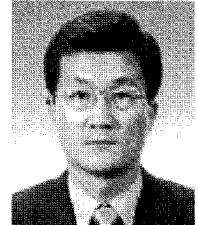


바이오농업과 농공학(원예시설공학전공)



남 상 운

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 교수

1. 머리말

농공학은 안정적인 식량생산을 위한 농업생산 기반정비 사업과 풍요롭고 쾌적한 농촌 환경의 창출을 위한 농촌마을 종합개발 사업을 양대 축으로 발전하여 왔으나 근년에는 주곡자급의 달성과 함께 농촌마을 종합개발 쪽으로 무게중심이 옮겨가고 있는 추세이다. 농촌의 근대화와 주곡자급을 달성하는 과정에서 농업생산기반 정비사업의 역할과 성과는 절대적이었다고 해도 과언이 아니다. 하지만 최근의 국내외 정세변화와 개방화 물결 속에 우리나라 농업과 농촌은 커다란 위기에 직면해 있고 농공학 또한 새로운 비전과 나아갈 방향을 설정해야 하는 중요한 시기에 직면해 있는 것이 사실이다.

바이오농업은 사람의 건강과 복지를 최우선으로 하는 농산물 생산에 부분적으로 바이오기술을 접목시킨 이른바 웰빙 지향적인 차세대 농업으로, 무엇보다도 사람과 환경이 함께 어우러지는 미래의 생명산업을 추구하고 있다(송 등, 2005). 주곡자급의 달성과 농산물 시장개방의 확대로 생산기반 정비 사업이 축소되고 있는 상황에서 바이오농업의 부상은 우리의 농공학 분야도 이에 대응한 변화를 시도하지 않으면 안 될 것으로 판단된다.

미국이나 유럽의 경우에는 대부분의 농공학과(Department of Agricultural Engineering)가 농업 및 생물공학과(Department of Agricultural and Biological

Engineering) 또는 농업 및 생물시스템공학과(Department of Agricultural and Biosystems Engineering)로 개칭하고 생물, 생물시스템, 생물자원(biore-sources) 및 환경(environment) 등을 키워드로 변신하고 있다. 그러나 국내 대학의 경우에는 대부분 일본의 농업토목에 영향을 받아 지역건설공학, 지역환경토목, 지역기반공학, 지역시스템공학 등 바이오농업이나 생물생산 쪽보다는 건설과 개발 쪽에 치우치는 경향이 있다. 농공학의 발전과 생존을 위해서는 학과명칭 뿐만 아니라 교과목의 내용, 연구 및 사업 분야 모두 기존의 농업토목에서 벗어나 다변화할 필요가 있을 것으로 생각한다.

농업시설이란 건물을 수반하는 농업생산 공간으로 정의된다(김 등 2000). 여기서 농업생산이란 크게 식물생산과 동물생산으로 구분할 수 있고, 이들 생산물의 조제, 가공, 저장 및 출하 과정도 포함하며, 농업생산 공간은 각종 기계나 설비를 구비하고 생산기능이 정비된 특수한 공간을 의미한다. 농업생산은 자연과 조화를 이루는 토지이용형 농업과 인공적으로 기상환경을 조절하는 시설형 농업의 두 가지 영역으로 나눌 수 있다. 시설형 농업은 과학기술의 발전과 국민 소비패턴의 변화 및 식품의 건전한 공급이라는 측면에서 그 비중이 날로 증대되고 있다. 이와 같은 시설형 농업을 공학적으로 뒷받침 해주는 것이 농업시설공학이다.

본고에서는 농공학의 대분류인 농업시설공학의 한 분야로서 국내에 가장 많은 시설을 보유하고 있으며 바이오농

업과도 관련이 깊은 원예시설공학에 대하여 살펴보고 바이오농업 및 농공학으로의 발전과 앞으로의 과제에 대하여 고찰해 보고자 한다.

2. 원예시설공학

원예시설공학 또는 원예공학(horticultural engineering)이란 첨단 유리온실 또는 간이시설 형태의 플라스틱 온실을 포함한 식물재배 시스템에서의 효율적인 생산을 위한 농업공학(agricultural engineering), 식물과학(plant science), 컴퓨터과학(computer science) 및 제어이론(control theory)을 융합한 분야이다. 이 분야의 전문가들은 식물생산의 공학적, 생물학적, 환경적 특성을 잘 이해하고 판단할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 원예공학은 우리 모두가 의존하고 있는 수많은 식용식물과 관상식물을 안전하고 건강하며 경제적으로 생산하는데 중요한 역할을 한다. (<http://aesop.rutgers.edu/~horteng>)

우리나라의 온실 설치면적은 2005년 현재 51,223 ha (채소 및 화훼 재배용, 과수재배용 온실은 정확한 통계자료가 없으므로 제외함)로 중국, 일본에 이어 세계에서 3번째로 많은 면적을 보유하고 있다. 1990년대에 온실 설치면적이 급속도로 증가하면서 원예시설 분야에 많은 연구와 기술개발이 이루어졌다. 그러나 대부분의 연구가 원예작물의 재배생리, 환경이나 재배시스템 등에 관한 것으로서 온실의 구조나 환경에 관한 공학적 연구는 매우 미흡한 실정이다. 원예시설의 구조 안전기준(이 등, 1995), 원예시설의 환경설계기준(김 등, 1997) 등의 연구가 수행되었고, 철골온실을 중심으로 한 온실 구조설계기준(농림부, 1999)

이 제정 되는 등의 성과가 있었으나 매년 기상재해로 수백~수천ha의 온실이 붕괴되는 피해를 겪고 있는 것이 현실이다. 이는 온실이라는 시설물을 구조물로 인식하지 못하고 대부분 간이시설로 인식하면서 농민들은 정확한 설계 없이 임의로 시공하는 경우가 많고, 전문건설업 면허를 가지고 있는 온실시공업체들은 대부분 영세하여 자본과 기술력이 부족한 실정으로, 온실 구조와 관련된 공학적 기술개발이 미흡한 결과라고 생각한다. 이 부분은 국제적으로 농공학이라는 학문영역내의 농업시설공학이라는 세부전공에서 연구하고 있으며 선진국의 경우 자본과 기술력을 갖춘 전문 온실업체가 기술개발을 주도하고 있으나 국내에서는 이 분야의 전문 인력이 매우 부족한 실정에 있다. 따라서 공학적 접근이 필요한 농업시설에 대한 인식의 전환, 전문 인력의 양성과 기술개발, 구조적 연구를 통한 재해대책이 절실히 요청된다고 할 수 있다.

원예시설의 계획, 설계, 시공 및 유지관리를 위해서는 공학적 뒷받침이 매우 중요하다. 앞서서도 언급하였듯이 우리나라에 보급된 원예시설 중에 대규모 연동형 플라스틱 온실이나 철골 유리온실 등과 같이 견고한 구조물은 그렇게 많지 않지만 터널형이나 아치형 파이프 하우스와 같이 간이시설에 가까운 것이라도 건축 구조물로 인식하고 공학적인 설계와 시공이 이루어지지 않으면 반복적인 재해의 극복이나 시설농업의 발전을 기대하기가 어렵다. 여기서 공학적인 계획, 설계, 시공, 유지관리에는 구조물뿐만 아니라 온습도, 광, 공기조성, 토양수분 등의 환경요인을 제어하기 위해 시설 내에 들어가는 냉난방 설비, 환기설비, 관수설비 등과 같은 환경조절 설비도 포함된다.

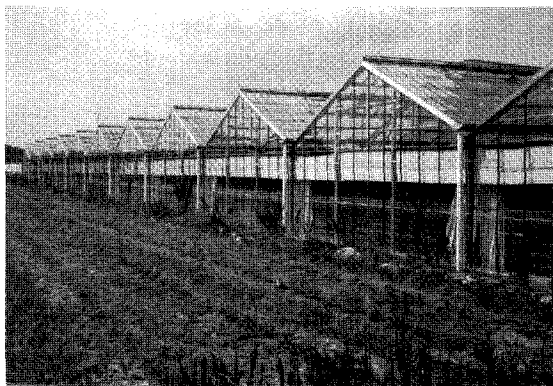


그림 1 한국형 유리온실(와이드 스펠)의 예



그림 2 상추 수경재배 시스템의 예

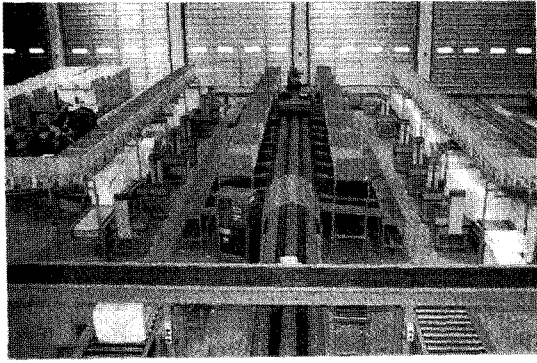


그림 3 선과포장시설의 예(김 등, 2000)

원예공학에서 지원해야할 분야는 온실과 같은 건축 구조물뿐만 아니라 재배시스템도 포함된다. 온실 재배의 경우 대부분이 토경시스템이지만 첨단온실 시스템의 증대와 연작장해의 회피를 위하여 수경재배 시스템의 도입이 늘어나고 있는 추세이다. 온실 재배시스템에서는 관수와 시비를 동시에 해결하는 관미시스템의 도입이 늘고 있는 추세이고 또한 수경재배 시스템에서의 양액의 공급과 급액제어 등을 위해서는 마이크로 관개시스템의 설계나 제어기술 등 공학적인 지원을 필요로 하는 분야가 많다. 규격화된 양질의 묘를 계획적으로 공급하기 위한 공정육묘 시스템이나 청과물의 수확 후 유통에 필요한 산지 예냉시설, 선과포장시설과 저장시설 또한 원예시설공학에서 지원해야할 중요한 분야이다.

시설농업의 발전은 시설구조와 재료, 환경제어기술, 에너지절감기술, 컴퓨터이용, 생체정보계측기술 등 공학기술의 개발 보급에 크게 의존하고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다.

원예시설공학과 관련된 국내의 학회는 한국농공학회 농업시설위원회와 한국생물환경조절학회가 있으며, 국외는 미국과 유럽의 농공학회 내에 Agricultural Structures and Environment Division, 국제원예학회 내에 Horticultural Engineering Commission, 일본의 농업시설학회와 생물환경조절학회 및 식물공장학회 등에서 활발한 학술 활동을 펼치고 있다.

3. 공장형 식물생산시스템

원예시설공학의 발전으로 선진국에서는 식물공장을 실

현하고 우주농업으로까지 연구를 확대하고 있다. 식물공장(plant factory)은 일반 공장에서 원료를 투입하여 제품을 계획적으로 생산하는 것처럼 환경제어나 자동화 등의 첨단기술을 이용하여 시설에서 식물을 계획적으로 생산하는 시스템을 말한다. 일조시간이 짧은 극지방, 용수가 부족한 사막지대, 우주공간 등에서는 일반재배가 불가능하므로 식물생육에 필요한 광, 온도, 습도, 물, 영양분 등의 제어가 가능한 특수한 방식의 재배법이 필요하게 되어 공장 개념의 생산시스템이 등장하기 시작하였다. 현재 상업적으로 가동 중인 식물공장이 미국 4개소, 캐나다 1개소, 스웨덴 1개소, 덴마크 1개소, 일본 18개소 등 25개소 정도가 알려져 있다.

일본의 경우 대기업이 첨단 시설농업 시스템에 투자하는 사례를 많이 볼 수 있다. 예를 들면 전력회사가 잉여의 심야전력을 활용하기 위하여 식물공장에 투자한다든지 자동차회사가 바이오 알콜을 연료로 활용하기 위해서 원료 고

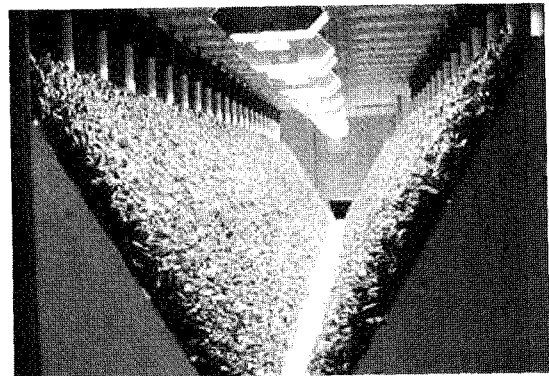
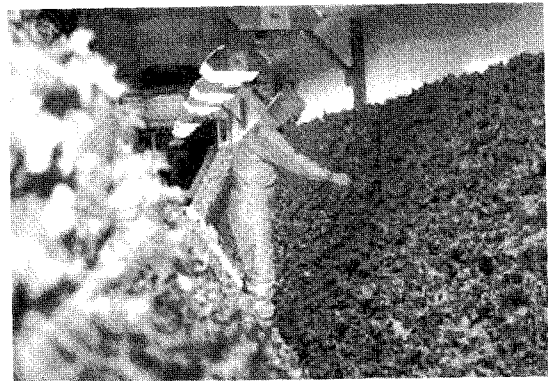


그림 4 공장형 식물생산 시스템의 시설 내부 광경
(<http://altair.chonnam.ac.kr/~horti/vegeta/h24/24.htm>)

구마를 대량생산할 수 있는 공장형 재배시스템 연구에 투자하고 있는 것을 볼 수 있다.

우리나라에서는 첨단 유리온실이나 고정육묘 시스템을 공장형 식물생산 시스템으로 취급하기도 하지만 완전 자동화된 식물공장과는 거리가 있고, 현재 농촌진흥청 농업공학연구소에서 실험용 식물공장 시스템을 가동하고 있는 정도이다.

원예시설공학 분야에서 비교적 공장형 식물생산 시스템에 가까운 형태로서 환경조절형 농업(CEA, Controlled Environment Agriculture)이 일본이나 구미 선진국을 중심으로 발전하고 있다. CE(Controlled Environment)란 간단히 제어된 공간 또는 환경으로 정의할 수 있으며, 주택과 같은 사람을 위한 공간이 될 수도 있고 창고와 같은 비생물 공간이 될 수도 있다. CEA 시설은 제어환경 하에서의 식물생장, 수경재배, 식물연구 등을 친환경적으로 제공한다. 농업에 있어서는 온실과 같은 식물 생육 공간 또는 저온창고와 같은 수확된 농산물의 저장 공간이 여기에 해당된다. 이들 공간은 온도와 습도, 광강도, 이산화탄소나 에틸렌 같은 공기중의 가스성분, 물과 양분, 그리고 병해충과 같은 특정한 환경인자들이 제어되어야 한다. 어떤 특정한 인자가 제어되고 어떤 값으로 제어되어야 하는가는 제어환경 하에서 생산되는 농산물의 종류에 따라 다르다. 생산물의 종류 예를 들면 녹색채소재배, 절화장미 또는 냉동포장 완두콩 등은 각각 제어 인자나 제어 값이 다르다. 환경조절형 농업은 온실에서 채소나 과일 같은 식용 식물, 꽃이나 분재 같은 관상 식물, 약용 식물 등을 생산하는 하이테크 산업이다. 온실은 환경조절형 시설로서 여러 가지 형태와 크기를 가지고 있지만 항상 햇빛이 투과되는 재료로 피복되어 있다. 햇빛은 식물의 건강한 생육을 통하여 영양가 있는 식용 생산물과 아름답고 향기로운 꽃을 생산하는데 필수 요소이다. 식물은 또한 물과 양분(비료)을 공급 받아야 한다. 물과 양분을 성공적으로 공급할 수 있는 기술 중에 하나가 수경재배 시스템이다. 서구의 CEA 프로그램을 보면 대부분 온실에서의 수경재배 시스템을 지향하고 있다(<http://cals.arizona.edu/ceac>).

Arizona대학교(University of Arizona)의 CEAC(Controlled Environment Agriculture Center)에서는 환경조절형 농업을 위한 다양한 연구와 교육프로그램을

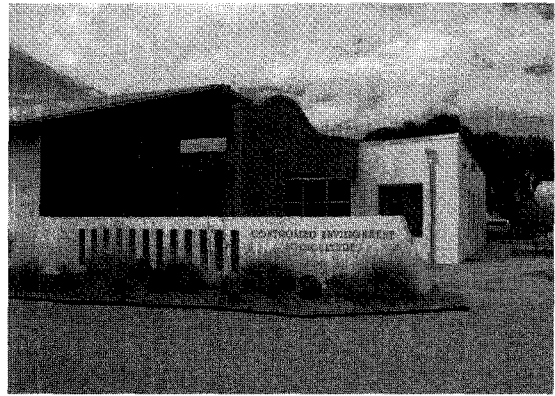


그림 6 미국 Arizona대학교 CEAC 건물 사진

운영하고 있다. 대표적으로 실시간 온실 환경 모니터링 시스템(Tomatoes Live)을 개발하여 운영하고 있고, 온실 재배기술과 공학설계를 위한 단기코스의 교육프로그램을 운영하고 있으며, 남극프로젝트(Development for a South Pole Food Chamber)와 화성프로젝트(Development for a Prototype Inflatable Mars Surface Habitat) 등 극지와 우주에서의 식물생산시스템을 연구하는 등 식물과학자와 농공학자들이 공동으로 다양한 프로젝트를 수행하고 있다(<http://ag.arizona.edu/ceac/CEACresearch/Innovation.htm>).

그 밖에도 미국 뉴저지주 Rutgers대학교의 Biore-source Engineering Program 중 하나로 CEA 센터에서 원예공학 프로그램을 운영하고 있으며(<http://aesop.rutgers.edu/~horteng>), 뉴욕주 Cornell대학교의 생물환경공학과(Department of Biological and Environmental Engineering, 농공학과에서 변경된 명칭)에서도 CEA Program을 운영하고 있다(<http://www.cornellcea.com>). Ohio주립대학의 Hydroponic Vegetable Program도 대표적인 CEA 프로그램 중 하나이다(<http://www.oardc.ohio-state.edu/hydroponics/ABE/abe.htm>).

일본에서는 CEA 센터 보다는 대부분이 연구실 형태로 운영되고 있다. 동경(Tokyo)대학교 농학부 생물·환경공학과와 생물환경공학(Bio-Environmental Engineering) 연구실에서는 식물과 환경의 관계를 세포수준에서부터 개체수준, 군락수준까지 해석하고 그 지식을 환경문제나 식물생산 공간에 응용하는 연구를 하고 있다. 환경제어

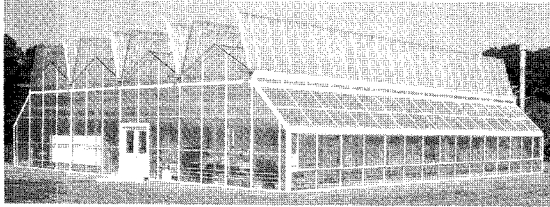


그림 6 미국 Rutgers대학교의 CEA 프로그램
(<http://aesop.rutgers.edu/~horteng>)

기술 등의 공학적 연구에서부터 식물의 광합성 특성해석 등 생리학적 기초연구까지 생물학과 공학을 융합한 경계영역을 대상으로 한다(<http://kankyo08.en.a.u-tokyo.ac.jp/index.htm>). 치바(Chiba)대학교 원예학부의 식물생산공학 연구실과 환경조절공학 연구실에서도 환경공학 및 생태생리학적 방법을 이용하여 식물의 환경응답이나 제어환경 하에서의 식물생육 등을 해명하여 그 지식을 식물의 효율적 생산에 응용하는 연구를 수행하고 있다(<http://www.h.chiba-u.jp/kanko/contents/introduce.html>). 일본 농업공학연구소 농지정보부 농업시설연구실에서는 시설구조·재료, 환경제어기술, 컴퓨터이용, 식물생체정보 측정 기술 등의 공학기술을 개발 보급하고 있으며, 우주 등의 극한환경에서의 식품생산, 생명유지, 순환이용 등에 대하여도 연구하고 있다(<http://ss.nkk.affrc.go.jp/kenkyu/section/nochiseibi/nogyosisetu/nogyosisetu.html>).

원예시설공학 분야는 CEA, 식물공장을 넘어서 우주농업으로까지 연구를 확대해 가고 있다. 미국, 러시아, 일본, 유럽국가 등 우주개발 선진국을 중심으로 국제우주정거장 등 우주에서 임무를 수행하는 인간의 생명을 지원하기 위한 생명지원시스템(life support system) 관련 기술의 응용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 장기간 동안 우주에서 임무를 수행하는 인간의 생명을 지원하려면 우주에서의 작물생산, 물과 공기의 정화 및 재생, 폐기물 처리

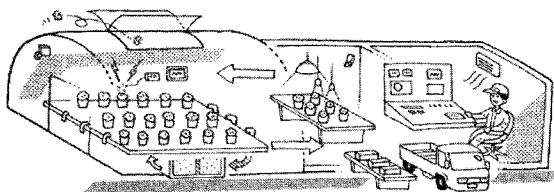


그림 7 일본 농업공학연구소의 고능률 농업시설 개념도
(<http://ss.nkk.affrc.go.jp>)

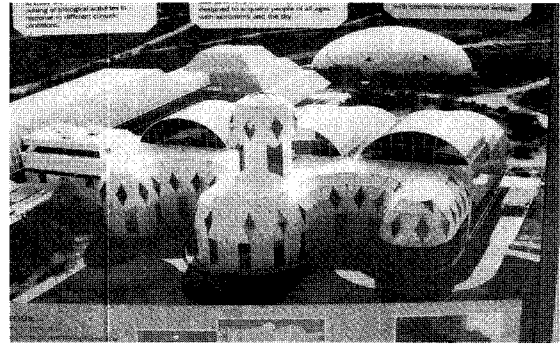


그림 8 미국 아리조나의 Biosphere 2 외관

등이 가능한 생명지원시스템이 개발되어야 한다. 우주기지 에서 생산되는 작물은 근본적으로 식품의 원료뿐만 아니라 우주비행사들의 호흡에 필요한 산소의 공급원에 해당되며, 또한 인간과 식물의 공존에 의한 심리적 안정 효과 등도 기대할 수 있다. 지금까지 개발된 폐쇄생태계 생명지원 시스템(CELSS: closed ecological life support system)으로 미국의 Biosphere 2와 러시아의 Bios-3를 실례로 들 수 있고, CELSS에서의 식물의 역할과 우주에서의 생명지원 요구량 그리고 화성에 적용 가능한 식물생산시스템 등에 관하여 활발한 연구가 수행되고 있다. 앞으로 생명지원 시스템에서 식물생산을 실현하기 위해서는 미소중력 또는 저압과 같은 우주 환경에 적용 가능한 폐쇄형 식물생산 시스템, CELSS에서의 물질순환, 물의 재생, 폐기물의 처리, 미량 유해가스의 제거, 인공조명, 배양액의 공급 등에 대한 공학적 접근이 이루어져야 한다(김, 2006).

4. 맺음말

이상으로 터널형 간이시설로부터 출발하여 유리온실 등의 첨단온실을 거쳐 공장형 식물생산 시스템 및 폐쇄생태계 생명지원 시스템까지 발전하고 있는 원예시설공학 분야에 대하여 고찰해 보았다. 우리나라의 농공학과에 이와 관련된 전공 또는 연구실을 설치한 대학이 그렇게 많지 않다는 것은 매우 안타까운 현실이다. 농공학이 농업과 농촌의 발전을 위한 공학적 지원 분야라면 농업토목 중심인 우리의 농공학은 무언가 부족하다는 느낌을 떨칠 수 없다. 우리 학회에서는 작년에 농공비전 2020 책자를 발행하면서 농공학의 진로 모색을 위한 다방면의 노력을 펼칠 바 있다. 무엇보다도 농공학의 다변화가 필요하며 그 중에서도 바이

오농업과 연계된 시설축산, 시설원예 등의 시설농업을 육성하기 위한 기반기술의 발전에 기여하는 것이 하나의 다변화 과제가 될 수 있을 것으로 생각한다. 안정적인 시설농업 생산기반 조성을 위해서는 시설구조의 표준화 및 설계기준의 재정립이 절실히 요청되며 또한 항구적인 재해 대책의 수립이 시급한 실정이다.

각 대학의 농공학과에서는 농업시설 관련 과목을 교과과정에 반영하고, 원예 축산 등 생물학 분야의 학과와 학제간 공동연구 및 연계전공 형태의 교육도 필요할 것으로 생각된다. 시설의 구조와 재료뿐만 아니라 환경조절, 신재생 에너지 또는 바이오 에너지의 활용, 식물공장 등의 첨단기술 분야에도 연구 사업을 투자해야 한다. 과수 시설재배 면적의 확대 및 한계농지의 효율적 활용 측면에서 경사지 온실 모델의 개발이나, 시설농업 확대에 인한 저수지 물관리 체계의 변화 등에 대한 공학적 검토도 필요하다.

농림부와 농촌공사, 농업공학연구소와 농어촌연구원 및 농공학 관련 기관에서는 농업시설 분야를 관장하는 부서를 설치하고 전문 인력을 배치하여 시설농업 분야의 기반 조성에 기여할 수 있는 토대를 마련해야 할 것으로 판단된다. 이 부서에서는 원예시설 뿐만 아니라 축산시설, 저장시설 및 기타 농업관련 모든 시설을 사업대상으로 해야 할 것이다. 필자는 90년대 농어촌진흥공사(한국농촌공사의 과거 명칭) 시설영농처(뒤에 농업시설사업처로 바뀌었다가 폐지됨)가 유리온실만을 사업 대상으로 하였기 때문에 지

금까지 지속되지 못하고 폐지된 것이 아닌가 생각하고 있다. 농업시설 전 분야를 대상으로 공학적인 뒷받침을 해 줄 수 있는 연구 및 사업부서가 설치되고, 농업시설공학이 농공학의 주요 분야로 자리매김 할 수 있게 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석진, 이현우, 2000, 농업시설공학, 향문사.
2. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석진, 이현우, 2002, 생물환경조절공학, 도서출판청솔.
3. 김용현, 2006, 생명지원시스템에서 작물 생산을 위한 공학적 접근, 한국생물환경조절학회 춘계학술대회발표논문집 15(1): 26-53.
4. 송만강 외, 2005, 바이오농업은 제2의 녹색혁명인가, 지성사.
5. 원예연구소, 2004, 고유가시대 시설재배 에너지절감 기술.
6. 한국농공학회, 2006, 농공비전 2020 생명의 물과 흙, 쾌적한 농촌 만들기.
7. 한국생물환경조절학회, 2006, 원예시설의 기상재해 현황 및 대책 심포지엄 자료집.
8. Balls, R. C., 1986, Horticultural Engineering Technology, Macmillan Education Ltd.
9. Lindley, J. A. and J. H. Whitaker, 1996, Agricultural Buildings and Structures, ASAE.
10. 小澤行雄, 内藤文男, 1993, 園藝施設學入門, 川島書店.