



농업시설의 신기술 정보 및 연구 동향

이 석 건
(경북대학교 농과대학 교수)

우리나라의 「농업시설학」은 1960년대초부터 일부학자에 의하여 필요성이 주장되었으며, 1970년대에는 소수대학의 학부과정에서 교과목으로 채택되어 강의가 이루어졌다. '80년대에 접어들면서 미국이나 일본에서 이 분야를 연구한 사람들에 의하여 관심도가 높아짐과 동시에 국내의 농업여건도 과학기술영농시대를 맞이하여 농업시설학은 왜소하나마 하나의 학문영역으로 성장하여 왔다. 최근 농가소득증대와 농업의 국제경쟁력확보에 있어서 시설농업의 중요성이 인정되어 새로운 학문으로 확고한 위치를 점하게 되었으나 국내의 연구인력과 그간의 기술축적이 부족하여 시대적 여건에 부응하기에는 미흡한 실정이지만 앞으로 학문의 체계화와 활발한 연구가 기대된다. 이러한 농업시설분야의 신기술정보 및 연구동향을 농업시설 신기술, 농업시설 연구, 생물산업의 발전과 농업시설학의 전망순으로 기술하고자 한다.

1. 농업시설 신기술

가. 신소재의 개발 및 이용기술

최근에 개발된 농업시설관련 신소재로는 축열재, 히터파이프(heater pipe), 태양전지, 膜, 防菌필터, 투명단열벽체 등이 있으며 이를 간략하게 소개하면 다음과 같다.

1) 축열재

축열에는 물질의 온도변화를 이용하는 현열축열과 물질의 相變化를 이용하는 잠열축열이 있다. 축열에 사용하는 물질 즉 축열재도 현열축열재(물, 암석, 토양 등)와 잠열축열재(무기 또는 유기화합물질)가 있으나 신소재라 함은 잠열축열재를 의미한다. 잠열축열재는 현열축열재에 비하여 단위체적당 축열량이 크고 축열시스템의 구성도 간단하지만 다음과 같은 조건을 구비해야 한다¹²⁾.

- ① 용점이 적당하고 단위체적당의 용해열이 클 것
- ② 가역적 또는 용해·응고가 확실할 것.
- ③ 용기의 부식성이 적고 인체에 독성이나 위험성이 적을 것.
- ④ 장기적으로 반복되는 상변화에도 잠열재로서의 성질이 변화하지 않을 것.
- ⑤ 구입이 용이하고 염가일 것.
- ⑥ 사용후의 폐기가 용이할 것.

난방용의 축열재로 널리 사용되고 있는 것은 황산나트륨 10수염($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 용점 32°C)과 염화칼륨 6수염($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 용점 29°C)의 무기수화염이며, 단위체적당 용해열이 $60 \sim 150\text{cal}/\text{cm}^3$ 정도로 크다. 온실에서 대부분의 과채류는 주간난방설정온도가 25°C 내외이고 야간난방설정온도가 $8 \sim 13^\circ\text{C}$ 의 범위이므로 온실용 잠열축열재는 용점은 20°C 정도인 물질이 적당하다. 최근에 일본에서

황산나트륨 10水塩($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)과 요소($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)를 몰비 0.4 : 0.6으로 혼합하여 개발한 잠열축열제가 있다.¹²⁾

2) 히터파이프(heat pipe)

히터파이프의 원리는 1944년 미국 G.E사의 R.S.Gaugler에 의하여 발상된 것으로, 폐쇄관에 작동유체를 액상과 기상이 공존하는 상태로 봉입하고 관의 양단에서 온도차를 주면 액체는 고온부에서 증발하여 증기로 변화하고 저온부로 이동하여 냉각되면서 증기는 잠열을 관에 전달하고 응축되어 다시 액체로 변화한다. 이 응축액은 모세관력에 의하여 증발부로 순환함으로서 유체의 이동사이클이 구성되어 연속적인 열수송이 이루어지게 된다. 그 후 1960년대 초 미국의 G.M.Grover등이 히터파이프라고 명명하고 본격적인 연구가 시작되었으며, 동작이론, 제조법 및 재료 등 기술기반을 확립하게 되었다. 히터파이프는 열사이펀(thermo-syphon)과 전열원리는 같으나 유체의 구동방법이 히터파이프는 모세관력을 이용하고 열사이펀은 중력을 이용한다. 히터파이프의 구조는 그림 1과 같이, 관(container), 작동유체(working fluid) 및 모세관 구조(wick)로 구성되어 있다¹⁾.

1970년대 중반부터 히터파이프는 배열회수용 열교환기, 집적회로의 제어, 모터의 냉각, 전자·전기제품의 제열, 태양열집열기 및 지열

을 이용한 도로 融雪 등에 응용되고 있다. 특히 히터파이프는 중저온영역의 gas-gas열교환이나 배열회수용으로 우수한 성능을 가지고 있으며, 다음과 같은 특징이 있다¹⁾.

- ① 구동부가 없으므로 동력이 불필요하고 고장이 적으며 운전비, 보수, 유지가 유리하다.
- ② 고온부나 저온부 유체의 흐름은 관외면에서 이루어지기 때문에 압력손실 및 송배풍기의 소요동력이 적다.
- ③ 총열전달계수가 크고 단위체적당 전열면적을 크게 할 수 있으므로 소형이나 경량화가 가능하다.
- ④ 구조가 간단하여 소요의 성능에 적합한 전열면적을 선택할 수 있다.
- ⑤ 작동유체의 선택에 따라 여러 가지 온도 조건하에서 사용할 수 있다.
- ⑥ 작동유체의 순환이 제한되기 때문에 열수송능력에 한계가 있다.

이상과 같은 히터파이프는 농업시설의 열수송, 가열 및 냉각목적으로 이용가능성이 있을 것으로 판단되며 검토가 요망된다. 이미 지열을 이용한 도로용설시스템(그림 2)의 원리를 온실의 난방시스템에 적용한 예가 있으며¹⁰⁾, 히터파이프로 제작한 가열관을 이용한 온실난방이나 태양열의 지중축열시스템에서 히터파이프의 활용에도 있다.

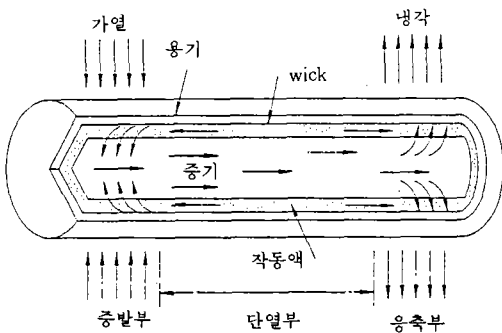


그림 1. wick를 사용한 히터파이프

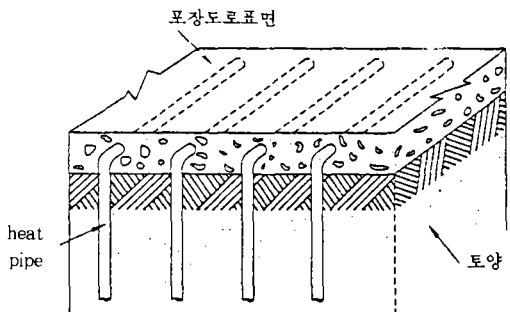


그림 2. 지열을 이용한 도로용설시스템

3) 태양전지

태양전지는 태양광의 광기전력 효과(photo-voltaic effects)를 이용하여 태양광을 직접 전기로 변환시키는 반도체 소자로, 실리콘 반도체계와 화합물반도체계가 있다. 선진국들의 태양에너지 개발 project의 일환으로 활발한 연구가 수행되어 최근 고효율 태양전지가 개발되고 있으나 변환효율의 향상과 가격절감을 위하여 연구가 계속 진행되고 있다. 태양전지는 인공위성이나 등대의 전원, 무선중계소나 소형 펌프, 작은 마을이나 벽지 등의 전원공급용으로 주로 사용되고 있다. 태양전지를 농업분야에 이용한 대표적인 예는 태양열펌프(solar pump)로 축전지를 부착한 직접태양전지를 이용하여 펌프의 모터를 구동하는 것이며, 일사량의 변화에 따라 토출량이 달라진다. 앞으로 태양전지는 전기올타리, 온실의 환기팬이나 창고의 개폐, 컨베이어를 이용한 벽지의 운반시스템 및 태양에너지 계측 등에 활용가능성이 크다⁴⁾.

4) 膜

膜은 용액중의 물질을 분리하거나 농축을 가능하게 하는 등 그 기능이 다양하다. 일반공업이나 의료용에 이용되고 있는 膜分離(membrane filtration)기술은 電氣透析(Electric Dialysis, ED), 精密濾過(Micro Filtration, MF), 限外濾過(Ultra Filtration, UF), 逆浸透(Reverse Osmosis, RO)의 4종류가 있다. 막분리기술은 가열을 하지 않고 분리나 농축이 가능하고, 폐쇄계내에서 산소의 영향을 방지할 수 있으며 물의 경우에는 상변화를 동반하지 않기 때문에 에너지손실이 적은 장점이 있어, 농업분야에도 폐수처리, 고품질 식품가공, 관·배수의 제염, 농약, 미생물 및 유기물의 제거 등에 응용되고 있는 첨단기술이다. 최근 일본에서는 大谷敏郎 등에 의하여 막분리기술을 수경재배의 물이나 양액의 재이용에 적용가능성을 검토한 연구가 수행된 바 있어¹⁸⁾,

앞으로 시설재배의 환경문제와 관련하여 식물재배시스템에도 관개수와 양액의 除菌 및 제염이나 양액성분의 균질화 등에 막분리기술의 도입이 기대된다.

5) 防菌필터

방균필터를 사용하여 공기중의 부유바이러스나 세균 등을 제거하여 무균상태에 가깝게 제어한 공간을 Biological Clean Room(BCR)이라고 한다. BCR은 실험용의 동물사육시설이나 의료용외에도 최근에는 식품분야나 유전자조작 등의 연구시설로 사용되고 있으며, 일반적으로 HEPA(High Efficiency Particular Air)필터가 사용되고 있으며 미국NASA의 규격을 따른다. BCR은 조직배양, 버섯재배 및 무균동물사육 등을 목적으로 하는 농업시설에 사용되고 있으며 앞으로 대량생산시스템에 활용될 가능성이 있다.

6) 투명단열벽체

온실과 같이 태양광의 투과가 필수적인 농업시설은 벽체구조가 실내의 보온이나 온도조절 등 열환경에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 온실의 보온은 피복재의 단열과 보온커텐에 의하여 제어되며 차광에 의하여 입사광을 조절한다. 투명단열벽체는 태양광중 가시광선부분만을 투과하고 근적외선부분을 반사하는 기능을 가지고 있기 때문에 하절기에 온실의 온도상승을 억제할 수 있는 동시에 온실내부로 부터의 원적외선반사에 의하여 온실의 방열을 억제하는 기능을 가지고 있다. 투명단열벽체 구조의 일례는 그림 3과 같이 유리, 열선반사필름, 투명필름 및 프레임으로 구성되어 있으며, 일반적으로 내측과 외측에는 유리나 플라스틱필름을 사용하고 중간에 태양광의 가시부 투과율이 73%, 적외부 반사율이 48%, 저온방사선의 반사율이 90%인 반사필름을 사용한 구조로 되어 있다⁹⁾. 프레임으로는 목재, 플라스틱, 알루미늄 또는 철재가 사용되며 벽체로 사용될 수 있도록 관형으로 되어 있다. 투명

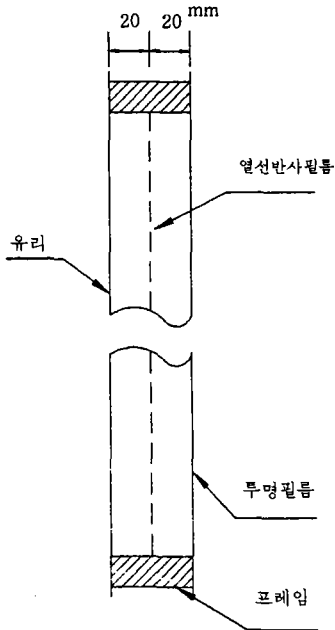


그림. 3. 투명단열벽체의 구조에

단열벽체는 태양광의 선택적 투과나 단열효과가 우수하여 특수목적의 농업시설용 벽체구조로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

나. Biotechnology의 활용기술

Biotechnology는 「생물체 또는 생물학적 시스템을 이용하여 추구하는 물질이나 생물체를 만들어 내는 새로운 기술」을 말하며, 구체적으로 유전자 변환, 세포융합 등에 의하여 새로운 물질을 만들어 내고 이것을 대량으로 배양하여 식량, 에너지, 의약품 등의 생산에 이용하거나 생성된 생물체의 활동을 화학공업이나 환경정화 등에 응용하고자 하는 기술을 의미한다¹¹⁾. Biotechnology의 3대 기초기술은 생물소재의 개량, 생물체 또는 그 기능의 이용 및 자연생태계에서 발생하는 생물상호간의 반응이용이며, 응용분야는 표-1과 같다. 농림수산업에서 Biotechnology의 의미는 생물이 지닌 능력과 기능을 최대한 개발·이용하여 생산으로부터 가공·유통에 이르는 모든 공정에

표-1. Biotechnology의 기초기술 및 응용분야¹¹⁾

기 초 기 술	응 용 분 야
1. 생물소재의 개량 - 유전자조작 - 세포배양 - 난자조작	미생물의 개량 동·식물의 육종 및 번식 배양세포의 개량
2. 생물체 또는 그 기능의 이용 - 배양에 의한 기능이용 - 생물기능의 촉매적 이용	바이오매스 변환 산업 폐기물의 처리 식품 및 사료의 생산 유용 물질의 생산
3. 자연생태계에서 발생하는 생물상호간의 반응이용 - 생리활성물질 및 면역물질의 이용 - 특정미생물의 증강	병해충 및 잡초방제 시비 및 토양개량 환경보전 및 수질정화 가축의 사양관리

있어서 생산성을 혁신적으로 증대시키고 풍부한 양질의 식량을 안정적으로 생산하는 동시에 자연환경이나 생활환경을 양호하게 유지·보전하는 것이다. 이와 같은 Biotechnology는 농업시설분야에서도 Bioechnology기술개발을 위한 시설 및 환경의 제공, 바이오매스에너지, 육묘의 대량생산, 농촌지역의 폐기물처리시설, 축산폐기물의 처리 등의 연구에 크게 응용될 것으로 기대한다.

다. 컴퓨터의 활용기술

최근 컴퓨터가 대중화되면서 농업분야에 이용하는 방법도 다양해졌다. 농업시설분야에서 컴퓨터가 이용되는 분야는 농업시설의 구조 및 환경설계, 복합환경제어, S/W의 개발로 대별할 수 있으며, 구체적으로 CAD를 이용한 농업시설의 설계, 기상자료의 활용, 화상정보화, 시설관리시스템, Database의 작성, 인공지능, GIS의 이용, 과일이나 야채의 품질평가나 생육진단에 분광반사율 스펙트럼정보의 활용 등이다.

1) 컴퓨터를 이용한 농업시설의 구조 및 환경설계

컴퓨터를 이용한 시설구조 및 환경설계는

일반 건축분야에서 이미 널리 활용되고 있으며 다양한 설계기법들이 개발되어 보급되고 있다. 그러나, 농업시설은 생물생산을 목적으로 하는 특수성때문에 일반건축물과는 달리 복잡한 설계요인들이 고려되어야 한다. 시설의 설치 목적 및 형태, 설치면적, 하중조건, 시설설치지역의 기상조건, 구조재의 종류, 시설의 안전율, 환경조건 및 환경제어시스템의 종류 등 필요한 자료의 입력을 통하여 구조의 주단면과 환경설비의 용량이 결정될 수 있는 S/W가 일부 개발되고 있으며, 시설의 모듈화나 표준화 및 자재의 규격화와 관련된 설계기법이 개발되고 있다. 한편 시설의 구조계산은 컴퓨터의 성능과 구조해석용 전문S/W의 급격한 발전으로 과거에는 지나친 단순화와 무리한 가정을 통해서만 계산이 가능했던 복잡한 형상의 구조에 대한 해석이 매우 용이해졌다. 구조해석용 소프트웨어에는 SAFE, STAAD, SAP, ETABS, NISA, ADINA 및 RM 등 많은 종류가 있다. 특히 Fuzzy이론을 이용한 하중설계방식이나 LRFD(하중저항계수설계법) 등은 일반 건축구조물은 물론 농업시설구조의 합리적인 설계의 새로운 장을 마련하게 될 것으로 예상된다. 아울러 환경설계에 활용될 수 있는 온실의 환경예측모델, 곡물의 건조모델, 생육모델 등에 관한 시뮬레이션기법도 상당한 수준에 이르고 있다.

2) 농업시설 S/W개발

① 농업정보화시대의 S/W

컴퓨터의 기능이 급격하게 향상된 반면에 가격은 저렴해져 컴퓨터가 가전제품화 되었다. 우리나라도 국제화·개방화시대에 접어들면서 첨단농업기술의 개발과 농어가의 경영능력향상을 도모하여 국제경쟁력강화를 목적으로 1993년 농림수산부는 「농림수산부분의 정보화추진계획」을 수립하여 (재)농림수산정보센터, 농수산물유통공사, 농촌진흥청이 협력하여 농업분야의 정보화시대에 대응하고 있으며,

현재 농촌진흥청의 농업종합기술정보(ATINS), (재)농림수산정보센터의 농림수산정보(AFF-IS), 농수산물유통공사의 농업유통지원정보서비스(AMIS) 등이 활용되고 있으며 그 외에 농협중앙회, 서울특별시, 한국수자원공사, (주)서울청과, 경상북도 등에서도 농업관련정보를 제공하고 있다.

일본에서 시판되고 있는 농업용 S/W는 기상, 축산, 원예, 답작, 전작, 경영, 판매, 가격, 지도, 환경계측 등의 분야에 약 110종에 이르고 있으며, 유럽 각국에서 농업용 S/W개발에 참여하고 있는 회사현황은 표-2와 같다. 농업도 정보화시대에 예외일수 없으며 경영개선, 재배기술, 지역계획 및 자원관리, 지역농업정보, 농촌인터넷 등 농업분야의 컴퓨터이용이 확대될 것이다.

표-2. 유럽 각국의 농업용 S/W회사수²¹⁾

국 명	네델란드 (1993)	프랑스 (1992)	독 일 (1993)	이태리 (1992)	포르투갈 (1992)
회사수	약 60	37	약 20	78	7

② 농업시설관리용 S/W

최근 급격히 발전하고 있는 인공지능(Artificial Intelligence, AI)은 기계번역, 화상인식, 음성인식 등의 분야에 널리 응용되고 있으며 특히 전문가시스템(Expert System)은 급진적으로 실용화되고 있다. 농업분야에도 토마도의 생육진단, 농업기계의 고장진단, 온실의 환경제어, 야채공장의 운전지원 등 다수의 전문가시스템이 구축되어 실용화단계에 접어들고 있다¹⁰⁾. 국내에서도 축사환경관리전문가시스템에 관한 연구가 수행된바 있어⁷⁾ 앞으로 농업시설의 관리나 환경진단 등에 많이 활용될 것으로 생각된다.

라. 계측기술

최근 소재개발기술의 혁신과 반도체집적기

술의 응용에 의하여 우수한 센서가 개발되고 있으며 컴퓨터에 의한 자료처리능력이 탁월하여, 농업분야에 있어서 계측기술의 급격한 발달은 물론 이용가능한 정보가 증대하고 있다. 농업분야의 계측기술중 최근 괄목할 만한 발전을 한 분야는 화상처리, 생체계측 및 비파괴측정기술이라 할 수 있으며, 이들은 농업시설연구와 밀접한 관계가 있는 첨단기술이다.

화상처리(Image Process)는 2차원으로 배열되는 수많은 요소들을 컴퓨터를 이용하여 계측한 데이터를 조작하여 가시화 내지는 판별할 수 있도록 처리하는 것으로, 최근 급속하게 확대되어 의학이나 농학을 포함한 생명공학분야에 널리 이용되고 있다. 화상처리기술은 파종, 이식, 적과, 방제, 수확, 선별, 생육진단 등의 농업분야에 응용되고 있으며 앞으로 확대될 것이다.

식물의 생체계측대상은 광합성, 호흡, 증산, 흡수, 체내수분, 생장속도, 엽온 등이며, 센서, 신호처리, 데이터의 수집 및 분석 등의 요소기술이 요구된다. 주요 생체정보와 측정원리는 표-3과 같으며, 새로운 기술과 성능이 우수한 계측기기 및 측정자료를 효율적으로 이용할 수 있는 S/W가 함께 개발·보급되고 있다.

비파괴측정기술은 근적외선법, X선 CT(Computed Tomography)법, 초음파법, NMR/MRI-CT법 등이 있으며 주로 농산물의 선별이나 미각평가와 검사에 적용되고 있으며, 최

근 복숭아의 果肉糖度を 측정하는 실용장치가 개발되어¹⁰⁾ 관심을 모으고 있으며 농산물의 비파괴선별기술개발의 가능성을 보이고 있다.

마. 자연에너지 이용기술

농업생산시설에 이용가능한 자연에너지는 태양에너지, 수력에너지, 지열에너지, 바이오매스에너지 등이 있다.

태양에너지는 위도, 계절, 시각, 기후에 따라 에너지의 양이 상이하므로 에너지의 집적기술이 요망되며, 열과 동력으로 이용하는 방법이 있다. 태양에너지를 열로 이용하는 방법을 온실, 축사 및 건조 등의 농업시설에 적용한 예는 무수히 많다. 축열재로는 물, 토양, 잠열축열재 등이 사용되고 있으며, 특히 지하에 매설한 파이프에 축열하는 지중열교환방식은 널리 보급되어 있다. 태양에너지는 저밀도이기 때문에 효율적인 집열기술이나 축열재의 개발이 요망되지만 앞으로 농업시설의 난방에 여러형태로 이용가능한 에너지이며 기술개발이 기대되는 분야이다. 태양에너지를 동력으로 이용하는 방법에는 태양광을 이용하는 태양전지와 Rankine Cycle이나 Stirling Cycle 등의 열사이클에 의한 동력변환방법이 있다. 태양열온실, 식물공장과 같은 장치화농업 및 태양열축사 등에서는 태양에너지의 활용기술 개발이 기대된다.

소규모의 수력발전으로 지중가열에 의한 육묘온실에 관한 실험결과도 주목할 말한다¹²⁾.

농산물의 바이오매스자원으로는 왕겨, 벼짚, 가축분뇨, 톱밥, 폐목재 등이 있다. 이러한 에너지자원들의 변환시스템으로는 직접연소에 의한 열, 증기를 이용하는 법 및 연료의 열분해에 의한 법이 있으며, 왕겨의 연소열을 직접이용한 온실난방시스템에 관한 연구가 수행된 바 있다¹²⁾. 축산바이오매스는 축분의 직접연소, 매탄가스발생 및 계분보일러 등으로 이용되고 있다.

표-3. 주요 생체정보와 측정원리

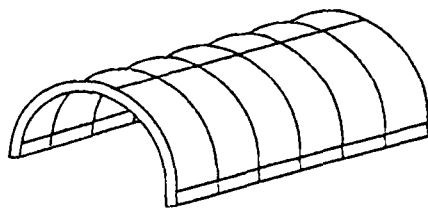
측정대상	측정원리
잎의 온도 및 온도분포	원적외선센서, 열선카메라
잎의 활성도	빛의 반사 스펙트럼
줄기의 직경	차동변압기(LVDT)
기공개도	촬상소자(CCD)카메라에 의한 화상처리
수목의 년륜	X선 단층화상계측
축산물의 육질	초음파 단층화상계측
수분, 당도 등	핵자기공명 단층화상계측

바. 첨단시설환경 제어기술

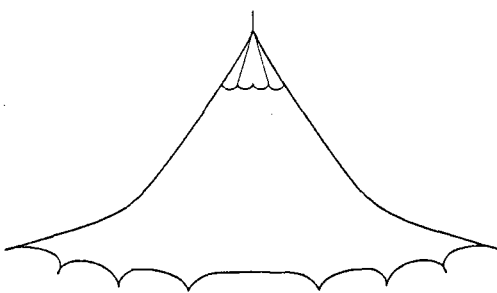
컴퓨터를 이용한 농업시설의 복합환경제어 기술은 국내외에서 활발하게 연구·개발되고 있으며 다수의 상업화된 시스템들이 보급되고 있다. 최근 시설환경제어기술은 정보공학적 수단을 다량 투입하고 있어 첨단환경제어기술이라 할수 있으며 식물공장이 대표적인 적용 예이다. 식물공장은 환경조건을 인공적으로 제어하는 공장적 식물생산시스템이며, 일본, 캐나다 등의 식물공장은 인공광원을 이용한 완전제어형에 근접하는 형식이지만 네델란드에서는 태양광을 이용한 자연광이용형 또는 태양광이용형 식물공장이다. 식물재배에서 지상부는 CO₂농도제어나 인공광의 스펙트럼제어를 포함한 공기에 의한 환경제어이고 지하부는 양액성분제어를 중심으로 한 액운, 뿌리의 호흡에 필요한 용존산소의 제어를 포함한 수耕제어이다. 최근에 이용되고 있는 제어기법으로 양액농도의 적응제어 및 최적제어, pH의 Neuro & Fuzzy제어, 급배수의 적응제어, 식물생체내 수분의 LQ(Linear Quadratic)제어 등이 있다¹²⁾. 앞으로 실용적인 환경제어시스템 및 적정제어기법이 개발되리라 믿는다.

사. 막구조의 응용기술

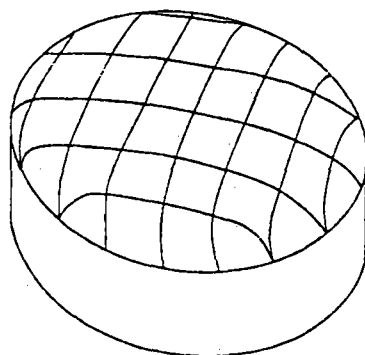
농업시설의 대형화경향으로 경량의 광폭구조가 가능한 막구조를 농업시설에 도입하는 문제가 검토되고 있다. 막구조건축물은 그림. 4와 같이, 골조막구조, Suspension 막구조, 공기막구조로 분류된다. 막구조는 막재료를 이용하기 때문에 구조가 단순하고 일사투과율이 높고 내부공간확보가 용이한 장점이 있으나, 구조상 환기가 불량하여 고온시의 온도조절이 어렵다. 막구조는 1950년대 서독의 Otto (1954)의 의하여 막면에 장력을 가하여 구조의 안전성을 확보하는 연구가 수행되었다²¹⁾. 그 후 독일이나 미국에서 보다 큰 공간확보를



a) 골조막구조



b) Suspension 막구조



c) 공기막구조

그림. 4. 막구조의 형식¹⁹⁾

위한 Suspension 막구조물로 발전하였으며, 내구성, 내화성, 방진 및 강도가 우수한 고신뢰성 막재료가 개발되면서 항구적인 구조로 사용될 수 있는 가능성이 인정되었다. 막구조를 농업시설에 이용한 연구는 1972년 미국에서 Roberts, W. J.와 김문기 등이 시도하였고⁸⁾, 최근 일본의 농업공학연구소에서 豊田裕道 등이 대형농업시설의 막구조이용에 관한 연구를 실시하고 있다¹⁹⁾. 농업용으로 이용되고 있

는 막구조시설에는 일중공기막구조온실(air supported greenhouse)과 이중공기막구조온실(air inflated greenhouse)이 대표적이다. 일중막구조온실은 온실내부의 압력을 외기압보다 다소 높은 10~30mm Aq정도 유지함으로써 내부공간을 확보한다. 틈새가 있으면 내부압력이 낮아져 공간확보가 불가능하므로 기밀성이 높은 폐쇄구조가 요망된다. 강풍이나 적설시에는 내부압력을 70~80mm Aq정도로 높게 유지하여 구조의 안전성을 유지한다. 이중막구조온실은 폴리에틸렌필름을 이중으로 피복하고 그 사이에 공기를 주입하여 내압을 10~200mm Aq정도로 유지하여 막면의 剛性을 증가시킨 관상구조로, 일중막구조온실과는 달리 개방공간의 확보가 가능하

다. 이외에 튜브내부의 압력을 500~1,000mm Aq정도 고압으로 유지하여 소요장도가 낮은 기둥이나 보로 사용하는 Air-beam 구조도 연구되고 있다.

2. 농업시설 연구

가. 농업시설의 연구대상

농업시설은 식물재배와 동물사육에 필요한 생물생산시설과 농업생산물의 가공·저장·유통을 위한 수확후처리시설로 대별할 수 있으며 국내외 실정을 감안한 주요연구대상은 시설의 자재, 구조 및 환경, 에너지의 이용, 농업폐기물의 처리, 첨단농업시설단지 및 첨단계측기술 등이며, 구체적인 연구과제는 표-4와 같다.

표-4. 농업시설의 연구분야 및 과제

연구 분야	연구 과제
(1) 농업시설관련 교재 및 도서 개발	농업시설공학, 농업환경조절공학, 원예시설공학, 온실의 구조 및 환경설계, 온실설계와 시공 등
(2) 생물생산시설의 구조 및 자재개발	첨단온실의 구조설계기준작성, 한국형 생물생산시설의 표준모델 개발, 생물생산시설 전용자재의 개발 및 규격화, 고기능성 공장형 식물생산시설의 구조 개발, 시설구조의 안전진단 및 구조해석기법 개발, 생력형 축산시설의 표준모델 개발, 기상재해방지를 위한 시설구조의 개발, CAD를 이용한 농업시설 설계기법 개발, 고효율 환경조절형 농업시설구조의 최적설계기법 개발 등.
(3) 생물생산시설의 환경조절기술개발	첨단농업시설의 환경조절설비기준 작성, 공장형 생물생산시설의 고효율 환경조절시스템개발 등.
(4) 자연에너지 이용기술 개발	에너지절약형 농업시설구조 개발, Biomass자원의 개발 및 활용기술 연구, 생물생산을 위한 자연에너지의 활용기술 개발.
(5) 수확후처리시설시스템의 개발	에너지절약형 저장시설구조 개발, 저장성향상을 위한 환경조절기술 개발 등.
(6) 시설단지조성 계획 및 설계기술 개발	첨단농업시설의 집단지 연구, 첨단농업시설의 입지 및 배치 연구 등.
(7) 농업폐기물의 유효이용 기술 개발	축산폐기물처리시스템의 개발 및 실용화 연구, 농어촌 폐기물처리시스템의 개발 및 실용화 연구, 농어촌 폐기물의 재활용기술 개발 등.
(8) 컴퓨터 활용기술 개발	컴퓨터를 이용한 생체계측기술 개발 및 이용, 비파괴측정의 응용기술 개발, AI 및 Expert System을 이용한 시설의 관리 및 진단기법 등.
(9) 첨단농업시설사업관련 정책자료 제시 및 기술지원	정부지원 각종 첨단농업시설 사업 관련자료 제시 및 기술지원

나. 국내의 농업시설 연구

현재까지 국내의 농업시설분야 연구는 국내 농업기술수준에서 그 요구도가 미진하였을 뿐만 아니라 전공연구인력이 극히 부족하여 초보단계라 할 수 있다. 그러나 최근 시설농업의 중요성이 인정되면서 첨단농업시설분야의 연구는 우리나라의 농업이 국제경쟁력을 확보하는데 있어서 불가피하게 되었다. 국내 농업시설분야의 연구동향을 파악하기 위하여 최근 5년간(1991-1995) 농업시설분야의 논문이 주로 게재되고 있는 생물생산시설환경학회, 농공학회 및 농업기계학회에 수록된 논문을 분석하였다. 연구분야와 논문의 분류는 keyword를 참고로 필자가 임의로 구분하였기 때문에 객관성이 결여된 부분이 있더라도 이해를 구하는 바이다. 표-5에 의하면, 국내 농업시설분야의 연구는 건축, 환경·기상 및 구조설계분야가 대부분이며 재배기술분야의 연구가 부족한 사실을 알 수 있다. 이는 농업시설 연구가 원예학, 축산학 및 농업공학 등의 학제간 연구를 필요로 하는 분야임에도 현실적으로 분야간의 정보교환이나 공동연구가 원활하지 못함을 알 수 있다. 국내시설농업의 건전한 발전과 연구결과의 실용화를 도모하기 위해서는 학제간 연구의 확대가 바람직하리라 생각된다.

표-5. 국내의 농업시설분야 논문발표 현황 (1991-1995)^{2),3),4)}

연구분야 관련학회	구조 설계	환경 기상	자동화	재배 기술	계측	에너지	기타
생물생산 시설환경학회	12	16	1	2	14	0	4
농공학회	4	4	0	0	0	2	2
농업기계학회	5	6	5	0	23	7	11
계	21	26	6	2	37	9	17

(주) 건조 및 저장부분은 기타에 포함되어 있음.

다. 외국의 농업시설 연구

농업시설학(Agricultural Buildings/Structures)은 구미에서 체계화되어 미국 또는 일본을 통하여 국내에 도입된 학문영역이라 할 수 있다. 따라서 외국의 농업시설연구동향은 구미나 일본의 경향을 분석함으로써 파악할 수 있을 것이다. 제한된 여건으로 구미의 자료입수가 여의치 못하여 농업여건이 우리나라와 비슷한 일본의 연구동향을 부분적으로 분석하였다. 일본에서 농업시설분야와 관련된 학회는 농업시설학회, 농업기상학회, 생물환경조절학회, 식물공장학회, 원예학회, 농업기계학회 등이 있으며, 이 중 농업시설분야의 연구논문이 가장 많이 소개되고 있는 농업시설학회와 농업기상학회의 최근 5년간(1991-1995) 게재된 논문을 분석하여 보았다. 표-6에 의하면, 일본의 농업시설분야 연구는 환경·기상을 주축으로 건축, 에너지, 재배기술 등이 수행되고 있으며 구조설계분야의 연구는 1980년대에 이미 상당한 연구가 수행되어 기술축적이 되어 있음을 알 수 있다. 1994년에 발간된 日本農林水産省農業工學研究所 要覽¹⁷⁾에 의하면, 농업공학연구소에서 농업시설분야의 연구를 담당하고 있는 농업시설구조연구실과 농업시설환경제어연구실의 연구목표는 농업시설의 계획·설계·제어기술의 개발(Development of Design and Control Technology for Agricultural Structures)이며 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

표-6. 일본의 농업시설 연구동향 (1991-1995)^{15),16)}

연구분야 관련학회	구조 설계	환경 기상	재배 기술	계측	에너지	기타
농업시설학회	4	26	1	13	14	23
농업기상학회	2	27	10	4	2	1
계	6	53	11	17	16	24

(주) 건조 및 저장부분은 기타에 포함되어 있음.

- ① 농업시설의 고도화, 가격절감과 설계기술
농업생산시설이나 저장·유통·가공시설의
생산성 향상, 가격절감을 위한 신재료·
신구조의 개발이나 이용 및 시설의 입지
조건을 검토하여 농업시설의 구조계획·
설계기술을 확립한다.
- ② 시설의 구조·재료와 시설내 동식물·환경
조건과의 관계
시설의 구조·재료가 시설내의 가축의 행
동이나 작물의 생육, 관리자의 작업성에
미치는 영향과 시설내 환경조건에 미치
는 영향을 검토하여 고생산성을 가능하
게 하는 시설구조를 개발한다.
- ③ 시설의 환경해석과 환경제어법
모형이나 식물시설을 사용하여 농업시설
내외의 환경성립메카니즘의 해석이나 환
경제어법을 구명한다. 또 컴퓨터 등 최
근의 총합화기술에 의하여 시설의 환경
설계를 한다.
- ④ 첨단기술을 활용한 차세대 시설생산기술 등
생체감시, Expand제어, 신소재 등 고도
첨단기술을 활용하여 식물의 공장적생산
이나 postharvest문제 등 차세대시설생
산기술의 개발, 자연에너지이용 및 고도
정보화기술을 활용한 고도화기술연구를
행한다.

3. 생물산업의 발전과 농업시설학의 전망

농업은 식물이나 동물을 통하여 태양에너지
는 고정하는 산업이다. 장래의 농업은 산업학
의 경향이 더욱 가속화되어 종국적으로 생물
산업으로 변모할 것임에 틀림없다. 생물산업
이 건전하게 육성·발전하여 타산업대비 경쟁
력을 확보하기 위해서는 신소재 및 신기술의
개발, 생에너지시스템의 개발, 시스템화 및 자
동화, 환경보전 수단으로서의 기여도, 재해의

예방 및 대책 등에 관하여 원만한 해결책을
제시해야 할 것이다. 인류가 당면하고 있는
식량문제의 해결과 환경보전이라는 지상과제
와 생물산업육성의 시대적 요구에 직면하여
농업시설은 그 역할이 무엇이고 어떠한 모습
을 변모해야 할 것인가?

모든 학문영역은 필요하기에 형성되었고 또
나름대로의 중요한 역할과 기능을 가지고 있
다. 농업시설학도 예외가 아닐진데 그 기본적
인 역할은 농업의 양적·질적면에서 생산성의
증대를 통한 수익성의 향상이라 할 수 있으
며, 최근에 이르러 생산성의 다양화, 환경제어
와 생산효율의 증대, 농업의 시스템화 등에서
중심역할을 하고 있다.

가. 생물공학과 농업시설

전술한 바와 같이, 정보화산업의 급진적인
발전이 힘입어 농업시설학은 신소재의 개발과
이용, 계측·검사기술, 컴퓨터의 이용, 에너지
의 개발과 이용, Biotechnology 관련기술 및
작업환경의 개선과 공해방지기술 등과 밀접한
관계를 가지게 되었다. 심각한 지구의 환경오
염문제와 관련하여 무공해식량공급을 목표로
선진국에서 연구가 이미 시작된 우주식물공장
만 하더라도 온도, 습도, 기압 등 가상우주공
간의 인공환경조건하에서 식물재배의 가능성
을 타진하는 기본적인 연구는 농업시설분야의
중요한 연구대상이 되고 있다.

나. 에너지와 농업시설

에너지는 생물산업이 해결해야만 할 중요한
과제이다. 화석연료는 매장량이 일부지역에 집
중되어 있을 뿐만 아니라 지구상에 존재하는
절대량이 제한되어 있기 때문에 공급이나 가
격이 불안정할 수 밖에 없다. 핵에너지의 개발
이 부푼 기대를 가지게 하고 있으나 핵폐기물
의 처리는 처음부터 심각함을 알 수 있다.

농업의 형태에 따라 소요되는 에너지의 량

은 차이가 있으며, 계속 확대되고 있는 시설 농업은 에너지소비형 농업형태이다. 시설농업에 소요되는 에너지는 대부분 작물생산부분이지만, 앞으로 축산이나 화훼분야의 환경조절 및 농작업의 자동화설비 도입으로 인한 에너지소비가 증가될 것으로 예상된다. 현재 사용되고 있는 에너지의 종류는 석유가 절대적이며 석탄, 전력 등이 일부 사용되고 있다. 이와 같은 에너지의 소비구조는 부존자원의 부족, 안정된 농업생산, 생산비의 절감 등을 고려할 때 에너지효율이 높은 구조개선이나 환경조절 시스템의 개발이 지속적으로 이루어져야 할 뿐만 아니라 보조에너지공급을 위한 자연에너지 이용시스템의 개발과 관련된 농업시설연구가 가속화되어야 할 것이다.

다. 농업의 시스템화와 농업시설

농업의 국제경쟁력이 심화되고 있는 상황에서 생물의 생산·수확·가공·저장·유통·판매 등 생물산업 전과정의 시스템화는 생산비의 절감과 산물의 고품질화를 위해서 불가피한 과제라 할 수 있다. 최근 마이크로컴퓨터가 염가이고, 고성능화, 범용화, 간편화되고 있어, 계획·예측, 관리·제어, 분석·진단, 정보검색 등의 분야에 널리 활용될 것으로 예상된다. 특히 농업시설에서 큰 비중을 차지하고 있는 첨단온실과 환경조절형 축사는 환경조절 및 관리분야의 시스템화가 요구되며 간편한 조작, 안전성 및 경제성있는 실용화연구가 절실하다.

라. 기상재해와 농업시설

농업생산환경중에서 기상환경은 생산에 가장 많은 영향을 주는 요인이다. 기상환경은 장소에 따라 경시적으로 변화하기 때문에 적정생산조건외 범위를 벗어난 이상기후에서는 재해가 발생하게 된다. 기상재해의 종류는 냉해, 霜害, 凍害(寒害), 고온장해, 풍해, 旱害, 수해, 토양유실, 염해, 대기오염 등 다양하며,

관개시설의 증·개축이나 물관리기술의 발전으로 한·수해는 감소하였지만, 산성비, 온실효과에 의한 온난화 및 자외선의 증가 등 새로운 재해가 우려되고 있다¹³⁾. 이러한 기상재해는 기상조건이 피해를 제공하는 주요인이지만, 피해대상인 작물, 경지 및 시설 등에 따라서 재해의 정도가 달라지므로, 기상의 변화에 적응력이 큰 작물의 선택이나 시설구조의 안전성 확보 등으로 피해를 줄일 수 있다. 농업시설분야의 기상재해는 시설의 파손으로 인한 직접피해와 시설내부 환경조건의 불량으로 인한 간접피해로 구분할 수 있다. 농업생산의 시설화는 외부기상의 변동에 영향을 받지 않고 안전한 생산활동을 가능케 하는 근본적인 목적을 지니지만 기상재해가 두려워 시설화를 거부하는 경우가 없지 않아 역설적인 면도 있다. 최근 국내에서도 태풍이나 폭설에 의한 원예시설의 파손이나 고온으로 인한 가축의 집단폐사 등 농업시설과 관련된 막대한 피해를 입은 바 있으며, 피해정도의 차이는 있지만 매년 계속되고 있어 이에 관한 대책이 요망되며 기상재해로 인한 직·간접적인 피해를 줄일 수 있는 농업시설의 개발이 요망된다.

참 고 문 헌

1. 서정윤, 1990, 히터파이프와 에너지절약기술에의 응용, 공기조화·냉동공학회지 19(6), pp.358-367.
2. 농공학회지, 1991-1995, 한국농공학회.
3. 농업기계학회지, 1991-1995, 한국농업기계학회.
4. 생물생산시설환경학회지, 1991-1995, 한국생물생산시설환경학회.
5. 태양에너지핸드북, 1991, 한국태양에너지학회, pp.531-558.
6. 이석건 역, 1992, 농업환경조절공학, 교보문고.

7. 손정익, D. D. Jones, 김문기, 1994, 전문
가시시스템과 신경회로망에 의한 축사환경개
선시스템, 한국농공학회지, 36(1), pp.95-
102.
8. Roberts, W. J., Kim, M. K. and Mears, D.
R., 1972, Air inflated and air supported
greenhouses, ASAE Paper No.72-404.
- 9.奈良誠, 1895, 透明斷熱壁體, 農業施設研
究會資料, 日本農業施設學會.
10. 日本ヒートパイプ協會編, 1985, 實用ヒート
パイプ, 日刊工業新聞社.
11. 바이오テクノロジー-と農業技術, 1990, 養
賢堂.
12. 日本農業施設學會, 1990, 農業施設ハンド
ブック, 東洋書店.
13. 眞木太一 外, 1991, 農業氣象災害と對策,
養賢堂.
14. 鳥居 壯, 1991, 膜構造用材料·建築新素材
·新材料, 丸善, pp.184-193.
15. 農業施設學會誌, 1991-1995, 日本農業施
設學會.
16. 農業氣象學會誌, 1991-1995, 日本農業氣
象學會.
17. 日本農林水産省農業工學研究所 要覽, 1994.
18. 大谷敏郎, 豊田裕道, 佐瀬勘紀, 1995, 園
藝施設の動向と環境問題(III)-膜分離技術
の施設園藝への適用-, 日本農業施設, 26
(2): pp.105-104.
19. 豊田裕道, 佐瀬勘紀, 大谷敏郎, 1995, 園
藝施設の動向と環境問題(II)-膜構造施設
の可能性に關する検討-, 日本農業施設, 26
(2): pp.97-103.
20. 日本生物環境調節學會, 生物環境調節ハン
ドブック, 1995, 養賢堂.
21. 日本農業情報利用研究會, 1996, 農業情報
化年鑑.