# 생물환경제어 기술의 국제적 동향과 전망
# International Trends and Prospects of Bio-environment Control Techniques

쿠라타 켄지(藏田憲次) 교수
도쿄대 대학원 농학생명과학연구과
Prof. Kenji Kurata
Graduate School of Agricultural and Life Sciences
University of Tokyo

## 서 론

"한국생물환경조절학회의 창립 10주년을 진심으로 축하드립니다. 일본의 동일 분야 학회인 일본생물환경조절학회 및 관련 학회와 한국생물환경조절학회와의 협력 관계가 앞으로 강화되어 다 함께 발전하기를 기원합니다."

나에게 주어진 과제는 범위가 너무 넓기 때문에, 이 제목에 해당하는 충분한 내용의 이야기를 전개할 능력은 없다. 따라서 다음과 같은 기준에 근거하여 그 범위를 약간 좁히고자 한다.

첫 번째, 제목에 생물환경제어라는 "생물"이라는 단어가 있지만, 이것은 당연히 식물뿐 만아니라, 동물 및 미생물도 포함한다. 그러나 나는 동물이나 미생물에 관한 연구를 하지 않고 있기 때문에, 내용을 식물에 한정시켜서 진행하고자 한다. 두 번째, "국제적"이라는 단어에 관한 것이지만, 역시 이 분야에는 미국과 유럽에 연구자가 많고 국제심포지엄도 미국이나 유럽에서 개최되는 것이 많기 때문에, 미국, 유럽 및 일본의 연구를 중심으로 설명하고자 한다. 세 번째, 나중에 기술될 내용이지만, 이 분야에는 국제적으로 중요한 연구 동향이 그렇게 많지 않다. 석유위기 직후에는 에너지 절약에 관련된 큰 연구 동향이 있었으나, 현재는 당시의 연구 동향에 필적하는 큰 연구 흐름은 없다. 따라서 큰 연구의 흐름은 결코 아니지만, 나의 주관에 근거하여 장래 중요한 기술이 될지도 모르는 부분의 연구도 내용 중에 포함시키고 싶다.

## 1. 국제적 연구동향

### 1.1 일본

일본 생물환경조절 관련 분야의 연구자의 동향은 1990년대에 크게 변하게 된다. 이 분야의 연구는, 주로 온실 관계의 연구로부터 시작되었다. 1960년대로부터 1980년대에

걸쳐서 온실공학이 중심이었으며, 온실내의 기후 성립의 매커니즘의 해명, 온실 내 기후 시뮬레이션, 온실 내 기후의 컴퓨터 제어, 에너지 절감이나 태양에너지의 이용의 연구가 중심이었다. 그 후 1990년대에 들어와서 온실공학에 관련되었던 연구자가 온실 이외의 분야에 연구의 눈을 돌리게 되었고, 조직배양, 식물공장, 밀폐생태계 생명지원시스템(CELSS: 우주기지에서의 식량생산 등) 등의 연구가 시작되었다.

결국 식물 주위의 환경을 제어하는 점에서는 온실 연구와 공통적인 면이 있지만, 온실 내 기후가 외부의 영향을 받는 것에 대하여, 새롭게 등장한 연구대상은 외부의 영향을 받지 않는 시스템이었다. 따라서 변동하는 외부 환경 하에서 식물 주위의 환경을 제어하고자 하는 문제의식은 희박해지고, 연구자의 문제의식은 어떤 의미에서는 환경에 대한 식물의 필연적인 반응을 해석하는 생리학적인 면을 지향하게 되었다.

과거의 온실공학에 몰두하였던 연구자는, 현재 식물의 환경반응의 해석(환경문제 포함), 밀폐계에서의 식물생산(묘생산 포함), 조직배양에서의 환경조절 등의 연구로부터 파생된 영역은 물론, IT나 센싱기술 등으로 다양한 연구에 관심을 가지는 현상을 나타내고 있다. 물론 소수이지만, 온실공학에 몰두하고 있는 연구자도 있다. 예를 들면, 작년 일본 츠쿠바(Tsukuba)시에서 개최되었던 농업환경공학 관련 4학회합동학술대회에서 생물환경조절 관계의 발표를 분류해 본다면(주관적 입장) 다음과 같다.

인공생태계 · 식물공장 · 인공광원 등에 관계하는 발표는 34과제, IT나 센싱(리모트센싱 제외) 관계가 24 과제에 비하여、온실관계가 7과제이었다. 또한 발표수는 많지 않았지만, 아트리움이나 실내녹화등의 amenity관계가 9과제이었다. 이상과 같이 일본의 생물환경조절 분야의 연구는 온실 중심의 연구에서 보다 넓은 영역으로 다양화하고 있다고 말 할 수 있다.

### 1.2 ASAE Meeting(미국농공학회 학술대회)(2001)에 근거한 연구동향

2001년에 Sacramento에서 개최되었던 미국농공학회 학술대회 발표내용의 분포에 근거하여 미국의 연구동향을 살펴보도록 하자. 생물환경조절에 직접 관련된 섹션은 Structure & Environment이었고, 이 분야 중에서 특히 Naturally-ventilated Greenhouse Design과 Controlled Environment for Plant Growth의 2가지 session이었다. 그 외에는 대부분 동물에 관련된 내용이었다.

전자에는 환기 및 기류가 취급되었고, 실험, 수치해석(CFD)등의 발표가 있었다. 또한 지붕개방형 온실에 관련된 발표도 있었다. 후자는 8과제의 발표 중에서 4과제가 Advanced Life Support System에 관한 것으로 CELSS에 상당하는 분야이다. 그 외의 섹션에서는 Biological Engineering, 기타 영역、Information & Electrical Technologies

가 있었다. 마지막으로 IT 관계의 session에서 8과제 중에서 5과제가 인터넷을 이용하는 내용이었다. 그 외에 특징적인 동향은 없었다.

이상의 내용을 정리하면, ASAE에서의 생물환경조절 관련 발표 동향으로는, 온실환기 및 기류해석, CELSS, Internet 이용의 3가지를 들 수 있다.

### 1.3 J.Agric Eng.Res 및 Acta Hort.534에 의한 연구동향

Journal of Agricultural Engineering Research은 농공학 관계의 국제학술지이며, 2001년에 발행된 내용 중에서 생물환경조절에 관련된 내용은 전부 온실 관계이다. 전부 9편의 온실 관련 내용 중에서 5편이 환기관계로 여기에서도 ASAE에서 보였던 유사한 연구동향이 현저하게 나타났다. 이러한 경향을 보다 확실하게 보여주는 것은, 1999년 이스라엘에서 개최되었던 International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd MillenniumのProceedings (Acta Horticulturae 534)에 수록되었던 논문의 경향이다. 가장 많았던 것은 환기 및 기류해석 관련 논문으로 8편이었고, 그 외에는 광 및 냉방에 관련된 발표 건수가 많았다.

### 1.4 연구동향의정리

이상으로 일본, 미국 및 유럽의 연구동향을 분석해 보았다. 물론 지역적인 차는 있었지만, 공통점도 있었다고 생각한다. 이상의 내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 시설원예 관계의 연구는 환기 및 기류해석이 중심적 테마이다.
2. IT (특히 인터넷 이용) 연구는 커다란 흐름을 가지고 있다.
3. 일본과 미국에는 CELSS (또는 Advanced Life Support System)의 연구가 진행되고 있다.

마지막으로 CELSS에 관련하여 부언한다면, 이 연구는 몇몇의 제한된 연구기관이 중심이었으며, 연구회 등에서의 발표건수는 많았지만 커다란 연구 흐름이라고는 말할 수 는 없다. 일본의 CELSS학회가 있지만, 최근 생태공학회로 이름으로 변경하였다. 다음으로 온실의 환기 및 기류해석과 IT에 관한 내용이다.

## 2. 온실의 환기 및 기류 해석

온실의 환기가 관심의 대상이 된 배경에는, 온난지역으로 시설원예가 보급되고, 온실의 주년이용, 생산물의 고품질화의 요구 등으로 고온억제가 시설원예에서 환경제어의 중요한 목표로 되었기 때문이다. 더욱이, 온실 내에서 작업하는 농민의 작업환경의 개선이라고도 할 수 있다.

특히 동력을 필요로 하지 않는 자연환기가 주목을 받게 되었다. 환기나 기류해석의 분야에서는 주목하여야 할 연구동향이 있다. 하나는 실용화 면이 진행되고 있는 지붕개방형 온실의 등장이며, 또 하나는 CFD나 풍동실험에 의한 유체역학적 해석이다.

### 2.1 지붕개방형 온실

지중개방형 온실은 미국이나 유럽에서 등장하기 시작하였으며, 지붕의 환기면적을 종래의 온실에 비하여 훨씬 증가시킴으로서 자연환기를 촉진시켜 고온을 억제하고자 하는 온실이다. 일본에서는 full-open greenhouse라고도 불리지만, 아직 정식 명칭은 아직 아니다. 미국이나 유럽에서는 open-roof greenhouse라고 알려지고 있다. 지붕개방형온실은 원래 환기효율이 좋지 않은 연동온실에 적용되고 있는 형태이다.

그림 1은 지붕개방형 온실의 분류를 나타내고 있다. 모든 방식에서 지붕이 100% 개방되어 있다. Roberts et al.(1999)은 그림 1의 좌상에 나타낸 형태의 지붕개방형온실의 기온과 강제환기온실의 기온을 비교한 결과, 하절기 맑고 일사가 강한 시기에 지붕을 전부 열어놓은 지붕개방형 온실의 기온은 외기온 보다 최대 2.2℃의 온도가 높다는 보고를 하였다. 그러나, 강제환기온실의 기온은 10℃ 가까이 높았고, 결과적으로 지붕개방형 온실의 고온억제 효과가 있다는 것을 확인하였다. 지붕을 전부 열어 놓을 경우, 내부 환경은 기온 뿐만 아니라 풍속, 광 등에서도 종래의 온실과 차이가 있었다. 앞으로 이러한 형태의 온실의 환경특성을 파악하는 것이 생물환경조절학이 갖는 의미라고 할 수 있다.

### 2.2 기류해석

온실내의 기후해석은 1960년대로부터 시작하여 시뮬레이션 모델 등 많은 성과를 축척하여 왔다. 그러나 이러한 연구의 한계는 온실내의 기온을 대표값으로 밖에 나타낼 수 없었다는 것이다. 즉, 온실내의 기온을 대표값으로만 나타내었고 온실 내 온도 분포 등은 생각하지도 못하였다. 그러나 당연히 온실내의 온도는 균일하지 않으며, 최근 들어서야 기온 분포에 관한 연구가 진행되었다. 분포의 파악이 중요하다는 것은 이전부터 지적되어 온 것이지만, 당시의 기술적인 수준으로는 분포를 파악하는 것은 불가능한 일이었디. 현재에도 실제의 온실을 사용하여 실험적으로 분포를 파악하기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 그러나 현재에는 수치해석 또는 모형실험으로 분포까지 해석하는 것이 가능하게 되었다. 이와 같은 배경이 되는 수치해석 수법의 발전과, 이미 언급한 환기의 중요성의 인식이 높아짐에 따라 최근 들어 기류해석이 커다란 연구 흐름의 하나

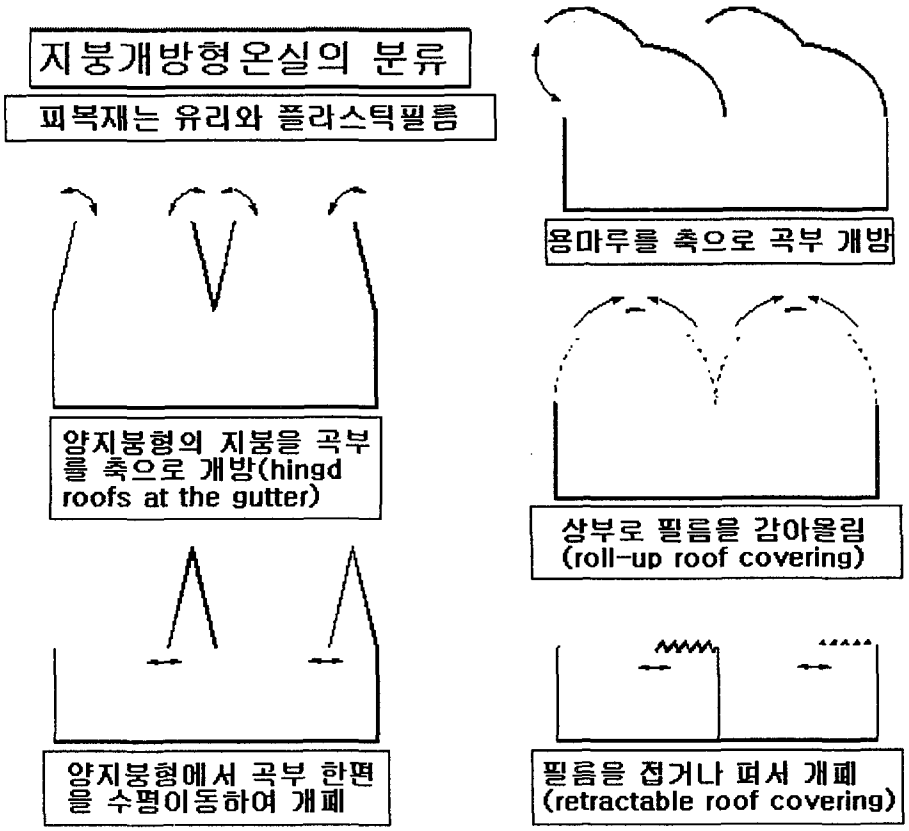


그림 1. 지붕개방형온실의 분류 (佐瀨, 2002)

가 되었다.

해석수법에 관해서는 CFD(Computational Fluid Dynamics: 수치계산유체역학)가 손쉽게 PC에서 가능하게 됨으로서 많은 기류해석 연구가 시도되었다. 단동온실(Shklyar and Arbel, 2000), Venlo온실 (e.g., Reichrath and Davies, 2001), 지붕개방형온실 (그림 1의 좌상의 형태: e.g., Lee et al, 2000: 이인복박사는 CFD를 이용한 온실환기 연구에 중심적인 연구자의 1인) 등의 다양한 형태의 온실에서 수치해석에 의하여 환기시 기류에 관한 내용 들이 밝혀지게 되었다.

예를 들면, 지붕개방형온실(4연동)에는 가장 풍하측의 지붕으로부터 공기가 유입되어 온실내를 역류하고, 가장 풍상측의 지붕으로부터 유출되며(Lee et al., 2000), 60연동의 Venlo온실에서 풍하측의 천창을 열었을 경우, 중간부분에서 수평방향으로 바람이 없는 'dead zone'이 형성되고, 그곳으로부터 풍상측에는 외부의 바람과 반대방향의 기류가 형성되고, 풍하측에서는 외부의 바람과 동일한 방향의 기류가 형성된 다는 내용 (Reichrath and Davies, 2001) 등 이었다.

CFD와 함께 최근 주목받고 있는 기류해석수법에는 PIV (Particle Image Velocimetry、e.g., Lee et al., 2001)가 있다. 이것은 풍동에서의 모형실험으로 미립자의 움직임을 추적함으로써 기류를 파악하는 수법이다. 대형의 풍동이나 레이저 발신장치, 영상획득 및 해석장치 등 많은 실험장비가 필요로 한다. 현재까지 일본의 농업공학연구소의 Sase박사가 중심이 되어 실험하고 있다. PIV 데이터는 CFD의 검증에도 사용되고 있다(Lee et al., 2000).

CFD는 어쨌든 강력한 시뮬레이션 수법이지만 현실은 아니기 때문에, CFD의 검증 데이터의 획득이 앞으로의 중요한 문제가 될 것이다. 특히, 연동수가 많은 대규모 수치해석의 검증 데이터의 획득은 어렵기 때문이다. PIV는 검증 데이터를 제공하지만, 대규모 온실의 경우는 풍동실험이 곤란하다. Reichrath and Davies (2001)는 온실 지붕의 풍압계수의 실측값과 CFD의 결과를 비교하기도 하였다. 실제로 기류 그 자체의 실측 데이터를 획득하는 것은 어렵지만, 그 대신 풍압계수를 실증 데이터로 사용하는 것은 하나의 방법이라고 말 할 수 있다. 또한, 대형 온실을 대상으로 한 경우에는 어차피 3차원 CFD는 PC에서 불가능하며, 슈퍼 컴퓨터가 필요하다.

따라서 CFD의 문제점으로 검증 데이터와 계산량의 2가지 점을 열거할 수 있다. 그러나, CFD가 강력한 수법이라는 것은 틀림없고, 특히 온실설계에는 강력한 수법이 될 것이다. 또한 작물모델과 조합한다면 가상 온실에 대하여 다양한 해석을 시도할 수 있다. 작물모델과 CFD의 조합은 앞으로의 중요한 연구방향의 하나라고 생각된다.

## 3. IT (Information Technology)

정보기술(IT)는 생물환경조절의 분야 뿐만 아니라, 농업관련 분야 전체에도 커다란 영향을 주고 있다고 생각한다. IT라는 단어로 어떠한 영역이 커버되는지 확실하지는 않지만, ASAE의 session에서 나타난 것처럼 인터넷 이용이 커다란 연구 흐름인 것임에는 틀림이 없기 때문에, 인터넷 기술을 중심으로 생각하고자 한다.

ASAE의 session으로부터는 연구동향이 확실하지 않기 때문에 일본의 프로젝트를 소개하고, 금후의 동향을 생각해 보고자 한다. 이것은 일본의 농림수산성이 진행시키고 있는 "데이터베이스 · 모델 협조시스템의 개발"이라는 프로젝트이다. 주관적인 입장에서는 이 프로젝트 중에 생물환경조절분야에 있어서의 IT기술의 장래가 보이는 것 같은 느낌이 든다.

상기의 프로젝트는 크게 2가지의 과제로 나뉘어 진다. 첫 번째는 "중개시스템 및 remote object화에 관한 기반 연구"이고, 두 번째는 "데이터베이스 · 모델 협조시스템의 구축"이다. 두 번째에는 구체적인 과제가 모여 있기 때문에, 여기서는 첫 번째에 주목하고자 한다. 첫 번째는 3가지의 중과제로 구성되어 있다. 각각 "중개시스템의 개발수법의 구축", "현장 발생정보의 분산 협조수집 · 전달시스템의 개발" 및 "분산협조 proto-type 시스템의 개발"이다. 이것들의 중과제명에서 나타난 것처럼, 이 프로젝트의 키워드는 중개시스템, 현장발생정보 및 분산협조이다.

생물환경조절분야에서의 금후의 IT이용의 방향성을 생각해 보면, 이와 같은 3가지의 키워드는 참고가 될 것이라고 생각한다. 상기의 프로젝트를 참고로 하여 주관적인 입장에서 정리하면 그림 2와 같다.

먼저, 가장 좌측에 나타낸 것이 분산된 현장발생정보이다. 작물, 기상, 토양, 온실내 환경, actuator 등의 재배관리에 관계하는 다양한 요소를 다점 계측한다. 그 중에는 영상정보가 있을 수도 있다. 이것들의 현장발생정보는 농가의 서버에 인터넷(휴대전화)을 통하여 무선 LAN으로 모여진다. 농가는 서버로부터 직접 이들의 데이터를 획득하거나, 인터넷을 경유하여 원격지로부터 획득한다. 물론, 데이터는 그래프 등의 형태로 쉽게 볼 수 있도록 가공되어 진다. 농가 서버는 인터넷을 통하여 많은 서버와 연결되어 있어서, 이들의 데이터 교환이 가능하다. 이를 위하여 데이터의 규격화, 또는 규격화되어 있지 않은 데이터베이스를 이용할 경우에 다양한 형식에 대응할 수 있는 중개시스템이 필요하다. 규격화의 경우는, 현재 XML이 기본적인 기술로 되어 있다.

중개시스템으로는 상기 프로젝트에서 개발된 기상정보용 중개시스템이 참고가 될 것이다. 이것은 세계에 분산되어 있는 기상 데이터베이스를 데이터 형식의 차이에 관계없이 간단하게 이용할 수 있도록 한 중개시스템이다.

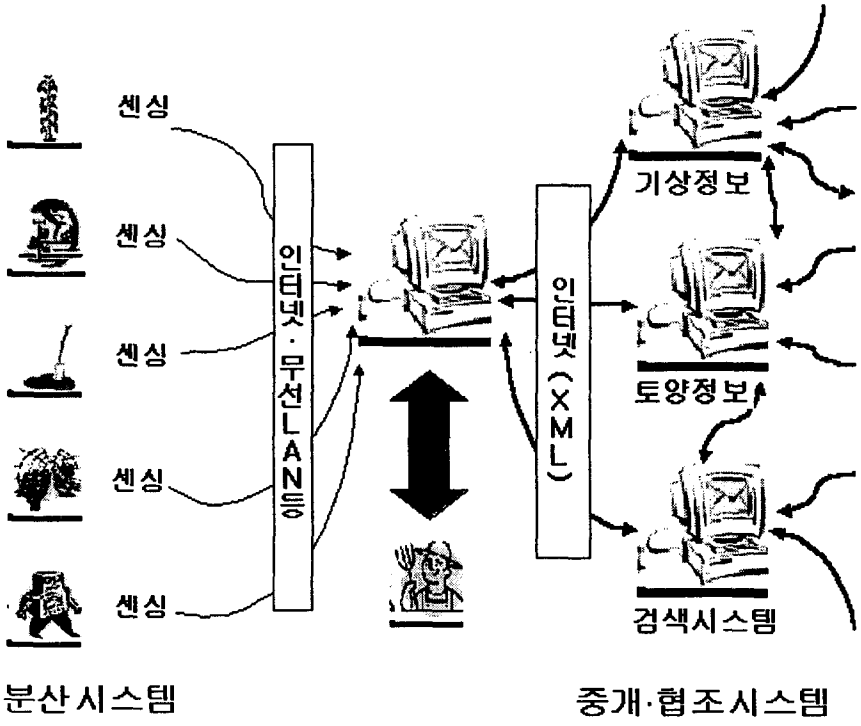


그림 2. 생물환경조절분야의 IT 이용의 개념도.

그 밖에, 토양데이터베이스용의 중개시스템이 개발되어 있다. 또한, 다양한 식물생육 모델의 검색이나 이용, 시장정보에의 접근등, 인터넷을 매개로 하여 재배관리상 참고가 되는 정보의 입수가 가능하다. 역으로 농가의 정보는 XML화 되어 데이터베이스에 추가된다.

이상과 같이, 금후의 IT이용 기술로는, 현장에 분산된 정보의 수집과 현장발생의 분산정보 뿐 만 아니라, 인터넷상에 분산되어 있는 다양한 정보를 필요에 따라서 중개시스템을 통하여 수집하여 결합하는 2가지의 방향성이 있다. 전자에는 값싼 센서의 개발이 중요하고, 후자에는 최근 빠른 속도로 발전하고 있는 Web 기술이 중요하며. 이것들의 기술을 적극적으로 도입할 필요가 있다.

센서에 관해서는, 식물로부터 생체정보를 얼마나 저렴한 장치로 검출할 수 있는 지가 중요한 과제로 되어 있다. 지금까지 여러 가지의 수법이 개발되어 왔지만, 거의 비파괴적 계측방법으로 원격계측이 가능해야 된다는 것으로부터 전자파(광을 포함)에 의한 계측이 유망하다. 단, 장치의 비용 문제가 있다. 전자파에 의한 계측에는 여러 가지 파장이 연구되고 있다. 마이크로웨이브(e.g., Shimomachi et al, 2001), 근적외선(Okamura et al., 2001), 가시광(e.g., Kurata and Yan, 1996, Okamura et al., 2001)등이 있다. 어떤 연구에서도 완성된 기술은 없고 지금부터 연구가 기대되는 분야이다. 이것들은 어떤 것도 반사 또는 투과된 전자파를 계측하는 것이기 때문에 식물로부터 발생하는 형광을 검출하는 수법을 사용하기도 한다(예를 들면, 佐川등、2001a、b: Norikane and Kurata, 2001: Kurata and Kimura, 2002). 현재 형광에 의한 식물모터링에 많은 기대를 가지고 있지만, 최대의 문제는 장치의 가격이 고가라는 것이다. 그러나, 형광 특성의 지표가 확정된다면, 저렴한 가격의 장치도 가능할 것이라고 생각된다.

## 4. 水 (장래에 가능성이 있는 테마)

국제적인 연구 발표는 그다지 많지 않고, 그다지 주목을 받고 있지 않지만, 앞으로 관심을 일으킬 만한 테마로서 "물"을 생각해보자 한다. 일본에는 소위 "기능수"가 주목을 받고 있고, 매년 큰 심포지엄이 열리고 있다(기능수 심포지엄). 이 심포지엄은 농업보다는 의학이 중심이지만, 농업에의 응용도 다루어지고 있고, 또한 각종 연구회도 있다. 기능수는 약 10년 전만 해도 대부분의 연구자에 의하여 무시당한 Topic이다. 그러나 최근 수 년간 연구자 들은 심각하게 기능수를 다루게 되었고, 연구발표도 점점 증가하게 되었다. 국제적으로는 아직 인정받고 있지 않지만, 앞으로 국제적으로도 주목을 받게 될 것이라고 생각한다.

기능수 중에서 가장 많이 연구되고 있고 부분적으로도 실용화되고 있는 것은 전해수

(전기분해수)이다. 전기분해조의 양(+)극 측에서 나오는 물(흔히 산성수라고 함: 여기서는 양극수라고 부름)의 살균작용이 인정되었고, 농업 분야에서도 친환경농업에 적합한 것 이라고 생각된다(예를 들면, 富士原, 2000). 양극수의 살균작용은 병원 등에서 많이 사용되고 있으며, 앞으로 농업에도 많이 사용될 것으로 생각된다.

양극수의 살균효과가 많이 인정된 것에 비하여, 반대측의 음극수(알칼리수)의 작용은 불확실하다. 작물의 생육촉진에 효과가 있다는 보고가 있지만, 우리 그룹에서 실시한 연구에는 작물생육촉진 효과는 확인할 수 없었다(e. g., Iwabuchi et al., 2000). 또한 음극수에는 활성산소 제거효과가 있다는 보고가 있지만(Shirahata et al., 1997), 유사한 실험에서 그 결과를 확인할 수 없었다.

그러나 일본에서는 음극수의 생체에의 효과에 대하여 주로 의학이나 전기화학적인 면으로부터 연구가 진행되고 있어, 그 효과나 매커니즘도 가까운 시일 내에 밝혀질 것이라고 생각된다. 음극수가 생체에 어떤 작용을 한다는 것이 밝혀진다면, 당연히 농업에도 응용될 수 있기 때문에, 앞으로 농업분야에서의 음극수의 응용이 중요한 연구 테마로 될 것이다. 단, 나의 경험에 근거하면, 음극수로 재배하여 금방 결과가 나오는 것은 아니다. 더욱 기초적인 차원에서 연구를 하지 않으면, 응용에 연결되는 결과는 얻을 수 없다고 생각된다.

전해수 이외에도, 암석으로 처리한 물 등, 다양한 기능수가 고찰되고 있다. 그 중에서 어느 것이 효과가 있고 어느 것이 효과가 없는 지는 불확실하다. 그러나 서서히 이러한 물의 효과에 관한 과학적인 해명이 시작되고 있다. 농업분야에서도 무시할 수는 없을 것이며, 장래 물의 연구가 국제적인 동향으로 될 수 있는 가능성은 충분하다고 생각된다.

## 결 론

주관적인 관점이었을지는 모르겠으나, 생물환경조절분야의 연구동향을 일본, 미국 및 유럽을 중심으로 분석해 보았다. 또한 국제적 동향과는 약간 거리가 있을지 모르겠으나, 장래 가능성이 있는 분야로서 기능수를 살펴보았다. 그 외에도 장래에 연구의 큰 흐름으로 될지도 모르는 분야는 많을 것으로 생각된다. 개인적으로는 직접적으로 재배기술에 접목시킬 수 있는 연구로부터 약간 멀지만, 보다 생리학적인 연구에 중점을 두고 생리학적인 이론에 근거한 기술개발에 결부시키고 싶다.

즉, 'physiology-based technology'가 나의 생각이며, 앞으로 생물환경조절분야의 발전 방향은 확실히 알 수 없지만, 생리학과의 관계는 점점 밀접해 질 것이라고 생각된다.

"한국과 일본은 가까운 거리에 있기 때문에, 점차적으로 한국생물환경조절학회와 일본생물환경조절학회를 시작으로 하는 관련 학회의 협력체제가 강화되어 다 함께 발전할 수 있기를 기원합니다. 한국생물환경조절학회 10주년을 다시 한번 축하드립니다."

## 인용문헌


Iwabuchi, K., Seyama, K., Kurata, K., and Hiruta, Y., 2000, Does electrolyzed-reduced water protect plants from photoinhibition, Kubota, C. and Chun, C ed. Transplant production in the 21st century, 51-71, Kluwer Academic Publishers.

Kurata, K. and Kimura, Y., 2002, Spatial variations of ultraviolet-induced fluorescence within a plant, Acta Horticulturae, in press.

Kurata, K, and Yan, J., 1996, water stress estimation of tomato canopy based on machine vision, Acta Horticulturae, 440, 389-394.

Lee, I.-B., Okushima, L., Ikeguchi, A., Sase, S. and Short, T., H., 2000, Prediction of natural ventilation of multi-span greenhouses using CFD techniques and its verification with wind tunnel test, ASAE paper 005003.

Lee, I.-B., Sase, S., Okushima, L. and Ikeguchi, A., 2001, Performance of particle image velocimetry (PIV) for aerodynamic study of natural ventilation in large-sized multi-span greenhouses, ASAE paper 014055.

Norikane, J. H. and Kurata, K., 2001, Water stress detection by monitoring fluorescence of plants under ambient light, Trans. of the ASAE, 44, 1915-1922.

Okumura, N., Kurata, K. and Takakura, T., 2001, Analysis of color changes in leaves of muskmelon plants under water stress, Environ. Control in Biol., 39, 27-34.

Okamura, N., Shimomachi, T., Takemasa, T. and Takakura, T., 2001, Nondestructive

detection of water stress in tomato plants by NIR spectroscopy, Environ. Control in Biol., 39, 75-85.

Reichrath, S. and Davies, T. W., 2001, A virtual reality multi-span glasshouse, Acta Horticulturae, 566, 51-56.

Roberts, W., Sase, S. and Kania, S., 1999, Open-roof greenhouse scenario, ASAE paper 995009.

Shimomachi, T., Okamura, N., Takemae, T. takakura, T., 2001, Nondestructive detection of water stress in tomato plants by microwave sensing, Environ. Control in Biol., 39, 17-25.

Shirahata, S., Kabayama, S., Nakano, M. and Miura, T., 1997, Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protect DNA from oxidative damage, Biochemical and Biophysical research Communications, 234, 269-274.

Shklyar, A. and Arbel, A., 2000, Greenhouse turbulence flow numerical simulation, Acta Horticulturae, 534, 49-55.

富士原和宏 · 土井龍太 · 飯本光雄 · 谷野章、2000、電氣分解陽極水噴霧による作物病害防除に關する基礎研究 (3)－電氣分解陽極水およびpH · 有効塩素濃度調節水の噴霧が葉やけ様生理障害發生葉率に及ぼす影響－、生物環境調節、38、33-38.

佐川美佳 · 藏田憲次 · 高橋邦夫 · 峰內健一、2001a、レーザ誘起螢光法による樹木の長期弱光ストレスおよび水ストレス檢出の可能性、農業氣象、57, 41-48.

佐川美佳 · 藏田憲次 · 高橋邦夫 · 峰內健一、2001b、樹木葉の暗處理によるレーザ誘起螢光誘導期現象および葉內糖濃度の変化、農業氣象、57, 49-54.

佐瀨勘紀、2002、 Personal communication.

(번역: 서울대 손정익 교수)