

제61권(2009.10.30)

식물공장의 동향과 전망

김 정 호

요 약	1
1. 식물공장의 개념과 의의	3
2. 식물공장의 국내외 동향과 실태	6
3. 식물공장 사업화의 조건과 가능성	11
4. 식물공장의 전망	17

한국농촌경제연구원

내용 문의: **김정호** 선임연구위원 02-3299-4221 jhkim@krei.re.kr
자료 문의: **이성규** (정보플라자) 02-3299-4213 sklee@krei.re.kr

- 「KREI 농정연구속보」는 정책 담당자, 농업인, 연구자 등 수요자에게 신속히 정보를 제공하기 위하여 연구 결과를 간결하게 정리한 것입니다.
- 이 자료는 우리 연구원 홈페이지(www.krei.re.kr)에서도 보실 수 있습니다.

요 약

최근에 ‘식물공장’이 언론에 자주 등장하고 있다. 우리나라가 발광다이오드(LED) 기술의 선진국으로서 이를 상용화한 전자제품들이 세계시장을 석권하면서 LED 기술을 활용한 식물공장도 세간의 관심을 끌고 있다.

식물공장이란 “농작물에 대하여 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온·습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경 조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 관계없이 자동적으로 연속 생산하는 시스템”을 말한다. 한 마디로 온도와 습도를 제어하고 인공 광원으로 농작물을 재배하는 시설농업으로서, 날씨나 계절에 관계없이 농작물을 연중 안정적으로 생산할 수 있다.

일찍이 시설농업의 선진국으로 자리잡은 네덜란드에서는 고도의 재배기술이 요구되는 분화식물공장을 운영하고 있으며, 미국 뉴욕과 캐나다 토론토에서는 ‘마천루농장’이라는 수직농장(vertical farm) 건립을 계획하고 있다.

1970년대부터 식물공장 연구를 추진해 온 일본에서는 상업화가 많이 진전되어 정부가 식물공장의 활성화를 위해 건설비를 지원하고 있다.

식물공장은 농작물의 생육 상태를 과학적으로 관리하여 비료나 농약을 저투입하는 정밀농업(precision agriculture)의 성격을 가지므로, 일반 농산물에 비해 안전성을 확보할 수 있다. 또한 노지에서 재배가 어려운 기능성 농작물을 재배함으로써 고부가가치 농업을 실현할 수 있고, 식량작물의 연중 재배를 통해 생산성을 비약적으로 높임으로써 식량기지로 활용할 수 있다는 점에서 식물공장 방식은 미래 농업의 대안이 될 수 있을 것이다.

나아가 식물공장은 농업기술에 기계, 전기, 전자, 제어, 환경 등의 첨단산업기술을 접목하는 하이테크농업 형태이다. 따라서 한국형 식물공장의 모델 개발이 긴요하며, 식물공장의 발전을 통해 우리나라 농업이 선진국형 산업으로 도약하기 위한 기술적인 초석을 다지는 의미도 클 것이다.

1. 식물공장의 개념과 의의

식물공장(plant factory)이란 용어의 기원은 정확하지 않으나, 1960년대에 채소의 시설 재배가 성행하면서 공장식 농업을 ‘식물공장’이라고 불렀던 것으로 알려진다. 북유럽 지역은 흐린 날이 많고 일조 시간이 적어 채소 생육에 그다지 좋은 환경이 아니기 때문에, 노지 재배보다는 시설 재배가 발달하게 되었다. 이즈음에 네덜란드에서 채소를 중심으로 수경 재배가 성행하게 되자 땅에 뿌리를 내리지 않은 작물을 사람들이 보고 마치 식물 공장 같다고 말했다고 한다.

식물공장이 가시화된 것은 1957년에 덴마크의 크리스텐센 농장에서 새싹 채소를 컨베이어 방식으로 생산하면서부터이다. 이러한 식물공장 방식이 네덜란드, 벨기에, 오스트리아 등으로 확산되었는데, 유럽의 농업 기술을 소개한 일본에서 1970년대에 식물공장(植物工場)이라는 용어를 사용하면서 우리나라에도 파급된 것으로 보인다.¹

식물공장이란 한 마디로 말하면 공장제 농업생산시스템이라고 요약할 수 있는데, 구체적으로 용어를 정의하면 “농작물에 대하여 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온·습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 관계없이 자동적으로 연속 생산하는 시스템”을 일컫는다.²

식물공장의 유형은 그 기준에 따라 다양하게 분류할 수 있으며, 개념적으로는 협의와 광의라는 구분이 가능하다. 먼저, 협의의 식물공장이라 함은 식물을 생산하는 시설 그 자체를 말하며, 주로 수경재배 방식을 기본으로 지상부 제어 범위로는 광, 온·습도, 탄산가스 등이 해당된다. 반면, 광의의 식물공장이라고 하면 협의의 식물공장의 범위뿐만 아니라 조직배양 방법

1 서상규 외 역, 식물공장(원저: 高辻正基(타카쓰지 마사모토), 植物工場), 2007.

2 ‘식물공장’이 일련의 체계화된 생산시스템이라는 점에서 ‘식물공장 생산시스템’이라는 용어가 보편적으로 사용된다.

에 의한 클론 증식시스템, 세포배양 방법에 의한 세포 대량증식시스템 등 까지 포함하는 개념이다.

식물공장은 시설에 대한 구성 요소의 차이와 제어 수준에 따라 부분제어형(태양광 병용형)과 완전제어형으로 구분할 수 있다. 태양광 병용형은 유리 또는 플라스틱 필름 등을 활용하여 맑은 날과 밝은 시간에는 태양광을 이용하고, 비가 오는 날과 어두운 시간 등 빛이 부족한 시기에는 인공조명을 활용하는 형태이다. 부분제어형과 완전제어형은 광원뿐만 아니라 공조 및 환경제어 등에 있어서도 발전적인 차이를 보이고 있다.

표 1. 식물공장의 부분제어형과 완전제어형 비교

항 목	부분제어형(태양광 병용형)	완전제어형
형 태	벤로형 온실이 주류	외관은 밀폐된 공장 형태
광 원	360W 이상의 고온나트륨 등이 주류. 태양광 병용	660W 이상의 고온나트륨 등이 주류. 형광등 시설도 가능
공 조	온수와 온풍 난방	실내온도를 18~25℃ 유지하기 위한 특수공조시설 활용
환경제어	외부 영향을 받기 때문에 환경제어가 다소 어려움	비교적 간단히 환경제어 가능
재배사	대체로 평면재배	입체재배가 일반적
생육관리	완전제어형에 비해 작물의 생육관리가 어려움	안정적 생육관리 가능
생산성	연중 생산이 가능하지만 계절적인 영향을 다소 받음	연중 안정적인 생산 가능
운영비	여름철 냉방비용 소요	인공광원의 전기료 소요 (광원 2 : 공조 1의 비율)

식물공장의 개념에서 알 수 있듯이 그 특성에 기인하여 관행 농업과는 차별화되며, 그 의미는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 기후 등 불규칙한 자연환경 변화에 영향을 받지 않거나 이를 극복하는 농업을 실현할 수 있다는 점이다. 갑작스런 비나 눈, 서리, 우박, 고온 또는 저온 현상 등과 같은 기후는 농업 생산에 치명적이다. 더욱이 지구 온난화나 지구환경의 악화로 겨울 흉수나 여름 가뭄 등 이상기후 현상이 잦아지고 있는 점을 감안할 때 식물공장은 외부의 기후와는 거의 무관하

다는 점에서 생산 환경의 유리성을 가진다.

둘째, 지리적 입지와 지역의 풍토에 영향을 받지 않는 농업이라는 점이다. 관행 농업은 생산지의 입지 조건과 풍토에 따라 재배 가능한 작물이 제한되고, 특정지역에 새로운 작물을 재배하고자 할 경우에는 많은 연구와 현장실증과 실험을 거쳐야 한다. 그러나 식물공장은 최악의 환경인 사막이나 해안 또는 고산지나 평야지 혹은 불모지에서도 실현 가능하다. 물론 비용상의 차이는 있으나 극히 제한적인 농업만이 가능한 지역에서도 비용을 초월하는 가치를 실현할 수 있다.

셋째, 연중 안정적인 농업을 실현할 수 있다는 점이다. 식물공장은 계절에 관계없이 가동할 수 있으므로 농산물의 주년생산이 가능하며, 계절에 관계없이 노동력을 투입할 수 있고, 근로시간을 안정적으로 배분할 수 있기 때문에 농업소득의 안정화를 도모할 수 있다. 게다가 연중 생산이 가능하게 되면 관련 자재산업, 서비스업, 농산물 가공업이나 식품제조업, 외식업 등 농업의 전후방 산업의 안정적인 부가가치 창출도 유발할 수 있다.

넷째, 농산물을 균일화·규격화된 상품으로 생산함으로써 가격 결정이 용이하고 소득의 예측이 가능하다. 식물공장은 제어가능한 공정(파종, 육묘, 재배, 수확, 선별, 포장 등)을 통해 최적의 생산 환경을 조성하기 때문에 농산물의 품질이 우수하다. 또한 병해충을 원천 차단하므로 화학농약을 사용할 필요가 없어 친환경적으로 안전한 농산물을 생산할 수 있다. 이렇게 농산물이 규격화·표준화되므로 상품 유형에 따라 가격 결정을 가능하게 하고 소득도 예측할 수 있다.

다섯째, 생산요소의 저투입 농업이 가능하며, 소비지와 근접한 시장성을 추구할 수 있다. 식물공장은 정밀농업의 실현이 가능하여 토지를 효과적으로 활용할 수 있으며, 노동력과 노동시간의 절감도 가능하다. 작업의 편리성과 쾌적한 작업환경 구현이 가능하여 재래식 농작업의 노동기피 현상도 회피할 수 있다. 게다가 식물공장이 대도시 등 소비시장과 인접한 위치에 자리 잡게 되면 수송거리가 짧아져 유통비용을 절감할 수 있고 신선도 유지도 가능하다.

여섯째, 농산물 소비패턴이나 소비자 기호에 능동적으로 대처할 수 있다. 국민소득 증가에 따라 고품질, 친환경, 고영양, 고기능성 안전 농산물의 수요가 증가하고 있으며, 개인의 특성에 맞는 맞춤형 농산물이나 계절외적 소비 등이 증가하고 있다. 식물공장은 소비시장의 변화에 비교적 민첩하게 대응할 수 있으며, 시장 상황에 따라 상대적으로 유리한 품목으로 생산을 변경하거나 출하 조절이 용이한 장점이 있다.

2. 식물공장의 국내외 동향과 실태

2.1. 선진국의 식물공장 동향

식물공장은 1950년대 유럽에서 시작되었는데, 최초의 식물공장은 1957년에 덴마크의 크리스텐센(Christensen) 농장에서 크레스(cress; 새싹채소 일종)를 컨베이어시스템으로 재배한 것이 효시라고 알려져 있다. 이 농장은 평면식 시설에서 태양광을 주로 이용하면서 인공 광원으로 보광(補光)하는 형태의 식물공장이었는데, 파종 후 1주일 만에 새싹채소를 출하할 정도로 당시에는 파격적인 기술이었다.

1960년대 들어 평면식보다 생산성이 높은 입체식 식물공장 개발이 시도되어 오스트리아의 루스나(Ruthner)사에서 빌딩 형태의 입체식 자동 식물공장을 최초로 개발하였다. 이 시설의 조명은 태양광과 고압나트륨램프를 병행하였고, 식물의 생장에 따른 주간(株間) 이동을 위하여 타워식 입체상하 이동형으로 설계한 점이 특징이다.

미국에서는 1960년대에 제너럴일렉트릭(General Electric)사에서 완전제어형 식물공장의 연구를 시작했으며, 이어 General Mills, General Food, Phytopharm 등이 식물공장의 사업화에 도전했으나, 채산성이 맞지 않아 1990년대 전반에 포기한 것으로 알려진다.³

3 미국에서는 1970년대부터 식물공장 연구가 본격화되었으나 채산성이 낮다는 이유로 1990년

일본은 1970년대부터 식물공장 연구를 활발하게 진행하였다. 완전제어형 식물공장은 1974년에 히타치(日立)제작소 중앙연구소에서 시도하였는데, 상업화가 용이한 샐러드용 채소를 재배하면서 정밀한 식물생장 데이터를 측정하는 등 기초자료 확보에 주력하였다. 이러한 과정에서 식물공장의 기초 데이터를 확보한 일본은 1985년에 실용화 연구를 위해 태양광 이용형과 완전제어형라는 두 가지 형태의 실제 생산설비를 이용한 연구를 진행하였다. 그리고 1985년에 “회전식 양상추 식물공장”을 쓰쿠바(筑波)국제과학박람회에 전시한 바 있다.

일본에는 2009년 현재 전국적으로 50여개소의 식물공장이 운영되고 있으며, 시장에 유통되는 양상추의 약 1% 정도가 식물공장에서 생산되는 것으로 알려진다.⁴ 특히 농림수산성은 2008년부터 정책적으로 식물공장을 지원하기 위해 시설투자에 대한 일부 보조를 실시하고 있다.

세계적인 관점에서 그 동안의 식물공장 발전단계는 크게 3단계로 구분할 수 있다. 제1기는 도입기로서 1950~1970년까지, 제2기는 초기 실용화기로서 1971~1990년까지, 제3기는 성장 실용화기로서 1991년 이후이다.

제1기는 유럽과 미국 등에서 식물공장이 처음 등장하게 된 시기로서, 주로 태양광을 이용하는 유리온실에 고압나트륨램프로 보광하는 형태가 일반적이었으며, 재배시스템으로는 평면식과 입체상하 이동식이 시도되었다. 작업효율 향상을 위해 컨베이어시스템이 도입되었다는 점에서 기존의 유리온실과는 커다란 차이를 보이고 있다.

제2기는 초기 실용화기(1971~1990년)로서, 재배시설에 대한 기술개발이 진전되었다. 유럽과 미국에서 마이크로컴퓨터를 이용한 온실 온도계측 및 조절시스템이 도입되었으며, 노즐식 파종장치나 흡착식 파종장치 등 다양한 파종장치가 개발되었다. 일본에서는 고압나트륨램프 이용이 실용화되

대 중단된 바 있다. NASA에서는 CELSS(Closed Ecological Life Support System ; 폐쇄형 생태계 생명유지시스템) 연구 등에 활용하고 있다.

4 株式会社みらい, 植物工場概要, 2009.5.(미공표자료)

고 메탈할라이드램프(metalarc lamp)도 이용되었으며, V자 형태의 재배관
넬, 고도수경형 2단 재배 등이 도입되었다.

표 2. 식물공장의 발전단계와 특징

항목	제1기(도입기)	제2기(초기실용화기)	제3기(성장실용화기)
시기	1957~1970년	1971~1990년	1991년 이후
실현국가	유럽, 미국	유럽, 미국, 일본	유럽, 미국, 일본, 한국(초기)
광원	태양광을 주로 이용하되, 보광은 고압나트륨램프 이용	고압나트륨램프(20Klux) 이용 실용화(네덜란드, 일본), 메탈할라이드램프(400W) 이용 착수(일본)	고압나트륨램프와 형광등 이용 실용화, LED 및 LD에 대해서는 2000년부터 실용화 가능성 연구 착수
재배 시스템	평면식 또는 입체상하 이동식 등 다양한 시도	V자 형태의 재배관넬 고안, 고도수경형, 2단 재배형, NFT(nutrient film technique), 분무 방식(일본, 1983)	담액수경시스템(DFT: deep flow technique), 필라이트 및 암면재배 등
자동화 장치	작업효율 극대화를 위한 컨베이어벨트 이용, 역경재배(Hydroponic Farm), 훈탄재배 등 고품배지경 사용	공기압을 이용한 노즐식 파종장치(일본, 1976), 원통형 회전드럼에 종자를 흡착시켜 파종하는 파종장치 개발(스웨덴, 1981)	우레탄매트용 파종장치 개발(일본, 1996), 컨베이어벨트 이동방식으로 진압, 파종, 복토 등 정밀파종기 개발(한국, 1997), 육묘상자 두상살수 장치개발 실용화(일본, 1993), 러그식 주간조절 장치(일본, 1996), 캄식 주간조절 장치(일본, 1993), 겐트리 방식(미국, 1997), 체인컨베이어식 이동장치(한국, 2000) 등
이산화탄소 공급 및 환경제어	이산화탄소 적정농도 시용방법 연구(Enoch 등, 1970)	POP-8/E 컴퓨터를 이용한 온습도 환경 디지털제어 가능성 제시(일본, 1974), YODAC-85형 콘트롤러를 개조하여 마이크로컴퓨터 본체 구성(일본, 1982), AppleII 마이크로컴퓨터를 이용한 온도계측 및 조절시스템 개발(한국, 1990) 등	식물공장 내 이산화탄소 1000ppm 이하의 고농도 유지(한국, 1993)시 중량 증가 및 조기 수확 가능 환경제어로는 마이크로컴퓨터에 의한 자동조절형 제어 알고리즘 개발(한국, 1992), 온실 감시시스템 및 작동장치 구동 등 클러스터 컴퓨터 단계와 서버, 사용자단계로 구분한 시스템 제안(네덜란드 등, 1996), 웹기반의 온실 원격작동 시스템 개발(한국, 2002) 등
시설자재	태양광을 이용하되 광투광성이 좋은 유리 및 비닐 사용	완전제어형은 외부의 빛과 열을 차단하기 위하여 천정이나 벽을 FRP 등과 같은 불투과성 단열재를 사용, 내면은 램프의 빛의 반사가 잘 이루어지도록 백색으로 도장하거나 알루미늄 호일로 도포. 태양광 이용형의 경우, 외장은 유리나 비닐을 사용(단, 단열성을 높이기 위해 열을 잘 흡수하거나 반사하는 피복재를 사용)	

주: () 안의 인용 문헌은 강승원 역, 『식물공장』, 2008 참조.

제3기는 성장 실용화기(1991년 이후)로서, 식물공장의 기초기술이 거의 완성되어 상업적으로 이용되는 시기이다. 인공조명 분야에서는 형광등 이

용이 실용화되었을 뿐만 아니라 열이 적고 전기가 적게 소모되는 LED(발광다이오드)와 레이저광(LD) 등 차세대 인공조명의 실용화가 진전되었다. 또한 우레탄매트용 과중장치가 개발되고 더 발전된 형태의 컨베이어벨트 이동방식이 도입되었으며, 컴퓨터 환경제어가 정착되기에 이르렀다.

최근에는 이러한 기술을 바탕으로 도심 내에서 식물공장을 실현하고자 하는 움직임이 활발하다. 대표적인 예가 미국과 캐나다 등에서 설계되고 있는 빌딩형 농장(building farm) 또는 수직농장(vertical farm)이 그것인데, 이들 빌딩형 농장은 채산성의 논란에도 불구하고 상당한 수준의 연구가 진행되고 있어 주목된다.⁵

2.2. 우리나라의 식물공장 실태

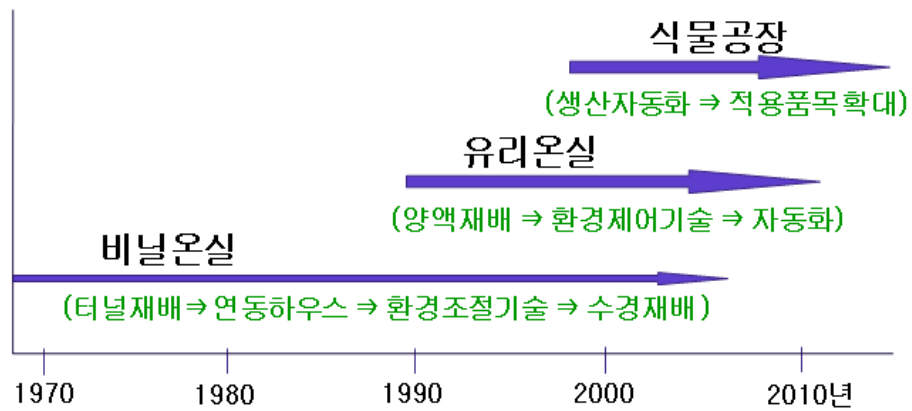
우리나라에서 식물공장이 논의되어 본격적으로 도입된 것은 1990년대에 들어서라고 할 수 있다. 특히 1990년대 초에 당시 농림수산부가 첨단기술 농업의 일환으로 유리온실 지원사업을 시작하였는데, 양액재배 기술과 환경제어 기술 그리고 자동화 기술 등이 식물공장의 응용기술로 발전하였다. 1993년 경부터 시설채소의 육묘를 전담하는 ‘육묘공장’이 상업화되었고, 그 후 식물공장 관련 기술은 종래의 수경(양액)재배 기술이 근간이 되어 발전해 오고 있다.⁶

1996년에 농촌진흥청 농업공학연구소에서 식물공장 시스템을 설계하기 시작하여 재배시험에 착수하였으며, 2001년부터 2004년까지 “한국형 식물공장 모델개발 연구”를 수행한 결과로 2005년에 식물공장시스템을 확립하게 되었다. 농촌진흥청에서는 현재 식물공장시스템의 시험장을 운영하고 있으며, 일부 농가와 현장에 기술보급도 추진하고 있다.

5 <http://www.verticalfarm.com>

6 우리나라의 식물공장에 관한 자료는 정리된 것이 미흡하며, 2009년 6월에 서울대학교 농업생명과학대학 손정익 교수를 중심으로 ‘한국식물공장연구회’가 결성되어 처음 모임으로 7월 6일에 “도시형 식물공장 심포지움”을 개최한 바 있다.

그림 1. 우리나라 시설농업의 발전 단계



우리나라에는 아직 식물공장이라고 부를 수 있는 상업적인 시설농업은 존재하지 않으며, 농업연구기관에서 시험재배를 실시하는 정도이다. 특히 식물공장에 적합한 작물을 선발하고 각각의 작물에 적합한 최적 조건을 구명하기 위한 연구개발이 지속되고 있다. 참고로 일본에서는 현재까지 개발된 기술을 통해 시금치, 양상추 등의 엽채류는 이미 상품의 출하가 일반화되어 있으며, 토마토, 멜론, 딸기 등의 과채류와 국화 등의 화훼류 생산을 위한 연구도 계속되고 있다.

2008년에 서울시 양재동 aT센터에서 개최된 농림수산과학기술대전에서 농촌진흥청이 식물공장시스템의 모형을 전시하였는데, 여기에서 LED를 이용한 작물 재배기술이 언론에 보도되면서 식물공장에 대한 관심이 더욱 증대되었다. 예를 들어 전북생물산업진흥원에서는 LED를 이용한 인삼 재배, 경북농업기술원에서는 LED 활용 시험, 충남농업기술원에서는 LED를 이용한 오이 재배 등이 언론에 소개되었다. 최근에 농촌진흥청은 남극 세종기지에 식물공장을 보내겠다는 계획을 발표하기도 하였다.

농가 단계에서도 식물공장을 사업화하는 시도가 몇몇 사례에서 발견된다. 강원도 철원군의 한 농가는 농촌진흥청의 인삼 수경재배 기술을 전수받아 대량생산에 돌입하였으며, 단국대학교의 한 벤처농기업은 소규모 식물공장에서 수경재배한 양상추를 시판하고 있다.

3. 식물공장 사업화의 조건과 가능성

3.1. 식물공장 사업화의 검토 기준

우리나라에서 식물공장의 사업화, 즉 식물공장의 상업적인 운영이 가능한지, 나아가 식물공장에 투자할만한 것인지를 판단하기 위해서는 먼저 식물공장의 성공적인 정착에 필요한 여건이 충분히 갖추어져 있는지를 분석해 볼 필요가 있다. 식물공장의 사업화를 위한 여건 분석은 크게 정책적 타당성, 기술적 타당성, 경제성 및 파급효과, 사회문화적 수용성 등의 측면으로 나누어 검토할 수 있다.

표 3. 식물공장 사업화를 위한 검토 항목

정책적 타당성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국가전략적 중요성 ○ 농업정책과의 부합성 ○ 현행 법률 및 제도와의 부합성
기술적 타당성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 국내기술 수준에서의 수용 가능성 ○ 선진 식물공장 모델의 유무 및 도입 가능성 ○ 기술 도입 및 기술개발의 성공 가능성
경제적 타당성 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미래 시장 및 산업동향 변화 추이에 대한 부합성 ○ 경제성 및 시장성(소비자 구매력, 지불의사 등) ○ 경제사회적/과학기술적 파급효과 ○ 투자 상의 위험요인 및 대응방안
사회문화적 수용성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국민정서상 수용성(식문화 측면의 거부감 등) ○ 기존 농업인의 수용성

주: 과학기술부, 국가연구개발사업 사전타당성 조사(2007.4) 항목을 참고로 재작성.

먼저, 자원이 부족한 우리나라 실정에서 연구개발(R&D)이 매우 중요하며, 식물공장은 국가 R&D전략 가운데 신산업 창출을 위한 하나의 영역을 형성할 수 있다. 특히 개방화에 대응할 수 있는 경쟁력 있는 농업을 육성하는 것과 이를 위해 새로운 성장모델을 창출하는 것은 과거 정부뿐만 아니라 현 정부에서도 항상 중요한 과제로 인식되고 있다.

농업정책에 대한 부합성 측면에서 볼 때, 우리나라 농정은 안전한 농식품, 강한 농산업, 살기 좋은 농어촌 등을 전략적 목표로 삼고 있다. 이를 위한 실천전략으로는 농업의 경쟁력 강화와 체질 개선, 새로운 성장동력의 창출, 식량의 안정적 공급, 안전하고 친환경적인 농식품 공급, 수출산업으로의 육성 등을 제시하고 있다.⁷ 식물공장은 이 중 농업의 경쟁력 강화와 고부가가치화, 신성장동력의 창출 측면에서는 매우 적합한 전략적 선택이 될 수 있다. 또한 소비자들이 안전한 농식품을 안심하고 먹을 수 있도록 하는 고품질 농산물 정책과도 적절히 부합한다고 할 수 있다.

국내 원예학 전문가들의 의견 조사에 의하면, 현재 식물공장과 관련한 국내 기술수준은 세계 최고수준(100%)에 비하여 50% 수준에 불과한 실정이다. 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 72.0% 등이다. 그리고 식물공장 전용 과채류 품종육성 분야는 20% 수준에 불과한 것으로 나타났다.⁸

사회·문화적 수용성이란 국민 정서적인 측면에서 식물공장에 대한 거부감은 없는지, 윤리적으로나 문화적으로 수용 가능한지에 대한 검토이다. 이에 관해서도 지금까지 연구 또는 조사된 바는 없으나 고품질 친환경 안전 농산물에 대한 소비의식이 높아지고 있고, 소비지에 근접한 생산시설에서 신선 농산물을 공급할 수 있다는 측면에서 부정적이지는 않을 것으로 판단된다. 다만, 대기업 등이 식물공장에 투자한다고 할 때 국민정서를 어떻게 긍정적으로 유도해 나갈 것인지, 그리고 기존 농업인의 반응에 대해서는 어떤 대응이 필요할지가 과제로 대두된다.

이하에서는 식물공장의 사업화를 위한 경제적 조건과 타당성에 대하여 좀 더 심층적으로 검토하고자 한다.

7 농림수산식품부, 새로운 미래를 열어가는 농식품·농어촌 발전구상(2008.8)

8 농림기술관리센터, 미래 농업기술예측·로드맵 작성 및 효율적인 투자기술 개발, 2004 및 농림수산식품부·농림기술관리센터, 농산업 R&D분야별 기술로드맵, 2008.

3.2. 식물공장의 경제적 조건과 타당성

경제적 조건과 타당성이란 식물공장의 설치 및 운영을 통해 얼마만큼의 수익을 창출할 수 있을 것인가에 대한 분석이다. 특히 경제적 효과는 식물공장 설치·운영을 통해 얻는 수익 이외에 그로부터 창출되는 기술의 이전료, 기업이미지 제고를 통한 브랜드가치 제고 효과 등을 포함한다.

여기서는 국내의 식물공장 운영 사례가 없는 관계로, 일본의 사례를 통해 식물공장의 채산성을 확인해 보고, 유사한 규모의 시설을 국내에 설치하여 얻을 수 있는 수익성에 대해 검토해 보기로 한다.

1) 일본 미우라(三浦) 농원의 사례

미우라 농원은 부부가 운영하는 식물공장으로 시설규모는 작지만 완전 제어형 식물공장의 실용화 성공사례라는 점에서 시사하는 바가 크다.

식물공장의 시설면적은 400m²(재배실 240m², 육묘실 70m², 기타 90m²)로서 시설 설치에 4,500만 엔이 소요되었다. 2005년의 경영 실적을 보면, 재배 작물은 샐러드채소와 양상추이며, 1일 생산량은 450주(연간 약 16만주)이고, 상품화율은 90%에 달한다. 판매는 인근 슈퍼마켓 등에 납품하며, 납품 가격은 1주당 105엔이다.

표 4. 미우라 농원의 수익성

단위: 천 엔

조수입	비 용	순수익
- 조수입 16,800 ※ 16만주×105엔	- 재료비 2,480 - 전기료 5,370 - 감가상각비(10년) 4,500 - 고용노력비 2,000	- 순수익 2,450
16,800	14,350	2,450

미우라 농원의 연간 총수입은 1,680만 엔이며, 여기에서 재료비, 전기료, 감가상각비, 고용노력비 등의 비용 1,435만 엔을 제외하면 순수익(소득)은

245만 엔이 된다. 조수입에 대한 수익률은 17.1%로 높은 편이며, 초기 시설비용으로 투자된 4,500만 엔에 대한 연간 투자수익율을 계산하면 5.4%로서 시장 이자율보다는 훨씬 높은 수준이다. 또, 시설투자의 금융비용인 이자가 110만 엔이나 소요되기 때문에 경제적 부담이 큰 실정이다.

따라서 미우라 농원은 기술 개발과 시설 개선을 통해 경영 효율성을 높이고 상품화율을 크게 향상시키는 방안을 모색하고 있는데, 식물공장의 연간 수익구조를 다음과 같이 시산하고 있다.

표 5. 미우라 농원의 시설 개선에 따른 수익성 시산

단위: 천 엔

연간 비용		연간 조수입(최소)	연간 조수입(최대)
종묘비	33	- 조수입 : 11,653 재배가능주수 6,720주 재배일수 15일 1일 생산주수 358주 (상품화율 80%적용)	- 조수입 : 20,500 재배가능주수 8,640주 재배일수 13일 1일 생산주수 630주 (상품화율 95%적용)
우레탄비	96		
비료비	276		
탄산가스비	87		
수도료	27		
전기료	7,650		
기타	150		
인건비	0		
감가상각비	5,625		
이자	1,100		
합 계	15,044	11,653	20,500

<표 5>에서 정리한 바와 같이 개선되는 식물공장의 연간 비용 가운데 전기료 765만 엔, 감가상각비 563만 엔, 이자(금융비용) 110만 엔 등이 비교적 큰 비중을 차지하고 있다. 그런데 상품의 판매수입은 연간 최소 1,165만 엔에서 최대 2,050만 엔의 수준이 되며, 여기서 연간 비용을 제외하면 순수익은 최소 339만 엔의 적자에서 최대 546만 엔의 흑자로 시산된다.

여기서 알 수 있듯이 식물공장의 수익은 생산성과 상품화율이 좌우하고 있다. 따라서 미우라 농원에서도 재배가능주수를 늘리고 재배일수를 줄이는 등 생산성 향상을 위한 노력을 지속하고 있다.

2) 우리나라 식물공장 가상모델의 경제성 추정

앞에서 검토한 일본의 식물공장 운영 사례를 참고하여 우리나라에 유사한 규모의 식물공장을 운영하는 경우에 어느 정도의 수익 창출이 가능한지에 대해 시사해 보고자 한다.

식물공장의 가상적인 경영모델을 다음과 같이 설정하였다. 식물공장 재배 시스템은 완전제어형으로 설계하고 광원은 형광등과 LED를 적용한다. 재배작물은 샐러드용 무농약을 강조함으로써 높은 가격 형성이 가능한 품목인 양상추를 선택한다. 1주당 재배기간은 14일이고, 연중 균일하게 생산하는 체제이다. 그리고 식물공장의 경영규모를 비교하기 위하여 900㎡와 4,500㎡의 두 가지로 설정하였다.

식물공장 가상모델은 토지구입비가 저렴한 도시근교 농지에 설치되는 것을 전제로 설계하였으며, 초기 설비투자 비용은 일본의 설비비를 그대로 환산하여 적용하였다. 연간 운영비에 있어서는 전기료가 가장 많이 소요되나, 일본 대비 1/5 수준에서 산정하였고, 기타운영비는 1/2 수준으로 산정하였다. 인건비는 시간 노동자를 고용하여 900㎡의 경우 3인을, 4,500㎡의 경우 13인을 적용하였고, 감가상각비는 초기 투자비용을 제외한 연간 경비의 각각 24.6%와 28.2%를 적용하였다. 기타 유통비용과 관리비는 일본의 실제 경비를 적용(100¥=1,000원 적용)하였다.

재배작물은 양상추를 연중 재배하여 출하하는 것으로 설계하여 1일 2,000주 및 10,000주, 상품화율 90% 및 95%를 상정하였으며, 1주당 판매가격은 농협하나로마트(양재동 소재)의 실제 판매가격을 토대로 1,300원 및 1,500원을 상정하였다.

이렇게 설계된 식물공장 가상모델의 채산성을 추정한 결과를 보면, 연간 조수입은 900㎡ 규모인 모델 A가 8억 4천만 원, 4,500㎡ 규모인 모델 B가 42억 1천만 원을 실현하고, 각종 비용을 제외할 경우의 순수익은 각각 2억 1천 8백만 원과 15억 6천만 원으로 추정된다. 다만, 초기 투자비용은 각종 시설장비의 설계시에 어떤 시스템을 도입할 지, 어떤 소재를 사용할 지,

내구성은 몇 년으로 할 지 등에 따라 많은 차이가 나며, 고정비용도 사용 되는 시스템이나 소재에 따라 큰 차이가 있음을 감안해야 할 것이다.⁹

표 6. 우리나라 식물공장 가상모델의 수익성

단위: 천 원

항목	세부항목	가상모델(A) 900m ²	가상모델(B) 4,500m ²
초기비용	토지구입비	15,000	75,000
	설비비	922,800	4,416,000
	소계	937,800	4,491,000
운영비	전기	119,160	595,800
	기타	29,376	146,880
	소계	148,536	742,680
인건비		70,000	315,000
감가상각비	토지·건물	24,048	89,280
	전기·급배수	11,232	56,160
	장치	95,184	475,920
	소계	130,464	621,360
유통비	포장	36,000	180,000
	운송	45,576	136,800
	소계	81,576	316,800
관리비	공장책임관리	59,976	60,120
	판매관리	40,032	129,960
	사무관리	0	13,680
	소계	100,008	203,760
경비합계 (초기투자비용 제외) (초기투자비에 대한 이자 10%포함)		1,468,384 (530,584) (624,364)	6,690,600 (2,199,600) (2,648,700)
연간 조수입(*연간 360일 생산)		842,400	4,212,000
순수익(초기투자비 제외, 이자적용)		218,036	1,563,300

- 주: 1. 토지는 읍면 농지 기준
 2. 설비비는 일본의 설비비를 그대로 환산하여 적용
 3. 전기료는 일본 대비 1/5 수준, 기타 운영비는 1/2 수준으로 산정
 4. 인건비는 시간노동자로 하되, 900m²의 경우 3인, 4,500m²의 경우 13인 적용
 5. 감가상각비는 초기투자비용 제외 연간경비의 각각 24.6, 31.0, 28.2, 37.7% 적용
 6. 유통비와 관리비는 일본 경비 적용(100¥=1,000원 적용)
 7. 양상추 1일 2,000주 및 10,000주, 상품화율 90% 및 95%, 1주당 1,300원 및 1,500원 기준

9 高辻正基도 자신이 쓴 책에서 식물공장의 경제성, 특히 생산비용의 정밀한 계산은 매우 어렵다고 토로하면서 가능한 한 합리적인 설계를 한 후 실제 운영해 본 결과를 통해 추정하는 것이 최선의 방법이라고 밝혔다. 서상규 외 역, 『식물공장』(원저 : 高辻正基, 『植物工場』), 2007.

4. 식물공장의 전망

식물공장은 온도와 습도를 제어하고 인공 광원으로 농작물을 재배하는 시설농업으로서, 날씨나 계절에 관계없이 농작물을 안정적으로 생산할 수 있을 뿐 아니라 비료나 농약 등의 사용도 줄일 수 있다. 특히 LED 광원으로 작물을 재배할 경우에는 광합성 촉진, 개화 조절, 곰팡이 발생 억제 등 생육조절에 필요한 획기적인 성능을 볼 수 있기 때문에 전통적인 농업생산 방식을 개선할 수 있는 새로운 기술로 부각되고 있다.

이와 같이 식물공장은 농작물의 생육 상태를 과학적으로 관리하며 비료나 농약을 저투입하는 정밀농업(precision agriculture)의 성격을 가지므로, 일반 농산물에 비해 안전성을 확보할 수 있다. 오늘날 수입 농산물의 안전성에 대한 불신이 확대됨에 따라 고품질 친환경·안전 농산물을 선호하는 소비자들의 구매패턴 변화가 두드러지게 나타나고 있다는 점에서 식물공장 방식은 개방시대 농업의 대안이 될 수 있을 것이다.

더욱이 그동안 지속적으로 발전해 온 생명공학기술이 농업 분야에 접목됨에 따라 농업의 새로운 활로라는 기대도 나타나고 있다. 식물공장은 ‘공장’이라는 용어가 함축하는 바와 같이 농업과학기술에 기계, 전기, 전자, 제어, 환경 등의 첨단산업기술을 접목하여 공장형 농업을 실현하는 융합기술의 첨단에 있는 것이다. 따라서 식물공장 기술이 개발되고 정착됨으로써 우리나라 농업이 선진국형 산업으로 도약하기 위한 기술적 초석을 다지는 의미도 크다고 할 수 있다.

식물공장 분야의 선진국이라고 할 수 있는 유럽에서는 현재보다 더욱 발전된 식물공장을 실현하기 위하여 농작업 공정자동화(벨기에 MSG식물공장과 스웨덴포닉 식물공장, 네덜란드 KP-HOLLAND 분화식물공장 등), 주간조절 장치의 자동화(네덜란드 스웨덴포닉-네덜란드 식물공장) 등의 분야에서 활발한 연구를 수행하고 있다. 또한 미국에서는 식물공장의 발전된 형태로 초고층빌딩의 수직농장(vertical farm)을 실용화하기 위한 연구에 박차를 가하고 있다.¹⁰ 일본에서는 새로운 인공광원에 대해 연구를

강화하는 한편 식물공장의 상업화에서 한 걸음 더 나아가 무인식물공장의 실현을 위한 연구도 지속하고 있다.

우리나라에서도 최근 식물공장에 대한 관심이 높아지고 있다. 연구기관에서는 농촌진흥청이 농업용 LED 연구에 착수하여 시험재배를 추진중이고, 전주생물소재연구소는 국내 최초로 수경재배와 LED 조명기술을 이용하여 인삼과 고추냉이를 재배하는 식물공장을 운영중이며, 몇몇 선진농가에서는 인삼 수경재배를 실용화하고 있다. 나아가 빌딩형 식물공장에 대해서도 작년부턴 지방자치단체들이 앞다투어 건립 계획을 발표하였다. 경기도 남양주시가 세계유기농업대회에 맞추어 수직농장을 건립하겠다고 발표하였고, 부천시가 스카이프팜(sky farm)을 구상하고 있으며, 인천시는 청라지구에 초고층 수직농장을 건설할 계획이라고 발표하였다.

선진국들이 이와 같이 식물공장 연구에 더욱 매진하는 것은 단기적으로는 기존 농업의 한계를 극복하기 위한 것이지만, 장기적으로는 고갈되는 식량자원의 위협에 적극적으로 대처하기 위한 목적이기도 한다. 국제식량농업기구(FAO)가 우려하는 바와 같이 2050년의 지구촌 인구가 92억 명으로 증가할 경우에 대비하여 식물공장을 통한 인류의 안정적 식량공급을 기대하고 있다. 나아가 오염되는 환경과의 격리, 폐기물 저감과 에너지 절감, 도심 공간의 효율적 이용, 도시민들에 대한 쾌적한 환경 제공 등의 다양한 목적으로 식물공장이 활용될 수 있을 것이다.

특히 식물농장은 도시지역에 설치되어 도농교류의 공간으로 활용할 수 있다. 식물공장과 주변 시설이 도시의 녹색공간으로서 도시민들에게 농업에 대한 이해는 물론 농장 체험도 제공할 수 있을 것이다. 또한 첨단 농업기술의 전시장으로서 신규취농 교육의 기능도 담당할 수 있을 것이다.

선진 각국들이 식물공장에 대해 지속적으로 투자하는 것은 이 분야가 미래에 매우 유망하다는 것을 암시하고 있는 것이다. 우리나라는 아직 식물

10 수직농장(vertical farm)은 컬럼비아대학교 교수인 덕슨 데포미어(Despormier)가 창안한 개념으로 '고층 빌딩농장'이라고도 불린다.

공장의 사업화에서 초기 단계에 있으나, 여러 선진국들이 추진하고 있는 식물공장 투자에 대해 보다 깊은 관심을 가지고 적극적으로 검토할 시점이라고 판단된다. 다만, 처음부터 무리한 시설투자로 막연한 수익을 기대할 것이 아니라, 한국형 식물공장의 수익모델을 설계하고 이를 실제 운영하면서 그에 맞는 자동화를 추진하는 지혜가 요구된다.

식물공장은 요소기술의 개발과 시스템화를 통해 앞으로도 끊임없이 진화해 나갈 것이다. 특히 우리나라와 같이 좁은 국토를 가진 국가에서는 식물공장을 통해 농업 생산성을 비약적으로 높일 수 있다는 점에서 농업의 새로운 성장모델이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강승원 역. 2008. 「식물공장」. 월드사이언스.
- 강희찬. 2009.8. 「기후변화에 대응한 농업의 진화-식물공장」(SERI경제포커스 제255호). 삼성경제연구소.
- 과학기술부. 2007.4. 「국가연구개발사업 사전타당성 조사」.
- 김정호. 2009.6. “공장형 첨단농업 모델 구축과 실용화 방안.” 한국공학한림원 농산업 경쟁력위원회 심포지움 자료.
- 농림부. 2003. 「공장형 장미 생산기술 및 시스템 개발」(농림기술개발사업 연구보고서).
- 농림수산식품부. 2008.8. 「새로운 미래를 열어가는 농식품·농어촌 발전구상」.
- 농림수산식품부·농림기술관리센터. 2008. 「농산업 R&D분야별 기술로드맵」.
- 이용범. 2008. 「과채류공통수출연구사업단 사업계획서」.
- 서상규 외 역. 2007. 「식물공장」(원저: 高辻正基, 「植物工場」).
- 장유섭. 2005. “식물공장 재배자동화시스템.” 「연구와 지도」 제46권 제5호.
- (社)日本施設園藝協會. 1986. 「植物工場のすべて」. 富民協會.
- 株式會社みらい. 2009.5. 「植物工場概要」(프리젠테이션 자료).
- <<http://www.verticalfarm.com>>.
- <<http://www.s.verticalfarm.com>>.

한국농촌경제연구원 「농정연구속보」 발행 목록

2009년

- 제61권 식물공장의 동향과 전망 (김정호)
- 제60권 일본의 정권교체와 농정전망 (김태곤)
- 제59권 최근 산지 소값 동향과 쇠고기 가격 전망 (허덕, 이정민, 이형우)
- 제58권 최근 국내의 친환경농산물의 생산실태 및 시장전망 (김창길, 정학균, 문동현)
- 제57권 농업 및 농가경제 전망 2009~2019 (조영수, 박상미)
- 제56권 농림사업의 연령제한 실태와 개선방안 (최경환)
- 제55권 캐나다산 쇠고기 수입재개의 영향분석 (허덕, 이정민, 이형우)
- 제54권 기후변화에 대한 농업계의 인지도 조사 결과 (김창길, 주현정)
- 제53권 국제곡물가격이 곡물가공품 가격에 미치는 파급시차 (김태훈, 김배성)

2008년

- 제52권 농업·농촌에 대한 2008년 국민의식 조사결과 (김동원, 박혜진)
- 제51권 미국 '2008년 농업법'의 주요 내용과 의미 (어명근)
- 제50권 고병원성 조류인플루엔자 발생의 경제적 피해 계측 (우병준, 이형우, 황윤재, 김진년)
- 제49권 미국산 쇠고기 수입확대의 파급 영향과 시사점 (허덕, 이정민)
- 제48권 고병원성 조류인플루엔자 발생이 양계산물 가격에 미치는 영향 (허덕, 우병준, 이형우)
- 제47권 사료가격 상승이 양돈업에 미치는 영향과 대응방안 (허덕, 김현중)
- 제46권 유가상승이 시설채소 농가에 미치는 영향 (정은미, 정학균, 김수림, 윤선희)
- 제45권 농업·농촌에 대한 국민의식 조사결과 (김동원, 박혜진)

2007년

- 제44권 사육 여건 변화가 양돈소득에 미치는 영향 (허덕, 정민국, 김현중)
- 제43권 금년 김장철 채소 가격 및 김장 수요 전망 (박기환, 송성환)
- 제42권 해외 유기농산물 인증제도와 시사점 (신용광, 황윤재)
- 제41권 국내외 친환경농산물의 생산실태 및 시장전망 (김창길, 김태영, 이상건)
- 제40권 최근 소값 동향 분석 (허덕, 송주호, 정민국, 이정민)
- 제39권 농업·농촌에 대한 국민의식 조사결과 (김동원, 박혜진)
- 제38권 미국 정부의 2007년 농업법 제안과 시사점 (임송수)
- 제37권 기후변화협약이 농업부문에 미치는 영향 (김창길, 김태영, 신용광)
- 제36권 농업법인의 운영실태와 제도개선방안 (김수석, 박석두)

2006년

- 제35권 농촌사회의 양극화 실태와 정책과제 (박대식, 마상진)
- 제34권 DDA 협상 중단의 의미와 전망 (임송수)
- 제33권 유가상승과 환율하락이 농업에 미치는 영향 (김병률, 김배성, 조영수, 이용호)

- 제32권 국내외 친환경농축산물의 생산 및 인증 실태 (김창길, 김태영)
- 제31권 미국의 FTA 농산물 양허방식과 시사점 (최세균, 허주녕, 박성진)
- 제30권 농업부문 한·칠레 FTA 이행 2년의 평가 (최세균)

2005년

- 제29권 김치 안전성 파동과 김장 수요 전망 (송성환, 김연중)
- 제28권 남북농업협력위원회 개최와 과제 (김영훈)
- 제27권 쌀 공공비축제 도입과 수확기 시장안정 대책 방향 (박동규)
- 제26권 친환경 농산물에 대한 소비자 인식과 태도 (강창용, 고육)
- 제25권 중국 위안화 절상이 국제 농산물 시장에 미치는 영향 (김배성, 최정섭)
- 제24권 농업·농촌기본법 개정의 배경과 주요 쟁점 (김정호)
- 제23권 한·칠레 FTA 이행 1년의 농업부문 평가 (최세균, 허주녕)
- 제22권 농업인의 의식 변화와 농정 현안에 대한 인식 (김동원, 박혜진)
- 제21권 친환경과실 소비 실태 및 전망 (김경필, 박미성)
- 제20권 독일과 프랑스 농민단체의 농정참여제도 (김수석)
- 제19권 신년공동사설을 통해 본 2005년 북한의 농정전망 (권태진)
- 제18권 우리나라 농산물 수출의 새로운 기회, 중국 (권오복)

2004년

- 제17권 농지제도 개편의 방향과 추진방안 (박석두, 송미령, 김수석, 김홍상)
- 제16권 쌀농가 소득·경영안정 직불제 도입과 양곡관리 제도 개편 (박동규)
- 제15권 2004년산 쌀 수급 및 가격 전망 (김명환, 김혜영)
- 제14권 쌀 협상 시한에 관한 견해 분석 (임송수)
- 제13권 국제유가 상승이 농업에 미치는 영향 (이용선, 김배성, 정확균)
- 제12권 기업농의 조건: 가능성과 전망 (김정호)
- 제11권 미 광우병 발생 이후 쇠고기 소비 변화 (신승열, 송주호, 김철민)
- 제10권 농업협상 기본골격 초안의 평가와 시사점 (임송수, 서진교, 김상현, 임소영)
- 제9권 쌀 농업의 규모 효과와 구조 정책 (김정호)
- 제8권 일본과 대만의 쌀 시장개방과 시사점 (김태근, 정정길)
- 제7권 친환경농산물과 관행농법의 생산비 비교 (김창길, 김태영)
- 제6권 최근 가축질병 발생이 육류 소비에 미친 영향 분석 (신승열, 송우진, 이형우)

2003년

- 제5권 수요차별 수입쌀 구매의향 전망 (이계임, 김민정)
- 제4권 농가부채문제 진단과 중장기 대응방향 (박성재, 황의식)
- 제3권 미국과 EU의 가격·소득지지정책 (김태곤)
- 제2권 유럽연합의 2003년 개혁안과 농업협상의 관계 (임송수)
- 제1권 쌀 수매제도의 소득지지효과 (김명환)