

해 외 출 장 보 고 서

I. 출장 개요

- 출장건명: 일본의 미래농업 관련 기후변화 대응 및 식물공장 동향 조사
- 출장 목적
 - 일본의 미래농업 관련 기후변화 대응 정책 및 연구동향 조사
 - 일본의 식물공장 관련정책 및 운영사례 조사
 - ※ 관련 연구과제(특별과제): 농업농촌 2050, 비전과 과제
- 출장 국가 및 주요 방문기관
 - 일본 농림수산업성 농림수산업정책연구소, 환경바이오매스정책과, 생산유통진흥과
 - 일본 농림수산업성 국립농업연구센터
 - 일본 도쿄 소재 재단법인 식물공장 농상공위원회
 - 일본 도쿄 소재 파소나주식회사 빌딩농장
 - 일본 츠크바현 소재 큐피-TS팜 식물공장
 - 일본 시가현 소재 일본어드밴스트애그리 식물공장
 - 일본 교토시 소재 페어리엔젤 식물공장레스토랑
- 출장 기간: 2010년 5월 25일 ~ 5월 28일 (3박 4일)
- 출장자 인적사항

부 서 명	직 급	성 명
농업농촌정책연구본부	선임연구위원	김 정 호
농식품정책연구본부	연구위원	김 창 길

II. 출장 내용

○ 출장 일정

일정		주요 일정, 방문기관
5.25 (화)	08:40	출국: 서울 김포공항(KE2707)
	10:45	일본 도쿄 하네다공항 도착 호텔로 이동(도요인, 03-5155-1045, 신주쿠 가부기쵸)
	14:00	농림수산업성 농림수산업정책연구소 방문(치요다구 카스미가세키) (히구치 주임연구관, 03-6737-9079)
	15:00	농림수산업성 환경바이오매스정책과 방문 (아타카 과장보좌, 미나가와 과장보좌, 03-3502-8111 내 3297)
	16:30	농림수산업성 생산유통진흥과 방문 (아베 과장보좌, 시마다 계장, 03-3502-8111 내 4825)
	19:00	도요인호텔 도착
5.26 (수)	10:00	사회개발연구센터 식물공장·농상공위원회 방문(미나토구 아카사카) (타가즈치 위원장, 이시하라 사무국장, 03-3479-7677)
	11:00	PASONA주식회사 빌딩농원 시찰(치요다구 오테마치)
	12:45	아키하바라 → 미도리노역(츠크바 익스프레스, 45분)
	14:30	kewpie주식회사, TS팜식품공장 방문(이바라기현 고카시) (기요사와 센터장, 0248-31-1217)
	17:00	국립농업연구센터 기후변화연구실 방문(이바라기현 츠크바시) (하야시 박사, 029-838-8874)
	18:30	숙소로 이동(오쿠라 프론티어 호텔, 029-852-1112)
5.27 (목)	08:30	츠크바 출발 → 도쿄(츠크바 익스프레스, 50분)
	10:10	도쿄역→교토 이동(신칸센, 2시간40분)
	14:00	교토역→나가하마역(JR호쿠리쿠혼센, 50분)
	15:00	일본Advanced Agri주식회사 식물공장 방문(시가현 나가하마시) (후지모토 공장책임자, 0749-53-0101)
	18:00	나가하마→교토, 도요인호텔(075-212-1045, 시조 가와라마치) 도착
5.28 (금)	10:00	교토대학 서점 자료수집
	11:30	주식회사 Fairy Angel 식물공장레스토랑 방문(교토시 기타구) (마에시마 매니저, 075-706-7017)
	16:20	간사이공항으로 이동(교토역→간사이공항, 리무진 1시간30분)
	19:25	귀국: 일본 간사이국제공항(KE2728) → 김포공항

1. 기후변화 관련 조사 및 면담내용(김창길 정리)

1.1. 일본 농림수산성의 기후변화 대응 조직

- 일본 농림수산성은 기후변화 문제에 적극적으로 대처하기 위해 2003년 대신관 방 산하 직속기구로 농업관련 환경정책 수립과 조정 업무를 담당하는 전담조직으로 환경정책과를 설치함.
- 2007년에는 전담부서 명칭을 '환경·바이오매스 정책과'로 변경하여 바이오매스 기획반과 지역환경반을 추가하여 환경정책과의 조직과 업무를 확대함. 2010년 5월 현재 '환경·바이오매스정책과'는 과장을 포함하여 40명의 인력이 관련 업무를 담당하고 있음.

1.2. 일본 농림수산분야의 온실가스 배출 실태

- 일본의 2008년도의 온실효과가스 총 배출량은 약 12억 8,200만 tCO₂ 임, 이 가운데 농림수산업(연료, 반추가축의 장내발효, 가축 배설물의 관리, 벼농사, 비료사용, 작물잔사, 논밭 태우기 등)에서의 배출량은 약 3,723만 tCO₂ 으로 총 배출량에 차지하는 비율은 약 2.9%이며, 기준시점(1990년)대비 감소 경향을 보이고 있음.
- 식품제조업 분야의 2008년도 온실효과가스 배출량은 1,562만 tCO₂ 으로 총배출량에서 차지하는 비율은 약 1.2%로, 최근 감소 경향을 보이고 있음.

1.3. 일본의 농업부문 자원·환경대책

1.3.1. 농림수산업·식품산업에 따른 지구온난화 대책의 추진

- 핵심대책
 - 교토의정서의 온실가스 배출량 1990년 대비 6% 삭감 절약과 25% 삭감 목표(2020년) 달성에 맞춰 산림수습원 대책과 바이오매스 활용 등을 착실하게 추진하고, 농림수산업·식품산업에 따른 새로운 지구온난화 대책을 가속화 하기 위한 프로그램임. 2010년 예산투입은 258,066백만엔임.
- 추진배경
 - 일본은 지구온난화 방지에 맞춰 교토의정서 제1 공약기간(2008~2012년)의 온실가스 배출량을 1990년 대비 6% 삭감할 의무를 갖으며, 중장기적으로는 2020년까지 1990년 대비 25% 삭감할 것을 목표로 하고 있지만, 2007년도(확정치) 배출량은 반대로 9.0% 증가하여 6%감소 약속을 지키기 어려운 상황임.
 - 농림수산분야에서도 온실효과가스의 배출삭감·흡수 대책이 확대되어 가면서 산림흡수원 대책과 바이오매스 활용의 추진 등을 착실히 수행하고 있고 배출량 거래와 「CO₂ 표시하기」 등을 통한 새로운 지구온난화 대책을 추진할 필요

가 있음.

- 교토의정서 차기대책에 맞춰, 지속적인 일본의 산림정비 대책이 적절하게 평가 받고 있으며, 농지 토양이 일본의 온실효과가스 흡수원으로서 활용 가능하도록 국제교섭중임. 이다.

○ 정책목표

- 교토의정서의 온실가스 배출량 6%삭감 약속과 25%삭감 목표(2020년)의 달성을 위해 농림수산업·식품산업에서 배출 삭감 추진

○ 주요 정책내용 - 새로운 온실효과가스 배출삭감·흡수 대책의 추진

- 농림수산분야에 따른 배출량 거래의 추진: 농림수산업에서 발생하는 메탄, 일산화이질소 등의 온실효과가스와 관련된 새로운 배출삭감 방법론의 검토·책정을 지원한다. 또한 온실가스 배출삭감·흡수를 위해 크레딧을 창출하는 복수의 농업자(판매자)와 기업(구매자)를 연결하는 등 배출량 거래 제도를 계획하여 참여하는 것을 지원함. 지구온난화 종합대책 추진사업 중, 농림수산분야에 따른 배출량 거래 추진 사업 예산으로 2010년에 30백만엔 투입
- 농림수산분야에 따른 「CO₂ 표시하기」의 추진: 농림수산업에서 사용하는 생산자원과 수입원자재 등과 관련된 온실효과가스 배출원 단위 등, 「CO₂ 표시하기」에 필요한 기초 데이터베이스 구축과 온실가스 배출량을 산정하기 위해 간편한 도구를 개발하기 위해 2010년에 15백만엔 투입함. 또한 지구환경 종합대책추진 사업 중 농림수산분야에 따른 「CO₂ 표시하기」추진 모델사업의 예산으로 39백만엔을 투입함.
- 농경지토양의 온실효과가스의 흡수원 기능 활용 대책 추진: 농경지 토양은 적절히 관리하는 것에 따라 탄소저류가 가능하기 때문에 유기물 시용 등 탄소저류에 효과가 높은 영농활동의 실증과 관련된 대책을 지원함. 이를 위해 생산환경 종합대책 사업에 2010년에 1,499백만엔을 투입
- 산림 흡수원 대책 추진: 국민의 기대에 부응하는 산림정비와 유역전체를 고려한 효과적인 산림재생을 위한 치산대책 등, 교토의정서 제 1공약기간에 맞춰 산림흡수 목표 1,300만tCO₂의 달성을 위한 대책 추진을 위해 2010년에 187,030백만엔을 투입함.
- 미래 개척을 위한 6차 산업창출 종합대책 추진: 농산어촌의 재생가능 에너지를 활용하여 에너지와 비용을 절약하고 지구온난화 방지를 실현하기 위해, 농작물 보존냉장창고, 축사, Biomass변환시설 등의 농림수산업에 관련하는 시설 등에 태양광판 설치를 지원함. 이를 위해 2010년에 7,241백만엔을 투입함.

1.3.2. 비식료 원료에 따른 국산 바이오매스 이용·활용의 추진

○ 핵심대책

- 바이오매스 활용 추진기본법에 기초하여 바이오매스 제품의 원재료 및 에너지 원으로써 최대한 이용할 수 있도록 종합적 대책을 추진함. 2010년 예산으로 15,128백만엔을 투입함.

○ 추진배경

- 폐기물류 바이오매스(가축배설물, 하수오물, 식품폐기물, 제재공장의 잔재)의 부존량은 2억 9,986만톤으로 이용률은 17%(2009년 3월)에 달함. 바이오매스의 이용·활용의 추진을 위해 「바이오매스 일본 종합전략 (2006년 3월 내각결정)」, 「국산 바이오연료의 전폭적인 생산 확대 (2007년 2월 종리보고)」를 기초로 정책을 추진함. 특히 농림어업 바이오연료법 (2008년 10월 시행)과 바이오매스 활용추진 기본법(2009년 9월 시행) 등 법적으로도 바이오매스 이용·활용을 추진하는 제도가 정비되어 구체적인 실행프로그램을 추진함.

○ 정책목표

- 섬유소류 원료 등을 활용한 국산바이오연료의 전폭적인 생산 확대와 2010년 말까지 바이오매스마을을 300개소 구축

○ 주요내용

- 바이오매스 활용 추진 기본법에 기초한 바이오매스 이용·활용 추진: 바이오매스에 대한 국민이해의 증진과 지방공공단체, 민간단체 등의 활동을 촉진함. 또한 지역 관계자에게 폭넓게 바이오매스의 필요성과 의의를 알리기 위해 전국적인 보급·계발활동을 전개함. 바이오매스 마을을 실현하기 위해, 지역 바이오매스 이용·활용의 대책을 지원하고 광역적인 이용·활용모델을 구축하는 등 바이오매스 이용·활용을 더욱 가속화 함. 2010년도 분야별 예산으로 미래 개척을 위한 6차 산업창출 사업(자원·환경대책) 중 바이오매스 자원활용촉진 사업에 129백만엔, 미래 개척을 위한 6차 산업창출 종합대책 중 바이오매스 이용·활용 가속화 사업에 24백만엔, 지역 Biomass 이용·활용 보조금에 4,046백만엔을 투입함.
- 국제적인 제휴의 확보 및 국제협력 추진: 바이오매스에 관한 기술이전, 도상국의 능력강화 지원 등의 국제적인 논의에 적극적으로 참여하고 국제적인 제휴를 확보하면서 바이오매스 보급과 지속 가능한 이용을 촉진하고, 개도국지역에 바이오매스 마을 구상에 맞춘 인재육성과 관계자 간의 네트워크를 구축함. 이를 위한 예산으로 국제 재생가능 에너지 기관 분담금 82백만엔, 미래 개척을 위한 6차 산업창출 종합대책 동아시아 바이오매스 이용·활용추진 사업에 34백만엔, 동아시아의 바이오매스 마을 보급지원 사업에 11백만엔을 투입함.

1.3.3. 농림수산업의 생물 다양성 보존을 추진

○ 핵심대책

- 2010년 10월에 나고야에서 개최하는 생물 다양성 조약 제10회 체약국회의(COP10)를 계기로 농림수산업의 생물 다양성 보존 대책을 추진하기 위해 2010년 예산으로 19,481백만엔을 투입함.

○ 추진배경

- 농림수산업은 자연계의 다양한 생물과 관련된 환경기능을 이용하고, 지속 가능한 농림수산업의 유지·전개를 위해서 생물 다양성을 보존해야 함. 또한 담당자의 감소에 따른 농림수산업의 활동 정체와, 우리 주변에서 볼 수 있는 種의 감소와 새와 짐승의 피해가 심각함. 이를 위해 생물 다양성 보존을 중시한 농림수산업을 강력하게 추진하기 위한 방침으로써 2009년 7월에 농림수산성 생물 다양성 전략을 책정함.
- COP10에서는 「2010년까지 생물 다양성의 손실속도를 현저하게 감소시키기」라는 현행 목표를 대신해 새로운 목표가 결정될 예정이며, 생물 다양성 보존책을 추진하는 것이 중요함.

○ 정책목표

- 생물 다양성 보존을 무엇보다도 중시하는 농림수산업의 추진, COP10을 계기로 일본 농림수산업이 생물 다양성 보존에 공헌하는 점에 대한 국내외 홍보를 강화함.

○ 주요 정책내용

- 생물 다양성을 향상시키는 농업 확대: 생물 다양성의 모니터링과 영농조건 등의 사례를 수집하여, 식료 생산과 생물 다양성 보존을 양립할 수 있는 논농업의 대책을 전국적으로 확대함. 또한 COP10을 계기로 일본의 농림수산업의 생물 다양성 보존에 공헌하는 점을 국내외 홍보함. 2010년도 지구환경 종합대책 추진 사업 중 생물다양성 보존 추진 사업에 30백만엔의 예산을 투입함. 생물 다양성 조약 제10회 체약국회의 및 카르타헤나(Cartagena)의정서 제5회 체약국회의 개최 경비로 742백만엔을 투입함.
- 전원지역·생활에 밀접한 땅과 산 보존: 전국적인 단계로 유기농업의 참여촉진·보급개발을 시행함. 유기농업추진을 위한 생산지의 판매기획력, 생산기술력강화 대책, 판로확대를 위한 제휴박람회 개최, 재배기술의 체계화 대책 등을 지원함. 이를 위해 생산환경 종합대책사업 가운데 유기농업추진분으로 108백만엔, 생산지 수익력 향상 지원사업에 3,813백만엔을 투입함. 또한 지방의 자주성·재량성을 높이기 위한 시·도·구의 '보조금'을 재검토하고, 새와 짐승의 피해방지特措法에 따라 시읍면에서 작성한 피해방지계획에 기초한 대책 등을 종합적으로 지원하기 위해 2,278백만엔을 투입함.

1.4. 농림수산분야의 「CO₂ 표시하기」 추진사업

○ 핵심목표

- 농림수산업의 생물단계 등에 따른 온실효과가스 배출량의 산정 등에 관한 기초적 자료의 조사·검토와, 농림수산업 관계자가 간편하게 온실효과가스 배출량을 산정할 수 있는 도구의 개발을 실시함. 2010년도 예산으로 15백만엔을 투입함.

○ 추진배경

- 국제공약인 온실효과가스 배출축감목표(2020년까지 1990년 대비 20% 삭감)를 달성하기 위해 농림수산업분야에 있어서도 배출축감 대책이 확대되도록, 「CO₂ 표시하기」 등의 새로운 지구온난화 대책을 강력하게 추진해야 함. 한편 생산현장에서 온실효과가스 배출축감을 위해 노력하고 있지만, 그 성과를 소비자에게 전달할 적당한 방법이 마련되어 있지 않음.
- 의식조사결과에 따르면, 소비자의 80% 이상이 생산 식료품과 가공 식품의 CO₂ 절감 효과의 표시에 관심을 갖고 있음을 알 수 있음

○ 정책목표

- 농림수산업분야의 온실효과가스 배출량을 배출량거래, 「CO₂ 표시하기」를 통해서 10만 t-CO₂ 삭감하기(2012년)

○ 주요내용

- 농림수산업분야의 「CO₂ 표시하기」 검토: 농림수산업에서 사용하는 비료의 생산자재와 사료의 온실효과가스의 배출원 단위와 농림수산물의 생산단계 등에 따른 온실효과가스 배출량의 참고치와 수입한 원자료 등의 기초자료를 조사·검토함.
- 간편한 온실효과가스 배출량 산정 도구의 개발: 농림수산업 관계자는 농림수산물의 생산단계에 따른 온실효과가스 배출량을 간편하게 파악·산정하기 위한 도구를 개발함.

1.5. 농림수산업분야의 온실가스 배출축감·흡수효과 시산

○ 일본 농림수산업성의 지구온난화 대책본부에서 농업부문 온실가스 배출축감 및 흡수효과를 계측

- 온실가스를 2020년까지 1990년 대비 25%축감을 목표로 현행 기술수준과 예산적·제도적 제약의 구애 없이, 타 관청의 시책을 포함해 새로운 삭감기술과 시설 등을 최대한 도입한 경우를 시산함. 이 경우 적어도 2020년까지 약 30조엔 정도의 비용이 필요할 것으로 예측함.
- 2020년도 농작물의 작부면적과 산림의 연령구성 등의 미래가치는 현행 식료·농업·농촌기본계획과 전국 산림계획 등 현행정책의 농림수산업 관련계획에 따른 목표치를 사용함.

- 농림수산업·식품산업에서의 배출삭감대책에 따라 약 395만CO₂톤으로 추정. 농업분야에서는 질소의 사용량을 10~20% 삭감하여 약 35~71만CO₂톤, 퇴적발효를 행하는 낙농가의 50%를 강제발효로 전환함에 따라 약 77만CO₂톤, 가온하우스의 60%에 열펌프 및 다층피복을 도입으로 165만CO₂톤, 식품산업분야에서 중간 규모의 2,400곳의 보일러를 고효율 보일러로 교체하는 경우 약82만CO₂톤 등으로 추정함. 한편 흡수원으로 농경지 토양에서 풋거름의 작부면적을 현재의 98천ha에서 21만6천ha 확대하고 논에 퇴비 사용량을 증가시킴으로써 약 380만CO₂톤을 흡수할 수 있는 것으로 추정함.

1.6. 중앙농업종합연구센터 연구동향

1.6.1. 농업에 있어 LCA의 시작과 전개

- 농업에서 LCA는 유럽에서 적극적으로 수행해옴. 1997년 출판된 EU Concerted Action 보고서는 LCA의 종합적인 내용을 담고 있음. 일본의 농업분야 LCA 연구는 1998년도에는 「지속적인 농업 추진을 위한 혁신적 기술개발에 관련된 종합연구」가 시작됨. 1998~2000년도까지 농림수산기술회의의 환경연구로서, 2001~2002년도까지는 농업환경기술연구소의 운영교부금에 의해 실시됨.
- LCA는 영향평가방법의 유형이 중간치이든 최종목적지든 LCA는 다기준평가의 일종으로 간주할 수 있음. 유기농업을 평가하는데 있어 복수의 평가기준에 주목하는 것이 중요한 의미를 가짐.
- 농업에 있어 환경경영이 다음과 같은 3가지로 구분되는 것으로 대응됨. ①기계·설비 관리로, 직접적으로 관련 있는 환경영역으로서 에너지 이용, 지역 온난화, 오존층파괴 등이 있음. ②영양(비료) 관리, 영양의 풍부화, 산성화 등과 관련 있음. ③오염물질(농약, 중금속) 관리로 인체독성, 생태독성과 관련 있음.
- 농업에서의 LCA연구가 일반적으로 인지되기 전에는, 시비나 약제 살포 방법이 다른 복수의 작부체제에 순서를 매기는 방법으로서, 복수의 속성에 주목한 대체 안을 선택하는 다기준평가방법을 재고목록(inventory) 수준에서 적용하는 것이 시도되었음.

1.6.2. 유기농업 재평가를 위한 LCA분석

- 유기농업은 총체적인(holistic) 생산관리 체제로서 농업생태계의 건전성을 유지·증진시키는 것, 지구의 조건에 적합한 생산관리를 실천하는 것, 인공적으로 합성된 물질은 사용하지 않는 것 등을 의미함.
- 유기농업은 정말로 ‘환경에 도움’이 되는 것일까? 또는 관행농업은 ‘환경에 나쁜’것 일까? 와 관련된 연구가 지금까지 많이 진행되어 왔지만 적당한 해답을 찾기가 쉽지 않음.

- 체계적인 해답을 얻기 위해서는 유기농업이 환경에 영향을 미치는 것에 대한 연구(LCA와는 관련 없이 실행되었음)를 LCA 시점에서 재검토하는 것을 출발점으로 삼음.
- 유기농업이 환경에 영향을 미치는 연구의 특징은 다음 3가지로 요약될 수 있는데, ①가장 많은 경우로 기존의 관행과 비교해보는 것으로, 복수의 환경지표에 주목하면서 분석한다는 점(복수의 생산체제를 비교하는 「비교LCA」에 해당), ②농업생산과정에 직접적으로 관심을 기울인다는 점(농장이 분석대상인 경우에도 체제경계가 농가단위임) ③일반적으로 단위면적당 환경에 미치는 영향을 비교한다는 점(단위면적 기준)
- 유기농업의 환경영향에서 2건 이상의 사례를 가진 영향력이 큰 영역으로는 토지이용, 광화학 옥시던트 생성, 산성화, 양분의 풍부화 등을 들 수 있음.
 - 토지이용에 있어서 유기농업의 환경영향이 큰 부분을 차지하게 된 이유는 유기농업의 단수가 줄어들었기 때문임. 광화학 옥시던트 생성은 유기농업의 경우에는 제초제를 사용하지 않는 대신에 기계에 의한 제초작업이 증가하는 것과 관련이 있음. 산성화와 양분의 풍부화는 시비관리와 깊게 관련되어 있음.
 - 유기농업의 암모니아 휘발량과 초산성질소의 용탈량이 상대적으로 큰 것으로 나타나고 있으나, 단수 향상기술, 방제기술, 퇴비제조·관리기술 등의 개발·개량에 따른 유기농업의 개선 가능성을 보여주고 있음.
 - 유기농업을 적절하게 평가하기 위해서는 생물다양성과 토양의 질(soil quality)을 고려해야 함. 토양의 질은 토양의 생명유지기능을 평가하기 위해 이용되는 지표로, 토양유기물에 의해 측정될 수 있음.
 - 농업의 LCA에서 생물 다양성과 토양의 질 문제는 1990년대에 Cowell이 문제 삼았지만, 최근에도 왕성하게 논의되고 있고, UNEP-SETAC의 Life Cycle Initiative에 있어서도 취급되고 있으며, 스위스의 SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment)라는 시스템(평가방법 + 데이터베이스)에서는 생물 다양성과 토양의 질을 평가하는 모듈이 포함되어 있음.

2. 식물공장 관련 조사 및 면담내용(김정호 정리)

2.1. 식물공장의 개념과 의의

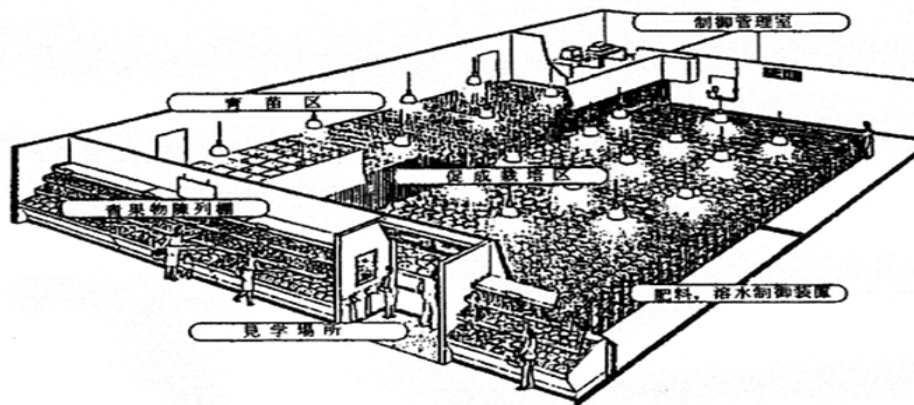
- 식물공장이란 용어는 일본에서 보편적으로 사용되지만, 영어로는 ‘vegetable factory’라고 표현하고 ‘채소공장’으로도 부르고 있음. 식물공장 연구의 대부로 알려져 있는 다카즈지 마사모토(高辻正基) 식물공장·농상공전문위원회(www.sdrc.jp) 위원장은 식물공장의 정의를 “야채나 묘를 중심으로 한 직물을 시설 내에서 광, 온습도, 이산화탄소농도, 배양액 등의 환경조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 거의 구애받지 않고 자동적으로 연속생산하는 시스템”이라고 정의하는 바와 같이 채소작물의 공장제 생산을 말함.
- 식물공장의 개념적 정의의 핵심은 공장제 생산방식이라는 것임. 즉 공장제 생산의 특징은 생산프로세스의 정량화와 대량생산이라는 두 가지 요소이므로, 식물공장에 대해서도 ①성장의 정량화와 ②대폭적인 성장촉진이 실현되어야 함. 일본에서는 1970년대에 식물공장 연구를 시작하면서 식물공장의 정밀 생장데이터를 축적하였으며, 이러한 결과 식물공장에서는 셀러드용 채소의 성장속도가 노지재배보다 5~6배 정도나 빠르다는 것을 확인하였다고 함.
- 식물공장은 전통적인 노지재배와 다른 다음과 같은 특성으로 정리할 수 있음.
 - 첫째, 기후와 풍토 등의 자연조건이나 지리적 입지조건에 큰 영향을 받지 않는 농업을 가능하게 함.
 - 둘째, 통제된 시설과 장치를 이용하여 계절의 변화에 관계없이 연중 안정적인 농업 생산을 실현함.
 - 셋째, 농산물을 고품질의 균일화·규격화된 상품으로 생산할 수 있어 가격 결정을 용이하게 하고, 농업소득의 예측을 가능하게 함.
 - 넷째, 정밀농업을 통하여 무농약재배가 가능하고, 토지와 노동력과 농자재 등이 절감되는 저투입 농업을 실현할 수 있음.
 - 다섯째, 기능성 작물의 생산이 가능하여 농산물 소비패턴 및 소비자 기호에 능동적으로 대처할 수 있음.
- 일본 농림수산성은 식물공장 보급의 기대효과를 다음과 같이 설명하고 있음.
 - 경험이나 감으로 의존하지 않는 과학에 기초하는 농업: 환경이나 생육의 모니터링 및 생육예측에 바탕을 둔 계획적·안정적인 생산
 - 마켓인(market-in) 농업생산: 생산품의 판매가 아니라 팔리는 상품을 생산
 - 지역의 고용과 소득을 확보: 주년고용, 작업환경의 쾌적화
 - 새로운 입지를 활용한 농업생산: 농지의 효율적 이용을 기본으로 하여 공업단지나 상업지구의 입지 활용
 - 식물공장을 활용한 신시장 창출: 의약품이나 기능성식품에 의한 신수요 창출

2.2. 식물공장의 도입 및 발전 과정

○ 1974년 히타치 중앙연구소에서 식물공장 연구 시작

- 유럽에서 1960년대에 식물공장 연구가 활발하게 진행된 것을 배경으로, 1974년에 히타치제작소 중앙연구소의 주임연구원으로 기획담당이었던 다카츠지(高辻正基, 도쿄대 공학부 졸업, 당시 34세)씨가 회사의 신사업으로 식물공장을 제안하여 완전제어형 식물공장의 재배실험을 시작한 것이 효시임.
- 실험대상 작물로 식물공장의 표준이 되는 샐러드채소를 선택하여 정밀한 생장데이터를 측정하기 시작하였으며, 이렇게 축적된 작물생육데이터는 세계적으로도 처음 시도한 것이라고 자랑하고 있음.

<그림 1> 히타치제작소 중앙연구소의 식물공장 모식도



○ 1983년 시즈오카현 미우라농원에서 처음으로 식물공장 상용화

- 완전제어형 식물공장의 실용화 제1호는 시즈오카현의 미우라(三浦)농원임. 미우라씨는 1983년에 평면식과 입체삼각형의 두 가지 재배시스템을 개발하였는데, 고압나트륨램프를 사용하여 1일 400주 정도의 무농약 양상추를 생산하여 1주당 105엔을 받고 슈퍼마켓 2개소에 판매하였음. 1주당 생산원가는 95엔 수준으로 채산성을 겨우 유지하는 정도였다고 함.

○ 1985년 츠쿠바 과학엑스포에 식물공장 플랜트 전시

- 히타치 중앙연구소는 식물공장의 실용화를 위해 태양광 이용형과 인공광 이용 완전제어형이라는 두 가지 형태의 연구를 진행하였으며, 재배시설에 대해서는 당시 오스트리아 루스나(Ruthner)사의 식물공장에서 운영한 입체식 재배 방식을 원용하여 회전재배 방식을 실험하였음.
- 이러한 성과를 바탕으로 히타치 중앙연구소는 1985년 츠쿠바 과학엑스포에 '회전식 양상추 생산공장'을 전시하여 세간의 관심을 모았음.
- 히타치 중앙연구소의 식물공장 기술은 그 후 국철 오오사키역, 후생성 약용식물시험장, 규슈전력 농업전화시험장, 간사이테크 등의 연구용 식물공장을 설치하는데 지원하였음.

- 1985년 치바현에 점포형 식물공장 등장
 - 1985년에 유통그룹 다이에가 치바현의 '라라포트'(LaLaPort)라는 쇼핑센터 안에 고압나트륨램프를 이용한 완전제어형 식물공장 '바이오팜'을 설치하였는데, 이것은 '점포형 식물공장'의 효시임. 채소 판매장 안쪽 20평 공간에 식물공장을 설치하여 매일 100주 정도의 무농약 신선 양상추를 생산하여 판매하였음.
- 1986년 큐피주식회사에서 TS팜 식물공장플랜트 1호기 완성
 - 큐피(Kewpie)주식회사는 1919년에 창업한 마요네즈 제조업체로서 농가에게 원료농산물을 계약재배하여 식품가공하는 업체임. 원료농산물의 안정 확보 차원에서 1984년 시설원에 수경재배를 위한 식물공장 연구에 착수하여 1986년에 독자적인 플랜트를 개발하였음. 인공광원으로 고압나트륨램프를 사용하고 삼각판넬에 분무식 양액공급을 하는 재배방식인데, 이를 'TS팜(Triangle Spray Farm)'이라는 브랜드로 식물공장플랜트사업을 시작하게 됨.
 - TS팜 1호기는 300m² 크기로 지붕을 원통형으로 둥글게 설계하였는데, 현재 큐피-고카(五霞)공장 내에 견학용 플랜트로 운영중임.
 - TS팜의 상업적 이용을 위하여 1일 양상추 1,500주 출하가 가능한 650m² 규모의 플랜트를 개발하고 1992년부터 보급을 시작하였는데, 1999년까지 12개소가 보급되어 현재도 운영되고 있음. 식물공장 플랜트 사업투자비(TS팜 공급가액)는 토지를 제외한 건물과 시설장비에 2억 2천만엔으로 산정하였음. 단, 농림수산성 시설원예사업의 보조를 받아 50% 금액에 시공하였다고 함.
- 1987년 도쿄에서 식물공장시스템전 개최
 - 식물공장에 대한 관심이 높아지면서 1987년 5월에 일본공업신문사 주최로 도쿄 하루미의 국제견본전시회장에서 '식물공장시스템전'이 개최됨. 히타치중앙연구소와 M식 수경연구소 등이 고압나트륨램프와 형광등을 이용한 식물공장을 전시하여 사회적 관심을 모았다고 알려짐.
 - M식수경연구소는 1971년 무라이(村井智子)가 아이치현에 설립한 수경플랜트 제작회사인데, 식물(채소)공장은 형광등 이용 다단재배시스템을 개발하였음.
 - 최초로 형광등 식물공장플랜트를 실용화한 것은 다카야나기 에이후(高柳榮夫)씨로, 가나가와현 아츠기시에 형광등을 이용한 다단(10단) 식물공장에서 양상추를 재배하였음. 형광등 식물공장은 근접 재배가 가능하고, 투자비가 저렴하다는 장점 때문에 현재도 많은 식물공장이 채용하는 기술임. 형광등 식물공장의 양상추 1주당 생산원가는 80엔 정도로 알려짐.
- 1989년에 일본식물공장학회 설립
 - 1989년 4월에 '일본식물공장학회'가 설립되어 연구를 교류하고 있으며, 특히 1991년부터 식물공장에 관한 강연회 'SHITA심포지움'(Science and High Technology in Agriculture))를 매년 개최해 오고 있는데, 2010년 1월에 제20회

대회를 개최하였음. 식물공장학회는 2007년부터 일본생물환경공학회로 통합되어 '식물공장부회'(<http://shita.jp>)로 운영되고 있음.

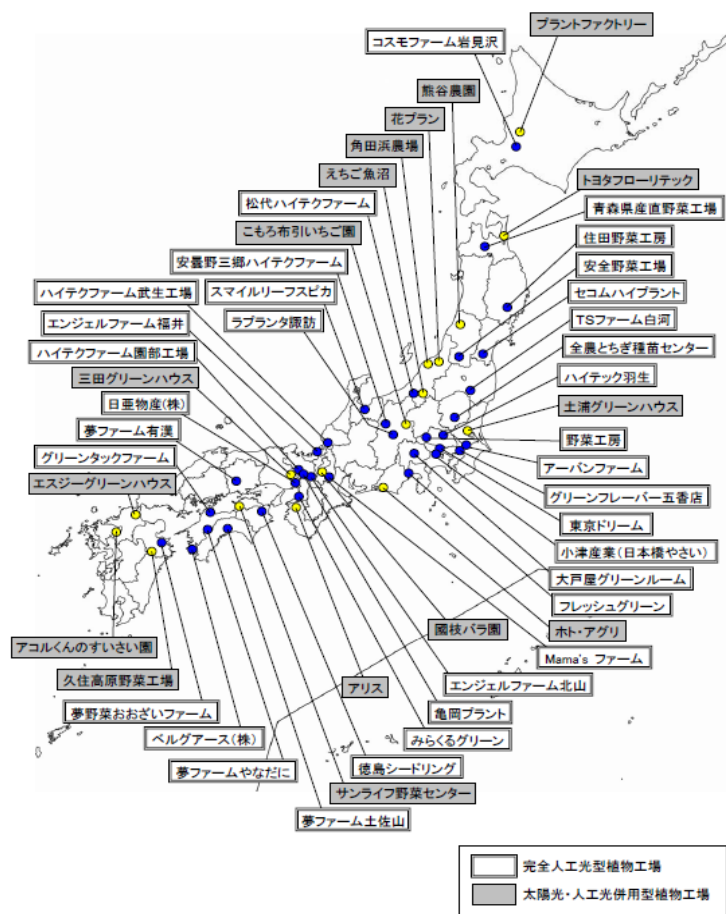
- 1990년대 들어 농림수산성의 보조금 지급으로 식물공장 보급 확대
 - 1992년부터 농림수산성의 시설원에 보조사업을 받아 TS팜플랜트가 전국적으로 보급되기 시작함. 사업의 중심이 된 후쿠시마현 TS팜은 건물면적 2,000㎡, 재배실면적 1,390㎡에서 샐러스채소를 1일 약 4,500주 생산하여 외식업체 등에 납품할 정도로 수익을 창출함. 양상추 1주당 판매가격은 170엔 수준으로 일반 재배보다 1.5배 정도 높은 가격이라고 함.
 - 식물공장 시설보조사업은 2000년 12월에 중단되었으나, 보조금 지원으로 2005년까지 전국에 약 30개소의 식물공장이 운영된 것으로 파악됨.
- 2000년대 들어 LED 및 HEFL 식물공장의 실용화
 - LED 식물공장의 실용화는 시즈오카현에 코스모플랜트사를 설립한 우치야마 히사카즈(内山久和)씨가 처음 시작한 것으로 알려지며, 값이 비교적 저렴한 적색LED만을 이용하여 잘 자라는 채소(양상추, 엔다이브, 코리안더, 파슬리, 르트코라, 코마츠채 등)를 상용화하였음. 코스모플랜트사의 식물공장은 시즈오카현, 치바현, 와카야마현, 호카이도, 이와테현 등의 7개소에 보급되었으나, 본사인 코스모플랜트사는 2007년 4월에 운영적자로 영업정지되었음.
 - 시가현의 일본어드밴스트애그리(advanced agri.)주식회사는 2006년에 설립한 식물공장플랜트 제조회사로, 모기업에서 개발한HEFL(Hybrid Electrode Fluorescent Lamp; 하이브리드전극형광등)을 식물공장에 이용하는 기술을 개발하여 '마마즈팜'(Mama's Farm)을 시험적으로 운영하고 있음.
- 2009년 정부의 신경제성장 전략의 일환으로 식물공장 지원시책 추진
 - 2008년 9월에 경제산업성은 '신경제성장전략'을 발표하였는데, 그 안에 농상공 연계사업으로 식물공장 지원을 정책화함.
 - 2009년 1월에 경제산업성과 농림수산성이 공동으로 '농상공연계연구회'를 설치하고 그 안에 태스크포스로 '식물공장 워킹그룹'을 운영하여 4월에 보고서(식물공장워킹그룹보고서)를 작성하고 정부에 건의하였음.
 - 농림수산성과 경제산업성은 식물공장 보급을 확대하도록 하여 2013년까지 향후 3년 동안 전국적으로 식물공장 수를 3배(현재 50개 → 150개)로 확대하고 생산코스트를 3할 절감하는 목표를 수립하였음.
 - 농림수산성은 2009년 예산에 100억엔을 확보하여 식물공장 시설비 보조사업(시설원에 고도화 추진)을 다시 시작하였으며, 전국 5개소에 모델하우스형 식물공장 실증·전시사업을 추진하고 있음. 식물공장 관련시책은 홈페이지(http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/plant_factory/index.html) 참조.

- 경제산업성은 소비자, 사업자, 지자체 관계자 등에게 식물공장을 홍보하기 위하여 2009년 5월부터 10월까지 경제산업성 별관 1층 로비에 완전인공광형 식물공장의 실험플랜트를 설치하였으며, 현재는 철거한 상태임.

2.3. 식물공장의 보급 및 운영 실태

- 경제산업성의 위탁을 받아 미쓰비시종합연구소에서 2008년 12월부터 2009년 3월까지 파악한 식물공장은 전국에 50개소였으며, 이 조사는 공개 정보를 바탕으로 하였기 때문에 전체를 파악하였다고 할 수는 없음.
- 식물공장 유형: 완전인공광형 34개소(68%), 태양광겸용형 16개소(32%)
- 사용 광원: 고압나트륨램프 20개(40%), 형광등 16개(32%), 형광등+LED 4개(8%), HEFL 1개(2%), 혼합겸용 1개(2%), 무응답 8개
- 사업자 유형: 기업 25개(50%), 농가·농업생산법인 21개(42%), 기타 4개(8%)
- 설치년도: 1995년 이전 10개(20%), 1996~2000년 15개(30%), 2001~05년 9개(18%), 2006년 이후 14개(28%), 무응답 2개
- 재배실 면적: 500㎡미만 19개(38%), 500~1000㎡ 7개(14%), 1000~5000㎡ 12개(24%), 5000㎡이상 7개(14%), 무응답 5개
- 종업원 규모: 10인 미만 18개(36%), 11~50인 15개(30%), 51인 이상 1개(2%), 무응답 16개
- 재배 품목(복수응답): 양상추 38개소, 허브 7개소, 루코라 5개소, 미즈나 4개소, 육묘 5개소, 휘훼 4개소 등

<그림 5> 일본의 식물공장 분포(2009년 4월)



○ 식물공장의 비용과 수익에 대하여 ‘식물공장워킹그룹보고서’를 인용하여 정리하면 다음과 같음.

- 식물공장은 설치비(환경제어, 반송장치 등)와 운영비(재배자재, 전기료 등)가 일반 시설원예경영보다 많이 드는 것으로 알려짐. 또한 최근에 식물공장 증가에 따른 시장경쟁이 심화되어 판매가격 상승을 기대하기 어려움.

<표 1> 식물공장과 일반 시설재배의 10a당 비용 비교(사례)

	식물공장(A)	일반시설재배(B)	A/B
설치비용	3.1억엔	1,800만엔	17
운영비용(광열비)	1,860만엔	40만엔	47

주: 식물공장은 TS팜 형태(720㎡)의 완전인공형시설의 K사의 사례.

일반시설재배는 비닐하우스(858㎡)에 시금치 양액재배하는 M농원의 사례.

자료: 농림수산연구개발리포트 NO.14(2005).

- 식물공장의 채소는 밀폐된 청결한 환경에서 무농약으로 재배되기 때문에 안전농산물이라는 프리미엄이 존재하여, 소비자 선호가 높으므로 일반채소보다 1.5배 정도 높은 것으로 조사됨.

<표 2> 식물공장 양상추 판매가격과 목표 생산비

• 판매가격

	판매가격	소매가격
완전제어형 식물공장	130엔/100g	198엔
태양광 이용형 양액재배	80엔/100g	148엔

• 목표 생산비

	현재	장래
완전제어형 식물공장	100엔/100g	60~70엔
태양광 이용형 양액재배	50엔/100g	45엔

○ 식물공장워킹그룹보고서에서는 식물공장의 비용절감 방안으로 다음과 같은 전략이 제시하고 있음.

- 생산성 향상: 양액재배 적응성 품종의 육성, 환경제어·생육예측프로그램 보급 등으로 수확량의 대폭 향상 가능

※ 네덜란드 시설원예의 10a당 수량 60톤(일본 20톤)

- 설치비용 감축: 시설 상각비가 생산비의 3~4할이므로 시설자재 표준화 등을 통해 설치비를 낮출 수 있음.
- 운영비 절감: 에너지 절약, 신재생에너지 활용, 자동화·생력화 등을 지속적으로 추진하여 비용 절감 실현

2.4. 식물공장에 대한 기업의 참여 동향

- 식물공장은 농업과 IT, BT, ET 등의 기술융합이라는 점에서 기업의 새로운 사업영역으로 인식되고 있으며, 특히 조명기기나 기계설비 제조업체가 식물공장 사업에 진출하는 사례가 많음.
 - 시시에스(CCS)주식회사는 LED조명기기를 제조하는 기업으로, 자회사인 'Fairy Angel'(www.fairyangel.co.jp)을 설립하여 교토시에서 식물공장 병설 레스토랑을 운영하고 있음. 또한 미쓰비시화학과 공동으로 태양전지를 이용한 식물공장 시스템을 2015년까지 실용화하기 위한 실증시험에 착수하였음.
 - 에스펙크(ESPEC)주식회사는 환경제어와 계측기기를 기술을 가진 기업으로, 자회사인 'ESPECMIC'(www.especmic.co.jp)에서 미니식물공장과 레스토랑 병설 식물공장(재배실면적 20㎡) 등을 제작하여 판매하고 있음.
 - 마루베니(丸紅)그룹은 양액재배가 아닌 특수토양을 사용한 식물공장시스템을 개발하고(재배설비가격 8천만엔/330㎡), 오사카지사 빌딩 지하에 형광등+LED 병용형 식물공장 쇼룸을 설치하여 운영하고 있음.
 - 이 밖에도 많은 기업들이 식물공장 사업에 진출하고 있으며, 개발한 식물공장 플랜트를 아시아와 중동국가 등에 수출도 추진하는 것으로 알려짐.

2.5. 식물공장 관련 정부의 대응과 정책

- 식물공장에 대하여 정부는 2009년도(회계년도 2009.4.1~2010.3.31) 추경예산으로 150억엔(경제산업성 50억엔, 농림수산성 100억엔)을 편성하여 재정적인 지원을 뒷받침하고 있음. 이를 통해 향후 3년간 생산비를 3할 절감하는 동시에 설치공장 수를 3배로 늘리겠다는 것임.
 - 경제산업성은 50억엔의 예산으로 '기반기술 연구거점 정비'사업과 '식물공장모델 설치사업'으로 나누어 주로 연구개발을 지원하도록 하였음. 연구개발 거점은 전국에 8개 법인(아오모리현 상업기술센터, 치바대학, 도쿄농공대학, 메이지대학, 신슈대학, 오사카부립대학, 시마네대학, 에히메대학)이며, 모델설치사업은 식물공장 홍보를 위하여 공공기관이나 상점가에 설치하도록 하여 전국적으로 17개 사업자를 선정하였음.
 - 농림수산성에서는 '모델하우스형 식물공장 실증·전시·연수사업'과 '리스지원사업'을 추진하고 있음. 전자는 통산성의 연구거점에 상응하는 사업으로 3개 연구그룹(치바대학, 에히메대학+오사카부립대학, 농연구구+미에현 농업시험장)이 5개소에 설치하도록 하였음. 식물공장 리스사업은 식물공장플랜트를 리스회사로부터 빌리는 방식으로 리스비용의 50%를 보조하는 것임.
- 관련제도에 대하여 식물공장위킹그룹의 건의내용을 정리하면 다음과 같음.
 - 식물공장의 제도적인 애로사항은 첫째, 식물공장이 '농업'임에도 불구하고 농

업인과 같은 정책 지원을 받기 어렵다는 점. 둘째, ‘공장’에서 농업을 경영하기 때문에 지자체가 기업유치나 건축확인 등을 망설이는 경우가 많다는 점임.

- 따라서 기존의 제조업과 동일하게 기업유치 차원의 지원받을 수 있도록 지자체에서 고정자산세 등의 세금우대, 토지·설비취득에 따른 초기비용 보조, 기타 규제완화(기업입지 촉진제도, 건축기준법 관계, 소방법 관계 등) 등을 개선해야 하며, 나아가 식물공장용 전기료 우대, 식물공장 생산물의 규격제 인증 등도 필요하다고 건의하였음.

○ 식물공장 관련 정부기관 및 공익법인 연락처

- 經濟産業省地域經濟産業그룹
- 農林水産省生産局生産流通振興課
- (獨)農業食品産業技術總合研究機構 野菜茶業研究所 / 高收益施設野菜研究팀
- (獨)産業技術總合研究所 / 植物分子工學研究그룹
- (社)日本施設園芸協會
- (財)社會開發研究센터 植物工場・農商工專門委員會
- 日本生物環境工學會 / 植物工場部會
- 養液栽培研究會
- 植物工場普及振興會

<끝>