

서기 2030년대의 우리 나라 농수산 과학의 전망과 그 실현을 위한 연구방안

-농업토목학 분야를 중심으로-

권 순 국 서울대학교 생물자원공학부
박 승 우 서울대학교 생물자원공학부
이 석 건 경북대학교 농업토목공학과

1. 서 론

농공학은 문자 그대로 농업분야에 있어서 공학이다. 농업이라는 범주는 일반적으로 포장에서의 작물재배만을 생각하기 쉬우나 이것에 머물지 않고 생산물을 가공하고, 저장하여, 식료품으로서 소비자에게 전달하는 일련의 과정을 모두 포함하고 있다. 본 연구에서는 편의상 농공학을 농업토목학 분야와 농업기계학 분야로 나누어 설명하고자 한다.(편집자주: 농업기계학은 제외함)

농업토목학 분야를 여태까지 식량생산에 기반을 둔 지역개발의 과학기술 체계 내에서 발전해 왔다. 이러한 기술체계는 통일계 신품종 육성이라는 품종개량사업과 함께 우리 나라의 주곡인 쌀의 자급기반을 마련하는데 결정적인 역할을 하였으며, 앞으로도 우리 나라 농업에서 가장 중요한 위치를 차지할 것이라는데 의심의 여지가 없다.

그러나 과학기술분야에서도 그 동안 상당한 연구활동 결과의 축적으로, 여러 분야에서 사회적 주목을 받는 구체적인 성과를 얻고 있다. 이러한 것 중 농업토목학 분야와 직접 관련되는 것으로서 ① 생물의 새로운 기능 개발과 그의 유효한 이용, ② 물리공학적으로 새로운 기능을 지니는 신소재의 개발 및 이용, ③ 방대한 정보 처리 기술과 이들을 효율적으로 이용하는 시스템, ④ 자동제어기기의 개발과 이용, ⑤ 복잡한 사회경제적 인간활동의 이해 등을 들 수 있다. 과학기술의 이러한 발전에 따라 2030년대에 전개될 농업에 있어서의 기술적 배경을 예측한다면 ① 지상공간 뿐만 아니라, 우주공간, 지하공간, 해양공간의 농업생산에 활용. ② 하이테크, 바이오테크의 눈부신 발전과 이들의 농업생산에 직접 이용. ③ 정보통신기술과 교통수단의 고도화. ④ 고갈성 에너지로부터 local energy로의 대체 등을 손꼽을 수 있다.

따라서 앞으로의 농업토목학 분야는 기존의 식량생산기반의 정비라는 명제 이외에도 농촌공간의 우량한 형태와 우수한 기능을 실현시키기 위하여 국토·농촌공간을 개별시스템의 평면적, 중층적 복합체로서 이해하여, 국토·농촌공간의 이용, 건설, 관리, 운영에 관련되는 현대 과학기술의 하나로서 체계화하는 것이 요구된다. 이를 위해서는 위에서 열거한 첨단과학기술의 올바른 이해는 물론이요, 이에 그치지 않고 농촌공간이 가지는 다양함과 여러 가지 개별 요소에 관한 과학기술의 개발이 불가결하다. 예를 들면, 기상과 토지, 생물과 물, 물과 사회, 인간과 자연, 자연과 환경, 인간과 인공이 조화된 것에 관련된 개별 과학기술이 요구되고 있다. 즉, 농업토목사업에서는 첨단과학기술의 적극적인 수용과 농촌공간이라는 특수성에 입각한 과학기술의 개발을 필요로 하고 있다.

이상과 같은 농업토목학 분야의 2030년대 전망을 배경으로 하여 목표를 설정한다면 ① 생명의 지속성, ② 경제의 지속성, ③ 생산환경의 지속성이 되어야 할 것이다. 그러므로 농업토목학 분야의 장래 연구개발방향도 이러한 관점에서 출발되어야 하며, ① 농촌공간을 우량화 하는데 필요한 기본적인 개별 과학기술을 탐구하는 기초연구 활동과 ② 국토·농촌공간의 구성요소인 개별시스템을 중층적(重層的)으로 관련시키는 농촌공간에 대한 종합과학기술을 탐구하는 응용연구 활동이 필요할 것이며, 이 두 가지 연구활동이 균형있게 발전되어야 할 것이다. 즉, 개별 과학기술에서는 우수한 지식과 논리가 중요시되지만, 종합과학기술에서는 개별과학기술을 농촌에서 적용할 때 조화와 융합이 중요시된다는 뜻

이다. 또한 연구개발의 거대화, 고도화에 따라서 산·관·학의 공동연구 추진의 필요성이 점차 높아질 것이므로 이러한 시스템의 구축도 빠트릴 수 없는 요소이다.

2. 연구의 중요성과 목적

앞에서도 언급한 바와 같이 앞으로의 농업토목학 연구분야는 종래의 식량생산을 위한 기반정비에 관한 것 뿐만 아니라 자연환경, 토지, 물의 자유로운 제어와 조절이 가능한 과학기술로 발전되어야 할 것이다. 따라서 2030년대를 바라본 농업토목학 분야 연구개발은 이러한 것에 기반을 둔 것이어야 하며, 식량생산을 위한 기반조성 및 정비 분야도 포함되어야 한다. 이러한 우리의 농업을 둘러싼 여러 가지 여건을 종합해 볼 때, 지속가능한 농업생산기반 기술의 개발, 농업수자원의 효율적 관리 기술, 농업용수 수질보전 기술, 농업수리의 시설화, 장치화 기술, 자연에너지 이용 생물생산시스템 개발, 폐쇄생태계에서의 식물재배시스템의 개발 등이 농업토목학 분야에서 미래 지향적인 연구개발 과제로 선택되었으며 이들에 대한 구체적이고 상세한 내용을 소개하고자 한다.

3. 연구과제 내용

가. 지속가능한 농업생산기반기술의 개발

1) 현황과 전망

우리 나라는 농업생산기반조성을 위해 해마다 2조원이 웃도는 재원을 투입하고 있다. 지금까지의 농업생산기반조성사업은 농업용수의 개발,

배수개선 등 이수와 치수사업, 그리고 간척사업 등을 통한 농지조성, 경지정리, 수리시설 개보수 등을 시행하고 있다. 이와 같은 사업은 토지 및 노동 생산성을 높이고, 도시화, 산업화로 인한 농경지의 잠식을 대체함으로써, 식량 생산량을 높이며, 주곡의 자립을 가능하도록 하는 데 그 목적이 있다. 우리나라의 농업은 쌀 농사 위주의 주곡자급 기반을 유지하는데 급급한 실정으로, 식량 자급이 30%를 못미쳐, 해마다 농산물 수입을 위해 막대한 외화를 돌리고 있다. 특히, WTO 체제의 출범과 함께 세계 농산물 교역의 자유화로 인해, 값싼 외국 농산물의 수입이 꾸준히 증가하고 있다. 따라서, 우리 농업의 국제 경쟁력 향상이 주요한 과제로 대두하고 있다. 이를 위해서는 농업은 생산비를 낮추고, 한편으로는 저공해, 고품질의 농산물을 재배하여 시장 경쟁력을 향상시키는 것이 필요하다.

그런데, 우리 나라의 농업여건은 농민 1인당 농경지 면적이 작고, 영세성을 면치 못하여, 집약적 농업형태로서 다수확을 위해 비료, 농약 등의 과다한 투입, 농후사료 중심의 축산 등 고투입 다수확 형태이다. 이와 같은 농업 여건은 가까운 장래에는 획기적으로 극복할 수 없는 구조적인 문제를 안고 있다. 따라서, 농업의 구조조정의 일환으로, 쌀 농사의 국제 경쟁력의 확보를 위한 경지 면적의 대구획화를 위한 경지정비사업을 추진해 왔으며, 이를 통해 기계화 영농 등을 통한 노동 생산성의 향상을 도모하고 있다.

한편, 몇몇 성장 작목을 중심으로 고부가가치형 수출 농업을 목적으로 축산단지, 온실단지 등의 보급이 이루어지고 있으나, 이를 뒷받침할 수 있는 기반시설이 갖추어지지 못하여, 축산폐기물

과 오수 등으로 인하여 농촌 지역 하천의 수질 오염이 확산되기에 이르렀으며, 뒤늦게 수질 오염방지를 위한 오폐수 처리시설 등을 확충하고 있는 것이 현실이다. 그밖에도, 농업 수자원의 비효율적 이용, 논의 배수여건 불량으로 인한 토지 생산성의 제약, 경지의 잠식, 상습적인 침수, 유실 등으로 인한 자연 재해 등 여건이 불비된 경우가 많다. 뿐만 아니라 과다한 비료, 농약의 투입으로 인한 농업비점오염은 결코 간과할 수 없는 수준에 이르고 있다. 지금까지는 환경기초시설의 미비로 처리되지 않은 생활오수, 공장 오폐수 등이 하천에 유입되어 수질 오염의 주요 원인으로 되고 있으나, 수처리 시설의 확장으로 이들 오폐수에 의한 수질 오염은 감소할 것으로 예상되며, 농촌지역의 축산폐수, 농경지로부터의 오염물질 등 비점오염에 의한 수질 오염의 위험도는 상대적으로 높아질 것으로 예상되고 있다.

21세기 농업은 주곡의 자급 달성을 위한 쌀의 지속적인 증산, 국제 경쟁력을 갖춘 수출 주도형 농업 등을 목표로 하고 있다. 이를 위해서는 필연적으로 농업생산기반 시설의 현대화가 뒷받침되어야 할 것이며, 여기에는 농업 수자원의 개발과 이용, 치수관리, 농경지의 개발과 이용의 합리화 등이 필요하게 되며, 지속적인 농업생산기반시설의 확장이 필요할 것으로 예상된다. 그밖에도, 농업비점오염의 경감을 위하여 토양유실의 억제, 비료 및 농약 등 오염 물질의 저감대책 등이 주요 과제로 예상되고 있다. 특히, 80년대 이래 구미 각국에서는 농업의 환경친화적 기능의 강화, 농자재 투입의 경감, 생력화 등 저투입 지속농업이 확산되고 있다. 여기서, 지속농업은 농업의 높은 생산성을 유지하면서 환경에 미치는

부정적 영향을 최소화 하고자 하는 농업 체계이다. 지속농업의 예로는 절비와 저농약 재배, 토양유실의 억제 등이 있으며, 특히, 축산과 작물 재배를 복합하여, 상호 보완적인 물질 순환을 꾀하거나, 그 밖의 유기농법 등 환경적인 피해를 최소화하는 농업기술이 발전되고 있다. 또한, 농경지로부터 비점오염을 줄이기 위하여, 무경운법, 보전 경운법, 테라스 공법 등 다양한 구조적, 비구조적 최적관리영농법이 시행되고 있다.

우리 나라에서도 지속가능한 농업을 위한 영농기술의 도입이 필연적인 것으로 예상되고 있다. 지난 20여년 동안 과도한 시비로 인해 토양오염이 심각한 수준에 달하고 있으며, 무분별한 농약의 살포로 인해 농업생태계의 파괴를 경험하고 있다. 이와 같은 고투입 다수확 위주의 영농으로는 환경보전을 꾀할 수 없으며, 결국 생산성을 유지하면서도 환경 피해를 극소화하는 새로운 영농기술의 정착이 이루어질 수밖에 없을 것으로 예상된다. 그런데, 지속농업의 정착을 위해서는 지금까지의 고투입 위주의 농업생산기반 조성사업을 재편하여, 환경친화형 지속 농업을 위한 체계로의 전환이 요청된다. 공급 중심의 비효율적인 농업용수의 개발 위주에서 이용 중심의 고효율, 절수재배를 전제로 하는 용수 개발로 바뀌어 경지의 토양보전기술, 농업비점오염의 억제와 조절, 그리고 저투입 생력화 영농이 가능한 경지정비에 이르기까지 새로운 영농기술의 접목이 가능할 수 있도록 하는 일이 필요할 것이다. 따라서, 2010년 이후의 지속농업을 전제로 하는 지속가능한 농업생산기반 기술의 개발이 이루어져야 할 것이다.

2) 중요성과 목적

21세기의 환경친화적인 지속가능한 농업으로의 전환을 위해서는, 지금까지의 고투입, 다수확 농업으로부터, 환경과 조화를 이루는 농업, 지속적인 생산이 가능한 농업으로의 전환을 도모해야 하며, 이를 위한 농업기반의 조성을 이룩해야 할 것이다. 즉, 지속가능한 농업생산기반사업을 위해

가) 지속가능한 농업용수의 개발과 이용 기술의 개발 : 유역에서의 물 수지를 고려한 환경적으로 안전한 수자원 이용가능량을 바탕으로, 작물 생육에 필요한 수량을 고효율, 저투입형 용배수조직을 갖추는 것을 전제로 하는 농업용수수급이 가능한 수자원개발과 이용 기술을 발전시킨다. 이를 통해 무제한적, 공급 중심의 농업용수의 개발에서부터 효율적인 용수 이용이 가능하도록 함으로써, 지속가능한 수자원 개발을 달성한다.

나) 지속가능한 농지정비 기술의 개발 : 농지규모의 적정화, 용배수 시설의 정비, 그리고 토양과 수분 보전이 가능하도록 하는 농지정비 기술의 개발을 통해, 저투입, 생력화 영농으로부터 지속적으로 고도의 생산성을 유지할 수 있는 기술을 개발한다.

다) 농업비점오염의 경감을 위한 농지 개발의 기술 개발 : 농경지의 토양침식, 비료, 농약의 유실 등 농업비점오염물질로 인한 하천과 지하수의 수질오염을 억제할 수 있도록 하는 농지개발의 기술을 발전시킨다. 특히, 지역별, 지형조건별, 토양별, 작목별 비점오염 억제를 위한 구조적 최적관리기법을 정립하고, 이를 농지개발에 접목시킬 수 있도록 발전시킴으로써, 지속가능한

농지개발 기술을 개발한다.

3) 연구 내용

가) 지속가능한 농업용수의 개발과 이용 기술의 개발

- 유역 수수량(受水量) 추정 모델의 개발
- 지하수 안전채수량 추정모델의 개발
- 관개계획 모델링
- 효율적인 물관리 기술의 개발
- 시험유역의 적용
- 지속가능한 농업용수 개발 모델의 제시
- 나) 지속가능한 농지정비 기술의 개발
 - 논의 배수기술 개발
 - 논 정비기술개발
 - 밭 토양 수분보전 기술개발
 - 지역, 지형, 토양, 작목별 유출, 토양침식량의 추정 기술의 개발
 - 유출, 토양침식, 영양물질 유실량 추정모델의 개발
 - 농지정비 방식에 따른 농업비점오염량의 추정 비교
 - 지속가능한 농지정비 모델 개발
 - 시험포장에 대한 적용성 검토

다) 농업비점오염의 경감을 위한 농지 개발의 기술 개발

- 농경지 비점오염 추정기술 개발
- 농업비점오염 최적관리기법 개발
- 지역, 지형, 토양, 작목별 농업비점오염 배출량 추정 모델개발
- 농업비점오염 억제 방법의 개발
- 시험포장에의 적용
- 최적관리기법의 제안

4) 기대 효과

- 가) 수자원 공급의 원활화와 환경생태의 보전
- 나) 사용자 중심의 급수체계 구축으로 효율 개선
- 다) 수자원 개발로 인한 환경파괴를 최소화
- 라) 효율적인 토지의 이용과 농업 생산성의 유지
- 마) 농촌지역의 수질오염 방지

나. 농업 수자원의 효율적 관리기술의 개발

1) 현황과 전망

우리 나라의 연간 농업용수 이용량은 전체 수자원 이용량의 약 54%에 해당하는 연간 약 151억³m³으로 추정되고 있다. 작물생육에 필요한 물은 생육기간 중의 강수량만으로는 절대적으로 부족하며, 나머지는 저수지, 보, 양수장 등 지표수와 관정, 암거 등 지하수를 취수하여 충당하고 있다. 현재, 이들 농업 수자원으로부터 관개되는 수리 안전담은 전체 논 면적의 74%에 달한다. 더욱이, 농업용수 장래 수요량은 논의 관개면적의 확대, 미비한 수원공의 보강, 밭작물, 채소, 화훼 등 원예 작물 등의 용수 개발이 계획되고 있으므로, 경지면적의 감소를 감안하여도 꾸준히 증가하게 될 것으로 예상되고 있다. 그러나, 대부분의 농업수자원은 그 규모나 저수량이 충분하지 못하여, 강우량이 평년 이하의 경우 용수의 부족을 나타내고 있으며, 가뭄 피해로 인해 수확량의 감소 등의 재해를 입고 있다. 또한, 노후화된 용수조직과 시설, 부적절한 관개방식, 기술수준의 낙후, 비효율적인 포장 물관리 등 구조적, 비구조적 문제로 해서 그 효율이 낮은 것이 현

실이다.

가뭄의 극복을 위해 신규 수자원개발을 피하는 일은 현실적으로 불가능하다. 그 동안, 댐, 저수지 등의 개발 적지의 감소와 수몰로 인해 야기되는 사회적 갈등 등으로 해서, 신규 수자원의 개발은 타당성이 없거나, 국민적 공감대를 얻는 데 어려움이 큰 것이 현실이다. 특히, 1994~1996년의 가뭄을 겪으면서, 기존의 관개지역에서도 수자원의 부족을 경험하게 되어, 수자원의 개발만으로 용수 부족을 해결하는데는 한계가 있음을 경험하게 되었다. 결국, 적절한 용수 수요 관리와 함께 수자원 관리체계의 개선 등 비구조적인 노력이 절실한 것으로 인식되기에 이르렀다. 여기서, 용수수요관리란 도수효율의 개선, 용수가격의 조정, 중수도 이용, 폐수 재이용 등 구조적, 비구조적 방법을 통해 수요량을 조절하는 것을 말한다.

농업용수의 수요관리방안으로는 저소비수량 혹은 내한성 품종의 개발, 도수손실량의 절감, 관개시스템의 자동화, 관개방법의 개선 등을 들 수 있다. 그밖에도 용수공급을 우선하는 저수량 관리, 기존 댐 시수량(死水量)의 이용, 댐군의 저수량의 종합관리방법, 저수량의 효율적인 관리, 그리고 물 소비절약 등의 방안도 제안되었다. 그러나, 이와 같은 농업용수 수요관리와 기존 수자원의 합리적 이용을 위한 보다 구체적이고 체계적인 연구개발을 시도하지 못한 것이 현실이다. 농업용수의 효율개선의 효과는 신규 수자원 개발 수요를 저감할 수 있는 것이 분명하다. 우리나라의 농업용수 관개효율에 대한 정확한 통계자료는 없으나, 지역별로, 관개지역의 규모별로, 용배수조직의 종류별로, 혹은 관개방식과 물

관리 수준에 따라 60~70% 내외가 될 것으로 추정하고 있다. 즉, 도수손실 10~15%, 포장 손실 15~20% 내외로서 이와 같은 손실 수량은 결국 이용되지 않고 하천에 회귀되는 것으로 추정되는 것이다. 따라서, 관개효율을 10%만큼 높이면, 그만큼의 수자원을 개발하는 것에 해당하므로 결국 효율적인 물관리 기술의 개발이 절실하다고 할 수 있다.

지금까지의 농업용수 관리기술은 도수손실량을 줄이기 위한 수로의 구조물화, 관수로화 등의 방법을 적용하거나, 윤회관개, 간단관개 등의 방법을 적용하고 있다. 그러나, 이와 같은 물관리 기술은 극히 일부 관개지역에 제한적으로 시행해 왔으며, 그 이유는 적절한 물관리 기술이 정착되지 못한데 기인하였다고 할 수 있다. 미국에서는 관개수의 절약을 위해 써지관개법, 결핍급수법 등을 체계화하고, 고효율 관개방식의 채택, 윤회관개, 계획관개 등을 통해 관개효율의 개선을 꾀하고 있다. 그밖에, 수세의 조정, 물은행제도 등 다양한 수요관리방법을 통해 가뭄을 극복하는 노력을 하고 있다. 한편, 일본의 경우, 가뭄 극복을 위한 대책으로 취수제한, 물의 용도전용, 가뭄이 심한 지역에 대한 집중관개의 실시, 포장의 윤회관개 등과 함께, 소규모 저수지의 가뭄 위험도를 평준화하는 일과 수로의 관수로화 등을 통해 수자원의 이용률을 높이고, 도수효율을 개선하는 등의 방안을 실용화하고 있다. 다만에서는 계절적인 용수부족에 대처하기 위한 물관리 대책과 대체 수자원 개발 등을 적용하고 있다.

이상과 같이, 농업용수의 절수는 수원공·도수시설, 포장 등 전체의 관개 시스템을 통해 개선

의 여지가 있는 것이 사실이며, 현행 저효율 관개방식을 고효율 시스템으로 대체하고, 계절적, 지역적 물 부족을 슬기롭게 대처함으로써 성취될 수 있는 것이다. 따라서, 적절한 용수절약과 효율적이고 합리적인 용수 이용체계의 개발, 관개기술의 향상 등을 통해 상당 부분 절수를 꾀할 수 있을 것이며, 나아가 가뭄 극복과 수자원의 효율적 이용을 달성할 수 있을 것이다.

2) 중요성과 목적

농업용수의 수요량 관리와 절수, 수자원의 효율적 이용을 위한 기술 개발을 통해 물 부족을 해소하고, 가뭄 피해를 사전에 막기 위해

가) 국내외 물관리 기술 관행과 절수관리기술 사례를 조사

나) 농업용 저수지의 저수효율과 유효방류율의 제고를 위한 저수관리기술의 개발

다) 제한된 수자원의 효율적인 분배와 이용을 위한 용수수요관리기술의 개발

라) 농업용 저수지의 다목적 이용 기술의 개발

마) 농업용수 절수기술개발 등 농업용수 관리 시스템의 효율개선과 최적관리를 위한 체계적이고 종합적인 방안을 모색하고, 또한 현장 적용을 통해 그 타당성을 검토한다.

3) 연구의 내용

가) 물관리 기술 관행과 절수관리기술 사례 조사

- 국내외 물관리 사례, 관행조사
- 절수기기 제품사양 자료조사
- 농업용수 수요조절 기술조사
- 절수관리기술 조사

나) 농업용 저수지의 저수관리기술의 개발

- 농업용 저수지 모형의 개발

- 최적화 모형의 개발

- 저수관리기법에 따른 저수효율과 유효방류율 비교 분석

- 시범지구의 적용성 분석

다) 수자원의 효율적인 분배와 이용을 위한 용수수요관리기술의 개발

- 농업용수 수요관리를 위한 영농기술의 개발

- 품종별, 시기별 용수수요량의 추정기술개발

- 최적 관개계획

- 최적 담수관리계획

- 최적 토양수분관리 계획

- 현장 적용성 분석

라) 농업용 저수지의 다목적 이용 기술의 개발

- 농업용 저수지의 다목적 이용 사례 조사

- 농업용 저수지의 다목적 수요량 추정

- 저수량 최적화 모형개발

- 용수제한시 다목적 이용의 우선순위 결정

- 다목적 이용 방안의 제시

마) 농업용수 절수기술개발

- 관개량 - 수확량 관계 분석

- 가뭄시 물수요 조절 방안의 검토

- 현장 적용성 검토

4) 기대 효과

가) 수자원 이용효율의 개선

나) 신규수자원 개발의 대체 효과

다) 수자원의 전용에 따른 지역의 산업 활성화

라) 수자원 이용의 다목적화, 고도화

마) 수자원 절수 기술을 통한 신규 산업수요의 확산

바) 절수기기, 제품의 확대

다. 농업생산환경에 있어서 농업용수 수질보전 기술

1) 현황과 전망

중소도시의 미처리 하수 유입, 공단의 불완전 또는 미처리 폐수의 유입 등 도시와 공업축으로부터 과대한 부하가 가해지는데 더하여 농업·농촌에서도 축산활동의 급속한 증가, 위탁시설의 증대, 농공단지의 확산 등으로 오염원은 급증하는 추세에 있으나 수질정화시설이나 처리시설은 도시지역과 공단지역에 편중되어 있으므로 농업생산환경에 있어서 농업용수 수질은 급속도로 악화되고 있으며, 농업용수오염에 대한 대책은 미흡한 실정에 있다. 특히 영농화학물질(비료, 농약, 제초제)에 의한 비점오염은 선진외국에서도 그 대책에 부심하여 1970년대 초반부터 많은 연구를 하여 왔으나 아직까지도 획기적인 대책을 제시하지 못하고 있다. 그 외에 농촌마을의 오폐수, 소규모 축산폐수 등도 현재 우리 나라의 경제적, 기술적 여건상 자체 정화시설의 설치가 어려운 실정이므로 앞으로 농업용수의 수질오염은 더욱 악화될 전망이다. 따라서 용수량이 매우 큰 벼농사가 주산업인 농촌지역에서의 수질환경 관리가 더욱 필요하며 2030년에는 과부족이 예상되는 수자원의 보전차원에서 앞으로 이 분야의 연구가 활성화되어야 할 것이다.

2) 중요성과 목적

가) 1단계 연구목표 : 유역의 영농화학물질 유출을 억제시킬 수 있는 재배법, 작부체계 및 토지이용형태를 확립하고 이를 이용한 농업비점오염의 대책기술 개발

나) 2단계 연구목표 : 농업경영시스템과 연계된 저에너지투입, 자원절약형 축산폐수 처리기술 개발

다) 3단계 연구목표 : 하천, 저수지, 호소 등 용수원에서의 수질보전 기술의 개발

3) 연구의 내용

가) 농업비점원오염의 대책 기술개발

- 농경지(논, 밭, 초지)로부터의 영농화학물질 유출에 대한 원단위 조사·연구
- 농경지 배수의 수질변동요인 해명
- 토양 - 작물시스템에서의 영양분동태 연구와 모델화
- 비료성분 이용률 향상을 위한 피복비료 개발연구
- 토지이용형태와 지형연쇄를 이용한 수질보전기법의 확립
- 농촌수리환경(용배수로, 휴경답, 습지)을 이용한 자연정화기능의 활용법 확립
- 적정시비량 구명과 시비법개선을 통한 비료 성분 유출방지 및 생력화 연구
- 수생식물을 이용한 수질정화기술 및 바이오메스의 유효이용법 확립
- 원격탐사와 GIS를 이용한 유역 수질환경정보 데이터베이스 시스템화 연구개발
- 우리나라 기후풍토에 알맞은 비점오염 예측 및 관리 모델의 개발

나) 저에너지, 자원절약형 축산폐수 처리기술 개발

- 축산분뇨 및 축산폐수 슬러지의 비료화 기술과 시비법 확립
- 농촌공간을 활용한 자연정화형 저에너지투입

입 처리법 개발

- 혐기성 메탄발효에 의한 축산분뇨 처리법 개발
- 고효율 담체에 의한 생물막법 축산폐수 처리기술 개발 및 표준화
- 축산분뇨를 이용한 종합적 영농체계의 개발 연구
- 유역단위 축산폐기물 관리시스템 확립 및 모델화

다) 용수원에 대한 수질보정기술 개발

- 하천수의 급속고액분리공법에 의한 직접정화법 연구
- 농업수리시설물을 이용한 하천복기기술 개발
- 흡수성 바이오필터에 의한 하천수질 정화기법 연구
- 침전·준설에 의한 수질정화기법 연구
- 호소(저수지) 식물연쇄를 이용한 수질정화기법의 확립
- 호소(저수지)의 종합적 수질관리를 위한 의사결정지원형 수질관리모델의 개발

4) 기대효과

가) 토양-작물시스템에서 영양분동태모델이 구축된다면 적절한 비점오염 부하사감대책의 모의시산이 가능해져 경제적이고 최적의 유역 수질관리계획이 도출될 수 있음

나) 농업환경 중에 배출된 오염물질은 지형연쇄, 토지이용연쇄 등의 농업생태계 내의 물순환이나 수생생물 등의 지역자원을 이용하여 비점원 오염물질의 정화가 가능함

다) 저에너지, 고효율, 생력적인 축산분뇨 처리방법이 개발되므로써 농업용수의 수질보정은

물론, 축산폐기물이 귀중한 비료·에너지 자원으로 환원됨

라) 농업용 수자원으로서 중요시되는 하구담수호의 수질보전으로 앞으로 과부족이 예상되는 수자원을 대량으로 확보케 함

라. 농업수리시스템에 있어서 시설화·장치화 기술

1) 현황 및 전망

우리나라 물 이용량은 290억^m³으로서 전체 수자원 부존량의 약 23%에 불과하다. 수자원의 용도를 보면, 생활용수 53억^m³(18%), 공업용수 26억^m³(9%), 농업용수 154억^m³(53%), 하천유지용수 57억^m³(20%)으로서 농업용수는 전체 수자원 부존량의 무려 12.2%를 차지하고 있다. 그러나 농업용수는 다른 용수에 비하여 회수율이 아주 낮고 물손실률도 큰 것으로 지적되고 있어 2030년에 예견되는 수자원 부족 현상을 방지하기 위해서도 효율적인 물관리를 위한 농업수리시스템의 시설화·장치화 기술의 발전이 무엇보다도 절실히 요구된다.

한편 농업용수는 앞으로 경지범용화에 따른 단위 용수량의 증가, 밭 관개면적의 증가 등으로 물수요가 증가할 것으로 예상되고, 농업용수이외의 농어촌용수의 물수요가 급증할 것으로 추정되며, 타용도의 용수수요 증가에 따른 용수사용경합이 치열해 질 것으로 예상되는 등 새로운 용도의 물수요 증가도 발생할 것이다.

종래, 우리 나라의 전통적인 논은 흘러대기의 월담관개를 채용하였으므로 물수요의 시간적 변동을 고려할 필요가 거의 없었다. 그러나 1970년

대부터 논포장이 정비됨에 따라 한 필지마다 물꼬를 가지는 수로식 관개로 이행되었다. 특히 1980년대부터 말단 관개시스템에서는 자유로운 물사용이 가능한 관수로화가 도입되기 시작하였다. 이와 같이 관개시스템의 정비에 따라서 적절한 물관리가 가능하게 되었지만 동시에 농업의 일손부족과 맞물려서 시간단위의 수요량 변동폭의 확대와 수요량의 증대를 야기하였다. 또한, 1970년대 후반 이후, 대규모 밭 관개사업이 실시되어, 농업용수를 이용한 전작영농이 보급되었다. 밭관개도 일반적으로 살수관개법이 채용되기 때문에 말단 용수시스템은 파이프라인의 채용이 일반적이다. 따라서 밭관개도 논관개와 마찬가지로 수요량의 증가와 수요량 변동폭의 증가를 가져오게 되었다.

전술한 바와 같이 우리 나라는 해를 거듭함에 따라 물수급의 압박현상이 발생되고 있으며, 특히 농업용수는 수요량의 증가와 수요량 변동폭의 증가라는 두가지 측면을 동시에 가지고 있다. 또한 근래 쌀값이 인하되고 있으며 수입자유화에 따라서 농산물 가격은 낮아지고 있다. 따라서 앞으로의 바람직한 농업수리시스템은 수요량에 맞는 용수를 효율적이고 안전한 동시에 저비용(초기비용 및 운영비용)으로 포장에 송수할 수 있는 시스템이다. 그리고 최근에는 지구에 따라서는 논과 밭이 혼재하기 때문에 극히 표고차가 큰, 압력 시스템이 되는 경우가 많고, 수요변동량도 단기간 수준이 아닌 장기간 수준으로서 대형 시스템이 되는 경향이 많아질 것이다. 또한 우리나라의 급준한 지형에서는 앞으로 간선용수로에서도 관수로화될 것이므로 고압, 대구경의 관수로를 소유량시에서도 안전하고 정확하게 제

어하는 기술개발이 요구된다.

2) 중요성과 목적

시설화·장치화에 의한 관개시스템의 물관리 기술을 발전시킴으로써 2030년에 부족할 것으로 예상되는 수자원을 효율적으로 이용하고 물관리의 생력화를 도모한다.

3) 연구 내용

가) 비정상·부정류 수리해석기법의 확립과 해석법의 실용화 연구

나) 개수로 하류수위 일정제어방식의 물관리 시스템 개발

다) 관수로 과도수리현상의 해석기법 확립 및 실용화 연구

라) 저비용, 유지관리용이형 대규모 관수로 유량·압력 제어기기와 운용기술의 개발

마) 관수로 공기유입대책 기술의 개발

바) 정보통신기술에 의한 관개시스템의 원격 감시제어 시스템 개발

사) 관개시스템 계측, 감시, 제어를 위한 대화형 물관리 프로그램의 개발

아) 관수로시스템 진단·처방을 위한 종합평가기법의 개발

4) 기대 효과

관개시스템의 수리해석법을 확립하고 이를 기초로 한 물관리시스템을 개발함으로써 농업용수의 절약에 기함과 동시에 효율적이고 경제적인 수리시설의 운용을 도모한다.

마. 자연에너지를 이용한 고효율 생물생산시스템의 개발

1) 현황과 전망

농업은 식물이나 동물을 통하여 태양에너지를 고정하는 산업이다. 장래의 농업은 산업화의 경향이 더욱 가속화되어 종국적으로 생물산업으로 변모할 것으로 예상된다. 동식물이 주대상인 생물의 생산과정에서는 에너지의 투입이 필수적이다. 현재 농업에 사용되고 있는 주에너지원은 화석에너지이다. 화석에너지는 매장량이 일부지역에 집중되어 있을 뿐만 아니라 지구상에 존재하는 절대량이 제한되어 있기 때문에 공급이나 가격이 불안정하다. 따라서 선진제국은 물론 국내에서도 식물재배시설이나 동물사육시설에 소요되는 대체에너지원으로 태양열, 풍력, 중소수력 및 바이오매스 에너지 등의 자연에너지 이용기술 개발을 위한 활발한 연구가 지속적으로 수행되고 있으나 과도한 초기설비 투자, 시스템의 효율, 경제성 등의 문제로 농가에 보급할 수 있는 시스템은 극히 제한되어 있는 실정이다. 농업에 소요되는 에너지의 종류와 양은 농업형태에 따라서 차이가 있다. 최근 국내에서 확대되고 있는 시설농업은 에너지소비형 농업형태이다. 국내의 시설농업에 소요되는 에너지는 대부분 과채류 생산을 위한 것이지만 앞으로 축산시설이나 저장·유통시설분야의 환경조절 및 농작업의 자동화설비 도입으로 인하여 에너지소비가 증가할 것으로 예상된다. 농업용 에너지의 소비가 증가하고 부존자원이 부족한 여건임에도 불구하고 안정된 농업생산을 지속적으로 추구해야 하는 국내의 상황을 직시할 때, 생물생산시설분야에서

고효율 자연에너지 이용시스템에 관한 기술개발은 앞으로 해결해야 할 중요한 과제라 판단된다.

2) 중요성과 목적

가) 태양에너지 및 폐자원을 이용한 고효율 식물재배시스템의 개발

나) 태양에너지를 이용한 고효율 동물사육시설의 구조 및 환경조절시스템의 개발

3) 연구내용

가) 식물재배시스템에 있어서 태양에너지 이용 기술 개발

나) 식물재배시스템에 있어서 폐자원 활용 기술 개발

다) 축사에 있어서 태양에너지 이용 기술 개발

4) 기대효과

가) 식물재배시스템의 소요에너지 절감을 통한 경쟁력 확보

나) 동물사육시스템의 소요에너지 절감을 통한 경쟁력 확보

다) 생물생산시설의 저비용·고효율화 도모

바. 폐쇄생태계에서의 식물재배시스템의 개발

1) 현황과 전망

시설을 이용한 생물생산 시스템은 완전밀폐형, 반밀폐형, 개방형 등으로 구분할 수 있으며, 온실, 공장형 식물재배 시설(식물공장), 육묘공장, 우주식물재배시스템, CELSS(controlled ecological life support system) 등이 포함된다.

식물공장은 야채, 화훼 및 묘 등의 식물을 공장형으로 주년생산하는 시설의 총칭을 의미한다.

공장형 생산이라 함은 공업분야에서 실용화되고 있는 기술을 이용하여 외부의 기상조건을 포함한 주변환경의 영향을 받지 않고 계획적인 생산이 가능한 생산형태를 말한다. 식물공장은 광의 이용방법에 따라 자연광 이용형, 인공광 이용형 및 자연광 병용형으로 구분되며, 생산품의 양과 질에 따라 시설의 수준은 상이하지만 양액재배와 환경조절은 필수적이다. 미국, 일본, 캐나다 및 유럽 등 시설농업 선진국에서는 식물공장에 관하여 활발한 연구를 수행하여 실용화단계에 진입한 실정이다. 자연광 병용형에는 덴마크의 크리스텐센 농장과 일본의 전력중앙연구소 및 四國電力의 식물공장 등이 있고, 인공광 이용형에는 오스트리아의 투스나사, 미국의 제네럴 밀즈, 일본의 TS farm 등이 있다. 국내의 경우 체인컨베이어에 의한 작물이동식 공장형 생산시스템에 관한 기초 연구가 수행된 바 있으나 식물공장에 관한 본격적인 연구는 거의 전무한 상태라 할 수 있다. 식물공장에 관한 연구는 고효율 환경조절 및 에너지 절약형 구조의 개발, 환경제어 기술 개발 및 생산공정의 자동화 기술 개발 등으로 구분할 수 있다.

한편 우주식물재배시스템(우주식물공장)은 미국, 러시아, 일본 등 과학선진국들이 우주개발계획의 일환으로 우주정거장에서의 식물재배에 관한 연구를 수행하고 있다. 우주정거장에서의 식물재배실험은 1992년부터 시작되어 1996년 8월에는 미국 과학자들이 속성의 겨자과 식물을 40일만에 열매를 맺게 하는데 성공한 바 있으며, 온도, 빛, 습도 및 영양을 정교하게 조절할 수 있는 식물 생육상자인 애스트로컬처(astroculture)를 제작하여 이 분야의 연구에 박차를 가하

고 있다. 우주공간에서 식물을 재배하는 목적은 우주공간에서의 식량 자급, 우주공간에서 식물을 이용한 자원의 유효이용 및 효율적인 물질순환, 우주공간에서 식물을 통한 인간의 심리적 안정과 경관효과 등이다. 우리 나라도 선진국 진입을 전제로 한다면 우주개발분야에서도 과학선진국들과의 경쟁이 예상되며 폐쇄생태계에서의 식물재배시스템(plant production system in closed ecosystem)에 관한 연구는 불가피할 것으로 판단된다.

2) 중요성과 목표

가) 실용화 가능한 수준의 식물공장시스템 개발

나) 우주공간에서의 식물재배시스템 개발

다) 우주식물재배시스템의 기술개발을 통하여 우주개발분야의 국내 연구수준 향상

3) 연구내용

가) 식물공장시스템의 실용화 기술 개발

- 에너지 절약형 식물공장시스템의 구조 설계 기술 개발

- 환경친화형 식물공장시스템의 폐기물처리 기술 개발

- 식물공장의 모니터링 및 고효율 환경조절 기술 개발

- 식물공장의 인공광 사용 기술 개발

나) 우주공간에서의 식물재배시스템 개발

- 폐쇄생태계에서 식물재배를 위한 특수광의 개발

- 폐쇄생태계에서 식물생장모델의 개발

- 식물재배와 관련된 달표면(月面)의 환경 분석

- 중력변화에 따른 식물의 반응
- 폐쇄생태계에서 식물재배시설의 적정구조 개발
- 우주식물재배시스템에 적합한 재배작물의 선정 및 소요면적의 결정

4) 기대효과

가) 첨단식물재배 시스템인 식물공장분야의 기술개발을 통한 경쟁력 확보

나) 국내 우주개발분야의 기술수준 향상

4. 종합결론

우리 나라 물 수요는 농업에서 약 60%이상 차지하고 있는 반면에, 2030년대에는 수자원이 부족할 것으로 예상되므로 특별한 조치가 필요한 시점에 와 있다. 뿐만 아니라 농업 특히 우리나라의 주곡(쌀)생산을 환경파괴 없이 지속적으로 할 수 있는 방안의 강구는 우리 나라 농업을 둘러싸고 있는 현재와 미래의 여건을 점점해 볼 때 가장 중요한 과제라 생각된다.

환경친화적인 지속가능한 농업을 위해서는 지금까지의 고투입, 다수확 위주의 농업으로부터 환경과 조화를 이루는 농업, 지속적인 생산이 가능한 농업으로서의 전환이 가능한 농업산기반 조성기술이 필요하다. 이러한 기술로서는 공급주도의 비효율적인 농업 용수 개발 위주에서 이용중심의 고효율 기술체계, 절수재배를 전제로 하는 용수 개발에서부터, 경지의 토양보전기술, 농업비점오염의 억제와 조절, 그리고 저투입 생력화 영농이 가능한 경지정비에 이르기까지의 기술체계가 있다. 따라서, 2010년 이후의 지속농

업을 전제로 하는 지속가능한 농업생산기반 기술의 개발이 이루어져야 할 것이다.

농업용수의 절수는 관개시스템의 효율적인 관리를 통하여 달성할 수 있다. 지금까지의 저효율 관개방식을 개선하고 절수를 피함으로써 계절적, 지역적 물 부족을 극복할 수 있다. 따라서, 농업용 수자원의 효율적 이용을 통한 수자원 이용률의 제고, 농업용수의 다목적 이용기술의 개발, 적절한 용수절약과 효율적이고 합리적인 용수 이용체계의 개발, 관개기술의 향상 등을 통해 가뭄 극복과 수자원의 효율적 이용을 달성할 수 있을 전망이다.

농업·농촌에서의 축산활동의 급속한 증가, 위탁시설의 증가, 농공단지의 확산 등으로 오염원은 급증하는 추세에 있으나 수질정화시설이나 처리시설은 도시지역과 공단지역에 편중되어 있으므로 농업생산환경에 있어서 농업용수 수질은 급속도로 악화되고 있으며 농업용수오염에 대한 대책은 미흡한 실정에 있다. 2030년대에는 토양-작물시스템에서 영양분동태모형을 구축하여 적절한 비점오염 부하삭감대책의 모의시산이 가능해지므로 경제적인 동시에 최적의 유역 수질관리계획이 도출될 수 있으며, 농업환경 중에 배출된 오염물질은 지형연쇄, 토지이용연쇄 등의 농업생태계 내의 물순환이나 수생생물 등의 지역자원을 이용하여 비점원 오염물질의 정화가 가능하며, 저에너지, 고효율, 생력적인 축산분뇨 처리방법이 개발되므로 농업용수의 수질보전과 축산폐기물이 귀중한 비료·에너지 자원으로 환원되고, 농업용 수자원으로서 중요시되는 하구담수호의 수질보전으로 앞으로 부족이 예상되는 수자원의 대량 확보가 가능해질 것으로 전망된다.

농업용수는 다른 용수에 비하여 물손실률이 크고 따라서 회수율도 낮은 것으로 지적되어 왔다. 2030년대에 예견되는 수자원의 부족을 방지하기 위해서도 효율적인 물관리를 위한 농업수리시스템의 시설화·장치화 기술발전이 요청된다. 관개시스템의 수리해석법을 확립하고 이를 기초로 한 물관리시스템을 개발함으로써 농업용수의 절약을 기함과 동시에 효율적이고 경제적인 수리시설의 운용을 도모해야 할 것이다.

농업용 에너지의 소비가 증가되고 부존자원이 부족한 여건임에도 불구하고 안정된 농업생산을 지속적으로 추구해야 하는 국내의 상황을 직시할 때, 생물생산시설분야에서 고효율 자연에너지 이용시스템에 관한 기술개발은 앞으로 해결해야 할 중요한 과제라 판단된다. 태양에너지 및 폐자원을 이용한 고효율 식물재배시스템과 태양에너지 이용형 고효율 동물사육시설을 개발함으로써 생물생산에 소용되는 에너지를 절감하고 생물생산시설의 저비용·고효율화에 기여할 전망이다.

2030년대의 기술적 배경에서도 설명한 바와 같이 앞으로는 지상공간 뿐만 아니라, 우주공간, 지하공간, 해양공간이 농업생산에 활용되기 때문에 폐쇄생태계에서의 식물재배시스템에 관한 연구가 필요하다. 식물생태계에서 식물생장모델의 개발, 중력의 변화에 따른 식물의 반응, 폐쇄생태계에서 식물재배시설의 적정구조 개발, 우주식물공장의 모니터링 및 환경조절시스템, 폐쇄생태계에서 식물재배를 위한 특수광의 개발 등은 우주시대의 농업을 크게 발전시킬 뿐 아니라 이를 통하여 우리나라 우주 개발 기술향상과 우주산업분야 발전에도 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 권순국, 1998. 물2000년 - 관개배수시스템의 효율적관리. 제6회 세계 물의 날 국제심포지엄, 한국관개배수위원회, 농어촌진흥공사, pp. 3~34.
2. 권순국, 1997. 농어촌용수 수급의 현황과 과제, 사단법인 농정연구포럼 제47회 정기월례 세미나 결과보고서, pp. 50.
3. 권순국, 1996. 농업과 환경, 한국농공학회지 제38권, 제2호, pp. 23~33.
4. 이남호, 1998. 효율적인 물관리를 위한 관개배수시스템의 첨단기술, 제6회 세계 물의 날 국제심포지엄, 한국관개배수위원회, 농어촌진흥공사, pp. 169~213.
5. Abu-Zeid, M. A. and A. K. Biswas (ed.), 1992. Climatic fluctuations and water management. Butterworth Heine-mann Ltd., Oxford, pp. 356.
6. Committee on International Soil and Water Research and Development, National Research Council, 1991. Toward sustainability. Soil and water research priorities for developing countries. National Academic Press, Washington, D.C.
7. Hagan, R. M., H. R. Haise, and T. W. Edminister (ed.), 1967. Irrigation of agricultural lands. American Society of Agronomy, Madison, WI., pp. 1179.
8. Kozai, T., 1992. Environmental Control in Micropropagation Vol. 2, pp. 15~50.
9. Novotny, V. and H. Olem, 1994. Water

- quality. Prevention, identification, and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold, N.Y., pp. 1054.
10. Proceedings of the International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems, 1996. ISHS, Giken Printing Co., Tokyo, pp. 13~18, pp. 105~110. pp. 175~180.
11. U.S. Department of Agriculture, National Resources Conservation Service, 1988. National Handbook of Conservation Practices. Washington, D.C.
12. 大谷敏郎 外, 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号, pp. 105~104.
13. 豊田裕道 外, 1995. 園藝施設の動向と環境問題(Ⅱ)-膜構造施設の可能性に関する検討-, 日本農業施設, 26号, pp. 97~103.
14. 日本農業情報利用研究會, 1996. 農業情報化年鑑, pp. 50~102.
15. 日本農林水産省研究センター, 1992. 日本農業の技術開發戰略, 第3卷 先端技術による技術革新, pp. 69~159.
16. 日本生物環境調節學會, 1995. 生物環境調節ハンドブック, 養賢堂, pp. 120~130.
17. 日本施設園藝協會, 1986. 植物工場のすへで(施設農業の現状と今後の方向), 富民協會, pp. 25~65.
18. 日本施設園藝協會, 1987, 1990, 1992, 1995. 施設園藝新技術シンポジウム 資料.

편집자주: 1994년 창립되어 그동안 과학기술분야에서 많은 사업을 하고 있는 한국과학기술한림원에서는 농수산 정책과제의 하나로서 1997년 1년간의 연구기간으로 13개분야 84명의 연구자가 참여한 "서기 2030년대의 우리나라 농수산과학의 전망과 그 실현을 위한 연구방안"과제 결과보고서(797쪽)를 "한림 연구보고서 4"로 1999년 4월에 발간한 바 있습니다. 농공분야(농업토목학/농업기계학)도 서울대 권순국 교수를 팀장으로 하여 13개 분야 중의 한 분야로서 연구에 참여하였습니다. 제한된 시간과 연구비 때문에 농업토목의 모든 관련분야가 다 망라되어 연구되지는 않았으나, 2000년대의 문턱에서 농업토목 핵심분야의 미래란 조명해본 연구결과를 농공학회 회원 여러분과 공유한다는 의미에서 게재하오니 읽어보신 후 좋은 의견이 있으신 회원님께서 학회사무국으로 연락주시기 바랍니다.