

# 농업비점오염 저감을 위한 영농방법 개선 기법 개발



강 문 성  
서울대학교 조경·지역시스템공학부, 조교수  
mskang@snu.ac.kr

## 1. 서론

### 가. 연구개발 배경

• “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 제2조에 따르면 비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등의 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말하며, 기존의 점원오염 관리(06년 기준 하수도 보급률 85.5%, 환경부, 2008)로 인한 수질 개선 효과가 한계에 도달함에 따라, 하천, 호소 등의 수질 개선을 위해서는 비점오염원의 과학적인 정량화와 그에 따른 관리방안 수립이 시급함.

• 비점오염원의 주요원에는 도로, 대지, 농촌의 토지계 등 주로 토지이용에 기반하는 오염원이 대부분을 차지하며, 이들이 전체 수체 유입 오염부하의 약 30%에 달하고 그 기여율 또한 지속적인 증가 추세에 있음. 수계별로 비점오염원의 총 부하 기여율이 42~69% (03년 기준)에서 '15년에는 65~70%까지 증가할 것으로 예상됨 (국토해양부, 2009).

• 특히, 광범위한 토지이용에서 발생하는 농업비점오

염인 질소와 인 등은 상대적으로 낮은 농도로 넓게 분포하면서 강우 유출과 함께 거동하여 농촌유역의 오염부하량에 큰 비중을 차지하고 있으므로 (윤춘경 등, 2002), 하천이나 호소 등의 수질 관리를 위해서는 농업비점오염원의 효율적인 관리체계 구축이 필요함.

• 농업용수의 80% 이상이 논에서 사용되고 있고, 지역이나 토양, 기후 특성, 오염원 종류, 관개 및 시비 등 경작방법에 따라 다양한 형태의 영농 기법이 존재하고 있으나, 영농 방법에 따른 농업 비점오염원 모니터링, 유출 특성 규명 및 배출 특성에 따른 부하량 정량화 기법에 관한 연구가 상대적으로 미흡한 실정므로, 다양한 영농 방법이 농업비점오염 부하에 미치는 영향의 정량화 연구가 필요함.

• 농촌비점오염원은 광범위한 지역을 통한 배출로 오염물질의 수집 및 처리에 어려움이 있고, 또한, 강우 및 유역 특성, 오염원 종류, 관개 및 시비 등 경작 방법 등에 따라 배출 양상이 다양하여, 비점오염원 관리를 위해서는 농경지내 발생원 관리가 가장 효과적으로 알려져 있으며, 특히, 시비 효율 향상, 효율적 물관리 등 다양한

영농방법 개선을 통한 비점오염원 발생 저감 방안 개발이 요구되고 있음.

- 또한, 지자체의 경쟁적인 지역 특산물 육성 노력과 함께, 고부가가치 농산물 생산에 대한 정책이 전국으로 확대되어 시설재배 농업 면적이 지속적으로 증가하는 추세에 있는데, 시설재배 농업은 비닐하우스 등 시설의 도입으로 전통적 노지재배와는 상이한 유출 특성을 가짐에도, 비점오염의 지하 침투 및 유출에 관한 연구가 미흡한 실정임.

- 새만금을 비롯한 간척 농지의 경우 하구 담수호에 인접하여 있고, 토양이나 영농 특성이 기존의 논과는 상이하여 간척 농지 특성에 부합하면서도 비점유출을 저감을 통한 인접 호소 수질 개선을 위한 영농 방법 개선 기법 개발이 필요함.

- 따라서 농업비점오염원의 효과적인 관리를 위한 방안으로 다양하게 존재하는 영농 방법에 따른 비점오염원 배출 모니터링, 배출 특성 규명 및 체계적인 비점오염원 정량화 기법이 마련되어야 하고, 이를 토대로 비점오염원 저감을 위한 영농 방법 개선 및 제도·정책적 개선 방안 마련이 시급하게 요구됨.

#### 나. 연구개발의 중요성 및 제안내용

- 지금까지 농업비점오염관리를 위한 연구가 일부 시행되어 왔으나, 대부분 단기적이고 산발적으로 수행되었고, 또한, 연구 결과에 있어서도 편차가 크고 경우에 따라서는 상반된 결과를 보여 효과적인 대안 제시가 어려웠음을 감안하여, 본 연구에서는 유기물 멀칭, 비중, 시비량 등에 따른 주요 영농방법을 대표할 수 있는 실증 조사 대상 지구를 복수로 선정하여 중·장기적이고 체계적인 모니터링을 통하여 농업비점오염의 배출 기작을 영농방법별로 제시하고자 함.

- 주요 영농방법 이외에 토양이나 작물에 대한 고려도 충분히 반영하여 간척 농지도 조사 대상 지구에 포함하고, 또한 영농방법 개선에 있어서 비점오염저감뿐만이 아닌 작물 생육에 대한 영향과 토층 및 작물에 의한 물질수지 조사도 병행하여 영농방법 개선이 향후 현장에 적용이 가능하도록 할 것임.

- 또한 기존의 농촌지역 비점오염원 관리 사업과 제도 및 정책과 연계하여, 토지 이용, 작부체계, 시비량, 물관리, 시비관리 등 다양한 영농방법별로 비점오염 배출부하를 정량화하고, 이러한 영농방법 개선을 통한 저감효과를 조사한 실증자료를 기반으로 정량적이고 과학적인 저감방안을 제시할 것임.

- 고부가가치 농작물 생산을 통한 농가 소득 향상 정책으로 전국적 확대 추세에 있는 시설재배에 따른 농업비점오염부하 배출 특성을 관행재배와 비교 분석함으로써, 향후 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 시설재배에 따른 비점오염원 관리 대책 수립에 기초 자료 제공이 가능할 것임.

- 무엇보다도 시비량 및 물관리 개선을 통한 농업비점오염 저감과 동시에 기존 관행 영농방법과 비교하여 작물 생육 및 생산성 감소가 없도록 하고, 포장 단위에서는 물론 유역 단위에서의 하천 및 호소 수질 영향을 평가하는 종합적이고 실증적인 연구를 통하여 한국 실정에 맞는 농업비점오염 저감방안을 제시하고 실제 제도 및 정책 방안 수립이 가능하도록 할 것임.

## 2. 연구개발 목표 및 내용

### 가. 연구개발의 최종 목표

- 농업비점오염저감을 위한 영농방법 개선기법 개발을 통해 보다 실증적이고 정량화된 과학적 자료를 제공

하고, 이에 근거하여 기존 농업비점오염원 관리 사업 및 정책과 연계하여 보다 구체적이고 과학적인 비점저감방안을 제시하고자 함. 영농방법 개선에 있어서 농업비점오염부하 저감을 만족하는 동시에 농업생산성의 저하를 초래하지 않도록 하는 영농개선 기법을 개발함으로써 농업 현장에 즉시 적용할 수 있으면서 오염원 발생 억제에도 효과적인 저감방안을 제시하고 이를 영농개선매뉴얼로 작성하는 것이 본 연구의 주요 목적임.

• 영농방법 개선에 의한 저수지 관개논의 배출부하 저감기법은 농업비점오염부하를 저감할 수 있도록 영농방법을 개선할 수 있을 뿐만 아니라 농업생산성 저하를 초래하지 않는 기술 개발로 농업 현장에서 즉시 적용 가능한 과학적/체계적 영농방법 개선 방법을 제시함.

• 시설재배지와 관행 재배지에서의 지하침투 오염부하 조사 및 비교 평가를 통하여 시설재배지에서의 비점오염 저감을 위한 시비, 물, 토양 및 작물 등 영농 관리 방안을 제시함.

• 벼 재배에 있어서 유기물 멀칭, 비중, 시비량, 물관리, 벼 종류 등에 따른 오염배출 부하 특성을 조사하고 이를 정량화함으로써, 비점 오염부하 배출을 최소화 할 수 있는 영농방법 기법을 개발함.

• 간척 농경지에서 염분 농도에 기초하여 작물종류, 비중, 시비량 등 비점오염 배출 부하를 정량화하고 각 영농방법에 따른 부하 특성에 맞는 비점오염 저감을 위한 영농방법 개선 방안을 제시함.



그림 1. 연구개발 목표 및 주요 연구내용

## 나. 단계 및 연차별 연구목표 및 내용

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2010	영농방법에 따른 비점 오염 연구 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영농방법에 따른 농업비점오염부하 정량화 및 수질 영향 선행 문헌 조사</li> <li>• 주요 영농방법 선정 및 모니터링 계획 수립</li> <li>• 조사대상지 선정 및 시험포장 구축</li> <li>• 대상지 영농방식 (유기물, 비종, 시비, 물관리 등), 기상/수문/토양 등 기초자료 조사</li> <li>• 비점 모니터링 시스템 구축 및 시범운영</li> </ul>
2차년도	2011	비점오염부하 모니터링 시스템 확립 및 자료 축적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험 포장 가동으로 모니터링으로 본격적인 자료 축적</li> <li>• 시험 및 모니터링 계획 보완</li> <li>• 기초자료 수집 지속 및 DB 구축</li> </ul>
3차년도	2012	영농방법에 따른 비점오염부하 산정방법 정립 및 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모니터링을 통한 지속적 자료 수집</li> <li>• 2개년 수집자료 분석</li> <li>• 비점 오염 부하 산정 방법에 관한 국내외 동향 및 선행 연구 문헌 보강</li> </ul>
4차년도	2013	영농방법에 따른 오염부하 배출 특성화 및 비교 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모니터링을 통한 지속적 자료 수집</li> <li>• 영농방법별 물질수지 분석을 통한 오염부하 배출 특성화</li> <li>• 영농방법별 오염부하 산정 및 비교 분석</li> <li>• 영농방법이 토양, 작물 생육에 미치는 영향 평가</li> </ul>
5차년도	2014	비점오염부하 배출 저감을 위한 영농방법 개선 방안 마련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모니터링을 통한 지속적 자료 수집</li> <li>• 영농방법별 심층 비교 분석을 오염부하 저감에 효과적인 영농 개선 방안 제시</li> <li>• 영농방법 개선의 유역 단위 영향평가를 위한 수질 모델 조사 및 선정</li> </ul>
6차년도	2015	영농방법에 따른 수질 영향 평가 기법 개발 및 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모니터링을 통한 지속적 자료 수집</li> <li>• 영농방법별 토양, 식물 양분변화 분석</li> <li>• 영농방법별 수질모델링으로 영농개선이 수체에 미치는 영향 비교 평가</li> </ul>
7차년도	2016	농업비점 저감을 위한 영농방법 개선 대책제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수집 자료 및 기존 연구 결과의 종합분석</li> <li>• 영농방법 개선 관련 국내외 비점오염 저감 제도 및 정책 조사</li> <li>• 비점오염 배출부하를 위한 영농방법 개선 매뉴얼 작성</li> <li>• 비점 저감을 위한 영농방법 개선 종합 대책 수립 및 정책방향 제시</li> </ul>

다. 세부과제별 연구 목표 및 내용

(1) 영농방법 개선에 의한 저수지 관개논의 배출부하 저감기법 개발

(가) 연구개발의 목표

• 관개논의 영농방법에 따른 비점오염 모니터링을 통하여 영농형태별 농업비점오염 배출 특성 및 정량적 배출오염부하 DB를 구축하며, 관개논 비점오염배출 저감을 위한 현장 영농개선 매뉴얼 작성 및 관개논 영농방법 개선을 통한 비점오염 배출 저감 관리 개선 및 정책을

제안함.

(나) 연구개발의 내용

- 유역단위 영농특성별 주요 영농기법 조사하며 영농기법에 관련한 DB를 구축함.
- 영농방법에 따른 광역 관개 논 비점오염부하배출 기작 규명 및 정량화를 통한 즉시 현장 적용이 가능한 영농방법 개선 기법을 개발함.
- 영농방법에 따른 시나리오별 유역단위 수계영향평가 수행을 통한 영농개선기법을 개발함.

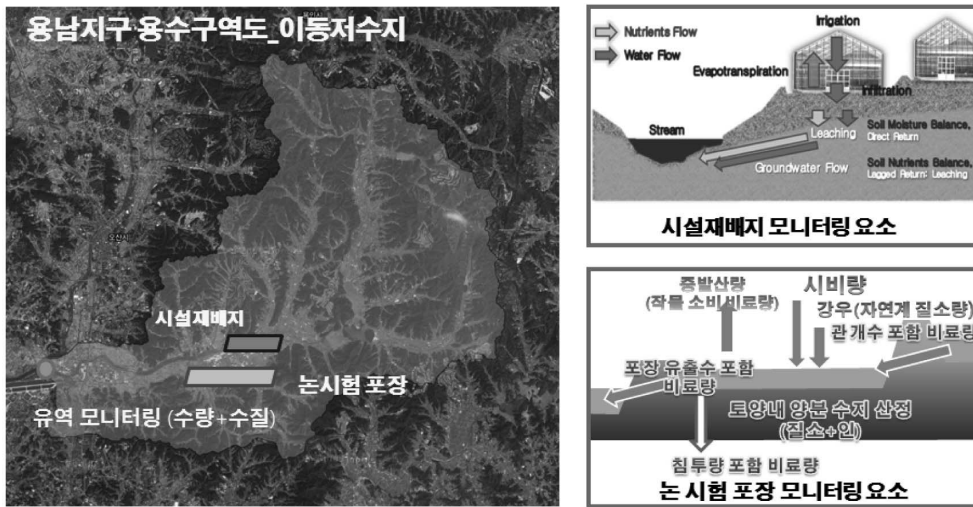


그림 2. 이동저수지 관개 논 및 시설재배지 비점 배출 기작 모니터링 요소 개념도



그림 3. 4-1 세부과제 연구 추진 계획

(2) 시설재배와 관행재배지역의 지하침투 오염부하 평가 연구

(가) 연구개발의 목표

• 시설재배지와 관행재배지역의 오염 부하 비교 분석 및 토양수 및 지하수의 수질 및 오염 부하 조사를 통하여 시설재배지의 비점오염 지하 침투 영향 모형 개발과 이를 활용한 비점오염 관리 방안을 도출하며, 시설재배지의 비점오염배출 관리 매뉴얼을 개발함.

(나) 연구개발의 내용

- 관행재배 및 시설재배에 따른 오염부하의 지하침투 기작을 규명함.
- 관행재배 및 시설재배 방법에 따른 지하수 오염부하를 비교 및 평가함.

• 시설재배지에서의 비점오염 지하침투 모형을 개발하며 관리 방안을 도출함.

(3) 영농방법에 따른 비점오염부하량 산정 및 저감 방안 연구

(가) 연구개발의 목표

• 영농방법에 따른 비점오염 유출 모니터링 시스템을 구축하고 유기물, 비중, 시비량, 물관리, 벼 재배양식별 논 비점오염 유출부하를 검토하여 벼-보리 이모작 지대의 비점오염 저감을 위한 영농 관리 방안을 수립하며, 논 비점오염유출부하 저감을 위한 종합 매뉴얼을 작성함.

(나) 연구개발의 내용

- 유기물, 비중, 시비량 및 물관리 방법에 따른 비점

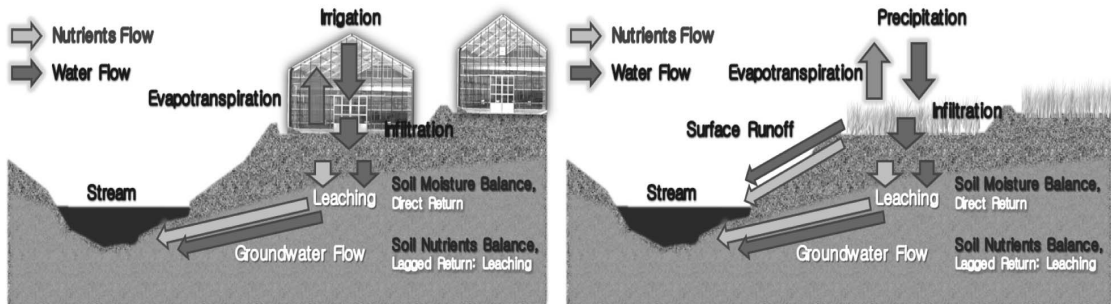


그림 4. 시설재배지(좌) 및 관행재배지(우)의 물수지 개념도

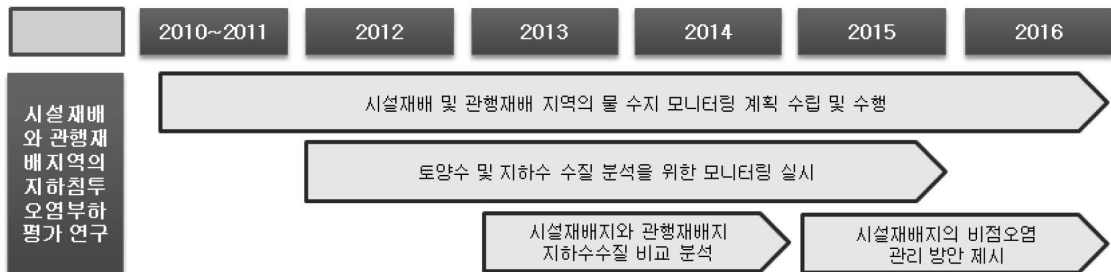


그림 5. 4-2 세부과제 연구 추진 계획

오염부하 특성을 조사 분석함.

- 재배 방법, 품종 및 작부체계에 따른 오염부하 특성을 구명함.
- 농업비점부하 저감을 위한 영농방법 요소기술 개선 기법을 개발함.

• 새만금 간척농지에서의 비점오염시험포장 모니터링을 통한 염도별 간척지에서 비중에 따른 비점오염 부하량 산정 및 저감방안을 수립하며, 고염도 간척지에서 발작물 재배시 비중에 따른 수질 영향을 조사하고 평가함.

(나) 연구개발의 내용

• 간척농지에서의 염분농도별 비중/시비량에 따른 비점오염부하를 평가함.

(4) 영농방법에 따른 하천 및 호소 수질영향 평가

(가) 연구개발의 목표

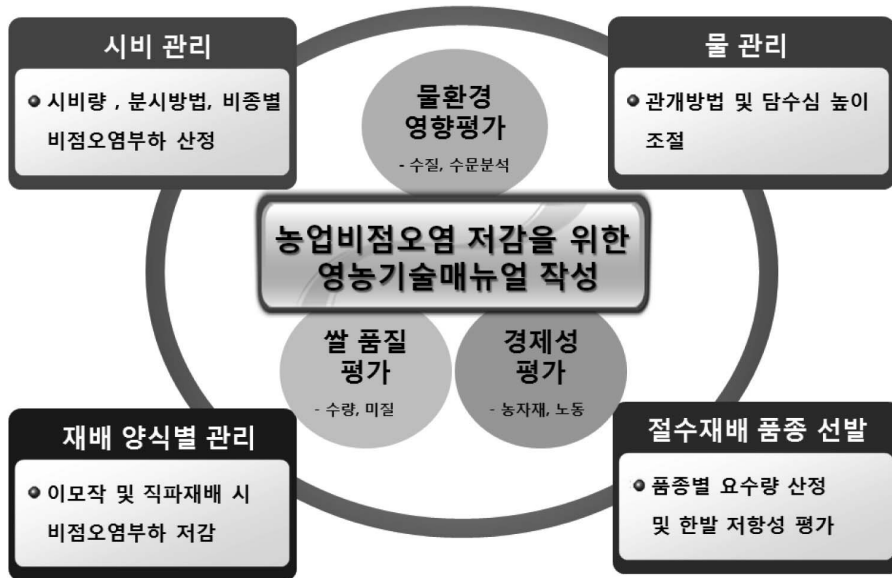


그림 6. 영농비점 저감 영농기술매뉴얼 작성 체계도



그림 7. 4-3 세부과제 연구 추진 계획

- 시비관리에 따른 작물 생육 분석을 실시하며, 현장에서 적용 가능한 개선방안을 제시함.
- 염분농도별 비중/시비량에 따른 수질환경영향을 평가하고, 관리 방안을 도출함.

### 3. 연구개발 추진전략 및 방법

- 저수지 관개논과 시설재배지, 간척지 밭을 대상으로 시험포장 및 유역단위 모니터링 시스템 구축하여 지속적으로 농업비점오염원 모니터링을 실시하여 농업비

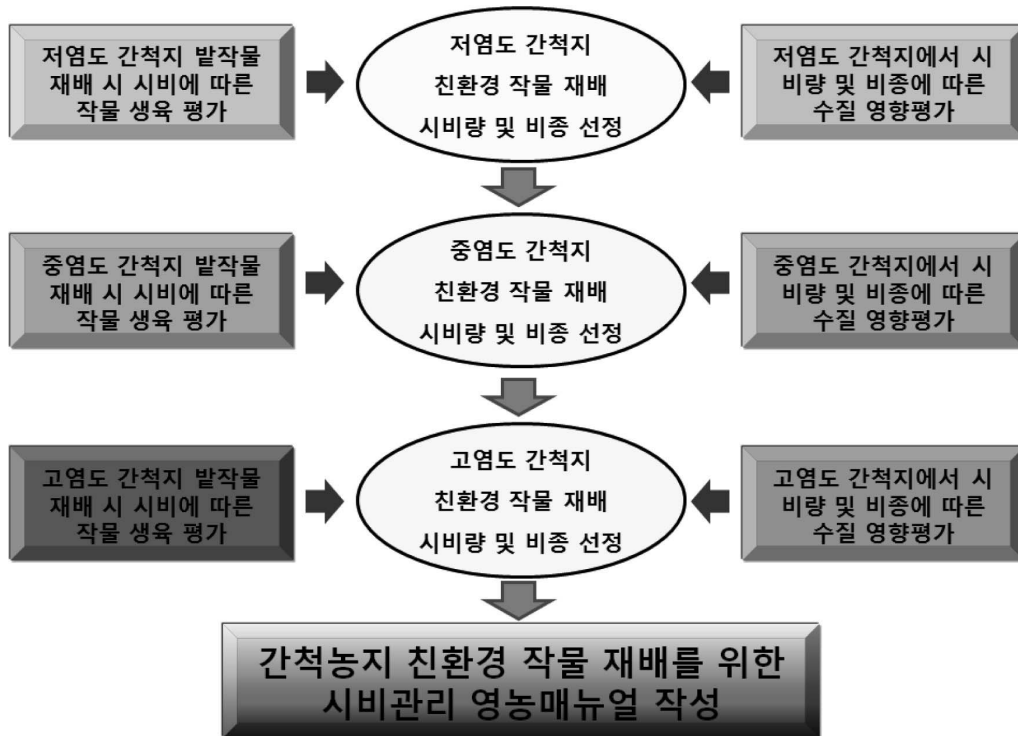


그림 8. 간척 농경지 비점저감 방안



그림 9. 4-4 세부과제 연구 추진 계획



점오염원 배출기작 규명 및 정량과, 영농개선에 따른 저감효과 및 최적관리기법 개발하고, 최종적으로 종합적 제어 및 관리기술을 개발하여 매뉴얼로 작성할 계획임.

• 장기간의 농업비점오염 모니터링 및 모델링 기술과 경험을 확보하고 있는 서울대학교와 영농기법에 따른 농업생산기술 현장 적용에 대한 전문성을 확보하고 있는 농촌진흥청의 우수 과학자 집단으로 구성함으로써, 두 기관의 상생적인 전문성을 기반으로 하는 긴밀한 협력 체제를 구축하여 시너지 효과를 극대화 할 수 있도록 연구를 수행함.

#### 4. 연구결과의 성과목표 및 기대효과

##### 가. 연구개발 성과목표

성과지표		연구기간						계	
		'10	'11	'12	'13	'14	'15		'16
논 문	SCI		-	1	2	2	2	1	8
	비SCI		2	2	4	5	4	3	20
	학술발표 등		3	6	8	8	8	10	43
특 허	출 원		1	1	1	2	2	2	9
	등 록			1	1	1	1	2	6
기 타	상품화								
	정책자료			1	1	1	1	2	6
	교육홍보			1	1	1	2	2	7
	언론홍보		1			1	1	2	5
그 외									



그림 10. 연구개발 추진전략

## 나. 연구개발 기대효과

### (1) 사회경제적 측면

• 전 지구적인 기후변화를 계기로 환경 개선이 경제적 가치로 환산되는 새로운 패러다임에서 저투입 친환경적인 영농방법 개선 및 개발은 국민들의 높아진 환경의식에 부합하고, GAP과 같은 우수농산물제도처럼 환경친화적인 농업 운영으로 수질환경개선은 물론 농산물에 대한 일반의 의식을 개선에 기여할 것으로 기대됨.

• 영농방법 개선으로 농업비점오염 배출 저감을 통한 사회적 처리 비용 절감으로 저탄소 녹색 공간 창출에 기여하고, 농업 비점오염에 의한 수체 영향 분석을 통하여 지속가능한 농업 및 물 환경 정책 도출 및 수립에 기여함.

• 수계별 오염총량관리제도 하에서 영농방법 개선을 통한 유역단위 비점오염 저감 정량화로 지역의 지속가능한 개발을 도모하고, 또한 유역의 토지이용 차원에서도 넓게 분포하는 농업지역 관리를 통한 선진적인 유역 관리는 물론 효율적 하천, 호소 관리라는 공익적 홍보자료로 활용이 가능함.

• 정부의 토지활용에 대한 대국민 신뢰도 향상, 환경친화적인 비점오염원 관리기술개발로 우리나라 경쟁력 향상과 토양유실과 영양물질의 유출억제를 통한 친환경 농업기술의 개발로 국내 농경지 비점오염원 처리기술의 향상에 기여함.

• 산업화에 따른 친환경개발의 구체적인 계획수립에 활용될 수 있을 것이며, 한강수계 장래수질과 관련한 사회적 갈등을 최소화할 수 있는 보다 정량적으로 타당성 있는 수질보전대책의 제시 및 활용이 가능함.

• 영농방법 개선을 통한 가장 효과적이고 저렴한 비

점오염원 제어기술을 개발함으로써, 농업 비점 저감을 통하여 하천 및 호소 수질개선 효과를 기대할 수 있고, 나아가 이러한 수질 개선은 고도처리를 요하는 상수도 처리비용 절감도 기대됨.

### (2) 기술적 측면

• 농경지로부터 비점오염원 모니터링 및 농업비점오염부하의 과학적이고 체계적인 정량화 기법을 다양한 영농방법에 대해 개발함으로써 지역적으로 다양하게 이루어지는 농업 활동에 의한 비점오염원 배출 특성 조사 및 부하량 산정을 위한 기초 자료로 활용이 가능하고 각 수계별 수질오염총량제도에서 농업비점오염부하 산정 기준에 반영하여 오염부하 산정방법을 개선할 수 있을 것임.

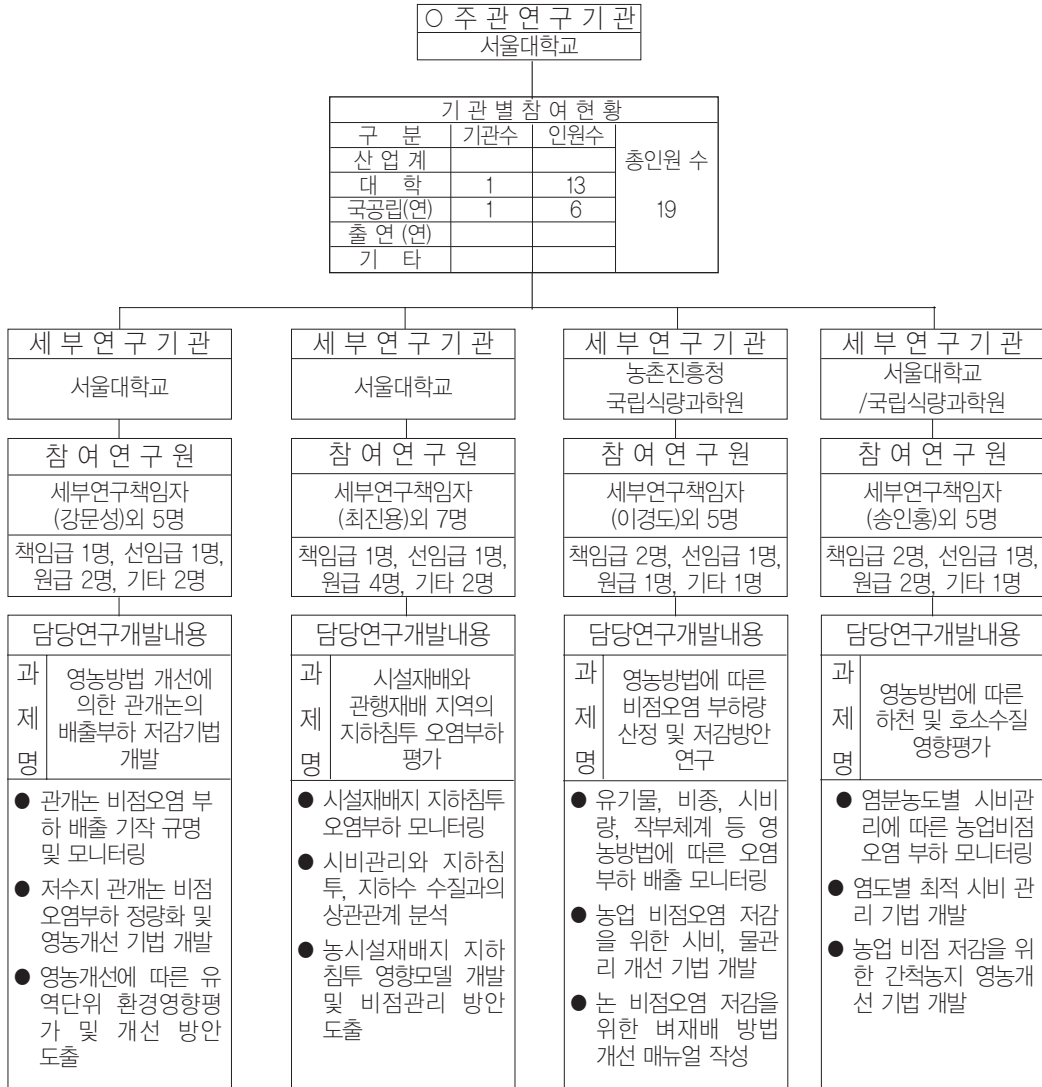
• 농업비점오염부하 저감할 수 있도록 영농방법을 개선함과 동시에 농업생산성 저하를 초래하지 않는 기술 개발로 농업 현장에 즉시 적용할 수 있고 농업부문 비점오염 저감을 위한 기술지원은 물론 과학적 근거에 기반한 영농방법 개선을 통한 농업비점오염 저감 방안 수립에 활용이 가능할 것임.

• 농촌유역 토지이용에 있어서 영농방법 개선으로 오염원 발생 억제를 통한 효과적인 최적관리방안의 제시하여, 수질개선은 물론 유역 차원에서의 농업 영농관리 정책 수립과 관련 설계인자로 활용이 가능함.

• 장기적인 모니터링을 통한 영농방법별 오염부하 배출 특성 규명을 통하여 기초자료 제공은 물론 현재 널리 사용되는 비점오염모델의 농업비점오염 산정 모듈에 있어서 영농방법을 개선하여 활용이 가능할 것임.

## 5. 연구수행체계 및 연구참여진

### 가. 연구수행체계



기획: 강문성 편집부위원장 mskang@snp.ac.kr