

## 05

# 새만금유역 축산계 비점오염 저감기술 개발



우 혜 진  
전북대 연구원  
hjwoo@jbnu.ac.kr



장 태 일  
전북대 조교수  
tjang@jbnu.ac.kr



손 재 권  
전북대 교수  
sjg@jbnu.ac.kr



최 진 규  
전북대 교수  
choijk@jbnu.ac.kr



윤 광 식  
전남대 교수  
ksyoon@chonnam.ac.kr



최 동 호  
전남대 연구원  
cdho8245@naver.com

## 1. 머리말

새만금사업의 성공을 위해서는 새만금호의 수질관리가 필수적이며 이를 위해서는 생활하수와 축산분뇨 등의 점오염원 처리기술 뿐만 아니라 새만금호의 체계적인 농업비점오염 저감기술의 개발이 중요하고 반드시 필요하다. 최근 ‘익산왕궁 축산단지 환경개선 종합대책’을 통해 새만금 상류 가축분뇨 오염관리를 대비하고 있으나 축산실태 및 가축분뇨 자원화, 그리고 축산분뇨 비점오염에 대한 검토 및 관리방안 제시 등의 연구는 미흡한 실정이다. 새만금유역에 포함되는 전라북도 김제시, 익산시, 그리고 정읍시는 축산활동 밀집지역으로 기존 가축분뇨의 퇴비화 추세에서 정부 정책 및 사용의 편의성으로 인하여 액비자원화 추세로 전환 중에 있으며 새만금 유역 내 동계 사료작물 재배로 인한 액비의 사용량이 급격하게 증가하는 추세이다. 환경부(2012)에 따르면 새만금 유역에서의 오염원별 T-P 발생부하량은 전체 발생부하량 중 75%가 축산계에서 차지하고 있으며 익산시, 김제시, 정읍시에서 전체 축산계 배출부하량의 87%를 차지하

고 있어 관리가 시급한 실정이다. 본 과업은 “새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발연구”의 제 4세부과제로 ‘새만금유역 축산계 비점오염 저감 기술 개발’ 연구에 해당한다.

## 2. 과제소개

4세부 과제는 주관연구기관인 전북대학교(손재권, 조재영)를 중심으로 전남대학교(윤광식)와 공동연구로 구성되어 연구를 수행해 왔다. 새만금 유역 및 새만금호의 수질개선 및 환경개선을 위하여 축산분뇨에 따른 비점오염부하를 평가하고 이를 관리하여 저감시킬 수 있는 최적관리기법(BMPs)을 개발하는 것을 목표로 한다. 본 과업의 구체적인 목적은 (1) 새만금유역 축산현황 및 가축분뇨 현황조사, 그리고 축산분뇨 비점오염원 특성분석, (2) 가축분뇨 자원화 형태에 따른 농업환경생태계에서의 물질순환과 농업비점오염 부하량 평가, 그리고 (3) 가축분뇨 비점오염 저감을 위한 모델링 및 저감 최적관리기법을 개발하

여 새만금의 지속가능한 발전에 도움이 되고자 한다. 다음 그림1은 4세부 과제의 전체 연구 로드맵을 보여주고 있다.

본 세부과제는 1단계(2010-2012)를 거쳐 현재 2단계(2013-2014) 연구를 마무리하였다. 1단계 연구에서는 새만금 간척농지 및 대표 소유역에 대한 모니터링과 미량유기환경물질조사, 축산분뇨 처리 및 가축현황에 대한 기초연구와 저감기법 개발 연구를 수행하였다. 2단계에서는 새만금유역 내 농업비점오염원 중 축산계의 비중이 높음에 따라 새만금 유역 전체에 대한 가축분뇨 유래 비점오염원 현황과 특성분석, 가축분뇨 자원화 형태에 따른 농업비점오염 평가, 그리고 농업비점오염 저감기술 개발과 관리방안 수립을 위한 연구를 진행해 왔다.

본 과제는 새만금유역내 가축분뇨 농업비점오염 대표 소유역(전북 김제시 공덕면 인근 소유역)과 소유역 말단에 위치한 시험포장, 그리고 축산비점오염 저감관리방안 개발을 위한 전남대학교 시험포장에서 연구가 진행되었다. 그림 2는 플롯

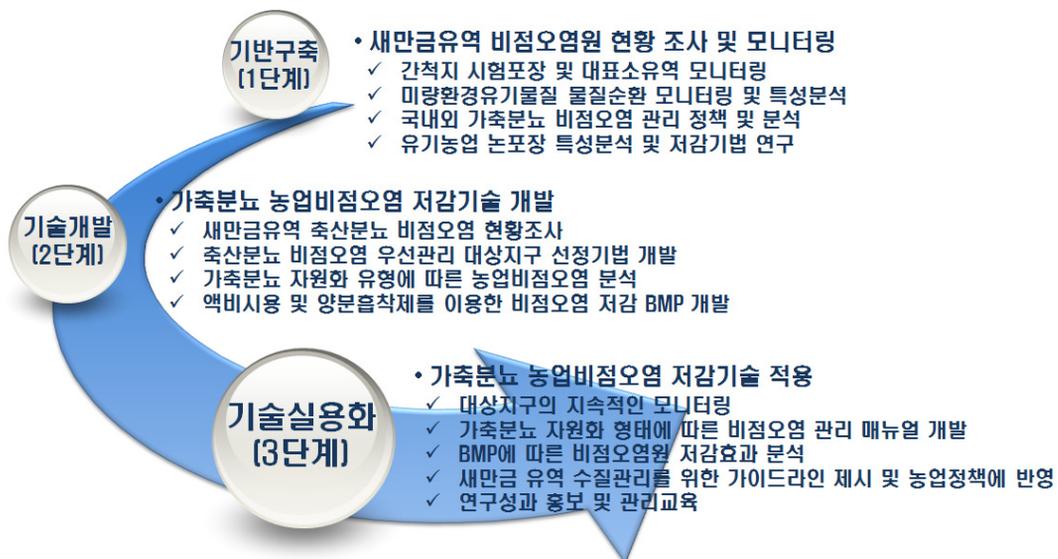


그림 1. 제4세부과제 전체 연구 로드맵

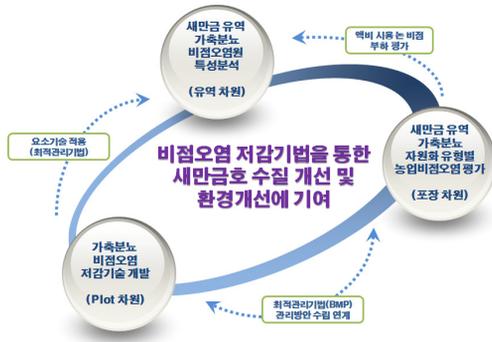


그림 2. 연구개발 추진전략 체계도

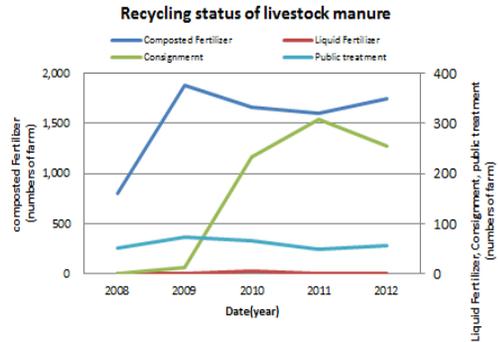


그림 3. 축산분뇨 자원화 형태에 따른 연도별 처리현황

차원에서 포장, 그리고 유역차원에서의 특성 분석과 이를 바탕으로 축산 유래 비점오염원 저감 및 관리방안 기술의 개발을 통한 추진전략을 보여주고 있다.

### 3. 4-1과제 연구내용

4-1세부 과제의 주요 연구내용은 새만금 전체 유역에서의 축산관련 현황조사와 축산밀집지구 특성을 분석하는 것으로 다음과 같다.

- 새만금유역내 오염원, 가축사육 및 자원화 현황 조사
- 새만금유역내 축산분뇨에 따른 축산계 비점 오염 부하량 산정
- 새만금유역내 축산계 비점오염 부하량의 연도별 변화 분석
- 새만금유역내 축산분뇨 비점오염 관리지역 평가
- 대상지구 오염원, 가축분뇨 및 자원화 현황 조사
- 대상지구 비점오염부하량 모니터링 및 특성 분석

### 3.1 새만금유역 축산 및 오염원 현황

2012년 새만금유역에서 익산시가 가장 많은 가축을 사육하고 있으며, 김제시, 정읍시 순으로 조사되었다. 축종별로는 한우는 정읍시에서 37.38%, 젖소는 정읍시에서 52.50%, 돼지는 익산시에서 30.04%, 가금은 익산시에서 28.94%, 기타 익산시에서 40.96%로 가장 많은 가축을 사육하는 것으로 나타났다. 2012년 새만금 유역의 가축분뇨 자원화는 가금, 소, 돼지 항목에서 모두 퇴비화가 87%로 대부분의 비율을 차지하고 있으며, 돼지 농가에서만 액비화(10개소)와 공공처리(260개소)가 나타났다(그림 3). 액비화는 위탁 등의 형태로 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 다만 이러한 조사는 계절별로 가추수의 편차가 크게 나타나 조사의 어려움이 있었다.

### 3.2 새만금유역 오염부하량 및 우선관리지구 평가

2012년 새만금유역의 BOD 배출부하량은 2007년 대비 14.27% 감소, T-N 배출부하량은 22.66% 감소, T-P 배출부하량은 3,826.50 kg/일로 21.03% 감소하는 것으로 나타났다. 새만금유역 총 배출부하량(2012년 기준)은 BOD 65,116.9 kg/일, T-N 37,727.9 kg/일, T-P 3,826.5 kg/일로 산정되

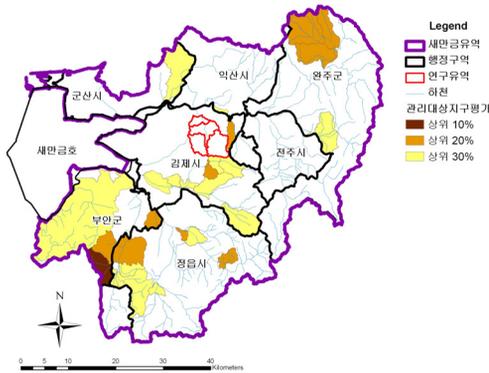


그림 4. 새만금유역내 축산관리 우선지구 평가 결과

었으며, 이 중 축산계 배출부하량은 BOD 36.73%, T-N 35.83%, T-P 40.42%를 각각 차지하는 것으로 조사되었다.

2012년 새만금유역 배출부하량 중 축산계 부하량의 비율과 2007년부터 2012년까지의 축산계 연평균증가율에 따른 자료를 중첩하여, 상위 10%, 20%, 30%지역이 중복되는 곳을 우선 관리지구로 선정하였다. 부안군 줄포면, 보안면 일대가 축산계 부하량 비율과, 축산계 부하량 증가율 모두 상위 10%로 나타났고, 김제시 황산면, 정읍시 영원면, 부안군 주산면, 완주군 화산면 일대가 상위 20%, 부안군 상서면, 하서면, 정읍시 소성면, 김제시 금산면, 군산시 서수면, 완주군 소양면 일대가 상위 30%로 나타나 집중적인 관리가 필요한 지역으로 평가되었다(그림 4).

### 3.3 새만금유역 축산밀집지구 특성분석

‘AHP기법을 이용한 새만금 유역 내 비점오염원 우선관리지구 선정’(우혜진, 2015)에 의하면 전북 김제시 공덕면, 용지면, 황산면 일대가 우선 관리지구로 선정되었다. 이는 새만금 유역 내 축산밀집 대상지구로 인근 4개의 소유역(만경강 용암천 상류, 축산분뇨 우심지구)을 축산분뇨 우심

지구로 선정하여 2013년 4월부터 2014년 10월까지 매월 1회 이상 모니터링을 실시하였다. 부하량 산정결과, 전체적으로 축산밀집 지구 내 본 소유역의 말단인 부용교에서 퇴·액비 등의 시용에 따라 TOC의 부하량이 높은 것으로 나타났다. 다만, 관개 초기에는 상류지역에 높았으나 영양물질 등의 하류로의 이동에 따라 관개 후기에는 부용교(하류 지역)에서 높게 나타났으며, 황산교 부근(중하류 지역)에서는 상류에서 유입된 오염원이 침전되었다가 수문 개방 시 부유하여 많은 유량과 함께 높은 부하량을 보였다.

본 대상지구와 같은 평야부 관개지구에서는 가축분뇨가 많이 유입되는 호소에서와 같이 침전되어 있는 오염물질에 대한 저감방안을 적용하여 새만금호내로의 유입에 대처할 수 있는 관리방안이 필요하다. 이를 위하여 준설, 논·밭 및 축산분뇨 비점오염원 저감 관리매뉴얼의 보급, 그리고 토양 자율양분관리 및 성과에 따른 인센티브제 등의 축산분뇨밀집지구 관리대책을 시행하여 축산분뇨 유래 비점오염원의 관리대책의 시급한 도입이 필요하다. 구체적인 새만금유역 축산밀집지구 관리대책으로는 농경지 토양 및 자율양분관리 체계 구축, 축산분뇨 관리 및 활용기술, 관련 비점저감 기법의 활용, 그리고 시비처방 제도화를 통하여 성과를 이룰 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위하여 관련 부처를 통한 엄격한 관리가 필요하다.

## 4. 4-2과제 연구내용

4-2세부 과제의 주요 연구내용은 가축분뇨로 인한 오염부하가 큰 우심지역을 대상으로 필지단위에서 가축분뇨의 자원화 유형별(퇴비처리, 액비처리, 화학비료처리) 정확한 수질오염물질(BOD, T-N, T-P)의 물질수지와 오염부하량 평가와 가

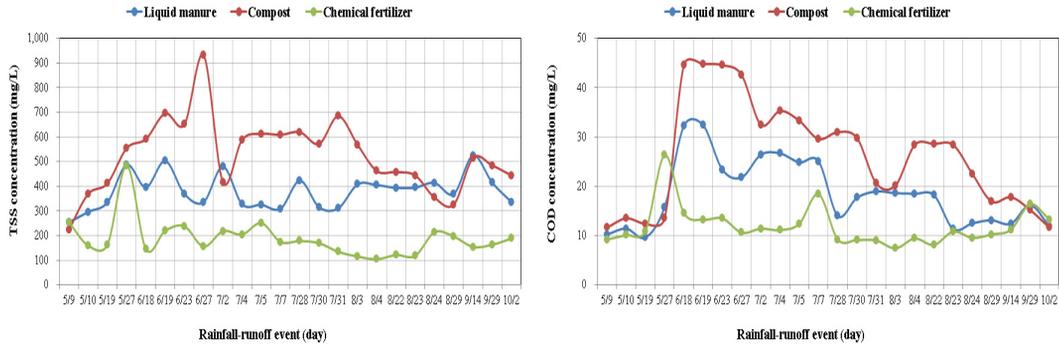


그림 5. 처리구별(화학비료, 퇴비, 액비처리구) TSS와 COD의 지표유출수 농도 비교(2013)

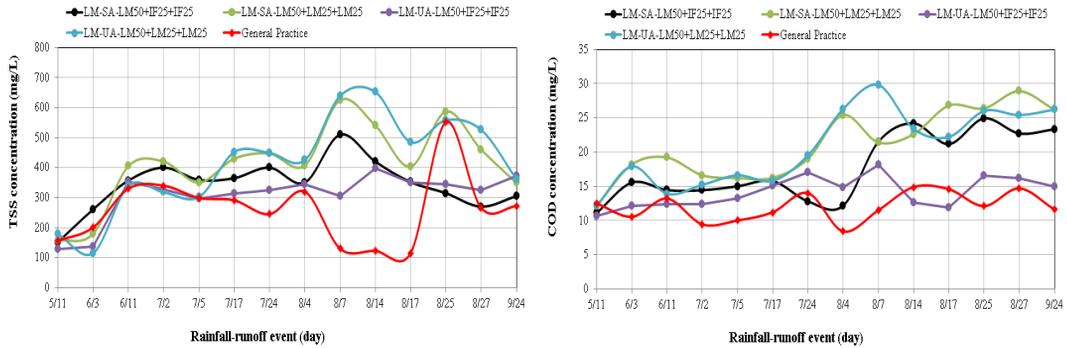


그림 6. 처리구별(화학비료/액비 시비처리구+지중/지표 살포) TSS와 COD의 지표유출수 농도 비교(2014)

축분노 농경지 시비 및 관리과정에서 발생하는 비점오염원 저감을 위한 최적관리기법(BMPs)을 개발하는 것이다.

화학비료, 가축분노 액비 및 가축분노 퇴비 처리 논으로부터 총질소와 총인의 지표유출부하량은 퇴비, 액비처리구보다 화학비료 처리구에서 더 높게 나타나는 경향을 보였다. 시기별로는 6월과 7월에 강우-유출에 의한 지표유출부하량이 가장 높게 나타났으나, TSS와 COD의 경우는 퇴비처리구, 액비처리구, 화학비료 처리구의 순으로 나타났다(그림 5). 영농기간 동안에 총질소와 질산태질소의 지하침투부하량을 비교한 결과, 화학비료 처리구, 액비 처리구, 퇴비 처리구의 순으로 나타났다. 시기별로는 6월중하순-8월 하순 사이에 지하침투부하량이 높게 나타났으며, 이는 시

비효과와 토양수 이동효과로 추정된다.

가축분노 돈분액비 시비방법별(지중살포, 표면살포) 총질소와 총인의 지표유출부하량은 무기질비료 처리구가 액비 처리구보다 높게 나타났으나 액비의 처리방법별로는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 시기별로는 6월과 7월에 강우-유출에 의한 지표유출부하량이 가장 높게 나타났지만, 일항성을 유지하지 않고 강우-유출 크기에 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면에, TSS와 COD의 경우는 액비처리구가 무기질비료 처리구보다 높게 나타났으나 액비의 처리방법별로는 큰 차이를 나타내지 않았다(그림 6). 영농 기간 동안에 총질소와 질산태질소의 지하침투부하량을 비교한 결과, 가축분노 액비 지중살포(기비: 액비, 추비: 무기질비료) 처리구에서 가장 높게 나타났

고 그 다음에 무기질비료 처리구로 나타났다.

새만금 유역에서 농업비점오염부하량 저감을 위한 최적영농관리기법으로 부영양화 관리 차원에서는 화학비료의 사용 대신에 액비와 퇴비의 사용이 바람직하겠으나, 유기성물질 관리차원에서는 액비와 퇴비의 사용이 바람직할 것으로 판단된다. 이 두가지를 조합한 즉, 액비와 화학비료의 적절한 혼용처리가 부영양화 유발물질인 질소와 인의 저감과 유기물질의 저감을 통한 최적관리기법의 수립이 가능할 것으로 보인다.

가축분뇨 액비의 시비방법(지중살포, 지표살포)과 추비에 사용된 액비와 무기질비료 간에 지표유출부하량, 지하침투부하량, 수확량 등 모든 지표에 차이가 나타나지 않았으므로 고비용 저효율의 지중살포 보다는 지표살포를 활용해도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 다만, 가축분뇨 액비의 지표살포시 취급부주의로 인한 유출, 악취 유발문제를 최소화할 수 있는 방안을 사전에 마련할 필요가 있다.

## 5. 4-3과제 연구내용

4-3세부 과제의 주요 연구내용은 원단위 방법으로 파악하기 힘든 해만금유역 가축분뇨 생산과 수질 간 상관관계 규명과 양분수지 분석, 그리고 비점오염 저감기법을 개발하는 것으로 다음과 같다.

- 모델링 기법을 활용한 가축분뇨 비점오염 저감 전략 수립
- 영농방법과 양분흡착제를 이용한 가축분뇨 비점오염 저감 BMP 개발
- 경축농업 순환을 통한 새만금 유역 양분 종합관리
- 종합양분관리를 통한 가축분뇨 비점오염 저감 방안 수립

## 5.1 영농방법 및 양분흡착제를 이용한 BMP 개발

새만금 간척지의 비점원 오염 저감을 위한 돈분뇨의 농업적 활용 기법을 개발하기 위해 대조구(control), 관행화학비료처리구(SF), 고농도 돈분액비(MH) 및 저농도액비처리구(ML)와 각각에 대한 양분흡착제(Fly ash+Zeolite 혼합; FAZ) 처리구를 두고 벼 재배실험을 실시하였다. 돈분액비는 표준시비구(S, standard)와 배비구(D, double)를 두었으며, 질소 분시비율(S, 기비:1차 추비: 2차 추비)을 달리하여 관행 5:3:2와 변형 2:4:4를 두었다. FAZ 무처리 조건에서 벼 수량과 담수 중 수질 항목 지표를 모두 고려하면 저농도 액비를 표준시비량 수준에서 5:3:2(기비:1차 추비:2차 추비)로 분시하는 것(처리명: MLLSS532)이 최적 액비 시용 방법으로 나타났다.

FAZ 처리시 대부분의 액비 처리구에서 담수 중 T-N (-23.0~0.7 mg N L<sup>-1</sup>)과 TOC (-5.6~-0.7 mg C L<sup>-1</sup>)농도는 유의하게(p<0.05) 감소하였다. FAZ 처리에 의한 담수 중 질소농도 감소는 상층 pH에 의한 NH<sup>3+</sup> 휘산 증가와 제올라이트의 음전하에 의한 NH<sup>4+</sup> 흡착 증가에 의한 것으로 판단되며, TOC는 제올라이트에 의한 유기탄소 흡착의 결과로 해석된다. 하지만, T-P의 경우 FAZ 처리에 의해 오히려 증가하는 경향이었는데, 이는 제올라이트에 의한 Ca<sup>2+</sup> 흡착과 환원조건에서의 Fe<sup>2+</sup> 가용화 등에 의한 인산 침전 감소에 의한 것으로 판단된다. 벼 수량은 FAZ 무처리시 벼 수량이 SF와 유사했던 M<sub>L</sub>L<sub>6</sub>S<sub>532</sub>와 M<sub>L</sub>L<sub>D</sub>S<sub>244</sub>는 FAZ 처리에 의해 크게 감소한 반면, M<sub>H</sub>L<sub>D</sub>S<sub>244</sub>와 M<sub>L</sub>L<sub>D</sub>S<sub>532</sub>는 FAZ 처리에 의해 수량이 증가하였다. M<sub>H</sub>L<sub>D</sub>S<sub>244</sub>와 M<sub>L</sub>L<sub>D</sub>S<sub>532</sub>의 담수 중 물질 농도를 비교하면 M<sub>H</sub>L<sub>D</sub>S<sub>244</sub>가 M<sub>L</sub>L<sub>D</sub>S<sub>532</sub>에 비해 T-N, T-P, TOC 모두 낮았기 때문에 FAZ 처리시 벼 수량과 담수



인산의 전체 양분은 정읍A, 고부A, 동진A, 동진B, 완주A, 만경C, 탑천A 유역에서는 증가하는 경향을 보이지만, 만경A유역에서는 감소하는 경향을 보였으며, 만경B와 전주 A 유역에서는 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다. 양분수지(화학비료 사용량+가축분뇨 발생량-양분요구량)와 가축분뇨만을 고려한 양분수지(가축분뇨 발생량-양분요구량)와 새만금유역 총량관리 단위유역의 연평균 수질자료와 비교한 결과 양분 초과량과 수질간 정의 상관관계는 보이지 않는 것으로 분석되었다.

#### 5.4 가축분뇨 농지환원량 산정

새만금유역 행정구역별(정읍시, 고창군, 부안군, 김제시, 익산시, 전주시, 완주군, 군산시) 가축분뇨 양분  $P_2O_5$  발생량과, 작물요구량을 산정하였으며, 토양환경정보시스템의 자료를 이용하여 가축분뇨  $P_2O_5$  환원가능량을 산정하였으며, 전라북도 8개 시/군의 가축분뇨  $P_2O_5$  발생량은 139.2 kg/ha 였으며, 양분 요구량은 51.2 kg/ha로 산정되었다. 토양검정 결과, 가축분뇨 농지환원 가능량은 62.7 kg/ha로 나타났다.

## 6. 마치면서

본 과제는 2010년부터 수행되었지만 축산계 비점오염원에 대한 연구는 실제로 2년간의 연구 결과에 해당한다. 새만금유역에서의 축산계 비점

오염원에 대한 관리대책 수립에는 한계가 있을지도 모른다. 하지만 연구진은 짧은 기간임에도 불구하고 ‘돈분액비 시용 논의 비점오염 저감 최저관리방법 지침서’의 발간과 국내 및 국제학술지에 연구 성과를 게재하는 등 우수한 성과를 이루어왔다. 새만금유역의 수질개선은 여전히 어려운 숙제로 남아있지만 본 세부과제를 포함한 “새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발연구” 전체 과제의 연구 성과가 제도화되고 관련 부처의 엄격한 관리가 함께 이루어진다면 우리가 목표로 하는 수질개선도 멀지 않을 것으로 판단된다. 우리 연구진은 앞으로 이와 같은 연구가 지속적으로 이루어져 새만금유역 뿐만 아니라 우리나라 농업비점오염원 관리에 대한 인식의 제고와 개선에 도움이 되었으면 한다.

## 감사의 글

본 내용은 한국농어촌공사 농어촌연구원의 “새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발연구”의 연구과제로 수행된 연구결과의 일부임.

## 참고문헌

1. 환경부, 2012. 새만금유역 가축오염원 관리방안.
2. 우혜진, 2015. AHP 기법을 이용한 새만금유역 내 비점오염원 우선관리지구 선정. 전북대학교 석사학위논문.