

RS-2021-
IP421046

지역 / 국가 단위 경축순환모델 개발

최종보고서

2024

농림축산식품부
과학기술정보통신부
농촌진흥청
농림식품기술기획평가원
스마트팜연구개발사업단

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업 2024년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004735-01

지역/국가단위 경축순환 모델 개발

2024.05.28.

주관연구기관 / 상지대학교 산학협력단
제1공동연구기관 / 한경국립대학교 산학협력단
제2공동연구기관 / 서울대학교 산학협력단
제1위탁연구기관 / (사)농정연구센터
제2위탁연구기관 / 축산환경기술원
제3위탁연구기관 / (주)순정에너지환경

농림축산식품부
과학기술정보통신부
농촌진흥청
(전문기관)농림식품기술기획평가원
스마트팜연구개발사업단

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 · 과학기술정보통신부 장관 · 농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “지역/국가단위 경축순환 모델 개발”(개발기간 : 2021. 04. ~ 2023. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024.05.28.

주관연구기관명 : 상지대학교 산학협력단	김상호	(인)
제1공동연구기관명 : 한경국립대학교 산학협력단	윤덕훈	(인)
제2공동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단	김재영	(인)
제1위탁연구기관명 : (사)농정연구센터	김홍상	(인)
제2위탁연구기관명 : 축산환경기술원	장원경	(인)
제3위탁연구기관명 : (주)순정에너지환경	심두섭	(인)

주관연구책임자 : 이 명 규
제1공동연구책임자 : 윤 영 만
제2공동연구책임자 : 임 정 빈
제1위탁연구책임자 : 장 민 기
제2위탁연구책임자 : 장 원 경
제3위탁연구책임자 : 이 세 한

「국가연구개발혁신법」 제17조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서										보안등급		
										일반[√], 보안[]		
중앙행정기관명		농림축산식품부 농촌진흥청 과학기술정보통신부			사업명		사업명			스마트팜다부처패키지 혁신기술개발사업		
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원 (재)스마트팜연구개발사업단			사업명		내역사업명 (해당 시 작성)		차세대 융합/ 원천기술 연구사업			
공고번호		제농축 2021-45호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)							
					연구개발과제번호		421046-03					
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0506	50%	2순위 LB0507		30%	3순위 LB0508		20%			
	농림식품과학기술분류	1순위 CA0201	50%	2순위 CA0202		30%	3순위 SA0203		20%			
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문	지역/국가단위 경축순환 모델 개발									
		영문	Development of integrated crop-livestock models for national and regional levels									
연구개발과제명		국문	지역/국가단위 경축순환 모델 개발									
		영문	Development of integrated crop-livestock models for national and regional levels									
주관연구개발기관		기관명	상지대학교 산학협력단			사업자등록번호		224-82-08147				
		주소	(26339)강원도 원주시 상지대길 83, 1층(우산 동, 상지대길 83)			법인등록번호		141271-0002615				
연구책임자		성명		이명규		직위		교수				
		연락처	직장전화		휴대전화		국가연구자번호					
		전자우편		-								
연구개발기간		전체		2021. 04. 07 - 2023. 12. 31(2년 9개월)								
		단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 07 - 2022. 12. 31(1년 9개월)								
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	지원금
총계		2,200,000							2,200,000		2,200,000	
1단계		1년차	600,000						600,000		600,000	
		2년차	800,000						800,000		800,000	
2단계		1년차	800,000						800,000		800,000	
		n년차										
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
공동연구개발기관		한경국립대학교 산학협력단	윤영만	교수			공통	대학				
		서울대학교 산학협력단	임정빈	교수			공통	대학				
위탁연구개발기관		(사)농정 연구센터	장민기	소장			위탁	기타				
		축산환경 기술원	장원경	원장			위탁	기타				

	(주)순정에너지환경	이세한	이사			위탁	중소기업
연구개발기관 외 기관							
연구개발담당자 실무담당자	성명		김수량		직위		연구교수
	연락처	직장전화			휴대전화		
		전자우편			국가연구자번호		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 02월 29일

연구책임자: 이 명 규



상지대학교 산학협력단 단장: 김 상 호 (직인)



한경국립대학교 산학협력단 단장: 이 택 기 (직인)



서울대학교 산학협력단 단장: 김 재 영 (직인)



(사)농정연구센터 대표: 김 홍 상 (직인)



축산환경기술원 원장: 장 원 경 (직인)



(주)순정에너지환경 대표: 심 두 섭 (직인)



< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	스마트팜다부처패키지 혁신기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		421046-03	
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0506	50%	2순위 LB0507	30%	3순위 LB0508	20%
	농림식품 과학기술분류	1순위 CA0201	50%	2순위 CA0202	30%	3순위 SA0203	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	지역/국가단위 경축순환 모델 개발						
전체 연구개발기간	2021.04.07.~2023.12.31.						
총 연구개발비	총 2,200,000천원 (정부지원연구개발비: 2,200,000천원, 기관부담연구개발비: 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종목표 <ul style="list-style-type: none"> - 양분수지 기반 농업생산 연계형 지역/국가단위 경축순환 모델 개발 및 완전순환형 경축순환모델 소(지역) 단위 실증 ○ 세부목표 <ul style="list-style-type: none"> - 소단위 농축부산물·분뇨 자원의 완전순환형 모델 정립 및 실증 - 소단위/국가단위 농축부산물 및 가축분뇨 발생량 예측 모델 개발 - 소단위/국가단위 농축부산물 및 가축분뇨 활용 경축순환 모델 개발·실증 					
	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관기관 : 상지대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 퇴비 및 축분뇨를 이용한 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> • 정제액비 생산시설 구축: 250L 규모 (2식) • 바이오액비 생산시설 구축: 500L 규모 (1식) • 정제액비(1종): SS저감형(5,000mg/L 이하) 정제액비 • 정제액비 기반 바이오액비(1종): 클로렐라(10^7cell/mL 이상) 배양 바이오액비 - 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정을 통한 적정 시비량 설정 <ul style="list-style-type: none"> • 시비량 분석을 위한 현장조사('21) - 수경재배를 통한 작물생육평가 ('21~'22) - 소단위의 정의 및 테스트베드(컨소시움 지자체 내 2개 소단위 이상) 운영 - 혐기소화액을 이용한 정제액비(1종, SS저감형) 및 바이오액비 (1종, 클로렐라) 생산기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> • 혐기소화액 이용 정제액비(1종): SS저감형(5,000mg/L 이하) 정제액비 • 정제액비 기반 바이오액비(1종): 클로렐라(10^7cell/mL 이상) 배양 바이오액비 					

- 축분액비/혐기소화액 바이오액비의 고도화 (각 1종, 바실러스)
 - 정제액비 기반 바이오액비 고도화(각 1종): 바실러스 (10^7 cell/mL 이상) 배양 바이오액비
 - 퇴·액비의 시용량에 따른 작물 생육 평가('21~'22)
 - 토경재배를 통한 작물생육평가 ('21~'22)
 - 퇴·액비생산 시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 보완
 - H/W, S/W 매뉴얼 보완
 - 퇴·액비생산 시스템 및 바이오에너지화 시설의 경제성 평가
 - 에너지 효율성, 작물 생산성 및 경영비 등을 통한 종합적 평가
 - 소단위 경축순환 거버넌스 모델 도출
 - 농업지대(산간지, 중산간지, 평야지)별 퇴·액비 적정 시비량 설정('22~'23)
 - 농업지대별 퇴·액비 적정 시비량 평가('22~'23)
 - 경축순환을 위한 시비 처방 기술 제시
 - 작물별 시비 처방 기술 매뉴얼 정립
- 제1공동연구기관 : 환경대학교
- 소단위 (시/군) 양분수지 분석을 위한 자료 수집 및 자료 체계 구축
 - 지역단위 (시/군) 양분수지 분석 : 유입(가축분뇨 퇴액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수), 유출(작물생산, 작물부산물, 대기 유출, 수계유출)
 - 실증지역 (횡성) 소지역 양분수지 분석을 위한 현장 자료 수집 및 시료분석 : 지역 경계조건 설정, 농경지 비료사용량 실태조사, 농경지 면적 및 작물 재배 현장조사, 작물별 수량 현장조사, 관개수 수질분석
 - 실증지역 (횡성) 소지역 양분수지 분석 : 유입(가축분뇨 퇴액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수), 유출(작물생산, 작물부산물, 대기 유출, 수계유출)
 - 경축순환 농업기술별 정량지표 개발(I)
 - 문헌조사 기반의 작물양분 이용효율 개선효과, 수계양분 유출 저감효과, 작물 생산성 증대효과 등
 - 경축순환 농업기술별 정량지표 개발(II)
 - 실증사업 기반의 작물양분 이용효율 개선효과, 수계양분 유출 저감효과, 작물 생산성 증대효과 등 정량지표 분석 개발
 - 지역양분 관리기반 경축순환모델 개발을 위한 적정양분 수준 도출: 자체개발 방법론 활용, 작물 최대수량을 나타내는 적정 양분수지 지표 도출
 - 환경부 및 농식품부 합동('20년) 공인된 지역단위 양분수지 산출 방법론을 포함하여 자체 개발 방법론을 연계 및 전국 시/군 단위 양분수지를 전수 분석 데이터 기반의 경축순환모델을 도출
 - 지역별 적정양분 관리를 위한 저감 등 관리 목표 설정 및

경축순환 농업 기술 적용 방안 도출

- 유입양분(항목): 퇴·액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적 질소고정, 종자 및 종묘, 관개수, 대기강하물 등
- 유출양분(항목): 작물생산에 의한 양분 유출, 작물부산물에 의한 양분유출, 수계 및 대기로의 양분유출
- 지역의 유입 및 유출 양분을 분석(농경지 투입양분 중 수계 유출 양분량을 추정 분석)
- 수계로의 비점오염원 유출을 최소화하는 분석자료를 제공
- 농업환경특성 반영: 작물별 재배면적과 작물별 생산 수량 등 농업 및 축산생산 전반의 통계

- 국가단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 자원이용 및 양분관리 기술 적용체계 구축
- 지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 자원이용 및 양분관리 기술적용체계 구축
- 소단위/국가단위 양분수지 기반 경축순환모델 실현 기술체계 제시
 - 전국 시/군 단위별 경축순환 모델 적용 기술체계 제시 및 정량적 효과 분석

- 소단위 양분수지 기반 경축순환농업을 위한 기술 매뉴얼 개발
 - 필지단위 관리 매뉴얼 개발

○ 제2공동연구기관 : 서울대학교

- 경축순환농업의 개념 정립과 관련분야 이론의 체계화
 - 자원순환농업(resource cycling agriculture)의 대표적인 사례로 경축순환농업의 개념 정립
 - 농경지의 투입과 산출을 기초로 환경부하 분석 이론, 물질순환의 이론 등 경축순환농업 관련분야의 이론의 체계화

- 경축순환농업의 범위 및 유형, 경축순환모델의 구성 요소 식별
 - 경종농가의 재배작목과 농경지, 농산부산물 발생량
 - 축산농가의 축종별 사육두수와 가축분뇨 처리 방식(퇴비화, 액비화)
 - 경종농가, 축산농가, 운영협의체, 자원화조직체, 농축협, 전문가 그룹 등 경축순환에 참여하는 관련주체의 식별

- 일본, 미국, 유럽(네덜란드, 덴마크) 등 주요국의 경축순환 농업 운용 사례 검토

- 지역단위·국가단위 경축순환농업의 실태조사와 모형의 체계화
 - 소(지역단위) 및 국가단위 경축순환농업 실태 분석
 - 실태조사를 기반으로 지역단위·국가단위 경축순환모형의 유형화

- 가축분뇨자원화 조직체의 운영현황 실태조사
 - 가축분뇨자원화 조직체의 운영현황 조사
 - 경축순환농업 활성화를 위한 저해요인 및 애로사항 파악

- 경축순환농업 우수사례의 성공요인 분석

- 데이터 기반의 경축순환농업모델 개발 및 정립
 - 바람직한 소(지역단위)·국가단위 경축순환모델 정립

- 데이터 기반의 경축순환모델 정립을 위한 관련분야 DB 구축 방안 제시
 - 농산부산물 발생량 DB와 가축분뇨 발생량 DB, 지역별

토양조사 DB(농촌진흥청 흙도람)를 활용한 비료사용처방서 활용 및 농경지토양 양분관리를 기초로 한 데이터 기반의 과학적인 경축순환농업모델의 개발

- 경축순환 연계를 통한 자원화 방법을 고려한 경축순환농업 모델 개발
 - 해당지역의 농축산부산물 발생 형태와 처리 방식 등을 종합적으로 고려한 경축순환모델 개발
 - 소 지역(지역단위)에서 생산된 가축분뇨가 퇴액비 자원화 또는 에너지화를 통해 해당지역의 경종농가 농경지에 모두 살포되는 완전한 순환형 모델 제시
 - 자원화 주체별(공동자원화시설, 액비유통센터 등)·작물생산 형태별(논·밭·조사료 등) 등 유형별 경축순환농업모델 제시
- 완전순환모델의 활성화를 위한 효과적인 운영 방안 제시
 - 농축산부산물 및 가축분뇨자원의 생산, 유통, 이용 활성화를 위한 정책방안 제시
 - 기존의 정책과 연계한 새로운 실행 프로그램 제시
 - 농경지의 양분관리제도와 연계하여 추진하는 방안
- 제1위탁연구기관 : 농정연구센터
 - 지역단위 경축순환 모델 성과평가 기법 및 핵심요소 개발: Techno-Economic 관점의 실증 성과분석 방법론 개발
 - 지역경제 파급효과, 온실가스저감 등 기후변화대응 효과성 등 경축순환시스템의 새로운 경제성 요인 도출
 - 선행연구 및 외국 분석사례 리뷰
 - 실증단지·지구 성과분석을 위한 지표 항목 설계
 - 실증단지·지구 기초 현황 분석 및 1차년도 실증 데이터 수집
 - 소단위 경축순환 실증단지·지구 성과평가 (1차년도 성과 분석)
 - 주도 및 참여 경영체 실증 데이터 검증
 - Techno-Economic 성과분석 결과 도출
 - 경영체 성과, 지역 영향·파급력 및 온실가스저감 등 환경적 효과 등을 결합한 종합 분석 방법론 개발
 - 지표 보완, 실증단지·지구 기초 현황 분석 및 2차년도 실증 데이터 수집
 - 지역단위 경축순환시스템 실증적 성과평가
 - 1~3년차 데이터 활용 실증적 성과 분석
 - 지역단위 경축순환시스템 지역영향 평가
 - 경영체성과 및 지역영향, 기후·환경영향 결합 통합분석
 - 10개년 추정 편익 등 중장기 예측 분석
 - 경축순환시스템 성과평가 및 지역영향평가 디지털화 방안
 - 정책적 시사점, 평가·분석 체계화를 위한 시스템 제안
- 제2위탁연구기관 : 축산환경기술원
 - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질조사
 - 소단위 경축순환형 축산농가 우수사례 조사
 - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질 평가지표 도출
 - 소단위 경축순환형 축산농가(각 축종별) 환경관리 평가지표 도출
 - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질 평가지표 도출

		<ul style="list-style-type: none"> - 소단위 경축순환형 축산농가(각 축종별) 환경관리 평가지표 도출 ○ 제3위탁연구기관 : (주)순정에너지환경 - 소단위 완전순환형 경축순환 액비화 및 에너지화(바이오가스) 실증 시설 구축 <ul style="list-style-type: none"> • 바이오가스 생산시설 : 500L 규모 (1식) • 발효액비 생산시설 : 500L 규모 (1식) - 소단위 완전순환형 경축순환 액비화 및 에너지화(바이오가스) 모델의 S/W, H/W 운영 매뉴얼 도출(효율적 에너지 활용) <ul style="list-style-type: none"> • 바이오에너지(바이오가스) 생산시설의 최적의 소화시간, 소화온도 등 최적의 운영 및 생산 매뉴얼 확립 • 정제액비 생산시설의 반응시간 및 기타특성 등 최적의 운영 및 생산 매뉴얼 확립 • 바이오액비 생산시설의 pH, 양분량, 온도 등 최적의 운영 및 생산 매뉴얼 확립
1단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> - 소단위 퇴·액비화 및 바이오에너지화(바이오가스) 실증시설 구축 - 발효액비, 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산 - 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정 - 혐기소화액을 이용한 정제액비(1종, SS저감형) 및 바이오액비(1종, 클로렐라) 생산 - 축분액비/혐기소화액 이용한 바이오액비 고도화(각 1종, 바실러스) - 퇴·액비생산시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 확립 - 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정 - 소단위/지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 발생 예측 모델 개발 및 분석 - 국가-지역단위 완전순환형 경축순환모델 개발을 위한 지역별 농업환경 유형 분석 - 경축순환모형의 개념 정립과 관련 분야의 이론의 체계화 및 해외사례 검토 - 경축순환의 운영 실태 조사 및 체계적인 진단과 주요국의 경축순환농업 사례 검토
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관기관 : 상지대학교 - 퇴비 및 축분뇨를 이용한 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> • 정제액비 생산시설 구축: 250L 규모 (2식) • 바이오액비 생산시설 구축: 500L 규모 (1식) • 정제액비(1종): SS저감형(5,000mg/L 이하) 정제액비 • 정제액비 기반 바이오액비(1종): 클로렐라(10^7cell/mL 이상) 배양 바이오액비 - 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정을 통한 적정 시비량 설정 <ul style="list-style-type: none"> • 시비량 분석을 위한 현장조사('21) - 수경재배를 통한 작물생육평가 ('21~'22) - 소단위의 정의 및 테스트베드(컨소시움 지자체 내 2개 소단위 이상) 운영 - 혐기소화액을 이용한 정제액비(1종, SS저감형) 및 바이오액비 (1종, 클로렐라) 생산기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> • 혐기소화액 이용 정제액비(1종): SS저감형(5,000mg/L 이

하) 정제액비

- 정제액비 기반 바이오액비(1종): 클로렐라(10^7 cell/mL 이상) 배양 바이오액비
- 축분액비/혐기소화액 바이오액비의 고도화 (각 1종, 바실러스)
 - 정제액비 기반 바이오액비 고도화(각 1종): 바실러스(10^7 cell/mL 이상) 배양 바이오액비
- 퇴·액비의 시용량에 따른 작물 생육 평가('21~'22)
 - 토경재배를 통한 작물생육평가 ('21~'22)

○ 제1공동연구기관 : 환경대학교

- 소단위 (시/군) 양분수지 분석을 위한 자료 수집 및 자료 체계 구축
 - 지역단위 (시/군) 양분수지 분석 : 유입(가축분뇨 퇴액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수), 유출(작물생산, 작물부산물, 대기 유출, 수계유출)
 - 실증지역 (횡성) 소지역 양분수지 분석을 위한 현장 자료 수집 및 시료분석 : 지역 경계조건 설정, 농경지 비료사용량 실태조사, 농경지 면적 및 작물 재배 현장조사, 작물별 수량 현장조사, 관개수 수질분석
 - 실증지역 (횡성) 소지역 양분수지 분석 : 유입(가축분뇨 퇴액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수), 유출(작물생산, 작물부산물, 대기 유출, 수계유출)
- 경축순환 농업기술별 정량지표 개발(I)
 - 문헌조사 기반의 작물양분 이용효율 개선효과, 수계양분 유출 저감효과, 작물 생산성 증대효과 등
- 경축순환 농업기술별 정량지표 개발(II)
 - 실증사업 기반의 작물양분 이용효율 개선효과, 수계양분 유출 저감효과, 작물 생산성 증대효과 등 정량지표 분석 개발
- 지역양분 관리기반 경축순환모델 개발을 위한 적정양분 수준 도출: 자체개발 방법론 활용, 작물 최대수량을 나타내는 적정 양분수지 지표 도출
 - 환경부 및 농식품부 합동('20년) 공인된 지역단위 양분수지 산출 방법론을 포함하여 자체 개발 방법론을 연계 및 전국 시/군 단위 양분수지를 전수 분석 데이터 기반의 경축순환모델을 도출
- 지역별 적정양분 관리를 위한 저감 등 관리 목표 설정 및 경축순환 농업 기술 적용 방안 도출
 - 유입양분(항목): 퇴·액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적질소고정, 종자 및 종묘, 관개수, 대기강하물 등
 - 유출양분(항목): 작물생산에 의한 양분 유출, 작물부산물에 의한 양분유출, 수계 및 대기로의 양분유출
 - 지역의 유입 및 유출 양분을 분석(농경지 투입양분 중 수계 유출 양분량을 추정 분석)
 - 수계로의 비점오염원 유출을 최소화하는 분석자료를 제공
 - 농업환경특성 반영: 작물별 재배면적과 작물별 생산 수량 등 농업 및 축산생산 전반의 통계

○ 제2공동연구기관 : 서울대학교

- 경축순환농업의 개념 정립과 관련분야 이론의 체계화

		<ul style="list-style-type: none"> • 자원순환농업(resource cycling agriculture)의 대표적인 사례로 경축순환농업의 개념 정립 • 농경지의 투입과 산출을 기초로 환경부하 분석 이론, 물질순환의 이론 등 경축순환농업 관련분야의 이론의 체계화 - 경축순환농업의 범위 및 유형, 경축순환모델의 구성 요소 식별 <ul style="list-style-type: none"> • 경종농가의 재배작목과 농경지, 농산부산물 발생량 • 축산농가의 축종별 사육두수와 가축분뇨 처리 방식(퇴비화, 액비화) • 경종농가, 축산농가, 운영협의체, 자원화조직체, 농축협, 전문가 그룹 등 경축순환에 참여하는 관련주체의 식별 - 일본, 미국, 유럽(네덜란드, 덴마크) 등 주요국의 경축순환농업 운용 사례 검토 - 지역단위·국가단위 경축순환농업의 실태조사와 모형의 체계화 <ul style="list-style-type: none"> • 소(지역단위) 및 국가단위 경축순환농업 실태 분석 • 실태조사를 기반으로 지역단위·국가단위 경축순환모형의 유형화 - 가축분뇨자원화 조직체의 운영현황 실태조사 <ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨자원화 조직체의 운영현황 조사 • 경축순환농업 활성화를 위한 저해요인 및 애로사항 파악 - 경축순환농업 우수사례의 성공요인 분석 ○ 제1위탁연구기관 : 농정연구센터 <ul style="list-style-type: none"> - 지역단위 경축순환 모델 성과평가 기법 및 핵심요소 개발: Techno-Economic 관점의 실증 성과분석 방법론 개발 - 지역경제 파급효과, 온실가스저감 등 기후변화대응 효과성 등 경축순환시스템의 새로운 경제성 요인 도출 • 선행연구 및 외국 분석사례 리뷰 - 실증단지·지구 성과분석을 위한 지표 항목 설계 <ul style="list-style-type: none"> • 실증단지·지구 기초 현황 분석 및 1차년도 실증 데이터 수집 - 소단위 경축순환 실증단지·지구 성과평가 (1차년도 성과 분석) <ul style="list-style-type: none"> • 주도 및 참여 경영체 실증 데이터 검증 • Techno-Economic 성과분석 결과 도출 - 경영체 성과, 지역 영향·파급력 및 온실가스저감 등 환경적 효과 등을 결합한 종합 분석 방법론 개발 <ul style="list-style-type: none"> • 지표 보완, 실증단지·지구 기초 현황 분석 및 2차년도 실증 데이터 수집 ○ 제2위탁연구기관 : 축산환경기술원 <ul style="list-style-type: none"> - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질조사 - 소단위 경축순환형 축산농가 우수사례 조사 - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질 평가지표 도출 - 소단위 경축순환형 축산농가(각 축종별) 환경관리 평가지표 도출 ○ 제3위탁연구기관 : (주)순정에너지환경 <ul style="list-style-type: none"> - 소단위 완전순환형 경축순환 액비화 및 에너지화(바이오가스) 실증 시설 구축
--	--	---

			<ul style="list-style-type: none"> • 바이오가스 생산시설 : 500L 규모 (1식) • 발효액비 생산시설 : 500L 규모 (1식) <ul style="list-style-type: none"> - 소단위 완전순환형 경축순환 액비화 및 에너지화(바이오가스) 모델의 S/W, H/W 운영 매뉴얼 도출(효율적 에너지 활용) • 바이오에너지(바이오가스) 생산시설의 최적의 소화시간, 소화온도 등 최적의 운영 및 생산 매뉴얼 확립 • 정제액비 생산시설의 반응시간 및 기타특성 등 최적의 운영 및 생산 매뉴얼 확립 • 바이오액비 생산시설의 pH, 양분량, 온도 등 최적의 운영 및 생산 매뉴얼 확립
2단계 (해당 시 작성)	목표		<ul style="list-style-type: none"> - 퇴·액비생산시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 보완 - 퇴·액비생산시스템 및 바이오에너지화 시설의 경제성 평가 - 경축순환을 위한 시비 처방 기술 제시 - 소단위/지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 자원이용 및 양분관리 기술 체계 구축 - 데이터 기반의 경축순환농업모델 개발과 정립과 활성화 방안 제시
	내용		<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관기관 : 상지대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 퇴·액비생산 시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 보완 <ul style="list-style-type: none"> • H/W, S/W 매뉴얼 보완 - 퇴·액비생산 시스템 및 바이오에너지화 시설의 경제성 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 에너지 효율성, 작물 생산성 및 경영비 등을 통한 종합적 평가 - 소단위 경축순환 거버넌스 모델 도출 - 농업지대(산간지, 중산간지, 평야지)별 퇴·액비 적정 시비량 설정('22~'23) <ul style="list-style-type: none"> • 농업지대별 퇴·액비 적정 시비량 평가('22~'23) - 경축순환을 위한 시비 처방 기술 제시 <ul style="list-style-type: none"> • 작물별 시비 처방 기술 매뉴얼 정립 ○ 제1공동연구기관 : 환경대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 국가단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 자원이용 및 양분관리 기술 적용체계 구축 - 지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 자원이용 및 양분관리 기술적용체계 구축 - 소단위/국가단위 양분수지 기반 경축순환모델 실현 기술체계 제시 <ul style="list-style-type: none"> • 전국 시/군 단위별 경축순환 모델 적용 기술체계 제시 및 정량적 효과 분석 - 소단위 양분수지 기반 경축순환농업을 위한 기술 매뉴얼 개발 <ul style="list-style-type: none"> • 필지단위 관리 매뉴얼 개발 ○ 제2공동연구기관 : 서울대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 기반의 경축순환농업모델 개발 및 정립 <ul style="list-style-type: none"> • 바람직한 소(지역단위)·국가단위 경축순환모델 정립 - 데이터 기반의 경축순환모델 정립을 위한 관련분야 DB 구축 방안 제시

		<ul style="list-style-type: none"> • 농산부산물 발생량 DB와 가축분뇨 발생량 DB, 지역별 토양조사 DB(농촌진흥청 흙토람)를 활용한 비료사용처방서 활용 및 농경지토양 양분관리를 기초로 한 데이터 기반의 과학적인 경축순환농업모델의 개발 - 경축순환 연계를 통한 자원화 방법을 고려한 경축순환농업 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> • 해당지역의 농축산부산물 발생 형태와 처리 방식 등을 종합적으로 고려한 경축순환모델 개발 • 소 지역(지역단위)에서 생산된 가축분뇨가 퇴액비 자원화 또는 에너지화를 통해 해당지역의 경종농가 농경지에 모두 살포되는 완전한 순환형 모델 제시 • 자원화 주체별(공동자원화시설, 액비유통센터 등)·작물생산 형태별(논·밭·조사료 등) 등 유형별 경축순환농업모델 제시 - 완전순환모델의 활성화를 위한 효과적인 운영 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> • 농축산부산물 및 가축분뇨자원의 생산, 유통, 이용 활성화를 위한 정책방안 제시 • 기존의 정책과 연계한 새로운 실행 프로그램 제시 • 농경지의 양분관리제도와 연계하여 추진하는 방안 ○ 제1위탁연구기관 : 농정연구센터 <ul style="list-style-type: none"> - 지역단위 경축순환시스템 실증적 성과평가 <ul style="list-style-type: none"> • 1~3년차 데이터 활용 실증적 성과 분석 - 지역단위 경축순환시스템 지역영향 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 경영체성과 및 지역영향, 기후·환경영향 결합 통합분석 • 10개년 추정 편익 등 중장기 예측 분석 - 경축순환시스템 성과평가 및 지역영향평가 디지털화 방안 <ul style="list-style-type: none"> • 정책적 시사점, 평가·분석 체계화를 위한 시스템 제안 ○ 제2위탁연구기관 : 축산환경기술원 <ul style="list-style-type: none"> - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질 평가지표 도출 - 소단위 경축순환형 축산농가(각 축종별) 환경관리 평가지표 도출
--	--	---

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관연구기관: 상지대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨를 이용한 정제액비/바이오액비 생산기술 확립 - SS 5,000mg/L 이하 정제액비 생산기술 확립 - 클로렐라 세포수 10⁶cells/mL 이상 정제액비 생산기술 확립 - Pilot-Scale 정제액비 및 바이오액비 생산시설 구축 - Pilot-Scale 발효액비, 바이오가스 생산시설 구축 - 정제액비 등을 이용한 수경재배를 통한 작물 생육 평가 - 바이오액비의 엽면시비 시용 효과 분석 - 테스트베드(강원 횡성)의 경축순환 관련 현황 조사 - 경영체(자원화시설) 수지분석 방법(안) 검토 - 소단위(마을단위) 경축순환지구 경제성 분석 방안 구상 - 소단위 경축순환 재배 조사료 품질 및 토양성상 평가 - 소단위 경축순환형 축산농가 사양관리 실태 및 우수사례 평가 ○ 제1공동연구기관: 환경대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 양분 유입원·유출원의 분류 - 양분유출원 관련 통계자료 목록 및 특성 도출 - 토양경계 양분수지 방법론을 이용한 전국 지역단위 질소/인수지 분석 - 테스트베드(강원횡성) 소지역 자료 수집 및 양분수지 분석 - 지역단위 양분수지 관리지표 설정 방법론 도출
--------	--

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제2공동연구기관: 서울대 - 경축순환농업의 개념 정립 과정 정리 - 경축순환농업과 관련 개념(자원순환농업, 친환경농업, 탄소중립)과의 연관관계 정립 - 현재까지 시도되어 온 양분수지 계산 방법론(토지수지, 토양수지 등)의 정리 - 양분수지 관리 원활화를 위한 DB 구축안 제시 - 사업주체(축산업자, 바이오가스사업체, 농업인)별 유형 구분 - 사업대상(돈분, 우분, 농업부산물 등)별 유형 구분 수행 - 주요국의 경축순환농업 사례를 검토하여 시사점 도출 - 일본, 미국, 유럽연합 각국, 중국의 축산분뇨 및 양분수지관리정책 검토 - 현 우리나라 제도와의 비교, 벤치마킹 가능한 요소 식별
--	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - Data 기반의 경축순환 농업 모델 구축 - 과학적인 경축순환 농업 기술 적용 및 관리체계 구축 - 소단위 농축부산물, 분뇨 자원의 완전순환형 모델 구축 - 경축순환농업 활성화 방안 제시 - 작물별 표준시비처방 매뉴얼 제시 - 경축순환농업의 공익형 직불제와 연계 방안 - 기후변화 연계 분석방식 개발 - 양분관리 기반의 경축순환농업지구 조성사업 및 정책 추진 - 데이터 기반 경축순환농업 정착을 위한 DB 구축 방안 - 경축순환농업-수질오염총량관리 정책연계를 통한 지역개발 유도 - 한국판 뉴딜의 농업분야 핵심과제로 기여 - 기술-제도-정책 융합을 통한 농업환경 거버넌스 구축
---------------------	---

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	10	3				5						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	가축분뇨		순환농업		경축순환 모델		양분관리		농산에너지			
영문핵심어 (5개 이내)	Livestock excretions		Circulation agriculture		Crop-livestock models		Nutrient management		Agricultural energy			

< 목 차 >

제1장 연구개발과제의 개요	1
제2장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	3
제1절 국내·외 경축순환 사례	3
제2절 데이터 기반의 경축순환모델 개발 및 정립	25
제3절 소단위 농축부산물·가축분뇨자원의 완전순환형 경축순환 모델 정립 및 실증	177
제3장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	382
제4장 목표 미달 시 원인분석	390
제5장 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	391
제6장 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	393
제7장 참고문헌	394

제1장 연구개발과제의 개요

1. 주관연구기관: 상지대학교

- 퇴비 및 축분뇨를 이용한 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산기술 확립
 - 정제액비 생산시설 구축: 250L 규모 (2식)
 - 바이오액비 생산시설 구축: 500L 규모 (1식)
 - 정제액비(1종): SS저감형(5,000mg/L 이하) 정제액비
 - SS저감형 정제액비 생산 시 고액분리는 액비순환시스템 기반의 전기응집·분리 장치를 이용
 - 정제액비 기반 바이오액비(1종): 클로렐라(10^7 cell/mL 이상) 배양 바이오액비
 - 바이오액비 생산 전후 단계(고온액상발효+전기응집)에서 비료공정규격 상 병원성미생물(2종) 검토

- 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정을 통한 적정 시비량 설정
 - 시비량 분석을 위한 현장조사
 - 시험 지역: 평야지 및 중간지, 중산간지 및 냉조풍지, 산간고랭지, 시설재배
 - 시험 작물 선정: 논·밭작물, 사료작물, 시설재배작물
 - 조사 내용: 표준시비량과 비교한 지역별 시비량 조사, 작물재배 시 시비하는 퇴·액비 시비 방법 조사, 시비량에 따른 지역별 생산량 조사

- 수경재배를 통한 작물생육평가
 - 재배장소: 상지대학교 온실 (순수수경재배)
 - 대상 작물: 시설재배 작물
 - 처리 내용: 표준시비량과 비교한 농도별 액비/바이오 액비 시비량 처리
 - 조사 내용: 액비 시용량에 따른 작물 생육평가 (초장, 엽수, 엽면적, 뿌리길이, 생체중)
 - 액비 시용량에 따른 작물의 생산량 평가, 시비량과 식물체 내 화학성분 분석을 통한 작물 흡수량 평가, 표준시비량과 비교한 적정시비량 도출

2. 제1위탁연구기관: 농정연구센터

- 지역단위 경축순환 모델 성과평가 기법 및 핵심요소 개발: Techno-Economic 관점의 실증 성과분석 방법론 개발
- 지역경제 파급효과, 온실가스저감 등 기후변화대응 효과성 등 경축순환시스템의 새로운 경제성 요인 도출
 - 선행연구 및 외국 분석사례 리뷰

- 실증단지·지구 성과분석을 위한 지표 항목 설계
 - 실증단지·지구 기초 현황 분석 및 1차년도 실증 데이터 수집

3. 제2위탁연구기관: 축산환경기술원

- 소단위 경축순환 재배 조사료 품질조사
- 소단위 경축순환형 축산농가 우수사례 조사

4. 제3위탁연구기관: (주)순정에너지환경

- 소단위 완전순환형 경축순환 액비화 및 에너지화(바이오가스) 실증 시설 구축
 - 바이오가스 생산시설 : 500L 규모 (1식)
 - 발효액비 생산시설 : 500L 규모 (1식)

5. 제1공동연구기관: 한경대학교

- 소단위 (시/군) 양분수지 분석을 위한 자료 수집 및 자료 체계 구축
 - 지역단위 (시/군) 양분수지 분석 : 유입(가축분뇨 퇴액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적 질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수), 유출(작물생산, 작물부산물, 대기 유출, 수계유출)
 - 실증지역 (횡성) 소지역 양분수지 분석을 위한 현장 자료수집 및 시료분석 : 지역 경계조건 설정, 농경지 비료사용량 실태조사, 농경지 면적 및 작물 재배 현장조사, 작물별 수량 현장조사, 관개수 수질분석
 - 실증지역 (횡성) 소지역 양분수지 분석 : 유입(가축분뇨 퇴액비, 화학비료, 유기질비료, 생물학적질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수), 유출(작물생산, 작물부산물, 대기 유출, 수계유출)

6. 제2공동연구기관: 서울대학교

- 경축순환농업의 개념 정립과 관련분야 이론의 체계화
 - 자원순환농업(resource cycling agriculture)의 대표적인 사례로 경축순환농업의 개념 정립
 - 농경지의 투입과 산출을 기초로 환경부하 분석 이론, 물질순환의 이론 등 경축순환농업 관련분야의 이론의 체계화
- 경축순환농업의 범위 및 유형, 경축순환모델의 구성 요소 식별
 - 경종농가의 재배작목과 농경지, 농산부산물 발생량
 - 축산농가의 축종별 사육두수와 가축분뇨 처리 방식(퇴비화, 액비화)
 - 경종농가, 축산농가, 운영협의체, 자원화조직체, 농축협, 전문가 그룹 등 경축순환에 참여하는 관련주체의 식별
- 일본, 미국, 유럽(네덜란드, 덴마크) 등 주요국의 경축순환농업 운용 사례 검토

지역/국가단위 경축순환 모델 개발	
<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  국립한경대학교 HANKYONG NATIONAL UNIVERSITY </div> <div style="background-color: #f4a460; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> [제1공동연구기관] 소단위/국가단위 농축부산물· 가축분뇨 발생량 예측모델 개발 </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> -소단위/국가단위 농축부산물 및 분뇨 예측모델 개발 -소단위/국가단위 농축부산물 및 분뇨 모델 적용 평가 -예측모델에 기반한 자원화 방안 제시 </div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  CALS 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture and Life Sciences </div> <div style="background-color: #76b82a; color: white; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> [제2공동연구기관] 소단위/국가단위 농축부산물· 가축분뇨 활용 경축순환모델 개발 </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> -소단위/국가단위 경축순환 모델 개념정립 및 개발 -소단위/국가단위 경축순환모델 유형분류 및 평가체계 구축 -소단위/국가단위 경축순환모델 현장 검증(실증)보완 </div>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  상지대학교 SANGJI UNIVERSITY </div> <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;"> [주관연구기관] 소단위 농축부산물·가축분뇨 자원의 완전순환형 모델 개발 </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> -소단위 완전순환형 경축순환 모델 개념정립 및 개발 -소단위 완전순환형 경축순환 모델 테스트베드 실증 -소단위 완전순환형 경축순환 모델 운영 및 성과분석 -소단위 최적 퇴액비 수요처 탐색 및 시비처방기술 개발 </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> [위탁연구기관(1)]  상지대농정연구소 -소단위 완전순환형 종합분석(평가)방법 개발 (경영체 성과, 지역 영향파급력 및 온실가스저감 등) </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> [위탁연구기관(2)]  축산환경기술원 -소단위 경축순환형 조사료 품질기준안 도출 -소단위 경축순환형 축산농가 환경관리 표준모델안 도출 </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> [위탁연구기관(3)]  (주) 순정에너지 환경 -소단위 완전순환형 액비화에너지화(바이오가스) 시설구축 -pilot scale, SW, HW 의 효율적 에너지활용 매뉴얼 </div>

제2장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

제1절 국내·외 경축순환 사례

1. 국내 경축순환 연구 사례 및 문제점

가. 국내 경축순환 연구 사례

1) 지역단위 양분관리제 시범사업 결과 보고서

- 환경부 지역단위 양분관리제 시범사업(I, II) 결과 보고서(국립환경관리원, 2019, 2020)
 - 환경부의 지역단위 양분관리제 도입을 위한 시범사업은 1차로는 옥천군·금산군 소옥천(서하천) 등지에서 진행됐으며, 2차로는 논산시, 김해시, 군산시, 홍성군 등 시범사업 성과를 정리하였음.

○ 옥천군·금산군 소옥천(서하천) 지역 단위 양분관리제 시범사업

- 옥천군·금산군을 포괄하는 소옥천(서하천)의 경우, 하드웨어(시설) 설치·운영이 전제되지 않은 모델('비구조적 접근' 위주)이었으며, 대규모 시설(자원화시설, 공공처리시설 등)의 신규 설치·운영이 전제되어 있지 않았을뿐더러, 단년도 수지분석은 물론 B/C 분석을 위한 세밀한 비목 구분·관리도 이뤄지지 못했기 때문에 세밀한 경제성 분석(B/C 분석 포함)에는 한계가 있었다고 판단됨.

○ 홍성군 지역단위 양분관리제 시범사업

- 홍성군 양분관리제 시범사업의 경우, 실질적인 사업 진척이 제대로 이뤄지지 못한 한계점이 있음. 이는 ▲축산업 비중이 높고 사육규모가 큰 홍성군 축산농가·축산단체들의 동의와 협조를 얻어내기 매우 어려웠던 데다, ▲토지수지법(Land Budget)에 기반한 지역 내 양분수지 현황 조사·분석에만 집중하다 보니, 실질적인 양분 감축을 위한 방법론, 기술, 조직, 제도적 기반 마련이 제대로 되지 않아 난항을 겪었기 때문으로 보임.

2) 경축순환농업 활성화 관련 연구 성과

○ 경축순환농업 실태 분석과 활성화 방안(한국농촌경제연구원, 2020)

- 해당 연구에서는 개별 축산농가, 자원화경영체 등의 경제성 분석 사례를 소개하고 있음(가축분뇨 자원화, 경축순환을 통한 조사료 작물 재배·급여 효과 등).
- 경축순환농업의 경제적·환경적 편익 분석을 위해 ▲충남 서천군 기산면 경축순환농업단지 ▲강원도 철원군 공동자원화업체(청정양돈) 중심의 돈분 발효액비 활용 경종농가 기비·추비 활용 모델 ▲대전광역시 석척농장(대표 백석환) 자가 TMR 제조·급여 모델 등을 소개·검토하였음.
- 충청남도 서천군 기산면 경축순환농업단지 및 강원도 철원군 공동자원화업체 중심의 돈분 발효액비 활용 모델에 대해서는 기초적인 B/C 분석이 이뤄졌음(20년 기간), 대전광역시 석척농장 자가 TMR 제조 모델에 대해서는 사료비 절감 및 육질등급 향상으로 인한 소득 증대 효과에 대한 수지 분석이 이뤄졌음.
- 경종농가 및 축산농가의 경영장부·영농일지 등의 분석을 통한 비용·편익요소 세부항목별 분석 결과는 도출하지 못했으며, 지역경제 및 환경에 대한 파급효과에 대한 분석까지는 이르지 못한 것으로 파악되었음.

- 그러나 본 연구에서 수행하고자 하는 소단위(마을단위) 경축순환모델 경제성 분석 작업에 있어서는 접근`방법론과 관련하여 일정한 시사점을 제공하고 있어, 해당 연구에서 활용했던 접근 방법을 모델별(옥수수 사료 자급·급여 한우농가 조직 등) 수지분석·경제성 분석 등에 응용·적용하고자 함.

3) 광역 지자체 가축분뇨처리기본계획, 기초 지자체 가축분뇨처리세부계획 연구용역

- 시·도 가축분뇨처리기본계획 연구용역 및 시·군 가축분뇨처리세부계획 연구용역 보고서(정책연구관리시스템 www.prim.go.kr 검색 결과)
 - 현행 “가축분뇨법”에 의하면 시·도 및 시·군은 매 5년마다 가축분뇨처리를 위한 기본계획(광역) 및 세부계획(기초)를 수립하여 추진하여야 함.
 - 본 연구에 참고하기 위한 자료를 획득하기 위하여 시·도 가축분뇨처리기본계획 및 시·군 가축분뇨처리세부계획 수립과 관련한 연구용역보고서를 입수·분석하였음.
 - 해당 기본·세부계획들은 지역별 실정(관내 가축사육두수 현황 및 향후 전망 포함)을 반영·분석하여, 연구용역 후 5년간 적용될 가축분뇨처리기본·세부계획 및 이를 뒷받침할 인프라 투자·관리 방안 등을 제시하고 있음.
 - 향후 차기 계획 수립 시, 경제·사회적 여건 변화, 이와 연계된 축산농가들의 사육 의향(사육두수 증감) 및 가축분뇨 배출량 증감 전망치, 가축분뇨처리를 위한 공공처리시설·자원화 시설 등의 설치·확장·보수 등과 관련한 지역 주민들의 여론 등을 더욱 충실히 반영하여 현실성 있는 계획이 수립될 수 있도록 개선될 필요가 있음.

4) 그 외의 연구성과들

- 축종단체별(한우, 낙농, 한돈 등) 퇴비 부숙도 의무화 대응방안 보고서(2019)
 - `20. 3. 가축분 퇴비 부숙도 검사 의무화에 대비하여, 축종별(한우, 양돈, 낙농, 양계 등) 농가들의 퇴비화 관련 실태 현장·설문조사를 실시. 이를 기반으로, 축종별 단기 대응방안을 도출하였음.
 - 한우 농가의 경우, 가설건축물 방식의 퇴비사 신축, 퇴비 교반·관리 방법 개선, 부숙도 검사 방법(종자발아법, 콤백·슬비타 등을 활용한 분석법) 외 화학적 분석 방법을 고시에 명시, 퇴·액비 관리대장 작성 양식 개선 등의 대안을 제시하였음.
 - 아울러 현장 농가에 대한 광범위한 설문조사를 통해 퇴비 교반·보관 방법, 퇴비사 마련 여부, 교반 장비 마련·활용 여부 등을 조사·분석하여, 퇴비 부숙도 검사 의무화 이행과 관련한 정책 참고자료로써 활용되었음.
- 농정연구센터에서 기 수행한 타 기관 경제성 분석 조사 연구용역 보고서
 - 농정연구센터는 지자체 등의 농업관련시설 혹은 농산물유통과 관련한 기관(공공조직 등)의 신규 설립·운영과 관련한 경제성 분석 연구용역 성과들을 다수 보유하고 있음.
 - 이에 본 연구 추진과 관련한 참고사항을 확인하기 위하여 이들 연구용역 결과를 수집·분석하면서, 수지분석 및 B/C분석 등 경제성 분석 방법론 등에 대해 점검·검토하였음.
 - 기초 지자체 농업 관련 공공사업 타당성 분석 연구용역 성과분석, 경제성 분석 및 고용유발효과, 지역경제 파급 효과 분석 등 관련 기법 검토·숙지하였음.
 - 본 연구에서는 3차년도 연구성과 취합·정리 시 위 연구 방법론을 적용하여 지역사회 전체에 대한 파급효과 및 탄소중립 실현 등의 효과에 대해서도 분석하고자 함.

나. 국내 경축순환 연구 문제점

- 국내 선행 연구는 주로 경영체(개별 축산농가, 자원화시설, 공공처리시설, 액비유통전문조직 등)의 운영 성과 분석(경제성 분석 비용편익 B/C 분석) 위주로 진행되었음
 - 이전 연구에서는 대체적으로 비용편익 B/C 요소에 대한 세밀한 분류, 연차별 증감 요인 반영 등 현실 조건에 가까운 분석작업이 이뤄지지 못한 것으로 판단됨
 - 특히 자원화시설·공공처리시설의 재무제표, 농가경영자료 등 세밀한 기초자료 확보가 잘 이뤄지지 않았음. 다만, 이들 분석작업은 농가경영장부 및 영농일지 등에 대한 세부 분석이 이뤄져야만 체계적이며 일관성 있는 자료 확보가 전제되어야만 가능하나, 경종·축산농가들의 경영자료 작성·관리가 제대로 안 되고 있으며, 경영 성과에 대한 공개·공유를 꺼리는 분위기 때문에 한계가 있는 것으로 판단됨.
 - 비용편익 B/C 분석 세목들의 연차별 증감 요인 반영과 관련한 한계가 있었음. 이는 위에서 언급한 농가별 경영자료 작성·관리 및 공개·공유 문제와도 연관이 있는 것임.
 - 전·후방 관련 산업에 대한 파급효과, 고용유발효과, 지역사회 기여 등의 분석 결과도 다소 부족했음. 이는 자원화시설·공공처리시설 등 대규모 시설의 설치·운영을 수반한 연구('구조적 접근')보다는, 기존 경종·축산농가 보유 시설·기계 등을 활용한 '비구조적 접근' 위주로 연구가 설계·진행됐기 때문에 빚어진 결과로 보임.
 - 실제(향후 예측되는) 데이터에 기반한 기후(온실가스), 환경 개선효과 분석 등이 이뤄지지 않아, 이번 연구에서 시도되어야 하는 과제로 판단되었음. 온실가스 감축 및 탄소중립 이슈는 최근('19.~'21.) 들어서야 본격적으로 제기되었으며, 이들 논의·연구를 뒷받침하기 위한 방법론(환경산업연관분석, 전과정평가 등)은 품목·축종별로 아직 초기 단계에 머물고 있어 연구 접근·방법론이 확립되지 못한 한계점도 있기 때문임.

2. 국외 경축순환 정책 및 사례

가. 일본

1) 경축순환 정책

- 위와 같은 환경오염저감, 쌀 과잉생산 방지, 사료자급률 향상을 목적으로 경축순환과 관련하여 농업 주요법령 2개(식료·농업·농촌 기본법, 식품순환자원 재생이용 등의 촉진에 관한 법률)에 관련 내용을 반영함.
 - 식료·농업·농촌 기본법에 사료용 쌀, 사료용 옥수수 등 주식용 쌀 이외의 방향으로 논을 활용하기 위해 논 활용 직접지불 교부금을 지원하는 내용이 명시되어 있음.
 - 또한 사료용 쌀의 생산 비용 절감, 경축 연계를 통해 생산한 사료용 쌀을 급여한 축산물의 브랜드화 내용이고 사료업계 등의 수요에 부응하기 위한 사료용 쌀의 생산 확대와 생산자와 수요자 간 사료용 쌀 다년 계약을 통한 안정적인 거래 확대 등을 추진하는 내용이 포함됨.
 - 식품순환자원 재생이용 등의 촉진에 관한 법률에서는 식품리사이클법은 식료품의 재고나 식품 잔여물, 제조·가공·조리 과정에 따라 발생한 쓰레기 등 식품 폐기물에 대해서 ① 발생 억제 및 감량화를 통한 최종 처분량의 감소 ② 사료나 비료 등으로 이용, 열회수 등의 재생 이용을 목적으로 하는 기본 방침을 정하고, 주로 식품 관련 사업자에 의한 활동을 촉진함.
- 실제 경축순환과 관련하여 수행 중인 정책들은 쌀을 중심으로 연계하는 방식으로 설계됨.

표01 일본 경축연계 관련 정책사업 목록¹⁾

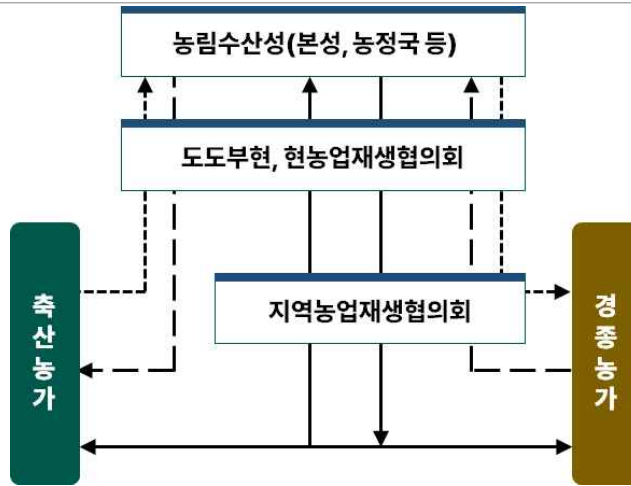
사업 내용 구분	관련 정책사업명
신규 산지 조성 등 생산 확대 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 논 활용 직접지불 교부금 • 지속적 생산강화 대책 사업 중 환경부하 경감형 낙농경영 지원
생산성 및 경영 효율성 향상 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 논 활용 직접지불 교부금 • 축산·낙농 수익력 강화 종합 대책 기금 등 사업 • 축산 생산 능력·생산 체제 강화 대책 사업 • 산지 생산 기반 파워업 사업
수급 관리를 위한 지역 내 또는 광역 단위의 경축 매칭	<ul style="list-style-type: none"> • 축산 생산 능력·생산 체제 강화 대책 사업 • 사료용 쌀 생산자와 축산 농가와의 매칭 지원²⁾
경축연계 활동에 따른 생산물의 고부가가치화(브랜드화) 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 쌀 활용 축산물 등 브랜드화 추진사업 • 축산 생산 능력·생산 체제 강화 대책 사업
우수 사례 공유, 매뉴얼 작성 등 홍보 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 쌀 활용 축산물 등 브랜드화 추진사업 • 축산 생산 능력·생산 체제 강화 대책 사업

주:1) 2020년 기준으로 정리된 내용임.

2) 예산사업에 해당하는 사업은 아님.

- 이러한 정책들은 사료용 쌀에 대해 직불금을 교부하는 방식과 정책들과 축산분뇨의 이용 고도화에 보조금을 지원하는 정책으로 주로 구성되어 있으며, 이는 현재 우리나라에서 수행한 바 있는 이모작 관련 직불금, 논 타작물 재배 관련 지원, 공동자원화시설에 대한 지원과 유사하게 수행됨.

- 다만 우리나라의 경우와 다르게 사료용 쌀 농가와 축산농가를 매칭시키는 정책, 사료용 쌀을 활용한 축산물의 홍보에 대한 지원정책이 추가로 실시되고 있음.
- 사료용 쌀 생산농업인의 공급 관련 정보와 축산 농업인의 수요 관련 정보 교류를 증대하며, 지역 재생협의회에서 재배면적과 수량을 정리해 축산농업인 등에 제공하고 각 관계 기관이 해당 정보를 기반으로 수요자-공급자 매칭을 추진하여 연간 120만 톤 수준의 사료용 쌀을 공급함.



자료: 農林水産省(2019b), 「飼料用米の推進について」

그림01 사료용 쌀 생산자와 축산농가 간 매칭 체계

- 연간 2,500만 엔 수준의 예산으로 브랜드화 전략 수립에 관한 검토회의 개최, 생산 유통 실태 조사, 판로 개척·판매 촉진을 위한 PR 활동 등을 지원하는 ‘쌀 활용 축산물 등 브랜드 전개 사업’을 실시하며, 일본 양돈협회와 일본 사료용 쌀 진흥협회를 중심으로 진행되고 있음.

参加できる方
 令和元年度の飼料用米の生産で、次の条件を全て満たす方
 ・多収品種(知事特選米)をとおよび1ha以上生産する方
 ・生産コスト削減等に取り組む方

開催スケジュール
 ・元年5月7日 応募開始
 ・元年7月1日 応募締切
 ・2年1月末日 取組の報告締切
 ・2年2月 審査委員会
 ・2年3月 表彰式(東京都内)

授賞
 成績優秀者には、以下の賞が授与されます。
 ・農林水産大臣賞 ・政策局長賞
 ・全国農業協同組合中央会会長賞 ・全国農業協同組合連合会会長賞
 ・協同組合日本飼料工業会会長賞 ・日本農業新聞賞

応募先及びお問い合わせ窓口
 各プロダクト事務局へ御相談下さい。
 (裏面をご参照下さい。)

【主催】(一社)日本飼料用米振興協会 農林水産省
 【後援】JA全中、JA全農、協同組合日本飼料工業会

**応募に
ついて**
 ●飼料用米を活用した畜産物をブランド化し販売している畜産事業者等
 ●飼料用米の給飼割合が一定以上であること等
 (詳しくはホームページ掲載の募集要項を参照して下さい。)

**開催
スケジュール**
 ●応募期間 令和元年7月22日~10月31日
 ●審査要項 令和2年1月下旬予定
 ●表彰式 令和2年3月18日(東京都内)

後援
 ●農林水産大臣賞
 ●政策局長賞
 ●全国農業協同組合中央会会長賞
 ●全国農業協同組合連合会会長賞
 ●公益社団法人中央農業連合会賞

**応募先及び
お問い合わせ**
 主催 一般社団法人日本飼料用米振興協会 (住所: 神戸 塩屋)
 代表 田中 幸子 TEL 078-720-0000 FAX 078-720-0001
 連絡先 TEL 03-70-0370 FAX 03-70-0370-7337
 e-mail: info@j-fra.or.jp
 後援 農林水産省 全国農業協同組合中央会 公益社団法人中央農業連合会
 協賛 農林水産省 農林水産省農産物加工流通センター
 http://tokumei-saohachi.jp/index.html

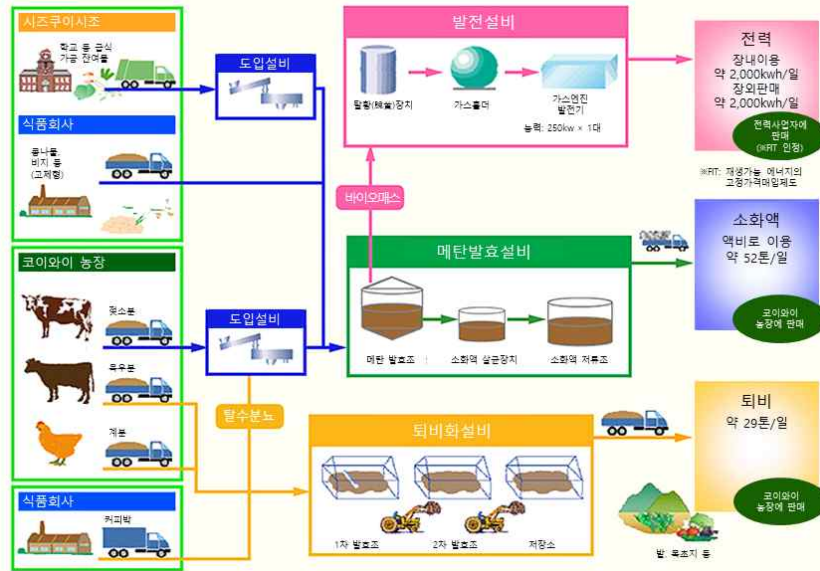
農林水産省補助事業 令和元年度米活用畜産物等全国展開事業

자료: 一般社団法人 日本飼料用米振興協会 (www.j-fra.or.jp/)

그림02 사료용 쌀 보급 확대 대회 관련 포스터

2) 경축순환 사례

- 이와테현(岩手縣)에서 우분, 계분 퇴비화와 바이오가스 생산 연계사업의 성공례가 있음.
 - 코이와이 목장(주), 미쓰비시 중공업(주) 등의 민간 부문과 시즈쿠이시조 지자체가 협력하여 (주)바이오매스파워 시즈쿠이시 설립을 추진함.
 - 가축분뇨의 퇴비화에서 사업 범위를 확장, 가축분뇨를 발효시켜 발생한 메탄가스로 전기를 생산함.
 - 폐기물의 효율적 이용, 고용 창출 효과, 또한 악취, 수질 오염 등의 피해 감소, 에너지 관련 사업 우수사례 수상 등의 실적을 홍보하여 관련지역 관광업 진흥으로 연계함.



자료: (株)바이오매스파워-しずくいし(www.bps-koiwai.co.jp, 검색일: 2020. 5. 28.). 정학균 외(2020)에서 재인용

그림03 (주)바이오매스파워 시즈쿠이시 사업 개요도

- 이바라키현에서 등외품 연근을 돼지 사료로 사용함으로써 드물게 양돈업과 발작물 간 경축순환시스템을 구축한 사례가 있음.
 - 양돈 농가 히로하라(廣原)축산은 연간 모돈 70두, 비육돈 약 1,200두를 출하하는데, 비육돈에게 출하를 하기 전 45일 동안에 걸쳐 사료에 15%의 연근을 급여함.
 - 본격적이 급여 방법 이전에 단계별, 급여기간별, 급여비율별 등 세 가지 항목에 대해 급여 시험을 실시하였음.
 - 히로하라 축산은 이윤 증대를 위해 돈육 차별화, 지역 자체 브랜드 개발 등을 하여서 연근 돼지 취급 음식점에서 일반보다 높은 가격에 납품하는 데 성공함.

나. 네덜란드

1) 경축순환 정책

- 네덜란드 정부의 정책은 농가 내 순환, 농가 간 순환 등 두 형태의 지역 내 자원순환 이행 방안을 동시에 검토하고 있음.
 - 농가 내 순환이 한 농장이라는 작은 범위의 순환고리를 형성한다는 점에서 기본적으로는 농가 내 순환구조를 확립하는 것을 이상적으로 인식함.
 - 하지만 고도의 농가 전문화가 이루어진 현실조건에서 농가 간 자원순환체계 형성이 더욱 용이하고 효율적일 것으로 판단하고 있음.

- 2030년까지 경험 축적을 통해 네덜란드가 세계시장에서 순환농업을 선도하도록 지원하는 것을 목표로, 중앙정부 차원에서 세 가지의 정책프레임워크 이행 조건이자 세부 목표를 제시함.
 - 기존 시장 유통구조에서는 소요되는 추가 노력과 비용을 보상할 만큼 소득이 증대되지 않는 점을 순환농업 이행 과정의 주요 해결과제로 인식하고 생산자의 경제적 이익 보장과 협상력을 제고함.
 - 생산자의 경제적 여력 확보와 더불어, 순환농업 이행의 조건으로 정부는 식품 생산의 사회적 가치와 함의를 새롭게 인식하는 소비자의 역할을 강조함.
 - 순환농업 체제의 국내 도입을 넘어 수출입 농산물과 원료에도 적용하며, 네덜란드 산업계가 지속 가능한 방식으로 생산되고 자원 순환이 가능한 상품만을 구매, 이용한다는 협약(covenant)에 참여함.

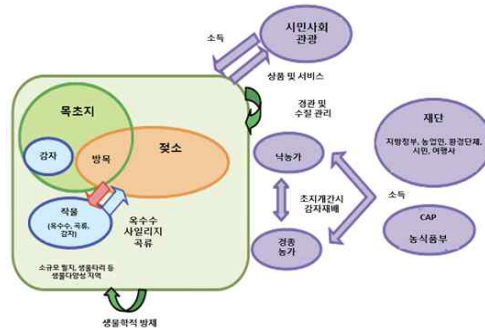
- 네덜란드는 순환농업과 관련하여 중앙정부, 시도 자치단체, 수자원관리체 등의 이해관계자 간 협업 기반을 마련하는 ‘상호 행정 프로그램(Inter-Administrative Programme)’을 지속적으로 추진하고 있음.
 - 농업, 식품, 자연환경을 넘나드는 분야 간 협력 이니셔티브나 지역단위 순환농업 활성화를 도모하는 ‘지역 포트폴리오(Regional Portfolio)’의 전개 추이와 지원 요구를 긴밀히 살피고 있음.
 - 정부는 지역 주민 주도로 이러한 사업들이 발의되거나 운영되도록 장려하며 상호 행정 프로그램의 ‘활력 있는 농촌’ 부문에 할당된 예산이나 연합정책협정의 예산으로 지역 주도 이니셔티브를 재정적으로 지원함(Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality of the Netherlands, 2018).

- 네덜란드는 이처럼 국가단위 정책으로 순환농업을 명시적으로 장려하고, 이를 반영하여 순환농업을 위한 지역단위 거버넌스를 구축하는 방향으로 경축순환 관련 정책을 설계 및 실행하고 있음.
 - 정부가 추구하는 농업과 환경 간 조화와 균형이, 개별 농장이나 공동체가 아니라, 지역단위에서 기획되고 이행되도록 정책을 설계함.
 - 주와 시 정부뿐만 아니라 지역의 수자원위원회를 중점 협업파트너로 인식하고 협의 채널에 포함시켜 주요 의사결정 과정에 참여토록 하고 있음.
 - 지역단위 협력 사업은 중앙 및 지역 정부와 여러 이해관계자 사이에 체결된 ‘지역단위 계획(Regional Deal)’과 중앙 및 지역정부 간 협의체에 해당하는 ‘상호 행정 프로그램(inter-administrative Programme)’의 방향과 틀에 부합하도록 할 방침임.
 - 순환농업 원칙을 적용하는 새로운 실험과 시도에 법률, 명령, 규제 완화나 면제를 부여하며 지역에서 발의된 혁신 이니셔티브가 조기에 안착하도록 순환농업 원칙을 적용하는 새로운 실험과 시도에 법률, 명령, 규제 완화나 면제를 부여하는 방식으로 지원함.

2) 경축순환 사례

- 네덜란드 남서 지역에서 유기농 재배를 하는 2개의 경종 농가가 초지클로버를 재배하여 낙농가에게 공급하였고, 낙농가는 가축분뇨를 제공하여 경종 농가가 비료로 이용하게 하였음.
 - 교환되는 자원의 양을 얼마로 할 것인지는 매년 방문을 통해 합의되며, 교환 시기 등과 같은 사소한 일은 전화를 통하여서 결정함.
 - 운영협의체 구축이나 계약서 작성 등 제도적인 구속력을 발휘하는 수단이 사용되지 않는다는 점이 특징으로, 조사료를 중심으로 하는 경우 경축순환 연계체계 구축의 시작이 매우 용이해짐을 시사함.
 - 이러한 국내 경축순환 모범사례인 서천군 사례에서도 관찰되는 요소로, 초기 소단위 경축순환모델 구축에 있어 조사료의 중요성을 보여줌.

- Winterswijk(네덜란드 동쪽에 위치한 Gelderland 주의 지역)에서의 경축순환 예시가 있음.
 - 경종농가와 낙농가 간에서 농지 교환을 통하여 초지가 개간될 때에 맞추어 감자재배를 할 수 있도록 하는 것이 골자로, 초지를 감자 운작에 연계시키고 가축분뇨를 감자재배의 비료로 이용함.
 - 경종 농가는 낙농가로부터 농지를 대부분 연 단위로 임대하며 가축분뇨를 감자재배지에 비료로 이용한다는 조건이 부여됨. 감자가 수확된 이후에 초지를 돌려받은 낙농가는 초지를 재파종함.



자료: Moraine et al.(2014). 정학균 외(2020)에서 재인용

그림04 Winterswijk 지역의 농가 간 경축순환 방식

다. 미국

1) 경축순환 정책

- 미국 환경보호청(The U.S. Environmental Protection Agency; EPA)의 국가 오염물질 배출 방지체계(NPDES: National Pollutant Discharge Elimination System)를 중심으로 축산 환경 관리 제도가 운영됨.
- 해당 제도는 청정수질법(Clean Water Act)에 근거하여 공장 등 수계에 대한 각종 ‘점오염원(Point Sources)’을 관리하는 것을 목적으로 하며, 이때 축산분야에서 밀집사육시설(CAFOs: Concentrated Animal Feeding Operations)에 해당하는 농가를 점오염원으로서 관리 대상으로 포함함.
 - 밀집사육시설(CAFOs)은 대형(Large)과 중형(Medium)으로 구분되며, 축종별로 다른 사육두수 기준이 적용됨. 단, 중형(Medium)사육시설로 규정되기 위해서는 사육두수 기준 충족 외에, 시설 내에 특정 수역으로 이어지는 배수시설이 있어야 함.

- 이때 아래의 기준에 따라 밀집사육시설에 해당하지 않는 가축사육시설이라도, 주요 수질 오염원으로 볼 수 있을 때는 밀집사육시설로 간주하여 NPDES 허가를 요구할 수 있도록 연방법(40 CFR § 122.23(c)) 상에 근거가 마련되어 있음.

표02 대형, 중형 밀집사육시설(Large, Midium CAFOs)의 사육 두수 기준

축종	중형 밀집사육시설 사육두수 기준	대형 밀집사육시설 사육두수 기준
낙농용 소(성체)	200-699	700 이상
고기용 송아지	300-999	1,000 이상
낙농용 성체 소 또는 고기용 송아지를 제외한 소	300-999	1,000 이상
55파운드 이상의 돼지	750-2,499	2,500 이상
55파운드 미만의 돼지	3,000-9,999	10,000 이상
말	150-499	500 이상
양	3,000-9,999	10,000 이상
칠면조	46,500-54,999	55,000 이상
산란계(액상 분뇨 처리장치가 없는 경우)	9,000-29,999	30,000 이상
육계(액상 분뇨 처리장치가 없는 경우)	37,500-124,999	125,000 이상
산란계(액상 분뇨 처리장치가 있는 경우)	25,000-81,999	82,000 이상
오리(액상 분뇨 처리장치가 없는 경우)	10,000-29,999	30,000 이상
오리(액상 분뇨 처리장치가 있는 경우)	1,500-4,999	5,000 이상

- 밀집사육시설이 NPDES 허가를 획득하기 위해서는 축산분뇨 관리 시설, 오염물질 발생량, 축산분뇨 거래 기록 등을 보고하고 방류수질기준을 준수해야 하는 것 외에, 자체적으로 별도의 양분관리계획(Nutrient Management Plan)을 세우고 준수해야 함.
- 양분관리계획은 축산농가에서 배출되는 양분이 작물에 적절히 이용되어 수계로 유출되지 않도록 하는 관리계획이며, 축산분뇨와 가축부산물의 저장 및 관리, 수계유출 방지, 토양 및 비료성분검사, 유기질 비료 이용계획 등을 포함함.
- 양분관리계획에서는 축종별로 분뇨에 포함된 양분량의 차이와 서로 다른 작물 간의 양분 요구량 차이가 고려됨.

표03 NPDES 허가 관련 매뉴얼의 축산분뇨 종류별 양분량 차이

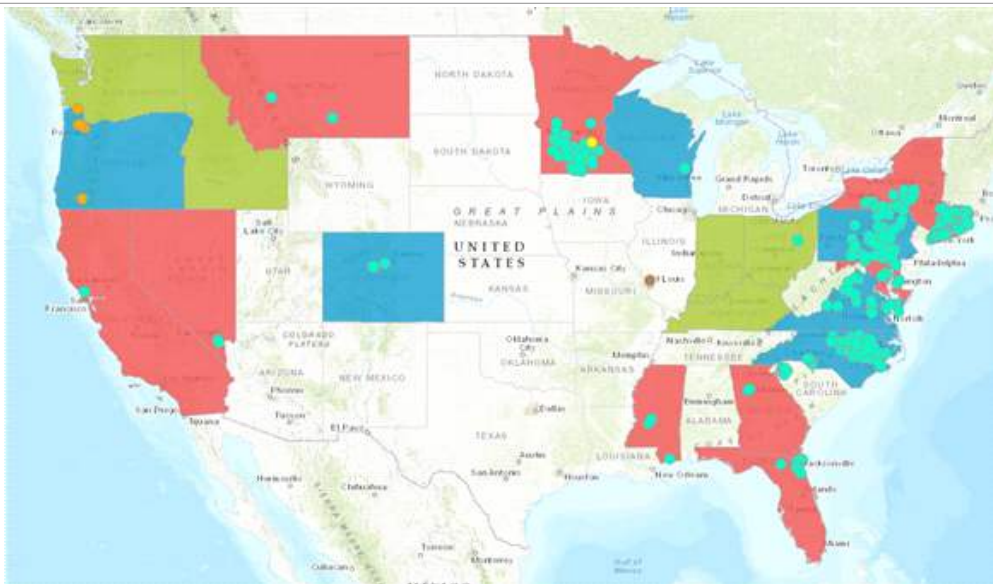
축종	분뇨에 포함된 양분량(pound per ton of manure)			
	질소		인	
	배설시	발효 후	배설시	발효 후
육용 젖소	10.95	3.3	3.79	3.23
젖소	10.69	4.3	1.92	1.65
미경산우	6.06	1.82	1.3	1.1
거세우	10.98	3.3	3.37	2.86
번식돈	13.26	3.32	4.28	3.62
기타 돼지	11.3	2.82	3.29	2.8
산란계	26.93	18.64	9.98	8.5
산란하지 않는 3개월 이상의 병아리	27.2	13.6	10.53	8.95
1개월 이하의 병아리	27.2	13.6	10.53	8.95
육계	26.83	16.1	7.8	6.61
육용 칠면조	30.36	16.18	11.83	10.06
번식용 칠면조	22.41	11.2	13.21	11.23

자료: EPA, 2012, NPDES Permit Writer's Manual for Concentrated Animal Feeding Operations

작물	단위	단위의 파운드 환산	파운드 당 소비 양분	
			질소	인
식용 옥수수	Bushel	56	0.8	0.15
사료용 옥수수	Ton	2,000	7.09	1.05
오트	Bushel	32	0.59	0.11
보리	Bushel	48	0.9	0.18
콩	Bushel	60	3.55	0.36
알팔파	Ton	2,000	50.4	4.72
버뮤다그래스	Pound	1	0.04	0.005
겨울밀(연질)	Bushel	60	1.02	0.2
겨울밀(경질)	Bushel	60	1.23	0.23
카놀라	Pound	1	0.035	0.006
벼	Bag	100	1.25	0.29
쌀(식용)	Bushel	56	1.07	0.18
수수 건초	Ton	2,000	2.39	1.01
종자용 사탕무	Pound	1	0.024	0.02
사탕무	Ton	2,000	4.76	0.94
트리티케일	Bushel	56	1.5	0.17
야생 벼	Pound	1	0.013	0.003

자료: EPA, 2012, NPDES Permit Writer's Manual for Concentrated Animal Feeding Operations

- 이때 NMP에 적용되는 기준(작물 생산량, 권장시비량, 시설 요구사항 등)을 주마다 다르게 적용할 수 있으며, 각 주에 맞는 기준을 설정하는 데 농업부 국가자원보호청(NRCS)의 주 (state) 사무소와 각 주립대학의 지원을 받음.
- NPDES 허가는 수질거래제도(Water Quality Trading)와 연계되어 추가적인 감축 유인으로 작용함.
 - 수질거래제도는 NPDES 허가를 획득한 시설 또는 점오염원들이 배출기준에 대한 추가 감축량을 크레딧 형태로 거래할 수 있도록 한 제도로, 질소나 인 배출량의 거래가 가능해 축산농가들에 감축 인센티브로 작용하고 있음.
 - 실제 수질거래제도는 대체로 질소, 인과 같은 양분 위주로 운영되고 있음.



주: 녹색 원은 양분, 주황색 원은 수은, 갈색 원은 퇴적물, 노란색 원은 COD 에 대한 거래임.

자료: EPA

그림05 2016년 기준 수질거래제도 크레딧 거래동향

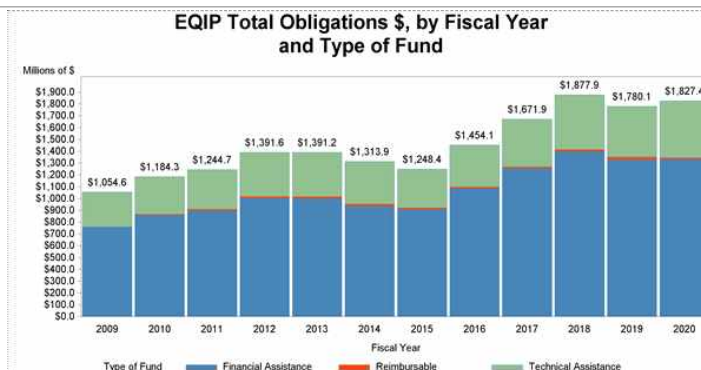
- NPDES허가는 환경보호청 소관의 정책이지만 CNMP와 같은 미국 농업부의 정책 프로그램들과 연계되어 있다는 특징이 있음.
- 우선 CNMP(Comprehensive Nutrient Management Program)은 미 농업부 환경보호국(USDA NRCS)의 환경보전프로그램인데, NPDES에서 요구되는 양분관리프로그램(NMP)을 대체할 수 있음.
- 이는 NMP에서 요구되는 최소 기준들이 CNMP에서 요구하는 기준들과 맞게 조율되어 있기 때문에, 결과적으로 미 농업부의 지원으로 설계한 CNMP를 통해 NPDES 허가를 받는 것이 가능함.
- 실제 EPA의 NPDES 허가 관련 가이드라인에서도 NPDES 허가가 필요한 밀집사육시설들에 CNMP를 이용하여 양분관리계획을 설립할 수 있음을 안내 중임.

표05 USDA CNMP와 NPDES NMP 구성요소의 비교

USDA CNMP 구성요소	NPDES NMP의 최소 요구조건
업체 세부정보	-
분뇨 및 폐수의 저장과 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 폐수 저장시설 • 수계로 유입 방지
농장 안전관리	<ul style="list-style-type: none"> • 화학물질 취급 • 수계와 동물의 직접 접촉 방지 • 가축 시체 관리
토지 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 양분유출 방지 활동
양분 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 유기질비료 투입 방법
토양 검정	<ul style="list-style-type: none"> • 토양 검정 방법
기록 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 기록 관리
사료 관리	-
기타 활동	-
자료 출처 명기	-

자료: EPA, 2012, NPDES Permit Writer's Manual for Concentrated Animal Feeding Operations

- CNMP는 하של할 EQIP와 같은 미 농업부의 환경보전활동 지원정책들에 참여하는 조건이며, 결과적으로 NPDES 허가는 농업부의 각 정책까지 연결됨.
- EQIP(The Federal Environmental Quality Incentive Program)는 농업 및 임업종사자에게 환경보전과 관련된 재정적, 기술적 지원을 실시하는 USDA의 프로그램으로 미 농업법(Farm Bill)에 기반함.
- EQIP는 2020년을 기준으로 약 13억 달러의 재정적 지원, 약 5억 달러의 기술적 지원이 실시된 대형 사업임.



자료: USDA NRCS

그림06 EQIP의 연간 지원액

- EQIP는 기본적으로는 축산환경관리를 위한 정책은 아니지만 실질적으로는 주로 축산분야 환경관리와 관련된 정책으로 운영되고 있음.
- 2014-2018년 기간 동안 EQIP 기금의 60%이상이 축산분야에 투입된 것으로 집계되었으며, 이로 인해 2019-2023년 기간동안은 축산분야 투입 비중 목표를 50%로 하향조정하였음.
- 다만 미 농업부는 이러한 비중 하락은 전체 EQIP 예산이 증액되면서 이루어진 것이기 때문에 축산분야 지원에 대한 축소가 아니라고 설명하였음.

표06 USDA EQIP 재정지원(Financial Assistance)의 축산분야 투입 비중

연도	축산분야 투입 (백만 달러)	전체 투입 (백만 달러)	축산분야 비중 (%)
2014	484.3	789.3	61.4
2015	471.8	762.5	61.9
2016	579.7	949.1	61.1
2017	686.1	1,093.5	62.7
2018	802.5	1,302.6	61.6

자료: USDA NRCS, 2018, Regulatory Impact Analysis for the Environmental Quality Incentives Program(EQIP)

- EQIP는 2021에 파일럿 프로그램으로 기후변화 관련 지원정책을 시행 중이며 이 중 양분 관리, 바이오가스와 같은 축산분뇨와 관련된 정책이 상당수 포함됨.

표07 2021년 EQIP 파일럿 프로그램

분야	2021 파일럿 프로그램
토양	피복작물 식재, 윤작 실시, 무경운 재배, 경사지 경운방식 개선 등
양분 관리	질소관리 등
축산 연계	혐기소화 바이오가스 발생장치
방목 및 초지	다년생 초본 사용, 방목 빈도 조절 등
산림 및 산림생태계	습지 식물 식재, 초지에 산림 조성 등
벼(Rice)	논에서의 메탄 저감, 식재방식 변경 등

자료: USDA NRCS

- AgSTAR는 축산분뇨, 음식물쓰레기, 작물잔사 등 유기물을 혐기소화조를 이용한 바이오가스 연료 사용을 지원하는 정책으로 미 농업부와 환경보호청에서 공동으로 수행하고 있음.



자료: NRCS

그림07 AgSTAR 사업 개요

- AgSTAR에서 중앙정부기관(EPA, USDA)은 금융 또는 설비를 직접 지원하지는 않지만, 프로젝트를 수행하는 사업자에게 기술, 교육 및 시장정보를 제공하고 파트너십을 체결한 관련 기관(대학, NGO, 주정부기구)들을 정책에 참여시킴.

표08 AgSTAR 프로그램에 참여하는 협력기관 목록

분류	기관명	비고
대학	코넬대학교, 아이오와주립대학교, 미시간주립대학교, 오클라호마주립대학교, 오리건주립대학교, 퍼듀대학교, 메릴랜드대학교, 위스콘신-메디슨 대학교, 위스콘신-오시코스 대학교 환경연구&혁신센터, 버몬트 대학교 공학-수리과학대학, 버몬트기술대학교, 워싱턴주립대학교	주로 신기술개발 차원에서 참여, 기술지원 실시
NGO	American Carbon Registry, Association of Illinois Cooperatives, The Climate Trust, Energy Trust of Oregon, Great Plains Institute, Illinois Green Economy Network, Seventhwave, Sustainable America, Sustainable Conservation, Sustainable Phosphorus Alliance	정책자문, 홍보사업, 사업자 대상 정보제공
주정부기구	California Department of Food and Agriculture, Kentucky Department for Energy Development and Independence, Minnesota Department of Agriculture, Nebraska Methane Workgroup, New Hampshire Department of Environmental Services Wastewater Engineering Bureau, New York State Energy Research and Development Authority, Oregon Department of Energy, State of Wisconsin, Vermont Agency of Agriculture, Food and Markets, Vermont Department of Conservation, Washington Department of Commerce	사업에 대한 제도적 지원

자료: USDA NRCS 자료를 저자가 가공

- 2021년 9월 기준 총 317개 프로젝트가 가동 중이며, 주로 낙농가가 참여함(317개 중 265개 낙농, 45개 양돈, 8개 양계, 8개 육우).



주: 빨간 원은 낙농, 녹색 원은 양돈, 보라색 원은 양계, 회색 원은 다수 축종을 의미함.

자료: EPA

그림08 AgSTAR 프로젝트 수행 지역

- 사업 규모는 2000년 시작 이후 지금까지 꾸준히 성장하고 있으며, 최근 전력생산보다는 난방 등으로 가스를 직접 사용하는 프로젝트의 비중이 커지고 있음.

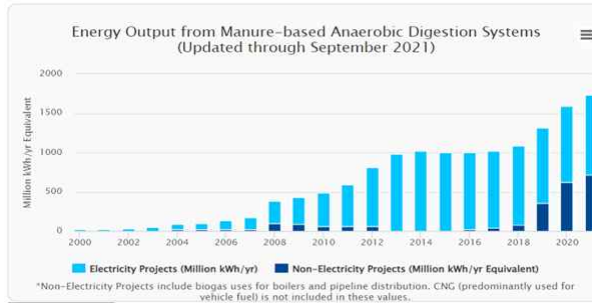


그림09 AgSTAR 프로젝트 유형

2) 경축순환 사례

- 미국의 아칸소 주에서 볼 수 있듯이 가축분뇨 관리를 통한 순환농업은 경종농가와 축산농가의 지리적 위치가 분리되어있을 때 힘든 것으로 나타남.
 - 아칸소 주는 미국 50개 주 중 닭고기 생산량 3위와 쌀 생산량 1위를 차지하고 있음.
 - 닭 생산은 농작물 생산성이 낮은 내륙 고지대에서 생산이 되지만, 쌀 생산은 물 공급을 위해 미시시피 강주변에서 이루어짐.
 - 이러한 지역적 분리는 주 단위에서 분뇨관리 걸림돌이 되었음.
- 2000년대 초 아칸소 주의 가금류 산업이 급성장하면서 오클라호마 주는 아칸소 주의 가금류 생산자를 상대로 소송을 제기하였으며, 그 결과 아칸소 주의 북부 가금류 생산자는 가축분뇨 폐기물 중 33%를 다른 지역으로 수출하여야만 했음.
- 초기에는 높은 운송비용과 지역 내 비료 판매 수입이 없어짐에 따라 가금류 산업이 쇠퇴할 것으로 예상하였음. 하지만 NGO의 기부, 정부 보조금 및 매칭 기금에서 130만 달러의 지원과 운송을 위한 분뇨의 품질(위생)을 개선하고 경종농가에서 쉽게 사용할 수 있도록 하는 기술적 혁신이 이러한 프로그램 성공에 기여하였음.
- 가축폐기물 수출프로그램은 가금류 생산자, 운송회사, 경종 농가간의 조정을 제공하여 물류부담을 제거하였음. 그 결과 많은 양의 가축 폐기물이 동부 아칸소, 캔자스, 오클라호마의 농장으로 운반되었음. 한편 소송을 당한 유역의 소 생산자들은 저렴하고 풍부한 비료 공급원을 잃게 되어, 목초지의 생산성이 감소하고 소의 사육 규모가 줄어드는 결과가 발생하였지만 의도 된 양분관리를 달성하기 위하여 수행되었음.
- 이러한 사례는 지역단위에서의 순환농업을 수행하기 위해서는 기술 개발, 정책, 이해당사자들의 충분한 협력이 필요한 것을 시사함.

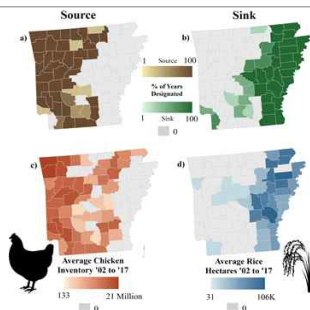


그림10 아칸소 주의 양분수지 및 농축산업 분포

- 델마르바 반도는 미국 동부 해안에 위치하며 델라웨어, 메릴랜드 및 버지니아 주 지역일부를 포함하고 있음.
- 2021년 기준 델마르바 치킨 생산 커뮤니티는 5억 7천만 마리의 닭을 생산하고 있음. 엄격한 환경 규제, 빈번한 소송 등은 분뇨관리에 대한 집단 행동을 유인하고 광범위한 이해관계자를 참여시킴.
- 가금류 농장에서 분뇨 영양소가 필요한 외부 토지로의 분뇨 재배치를 지원하기 위해 2000년 초 분뇨 처리 공장이 설립되었음. 이 공장은 주 및 연방 정부 보조금을 받고 가금류 산업에 의해 관리되는 민간 공공 부문 벤처임.
- 펠릿화 시설로 시작하여 펠릿화 및 포장된 가금류 깔짚, 부화장 부산물 및 가금류 가공 부산물을 현장에서 퇴비화 하였음. 펠릿화 된 깔짚은 유기 비료로 판매되어 2,000km 떨어진 오클라호마의 온실을 포함하여 전국의 주요 정원 매장 유통업체와 최종 사용자에게 배송되고 있음.
- 지역에서 공급되는 유기 및 비료인 깔짚이 있는 가금류 재배자들과 경종농가를 쉽게 매칭하기 위하여 어플리케이션 등을 통한 메시지 및 알림기능을 통한 연결 기능도 제공하고 있음.

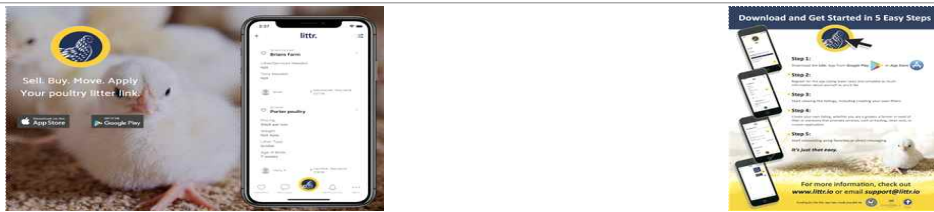
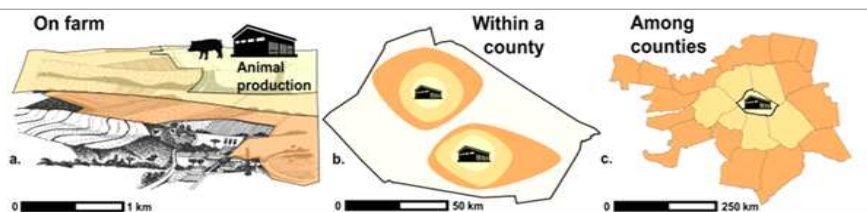


그림11 어플리케이션을 통한 매칭기능 예시

- 미국의 농축산업은 전문화와 집약화로 인하여 높은 생산성을 보이고 있지만 환경적 영향에 대한 우려도 대두되고 있음. 특정 지역 내에서의 가축분뇨 배출 및 토지 수용능력 차이로 인한 양분 불균형은 환경문제를 일으키고 있음.
- 분뇨를 활용한 순환농업을 구축하기 위하여 미국 농무부(USDA) 산하의 장기 농업 생태계 연구 네트워크(LTAR)는 축산지역과 농작물 생산지를 연결하는 지리적 개념인 거름재분배 지역(Manureshed)을 제안하였음. (접미사 -shed는 유역(watershed), 대기분수계(airshed)와 같이 지역을 구분)
- 거름재분배 지역은 다양한 규모로 관리할 수 있으며 작물과 가축이 모두 있는 농장단위, 카운티 내의 경종농가와 축산농가, 또는 멀리 떨어진 카운티의 농가 간에서도 관리될 수 있음. 미국은 카운티간의 영양소 재분배에 중점을 두고 영양 공급 카운티와 영양 흡수 카운티로 구분함.



자료: Research Network, illustrating farm, community (within county) and regional (among county) scales to which manure nutrients generated by animal production operations may be recycled in crop and rangeland production. Adapted from Spiegel et al., 2020b

그림12 거름재분배지역 예시

라. 중국

1) 경축순환 정책

- 2015년 이전까지의 중국의 가축분뇨 관리 관련 정책은 환경오염방지를 목표로 하였으며, 2001년 EPA는 축산으로 인한 오염 예방과 통제를 위한 행정 조치를 발표하며 축산분뇨 최대 허용 배출농도와 배출량 기준을 설정하였음.
- 2015년 UN이 지속 가능한 개발 목표(SDGs)를 채택한 이후 중국의 가축분뇨 관리정책은 분뇨자원의 재활용을 촉진하기 위한 정책으로 대체되고 있음.
 - 2015년 이전까지의 중국의 가축분뇨 관리 관련 정책은 환경오염방지를 목표로 하였음.
- 중국 정부는 가축분뇨의 자원 활용 촉진 정책 지침과 가축분뇨의 토지적용 및 오염방지 강화에 대한 두 가지 정책을 도입함.
 - 법에 따라, 농경지에서 가축 사육장의 적절한 활용을 가속화 하기 위해, 2020년까지 75%의 거름 재활용을 초기 목표로 설정함.
 - 토지 면적과 영양소 공급 및 수요 균형을 기준으로 농가 당 최대 가축 수를 산출할 수 있는 기술 가이드도 마련하였으며, 질소 취약 지대 또한 제안됨.
- 2017년에는 농경지 축산농가의 활용을 가속화 하기 위해 가축분뇨 사용체계 구축과 2020년까지 작물 및 축산체계의 통합을 개선하기 위한 메커니즘 개발을 포함하는 정책문서가 발간됨. 또한 2020년까지 거름 이용률 목표를 최소 75%로 설정했으며, 또한 대규모 축산농가의 95% 이상이 축산분뇨 처리를 위한 시설을 갖춰야 함.
- 2019년에는 농경지에 대한 비료 적용을 촉진하고 오염 관리를 강화하기 위해 가축분뇨의 종합 활용 목표를 2025년까지 80%, 2035년까지 90%로 설정한 또 다른 지침이 발표되었음.
 - 이러한 목표 달성을 위한 구체적인 방안, 농작물 수요에 맞는 적절한 시기 및 비율의 비료 적용, 제 3자 서비스 조직 강화, 토지에 비료를 효과적으로 적용하기 위한 시설 및 장비 고도화 등이 추진 되어 왔음.
- 2014년 개정된 환경보호법은 배출허가를 위한 규제제도를 도입하였음.
 - 국가 또는 지방 배출 기준을 초과하여 오염물질을 배출하는 기업 및 기관은 오염된 지표수 처리에 사용되는 부담금을 납부해야 하며, 2018년에 개정된 대기 오염 방지법은 순환농업의 발전을 규정하고 분뇨 처리에 대한 지원을 제공함.
- 모든 축산농가와 지역사회가 하수슬러지, 양식장, 가축 사체를 적시에 수집·보관·운반·사용하도록 하고 악취·질소산화물·온실가스 배출을 막기 위해 안전한 처리수칙을 활용하도록 하고 있음.
- 수질오염의 예방 및 통제에 관한 법률(2018)은 축산농가와 지역사회에 있는 분뇨 및 폐수의 안전한 처리를 위한 시설의 건설을 지원함. 이 조항은 가축 농장과 지역사회가 안전한 양식장 처리를 위해 시설의 정상적인 운영을 보장하고 폐수 방류가 요구되는 기준을 충족하거나 중국의 농경지 관개수 품질 기준을 충족하도록 보장해야 한다고 규정하고 있음. 소규모 축산농가가 산재해 있는 지역에서는 지자체가 수거부터 가축분뇨 처리까지의 책임을 가지고 있음.

표09 2015년 이후 중국의 지속가능한 축산을 위한 법률 및 정책

연도	법률 및 정책	목적 및 대상	달성 수준
2017	가축분뇨 자원이용 촉진에 관한 정책지침(2017 제48호)	2020년까지 가축분뇨 종합이용률 75% 이상 달성 예정	높은 수준으로 달성완료
2017	농업의 녹색 발전 혁신 및 추진 체계 및 메커니즘에 관한 정책 지침	가축분뇨 살포량에 따른 농장 규모 산정 원리 결정	중간 수준으로 달성
2018	수질 오염 방지 및 통제에 관한 중화인민공화국 법률 - 2018년 개정	가축분뇨 배출제한 설정	기술문제로 인하여 중간수준으로 달성
2018	대기 오염 방지 및 통제에 관한 중화인민공화국 법률 - 2018년 개정	악취 제거	
2018	축산분뇨 자원화시설 건설 기준서(2018 제2호)	농장의 가축분뇨 저장시설의 용량 규격화	수행중
2019	축산분뇨 토지시용 촉진 및 법에 따른 오염방지 강화에 관한 지침(2019 제84호)	분뇨이용 목표는 2025년 80%, 2035년 90%	수행중

- 위에서 논의된 정부 정책, 법률 및 규정 외에도, 정부 정책, 법률 및 규정의 효율성을 개선하기 위한 일련의 추가 조치 및 재정적 인센티브가 구현되었음.
 - 수질오염관리 실천계획(2015)은 제한지역의 축산농가의 이전 및 폐업을 추진됨.
 - 이 계획은 수많은 축산농가를 강이나 호수와 가까운 지역에서 건조한 땅이 있는 지역으로 이전하고, 수로를 보호하기 위해 남쪽지역에서 북쪽지역으로 돼지농장을 재배치하였음.

- 가축분뇨 재활용(현장적용) 실행계획(2017~2020)에서는 (1) 분뇨 수집 및 토지적용, (2) 전문 바이오가스 플랜트, (3) 고체분뇨의 퇴비화, (4) 높은 수준의 발효처리, (5) 폐기물 재활용, (6) 폐수 재활용, (7) 배출기준 준수 등 7가지 기술적 선택사항이 도입되었으며, 축산농가는 이 7가지 옵션 중 하나 이상을 선택해야 함.

표10 지속가능한 축산을 위한 세부 계획

연도	법률 및 정책	목적 및 대상	달성 수준
2015	수질오염방지 실천계획	<ul style="list-style-type: none"> 제한구역의 축산농가 폐쇄 또는 이전 	260만 개 이상의 축산농가가 폐쇄 및 이전
2017	가축분뇨 재활용(현장적용) 실행계획(2017-2020)	<ul style="list-style-type: none"> 2020년까지 가축분뇨 종합이용률 75% 이상 달성 예정 대규모 농장의 분뇨 처리 시설 매칭률 95% 이상 달성 	높은 수준으로 달성
2017	과일, 야채 및 차에 대한 화학 비료를 유기 비료로 대체하기 위한 실행 계획	<ul style="list-style-type: none"> 2020년까지 화학비료를 20% 이상 줄입니다 과일, 차 및 식물성 토양의 유기물 함량은 2020년까지 각각 1.2%, 1.2% 및 2% 이상에 도달했습니다. 	높은 수준으로 달성
2017	가축 분뇨 이용 촉진을 위한 작업 계획(2017-2020)	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 목표 달성을 위해 200 개 이상의 대규모 축산군을 선정 	높은 수준으로 달성
2018	토지의 가축분뇨 수용능력 산정을 위한 기술지침(2018 제1호)	<ul style="list-style-type: none"> 양분수지에 기초한 지역별 및 농장별 분뇨의 토지용량 산정 방법 개발 	기술부족으로 인한 낮은 수준 달성

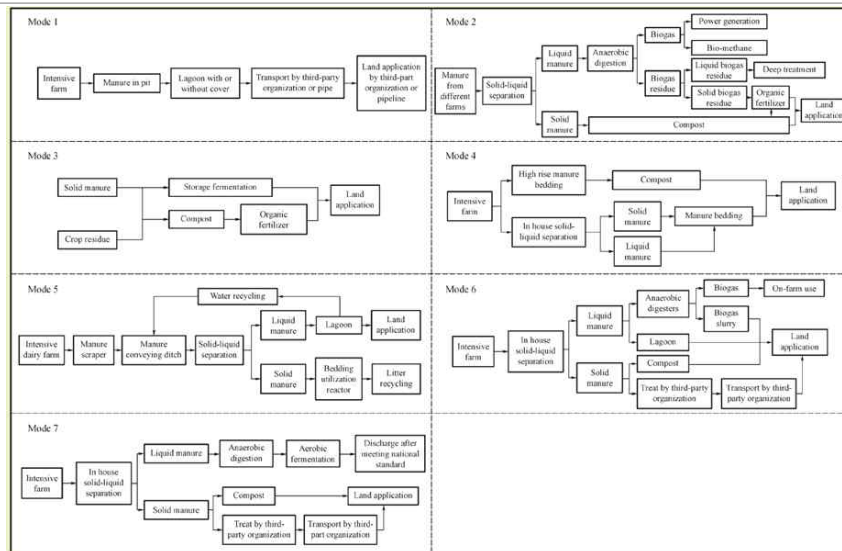


그림13 중국 축산 농가의 선택 옵션

2) 경축순환 사례

- 중국은 2017년도부터 「종양결합 순환농업 시범사업 건설계획(2017~2020년)」 (《種養結合 循环农业示范工程建设规划 (2017—2020年) 》)에 이어 2021년 부터 「녹색종양 순환농업 시범사업 전개에 관한 통지」 (《关于开展绿色種養循环农业试点工作的通知》)에 따라 경축순환 개념에 기반한 축산분뇨관리 및 농경지 양분관리정책을 대대적으로 실시함.
- 베이징-톈진-허베이 지역, 장강 경제 벨트, 광둥-홍콩-마카오 광역만 지역, 황하 유역, 동북 흑토지, 그리고 생물다양성 보전 등의 중점지역을 우선적으로 하여 베이징(北京), 톈진(天津), 허베이(河北), 헤이룽장(黑龍江), 상하이(上海), 장쑤(江苏), 저장(浙江), 산둥(山東), 허난(河南), 안후이(安徽), 장시(江西), 후베이(河北), 후난(湖南), 광둥(廣東), 쓰촨(四川), 윈난(雲南), 간쑤(甘肅) 등 축산분뇨 발생량이 많은 17개 성을 대상으로 함.



그림14 2021~2016년 종양순환농업 시범사업 지역

- 중앙정부로부터 각 성에서 교부금을 받아 사업을 실시하며, 중앙정부의 사업 평가에 따라 향후 교부금을 계속해서 지급할지 여부를 결정함.
- 성에서 분뇨 수집 및 처리 서비스를 제공하는 기업(양식업체 제외), 협동조합 등 업체와 농지에 대한 퇴·액비 살포 서비스를 제공하는 업체에 보조금을 지급하는 형태로 이루어짐.
- 보조금은 총 분뇨처리비용 원가의 30%를 넘지 않는 선에서 지급이 가능하며, 보조 사업자는 퇴비 부숙도기준, 바이오가스 및 정화처리 부산물의 퇴비 이용방식과 관련된 기준을 준수하여야 함.

표11 유기질비료 종류별 부숙도 및 시비법 규정

구분	내용
퇴비	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴비화 중기에 온도는 50-60℃로 유지하며, 스택형(条垛式)은 15일 이상, 골형(槽式)은 7일 이상 유지한다. 부해한 뒤에는 흑갈색을 띠며 일반적으로 약알칼리성을 띠어 악취가 나지 않고 모기와 파리를 유인하지 않는다. 수분함량 45%-65%, 탄소-질소 비율 20:1-40:1, pH 5.5-9.0로 조절하고 퇴비물질 질량의 0.1%-0.2%에 따라 유기물 발효제를 접종한다. 퇴비 사용량은 보통 1,000-2,000 kg/묘로, 사시(撒施), 조시(条施), 도랑시(沟施), 혈시(穴施) 등의 방식을 사용한다. 기초비료로 가을이나 파종(이식) 전 시비를 하여 장마를 피하고 시비 후 24시간 이내에 흙에 경작한다.
바이오가스 부산물	<ul style="list-style-type: none"> • 발효 및 무해화 처리를 한 뒤 건식 및 습식으로 분리되고 바이오 가스 잔류물은 농지에 사용된다. 부숙된 바이오가스 잔류물은 일반적으로 기초 비료로 사용되는데 투여량은 2,000-3,000kg/묘이며 사시, 조시, 혈시등 방식을 채택하여 제때에 땅을 갈아 엎는다. 논 같은 경우 골고루 뿌린 뒤 10cm 정도 갈아엎고, 밭은 혈시, 도랑시 후에 흙을 덮는다. 초목회와 같은 알칼리성 비료와 혼합하여 사용해서는 안된다.
정화처리 슬러리	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 추비로 사용된다. 시비방법은 조시(條施), 혈시(穴施), 환상시비(環狀施肥)와 분무(噴灌), 점적 관개(滴灌), 엽면 분사(葉面噴施) 등을 사용하며 시비후 제때에 흙을 덮는다. 슬러리의 사용은 양분 함량과 작물의 특성에 따라 적절하게 희석되어야 하며, 미세관수를 적용할 때는 파이프와 드리퍼의 막힘을 방지하기 위해 여과에 주의해야 한다. 바이오 가스 슬러리는 종자를 담글 수도 있다. 사용 전 슬러리를 희석하여 사용하며 담근 씨앗은 물기를 제거한 후 물로 씻어낸다.
상업용 유기질비료	<ul style="list-style-type: none"> • 상업용 유기 비료는 기초 비료로 사용할 수 있으며 도랑시(沟施), 혈시(穴施), 환상시비(環狀施肥)등 방법을 사용할 수 있다. 사용량은 보통 300-800kg/묘이며 보통 화학 비료와 함께 사용한다. 사용시 식물의 뿌리에서 일정 거리를 유지하고 두 줄의 작물 사이의 도랑(도랑시)이나 구멍(혈시)에 시비한다.

- 2021년 시점에서는 사업참여자들에게 양분관리를 위한 작물별 권장시비량을 안내하고 있으며, 해당 권장시비량을 성(省)별로 알맞게 조절하여 사용할 것을 권장하고 있으나 이는 선택사항에 해당하며 반드시 지킬 필요는 없음.

표12 작물별 100kg 생산 시 권장 시비량 안내

작물종류		질소(kg)	인(kg)
대전 작물	밀	3	1
	벼	2.2	0.8
	옥수수	2.3	0.3
	곡식	3.8	0.44
	콩	7.2	0.748
	목화	11.7	3.04
	감자	0.5	0.088
채소류	오이	0.28	0.09
	토마토	0.33	0.1
	풋고추	0.51	0.107
	가지	0.34	0.1
	배추	0.15	0.07
	무	0.28	0.057
	대파	0.19	0.036
	마늘	0.82	0.146
과수	복숭아	0.21	0.033
	포도	0.74	0.512
	바나나	0.73	0.216
	사과	0.3	0.08
	배	0.47	0.23
	감귤	0.6	0.11
경제작물	유류재료	7.19	0.887
	사탕수수	0.18	0.016
	사탕무	0.48	0.062
	잎담배	3.85	0.532
	차잎	6.4	0.88
초지	개자리속	0.2	0.2
	사육귀리	2.5	0.8
조림지	유칼립투스나무	3.3kg/m ³	3.3kg/m ³
	버드나무	2.5kg/m ³	2.5kg/m ³

- 중국 중앙정부 차원에서 지역별 여건 차이에 따라 서로 다른 자원화사업모델을 보급하고 있음.
 - 예로 베이징, 톈진, 상하이 등 경지면적은 적지만 가축분뇨 발생량은 많은 지역에서는 양축용 매트리스 등 농자재 전환이 권장됨.
 - 동북지역과 같이 경지면적이 넓고 토지의 유기물 저장능력이 높은 지역에서는 비료 사용 관련 기술을 중점적으로 보급함.
 - 장수(江苏)·저장(浙江)·푸젠(福建)·광둥(广东)·하이난(海南) 등 에너지 수요가 높고 화석연료 과다 사용이 문제될 수 있는 지역에서는 메탄가스 등 바이오가스사업 관련 기술 보급을 중점적으로 수행함.

표13 중국의 지역별 가축분뇨 및 농업부산물 자원화 사업

지역	지역특성	특화 사업
베이징, 톈진 및 상하이	인구 밀도가 높으며, 경지면적이 적고, 오염발생량이 큼.	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄가스 생산 • 유기질비료 생산 • 발효 후 축사 깔개 등 농자재 사용 • 고도 정화처리 후 재활용
동북지역(내이멍구(內蒙古)·랴오닝(遼寧)·지린(吉林)·헤이룽장(黑龍江))	경지면적이 넓고 겨울철 기온이 낮아 환경저장력과 토지의 유기물 저장능력이 상대적으로 높음.	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄가스 생산 • 유기질비료 생산
동부 연해 지역(장수(江苏)·저장(浙江)·푸젠(福建)·광둥(广东)·하이난(海南))	인구 밀도가 높으며, 경지면적이 적고, 오염발생량이 큼.	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄가스 생산 • 유기질비료 생산 • 발효 후 축사 깔개 등 농자재 사용 • 고도 정화처리 후 재활용
중동부 지역(안후이(安徽), 장시(江西), 후베이(湖北)와 후난(湖南))	경지면적이 넓고 남부지역 주요 수계와 농지, 축사가 인접한 경우가 많음.	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄가스 생산 • 유기질비료 생산
화북평원지구(허베이(河北), 산시(山西), 산둥(山东)과 허난(河南))	경지면적이 넓고 남부지역 주요 수계와 농지, 축사가 인접한 경우가 많음.	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄가스 생산 • 유기질비료 생산 • 고도 정화처리 후 재활용
서남지역(광시(廣西)·중칭(重慶)·쓰촨(四川)·구이저우(貴州)·윈난(雲南)·티베트)	양돈사업 전체 규모는 크나 각 농가의 규모가 작음.	<ul style="list-style-type: none"> • 발효 후 축사 깔개 등 농자재 사용 • 유기질비료 생산
서북지구(산시(陝西)·간쑤(甘肅)·칭하이(青海)·닝샤(寧夏)·신장(新疆))	주로 방목으로 축산업이 이루어짐.	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄가스 생산 • 발효 후 축사 깔개 등 농자재 사용 • 유기질비료 생산

- 헤이룽장성 자무쓰시 탕위안현에서는 100ha의 농경지와 소 300마리를 묶어 순환농업단위를 조성하였음.
- 농경지에서 생성된 볏짚과 옥수수 짚을 소의 사료로 사용하며, 축산분뇨의 퇴비화를 통해 비료로 활용하고 있음. 이와 함께 오리와 계를 이용한 제초, 바이오 제제 등을 사용하여 유기농업을 수행하고 있음.
- 중국 정부는 순환농업을 기반으로 친환경농업을 육성하고 이를 통하여 고부가가치 농산물(유기농, GI, 농업모범인증 등)을 생산을 지원하고 이에 대한 초기투자, 시장개척 등을 지원하고 있음.
- 이러한 순환농업의 성공은 재배-목축-가공-판매의 결합구조로 확대되고 있으며, 순환경제 모델로 발생하는 경제가치는 300만 위안으로 농가소득 증대에 기여하고 있음.

제2절 데이터 기반의 경축순환모델 개발 및 정립

1. 기존 경축순환모델의 문제점

가. 기존 경축순환의 개념

- 기본적으로 경축순환농업(integrated crop-livestock farming systems)은 경종부문의 부산물의 축산부문의 사료로 활용되고, 축산부문의 부산물이 경종부문의 양분공급원으로 순환되는 농업시스템을 의미함.
- 대통령직속 농어업·농어촌 특별위원회는 “경축순환농업(耕畜循環農業)”을 가축분뇨, 볏짚, 버섯 배지 등 농업생산 부산물을 농업생산 내부에서 다시 활용하는 농업이라 정의함.
- 농촌경제연구원(경축순환농업 실태 분석과 활성화 방안, 2020.10. 정학균외)에서는 “경축순환농업”을 축산농가에서 발생한 가축분뇨를 퇴·액비화하여 경종농가 작물 양분으로 공급하고, 경종농가에서 발생한 농업부산물과 경종농가에서 재배한 조사료를 사료화하여 축산농가에 공급함으로써 환경 부담을 줄이고 경종농가와 축산농가가 서로 이익을 얻는 농업”으로 정의함.
- 경기도농업기술원(홈페이지)에서는 “경축순환농업”이란 농가에서 화학비료 사용량을 감축하는 대신 가축분뇨를 비료로 활용해 고품질 친환경 농산물을 생산하고, 축산농가에서는 가축분뇨를 재활용해 깨끗한 축산환경을 조성하고, 환경오염을 방지하는 것으로 정의함.



그림 15 경축순환농업의 개념도

- 이에 따라 기존 경축순환모델은 축산부문에서 발생한 분뇨를 가능한 한 많이 퇴·액비로 환원하는 데 집중해 왔으며, 이에 따라 국내 축산업은 매우 높은 퇴·액비화 수준을 달성하여 수입에 의존하여야 하는 화학비료를 상당 수준 대체할 수 있었음.
- 가축분뇨 발생량(5,073만톤) 가운데 퇴액비 처리 비중은 87.0%(퇴비화 75.3%, 액비화 11.8%), 정화처리는 13.0%(개별처리 6.7%, 공공처리 6.3%)로 조사됨.
- 위탁시설의 경우 공동자원화 86개소, 액비유통센터 133개, 공공처리 95개, 민간퇴비장 1,042개 등으로 퇴액비화와 에너지화가 이루어지고 있음.

표14 가축분뇨 발생량에 따른 처리현황

단위: 천톤, %

연도	발생량	자 원 화			정화방류		해양 투기	기타
		소계	퇴비	액비	개별처리	공공처리장		
'10	46,534 (100)	40,286 (86.6)	37,220 (80.0)	3,066 (6.6)	1,427 (3.1)	2,727 (5.9)	1,070 (2.3)	1,024 (2.2)
'11	42,685 (100)	37,396 (87.6)	34,393 (80.6)	3,003 (7.0)	1,527 (3.6)	2,057 (4.8)	767 (1.8)	938 (2.2)
'16	46,988 (100)	42,576 (90.6)	37,417 (79.6)	5,159 (11.0)	1,084 (2.3)	2,762 (5.9)	- (0)	566 (1.2)
'17	48,460 (100)	44,103 (91.0)	38,848 (80.2)	5,256 (10.8)	1,095 (2.3)	2,762 (5.7)	- (0)	499 (1.0)
'18	51,013 (100)	46,530 (91.2)	40,647 (79.7)	5,884 (11.5)	1,167 (2.3)	2,751 (5.4)	- (0)	565 (1.1)
'19	51,838 (100)	47,394 (91.4)	41,385 (79.8)	6,009 (11.6)	1,167 (2.3)	2,556 (4.9)	- (0)	721 (1.4)
'20	51,939 (100)	47,176 (90.8)	41,707 (80.3)	5,469 (10.5)	1,152 (2.2)	2,999 (5.5)	- (0)	643 (1.2)
'22	50,732 (100)	46,530 (87.0)	38,192 (75.3)	5,694 (11.8)	3,396 (6.7)	3,185 (6.3)	- (0)	- (0)

자료 : 농림축산식품부 내부자료, 2023년

나. 기존 경축순환농업의 이론적 배경

1) 자원순환형 농업의 의미

○ 경축순환농업의 이론적 기초는 자원순환형 농업에 두고 있음.

- 자원순환형 농업(resource cycling agriculture)은 농축산물의 생산과정에서 발생하는 부산물(또는 폐기물)을 최대한 재활용하고 환경용량에서 수용할 수 있는 만큼의 폐기물을 농업계 외부로 배출함으로써 농업생태계에서 물질의 선순환이 이루어지는 농축산물의 생산 활동을 의미함.
- 농림축산식품부와 농업계에서 자연생태계의 물질순환에 초점을 맞추어 자연순환농업(natural cycling agriculture)이란 용어를 사용하고 있으나 자연생태계와 농업생태계가 큰 차이가 있다는 점에서 부조화된 용어로 판단됨.

- 자연생태계(natural ecosystem)의 물질순환은 '식물흡수 → 유기물 분해 → 토양 → 식물흡수'의 과정이 반복되면서 선순환적인 자원순환 시스템이 지속적으로 이루어지기 때문에 시간적·공간적 범위에서 물질의 투입과 산출이 균형을 이루는 정상상태(steady state)가 유지됨.

- 이론적으로 물질수지가 균형상태가 되면 환경부하를 최소화할 수 있어 환경문제는 발생은 최소화될 수 있음. 반면 농업생태계(agricultural ecosystem)의 경우는 생산물의 일부가 농업계 외부로 유출되고 이를 보충하기 위해 화학비료 또는 유기질 비료 등의 양분이 외부로부터 투입되어야 하기 때문에 자연생태계에 비해 필요로 하는 양분의 양이 많을 뿐만 아니라 순환 속도도 빨라지게 됨. 특히 ‘고투입-고산출’의 생산성 증대를 추구하는 자본집약적인 농업시스템으로 변화되어 갈수록 인위적인 물질의 외부 투입량은 증가하게 되고 농업생태계의 물질순환 속도는 더욱 빨라지게 됨.

○ 경종-축산 연계 자원순환형농업의 효과

- 자원순환형 농업의 핵심은 경종과 축산부문의 유기적인 연계에 따라 시너지 효과를 발생함. 자원순환형 농업을 통해 화학비료와 농약 투입을 상당히 감축하는(친환경·저투입 재배) 경우 안전한 농산물 생산은 물론 생태계 보호와 환경보전에도 기여를 함. 축산부문에 서 발생한 가축분뇨가 적절하게 처리되는 경우 경종부문의 화학비료의 대체재로 활용됨으로써 토양개량과 토양비옥도를 높일수 있음.
- 경종-축산부문이 유기적으로 연계되는 경우 가축분뇨가 유용한 자원으로 재활용됨으로써 축산부문의 환경문제를 최소화할 수 있음. 따라서 경종과 축산 부문의 연계를 통한 선순환체계가 지속되는 경우 안전한 농축산물생산은 물론 토양개량, 화학비료 및 농약 사용량 감축에 따른 경제적인 효과 외에도 환경보전 등 농업의 다원적 기능을 높일 수 있음.

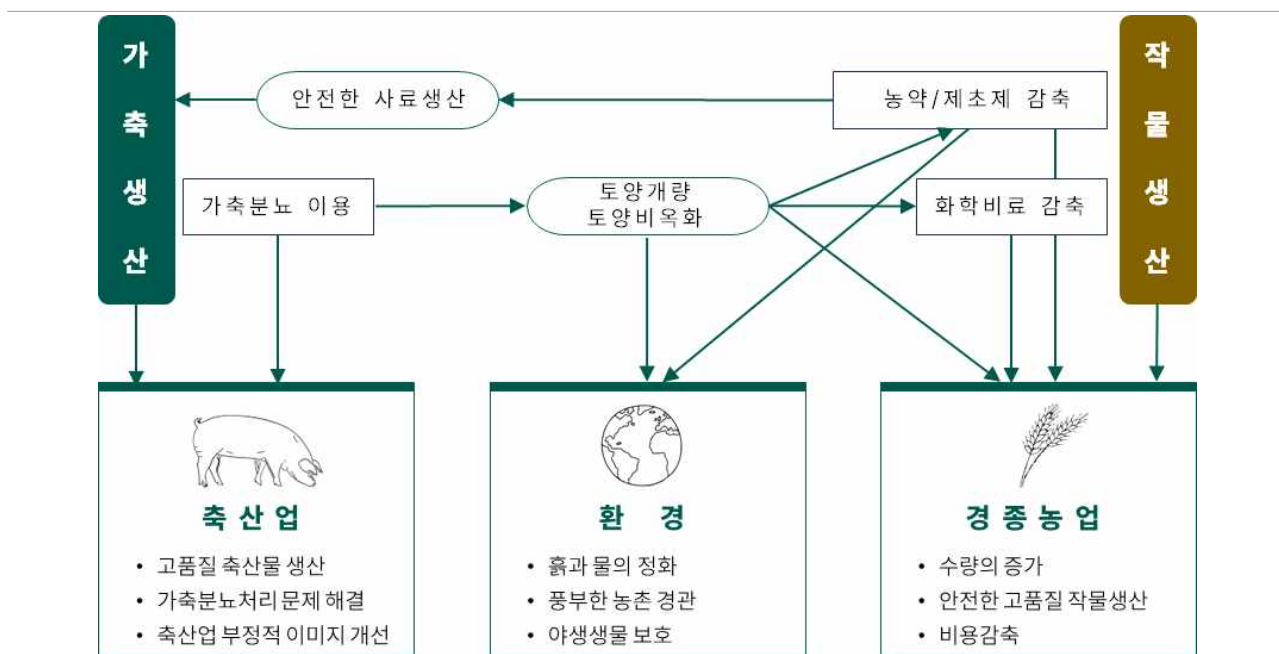


그림16 경종-축산 연계 자원순환농업시스템의 상승효과

2) 농업생태계의 물질순환 구조

○ 농업생태계의 물질순환과 자원순환형 농업시스템

- 농업생태계의 물질순환 구조를 보면 농업 부문도 타부문과 마찬가지로 「자원투입 → 생산 → 소비」의 경제활동(economic activity)을 근간으로 하는 물질순환 구조로 이루어짐. 각 경제활동으로부터 잔여물(residuals)이 발생하고, 이를 재활용하면 농업자원으로 다시 활용할 수 있고, 활용되지 않는 잔여물은 폐기물로 배출되지만 농업생태계의 자정능력(assimilative capacity) 범위 내에 있는 경우 다시 유용한 농업자원으로 활용할 수 있음. 폐기물 배출이 자정능력을 초과하는 경우 환경오염원으로 작용하여 생태계에 부정적 영향을 미침.
- 농업생태계의 물질순환 과정을 도식화하면, 자연자원(resources, R) 채취(Extraction, E), 생산(production, P), 소비(consumption, C) 활동을 통해 인류에게 효용을 제공하지만 이 과정에서 잔여물(wastes, W)도 발생함. 잔여물의 일부는 재활용(recycling, r)되고 나머지는 환경의 자정능력(assimilative capacity, A)에 의해 자연에 다시 흡수됨.
- 자원순환형 농업시스템을 구축하여 농업환경자원이 적절하게 관리되는 경우(즉, $W < A$ 인 경우로 발생한 폐기물이 자정능력 범위 내에서 수용되는 상황) 농업환경자원은 생산과 소비과정을 통해 식량·식품을 공급함은 물론 농촌의 쾌적성과 경관 등의 긍정적 어메니티(positive amenity)를 제공하게 됨으로써 농업의 다원적 기능이 발휘되도록 함.

○ 열역학 법칙을 기초로 한 자원순환형 농업

- 농업생태계의 물질균형에서 농업시스템의 작동(경제활동)으로부터 발생하는 잔여물의 양은 투입한 자원의 양과 같다는 열역학 제1법칙(the first law of thermodynamics)으로 설명될 수 있음. 열역학 제1법칙에 의하면 물질은 창조되거나 파괴되지 않고 단지 다른 형태로 전환될 뿐이므로 농업생산 활동에 사용된 자원은 궁극적으로 잔여물이라는 다른 형태로 전환되어 환경계로 배출하게 됨.

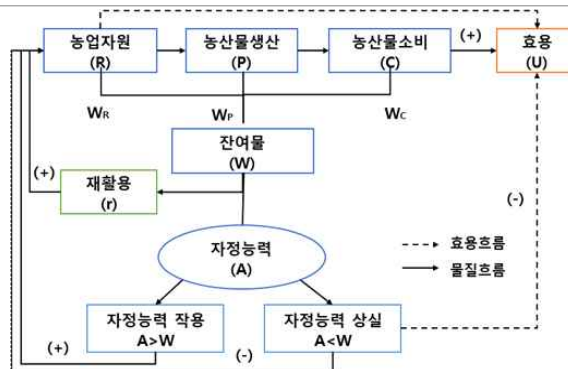


그림17 농업생태계의 물질순환 기본구조

- 현실적으로 보면 농업자원의 사용 과정에서 이용할 수 없는 에너지나 물질의 양은 잔여물로 환경에 배출되며, 잔여물이 환경의 자정능력을 초과하여 발생하는 경우 엔트로피(사용 불가능한 실체로 환경오염 상태를 나타냄)의 증가를 유발함. 이는 열역학 제2법칙(the second law of thermodynamic)인 엔트로피 증가의 법칙을 의미함. 즉, 농축산부문의 생산 활동으로부터 발생한 폐기물 가운데 재활용되지 않는 부분은 엔트로피로 축적되어 농업생태계에서 유용하게 쓸 수 있는 농업환경자원의 공급을 줄임으로써 농업 활동의 위축은 물론 부정적 어메니티(negative amenity)를 발생하여 효용수준을 하락시키는 결과를 초래함.

- 자원순환형 농업시스템은 엔트로피를 감축시키는 방법으로 자원 사용(R)과 생산 활동(P)을 줄이는 방안, 각 경제활동 부문의 잔여물(W)의 발생량을 줄이거나 재활용(r) 또는 재이용을 높이는 방안 등으로 요약할 수 있음.
- 농축산부문의 생산 활동에서 발생하는 잔여물(Wp)을 감축시키기 위해서는 생산에 필요한 비료와 농약 및 사료 등의 투입량을 줄이거나 폐기물 발생이 낮은 투입요소로 대체하는 기술개발이 필요함. 이러한 측면에서 자원순환형 농업시스템의 골격은 「감축(Reduced)↔재활용(Recycled)↔재사용(Reuse)」의 3R을 기초로 하고 있다고 볼 수 있음.

3) 자원순환형 농업의 유형

○ 물질균형모형과 자원순환농업의 관계

- 특정 공간영역의 범위에서 환경오염 부하 정도를 파악하기 위해 물질의 유입(inflow)과 유출(outflow)을 체계화한 모형을 물질순환시스템이라고 함. 물질균형모형(materials balance model)은 물질순환을 기초로 환경과 경제활동의 상호관련성을 체계적으로 설명해주는 대표적인 모형으로 자원순환형 농업시스템의 이론적 기초를 제공함.
- 농업생태계의 물질균형모형은 자연적·지리적·행정적 요소 등을 복합적으로 고려하여 구성되며 구체적으로는 자원순환을 기초로 한 지역내, 지역간 순환을 포괄하는 모형으로 설정할 수 있음. 지역단위 물질순환모형의 구축에 있어서 물질순환 시스템의 경계영역(boundary region)의 공간설정 범위에 따라 농가내 순환, 지역내 순환, 지역간 순환 등 세 가지 유형으로 대별할 수 있음.
- 농가내 순환은 경지 내 볏짚과 왕겨 등 농산부산물을 경지로 환원하는 경지내 순환과, 윤작·혼작·녹비작물 등을 재배하는 작목간 순환, 농가의 음식물 쓰레기 등을 사료화 또는 퇴비화하는 개별 농가 내부에서의 농가구내 순환으로 대별할 수 있으며, 이러한 순환에는 개별복합농업, 유기·유축농업 등 포함될 수 있음.
- 지역내 순환은 경지와 초지 및 임야지 등 지목간 순환과 경종-축산을 연계한 농가간 순환으로 나눌 수 있고, 지역복합농업, 유기·유축 농업 등으로 특정화될 수 있음.
- 지역간 순환은 해당 지역간 경종과 축산 부문을 연계한 농업지역간 순환과 식품가공 슬러지를 퇴비화하는 농공간 순환, 농촌과 도시의 음식물 쓰레기 등 생활폐기물을 사료화·퇴비화하는 농촌-도시간 순환으로 대별되며, 이들 순환은 지역간 복합농업 및 순환농업으로 특정화할 수 있음.

표15 자원순환형 농업의 유형과 농법

순환의 유형		환경친화적 자원순환농법	농업형태
서브 시스템			
농가내 순환	경지내 순환	볏짚, 왕겨 등 농산부산물의 경지환원 윤작·혼작·녹비작물의 이용 생활쓰레기의 사료 또는 퇴비 이용	개별복합농업, 유기농업, 유축농업
	작목간 순환		
	농가구내 순환		
지역내 순환	경지-지목간 순환	농산부산물·산야초의 이용 방목·휴경지(사료작물 재배)의 윤환 톱밥, 폐목재 등의 축분퇴비재료 활용	지역복합농업, 유기농업, 유축농업
	농가간 순환	경종-양축농가간 축분퇴비·볏짚교환 경종-양축농가간 액비화	개별농업, 개별축산업
지역간 순환	농업지역간순환	경종 - 축산 부문의 유기물교환	지역간 복합농업
	농공간 순환	식품산업 폐기물의 퇴비화 톱밥·우드칩 등의 이용	지역간 순환농업
	농촌-도시간 순환	농촌·도시 생활쓰레기의 사료화·퇴비화	

- 경축순환농업은 순환의 범위에 따라 농가단위/마을단위 또는 지역단위/국가단위의 경축순환농업으로 유형화할 수 있음.
- 지역단위 경축순환농업은 특정지역의 가축생산 과정에서 배출된 가축분뇨를 고품질의 퇴·액비로 만들어 농경지에 살포하고 식용 및 사료 작물 등을 생산한 후, 그 부산물과 사료를 다시 가축 사료원으로 공급하는 생산체계임. 이를 통해 경종부문과 축산부문이 유기적으로 연계되어 지속적인 선순환과정이 이루어지게 함.

4) 농업생태계의 물질순환 진단

- 투입-산출을 이용한 농업생태계의 물질순환 진단
- 농축산부문의 활동은 작물과 축산물 식량 생산을 주목적으로 하며 작물 생산의 경우 비료와 농약 등이 투입되고, 고기·우유·계란 등 가축 생산의 경우는 사료와 약품 등이 투입됨. 작물과 가축의 생산성을 높이기 위해서는 고투입이 이루어지기 마련이며, 생산 활동에 기여하지 않는 자원이나 에너지는 농업계 밖으로 유출되어 환경오염원으로 작용함. 이러한 작물 및 가축 생산활동을 위한 투입(화학비료, 농약, 퇴비, 사료) 및 산출 수지(input-output balance)의 파악은 물질수지 흐름도(flow chart) 작성을 통해 효과적으로 접근할 수 있음. 물질순환 투입-산출의 개념도에서 제시된 점선은 지역 단위 농업생태계를 나타내며, 투입과 산출 두 부문으로 나누어 접근될 수 있음.
- 농업생태계 외부에서 투입되는 부문은 크게 가축 생산을 위한 농후사료, 일부 조사료 등을 들 수 있음. 양축농가의 가축사양에 있어 농후사료는 배합사료의 형태로 구입하여 사용하게 되며, 조사료는 농산 부산물이나 인근의 볏짚 등을 이용하므로 지역 단위 농업생태계 내에서 이루어짐. 투입된 농후사료에 의해 가축 생산이 이루어지면 이 과정에서 주산물인 고기, 우유, 달걀 등이 생산되어 외부로 나가고, 또한 부산물로 가축 분뇨가 발생함. 발생한 가축 분뇨는 퇴비화 또는 액비화 등 자원화처리 또는 정화처리 방식에 의해 적절하게 처리되기도 하지만, 만약 부적절하게 처리되는 경우 폐기, 방치, 투기, 야적, 무단 방류 등에 의해 농업생태계의 환경부하 요인으로 작용함.
- 가축 분뇨가 퇴비화와 액비화 등의 자원화 방식에 의해 농경지에 살포되는 경우 농경지에는 화학비료로 투입된 성분량과 가축 분뇨로부터 공급된 비료성분량이 함께 투입되게 되며, 작물은 이들 양분을 이용하여 식량과 조사료 등을 산출하게 됨. 작물은 생육 과정에서 필요로 하는 양분요구량 이상으로 과잉 투입되는 경우 흡수하지 못하고 무기물의 유출, 침출, 용탈, 휘산 등이 이루어지게 됨. 이 과정에서 환경의 자정 능력을 초과한 과잉 양분은 지역 단위 농업생태계의 환경오염 부하요인으로 작용함.

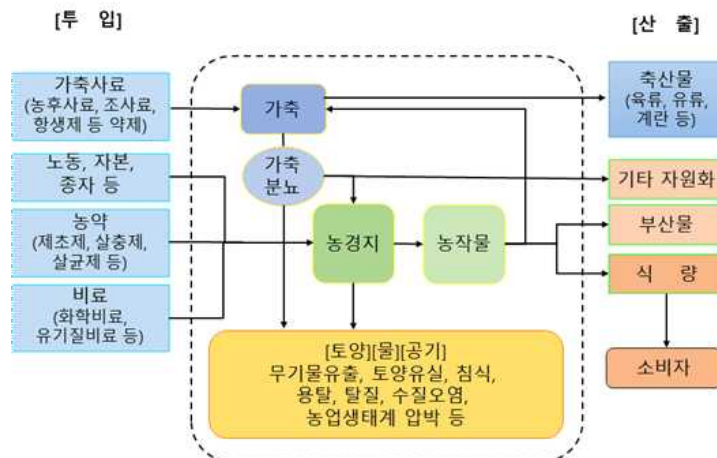


그림18 농축산 부문의 물질순환 투입-산출의 개념도

○ 농업생태계의 물질순환 분석

- 농업생태계의 물질순환 분석은 토양에서 양분물질이 여러 가지 화학적 형태로 존재하기 때문에 작물에 따른 양분이용율·흡수율 등을 고려해야 하며, 물질흐름의 양을 산정하는 경우 시간적 차원을 반영해야 함.
- 농업생태계의 물질순환 분석 절차는 우선 농업생태계의 경계(boundary)를 결정한 후, 경계 범위 내에서 투입-산출되는 모든 물질흐름을 파악하며, 농업생태계의 하부생태계 구성요소를 결정하고 이들 요소간의 상호작용을 파악함. 물질순환의 흐름을 기초로 양분지표(질소, 인산 등 양분지표)를 선택하여 분석하는 과정으로 이루어짐.
- 작물별, 토양별 또는 지대별 적정시비량과 실제시비량의 차이는 농업환경으로의 유실량으로 이는 오염원 발생량으로 고려될 수 있음. 적정시비량 처방은 작물양분요구량을 충족시키고 과잉양분 축적에 따른 환경부하를 줄일 수 있는 추천시비량을 의미함. 실제로 단위면적당 시비량은 양분요구량에서 실제공급량을 공제한 양을 비료의 이용률로 나누어 계산될 수 있음. 단위면적당 작물의 양분요구량(nutrient requirement)은 토양의 종류, 지역특성, 시비량 및 품종 등에 따라 달라질 수 있음.
- 적정시비량의 산정은 양분의 균형공급과 양분축적 경감에 의한 환경오염을 방지하기 위한 기준으로 환경친화적 추천시비량으로 볼 수 있다. 표준시비량은 작물별, 지대별로 적량시험을 통하여 결정되며, 성분별 추천량에 관한 자료는 「작물별 시비처방 기준」(농업과학기술원, 2010)에서 제시되어 있음.

○ 지역여건을 반영한 경축순환농업모델 사례

- 경기도 여주시는 한돈협회영농조합법인 중심의 경축순환농업모델, 경북 군위군은 축협자원순환센터 중심 경축순환농업모델을, 서천군은 영농법인협의체 중심 경축순환농업 모델로 구분될 수 있음.
- 3개 시·군지역에 대한 국립환경연구원의 2021년 『지역단위 양분관리시범사업(II)』에서 2017년 기준 양분수지 산경결과를 보면, 여주시>군위군>서천군 순으로 질소, 인의 양분초과율이 높은 것으로 제시됨.

표16 여주시, 군위군, 서천군 지역수지 양분산정 결과 및 초과율

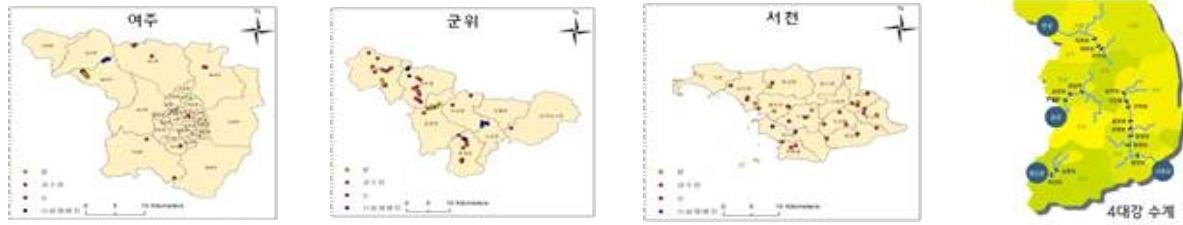
구분	질소(Nitrogen)		인(Phosphorus)	
	수지 (kgN/ha/yr)	초과율(%)	수지 (kgP/ha/yr)	초과율(%)
여주	237	311	92	530
군위	238	228	107	452
서천	186	190	33	141

주: 양분수지 산정방법은 2020년 “지역단위 양분관리 시범사업(II)”의 일환으로 진행된 양분수지 전문가 작업반 운영 결과를 토대로 한 수지 산정함.

자료: 국립환경과학원. 「지역단위 양분관리시범사업(II) 연구」. 2021.

- 국립환경과학원 시범사업 추진에 따른 지역 환경영향평가를 실시하였고 토양측정망 구축·운영 시범사업과 수질측정망(총량측정망) 연계를 시도함.
- 토양상태(화학적)를 파악하여 농경지 양분의 적정관리 등 지속가능한 영농정책 수립의 기초자료로 활용하고 추진하였으나 토양측정망은 ‘농업환경자원변동조사’, ‘대표필지 토양검정’, 농장주의 요청에 의한 ‘토양검정’과 유사하므로 가능한 농업기술센터가 토양검정사업으로 추진하되 농경지가 밀집하거나 대규모인 경우 자체 토양검정 좌표를 설치·운영토록 함.

- 수질 관련 측정망도 총량측정망 이외 도 보건환경연구원이 측정하는 지방하천의 수질측정망 등의 측정지점수, 주기, 측정항목 등을 토양검정 지점과 연계·검토하여 추진함.



주: 토양검정조사는 발(2013), 과수(2014), 논(2016), 시설원에(2016) 순으로 조사
 자료: 국립환경과학원. 「지역단위 양분관리시범사업(II) 연구」. 2021.

그림19 농업환경자원변동조사 채취지점 현황 및 총량측정망 측정지점

- 여주시는 한돈협회영농조합법인 중심의 경축순환농업모델이 이루어지고 있음.
- 여주시는 한돈협회영농조합법인 중심의 경축순환농업의 핵심은 영농조합의 공동자원화센터에서 양질의 액비와 보통비료를 교반기에 작물별로 배합하는 맞춤액비를 제조하여 과수 시설원예에 점적관비로 시용함으로써 생산된 작물의 품질과 생산성 향상에 활용하는 방식으로 경축순환농업이 이루어짐.

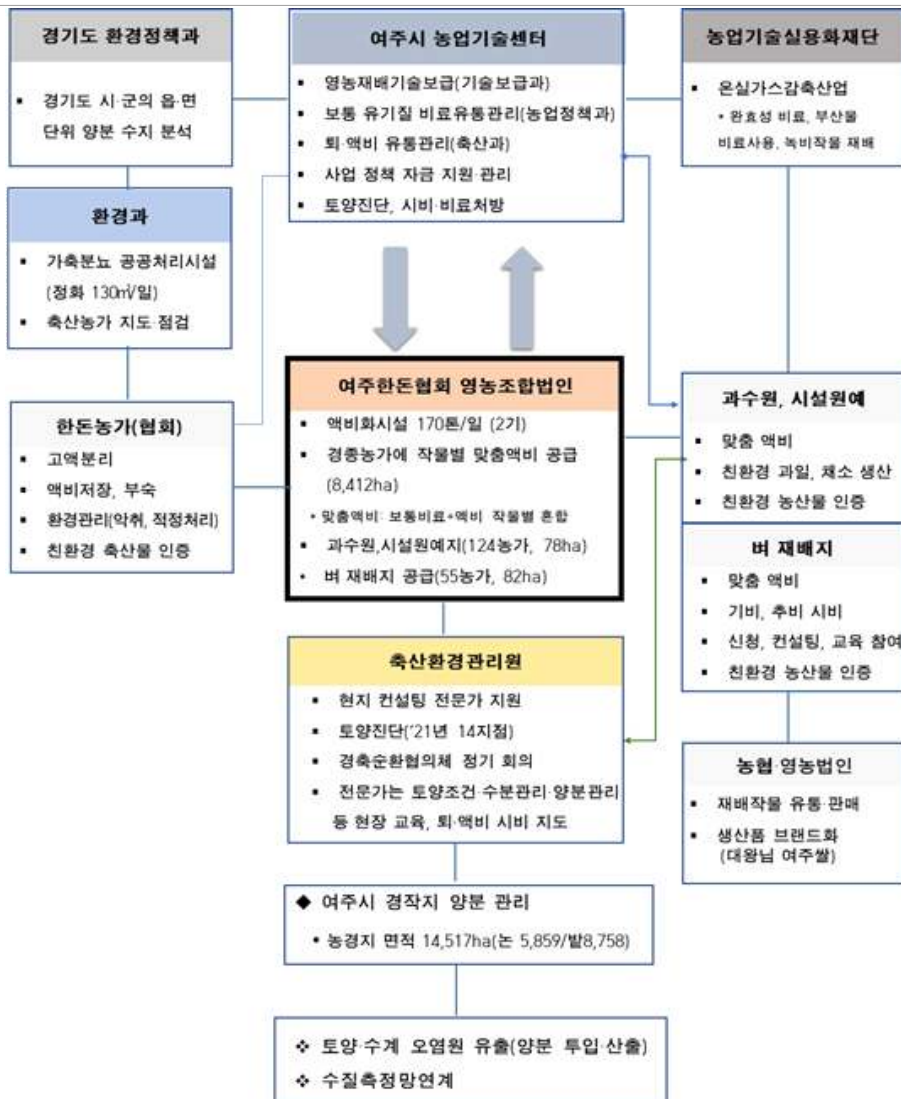


그림20 한돈협회영농조합법인 중심 경축순환농업모델

표17 여주시 경축순환농업 기관 단체별 역할과 개선사항

기 관·단체	현재 역할	개선사항
여주시 농업기술센터	<ul style="list-style-type: none"> 농산물 생산기술 보급 시범사업 사업 관련 정책자금 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 기관·단체 등과의 긴밀한 협조 필요 경축순환농업협의체 구성·운영 필요 토양검정 좌표 설치·운영 양분관리 관리 필요
한돈협회 영농조합법인	<ul style="list-style-type: none"> 관비용 액비 공급 가축분뇨 반입·반출 물량을 고려하여 경종농가와 계약 관비용 액비 저장시설 보급 	<ul style="list-style-type: none"> 액비살포(스프링쿨러 등)시 주의
축산환경관리원 ·전문가 컨설팅 지원	<ul style="list-style-type: none"> 농가교육, 현지 컨설팅(전문가 지원), 협의체 정기회의 개최, 양분수지 산정· 등 전문가는 토양조건·수분관리·양분관리 등 현장 지도·교육 퇴·액비 시비지도 등의 컨설팅 실시 	<ul style="list-style-type: none"> 축산농가의 발생량 및 처리량 파악, 가축분뇨 양분 삭감방법 강구 등 토양검정은 농업기술센터로 이관 토양검정 결과와 수질측정망과 상관성 분석
경종농가	<ul style="list-style-type: none"> 사업신청, 교육참여, 영농일지 작성, 컨설팅 참석 등 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경농산물 인증(1~2농가에 불과) 제고

○ 군위군은 축협 자원순환센터 중심의 경축순환모델이 이루어지고 있음.

- 군위축협은 1993년 비료공장을 준공한 이래 2006년 자연순환농업 프로그램으로 관내 8개 읍·면을 대상으로 실시한 시범포 사업 추진, 2012년 공동자원화센터를 자연순환농업센터로 명칭을 바꾸고 액비화시설 100m³/일, 우분·계분 퇴비화시설 40m³/일 설치·운영하면서 경축순환농업을 통한 벼(현토미) 재배사업, 현토미 브랜드화(2007년 현토미 상표권 출원) 등을 활발히 추진하고 있으며, 봄철 퇴비살포를 통한 미곡 재배, 동계 휴경지 액비살포, 조사료 재배 사업으로 계약재배에 따른 경종농가의 경제적 이득을 보장하며 토심 증대, 축산환경 개선 등 다양한 순기능을 거두고 있음.
- 다만, 축산과 또는 농업기술센터에서 총괄 관리하는 기능이 없고 주로 군위축협이 주도하고 있는 상황임.
- 경축순환농업 추진 애로사항은 관련 사업정책 자금 지원, 가령 공동자원화센터 개보수, 우수 액비유통센터, 퇴비유통 전문조직체 등록, 도정 및 보관시설 설치를 위한 농협중앙회의 고정투자 심의과정에서 축협의 쌀 가공, 판매는 어려움 등이 있듯이 군위군과 군위축협 간의 긴밀한 협조가 필요한 실정임. 군위군 경축순환농업 기관·단체별 역할과 개선사항이 제시되고 있음

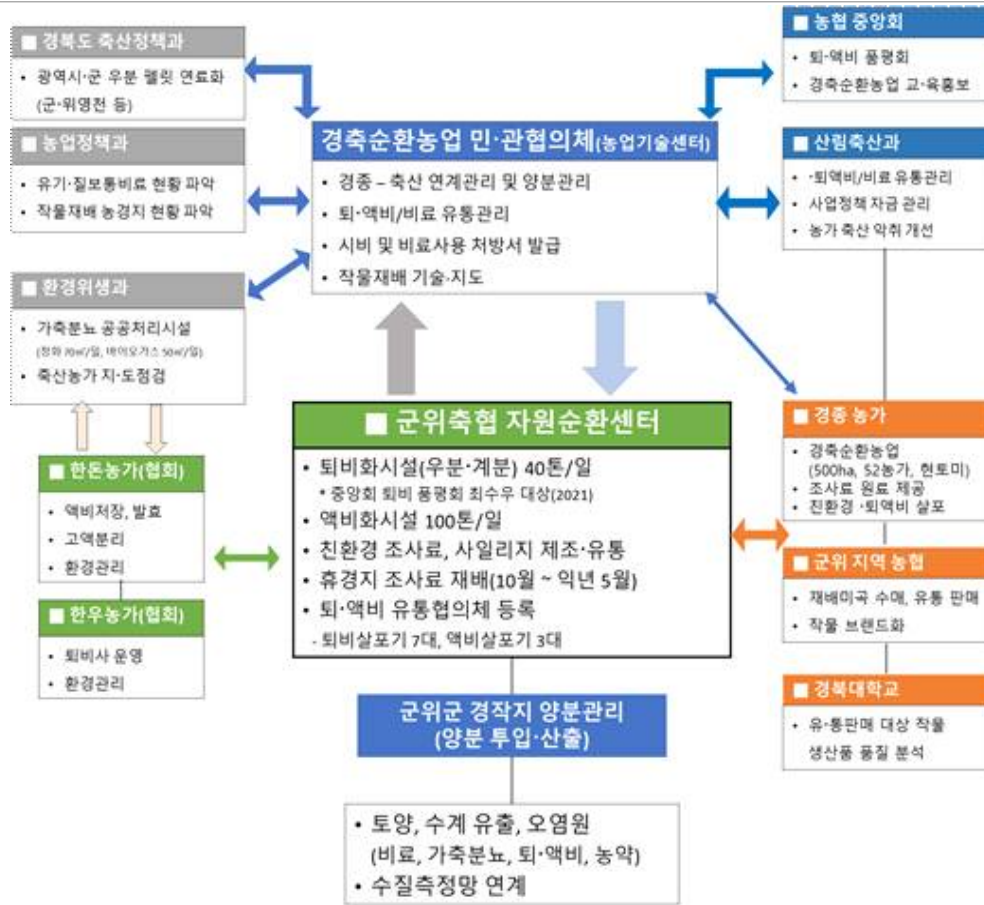
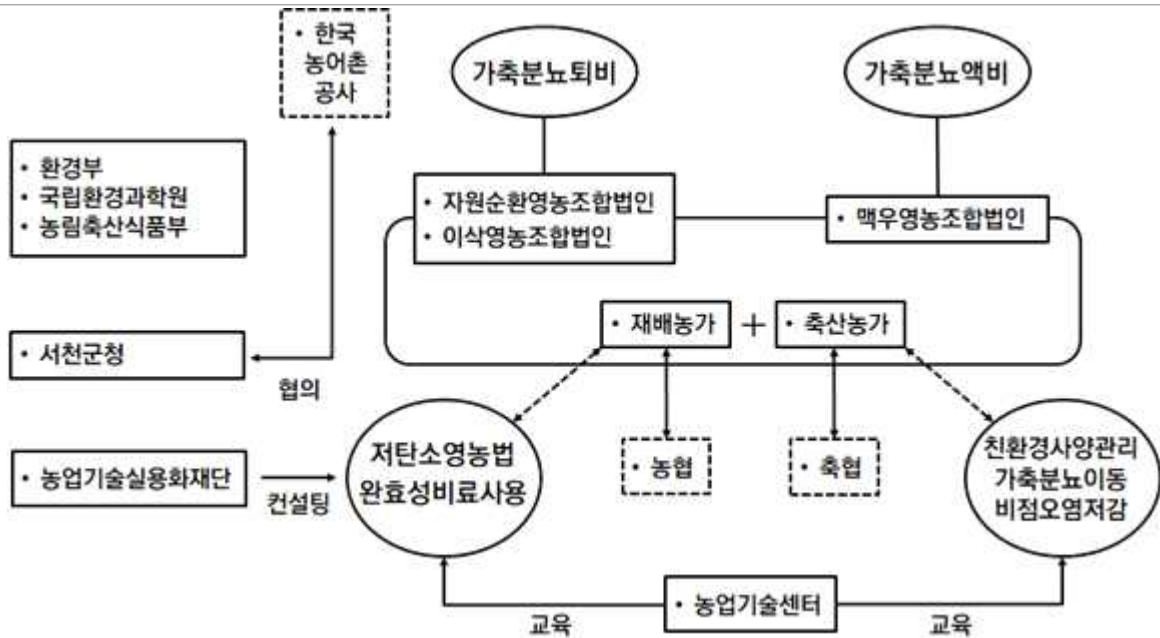


그림21 축협자원순환센터 중심 경축순환농업모델

표18 군위군 경축순환농업 기관 단체별 역할과 개선사항

기 관·단체	현재 역할	개선사항
군위군 농업기술센터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경종 - 축산 연계관리 및 양분관리 ○ 퇴 액비/비료 유통관리 ○ 시비 및 비료사용 처방서 발급 ○ 작물재배 기술·지도 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기관·단체 등과의 긴밀한 협조 필요 ○ 경축순환농업협의체 구성·운영 필요 ○ 토양검정 작표 설치·운영 ○ 양분관리 관리 필요 ○ 친환경 농산물 인증
산림축산과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사업 관련 정책자금 지원 ○ 축산농가 악취 개선 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산농가의 발생량 및 처리량 파악, 가축분뇨 양분 삭감방법 강구 등 ○ 친환경축산 인증
축협 자원순환센터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴비·액비 생산, 공급(우분 계분/돈분) - 퇴비화 40톤/일, 액비화 100톤/일 ○ 친환경 조사료 재배, 조사료·사일리지 제조 유통 ○ 퇴비·액비 살포 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴 액비 유통협의체 등록 ○ 군과 긴밀한 협조 필요 ○ 퇴비화·액비화시설 개·보수 ○ 경종농가 확대
경종농가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사업신청, 교육참여 등 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연 2회이상 전문가의 토양조건·수분관리·양분관리 및 퇴·액비 시비 지도 등컨설팅 등 필요

- 서천군은 시범사업 현장협의체의 중심으로 자원순환농업이 이루어지고 있음.
 - 한우 유래 퇴비자원순환 측면에서는 자원순환영농조합법인과 이삭영농조합법인이, 돼지 유래 액비자원순환 측면에서는 맥우영농조합법인이 축산농가에서 발생하는 분뇨처리 및 자원화, 재배농가 살포를 담당한다. 양분관리 관련 재배농가 및 축산농가 교육 및 컨설팅 주체는 서천군농업기술센터이며, 지역 농협과 축협은 농가 관련 기초자료 제공을 담당함.
 - 서천군 외부 기관으로는 농업기술실용화재단에서 양분관리 활동을 통한 온실가스 절감 실적 산정 및 관련 정책 지원을 담당하며, 간척지 임대농지 활용에 관해서는 한국농어촌공사가 관리하고 있음
 - 경축순환농업에 관한 대표적인 모델은 2008년도에 출범한 ‘서천 자원순환농업단지’임. 한우농가 21호, 조사료 판매를 걱정하던 경종농가 34호가 모여서 공동체를 만든 것임. 단지 규모는 경종농가가 84ha이고 축산농가가 1,200두로 공동퇴비장(876m²)을 보유하고 있다. 축산농가는 경종농가에게 퇴비를 공급하고 볏짚을 구입(20만원/ha)하며, 벼·조사료 등을 재배하는 경종농가에게 농경지 84ha의 퇴비살포비(10만원/ha) 등을 지급하는 경축 순환구조임. 사업효과를 보면, 축산분뇨를 퇴비로 만들어 벼, 조사료 단지에 살포하고 볏짚과 조사료를 수거해 다시 축사가 쓰는 100% 재순환 구조를 만들었고, 축산농가는 안정적으로 가축분뇨를 처리하고, 경종농가는 조사료 ha당 210만원의 소득증대를 가져오고 농경지의 유기물 함량도 ‘13년 1.8%에서 ‘16년 2.6%로 증진된 것으로 나타남.



주: 당초 지역단위 시범지역 양분관리(II)에서 “서천지역 양분관리 시범사업 현장협의체”를 “영농법인협의체 중심 경축순환농업 모델”로 변경한 것임

자료: 임영아. 한국농촌경제연구원. 2021.

그림 22 영농법인협의체 중심 경축순환농업모델

다. 지역단위에 적합한 기존 경축순환모형의 식별 및 제안

1) 지역여건을 고려한 가축분뇨 처리방안별 경제성 분석모형 구축

가) 개요

- 지역에 따른 적합 경축순환모형을 제안하는 데 앞서, 지역여건에 따른 가축분뇨 처리방안별 경제성 분석 모형을 모델링함.
 - 경축순환모형의 선택에서 가축분뇨 처리방안을 결정하는 것은 매우 중요한 사안임. 따라서 실제 지역의 여건을 반영하여 가축분뇨 처리방안별 경제성을 평가하는 모형을 먼저 구축함.
- 본 연구는 현재 일정 수준 이상 보급된 대표적인 가축분뇨 처리 방법으로써, 정화처리, 바이오가스 생산 후 소화액 정화, 퇴·액비화(고상은 퇴비, 액상은 액비화), 바이오가스 생산 후 소화액 액비화 4가지 유형의 경제성을 분석함.
- 경제성평가는 비용-편익 분석을 통하여 이루어지며, 이를 위해 B/C, NPV 지표를 처리방법별로 산출함.
 - 이때 비용 항목에는 시설 초기 설치비와 운영비를 포함함.
 - 편익에는 반입수수료, 액비살포비, 퇴비판매비, 전력판매비, 바이오가스발전에 따른 온실가스 저감편익, 오염물질 배출저감의 수질개선편익, 화학비료 대체효과를 포함함.
- 지역의 축종별 분뇨발생량이 각 비용, 편익항목에 영향을 미치도록 모델링함.
 - 축종별로 분뇨의 고상, 액상비가 다르므로, 축종별 분뇨발생량의 비율에 따라 퇴비화와 액비화 처리 비중이 달라지면서 시설의 초기설치비와 운영비, 비료판매비가 달라짐.
 - 축종에 따라 분뇨에 함유된 오염물질량, 처리에 따른 오염물질 저감량, 퇴·액비 영양성분에 차이가 있어 각 처리방안에서의 수질개선편익과 화학비료대체효과가 변동하게 됨.
- 지역의 양분수지가 각 비용, 편익항목에 영향을 미치도록 모델링함.
 - 농지 투입 양분 중 작물이 흡수하는 비율에 따라 시비된 양분 중 수계로 유출되는 비중이 달라지며 퇴·액비화의 수질개선편익이 함께 변동함.
 - 퇴·액비에 함유된 양분이 실제로 작물 생산에 이용되는 정도에 따라 화학비료대체효과로 계산되는 양분의 가치 역시 변동함.

표19 비용, 편익 항목별 지역요인 반영 여부

구분	축종별 분뇨발생량 (한육우, 젓소, 돼지, 닭)		지역 양분수지 (농지투입 질소, 인, 작물흡수, 수계유출비)	
비용	초기설치비	O		X
	운영비	O		X
편익	반입수수료	X		X
	비료판매비	O		X
	전력판매수익	X		X
	온실효과감축 (REC 거래수익)	X		X
	수질개선편익	O		O
	화학비료대체효과	O		O

- 본 연구에서는 경제주체에 따라 발생하는 비용과 편익이 서로 다르다는 점을 고려하여 국가, 지방, 사업자 입장에서의 비용과 편익을 각각 계산함.
- 비용항목의 경우 사업자 입장에서 초기설치비에 대한 국비 및 지방비 지원액이 비용에서 제외되며, 지역 입장에서 국비 지원액이 제외됨.
- 편익 중 반입수수료는 축산농가가 처리사업자에게 지불한 것이기 때문에 사업자 입장에는 편익이지만 국가 전체 또는 지방 차원에서 평가할 경우 편익에서 제외됨.
- 편익 중 액비살포비와 퇴비판매수익의 경우 농가가 처리사업자에게 지불하는 금액이기 때문에 사업자 입장에서만 편익으로 계산됨.
- 편익 중 화학비료대체효과와 수질개선편익은 일종의 외부효과로 국가나 지역 차원에서는 편익으로 계산되나 사업자의 편익에서는 제외됨.
- 특이사항으로 온실효과 감축은 사업자가 회수할 수 없는 외부효과에 해당하나 REC(신재생에너지공급인증서)의 판매를 통해 사업자에게 내부화되어있다고 보아 국가, 지역, 사업자 차원에서 모두 편익으로 포함함.

표20 경제주체별 비용/편익 세부항목의 차이

구분		국가	지역	사업자
비용	초기설치비(국비지원)	○	X	X
	초기설치비(지방비지원)	○	○	X
	초기설치비(용자 및 자부담)	○	○	○
	운영비	○	○	○
편익	반입수수료	X	X	○
	액비살포비	X	X	○
	퇴비판매수익	X	X	○
	전력판매수익	○	○	○
	온실효과감축(REC 거래수익)	○	○	○
	수질개선편익	○	○	X
	화학비료대체효과	○	○	X

- 기준이 되는 시설 규모는 100m³/일 가동률은 100%, 연간 영업일수는 330일, B/C와 NPV를 계산하는 데 사용한 사회적할인율은 연간 3%, 운영기간은 임정빈 등(2019)와 조을생·이소라 등(2019)에서 공동자원화시설의 시설 내구연한으로 가정한 20년을 사용함.

나) 비용 세부항목의 산정 방법

- 비용에는 시설의 초기설치비용과 운영비가 연관되며, 시설 처리용량에 따른 단위 비용은 조을생·이소라 등(2019)에서 환경부 내부자료에 따라 처리시설의 유형에 따라 정리한 수치를 사용함.

표21 가축분뇨 처리시설 유형별 단위 비용과 시설 규모

처리유형	초기설치비 (백만 원/톤)	운영비 (원/톤)
정화	195	52,626
바이오가스 생산 후 정화	212	54,140
바이오가스 후 생산 후 액비화	177	45,076
퇴·액비화	퇴비화	51,330
	액비화	25,929

주: 1일 가축분뇨 처리량이 100톤/일인 시설을 기준으로 함.

자료: 조을생·이소라 외 (2019). 「지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구」

- 퇴·액비화의 경우 고상의 처리에는 퇴비화, 액상의 처리에는 액비화가 적용되므로 유입 축산분뇨의 고·액 분리 비율에 따라 총설치비와 운영비가 달라지는 것으로 가정하하였으며 지역별로 고상과 액상의 발생량을 계산하는 데에는 2020년도 환경부 가축분뇨 처리 통계에서 발표된 사육두수와 축종별 배출원단위를 이용함.

표22 지역에 따른 축종별 사육두수(2020년)

구분	한육우	젓소	돼지	닭
경기도	365,789	175,251	2,127,295	42,827,860
강원도	248,062	20,887	555,355	8,285,123
충청북도	249,148	21,131	606,573	23,733,145
충청남도	438,848	74,677	2,474,467	41,302,373
전라북도	405,325	33,355	1,397,683	27,008,869
전라남도	599,531	34,490	1,295,919	27,772,625
경상북도	729,184	38,841	1,502,473	27,255,766
경상남도	309,342	26,974	1,244,837	12,697,107
제주도	34,069	8,935	519,867	2,432,281
기타	116,497	11,729	171,847	6,308,700
전국	3,495,795	446,270	11,896,316	219,623,849

자료: 환경부 「가축분뇨 처리 통계」

표23 2020년 가축분뇨 배출원단위

단위: 톤/두/일

구분	한육우	젓소	돼지	닭
고형물	0.00798	0.01709	0.00083	0.000098
폐수	0.00487	0.01072	0.00390	0
합계	0.01285	0.02781	0.00473	0.000098

자료: 환경부 「가축분뇨 처리 통계」

- 아래는 도별 데이터를 기준으로 고상·액상 발생량과 이에 따른 퇴·액비화의 단위 처리비용을 계산한 결과임.
- 제주도가 특히 액비처리비용이 높아 상대적으로 낮은 초기설치비와 운영비를 나타내는 것이 확인되는데, 이는 액상이 많이 발생하는 돈분뇨의 발생이 많은 것과 관련이 있음.
- 반면 충청북도의 초기설치비와 운영비는 상대적으로 높는데, 이는 액상 비중이 낮은 계분의 발생 비중이 높은 것과 관련이 있음.
- 다만 액비화의 비중이 높을수록 오염물질 유출과 관련된 수질개선편익 측면에서 불리할 수 있으므로, 폐수의 발생 비중이 높다는 점이 항상 비용-편익 측면에서 유리하게 작용하지는 않음.

표24 지역에 따른 고품물, 폐수 발생량과 이에 따른 퇴·액비화 비용(2020년)

구분	고형물(톤/일)	폐수(톤/일)	초기설치비(백만 원/톤)	일 운영비(원/톤)
경기도	11,877	11,957	110	38,587
강원도	3,609	3,598	111	38,650
충청북도	5,179	3,806	112	40,571
충청남도	10,880	12,588	110	37,705
전라북도	7,611	7,782	110	38,488
전라남도	9,171	8,344	111	39,230
경상북도	10,401	9,827	111	38,990
경상남도	5,207	6,651	109	37,083
제주도	1,094	2,289	106	34,145
전국	66,920	68,204	110	38,509

자료: 환경부 「가축분뇨 처리 통계」

표25 지역별, 축종별 분뇨발생량(2020년)

구분	한육우	젓소	돼지	닭	계
경기도	4,700	4,874	10,062	4,296	23,932
	(19.6)	(20.4)	(42.0)	(18.0)	(100.0)
강원도	3,188	581	2,627	815	7,210
	(44.2)	(8.1)	(36.4)	(11.3)	(100.0)
충청북도	3,202	588	2,869	2,483	9,142
	(35.0)	(6.4)	(31.4)	(27.2)	(100.0)
충청남도	5,639	2,077	11,704	4,092	23,513
	(24.0)	(8.8)	(49.8)	(17.4)	(100.0)
전라북도	5,208	928	6,611	2,744	15,491
	(33.6)	(6.0)	(42.7)	(17.7)	(100.0)
전라남도	7,704	959	6,130	3,073	17,866
	(43.1)	(5.4)	(34.3)	(17.2)	(100.0)
경상북도	9,370	1,080	7,107	2,678	20,235
	(46.3)	(5.3)	(35.1)	(13.2)	(100.0)
경상남도	3,975	750	5,888	1,316	11,929
	(33.3)	(6.3)	(49.4)	(11.0)	(100.0)
제주도	438	248	2,459	249	3,395
	(12.9)	(7.3)	(72.4)	(7.3)	(100.0)
전국	44,921	12,411	56,270	22,368	135,969
	(33.0)	(9.1)	(41.4)	(16.5)	(100.0)

주: 괄호 안은 기타 축종의 분뇨를 제외한 비중

자료: 환경부 「가축분뇨 처리 통계」

- 2021년도 기준 농림축산식품부의 사업지침에 따라 초기설치비용에서의 보조금 지급을 비용 계산에 포함하였으며, 지역 차원의 경제성 분석에서는 국비를, 사업자 입장의 경제성 분석에서는 국비와 지방비 지원금액을 비용에서 제외함.
- 정화처리는 설치비용에서 국비 20%, 지방비 20%가 보조됨.
- 퇴비·액비화는 국비 40%, 지방비 30%가 보조됨.
- 에너지화는 국비 50%, 지방비 20%가 보조됨.

표26 가축분뇨 처리시설 유형별 설치비 지원 내역

단위: %

사업 유형	국비보조	지방비	국비용자	자부담
정화	20	20	50	10
에너지화	50	20	20	10
퇴·액비화	40	30	30	-

주: 정화의 경우 국비용자를 지방비로 대체할 수 있음.

자료: 농림축산식품부, 2021년 농림축산식품사업 시행지침

다) 편익 세부항목의 산정 방법

- 편익 중 반입수수료와 비료판매비 경우 임정빈 등(2019)의 자료를 참조하였음.
 - 폐수 1m³에 대한 반입수수료는 23,800원임.
 - 폐수 1m³로 생산되는 액비로는 6,150원, 퇴비로는 3,820원의 수입이 발생하는 것으로 가정함.
 - 퇴·액비화 시 퇴비와 액비의 처리 비율은 위 표에서의 지역에 따른 분뇨의 고/액분리 비율을 따랐음.
- 바이오가스 생산에 따르는 전력판매수익과 REC 거래수익의 경우 조을생·이소라 등(2019)에서 폐수 1m³ 처리 당 생산되는 것으로 산출한 전력량(110.78kWh)에 한국전력거래소의 2017~2021년 기준 SMP(86.18/kWh), 2021년 기준 REC 현물 기준가격(41,917/MWh)을 각각 곱해 산출함.
- 수질개선편익은 처리과정에 따른 BOD, T-N, T-P의 수계유출 저감량에 오염물질별 단위 유출 피해액을 곱하여 산출하였다.
 - 시설에 유입되는 오염물질의 농도는 사육두수와 발생부하 원단위를 이용하여 오염물질의 발생 총량을 구한 후 이를 고형물과 폐수의 양으로 나누어 산출함.

표27 축산분뇨 발생부하원단위

단위: g/두/일

구분		한육우	젓소	돼지	닭
고형물	BOD	461.0	439.0	77.0	5.2
	T-N	76.8	98.3	12.8	1.1
	T-P	32.6	46.0	8.9	0.4
폐수	BOD	67.0	117.7	32.0	0.0
	T-N	40.0	63.5	14.9	0.0
	T-P	3.5	10.7	3.3	0.0

자료: 2022년 기준 환경부 「오염총량관리기술지침」

- 지역별 가축분뇨의 평균 오염물질 농도를 산출한 결과 오염물질의 농도가 충청북도에서 높고 제주도에 낮은 것을 확인할 수 있는데, 이는 충청북도에서 상대적으로 농도가 높은 계분의 비중이 높고 제주도에 상대적으로 농도가 낮은 돈분뇨의 비중이 높기 때문이다.

표28 지역에 따른 가축분뇨 평균 오염물질농도

단위: mg/L

구분	BOD	T-N	T-P
경기도	31,270	7,431	2,779
강원도	34,163	7,888	2,807
충청북도	37,048	8,396	3,015
충청남도	32,290	7,556	2,846
전라북도	34,129	7,871	2,883
전라남도	35,481	8,111	2,884
경상북도	35,205	8,061	2,855
경상남도	32,052	7,501	2,780
제주도	27,271	6,650	2,675
전국	33,547	7,783	2,845

자료: 환경부 「가축분뇨 처리 통계」, 「오염총량관리기술지침」을 이용해 저자 작성

표29 축종별 분뇨 오염물질농도

단위: mg/L

구분	한육우	젓소	돼지	닭
BOD	41,089	20,018	23,044	53,061
T-N	9,089	5,818	5,856	11,224
T-P	2,809	2,039	2,579	4,082

자료: 2022년 기준 환경부 「오염총량관리기술지침」 이용 계산

- 유입된 오염물질의 농도는 정화처리하는 경우 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」의 방류기준(BOD 30mg/L, T-N 60mg/L, T-P 8mg/L)까지 저감되며, 비료화하는 경우 어성욱(2017)이 산출한 저감 비율에 따라 퇴비화하는 경우의 BOD 저감률은 81%, T-N 저감률은 51%로 액비화하는 경우의 BOD 46%, T-N 40%로 가정함.
- 퇴·액비화 시에는 고상에서는 퇴비의 저감률이 액상에서는 액상의 저감률이 적용되며, 바이오가스 생산 후 액비화의 경우 액비의 저감률이 적용됨.

표30 처리과정에 따른 오염물질 저감

단위: mg/L

구분	BOD	T-N	T-P
퇴비 정화 ¹⁾	30mg/L 까지 저감	60mg/L 까지 저감	8mg/L 까지 저감
비료화 ²⁾	저감률 0.81	저감률 0.51	저감률 0
액비 정화	30mg/L 까지 저감	60mg/L 까지 저감	8mg/L 까지 저감
비료화 ³⁾	저감률 0.46	저감률 0.40	저감률 0

주: 1) 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙(2020. 2. 20. 개정)의 방류수질기준을 맞추어 저감

2) 어성욱(2017)의 공동자원화시설 퇴비화 저감률(BOD 0.81, T-N 0.51, T-P 0) 적용

3) 위의 글의 공동자원화시설 액비화 저감률(BOD 0.46, T-N .0.51, T-P 0) 적용

4) 인은 대기로 휘발되지 않으므로 자원화처리 시 보존되는 것으로 가정

표31 질소와 인의 지역별 양분수지

단위: %

구분	질소			인	
	작물흡수	대기회산	수계유출	작물흡수	수계유출
경기도	24.0	15.2	60.8	27.2	72.8
강원도	31.0	12.7	56.3	59.2	40.8
충청북도	29.7	13.1	57.2	38.9	61.1
충청남도	37.4	13.4	49.2	46.2	53.8
전라북도	41.2	13.1	45.7	56.2	43.8
전라남도	40.2	11.4	48.4	53.1	46.9
경상북도	39.7	11.8	48.5	44.1	55.9
경상남도	48.5	12.7	38.8	51.6	48.4
제주도	19.3	13.0	67.7	21.9	78.1
전국	36.2	12.9	50.9	44.8	55.2

주: 인은 대기로 회산되지 않음.

자료: 이준형, 윤영만(2019). 「농경지 양분관리를 위한 양분수지 지표와 양분부하 지표간의 비교」

표32 성분별 오염총량과징금

연도	부과금액(원/kg)	배출부과금 산정지수	오염총량과징금(원/kg)
BOD	250	6.0229	1,506
T-N	500	6.0229	3,011
T-P	500	6.0229	3,011

자료: 환경부

- 화학비료 대체효과는 바이오가스 생산 후 액비화, 퇴·액비화 처리과정에 따른 저감 이후 비료에 남은 양분 중, 작물에 실제 흡수되어 이용되는 만큼의 가치를 화학비료의 가격을 기준으로 환산하여 도출함.
 - 양분이 작물에 이용되는 양은 퇴비화, 액비화과정 중 저감되지 않고 남은 질소량에 지역별 질소 작물흡수율을 곱하여 도출함.
 - 대체되는 화학비료의 가치로는 2020년도 농협 무기질비료(질소비중 21%)의 농업인 대상 판매기준가격(10,900원/20kg)을 적용함.

표33 가축분뇨 처리시설 운영에 따른 발생 편익

단위: 원/m³

구분	산식
반입수수료	가축분뇨 23,800원 ¹⁾
비료판매비	액비 6,150원 ²⁾ , 퇴비 3,820원 ³⁾
전력판매수익	발전량(110.78kWh) ⁴⁾ ×SMP(86.18/kWh) ⁵⁾ =9,547원
REC 거래수익	발전량(110.78kWh)×REC가격(41,917/MWh) ⁶⁾ ×바이오가스 가중치(1.0)=4,632원
수질개선편익	BOD저감량×BOD 단위당 오염총량과징금 +질소 저감량×질소 단위당 오염총량과징금 +인 저감량×인 단위당 오염총량과징금
화학비료 대체효과	[가축분비료 질소함유량×지역 질소 작물흡수비]×[화학비료가격(10,900원/20kg)/화학비료 질소함유율 ⁷⁾]

주: 1) 임정빈 등(2019). 「공동자원화시설 바이오가스 연계사업 경제성 분석」

2,3) 위의 글.

4) 조을생·이소라 외 (2019). 「지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구」

5) 한국전력거래소. 2017~2021년 평균 SMP

6) 한국전력거래소. 2021년 REC 현물 평균가격

7) 2020년도 농협 대농업인 비료 판매기준가격

라) 분석 결과

- 전국 평균치의 축종별 분뇨발생량 및 양분수지를 기준으로 비용-편익분석을 수행한 결과는 아래와 같음.
 - 국가 기준에서는 퇴·액비화의 B/C가 1.03으로 정화(0.90), 바이오가스 후 정화(1.00), 바이오가스 후 액비화(0.84)보다 높았고, NPV 역시 813백만 원으로 정화(-4,627백만 원), 바이오가스 후 정화(35백만 원), 바이오가스 후 액비화(-6,272백만 원)보다 높아 가장 경제성이 높은 것으로 평가됨.
 - 지역 기준으로는 바이오가스 정화가 B/C 1.28로 정화(0.98), 바이오가스 후 액비화(1.08), 퇴·액비화(1.20)보다 높았고 NPV 역시 10,635백만 원으로 정화(-727백만 원), 바이오가스 후 액비화(2,578백만 원), 퇴·액비화(5,228백만 원)보다 높았음.
 - 사업자의 경우는 바이오가스 후 액비화가 B/C 0.79로 정화(0.31), 바이오가스 후 정화(0.57), 퇴·액비화(0.64)보다 높으며, NPV는 -5,779백만 원으로 정화(-26,166백만 원), 바이오가스 후 정화(-14,464백만 원), 퇴·액비화(-8,186백만 원)보다 높아 가장 높은 경제성을 보였음.

표34 전국 축산분뇨 발생, 양분수지 기준 비용-편익분석 결과

구분	처리방법				
	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화	
비용	초기투자비(국비)	3,900	10,600	8,850	4,416
	초기투자비(지방비)	3,900	4,240	3,540	3,312
	초기투자비(자부담)	11,700	6,360	5,310	3,312
	초기투자비(계)	19,500	21,200	17,700	11,039
	운영비	26,409	27,169	22,620	19,325
편익	반입수수료	11,943	11,943	11,943	11,943
	비료판매비	0	0	3,086	2,507
	전력판매수익	0	4,791	4,791	0
	REC 거래수익	0	2,330	2,330	0
	수질개선편익	41,282	41,282	20,845	25,647
	화학비료대체효과	0	0	6,081	5,529
국가	B/C	0.90	1.00	0.84	1.03
	NPV(백만 원)	-4,627	35	-6,272	813
지역	B/C	0.98	1.28	1.08	1.20
	NPV(백만 원)	-727	10,635	2,578	5,228
사업자	B/C	0.31	0.57	0.79	0.64
	NPV(백만 원)	-26,166	-14,464	-5,779	-8,186

주: 운영기간 20년, 연간 할인을 3% 가정 현재가치 환산

- 특이사항으로 국가, 지역, 사업자 중 어느 차원에서 평가하느냐에 따라 가장 경제성이 높게 평가되는 처리방안이 다르게 나타난다는 점을 확인할 수 있음.
 - 우선 국가 차원에서는 운영비와 초기투자비가 다른 처리방안보다 낮은 퇴·액비화가 가장 경제성이 높은 것으로 나타나나, 지역 차원에서는 초기투자비로 가장 많은 국비지원을 받는 바이오가스 후 정화의 경제성이 다른 경우보다 높게 나타남.
 - 사업자 차원에서는 바이오가스 후 액비화의 경제성이 가장 높게 나타나는데, 이는 바이오가스 후 액비화에서 비료판매, 전력판매, REC 거래와 같이 다양한 방법으로 수익이 창출되기 때문임.

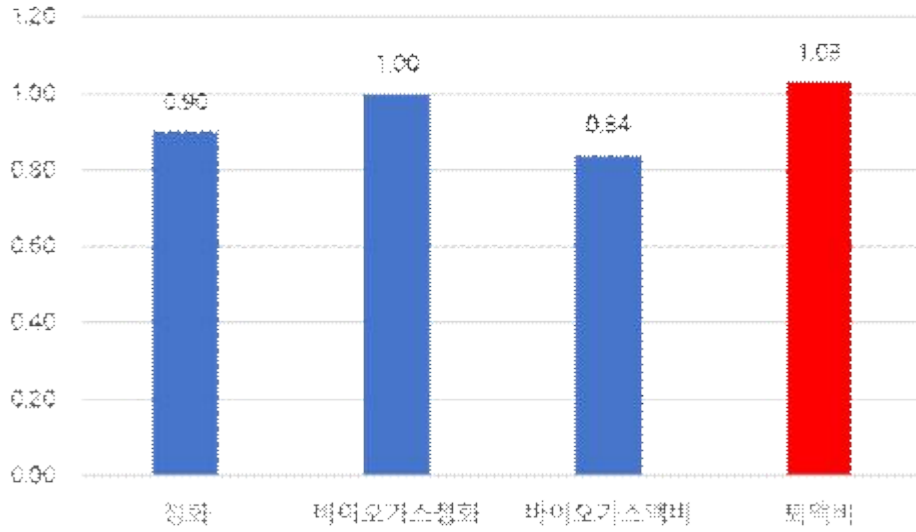


그림 23 국가기준 처리방법별 B/C 비교(전국 평균적인 여건에서 평가)

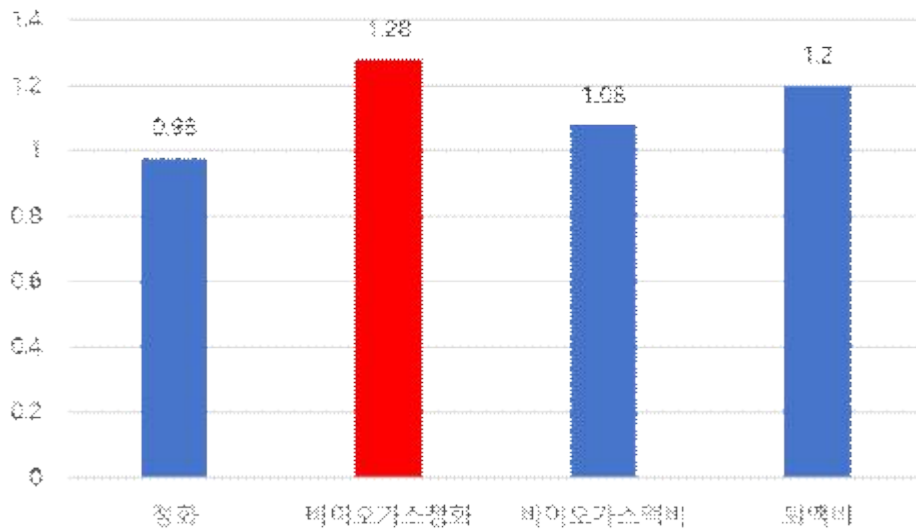


그림 24 지역기준 처리방법별 B/C 비교(전국 평균적인 여건에서 평가)

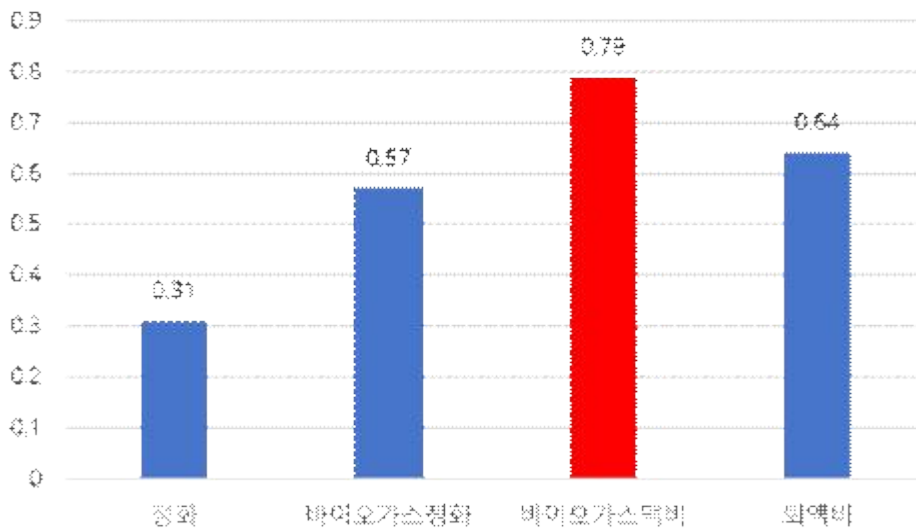


그림 25 사업자기준 처리방법별 B/C 비교(전국 평균적인 여건에서 평가)

- 이는 현재의 국가 정책이 퇴·액비화 외의 다른 처리방법을 장려한다는 점에서 정책 목표를 달성하고는 있으나, 장려되는 대안들이 기술 수준의 문제로 국가 전체 차원에서 퇴·액비화 만큼 효율적으로 가축분뇨를 처리하고 있지 못함을 의미하므로 퇴·액비화 외의 대안들이 현장에서 적용될 수 있도록 장려하는 것만큼 기술수준을 향상시키기 위한 R&D사업 역시 중요하다고 볼 수 있음.
- 사업자 입장에서 가장 높은 경제성을 보이는 바이오가스 생산 후 액비화 방법이 국가 전체 차원에서는 경제성이 매우 낮다는 특이점이 있는데, 이는 자원화처리 시 액비화가 퇴비화에 비해 오염물질 저감률이 낮아 수질개선편익이 낮게 나타나기 때문으로 바이오가스 발전 후 발생하는 고농도 소화액을 적절히 비료화하여 처리하기 어렵다는 점을 반영함.
- 따라서 바이오가스 생산시설의 경우 소화액을 단순 액비화처리하기보다는 고·액 분리를 통해 퇴비화를 함께 수행하거나, 농한기에는 정화처리할 수 있도록 유도하는 것을 고려할 필요가 있음.
- 사업자 차원에서는 B/C가 1이상, NPV가 양수로 도출되는 경우가 없었는데, 이는 주로 현재의 낮은 반입수수료에서 기인함.
 - 가축분뇨를 처리하는 시설은 대체로 공공시설이나 농협과 같은 생산자단체에서 운영되기 때문에 수익성을 목표로 할 수 없으며, 가축분뇨를 위탁하는 축산농가의 후생을 고려해야 하므로 반입수수료가 낮게 책정됨.
- 결과적으로 현재 가축분뇨처리시설의 경제성은 신규 사업자의 참여를 유도하기에는 충분하지 않으나 사업자 차원에서 바이오가스 후 정화처리하는 경우의 경제성이 정화처리하는 경우보다 높고, 바이오가스 생산 후 액비화하는 경우의 경제성이 퇴·액비화하는 경우보다 높다는 점에 주목할 수 있음.
- 이는 기존 정화처리시설이나 퇴·액비화시설을 바이오가스를 생산할 수 있도록 개조함으로써 열악한 경영성과를 개선할 수 있음을 시사하며, 기존 퇴·액비화시설에 추가 설비를 도입하여 바이오가스를 생산하는 사업이 양의 순편익을 갖는 것으로 평가한 선행연구의 결과와 맥락을 같이함.
- 지역별 분뇨발생량과 양분수지를 적용한 비용-편익분석 결과, 국가 전체 차원에서는 경기도, 충청북도, 제주도에서 바이오가스 생산 후 정화처리하는 유형의 경제성이 높았고 강원도, 충청남도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도에서 퇴·액비화의 경제성이 높았으며 이러한 차이에는 지역별 양분수지가 결정적인 영향을 미침.
 - 바이오가스 생산 후 정화처리의 경제성이 높게 나타나는 경기도와 충청북도, 제주도의 경우는 질소와 인의 작물흡수비율이 타 광역자치체보다 낮은 것으로 확인됨.
 - 이처럼 농지면적은 상대적으로 부족하나 가축분비료의 발생량과 화학비료의 투입이 많은 지역일수록 퇴비화나 액비화보다는 정화처리의 경제성이 높아짐.

표35 지역별 축산분뇨, 양분수지 고려 비용-편익 분석 결과(국가기준)

구분	처리방법							
	B/C				NPV(백만 원)			
	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화
경기도	0.85	0.95	0.72	0.86	-6,980	-2,319	-11,230	-4,205
강원도	0.91	1.01	0.84	1.02	-4,060	602	-6,550	694
충청북도	0.98	1.08	0.86	1.05	-798	3,864	-5,831	1,426
충청남도	0.87	0.97	0.83	1.01	-5,919	-1,257	-6,760	356
전라북도	0.91	1.01	0.90	1.09	-3,996	665	-4,190	2,865
전라남도	0.94	1.04	0.91	1.11	-2,610	2,051	-3,655	3,412
경상북도	0.94	1.04	0.89	1.09	-2,937	1,725	-4,377	2,724
경상남도	0.86	0.97	0.90	1.10	-6,280	-1,618	-4,205	2,846
제주도	0.75	0.86	0.63	0.75	-11,337	-6,675	-14,881	-7,004
전국	0.90	1.00	0.84	1.03	-4,627	35	-6,272	813

주: 운영기간 20년, 연간 할인율 3% 가정

- 지역 차원에서는 국가 전체 차원에서와는 다르게 대다수 지역에서 바이오가스 후 정화처리하는 경우의 경제성이 가장 높은 것으로 평가되며 이는 바이오가스 시설에 대한 국비 지원금액이 타 처리 방법과 비교하여 매우 크기 때문으로, 바이오가스 생산시설에 대한 현재의 높은 국비보조비율이 지역 차원의 의사결정에 영향을 미치기 충분하다는 것을 의미함.
- 특이사항으로 경상남도의 경우만 B/C 기준으로 퇴·액비화의 경제성이 바이오가스 후 정화의 경우보다 높게 나타나는데, 이는 경상남도에서 작물의 양분흡수비율이 다른 지역에 비해 높아 퇴·액비화의 수질개선편익이 크고 가축분뇨의 오염물질 농도가 비교적 낮아 정화처리의 이점이 상대적으로 작았기 때문임.

표36 지역별 축산분뇨, 양분수지 고려 비용-편익 분석 결과(지역기준)

단위: 백만 원

구분	처리방법							
	B/C				NPV			
	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화
경기도	0.93	1.22	0.92	1.01	-3,080	8,281	-2,380	214
강원도	1.00	1.30	1.07	1.20	-160	11,202	2,300	5,115
충청북도	1.07	1.38	1.10	1.22	3,102	14,464	3,019	5,917
충청남도	0.95	1.25	1.07	1.19	-2,019	9,343	2,090	4,743
전라북도	1.00	1.30	1.15	1.28	-96	11,265	4,660	7,280
전라남도	1.03	1.33	1.17	1.30	1,290	12,651	5,195	7,854
경상북도	1.02	1.33	1.14	1.27	963	12,325	4,473	7,157
경상남도	0.94	1.24	1.15	1.29	-2,380	8,982	4,645	7,210
제주도	0.82	1.10	0.81	0.88	-7,437	3,925	-6,031	-2,746
전국	0.98	1.28	1.08	1.20	-727	10,635	2,578	5,228

주: 운영기간 20년, 연간 할인율 3% 가정

- 사업자 기준에서는 대체로 지역 특성과 무관하게 바이오가스 생산 후 액비화하는 처리방식의 경제성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 기본적으로 사업자에게 발생하는 편익의 크기가 바이오가스 액비화에서 다른 경우보다 매우 크기 때문임.
- 특이사항으로 제주도의 경우만 퇴·액비화의 NPV가 바이오가스 후 액비화보다 약간 높은데, 돈분뇨 발생 비율이 높아 액비화처리 비중이 높으므로 퇴·액비화의 설치비와 단위 처리비용이 낮기 때문임.

표37 지역별 축산분뇨, 양분수지 고려 비용-편익 분석 결과(사업자기준)

단위: 백만 원

구분	처리방법							
	B/C				NPV			
	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화	정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화
경기도	0.31	0.57	0.79	0.64	-26,166	-14,464	-5,779	-8,231
강원도	0.31	0.57	0.79	0.64	-26,166	-14,464	-5,779	-8,267
충청북도	0.31	0.57	0.79	0.61	-26,166	-14,464	-5,779	-9,371
충청남도	0.31	0.57	0.79	0.65	-26,166	-14,464	-5,779	-7,724
전라북도	0.31	0.57	0.79	0.64	-26,166	-14,464	-5,779	-8,174
전라남도	0.31	0.57	0.79	0.63	-26,166	-14,464	-5,779	-8,600
경상북도	0.31	0.57	0.79	0.63	-26,166	-14,464	-5,779	-8,462
경상남도	0.31	0.57	0.79	0.66	-26,166	-14,464	-5,779	-7,366
제주도	0.31	0.57	0.79	0.72	-26,166	-14,464	-5,779	-5,676
전국	0.31	0.57	0.79	0.64	-26,166	-14,464	-5,779	-8,186

주: 운영기간 20년, 연간 할인율 3% 가정

마) 추가 시나리오 분석 결과

- 화학비료가격의 경우 최근 우크라이나-러시아 전쟁으로 가격이 급상승하여, 2022년도 현재는 21복비(21-17-17)의 농협인 판매기준가격이 26,300원/20kg로 본 연구에서 사용한 10,900원/20kg보다 크게 높아 이를 적용해볼 필요가 있음.
- 할인율의 경우 민감한 변수이므로 3%보다 더 높게 적용해 볼 필요가 있음.
- 수질개선편익에 산출에 사용한 오염물질의 초과배출부과금(BOD 1,506원/kg, T-N/kg 3,011원/kg, T-P 3,011원/kg)의 경우는 「물환경보전법」에 의해 공공수역 전체에 적용되는 것이나, 다른 기준을 적용해볼 필요가 있음.
 - 4대강 수계 영향권에서는 금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률, 낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률, 영산강·섬진강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률, 한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률에 따라 별도의 수질오염물질 관리규정이 별도로 적용되고 있음.
 - 해당 규정에서의 오염총량과징금에는 T-N과 관련된 과징금은 없으나, BOD와 T-P의 과징금 단가(BOD 6,656원/kg, T-P 28,688원/kg)는 「물환경보전법」의 규정보다 높게 적용됨.
- 기본 시나리오에서는 초기설치비용에만 국비와 지방비 보조가 이루어지는 것으로 가정하였으나, 현실에서는 처리수수료에 대해서도 지자체에 의해 일정액의 보조가 이루어지는 경우가 있음.
 - 기본시나리오에서 가정한 톤당 23,800원의 수수료는 각 처리방안의 톤당 발생 운영비에 크게 미치지 못함.
 - 따라서 톤당 처리단가 5만 원을 목표로 톤당 22,200원이 지원되는 경우의 경제성을 추가로 분석함.
- 화학비료가격이 상승하는 경우 바이오가스 생산 후 액비화와 퇴·액비화의 경제성이 크게 상승하는 것으로 확인되며, 따라서 현재와 같은 비료가격 상승이 장기화될 경우 가축분뇨를 정화하기보다는 비료화하는 방향의 정책이 선호될 것임.
 - 퇴·액비화의 경우 B/C가 기본 시나리오의 1.03에서 1.28로 상승하고, NPV는 831백만 원에서 8,625 백만 원으로 상승한다. 바이오가스 생산 후 액비화는 B/C가 0.84에서 1.06, NPV가 -6,272백만 원에서 2,320백만 원으로 증가함.
 - 화학비료가격이 상승할 경우에는 농지에 대한 투입이 감소하면서 양분수지가 개선된다는 점을 고려할 때, 실제로는 퇴·액비화의 경제성이 아래 분석의 경우보다 큰 폭으로 증할 것임.
- 4대강 수계 기준의 더 높은 오염총량과징금 기준을 적용하여 수질개선편익을 계산하는 경우 정확, 바이오가스 정화의 경제성이 상대적으로 크게 상승하여 일반적인 지역에서는 퇴·액비화의 경제성이 우세하지만 4대강 수계지역과 같이 비교적 오염에 민감한 지역에서는 정화처리를 우선적으로 고려할 필요가 있음을 시사함.
 - B/C기준으로는 정화처리의 경제성이 가장 높고, NPV기준으로는 바이오가스 생산 후 정화처리하는 경우의 경제성이 가장 높게 나타남.

- 할인율은 분석 결과에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 파악됨.
 - 더 높은 할인율(5%)을 적용하는 경우 퇴·액비화와 같이 초기투자비용이 낮은 방법의 경제성은 상대적으로 높아지고 정화처리와 같이 초기투자비용이 높은 방법의 경제성은 상대적으로 낮아짐.
 - 단 할인율을 3%에서 5%로 변동시킬 경우에도 기본 시나리오와 동일하게 B/C와 NPV기준 모두에서 퇴·액비화, 바이오가스 생산 후 정화, 정화, 바이오가스 생산 후 액비화 순으로 경제성이 높음.
- 처리 단위당 보조금은 처리시설의 경영안정에는 유효하지만, 사업자 입장에서의 처리방안별 경제성 순위에는 영향을 미치지 못하는 것으로 볼 수 있음.
 - 가축분뇨 처리에 톤당 22,200원의 보조금을 지급하는 경우의 경제성을 사업자 입장에서 평가해보았을 때, 기본 시나리오와 동일하게 여전히 바이오가스 생산 후 액비화하는 방법의 B/C, NPV가 가장 높은 것으로 나타남.
 - 처리 단위당 지원금으로 특정한 처리방안을 장려하기 위해서는 지급금액에 차등을 둘 필요가 있을 것임.

표38 추가 시나리오에서의 비용-편익 분석 결과

단위: 백만 원

구분		처리방법			
		정화	바이오가스 후 정화	바이오가스 후 액비화	퇴·액비화
기본 시나리오	B/C (국가)	0.90	1.00	0.84	1.03
	NPV (국가)	-4,627	35	-6,272	813
비료가격 26,300원/20kg	B/C (국가)	0.90	1.00	1.06	1.28
	NPV (국가)	-4,627	35	2,320	8,625
4대강수계 오염총량과징금 단가 적용 ²⁾	B/C (국가)	3.33	3.31	2.06	3.12
	NPV (국가)	106,882	111,544	42,744	64,478
할인율 5% 적용	B/C (국가)	0.83	0.93	0.78	0.96
	NPV (국가)	-6,951	-3,284	-8,058	-1,040
기본 시나리오	B/C (사업자)	0.31	0.57	0.79	0.64
	NPV (사업자)	-26,166	-14,464	-5,779	-8,186
톤당 처리비 22,200원 보조	B/C (사업자)	0.66	0.96	1.26	1.22
	NPV (사업자)	-13,018	-1,316	7,369	4,962

주: 1) 기본 시나리오에서는 비료가격 10,900원/20kg, 연간 할인율 3%, 오염총량과징금 BOD 1,506원/kg, T-N/kg 3,011원/kg, T-P 3,011원/kg, 반입수수료 보조금 0원 적용

2) 4대강수계 오염총량과징금 단가는 BOD 6,656원/kg, T-P 28,688원/kg

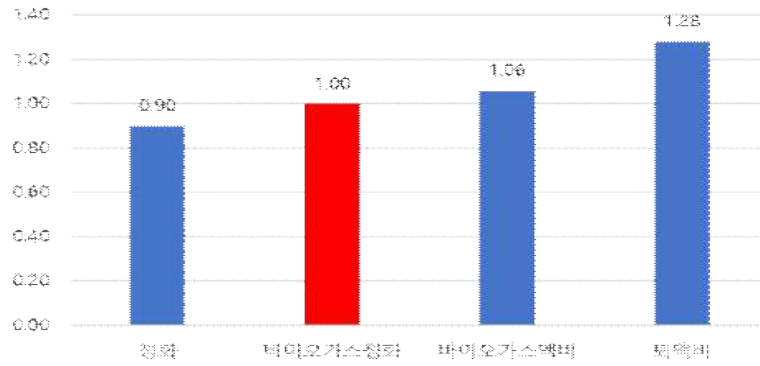


그림28 비료가격 26,300원/kg에서의 B/C(전국 평균적인 여건에서 평가)

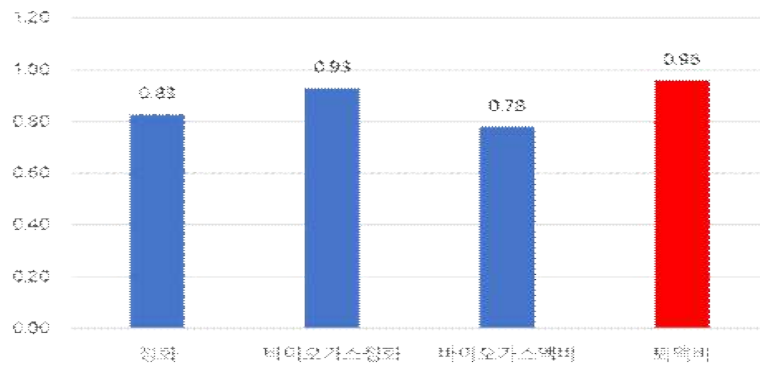


그림29 상향된 할인을 하 B/C 비교(전국 평균적인 여건에서 평가)

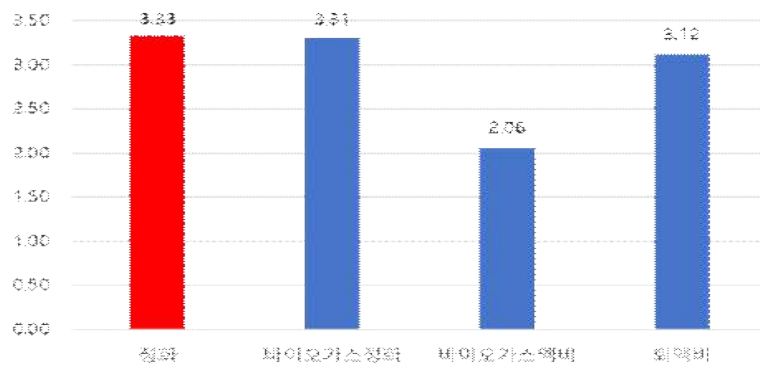


그림30 4대강수계 오염총량과징금 하 B/C 비교(전국 평균적인 여건에서 평가)

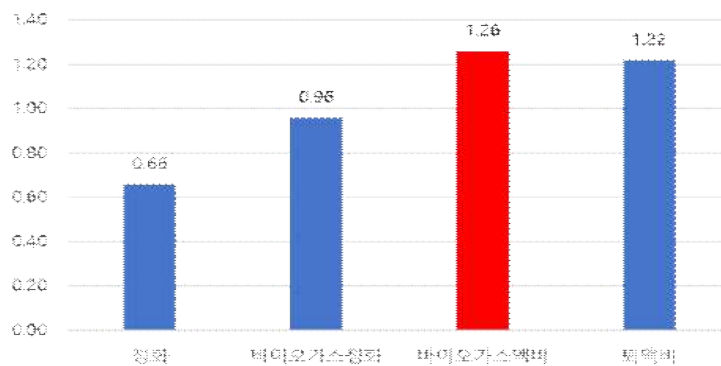
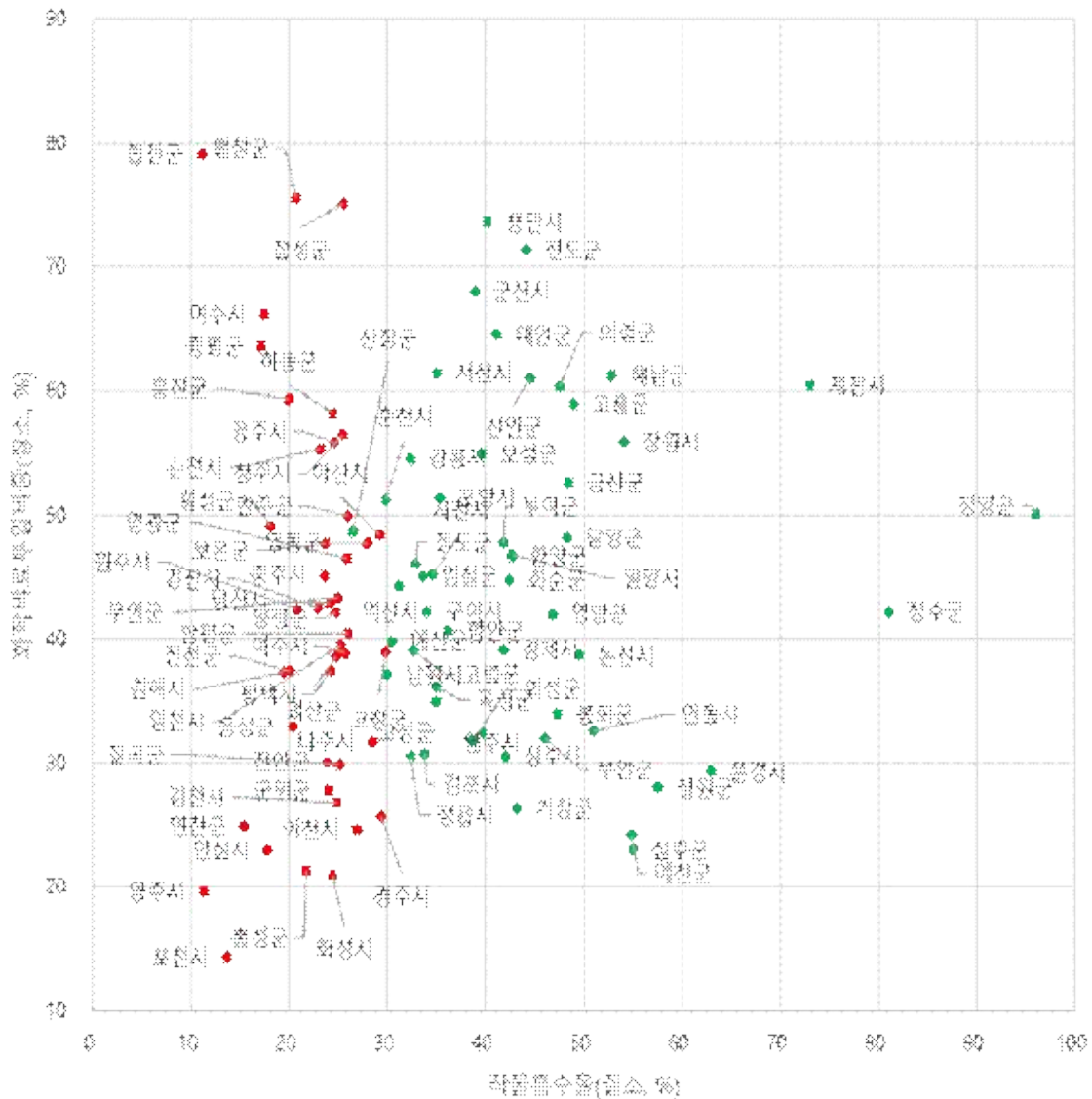


그림31 톤당 처리비 보조시 사업자기준 B/C 비교(전국 평균적인 여건에서 평가)

2) 지역여건을 고려한 경축순환모형 제안

가) 처리방안별 경제성 비교 결과

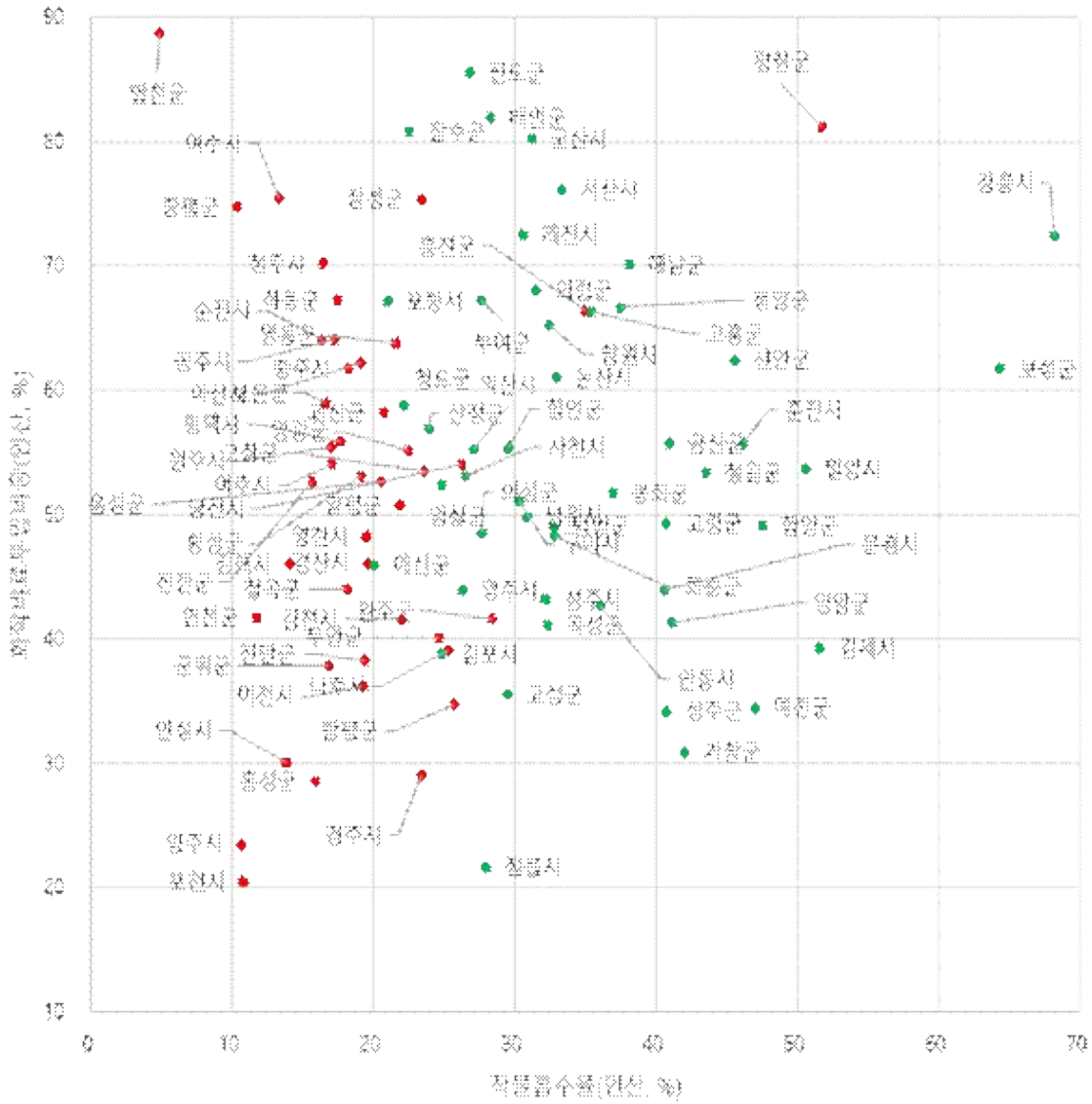
- 가축분뇨 발생량, 양분수지에 대한 정보가 있으며 일정 수준 이상 가축사육이 이루어지고 있어 일 분뇨발생량이 100톤이 넘는 96개 시·군 지역에 대해 위의 모델을 적용한 결과는 다음과 같음.
 - 44개 시군에서는 바이오가스 생산 후 정화처리의 경제성이 높게 나타남.
 - 51개 시군에서는 퇴·액비화의 경제성이 높게 나타남.
- 시군별 분석에서도 양분의 작물흡수율이 높지 않은 지역에서 상대적으로 퇴·액비화의 경제성이 떨어지는 것으로 확인되었으며, 화학비료의 투입비중은 퇴·액비화의 상대적 경제성과의 상관관계가 크지 않았음.



주: 1) 가축분뇨 일 발생량 100톤 미만 지역 제외
 2) 빨간색은 바이오가스 생산 후 정화 우세, 녹색은 퇴·액비화 우세지역

그림 32 경제성이 높은 처리방안과 화학비료 투입비중, 양분흡수율의 관계(질소)

- 양분수지 중 질소의 작물흡수율의 경우 정화처리와 자원화처리의 상대적 경제성과 상관관계가 매우 높게 나타나나, 인산의 경우 다소 약한 연관관계를 보임.
- 산청군을 제외하면 질소 작물흡수율 약 30% 미만인 경우는 바이오가스 생산 후 정화처리가, 약 30% 이상인 경우는 퇴·액비화처리가 우세했음.
- 반면 인산의 경우 평창군, 홍천군과 같이 작물흡수율이 높더라도 자원화처리의 경제성이 상대적으로 낮은 경우가 일부 발생함.



주: 1) 가축분뇨 일 발생량 100톤 미만 지역 제외
 2) 빨간색은 바이오가스 생산 후 정화 우세, 녹색은 퇴·액비화 우세지역

그림 33 경제성이 높은 처리방안과 화학비료 투입비중, 양분흡수율의 관계(인)

- 2022년 환경부 양분관리 우수사례지역인 군위군, 여주시, 서천군, 영천시 중 서천군을 제외하면 양분과잉 문제로 퇴·액비화의 경제성이 상대적으로 낮은 것으로 파악되는데, 이는 아래와 같은 이유에 따름.
 - 본 연구에서의 양분수지는 2019년도의 시비량 및 작물생산량을 기준으로 계산되었으며 해당 시점에서는 아직 양분관리사업이 이루어지지 않은 경우가 있음.
 - 해당 지역들은 지역의 양분과잉문제를 처리하기 위해 사업을 진행하고 있는 만큼 기본적으로 양분과잉문제가 발생하고 있는 지역들로 볼 수 있으며, 이는 우수사례집에서도 각 지역들을 현재 양분과잉상태라고 명시한 것으로 확인할 수 있음.

나) 분석 결과에 따른 경축순환농업 모형 제안

- 퇴·액비화보다 바이오가스 생산 후 정화의 경제성이 상대적으로 높은 지역의 경우 퇴·액비를 농가에 공급하는 것 외에 양분저감을 위한 추가적인 활동이 필요한 것으로 해석할 수 있음.
 - 해당 지역들에서는 퇴·액비화한 양분을 농지에 환원하는 것만으로는 정화처리보다 높은 경제성을 달성하지 못할 수 있음.
 - 따라서 이러한 경우 경축순환모형 모범사례지역과 같이 농가와 연계하여 화학비료 투입량을 감축하거나, 지역 외로 가축분비료를 유통하거나, 고체연료화, 바이오차, 양액을 생산하는 등 고급기술의 활용을 모색할 필요가 있음.
- 이러한 활동들은 한육우의 조사료재배활동을 제외하면 가축분뇨 처리기술수준이 높아야 하므로, 라창식 외(2020)의 경축순환 모델 중 가축분뇨 처리 설비에 대한 투자 및 유지관리에 집중하기 용이한 자원화조직체 중심모델을 추진하는 것이 선호될 수 있음.

표39 라창식(2020)제안 경축순환농업모델

주 유형	적용 지역	세부 모델유형
경종농가 중심	지역 경종농가의 작물이 논, 밭, 조사료, 과수원 등으로 다양하고 가축분비료 살포가 용이한 경종농가가 많은 지역	수도작 중심, 발작물(과수원)중심, 조사료 중심
자원화조직체 중심	축협기반의 대규모 시설이 설립되어있거나 농식품부 평가에서 우수한 성적을 획득한 자원화조직체가 다수 분포되어있는 지역	공동자원화 중심, 액비유통센터 중심
운영협의체 중심	지역 내 자원화조직체가 설립되어 있지 않은 지역	-

자료: 라창식 외(2020) 「경축순환농업 현황분석 및 모델 개발」 참고하여 저자 작성

- 다만 우선대상을 액상비종이 돈분을 주 대상으로 하느냐 액상비종이 낮은 우분, 계분을 대상으로 하느냐에 따라 모델을 달리 적용할 필요가 있음.
 - 우분이나 계분을 중심으로 하는 경우 바이오차나 고체연료 활용이 상대적으로 용이하며, 퇴비 품질을 고급화하여 지역 외로 유통하거나 사육두수가 많은 한육우의 조사료재배를 수행할 수 있음.
 - 양돈을 중심으로 하는 경우 이용한 양액생산이나 바이오가스 활용, 농한기 정화처리 등을 모색할 수 있음.

- 화학비료투입비중이 높을 경우에는 가축분뇨의 양분저감만으로는 지역 내 양분관리에 한계가 있으므로, 지역 내 양분투입이 화학비료 위주인지의 여부도 경축순환모델 선택에 중요하게 작용함.
 - 이때는 축산분뇨의 양분저감을 위한 고급기술을 활용하는 동시에 농가의 화학비료 시비를 동시에 관리해야 하므로, 양분관리를 위한 별도의 민·관 협의체의 운영을 고려할 수 있음.
- 따라서 각 지역에서의 종합적인 양분수지 여건에 따라 퇴·액비화 위주의 사업을 시행할지, 퇴·액비화보다 양분저감효과가 더 뛰어나지만 비용이 큰 옵션을 고려할지를 우선적으로 결정 후, 지역의 화학비료 투입 현황과 축종별 가축분뇨 발생 비중에 따라 경축순환모델을 선택하는 것을 제안함.
- 퇴·액비화가 타 방안과 대비하여 갖는 경제성과, 지역의 축종별 가축분뇨 발생량 및 화학비료 투입비중에 따라 지역별로 선호될 수 있는 경축순환모델의 유형을 다음과 같이 예시할 수 있음.
 - 화학비료 투입비중의 경우 처리방법별 상대적 경제성에 더 영향이 큰 것으로 추정되는 질소를 기준으로 함.
 - 다만 아래의 결과는 앞의 시나리오분석에서와 같이 향후 오염물질 저감가치의 평가, 화학비료 가격 등에 의하여 변동할 수 있음.

표40 지역 여건에 따른 경축순환활동 모형 예시(퇴·액비화 열세지역)

구분	우분, 계분위주 발생		돈분위주 발생	
	모형	중심	모형	중심
화학비료 위주 시비	경축순환 모델	민·관 협의체 중심	경축순환 모델	민·관 협의체 중심
	경축순환 활동	조사료재배, 화학비료저감	경축순환 활동	화학비료저감, 양액생산
	예시지역	평창군, 홍천군, 청주시, 공주시, 순천시, 여주시, 장성군, 하동군	예시지역	증평군, 합천군
유기비료 위주 시비	경축순환 모델	자원화조직체 중심	경축순환 모델	자원화조직체 중심
	경축순환 활동	조사료재배, 고체연료화, 열분해, 양질 퇴비의 생산 및 지역 외 판매	경축순환 활동	바이오가스 생산 후 정화, 농한기 정화처리, 고·액 분리시설 보급
	예시지역	안성시, 양주시, 양평군, 여주시, 연천군, 평택시, 포천시, 화성시, 원주시, 횡성군, 괴산군, 보은군, 영동군, 음성군, 진천군, 충주시, 아산시, 고창군, 완주군, 진안군, 나주시, 영광군, 함평군, 경산시, 경주시, 김천시, 칠곡군	예시지역	이천시, 당진시, 홍성군, 무안군, 군위군, 영천시, 김해시

주: 1) 가축분뇨 일 발생량 100톤 미만 지역 제외
 2) 화학비료 위주 여부는 질소투입에서 화학비료 비중이 50% 이상인 경우로 가정
 3) 돈분위주 여부는 돈분발생량이 전체 가축분뇨 발생량에서 차지하는 비중 50% 이상인 경우로 가정

표41 지역 여건에 따른 경축순환활동 모형 예시(퇴·액비화 우세지역)

구분	우분, 계분위주 발생		돈분위주 발생	
화학비료 위주 시비	경축순환 모델	경종농가 중심, 자원화조조직체 중심	경축순환 모델	경종농가 중심, 자원화조조직체 중심
	경축순환 활동	조사료재배, 화학비료저감, 공동퇴비장 설립 및 운영	경축순환 활동	화학비료저감, 액비화 공동자원화시설 운영
	예시지역	춘천시, 제천시, 금산군, 서산시, 청양군, 태안군, 고흥군, 보성군, 해남군, 포항시, 의령군	예시지역	용인시, 강릉시, 군산시, 신안군, 진도군, 창원시
유기비료 위주 시비	경축순환 모델	경종농가 중심, 자원화조조직체 중심	경축순환 모델	경종농가 중심, 자원화조조직체 중심
	경축순환 활동	조사료재배, 공동퇴비장 설립 및 운영	경축순환 활동	액비화 공동자원화시설 운영
	예시지역	김포시, 논산시, 부여군, 예산군, 남원시, 부안군, 임실군, 장수군, 정읍시, 곡성군, 담양군, 영암군, 화순군, 구미시, 문경시, 봉화군, 상주시, 안동시, 영주시, 예천군, 의성군, 청도군, 거창군, 밀양시, 함안군	예시지역	철원군, 김제시, 익산시, 고령군, 성주군, 고성군, 사천시, 산청군, 함양군

- 주: 1) 가축분뇨 일 발생량 100톤 미만 지역 제외
 2) 화학비료 위주 여부는 질소투입에서 화학비료 비중이 50% 이상인 경우로 가정
 3) 돈분위주 여부는 돈분발생량이 전체 가축분뇨 발생량에서 차지하는 비중 50% 이상인 경우로 가정

2. 데이터 기반 경축순환모델의 필요성

가. 경축순환 개념의 변화와 확장

- 농경지 양분과잉문제가 대두함에 따라 가축분뇨를 퇴·액비화하여 농경지에 환원하는 데 집중하는 문제점이 지적받기 시작함.
 - 우리나라의 농경지 잉여양분 투입은 OECD 통계 기준 2020년 ha당 질소 230kg, 인 46kg로 집계 국가 중 가장 높으며, 이러한 잉여양분은 대체로 하천이나 지하수로 유출됨.
 - 이러한 잉여양분의 투입에는 화학비료의 영향이 더 크다고 볼 수 있으나, 가축분뇨의 기여분 역시 상당함.
 - 가축분뇨의 농경지 환원은 농경지 총 질소투입 중 34.5%를 차지하며, 총 인산투입 중 51.8%를 차지함.
 - 이러한 경향은 축산업 확대와 농경지 축소에 따라 심화될 전망이다.



그림 35 국내 농경지 감소 추세

- 기술이 발전하면서 에너지순환, 탄소 순환과 같이 단순한 농경지 양분순환의 개념을 넘어서는 차원의 경축순환 추진이 가능해짐.
 - 축산분뇨를 이용한 바이오가스 생산을 통해 축산-경종 간 에너지 순환이 가능해짐.
 - 축산분뇨를 이용한 바이오차 생산을 통해 물질순환과정에서 토양개량효과와 탄소고정효과를 달성할 수 있게 됨.
- 이에 따라 경축순환을 필요 이상의 투입량을 넘어가지 않는 한도 내에서 양분환원을 실시하며, 이에 따르는 조사료 수입대체효과, 화학비료 대체효과, 탄소배출 저감과 같은 긍정적인 부가효과를 극대화하는 방향으로 재정립할 필요가 있음.

나. 데이터 기반 경축순환모델 구축 필요성

- 경축순환 과정에서 퇴·액비의 투입을 적정 수준으로 관리할 것이 요구되고, 지역별 농업 및 축산업 여건 등에 따라 다양한 자원화 방안을 사용할 수 있게 되면서 데이터를 기반으로 경축순환모형을 선택, 운영하고 그 가치를 평가할 필요성이 대두됨.
 - 퇴·액비화 수준을 적정 수준으로 관리할 필요성이 제기되는데, 이를 위하여서는 농경지에 대한 양분 유출입 데이터를 활용하여야 함.

- 바이오차, 여과액비와 같은 새로운 자원화 방법나 경축순환 과정에서 정화처리를 보조적으로 이용하는 경향이 대두되면서, 데이터를 기반으로 지역 여건에 따라 가능한 경축순환 모델을 선택하는 것이 중요해짐.
- 경축순환의 가치(화학비료 투입 저감, 조사료 수입 대체, 탄소저감 등)은 외부효과에 해당하므로, 데이터를 기반으로 이를 올바르게 평가하고 이에 대한 보상체계를 확립할 필요가 있음.

1) 데이터 기반 경축순환모델의 구성요소

가) 축산 양분발생 데이터

- 축산분야에서 발생하는 양분을 추적하며 관련된 데이터로 농가 단위의 실측치 또는 추정치를 사용할 수 있음.
 - 지역·국가단위에서 각 축종(소, 돼지, 닭)에 따라 축산분뇨 발생 통계를 기반으로 작성될 수 있음.
 - 소단위 경축순환모델에서 농장별 가축분뇨 발생 및 처리량을 직접 기록함에 따라 작성될 수 있음.

나) 농지 양분유출입 데이터

- 양분의 처리와 관련된 데이터로 각 형태(퇴비, 액비)별로 농지에 환원되는 양을 추적함.
 - 퇴비·액비에 함유된 주요 비료성분(N, P, K)의 농지 환원량을 기록함.
 - 기타 화학비료 투입량, 대기 및 수계유출량 추정량을 집계함.

다) 탄소저감 관련 데이터

- 바이오가스를 통한 에너지 생산, 바이오차 사용에 따른 토양 탄소고정을 추적함.
 - 바이오가스를 이용한 발전량, 폐열 이용에 따른 화석연료 사용 저감량을 기록함.
 - 바이오차 생산에 따른 탄소고정효과를 집계함.

라) 사료 생산 관련 데이터

- 경축순환활동에 따른 농후사료·조사료 추가 생산을 통한 농경지 확보와 양분유출저감량을 추적함.
 - 경축순환활동에 따른 추가 조사료 및 농후사료 생산량 수준을 기록함.
 - 조성된 조사료 및 농후사료 생산 포장에 달성하는 양분유출 저감과 수입사료 대체효과를 추정하여 집계함.

2) 데이터 기반 경축순환모델의 구성단계

가) 국가단위 경축순환모델

- 경축순환모델은 국가단위, 지역(시·군·구)단위, 소단위에서 운영될 수 있으며, 국가단위에서는 국가 전체 또는 수계별 양분유입-유출과 탄소저감효과를 추적하고 관리함.
- 데이터를 기반으로 퇴·액비와 화학비료 공급량을 적정 수준으로 설정하거나 농식품부, 환경부 차원에서 경축순환 관련 활동에 대한 효율적인 보조금 단가, 규제 수준을 정해 전국단위에서 효율적인 경축순환활동이 이루어질 수 있도록 유도함.

나) 지역(시·군·구) 단위 경축순환모델

- 시·군·구 단위에서는 데이터를 기반으로 지역 내 축산업과 경종농업 현황, 축산분뇨 처리 현황, 양분수지를 파악하고, 지역 내에서 적합한 소단위 경축순환모형을 선택하여 발전을 지원함.

다) 소단위 경축순환모델

- 경축순환농업의 ‘소단위’란 양분을 발생시키는 축산농가와 양분을 소비하는 경종농가, 그리고 이를 다시 축산에 환원시키는 구조속에서 축산-경종의 양분균형을 맞추고 탄소저감, 약취저감 등의 부가효과를 극대화하는 거버넌스 단위를 의미함.
- 소단위 경축순환모델에는 경축순환활동을 위한 실제적인 경종농가, 축산농가, 지역 공공기관 간의 연계체계가 구축되며, 이러한 연계체계에는 아래와 같이 수많은 형태가 제안되고 추진되어 왔음.
 - 농식품부는 2006년에 농식품부, 지자체, 농업기술원, 지역 농축협, 영농조합법인이 연계 되는 경축순환모델을 제안함.

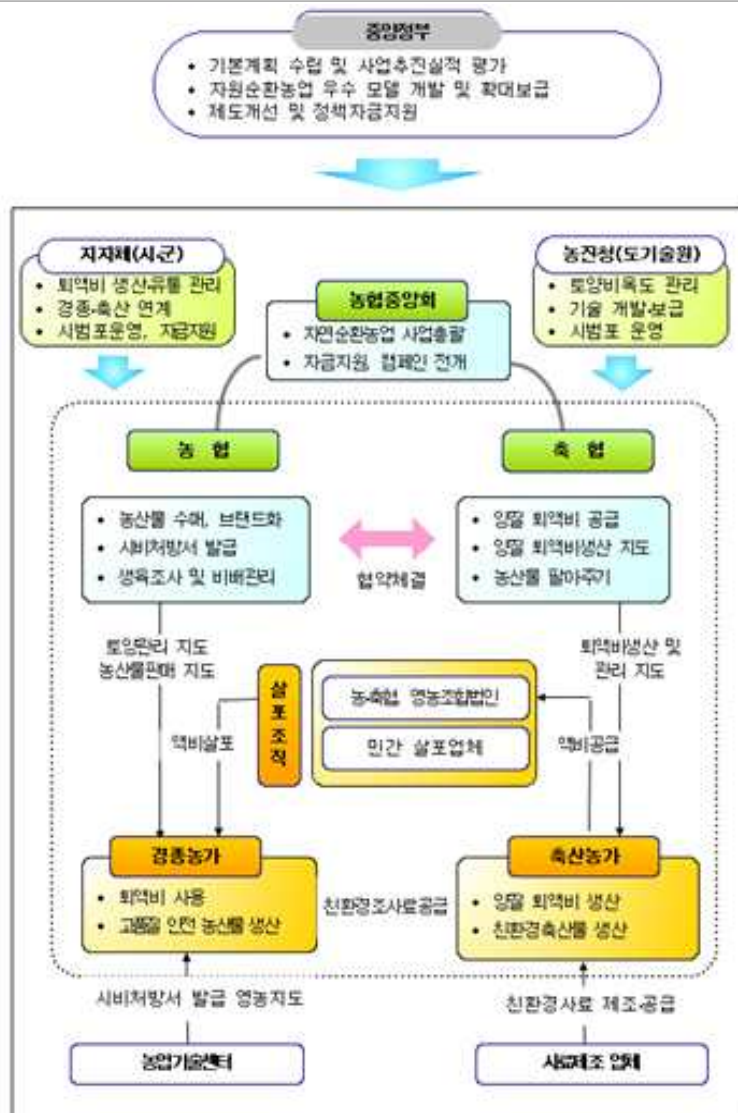


그림36 농식품부 제안 자원순환농업 추진체계

- 농어업·농어촌특별위원회(2019)에서는 실제적인 경축순환활동이 자원화조직체(공동자원화 시설, 액비유통센터, 공동퇴비장, 퇴비유통센터)를 중심으로 이루어지고 있는 것에 착안하여 자원화 조직체 중심의 경축순환 및 상생 모델(유형별) 개발을 제안함.

표42 자원화 조직체 중심의 경축순환모델

구분		내용
1유형	공동자원화 중심	• 돈농가의 돈분뇨를 공동자원화시설*(액비화시설 85개소)에서 수거, 액비를 생산하고 경종농가의 농경지에 적정량 살포
1-1유형	공동자원화시설 증축	• 액비 위주의 공동자원화시설에 퇴비사(콤포스트기, 고속발효기)를 지원하여 부숙된 퇴비를 농경지에 적정량 살포
2유형	액비유통센터 중심	• 양돈농가 시설에서 생산된 액비를 액비유통센터(135개소)에서 액비 성분 등을 관리하고 부숙된 액비를 농경지에 적정량 살포
2-1유형	공동액비장 위주	• 액비유통센터에 액비 생산 및 저장 시설을 설치(공동자원화 시설 유형)하여 돈분을 수거하여 부숙 후 농경지에 적정량 살포
3유형	퇴비유통센터 중심	• 한우, 젖소 등 축사의 깔짚 및 퇴비사의 퇴비를 퇴비유통센터에서 교반·관리하고 부숙된 퇴비를 농경지에 적정량 살포
3-1유형	공동퇴비장 위주	• 경종농가 농경지 인근에 공동퇴비장을 설치하고 축산농가(퇴비유통센터)는 공동퇴비장에서 수집·운반·교반 후 농경지 적정량 살포

자료: 이호중, 최동석. 『지역자원기반 경축순환농업 활성화 방안』. 농어업·농어촌 특별위원회. 2019. p.36.

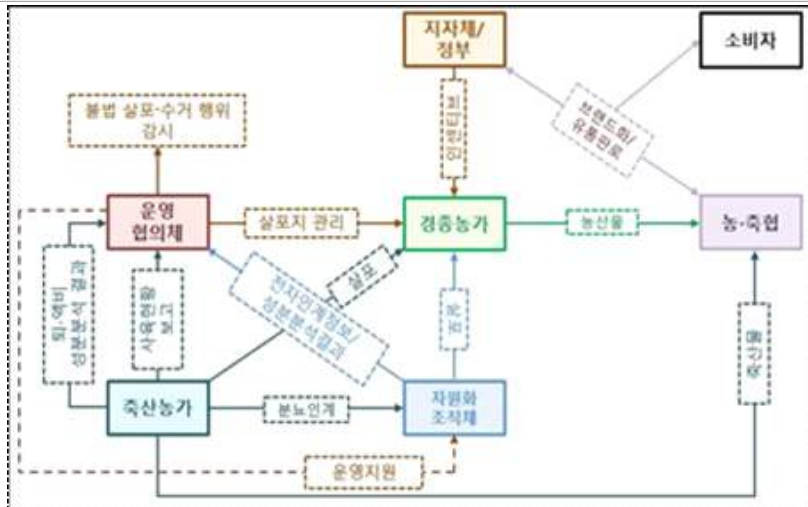
- 남재작(2020)은 경축순환농업의 주체로서 ‘지역단위 양분관리 사업단’을 설치하여 여러 개의 액비자원화조직(액비 생산·유통 전문조직)의 활동을 조율하는 모델을 제안함.



자료: 남재작. 「경축순환농업 지역단위 사업화와 모델 개발 기획연구」. 한국정밀농업연구소. 2020.p.65.

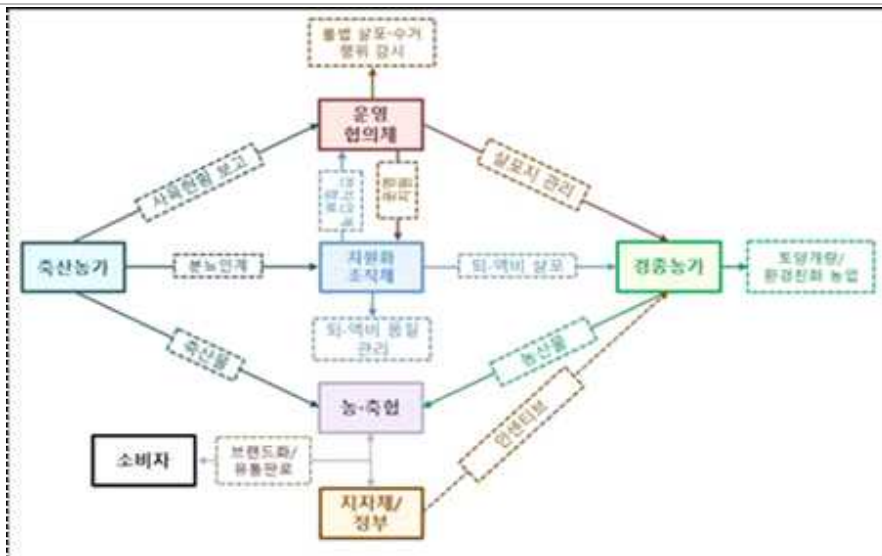
그림 37 경종농가 중심의 운영협의체 구성 및 업무흐름도

- 강원대 라창식교수는 가능한 경축순환모델을 크게 ① 경종농가 중심모델, ② 자원화조직체 중심모델로 구분하고 각 여건에 따라 세부유형을 선택하는 모델을 제안함.



자료: 라창식 외 8인(2020). 『경축순환농업 현황분석 및 모델개발』. 농림축산식품부. 2020. 7).

그림38 경종농가 중심의 경축순환농업 통합모델



자료: 라창식 외 8인(2020). 『경축순환농업 현황분석 및 모델개발』. 농림축산식품부. 2020. 7).

그림39 자원화조직체 중심의 경축순환농업 통합모델

- 이러한 모형들은 제대로 구축되어 운영될 경우 매우 높은 경축순환 활성화 효과를 가질 것으로 추정되나, 대체로 퇴·액비화를 통한 양분환원에만 집중하였으며 복잡한 연계체계와 너무 많은 유형으로 제안되고 있어 현장에서 적용하기가 어렵다는 단점이 있음.
- 퇴·액비의 경지환원에 집중하는 것은 이미 매우 높은 자원화율을 달성하고 있는 현 상태에서 비효율적으로 여겨질 수 있음.
- 제시된 연계체계와 역할분담이 복잡하게 구성되어 있어 지역 여건에 따라 유연하게 적용하는 데 한계가 있으며, 이를 보완하기 위해 많은 유형을 제시할 경우 모델 선택에 어려움을 유발할 수 있음.

- 따라서 기본적인 형태에서 시작하여 신기술 적용, 새로운 연계체계 구축에 따라 단계적으로 확장되는 모델이 필요하며, 실제로 현재 볼 수 있는 소단위 경축순환시스템의 우수사례들은 특정한 연계체계를 미리 구상하여 구축한 것이 아니라 간단한 형태의 자원화조직체가 연계 대상과 사업범위를 점차적으로 늘려가는 식으로 만들어졌음.
 - 모형의 단계적인 확장을 통한 경축순환체계 구축의 대표적인 사례로는 군위축협 자원순환센터를 중심으로 운영되는 군위군의 경축순환농업 사례가 있음.
 - 군위축협 자원순환센터를 중심으로 한 경축순환시스템은 1993년 공동자원화시설 설립, 2006년 시범포 사업을 통한 조사료 연계, 2007년 경축순환농업 브랜드 현토미 상표권출원을 통한 경종 연계, 2012년 액비화시설 100m³/일, 우분·계분 퇴비화시설 40m³/일로 축산연계 및 가축분뇨 처리방법 다양화 순으로 순차적으로 확장됨.
 - 현 단계에서는 지자체 및 정부와의 연계체계 구축 차원에서의 경축순환모델 확장을 과제로 하고 있음.

- 본 연구에서는 선행 경축순환모델 제안 사례와 군위군, 서천군, 여주시 등에서 이루어지고 있는 경축순환 모범사례를 고려하여 모형 구축의 초기 시작지점을 기준으로 크게 두 가지 방향으로 확장되는 소단위 모델을 제안함.
 - 다음에서 제시하는 두 가지 모델은 축종에 따라 구분한 것으로, 분뇨의 성상에 따라 선호되는 가축분뇨 처리 방식, 연계 가능 경종농가의 종류가 다르다는 점에서 구분됨.
 - 각 모형은 돈분뇨 액비화시설, 우분뇨 공동퇴비장에서 시작하여 크게 경축순환 활동의 종류, 참여 주체, 공공부문 연계의 3가지 방향에서 확장되며, 각 방면에서의 확장 수준은 지역 여건 및 현재 추진단계에 따라 결정됨.

- 우선 양돈분뇨 액비화시설에서 시작하는 모형의 경우, 기술, 연계주체, 공공부문 연계와 관련된 확장 단계는 아래와 같이 제시됨.
 - 기술적인 측면에서는 고액분리에서 시작해, 액상의 처리방식에서는 바이오가스→여과액비→정화연계 또는 정제액비 순으로 확장되며 고상의 처리방식에서는 퇴비화→우분&계분 추가연계→펠릿화→유기질비료(비료관리법)생산→바이오차 순서로 확장하되 여건에 따라 단계를 일부 건너뛸 수 있음.
 - 경종 연계와 관련된 측면에서는 발효액비 수요처인 조사료, 수도작 및 노지채소에서 시작하여, 여과액비 생산에 따라서 수도작 추비 및 시설채소·과수와 연계, 바이오가스 생산에 따른 시설난방 연계, 정제액비나 바이오차 생산에 따라 유기질비료 수요처와의 연계를 진행함.
 - 공공부문 연계와 관련하여서는 시비처방전을 발급하는 시·군 농업기술센터와의 연계를 기본으로, 사업 확대에 따라 축산환경관리원, 농식품부, 환경부 등 관련 정부기관과 연계함.

표43 양돈분뇨 액비화시설 기반 경축순환모형 확장 경로

확장 부문	활동	선행조건	비고
기술	고액분리기 도입	-	
	바이오가스	-	
	여과액비 생산	고액분리기 기술 도입	
	정제액비 생산	여과액비 생산 기술 도입	
	정화방류	-	<ul style="list-style-type: none"> 바이오가스 생산, 고액분리기 도입, 여과액비 생산 이후 수행하는 경우에 높은 효율성
	퇴비화	고액분리기 기술 도입	
	우분&계분 추가처리	퇴비화 기술 도입	
	퇴비 펠릿화	퇴비화 기술 도입	
	유기질비료(비료관리법) 생산	퇴비화 기술 도입	<ul style="list-style-type: none"> 펠릿화 기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 부가적으로 수출 고려 가능
	바이오차 생산	퇴비화 기술 도입	<ul style="list-style-type: none"> 펠릿화 기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 부가적으로 수출 고려 가능
경종연계	수도작 연계	-	<ul style="list-style-type: none"> 퇴비화 기술 도입, 바이오차 생산에 따라 기비 관련 연계가 심화되며 여과액비 생산에 따라 추비로 연계 범위 확장 가능
	노지식량작물·채소 연계	-	<ul style="list-style-type: none"> 퇴비화, 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	조사료 연계	-	<ul style="list-style-type: none"> 퇴비화, 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	시설채소 연계	유기질비료(비료관리법) 생산 또는 여과액비 생산 기술 도입	<ul style="list-style-type: none"> 유기질비료(비료관리법), 여과액비, 바이오가스 생산에 따른 난방 연계가 적용 가능하며 기술도입에 따라 연계 심화
	과수 연계	유기질비료(비료관리법) 생산 또는 여과액비 생산 기술 도입	<ul style="list-style-type: none"> 유기질비료(비료관리법), 여과액비가 적용 가능하며 기술도입에 따라 연계 심화
	한육우, 젖소, 양계농가 연계	퇴비화 기술 도입	<ul style="list-style-type: none"> 젖소의 경우 고액분리기 도입 이후 수행하는 경우 높은 효율
공공부문 연계	시·군 농업기술센터	-	<ul style="list-style-type: none"> 시비처방전 발급 주체로 가장 기본적으로 연계
	축산환경관리원	-	<ul style="list-style-type: none"> 신기술 도입에 따른 정부 지원 필요, 컨설팅 필요에 의해 연계
	환경부	바이오가스, 정화처리 관련 기술 도입	
	운영협의체 수립	1개 이상 공공기관 연계	

- 공동퇴비장에서 시작하는 모형의 경우 기술, 연계주체, 공공부문 연계와 관련된 확장 단계는 아래와 같이 제시됨.
 - 기술적인 측면에서는 계분 추가연계→펠릿화→유기질비료(비료관리법)생산→바이오차 순서로 확장하되 여건에 따라 단계를 일부 건너뛴 수 있음.
 - 경종 연계와 관련된 측면에서는 양돈분뇨 액비화시설에서 시작하는 모형보다 조사료 연계가 용이하다는 측면에서 관내 조사료 생산 농가와의 연계를 보다 우선할 필요성이 있음.
 - 공공부문 연계와 관련하여서는 양돈분뇨 액비화시설에서 시작하는 모형과 동일하게, 시비처방전을 발급하는 시·군 농업기술센터와의 연계를 기본으로, 사업 확대에 따라 축산환경관리원, 농식품부, 환경부 등 관련 정부기관과 연계함.

표44 우분뇨 공동퇴비장 기반 경축순환모형 확장 경로

확장 부문	활동	선행조건	비고
기술	계분 추가연계	-	
	퇴비 펠릿화	-	
	유기질비료(비료관리법)생산	-	<ul style="list-style-type: none"> • 펠릿화기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 • 부가적으로 수출 고려 가능
	바이오차 생산	-	<ul style="list-style-type: none"> • 펠릿화기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 • 부가적으로 수출 고려 가능
경종연계	조사료 연계	-	• 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	수도작 연계	-	• 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	노지식량작물·채소 연계	-	• 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	시설채소 연계	유기질비료(비료관리법) 생산	• 유기질비료(비료관리법), 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	과수 연계	유기질비료(비료관리법) 생산	• 유기질비료(비료관리법), 바이오차 생산에 따라 연계 심화
공공부문 연계	한육우, 젓소, 양계농가 연계	퇴비화기술 도입	• 젓소의 경우 고액분리기 도입 이후 수행하는 경우 높은 효율
	시·군 농업기술센터	-	• 시비처방전 발급 주체로 가장 기본적으로 연계
	축산환경관리원	-	• 신기술 도입에 따른 정부 지원 필요, 컨설팅 필요에 의해 연계
	환경부	바이오가스, 정화처리 관련 기술 도입	
	운영협의체 수립	1개 이상 공공기관 연계	

- 이때 소단위 경축순환모형의 운영 성과는 공공통계를 통해 확인하기 어려워 운영주체 자체적으로 성과와 관련된 정보를 수집하여야 하므로, 시비처방전 발급 실적, 바이오가스 발전 실적, 바이오차 판매 실적은 별도로 수집할 필요가 있음.
 - 소단위 경축순환모형은 비교적 크게 운영되는 사례에서도 시·군·구 전체 농축산업에서 차지하는 비중에는 한계가 있어, 그 실적을 지역 단위 공공통계를 통해 확인하기 어려움.
 - 실제로 여주시, 군위군, 서천군의 경축순환 연계체계의 경우 환경부에서 선정한 지역단위 양분관리 모범사례로 선정된 바 있으나 해당 지역 전체의 양분투입량이 요구량 대비 높은 것으로 파악되어 경축순환모델 운영의 성과를 올바르게 평가받지 못하는 경우가 있었음.
 - 이는 소단위 경축순환모형의 운영 성과 측정을 위한 데이터가 별도로 수집·가공되지 않고 있었기 때문임.

3) 데이터 기반의 경축순환모델 정립을 위한 관련분야 DB 구축 방안 제시

가) 현재 수집 및 제공 중인 경축순환 관련 데이터

○ 가축분뇨 발생 및 처리현황 통계

- 수집주체: 환경부 (수질수생태과)
- 데이터 제공방식: 환경부 홈페이지
- 공표 주기 및 시기: 매년 10월
- 데이터 접근성: 엑셀파일 형태로 다운로드할 수 있음.
- 수집범위: [2020년도 수집 기준]
 - 지역별(시, 군, 구 단위) 가축(한육우, 젓소, 말, 돼지, 양/사슴, 닭/오리, 개, 타조, 가금 기타) 사육 농가수 및 두수
- 지역별 가축분뇨 일/톤 총(허가+신고+신고미만) 발생량. 가축분뇨 배출원단위는 폐수+고형물의 합계인 톤/두/일 단위로 계산.
- 지역별 가축분뇨처리 농가수. 대부분류는 자가처리/위탁처리/미처리 총 3가지로 통계하였는데, 자가처리는 정화방류, 퇴비화, 액비화, 바이오에너지, 가축분뇨고체연료 등 5가지 방식으로 구분하고, 위탁처리는 공공처리시설, 공동처리시설, 재활용신고자, 가축분뇨처리업자 등 4가지 방식으로 구분함.
- 지역별, 방법별 가축분뇨 처리량.
 - 지역별 가축분뇨 공공처리 시설운영 관리현황. 데이터에는 처리장수, 시설용량, 처리공법, 처리구분(연계처리 또는 단독처리) 등 내용이 포함됨.
 - 가축분뇨처리 관련 영업자 현황. 통계에는 가축분뇨 수집운반업체 개수, 종사인원, 차량 시설 확보현황, 분뇨수집운반 톤/년 실적등 내용이 포함됨.
 - 해당 데이터와 경축순환과의 관계: 수질오염총량관리제, 가축분뇨의 처리대책·재활용 계획수립 등에 기초자료 활용.

○ 무기질비료사용량 통계

- 수집주체: 농림축산식품부 정보통계정책담당관실
- 데이터 제공방식: <농림축산식품통계연보>에서 제공
- 공표 주기 및 시기: 연간
- 데이터 접근성: pdf형식으로 다운 받을 수 있음.
- 수집범위: 농업용 화학 비료생산량, 지역별 화학비료의 성분별(질소질, 인산질, 칼리질) 또는 류형별 소비량.
- 해당 데이터와 경축순환과의 관계: 양분수지 계산시 화학비료의 투입량 고려필요.

○ 가축동향조사

- 수집주체: 축산물품질평가원
- 데이터 제공방식: 통계청(KOSIS)을 통해 제공.
- 공표 주기 및 시기: 분기별
- 데이터 접근성: excel 다운 가능
- 수집범위: 지역별 사육규모별 한육우, 돼지, 닭, 오리 등의 농장수 및 마리수
- 해당 데이터와 경축순환과의 관계: 가축분뇨의 배출량 계산에 사용.
- 비고: “(1) 가축분뇨 발생 및 처리현황 통계”에서 해당 자료들을 포함함.

○ 농림축산식품부 유기질비료 공급통계

- 수집주체: 농림축산식품부 정보통계정책담당관실
- 데이터 제공방식: 공공데이터포털에서 무료제공
- 공표 주기 및 시기: 연간
- 데이터 접근성: excel 다운 가능
- 수집범위: 유기질비료 자자체(읍면동)/비종별 공급현황 자료로 사업년도, 시도, 시군구, 읍면동, 비료종류, 신청물량(톤), 신청금액(백만), 선정물량(톤), 선정금액(백만), 포기물량(톤), 포기금액(백만), 실지원물량(톤), 실지원금액(백만) 등 내용이 포함됨.
- 해당 데이터와 경축순환과의 관계: 양분수지 계산시 유기질비료의 투입량 고려필요.
- 2023년 유기질비료 지원사업 표준사업시행지침 요약:
 - 지원자격: 농업경영정보를 등록한 농업경영체로서 본인의 농업영정보에 등록된 농지에 부산물비료(유기질, 가축분)를 사용하여 농산물을 생산하는 자
 - 지원내용: 유기질비료 및 가축분퇴비 구입비 일부 지원
 - 신청기간: 2022. 11. 8. ~ 12. 8.까지 *Agrix 입력: 12. 8.까지(기한엄수)
 - 신청방법: 비료의 종류, 품질등급(부속유기질비료), 신청물량, 공급시기 등을 신청서 서식에 따라 작성하여 농지 소재지 관할 읍·면에 신청

표45 2023년 유기질비료 지원사업 표준사업시행지침 주요내용

내역사업명	유기질비료 지원	세목 예산	-
		(백만원)	20,341(보전금)
사업목적	<ul style="list-style-type: none"> • 농림축산부산물의 자원화·재활용을 촉진하고 유기물 공급으로 토양환경을 보전하여 지속가능한 농업 구현 • 환경친화적인 자연순환 농업의 정착 및 고품질 안전농산물 생산 유도 		
사업 주요내용	<ul style="list-style-type: none"> • 농산물 생산에 사용하는 유기질비료 구입비 일부 지원 		
근거법령	<ul style="list-style-type: none"> • 비료관리법 제7조 • 농지법 제21조 • 친환경농업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 제3조제2항 		
지원 자격 및 요건	<ul style="list-style-type: none"> • 농업경영정보를 등록한 농업경영체로서 유기질비료를 농산물 생산에 사용하는 자 		
사업 신청	<ul style="list-style-type: none"> • 비료의 종류, 품질등급(부속유기질비료에 한함), 신청물량(포), 공급시기(월)등을[별지 제1호서식]에 따라 작성하여 사업신청기간 내에 경작하는 농지 소재지를 관할하는 읍면동에 신청 		

3. 성과목표 및 지표

○ 유기물 함량(부지표): 논, 밭 등 농지 유기물 함량을 2~3% 유지

성과지표	2023 목표치	최근 3개년 목표			지표 산출 시기	측정방식
		20	21	22		
유기물 함량 (%, 부지표)	2~3	논.밭: 2.0 이상 과수.시설: 2.5 이상	논.밭: 2.0 이상 과수.시설: 2.5 이상	논.밭: 2.0 이상 과수.시설: 2.5 이상	매년 1월	홍도람을 통해 조사 된 전국 농경지 토양 검정결과 유기물 함 량(%)

4. 지원 내용

○ 농산물 생산에 사용하는 부산물비료(유기질비료, 부속유기질비료) 구입비 일부 지원

5. 연도별 재정투입 계획

(단위: 천톤, 백만원)

구 분	2019	2020	2021	2022(P)	2023(P)
물량	2,680	2,680	2,260	2,260	2,260
보조금	134,100	134,100	113,000	113,000	113,000

*보조금의 재원은 21년까지는 국고이며 22년부터 보전금임

○ 흙토람 토양통계

- 수집주체: 국립농업과학원, 농촌진흥청, 농림축산식품부
- 데이터 제공방식: 흙토람(<http://soil.rda.go.kr/>), 무료 제공.
- 공표 주기 및 시기: 비정기적 업데이트
- 데이터 접근성: excel, pdf 등 다양한 파일로 다운 가능.
- 수집범위:
 - 작물별 토양적성도조회방법: 지역별 토양적성등급(최적지, 적지, 가능지, 저위생산지)별 분포 면적(ha)을 확인할 수 있음.
 - 농경지 화학성: 지역별 농경지(논, 밭, 과수, 시설) 화학성(pH, 유기물, 유효인산 등)별 분포 면적(ha)을 확인할 수 있음.
 - 토양특성: 지역별 토양특성(단면특성, 토양지형, 토양해설, 토양분류)별 분포 면적(ha)을 확인할 수 있음.
 - 토양통(土壤統, soil series)/부호: 지역별 토양통, 토양부호 및 토지이용 추천 면적(ha)을 확인할 수 있음.
- 해당 데이터와 경축순환과의 관계: 토양의 정보를 제공해주므로써 알 맞는 비료량을 추천해 줄 수 있게 되고 토양의 양분수지관리 최적화.

○ 강수량 등 기후 데이터

- 수집주체: 국립농업과학원
- 데이터 제공방식: 농업날씨 365(<http://weather.rda.go.kr/w/>), 무료.
- 공표 주기 및 시기: 일간기준
- 데이터 접근성: excel 파일 다운 가능.
- 수집범위: 지역별 일간 기온, 습도, 풍향, 강수량, 일조시간, 토양수분 등 정보를 제공해줌.
 - 해당 데이터와 경축순환과의 관계: 기후도 토양의 양분에 영향을 미치며, 예를들어 강수량 같은 경우 토양의 양분이 얼마나 빠져나가는지에 영향을 미침.

○ IPCC 온실가스 데이터

- 현재 우리나라는 기후변화 대응 차원에서 국내 온실가스 배출량 및 흡수량을 산정하기 위해 2010년 환경부 소속의 온실가스종합정보센터를 설립하고 매년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report, NIR)를 발표하고 있음.
- 온실가스 배출량 및 흡수량 산정은 1996 기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 1996 IPCC GL)에 기반하고 있으며, 일부 부문은 IPCC 우수실행지침 2000, IPCC 우수실행지침 LULUCF, 2006 IPCC GL이 적용되고 있음.
 - 가장 최근에 발표된 보고서는 2023년 3월에 발표한 2022 국가 온실가스 인벤토리(1990~2020)보고서로 온실가스 배출량, 배출계수, 온실가스 관련 정보를 제공한다. 탄소중립기본법 시행령에 따라 농업분야 온실가스 통계관리는 농림축산식품부가 관장하고 국립축산과학원과 국립농업과학원이 산정기관으로 지정됨.
- 온실가스 배출계수를 계산하는 데는 복잡성 정도에 따라 세 가지 수준(Tier)으로 나뉨.
 - Tier 1은 기본적인 방법, Tier 2는 중간 정도의 복잡성을 가지며, Tier 3은 가장 복잡하고 많은 데이터가 필요한 방법임.

- 현재 한국의 온실가스 인벤토리 산정 수준은 대부분 Tier 1에 해당하며, 농업의 경우 국가고유 배출계수가 개발된 벼재배 부문(CH₄)과 농경지토양 부문(N₂O)의 일부분에서 Tier2 수준으로 산정되고 있음.
- 농업부문은 축산(장내발효, 가축분뇨처리)과 경종(벼재배, 농경지토양, 작물잔사소각)으로 구분되어 온실가스(메탄, 아산화질소) 배출량이 산정되고 있음.

표46 농업부문 온실가스 배출량 및 저감량 산정을 위한 온실가스 배출량 계산

구분	온실가스 배출량 산정식	배출계수																																	
장내 발효 (메탄)	$E_i = EF_i \times population_i \times (Gg/10^6 kg)$ <p> <i>E_i</i> : 가축종 <i>i</i>의 CH₄ 배출량(천톤 CH₄/year) <i>EF_i</i> : 가축종 <i>i</i>의 배출계수(kg CH₄/head/year) Population_{<i>i</i>}: 가축종 <i>i</i>의 사육두수(head) </p>	<p><장내발효 부문 축종별 메탄 배출계수></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>축종</th> <th>배출 계수</th> <th>배출계수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>젖소</td> <td>118</td> <td>IPCC 기본값(북미), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>한·육우</td> <td>47</td> <td>IPCC 기본값(북미), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>돼지</td> <td>1.5</td> <td>IPCC 기본값(선진국), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>염소(산양), 사슴, 양(면양)</td> <td>5</td> <td>IPCC 기본값(개도국), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>말</td> <td>18</td> <td>IPCC 기본값(개도국), Tier 1</td> </tr> </tbody> </table>	축종	배출 계수	배출계수 계산법	젖소	118	IPCC 기본값(북미), Tier 1	한·육우	47	IPCC 기본값(북미), Tier 1	돼지	1.5	IPCC 기본값(선진국), Tier 1	염소(산양), 사슴, 양(면양)	5	IPCC 기본값(개도국), Tier 1	말	18	IPCC 기본값(개도국), Tier 1															
		축종	배출 계수	배출계수 계산법																															
젖소	118	IPCC 기본값(북미), Tier 1																																	
한·육우	47	IPCC 기본값(북미), Tier 1																																	
돼지	1.5	IPCC 기본값(선진국), Tier 1																																	
염소(산양), 사슴, 양(면양)	5	IPCC 기본값(개도국), Tier 1																																	
말	18	IPCC 기본값(개도국), Tier 1																																	
가축 분뇨 처리 (메탄)	$E_i = EF_i \times population_i \times (Gg/10^6 kg)$ <p> <i>E_i</i> : 가축종 <i>i</i>의 CH₄ 배출량(천톤 CH₄/year) <i>EF_i</i> : 가축종 <i>i</i>의 배출계수(kg CH₄/head/year) Population_{<i>i</i>}: 가축종 <i>i</i>의 사육두수(head) </p>	<p><가축분뇨처리 부문 축종별 메탄 배출계수></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>축종</th> <th>배출 계수</th> <th>배출계수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>젖소</td> <td>36</td> <td>IPCC 기본값(북미, 한대), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>한·육우</td> <td>1</td> <td>IPCC 기본값(북미, 한대), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>돼지</td> <td>3</td> <td>IPCC 기본값(서유럽, 한대), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>닭·오리</td> <td>0.078</td> <td>IPCC 기본값(선진국, 한대), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>염소(산양)·사슴</td> <td>0.11</td> <td>IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>양(면양)</td> <td>0.10</td> <td>IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1</td> </tr> <tr> <td>말</td> <td>1.09</td> <td>IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1</td> </tr> </tbody> </table>	축종	배출 계수	배출계수 계산법	젖소	36	IPCC 기본값(북미, 한대), Tier 1	한·육우	1	IPCC 기본값(북미, 한대), Tier 1	돼지	3	IPCC 기본값(서유럽, 한대), Tier 1	닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국, 한대), Tier 1	염소(산양)·사슴	0.11	IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1	양(면양)	0.10	IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1	말	1.09	IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1									
		축종	배출 계수	배출계수 계산법																															
젖소	36	IPCC 기본값(북미, 한대), Tier 1																																	
한·육우	1	IPCC 기본값(북미, 한대), Tier 1																																	
돼지	3	IPCC 기본값(서유럽, 한대), Tier 1																																	
닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국, 한대), Tier 1																																	
염소(산양)·사슴	0.11	IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1																																	
양(면양)	0.10	IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1																																	
말	1.09	IPCC 기본값(개도국, 한대), Tier 1																																	
가축 분뇨 처리 (아산화 질소)	$N_2O = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_T \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(s)} \right] \times 44/28$ <p> <i>N₂O</i>(mm): 가축분뇨처리시설의 N₂O 배출량(kg N₂O/year) <i>N_T</i>: 가축 종류와 분류에 따른 연간 사육두수(head) <i>Nex_(T)</i>: 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량(kg N/head/year) <i>MS_(T,S)</i>: 가축분뇨처리시설 S의 이용비율 <i>EF_{3(s)}</i>: 가축분뇨처리시설 S의 아산화질소 배출계수(kg N₂O-N/kg N) <i>S</i>: 가축분뇨처리시설 <i>T</i>: 가축의 종류 44/28: N을 N₂O로 전환하는 계수 </p>	<p><축종별 분뇨 내 연평균 질소량></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>축종</th> <th>분뇨 내 질소 배출량</th> <th>배출계수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>젖소</td> <td>100</td> <td>IPCC 기본값(북미)</td> </tr> <tr> <td>한·육우</td> <td>70</td> <td>IPCC 기본값(북미)</td> </tr> <tr> <td>돼지</td> <td>20</td> <td>IPCC 기본값(서유럽)</td> </tr> <tr> <td>닭·오리</td> <td>0.6</td> <td>IPCC 기본값(서유럽)</td> </tr> <tr> <td>염소(산양)·사슴·말 양(면양)</td> <td>40</td> <td>IPCC 기본값(극동아시아)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>12</td> <td>IPCC 기본값(극동아시아)</td> </tr> </tbody> </table> <p><가축분뇨처리시설별 아산화질소 배출계수></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>가축분뇨처리시설의 종류</th> <th>배출 계수</th> <th>배출계수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>액비화시설(liquid system)</td> <td>0.001</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> <tr> <td>퇴비화시설(solid storage and drylot)</td> <td>0.02</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> <tr> <td>기타시설(other system)</td> <td>0.005</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> </tbody> </table>	축종	분뇨 내 질소 배출량	배출계수 계산법	젖소	100	IPCC 기본값(북미)	한·육우	70	IPCC 기본값(북미)	돼지	20	IPCC 기본값(서유럽)	닭·오리	0.6	IPCC 기본값(서유럽)	염소(산양)·사슴·말 양(면양)	40	IPCC 기본값(극동아시아)		12	IPCC 기본값(극동아시아)	가축분뇨처리시설의 종류	배출 계수	배출계수 계산법	액비화시설(liquid system)	0.001	IPCC 기본값	퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02	IPCC 기본값	기타시설(other system)	0.005	IPCC 기본값
		축종	분뇨 내 질소 배출량	배출계수 계산법																															
젖소	100	IPCC 기본값(북미)																																	
한·육우	70	IPCC 기본값(북미)																																	
돼지	20	IPCC 기본값(서유럽)																																	
닭·오리	0.6	IPCC 기본값(서유럽)																																	
염소(산양)·사슴·말 양(면양)	40	IPCC 기본값(극동아시아)																																	
	12	IPCC 기본값(극동아시아)																																	
가축분뇨처리시설의 종류	배출 계수	배출계수 계산법																																	
액비화시설(liquid system)	0.001	IPCC 기본값																																	
퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02	IPCC 기본값																																	
기타시설(other system)	0.005	IPCC 기본값																																	

<p>농경지 토양 직접 배출 (아산화 질소)</p>	$N_2O_{Direct} = (N_2O - N_{inputs} + N_2O - N_{GS} + N_2O - N_{FRP}) \times \frac{44}{28}$ $N_2O - N_{inputs} = \sum_i (F_{SNi} \times EF_{1i}) + (F_{ON} + F_{SOM} + F_{CR}) \times EF_{1F} + (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}$ $N_2O - N_{FRP} = [(F_{FRP, CPP} \times EF_{2FRP, CPP}) + (F_{FRP, SO} \times EF_{3FRP, SO})]$ <p> N_2O_{Direct} : 농경지토양 N₂O 직접배출량[kg N₂O/yr] $N_2O - N_{inputs}$: 연간 관리되는 농경지토양의 질소 투입에 따른 직접 배출량[kg N₂O-N/yr] $N_2O - N_{GS}$: 연간 관리되는 유기질의 N₂O-N 직접 배출량[kg N₂O-N/yr] $N_2O - N_{FRP}$: 연간 방목에 가축분뇨로 투입되는 N₂O-N 직접 배출량[kg N₂O-N/yr] 44/28 : N 배출량[kg N₂O-N/yr]의 N₂O 환산계수 F_{SNi} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량[NH₃, NO_x 대가 환산량 제외][kg N/yr] F_{ON} : 연간 유기질소로 투입되는 질소량[kg N/yr] F_{CR} : 연간 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량[kg N/yr] F_{SOM} : 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양질소 손실로 인해 무기화된 질소량[kg N/yr] F_{FRP} : 연간 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들만에 투입되는 질소량[kg N/yr] (여기서 CPP는 소, 가금류, 돼지, SO는 양 및 기타 가축) EF_{1i} : 작물별 N₂O 직접배출계수[kg N₂O-N/kg N 투입량] EF_{1FR} : 논벼 재배지 질소 투입에 따른 N₂O 배출계수[kg N₂O-N/kg N 투입량] EF_{2FRP} : 방목 가축의 분뇨로 목초지, 방목지, 들만의 질소 투입에 따른 N₂O 배출계수 [kg N₂O-N/kg N 투입량] (여기서 CPP는 소, 가금류, 돼지, SO는 양 및 기타 가축) </p>	<p><농경지토양 부문 아산화질소 직접배출계수></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>배출계수</th> <th>배출계수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>담수 논벼(EF1FR)</td> <td>0.003</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">밭작물종별 화학비료 사용(EF1i)</td> <td>고추</td> <td>국가고유 배출계수</td> </tr> <tr> <td>콩</td> <td>국가고유 배출계수</td> </tr> <tr> <td>감자</td> <td>국가고유 배출계수</td> </tr> <tr> <td>봄배추 가을배추</td> <td>국가고유 배출계수</td> </tr> <tr> <td>그 외의 밭작물</td> <td>0.00596</td> <td>국가고유 배출계수</td> </tr> <tr> <td>기본배출계수(EF1)</td> <td>0.01</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> </tbody> </table>	구분	배출계수	배출계수 계산법	담수 논벼(EF1FR)	0.003	IPCC 기본값	밭작물종별 화학비료 사용(EF1i)	고추	국가고유 배출계수	콩	국가고유 배출계수	감자	국가고유 배출계수	봄배추 가을배추	국가고유 배출계수	그 외의 밭작물	0.00596	국가고유 배출계수	기본배출계수(EF1)	0.01	IPCC 기본값
구분	배출계수	배출계수 계산법																					
담수 논벼(EF1FR)	0.003	IPCC 기본값																					
밭작물종별 화학비료 사용(EF1i)	고추	국가고유 배출계수																					
	콩	국가고유 배출계수																					
	감자	국가고유 배출계수																					
	봄배추 가을배추	국가고유 배출계수																					
그 외의 밭작물	0.00596	국가고유 배출계수																					
기본배출계수(EF1)	0.01	IPCC 기본값																					
<p>농경지 토양 부문 화학 비료 질소 투입량</p>	$F_{SNi} = N_{FERT_i}$ <p> F_{SNi} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량 N_{FERT_i} : 작물별 연간 화학비료 사용량[kg N/yr] </p>	<p>화학비료로 투입되는 질소량(FSN)은 대기로부터 환산되는 양(FracGASF, 10%)을 보정하지 않고 논과 밭 작물종별로 구분된 무기질 비료 투입량을 적용하여 산정(IPCC 기본값)</p>																					
<p>농경지 토양 부문 유기질 비료 질소 투입량</p>	$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{ODA}$ $F_{AM} = \sum (N_T \times Nex(T)) \times (1 - Frac_{GASM}) \times (1 - (Frac_{FUEL-AM} + Frac_{PRP}))$ <p> F_{ON} : 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지 토양에 투입되는 유기질 비료량[kg N/yr] F_{AM} : 연간 가축분뇨 질소의 농경지 투입량[kg N/yr] F_{SEW} : 연간 하수 질소의 농경지 투입량[kg N/yr] (폐기물 분야의 하수 질소량과 중목 산정되지 않도록 주의) F_{COMP} : 연간 녹비 질소의 농경지 투입량[kg N/yr] (퇴비화한 분뇨의 질소량과 중목 산정되지 않도록 주의) F_{ODA} : 연간 기타 유기질 비료(축산처리 폐기물, 해조분, 양조장 폐기물 등)의 농경지 투입량[kg N/yr] $N(T)$: 국내 가축종 T의 수 $Nex(T)$: 국내 가축종 T의 분뇨 N 총배출량[kg N/yr] $Frac_{GASM}$: 가축분뇨 중 대기로부터 환산되는 NH₃, NO_x 비율 $Frac_{FUEL-AM}$: 가축분뇨 중 연료로 소각되는 비율 $Frac_{PRP}$: 방목 가축에 의해 농경지 토양에 투입되는 분뇨 비율 T : 가축종 </p>	<p><농경지토양 부문 아산화질소 직접배출량 산정 매개변수></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>계수</th> <th>매개변수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frac(GASM)</td> <td>0.2</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> </tbody> </table>	구분	계수	매개변수 계산법	Frac(GASM)	0.2	IPCC 기본값															
구분	계수	매개변수 계산법																					
Frac(GASM)	0.2	IPCC 기본값																					
<p>농경지 토양 간접 배출 (아산화 질소) 대기 휘산</p>	$N_2O_{(A,TD)} = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{FRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4 \times 44/28$ <p> $N_2O_{(A,TD)}$: 대기휘산에 의한 N₂O 발생량[kg N/yr] F_{SN} : 연간 화학비료 농경지 사용량[kg N/yr] $Frac_{GASF}$: 화학비료 1톤의 질소 중 농경지 사용 시 대기로부터 환산되는 NH₃, NO_x 비율[kg N 환산량/kg N 사용량] F_{ON} : 연간 유기질 비료 투입량[kg N/yr] F_{FRP} : 연간 방목 가축에 의해 투입되는 질소를 제외한, 농경지토양에 투입되는 유기질 비료량[kg N/yr] $Frac_{GASM}$: 농경지토양에 투입되는 유기질 비료 질소량(F_{ON})과 방목 가축의 분뇨 질소량(F_{FRP}) 중 농경지 사용 시 대기로부터 환산되는 NH₃, NO_x 비율[kg N 환산량/kg N 사용량] (방목지, 퇴양 및 수계면에서 대기휘산에 의한 N₂O 배출계수[kg N₂O-N/(kg N₂H₄-N + NO_x-N 환산량)] 44/28 : N₂O 환산계수 </p>	<p><간접배출계수(EF4)></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>계수</th> <th>매개변수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>간접배출계수(EF4)</td> <td>0.010</td> <td>IPCC 기본값</td> </tr> </tbody> </table>	구분	계수	매개변수 계산법	간접배출계수(EF4)	0.010	IPCC 기본값															
구분	계수	매개변수 계산법																					
간접배출계수(EF4)	0.010	IPCC 기본값																					
<p>농경지 토양 간접 배출 (아산화 질소) 수계 유출</p>	$N_2O_{(L)} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{FRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times Frac_{ACH-M}] \times EF_5 \times 44/28$ <p> $N_2O_{(L)}$: 수계유출에 의한 N₂O 발생량[kg N/yr] F_{SN} : 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 화학비료 농경지 사용량[kg N/yr] F_{ON} : 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 농경지 투입되는 관리되는 가축 퇴비, 하수 슬러지 및 기타 유기질 비료량[kg N/yr] F_{FRP} : 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 방목 가축의 분뇨로 투입되는 질소량[kg N/yr] F_{CR} : 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 작물 잔사지상부 및 지하부 농경지에 재투입되는 질소량[kg N/yr] F_{SOM} : 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 연간 농경지토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양질소 손실로 인해 무기화된 질소량[kg N/yr] $Frac_{ACH-M}$: 관개수 지하침투나 지표수 유출이 발생하는 지역의 질소 투입 총량 중 수계로 유출되는 질소량[kg N/kg N 투입량] EF_5 : 수계유출에 의한 N₂O 배출계수[kg N₂O-N/kg N 수계유출량] 44/28 : N₂O 환산계수 </p>	<p><간접배출계수(EF5)></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>계수</th> <th>매개변수 계산법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>간접배출계수(EF5)</td> <td>0.0135</td> <td>국가고유 배출계수</td> </tr> </tbody> </table>	구분	계수	매개변수 계산법	간접배출계수(EF5)	0.0135	국가고유 배출계수															
구분	계수	매개변수 계산법																					
간접배출계수(EF5)	0.0135	국가고유 배출계수																					

자료: 2006 IPCC GL, 1996 IPCC GL, 2022 국가온실가스 인벤토리 보고서(환경부)

나) 추가 수집/제공 필요 데이터

(1) 기존 통계 보완

- 가축분뇨 종류별 발생량, 방법별 처리량, 작물별 재배면적, 토양양분정보, 온실가스 발생량 등 데이터 기반 경축순환모델 운영을 위한 데이터 중 상당수는 대체로 이미 수집되고 있는 통계자료를 추출·가공하는 형식으로 확보할 수 있음.
- 하지만 현행 데이터 중 일부는 경축순환 DB 구축 사용에 용이하게 사용되기 위해서는 아래와 같이 일부 보완이 필요함.
 - 가축분뇨 발생 및 처리 통계의 경우 위탁처리 시 세부적인 처리방법은 공공처리시설의 경우에만 확인할 수 있어, 공동자원화시설을 포함한 재활용사업자와 관련된 보완이 필요함.
 - 온실가스 관련 정보의 경우 기본적으로 국가 범위에서 계산되므로 지역단위 현황 파악을 위해서는 배출계수만을 인용해 별도로 계산하여야 하는데, 배출량을 적어도 도 단위에서 제공하는 단계까지 보완할 필요가 있음.
 - 유기질비료 시비량의 경우 비료의 종류와 공급량은 집계되고 있으나 사용되는 비료의 N, P, K함량 데이터가 함께 제공되고 있지 못해 양분수지와 관련된 분석에 응용하는 데 불편함이 있어, 비종별 성분함량이 함께 제공되어야 함.
 - 공통적으로 여과액비와 바이오차와 관련된 처리방식 구분이 없는데, 현재는 이러한 자원화방식의 비중이 적어 문제가 없었지만 향후 경축순환농업의 범위 확장에 따라 이에 대한 보완이 필요함.

표47 지역단위 데이터 기반 경축순환체계 구축을 위해 필요한 정보의 수집현황

정보	관련 통계	수록 정보	보완필요사항
가축분뇨 발생량	가축분뇨 발생 및 처리 통계	<ul style="list-style-type: none"> • 7개축종 • 읍·면·동단위 • 1년 단위 	
가축분뇨 처리량	가축분뇨 발생 및 처리 통계	<ul style="list-style-type: none"> • 9개 방식 • 읍·면·동단위 • 1년 단위 	<ul style="list-style-type: none"> • 축종별 처리방법 식별이 불가함. • 공공처리시설과 달리 공동자원화시설의 경우 단순 처리량만 제공함.
	농림어업총조사	<ul style="list-style-type: none"> • 7개 방식 • 농가특성변수(축종, 사육두수 포함)에 따른 처리방법 • 5년 단위 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사되는 처리방식이 퇴비화, 액비화, 퇴·액비화, 정화로 제한됨. • 각 농가가 해당 처리방식을 사용하고 있는지 여부만이 조사되므로 구체적인 처리량은 제공되지 않음.
작물별 재배면적	농림어업총조사	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 식량작물, 노지채소, 시설채소, 과수 • 시·군·구단위 • 5년 단위 	<ul style="list-style-type: none"> • 5년 단위 조사이므로 급격한 재배면적 변화시 문제가 발생할 수 있음.
	농업면적조사	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 식량작물, 노지채소, 시설채소, 과수 • 시·도단위 • 1년 단위 	<ul style="list-style-type: none"> • 농림어업총조사보다 조사대상 작물의 범위가 좁음. • 기본적으로 시·도 범위에서 제공하므로 시·군·구단위 분석에 응용하기 어려움.
유기질비료 시비량	유기질비료 공급현황(농림축산식품부)	<ul style="list-style-type: none"> • 읍·면·동 단위 • 비중, 공급량 • 1년 단위 	<ul style="list-style-type: none"> • 제품에 따른 양분량 차이 반영에 한계
화학비료 시비량	시·군 통계연보	<ul style="list-style-type: none"> • 성분(N, P, K)별 화학비료 판매량 • 1년 단위 	<ul style="list-style-type: none"> • 2017년을 마지막으로 대다수 시군에서 통계연보에 관련정보 수록 중단 • 낮은 신뢰도
토양양분정보	흙토람	<ul style="list-style-type: none"> • 7개 농경지화학성 변수 • 30개 토양특성 변수 • 읍면동리단위 • 수시 업데이트하여 최근 정보만 수록 	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 이용편의성
온실가스정보	IPCC 데이터	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄, 아산화질소 배출량 • 질소 대기취산 및 수계유출량 정보 추가 수록 	<ul style="list-style-type: none"> • 기본적으로 국가 범위에서 제공하므로 지역단위 현황 파악을 위해서는 배출계수만을 인용해 별도로 계산하여야 함.

(2) 신규 필요 수집 데이터

- 지역별 퇴비(가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률) 추가수집 및 제공이 필요함.
 - 유기질비료의 경우 지역별 사용량이 집계될 수 있으나, 비료관리법 상의 퇴·액비의 경우 지역 내 생산량만을 파악할 수 있으며 지역별 사용량은 별도 통계가 집계되지 않고 있음.
 - 액비의 경우 수송비용의 문제로 시·군·구 경계를 넘어 이동하는 일이 드물어 지역별 생산량 데이터를 사용량으로 취급하는 데 비교적 문제가 적으나, 퇴비의 경우 상당 수준 시·군·구 경계에서 이동하고 있는 것으로 추정됨.
 - 이러한 현황은 지역(시·군·구)단위에서 경축순환모델을 수립하는 데 난점으로 작용하고 있음.
 - 따라서 데이터 기반 경축순환모델의 활성화를 위해서는 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률상에서 규정되는 퇴비의 경우도 그 사용량을 파악하여 공공통계자료로 제공할 필요가 있음.

- 지역별 화학비료 투입량에 대한 추가수집 및 제공이 필요함.
 - 지역별 화학비료 사용량은 2017~2018년 이전까지는 각 시·군 통계연보에 수록되어 왔으며, 이에 따라 지역단위 경축순환모델 운영에 참고할 수 있었음.
 - 하지만 2018년 이후에는 대부분의 시·군·구에서 집계 및 제공을 중지함.
 - 화학비료의 경우 지역농협에서 계통구매 형태로 공급되므로 경우에 따라 정확한 집계가 불가능할 수는 있으나, 화학비료로부터의 양분투입량은 지역단위 경축순환농업 하에서의 양분관리에 매우 중요한 사안이므로 적어도 참고자료로 활용될 필요가 있어 추정치 형태로나마 집계 및 제공될 필요가 있음.

3. 지역/국가단위 양분수지 분석 방법

가. 지역/국가단위 양분수지 분석을 위한 자료 수집 및 자료 체계 구축

- 양분(질소, 인)의 수지(Budget)는 양분의 이동량(Nitrogen flow)을 파악하여 분석하며, 양분의 이동량은 유입량(Input), 유출량(Output), 저장 변동량(Stock changes)으로 설명함.
- 양분(질소, 인)의 수지(Budget)는 하나의 등식으로 나타내며, “유출량(Output) + 저장 변동량(Stock changes) - 유입량(Input) = 0”임.
- 양분의 이동량을 파악하기 위하여 정의된 각 공급원에 대해 양분수지(Nutrient budget)를 분석하는 것은 이론상 가능하지만, 실제로는 어려움이 많음. 따라서, 양분수지의 분석은 일정한 방법론에 기초하여 양분수지 산출의 현실적인 장애 요소 등을 고려하여 산출하고 있음.
- 양분수지 산정 결과는 “잔고(Surplus)”의 개념을 이용하여 설명함. “잔고”는 대기로 배출되거나 물환경으로 용탈(Leaching)·유거(Run-off)되거나 토양에서 축적 또는 고갈될 잠재력이 있는 양분을 뜻함. 잔고는 잉여 양분을 나타내는 양(+)의 값일 수도 있고, 부족 양분을 나타내는 음(-)의 값일 수도 있으며 일반적으로 단위 토지면적(ha)을 기준으로 나타냄.
- 지역단위 양분수지 분석을 위한 자료는 통계데이터를 기반으로 토양경계 양분수지 방법론을 이용함.
- 양분수지 산정법에는 범위(경계조건)에 따라 “농가수지(Farm budget)”, “토양수지(Soil budget)”, “토지수지(Land budget)”가 있음.
- 농가수지 산정법은 농가라는 범위를 기준으로, 농가의 출입문을 오고 간 모든 생산물의 양분을 산정함. 다만 농가수지 산정법은 개별 농가 단위로만 산정할 수 있는 것은 아니고 전국단위로도 산정할 수 있으며, 이 경우 전국의 농업을 하나의 농가 단위로 함.
- 토지수지 산정법은 대기, 토양, 물 환경에 오염을 일으킬 위험이 있는 총양분을 산정하는 것을 목적으로 하고 있으며 가축의 가축분뇨 배출원단위 자료가 필요함.
- 토양수지 산정법은 토양(농경지)을 산정 범위로 하고 있어 토양의 양분 유출입량을 기준으로 산정함. 따라서 토양수지를 산정하려면 토양에 살포된 가축분뇨 퇴비와 비료에 관한 자료가 필요함.
- 특히, 토양수지 산정법에서는 가축분뇨와 비료를 농지에 뿌리기 전에 휘산되는 질소(이를테면 축사나 가축분뇨 저장소, 가축분뇨 퇴·액비 제조과정 등에서 대기로 휘산되는 질소)를 산정하지 않음.
- 즉, 토양수지 산정법은 질소잔고를 산정할 때, 농지에 뿌리기 전에 휘산된 질소량은 제외하므로 토양환경에서 용탈·유출될 위험이 있는 질소 양분을 보다 정확히 산정할 수 있음.
- 양분수지 지표의 분석에서 모든 양분의 이동량을 산정에 포함하는 것이 원칙이기는 하지만 실제로는 자료 가용도 및 품질 문제가 존재하므로, 양분수지의 현실적 산정방법은 특정 양분 유출입 항목(예 : 인의 대기 침적량, 작물잔재를 통한 유입량, 독립영양 미생물에 의한 질소 고정량 등)을 제외하고 있음.

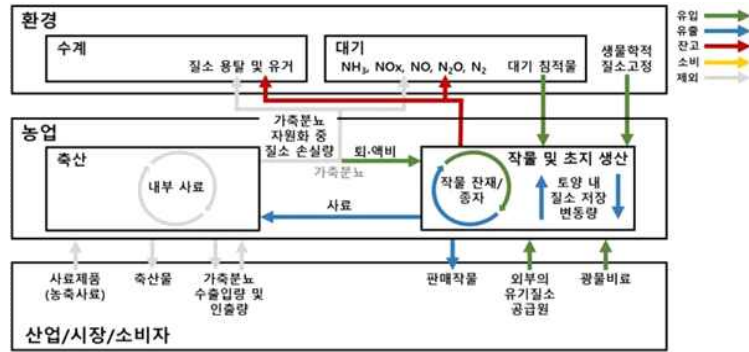


그림40 토양경계 양분수지

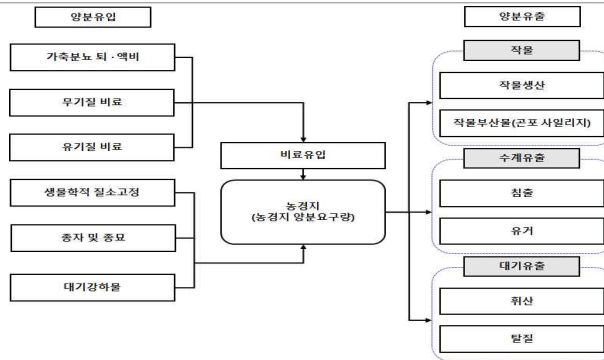


그림41 양분수지 분석모델

표48 농가수지·토지수지·토양수지 질소수지 산정법 항목 비교

항목	유입			유출			잔고		
	농가수지	토지수지	토양수지	농가수지	토지수지	토양수지	농가수지	토지수지	토양수지
축산물(고기, 우유 등)				○					
판매작물				○	○	○			
사료작물 ¹⁾					○	○			
광물비료(무기질비료)	○	○	○						
사료제품(농후사료)	○								
외부 유기태 질소공급원 ²⁾	○	○	○						
가축분뇨 순 수출입량 및 인출량 ³⁾	○	○							
가축분뇨 배설량		○							
가축분뇨의 농경지 살포량 ⁴⁾			○						
작물잔재					○	○			
토양에 다시 흡수된/남겨진 작물잔재		○	○						
미생물에 의한 질소고정량	○	○	○						
대기 강하물량	○	○	○						
토양의 질소 저장 변동량 ⁵⁾						○	○	○	
가축분뇨 농경지 살포전 휘산된 질소량 ⁶⁾							○	○	
가축분뇨 농경지 살포전 용탈·유출 질소량							○	○	
토양에서 휘산된 질소량 ⁶⁾							○	○	○
토양으로부터 용탈·유출 질소량							○	○	○

주: 1) 사료용 작물, 곡물을 비롯하여 가축의 먹이로 재배하는 기타 작물, 방목지의 풀, 채집한 풀 등.

2) 하수슬러지, 퇴비 등.

3) 토양수지 산정법은 가축분뇨의 농지살포율을 산정할 때 가축분뇨의 수출입량 및 인출량을 산정항목에 포함하지 않으며, 반면 농가수지 산정법과 토지수지 산정법은 가축분뇨를 통한 질소 유입량에서 가축분뇨 수출량과 인출량을 포함.

4) 축사 및 가축분뇨 관리시스템에서 발생한 손실량을 뺀 순 살포량.

5) 토양의 질소 저장 변동량은 토양의 질소가 고갈되고 있을 경우, 농가수지 및 토지수지에 양(+)의 질소잔고를 나타냄. 질소가 토양에 축적되고 있을 경우에는 토양 질소수지의 유출량에 양(+)의 기여를 한 것으로 계산.

6) NH₃, NO_x, N₂O, N₂ 등.

자료: Leip et al.(2011), Farm, land, and soil nitrogen balances for agriculture in Europe calculated with CAPRI.

표49 질소수지(GNB)의 현행 산정법, 이상적 산정법, 현실적 산정법

현행 산정법		이상적 산정법		현실적 산정법	
질소 유입량					
N1)	무기질비료	N1)	무기질비료	N1)	무기질비료
N2)	가축분뇨 생산량	N2)	가축분뇨 생산량	N2)	가축분뇨 생산량
N3)	가축분뇨 순 수출입량, 인출량, 저장량	N3)	가축분뇨 순 수출입량, 인출량, 저장량	N3)	가축분뇨 순 수출입량, 인출량, 저장량
N4)	기타 유기질 비료량	N4)	기타 유기질 비료량	N4)	기타 유기질 비료량
N5)	생물학적 질소 고정량	N5)	생물학적 질소 고정량	N5)	생물학적 질소 고정량
N6)	대기질소 강하물량	N6)	대기질소 강하물량	N6)	대기질소 강하물량
N7)	파종·식재료 유입량	N7)	파종·식재료 유입량	N7)	파종·식재료 유입량
N8)		N8)	작물잔재에 의한 유입량	N8)	
N9)	총유입량 = N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7의 합계	N10)	총유입량 = N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8의 합계	N11)	총유입량 = N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7의 합계
질소 유출량					
N12)	작물 생산량	N12)	작물 생산량	N12)	작물 생산량
N13)	사료작물 생산량	N13)	사료작물 생산량	N13)	사료작물 생산량
N14)	작물잔재를 통한 유출량	N14)	작물잔재를 통한 유출량	N14)	
N15)		N15)	토양 질소저장 변동량	N15)	
N16)		N16)		N16)	잔물잔재 수거량/소각량
N17)	총유출량 = N12, N13, N14의 합계	N18)	총유출량 = N12, N13, N14, N15의 합계	N19)	총유출량 = N12, N13, N16의 합계
질소 잔고					
N20)	총질소수지 = N9-N17	N20)	총질소수지 = N10-N18	N20)	총질소수지 = N11-N19

자료: OECD/Eurostat(2013), Methodology and Handbook Eurostat/OECD.

표50 인수지(PB)의 현행 산정법, 이상적 산정법, 현실적 산정법

현행 산정법		이상적 산정법		현실적 산정법	
인 유입량					
P1)	무기질비료	P1)	무기질비료	P1)	무기질비료
P2)	가축분뇨 생산량	P2)	가축분뇨 생산량	P2)	가축분뇨 생산량
P3)	가축분뇨 순 수출입량, 인출량, 저장량	P3)	가축분뇨 순 수출입량, 인출량, 저장량	P3)	가축분뇨 순 수출입량, 인출량, 저장량
P4)	기타 유기질 비료량	P4)	기타 유기질 비료량	P4)	기타 유기질 비료량
P5)		P5)		P5)	
P6)	대기질소 강하물량	P6)	대기질소 강하물량	P6)	대기질소 강하물량
P7)	파종·식재료 유입량	P7)	파종·식재료 유입량	P7)	파종·식재료 유입량
P8)		P8)	작물잔재에 의한 유입량	P8)	
P9)	총유입량 = P1, P2, P3, P4, P6, P7의 합계	P10)	총유입량 = P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8의 합계	P11)	총유입량 = P1, P2, P3, P4, P7의 합계
인 유출량					
P12)	작물 생산량	P12)	작물 생산량	P12)	작물 생산량
P13)	사료작물 생산량	P13)	사료작물 생산량	P13)	사료작물 생산량
P14)	작물잔재를 통한 유출량	P14)	작물잔재를 통한 유출량	P14)	
P15)		P15)	토양 인 저장 변동량	P15)	
P16)		P16)		P16)	잔물잔재 수거량
P17)	총유출량 = P12, P13, P14의 합계	P18)	총유출량 = P12, P13, P14, P15의 합계	P19)	총유출량 = P12, P13, P16의 합계
인 잔고					
P20)	인수지 = P9-P17	P20)	인수지 = P10-P18	P20)	인수지 = P11-P19

자료: OECD/Eurostat(2013), Methodology and Handbook Eurostat/OECD.

- OECD는 현실적 산정방법에서 의무적 보고항목과 선택적 보고항목을 좀 더 자세히 구분하고 있으며, 의무적 보고항목에 대해서는 기본값 산정 절차가 수립되어 있으며, 기타 유기질 비료의 사용, 가축분뇨의 처리, 비농업부문에서의 가축분뇨 사용 등 일부 자료는 현재 선택적 보고항목으로 구분하고 있음.
- 이는 OECD 모든 나라가 현실적인 산정 방법과 관련한 자료 체계를 모두 갖추고 있지 않으며, 국가마다 이들 자료의 기본값 산정 절차를 수립하기가 어렵기 때문임.
- 따라서, 현실적 산정 방법을 적용할 때 최소한 보고해야 할 자료가 정해져 있으며, 이는 모든 나라가 질소수지(GNB) 및 인수지(PB) 산정 시 최소한의 통일성·투명성을 기하기 위함임. 또한, 최소한 보고해야 할 자료요건에서 더 나아가 해당 항목에 대해 가능하면 완전한 정보를 제공하도록 권장하고 있음.

1) 양분 유입원·유출원의 분류

가) 양분 유입원의 분류

- 지역단위 양분총량관리를 위한 양분수지 분석에서 관리대상 양분 유입원은 아래의 표와 같으며, 화학비료, 가축분뇨 퇴·액비, 유기질비료를 대상으로 함.
- 관리외 양분 유입원은 자연적으로 농경지에 유입되어 인위적인 관리가 불가능한 양분 유입원으로서 콩과식물과 공생하는 뿌리혹박테리아 등을 통한 공중질소 고정균에 의한 생물학적 질소고정, 농업생산에서 작물재배를 위하여 종자 및 종묘를 통해 토양으로 유입되는 양분, 작물잔사의 토양환원, 대기 강하물을 통한 양분유입이 이에 해당함.

표51 관리대상 양분 유입원의 종류

양분 유입원	설명	비고
무기질비료 (화학비료)	비료공정규격 설정 및 지정(농촌진흥청고시 제2016-26호)에서 지정하는 보통비료 중 질소, 인산을 포함하는 비료제품	
가축분뇨 퇴비	비료공정규격 설정 및 지정(농촌진흥청고시 제2016-26호)에서 지정하는 부산물 비료 중 부숙유기질비료 중 가축분뇨를 원료로 제조하는 제품 가축분뇨관리 및 이용에 관한 법률(법률제13526호, 2015.12.1.)의 제2조에서 정의하는 퇴비 제품	한우, 젓소, 돼지의 사육시설에서 배출되는 사육사 깔짚혼합배출물 및 고상분을 이용한 퇴비제품
가축분뇨 액비	비료공정규격 설정 및 지정(농촌진흥청고시 제2016-26호)에서 지정하는 부산물 비료 중 부숙유기질비료 중 가축분뇨를 원료로 제조하는 제품 가축분뇨관리 및 이용에 관한 법률(법률제13526호, 2015.12.1.)의 제2조에서 정의하는 액비 제품	젓소, 돼지의 사육시설에서 배출되는 액상의 슬러리를 이용한 액비제품
유기질비료	비료공정규격 설정 및 지정(농촌진흥청고시 제2016-26호)에서 지정하는 부산물 비료 중 유기질비료 제품	닭·오리의 분뇨 및 음식물쓰레기, 각종 박류 등을 이용하여 제조한 비료제품

표52 관리외 양분 유입원의 종류

양분 유입원	설명	비고
생물학적 질소고정	콩과작물 : 작물의 뿌리에 공생하는 박테리아의 활동에 의한 대기질소고정 콩과식물 : 작물수확 후 재배되는 콩과식물(녹비작물, 사료작물)의 뿌리에 공생하는 박테리아의 활동에 의한 대기질소고정	
종자 및 종묘	작물재배시 파종과정에서 종자 및 종묘의 형태로 토양에 투입되는 질소, 인	
작물잔사	작물재배 후 토양으로 환원되는 작물의 잔사에서 기인하는 질소, 인(작물잔사는 작물재배산물로 발생하나 토양으로 환원되는 부분은 질소 투입량으로 간주)	잔물잔사 소각 등에 의한 대기취산 부분은 제외
대기강하물	대기 중의 입자상물질 및 오염물질에서 기인하는 질소, 인	

나) 양분 유출원의 분류

- 관리대상 양분 유출원은 농경지에서 작물에 이용되고 남은 양분이 지하수 침출, 토양표면 유거의 형태로 유출되는 양분으로 양분총량관리를 위해 관리지표로 활용함.
- 관리외 양분 유출원은 관리대상 양분 유출원의 산출을 위해 이용되는 양분 유출 항목으로 농업활동을 통해 생산된 작물의 형태로 농경지 밖으로 유출되는 양분과 벼의 부산물 중 사일리지로 이용되어 농경지 밖에서 처리되는 양분, 농업활동 중에 토양미생물의 활동에 의해 대기로 배출되는 양분을 포함함.

표53 관리대상 양분 유출원의 종류

양분 유출원	설명	비고
침출 (Leaching)	작물재배지역에서 용수의 토양 침투(Infiltration) 및 투과(Percolation)에 의해 지하수로 침출되고 잠재적으로 수계로 유출되는 비점오염물질	토양의 특성, 지형, 기후 후 조건에 영향을 받으며, 양분수지분석을 통해 산출
유거 (Run-off)	작물재배지역에서 용수의 토양표면 유거를 통해 수계로 유출되는 비점오염물질	토양의 특성, 지형, 기후 후 조건에 영향을 받으며, 양분수지분석을 통해 산출

표54 관리외 양분 유출원의 종류

양분 유출원	설명	비고
작물생산	작물재배지역에서 경제작물(곡류, 엽채류, 과수 등)에 흡수 이용되는 질소, 인 성분 수확되는 작물수량 및 토양으로 환원되는 작물잔사	
작물부산물	작물재배지역에서 발생하는 벼의 부산물 중 사일리지로 이용되는 질소, 인 성분	
대기취산	작물재배 과정에서 발생하는 토양에서의 암모니아 취산	가축분뇨, 화학비료 시비에서 기인하는 암모니아 취산
탈질	작물재배 과정에서 발생하는 토양에서의 아산화질소(N ₂ O), 산화질소(NO), 질소(N ₂)의 배출	온실가스국가인벤토리를 기초로 분석

나. 양분수지 분석

1) 통계자료 수집

- 지역단위 양분수지는 농지면적, 논밭비율, 재배작물, 가축사육두수, 가축분뇨 처리시설 등 지역의 농업특성에 따라 변화하며, 합리적인 양분수지 결과는 지역의 농업특성을 최적으로 고려할 때 합리적인 결과를 도출할 수 있음.
- 특히, 지역의 농업 상황을 나타내는 관련 통계자료는 기관별, 용도별, 집계방식별 차이를 나타내고 있어 지역단위 양분수지의 합리적인 산출과 분석결과와 지역 간 비교를 위해서는 통일된 자료 이용이 필요함.
- 양분 유입원과 관련한 통계자료는 환경부, 농식품부, 통계청의 자료를 활용하는 것을 원칙으로 하며, 지역단위 세부적인 양분 유입원 통계자료는 시, 군, 도에서 집계하는 통계자료를 사용하였음.
- 양분 유입원 관련 통계자료의 목록과 특성은 아래의 표와 같음.

표55 양분 유입원 관련 통계자료 목록 및 특성

양분 유입원	통계원 및 자료원	관리	관리 단위	산출방법 및 비교
무기질비료	농림축산식품통계연보 (화학비료공급량)	농식품부 통계청	시/도	무기질비료의 지역별 공급량 기준
	시/군 지역통계	시/군	시/군	
가축분뇨 퇴비	가축동향조사 (가축종별 가축사육두수)	농식품부 통계청	시/도	가축분뇨 발생원단위 활용, 퇴비화 조정계수 이용 계산 가축분뇨 처리현황 고려(정화처리 등)
	시/군 행정통계	시/군	시/군	
	가축분뇨처리통계 (가축분뇨 공공처리시설 운영현황)	환경부	시/군	
가축분뇨 액비	가축동향조사 (가축종별 가축사육두수)	농식품부 통계청	시/도	가축분뇨 발생원단위 활용, 액비화 조정계수 이용 계산
	시/군 행정통계	시/군	시/군	
	가축분뇨처리통계	환경부	시/군	
유기질 비료	비료사업통계	농협중앙회	시/군	농협중앙회 회원 단위조합 유통·판매 물량에 한정 전국 유기질비료 유통·판매의 약 40~50% 수준
생물학적 질소고정 종자 및 종묘	농림축산식품통계연보 (작물재배면적)	농식품부 통계청	시/도	콩과작물 재배면적 추출, 산출지표를 이용하여 계산
				산출지표를 이용하여 계산
작물잔사				산출지표를 이용하여 계산
대기강하물				산출지표를 이용하여 계산

○ 양분 유출원 관련 통계 자료의 목록과 특성은 아래의 표와 같음

표56 양분 유출원 관련 통계자료 목록 및 특성

양분 유출원	통계원 및 자료원	관리	관리 단위	비고
침출 (Leaching)				물질수지 분석 산출
유거 (Run-off)				물질수지 분석 산출
작물생산	농림축산식품통계연보 (작물재배면적 및 작물생산량)	농식품부 통계청	시/도	산출지표를 이용하여 계산
	시/군 행정통계	시/군	시/군	
작물부산물	농림축산식품통계연보 (작물재배면적 및 사료작물생산량)	농식품부 통계청	시/도	산출지표를 이용하여 계산
	시/군 행정통계	시/군	시/군	
대기휘산				산출지표를 이용하여 계산
탈질	온실가스종합정보시스템	환경부		http://www.gir.go.kr/ 국가온실가스인벤토리 보고서(NIR)

2) 지역단위(시/군) 양분수지 분석을 위한 자료 체계 구축

- 본 연구에서 지역단위 양분수지 분석을 위한 양분유입 항목에서는 무기질비료, 가축분뇨 퇴·액비, 유기질비료, 생물학적 질소고정, 대기강하물, 종자 및 종묘가 있으며, 양분유출 항목에서는 작물생산, 작물부산물(곤포 사일리지), 대기유출, 수계유출을 산출함.
- 토양경계 양분수지 방법론을 이용한 양분유입 항목과 양분유출 항목 산출식은 아래의 표와 같음.
- 양분유입 항목에서는 가축분뇨 퇴·액비 투입량을 산출하기 위해 가축분뇨 처리시설에서의 양분 삭감량, 축종별 퇴·액비화 양분 조정계수가 이용되며, 논외 관개수를 통한 양분유입량을 반영함.
- 양분유출 항목에서는 작물의 형태로 농경지 밖으로 유출되는 양분과 벼의 부산물 중 사일리지로 이용되어 농경지 밖에서 처리되는 양분, 농업활동 중에 토양미생물의 활동에 의해 대기로 배출되는 양분을 포함.
- 양분수지는 총양분수지(Gross nutrient balance, GNB)와 순양분수지(Net nutrient balance, NNB)로 구분하여 산출할 수 있음. 총양분수지(GNB)는 농업부문의 양분이 환경에 대해 지닌 잠재적인 위험(대기로의 탈질, 휘산과 수계로의 침출, 유거)을 나타내는 지표이며 순양분수지(NNB)는 농업부문의 양분 환경에 대해 지닌 잠재적인 위험 중 수계로의 양분 유출가능성을 나타내는 지표임.

표57 양분유입항목 산출식

양분유입		산출식
N1)	무기질비료 (IOFinput, kg/yr)	$\sum_i^n F_i C_i$ Fi : 비료 종류별 (i) 공급량, Ci : 비료 종류별 성분함량 (i) (%)
N2)	가축분뇨 퇴·액비 (LFinput, kg/yr)	$\sum_m^n (\sum_l^n (\sum_k^n (\sum_{i,j}^n L H_i \times L M_j) \times L F P_k) \times L F C_l) \times L F T_m$ LHi : 축종별 (i) 가축사육두수, LMj : 가축분뇨 (j) 배출원단위, LFPk : 가축분뇨 퇴·액비화 (k) 비율 (%), LFCl : 가축분뇨 퇴·액비질소함량 (l) (%), LFTm : 가축분뇨 퇴·액비 양분부하계수 (m) (%)
N3)	유기질비료 (OFinput, kg/yr)	$\sum_i^n O F_i \times O F C_i$ OFi : 유기질비료 품목별 (i) 공급량, OFCi : 유기질비료 품목별 양분함량 (i) (%)
N4)	생물학적 질소고정 (BNFinput, kg/yr)	$\sum_i^n B N C_i \times (1 + P_i) \times B M_i \times B N F U_i$ BNCi : 콩과작물별 (i) 생산량, Pi : 작물별 (i) 작물부산물/곡실 비율, BMi : 지상부 건물함량 (%), BNFi : 콩과작물별 질소고정단위량 (kg-N/kg-DM)
N5)	대기강하물 (APinput, kg/yr)	$\sum_{i,j}^n A_i \times A P U_j$ Ai : 작물별 (i) 재배면적, APUj : 대기강하물 종류별 (j) 양분강하계수 (kg-N/ha/yr)
N6)	종자 및 종묘 (Sinput, kg/yr)	$\sum_i^n S_i \times S N_i$ Si : 작물별 (i) 파종량, SNi : 작물별 (i) 종자 양분함량 (%)

표58 양분유출항목 산출식

양분유입		산출식
N7)	작물생산 (CPoutput, kg/yr)	$\sum_i^n C P_i \times C P N_i$ CPi : 작물별 (i) 생산량, CPNi : 작물별 (i) 양분함량 (%)
N8)	작물부산물 (CBoutput, kg/yr)	$\sum_i^n R P_i \times R B_i \times R B N_i \times S U_i$ RBi : 벼 (i) 생산량, RBi : 벼짚 (i) 발생계수, RBNi : 벼짚 양분함량 (%), SUi : 곤포사일리지 이용률 (%)
N9)	대기유출 (VDoutput, kg/yr)	$\sum_i^n (F S_i \times F V_i) + \sum_j^n (A_j \times D N_j)$ FSi : 비료종류별 (i) 공급량, FVi : 비료종류별 (i) 암모니아성 질소 휘발률 (%), Aj : 작물별 (j) 재배면적, DNj : 작물별 (j) 아산화질소 (N2O-N) 탈질량 (kg-N/yr)
N10)	수계유출 (WPoutput, kg/yr)	Nutrient input - (N7 + N8 + N9)

4. 지역/국가단위 양분수지 분석 결과

가. 국가평균 양분수지 분석

- 토양경계 양분수지 방법론을 이용하여 국가단위 양분수지 현황(2018년 기준)을 분석한 결과는 순질소수지 184.55 kg-N/ha, 순인수지는 36.79 kg-P/ha임.

표59 국가단위 순질소수지 분석 결과

지역	질소부하(-)	질소유입 (kg-N/ha)							질소유출 (kg-N/ha)				
		가축분뇨퇴액비	무기질비료	유기질비료	질소고정	종자및종묘	대기강하물	총유입량	작물재배	작물부산물	대기유출	수계유출	총유출량
국가	2.62	85.65	145.06	12.17	1.71	2.06	24.10	270.74	40.42	10.44	35.34	184.55	270.74

표60 국가단위 순인수지 분석 결과

지역	인부하(-)	인유입 (kg-P/ha)							인유출 (kg-P/ha)				
		가축분뇨퇴액비	무기질비료	유기질비료	질소고정	종자및종묘	대기강하물	총유입량	작물재배	작물부산물	대기유출	수계유출	총유출량
국가	2.17	24.24	19.76	2.65	-	0.38	-	47.03	7.63	2.61	-	36.79	47.03

나. 지역단위 양분수지 분석

○ 지역(도/시/군)단위의 양분부하, 양분유입, 양분유출 항목을 분석한 결과는 표 61-92와 같음.

표61 경기도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
경기도	2.83	170.71	107.69	11.29	1.74	2.05	24.10	317.57
가평군	4.16	156.67	115.32	12.95	2.51	1.61	24.10	313.15
광주시	3.99	59.78	97.20	22.65	1.32	0.72	24.10	205.78
김포시	2.99	100.79	123.92	7.24	0.30	2.33	24.10	258.67
남양주시	1.66	42.79	165.26	34.87	0.32	0.45	24.10	267.79
안성시	4.92	231.25	100.78	10.43	1.92	2.11	24.10	370.58
양주시	5.58	279.66	115.50	14.77	2.56	1.92	24.10	438.52
양평군	2.65	81.79	112.95	22.44	2.06	2.12	24.10	245.45
여주시	3.53	89.70	105.90	9.67	1.24	2.26	24.10	232.86
연천군	7.11	230.97	123.12	9.38	4.97	2.09	24.10	394.63
용인시	6.41	255.89	125.00	17.58	1.01	1.83	24.10	425.42
이천시	3.49	142.53	89.75	9.95	0.60	1.93	24.10	268.85
파주시	3.51	158.03	125.17	10.96	4.89	2.78	24.10	325.92
평택시	3.18	106.15	94.82	6.19	0.99	2.10	24.10	234.35
포천시	4.58	408.15	95.67	12.95	1.08	1.37	24.10	543.33
화성시	4.43	184.45	108.15	7.84	1.56	2.31	24.10	328.42

표62 강원도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
강원도	2.62	66.15	175.83	17.65	2.41	2.52	24.10	288.66
강릉시	2.30	48.89	193.61	22.12	1.13	2.67	24.10	292.52
고성군	1.84	29.44	163.05	8.64	1.11	3.54	24.10	229.89
동해시	2.24	10.14	254.70	35.50	6.88	3.33	24.10	334.65
삼척시	1.91	59.44	195.14	24.70	4.55	1.92	24.10	309.85
속초시	2.09	6.60	202.36	24.58	1.88	2.66	24.10	262.18
양구군	2.80	58.05	163.48	12.62	2.40	2.06	24.10	262.71
양양군	2.32	53.83	181.72	9.34	2.20	3.11	24.10	274.29
영월군	2.02	37.76	188.87	15.08	4.78	1.65	24.10	272.24
원주시	2.83	114.36	145.56	15.19	1.68	2.58	24.10	303.48
인제군	2.32	51.47	216.19	21.20	5.56	2.68	24.10	321.20
정선군	1.96	7.67	133.77	15.62	4.26	1.42	24.10	186.84
철원군	3.19	157.12	130.51	6.80	0.69	5.94	24.10	325.17
춘천시	2.19	58.81	143.22	18.93	3.22	2.08	24.10	250.35
태백시	0.99	21.43	201.66	22.68	0.02	0.32	24.10	270.21
평창군	6.37	30.66	275.51	20.38	0.78	1.56	24.10	352.99
홍천군	2.69	50.42	189.46	29.03	2.56	1.95	24.10	297.52
화천군	2.49	126.54	133.67	20.78	3.04	1.40	24.10	309.53
횡성군	3.08	87.80	180.17	18.01	1.77	1.97	24.10	313.82

표63 충청북도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총계
	kg-N/ha							
충청북도	2.97	79.93	121.10	11.85	2.42	1.71	24.10	241.11
괴산군	2.32	95.41	109.62	7.00	6.69	2.38	24.10	245.20
단양군	2.43	34.02	116.13	23.83	9.10	1.75	24.10	208.93
보은군	3.10	74.53	109.98	6.73	2.02	1.97	24.10	219.33
영동군	2.81	57.22	96.58	13.93	1.69	0.78	24.10	194.30
옥천군	2.86	44.21	96.52	9.61	1.37	1.40	24.10	177.21
음성군	2.32	116.77	85.82	12.72	1.34	1.40	24.10	242.15
제천시	2.92	40.89	129.51	11.36	3.57	1.61	24.10	211.05
증평군	7.01	98.42	274.99	18.54	0.31	1.82	24.10	418.18
진천군	3.58	150.62	143.13	10.38	1.21	1.99	24.10	331.43
청주시	3.04	61.28	155.16	11.16	1.47	2.16	24.10	255.33
충주시	3.28	95.95	117.57	14.66	0.21	1.38	24.10	253.88

표64 충청남도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총계
	kg-N/ha							
충청남도	2.90	106.61	147.33	8.50	1.18	2.42	24.10	290.14
계룡시	1.15	10.01	68.35	12.75	-	2.09	24.10	117.31
공주시	3.82	86.34	194.58	12.59	1.98	2.26	24.10	321.86
금산군	3.32	32.48	78.83	15.14	0.47	0.79	24.10	151.80
논산시	1.75	51.57	115.66	14.57	0.16	2.34	24.10	208.40
당진시	3.85	147.90	165.92	5.31	0.20	2.97	24.10	346.41
보령시	4.48	185.18	139.11	7.10	1.79	2.43	24.10	359.71
부여군	2.24	127.51	159.45	9.26	1.06	2.30	24.10	323.67
서산시	2.04	44.62	155.65	5.39	0.84	2.68	24.10	233.28
서천군	2.55	41.41	175.97	7.36	1.35	2.75	24.10	252.93
아산시	2.98	97.20	142.16	3.58	0.93	2.23	24.10	270.21
예산군	3.05	144.31	132.39	6.20	1.19	2.42	24.10	310.61
천안시	4.22	175.21	109.12	13.78	1.62	1.63	24.10	325.47
청양군	2.58	82.22	161.33	8.61	5.10	2.61	24.10	283.97
태안군	1.90	12.61	170.31	10.13	2.31	2.74	24.10	222.20
홍성군	4.90	260.62	141.57	8.08	0.55	2.35	24.10	437.26

표65 전라북도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지 역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
전라북도	3.30	90.71	180.25	10.12	2.23	2.51	24.10	309.91
고창군	3.08	107.78	171.16	7.67	3.20	2.54	24.10	316.46
군산시	2.49	22.26	191.97	5.81	0.39	3.19	24.10	247.72
김제시	3.29	83.53	208.71	4.83	6.25	3.43	24.10	330.84
남원시	3.57	123.64	138.20	18.00	1.59	2.45	24.10	307.99
무주군	2.16	27.72	103.86	20.83	1.41	0.88	24.10	178.80
부안군	3.79	105.53	290.13	8.18	1.41	2.84	24.10	432.19
순창군	2.82	53.50	125.83	12.92	4.17	2.09	24.10	222.60
완주군	2.40	62.72	113.12	20.11	1.33	1.51	24.10	222.89
익산시	3.45	91.66	197.28	6.25	0.64	2.90	24.10	322.84
임실군	3.16	102.08	143.66	16.17	0.87	1.91	24.10	288.80
장수군	3.63	77.24	144.40	23.88	0.50	1.32	24.10	271.45
전주시	2.51	9.24	223.56	13.98	2.86	2.24	24.10	275.98
정읍시	4.29	148.90	179.57	5.59	1.13	2.19	24.10	361.47
진안군	4.00	144.07	99.87	15.68	1.43	1.23	24.10	286.38

표66 전라남도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지 역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
전라남도	2.56	59.14	170.87	11.76	1.15	2.21	24.10	269.23
강진군	2.83	59.97	191.80	7.32	0.33	2.63	24.10	286.15
고흥군	2.50	22.93	170.99	13.67	0.87	1.88	24.10	234.44
곡성군	2.50	82.13	87.06	15.96	1.14	1.67	24.10	212.05
광양시	1.06	14.27	162.64	31.06	-	0.86	24.10	232.93
구례군	2.34	33.10	107.88	13.12	0.40	1.30	24.10	179.90
나주시	3.55	133.03	158.53	10.97	0.88	2.28	24.10	329.77
담양군	2.11	64.97	126.84	11.88	0.95	2.31	24.10	231.05
목포시	2.32	11.14	183.23	13.19	6.62	2.08	24.10	240.37
무안군	2.92	113.05	193.19	12.20	3.09	2.29	24.10	347.92
보성군	2.45	45.66	199.61	16.26	0.77	2.95	24.10	289.35
순천시	2.73	56.18	125.49	23.58	0.57	1.43	24.10	231.35
신안군	1.86	17.12	173.48	10.37	3.08	1.92	24.10	230.06
여수시	4.15	53.66	151.41	14.45	0.77	1.54	24.10	245.93
영광군	2.92	92.89	195.54	6.06	2.06	3.09	24.10	323.72
영암군	2.81	57.06	169.61	7.84	0.97	2.88	24.10	262.46
완도군	2.06	11.91	81.99	7.56	1.24	1.06	24.10	127.86
장성군	3.44	25.17	205.29	12.08	0.34	1.50	24.10	268.48
장흥군	3.18	83.04	189.80	15.34	1.11	2.83	24.10	316.22
진도군	2.02	11.52	189.16	11.08	0.14	1.60	24.10	237.60
함평군	3.56	157.33	207.97	11.77	2.47	2.56	24.10	406.20
해남군	1.94	29.96	212.37	7.99	0.31	2.80	24.10	277.54
화순군	2.79	49.94	93.88	10.95	0.49	1.48	24.10	180.84

표67 경상북도 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총계
	kg-N/ha							
경상북도	2.20	75.72	113.61	11.67	1.98	1.58	24.10	228.66
경산시	3.79	80.32	126.44	11.43	0.83	0.44	24.10	243.55
경주시	3.26	105.88	109.76	8.21	1.07	2.29	24.10	251.30
고령군	1.91	103.17	162.62	13.06	0.31	2.51	24.10	305.77
구미시	2.79	62.75	149.40	9.38	0.98	2.43	24.10	249.06
군위군	3.49	128.19	112.72	15.31	0.89	1.17	24.10	282.38
김천시	3.52	152.34	107.06	13.77	1.84	1.38	24.10	300.49
문경시	0.56	30.53	78.95	6.63	7.36	1.57	24.10	149.13
봉화군	2.10	80.90	110.43	10.56	0.40	1.01	24.10	227.40
상주시	2.59	78.12	114.85	8.20	1.89	1.93	24.10	229.09
성주군	0.91	99.77	56.41	20.92	0.56	0.94	24.10	202.69
안동시	2.31	65.47	111.23	9.39	3.70	1.59	24.10	215.48
영덕군	2.16	12.72	152.76	12.44	1.11	1.67	24.10	204.80
영양군	1.60	8.92	121.42	18.76	4.18	0.84	24.10	178.21
영주시	3.33	108.41	109.80	16.19	2.86	1.41	24.10	262.77
영천시	3.53	113.63	144.47	16.36	1.05	0.82	24.10	300.42
예천군	1.81	48.02	100.14	6.38	3.32	2.41	24.10	184.37
울릉군	5.25	1.60	68.00	4.92	0.07	0.14	24.10	98.83
울진군	1.69	19.25	116.55	16.17	1.19	2.36	24.10	179.62
의성군	2.24	71.87	128.13	7.97	0.67	1.61	24.10	234.35
청도군	2.00	52.65	122.60	14.28	2.27	1.10	24.10	217.01
청송군	1.78	17.15	86.48	15.86	2.83	0.86	24.10	147.29
칠곡군	2.66	125.85	93.09	11.61	0.48	1.42	24.10	256.54
포항시	2.68	38.18	113.60	18.79	0.29	1.74	24.10	196.70

표68 경상남도, 제주도, 세종시 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	질소 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총계
	kg-N/ha							
경상남도	2.15	69.33	130.13	20.88	0.69	1.69	24.10	226.16
거제시	3.15	24.14	126.11	29.70	0.53	1.41	24.10	205.99
거창군	3.02	93.92	105.93	17.08	1.42	1.86	24.10	244.30
고성군	1.90	64.93	59.35	13.90	0.53	1.86	24.10	164.66
김해시	3.06	143.76	125.40	11.07	0.19	1.58	24.10	306.10
남해군	1.78	40.28	150.77	30.97	0.09	1.36	24.10	247.56
밀양시	1.55	58.28	145.44	15.28	0.51	2.09	24.10	245.70
사천시	2.41	53.98	160.95	20.13	1.57	2.03	24.10	262.76
산청군	2.05	55.61	83.81	18.43	0.22	1.29	24.10	183.45
양산시	4.94	222.40	111.39	16.73	1.60	1.28	24.10	377.51
의령군	2.26	68.88	164.98	34.07	2.01	2.33	24.10	296.37
진주시	1.65	51.48	105.48	35.97	0.68	1.42	24.10	219.13
창녕군	2.39	107.52	236.67	22.41	0.70	2.02	24.10	393.42
창원시	1.99	30.26	126.65	19.64	0.14	1.28	24.10	202.07
통영시	2.12	11.90	105.42	29.17	0.30	1.28	24.10	172.17
하동군	2.34	44.64	116.08	15.10	0.77	1.42	24.10	202.11
함안군	1.52	74.95	121.84	17.61	0.29	1.82	24.10	240.62
함양군	2.31	41.55	97.12	25.12	0.70	1.20	24.10	189.80
합천군	2.40	105.86	177.59	17.43	0.76	2.18	24.10	327.93
제주도	1.21	42.22	147.05	7.82	3.38	1.60	24.10	226.16
세종시	4.24	210.60	122.96	9.15	0.62	1.89	24.10	369.32

표69 경기도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
경기도	2.83	35.25	10.65	48.64	223.03	317.57
가평군	4.16	24.57	4.84	46.91	236.83	313.15
광주시	3.99	18.13	4.05	27.14	156.45	205.78
김포시	2.99	32.25	11.44	35.19	179.80	258.67
남양주시	1.66	43.67	1.57	33.33	189.22	267.79
안성시	4.92	33.62	11.00	60.14	265.83	370.58
양주시	5.58	30.93	7.17	72.50	327.92	438.52
양평군	2.65	29.84	8.13	33.27	174.21	245.45
여주시	3.53	32.61	10.27	31.52	158.46	232.86
연천군	7.11	33.20	11.18	62.24	288.02	394.63
용인시	6.41	31.70	11.04	69.20	313.47	425.42
이천시	3.49	33.70	11.25	40.70	183.20	268.85
파주시	3.51	53.67	12.87	47.84	211.54	325.92
평택시	3.18	32.70	11.99	33.01	156.65	234.35
포천시	4.58	47.51	6.99	96.34	392.48	543.33
화성시	4.43	36.36	13.85	50.80	227.41	328.42

표70 강원도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
강원도	2.62	36.93	6.24	35.72	209.77	288.66
강릉시	2.30	48.78	6.42	34.96	202.36	292.52
고성군	1.84	54.03	15.80	25.00	135.06	229.89
동해시	2.24	48.57	4.40	36.24	245.43	334.65
삼척시	1.91	42.49	4.12	37.83	225.40	309.85
속초시	2.09	42.12	10.24	27.73	182.09	262.18
양구군	2.80	36.34	6.99	31.72	187.66	262.71
양양군	2.32	39.59	10.90	32.11	191.70	274.29
영월군	2.02	37.87	1.25	30.76	202.36	272.24
원주시	2.83	32.90	7.93	41.89	220.76	303.48
인제군	2.32	32.04	3.23	37.71	248.23	321.20
정선군	1.96	22.99	0.34	18.90	144.62	186.84
철원군	3.19	47.37	18.52	47.34	211.94	325.17
춘천시	2.19	34.45	4.89	31.04	179.97	250.35
태백시	0.99	49.64	-	30.30	190.27	270.21
평창군	6.37	28.48	0.74	39.50	284.27	352.99
홍천군	2.69	34.53	4.59	36.26	222.14	297.52
화천군	2.49	26.08	3.80	44.28	235.37	309.53
횡성군	3.08	37.44	4.53	40.68	231.17	313.82

표71 충청북도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
충청북도	2.97	28.64	7.58	31.58	173.32	241.11
괴산군	2.32	34.44	5.09	32.57	173.10	245.20
단양군	2.43	16.87	1.24	24.15	166.67	208.93
보은군	3.10	28.85	9.90	28.25	152.34	219.33
영동군	2.81	13.01	3.11	24.76	153.41	194.30
옥천군	2.86	22.67	6.01	21.21	127.33	177.21
음성군	2.32	29.00	7.17	35.58	170.41	242.15
제천시	2.92	26.70	5.03	24.38	154.94	211.05
증평군	7.01	29.96	11.56	52.95	323.71	418.18
진천군	3.58	40.53	11.75	48.07	231.08	331.43
청주시	3.04	37.12	12.65	31.20	174.35	255.33
충주시	3.28	25.10	7.12	35.05	186.60	253.88

표72 충청남도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
충청남도	2.90	46.32	15.62	39.12	189.08	290.14
계룡시	1.15	40.28	14.94	11.87	50.22	117.31
공주시	3.82	39.32	13.49	40.79	228.25	321.86
금산군	3.32	16.68	4.87	18.07	112.19	151.80
논산시	1.75	45.86	14.14	25.74	122.66	208.40
당진시	3.85	50.16	18.15	48.87	229.22	346.41
보령시	4.48	40.95	14.63	54.06	250.07	359.71
부여군	2.24	64.45	20.14	44.83	194.26	323.67
서산시	2.04	49.44	16.64	26.66	140.55	233.28
서천군	2.55	49.62	19.13	28.55	155.63	252.93
아산시	2.98	44.08	15.05	35.64	175.45	270.21
예산군	3.05	47.58	15.46	44.79	202.77	310.61
천안시	4.22	28.36	9.20	50.22	237.68	325.47
청양군	2.58	50.26	14.40	35.64	183.68	283.97
태안군	1.90	42.72	13.72	22.63	143.13	222.20
홍성군	4.90	56.30	20.85	69.96	290.14	437.26

표73 전라북도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
전라북도	3.30	48.38	13.91	39.67	207.95	309.91
고창군	3.08	45.38	11.53	41.71	217.84	316.46
군산시	2.49	56.07	15.18	25.99	150.49	247.72
김제시	3.29	57.32	14.24	40.14	219.14	330.84
남원시	3.57	42.32	14.41	43.59	207.67	307.99
무주군	2.16	29.42	3.35	20.90	125.13	178.80
부안군	3.79	68.09	15.93	53.89	294.29	432.19
순창군	2.82	44.54	16.57	26.89	134.60	222.60
완주군	2.40	29.12	7.08	28.90	157.80	222.89
익산시	3.45	47.24	16.55	40.86	218.20	322.84
임실군	3.16	44.88	15.92	39.37	188.63	288.80
장수군	3.63	69.76	23.18	35.94	142.57	271.45
전주시	2.51	49.66	11.78	28.34	186.21	275.98
정읍시	4.29	42.39	14.78	50.58	253.72	361.47
진안군	4.00	19.86	5.49	43.26	217.77	286.38

표74 전라남도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
전라남도	2.56	42.92	11.54	32.54	182.24	269.23
강진군	2.83	43.62	15.58	34.00	192.95	286.15
고흥군	2.50	37.44	11.69	25.53	159.78	234.44
곡성군	2.50	33.05	11.96	29.28	137.77	212.05
광양시	1.06	21.36	5.97	26.43	179.17	232.93
구례군	2.34	25.14	7.50	20.84	126.42	179.90
나주시	3.55	38.91	12.03	46.21	232.62	329.77
담양군	2.11	41.38	13.39	29.12	147.17	231.05
목포시	2.32	25.98	4.39	24.34	185.66	240.37
무안군	2.92	48.33	9.00	46.04	244.55	347.92
보성군	2.45	47.99	11.38	33.73	196.25	289.35
순천시	2.73	24.35	7.98	29.57	169.45	231.35
신안군	1.86	43.87	9.22	23.94	153.03	230.06
여수시	4.15	24.31	7.06	29.92	184.65	245.93
영광군	2.92	42.81	13.16	40.89	226.86	323.72
영암군	2.81	43.37	14.33	31.18	173.58	262.46
완도군	2.06	18.06	4.44	12.64	92.72	127.86
장성군	3.44	27.95	8.66	29.27	202.60	268.48
장흥군	3.18	42.92	14.22	40.17	218.91	316.22
진도군	2.02	48.44	9.47	24.57	155.12	237.60
함평군	3.56	57.45	17.17	56.58	275.01	406.20
해남군	1.94	71.69	14.59	30.16	161.10	277.54
화순군	2.79	25.52	9.10	22.37	123.84	180.84

표75 경상북도 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
경상북도	2.20	33.23	8.56	29.89	156.98	228.66
경산시	3.79	11.80	1.91	32.13	197.71	243.55
경주시	3.26	36.16	13.72	34.94	166.49	251.30
고령군	1.91	70.72	13.10	40.95	181.00	305.77
구미시	2.79	45.82	15.80	30.53	156.90	249.06
군위군	3.49	28.79	6.64	41.28	205.66	282.38
김천시	3.52	27.49	6.96	45.32	220.71	300.49
문경시	0.56	39.62	6.72	15.98	86.82	149.13
봉화군	2.10	22.40	4.36	30.38	170.26	227.40
상주시	2.59	34.57	11.54	29.80	153.17	229.09
성주군	0.91	94.89	5.66	30.67	71.47	202.69
안동시	2.31	25.34	6.26	27.08	156.79	215.48
영덕군	2.16	35.72	8.55	21.26	139.27	204.80
영양군	1.60	20.75	2.37	18.49	136.60	178.21
영주시	3.33	21.66	5.94	37.11	198.06	262.77
영천시	3.53	23.26	4.14	41.86	231.16	300.42
예천군	1.81	40.16	12.76	21.72	109.73	184.37
울릉군	5.25	0.70	-	8.50	89.62	98.83
울진군	1.69	34.80	11.56	19.55	113.71	179.62
의성군	2.24	35.29	11.40	29.87	157.80	234.35
청도군	2.00	23.59	5.63	26.65	161.14	217.01
청송군	1.78	15.24	2.92	15.90	113.24	147.29
칠곡군	2.66	37.40	8.89	37.97	172.28	256.54
포항시	2.68	31.49	11.16	23.65	130.40	196.70

표76 경상남도, 제주도, 세종시 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-N/ha				
경상남도	2.15	36.93	9.41	32.20	168.29	246.83
거제시	3.15	22.20	7.19	24.33	152.28	205.99
거창군	3.02	31.32	9.66	33.91	169.41	244.30
고성군	1.90	32.32	10.66	22.41	99.28	164.66
김해시	3.06	30.84	10.21	44.93	220.11	306.10
남해군	1.78	37.90	8.04	30.49	171.14	247.56
밀양시	1.55	44.57	8.99	30.40	161.73	245.70
사천시	2.41	34.23	9.55	32.16	186.82	262.76
산청군	2.05	25.25	8.00	24.00	126.20	183.45
양산시	4.94	25.52	7.07	60.73	284.19	377.51
의령군	2.26	55.35	15.66	38.49	186.88	296.37
진주시	1.65	35.43	7.80	29.04	146.86	219.13
창녕군	2.39	59.40	11.06	51.57	271.40	393.42
창원시	1.99	26.90	8.06	23.57	143.54	202.07
통영시	2.12	19.65	2.88	19.53	130.11	172.17
하동군	2.34	22.88	7.50	24.48	147.25	202.11
함안군	1.52	44.46	11.54	31.81	152.81	240.62
함양군	2.31	30.26	6.62	23.90	129.02	189.80
합천군	2.40	55.70	13.14	43.98	215.11	327.93
제주도	1.21	56.96	0.02	25.77	143.41	226.16
세종시	4.24	36.33	12.01	57.98	263.01	369.32

표77 경기도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
경기도	2.91	44.85	16.77	2.46	-	0.39	-	64.47
가평군	4.06	35.45	21.94	2.82	-	0.39	-	60.61
광주시	3.88	15.78	16.01	4.94	-	0.13	-	36.86
김포시	2.73	30.66	15.66	1.58	-	0.45	-	48.35
남양주시	2.30	18.11	29.95	7.60	-	0.11	-	55.76
안성시	5.55	72.06	14.35	2.27	-	0.39	-	89.07
양주시	6.49	86.66	16.54	3.22	-	0.39	-	106.81
양평군	2.24	24.05	13.24	4.89	-	0.44	-	42.62
여주시	3.62	25.19	21.85	2.11	-	0.42	-	49.56
연천군	5.83	50.31	19.36	2.04	-	0.38	-	72.10
용인시	6.53	60.09	22.72	3.83	-	0.36	-	87.00
이천시	3.82	40.34	14.31	2.17	-	0.38	-	57.20
파주시	3.20	41.54	16.19	2.39	-	0.50	-	60.62
평택시	2.77	23.93	15.57	1.35	-	0.40	-	41.25
포천시	6.38	90.51	13.53	2.82	-	0.27	-	107.12
화성시	4.42	49.81	15.91	1.71	-	0.43	-	67.86

표78 강원도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
강원도	2.86	19.52	27.15	3.85	-	0.48	-	51.00
강릉시	2.63	12.36	30.96	4.82	-	0.49	-	48.62
고성군	2.07	12.44	29.06	1.88	-	0.67	-	44.05
동해시	2.60	5.26	48.06	7.74	-	0.60	-	61.65
삼척시	2.43	18.43	29.68	5.38	-	0.36	-	53.85
속초시	2.14	2.55	39.39	5.36	-	0.55	-	47.84
양구군	2.93	15.92	30.18	2.75	-	0.38	-	49.23
양양군	2.12	18.59	24.70	2.03	-	0.62	-	45.94
영월군	2.58	11.24	36.20	3.29	-	0.32	-	51.05
원주시	3.16	32.06	23.26	3.31	-	0.51	-	59.13
인제군	2.12	18.06	27.38	4.62	-	0.49	-	50.56
정선군	2.49	4.17	21.39	3.40	-	0.25	-	29.22
철원군	2.99	31.68	23.56	1.48	-	1.18	-	57.91
춘천시	2.05	20.16	22.71	4.13	-	0.39	-	47.38
태백시	2.07	7.84	44.30	4.94	-	0.08	-	57.16
평창군	7.79	12.40	38.94	4.44	-	0.27	-	56.05
홍천군	2.59	18.23	24.44	6.33	-	0.37	-	49.37
화천군	2.15	32.12	19.77	4.53	-	0.26	-	56.68
횡성군	4.11	34.76	22.05	3.92	-	0.40	-	61.14

표79 충청북도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
충청북도	2.81	21.27	18.51	2.58	-	0.33	-	42.69
괴산군	2.72	23.07	19.16	1.52	-	0.44	-	44.20
단양군	2.27	8.16	18.84	5.19	-	0.29	-	32.49
보은군	3.10	24.69	14.34	1.47	-	0.37	-	40.87
영동군	2.63	15.20	20.29	3.04	-	0.15	-	38.67
옥천군	2.62	14.32	15.64	2.09	-	0.30	-	32.34
음성군	2.72	25.87	10.97	2.77	-	0.28	-	39.90
제천시	2.80	12.57	22.16	2.48	-	0.29	-	37.50
증평군	6.07	27.05	43.24	4.04	-	0.36	-	74.70
진천군	3.39	37.26	18.35	2.26	-	0.38	-	58.26
청주시	2.63	19.94	21.96	2.43	-	0.41	-	44.74
충주시	2.84	23.89	17.48	3.20	-	0.27	-	44.83

표80 충청남도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
충청남도	2.64	30.12	18.16	1.85	-	0.46	-	50.59
계룡시	1.38	5.54	14.06	3.00	-	0.41	-	23.01
공주시	3.17	27.81	22.26	2.74	-	0.42	-	53.24
금산군	3.72	10.74	12.16	3.30	-	0.15	-	26.35
논산시	1.54	14.63	13.93	3.18	-	0.45	-	32.18
당진시	3.55	37.79	24.39	1.16	-	0.57	-	63.91
보령시	4.15	52.67	12.73	1.55	-	0.46	-	67.41
부여군	2.01	30.64	20.30	2.02	-	0.44	-	53.39
서산시	1.60	11.50	18.27	1.17	-	0.51	-	31.45
서천군	1.58	8.79	19.68	1.60	-	0.53	-	30.60
아산시	2.66	28.88	16.73	0.78	-	0.43	-	46.83
예산군	3.63	49.19	17.37	1.35	-	0.47	-	68.38
천안시	3.18	47.70	13.91	3.00	-	0.31	-	64.92
청양군	2.10	22.42	22.68	1.88	-	0.50	-	47.48
태안군	1.32	4.26	21.21	2.21	-	0.50	-	28.18
홍성군	5.28	77.14	14.77	1.76	-	0.46	-	94.13

표81 전라북도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
전라북도	2.29	24.31	18.81	2.20	-	0.40	-	45.73
고창군	2.26	26.57	19.62	1.67	-	0.47	-	48.34
군산시	1.09	6.83	17.64	1.27	-	0.62	-	26.35
김제시	1.89	22.48	19.16	1.05	-	0.07	-	42.77
남원시	3.26	32.86	17.00	3.92	-	0.47	-	54.25
무주군	2.26	11.37	19.10	4.54	-	0.21	-	35.22
부안군	2.19	22.15	28.24	1.78	-	0.55	-	52.72
순창군	1.96	14.42	15.54	2.82	-	0.39	-	33.17
완주군	2.30	21.53	11.91	4.38	-	0.28	-	38.11
익산시	2.20	22.79	19.46	1.36	-	0.56	-	44.17
임실군	2.72	30.82	17.55	3.52	-	0.37	-	52.27
장수군	3.58	28.45	18.86	5.21	-	0.27	-	52.79
전주시	1.38	2.53	25.26	3.05	-	0.42	-	31.26
정읍시	3.49	44.54	16.22	1.22	-	0.43	-	62.41
진안군	3.43	29.27	15.67	3.42	-	0.26	-	48.62

표82 전라남도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
전라남도	1.83	17.32	18.63	2.56	-	0.42	-	38.93
강진군	2.03	18.91	19.93	1.59	-	0.52	-	40.96
고흥군	1.63	9.30	18.52	2.98	-	0.36	-	31.15
곡성군	1.85	22.12	11.02	3.48	-	0.33	-	36.94
광양시	0.68	4.50	29.81	6.77	-	0.17	-	41.25
구례군	1.42	9.55	13.44	2.86	-	0.26	-	26.11
나주시	2.56	31.38	17.65	2.39	-	0.44	-	51.85
담양군	1.89	21.65	13.49	2.59	-	0.44	-	38.17
목포시	1.32	4.02	23.28	2.88	-	0.37	-	30.55
무안군	2.43	29.90	17.99	2.66	-	0.42	-	50.96
보성군	1.78	14.26	22.21	3.54	-	0.56	-	40.58
순천시	1.80	16.54	17.93	5.14	-	0.27	-	39.88
신안군	1.13	6.36	14.39	2.26	-	0.37	-	23.38
여수시	3.53	14.13	21.54	3.15	-	0.29	-	39.10
영광군	1.84	23.99	20.35	1.32	-	0.58	-	46.25
영암군	1.89	18.27	16.56	1.71	-	0.54	-	37.08
완도군	1.59	5.76	11.69	1.65	-	0.20	-	19.30
장성군	1.85	9.27	19.88	2.63	-	0.29	-	32.07
장흥군	2.42	29.44	16.52	3.34	-	0.54	-	49.84
진도군	1.71	3.08	25.56	2.41	-	0.32	-	31.37
함평군	2.55	41.11	16.02	2.57	-	0.49	-	60.19
해남군	1.49	11.31	26.38	1.74	-	0.54	-	39.98
화순군	2.13	15.21	9.79	2.39	-	0.29	-	27.68

표83 경상북도 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지 역	인 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
경상북도	2.24	23.62	17.86	2.54	-	0.29	-	44.32
경산시	3.45	31.17	24.94	2.49	-	0.08	-	58.68
경주시	3.20	34.07	13.42	1.79	-	0.43	-	49.71
고령군	2.44	33.59	24.83	2.85	-	0.47	-	61.73
구미시	3.00	26.37	20.97	2.05	-	0.46	-	49.85
군위군	3.62	35.65	16.90	3.34	-	0.24	-	56.13
김천시	3.26	36.99	19.97	3.00	-	0.25	-	60.21
문경시	0.48	13.57	10.63	1.44	-	0.27	-	25.91
봉화군	2.40	20.68	21.13	2.30	-	0.19	-	44.31
상주시	2.38	24.76	14.73	1.79	-	0.36	-	41.63
성주군	1.58	30.22	10.88	4.56	-	0.18	-	45.84
안동시	2.46	22.33	17.28	2.05	-	0.28	-	41.94
영덕군	1.86	6.04	22.10	2.71	-	0.32	-	31.17
영양군	1.62	4.37	20.50	4.09	-	0.14	-	29.10
영주시	3.53	30.72	16.19	3.53	-	0.25	-	50.68
영천시	4.12	35.39	27.82	3.56	-	0.15	-	66.93
예천군	1.67	17.17	12.68	1.39	-	0.44	-	31.68
울릉군	4.73	0.89	11.31	1.07	-	0.03	-	13.31
울진군	1.83	10.73	20.86	3.52	-	0.45	-	35.57
의성군	2.00	18.78	19.16	1.74	-	0.32	-	40.00
청도군	1.95	20.22	20.03	3.11	-	0.20	-	43.57
청송군	1.91	5.85	18.31	3.46	-	0.14	-	27.76
칠곡군	3.20	31.58	18.80	2.53	-	0.28	-	53.19
포항시	2.73	12.85	18.69	4.10	-	0.33	-	35.97

표84 경상남도, 제주도, 세종시 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지 역	인 부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소 고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
경상남도	2.18	20.95	19.75	4.55	-	0.32	-	45.58
거제시	2.36	6.54	19.27	6.47	-	0.27	-	32.55
거창군	2.83	26.13	12.35	3.72	-	0.35	-	42.54
고성군	2.07	19.27	10.58	3.03	-	0.36	-	33.24
김해시	3.58	46.02	22.74	2.41	-	0.30	-	71.48
남해군	2.45	15.90	26.05	6.75	-	0.26	-	48.96
밀양시	1.67	19.68	28.30	3.33	-	0.40	-	51.71
사천시	1.91	19.33	20.37	4.39	-	0.38	-	44.47
산청군	2.11	15.29	11.69	4.02	-	0.25	-	31.25
양산시	4.38	48.94	19.03	3.65	-	0.24	-	71.86
의령군	2.10	24.41	21.92	7.42	-	0.44	-	54.19
진주시	1.53	14.55	16.98	7.84	-	0.27	-	39.65
창녕군	2.75	27.75	43.02	4.88	-	0.39	-	76.05
창원시	2.00	10.65	20.99	4.28	-	0.25	-	36.17
통영시	1.96	3.98	20.40	6.36	-	0.23	-	30.97
하동군	1.84	15.18	12.38	3.29	-	0.27	-	31.12
함안군	1.72	22.71	17.84	3.84	-	0.36	-	44.74
함양군	2.02	11.07	10.32	5.47	-	0.22	-	27.08
합천군	2.56	34.67	20.54	3.80	-	0.42	-	59.44
제주도	0.70	10.94	35.99	1.70	-	0.28	-	48.92
세종시	4.08	55.78	16.08	1.99	-	0.39	-	74.24

표85 경기도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-			kg-P/ha		
경기도	2.91	6.09	2.66	-	55.72	64.47
가평군	4.06	4.39	1.21	-	55.00	60.61
광주시	3.88	2.75	1.01	-	33.10	36.86
김포시	2.73	5.85	2.86	-	39.64	48.35
남양주시	2.30	6.20	0.39	-	49.17	55.76
안성시	5.55	6.08	2.75	-	80.24	89.07
양주시	6.49	5.38	1.79	-	99.65	106.81
양평군	2.24	5.64	2.03	-	34.95	42.62
여주시	3.62	5.95	2.57	-	41.04	49.56
연천군	5.83	5.55	2.79	-	63.76	72.10
용인시	6.53	5.66	2.76	-	78.58	87.00
이천시	3.82	6.58	2.81	-	47.80	57.20
파주시	3.20	7.82	3.22	-	49.58	60.62
평택시	2.77	5.71	3.00	-	32.55	41.25
포천시	6.38	6.76	1.75	-	98.62	107.12
화성시	4.42	6.52	3.46	-	57.88	67.86

표86 강원도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-			kg-P/ha		
강원도	2.86	6.80	1.56	-	42.63	51.00
강릉시	2.63	10.15	1.60	-	36.87	48.62
고성군	2.07	10.51	3.95	-	29.59	44.05
동해시	2.60	8.78	1.10	-	51.77	61.65
삼척시	2.43	6.12	1.03	-	46.70	53.85
속초시	2.14	7.72	2.56	-	37.56	47.84
양구군	2.93	7.82	1.75	-	39.66	49.23
양양군	2.12	8.11	2.72	-	35.11	45.94
영월군	2.58	5.21	0.31	-	45.53	51.05
원주시	3.16	6.39	1.98	-	50.76	59.13
인제군	2.12	6.31	0.81	-	43.44	50.56
정선군	2.49	3.60	0.09	-	25.53	29.22
철원군	2.99	8.44	4.63	-	44.85	57.91
춘천시	2.05	6.82	1.22	-	39.35	47.38
태백시	2.07	5.30	-	-	51.86	57.16
평창군	7.79	6.89	0.18	-	48.98	56.05
홍천군	2.59	6.78	1.15	-	41.44	49.37
화천군	2.15	4.73	0.95	-	51.00	56.68
횡성군	4.11	5.72	1.13	-	54.29	61.14

표87 충청북도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-P/ha				
충청북도	2.81	6.32	1.89	-	34.47	42.69
괴산군	2.72	6.05	1.27	-	36.88	44.20
단양군	2.27	3.11	0.31	-	29.07	32.49
보은군	3.10	5.19	2.47	-	33.21	40.87
영동군	2.63	4.76	0.78	-	33.13	38.67
옥천군	2.62	5.49	1.50	-	25.35	32.34
음성군	2.72	9.43	1.79	-	28.67	39.90
제천시	2.80	4.69	1.26	-	31.55	37.50
증평군	6.07	5.33	2.89	-	66.48	74.70
진천군	3.39	8.83	2.94	-	46.49	58.26
청주시	2.63	6.73	3.16	-	34.84	44.74
충주시	2.84	6.39	1.78	-	36.66	44.83

표88 충청남도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-	kg-P/ha				
충청남도	2.64	8.61	3.90	-	38.07	50.59
계룡시	1.38	7.14	3.73	-	12.13	23.01
공주시	3.17	6.95	3.37	-	42.92	53.24
금산군	3.72	2.85	1.22	-	22.27	26.35
논산시	1.54	8.88	3.53	-	19.76	32.18
당진시	3.55	9.35	4.54	-	50.02	63.91
보령시	4.15	7.15	3.66	-	56.59	67.41
부여군	2.01	14.36	5.03	-	34.00	53.39
서산시	1.60	9.13	4.16	-	18.16	31.45
서천군	1.58	8.91	4.78	-	16.91	30.60
아산시	2.66	7.68	3.76	-	35.39	46.83
예산군	3.63	9.21	3.87	-	55.31	68.38
천안시	3.18	5.01	2.30	-	57.61	64.92
청양군	2.10	8.45	3.60	-	35.43	47.48
태안군	1.32	7.54	3.43	-	17.21	28.18
홍성군	5.28	9.67	5.21	-	79.25	94.13

표89 전라북도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-					
전라북도	2.29	9.24	3.48	-	33.01	45.73
고창군	2.26	9.30	2.88	-	36.15	48.34
군산시	1.09	10.87	3.79	-	11.69	26.35
김제시	1.89	10.67	3.56	-	28.53	42.77
남원시	3.26	8.48	3.60	-	42.17	54.25
무주군	2.26	5.65	0.84	-	28.73	35.22
부안군	2.19	12.99	3.98	-	35.74	52.72
순창군	1.96	7.80	4.14	-	21.22	33.17
완주군	2.30	5.68	1.77	-	30.66	38.11
익산시	2.20	8.73	4.14	-	31.31	44.17
임실군	2.72	8.97	3.98	-	39.32	52.27
장수군	3.58	13.25	5.79	-	33.74	52.79
전주시	1.38	9.13	2.94	-	19.18	31.26
정읍시	3.49	7.81	3.69	-	50.91	62.41
진안군	3.43	4.09	1.37	-	43.16	48.62

표90 전라남도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-					
전라남도	1.83	7.52	2.88	-	28.53	38.93
강진군	2.03	7.81	3.89	-	29.25	40.96
고흥군	1.63	6.75	2.92	-	21.48	31.15
곡성군	1.85	6.18	2.99	-	27.77	36.94
광양시	0.68	4.91	1.49	-	34.84	41.25
구례군	1.42	4.60	1.87	-	19.64	26.11
나주시	2.56	6.98	3.01	-	41.87	51.85
담양군	1.89	7.54	3.35	-	27.29	38.17
목포시	1.32	4.33	1.10	-	25.12	30.55
무안군	2.43	8.45	2.25	-	40.26	50.96
보성군	1.78	9.37	2.85	-	28.36	40.58
순천시	1.80	4.54	2.00	-	33.34	39.88
신안군	1.13	6.98	2.31	-	14.10	23.38
여수시	3.53	4.41	1.76	-	32.93	39.10
영광군	1.84	7.66	3.29	-	35.30	46.25
영암군	1.89	7.92	3.58	-	25.58	37.08
완도군	1.59	3.15	1.11	-	15.04	19.30
장성군	1.85	5.41	2.16	-	24.50	32.07
장흥군	2.42	7.76	3.55	-	38.53	49.84
진도군	1.71	7.23	2.37	-	21.77	31.37
함평군	2.55	10.12	4.29	-	45.78	60.19
해남군	1.49	11.60	3.65	-	24.73	39.98
화순군	2.13	5.03	2.27	-	20.37	27.68

표91 경상북도 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-			kg-P/ha		
경상북도	2.24	6.81	2.14	-	35.37	44.32
경산시	3.45	6.40	0.48	-	51.80	58.68
경주시	3.20	6.54	3.43	-	39.74	49.71
고령군	2.44	14.72	3.27	-	43.74	61.73
구미시	3.00	8.88	3.95	-	37.02	49.85
군위군	3.62	5.37	1.66	-	49.10	56.13
김천시	3.26	5.63	1.74	-	52.84	60.21
문경시	0.48	6.38	1.68	-	17.86	25.91
봉화군	2.40	4.85	1.09	-	38.37	44.31
상주시	2.38	6.67	2.89	-	32.08	41.63
성주군	1.58	20.58	1.41	-	23.84	45.84
안동시	2.46	4.99	1.57	-	35.38	41.94
영덕군	1.86	7.08	2.14	-	21.95	31.17
영양군	1.62	3.24	0.59	-	25.27	29.10
영주시	3.53	4.38	1.48	-	44.82	50.68
영천시	4.12	7.14	1.03	-	58.76	66.93
예천군	1.67	7.57	3.19	-	20.92	31.68
울릉군	4.73	0.13	-	-	13.17	13.31
울진군	1.83	6.45	2.89	-	26.23	35.57
의성군	2.00	7.23	2.85	-	29.93	40.00
청도군	1.95	7.13	1.41	-	35.03	43.57
청송군	1.91	2.90	0.73	-	24.13	27.76
칠곡군	3.20	7.31	2.22	-	43.66	53.19
포항시	2.73	5.48	2.79	-	27.70	35.97

표92 경상남도, 제주도, 세종시 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	인부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	-			kg-P/ha		
경상남도	2.18	7.23	2.35	-	36.00	45.58
거제시	2.36	4.01	1.80	-	26.74	32.55
거창군	2.83	5.87	2.41	-	34.26	42.54
고성군	2.07	5.62	2.66	-	24.95	33.24
김해시	3.58	5.77	2.55	-	63.16	71.48
남해군	2.45	5.85	2.01	-	41.10	48.96
밀양시	1.67	9.31	2.25	-	40.15	51.71
사천시	1.91	6.24	2.39	-	35.84	44.47
산청군	2.11	4.72	2.00	-	24.53	31.25
양산시	4.38	4.47	1.77	-	65.62	71.86
의령군	2.10	11.11	3.91	-	39.17	54.19
진주시	1.53	7.51	1.95	-	30.19	39.65
창녕군	2.75	11.16	2.76	-	62.12	76.05
창원시	2.00	5.36	2.01	-	28.80	36.17
통영시	1.96	3.29	0.72	-	26.96	30.97
하동군	1.84	4.32	1.87	-	24.93	31.12
함안군	1.72	11.79	2.89	-	30.07	44.74
함양군	2.02	5.72	1.65	-	19.71	27.08
합천군	2.56	10.36	3.28	-	45.79	59.44
제주도	0.70	10.91	-	-	38.00	48.92
세종시	4.08	7.77	3.00	-	63.47	74.24

- 국가/도단위를 구성하는 전국 시/군단위의 NNB와 NPB의 분석결과를 QGIS로 표현한 결과는 아래의 그림과 같음.
- NNB와 NPB는 각각 50 kg-N/ha, 10 kg-P/ha 범위로 지역을 구분하였음.
- NNB는 50.0 - 100.0 kg-N/ha 지역 5개, 100.0 - 150.0 kg-N/ha 지역 28개, 150.0 - 200.0 kg-N/ha 지역 52개, 200.0 - 250.0 kg-N/ha 지역 31개, 250.0 - 300.0 kg-N/ha 지역 11개, 350.0 - 400.0 kg-N/ha 지역 4개로 구분되었음.
- NPB는 10.0 - 20.0 kg-P/ha 지역 13개, 20.0 - 30.0 kg-P/ha 지역 34개, 30.0 - 40.0 kg-P/ha 지역 39개, 40.0 - 50.0 kg-P/ha 지역 22개, 50.0 - 60.0 kg-P/ha 지역 12개, 60.0 - 70.0 kg-P/ha 지역 6개, 70.0 - 80.0 kg-P/ha 지역 2개, 80.0 - 90.0 kg-P/ha 지역 1개, 90.0 - 100.0 kg-P/ha 지역 2개로 구분되었음.

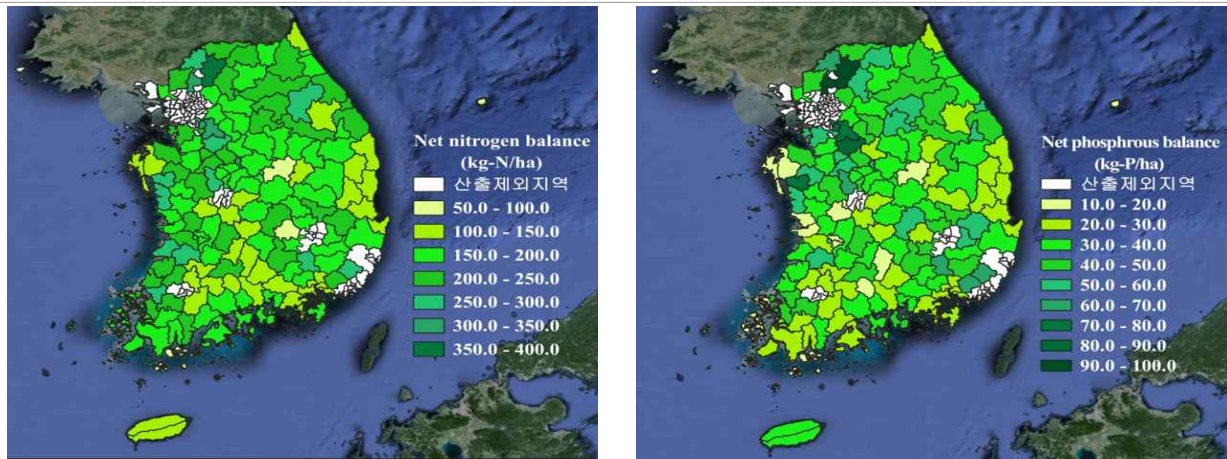


그림42 시/군단위 NNB 및 NPB QGIS 분석결과

다. 실증지역 (횡성) 소지역 자료수집 및 양분수지 분석

1) 횡성군 지역(읍/면)단위 양분수지 분석

- 토양경계 양분수지 방법론을 이용하여 실증지역 (횡성)의 질소수지 분석결과는 다음과 같음.
- 횡성군 통계연보에서 무기질비료와 유기질비료의 자료가 읍/면 단위로 존재하지 않아 횡성군의 면적에서 각 읍/면 단위의 면적 비율로 나누어 산출하였음.

표93 횡성군 지역단위 질소부하, 질소유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-N/ha							
횡성군	3.08	87.80	180.17	18.01	1.77	1.97	24.10	313.82
갑천면	1.94	51.95	180.17	18.01	4.71	3.90	24.10	282.84
강림면	2.00	93.25	180.17	18.01	7.31	4.66	24.10	327.50
공근면	1.99	70.18	180.17	18.01	3.44	3.94	24.10	299.85
둔내면	1.10	62.43	180.17	18.01	2.20	1.97	24.10	288.88
서원면	3.47	219.61	180.17	18.01	1.86	3.41	24.10	447.16
안흥면	2.77	516.45	180.17	18.01	0.08	0.78	24.10	739.59
우천면	2.60	144.30	180.17	18.01	0.05	2.15	24.10	368.78
청일면	1.74	52.52	180.17	18.01	2.34	2.65	24.10	279.78
횡성읍	3.83	298.62	180.17	18.01	1.63	2.79	24.10	525.32

표94 횡성군 지역단위 질소부하, 질소유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	kg-N/ha					
횡성군	3.08	37.44	4.53	40.68	231.17	313.82
갑천면	1.94	58.86	6.83	33.35	183.79	282.84
강림면	2.00	64.03	1.19	41.83	220.46	327.50
공근면	1.99	33.22	5.91	37.08	223.64	299.85
둔내면	1.10	101.99	3.71	35.48	147.69	288.88
서원면	3.47	52.45	10.68	67.67	316.36	447.16
안흥면	2.77	123.79	5.05	128.46	482.29	739.59
우천면	2.60	66.52	14.17	52.24	235.85	368.78
청일면	1.74	64.40	8.86	33.45	173.07	279.78
횡성읍	3.83	61.04	11.20	83.86	369.23	525.32

표95 황성군 지역단위 인부하, 인유입 항목 분석

지역	인부하	가축분뇨 퇴·액비	무기질 비료	유기질 비료	질소고정	종자 및 종묘	대기 강하물	총 계
	kg-P/ha							
황성군	4.11	34.76	22.05	3.92	-	0.40	-	61.14
갑천면	2.80	35.66	22.05	3.92	-	0.72	-	62.36
강림면	2.76	39.88	22.05	3.92	-	0.77	-	66.63
공근면	3.36	30.32	22.05	3.92	-	0.87	-	57.17
둔내면	1.59	39.92	22.05	3.92	-	0.36	-	66.25
서원면	5.25	78.77	22.05	3.92	-	0.73	-	105.47
안흥면	4.65	159.57	22.05	3.92	-	0.16	-	185.71
우천면	4.31	81.15	22.05	3.92	-	0.47	-	107.59
청일면	2.33	34.19	22.05	3.92	-	0.58	-	60.75
황성읍	5.32	90.84	22.05	3.92	-	0.60	-	117.41

표96 황성군 지역단위 인부하, 인유출 항목 분석

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총 계
	kg-P/ha					
황성군	4.11	5.72	1.13	-	54.29	61.14
갑천면	2.80	9.99	1.71	-	50.66	62.36
강림면	2.76	11.17	0.30	-	55.17	66.63
공근면	3.36	5.69	1.48	-	50.00	57.17
둔내면	1.59	13.57	0.93	-	51.75	66.25
서원면	5.25	8.91	2.67	-	93.89	105.47
안흥면	4.65	14.31	1.26	-	170.13	185.71
우천면	4.31	10.18	3.54	-	93.87	107.59
청일면	2.33	9.67	2.21	-	48.86	60.75
황성읍	5.32	9.20	2.80	-	105.42	117.41

2) 실증지역 양분수지 분석

- 실증지역 (강원도 횡성군 안흥면 안흥리 1102-5)에서 무기질비료, 가축분뇨 퇴·액비 (정제액비, 퇴비차, 클로렐라 여과액)를 이용한 브로콜리 시설재배시험을 진행하였음.
- 퇴비차, 클로렐라 여과액 처리구에서 무기질비료 처리구에 비해 브로콜리 생산량은 각각 83, 211 kg/ha (0.4, 1.0 kg-N/ha) 증가하는 것으로 나타나 2.1, 2.7 kg-N/ha의 양분수지 개선효과가 있는 것으로 나타남.

표97 실증지역 순질소수지 분석 결과

지역	질소부하 (-)	질소유입 (kg-N/ha)							질소유출 (kg-N/ha)				
		가축분뇨 퇴액비	무기질비료	유기질비료	질소고정	종자 및 종묘 ⁵⁾	대기강하물	총유입량	작물재배 ⁶⁾	작물부산물	대기유출	수계유출	총유출량
A ¹⁾	0.85	-	16.9	-	-	9.2	-	26.1	5.6	-	1.7	18.8	26.1
B ²⁾	0.85	16.9	-	-	-	9.2	-	26.1	4.8	-	3.4	17.9	26.1
C ³⁾	0.85	16.9	-	-	-	9.2	-	26.1	6.0	-	3.4	16.7	26.1
D ⁴⁾	0.85	16.9	-	-	-	9.2	-	26.1	6.6	-	3.4	16.1	26.1

주: 1) 무기질비료
 2) 정제액비
 3) 퇴비차
 4) 클로렐라 여과액
 5,6) 농식품 올바르게. 브로콜리, 생것 식품성분.

5. 양분 관리기반 경축순환모델 개발을 위한 적정양분 분석 방법

- 본 연구에서 지역단위 양분수지 관리를 위한 양분수지 지표는 순양분수지(Net nutrient balance)를 지표로 설정하였으며, 양분수지 지표 관리과정에서 수계 양분유출 저감과 농업 생산성에 저하 영향을 정량적으로 파악할 수 있는 양분수지 지표 관리목표 도출을 위한 방법론을 개발하였음.
- 지역단위 양분수지 지표 관리목표 도출을 위한 방법론은 지역단위 양분부하 변동에 따른 양분수지 지표와 작물생산의 변동의 수치적 모사를 통해 도출하였으며, 이를 위하여 아래와 같이 4가지 가정을 설정.
- 가정 ① 양분부하 변동은 무기질 비료(화학비료), 부숙유기질 비료(가축분뇨 퇴·액비), 유기질 비료(유박비료 등)의 투입량 변동에 의해서만 일어남.
- 즉, 일반적인 농업활동을 고려할 때, 연간 지역의 양분부하 변동은 작물 시비를 위한 비료 성분의 투입에 의해서만 일어나고, 다른 양분투입 인자(생물학적 질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수)는 양분부하 변동에 영향을 주지 않는다고 가정.
- 가정 ② 지역의 농경지 양분부하는 지역의 작물양분 시비부하와 동일함.
- 즉, 지역의 양분부하는 작물의 작물시비기준 양분투입량 대비 농경지 투입 양분량의 비율을 의미하므로 지역의 양분부하와 농경지의 시비부하는 동일한 것으로 가정.
- 가정 ③ 작물 양분시비에 따른 작물의 수량반응 특성은 지역에 상관없이 일정.
- 즉, 작물의 시비량 증가에 따른 수량반응(생산수량)은 지역에 따라 상이하지만, 작물의 시비량 증가에 따른 수량반응 형태(최대수량 반응 시비부하, 시비부하에 따른 수량증가 및 감소율 등)는 지역에 상관없이 동일하다고 가정.
- 가정 ④ 비료시비에 따른 작물의 수량반응은 화분과 작물의 경우 2차 함수 모델(Quadratic model)을 따르고, 이외의 작물은 지수함수 모델(Exponential model)을 적용.
- 즉, 벼와 같은 화분과 작물은 작물의 시비량 증가와 함께 작물의 수량반응이 증가하고, 적정 시비량을 초과하는 경우 작물의 수량반응이 감소하는 특성을 가지며, 밭작물의 경우 작물의 시비량 증가와 함께 작물의 수량반응이 증가하고, 적정시비량을 초과하는 경우 작물수량 반응 증가가 일어나지 않는 것으로 가정.
- 위의 4가지 가정에 기초하여 지역단위 양분수지 지표의 관리목표 도출 방법론을 도출하였으며, “가정 ①”에 따라 양분부하 변동에 따른 양분수지 수치모사에서 양분부하 변동에 따른 작물생산에 의한 양분유출을 모사함으로써 지역단위 양분수지 수치모사가 가능함.
- 따라서, 양분부하 변동에 따른 작물생산 양분유출 모사를 위해 “가정 ②”에 기초하여 식 (4)로 정의하였음.

$$\text{지역 양분부하} = \frac{\text{농경지 양분 유입량 (B)}}{\text{농경지 양분 요구량 (C)}} = \text{농경지 시비부하}$$

- 또한, 가정 ③, ④에 기초하여 농경지 양분부하 변동에 따른 작물생산 수량 반응은 화분과 작물의 경우 식(5)를 화분과 이외의 작물에 대해서는 아래의 식을 적용하여 작물별 작물생산 수량반응 함수식의 계수는 작물별 시비반응 시험연구 자료에 기초하여 도출하였음.

$$f_i(N_i) = a_i N_i^2 + b_i N_i + c_i \quad (\text{Quadratic model, 곡류 작물})$$

- $f_i(N_i)$ 는 단위면적당 질소비료 시비반응 함수(kg/10a)이며, a_i , b_i , c_i 는 화본과 작물별 시비반응 함수의 계수를 의미함.

$$f_i(N_i) = a_i + b_i \exp(c_i N_i) \text{ (Exponential model, 서류, 두류, 채소, 과수 등)}$$

- $f_i(N_i)$: 단위면적당 질소비료 시비반응 함수(kg/10a)이며, a_i , b_i , c_i 는 화본과 이외의 작물별 시비반응함수의 계수를 의미함.
- 지역별로 양분부하(시비부하) 변동에 따른 작물별 시비반응 함수는 지역의 양분부하(시비부하)에서의 작물별 생산량(kg/10a)을 초기 입력수치로 하여 작물별 시비반응 지역 최적화 함수를 구하였으며, 작물별 시비반응 지역 최적화 함수는 아래의 식과 같음.

$$f_i(L_{N_j}) = a_{(i,j)} L_{N_j}^2 + b_{(i,j)} L_{N_j} + c_{(i,j)} \text{ (Quadratic model, 곡류 작물)}$$

- $f_i(L_{N_j})$ 는 화본과 작물에 대한 지역별(j) 단위면적당 질소비료 시비반응 최적화 함수이며, L_{N_j} 는 지역별(j) 질소 양분부하이므로, $a_{(i,j)}$, $b_{(i,j)}$, $c_{(i,j)}$ 는 지역별(j) 작물별(i) 최적화 시비반응 함수의 계수임.

$$f_i(L_{N_j}) = a_{(i,j)} + b_{(i,j)} \exp(c_{(i,j)} L_{N_j}) \text{ (Exponential model, 서류, 두류, 채소, 과수 등)}$$

- $f_i(L_{N_j})$ 는 화본과 이외의 작물에 대한 지역별(j) 단위면적당 질소비료 시비반응 최적화 함수이며, L_{N_j} 는 지역별(j) 질소 양분부하이므로, $a_{(i,j)}$, $b_{(i,j)}$, $c_{(i,j)}$ 는 지역별(j) 작물별(i) 최적화 시비반응 함수의 계수임.
- 지역별 질소 양분부하 변동에 따른 작물생산에 의한 양분유출량과 작물부산물(곤포사일리지)에 의한 양분유출량은 아래의식과 같이 산출하였음.

$$CP(LN_j) = \sum_i^n f_i(LN_i) CN_i$$

- $CP(LN_j)$ 는 지역별(j) 질소 양분부하 변동에 따른 작물생산에 의한 질소 유출량(kg-N/ha/yr) 추정 함수이고, L_{N_j} 는 해당지역(j)에서의 질소 양분부하(시비부하) ($L_{N_j} > 0$)이며, CN_i 는 작물별(i) 질소성분 함량 (%)을 의미함.

$$CB(LN_i) = \sum_i^n f_i(LN_i) RB_i \times RBN_i$$

- $CB(LN_j)$ 는 지역별(j) 질소 양분부하 변동에 따른 볏짚 생산에 의한 질소 양분 유출량(kg-N/ha/yr) 추정 함수이고, L_{N_j} 는 해당지역(j)에서의 질소 양분부하(시비부하) ($L_{N_j} > 0$)이며, RB_i 는 볏짚(i) 부산물 발생 비율이고, RBN_i 는 볏짚 질소성분 함량 (%)을 의미함.

- 지역단위 양분수지 지표 관리목표는 양분부하 변동에 따른 작물생산에 의한 질소 유출량을 2차 함수(Quadratic model)로 다시 최적화하여 아래의 식과 같이 지역별 작물 표준화 질소 유출량(작물생산 질소 유출) 추정 함수를 구하였고 2차 함수를 1차 미분하여 작물생산에 의한 질소 유출이 최대가 되는 질소부하(순질소수지) 지점을 양분관리 목표 지표로 설정하였음.

$$CP(LN_i) = \sum_i^n f_i(LN_j)CN_i = a'_{(i,j)}L^2N_i + b'_{(i,j)}LN_i + c'_{(i,j)}$$

- LN_j는 지역별(j) 질소 양분부하이고, a'(i,j), b'(i,j), c'(i,j)는 지역별(j) 작물별(i) 표준화 작물생산에 의한 질소 유출 함수의 계수임.

$$CB(LN_j) = \sum_i^n f_i(LN_j)BN_i \times CBN_i = a'_{(i,j)}L^2N_j + b'_{(i,j)}LN_j + c'_{(i,j)}$$

- 최종적으로 지역별 양분수지 관리 목표지표 도출을 위하여 지역별 양분부하-양분수지 변동 관계를 도출하였음.
- 지역의 질소 양분부하 변동에 따른 양분유입 항목 중에서 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 유기질비료의 유입량은 지역의 질소 양분부하 변동과 비례하여 정량적으로 변동시켰으며, 기타 질소 양분유입 항목인 생물학적 질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물, 관개수는 비료 투입량과 관계없는 농업생산 활동 및 환경 인자로서 양분부하 변동과 관계없이 변동하지 않는 것으로 간주하였음.
- 질소 양분유출 항목에서 작물생산과 작물부산물 항목은 양분부하 변동에 따른 작물생산량과 작물부산물 생산량을 통해 산출하였으며, 질소양분의 대기유출은 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 유기질비료의 유입량에 따른 종속변수로서 아래의 표와 같은 방법론에 따라 산출하였음.

표99 질소양분 대기유출 산출과정

대기유출	산출식
대기유출 (VDoutput, kg/yr)	$\sum_i^n (FS_i \times FV_i) + \sum_j^n (A_j \times DN_j)$ <p>FS_i : 비료종류별 (i) 공급량, FV_i : 비료종류별(i) 암모니아성 질소 휘발률 (%), A_j : 작물별(j) 재배면적, DN_j : 작물별(j) 아산화질소 (N₂O-N) 탈질량 (kg-N/yr)</p>

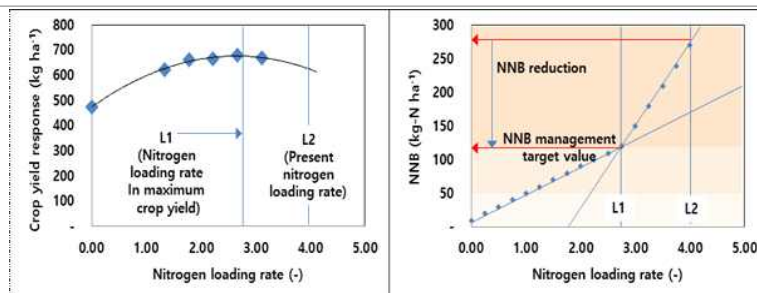


그림43 양분부하 변동-작물생산, 양분부하 변동-양분수지 상관관계 비교

6. 양분 관리기반 경축순환모델 개발을 위한 적정양분 분석 결과

가. 국가평균 적정양분 수준 도출

- 국가단위의 적정양분 수준을 도출한 결과 질소부하는 현재 수준인 2.62에서 2.12로 감소하며 인부하는 2.17에서 1.77로 감소함.
- 순질소수지는 184.55 kg-N/ha에서 154.84 kg-N/ha로 감소되며, 순인수지는 36.79 kg-P/ha에서 30.42 kg-P/ha로 감소함.
- 이때, 작물생산에 의한 양분유출은 각각 1.85 kg-N/ha, 0.22 kg-P/ha 증가하는 것으로 나타남.

표100 국가단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하							
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산			
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량		
	(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)					
kg-N/ha			kg-N/ha			kg-N/ha			kg-N/ha		
국가	2.62	184.55	40.42	2.12	0.49	154.83	29.72	42.27	-1.85		

표101 국가단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하							
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산			
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량		
	(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)					
kg-P/ha			kg-P/ha			kg-P/ha			kg-P/ha		
국가	2.17	36.79	7.63	1.76	0.41	30.42	6.37	7.85	-0.22		

나. 지역단위 적정양분 수준 도출

○ 지역(도/시/군)단위의 적정양분 수준을 분석한 결과는 아래의 표와 같음.

표102 경기도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-N/ha		-		kg-N/ha		kg-N/ha		
경기도	2.83	223.03	35.25	2.11	0.72	138.94	84.09	37.54	-2.29
가평군	4.16	236.83	24.57	2.24	1.93	91.66	145.16	28.70	-4.13
광주시	3.99	156.45	18.13	2.21	1.79	80.00	76.45	21.16	-3.03
김포시	2.99	179.80	32.25	2.04	0.95	89.73	90.06	35.25	-3.00
남양주시	1.66	189.22	43.67	2.51	-0.85	112.16	77.06	45.41	-1.75
안성시	4.92	265.83	33.62	2.04	2.88	59.64	206.18	47.73	-14.11
양주시	5.58	327.92	30.93	2.12	3.47	85.06	242.86	44.98	-14.05
양평군	2.65	174.21	29.84	2.15	0.50	124.20	50.01	31.20	-1.36
여주시	3.53	158.46	32.61	2.06	1.46	70.56	87.90	37.49	-4.88
연천군	7.11	288.02	33.20	2.25	4.86	0.63	287.39	76.22	-43.02
용인시	6.41	313.47	31.70	2.03	4.39	27.35	286.13	63.67	-31.97
이천시	3.49	183.20	33.70	2.07	1.42	71.83	111.37	38.95	-5.25
파주시	3.51	211.54	53.67	2.19	1.33	70.49	141.05	60.20	-6.52
평택시	3.18	156.65	32.70	2.04	1.15	77.72	78.94	36.65	-3.95
포천시	4.58	392.48	47.51	2.27	2.31	167.03	225.45	59.92	-12.40
화성시	4.43	227.41	36.36	2.02	2.41	49.59	177.83	50.09	-13.73

표103 강원도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-N/ha		-		kg-N/ha		kg-N/ha		
강원도	2.62	209.77	36.93	2.31	0.31	165.87	43.90	38.43	-1.50
강릉시	2.30	202.36	48.78	2.34	-0.04	187.13	15.22	50.24	-1.46
고성군	1.84	135.06	54.03	2.14	-0.30	150.76	-15.70	54.44	-0.42
동해시	2.24	245.43	48.57	2.42	-0.17	249.13	-3.70	50.14	-1.56
삼척시	1.91	225.40	42.49	2.45	-0.53	275.56	-50.16	43.91	-1.42
속초시	2.09	182.09	42.12	2.21	-0.12	177.15	4.94	42.88	-0.76
양구군	2.80	187.66	36.34	2.23	0.57	99.83	87.83	38.04	-1.71
양양군	2.32	191.70	39.59	2.17	0.15	161.04	30.66	40.62	-1.03
영월군	2.02	202.36	37.87	2.58	-0.55	221.70	-19.34	39.50	-1.63
원주시	2.83	220.76	32.90	2.22	0.61	147.69	73.07	34.80	-1.90
인제군	2.32	248.23	32.04	2.45	-0.13	253.47	-5.24	32.96	-0.92
정선군	1.96	144.62	22.99	2.62	-0.66	177.84	-33.22	24.02	-1.03
철원군	3.19	211.94	47.37	2.02	1.16	99.79	112.15	53.37	-6.00
춘천시	2.19	179.97	34.45	2.37	-0.18	170.92	9.05	35.25	-0.79
태백시	0.99	190.27	49.64	2.59	-1.60	527.21	-336.94	53.60	-3.96
평창군	6.37	284.27	28.48	2.50	3.87	90.72	193.55	31.39	-2.92
홍천군	2.69	222.14	34.53	2.37	0.32	186.80	35.34	35.93	-1.41
화천군	2.49	235.37	26.08	2.36	0.13	201.08	34.29	26.86	-0.78
횡성군	3.08	231.17	37.44	2.40	0.68	168.86	62.31	39.71	-2.27

표104 충청북도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	-	kg-N/ha		-		kg-N/ha		kg-N/ha	
충청북도	2.97	173.32	28.64	2.16	0.82	92.32	81.00	30.64	-2.01
괴산군	2.32	173.10	34.44	2.40	-0.08	159.36	13.74	35.48	-1.03
단양군	2.43	166.67	16.87	2.62	-0.19	158.18	8.49	17.25	-0.38
보은군	3.10	152.34	28.85	2.07	1.03	77.91	74.43	31.73	-2.89
영동군	2.81	153.41	13.01	2.23	0.58	86.29	67.12	13.70	-0.68
옥천군	2.86	127.33	22.67	2.17	0.69	70.88	56.45	23.98	-1.31
음성군	2.70	170.41	29.00	2.14	0.56	119.00	51.42	30.30	-1.31
제천시	2.92	154.94	26.70	2.37	0.55	10.58	144.37	28.05	-1.34
증평군	7.01	323.71	29.96	2.30	4.71	16.93	306.78	72.83	-42.87
진천군	3.58	231.08	40.53	2.07	1.51	102.38	128.70	46.53	-6.00
청주시	3.04	174.35	37.12	2.06	0.97	91.35	83.01	40.60	-3.48
충주시	3.28	186.60	25.10	2.13	1.14	86.28	100.33	27.84	-2.74

표105 충청남도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	-	kg-N/ha		-		kg-N/ha		kg-N/ha	
충청남도	2.90	189.08	46.32	2.06	0.84	95.38	93.70	49.88	-3.56
계룡시	1.15	50.22	40.28	2.04	-0.89	102.09	-51.86	41.04	-0.76
공주시	3.82	228.25	39.32	2.06	1.76	83.67	144.58	47.71	-8.39
금산군	3.32	112.19	16.68	2.13	1.19	62.56	49.64	18.66	-1.98
논산시	1.75	122.66	45.86	2.08	-0.33	140.09	-17.42	45.98	-0.12
당진시	3.85	229.22	50.16	2.03	1.82	69.41	159.82	61.75	-11.59
보령시	4.48	250.07	40.95	2.04	2.44	59.66	190.41	55.88	-14.92
부여군	2.24	194.26	64.45	2.07	0.17	150.66	43.59	65.64	-1.20
서산시	2.04	140.55	49.44	2.06	-0.02	128.90	11.65	49.88	-0.45
서천군	2.55	155.63	49.62	2.02	0.53	94.96	60.66	51.89	-2.27
아산시	2.98	175.45	44.08	2.07	0.91	87.40	88.05	47.95	-3.88
예산군	3.05	202.77	47.58	2.07	0.98	89.02	113.76	51.98	-4.39
천안시	4.22	237.68	28.36	2.04	2.18	78.72	158.96	36.16	-7.81
청양군	2.58	183.68	50.26	2.50	0.08	0.32	183.36	51.71	-1.46
태안군	1.90	143.13	42.72	2.08	-0.17	143.36	-0.23	42.91	-0.19
홍성군	4.90	290.14	56.30	2.03	2.88	23.55	266.59	84.24	-27.93

표106 전라북도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-N/ha		-		kg-N/ha		kg-N/ha		
전라북도	3.30	207.95	48.38	2.02	1.27	83.65	124.30	55.69	-7.30
고창군	3.08	217.84	45.38	2.08	1.00	115.51	102.33	49.42	-4.04
군산시	2.49	150.49	56.07	1.95	0.54	86.84	63.65	59.70	-3.64
김제시	3.29	219.14	57.32	2.00	1.29	81.98	137.16	67.29	-9.97
남원시	3.57	207.67	42.32	2.06	1.52	76.50	131.17	49.54	-7.22
무주군	2.16	125.13	29.42	2.52	-0.36	106.29	18.84	29.98	-0.56
부안군	3.79	294.29	68.09	2.00	1.79	81.18	213.11	86.76	-18.67
순창군	2.82	134.60	44.54	2.03	0.79	66.88	67.71	47.74	-3.21
완주군	2.40	157.80	29.12	2.16	0.24	130.89	26.91	29.95	-0.83
익산시	3.45	218.20	47.24	2.01	1.44	86.07	132.13	55.66	-8.43
임실군	3.16	188.63	44.88	2.05	1.11	81.01	107.62	49.99	-5.11
장수군	3.63	142.57	69.76	2.48	1.15	7.39	135.17	80.99	-11.23
전주시	2.51	186.21	49.66	2.13	0.38	133.96	52.25	51.47	-1.81
정읍시	4.29	253.72	42.39	2.01	2.28	57.87	195.85	57.27	-14.88
진안군	4.00	217.77	19.86	2.10	1.89	79.31	138.46	23.84	-3.98

표107 전라남도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-N/ha		-		kg-N/ha		kg-N/ha		
전라남도	2.56	182.24	42.92	2.11	0.46	127.69	54.55	44.85	-1.93
강진군	2.83	192.95	43.62	2.02	0.81	110.99	81.96	47.02	-3.40
고흥군	2.50	159.78	37.44	2.07	0.44	108.33	51.45	38.83	-1.40
곡성군	2.50	137.77	33.05	2.05	0.45	92.78	44.99	34.33	-1.27
광양시	1.06	179.17	21.36	2.11	-1.06	340.40	-161.22	21.99	-0.63
구례군	2.34	126.42	25.14	2.08	0.26	101.40	25.02	25.72	-0.58
나주시	3.55	232.62	38.91	2.04	1.51	92.34	140.28	45.86	-6.95
담양군	2.11	147.17	41.38	2.06	0.05	102.93	44.24	41.87	-0.50
목포시	2.32	185.66	25.98	2.28	0.03	164.44	21.23	26.50	-0.52
무안군	2.92	244.55	48.33	2.21	0.71	167.27	77.28	50.88	-2.55
보성군	2.45	196.25	47.99	2.08	0.38	145.18	51.07	50.07	-2.09
순천시	2.73	169.45	24.35	2.05	0.68	112.50	56.95	25.89	-1.54
신안군	1.86	153.03	43.87	2.21	-0.35	175.73	-22.71	44.48	-0.61
여수시	4.15	184.65	24.31	2.09	2.06	73.97	110.68	30.14	-5.83
영광군	2.92	226.86	42.81	2.02	0.90	127.60	99.26	47.01	-4.20
영암군	2.81	173.58	43.37	2.05	0.76	93.24	80.34	46.32	-2.95
완도군	2.06	92.72	18.06	2.15	-0.09	88.33	4.40	18.32	-0.26
장성군	3.44	202.60	27.95	2.04	1.40	92.21	110.39	32.46	-4.51
장흥군	3.18	218.91	42.92	2.02	1.16	106.37	112.54	48.56	-5.64
진도군	2.02	155.12	48.44	2.24	-0.22	166.63	-11.52	49.65	-1.21
함평군	3.56	275.01	57.45	2.07	1.49	112.90	162.11	66.47	-9.02
해남군	1.94	161.10	71.69	2.17	-0.24	175.01	-13.91	72.74	-1.06
화순군	2.79	123.84	25.52	2.05	0.74	67.97	55.87	27.28	-1.76

표108 경상북도 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-N/ha		-	kg-N/ha		kg-N/ha		kg-N/ha	
경상북도	2.20	156.98	33.23	2.14	0.06	120.75	36.24	33.81	-0.59
경산시	3.79	197.71	11.80	2.33	1.46	91.70	106.00	13.16	-1.36
경주시	3.26	166.49	36.16	2.02	1.24	73.02	93.47	41.22	-5.06
고령군	1.91	181.00	70.72	2.20	-0.30	210.18	-29.18	71.53	-0.82
구미시	2.79	156.90	45.82	2.05	0.74	88.95	67.95	48.90	-3.08
군위군	3.49	205.66	28.79	2.16	1.33	96.71	108.95	31.92	-3.12
김천시	3.52	220.71	27.49	2.15	1.37	91.12	129.60	30.87	-3.38
문경시	0.56	86.82	39.62	2.33	-1.77	365.85	-279.03	44.64	-5.02
봉화군	2.10	170.26	22.40	2.23	-0.13	141.41	28.85	22.80	-0.40
상주시	2.59	153.17	34.57	2.08	0.51	80.85	72.32	36.10	-1.52
성주군	0.91	71.47	94.89	2.31	-1.40	287.41	-215.94	97.03	-2.14
안동시	2.31	156.79	25.34	2.15	0.16	106.21	50.58	25.84	-0.49
영덕군	2.16	139.27	35.72	2.14	0.02	110.55	28.72	36.48	-0.77
영양군	1.60	136.60	20.75	2.41	-0.82	164.34	-27.74	21.34	-0.60
영주시	3.33	198.06	21.66	2.11	1.23	61.70	136.36	23.90	-2.24
영천시	3.53	231.16	23.26	2.25	1.28	102.90	128.26	25.50	-2.24
예천군	1.81	109.73	40.16	2.09	-0.28	107.99	1.74	40.28	-0.12
울릉군	5.25	89.62	0.70	2.65	2.60	56.47	33.16	0.73	-0.02
울진군	1.69	113.71	34.80	2.08	-0.39	126.18	-12.47	34.86	-0.06
의성군	2.24	157.80	35.29	2.08	0.16	112.68	45.12	35.97	-0.68
청도군	2.00	161.14	23.59	2.22	-0.22	144.24	16.90	23.91	-0.32
청송군	1.78	113.24	15.24	2.28	-0.50	62.78	50.46	15.42	-0.18
칠곡군	2.66	172.28	37.40	2.10	0.55	115.77	56.51	38.96	-1.56
포항시	2.68	130.40	31.49	2.06	0.62	74.25	56.15	33.28	-1.79

표109 경상남도, 제주도, 세종시 지역단위 적정 질소부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	질소부하	순질소수지	작물생산	질소부하		순질소수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-N/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
-	kg-N/ha		-	kg-N/ha		kg-N/ha		kg-N/ha	
경상남도	2.15	168.29	36.93	2.13	0.02	148.01	20.29	37.53	-0.60
거제시	3.15	152.28	22.20	2.07	1.09	87.60	64.68	24.60	-2.40
거창군	3.02	169.41	31.32	2.08	0.93	72.81	96.60	33.92	-2.60
고성군	1.90	99.28	32.32	2.06	-0.16	99.19	0.08	32.48	-0.16
김해시	3.06	220.11	30.84	2.06	0.99	124.94	95.17	33.83	-2.99
남해군	1.78	171.14	37.90	2.22	-0.44	210.81	-39.67	38.41	-0.52
밀양시	1.55	161.73	44.57	2.14	-0.58	201.02	-39.29	44.85	-0.28
사천시	2.41	186.82	34.23	2.09	0.32	142.65	44.18	35.26	-1.03
산청군	2.05	126.20	25.25	2.07	-0.02	117.67	8.53	25.49	-0.23
양산시	4.94	284.19	25.52	2.09	2.85	92.57	191.62	35.36	-9.84
의령군	2.26	186.88	55.35	2.10	0.16	155.28	31.60	56.47	-1.12
진주시	1.65	146.86	35.43	2.13	-0.48	178.92	-32.07	35.64	-0.21
창녕군	2.39	271.40	59.40	2.19	0.20	232.98	38.42	60.94	-1.54
창원시	1.99	143.54	26.90	2.08	-0.09	108.06	35.47	27.12	-0.22
통영시	2.12	130.11	19.65	2.32	-0.20	137.78	-7.67	20.11	-0.46
하동군	2.34	147.25	22.88	2.07	0.27	115.25	32.00	23.48	-0.59
함안군	1.52	152.81	44.46	2.10	-0.59	205.60	-52.79	44.69	-0.23
함양군	2.31	129.02	30.26	2.18	0.13	101.03	27.99	30.86	-0.60
합천군	2.40	215.11	55.70	2.15	0.25	174.08	41.03	57.15	-1.45
제주도	1.21	143.41	56.96	2.56	-1.35	322.85	-179.44	62.78	-5.83
세종시	4.24	263.01	36.33	2.06	2.18	82.74	180.26	44.80	-8.47

표110 경기도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-P/ha		-	kg-P/ha		kg-P/ha		kg-P/ha	
경기도	2.91	55.72	6.09	2.17	0.74	35.49	20.23	6.40	-0.32
가평군	4.06	55.00	4.39	2.18	1.88	19.99	35.02	5.03	-0.64
광주시	3.88	33.10	2.75	2.14	1.73	14.94	18.15	3.22	-0.47
김포시	2.73	39.64	5.85	1.86	0.87	19.94	19.70	6.33	-0.48
남양주시	2.30	49.17	6.20	3.48	-1.18	60.98	-11.82	6.19	0.02
안성시	5.55	80.24	6.08	2.31	3.25	20.00	60.24	8.51	-2.43
양주시	6.49	99.65	5.38	2.46	4.03	26.37	73.28	7.78	-2.40
양평군	2.24	34.95	5.64	1.82	0.43	24.12	10.83	5.79	-0.16
여주시	3.62	41.04	5.95	2.12	1.50	17.16	23.88	6.76	-0.81
연천군	5.83	63.76	5.55	1.85	3.99	-2.34	66.10	13.01	-7.47
용인시	6.53	78.58	5.66	2.06	4.46	6.50	72.07	11.27	-5.60
이천시	3.82	47.80	6.58	2.26	1.56	19.66	28.14	7.43	-0.85
파주시	3.20	49.58	7.82	1.99	1.21	20.18	29.40	8.79	-0.96
평택시	2.77	32.55	5.71	1.77	1.00	14.30	18.25	6.36	-0.65
포천시	6.38	98.62	6.76	3.16	3.22	42.71	55.91	6.44	0.32
화성시	4.42	57.88	6.52	2.01	2.41	12.41	45.47	8.92	-2.40

표111 강원도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-P/ha		-	kg-P/ha		kg-P/ha		kg-P/ha	
강원도	2.86	42.63	6.80	2.52	0.33	34.05	8.59	6.88	-0.08
강릉시	2.63	36.87	10.15	2.68	-0.04	35.06	1.81	10.14	0.01
고성군	2.07	29.59	10.51	2.40	-0.33	33.61	-4.02	10.42	0.09
동해시	2.60	51.77	8.78	2.80	-0.20	53.84	-2.07	8.74	0.04
삼척시	2.43	46.70	6.12	3.11	-0.67	58.69	-11.99	6.06	0.06
속초시	2.14	37.56	7.72	2.27	-0.13	37.13	0.43	7.69	0.03
양구군	2.93	39.66	7.82	2.34	0.59	24.50	15.16	7.99	-0.17
양양군	2.12	35.11	8.11	1.98	0.14	28.83	6.27	8.16	-0.05
영월군	2.58	45.53	5.21	3.28	-0.71	55.16	-9.63	5.20	0.01
원주시	3.16	50.76	6.39	2.48	0.68	34.90	15.86	6.60	-0.20
인제군	2.12	43.44	6.31	2.24	-0.12	44.90	-1.46	6.29	0.01
정선군	2.49	25.53	3.60	3.32	-0.84	33.60	-8.07	3.60	0.00
철원군	2.99	44.85	8.44	1.90	1.09	19.21	25.64	9.45	-1.01
춘천시	2.05	39.35	6.82	2.22	-0.17	40.42	-1.08	6.79	0.02
태백시	2.07	51.86	5.30	5.42	-3.35	143.11	-91.25	5.44	-0.14
평창군	7.79	48.98	6.89	3.06	4.74	12.63	36.34	7.23	-0.34
홍천군	2.59	41.44	6.78	2.29	0.31	34.02	7.42	6.84	-0.06
화천군	2.15	51.00	4.73	2.04	0.11	44.10	6.91	4.74	-0.02
횡성군	4.11	54.29	5.72	3.20	0.91	39.07	15.22	5.88	-0.15

표112 충청북도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	-	kg-P/ha		-		kg-P/ha		kg-P/ha	
충청북도	2.81	34.47	6.32	2.04	0.77	16.23	18.24	8.50	-2.18
괴산군	2.72	36.88	6.05	2.82	-0.10	35.46	1.42	6.04	0.01
단양군	2.27	29.07	3.11	2.45	-0.18	28.89	0.19	3.10	0.01
보은군	3.10	33.21	5.19	2.07	1.03	15.75	17.46	5.65	-0.46
영동군	2.63	33.13	4.76	2.09	0.55	18.21	14.92	4.83	-0.07
옥천군	2.62	25.35	5.49	1.98	0.64	12.84	12.51	5.65	-0.16
음성군	2.56	28.67	9.43	2.04	0.53	17.77	10.91	9.58	-0.15
제천시	2.80	31.55	4.69	2.27	0.53	13.91	17.64	4.82	-0.13
증평군	6.07	66.48	5.33	1.99	4.08	-0.02	66.49	12.71	-7.38
진천군	3.39	46.49	8.83	1.96	1.43	17.83	28.65	9.82	-0.98
청주시	2.63	34.84	6.73	1.79	0.85	16.73	18.11	7.29	-0.55
충주시	2.84	36.66	6.39	1.85	0.99	15.53	21.13	6.80	-0.40

표113 충청남도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	-	kg-P/ha		-		kg-P/ha		kg-P/ha	
충청남도	2.64	38.07	8.61	1.87	0.77	16.31	21.77	11.33	-2.72
계룡시	1.38	12.13	7.14	2.45	-1.07	27.30	-15.17	7.21	-0.07
공주시	3.17	42.92	6.95	1.70	1.46	13.00	29.92	8.37	-1.42
금산군	3.72	22.27	2.85	2.38	1.33	11.06	11.22	3.15	-0.30
논산시	1.54	19.76	8.88	1.83	-0.29	23.17	-3.41	8.81	0.07
당진시	3.55	50.02	9.35	1.87	1.68	13.16	36.86	11.33	-1.98
보령시	4.15	56.59	7.15	1.89	2.27	11.73	44.86	9.74	-2.59
부여군	2.01	34.00	14.36	1.86	0.15	25.46	8.55	14.45	-0.09
서산시	1.60	18.16	9.13	1.61	-0.02	15.66	2.50	9.12	0.01
서천군	1.58	16.91	8.91	1.25	0.33	6.55	10.36	9.25	-0.35
아산시	2.66	35.39	7.68	1.85	0.81	16.29	19.10	8.28	-0.60
예산군	3.63	55.31	9.21	2.46	1.17	26.73	28.58	9.90	-0.68
천안시	3.18	57.61	5.01	1.54	1.64	17.99	39.62	6.36	-1.34
청양군	2.10	35.43	8.45	2.04	0.06	17.12	18.31	8.50	-0.05
태안군	1.32	17.21	7.54	1.44	-0.12	16.97	0.24	7.49	0.05
홍성군	5.28	79.25	9.67	2.18	3.10	10.85	68.40	14.52	-4.85

표114 전라북도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-P/ha		-	kg-P/ha		kg-P/ha		kg-P/ha	
전라북도	2.29	33.01	9.24	1.40	0.88	9.30	23.71	12.47	-3.23
고창군	2.26	36.15	9.30	1.53	0.73	16.42	19.73	9.95	-0.65
군산시	1.09	11.69	10.87	0.85	0.24	1.41	10.27	11.56	-0.68
김제시	1.89	28.53	10.67	1.15	0.74	4.32	24.21	12.59	-1.92
남원시	3.26	42.17	8.48	1.87	1.38	13.05	29.12	9.68	-1.21
무주군	2.26	28.73	5.65	2.63	-0.38	27.17	1.56	5.64	0.01
부안군	2.19	35.74	12.99	1.15	1.03	1.29	34.46	16.56	-3.57
순창군	1.96	21.22	7.80	1.41	0.55	7.64	13.58	8.33	-0.53
완주군	2.30	30.66	5.68	2.08	0.23	25.03	5.63	5.73	-0.06
익산시	2.20	31.31	8.73	1.28	0.92	7.44	23.87	10.21	-1.49
임실군	2.72	39.32	8.97	1.76	0.96	15.64	23.68	9.80	-0.83
장수군	3.58	33.74	13.25	2.45	1.13	5.12	28.62	14.92	-1.67
전주시	1.38	19.18	9.13	1.17	0.21	10.82	8.37	9.33	-0.19
정읍시	3.49	50.91	7.81	1.63	1.85	9.44	41.47	10.45	-2.64
진안군	3.43	43.16	4.09	1.80	1.62	15.45	27.71	4.75	-0.66

표115 전라남도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	kg-P/ha		-	kg-P/ha		kg-P/ha		kg-P/ha	
전라남도	1.83	28.53	7.52	1.51	0.33	16.89	11.63	9.32	-1.80
강진군	2.03	29.25	7.81	1.45	0.58	13.93	15.33	8.37	-0.56
고흥군	1.63	21.48	6.75	1.35	0.28	12.93	8.55	6.93	-0.18
곡성군	1.85	27.77	6.18	1.52	0.33	17.93	9.84	6.36	-0.18
광양시	0.68	34.84	4.91	1.37	-0.68	72.42	-37.58	4.99	-0.08
구례군	1.42	19.64	4.60	1.26	0.16	14.64	4.99	4.66	-0.06
나주시	2.56	41.87	6.98	1.47	1.09	13.86	28.01	8.18	-1.21
담양군	1.89	27.29	7.54	1.84	0.04	21.63	5.66	7.55	-0.02
목포시	1.32	25.12	4.33	1.30	0.02	21.92	3.20	4.33	-0.01
무안군	2.43	40.26	8.45	1.84	0.59	25.59	14.67	8.76	-0.31
보성군	1.78	28.36	9.37	1.50	0.27	19.01	9.35	9.63	-0.25
순천시	1.80	33.34	4.54	1.35	0.45	20.94	12.41	4.78	-0.24
신안군	1.13	14.10	6.98	1.34	-0.21	16.28	-2.18	6.89	0.09
여수시	3.53	32.93	4.41	1.78	1.75	10.27	22.65	5.39	-0.98
영광군	1.84	35.30	7.66	1.27	0.57	17.06	18.24	8.39	-0.72
영암군	1.89	25.58	7.92	1.38	0.51	11.37	14.21	8.37	-0.45
완도군	1.59	15.04	3.15	1.65	-0.07	14.49	0.55	3.14	0.01
장성군	1.85	24.50	5.41	1.10	0.75	7.08	17.42	6.19	-0.78
장흥군	2.42	38.53	7.76	1.54	0.88	16.09	22.44	8.74	-0.98
진도군	1.71	21.77	7.23	1.89	-0.19	23.46	-1.69	7.16	0.07
함평군	2.55	45.78	10.12	1.48	1.07	14.75	31.02	11.64	-1.52
해남군	1.49	24.73	11.60	1.67	-0.18	26.79	-2.06	11.47	0.13
화순군	2.13	20.37	5.03	1.57	0.56	10.01	10.36	5.30	-0.26

표116 경상북도 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	-	kg-P/ha		-		kg-P/ha		kg-P/ha	
경상북도	2.24	35.37	6.81	2.18	0.06	27.45	7.91	8.93	-2.12
경산시	3.45	51.80	6.40	2.12	1.33	22.86	28.94	6.56	-0.16
경주시	3.20	39.74	6.54	1.98	1.22	16.43	23.31	7.41	-0.87
고령군	2.44	43.74	14.72	2.82	-0.38	51.37	-7.64	14.63	0.09
구미시	3.00	37.02	8.88	2.20	0.80	20.16	16.86	9.35	-0.47
군위군	3.62	49.10	5.37	2.24	1.38	22.94	26.16	5.85	-0.48
김천시	3.26	52.84	5.63	1.99	1.27	21.67	31.18	6.15	-0.52
문경시	0.48	17.86	6.38	2.00	-1.52	93.16	-75.31	6.93	-0.56
봉화군	2.40	38.37	4.85	2.55	-0.15	35.67	2.70	4.83	0.02
상주시	2.38	32.08	6.67	1.91	0.47	16.58	15.50	6.87	-0.21
성주군	1.58	23.84	20.58	4.01	-2.43	92.31	-68.47	20.65	-0.06
안동시	2.46	35.38	4.99	2.29	0.17	26.62	8.76	5.02	-0.03
영덕군	1.86	21.95	7.08	1.84	0.02	17.02	4.93	7.07	0.00
영양군	1.62	25.27	3.24	2.45	-0.83	35.49	-10.23	3.20	0.03
영주시	3.53	44.82	4.38	2.23	1.30	16.47	28.35	4.74	-0.36
영천시	4.12	58.76	7.14	2.62	1.50	26.41	32.35	7.43	-0.30
예천군	1.67	20.92	7.57	1.93	-0.26	21.99	-1.07	7.51	0.06
울릉군	4.73	13.17	0.13	2.39	2.34	6.56	6.61	0.13	0.00
울진군	1.83	26.23	6.45	2.26	-0.42	31.65	-5.43	6.39	0.06
의성군	2.00	29.93	7.23	1.85	0.14	21.82	8.11	7.27	-0.05
청도군	1.95	35.03	7.13	2.16	-0.21	33.98	1.05	7.11	0.02
청송군	1.91	24.13	2.90	2.45	-0.54	20.36	3.77	2.87	0.02
칠곡군	3.20	43.66	7.31	2.53	0.66	29.57	14.09	7.49	-0.19
포항시	2.73	27.70	5.48	2.10	0.63	15.45	12.25	5.74	-0.26

표117 경상남도, 제주도, 세종시 지역단위 적정 인부하 수준 도출

지역	현재 양분부하			적정 양분부하					
	인부하	순인수지	작물생산	인부하		순인수지		작물생산	
	(A)	(B)	(C)	값	변동량	값	변동량	값	변동량
	-	kg-P/ha		(D)	(A-D)	(E)	(B-E)	(F)	(C-F)
	-	kg-P/ha		-		kg-P/ha		kg-P/ha	
경상남도	2.18	36.00	7.23	2.16	0.02	29.98	6.02	9.63	-2.40
거제시	2.36	26.74	4.01	1.54	0.81	13.38	13.36	4.40	-0.39
거창군	2.83	34.26	5.87	1.95	0.87	14.34	19.92	6.27	-0.40
고성군	2.07	24.95	5.62	2.24	-0.17	25.59	-0.64	5.58	0.04
김해시	3.58	63.16	5.77	2.42	1.16	36.34	26.82	6.24	-0.47
남해군	2.45	41.10	5.85	3.06	-0.61	51.78	-10.68	5.78	0.07
밀양시	1.67	40.15	9.31	2.30	-0.63	54.29	-14.13	9.21	0.11
사천시	1.91	35.84	6.24	1.66	0.25	26.68	9.16	6.36	-0.12
산청군	2.11	24.53	4.72	2.14	-0.02	22.91	1.62	4.71	0.00
양산시	4.38	65.62	4.47	1.86	2.52	19.38	46.25	6.15	-1.68
의령군	2.10	39.17	11.11	1.95	0.15	32.06	7.11	11.19	-0.08
진주시	1.53	30.19	7.51	1.97	-0.44	38.77	-8.58	7.45	0.06
창녕군	2.75	62.12	11.16	2.52	0.23	53.31	8.81	11.25	-0.08
창원시	2.00	28.80	5.36	2.09	-0.09	25.12	3.67	5.34	0.02
통영시	1.96	26.96	3.29	2.14	-0.18	29.06	-2.10	3.27	0.02
하동군	1.84	24.93	4.32	1.63	0.22	18.70	6.23	4.38	-0.06
함안군	1.72	30.07	11.79	2.39	-0.67	44.06	-13.99	11.72	0.07
함양군	2.02	19.71	5.72	1.90	0.12	14.80	4.92	5.75	-0.03
합천군	2.56	45.79	10.36	2.29	0.27	36.85	8.94	10.47	-0.11
제주도	0.70	38.00	10.91	1.48	-0.78	90.29	-52.29	11.23	-0.32
세종시	4.08	63.47	7.77	1.98	2.10	18.61	44.85	9.54	-1.77

7. 적정양분 관리를 위한 관리 목표 설정 및 경축순환 농업 기술 적용 방안 도출

- 지역단위 양분관리를 위한 지역 유형 분류체계, 지역의 양분관리는 양분수지 지표 정도에 따라 지역 A, B, C, D로 구분함.

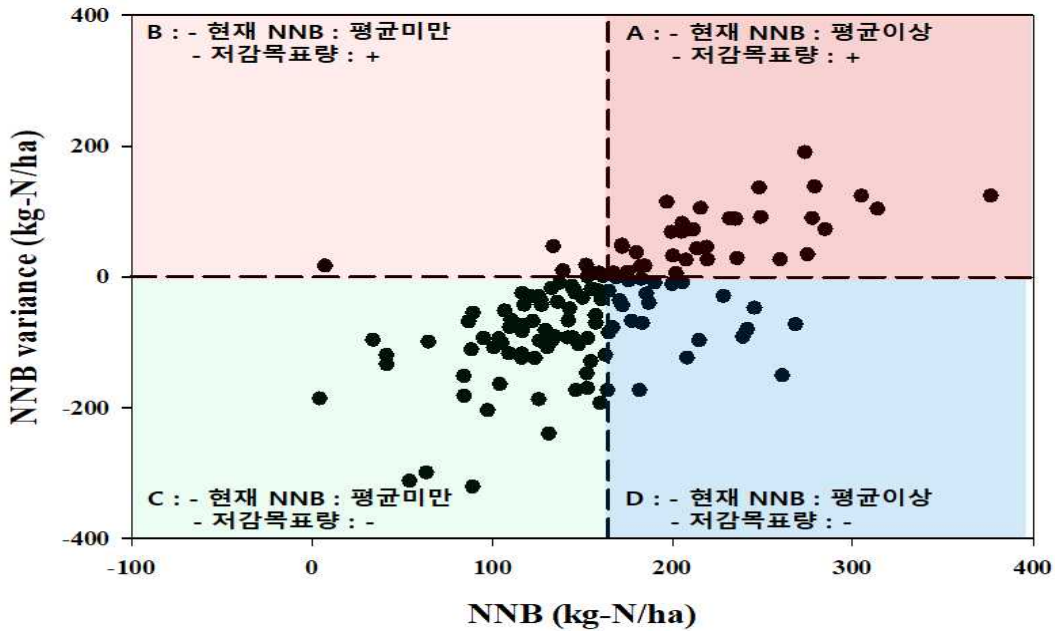


그림44 지역단위 양분관리를 위한 유형 분리체계

- 지역의 양분수지 유형 분류는 국가 평균 순질소수지 지표를 기준으로 순인수지 지표를 기준으로 국가 평균보다 높은 지역과 낮은 지역으로 구분하였음.
- 지역의 적정 순양분수지 달성을 위해 양분저감이 요구되는 경우에는 양(+)의 값을 나타내며, 양(+)의 값이 클수록 양분저감이 시급한 것을 의미함.
- 현재 양분수지 수준이 지역의 적정 순양분수지 지표보다 낮은 경우에는 음(-)의 값을 나타내며, 음(-)의 값이 클수록 양분저감의 시급성이 낮은 것을 의미함.
- 따라서, 현재 순양분수지 지표가 국가 평균보다 높고, 양분저감 목표량이 양(+)의 값을 가지는 경우 지역 A, 현재 순양분수지 지표가 국가 평균보다 낮으나, 양분저감 목표량이 양(+)의 값을 가지는 경우 지역 B, 현재 순양분수지 지표가 국가 평균보다 낮으며, 양분저감 목표량이 음(-)의 값을 가지는 경우 지역 C, 현재 순양분수지 지표가 국가 평균보다 높으나, 양분저감 목표량이 음(-)의 값을 가지는 경우 지역 D로 분류하였음.
- 지역 A는 현재 수계 및 대기로 유출되는 양분량이 많으며, 지역의 적정 양분 수준을 유지하기 위해 많은 양의 양분저감이 요구되는 지역으로 즉각적인 양분수지 저감 대책이 요구되는 지역이며, 지역 B는 국가 평균 양분수지 지표보다는 낮으나 지역의 농업환경 특성(작물생산성 등)을 고려하였을 때, 양분수지 저감 대책이 요구되는 지역을 의미함.
- 지역 C는 국가 평균 총양분수지 수준보다 지역의 순양분수지 수준이 낮고 양분저감 목표량이 음(-)의 값을 나타내어 상대적으로 양분수지 관리의 시급성이 낮다는 것을 의미함.
- 지역 D는 지역의 농업환경 특성(작물생산성 등)을 고려하였을 때, 양분수지 저감 대책이 크게 요구되지는 않으나 국가 평균 순양분수지 수준보다 지역의 순양분수지 수준이 높아 농업환경(대기, 수계)으로의 양분 유출이 우려되는 지역을 의미함. 양분저감 목표량이 음(-)의 값을 나타내는 것은 농업생산성 측면에서 추가적인 양분투입의 여유가 있음을 의미하는 것이나 수계 및 대기로의 양분 유출이 일어나지 않는 것은 아님.

표118 양분관리 지역 유형 분류

지역	양분관리지역 유형 구분		
	순질소수지 기준	순인수지기준	
지역 A	경기도	가평군, 김포시, 안성시, 양주시, 여주시, 연천군, 용인시, 이천시, 파주시, 포천시, 화성시	가평군, 김포시, 안성시, 양주시, 여주시, 연천군, 용인시, 이천시, 파주시, 포천시, 화성시
	강원도	강릉시, 양구군, 양양군, 원주시, 철원군, 평창군, 홍천군, 화천군, 횡성군	강릉시, 속초시, 양구군, 원주시, 철원군, 평창군, 홍천군, 화천군, 횡성군
	충청북도	증평군, 진천군, 충주시	괴산군
	충청남도	공주시, 당진시, 보령시, 부여군, 예산군, 천안시, 홍성군	증평군, 진천군, 공주시, 당진시, 보령시, 예산군, 천안시, 홍성군
	전라북도	고창군, 김제시, 남원시, 부안군, 익산시, 임실군, 전주시, 정읍시, 진안군	남원시, 임실군, 정읍시, 진안군
	전라남도	강진군, 나주시, 목포시, 무안군, 보성군, 여수시, 영광군, 장성군, 장흥군, 함평군	나주시, 무안군, 장흥군, 함평군
	경상북도	경산시, 군위군, 김천시, 영주시, 영천시	경산시, 경주시, 구미시, 군위군, 김천시, 봉화군, 영주시, 영천시, 칠곡군
	경상남도	김해시, 사천시, 양산시, 의령군, 창녕군, 합천군	김해시, 양산시, 의령군, 창녕군, 합천군
제주도 등	세종시	세종시	
지역 B	경기도	광주시, 김포시, 양평군, 여주시, 이천시, 평택시	광주시, 양평군, 평택시
	강원도	속초시, 춘천시	양양군
	충청북도	괴산군, 단양군, 보은군, 영동군, 옥천군, 음성군, 제천시, 청주시	단양군, 보은군, 영동군, 옥천군, 음성군, 제천시, 청주시, 충주시
	충청남도	금산군, 서산시, 서천군, 아산시, 청양군	금산군, 부여군, 서산시, 서천군, 아산시, 청양군, 태안군
	전라북도	군산시, 무주군, 순창군, 완주군, 장수군	고창군, 군산시, 김제시, 무주군, 부안군, 순창군, 완주군, 익산시, 장수군, 전주시
	전라남도	고흥군, 곡성군, 구례군, 담양군, 순천시, 영암군, 완도군, 화순군	강진군, 고흥군, 곡성군, 구례군, 담양군, 목포시, 보성군, 순천시, 여수시, 영광군, 영암군, 완도군, 장성군, 화순군
	경상북도	경주시, 구미시, 봉화군, 상주시, 안동시, 영덕군, 예천군, 울릉군, 의성군, 청도군, 청송군, 칠곡군, 포항시	상주시, 안동시, 영덕군, 울릉군, 의성군, 청도군, 청송군, 포항시
	경상남도	거제시, 거창군, 고성군, 산청군, 창원시, 하동군, 함양군	거제시, 거창군, 사천시, 산청군, 창원시, 하동군, 함양군
제주도 등			
지역 C	경기도		
	강원도	고성군, 정선군	정선군
	충청북도		
충청남도	계룡시, 논산시, 태안군	계룡시, 논산시	

	전라북도		
	전라남도	광양시, 신안군, 진도군, 해남군	광양시, 신안군, 진도군, 해남군
	경상북도	고령군, 문경시, 성주군, 영양군, 울진군	문경시, 성주군, 영양군, 예천군, 울진군
	경상남도	남해군, 밀양시, 진주시, 통영시, 함안군	고성군, 진주시, 통영시, 함안군
	제주도 등	제주도	
지역 D	경기도		남양주시
	강원도	동해시, 삼척시, 영월군, 인제군, 태백시	동해시, 삼척시, 영월군, 인제군, 춘천시, 태백시
	충청북도		
	충청남도		
	전라북도		
	전라남도		
	경상북도		고령군
	경상남도		남해군, 밀양시
	제주도 등		제주도

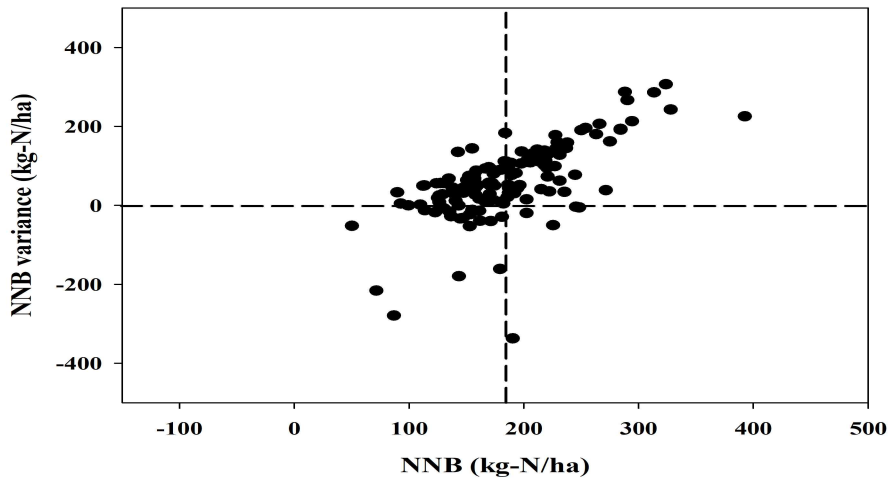


그림 45 지역단위 순질소수지 기준 양분관리 특성 구분

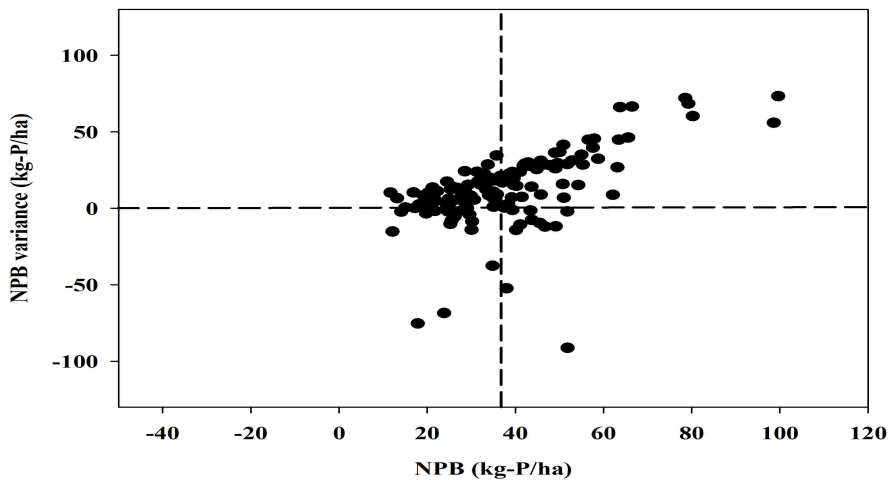


그림 46 지역단위 순인수지 기준 양분관리 특성 구분

표119 지역단위 경축순환 농업 방안 도출 개념

구분		현재 지역 양분수지 지표수준(수계유출잠재량)	
		이하 ----- 전국평균기준(kg/ha) -----	이상
수계 유출 잠재량 저감 목표	증가 ↑ ↑	지역 B	지역 A
		현재 양분 수계유출 잠재량이 적은 지역 양분 저감이 작게 요구되는 지역 대책방안 : 수계양분유출 저감	현재 양분 수계유출 잠재량이 많은 지역 양분 저감이 크게 요구되는 지역 대책방안 : 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료 양분투입량 저감
	감소 ↓ ↓	지역 C	지역 D
		현재 양분 수계유출 잠재량이 적은 지역 양분 저감이 불필요한 지역 대책방안 : 작물생산성 증진을 위한 양분 추가 투입	현재 양분 수계유출 잠재량이 많은 지역 양분 저감이 불필요한 지역 대책방안 : 양분의 효율적 이용, 수계 양분유출 저감

- 지역 A는 현재 양분 수계유출 잠재량이 많고 적정양분 관리를 위해 양분 저감이 크게 요구되는 지역.
- 지역 A 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 기타 항목의 합에 의한 양분유입 함량이 각각 50% 이상인 지역을 아래와 같이 구분함

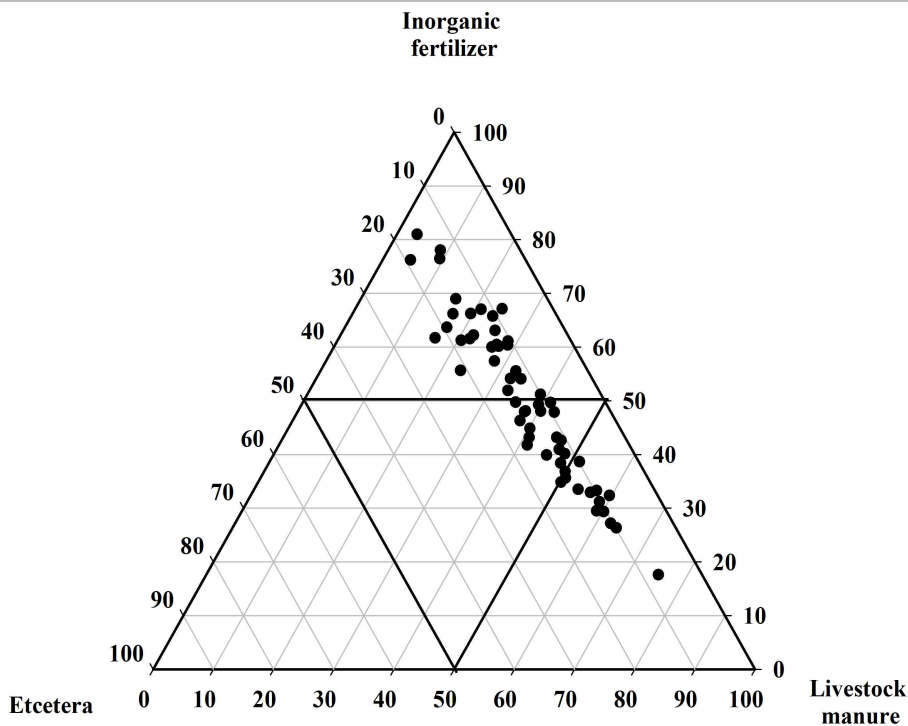


그림47 순질소수지 기준 지역 A의 양분유입 특성 구분

표120 지역 A 중 가축분뇨 퇴·액비에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 A - 가축분뇨 퇴·액비 ≥ 50%			
경기도	가평군	안성시	양주시
연천군	용인시	포천시	화성시
보령시	천안시	홍성군	진안군
김천시	양산시	세종시	

표121 지역 A 중 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 A - 무기질 비료 \geq 50%			
남양주시	강원도	강릉시	양구군
양양군	평창군	홍천군	횡성군
증평군	충청남도	공주시	전라북도
고창군	김제시	부안군	익산시
전주시	강진구	목포시	무안군
보성군	여수시	영광군	장성군
장흥군	함평군	경산시	사천시
의령군	창녕군	합천군	

표122 지역 A 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 A - 기타 \geq 50%			
파주시	원주시	철원군	화천군
진천군	충주시	당진시	부여군
예산군	남원시	임실군	정읍시
나주시	군위군	영주시	영천시
김해시			

- 지역 B는 현재 질소 수계유출 잠재량이 적지만 적정양분 관리를 위해 양분저감이 요구되는 지역.
- 지역 B 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 기타 항목의 합에 의한 양분유입 함량이 각각 50% 이상인 지역을 아래와 같이 구분함

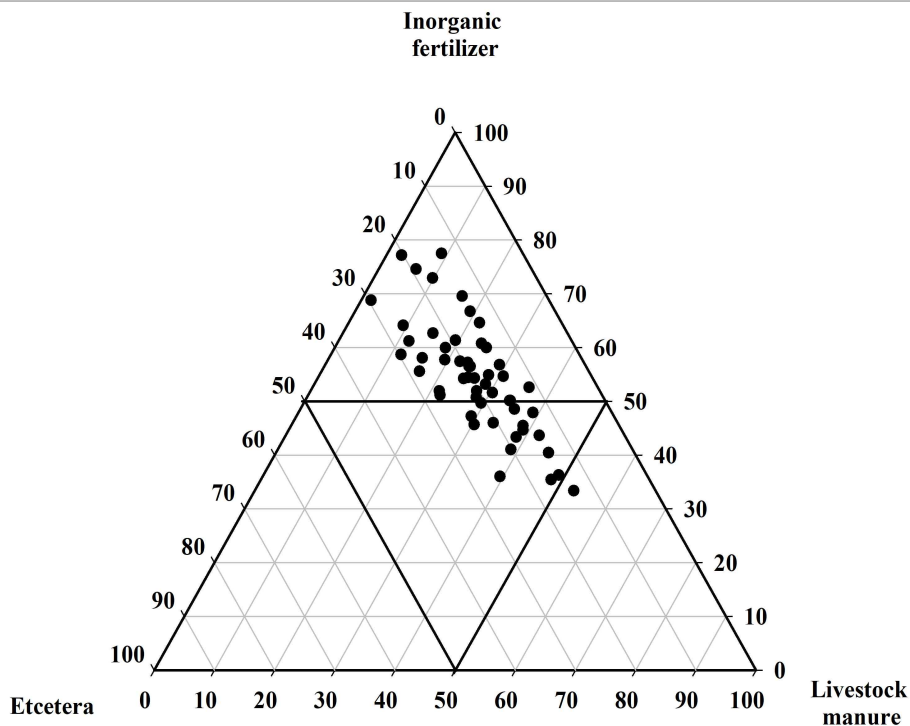


그림 48 순질소수지 기준 지역 B의 양분유입 특성 구분

표123 지역 B 중 가축분뇨 퇴·액비에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 B - 가축분뇨 퇴·액비 ≥ 50%			
이천시			

표124 지역 B 중 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 B - 무기질 비료 ≥ 50%			
속초시	춘천시	충청북도	단양군
보은군	옥천군	제천시	청주시
금산군	서산시	서천군	아산시
청양군	군산시	무주군	순창군
완주군	장수군	전라남도	고흥군
구례군	담양군	순천시	영암군
완도군	화순군	구미시	상주시
안동시	영덕군	예천군	울릉군
의성군	청도군	청송군	포항시
경상남도	거제시	창원시	하동군
함양군			

표125 지역 B 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 B - 기타 ≥ 50%			
광주시	김포시	양평군	여주시
평택시	괴산군	영동군	음성군
곡성군	경주시	봉화군	칠곡군
경상북도	거창군	고성군	산청군

- 지역 C는 현재 질소 수계유출 잠재량이 적고 양분저감이 불필요한 지역.
- 지역 C 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 기타 항목의 합에 의한 양분유입 함량이 각각 50% 이상인 지역을 아래와 같이 구분함

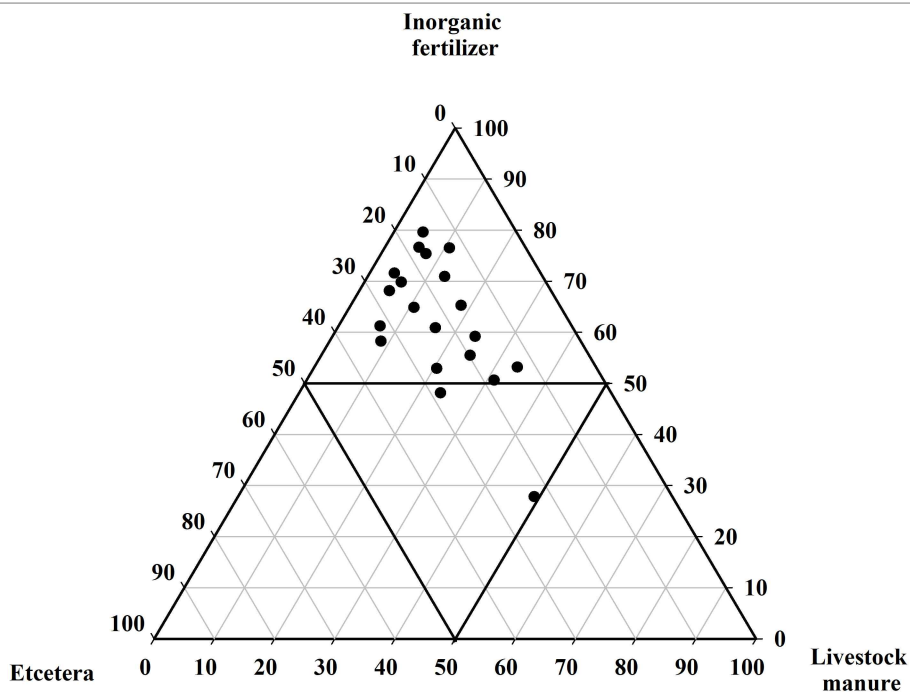


그림 49 순질소수지 기준 지역 C의 양분유입 특성 구분

표126 지역 C 중 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 C - 무기질 비료 \geq 50%			
고성군	정선군	계룡시	논산시
태안군	광양시	신안군	진도군
해남군	고령군	문경시	영양군
울진군	남해군	밀양시	통영시
함안군	제주도		

표127 지역 C 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 C - 기타 \geq 50%		
성주군	진주시	

- 지역 D는 현재 질소 수계유출 잠재량이 많지만 양분저감이 불필요한 지역.
- 지역 D 중 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 기타 항목의 합에 의한 양분유입 함량이 각각 50% 이상인 지역을 아래와 같이 구분함

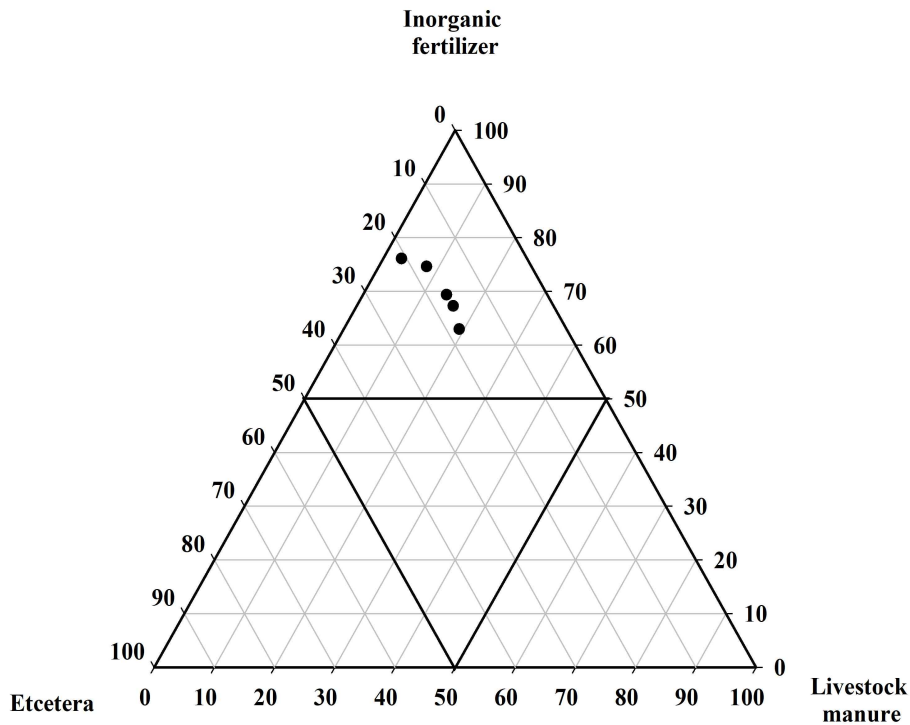


그림50 순질소수지 기준 지역 D의 양분유입 특성 구분

표128 지역 D 중 무기질 비료에 의한 양분유입량이 50% 이상인 지역

지역 D - 무기질 비료 \geq 50%			
동해시	삼척시	영월군	인제군
태백시			

8. 지역/국가단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 자원이용 및 양분관리 기술 적용체계 구축

- 지역/국가단위 양분수지 저감 목표 설정을 위한 양분저감 방법은 구조적 수단과 비구조적 수단으로 구분하여 시나리오를 설정하였음.
- 구조적 수단은 가축분뇨 정화처리시설 설치를 통해 농경지로의 가축분뇨 유래 양분 투입량을 저감하는 방법이며, 비구조적 수단은 농업생산성 향상, 사료작물재배, 작물부산물 사료 이용(곤포사일리지) 등의 경종적 방식으로 농경지의 양분 산출량을 증가시켜 지역의 총 양분수지 지표를 저감하는 방법임.
- 국가 양분수지 저감 목표 설정을 위한 양분저감 세부 시나리오는 기본 5개의 시나리오를 설정하였으며, (시나리오 0)은 본 연구의 지역단위 양분수지 분석에서 사료작물 재배 및 작물부산물 이용 항목을 포함하고 있으나, 현재 기준 통계원이 미흡하여 양분수지 분석에 포함하지 않았음. 다만, 사료작물 재배 및 작물부산물 이용 항목은 지역의 양분저감 활동으로 분류하였으며, 지역의 양분관리 이행 과정에서 지자체가 사료작물 재배 및 작물부산물 이용 통계를 제시하는 경우, 양분수지 분석에 양분산출 항목으로 포함하는 것으로 설정함.
- (시나리오 0)은 기존 사료작물 재배와 기존 볏짚 곤포사일리지 사용 현황을 반영한 것임.
- (시나리오 1과 2)는 구조적 수단을 활용하는 방안으로 (시나리오 1)은 지역단위로 가축분뇨 정화처리시설 2개소를 설치 운영하는 방안이며, (시나리오 2)는 지역단위로 가축분뇨 정화처리시설 1개소를 설치 운영하는 방안임.
- (시나리오 3과 4)는 비구조적 수단을 활용하는 방안으로 (시나리오 3)은 녹비작물재배, 사료작물재배, 볏짚 곤포사일리지 이용을 대면적 확대하는 방안이고, 시나리오 4는 녹비작물 재배, 사료작물재배, 볏짚 곤포사일리지 이용을 소면적 확대하는 방안임.
- 복합 시나리오는 양분수지 저감을 위하여 구조적 수단과 비구조적 수단을 복합적으로 적용하는 경우, 양분수지 저감효과를 평가하기 위하여 설정하였으며, 강/약한 구조적 수단과 강/약한 비구조적 수단을 교차하여 적용하는 시나리오임.
- 관리지역 맞춤형 시나리오는 양분수지 저감을 위한 구조적 수단의 경우, 가축분뇨 공공처리시설 설치에 많은 비용이 투입되는 특성이 있어, 구조적 수단의 적용에 국가의 재정적 부담이 큰 점을 고려하여 관리지역별(A, B, C, D) 양분수지의 심각성을 고려하여 양분저감 수단을 차별화하여 설정한 시나리오임.
- 관리지역 맞춤형 시나리오에서는 A지역의 경우, 강한 구조적 수단(시나리오 1)과 강한 비구조적 수단(시나리오 3)을 복합 적용하였으며, B지역의 경우, 약한 구조적 수단(시나리오 2)과 강한 비구조적 수단(시나리오 3)을 복합 적용하였으며, 또한, C지역의 경우, 약한 구조적 수단(시나리오 4)만을 적용하는 것으로 설정하였으며, D지역의 경우, 강한 비구조적 수단(시나리오 3)만을 적용하였음.

표129 양분 저감 시나리오

구분	시나리오		양분저감 방안				저감방안 설명
			방안 유형				
			구조적	비구조적	강	약	
기본 시나리오	0						기존 사료작물 재배 현황, 기존 벗짚 곤포사일리지 이용 적용
	1		○				공공처리(정화) 시설 2개소 설치
	2			○			공공처리(정화) 시설 1개소 설치
	3				○		녹비작물재배, 사료작물재배, 벗짚 곤포사일리지 이용 대면적 확대
	4					○	녹비작물재배, 사료작물재배, 벗짚 곤포사일리지 이용 소면적 확대
복합 시나리오 ¹⁾	1+3		○		○		기본 시나리오 1, 3 복합 적용
	1+4		○			○	기본 시나리오 1, 4 복합 적용
	2+3			○	○		기본 시나리오 2, 3 복합 적용
	2+4			○		○	기본 시나리오 2, 4 복합 적용
관리지역 맞춤형 시나리오 ²⁾	A지역	1+3	○		○		기본 시나리오 1, 3 복합 적용
	B지역	2+3		○	○		기본 시나리오 2, 3 복합 적용
	D지역	3			○		기본 시나리오 3 적용
	C지역	4				○	기본 시나리오 4 적용

주: 1) 구조적 수단과 비구조적 수단의 복합 효과를 평가하기 위하여 복합 시나리오를 설정함.
2) 양분관리 지역별 양분관리의 시급성을 고려하여 복합 시나리오를 설정함.

표130 양분 저감 기본 시나리오의 구성

구분	구조적방안 (양분투입 저감)	비구조적방안(양분산출 증대)		
		녹비작물재배	다비작물재배 (사료작물)	작물부산물 이용 (곤포사일리지)
시나리오 0			전북 : 9.30% 전남 : 14.52% 경북 : 3.28% 경남 : 5.68% (‘18년기준)	벗짚 63.7% (‘21년 기준) 이용
시나리오 1	신규 2개소(개소당 100톤/일 규모)			
시나리오 2	신규 1개소(개소당 100톤/일 규모)			
시나리오 3		벼재배 면적의 20%	전북 : 9.30% 전남 : 14.52% 경북 : 3.28% 경남 : 5.68% + 지역별 20% 확대	벗짚 73.7% 이용
시나리오 4		벼재배 면적의 10%	전북 : 9.30% 전남 : 14.52% 경북 : 3.28% 경남 : 5.68% + 지역별 10% 확대	벗짚 68.7% 이용

가. 지역/국가단위 양분수지 기반 경축순환모델 실현 기술 제시

1) 산출기준

- 양분저감 시나리오 분석을 위하여 양분저감 방안별 정량적 저감 기준을 설정하였음.
- 가축분뇨 정화처리시설 설치에 따른 정량적 양분저감량은 100 m³/일 시설용량을 기준으로 질소 145.4 톤-N/년, 인 19.5 톤-P/년으로 산출되었음.

표131 가축분뇨 정화처리(단독) 시설의 양분투입 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			방류수 ¹⁾			양분저감량 ²⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	방류수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0	-	-	100.0	-	-	-	-
T-P	-	591.0	59.1	-	0.2	0.02	59.1	19.5
T-N	-	4430.4	443.0	-	25.4	2.5	440.5	145.4

주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 정화처리(단독처리) 시설의 유입 및 방류수질 현황 적용, 가동일수 330일 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)).

2) 양분저감량(kg/일) = 유입수 양분부하(kg/일)-방류수 양분부하(kg/일).

- 벼재배에서 녹비작물별 질소 비료 대체 효과는 헤어리베치, 자운영, 녹비보리, 호밀의 녹비작물에 대하여 평균 49.3 kg-N/ha/년으로 산출되었으며, 사료작물 재배에 따른 양분저감량은 청보리, 호밀, 귀리(짚), 옥수수, 총채벌레에 대하여 평균 질소 206.0 kg-N/ha/년, 인 38.0 kg-N/ha/년으로 산출되었다. 또한, 볏짚 곤포사일리지 이용은 평균 질소 64.1 kg-N/ha/년, 인 7.0 kg-P/ha/년으로 산출되었음.

표132 벼재배에서 녹비작물별 무기질 비료(질소) 대체 기준

작물	질소비료 대체율 (%)	논벼시비기준 (kg/10a)	논벼질소시비량 (kg/ha)	질소비료 저감량 (kg/ha/년)
논벼	0	9.0	90	0
헤어리베치	100	-	-	90
자운영	70	-	-	63
녹비보리	30	-	-	27
호밀	19	-	-	17.1
평균	54.75	-	-	49.3

자료: 농촌진흥청, “두과녹비작물의 종류와 주요 특성”, 검색일: 2023.3.6.

표133 사료작물 재배에서 양분산출량 기준

사료작물	건물수확량 (톤/ha)	성분함량		양분산출량	
		질소 (%)	인 (%)	질소 (kg/ha/년)	인 (kg/ha/년)
청보리(호숙기)	11.95	1.54	0.35	184.1	41.8
호밀(출수기)	12.16	2.24	0.24	271.8	29.2
귀리(짚)	8.70	0.20	0.17	17.1	14.8
옥수수(유숙기)	19.41	1.50	0.36	291.0	69.9
총채벌레(호숙기)	17.96	1.48	0.19	266.1	34.1
평균				206.0	38.0

자료: 농촌진흥청, “지역별 사료작물 작부 체계”, 검색일: 2023.3.6.

표134 볏짚 곤포사일리지 이용 양분산출량 기준

구분	곤포 생산량 (톤/ha)	성분함량		비료저감량	
		질소(%)	인(%)	질소(kg/ha/년)	인(kg/ha/년)
곤포사일리지	6.33	1.01	0.11	64.1	7.0

자료: 농촌진흥청, “곤포사일리지”, 검색일: 2023.3.6.

2) 양분저감 시나리오 적용 양분수지 저감효과

- 지역 A, B, C, D에 대해서 기존 사료작물 재배와 볏짚 곤포사일리지 사용 현황을 반영한 (시나리오 0)에서의 순질소수지 저감률은 전국 평균 2.78%로 나타났다. 따라서, 기존의 사료작물 재배와 볏짚 곤포사일리지 사용 정도만을 양분수지에 반영하더라도 약 2.78% 수준의 국가 순질소수지 저감이 가능한 것으로 나타났다.
- 국가단위 순질소수지 저감률은 (시나리오 1)에서 13.70%, (시나리오 2)에서 6.85%, (시나리오 3)에서 17.37%, (시나리오 4)에서 12.91%로 나타났다. 본 연구의 시나리오 설정치를 기준으로 하였을 때, 국가단위 순질소수지 저감 효과는 구조적 수단에 비하여 비구조적 수단의 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 (시나리오 0)에서 보인 바와 같이, 기존 사료작물 재배와 볏짚 곤포사일리지 사용 반영으로 인한 것임.
- 복합 시나리오에서 국가 순질소수지 저감률은 (시나리오 1+3)에서 31.07%, (시나리오 1+4)에서 26.61%, (시나리오 2+3)에서 24.22%, (시나리오 2+4)에서 19.76%로 나타났다.
- (관리지역 맞춤형 시나리오)에서 국가단위 순질소수지 저감률은 지역 A 26.58%, 지역 B 29.26%, 지역 C 1.72%, 지역 D 13.03%, 국가단위 평균 25.28%로 나타났다. 따라서 지역 A에는 시나리오 1+3을, B지역에는 시나리오 2+3을, C지역에는 시나리오 4를, D지역에는 시나리오 3을 적용한 (관리지역 맞춤형 시나리오) 결과 전국적으로 평균 약 25.28% (46.66 kg-N/ha)의 순질소수지 저감이 가능한 것으로 분석됨.
- 순인수지의 경우, 순질소수지와 유사한 경향을 나타냈으며, (관리지역 맞춤형 시나리오)에서 전국 평균 약 20.81% (7.65 kg-P/ha)의 순인수지 저감이 가능한 것으로 분석됨. (관리지역 맞춤형 시나리오) 적용 전후의 국가단위 순질소수지와 순인수지 항목별 변동을 나타내고 있으며, 각각 (관리지역 맞춤형 시나리오) 적용 전후의 국가 양분수지 지표의 변동을 나타내었음.

표135 양분 저감 시나리오별 국가 순질소수지 지표 저감효과

구분	지역유형	현재 순질소수지 (kg-N/ha)	시나리오별 순질소수지 (kg-N/ha)	저감 순질소수지 (kg-N/ha)	저감률 (%)
시나리오 0	지역 A	230.98	224.88	6.10	2.64
	지역 B	151.98	147.55	4.44	2.92
	지역 C	219.97	219.97	-	-
	지역 D	142.70	138.08	4.61	3.23
	평균	184.55	179.42	5.13	2.78
시나리오 1	지역 A	230.98	205.49	25.48	11.03
	지역 B	151.98	126.53	25.45	16.74
	지역 C	219.97	130.71	89.26	40.58
	지역 D	142.70	121.97	20.73	14.52
	평균	184.55	159.27	25.28	13.70
시나리오 2	지역 A	230.98	218.24	12.74	5.52
	지역 B	151.98	139.26	12.72	8.37
	지역 C	219.97	175.34	44.63	20.29
	지역 D	142.70	132.33	10.36	7.26
	평균	184.55	171.91	12.64	6.85
시나리오 3	지역 A	230.98	195.06	35.92	15.55
	지역 B	151.98	120.24	31.75	20.89
	지역 C	219.97	216.19	3.78	1.72
	지역 D	142.70	117.54	25.16	17.63
	평균	184.55	152.48	32.06	17.37
시나리오 4	지역 A	230.98	204.04	26.94	11.66
	지역 B	151.98	128.65	23.33	15.35
	지역 C	219.97	216.83	3.14	1.43
	지역 D	142.70	124.11	18.59	13.03
	평균	184.55	160.73	23.82	12.91
시나리오 1+3	지역 A	230.98	169.58	61.40	26.58
	지역 B	151.98	94.79	57.20	37.63
	지역 C	219.97	126.92	93.05	42.30
	지역 D	142.70	96.81	45.89	32.16
	평균	184.55	127.20	57.35	31.07
시나리오 1+4	지역 A	230.98	178.56	52.42	22.69
	지역 B	151.98	103.20	48.78	32.10
	지역 C	219.97	127.57	92.40	42.01
	지역 D	142.70	103.38	39.32	27.55
	평균	184.55	135.45	49.10	26.61
시나리오 2+3	지역 A	230.98	182.32	48.66	21.07
	지역 B	151.98	107.51	44.47	29.26
	지역 C	219.97	171.56	48.42	22.01
	지역 D	142.70	107.17	35.52	24.89
	평균	184.55	139.84	44.71	24.22
시나리오 2+4	지역 A	230.98	191.30	39.68	17.18
	지역 B	151.98	115.92	36.06	23.73
	지역 C	219.97	172.20	47.77	21.72
	지역 D	142.70	113.74	28.95	20.29
	평균	184.55	148.09	36.46	19.76
관리지역 맞춤형 시나리오	지역 A	230.98	169.58	61.40	26.58
	지역 B	151.98	107.51	44.47	29.26
	지역 C	219.97	216.19	3.78	1.72
	지역 D	142.70	124.11	18.59	13.03
	평균	184.55	137.89	46.66	25.28

표136 양분 저감 시나리오별 국가 순인수지 지표 저감효과

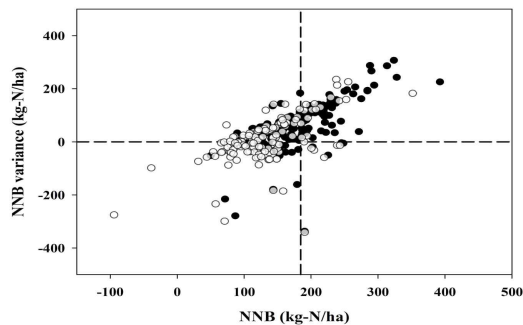
구분	지역유형	현재 순인수지 (kg-P/ha)	시나리오별 순인수지 (kg-P/ha)	저감 순인수지 (kg-P/ha)	저감률 (%)
시나리오 0	지역 A	51.13	50.45	0.68	1.33
	지역 B	28.39	27.17	1.22	4.30
	지역 C	40.03	39.87	0.16	0.40
	지역 D	23.10	21.87	1.23	5.32
	평균	36.79	35.84	0.94	2.57
시나리오 1	지역 A	51.13	47.56	3.57	6.98
	지역 B	28.39	25.15	3.24	11.40
	지역 C	40.03	36.56	3.46	8.66
	지역 D	23.10	19.73	3.38	14.62
	평균	36.79	33.40	3.39	9.22
시나리오 2	지역 A	51.13	49.35	1.78	3.49
	지역 B	28.39	26.77	1.62	5.70
	지역 C	40.03	38.30	1.73	4.33
	지역 D	23.10	21.42	1.69	7.31
	평균	36.79	35.09	1.70	4.61
시나리오 3	지역 A	51.13	45.64	5.49	10.74
	지역 B	28.39	21.59	6.80	23.94
	지역 C	40.03	38.51	1.51	3.78
	지역 D	23.10	16.94	6.17	26.70
	평균	36.79	30.95	5.84	15.87
시나리오 4	지역 A	51.13	46.59	4.54	8.88
	지역 B	28.39	22.98	5.41	19.07
	지역 C	40.03	38.87	1.16	2.89
	지역 D	23.10	18.35	4.76	20.59
	평균	36.79	32.10	4.69	12.74
시나리오 1+3	지역 A	51.13	42.07	9.06	17.72
	지역 B	28.39	18.35	10.03	35.34
	지역 C	40.03	35.05	4.98	12.44
	지역 D	23.10	13.56	9.55	41.32
	평균	36.79	27.56	9.23	25.09
시나리오 1+4	지역 A	51.13	42.22	8.91	17.43
	지역 B	28.39	18.49	9.89	34.85
	지역 C	40.03	35.08	4.95	12.36
	지역 D	23.10	13.66	9.44	40.86
	평균	36.79	27.69	9.10	24.74
시나리오 2+3	지역 A	51.13	43.85	7.28	14.23
	지역 B	28.39	19.97	8.41	29.64
	지역 C	40.03	36.78	3.25	8.11
	지역 D	23.10	15.25	7.86	34.01
	평균	36.79	29.25	7.53	20.48
시나리오 2+4	지역 A	51.13	44.80	6.32	12.37
	지역 B	28.39	21.36	7.03	24.77
	지역 C	40.03	37.14	2.89	7.22
	지역 D	23.10	16.66	6.45	27.90
	평균	36.79	30.40	6.38	17.35
관리지역 맞춤형 시나리오	지역 A	51.13	42.07	9.06	17.72
	지역 B	28.39	19.97	8.41	29.64
	지역 C	40.03	38.51	1.51	3.78
	지역 D	23.10	18.35	4.76	20.59
	평균	36.79	29.13	7.65	20.81

표137 국가단위 순질소수지 분석 결과

지역	질소부하 (-)	질소유입 (kg-N/ha)							질소유출 (kg-N/ha)				
		가축분뇨퇴액비	무기질비료	유기질비료	질소고정	종자및종묘	대기강하물	총유입량	작물재배	작물부산물	대기유출	수계유출	총유출량
국가	2.62	85.65	145.06	12.17	1.71	2.06	24.10	270.74	40.42	10.44	35.34	184.55	270.74
지역복합	2.41	70.81	140.98	12.17	1.71	2.06	24.10	251.82	40.42	37.26	35.34	138.81	251.82

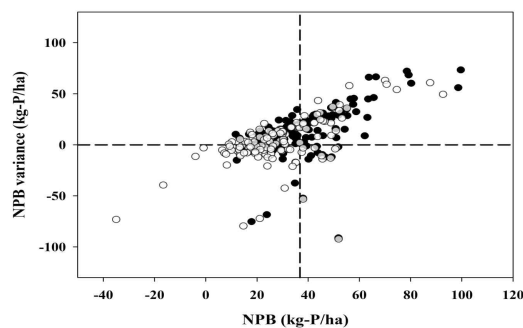
표138 국가단위 순인수지 분석 결과

지역	인부하 (-)	인유입 (kg-P/ha)							인유출 (kg-P/ha)				
		가축분뇨퇴액비	무기질비료	유기질비료	질소고정	종자및종묘	대기강하물	총유입량	작물재배	작물부산물	대기유출	수계유출	총유출량
국가	2.17	24.24	19.76	2.65	-	0.38	-	47.03	7.63	2.61	-	36.79	47.03
지역복합	2.08	22.30	19.76	2.65	-	0.38	-	45.09	7.63	8.27	-	29.18	45.09



주: ● 시나리오 적용 전 지역 순질소수지 지표 현황,
○ 시나리오 적용 후 지역 순질소수지 지표 현황

그림 51 지역단위 순질소수지 저감효과(관리지역 맞춤형 시나리오)



주: ● 시나리오 적용 전 지역 순인수지 지표 현황,
○ 시나리오 적용 후 지역 순인수지 지표 현황

그림 52 지역단위 순인수지 저감효과(관리지역 맞춤형 시나리오)

3) 온실가스 저감효과

가) 산출기준

- 지역단위 양분수지 관리제도 도입을 통한 온실가스 저감효과는 농경지 양분투입 저감에 따른 아산화질소(N₂O)의 직접 및 간접배출 저감, 화학비료 사용 감소에 따른 간접배출량 저감, 가축분뇨 바이오가스화(정화처리) 시설 설치를 통한 간접배출량 저감량을 기준으로 평가하였음.
- 지역단위 양분수지 관리에 따른 온실가스 저감효과, 산정기준과 산정방식에 따라 산출하였으며, 화학비료 대체효과는 녹비작물 재배 등으로 대체하는 화학비료 생산과정에서의 온실가스 배출 저감량을 나타냄, 직접배출과 간접배출 감축량은 화학비료 등 농경지 양분 투입 저감에 따른 농경지에서의 직·간접적인 온실가스 배출 저감량은 의미함.

표139 농업부문 국가 온실가스 배출현황

구분	국가온실가스 인벤토리(농업부문)(백만톤-CO _{2eq.} /년)							
	가축 장내발효	가축분뇨 처리	축산 소계	벼재배	농경지 토양	작물잔사 소각	경종 소계	합계
2018년	4.5	4.9	9.4	6.3	5.5	0.015	11.8	21.2

자료: 환경부(2020), 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서.

표140 벼재배에서 녹비작물별 온실가스 감축 효과 산정기준

구분	비료종류	성분함량 (%)	비료(kg)당 온실가스 배출계수 (kg-CO _{2eq.} /kg)	성분(kg)당 온실가스 배출계수 (kg-CO _{2eq.} /kg)
질소(N)	요소	46.0	1.010	2.196
인(P)	용성인비	17.0	0.725	4.265

자료: 농업기술실용화재단(2020), 저탄소 농축산물 인증제 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침.

표141 농경지 양분투입 저감에 따른 온실가스 배출량 감축 효과 산정기준

구분	산출기준
N ₂ O 직접배출	무기질 비료 [무기질비료로 투입되는 질소량(kg-N/년)×(1-0.20(대기휘산율))]×(논 배출계수(kg N ₂ O-N/kg N)+밭 배출계수(kg N ₂ O-N/kg N))/2×44/28×310(지구온난화지수) 논 N ₂ O 배출계수 : 0.003 N ₂ O-N/kg N 밭 N ₂ O 배출계수 : 0.00596 N ₂ O-N/kg N
	가축분뇨 퇴·액비 [가축분뇨 퇴·액비로 투입되는 질소량(kg-N/년)×(1-0.20(대기휘산율))]×(논 배출계수(kg N ₂ O-N/kg N)+밭 배출계수(kg N ₂ O-N/kg N))/2×44/28×310(지구온난화지수) 논 N ₂ O 배출계수 : 0.003 N ₂ O-N/kg N 밭 N ₂ O 배출계수 : 0.00596 N ₂ O-N/kg N
N ₂ O 간접배출	대기유출 대기유출에 위한 N ₂ O 발생량(kg-N/년) = [대기유출 질소량(kg-N/년)]×대기유출에 의한 N ₂ O 배출계수(kg N ₂ O-N/kg N)×44/28×310(지구온난화지수) N ₂ O 배출계수 : 0.010 kg N ₂ O-N/kg N
	수계유출 수계유출에 위한 N ₂ O 발생량(kg-N/년) = [수계유출 질소량(kg-N/년)]×수계유출에 의한 N ₂ O 배출계수(kg N ₂ O-N/kg N)×44/28×310(지구온난화지수) N ₂ O 배출계수 0.0135 kg N ₂ O-N/kg N

자료: 환경부(2020), 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 방법론을 수정하여 적용.

나) 산출결과

- 지역단위 양분수지 관리에 따른 온실가스 저감효과는 지역복합 시나리오를 적용하였을 때 519,229 톤-CO_{2eq.}/년의 감축효과가 기대되었으며, 지역단위 적정양분을 적용하였을 때 733,824 톤-CO_{2eq.}/년의 감축효과가 기대되었음.

표142 지역단위 양분관리에 따른 온실가스 감축 효과

구분	온실가스 감축효과(톤-CO _{2eq.} /년)			합계
	화학비료 대체	직접배출 감축량	간접배출 감축량	
지역복합 시나리오 적용	2,826	10,248	506,155	519,229
지역단위 적정양분 적용	12,346	15,517	705,961	733,824

9. 양분수지 기반 경축순환농업을 위한 기술 매뉴얼 개발

가. 양분수지 저감방안의 종류

1) 양분투입량 저감방안

- 양분투입량 저감방안은 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 유기질비료의 양분투입량을 저감하는 방법으로 가축분뇨 처리시설 설치 중심의 구조적 방안과 농축산인의 활동 중심의 비구조적 방안으로 구분함.
- 양분투입량 저감방안 중 구조적 방안은 가축분뇨 퇴·액비화 시설, 가축분뇨 정화처리시설, 가축분뇨 고체연료화 시설 등의 설치 및 운전을 통해 농경지 양분 투입량을 저감시키는 방안으로 가장 안정적인 양분수지 저감방안임.
- 구조적 방안은 축종별로 발생 가축분뇨의 물리적·화학적 특성을 고려하여 자원화(퇴·액비), 정화처리, 고체연료화 시설을 적용함. 시/군 지자체에서는 양분수지 저감계획에서 구조적 방안을 도입하고자 하는 경우, 지역의 가축종과 기존 가동중인 가축분뇨 처리시설의 종류, 가축분뇨 처리체계 등을 고려하여 지역의 가축분뇨 양분관리에 적합한 구조적 방안을 채택하여야 함.
- 양분투입량 비구조적 방안으로는 가축사육두수 감축, 비료 시비량 저감, 가축분뇨를 해당 시/군 이외 지역으로 이송 처리하는 방안을 포함함.

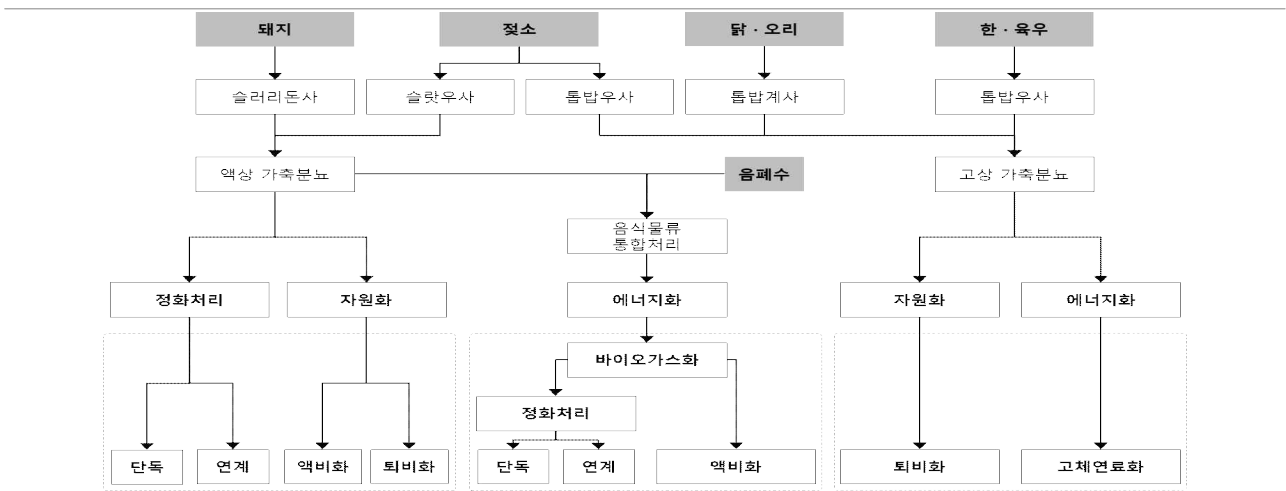


그림 53 축종별 가축분뇨 처리 기술 적용 체계(구조적 처리방안)

2) 양분산출량 증대방안

- 양분산출량 증가방안은 농경지로부터 비료성분(질소, 인)의 산출량을 증가시키는 방법임. 양분산출량을 증가시키는 비구조적 방안으로는 작물의 생산성 향상, 사료작물 등 다비작물의 재배, 작물부산물의 사료 및 연료 이용 확대, 가축분뇨 액비의 살포처 확대 방안이 있음.

표143 양분수지 저감방안 및 방법

구분		방안	특성	방법
양분 투입량 (Input) 저감	구조적 방안	가축분뇨 퇴액비화 (공공·공동·농가처리)	자원화 과정에서 양분 저감	퇴·액비화 시설 설치 퇴·액비 부숙도 향상 악취방지시설 가동률 향상
		가축분뇨 정화처리 (공공·공동·농가처리)	정화처리를 통한 양분 저감	정화처리시설(최종처리) 설치
		가축분뇨 처리다양화 (공공·공동처리)	농경지 양분투입 저감	고체연료화(바이오차) 제조 바이오플라스틱 제조
	비구조적 방안	가축사육두수 감축	가축분뇨 발생량 원천적으로 줄임	가축사육 제한구역 강화 가축 사육밀도 완화(유기, 무항생제, 동물복지 인증 확대) 다발 민원 농가 폐업유도
		비료 시비량 저감	가축분뇨 퇴·액비, 무기질·유기질비료, 사용 저감	시비처방서 발급 및 시비기준 준수 친환경농업(유기, 무농약) 인증 확대 농업환경보전프로그램 사업 보급
		가축분뇨 이송	지역(시군) 지역 외에서 처리	경계외 위탁처리 낮은 양분부하지역 퇴·액비 이용
양분 산출량 (Output) 증가	비구조적 방안	작물생산성 향상	농경지 비료 이용효율 증대	다수확 품종 선택 녹비작물 재배
		다비작물 재배 (사료작물 등)	농경지 비료 이용효율 증대	사료작물 재배
		작물부산물 처리 (왕겨, 고춧대, 콩대등)	농경지 작물부산물 환원량 저감	Bio-SRF 제조 곤포, 옥수수 사일리지 이용
		가축분뇨 액비 살포처 확보	시비작물 다양화로 비료사용 저감	시설원예작물 확대 밭 작물 확대 양액 이용

3) 양분수지 저감방안 세부 내용

- 지역단위 양분수지 관리를 위한 저감 방안별 세부 목록, 17개의 방안으로 구성하였으며, 양분투입량 저감방안이 12개 방안, 양분산출량 증대방안이 5개 방안임. 이중 구조적 방안은 5개 방안이며, 비구조적 방안이 12개 방안이 있음.
- 세부 방안별 구체적인 사업내용과 효과는 “지역단위 양분수지 저감계획 가이드라인”에 정리하였음.

표144 지역단위 양분수지 저감을 위한 저감방안 목록

구분		번호	방안
양분 투입량 (Input) 저감	구조적 방안	1	가축분뇨 퇴비화 시설의 설치 및 운영(공공, 공동 처리시설)
		2	가축분뇨 액비화 시설의 설치 및 운영(공공, 공동 처리시설)
		3	가축분뇨 정화처리 시설의 설치 및 운영(공공, 공동, 농가 처리시설)
		4	가축분뇨 고체연료(바이오차) 제조시설(공공, 공동 처리시설)
		5	가축분뇨 바이오플라스틱 제조 원료이용(처리시설)
	비구조적 방안	6	가축분뇨 퇴·액비 부숙도 향상(농가 처리시설)
		7	가축사육 제한구역 강화
		8	가축사육밀도 완화(유기, 무항생제, 동물복지 인증 확대)
		9	시비처방서 발급 및 시비기준 준수
		10	친환경농업(유기, 무농약) 인증 확대
		11	농업환경보전프로그램 사업 보급
		12	가축분뇨 이송처리
양분 산출량 (Output) 증가	비구조적 방안	13	녹비작물 재배
		14	사료작물 재배
		15	농업부산물 이용 Bio-SRF 제조 원료 이용
		16	농업부산물 사료 이용
		17	가축분뇨 살포처 확보

표145 저감방안 1: 가축분뇨 퇴비화 시설 설치 및 운영



방안	1. 가축분뇨 퇴비화 시설의 설치 및 운영 (공공, 공동 처리시설)	분류	구조적 방안								
사업 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨를 이용하여 농경지 토양개량을 위한 부숙유기질 비료를 제조하는 시설의 설치 및 운영 - 환경부 공공처리시설 설치사업, 농식품부 가축분뇨 공동자원화 사업으로 추진 - 퇴비의 품질기준 준수 <table border="1" data-bbox="339 593 1412 1182"> <thead> <tr> <th data-bbox="339 593 587 633">구분</th> <th data-bbox="587 593 1412 633">규격</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="339 633 587 674">규격의 함량(%)</td> <td data-bbox="587 633 1412 674">- 유기물 : 30 이상</td> </tr> <tr> <td data-bbox="339 674 587 846">함유할 수 있는 유해성분의 최대량(mg/kg)</td> <td data-bbox="587 674 1412 846">- 중금속류 : 비소 45, 카드뮴 5, 수은 2, 납 130, 크롬 200, 구리 360, 니켈 45, 아연 900 - 병원성미생물 : 대장균O157:H7 (Escherichia coli O157:H7), 살모넬라(Salmonella spp.) 불검출</td> </tr> <tr> <td data-bbox="339 846 587 1182">그 밖의 규격</td> <td data-bbox="587 846 1412 1182">- 유기물대 질소의 비 45이하 인 것 - 건물중에 대하여 염분(NaCl): 2.0 % 이하 - 수분(H₂O) 55 % 이하 - 부숙도 가. 콤백 : 부숙완료 나. 솔비타 : 부숙후기 또는 부숙완료 다. 종자발아법 : 발아지수 70 이상 - 염산불용해물 25% 이하</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="316 1200 1439 1263">자료: 비료공정규격 설정(농촌진흥청고시 제2022-27호); 퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시(환경부 고시 제2018-115호)</p>	구분	규격	규격의 함량(%)	- 유기물 : 30 이상	함유할 수 있는 유해성분의 최대량(mg/kg)	- 중금속류 : 비소 45, 카드뮴 5, 수은 2, 납 130, 크롬 200, 구리 360, 니켈 45, 아연 900 - 병원성미생물 : 대장균O157:H7 (Escherichia coli O157:H7), 살모넬라(Salmonella spp.) 불검출	그 밖의 규격	- 유기물대 질소의 비 45이하 인 것 - 건물중에 대하여 염분(NaCl): 2.0 % 이하 - 수분(H ₂ O) 55 % 이하 - 부숙도 가. 콤백 : 부숙완료 나. 솔비타 : 부숙후기 또는 부숙완료 다. 종자발아법 : 발아지수 70 이상 - 염산불용해물 25% 이하		
구분	규격										
규격의 함량(%)	- 유기물 : 30 이상										
함유할 수 있는 유해성분의 최대량(mg/kg)	- 중금속류 : 비소 45, 카드뮴 5, 수은 2, 납 130, 크롬 200, 구리 360, 니켈 45, 아연 900 - 병원성미생물 : 대장균O157:H7 (Escherichia coli O157:H7), 살모넬라(Salmonella spp.) 불검출										
그 밖의 규격	- 유기물대 질소의 비 45이하 인 것 - 건물중에 대하여 염분(NaCl): 2.0 % 이하 - 수분(H ₂ O) 55 % 이하 - 부숙도 가. 콤백 : 부숙완료 나. 솔비타 : 부숙후기 또는 부숙완료 다. 종자발아법 : 발아지수 70 이상 - 염산불용해물 25% 이하										
사례											
효과	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 퇴비 제조과정에서 암모니아의 휘산, 슬러지 외부 처리 등으로 농경지에 투입되는 양분의 양이 감소 - 가축분뇨 퇴비화 시설의 양분 저감 효과를 온전히 달성하기 위해서는 휘산되는 암모니아를 포집 처리하는 악취방지시설의 가동이 필요함 										
평가 근거자료	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체에서 제시하는 공공처리 및 공동자원화 시설의 설치 및 운영 실적자료 										

표146 저감방안 2: 가축분뇨 액비화 시설 설치 및 운영



방안	2. 가축분뇨 액비화 시설의 설치 및 운영 (공공, 공동 처리시설)	분류	구조적 방안												
사업 내용	<p>- 가축분뇨를 이용하여 농경지 무기질 비료 사용을 대체하는 가축분뇨 액비화 시설의 설치 및 운영 환경부 공공처리시설 설치사업, 농식품부 가축분뇨 공동자원화 사업으로 추진</p> <p>- 액비의 품질기준 준수</p> <table border="1" data-bbox="338 544 1412 1261"> <thead> <tr> <th data-bbox="338 544 592 584">구분</th> <th data-bbox="592 544 1412 584">규격</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="338 584 592 669">규격의 함량(%)</td> <td data-bbox="592 584 1412 669">질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 합계량 0.3 %이상, 각 성분별 함량 보증</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 669 592 837">함유할 수 있는 유해성분의 최대량(mg/kg)</td> <td data-bbox="592 669 1412 837">1. 중금속류 : 비소 5, 카드뮴 0.5, 수은 0.2, 납 15, 크롬 30, 구리 50, 니켈 5, 아연 130 2. 병원성미생물 : 대장균O157:H7 (Escherichia coli O157:H7), 살모넬라(Salmonella spp.) 불검출</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 837 592 878">그 밖의 규격</td> <td data-bbox="592 837 1412 878">염분(NaCl): 0.3 %이하, 수분함량: 95 %이상</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 878 592 1135">부숙도주)</td> <td data-bbox="592 878 1412 1135">1. 액비의 기계적 부숙도 측정방법은 암모니아(NH₃) 및 황화수소(H₂S)의 가스농도와 분광광도계(分光光度計)를 이용한 색도 측정으로 정하되, 부숙 정도에 따라 미부숙, 부숙중기, 부숙완료 단계로 구분 2. 제1항에 따른 기계적 부숙도 측정방법에 의한 부숙이 의심될 때에는 '액비 종자발아법'으로 하고 발아지수는 70 이상으로 함</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 1135 592 1261">비고</td> <td data-bbox="592 1135 1412 1261">충분한 발효시 까지 저장, 살포할 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」 제13조 별표 4액비의 살포기준에 따라 살포, 농경지 밖으로 유출금지</td> </tr> </tbody> </table> <p>주: 퇴비액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시(환경부 고시 제2018-115호)에서 세부측정방법 및 기준 등을 고시하고 있음</p> <p>자료: 비료공정규격 설정(농촌진흥청고시 제2022-27호).</p>	구분	규격	규격의 함량(%)	질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 합계량 0.3 %이상, 각 성분별 함량 보증	함유할 수 있는 유해성분의 최대량(mg/kg)	1. 중금속류 : 비소 5, 카드뮴 0.5, 수은 0.2, 납 15, 크롬 30, 구리 50, 니켈 5, 아연 130 2. 병원성미생물 : 대장균O157:H7 (Escherichia coli O157:H7), 살모넬라(Salmonella spp.) 불검출	그 밖의 규격	염분(NaCl): 0.3 %이하, 수분함량: 95 %이상	부숙도주)	1. 액비의 기계적 부숙도 측정방법은 암모니아(NH ₃) 및 황화수소(H ₂ S)의 가스농도와 분광광도계(分光光度計)를 이용한 색도 측정으로 정하되, 부숙 정도에 따라 미부숙, 부숙중기, 부숙완료 단계로 구분 2. 제1항에 따른 기계적 부숙도 측정방법에 의한 부숙이 의심될 때에는 '액비 종자발아법'으로 하고 발아지수는 70 이상으로 함	비고	충분한 발효시 까지 저장, 살포할 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」 제13조 별표 4액비의 살포기준에 따라 살포, 농경지 밖으로 유출금지		
구분	규격														
규격의 함량(%)	질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 합계량 0.3 %이상, 각 성분별 함량 보증														
함유할 수 있는 유해성분의 최대량(mg/kg)	1. 중금속류 : 비소 5, 카드뮴 0.5, 수은 0.2, 납 15, 크롬 30, 구리 50, 니켈 5, 아연 130 2. 병원성미생물 : 대장균O157:H7 (Escherichia coli O157:H7), 살모넬라(Salmonella spp.) 불검출														
그 밖의 규격	염분(NaCl): 0.3 %이하, 수분함량: 95 %이상														
부숙도주)	1. 액비의 기계적 부숙도 측정방법은 암모니아(NH ₃) 및 황화수소(H ₂ S)의 가스농도와 분광광도계(分光光度計)를 이용한 색도 측정으로 정하되, 부숙 정도에 따라 미부숙, 부숙중기, 부숙완료 단계로 구분 2. 제1항에 따른 기계적 부숙도 측정방법에 의한 부숙이 의심될 때에는 '액비 종자발아법'으로 하고 발아지수는 70 이상으로 함														
비고	충분한 발효시 까지 저장, 살포할 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」 제13조 별표 4액비의 살포기준에 따라 살포, 농경지 밖으로 유출금지														
사례															
효과	<p>- 가축분뇨 액비 제조과정에서 암모니아의 휘산, 슬러지 외부 처리 등으로 농경지에 투입되는 양분의 양이 감소</p> <p>- 가축분뇨 액비화 시설의 양분 저감 효과를 온전히 달성하기 위해서는 휘산되는 암모니아를 포집 처리하는 악취방지시설의 가동이 필요함</p>														
평가 근거자료	<p>- 지자체에서 제시하는 공공처리 및 공동자원화 시설의 설치 및 운영 실적자료</p>														

표147 저감방안 3: 가축분뇨 정화처리 시설 설치 및 운영

방안	3. 가축분뇨 정화처리 시설의 설치 및 운영 (공공, 공동, 농가 처리시설)	분류	구조적 방안
----	---	----	--------

- 사업 내용
- 가축분뇨를 정화처리하여 방류수질 기준에 맞게 처리하여 방류하는 시설
 - 환경부 공공처리시설 설치사업, 농식품부 가축분뇨 공동자원화 사업, 농식품부 축산악취 개선 사업으로 추진
 - 방류수질 기준 준수

구분	생물화학 적 산소요구 량 (BOD)	총유기 탄소량 (TOC)	부유 물질량 (SS)	대장균 군수	총질소 (T-N)	총인 (T-P)
단위	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
공공처리시설	30 이하	55 이하	30 이하	3,000 이하	60 이하	8 이하
가축분뇨처리업자가 설치한 시설	30 이하	55 이하	30 이하	3,000 이하	60 이하	8 이하
허가대상 농가	특정지역	40	120	40	120	40
	기타지역	120	200	120	250	100
신고대상 농가	특정지역	120	200	120	250	100
	기타지역	150	250	150	400	100

자료: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 [별표 4] 정화시설의 방류수수질기준(제11조 관련).

사례



효과

- 가축분뇨 정화처리 과정에서 질소, 인의 처리로 농경지에 투입되는 양분의 양이 감소
- 가축분뇨 정화처리 시설의 양분 저감 효과를 온전히 달성하기 위해서는 휘산되는 암모니아를 포집 처리하는 악취방지시설의 가동이 필요함(농가시설 제외).

평가
근거자료

- 지자체에서 제시하는 공공처리 및 공동자원화 시설의 설치 및 운영 실적자료

방안	4. 가축분뇨 고체연료(바이오차) 제조시설	분류	구조적 방안																				
사업 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨를 건조, 성형하여 발전소 등 연소용 고체연료를 제조하는 시설 - 환경부 공공처리시설 설치사업, 농식품부 가축분뇨 공동자원화 사업으로 추진 - 고체연료 품질 기준 준수 																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="347 495 587 539">구분</th> <th data-bbox="587 495 1407 539">내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="347 539 587 622">정의</td> <td data-bbox="587 539 1407 622">- 가축분뇨를 분리·건조·성형 등을 거쳐 고체상의 연료로 제조한 것</td> </tr> <tr> <td data-bbox="347 622 587 667">원료</td> <td data-bbox="587 622 1407 667">- 가축분뇨</td> </tr> <tr> <td data-bbox="347 667 587 958">사용시설</td> <td data-bbox="587 667 1407 958"> <ul style="list-style-type: none"> - 시멘트 소성로(燒成爐) - 화력발전시설, 열병합발전시설 및 발전용량이 2메가와트 이상인 발전시설 - 석탄사용량이 시간당 2톤 이상인 지역난방시설, 산업용보일러, 제철소 로(爐) - 가축분뇨 고체연료 사용량이 시간당 200킬로그램 이상인 보일러시설 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="347 958 432 1254" rowspan="6">품질 기준</td> <td data-bbox="432 958 587 1003">모양크기</td> <td data-bbox="587 958 1407 1003">- 길이 40 mm 이하</td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1003 587 1048">수분</td> <td data-bbox="587 1003 1407 1048">- 20.0 %(w/w) 이하</td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1048 587 1093">회분</td> <td data-bbox="587 1048 1407 1093">- 30.0 %(w/w) 이하</td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1093 587 1137">황분</td> <td data-bbox="587 1093 1407 1137">- 2.0 %(w/w) 이하</td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1137 587 1182">발열량</td> <td data-bbox="587 1137 1407 1182">- 저위발열량 3,000 kcal/kg 이상</td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1182 587 1254">중금속</td> <td data-bbox="587 1182 1407 1254">- 수은 1.2 mg/kg, 카드뮴 9.0 mg/kg, 납 200 mg/kg, 크롬 70.0 mg/kg 이하</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="311 1265 1439 1332">자료: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 [별표 4의2] 가축분뇨 고체연료의 성분 등에 관한 기준 (제11조의2 관련).</p>			구분	내용	정의	- 가축분뇨를 분리·건조·성형 등을 거쳐 고체상의 연료로 제조한 것	원료	- 가축분뇨	사용시설	<ul style="list-style-type: none"> - 시멘트 소성로(燒成爐) - 화력발전시설, 열병합발전시설 및 발전용량이 2메가와트 이상인 발전시설 - 석탄사용량이 시간당 2톤 이상인 지역난방시설, 산업용보일러, 제철소 로(爐) - 가축분뇨 고체연료 사용량이 시간당 200킬로그램 이상인 보일러시설 	품질 기준	모양크기	- 길이 40 mm 이하	수분	- 20.0 %(w/w) 이하	회분	- 30.0 %(w/w) 이하	황분	- 2.0 %(w/w) 이하	발열량	- 저위발열량 3,000 kcal/kg 이상	중금속
구분	내용																						
정의	- 가축분뇨를 분리·건조·성형 등을 거쳐 고체상의 연료로 제조한 것																						
원료	- 가축분뇨																						
사용시설	<ul style="list-style-type: none"> - 시멘트 소성로(燒成爐) - 화력발전시설, 열병합발전시설 및 발전용량이 2메가와트 이상인 발전시설 - 석탄사용량이 시간당 2톤 이상인 지역난방시설, 산업용보일러, 제철소 로(爐) - 가축분뇨 고체연료 사용량이 시간당 200킬로그램 이상인 보일러시설 																						
품질 기준	모양크기	- 길이 40 mm 이하																					
	수분	- 20.0 %(w/w) 이하																					
	회분	- 30.0 %(w/w) 이하																					
	황분	- 2.0 %(w/w) 이하																					
	발열량	- 저위발열량 3,000 kcal/kg 이상																					
	중금속	- 수은 1.2 mg/kg, 카드뮴 9.0 mg/kg, 납 200 mg/kg, 크롬 70.0 mg/kg 이하																					
사례	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>																						
효과	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 고체연료화 제조 및 사용으로 농경지에 투입양분의 양이 감소 - 가축분뇨 고체연료화 시설의 양분 저감 효과를 온전히 달성하기 위해서는 휘산되는 암모니아를 포집 처리하는 악취방지시설의 가동이 필요함 																						
평가 근거자료	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체에서 제시하는 공공처리 및 공동자원화 시설의 설치 및 운영 실적자료 																						

표149 저감방안 5: 가축분뇨 바이오플라스틱 제조 원료 이용



방안	5. 가축분뇨 바이오플라스틱 제조 원료이용	분류	구조적 방안						
사업 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨를 원료로 하여 바이오플라스틱을 제조하는 시설 - 바이오플라스틱 품질인증 기준 준수 <table border="1" data-bbox="344 551 1407 931"> <thead> <tr> <th data-bbox="344 551 587 595">구분</th> <th data-bbox="587 551 1407 595">내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="344 595 587 719">적용대상</td> <td data-bbox="587 595 1407 719">- 바이오매스로부터 유래한 모노머(단량체)를 가지는 합성수지 원료로 성형 제조한 제품의 환경표지 인증기준과 적합성 여부를 확인하는 방법</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 719 587 931">바이오매스 유래 탄소 함량 및 합성수지 재질</td> <td data-bbox="587 719 1407 931">- 제품의 전체 탄소 함량 중 바이오매스에서 유래한 탄소 함량은 40 % 이상 - 제품에 사용하는 합성수지의 재질은 1종류의 중합체(단일중합체 혹은 공중합체) 또는 재활용에 지장이 없는 복합 중합체이어야 한다.</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="316 949 890 976">자료: 환경표지인증 EL727 바이오매스 유래 합성수지제품</p>	구분	내용	적용대상	- 바이오매스로부터 유래한 모노머(단량체)를 가지는 합성수지 원료로 성형 제조한 제품의 환경표지 인증기준과 적합성 여부를 확인하는 방법	바이오매스 유래 탄소 함량 및 합성수지 재질	- 제품의 전체 탄소 함량 중 바이오매스에서 유래한 탄소 함량은 40 % 이상 - 제품에 사용하는 합성수지의 재질은 1종류의 중합체(단일중합체 혹은 공중합체) 또는 재활용에 지장이 없는 복합 중합체이어야 한다.		
구분	내용								
적용대상	- 바이오매스로부터 유래한 모노머(단량체)를 가지는 합성수지 원료로 성형 제조한 제품의 환경표지 인증기준과 적합성 여부를 확인하는 방법								
바이오매스 유래 탄소 함량 및 합성수지 재질	- 제품의 전체 탄소 함량 중 바이오매스에서 유래한 탄소 함량은 40 % 이상 - 제품에 사용하는 합성수지의 재질은 1종류의 중합체(단일중합체 혹은 공중합체) 또는 재활용에 지장이 없는 복합 중합체이어야 한다.								
사례	 <p data-bbox="352 1576 552 1608">바이오 킴파운딩</p> <p data-bbox="635 1576 836 1608">바이오 플라스틱</p>								
효과	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 바이오플라스틱 제조 및 사용으로 농경지에 투입양분의 양이 감소 - 가축분뇨 바이오플라스틱 제조시설의 양분 저감 효과를 온전히 달성하기 위해서는 휘산되는 암모니아를 포집 처리하는 악취방지시설의 가동이 필요함 								
평가 근거자료	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체에서 제시하는 공공처리 및 공동자원화 시설의 설치 및 운영 실적자료 								

표150 저감방안 6: 가축분뇨 퇴·액비 부숙도 관리(농가 처리시설)

방안	6. 가축분뇨 퇴·액비 부숙도 관리(농가 처리시설)	분류	구조적 방안																														
사업 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 허가, 신고 규모 농가의 퇴비화 및 액비화 처리시설에서 제조되는 가축분뇨 퇴비 액비의 정기적인 부숙도 검사 실시 - 허가규모 연2회, 신고규모 연1회 퇴비, 액비의 부숙도 검사 실시하는 경우, 농가 제조 퇴비, 액비 제조과정에서의 양분 저감효과를 인정 - 퇴비, 액비의 부숙도 관리 기준 <table border="1" data-bbox="347 607 1406 1066"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>대상</th> <th>항목</th> <th>기준</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">퇴비</td> <td rowspan="2">모든가축</td> <td>부숙도</td> <td>- 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것</td> </tr> <tr> <td>함수율</td> <td>- 70% 이하</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">돼지</td> <td>구리</td> <td>- 500mg/kg 이하</td> </tr> <tr> <td>아연</td> <td>- 1,200mg/kg 이하</td> </tr> <tr> <td>소·젓소</td> <td>엽분</td> <td>- 2.5% 이하</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">액비</td> <td rowspan="5">돼지·젓소</td> <td>부숙도</td> <td>- 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것</td> </tr> <tr> <td>함수율</td> <td>- 돼지: 95% 이상, 젓소: 93% 이상</td> </tr> <tr> <td>엽분</td> <td>- 2.0% 이하</td> </tr> <tr> <td>구리</td> <td>- 70mg/kg 이하</td> </tr> <tr> <td>아연</td> <td>- 170mg/kg 이하</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="316 1084 1267 1113">자료: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령 [별표 3] 퇴비액비화기준(제12조의2 관련).</p>	구분	대상	항목	기준	퇴비	모든가축	부숙도	- 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것	함수율	- 70% 이하	돼지	구리	- 500mg/kg 이하	아연	- 1,200mg/kg 이하	소·젓소	엽분	- 2.5% 이하	액비	돼지·젓소	부숙도	- 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것	함수율	- 돼지: 95% 이상, 젓소: 93% 이상	엽분	- 2.0% 이하	구리	- 70mg/kg 이하	아연	- 170mg/kg 이하		
구분	대상	항목	기준																														
퇴비	모든가축	부숙도	- 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것																														
		함수율	- 70% 이하																														
	돼지	구리	- 500mg/kg 이하																														
		아연	- 1,200mg/kg 이하																														
	소·젓소	엽분	- 2.5% 이하																														
액비	돼지·젓소	부숙도	- 환경부장관이 농림축산식품부장관과 협의하여 정하여 고시하는 기준에 적합할 것																														
		함수율	- 돼지: 95% 이상, 젓소: 93% 이상																														
		엽분	- 2.0% 이하																														
		구리	- 70mg/kg 이하																														
		아연	- 170mg/kg 이하																														
사례																																	
효과	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 퇴비, 액비 제조과정에서 암모니아의 휘산, 슬러지 외부 처리 등으로 농경지에 투입되는 양분의 양이 감소 - 농가(호가, 신고 규모)에서 제조하는 가축분뇨 퇴비, 액비의 경우 주기적인 부숙도 검사를 실시하여 증빙을 제시하는 경우 양분수지 저감효과를 인정 - 농가 퇴·액비 관리대장 및 퇴·액비 부숙도 관리 내실화 																																
평가 근거자료	<ul style="list-style-type: none"> - 농가의 가축분뇨, 퇴·액비 관리대장과 농가에서 실시한 퇴비, 액비의 부숙도 검사 자료를 지자체에서 취합하여 제시하는 운영 및 검사 실적자료 																																

표151 저감방안 7: 가축사육 제한구역 강화

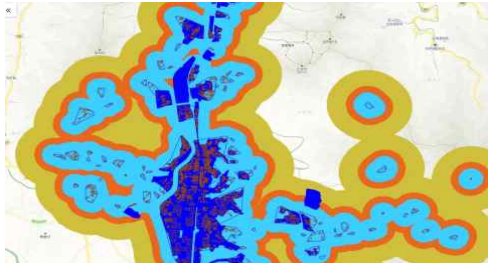

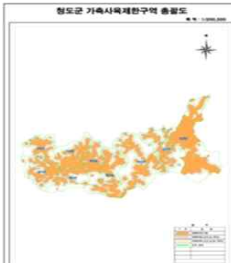
방안	7. 가축사육 제한구역 강화	분류	비구조적 방안
사업 내용	<p>– 지자체(시/군)는 가축사육제한구역을 지정하거나 지정범위를 강화하여 가축사육의 무분별한 확대를 제어하고, 지역내 가축사육 밀도를 완화</p>		
	<p style="text-align: center;">제8조 가축사육의 제한</p> <p>① 시장·군수·구청장은 지역주민의 생활환경보전 또는 상수원의 수질보전을 위하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 지역 중 가축사육의 제한이 필요하다고 인정되는 지역에 대하여는 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 바에 따라 일정한 구역을 지정·고시하여 가축의 사육을 제한할 수 있다. 다만, 지방자치단체 간 경계지역에서 인접 지방자치단체의 요청이 있으면 환경부령으로 정하는 바에 따라 해당 지방자치단체와 협의를 거쳐 일정한 구역을 지정·고시하여 가축의 사육을 제한할 수 있다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 주거 밀집지역으로 생활환경의 보호가 필요한 지역 2. 「수도법」 제7조에 따른 상수원보호구역, 「환경정책기본법」 제38조에 따른 특별대책지역, 그 밖에 이에 준하는 수질환경보전이 필요한 지역 3. 「한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률」 제4조제1항, 「낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 제4조제1항, 「금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 제4조제1항, 「영산강·섬진강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 제4조제1항에 따라 지정·고시된 수변구역 4. 「환경정책기본법」 제12조에 따른 환경기준을 초과한 지역 5. 제2항에 따라 환경부장관 또는 시·도지사가 가축의 사육을 제한할 수 있는 구역으로 지정·고시하도록 요청한 지역 <p>자료: 국가법령정보센터, “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙”, 검색일: 2022.10.14.</p>		
사례			
효과	<p>– 지역 내 가축사육 두수의 감소로 가축분뇨 발생량을 저감</p> <p>– 지역의 수생태 환경 및 주민 생활환경 여건을 고려하여 지정하되, 가축분뇨 처리시설의 신규 입지 등에 대해서는 적용하지 않음</p>		
평가 근거자료	<p>– 가축사육 제한구역 지정 운영 조례 현황 자료 및 지역의 가축 사육두수 변동 자료</p>		

표152 저감방안 8: 가축사육밀도 완화(유기, 무항생제, 동물복지 인증 확대)

방안	8. 가축사육밀도 완화 (유기, 무항생제, 동물복지 인증 확대)	분류	비구조적 방안
----	--	----	---------

- 유기축산, 무항생제축산, 동물복지인증을 확대하여 가축 사육밀도를 완화

구분	내용									
축사환경	- 유기, 무항생제, 동물복지 인증기준에서는 축사 환경 관리에 있어 가축의 생물적·행동적 욕구를 만족시킬 수 있도록 조성하고, 국립농산물품질관리원장이 정하는 축사의 사육 밀도를 유지·관리하도록 하고 있음									
사육밀도	시설형태(한우)		번식우		비육우	송아지				
	방사식		10㎡/마리		7.1㎡/마리	2.5㎡/마리				
	시설형태 (젖소)	경산우		초임우 (13 ~ 24월령)	육성우 (7 ~ 12월령)	송아지 (3 ~ 6월령)				
		착유우	건유우							
	갈짚	17.3	17.3	10.9	6.4	4.3				
	프리스틀	9.5	9.5	8.3	6.4	4.3				
	구분 (돼지)	웅돈	번식돈			후보 돈	자돈		육성 돈	비육 돈
			임신 돈	분만 돈	종부 대기 돈		초기	후기		
	소요면적	10.4	3.1	4.0	3.1	3.1	0.2	0.3	1.0	1.5
	구분(닭)					소요면적				
산란 성계, 종계					0.22㎡/마리					
산란 육성계					0.16㎡/마리					
육계					0.1㎡/마리					

자료: 축산법 시행규칙 [별표 6]무항생제축산물의 생산 또는 취급에 필요한 인증기준(제47조의3제1항 관련), 국립축산식품부 소관 친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 시행규칙 [별표 4] 유기식품등의 생산, 제조·가공 또는 취급에 필요한 인증기준(제11조제1항 관련), 유기식품 및 무농약농산물 등의 인증에 관한 세부실시 요령(국립농산물품질관리원고시 제2023-2호).

사례



효과

- 지역 내 축산농가의 가축 사육밀도 완화로 사육 두수의 감소를 유도하고, 가축분뇨 발생량을 저감

평가 근거자료

- 지자체의 유기, 무항생제, 동물복지 인증 농가 및 사육두수 현황 자료

표153 저감방안 9: 시비처방서 발급 및 시비기준 준수





방안	9. 시비처방서 발급 및 시비기준 준수			분류	비구조적 방안
<p>사업 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 농촌진흥청에서는 작물별 무기질 비료의 추천 시비기준을 정하여 농업기술을 지도 - 시/군 농업기술센터에서는 토양검정에 의한 작물별 시비처방 서비스를 농업인에게 제공 하고 있음 				
<p>사례</p>					
<p>효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 농업인은 토양검정에 의한 작물 시비기준을 준수하여 농경지 무기질 비료 적정 사용으로 농경지 양분 투입량을 저감 				
<p>평가 근거자료</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체 토양검정에 따른 시비처방서 발급 실적(농가, 작물, 재배면적) 				

표154 저감방안 10: 친환경농업(유기, 무농약) 인증 확대

방안	10. 친환경농업(유기, 무농약) 인증 확대	분류	비구조적 방안						
사업 내용	<p>- 친환경농업(유기, 무농약) 인증을 통해 농경지 무기질 비료 투입량을 저감</p> <table border="1" data-bbox="344 566 1407 864"> <thead> <tr> <th data-bbox="344 566 496 611">구분</th> <th data-bbox="496 566 1407 611">내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="344 611 496 696">유기 농산물</td> <td data-bbox="496 611 1407 696">- 화학비료·합성농약 또는 합성농약 성분이 함유된 자재를 전혀 사용하지 아니하여야 한다.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 696 496 864">무농약 농산물</td> <td data-bbox="496 696 1407 864">- 화학비료는 농촌진흥청장·농업기술원장 또는 농업기술센터소장이 재배 포장별로 권장하는 성분량의 3분의 1 이하를 범위 내에서 사용시기와 사용자재에 대한 계획을 마련하여 사용하여야 한다.</td> </tr> </tbody> </table> <p>자료: 유기식품 및 무농약농산물 등의 인증에 관한 세부실시 요령(국립농산물품질관리원고시 제2023-2호).</p>	구분	내용	유기 농산물	- 화학비료·합성농약 또는 합성농약 성분이 함유된 자재를 전혀 사용하지 아니하여야 한다.	무농약 농산물	- 화학비료는 농촌진흥청장·농업기술원장 또는 농업기술센터소장이 재배 포장별로 권장하는 성분량의 3분의 1 이하를 범위 내에서 사용시기와 사용자재에 대한 계획을 마련하여 사용하여야 한다.		
구분	내용								
유기 농산물	- 화학비료·합성농약 또는 합성농약 성분이 함유된 자재를 전혀 사용하지 아니하여야 한다.								
무농약 농산물	- 화학비료는 농촌진흥청장·농업기술원장 또는 농업기술센터소장이 재배 포장별로 권장하는 성분량의 3분의 1 이하를 범위 내에서 사용시기와 사용자재에 대한 계획을 마련하여 사용하여야 한다.								
사례	 <p>The image shows two green logos. The left one says '유기농 (ORGANIC)' and '농림축산식품부'. The right one says '무농약 (NON PESTICIDE)' and '농림축산식품부'.</p>		 <p>The image shows a sign for '전국 최초 유기농업 특구홍성' (Nation's First Organic Farming Special District Hongseong) with a logo for '홍성군' (Hongseong County). The background features a farmer in a field.</p>						
효과	- 유기 및 무농약 농산물 생산과정에서 무기질 비료 사용량 저감								
평가 근거자료	- 지자체 유기 및 무농약 인증 현황(농가, 작물, 재배면적 등)								

방안	11. 농업환경보전프로그램 사업 보급	분류	비구조적 방안
----	----------------------	----	---------

- 농식품부에서는 농업인의 농업환경보전 인식 제고 및 지역단위 농업환경 관리방안 추진 등을 통해 농업환경 보전·개선 도모하기 위하여 농업환경보전프로그램 사업을 추진중
- 농업인 참여형 사업으로 농업인의 활동프로그램이 농경지 양분투입 저감 및 농경지로부터의 수계 양분 유출 저감 활동으로 구성

분야	단위과제	세부활동	양분수지 저감효과	
토양	1.적정양분 투입	①완효성 비료 사용하기	○	
	2.외부양분 투입 감축	①농사 후 남은 농업부산물 잘라 논·밭에 환원		
		②휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원	○	
	3.토양침식 및 양분유출 방지		①벗짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기	○
			②경사진 밭 둘레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기	○
			③경사진 밭 끝에 초생대 설치하기	○
④경사진 밭 끝에 침사구 설치하기			○	
생태	1.농약사용 저감	①천적으로 해충 방지하기		
		②제초제 없이 잡초 제거하기		
		③과수원에서 초생 재배하기		
		④태양열로 토양 소독하기		
		⑤시설하우스에 방충망 설치하기		
2.농업생태계 보호	①덤벙(물웅덩이) 조성 및 관리			
대기	1.온실가스 감축	①경운 최소화	○	
		②바이오차 투입	○	
	2.축산악취 저감	①축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기		

자료: 농림축산식품부(2022), 사업시행지침서-농업환경보전프로그램

사례



효과

- 농업환경보전프로그램 참여 확대로 농경지 비료사용량 저감, 식물 비료성분 이용효율 증대, 수계 양분 유출 저감
- 지역단위 양분수지 저감을 위한 농업인 참여 거버넌스 확대 및 강화


평가 근거자료

- 지자체 농업환경보전프로그램 사업 지정 및 운영 현황

표156 저감방안 12: 가축분뇨 이송처리

방안	12. 가축분뇨 이송처리		분류	비구조적 방안
<p>사업 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 총양분수지 지표가 낮은 인근 지자체 또는 친환경농업 및 경축순환농업이 활성화된 지자체로 이송·위탁처리(자원화)하여 지역내 가축분뇨 유래 양분부하를 저감 - 가축분뇨 전자인계시스템과 연계한 가축분뇨 이동 정보 관리체계 확립 			
<p>사례</p>				
<p>효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지역내 발생하는 가축분뇨를 지역의 경계 외로 처분하여 가축분뇨 양분부하량 저감 			
<p>평가 근거자료</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 전자인계시스템에 등록된 가축분뇨 지역 경계외 위탁처리 현황 자료 			

표157 저감방안 13: 녹비작물 재배

방안	13. 녹비작물 재배	분류	비구조적 방안																																			
<p>사업 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 시/군 농업기술센터의 토양검정을 통해 녹비작물 재배 여부 및 녹비작물 종류를 결정하고 휴경기에 비료 등 양분을 투입하지 않고 녹비작물을 재배하여 논·밭에 갈아 넣음 - 녹비작물에는 콩과(헤어리베치, 클로타라리아, 클로버류, 자운영 등), 벼과(호밀, 귀리, 보리, 수수, 수단그라스 등), 기타(메밀, 유채 등) 작물이 있음 - 녹비작물의 무기질 비료 대체효과 <table border="1" data-bbox="347 640 1406 1016"> <thead> <tr> <th>작물</th> <th>질소비료 대체율 (%)</th> <th>논벼시비기준 (kg/10a)</th> <th>논벼질소시비량 (kg/ha)</th> <th>질소비료 저감량 (kg/ha/년)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>논벼</td> <td>0</td> <td>9.0</td> <td>90</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>헤어리베치</td> <td>100</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>자운영</td> <td>70</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>녹비보리</td> <td>30</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>호밀</td> <td>19</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>17.1</td> </tr> <tr> <td>평균</td> <td>54.75</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>49.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>자료: 농촌진흥청, “녹비작물의 종류와 주요 특성”, 검색일: 2023.3.6.</p>	작물	질소비료 대체율 (%)	논벼시비기준 (kg/10a)	논벼질소시비량 (kg/ha)	질소비료 저감량 (kg/ha/년)	논벼	0	9.0	90	0	헤어리베치	100	-	-	90	자운영	70	-	-	63	녹비보리	30	-	-	27	호밀	19	-	-	17.1	평균	54.75	-	-	49.3		
작물	질소비료 대체율 (%)	논벼시비기준 (kg/10a)	논벼질소시비량 (kg/ha)	질소비료 저감량 (kg/ha/년)																																		
논벼	0	9.0	90	0																																		
헤어리베치	100	-	-	90																																		
자운영	70	-	-	63																																		
녹비보리	30	-	-	27																																		
호밀	19	-	-	17.1																																		
평균	54.75	-	-	49.3																																		
<p>사례</p>																																						
<p>효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 논에 녹비작물을 재배하여 무기질 비료의 사용을 저감 																																					
<p>평가 근거자료</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체의 녹비작물 종류별 재배면적 현황 자료, 녹비작물 종자보급 실적 등 																																					

방안	14. 사료작물 재배	분류	비구조적 방안																																														
<p>사업 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 논 이모작을 통해 사료작물을 재배로 농경지 작물생산성을 증대 - 주요한 사료작물에는 청보리, 호밀, 귀리, 옥수수 등이 있음 - 사료작물의 양분산출 효과 <table border="1" data-bbox="343 616 1412 996"> <thead> <tr> <th rowspan="2">사료작물</th> <th rowspan="2">건물수확량 (톤/ha)</th> <th colspan="2">성분함량</th> <th colspan="2">양분산출량</th> </tr> <tr> <th>질소 (%)</th> <th>인 (%)</th> <th>질소 (kg/ha/년)</th> <th>인 (kg/ha/년)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>청보리(호숙기)</td> <td>11.95</td> <td>1.54</td> <td>0.35</td> <td>184.1</td> <td>41.8</td> </tr> <tr> <td>호밀(출수기)</td> <td>12.16</td> <td>2.24</td> <td>0.24</td> <td>271.8</td> <td>29.2</td> </tr> <tr> <td>귀리(짚)</td> <td>8.70</td> <td>0.20</td> <td>0.17</td> <td>17.1</td> <td>14.8</td> </tr> <tr> <td>옥수수(유숙기)</td> <td>19.41</td> <td>1.50</td> <td>0.36</td> <td>291.0</td> <td>69.9</td> </tr> <tr> <td>총체벼(호숙기)</td> <td>17.96</td> <td>1.48</td> <td>0.19</td> <td>266.1</td> <td>34.1</td> </tr> <tr> <td>평균</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>206.0</td> <td>38.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>자료: 농촌진흥청, "지역별 사료작물 작부 체계", 검색일: 2023.3.6.</p>	사료작물	건물수확량 (톤/ha)	성분함량		양분산출량		질소 (%)	인 (%)	질소 (kg/ha/년)	인 (kg/ha/년)	청보리(호숙기)	11.95	1.54	0.35	184.1	41.8	호밀(출수기)	12.16	2.24	0.24	271.8	29.2	귀리(짚)	8.70	0.20	0.17	17.1	14.8	옥수수(유숙기)	19.41	1.50	0.36	291.0	69.9	총체벼(호숙기)	17.96	1.48	0.19	266.1	34.1	평균				206.0	38.0		
사료작물	건물수확량 (톤/ha)			성분함량		양분산출량																																											
		질소 (%)	인 (%)	질소 (kg/ha/년)	인 (kg/ha/년)																																												
청보리(호숙기)	11.95	1.54	0.35	184.1	41.8																																												
호밀(출수기)	12.16	2.24	0.24	271.8	29.2																																												
귀리(짚)	8.70	0.20	0.17	17.1	14.8																																												
옥수수(유숙기)	19.41	1.50	0.36	291.0	69.9																																												
총체벼(호숙기)	17.96	1.48	0.19	266.1	34.1																																												
평균				206.0	38.0																																												
<p>사례</p>																																																	
<p>효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 다비성의 사료작물을 재배하여 농경지로부터 산출되는 양분의 양을 증가시켜 총양분수지 지표를 저감 																																																
<p>평가 근거자료</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체의 사료작물 재배면적 현황 자료, 사료작물 종자보급 실적 등 																																																

표159 저감방안 15: 농업부산물 이용 Bio-SRF 제조 원료 이용

방안	15. 농업부산물 이용 Bio-SRF 제조 원료 이용	분류	비구조적 방안																																																																										
<p>사업 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」에서는 농업부산물(왕겨, 쌀겨, 옥수수대 등 농작물의 부산물), 식물성잔재물(땅콩껍질, 호두껍질, 팜껍질, 코코넛껍질, 굴껍질 등), 초분류 등의 바이오매스를 이용하여 제조한 바이오고형연료 제품(Bio-SRF)을 규정하고 있음 - 농업생산 과정에서 발생하는 다양한 농업부산물을 인근의 바이오고형연료 제품(Bio-SRF)의 제조 시설의 원료로 공급 - 바이오고형연료 제품(Bio-SRF)의 품질기준 <table border="1" data-bbox="343 698 1409 1283"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>단위</th> <th colspan="2">성형</th> <th colspan="2">비성형</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">모양 및 크기</td> <td rowspan="2">mm</td> <td>직경</td> <td>50 이하</td> <td>가로</td> <td>120 이하</td> </tr> <tr> <td>길이</td> <td>100 이하</td> <td>세로</td> <td>120 이하</td> </tr> <tr> <td>발열량</td> <td>kcal/kg</td> <td colspan="4">제조 고형연료제품: 3,000 이상</td> </tr> <tr> <td>수분 함유량</td> <td>wt. %</td> <td colspan="2">10 이하</td> <td colspan="2">25 이하</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">금속 성분</td> <td rowspan="5">mg/kg</td> <td>수은(Hg)</td> <td colspan="3">0.6 이하</td> </tr> <tr> <td>카드뮴(Cd)</td> <td colspan="3">5.0 이하</td> </tr> <tr> <td>납(Pb)</td> <td colspan="3">100 이하</td> </tr> <tr> <td>비소(As)</td> <td colspan="3">5.0 이하</td> </tr> <tr> <td>크로뮴(Cr)</td> <td colspan="3">70.0 이하</td> </tr> <tr> <td>회분 함유량</td> <td>wt. %</td> <td colspan="4">15 이하</td> </tr> <tr> <td>염소 함유량</td> <td>wt. %</td> <td colspan="4">0.5 이하</td> </tr> <tr> <td>황분 함유량</td> <td>wt. %</td> <td colspan="4">0.6 이하</td> </tr> <tr> <td>바이오매스</td> <td>wt. %</td> <td colspan="4">95 이상</td> </tr> </tbody> </table> <p>자료: 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙 [별표 7] 고형연료제품의 품질기준(제20조의2 관련)</p>	구분	단위	성형		비성형		모양 및 크기	mm	직경	50 이하	가로	120 이하	길이	100 이하	세로	120 이하	발열량	kcal/kg	제조 고형연료제품: 3,000 이상				수분 함유량	wt. %	10 이하		25 이하		금속 성분	mg/kg	수은(Hg)	0.6 이하			카드뮴(Cd)	5.0 이하			납(Pb)	100 이하			비소(As)	5.0 이하			크로뮴(Cr)	70.0 이하			회분 함유량	wt. %	15 이하				염소 함유량	wt. %	0.5 이하				황분 함유량	wt. %	0.6 이하				바이오매스	wt. %	95 이상					
구분	단위	성형		비성형																																																																									
모양 및 크기	mm	직경	50 이하	가로	120 이하																																																																								
		길이	100 이하	세로	120 이하																																																																								
발열량	kcal/kg	제조 고형연료제품: 3,000 이상																																																																											
수분 함유량	wt. %	10 이하		25 이하																																																																									
금속 성분	mg/kg	수은(Hg)	0.6 이하																																																																										
		카드뮴(Cd)	5.0 이하																																																																										
		납(Pb)	100 이하																																																																										
		비소(As)	5.0 이하																																																																										
		크로뮴(Cr)	70.0 이하																																																																										
회분 함유량	wt. %	15 이하																																																																											
염소 함유량	wt. %	0.5 이하																																																																											
황분 함유량	wt. %	0.6 이하																																																																											
바이오매스	wt. %	95 이상																																																																											
<p>사례</p>																																																																													
<p>효과</p>	<p>- 농업생산 과정에서 발생하는 농업부산물을 바이오고형연료 제품(Bio-SRF)의 원료로 사용함으로써 농경지로부터 산출되는 양분의 양을 증가시켜 총양분수지 지표를 저감</p>																																																																												
<p>평가 근거자료</p>	<p>- 지자체의 농업부산물 이용 Bio-SRF 제조 원료 이용 실적 자료, Bio-SRF 제조 시설 운영 자료(농업부산물 종류별 처리 가공량)</p>																																																																												

표160 저감방안 16: 농업부산물 사료 이용

방안	16. 농업부산물 사료 이용	분류	비구조적 방안
----	-----------------	----	---------

사업
내용

- 농업생산 과정에서 발생하는 볏짚, 옥수수대 등 농업부산물을 가축의 사료로 이용
- 곤포 사일리지의 성분함량

구분	곤포 생산량 (톤/ha)	성분함량		비료저감량	
		질소 (%)	인 (%)	질소 (kg/ha/년)	인 (kg/ha/년)
곤포사일리지	6.33	1.0128	0.11	64.1	6.963

자료: 농촌진흥청, “곤포사일리지”, 검색일: 2023.3.6.

사례





효과

- 농업생산 과정에서 발생하는 농업부산물을 가축사료로 사용함으로써 농경지로부터 산출되는 양분의 양을 증가시켜 총양분수지 지표를 저감

평가
근거자료

- 지자체의 볏짚 곤포 사일리지 제조 및 공급 현황

방안	17. 가축분뇨 살포처 확보		분류	비구조적 방안
<p>사업 내용</p>	<p>- 시설원예작물 확대, 밭 작물 확대, 양액 이용 등 시비작물 다양화 - 가축분뇨 액비의 살포기준</p> <div style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 5px; margin: 10px 0;">가축분뇨 액비의 살포기준</div> <ol style="list-style-type: none"> 1. 액비는 액비화시설에서 충분히 부숙(腐熟)시켜 악취는 「악취방지법」 제7조에 따른 배출허용기준에 맞게 제거한 후 사용하여야 하며, 액비 살포와 더불어 흙을 갈거나 로터리작업을 하여 액비가 흘러내리지 아니하고 토양 속으로 잘 스며들 수 있도록 하여야 한다. 2. 토양이 얼거나 비가 오는 경우 및 액비가 흘러내리는 경사지에서는 액비를 살포하여서는 아니되며, 액비 살포에 필요한 면적에 맞게 살포하여야 한다. 3. 사람이 거주하는 주거시설과 100m 이내로 근접된 지역에서는 액비 살포를 금지하여야 한다. 다음 각 목 중 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다. <ul style="list-style-type: none"> - 관할 시장·군수·구청장이 액비 살포가 주거시설에 영향을 미치지 아니한다고 인정하는 경우 - 「비료관리법」 제4조 및 같은 법 시행규칙 제3조에 따라 농림축산식품부장관이 고시하는 가축분뇨발효액에 해당되는 경우로서 악취 발생이 없는 경우 4. 가축분뇨를 계속하여 쓰는 땅은 액비 사용량 절감 및 액비를 계속 쓴 데에 대한 사용량 조절을 위하여 염류가 토양에 쌓이는 것을 방지하기 위한 조치를 하여야 한다. 이 경우 액비를 살포하기 전에 「농촌진흥법」 제3조에 따른 지방농업진흥기관이 발급한 작물 적정시비 등을 증명하는 서류에 따라 시비량을 살포해야 한다. <p>자료: 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 [별표 5] <개정 2019. 12. 20.>액비의 살포기준(제13조 및 제23조의2 관련).</p>			
<p>사례</p>				
<p>효과</p>	<p>- 시설원예작물 확대, 밭 작물 확대, 양액 이용 등 시비작물 다양화로 무기질 비료 사용량 저감</p>			
<p>평가 근거자료</p>	<p>- 가축분뇨 액비 살포 일지, 시비처방서 등</p>			

나. 양분수지 저감방안별 정량적 저감 기준

1) 가축분뇨 퇴비화 처리시설(공공·공동)

- 가축분뇨 공공처리시설 설치 및 가축분뇨 공동자원화 사업으로 진행되는 퇴비화 처리시설(공공, 공동)의 처리과정에서 암모니아의 휘산, 슬러지 반출 등으로 저감되는 양분(질소, 인)의 저감량은 아래의 식과 같이 산출함.
- 기존 가축분뇨 공공처리시설 운영자료를 바탕으로 양돈분뇨 퇴비화 시설의 양분 저감량은 시설용량 100톤/일을 기준으로 질소 102.3 톤-N/년, 인 17.0 톤-P/년이며, 한우·젖소 분뇨 퇴비화 시설의 양분 저감량은 질소 101.2 톤-N/년임.
- 지역단위 양분수지 저감계획을 수립하는 경우, 가축분뇨 퇴비화 시설 설치를 통해 저감할 수 있는 총양분수지는 연간 양분 저감량을 해당 지역의 농경지 면적으로 나누어 산출함.

$$N(P)저감량(kg/년) = [(N(P)부하(kg/일)-퇴비N(P)부하(kg/일)] \times \text{악취방지시설 가동률}(\%) \div 100 \times 330\text{일(가동일수)}$$

- 돈분퇴비 처리율 T-N 0.54, T-P 0.65(어성욱, 2017)
 - 공공처리시설 유입수질 기준 적용
 - 악취방지시설 가동률에 따라 N 처리량 인정 : 악취방지시설 가동 일지(전력량계 기준)

표162 가축분뇨(양돈) 퇴비화 처리시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			가축분뇨퇴비 ²⁾	양분 저감량 ³⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0					
T-P		793.6	79.4	27.8	51.6	17.0
T-N		5758.0	575.8	264.9	310.9	102.6

주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 퇴비화 처리시설 유입수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)).
 2) 자원화 처리 중 오염물질 삭감을 돈분퇴비 T-N 0.54, T-P 0.65, 적용(어성욱(2017), 가축분뇨 자원화처리시 수질오염물질 삭감을 산정 연구, 한국물환경학회지, 33(6):722-727)
 3) 양분저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일)-가축분뇨퇴비양분부하(kg/일)

표163 가축분뇨(우분) 퇴비화 처리시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			가축분뇨퇴비 ²⁾	양분 저감량 ³⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0					
T-P		1580.1	158.0	158.0	0.0	0.0
T-N		5676.9	567.7	261.1	306.6	101.2

주: 1) 가축분뇨 배출원단위 재산정 및 깔짚축사 유형별 분뇨 발생량 산정(농촌진흥청, 2019) 자료에서 한우분뇨 성분분석 기준.
 2) 자원화 처리 중 오염물질 삭감을 돈분퇴비 T-N 0.54, T-P 0.0, 적용(어성욱(2017), 가축분뇨 자원화처리시 수질오염물질 삭감을 산정 연구, 한국물환경학회지, 33(6):722-727)
 3) 양분 저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일)-가축분뇨퇴비양분부하(kg/일)

2) 가축분뇨 액비화 처리시설(공공·공동)

- 가축분뇨 공공처리시설 설치 및 가축분뇨 공동자원화 사업으로 진행되는 액비화 처리시설(공공, 공동)의 처리과정에서 암모니아의 휘산, 슬러지 반출 등으로 저감되는 양분(질소, 인)의 저감량은 아래의 식과 같이 산출함.
- 기존 가축분뇨 공공처리시설 운영자료를 바탕으로 양돈분뇨 액비화 시설의 양분 저감량은 시설용량 100톤/일을 기준으로 질소 50.5 톤-N/년, 인 3.1 톤-P/년임.
- 근래에는 가축분뇨 바이오가스화 시설의 도입이 증가하고 있으며, 가축분뇨 바이오가스화 시설에서 바이오가스를 생산하고 남은 혐기소화액을 액비로 처리하는 경우, 양분 저감량은 시설용량 100톤/일을 기준으로 질소 30.6 톤-N/년, 인 4.0 톤-P/년임
- 지역단위 양분수지 저감계획을 수립하는 경우, 가축분뇨 액비화 시설 설치를 통해 저감할 수 있는 총양분수지는 연간 양분 저감량을 해당 지역의 농경지 면적으로 나누어 산출함.

$$N(P)\text{저감량(kg/년)} = [(N(P)\text{부하(kg/일)} - \text{액비 } N(P)\text{부하(kg/일)}) \times \text{악취방지시설 가동률}(\%) \div 100 \times 330\text{일(가동일수)}]$$

- 돈분액비 처리율 T-N 0.35, T-P 0.25(어성욱, 2017)
 - 공공처리시설 유입수질 기준 적용
 - 악취방지시설 가동률에 따라 N 처리량 인정 : 악취방지시설 가동 일지(전력량계 기준)

표164 가축분뇨 액비화 처리시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			가축분뇨액비 ²⁾		양분 저감량 ³⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0						
T-P		380.0	38.0	285.0	28.5	9.5	3.1
T-N		4370.1	437.0	2840.6	284.1	153.0	50.5

- 주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 액비화 처리시설 유입수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)).
- 2) 자원화 처리 중 오염물질 삭감을 돈분액비 T-N 0.35, T-P 0.25 적용(어성욱(2017), 가축분뇨 자원화처리시 수질오염물질 삭감을 산정 연구, 한국물환경학회지, 33(6):722-727)
- 3) 양분저감량(kg/일) = 유입 양분부하(kg/일)-가축분뇨액비양분부하(kg/일)

표165 가축분뇨 바이오가스(액비화) 처리시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			가축분뇨액비 ²⁾		양분 저감량 ³⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	70.0						
T-P		698.7	48.9	524.0	36.7	12.2	4.0
T-N		3783.1	264.8	2459.0	172.1	92.7	30.6

- 주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 액비화 처리시설 유입수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)).
- 2) 자원화 처리 중 오염물질 삭감을 돈분액비 T-N 0.35, T-P 0.25 적용(어성욱(2017), 가축분뇨 자원화처리시 수질오염물질 삭감을 산정 연구, 한국물환경학회지, 33(6):722-727)
- 3) 양분저감량(kg/일) = 유입 양분부하(kg/일)-가축분뇨액비양분부하(kg/일)

3) 가축분뇨 정화처리(공공·공동·농가)

- 가축분뇨 정화처리 시설은 공공처리시설, 공동자원화시설 외에도 농가에서 자체 정화처리 하는 시설이 있음. 이러한 시설은 양돈슬러리와 젖소슬러리를 주로 유입처리하고 있으며, 이들 가축분뇨의 정화처리 과정에서는 질소와 인이 제거되며, 제거된 양분은 농경지로의 투입에서 배제됨.
- 가축분뇨 정화처리 과정에서 양분 저감량은 아래의 식과 같이 산출함. 기존 가축분뇨 공공처리시설의 운영자료를 바탕으로 산출한 양돈슬러리의 정화처리-단독방류 시설의 양분 저감량은 질소 145.4 톤-N/년, 인 19.5 톤-P/년임.
- 양돈슬러리의 정화처리-연계처리 시설의 양분 저감량은 질소 101.6 톤-N/년, 인 16.8 톤-P/년이며, 바이오가스-정화-단독처리 시설의 양분 저감량은 질소 86.0 톤-N/년, 인 16.0 톤-P/년이고, 바이오가스-정화-연계 단독처리 시설의 양분 저감량은 질소 83.7 톤-N/년, 인 15.9 톤-P/년임.
- 지역단위 양분수지 저감계획을 수립하는 경우, 가축분뇨 정화처리 시설 설치를 통해 저감할 수 있는 총양분수지는 연간 양분 저감량을 해당 지역의 농경지 면적으로 나누어 산출함.

$$N(P)\text{저감량(kg/년)} = [N(P)\text{부하(kg/일)} - \text{방류수}N(P)\text{부하(kg/일)}] \times 330\text{일(가동일수)}$$

- (공동·공공)공공처리시설 유입수질 기준, 방류수질기준 적용, (농가)공공처리시설 유입수질기준, 농가(허가·신고) 방류수질기준 적용

표166 가축분뇨 정화처리(단독) 시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			방류수 ¹⁾			양분저감량 ²⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	방류수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0			100.0				
T-P		591.0	59.1		0.2	0.02	59.1	19.5
T-N		4430.4	443.0		25.4	2.5	440.5	145.4

주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 정화처리(단독처리) 시설의 유입 및 방류수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리 시설 운영 현황(환경부 내부자료)).
 2) 양분저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일) - 방류수양분부하(kg/일)

표167 가축분뇨 정화처리(연계) 시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			방류수 ¹⁾			양분저감량 ²⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	방류수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0			100.0				
T-P		523.7	52.4		16.0	1.6	50.8	16.8
T-N		3246.5	324.7		167.0	16.7	308.0	101.6

주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 정화처리(연계처리) 유입 및 방류 수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)).
 2) 양분저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일) - 방류수양분부하(kg/일)

표168 가축분뇨 바이오가스(정화-단독방류) 처리시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			방류수 ¹⁾			양분저감량 ²⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	방류수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	70.0			70.0				
T-P		698.7	48.9		8.0	0.6	48.3	16.0
TN		3783.1	264.8		60.0	4.2	260.6	86.0

주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 바이오가스화 시설의 유입수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황 (환경부 내부자료)).
 2) 가축분뇨 공공처리시설 방류 수질기준 적용(「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 정화처리시설의 방류 수질 기준).
 3) 양분저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일)-방류수양분부하(kg/일)

표169 가축분뇨 바이오가스(정화-연계처리) 처리시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			방류수 ¹⁾			양분저감량 ²⁾	
	유입수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	방류수량 (m ³ /일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)	(kg/일)	(톤/년)
처리물량	70.0			70.0				
T-P		698.7	48.9		9.9	0.7	48.2	15.9
TN		3783.1	264.8		158.2	11.1	253.7	83.7

주: 1) 2021년 가축분뇨 공공처리 시설 중 바이오가스화 시설의 유입수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황 (환경부 내부자료)).
 2) 2021년 가축분뇨 바이오가스화(연계처리) 방류수질 현황 적용(2021년도 가축분뇨 공공처리시설 운영 현황(환경부 내부자료)).
 3) 양분저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일)-방류수양분부하(kg/일)

4) 가축분뇨 처리 다양화(공공·공동)

- 가축분뇨 처리 다양화는 가축분뇨 고체연료, 바이오차, 바이오플라스틱 제품을 제조하는 방안임. 이들 제품은 주로 연료 및 소재로 이용되므로 제품 제조에 이용되는 가축분뇨에서 유래하는 양분(질소, 인) 전량을 저감할 수 있는 장점이 있음.
- 가축분뇨 처리 다양화를 통한 양분 저감량은 아래의 식과 같이 산출함. 일반적으로 가축분뇨 고체연료, 바이오차, 바이오플라스틱 제품 생산에는 깔짚우사에서 배출되는 우분이 이용되고 있으며, 깔짚우사 배출 가축분뇨의 질소인 함량을 기준으로 산출한 양분 저감량은 일 100톤/일 시설용량을 기준으로 질소 187.3 톤-N/년, 인 52.1 톤-P/년임.

$$(\text{산출식}) \text{ N(P)저감량(kg/년)} = \text{N(P)부하(kg/일)} \times 330\text{일(가동일수)}$$

○ 우분 성상기준 적용

표170 가축분뇨(우분) 고체연료화 시설의 양분 저감 기준

구분	유입 ¹⁾			농지유출 오염부하 (kg/일)	양분저감량 ²⁾	
	유입수량 (톤/일)	농도 (mg/L)	부하 (kg/일)		(kg/일)	(톤/년)
처리물량	100.0					
T-P		1580.1	158.0	0.0	158.0	52.1
TN		5676.9	567.7	0.0	567.7	187.3

주: 1) 가축분뇨 배출원단위 재산정 및 깔짚축사 유형별 분뇨 발생량 산정(농촌진흥청, 2019) 자료에서 한우분뇨 성상분석 기준.
 2) 양분저감량(kg/일) = 유입수양분부하(kg/일)-농지유출양분부하(kg/일)

5) 가축분뇨 퇴·액비 부숙도 향상(농가)

- 허가 및 신고규모 축산농가의 퇴·액비화 자체처리 시설에서 배출되는 가축분뇨는 부숙도 관리에 어려움이 있음. 일반적으로 가축분뇨 퇴·액비화 과정에서 양분 저감은 충분한 부숙 과정을 거치면서 형성되는 미생물 반응과 반응열에 의해 일어남. 따라서, 농가규모에서 진행되는 퇴·액비화 과정은 충분한 부숙이 이루어진 경우에 한하여 양분 저감효과를 인정하는 것이 바람직함.
- 따라서, 농가규모의 퇴·액비화 시설의 경우, 정기적인 부숙도 검사를 통해 충분한 부숙도가 확인된 경우에 한하여 농가규모 퇴·액비화 시설에서의 양분 저감 효과를 인정하며, 퇴·액비화 시설은 아래의 식과 같이 산출함.

$$N(P)\text{저감량(kg/년)} = [(N(P)\text{부하(kg/일)} - \text{퇴비}N(P)\text{부하(kg/일)}) \times 365\text{일(가동일수)}]$$

- 돈분퇴비 처리율 T-N 0.54, T-P 0.65(어성욱, 2017).
- 퇴·액비 부숙도 검사(신고규모 연 1회, 허가규모 연2회 이상 정기검사 실시, 부숙퇴비)

$$N(P)\text{저감량(kg/년)} = [(N(P)\text{부하(kg/일)} - \text{액비}N(P)\text{부하(kg/일)}) \times 365\text{일(가동일수)}]$$

- 돈분액비 처리율 T-N 0.35, T-P 0.25(어성욱, 2017).
- 퇴·액비 부숙도 검사(분시별 이상 정기검사 실시)

6) 가축사육두수 감축(가축사육 제한구역 지정 강화 및 가축 사육밀도 완화)

- 가축사육 제한구역 지정 강화, 유기·무항생제·동물복지 인증 농가 확대로 가축 사육밀도 완화 등의 효과 해당 지역 및 농장의 가축 사육두수를 줄이는 경우, 가축에서 발생하는 가축분뇨 발생량을 원천적으로 줄일 수 있음.
- 가축 사육두수 감소는 1년 단위로 가축사육 두수 실태조사를 실시하거나, 1년 단위의 가축 사육두수 실태조사가 어려운 경우, 해당농가나 지역의 가축 사육두수 감소분을 파악하여 줄어든 가축 사육두수로 인한 가축분뇨 발생 및 양분 저감량을 아래의 식과 같이 산출함. 양분 저감량의 산출과정에서 가축분뇨 발생유량 원단위와 가축분뇨 발생부하원단위는 아래의 표와 같이 오염총량관리 기술지침(국립환경과학원, 2022)의 기준을 따름.

$$N(P)\text{저감량(kg/년)} = \text{축종별 감축 사육두수(두, 수)} \times \text{가축분뇨 배출원단위(kg/일/두,수)} \times 365\text{일(사육기간)} \times \text{축종별 사육기간 조정계수(돼지 0.5, 가금 0.082, 한우·젖소 1.0, 기타 1.0)}$$

- 가축사육 실태조사 실시 결과 활용

표171 가축분뇨 발생유량 원단위

단위: m³/두/일

구분	젖소	한우	말	돼지	양·사슴	개	가금
합계	0.0456	0.0146	0.0097	0.0086	0.0007	0.0011	0.00008
폐수발생유량	0.0259	0.0065	0.0043	0.0074	0.0005	0.0008	0
고형물발생유량	0.0197	0.0081	0.0054	0.0012	0.0002	0.0003	0.00008

자료: 국립환경과학원(2022), 오염총량관리기술지침

항목	구분	젖소	한우	말	돼지	양·사슴	개	가금
T-N	합계	161.8	116.8	77.6	27.7	5.8	8.4	1.1
	폐수	63.5	40.0	26.7	14.9	4.2	5.4	0
	고형물	98.3	76.8	50.9	12.8	1.6	3.0	1.1
T-P	합계	56.7	36.1	24.0	12.2	0.9	1.6	0.4
	폐수	10.7	3.5	2.3	3.3	0.2	0.3	0
	고형물	46.0	32.6	21.7	8.9	0.7	1.3	0.4

자료: 국립환경과학원(2022), 오염총량관리기술지침

7) 비료 시비량 저감

- 시비처방서 발급 및 시비기준 준수, 친환경농업(유기, 무농약) 인증 확대, 농업환경보전프로그램 사업 확대는 무기질 비료의 시비량을 저감시킬 수 있음.
- 경종농가에서 시비처방서를 발급받는다 하여도 실제 무기질 비료 저감과 연계되지 않을 수도 있으나 이러한 미실천 사항은 지역의 양분수지 변동을 분석하면 실질적인 무기질 비료 투입 저감효과의 확인이 가능함.
- 지역단위 양분수지 저감계획의 추진에 있어 기본적으로 제도 추진의 거버넌스 구축 측면에서 지속적인 농축산업인의 양분관리 활동 참여 유도가 필요하며, 양분수지 저감 사업 참여농가에 대해서는 지속적인 교육 및 컨설팅이 요구됨.
- 시비처방서 발급 및 시비기준 준수, 친환경농업(유기, 무농약) 인증 확대, 농업환경보전프로그램 사업 확대를 통한 양분 저감량은 아래의 식에 따라 산출함.

$$\text{인증(사업, 활동) 면적(10a)} \times (\text{지역양분부하} - 1.0) \times \text{작물별 표준시비 기준(kg/10a)}$$

- 시비처방서, 인증서, 사업계획서 활용
-

8) 가축분뇨 이송처리

- 가축분뇨 이송처리는 기본적으로 총양분수지 지표가 낮은 인근 지자체로 이송하여 위탁처리하는 방안으로 위탁처리하는 지자체는 총양분수지 지표가 증가함.
- 가축분뇨를 이송처리하는 지자체는 이송처리량을 지자체 발생 가축분뇨에서 제외시키고, 위탁처리를 받는 지자체는 이송처리량을 포함하여 양분수지 분석을 실시하여야 함.
- 가축분뇨 이송처리는 기본적으로 가축분뇨 전자인계시스템에 등록 관리하여야 하며, 이송처리에 따른 양분 저감량은 등록자료에 근거하여 아래의 식에 따라 산출함.
- 가축분뇨 퇴·액비는 해당 지자체에서 생산하고, 살포 이용은 인근 다른 지자체에서 이루어지는 경우에는 아래의 식과 같이 양분 저감량을 산출함.

$$N(P)\text{처리량(kg/년)} = \text{축종별 가축분뇨 위탁처리량(kg/년)} \times \text{축종별 가축분뇨 N(P) 함량(\%)}$$

- 가축분뇨 전자인계시스템 등록자료 활용, 가축분뇨 처리 실태조사 실시 근거 활용
-

$$N(P)\text{처리량(kg/년)} = \text{지역외 퇴·액비 살포(유통)량(kg)} \times \text{가축분뇨 퇴·액비 N(P) 함량}$$

- 액비는 전자인계시스템 등록자료 활용, 가축분뇨 처리 실태조사 실시 근거 활용
-

9) 작물생산성 향상

- 논벼 재배에서 녹비작물 재배는 무기질 비료의 사용량을 저감할 수 있음. 녹비작물 재배는 단순히 무기질 비료 사용량을 저감하는 것 이외에도 토양의 비옥도를 증진시켜 작물의 생산성을 향상시키는 효과가 있음.
- 녹비작물 재배에 따른 농업생산성 향상 효과는 지역단위 양분수지 산정과정에서 농산물 생산 항목에 반영되며, 여기서는 녹비작물 재배에 따른 양분 저감량을 (식-26)에 따라 산출함.

$$N\text{대체량(kg/년)} = \text{녹비작물 재배면적(10a)} \times \text{논벼시비기준(kg/10a)} \times \text{대체효과(}\% \text{)} \div 100$$

- 대체효과 : 헤어리베치 100%, 자운영 70%, 녹비보리 30%, 호밀 19% 적용(농진청, 2020)

10) 다비작물 재배(사료작물 등)

- 사료작물은 성장 과정에서 다량의 비료를 흡수하고, 수확 시에는 뿌리를 제외한 작물 전체를 수확함. 따라서, 사료작물 재배는 작물생산에 의한 양분의 산출량 증가로 지역의 총 양분수지 지표 개선에 효과적임. 사료작물 재배에 따른 양분 산출량은 (식-27)에 따라 산출함.

$$N(P)\text{생산량(kg/년)} = \text{사료작물 재배면적(10a)} \times \text{사료작물별 건물수확량(kg/10a)} \times \text{사료작물별 N(P) 함량(}\% \text{)} \div 100$$

- 청보리 11.95, 호밀 12.16, 귀리 8.7 톤/ha

11) 작물부산물 처리(왕겨, 고춧대, 콩대 등)

- 농업부산물을 이용한 바이오고형연료(Bio-SRF) 제조 및 볏짚의 곤포사일리지 이용은 농경지로 재투입되는 작물부산물의 양을 감소시켜 지역의 양분수지 지표를 개선할 수 있음. 특히, 곤포사일리지 이용은 국외로부터 조사료 수입을 대체하는 효과도 있음.
- 농업부산물의 바이오고형연료(Bio-SRF) 제조 이용에 따른 양분 산출량은 아래의 식에 따라 산출하며, 볏짚의 곤포사일리지 제조 이용에 따른 양분 산출량은 아래의 식에 따라 산출함.

$$N(P)\text{생산량(kg/년)} = \text{작물별 부산물 회수량(kg/10a)} \times \text{작물부산물별 N(P) 함량(}\% \text{)} \div 100$$

- 작물부산물의 질소, 인 함량은 한국표준사료성분표(<https://www.nongsaro.go.kr/>)를 활용하여 산출한다.

$$N(P)\text{생산량(kg/년)} = \text{곤포사일리지 제조량(볏짚 회수량)(kg/10a)} \times \text{볏짚 N(P) 함량(}\% \text{)} \div 100$$

표173 볏짚 곤포사일리지 이용 양분산출량 기준

구분	곤포 생산량 (톤/ha)	성분함량		비료저감량	
		질소 (%)	인 (%)	질소 (kg/ha/년)	인 (kg/ha/년)
곤포사일리지	6.33	1.0128	0.11	64.1	6.963

자료: 농촌진흥청, “곤포사일리지”

12) 가축분뇨 액비 살포처 확보

- 가축분뇨 액비의 살포처를 발작물과 시설채소 작물로 확대하는 것은 무기질 비료의 투입량을 줄이는 효과가 있음. 액비 살포처를 확대에 따른 액비 살포는 반드시 지자체 농업기술센터의 시비처방서에 근거하여 살포하여야 하며, 양분 저감량은 (식-30)에 따라 산출함.

$$N(P)\text{대체량(kg/년)} = \text{작물별 액비살포량(kg/10a)} \times \text{액비중 N(P)함량(\%)} \div 100$$

- 액비중 질소, 인의 함량은 지자체 농업기술센터에서 시비처방서 발급과정에서 분석한 액비 성분함량을 기준으로 산출한다.
-

10. 경축순환 연계를 통한 자원화 방법을 고려한 경축순환모형 모델 개발

가. 새로운 자원화방법을 고려한 데이터 기반 경축순환모델 도출

1) 개요

- 현재까지 양분과잉에 대하여 제시된 해결방안을 다룬 연구들에서는 대체로 축산업의 규모 축소를 제안하고 있는데, 이는 대체로 현재까지 사용할 수 있는 분뇨처리방법이 제한되어 있었던 데에서 기인함.
 - 김창길 외(2015)에서는 지역별로 환경이 수용할 수 있는 축산분뇨량을 산출하여 이를 기준으로 지역별 적정 축산업 규모를 파악할 것을 제안하였으며, 권오상·정학균(2021)은 CGE 모형을 이용하여 인(P)배출 10%저감 시나리오에서 축산업 생산과 화학비료 투입량의 적정 감축 수준을 함께 도출함.
 - 이는 현재까지의 주요 분뇨처리방법은 크게 퇴비화, 액비화, 정화의 3가지로 요약되기 때문으로 퇴비는 현재 공급과잉상태에 있는 것으로 평가되며, 액비화는 적용이 가능한 농지에 제한이 있고 정화의 경우에도 분리된 슬러지가 최종적으로는 퇴비화로 이어지는 문제가 있었음.
- 하지만 농경지 양분부하를 발생시키지 않는 가축분뇨 처리 방법이나, 기존에는 화학비료에 의존할 수밖에 없었던 과수원이나 시설원예에서 가축분뇨를 이용할 수 있는 방법이 개발 또는 보급되면서 이러한 새로운 처리방식을 고려하여 국가단위 경축순환 계획을 새로 평가할 필요성이 대두됨.
 - 이러한 기술의 예로는 대표적인 예로는 바이오차와 여과액비가 있음.
 - 바이오차의 경우 가축분뇨와 같은 유기성 폐기물을 탄화시켜 만든 숯을 의미하는데, 토양에 투입하여도 오염물질의 누출이 없고 보비력을 증대시켜 양분유출에 의한 환경오염을 오히려 감소시키는 효과를 얻을 수 있음.
 - 여과액비는 액비를 특수한 막을 통해 여과하여 고형물을 완전히 제거하고 액상과 이에 녹아있는 영양소만을 남긴 것으로, 일반적인 액비와는 다르게 과수원이나 시설원예에서 영양공급을 위해 사용할 수 있음.
- 이러한 기술들은 향후 국가단위 경축순환모형 구축에 매우 중요하므로, 본격적인 도입의 효과과 이를 위한 지원에 따르는 비용에 대한 분석이 필요함.
 - 해당 기술을 이용하는 사업자 차원에서의 경제성 평가 연구가 일부 이루어진 바 있으나 지역 및 전국단위에서의
 - 이러한 처리방법의 도입이 전국적으로 환경부하와 가축분뇨 처리 비용에 미칠 수 있는 영향을 도출하고 이를 기반으로 향후 경축순환모형 운영 방안을 결정할 필요가 있음.

2) 분석 모형

- 신기술(바이오차, 여과액비)을 사용하였다고 하였을 때 최적 가축분뇨 처리 방식을 현재 이루어지고 있는 가축분뇨 처리방식, 기존 기술만을 이용하였을 때의 최적 가축분뇨 처리 방식과 비교함.
 - 이때 현재 이루어지고 있는 가축분뇨 처리방식은 농림축산식품부의 2022년 축산환경관리 실태조사 결과를 인용함.
 - 기존 기술만을 이용하였을 경우와 신기술(바이오차, 여과액비)을 사용하였다고 하였을 때의 최적 처리방식은 부등제약조건 하의 비용최소화 문제를 이용하여 도출됨.

- 각 가정 하에서의 최적 가축분뇨 처리 방식은 부등제약조건 하의 극소/극대화문제는 사용하여 도출됨.
- 쿤-터커 정리(Khun-Tucker Theorm)에 따라, 아래 식의 라그랑주함수가 볼록(오목)일 때 1계도함수조건과 CS(Complementary Slackness)조건을 만족하는 극소(극대)점을 도출할 수 있음.
- 본 연구의 목적식과 제약식은 선형이므로 이러한 조건이 만족되며, 이 경우 간단한 선형 계획법(Linear Programming) 알고리즘으로 해를 도출할 수 있음.

$$L(x, \lambda, \mu) = f(x) + \sum_{m=1}^M \lambda_m (b_m - g_m(x)) + \sum_{k=1}^K \mu_k (c_k - h_k(x)) \quad (f(x): \text{목적식}, g_m(x) = b_m: \text{제약식}, \\ h_m(x) \leq c_m: \text{부등제약식})$$

- 분석 대상은 국가 공식 통계자료를 통해 작물별 식부면적과 축종별 가축분뇨 발생량이 파악되는 138개 시군으로, 각 시군에 대해 시나리오별 최적 처리방법을 도출함.
 - 본 연구에서는 수송의 불편함이나 지역 간 갈등 문제로 현실에서 가축분뇨가 시·군 경계를 넘어 이동하기 어렵다는 점을 고려함.
 - 이에 따라 각 시·군 단위마다 최적화문제를 풀고 이를 종합하는 방식으로 전국 단위에서의 가축분뇨 처리 방식별 배분 방안을 도출함.
- 부등제약조건 하의 극대/극소화문제에서의 목적식은 발생한 가축분뇨의 처리비용으로, 이를 설정하기 위해서는 가축분뇨의 종류별·처리방법별 단위비용이 필요하며, 단위비용 설정은 아래와 같은 방법에 의해 수행되었음.
 - 축종에 따른 퇴비화, 액비화, 정화처리의 단위비용을 도출한 연구로는 허덕·정민국(2001), 조을생 등(2019)도 있으나, 가장 최근 연구인 환경대학교 산학협력단(2022)의 수치를 사용함.
 - 본 연구에서 중요하게 고려하게 되는 바이오차 생산의 경우 아직 직접적으로 인용하기에 적합한 연구결과가 없어, 유사한 반탄화 공정을 사용하는 고체연료화의 처리단가 산정 결과 연구 결과를 대신 인용함.
 - 고체연료화의 경제성을 분석한 연구로는 김현규·구재희(2021), 환경대학교 산학협력단(2022)등이 있는데, 김현규·구재희(2021)의 경우 단위 처리비용을 별도로 인용하기 어려워 환경대학교 산학협력단(2022)의 수치를 사용함.
 - 여과액비화의 경우는 액비를 생산한 후 이를 여과필터에 통과시켜 생산하는 것이므로, 환경대학교 산학협력단(2022)에서 계산한 액비화비용에 추가 여과공정에 소요되는 설비비와 재료비를 더하는 것으로 산출됨.
 - 필요 설비(가압펌프, 역세링블로워)의 감가상각(내구연한 10년, 잔존가액 10%)과 처리 단위(톤)당 소요되는 필터 및 전력비용을 더하면 추가 처리비용은 톤당 918원 수준으로 계산됨.

표174 가축분뇨 축종별, 처리 방법별 단위비용

단위: 원/톤

구분	퇴비화	액비화	정화	바이오차	여과액비화
한육우	105,353	-	-	164,563	-
젓소	105,353	67,506	143,603	164,563	68,424
돼지	88,782	55,348	119,467	149,644	56,266
닭	88,782	-	-	149,644	-

주: 1) 농가 규모를 고려하여 한육우, 젓소농가의 경우 50톤/일 처리용량의 설비를 기준으로 하였으며 돼지, 닭은 퇴비화 80톤/일, 액비화, 정화, 여과액비화는 100톤/일 처리용량의 설비를 기준으로 하였음.

2) 돼지와 젓소의 경우 고액분리하여 고상을 퇴비화, 바이오차로 처리하고 액상을 액비화, 정화, 여과액비화로 처리함.

자료: 환경대학교 산학협력단, 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」, 2022.

<참고> 여과액비 생산 단위비용 도출내역

1. 시설비

- 환경대학교 산학협력단의 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」의 산정방식을 따르면, 발효액비생산시설의 총 설치비는 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일을 기준으로 9,450, 15,400, 19,050, 22,600백만원으로 산출된다.

표175 일반 발효액비화 가축분뇨 공공처리시설 설치비 기준

단위: 백만원

시설용량	토목·건축	기계	전기	기타	합계
50m ³ /일	2,911	4,149	1,247	1,143	9,450
100m ³ /일	4,743	6,761	2,033	1,863	15,400
150m ³ /일	5,867	8,363	2,515	2,305	19,050
200m ³ /일	6,961	9,921	2,983	2,735	22,600

주: 1) 시설용량과 무관하게 전체 설치비 중 토목·건축비가 30.8%, 기계가 43.9%, 전기가 13.2%, 기타가 12.1%의 비중을 차지하는 것으로 계산됨.

2) 기타비용은 조경, 부대공사 경비 등을 의미함.

자료: 환경대학교 산학협력단, 2022, 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」, 환경부 한국환경공단.

- 여과액비 생산을 위해서는 기존 정제액비시설에 추가 설비를 도입해야 하며, 이에 따라 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일을 기준으로 105, 210, 315, 420백만원의 추가 시설비가 발생한다. 처리용량 10톤/일의 가압펌프, 역세링블로워 구매에 21백만원이 필요하므로, 일일 처리용량 10m³/일 당 21백만원의 추가비용이 소요되는 것으로 볼 수 있으며 추가설비를 표-1의 '기계'항목에 더하여 정제액비화의 설치비를 정리한 결과는 표-2 와 같다.

표176 여과액비화 가축분뇨 공공처리시설 설치비 기준

단위: 백만원

시설용량	토목·건축	기계	전기	기타	합계
50m ³ /일	2,911	4,254	1,247	1,143	9,555
100m ³ /일	4,743	6,971	2,033	1,863	15,610
150m ³ /일	5,867	8,678	2,515	2,305	19,365
200m ³ /일	6,961	10,341	2,983	2,735	23,020

주: 발효액비와 비교하여 처리용량 10m²당 21백만원이 '기계' 항목에 추가됨.

자료: 환경대학교 산학협력단, 2022, 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」, 환경부 한국환경공단.

- 위의 시설비를 감가상각비 산출(잔존가액 10%기준, 내구연한 토목·건축 20년, 기타 기계·전기 설비 등 10년, 정액법)을 통해 연간 지출비용과 단위처리비용으로 환산한 결과는 아래 표-3과 같다. 이때 연간 감가상각비는 $[(\text{토목·건축비}) \times (1-0.1)/10\text{년} + (\text{기타 기계·전기 설비비}) \times (1-0.1)/20\text{년}]$ 과 같이 계산되며 처리단위당 소요 시설비는 위의 연간 발생 감가상각비를 연간 처리량(일일처리용량×330일)으로 나누어 계산하였다.

표177 여과액비화 가축분뇨 공공처리시설의 연간, 처리단위(톤)당 소요 설치비

시설용량	연간 감가상각 (백만 원)	연간 처리량 (m ²)	처리단위 당 소요 설치비용(원/m ²)
50m ³ /일	729	16,500	44,180
100m ³ /일	1,191	33,000	36,105
150m ³ /일	1,479	49,500	29,875
200m ³ /일	1,759	66,000	26,645

2. 운영비

- 한경대학교 산학협력단의 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」의 산정방식을 따르면, 발효액비생산시설의 운영비는 아래 표-4와 같다.

표178 가축분뇨 발효액비와 공공처리시설 톤당 운영비 산출 기준

단위: 원/톤

시설용량	인건비	전력비	약품비	슬러지 처리비	수선비	기타1)	계
50m ³ /일	15,182	2,313	1,629	70	2,548	2,157	23,899
100m ³ /일	12,588	1,918	1,351	58	2,113	1,789	19,816
150m ³ /일	10,465	1,594	1,123	48	1,756	1,487	16,473
200m ³ /일	8,726	1,329	936	40	1,465	1,240	13,736

주: 협잡물처리비, 실험실운영비, 사무관리비, 용수비 등 기타 유지관리비.

자료: 한경대학교 산학협력단, 2022, 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」, 환경부 한국환경공단.

- 여과액비 생산과 관련하여 가압펌프, 역세링브로워 가동을 위한 전력비는 톤당 42원, 필터 교체에 따른 수선비는 톤당 303원이 추가되어 여과액비화시설의 운영비는 아래 표-5와 같이 산정된다.

표179 가축분뇨 발효액비와 공공처리시설 톤당 운영비 산출 기준

단위: 원/톤

시설용량	인건비	전력비	약품비	슬러지 처리비	수선비	기타1)	계
50m ³ /일	15,182	2,355	1,629	70	2,851	2,157	24,244
100m ³ /일	12,588	1,960	1,351	58	2,416	1,789	20,161
150m ³ /일	10,465	1,636	1,123	48	2,059	1,487	16,818
200m ³ /일	8,726	1,371	936	40	1,768	1,240	14,081

주: 협잡물처리비, 실험실운영비, 사무관리비, 용수비 등 기타 유지관리비.

자료: 한경대학교 산학협력단, 2022, 「가축분뇨공공처리시설 설치·운영 효율화 방안 마련 연구」, 환경부 한국환경공단.

표180 여과액비 생산용 추가설비와 관련하여 발생하는 운영비 세부내역

구분	규격	이용방식	발생 비용(원/톤)
가압펌프	0.75kW	10시간/일 가동	42
역세링브로워	0.375kW	1분/시간 가동 → 10분/일 가동	
필터	200mesh (80 μ m)	30개 설치 (10만원/개), 교환주기 3년	303

※여과액비 처리(생산)량: 10톤/일 기준 (시간당 1톤 처리, 하루 10시간 운영 기준)

※운영비-일일전력비: 7.5kWh(가압펌프)+0.06kWh(역세링브로워)= 7.56kWh 농업전기 55원/kWh × 7.56kWh => 41.6원/톤 전기비 소요

※운영비-수선비: 필터 10만원/개 × 30개 = 3,000,000원 => 교체주기 3년 필터교체비 1,000,000원/년 소요

※운영비-인건비, 약품비, 슬러리처리비 : 해당사항없음(기존 액비화 인력 및 토목건축물 등 이용)

- 가동률 100%, 연간 330일 가동을 기준으로 할 경우, 처리용량 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일 규모의 여과액비 생산시설에서 발생하는 연간 운영비는 각각 400, 665, 832, 929백만원으로 산정된다.

3. 종합

- 초기투자비용(시설비)과 연간 발생 운영비를 기준으로 여과액비 생산비용을 서술할 경우, 처리용량 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일 규모의 시설에서 발생하는 초기투자비용과 연간 운영비는 아래 표-7과 같다. 50m³/일 시설의 초기투자비용은 9,555백만원, 연간운영비용은 400만원, 100m³/일 시설의 초기투자비용은 15,610백만원, 연간운영비용은 665만원, 150m³/일 시설의 초기투자비용은 19,365백만원, 연간운영비용은 832만원, 200m³/일 시설의 초기투자비용은 23,020백만원, 연간운영비용은 929만원이다.

표181 가축분뇨 여과액비화 공공처리시설 초기투자비용 및 연간운영비용

단위: 백만원

시설용량	초기투자비용	연간운영비용
50m ³ /일	9,555	400
100m ³ /일	15,610	665
150m ³ /일	19,365	832
200m ³ /일	23,020	929

- 감가상각비용을 고려하여 초기투자비용을 가변비용으로 환산하는 방식으로 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일 시설의 연간 발생비용, 가축분뇨 단위 당 처리비용을 계산한 결과는 아래 표-8과 같다. 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일 시설용량을 기준으로 연간 발생하는 총 비용은 각각 1,129, 1,856, 2,311, 2,688백만원/년으로 계산되며, 50m³/일, 100m³/일, 150m³/일, 200m³/일 시설용량을 기준으로 톤당 처리비용은 68,424, 56,266, 46,693, 40,726원으로 계산된다.

표182 가축분뇨 여과액비화 공공처리시설 연간비용 및 가축분뇨 단위당 처리비용

시설용량	연간 감가상각비 (백만원/년)	연간 운영비 (백만원/년)	계 (백만원/년)	처리단위당 감가상각비 (톤/원)	처리단위당 운영비 (톤/원)	계 (톤/원)
50m ³ /일	729	400	1,129	44,180	24,244	68,424
100m ³ /일	1,191	665	1,856	36,105	20,161	56,266
150m ³ /일	1,479	832	2,311	29,875	16,818	46,693
200m ³ /일	1,759	929	2,688	26,645	14,081	40,726

- 최종적으로 목적식은 아래와 같이 구성됨.

$$\begin{aligned}
 Object &= 88,782M_{solid}^{pork} + 55,348M_{liquid}^{pork} \\
 &+ 119,467M_{purified}^{pork} + 56,266M_{filtered}^{pork} \\
 &+ 105,353M_{solid}^{beef} + 149,644M_{char}^{beef} \\
 &+ 105,353M_{solid}^{milk} + 67,506M_{liquid}^{milk} \\
 &+ 143,603M_{purified}^{milk} + 164,563M_{char}^{milk} + 68,424M_{filtered}^{milk} \\
 &+ 88,782M_{solid}^{chicken} + 149,644M_{char}^{chicken}
 \end{aligned}$$

- (M_{solid}^{pork} : 돈분뇨 퇴비화량, M_{liquid}^{pork} : 돈분뇨 액비화량, $M_{purified}^{pork}$: 돈분뇨 정화처리량, M_{char}^{pork} : 돈분뇨 바이오차 처리량, $M_{filtered}^{pork}$: 돈분뇨 여과액비화량)

- 아래 식은 각각 한육우, 젓소, 돼지, 닭에서 발생한 가축분뇨가 모두 처리되어야 함을 의미하는 제약식임.

$$M^{beef} = M_{solid}^{beef} + M_{char}^{beef}$$

$$M^{milk} = M_{solid}^{milk} + M_{liquid}^{milk} + M_{purified}^{milk} + M_{char}^{milk} + M_{filtered}^{milk}$$

$$M^{pork} = M_{solid}^{pork} + M_{liquid}^{pork} + M_{purified}^{pork} + M_{char}^{pork} + M_{filtered}^{pork}$$

$$M^{chicken} = M_{solid}^{chicken} + M_{char}^{chicken}$$

- 아래 식은 투입 분뇨와 퇴비 산출량의 관계를 의미하는 제약식으로 퇴비는 초기 수분함량이 75% 수준이 될 때까지 수분함량 30%의 수분조절제를 첨가한 후, 완성품의 수분함량이 60%가 될 때까지 발효시키는 것으로 정하였음.

$$S^{beef} = 0.79M_{solid}^{beef}$$

$$S^{milk} = 0.73M_{solid}^{milk}$$

$$S^{pork} = 0.65M_{solid}^{pork}$$

$$S^{chicken} = 0.63M_{solid}^{chicken}$$

- S^{pork} : 돈분뇨 퇴비 생산량, S^{beef} : 우분뇨 퇴비 생산량, S^{milk} : 젓소분류 퇴비 생산량, $S^{chicken}$: 계분 퇴비 생산량)

- 이때 분뇨는 돼지와 젖소의 경우 고액분리 후의 고형물이 투입되는 것으로 가정하였으며, 한육우와 닭의 경우 고액분리 없이 투입되는 것으로 가정, 분뇨의 함수율 및 분리비율은 국립축산과학원의 자료를 이용하여 작성한 아래 표를 기준으로 하였음.

표183 축종별 두당 분뇨 배출원단위 및 분뇨 함수율

구분	분(kg/일)	뇨(kg/일)	계(kg/일)	분 함수율(%)	분뇨 혼합물 함수율(%)
한육우	8.0	5.7	13.7	78.4	86.6
젖소	19.2	10.9	30.1	82.3	88.0
돼지	0.87	1.74	2.61	73.9	90.0
닭	0.1247	-	0.1247	74.9	74.9

주: 1) 젖소, 한우의 분뇨 혼합물 함수율의 경우 뇨의 함수율을 98%로 가정해 자체 계산하였음.
 자료: 국립축산과학원, 「친환경 축산을 위한 올바른 가축분뇨 퇴비 만들기」, 2017.

- 아래 식은 돼지와 젖소에서 고체와 액체의 분리비율에 따라 부과되는 제약으로, 계수의 도출에는 분(고체)/뇨(액체)의 발생비율을 반영하였음.

$$M_{solid}^{milk} + M_{char}^{milk} = 0.64M^{milk}$$

$$M_{liquid}^{milk} + M_{purified}^{milk} + M_{filtered}^{milk} = 0.36M^{milk}$$

$$M_{solid}^{pork} + M_{char}^{pork} = 0.33M^{pork}$$

$$M_{liquid}^{pork} + M_{purified}^{pork} + M_{filtered}^{pork} = 0.67M^{pork}$$

- 아래 식은 지역 내에서 생산되는 퇴비량이 작물에 필요한 퇴비량을 초과하지 않도록 하는 제약식으로, 농촌진흥청의 “5차 개정본 작물별 비료사용처방”에 따라 돈분퇴비는 우분퇴비의 22%, 계분퇴비는 우분퇴비의 17%로 동일한 효과를 내는 것으로 계산하였으며 이때 젖소분뇨로 생산된 퇴비와 한육우 분뇨에서 생산된 퇴비는 같은 것으로 가정함.

$$\sum_i (O_i \times A_i) \geq S_i^{pork}/0.22 + S_i^{beef} + S_i^{milk} + S_i^{chicken}/0.17$$

- O_i : 작물 i의 단위면적 당 퇴비 필요량(MT/10a), A_i : 작물 i의 재배면적

- 아래 식은 작물의 요구량을 초과하지 않는 범위에서 투입할 수 있는 액비의 양과 관련된 제약식으로, 과수와 시설채소에서는 고액분리를 거치지 않고 생산한 액비의 이용이 곤란하므로 해당 제약식은 이들을 제외한 작물의 기비에만 적용함.
 - 작물에서 요구하는 양분의 질소/인 비율과 액비의 질소/인 비율이 서로 다르므로, 각 작물에서 질소와 인 중 하나의 요구량만을 만족시키는 수준으로 액비 투입을 제한하는 것으로 가정함.
 - 액비의 톤당 질소, 인 함유량은 안태웅 등(2021)에서 조사된 질소 0.22%, 총인 0.06%를 이용하여 계산됨.

$$\sum_i \min[BN_i/2.2, P_i/0.6]A_i \geq M_{liquid}^{pork} + M_{liquid}^{cow} \quad (\forall i \in \text{시설채소, 과수})$$

○ BN_i : 작물 i 의 재배면적 당 질소 기비 필요량(kg/10a), P_i : 작물 i 의 재배면적 당 인산 필요량(kg/10a)

○ 아래 식은 지역 내에서 작물 i 가 요구하는 양분량을 초과하지 않는 범위에서 투입할 수 있는 여과액비의 양과 관련된 제약식으로, 좌변의 첫째 항은 시설채소와 과수의 기비로 투입되는 경우이며, 좌변의 둘째 항은 시설작물과 과수, 벼농사에 대해 추비로 투입되는 경우를 의미함.

$$\sum_{i \in \text{시설채소, 과수}} \min[BN_i/2.2, P_i/0.6]A_i + \sum_{i \in \text{벼, 시설채소, 과수}} [AN_i/2.2]A_i \geq M_{filtered}^{pork} + M_{filtered}^{milk}$$

○ AN_i : 작물 i 의 재배면적 당 질소 추비 필요량(kg/10a)

○ 작물별 퇴비 필요량과 기비/추비 질소/인 필요량은 농촌진흥청의 「5차 개정본 작물별 비료사용처방」 식을 따랐음.

표184 작물별 표준시비량(식량작물, 노지채소)

구분		기비 질소 (kg/10a)	추비 질소 (kg/10a)	기비 인산 (kg/10a)	퇴비 (kg/10a)
식량작물	벼	5.0	4.0	4.5	1,600
	보리	4.4	4.4	7.2	1,500
	옥수수	9.3	9.3	3.5	2,000
	콩	3.0	0.0	3.0	1,200
	팥	4.2	0.0	5.2	1,200
	감자	13.7	0.0	3.3	1,000
	고구마	5.5	0.0	6.3	1,500
노지채소	배추	11.0	21.0	7.8	1,500
	무	8.4	15.0	5.1	1,500
	고추	10.3	8.7	11.2	2,000
	양파	8.0	16.0	7.7	2,000
	대파	6.0	9.2	6.6	1,500
	마늘	9.0	16.0	7.7	2,000
	시금치	10.0	15.0	5.9	1,500
	상추	10.0	10.0	5.9	1,500
	호박	10.0	10.0	13.3	1,500
	양배추	11.2	20.8	9.0	1,500
	오이	11.2	12.8	16.4	2,000
	가지	13.3	17.0	12.6	1,500
	수박	8.0	12.0	5.9	1,500
	당근	6.0	14.0	9.6	1,500
	인삼	0.0	0.0	0.0	1,500
	참깨	2.9	0.0	3.1	1,200
	들깨	2.4	5.6	1.5	1,500
땅콩	3.0	0.0	10.4	1,000	

자료: 농촌진흥청, 「5차 개정본 작물별 비료사용처방」, 2022.

표185 작물별 표준시비량(시설채소, 과수)

구분		기비 질소 (kg/10a)	추비 질소 (kg/10a)	기비 인산 (kg/10a)	퇴비 (kg/10a)
시설채소	배추	6.2	11.6	3.0	1,500
	무	6.2	11.3	4.9	1,500
	고추	12.2	10.3	6.4	2,000
	시금치	2.6	3.9	6.5	1,500
	상추	3.5	3.5	3.0	1,500
	호박	10.0	10.0	8.4	1,500
	오이	9.2	10.5	10.3	2,000
	수박	5.5	8.3	4.9	1,500
	멜론	4.4	4.4	3.0	2,000
	토마토	13.6	10.4	16.4	2,000
	방울토마토	11.3	11.3	10.6	2,000
	딸기	3.5	6.1	4.9	2,000
	참외	9.7	9.0	6.3	1,500
파프리카	10.8	10.8	8.7	2,000	
과수	사과	3.0	2.0	2.0	1,500
	배	7.0	3.0	5.0	1,500
	복숭아	4.9	2.1	4.0	1,500
	단감	7.5	7.5	6.0	1,500
	포도	4.2	2.8	4.0	1,500
	감귤	12.5	12.5	20.0	2,000
	자두	6.3	2.7	4.0	2,500
	매실	2.5	5.8	5.0	1,250
	살구	4.9	2.1	4.0	1,500
	블루베리	4.0	4.1	3.9	-
	밤	10.0	10.5	7.0	1,500
대추	4.7	3.1	3.9	2,500	

자료: 농촌진흥청, 「5차 개정본 작물별 비료사용처방」, 2022.

- 이상의 제약식들은 바이오차와 여과액비 처리방식을 모두 사용할 수 있을 때 적용되며, 바이오차나 여과액비를 사용할 수 없는 시나리오에서의 변동사항은 다음과 같음.
 - 바이오차만을 사용할 수 있고 여과액비를 사용할 수 없을 경우의 시나리오에서는 $M_{filtered}^{milk} = 0$, $M_{filtered}^{pork} = 0$ 의 제약이 추가로 부과되고 여과액비 관련 제약을 사용하지 않음.
 - 여과액비만을 사용할 수 있고 바이오차를 사용할 수 없을 경우에는 $M_{char}^{beef} = 0$, $M_{char}^{pork} = 0$, $M_{char}^{pork} = 0$, $M_{char}^{chicken} = 0$ 의 제약이 추가로 부가되며 식 퇴비 초과투입 방지 제약을 사용하지 않음.
 - 바이오차와 여과액비를 모두 사용할 수 없을 경우는 바이오차만을 사용할 수 있을 경우와 여과액비만을 사용할 수 있을 경우의 제약식 변동사항을 모두 반영하게 됨.
- 제약식을 구축하는 데 필요한 작물별 질소 기비, 질소 추비, 인, 퇴비의 양은 농촌진흥청 5차 개정본 작물별 비료사용처방의 내용을, 이때 지역별·작물별 재배면적은 「2020 농림어업총조사」를 따랐으며 축종별 가축분뇨 발생량은 「2020년도 가축분뇨 및 처리현황 통계」를 따름.

3) 국가단위 경축순환모형에 적용

- 현행 축종별 분뇨처리방식과 각 분석 시나리오에서의 최적화 결과는 아래 표의 내용과 같이 도출되었음.

표186 분석 시나리오별 가축분뇨 처리 방안

단위: 천 톤/년

구분	현행 ¹⁾	기존 처리방식		바이오차 추가		바이오차& 여과액비 추가	
		이용 최적화	이용 최적화	이용 최적화	이용 최적화	이용 최적화	이용 최적화
한육우	퇴비화	15,911	15,911	12,235	15,911	12,235	
	바이오차	-	-	3,676	-	3,676	
	소계			15,911			
젓소	퇴비화	4,038	2,807	2,762	2,807	2,762	
	액비화	281	1,579	1,579	817	817	
	정화	57	0	0	0	0	
	바이오차	-	-	44	-	44	
	여과액비	-	-	-	762	762	
	소계			4,386			
돼지	퇴비화	7,375	6,668	960	6,668	960	
	액비화	5,981	9,950	9,950	10,712	10,712	
	정화	6,849	3,587	3,587	1,252	1,252	
	바이오차	-	-	5,707	-	5,707	
	여과액비	-	-	-	1,572	1,572	
소계			20,205				
닭	퇴비화	8,072	8,072	108	8,072	108	
	바이오차	-	-	7,965	-	7,965	
	소계			8,072			
총 처리비용(십억 원) ²⁾		4,650	4,377	5,419	4,219	5,271	
퇴비투입 초과율(%) ³⁾		120.3	108.3	0	108.3	0	

주: 1) 현행 수치는 2020년 가축분뇨 처리 통계에서의 축종별 분뇨발생량을 2022년 축산환경실태조사에서 조사된 축종별 처리 방식 배분 비중에 따라 배분한 것임.

2) 처리비용은 본 연구에서 사용한 단위처리비용을 이용하여 산출됨.

3) 퇴비투입 초과율은 표준시비량을 준수하는 퇴비화 처리량보다 추가투입된 정도를 의미함.

자료: 축산환경관리원 「2022년도 축산환경실태조사」, 환경부 「2020년 가축분뇨 처리 통계」

- 퇴비화, 액비화, 정화만을 사용한 최적 처리방식을 현재의 처리방식과 비교할 경우 젓소와 돼지의 퇴비화 비중이 현행 처리방식에서 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이는 경축순환모형의 구축 및 운영을 통해 현재의 퇴·액비화 과정을 개선함으로써 양분수지 개선과 축산분뇨 처리의 사회적 비용을 상당 수준 감소시킬 수 있음을 시사함.
 - 이는 현실에서는 젓소와 돼지에서 수분조절제를 추가투입하는 방법으로 고액분리를 하지 않은 분뇨를 퇴비화하는 경우가 있기 때문으로, 고액분리기를 보급하는 방식으로 퇴비 과잉 정도를 일부 완화할 수 있음을 시사함.
 - 또한 현행 처리방식에서 정화처리량이 더 높고 액비화량이 낮음을 확인할 수 있는데, 이는 정화처리의 비용이 액비보다 높음에도 불구하고 환경오염을 우려해 액비 시비가 잘 이루어지지 않기 때문임.
 - 이는 액비의 품질 고급화나 규제 정비를 통해 축산농가의 분뇨처리 부담을 완화할 수 있음을 시사함.
- 바이오차 도입의 효과는 기존 처리방식 이용 최적화와 바이오차 추가 이용 최적화 시나리오를 비교하여 분석할 수 있으며, 이때 각 축종에서 퇴비화되던 고형물이 일부 바이오차로 처리되면서 퇴비 투입량은 표준시비량 수준으로 통제되지만 이에 따라 전체 처리비용이 크게 증가하는 것으로 나타남.

- 총 가축분뇨 처리 비용은 기존 처리방식을 이용한 최적화 시나리오와 비교하였을 때 4,377십억원에서 5,419십억 원으로 23.8%증대됨.
 - 이는 고형물의 바이오차 처리가 우선되는 정도는 닭>돼지>한육우>젓소 순으로 나타나는데, 이는 돈분과 계분의 경우 우분에 비해 퇴비로 투입할 수 있는 양이 적다는 가정이 반영된 것임.
- 여과액비 도입의 효과는 기존 처리방식 이용 최적화와 여과액비 추가 이용 상황에서의 최적화 시나리오를 비교하여 분석할 수 있으며, 여과액비를 이용하는 경우 수도작 추비, 시설재배지와 과수원에서 추가적으로 액비를 사용할 수 있게 됨에 따라 정화처리를 상당 수준 대체하며 전체 분뇨처리비용이 3.4%감소함.
- 다만 바이오차와는 달리 여과액비의 경우 노지농업의 양분 필요량이 발효액비로부터의 양분 공급가능량을 초과하는 정도가 적어, 시설채소와 과수에 적용하는 것은 지역 여건에 따라 일부 지역에 집중하는 것이 유효할 것임.
 - 현실에서는 낮은 오염 우려 등으로 여과액비의 농가 수용성이 높을 것임을 고려했을 때, 정화처리를 일반 액비보다 더 용이하게 대체할 가능성이 있으므로 약간의 비효율을 감수하고 여과액비 대신 사용하는 것도 고려해볼 수 있음.
- 두 기술을 모두 도입하였을 경우 종합적으로 가축분뇨 처리비용은 20.7%증대되며, 이는 신기술 적용에 따라 가축분뇨의 활용성을 높이고 환경부하 문제를 해결할 수 있으나, 이에 따라 상당 수준 가축분뇨 처리비용이 증대될 수 있음을 의미함.

4) 지역(시·군·구)단위 경축순환모형에 적용

- 모형에서 도출된 최적 가축분뇨 처리방안과 현행 가축분뇨 처리방안을 비교하였을 때, 지역의 경종농업과 축산업 여건과 무관하게 고형물 과잉 해결과 액비의 활용도 증대가 공통적인 경축순환모형 발전 방안으로 도출됨.
- 고형물 과잉에 대한 대책으로 바이오차, 퇴비 수출, 조사료포장 확보와 같은 별도 대책이 요구됨.
 - 액비 품질 고급화, 여과액비 또는 정제액비 생산을 늘리는 방향으로 지역별 경축순환모형을 발전시켜야 한다는 점은 대부분의 분석대상지역에서 공통적으로 도출됨.
- 하지만 지역 경종농업과 축산업 여건에 따라 고형물의 과잉 및 액비 활용도 증대의 필요성 정도에는 차이가 있었으며, 이에 따라 각 지역에서 우선 추진할 필요가 있는 경축순환 모델에 차이가 나타남.
- 지역 내에서 퇴비 이용가치가 가장 큰 한·육우 분뇨까지 퇴비화 이외의 자원화방안이 요구되는 것으로 나타나는 경우 바이오차 전환, 바이오차, 퇴비 수출, 조사료포장 확보 등이 우선 추진순위가 높은 경축순환모형이 됨.
 - 노지농업 비중이 적고 시설채소·과수의 비중이 높아 여과액비의 활용이 적극적으로 요구되는 경우 액비 품질 고급화, 여과액비 또는 정제액비 생산이 보다 우선 추진순위가 높은 경축순환모형이 됨.
- 각기 다른 농업 및 축산업 여건을 나타내는 4개 지역(횡성군, 홍성군, 김제시, 제주도)을 예시로 최적 자원화 방안을 도출할 시 지역 여건에 따라 상이한 경축순환모형이 요구된다는 점을 확인할 수 있음.
- 횡성군의 경우 대표적인 한우 생산지역으로 다른 지역보다 전체 농·축산업의 규모는 작은 편이지만, 한·육우의 가축분뇨 발생량이 타 시군보다 높은 수준으로 확인됨.

- 홍성군의 경우 국내 최대 돼지사육 지역으로 축산업에서 양돈업 및 가축분뇨 전체 배출량이 3,759톤/일로 제주도보다도 높은 수준으로, 경지 규모 대비 축산업의 전체 규모가 매우 크다고 볼 수 있음.
- 김제시의 경우 대표적인 곡창지역으로 홍성군과 비교했을 때 축산업 규모는 작은 대신 농업 규모가 크다는 것을 확인할 수 있다. 특히 벼 재배면적이 13,828ha로 타 분석 대상 시군과 대비해 특히 넓음.
- 제주도의 경우 감귤 생산을 중심으로 한 과수농업에 특화된 지역으로 과수 재배면적이 14,875ha로 식량작물 재배면적보다도 크다는 특징이 있음.

표187 4개 지역 농·축산업 현황 관련 변수

구분		홍성군	홍성군	김제시	제주도
가축분뇨 발생량 (톤/일)	한육우	742	612	586	438
	젓소	65	135	40	248
	돼지	291	2,796	1,248	2,459
	닭	99	216	285	249
	기타	80	21	-	372
	계	1,277	3,780	2,160	3,766
현행 가축분뇨 처리방식 (톤/일)	정화방류	163	1,030	125	218
	퇴비화	976	2,410	1,187	1,629
	액비화	14	20	-	424
	공공처리시설	67	130	180	233
	재활용신고자	56	74	647	1,216
	기타	-	117	-	-
	계	1,277	3,780	2,160	3,766
작물 재배면적 (ha)	벼	1,691	7,280	13,828	11
	식량작물(벼 외)	1,333	829	4,636	5,104
	노지채소	1,312	1,571	387	10,225
	시설채소	262	158	69	98
	과수	91	142	311	14,875
	계	4,689	9,980	19,231	30,313

주: 1) 기타 가축분뇨 발생량은 말, 개, 양, 사슴을 포함함.

2) 작물 재배면적에는 각각 분석에 사용되지 않은 작물이 제외되어있음.

3) 양분필요량은 분석 대상 작물의 재배면적과 표준시비량을 이용하여 계산하였으며, 퇴비 필요량은 우분퇴비나 뽕짚퇴비의 경우를 기준으로 한 것으로 돈분퇴비를 기준으로는 22%, 계분퇴비를 기준으로는 17% 수준으로 필요량이 줄어듦.

4) 현행 화학비료 투입량은 시군별 화학비료 투입량은 시군별 통계연보의 비료공급량임.

자료: 환경부 「2020년도 가축분뇨 발생 및 처리현황 통계」, 통계청 「2020 농림어업총조사」, 각 시군 통계연보, 상지대학교 산학협력단 등 「지역/국가단위 경축순환 모형 개발」

표188 지역별 작물 재배면적(식량작물, 노지채소)

단위: ha

구분	횡성군	홍성군	김제시	제주도	
식량작물	벼	1,691	7,280	13,828	11
	보리	1	19	1,381	1,025
	옥수수	529	48	54	133
	콩	238	309	2,415	2,790
	팥	101	23	10	30
	감자	418	155	364	1,041
노지채소	고구마	46	275	412	85
	배추	241	212	60	165
	무	43	96	90	4,524
	고추	274	395	236	54
	양파	1	68	52	660
	대파	6	21	40	104
	마늘	14	131	26	1,462
	시금치	0	3	1	21
	상추	58	2	3	11
	호박	54	15	1	143
	양배추	32	9	1	1,754
	오이	22	1	0	8
	가지	0	1	0	1
	수박	0	1	3	59
	당근	0	3	0	1,063
	인삼	238	78	144	6
	참깨	31	130	69	72
	들깨	294	388	104	4
	땅콩	4	17	7	114

자료: 통계청, 「2020 농림어업총조사」

표189 지역별 작물 재배면적(시설채소, 과수)

단위: ha

구분	횡성군	홍성군	김제시	제주도	
시설채소	배추	9	13	2	6
	무	1	2	2	6
	고추	79	28	12	6
	시금치	3	1	1	1
	상추	7	3	13	10
	호박	3	0	0	2
	오이	6	2	5	12
	수박	0	17	4	7
	멜론	1	0	0	0
	토마토	102	1	2	14
	방울토마토	43	4	13	14
	딸기	0	86	13	18
	참외	0	0	0	0
	파프리카	8	1	2	2
	과수	사과	31	48	38
배		9	15	55	1
복숭아		14	13	39	5
단감		0	22	38	58
포도		10	4	123	1
감귤		0	0	1	14,700
자두		6	1	1	2
매실		2	7	3	52
살구		0	1	1	1
블루베리		6	9	5	50
밤		5	13	1	0
대추		8	9	6	3

자료: 통계청, 「2020 농림어업총조사」

- 바이오차, 여과액비를 모두 활용할 수 있는 시나리오에에서 가축분뇨 종류별 최적 처리방안을 도출했을 때, 횡성군은 고형물 특히 우분뇨의 경우를 조사료 포장 확보, 바이오차 등으로 처리하는 방향의 경축순환모델이 유효할 것으로 파악됨.
 - 한·육우 분뇨는 일일배출량 742톤 중 퇴비화 219톤, 바이오차 523톤으로, 타 지역에서는 한·육우 분뇨 처리에 보조적으로 사용되거나 추천되지 않는 바이오차화가 오히려 주요 처리방식으로 제안됨.
 - 젖소분뇨는 일일배출량 65톤 중 42톤은 퇴비화, 23톤은 액비화되어 고액분리를 적절히 수행하는 경우 퇴·액비만으로 효율적인 처리가 가능함.
 - 돈분뇨는 일일배출량 291톤 중 액비화로 195톤 바이오차 96톤을 처리하는 것으로 도출되었으며 이는 지역 내 노지농업 기비의 양분 수요가 액비로 공급되는 양분수요 내에 있기 때문임.
 - 계분은 일일배출량 99톤 전량을 바이오차 처리하는 것이 효율적으로 도출됨.

- 홍성군은 돈분뇨의 발생량이 농지 수용가능량에 비해 많아 퇴비화를 제외하고 돈분뇨처리에 가능한 수단을 전부 사용하는 것이 추천되며, 이에 따라 양돈분뇨 처리와 관련된 경축순환모델을 가능한 한 크게 확장하여 규모 및 범위의 경제를 활용하는 것이 유효함.
 - 한·육우 분뇨 일일배출량 612톤 중 퇴비화로 470톤, 바이오차로 143톤으로 처리하여 퇴비 위주의 처리방법이 추천됨.
 - 젖소분뇨는 일일배출량 135톤 중 퇴비화 87톤, 여과액비화 49톤으로 액상을 여과액비화하여 시설채소 또는 과수와 연계하는 것이 추천됨.
 - 돈분뇨는 일일배출량 2,796톤 중 액비화 620, 정화 899, 바이오차 920, 여과액비화 354톤으로 다양한 방법이 추천되며, 이러한 경우 여러 가축분뇨 처리방법을 동시에 수행할 수 있는 대규모 시설을 중심으로 하여 경축순환모형을 추진하는 것이 요구됨.
 - 계분은 일일배출량 216톤 전량을 바이오차 처리하는 것이 효율적으로 도출됨.

- 김제시는 돈분에서 발생하는 고형물 일부와 계분을 바이오차하는 것 외에는 기존의 자원화방식(퇴·액비화)위주의 경축순환활동이 유효한 것으로 파악되며, 이에 따라 퇴·액비화와 관련된 경축순환모델을 우선 지원 및 추진하되 순차적으로 바이오차 관련 모형으로 확장하는 것이 추천될 수 있음.
 - 한·육우 분뇨는 일일배출량 586톤 중 586톤 전량을 퇴비하는 것이 효율적으로 도출됨.
 - 젖소분뇨는 일일배출량 40중 26톤은 퇴비화, 14톤은 액비화하는 것이 효율적으로 도출됨
 - 돈분뇨는 일일배출량 1,248톤 중 117톤은 퇴비화, 836톤은 액비화, 295톤은 바이오차 생산에 사용하는 것이 효율적으로 도출됨.
 - 계분은 일일배출량 톤 285톤 전량을 바이오차 처리하는 것이 효율적으로 도출됨.

- 제주도는 액비화와 여과액비화를 위주로 하는 경축순환모델의 구축이 유효할 것으로 나타났으며, 특히 과수와 관련하여 여과액비와 관련된 경축순환모델을 구축하는 것이 우선될 수 있음.
- 한·육우 분뇨는 일일배출량 438톤 중 438톤 전량을 퇴비화하는 것이 효율적으로 도출됨.
- 젖소분뇨는 일일배출량 248중 159톤은 퇴비화, 89톤은 여과액비화하는 것이 효율적인 것으로 파악됨.
- 돈분뇨는 일일배출량 2,459톤 중 퇴비화 330톤, 액비화 1,182톤, 바이오차 481톤, 여과액비화 481톤으로 다양한 방법이 추천되며, 이러한 경우 여러 가축분뇨 처리방법을 동시에 수행할 수 있는 대규모 시설을 중심으로 하여 경축순환모형을 추진하는 것이 요구됨.
- 계분은 일일배출량 톤 249톤 전량을 바이오차 처리하는 것이 효율적으로 도출됨.

표190 예시지역에서의 가축분뇨 종류별 효율적 처리방안

단위: 톤/일

구분		횡성군	홍성군	김제시	제주도
한·육우 분뇨 (톤/일)	퇴비화	219	470	586	438
	바이오차	523	143	0	0
	소계	742	612	586	438
젖소 분뇨 (톤/일)	퇴비화	42	87	26	159
	액비화	23	0	14	0
	정화	0	0	0	0
	바이오차	0	0	0	0
	여과액비화	0	49	0	89
	소계	65	135	40	248
돈분뇨 (톤/일)	퇴비화	0	0	117	330
	액비화	195	620	836	1,182
	정화	0	899	0	0
	바이오차	96	920	295	481
	여과액비화	0	354	0	465
	소계	291	2,796	1,248	2,459
계분 (톤/일)	퇴비화	0	0	0	0
	바이오차	99	216	285	249
	소계	99	216	285	249

- 모형에서 도출된 결과와 현행 처리방식을 비교해보았을 때, 공통적으로 현재 퇴비화되고 있는 고형물의 상당 수준을 바이오차 또는 신규 조사료포장 확보와 같은 대체적인 방식으로 처리해야 된다는 점과 액비의 활용도를 높여 정화처리량을 줄일 수 있다는 점이 공통적으로 나타남.
- 공통적으로 최적 퇴비화처리량이 현재 퇴비화량보다 매우 높게 나타나며, 대체로 이를 바이오차로 전환할 것이 추천됨.
- 추천되는 정화량처리량과 최적 정화처리량의 차이는 비교적 크지 않으나, 공통적으로 현재의 정화처리량이 최적 정화처리량보다 높게 나타나 지역 공통으로 액비의 활용도를 증가시켜 정화처리 부담을 줄이는 것이 가능함을 시사함.

표191 지역단위에서의 현행 처리방식과 효율적 처리방식의 비교

단위: 톤/일

구분		횡성군	홍성군	김제시	제주도
퇴비화 (톤/일)	최적(A)	261	556	729	927
	현실(B)	1,013	2,458	1,608	2,419
	차이(A-B)	-752	-1,902	-879	-1,492
액비화 (톤/일)	최적(A)	218	620	851	1,182
	현실(B)	34	46	227	850
	차이(A-B)	184	574	624	332
정화 (톤/일)	최적(A)	0	899	0	0
	현실(B)	163	1,095	125	218
	차이(A-B)	-163	-196	-125	-218
바이오차 (톤/일)	최적(A)	718	1,282	580	731
	현실(B)	-	-	-	-
	차이(A-B)	718	1,282	580	731
여과액비화 (톤/일)	최적(A)	0	403	0	555
	현실(B)	-	-	-	-
	차이(A-B)	0	403	0	555

주: 1) 현실의 가축분뇨 처리방안에서 재활용신고자를 통한 처리는 65%가 퇴비화 35%가 액비화된 것으로, 정화방류와 공공처리 시설을 통한 처리는 정화처리된 것으로 가정하였음.

2) 최적 분뇨처리 시나리오 분석에서 말, 개 등의 분뇨가 제외되면서 현실의 경우와 분뇨 총량에 일부 차이가 발생하여, 현실의 각 방법별 분뇨처리량 수치는 그 합계가 최적 분뇨처리 시나리오의 경우와 일치하도록 동일한 비율로 감소시키는 방식에 따라 조정되었음.

자료: 환경부 「2020년도 가축분뇨 발생 및 처리현황 통계」, 각 시군 통계연보, 상지대학교 산학협력단 등 「지역/국가단위 경축순환 모형 개발」

5) 소단위 경축순환모형에 적용

- 지역별 경축순환모형 도출 후, 각 지역에서 추진할 소단위 경축순환모형의 결정을 위해서는 현재 해당 지역 내에서 구축되어 있는 경축순환모형의 단계를 추가로 고려하게 됨.
- 예를 들어 횡성군의 경우 위의 시·군·구 단위 분석결과에서 우분까지 퇴비화 외의 자원화 방안을 통해 처리할 필요가 강하게 나타나는 지역으로, 이를 위해서는 우분뇨 공동퇴비장을 시작으로 확장되는 형태의 소단위 경축순환모형을 우선해야 함.
- 현재 횡성군의 경우 여주, 군위, 서천 등 기존에 자생적으로 운영되고 있는 소단위 경축순환모형이 있는 지역과는 다르게, 본 연구의 테스트베드를 제외하면 별도로 운영되고 있는 소단위 경축순환모형이 없는 실정임.
- 결과적으로 횡성군의 경우 지역단위 분석에서 요구되는 여러 활동(조사료포장, 바이오차, 유기질비료 생산을 통한 지역 외 퇴비 판매)을 달성하기에 앞서 기초적인 소단위 경축순환체계를 구축할 필요가 있음.
- 이때 가장 우선하기 용이한 경축순환모형은 한우-조사료 연계로 추정됨.
 - 횡성군은 한우 주산지라 관내에 한우농가가 많은 반면 상대적으로 벼농사 규모가 크지 않아 잠재적인 조사료 포장 수요가 클 것으로 예상됨.

- 이에 따라 경축순환모델에 참여하는 한우 농가를 확보한 후 바이오차, 유기질비료 생산을 통한 지역 외 퇴비 판매 등 다음 단계의 경축순환활동으로 이행하기 용이할 것임.

- 따라서 횡성군에서 한·육우를 중심으로 하는 소단위 경축순환모형의 경우, 한우-조사료 연계에서 시작하여 한우농가는 유기질비료 생산, 조사료 농가는 고품질 TMR사료 생산으로 이행한 후 최종적으로 바이오차 생산을 추진하는 방향으로 구축하는 것이 적절함.

표192 우분뇨 공동퇴비장 기반 경축순환모형 확장 경로

확장 부문	활동	실행조건	비고
기술	계분 추가연계	-	-
	퇴비 펠릿화	-	-
	유기질비료(비료관리법) 생산	-	펠릿화기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 부가적으로 수출 고려 가능
	바이오차 생산	-	펠릿화기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 부가적으로 수출 고려 가능
경종연계	조사료 연계	-	바이오차 생산에 따라 연계 심화
	수도작 연계	-	바이오차 생산에 따라 연계 심화
	노지식량작물·채소 연계	-	바이오차 생산에 따라 연계 심화
	시설채소 연계	유기질비료(비료관리법) 생산	유기질비료(비료관리법), 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	과수 연계	유기질비료(비료관리법) 생산	유기질비료(비료관리법), 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	한육우, 젓소, 양계농가 연계	퇴비화기술 도입	젓소의 경우 고액분리기 도입 이후 수행하는 경우 높은 효율
공공부문 연계	시·군 농업기술센터	-	시비처방전 발급 주체로 가장 기본적으로 연계
	축산환경관리원	-	신기술 도입에 따른 정부 지원 필요, 컨설팅 필요에 의해 연계
	환경부	바이오가스, 정화처리 관련 기술 도입	-
	운영협의체 수립	1개 이상 공공기관 연계	-

- 횡성군의 경우 양돈업의 규모가 작지 않은 가운데 타 지역과 대비하였을 때 액비의 활용도가 다소 낮은 것이 확인되는데, 이는 액비의 주요 수요처인 노지농업 중에서 식량작물의 비중이 작고 채소의 비중이 상대적으로 큰 것과 관련되는 것으로 추정됨.
- 노지농업 중 벼농사의 경우 액비활용에 대한 거부감이 비교적 적은 것으로 알려져 있으나, 노지채소농가의 경우 제주도와 같은 경우를 제외하면 상대적으로 액비활용에 대한 거부감이 큰 것으로 알려져 있음.
- 이러한 상황에서는 발효액비의 품질고급화를 기반으로 양돈농가와 채소농가를 연계하는 소단위 경축순환모형을 추진하는 것이 효율적이나, 기존 공동자원화시설을 기반으로 여과액비나 정제액비를 생산함으로써 액비사용을 빠르게 증가시키는 전략이 유효할 수 있음.
 - 여과액비나 정제액비는 발효액와 대비하여 농가에게 심리적인 거부감을 덜 일으키며, 단위생산비용이 발효액비 생산의 경우보다 약간 높은 수준에 그침.
 - 횡성군의 경우 타 시군 대비 액비의 활용도가 이미 매우 낮은 상태에 해당하므로, 약간의 추가비용을 감수하고 여과액비나 정제액비 중심의 소단위 경축순환모델을 구축하여 지역 내 액비활용도 향상에 기여하는 안을 고려할 수 있음.

- 따라서 황성군에서 양돈농가를 중심으로 하는 소단위 경축순환모형의 경우 공동자원화시설에서 생산되는 여과액비와 정제액비를 기반으로 지역 내 노지채소 및 시설채소농가나 연계하는 방식으로 구축하는 것이 적절함.
- 여과액비 및 정제액비를 생산하는 경우 시설채소와 추가로 연계할 수 있음.
- 시설채소와 연계하는 경우 액비에 대한 신뢰도 증진효과를 부가적으로 얻을 수 있으므로, 함께 추진하는 것이 바람직함.

표193 양돈분뇨 액비화시설 기반 경축순환모형 확장 경로

확장 부문	활동	선행조건	비고
기술	고액분리기 도입	-	-
	바이오가스	-	-
	여과액비 생산	고액분리기 도입	-
	정제액비 생산	여과액비 생산기술 도입	-
	정화방류	-	바이오가스 생산, 고액분리기 도입, 여과액비 생산 이후 수행하는 경우에 높은 효율성
	퇴비화	고액분리기 도입	-
	우분&계분 추가처리	퇴비화기술 도입	-
	퇴비 펠릿화	퇴비화기술 도입	-
	유기질비료(비료관리법)생산	퇴비화기술 도입	펠릿화기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 부가적으로 수출 고려 가능
	바이오차 생산	퇴비화기술 도입	펠릿화기술 도입 후 수행하는 경우 높은 효율 부가적으로 수출 고려 가능
경종연계	수도작 연계	-	퇴비화 기술 도입, 바이오차 생산에 따라 기비 관련 연계가 심화되며 여과액비 생산에 따라 추비로 연계 범위 확장 가능
	노지식량작물·채소 연계	-	퇴비화, 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	조사료 연계	-	퇴비화, 바이오차 생산에 따라 연계 심화
	시설채소 연계	유기질비료(비료관리법) 생산 또는 여과액비 생산기술 도입	유기질비료(비료관리법), 여과액비, 바이오가스 생산에 따른 난방 연계가 적용 가능하며 기술도입에 따라 연계 심화
	과수 연계	유기질비료(비료관리법) 생산 또는 여과액비 생산기술 도입	유기질비료(비료관리법), 여과액비가 적용 가능하며 기술도입에 따라 연계 심화
	한육우, 젖소, 양계농가 연계	퇴비화기술 도입	젖소의 경우 고액분리기 도입 이후 수행하는 경우 높은 효율
공공부문 연계	시·군 농업기술센터	-	시비처방전 발급 주체로 가장 기본적으로 연계
	축산환경관리원	-	신기술 도입에 따른 정부 지원 필요, 컨설팅 필요에 의해 연계
	환경부	바이오가스, 정화처리 관련 기술 도입	-
	운영협의체 수립	1개 이상 공공기관 연계	-

제3절 소단위 농축부산물·가축분뇨자원의 완전순환형 경축순환 모델 정립 및 실증

1. 소단위 완전순환형 경축순환 모델의 개념 정립

○ ‘소단위’의 개념

- ‘소단위’란 대상 지역의 독특한 물리적 환경과 기능적 특성 등에 맞추어 개발 및 적용의 단위를 작게하는 것임. 그러나 경축순환농업에 있어 ‘소단위’의 적용은 일반적인 행정구역(읍면동 등)의 구분으로 접근하기 어려운 면이 있음.
- 즉 경축순환농업의 ‘소단위’란 양분을 발생시키는 축산농가와 양분을 소비하는 경종농가, 그리고 이를 다시 축산에 환원시키는 구조속에서 축산-경종의 양분균형을 맞춘 일종의 거버넌스 단위를 의미함.

○ ‘완전순환형’의 개념

- ‘완전순환형’이란 기본적으로 양분의 발생이 이용을 통해서 잉여양분이 0이 되는 것을 의미함.
- 소단위에서 가축분뇨 퇴·액비에 대한 최적의 수요처를 확충하기 위해서는 퇴·액비의 수요자(경종) 입장에서의 품질 수준을 맞추기 위한 자원화 인프라의 확대가 필요함. 또한 퇴·액비 이용에 따른 토양의 양분을 관리할 수 있는 소단위 지역의 적정 시비법 개발 필요하며, 양분관리를 위한 지자체 중심 거버넌스 구축 및 운영도 필요함.
- 다만, 국내 대부분의 농경지는 이미 과잉의 양분이 축적되어 있는 상황이므로 소단위에서의 완전순환형을 실현하기 위해서는 권역(소단위) 외로 반출/이용될 수 있는 프로그램이 필요함. 즉 잉여양분의 지역간 유통 활성화를 위한 경종농가(수요자) 중심의 퇴·액비 품질 고도화 및 자원화 품질의 고도화를 통한 수요처 확대를 필요로 하며, 경우에 따라서는 농업 외의 이용방안을 마련해야함.
- 따라서 소단위 경축순환농업에 있어 ‘완전순환형’의 광의적 의미로는 소단위 내 양분의 발생과 이용이 균형을 맞추고 잉여양분이 발생할 경우 이를 권역 외로 반출/이용하거나 농업 외 자원화를 실현하는 것이라 할 수 있음.

2. 소단위 완전순환형 모델 도출을 위한 강원횡성(테스트베드지역)의 경축순환 기반 조사

가. 지역 일반현황

1) 자연환경 현황

○ 기상 및 기후

- 횡성군은 연중 맑은 날이 85일, 흐린 날이 96일, 강수일이 112일로 맑은 날에 비해 강수일 비교적 많은 것으로 나타남.
- 기후는 내륙산간에 위치하여 해양의 영향을 전혀 받지 못하는 대륙성 기후로서 일교차가 다소 심한 편이며, 평균 기온은 12℃이며, 평균 강수량은 1,494.6mm로 나타남. 최근 평균 기온은 대체로 낮아지고 있으며, 2019년의 경우 최고 37.1℃, 최저 영하 20.5℃ 임.

○ 지형 및 지세

- 태백산맥의 영향으로 대부분 산지로 형성된 곳이지만, 큰 산이 많은 동북방이 산악지대인데 비해 서남방으로 갈수록 산세가 완만하고 비교적 넓고 비옥한 평야를 이룸.
- 최저지대가 횡성읍의 표고 100m, 둔내면 평야지가 표고 500m의 고지대로 형성되어 격차 큼.

○ 하천수계

- 수계는 모두 남한강계 속하며, 국가하천 1개와 지방하천 17개가 있음.
- 수계를 분류하면 크게 서부(일리천, 이리천), 중앙부(금계천, 대관대천), 동남부(주천) 등 3개 유역권을 나눌 수 있음.
- 횡성군의 동부는 주천천 → 강림천의 수계를 이루며, 서부는 유동천, 금계천, 창봉천 → 섬강으로 이어지는 수계를 이룸.
- 하천은 국가하천(섬강) 1개와 지방2급 하천 17개로 주 하천은 섬강과 주천천으로 횡성지역 서측과 동측을 북에서 남으로 흐르며 생활용수와 농업용수를 공급함.

2) 지리적 현황

○ 위치 및 면적

- 횡성군은 우리나라의 중부지방 강원도의 서남부 영서지방에 위치하며 동쪽은 평창군과 서쪽은 양평군, 남쪽은 원주시와 영월군으로 그리고 북쪽으로는 홍천군과 접하고 있음.
- 위경도상의 위치: 북위 37도 32분(남쪽)에서 37도 41분(북쪽)사이 에 걸쳐있고, 경도 상으로는 동경 127도 46분(서쪽)에서 128도 20분(동쪽)사이 위치하며, 교통 요충지로 통일시 한반도 중심적 역할 수행 가능함.
- 동서 길이는 45.8km, 남북 길이는 43.7km이며, 수도권과 연결하고 있으며, 서울 125.9km, 춘천62.9km, 강릉110.3km으로 시간거리는 2시간 이내임.



그림54 횡성군의 지리적 현황

○ 행정구역

- 횡성군의 행정구역은 1읍 9면, 176행정리, 110법정리, 779반으로 구성되어 있고 전체 면적은 997.72km²로 청일면이 133.52로 군 전체대비 13.4%로 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 다음이 공근면 129.23 둔내면 127.94 순으로 나타남.

표194 횡성군 행정구역별 면적 현황

단위: km², %

읍/면	합계	횡성읍	우천면	안흥면	둔내면	간천면	청일면	공근면	서원면	강림면
면적	997.7	72.41	94.81	96.45	127.94	123.56	133.52	129.23	123.38	96.34
구성비	100	7.3	9.5	9.7	12.8	12.4	13.4	13	12.4	9.7

3) 인구 현황

○ 인구

- 횡성군 인구는 2018년 기준 47,340명으로 지난 10년간 (2008년~2017년) 지속적인 증가 추세에 있고, 강원도 군지역에서는 홍천군(70,401명), 철원군(48,469명) 다음으로 많은 것으로 조사되었음.
- 65세이상 고령인구를 살펴보면 강원도는 241,694명으로 전체인구 15.6%의 비중을 차지하며, 횡성군은 12,445명으로 26.3%의 횡성군 인구의 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.
- 횡성군 인구는 11년째 지속적으로 증가하는 있고, 세대 당 인구 수는-1.34%로 감소하고 있어 세대분화가 가속화 되고 있음.

표195 횡성군 인구 비중

구분	인구			세대수 (세대)	65세이상 고령자	인구밀도 (인/km ²)	
	계	남	여				
강원도	1,551,531	(100.0%)	780,172	771,359	655,301	241,694	92.0
횡성군	47,340	(3.1%)	24,189	23,151	22,411	12,445	45.2

자료: 횡성군 농업농촌 및 식품산업 발전계획(2019~2023), 횡성군

표196 횡성군 인구 추이 현황

단위: 세대, 명

구분	세대수	인구수	세대당 인구수	외국인 수
2016년	21,283	46,662	2.19	671
2017년	21,777	46,912	2.15	631
2018년	22,411	47,340	2.11	614

자료 : 횡성군 허가민원과(2018. 12월 기준)

나. 농업 연관 산업 현황

1) 농·축산업 일반현황

○ 일반현황

- “횡성한우”의 명산지이고 청정한 자연조건 속에서 재배된 각종 특산물은 횡성의 편리한 교통망을 통해 전국으로 유통되고 있음.
- 안전한 농산물의 안정적 공급, 6차 산업화로 농산업 경쟁력 강화, 맞춤형 농가소득 및 경영안정, 농촌 삶의 질 향상 등과 연계 추세
- 횡성한우 중심으로 안정화된 1차 산업과 2차, 3차 산업이 활성화됨
- 전 가구의 47%가 농업에 종사하고 있으며, 지대별 200~800m의 표고차를 활용 다양한 농축산물 생산하는 명품 산지이기도 함.
- 2015년 6월 11일 농업농촌 및 식품산업정책심의회를 통해 기존 6대명품(한우, 더덕, 찐빵, 어산진미, 토종복분자, 홍삼)에서 7개 명품(한우, 더덕, 찐빵, 어산진미, 토마토, 잡곡, 절임배추) 변경 선정
- 또한, 횡성 주요재배 품목의 농축산물과 자연자원, 문화자원 등을 융합하여 지역특화 발전을 위한 축제 개최로 횡성군 관광 이미지 및 지역 진흥에 노력하고 있음

표197 황성군 농업·농촌 분야 추진과제

구 분	검토내용	
튼튼한 농가소득 및 경영망 구축	- 생산자 중심의 유통망구조 개선 - 자원 순환형 폐기물 관리체계 구축 - 전통시장의 기능 활성화	- 농·축산물 공동 도매시장 조성 - 농업 생산비 및 농기계 지원 확대 - 출하 전 농산물안전성 확보
농·산촌 브랜드& 가치 확립	- 고품격 전원주거타운 조성 - 농지, 산지의 고부가가치 용도 전환 - 테마·커뮤니티 문화마을 조성	- 귀농 및 귀촌 지원 체계 확립 - 친환경 농가인증 제도 확대 - 자연순환, 경축순환 농업 가치창출
지역공동체 복원 및 활성화	- 도·농 일자리 나눔 프로젝트 추진 - 도·농 연계 로컬 푸드 생산 및 유통 - 농업 CEO 양성	- 농업발전위원회 활성화 - 국내외 농업도시 자매결연 추진 - 노인 일자리 창출(포장, 가공 등)
농업생산 및 경쟁력 강화	- 종자 R&D 및 연구소 설치 - FTA 및 기후변화 대응 작물 연구/재배 - 고품질·고기능의 명품 농산물 육성 - 황성군 대표 프리미엄 농축산물 개발 - 스마트팜 등 디지털 농업 실천	- 황성 한우의 복합 산업화 - 한우 산소포장 특허 출원 - 스마트 팜 등 4차 농업혁명 동참 - 황성군 대표 농업 브랜드(BI) 제작 - 지속가능한 정밀농업, 양분수지관리

자료: 황성군 농업농촌 및 식품산업 발전계획(2019~2023), 황성군

2) 농·축산업 개요

○ 황성한우 중심으로 안정화된 1차 산업과 2차, 3차 산업이 활성화됨.

- 전 가구의 47%가 농업에 종사하고 있으며, 지대별 200~800m의 표고차를 활용 다양한 농축산물 생산하는 명품 산지이기도 함.
- 2015년 6월 11일 농업농촌 및 식품산업정책심의회를 통해 기존 6대 명품(한우, 더덕, 찐빵, 어산진미, 토종복분자, 홍삼)에서 7개 명품(한우, 더덕, 찐빵, 어산진미, 토마토, 잡곡, 절임배추) 변경 선정됨.
- 또한, 황성 주요재배 품목의 농축산물과 자연자원, 문화자원 등을 융합하여 지역특화 발전을 위한 축제개최로 황성군 관광 이미지 및 지역 진흥에 노력하고 있음.

표198 농업경영체 등록 농가 및 농가인구 현황

단위: 호, 명

구 분	농가 수			영농형태			농가 인구		
	합계	전업	겸업	경종	축산	복합	합계	남	여
2018년	8,180	6,385	1,795	6,605	207	1,368	13,138	7,165	5,973

주: 농가인구와 농업경영체 등록수는 같을 수 없음

자료: 국립농산물품질관리원 농업경영체등록정보연감(2018)

표199 황성군 대표 농축산물 현황

구 분	주 요 내 용
① 황성한우	- 11년 연속 대한민국 소비자 신뢰 대표브랜드 대상수상 - 국내 최초 쇠고기 생산이력추적시스템 도입 - 한우 6차산업 전국우위 선점(별우별미, 화각공예 등) - 황성한우 세계화(3개국 수출), 황성한우 체험관 개관
② 황성더덕	- 전국 최고의 품질, 더덕 주산지 - 전국 생산량의 50% 차지(그 중 50% 청일면 재배) - 황성더덕 전용 가공장 조성 (동황성농협 청일지점)
③ 둔내토마토	- 고랭지 재배로 당도와 식감이 뛰어나고, 저장성이 우수함 - 첫 해외수출 (홍콩)
④ 안흥찐빵	- 전국적 명성의 안흥찐빵 - 안흥찐빵 모락모락마을 조성 (사업비 69억/2019~2021) - 원료곡 팔 자급화 사업 (안흥, 강림)

자료: 황성 농촌 신활력 플러스 사업 예비계획서(2019. 11월), 황성군

3) 농·축산업 연관 산업 현황

- 황성군 농산물 명품화 육성 및 안전 먹거리, 친환경 농산물 인증생산과 더불어 융·복합산업으로 고소득 전략 품목 연계
 - 미래를 선도하는 창의적인 농업농촌 인프라 구축 및 기능 고도화 비전
 - 생산~가공~인증~유통~마케팅~브랜드~경영시스템 구축 추진
 - 황성군 농업 경쟁력 확보 및 안정적인 소득기반 조성 가치창출

- 황성군 식량작물 미곡, 잡곡, 두류 모두 감소현상을 나타내고 있으며, 쌀 유통현황을 보면 RPC의 매출액은 7,199백만원이며, 소규모 도정공장의 매출액은 197백만원, 민간도정은 10,030백만원임.

표200 황성군 어사진미/친환경쌀 유통현황

항 목	단위	RPC	소규모 도정공장	민간RPC 등	자가소비	친환경쌀	비고
원료곡매입량	톤	10,789.4	295.2톤	1,642.2	3,779	189	
관내산 매입비율	%	100%	100%	20%		100%	
매출액	백만원	7,199	197	10,030	2,521	340	
친환경쌀 매출액	백만원	-	-	-		340	
주요브랜드	톤	10,789.4	-	-	-	136	
주요브랜드매출비중	%	100%	-	-	-	100%	

자료: 황성군 농업지원과

- 원예, 특용분야 유통은 둔내농협, 동황성농협, 안흥농협 등 농협연합유통사업단 운영으로 취급액은 2016년도 기준 22,555백만으로 이중 고랭지토마토의 참여비중이 높으며, 2014년에 비해 106.4%증가

표201 황성군 농산물 유통시설 현황

단위: 개소

구 분	합 계	농산물 산지유통센터	도매시장 공판장	농산물 집하장	농산물 저온저장고	국도변 직판장	다목적 농산물건조기
강원도	12,907	23	5	372	1,923	6	10,578
황성군	1,534	2	-	33	404	1	1,094

자료: 황성군 농업농촌 및 식품산업 발전계획(2019~2023), 황성군

표202 황성군 원예특용작물 통합마케팅 유형별 매출 현황

항 목	단위	2014 (A)	2015	2016	2017	2018 (B)	5개년변화 (B/A-1)
매 출 액	백만원	5,755	6,304	8,780	11,960	11,878	106.4%
관내원물 조달비중	%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
공동계산 실적	백만원	5,540	6,013	8,419	11,012	11,588	106.4%
계약재배 출하액	백만원	0	0	0	640	0	-
브랜드 출하액	백만원	5,540	6,013	8,419	11,652	11,588	109.2
GAP 취급실적	백만원	3,957	5,677	6,417	8,711	7,888	99.4%
수출실적	백만원	215	291	361	308	290	34.9%

자료: 황성군 농업지원과/NH농협 황성군농정지원단

○ 황성군은 로컬푸드직매장 2개소를 운영하고 있으며, 2018년 기준 매출액은 6.6억원임.

표203 황성군 로컬푸드 직매장 운영현황

직 매 장 명	개 점 일	매장 규모 (㎡)	참여 농가 (호)	출하 품목	매 출 실 적(백만원)				
					'14년	'15년	'16년	'17년	'18년
계			102	650	293	533	589	616	656
농특산물 직거래센터	2012.03.19.	140	80	600	293	533	494	512	556
둔내농협	2016.07.01.	29	22	50			95	104	100

자료: 황성군 농업지원과

○ 황성군 농산물가공업체는 2018년 기준 30개소이며, 매출총액은 838억원으로 HACCP시설은 12개소가 인증받아 농산물 가공하고 있음.

표204 황성군 농산물제조가공업체 현황(2018년)

구 분	계	개인	농업법인	일반회사법인
업체수	30	8	18	4
매출액	83,828,310	1,703,804	14,262,563	67,861,943
HACCP인증	12	1	8	3

자료: 황성군 기업유치지원과, 농업지원과

- 횡성군 전통식품 업체수는 2018년도의 경우 22개로 2014년도 16개에 비해 37.5% 증가, 매출액은 2.2%, 시설인증 수는 75% 증가함.

표205 횡성군 전통식품 생산업체 현황

구 분		2014	2015	2016	2017	2018
합 계	업체수 (개소)	16	16	20	21	22
	매출액 (백만원)	128,274	128,274	129,281	129,323	131,140
	HACCP인증 (개소)	4	4	5	6	7
전통장류	업체수 (개소)	10	10	12	12	12
	매출액 (백만원)	10,585	10,585	10,654	10,654	10,654
	HACCP인증 (개소)	1	1	1	1	1
김치류	업체수 (개소)	6	6	8	9	10
	매출액 (백만원)	117,689	117,689	118,627	118,669	120,486
	HACCP인증 (개소)	3	3	4	5	6

자료: 횡성군 농업지원과, 보건소

- 횡성 농공단지 2018년 기준으로 4개소이며, 입주기업은 101개로 농공단지의 전체 매출액은 6,730억원임.

표206 횡성군 농공단지 현황

항 목	단위	2014	2015	2016	2017	2018	변화율 (B/A-1)*100
		(A)				(B)	
농 공 단 지	개소수	개소	4	4	4	4	0%
	입주기업수	개소	85	78	84	85	18.8%
	매출액	백만원	436,874	423,138	620,968	659,860	54.1%
	고용인원	명	1,397	1,991	2,142	2,137	65.2%
	수출실적	백만불	28	36	58	72	103.6%

출처 : 횡성군 기업유치지원과

- 농촌관광 분야에서 체험휴양마을은 2018년 기준 16개이며, 약 21억원의 매출고 방문객수 7.2만명이며, 관광농원은 35개소, 매출액은 17억원으로 2014년에 비해 12% 증가함.

표207 횡성군 농촌관광 매출액 현황

항 목	단위	2014	2015	2016	2017	2018	변화율 (B/A-1)
		(A)				(B)	
체험 휴양마을	마을수	개소	14	14	15	15	14.3%
	매출액	백만원	670	1,658	1,712	2,091	209.0
관광농원	방문객수	명	33,312	39,370	39,980	54,967	117.0
	업체수	개소	20	24	30	33	75.0%
	매출액	백만원	1,519	1,584	1,631	1,675	12.0%
관광농원	방문객수	명	63,000	65,000	66,000	65,000	1.6%
	숙박시설보유	개소	18	21	23	25	50.0%
	가공시설보유	개소	4	4	4	5	25.0%

자료: 횡성군 기업유치지원과

4) “횡성한우” 산업

- 횡성한우는 2016년에 비해 2020년에 사육가구가 0.2%감소 하였으나, 사육두수는 늘어 현재 2020년 6월 30일 기준 61,232두이며, 송아지 가격 전국산지 가격보다 높게 형성되고 있음.
- 횡성군 관내 관련 축산물 가공·처리위생업소는 연 평균 4.2%로 증가하고 있어, 특히 식육가공업과 축산물 유통판매업은 각각 11개소, 21개소로 증가하였음.
- 횡성한우 가공유통 업체별 실적을 보면 축협이 매출액은 2014년에 비해 2018년에 0.24% 증가하였으며, 농업법인의 매출액은 2014년 비해 2018년에 0.11%가 감소함.
- 최근 3년간 횡성축협 냉장으로 13.2톤을 수출하였으며, 28,000달러의 수출금액은 비교적 높은 단가로 수출하였음.

표208 관내 한육우 유통 주체별 매출실적

항 목			단 위	2014 (A)	2015	2016	2017	2018 (B)	5년간의변화 (B/A-1)
한우	축협	매출액	백만원	33,064	37,696	41,937	38,703	41,140	124.4%
		출하두수	두	6,250	6,250	6,250	6,250	6,250	100%
		브랜드출하율	%	100	100	100	100	100	
		공판장출하율	%	100	100	100	100	100	
	농업 법인	매출액	백만원	18,749	22,082	17,863	16,707	16,637	88.7%
		출하두수	두	2,618	2,796	2,023	1,979	2,100	80.2%
		브랜드출하율	%	100	100	100	100	100	
		공판장출하율	%				4.1	4.9	
	기타	매출액	백만원	-	2,645	6,031	10,065	11,338	428.7%
		출하두수	두	-	500	1,000	1,500	1,831	366.2%
		브랜드출하율	%	-	100	100	100	100	
		공판장출하율	%	-	100	100	100	100	

자료: 횡성군 축산지원과

5) 주요 축제 현황

- 횡성군의 축제는 횡성한우축제, 안흥찐빵축제, 더덕축제, 둔내토마토 축제 6개의 축제가 있으며, 지역 특화작목 주제로 농경문화를 접목시킨 전국 유일의 축제로 지역경제 활성화 및 경쟁력 향상 도모 기여
 - 2018년 기준 횡성축제의 방문객 수는 65.3만명으로 매출액은 24.7억을 기록하고 있으며, 그 중 한우축제가 15.9억원으로 가장 많음.

표209 횡성군 4대 특화품목 축제

축 제 명	개최장소	축제일자	축 제 내 용	주관기관
둔내고랭지 토마토축제	둔내면 면사무소 앞	8월 중	토마토포장, 향토음식체험, 추억의 물총놀이 등	둔내고랭지 토마토축제위원회
횡성더덕축제	청일면 농거리야영장	9월 중	더덕요령경연대회, 더덕캐기체험, 더덕품평회등	횡성더덕 축제위원회
안흥찐빵축제	주천강 실미교둔치	10월 중	안흥찐빵 시식 및 홍보, 농경문화체험, 먹거리장터운영	안흥찐빵 축제위원회
횡성한우축제	횡성읍 섬감둔치일원	10월 중	한우구이터, 밭골이벤트, 한우퍼레이드, 스탬프투어 등	횡성문화재단

자료: 공공데이터포털(<http://www.data.go.kr>) 강원도 횡성군 문화축제

다. 농축산업 주요 통계

○ 횡성군의 주요 농축산업 통계는 다음과 같음

표210 횡성군 농가 및 농가인구

단위: 가구, 명, %

구분			2014	2015	2016	2017	2018	2019	연평균 증가율
농가 및 농가 인구	전 국	농가	1,120,776	1,088,518	1,068,274	1,042,017	1,020,838	1,007,158	-2.1
		인구	2,751,792	2,569,387	2,496,406	2,422,256	2,314,982	2,244,783	-4.0
농가 인구	지 역	농가	5,084	5,547	5,952	5,719	5,696	5,676	2.3
		인구	12,924	13,280	13,929	12,692	12,674	12,472	-0.6

출처: 국가통계포털-행정구역별 농가농가인구/시군별·농발별 경지면적

표211 횡성군 논·밭 경지면적

단위: ha, %

구분			2014	2015	2016	2017	2018	2019	연평균 증가율
경지 면적	전국	계	1,691,113	1,679,023	1,643,599	1,620,796	1,595,614	1,580,957	-1.4
		논	933,615	908,194	895,739	864,865	844,265	829,778	-2.3
		밭	757,498	770,829	747,860	755,931	751,349	751,179	-0.2
	지역	계	9,589	9,481	9,283	9,177	8,929	8,842	-1.6
		논	3,306	3,239	3,195	2,977	2,654	2,662	-4.2
		밭	6,284	6,243	6,088	6,200	6,275	6,180	-0.3

출처: 국가통계포털-행정구역별 농가농가인구/시군별·농발별 경지면적

표212 횡성군 식량작물 재배현황

단위 : ha, M/T, %

구분		2014 (A)	2015	2016	2017	2018 (B)	2019	증감율 (B/A-1)
미곡	재배면적	2,730	2,388	2,353	2,227	2,037	-	-25
	생산량	14,115	12,467	12,293	11,043	10,112	-	-28
맥류	재배면적	4.9	2.5	2.7	2.2	2.0	-	-59
	생산량	16.3	10.4	11	8.5	7.5	-	-54
잡곡	재배면적	805	778	563	2652	1,385	-	72
	생산량	3,795	4,563	2,825	6,642	3,126	-	-18
두류	재배면적	562	543	694	697	521	-	-7
	생산량	764	791	902	889	599	-	-21
서류	재배면적	535	347	372	384	361	-	-32
	생산량	11,285	7,139	7,613	8,254	8,411	-	-25

출처: 횡성군 농업지원과

표213 황성군 원예작물(채소류) 재배현황

단위 : ha, M/T, %

품 목 명		2014 (A)	2015	2016	2017	2018 (B)	2019	증감율 (B/A-1)
고랭지배추	재배면적	22	151	208	217	217	-	884
	생산량	900	5,832	9,049	9,631	9,661	-	973
고랭지무	재배면적	9	90	115	115	115	-	1150
	생산량	300	2,350	4,059	4,002	4,026	-	1242
상추	재배면적	4	104	109	109	109	-	2488
	생산량	130	296	307	558	303	-	133
토마토	재배면적	16	155	190	194	199	-	1146
	생산량	1,067	7,783	8,977	8,979	9,117	-	754
오이	재배면적	42	63	58	58	57	-	36
	생산량	2,060	3,173	2,987	2,285	2,269	-	10
풋고추	재배면적	34	171	185	187	177	-	421
	생산량	1,159	5,528	6,104	6,128	5,735	-	395
파프리카	재배면적	5	21	23	23	23	-	330
	생산량	451	1,307	1,501	1,502	1,502	-	233

자료: 황성군 농업지원과, 2019년도 자료없음

표214 황성군 특용작물 재배현황

단위 : ha, M/T, %

품 목 명		2014년 (A)	2015년	2016년	2017년	2018년 (B)	2019	증감율 (B/A-1)
참 깨	재배면적	119	104	69	79	88	-	-90
	생산량	72	66	85	89	60	-	-94
들 깨	재배면적	199	195	139	160	191	-	-78
	생산량	146	263	188	209	233	-	-94
인 삼	재배면적	74	65	81	82	62	-	-16
	생산량	497	524	607	631	476	-	-4

출처: 황성군 농업지원과

표215 황성군 과실류 재배현황

단위 : ha, M/T, %

구 분		2014년 (A)	2015년	2016년	2017년	2018년 (B)	2019	증감율 (B/A-1)
사과	재배면적	5.0	9.0	19.8	24.9	36.5	-	630
	생산량	26	40	50	60	433	-	1,565
포도 (시설)	재배면적	14	26	25	20	21	-	50
	생산량	105	169	162	131	193	-	84
복숭아	재배면적	25	25	25	20	34	-	36
	생산량	131	112	113	90	277	-	111
자두	재배면적	-	0.2	10.6	13.2	20.7	-	-
	생산량	-	7	1.0	60	2.8	-	-

자료: 황성군 농업지원과

표216 황성군 주요 가축 사육현황

단위: 가구, 마리, 수, %

구 분		2014 (A)	2015	2016	2017	2018	2019 (B)	증감율 (B/A-1)
한육우	사육가구	1,589	1,535	1,509	1,543	1,568	1,512	-5
	마리수	45,968	44,950	48,698	50,312	54,306	57,547	25
젖소	사육가구	41	57	55	57	53	46	12
	마리수	2,650	2,485	2,397	2,516	2,399	2,299	-13
마필	사육가구	3	5	3	6	7	5	67
	마리수	10	9	6	20	22	12	20
돼지	사육가구	22	18	17	19	22	22	0
	마리수	57,097	62,445	58,813	63,744	55,233	67,862	19
면양	사육가구	2	1	1	1	1	1	-50
	마리수	48	10	14	14	14	7	-85
사슴	사육가구	17	16	11	11	11	8	-53
	마리수	202	205	194	189	240	181	-10
개	사육가구	2,289	2,713	2,633	3,255	3,330	3,351	46
	마리수	9,463	10,847	8,456	12,359	12,357	10,951	16
산양	사육가구	40	31	34	57	78	69	73
	마리수	622	971	1,438	2,275	2,784	2,296	269
토끼	사육가구	39	46	49	31	45	36	-8
	마리수	1,866	1,796	940	850	549	321	-83
닭 ¹⁾	사육가구	16	10	10	24	21	16	0
	마리수	807,000	637,000	959,000	1,676,400	1,477,000	1,125,500	40
오리	사육가구	20	18	26	15	13	14	-30
	마리수	124	91	194	54	148	127	2
칠면조	사육가구	18	10	16	8	12	18	0
	마리수	46	48	31	16	25	61	33
거위	사육가구	13	8	7	8	7	12	-8
	마리수	37	23	16	16	23	44	19
꿀벌	사육가구	168	166	149	282	299	297	77
	마리수	7,916	10,119	9,331	13,853	13,960	14,448	83

주: 1) 12월 1일 기준. 3천수이상 사육농가 대상 전수조사 자료

2) 한육우, 젖소, 돼지, 닭, 오리는 통계청 「가축동향조사」, 그외 가축은 농림수산식품부 「기타가축통계」 자료 반영
 자료: 황성군 축산지원과

표217 황성군 가축분뇨 발생량 및 처리현황

구 분	사육규모	농가수	사육두수	배설량 (kg/두/일)	발생량 (톤)			비 고
					계	분	뇨·세정수	
계		1,579	121,718		439,287	338,442	100,845	
한우	10두 미만	425	1,973	13.7	9,865	9,865	-	
	25두 미만	399	6,475		32,251	32,251	-	
	50두 미만	333	11,612		58,065	58,065	-	
	100두 미만	224	15,358		76,797	76,797	-	
	170두 미만	90	11,101		55,510	55,510	-	
	170두 이상	43	11,863		59,320	59,320	-	
	소계	1,514	58,382		291,808	291,808	-	
젖소	-	47	2,486	37.7	34,208	27,312	6,896	육우포함
돼지	-	18	60,850	5.1	113,271	19,322	93,949	

출처: 황성군 축산지원과

단위 : m², M/T, 호, %

품 목 명		2014 (A)	2015	2016	2017	2018 (B)	증감율 (B/A-1)
합계	재배면적	224,836	310,059	1,938,947	1,996,613	2,962,302	1218
	생산량	1,314.66	790.656	5,249.25	5,577.55	10,732.5	716
	농가수	30	37	98	124	231	670
복숭아	재배면적	0	38,462	48,068	48,068	46,361	-
	생산량	0	38.40	46.40	46.40	39.40	-
	농가수	0	6	8	8	8	-
파프리카	재배면적	0	0	0	0	65,799	-
	생산량	0	0.00	0.00	0.00	874.50	-
	농가수	0	0	0	0	8	-
토마토	재배면적	24,764	13,225	456,424	479,641	217,690.9	779
	생산량	750	136	3,124.36	3,390.86	1,975.11	163
	농가수	5	1	53	59	47	840
포도	재배면적	0	0	0	61,559	61,559	-
	생산량	0.00	0.00	0.00	80.50	80.50	-
	농가수	0	0	0	21	21	-
더덕	재배면적	0	0	0	0	308,416	-
	생산량	0.00	0.00	0.00	0.00	462.50	-
	농가수	0	0	0	0	19	-
방울토마토	재배면적	128,819.4	128,819.4	59,400	59,400	1,301,207.1	910
	생산량	506.56	506.56	286.50	286.50	6,351.08	1,154
	농가수	17	17	13	13	117	588
동충하초	재배면적	2,613	2,613	2,613	36,03	0	-100
	생산량	1	19.20	19.20	29.20	0.00	-100
	농가수	1	1	1	2	0	-100
신지나무열매	재배면적	0	9,000	9,000	29,988	20,988	-
	생산량	0	0.5	0.5	2.7	2.2	-
	농가수	0	1	1	2	1	-
표고버섯	재배면적	0	0	0	212	212	-
	생산량	0	0	0	2	2	-
	농가수	0	0	0	1	1	-
인삼	재배면적	68,640	117,940	1,057,979	1,008,679	940,069	1,270
	생산량	57.1	90	1,018.09	985.19	945.2	1,555
	농가수	7	11	19	15	9	29
양상추	재배면적	0	0	185,352	185,352	0	-
	생산량	0	0	536.1	536.1	0	-
	농가수	0	0	4	4	0	-
감자	재배면적	0	0	230,050	230,050	0	-
	생산량	0	0	595.7	595.7	0	-
	농가수	0	0	2	2	0	-
무	재배면적	0	0	75,413	75,413	0	-
	생산량	0	0	158.5	158.5	0	-
	농가수	0	0	1	1	0	-

자료: 황성군 농업지원과

표219 황성군 친환경농축산물 인증현황

단위 : ha, M/T, %

구 분			단위	2014 (A)	2015	2016	2017	2018 (B)	5년간의변화 (B/A-1)
농 산 물	면적	합계	ha	374	382	305	327	296	-20.8
		유기농산물	ha	177	181	159	180	166	-6.2
		무농약농산물	ha	190	189	146	147	130	-31.6
		저농약농산물	ha	7	12	-	-	-	-
	인증량	합계	ton	6,142	6,672	5,318	5,483	5,408	-12.0
		유기농산물	ton	3,105	3,137	2,477	2,741	3,180	2.4
		무농약농산물	ton	3,017	3,466	2,841	2,742	2,228	-26.2
		저농약농산물	ton	20	69	-	-	-	-
	농가수	합계	호	243	267	219	207	194	-20.2
		유기농산물	호	66	70	71	74	67	1.5
		무농약농산물	호	176	186	148	133	127	-27.8
		저농약농산물	호	1	11	-	-	-	-
축 산 물	출하량	합계	ton	1,290	1,364	1,492	1,319	685	-53.1
		유기축산물	ton	1,290	1,364	1,492	1,319	685	-53.1
		무항생제축산물	ton	-	-	-	-	-	-
	농가수	합계	호	4	4	4	4	4	0
		유기축산물	호	4	4	4	4	4	0
		무항생제축산물	호	-	-	-	-	-	-

출처: 황성군 농업지원과

표220 황성군 농경지 토양화학성 변동조사('16~ '18)

구 분	분석점수 (계)	pH (1:5)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	K (cmol+/kg)	Ca (cmol+/kg)	Mg (cmol+/kg)	유효규산 (mg/kg)	전기전도도 (dS/m)	
논	적정범위	(2,658)	5.5 - 6.5	20 - 30	80 - 120	0.20 - 0.30	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	175 이상	2.0이하
	2016	853	6.1	23	161	0.19	4.3	0.7	105	0.5
	2017	905	6.0	23	154	0.22	4.7	0.7	130	0.6
	2018	900	6.0	22	184	0.26	4.5	0.8	105	0.7
밭	적정범위	(3,553)	5.5 - 6.5	20 - 30	150 - 300	0.45 - 0.55	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-	2.0이하
	2016	1,029	6.2	33	606	0.68	5.5	1.4	-	1.0
	2017	1,423	6.1	29	591	0.71	5.7	1.5	-	1.2
	2018	1,101	6.4	33	671	0.89	7.2	1.8	-	1.6
시설	적정범위	(1,893)	6.0 - 6.5	20 - 30	400 - 500	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-	2.0이하
	2016	745	6.2	40	974	1.45	8.5	2.7	-	4.2
	2017	456	6.2	45	1007	1.26	8.1	2.5	-	3.9
	2018	692	6.3	37	970	1.38	9.2	2.8	-	4.4
과수	적정범위	(929)	6.0 - 6.5	25 - 35	200 - 300	0.30 - 0.60	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-	2.0이하
	2016	372	6.2	33	506	0.67	5.7	1.5	-	1.1
	2017	315	6.3	35	543	0.59	6.3	1.6	-	1.0
	2018	242	6.0	33	430	0.61	5.9	1.4	-	1.2

출처: 황성군농업기술센터

라. 횡성군 가축분뇨공공처리시설 운영 현황

- 1) 시설 개요
 - 담당부서: 청정환경사업소
 - 소재지: 강원도 횡성군 서원면 금대남2길 55
 - 시설용량: 90m³/일
 - 반입대상: 90m³/일 (가축분뇨 100%)
 - 주처리공법: 액상부식법

- 2) 운영 현황
 - 반입농가('20년 기준): 46농가(돼지 14, 소 19, 기타 13)
 - 반입비율: 돼지 95%이상
 - 가축분뇨 처리실적
 - 2018년: 15,737톤 반입 (1일 평균 63톤)
 - 2019년: 13,630톤 반입 (1일 평균 55톤)

표221 횡성군 가축분뇨공공처리시설 가축분뇨 반입, 처리량 및 수수료 징수 현황('18)

구분	반입횟수	반입량 및 처리량 (톤)	수수료 (천원)
합계	1,620	13,629.8	94,144
1월	128	1,419.9	10,895
2월	114	911.3	6,555
3월	117	1,514.6	10,875
4월	101	1,328.5	9,102
5월	149	1,356.2	8,707
6월	151	1,249.0	7,851
7월	162	1,086.3	7,747
8월	168	1,013.7	7,262
9월	113	663.7	4,769
10월	163	1,013.5	6,313
11월	128	1,009.6	6,825
12월	126	1,063.5	7,243
월 평균	135	1,135.8	7,845

출처: 횡성 청정환경사업소

표222 횡성군 가축분뇨공공처리시설 계획 유입, 방류수질 및 법적 방류수질 현황('18)

구분	Q(m ³ /일)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
계획유입수질 (수질검사 결과)	90	31,000 (30,800)	20,000 (23,000)	29,000 (30,000)	5,000 (5,100)	1,100 (1,500)
계획방류수수질 (수질검사 결과)	-	24이하 (3.04)	40이하 (14.83)	24이하 (4.23)	48이하 (12.44)	6이하 (0.07)
법적방류수수질 (수질검사 결과)	-	30	50	30	60	8

3. 소단위 완전순환형 모델 도출을 위한 “횡성군 경축순환농업실험 추진협의회” 운영

가. 협의회의 운영 및 목적

- 협의회 운영은 횡성군수, 횡성군 축산과·농정과·환경과·농업기술센터, 청정환경사업소(가축분뇨처리) 및 연구팀(상지대, 한경대, 서울대)로 구성됨.
- 협의회의 목적은 관련 조례의 정립, 포럼 운영 및 횡성형 탄소중립 경축순환 모델 구축 추진임.

나. 횡성형 탄소중립 경축순환 모델의 구상

- 탄소중립형 축산분야 고려 시 세부적으로 “가축분뇨 관리 부문”과 “가축분뇨 이외 부문”으로 구분할 필요가 있음. 그중에서도 경축순환농업은 가축분뇨 관리 부문 내 자원화 분야에 속함.
- 축산분야 탄소중립 대안 중 경축순환이 핵심이나, 기본적으로 다음을 반드시 고려해야 함
 - 가축분뇨 퇴·액비의 생산/양분/품질 관리: 기본으로 충족되어야 할 항목이며, 불충족 시 경축순환 논의 자체가 불가능함.
 - 경종농가에서도 동일한 공감대로 수용하고 있는지 여부 판단해야 함: 경종농가의 입장을 반영한 경축순환 모델 제시할 필요성이 있음.
 - 경종·축산 주체 및 분뇨처리 주체, 지자체 공공기관 등이 결합된 운영 모델의 구상 전략이 필요함.
- 예상되는 운영협의체 구성 및 임무는 다음과 같음.
 - 거버넌스 참여 주체(지자체, 경종, 축산, 자원화조직체 등) 구성 및 역할 분담
 - 운영협의체(지자체 중심) 산하에 경축순환센터(사업단) 구축
 - 운영협의체는 조례, 정책, 지원, 인증프로그램, 인센티브 등 기본 계획 수립
 - 운영협의체는 사업단 구성시 운영 및 예산지원 등 독립적 경영을 통해 자립할 수 있도록 관리
 - 사업단은 경축순환 중장기 계획 수립 및 실질적 사업 추진
 - 사업단은 사무직원 외 분야별(축산환경, 농업 등) 전문가 그룹을 확보, 전문성 강화
 - 사업단은 경축순환, 양분관리, 컨설팅, 교육 등 관련 수익사업을 통해 지속가능성 확보
 - 정량적/공익적 성과지표 관리 (목표 수립 및 달성여부)

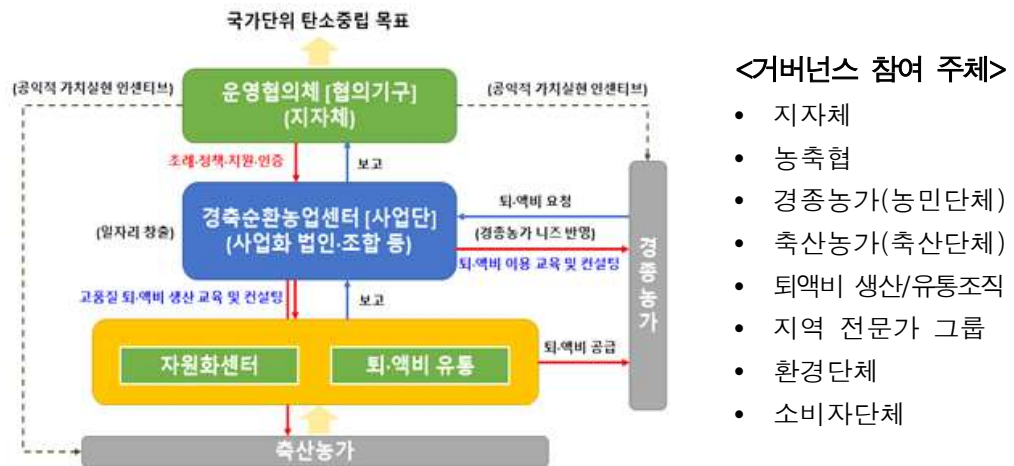


그림55 지역단위 탄소중립 경축순환 모델 구상

표223 가축분뇨 관리 부문 축산환경지표 예시

구분	1. 축사환경	2. 가축분뇨 자원화 및 정화처리
축산 농가 중심	<ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 유래 온실가스 감축 지표 가축분뇨 탄소중립 종합지표 개념화(친환경·저탄소·신재생에너지 등 통합) 가축분뇨 유래 온실가스 및 인벤토리 지표 가축분뇨 양분배출 지표(축종별) 기타: 가축분뇨 환경관리 지표(냄새, 암모니아, 미세먼지 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 처리 방법별 온실가스 감축 지표 가축분뇨 처리 방법에 따른 온실가스 배출계수(퇴·액비 및 정화처리) 자원화 공정 양분 배출계수 관리 지표 퇴·액비 생산/양분/품질 관리 및 표시 지표 저에너지 이송 및 이송 지표 가축분뇨 바이오가스 에너지화 이활용 지표
구분	3. 지역단위 경축순환(탄소순환)	4. 정책 및 제도(지자체·광역·정부)
지역 단위 중심	<ul style="list-style-type: none"> 친환경축산, 경축순환의 온실가스 감축 및 탄소중립과의 관계 정립·지표화 지역단위 가축분뇨 환경 및 거버넌스 개념화 지역단위 가축분뇨 자원순환률 지표(경농농가의 가축분뇨 활용 지표) 지역단위 가축분뇨 양분관리 및 온실가스 통계정보 지표 자원화조직체(시설) 분뇨자원 이용 및 온실가스 저감 지표 민간형 경축순환 거버넌스 지표 	<ul style="list-style-type: none"> 공공형 탄소중립 경축순환 거버넌스 지표 지역단위 축산분뇨 자원순환 지표 경종농가의 거버넌스 참여 지표 화학비료의 가축분뇨 유기 퇴·액비 대체율 지표 지역단위 농지/산림의 가축분뇨 유래 탄소저감 지표

표224 가축분뇨 이외 부문 축산환경지표 예시

구분	1. 사료(자급화)	2. 사양관리	3. 에너지(축사시설 및 설비)
축산 농가 중심	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립형 사료 지표 지역단위 사료 자급률 지표(축종별) 기타: 사육두수 최적화 지표 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립형 사양 지표 메탄억제사료 인증 지표(조사료, 첨가제 등) 저단백사료 인증 지표 사육기간 단축 및 장내발효 저감화 지표 사육 전과정 온실가스 배출 지표 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립형 축산농가 인증 지표 에너지절감형 축사 시설 인증 지표 축사 에너지 효율성 관리 지표 축사 신재생에너지 이용률 지표 축사 전기소비 절감 지표 축사 장비 에너지소비 절감 지표 기타: 저탄소축산물 인증 참여 지표
구분	4. 경종단위 탄소중립		5. 정책 및 제도(지자체·광역·정부)
지역 단위 중심	<ul style="list-style-type: none"> 초지·조사료 등 농작물별 탄소배출 및 흡수 지표 토양 탄소격리(저장) 평가 지표 탄소중립 거버넌스 인센티브 전략지표(바이오매스 및 경축순환 등 거버넌스 이용 그룹 인센티브 전략) 		<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립형 경축순환 촉진 참여농가(경종/축산) 인센티브 제도 지표 화학비료 대체 및 절감을 지표(목표달성농가 인센티브 지표) 탄소중립 수익형 사업화 지표(탄소중립 유망기술 보유기업 지표화) 가축분뇨 비농업용 이용 지표(곤충사료, 바이오배지, 블루카본 격리·저장 등)

표225 지역단위 탄소중립 경축순환 모델 거버넌스 운영협의체 구성 및 임무 예시

구분	주요내용	세부내용
<p>[A] 지역단위 농축산업 현황</p>	<p>[01] 농축산업 일반현황</p> <ul style="list-style-type: none"> • 지리 현황(위치, 접근성) • 인구 및 지역경제 현황 • 농업·축산업 현황 • 농자재 사용량 • 환경 현황 	<ul style="list-style-type: none"> ▶총인구, 농업인구(농가수) ▶축산·경종농가 비중 ▶농업경영체 비중 ▶농업경영체 당 농지면적 ▶토지지목별(논·밭·과수·기타) 면적 ▶품목별 농작물 재배추이 ▶친환경농업 현황 및 비중 ▶친환경농산물 품목 및 재배면적 ▶축종별(읍면별) 가축사육현황 ▶축종별 가축분뇨 발생량·처리현황 ▶가축분뇨 자원화·처리시설 현황 ▶무기질(화학)비료 소비량 ▶유기(유박 등)비료 소비량 ▶수질오염 및 악취민원 현황
	<p>[02] 농축산업 정책현황</p> <ul style="list-style-type: none"> • 재정 기초현황 • 관련 정책현황 • 관련 조례현황 • 민관협치 현황 	<ul style="list-style-type: none"> ▶지자체 재정현황 ▶축산·농수산·환경과 사업유형별 예산 ▶양분관리 관련 주요 시책·보조사업 (축산과, 농수산과, 환경과 등) ▶가축사육 제한구역에 관한 조례 ▶가축분뇨 공공처리시설 운영 조례 ▶농어업 보조금 관리 운영 조례 ▶친환경 농어업 육성 및 지원 조례 ▶축산환경 관련 정책포럼 ▶농촌지역개발 부분 협치활동 (마을만들기, 주민자치회 등)
<p>[B] 양분관리 실태조사</p>	<p>[01] 양분관리 정량실태</p> <ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨 배출량 • 가축분뇨 처리 및 유통량 • 가축분뇨 활용량(자원화 규모) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶행정제공자료 ▶농업경영체 통계자료 ▶현장실태조사 자료 (농축협, 퇴·액비 유통 및 제조업체) ▶일일·연간 분뇨 배출량(분·뇨 비중) ▶위탁·개별처리 비중 (공공처리, 공동자원화, 축분비료공장, 개별 퇴·액비화, 정화방류) ▶처리 및 유통량(자원화+비자원화) ▶경지면적(논·밭·과수·기타) ▶면적 당 퇴·액비 공급 및 살포량 ▶실질 지역 내 퇴·액비 자원화 면적 ▶지역 외 퇴·액비 자원화율 및 면적 ▶면적 당 무기질(화학)비료 소비량 ▶면적 당 유기질(유박 등)비료 소비량
	<p>[02] 양분관리 정성실태</p> <ul style="list-style-type: none"> • 퇴·액비 사용 경험 • 퇴·액비 사용 애로사항 • 가축분뇨 이용 의견 • 경축순환농업 의견 • 경축순환 장애요인 	<ul style="list-style-type: none"> ▶농업인, 축산인 그룹 ▶생산자 및 유통 단체 ▶마을주민, 지역활동가, 언론 ▶행정그룹 ▶축산농가의 시설투자 비용 부담

		<ul style="list-style-type: none"> • 경축순환 제도 개선사항 • 거버넌스 구축·운영의견 	<ul style="list-style-type: none"> ▶퇴·액비 사용 시 악취문제 ▶시설원에 작물재배에 적합한 액비 ▶유박 대비 경제성 ▶살포농기계 확보 여부 ▶고령화로 인한 살포 노동력 ▶시비처방 기준과 실제 살포량 차이 ▶시비기준 보다 관행적 초과살포 문제 ▶친환경(유기농) 농자재 등록 여부 ▶지역특성 고려한 퇴·액비 활용방안 ▶화학비료 및 유박 시비처방 기준 부재 ▶부숙도 및 중금속 등 품질(안정성) 문제 ▶지역 토양 특성별 퇴·액비 수용량 차이 ▶농농사의 도복문제(액비) ▶화학비료 대체할 수 있는 대안 부재
	<p>[03] 양분수지 결과도출</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 양분수지 정의 • 양분수지 산정방법 • 양분수지 입력자료 • 양분수지 분석결과 	<ul style="list-style-type: none"> ▶양분투입 및 양분산출 ▶보통비료(화학비료), 기타 유기질비료 ▶가축분뇨(퇴·액비) ▶생물학적 질소고정량 ▶대기 질소 침적량 ▶퇴·액비 반출입량 ▶파종·식재용 재료 ▶작물 생산 ▶사료작물 생산
<p>[C] 거버넌스 구축 및 운영</p>	<p>[01] 거버넌스 구축</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 총괄개요 • 활동목적 	<ul style="list-style-type: none"> ▶주체, 구성원, 형태 ▶배경, 목적 ▶방향, 활동, 역할 ▶농축산 문제해결을 위한 통합형 정책 방안 ▶지역현실에 맞는 구체적인 대안 논의 ▶지역문제의 실행전략의 도출 ▶지역사회 단체 및 조직의 네트워크 형성 ▶시·군정 주요 농축산 정책 공식 제안 ▶재원마련(행정지원, 민간조직 후원) ▶참여자 동기부여·유인책 부여(인센티브 등)
	<p>[02] 거버넌스 운영과정 및 결과도출</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 추진일정 로드맵 • 리빙랩 운영 • 교육·홍보·연구사업 추진 • 제도개선 변화로 전개 	<ul style="list-style-type: none"> ▶지방행정 그룹(기획·지원) <ul style="list-style-type: none"> -경축순환농업 추진계획 수립·실천 -자원순환 통한 지역환경 개선 -지역주민 삶의 질 개선 -지역자립형 유기성자원 에너지화 -부서별 의견조율, 통합정책 개발

			<ul style="list-style-type: none"> -지역 내 갈등조율 ▶지역연구기관 그룹(기획·지원) -거버넌스 운영 전과정 참여 -정책대안 제시 참여(협조·지원) -양분관리 리빙랩 운영 ▶지역 농축산업 그룹(참여·실천) -자연순환농법 활용 -퇴·액비화 시범사업 -화학·유기질비료 자료 제공 -퇴·액비 생산 및 유통현황 제공 -실태조사 협조 ▶지역주민, NGO 그룹(참여·실천) -거버넌스 운영 전과정 참여 -시범사업 활동 참여(조사지원) -정책대안 제시 참여
[D] 시행계획(안) 도출	[1] 기본구상	<ul style="list-style-type: none"> • 시행계획 개요 • SWOT 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▶비전 ▶시간·공간적 범위 ▶핵심내용, 추진전략, 추진주체 -양분투입 삭감과 양분산출 추가 전략 -가축분뇨 집중관리 전략 -정책사업 연계·응용·활용 전략 ▶정성목표 -화학비료 및 유박비료 감축 -퇴·액비 활용 증가 -경종-축산 양분수지 균형 시범마을 조성 ▶정량목표 -양분투입(input) 삭감 목표치 -양분산출(output) 추가 목표치 -양분수지 균형 목표치
	[2] 시행계획 핵심(세부) 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 양분수지 산정 주요변수 • 단계별·연차별 관리목표 • 양분투입(input) 삭감전략 • 양분산출(output) 추가전략 • 공통추진 기반 마련 	<ul style="list-style-type: none"> ▶화학비료 사용 감축 시나리오 ▶퇴액비 수요처 추가 확보 -이모작 재배단지, 임산물, 가로수 ▶단계별·연차별 관리목표 -양분초과율 및 최대허용 수준 -Land budget, Soil budget 등 ▶양분투입(input) 삭감전략 -관련 정책사업 연계·응용·활용 -가축분뇨 처리 및 활용방법 다각화 -경축순환농업 시범마을 조성 -지역주민 참여형 인증제 ▶양분산출(output) 추가전략 -다비성작물, 월동사료작물, 녹비작물 -임업 및 산림단지, 가로수길 조성 ▶공통추진 기반 마련 -지역 유기자원순환 통합 관리센터

			마련 -경종·축산농가 인식변화 및 사회적 책임 이행 -양분관리 지역 외 확장
	[3] 시행계획 우선순위 도출	<ul style="list-style-type: none"> • 정책·사업의 중요도 • 정책·사업의 실현 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> ▶성과지표 우선순위를 결정 ▶상대적 중요도와 만족도를 비교·분석 <ul style="list-style-type: none"> -중점개선영역(약점 항목) -과잉투자영역(불필요 강점) -개선대상영역(저우선 순위) -유지관리영역(강점 항목) ▶기반구축·체계화·안정화 단계별 계획

다. 포럼의 운영

1) 2021년 횡성군 축산발전 미래포럼(1차)

○ 개요

- 날짜: 2021년 12월 13일
- 장소: 횡성군청 대회의실
- 목적: ‘스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업’, ‘지역·국가단위 경축순환 모델 개발’연구팀, 경축순환농업 발전을 위한 지역공동체 이해관계자와 공감대 형성 및 군에서 추진하고 있는 경축순환농업 모델인 「어사진토」 인증 프로젝트를 활성화하고 횡성형 경축순환모델 제시를 위함. ‘어사진토’ 프로젝트는 축산농가와 경종농가 간의 공유 농업으로 자원순환 활성화를 통해 횡성만의 특화된 토양 양분관리와 지역 친환경 농업 모델임.
- 참석자: 농축산업 관련 기관단체, 농축산농업인, 퇴비유통업체 등 약 50여명 참석

○ 발표주제

- 축산발전 왜 경축순환이어야 하는가
- 횡성군 양분관리 기반 경축순환농업 추진방안
- 횡성형 탄소중립형 경축순환전략과 이행과제
- 사료수급, 이용실태 및 자급률 제고 방안



그림 56 경축순환농업실현 T/F팀 협의회 포럼 운영('21년 축산발전 미래포럼-1차)

2) 2022년 황성군 축산발전 미래포럼(2차)

○ 개요

- 날짜: 2022년 10월 21일
- 장소: 황성군농업기술센터 대강당
- 목적: 상지대학교 산학협력단(재단법인 스마트팜 연구개발 사업단의 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업인 “지역/국가단위 경축순환 모델 개발”연구팀)이 주관해 지역공동체 이해관계자와 공감대 형성을 위한 연속 포럼임. '미래축산을 위한 탄소 중립형 축산환경 정책 방안'을 주제로 축산분뇨 바이오가스화 기술과 축산분뇨의 고체연료, 바이오차 기술 현황 및 발전 방향이 논의됨.
- 참석자: 농축산업 관련 기관단체, 경종·축산농가, 황성기후환경네트워크, 황성환경운동연합 등 70여명이 참석함.

○ 발표주제

- 황성군 미래축산을 위한 탄소중립형 축산환경 정책 방안
- 가축분뇨 고체연료, 바이오차 기술현황 및 발전방향
- 가축분뇨 바이오가스화 기술 및 제도현황



그림57 경축순환농업실현 T/F팀 협의회 포럼 운영('22년 축산발전 미래포럼-2차)

3) 2022년 횡성군 축산발전 미래포럼(3차)

○ 개요

- 날짜: 2022년 12월 23일
- 장소: 횡성군청 회의실
- 목적: 상지대학교 산학협력단(재단법인 스마트팜 연구개발 사업단의 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업인 “지역/국가단위 경축순환 모델 개발”연구팀)이 주관하여 지역공동체 이해관계자와 공감대 형성을 위한 연속 포럼임. 가축분뇨 자원화 신재생에너지 생산시스템 구축을 위한 군청 관련부서 간의 유기적인 협력체계 마련을 위한 자리로 가축분뇨를 포함한 유기성 폐자원의 에너지화라는 방향성을 갖고 탄소중립 2050에 대비한 횡성군의 발전 전략을 수립함이 목적임.
- 참석자: 횡성군 미래전략과, 축산과, 환경과, 농정과, 상하수도사업소, 청정환경사업소 등 관련부서 팀장 및 담당자 약 20여명이 참석함.

○ 발표주제

- 공공형 통합 바이오에너지화시설 사업 추진을 위한 방향
- 공공형 통합 바이오에너지화시설 사업 추진 방안
- 충남 청양 바이오에너지화사업 운영 사례



그림 58 경축순환농업실현 T/F팀 협의회 포럼 운영('22년 축산발전 미래포럼-3차)

라. 횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영 성과: 관련 훈령 제정

- 1) “횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영규정” 훈령 제정 및 주요 내용
 - 횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영 성과로 "횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영규정" 훈령을 제정하였음. 주요 내용은 다음과 같음.
 - 제정 이유
 - 축산환경 악화와 가축질병, 축산악취 등이 사회문제로 대두되면서 축산업에 대한 부정적 인식이 팽배
 - 농업, 축산, 환경이 조화되는 지속가능한 농축산업으로 전환 요구 증대
 - 2050탄소중립 전략달성에 농축산업의 정책방안 및 모델제시에 대한 사회적 요구 증대
 - 목적
 - 횡성군의 지역자원 기반 축산 부산물을 농업 생산에 활용하여 환경 보전, 농축산 연계 강화, 지역 순환구조 확립을 목표로 함.
 - 기능
 - 횡성형 탄소중립 경축순환농업 모델 개발
 - 경종농가 공감대 형성 교육 및 홍보
 - 장기 발전계획 및 연차별 시행계획 수립
 - 그 밖에 의장이 부의하는 사항
 - 구성
 - 의장, 부의장 각 1명
 - 위원 25명 이내 (간사 4명 포함)
 - 위원은 축산농가, 경종농가, 관련 단체 대표, 전문가, 공무원 등으로 구성
 - 간사는 농정기획팀장, 축산정책팀장, 과학영농팀장, 대학 실무팀장으로 함.
 - 회의
 - 2개월마다 개최 (필요 시 소집 가능)
 - 재적 위원 과반수 출석으로 성립
 - 출석 위원 과반수 찬성으로 의결
 - 서면 의사 표시 가능
 - 의장: 표결권 보유, 가부동수 시 결정권
 - 분과위원회
 - 협의회 운영 능률화를 위해 설치 가능
 - 위원장 1명, 위원 10명 이내로 구성
 - 간사는 업무 주관 팀장으로 함.
- 2) “횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영규정” 훈령 제정의 의의
 - 횡성군 경축순환농업 정책 체계 구축
 - 협의회 운영 규정 제정은 정책 추진의 명확한 기반을 마련하고 효율적인 운영을 가능하게 함.

○ 지역 순환농업 모델 구축

- 횡성형 탄소중립 경축순환농업 모델 개발을 통해 지역 특성에 맞는 지속가능한 농업 시스템 구축을 추구함.

○ 농축산 연계 강화

- 경종농가 공감대 형성 교육 및 홍보를 통해 농축산 협력 시스템 구축을 위한 토대를 마련함.

○ 지역 환경 보전

- 축산 부산물 재활용을 통해 환경 오염 방지, 농업 생산 효율성 증대, 탄소중립 목표 달성 기여 가능.

○ 지역 경제 활성화

- 농축산 연계 강화 및 탄소중립 경축순환농업 모델 확산을 통해 지역 일자리 창출, 농촌 경제 활성화 기대.

3) 향후과제 및 기대효과

○ 향후과제

- 규정의 효율적인 운영 및 정책 목표 달성을 위한 지속적인 노력 필요
- 농축산 종사자들의 적극적인 참여 유도 및 홍보 강화 필요
- 횡성형 탄소중립 경축순환농업 모델 개발 및 확산을 위한 구체적인 실행계획 수립 필요
- 정책 추진 과정에서 발생하는 문제점에 대한 지속적인 모니터링 및 개선 필요

○ 기대효과

- 횡성군 경축순환농업 정책 추진의 효율성 및 효과성 증대
- 탄소중립 목표 달성 및 지역 환경 보전
- 농축산 연계 강화 및 지역 경제 활성화

4) “횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영규정” 훈령 전문

횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영규정

[시행 2022.03.24]

(제정) 2022.03.24 훈령 제485호 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률

관리책임부서명 : 축산과

제1조(목적) 이 규정은 횡성군의 지역자원을 기반으로 축산업생산의 부산물을 농업생산 내부에서 다시 활용함으로써 농업 환경 및 생태계를 보전하고, 지역 내 농축산업간 연계를 높여 지역 순환구조를 확립하고자 하는 횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 구성 및 운영에 관한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(기능) ① 횡성군 경축순환농업실현 추진협의회(이하“협의회”라 한다)는 다음 사항을 협의 조정한다.

1. 횡성형 탄소중립 경축순환농업 모델 개발에 관한 사항
2. 경종농가의 공감대 형성을 위한 교육, 홍보에 관한 사항
3. 횡성군 경축순환농업실현 장기 발전계획 및 연차별 시행계획 수립에 관한 사항
4. 그 밖에 협의회 의장이 부의하는 사항

제3조(구성) ① 협의회는 의장 1명과 부의장 1명을 두고 위원은 의장을 포함하여 25명 이내로 하되 간사는 대학을 포함, 군청 소관 업무 팀장으로 4명을 둔다.

② 의장과 부의장은 위원 중에서 호선(互選)하며 위원은 다음 각 호에 해당하는 사람 중에서 군수가 임명하거나 위촉한다.

1. 축산농가, 경종농가 및 농업·축산관련단체 대표
2. 경축순환농업 및 학계·연구기관에 종사하는 인사
3. 횡성군에서 관련분야에 종사하는 공무원
4. 그 밖에 사회단체 등에서 경축순환농업에 전문지식이 있거나 경험이 풍부한 인사

③ 간사는 다음과 같이 한다.

1. 농정기획팀장
2. 축산정책팀장
3. 과학영농팀장
4. 대학 실무팀장

제4조(임무) ① 의장은 회의를 주재 총괄하고 협의회를 대표한다.

② 부의장은 의장을 보좌하며, 의장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없을 때에는 부의장이 대행한다.

③ 간사는 의장의 명을 받아 협의회 사무를 처리하고 회의록을 작성하여 비치 관리한다.

제5조(임기) 의장, 부의장 및 위원의 임기는 2년으로 하며 연임 할 수 있다. 다만, 공무원인 위원의 임기는 그 직의 재직기간으로 한다.

제6조(회의) ① 협의회 회의는 2개월마다 개최하는 것을 원칙으로 하되 위원의 요구가 있거나 필요 시 의장이 소집한다.

② 회의는 재적위원 과반수의 출석으로 성립하고 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.

③ 회의에 참석하지 못하는 위원이 서면으로 의사 표시한 경우 출석과 의결에 참여한 것으로 한다.

④ 의장은 표결권을 가지며 가부동수일 때에는 의결권을 가진다.

제7조(분과위원회) ① 협의회를 능률적으로 운영하기 위하여 분과위원회를 둘 수 있다.

② 분과위원회는 위원장 1명을 포함하여 10명 이내로 구성하며 간사는 업무주관 팀장으로 한다.

제8조(운영세칙) 이 규정에서 정한 것 외에 필요한 사항은 협의회 의결을 거쳐 의장이 정한다.

부칙<훈령 제485호, 2022. 3. 24.>

이 규정은 발령한 날부터 시행한다.

4. 소단위 완전순환형 경축순환 모델 유사 사례 발굴(강원횡성, 테스트베드지역)

가. 횡성군의 양분관리 및 경축순환 거버넌스 체계 구축·운영 실적

- 2019년부터 2022년까지 연도별로 진행된 양분관리·경축순환 거버넌스 체계 구축·운영 실적과 경축순환농업 관련 주요 연구개발 성과는 다음 표와 같음.

표226 횡성군 양분관리·경축순환 거버넌스 체계 구축·운영 실적

연도	주요 내용
2019년	지속가능 경축순환농업 협력체계 MOU 체결('19.11.18. 횡성군, 축산환경관리원, 국립식량과학원, 동횡성농협, 대한한돈협회 등)
2020년	횡성군 가축분뇨 액비유통민관협의체 구성('20.3.4. 횡성군, 축산환경관리원, 국립식량과학원, 동횡성농협, 대한한돈협회 등) 지역단위 경축순환농업 우수사례 현장전문가 방문초청('20.7.13.~14.) 횡성 토양 브랜드화 5개년 추진계획 수립('20.8.) 가축분뇨 부숙촉진 농가보급형 축분관리기 개발 추진('20.11. 축산환경관리원, 국립농업과학원, 전북대, 한국정밀농업연구소 등)
2021년	횡성한우 중심 경축순환농업 활성화 방안 수립('21. 3.13.) 횡성군⇄상지대 산학협력단 혁신기술개발 업무협약 MOU 체결('21.6.3. 횡성군, 상지대·한경대·서울대, 축산환경기술원, ㈜순정에너지환경연구소 등) 가축분뇨 실태조사 및 경축순환 활성화 계획 수립('21.6.17.) 횡성군 경축순환농업 추진협의회(T/F팀) 구성 및 활동('21.7.14.) 국립축산과학원 “한우경영 청년농업인 육성” 업무협약('21.8.1.) 횡성축협퇴비유통전문조직 지정 발대식 추진('21.11.16.) 횡성군 축산발전 미래포럼-1차('21.12.13.)
2022년	“횡성군 경축순환농업실현 추진협의회 운영규정” 제정('22.3.24.) 횡성군 축산발전 미래포럼-2차('22.10.21.) 횡성군 축산발전 미래포럼-3차('22.12.23.)

표227 횡성군 경축순환농업 관련 주요 연구개발 성과

구분	주요 내용
한우	사료용 옥수수 2기작 실증 시험 및 기술보급 (횡성군, 2016) 사료용 옥수수 2기작 전용 종자 개발(국립식량과학원, 2017) 거세한우 28개월 단기비육 프로그램 활용(국립축산과학원, 2018) 횡성한우 동물복지형 축사환경개선 프로그램 개발(횡성군, 2021) 한우 스마트팜환경 제어 시스템 개발(횡성군농업기술센터, 2021) 횡성한우 비육 등 사양관리 개선 프로그램 개발(횡성군·상지대, 2020)
원예	토마토 재배시설 및 저농도 추비용 액비 활용 실증사례((주)한바이오, 2020) 농가형 퇴비차 제조기 및 퇴비차 제조 매뉴얼 개발(광주시농업기술센터) 과채류 재배 시 퇴비차 활용 방법(강원도기술원, 2019)
가축분뇨 자원화	가축분뇨를 이용한 기능성 발효액비 제조 방법((주)한바이오, 2010) 가축 상주 가능한 축사용 분뇨의 교반을 통한 부숙장치(횡성군, 2021) 가축 상주 가능한 축사용 분뇨의 부숙을 위한 교반장치 (횡성군, 2021) 가축분뇨 자원화 방법 시스템 앱 개발(횡성군농업기술센터, 2021)
기타	축사 악취저감제 제조 및 방법 특허출원(횡성군, 2021) 지역/국가단위 경축순환 모델 개발(상지대·한경대·서울대, 2021~)

나. 소단위 완전순환형 경축순환 모델 유사 사례 발굴

1) 한우+경종(사료용옥수수 2기작) 겸업 중심

- 번식우·송아지 사양관리 및 사료용옥수수 재배 기술이 뛰어난 이O규씨(횡성군 갑천면 매일리)를 중심으로 활동하고 있으며, 이O규씨를 중심으로 소규모 한우 번식농가 20개 농가로 조직되어 있음.
- 해당 조직의 농가들은 횡성군 갑천면, 청일면, 우천면 등에 분포돼 있으며, 사육두수는 평균 30~50두로 비교적 영세한 규모임.
- 옥수수를 포함한 사료작물(라이그라스, 수단그라스 등) 재배 면적 또한 적은 편이어서 최소 500평~최대 7,500평 정도의 면적(자가보유, 임차)에서 사료작물을 재배하여 사일리지화 한 후 번식우와 송아지에 급여하고 있음.
- 3월말~4월초 파종→7월말 수확 직후 파종(2기작)→10월 첫 서리전 수확
- 1,000평당 자가 우분퇴비 60톤 살포하며, 추비로 복합비료(21-17) 4~5포를 살포함. 다만, 추비의 경우 추비용 여과액비로 이용할 수 있도록 시설을 설치함. (공급 부족으로 현재 운영하고 있지 못함)
- 최근 사료값 급등은 물론 국내산·수입산 조사료 수급 차질과 가격 급등으로 인한 어려움이 있는 상황임에도, 스스로 재배한 사료작물과 볏짚을 급여함으로써 비용 상승 부담을 완화시키는 효과를 거두고 있음.



사료용옥수수 재배



추비용 여과액비 시설

그림59 한우+경종(사료용옥수수 2기작) 겸업 중심 경축순환 사례

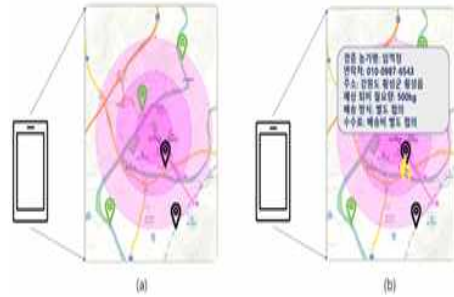
2) 고품질 가축분 퇴비생산 시설 중심

- 가축분 퇴비 공동생산 시설 플랫폼을 구축하여(횡성군 농업기술센터 중심) 양질의 퇴비제조 및 이용을 기본 목표로 함. 지역단위 우분뇨를 수거하여 공동생산으로 지역내 경종농가 및 퇴비업체 제공하여 소단위 경축순환농업을 실현함이 목적임.
- 마을단위 퇴비자원화 시설 및 공용사용이 가능한 축분교반기를 확보하였음(700톤/일 처리, 최대가능량).
- 현재 참여농가 한우농가 5개임.
 - 농가1 사육두수 70두, 분뇨발생량 약 665kg/두·일
 - 농가2 사육두수 750두, 분뇨발생량 약 7,125kg/두·일
 - 농가3 사육두수 418두, 분뇨발생량 약 3,971kg/두·일
 - 농가4 사육두수 102두, 분뇨발생량 약 969kg/두·일
 - 농가5 사육두수 110두, 분뇨발생량 약 1,045kg/두·일

- 경축순환농업의 실현을 위해 농축산업 공익적 기능을 확대하고 화학비료 사용량 절감을 기대하고 있음.
- 지역 내 퇴비생산 축산농가와 퇴비를 필요로 하는 경종농가를 실시간 매칭하는 플랫폼을 공유함(농업기술센터는 축산농가와 경종농가 간의 퇴비 거래를 중개하는 플랫폼을 제공함). 퇴비 부숙도를 검사한 축산농가 및 비료사용처방서를 보유한 경종농가간 정보가 공유되는 플랫폼으로 농가간 자유통거래를 촉진하고 퇴액비 활용을 극대화함에 목적을 가짐.



터널형 축분교반기



지역단위 축분퇴비 이용 정보공유 시스템

그림60 고품질 가축분 퇴비생산 시설 중심 경축순환 사례

3) 한우농가 자급 조사료 TMR생산·공유 플랫폼 중심

- 지역생산 자급조사료 활용 섬유질배합사료(TMR) 공동생산함. 사료용 옥수수 활용 TMR 제조 참여농가 연계하여 경축순환 거버넌스 마련함. 이때 사료용 옥수수의 생산은 지역에서 발생하는 퇴액비 자원을 이용함.
- 국내육성 조생종 옥수수 종자 2기작 재배 투입(신황옥, 신황옥2, 광평옥, 청다옥 등 지역적응 국내육성 품종 활용)
- 사료용 옥수수 2기작 전용 관수시스템 및 액비탱크 설치, 전문 컨설턴트 투입 지원함.
- 고품질 자급 조사료 생산을 극대화하고 사료비 절감하는 경축순환 지속가능 모델정착을 목표로 함.



그림61 한우농가 자급 조사료 TMR생산·공유 플랫폼 중심 경축순환 사례

4) 수집·운반업체 중심의 우분 퇴비 이용

- 한우퇴비를 중심으로 타 축종 퇴비와 함께 경종농가에 공급하는 수집·운반업체(개인 사업자)의 사례임. 해당 업체는 경종농가의 작물에 따라 축종별 퇴비 배합 비율 및 살포량 등의 정보를 제공함.
 - 횡성 한우 8농가(횡성 4농가, 둔내 2농가, 갑천 2농가이며 총 2,000두 규모)에 대한 퇴비를 수집·운반하고 있음.
- 경종 농가는 농지 소유 여부를 기준으로 선호하는 퇴비의 축종이 다름. 자가농지의 농가에서는 한우분 퇴비가 토양의 지력 상승에 도움이 된다는 것을 인지하고 한우분 퇴비를 선호하지만, 타인의 농지에서 농업을 하는 임차농가는 토양의 지력보다는 속효성을 염두에 두고 비료로서의 가치가 뛰어난 계분을 선호함.
 - 퇴비 반출 지역은 횡성군 20%, 진부면 20%, 둔내면 40%, 홍천군 20%로 퇴비를 공급하고 있음.
 - 한우농가의 퇴비는 6월부터 배출되며 경종 농가를 위한 퇴비 공급은 9월에서 이듬해 4월까지 재배를 쉬는 동안 토양 양분공급을 목표로 함.
- 경종농가에서는 관행적으로 사용하는 배합 비율(일반적으로 우분 1 : 계분 2)로 업자에게 주문하면 수집·운반업체는 배송하고, 경종 농가에서 현장에서 장비업자(포크레인, 퇴비 살포기)를 통해 배합하여 농경지에 살포하고 있음.
 - 미부숙된 상태의 퇴비는 곰팡이 등 병해충이나 외래종 잡초 등이 발생할 수 있어 완전 후숙이 필요하며 경종농가에서도 함수율이 높은 퇴비는 기피하고 있음. 따라서 수집·운반업체가 퇴비 품질을 사전에 점검한 후 운반함.
 - 퇴비 살포 기간의 수집·운반은 평균적으로 1일 3회이며 연 단위로 계산하면 약 1,000대 규모임. 그중 600대는 계분, 400대는 우분임. 15톤 트럭으로 400대 분량의 우분을 살포하면 200ha인 약 60,000평 살포가 가능함. 평당 한우퇴비를 5.3kg 정도 살포하는 것으로 볼 수 있음(예로서 한우 60,000두일 경우 3,000ha(약 9백만 평) 살포 가능함).
 - 한우 2,000두 퇴비 반출량이 15톤 트럭으로 400대일 경우, 한우 5두 당 15톤 트럭 1대 정도의 양이 발생함(15톤 트럭은 약 130m³임).
 - 따라서 한우 60,000마리를 사육하는 횡성의 경우, 퇴비를 처리하기 위하여 15톤 트럭으로 약 12,000대의 수요가 추정되며, 최소 3개의 한우퇴비 전문 수집·운송업체가 있으면 한우퇴비 전량을 경종농가로 보급 가능할 것으로 예상됨.



그림62 수집·운반업체 중심의 우분 퇴비 이용 경축순환 사례

5) 양돈농가 여과액비의 시설재배 추비 이용 중심

- 횡성군 안흥면에서 양돈농장을 운영중인 배O건 농가 외 양돈농가 3농가(총 4농가)는 횡성군 관내 토마토 중심의 경종(시설재배)농가에 발효액비를 공급하고 있음('17년~'22년).
- 횡성군 내 시설재배 농가들은 민간 농축산전문컨설팅 업체(횡성 농업기술센터 지원)의 컨설팅을 받고 있으며, 이들 농가들은 액비저장조 및 관수시설을 설치·운영하여 양돈농가로부터 제공받은 발효액비를 지하수에 희석하여 추비용으로 작물에 공급하고 있음.
- 본 모델은 시설재배 연속 작과작물(토마토, 파프리카, 가지 등)의 관비재배에 화학비료를 대체하는 것을 핵심 목적으로 하고 있음. 추후 시설재배 농가 입장에서 추비용 정제액비의 효용과 화학비료 대체가능성 및 경영비절감 효과를 검토가 필요함.
- 현재까지 검증된 효과는 개별 자원순환 농장을 활용하여 안정적인 공급기반 확보를 포함하여 기비 위주(농한기 논·밭에 액비 살포)의 계절적 한계를 해소하고 연중 이용체계를 구축하여 경축순환농업을 활성화(연중 안정적인 액비 수요를 창출) 하는 것임.



추비용 여과액비 저장시설



수비용 여과액비 시설재배 이용

그림63 양돈농가 여과액비의 시설재배 추비 이용 중심

다. 소단위 완전순환형 경축순환 사례-추비용 여과액비 이용 체계 분석

1) 횡성군의 여과액비 공급시설 지원 정책사업

- 횡성군 가축분뇨 공공 처리시설 관리 및 운영 조례(강원도 횡성군 조례 제2336호)는 2017년 4월 20일부터 시행되어 오고 있음. 이 조례에 근거하여 횡성군은 2018년부터 여과액비 공급시설 지원사업을 진행해오고 있음.
- 개소당 지원사업비는 3,000천 원이며 70%는 군비로 지원하고 30%는 농가 자비로 설치되고 있음. 지원사업은 여과액비 저장탱크(10m³), 여과액비 희석탱크(1m³), 수중펌프(0.5HP), 에어펌프(60L/min), 액비 공급 고압호스(75mm/32mm), 그리고 폭기 부자재 등으로 구성되어 있음.

표228 횡성군 여과액비 공급시설 지원 사업

구분	세부내역	유의사항
○ 기준단가	○ 3,000천 원/기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 횡성양돈협회 소속 액비유통영농조합법인의 여과액비를 정기적으로 수급 ○ 반드시 토양검정을 하고 재배작물별 비료사용처방서를 발급받아 활용
○ 사업비 구성	○ 군비 70%, 자비 30%	
○ 지원 물품	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여과액비 저장탱크 10m³, 1개 ○ 여과액비 희석탱크 1m³, 1개 ○ 수중펌프: 0.5HP, 1개 ○ 에어 펌프: 60L/min, 1개 ○ 액비 공급 고압호스 - 75mm/32mm ○ 폭기 부자재 등 	



시설원에 농가의 여과액비 탱크 설치 모습



시설재배 농가에 여과액비 이용 컨설팅

그림64 횡성군 시설원에 농가에 여과액비 탱크 설치 및 이용 컨설팅

- 본 시설을 지원받은 시설원예 농가는 횡성양돈협회 소속 액비유통 영농조합법인으로부터 여과액비를 정기적으로 수급받아야 하며, 반드시 토양검정에 근거한 비료사용처방서를 발급받아 사용해야 함.
- 횡성군의 여과액비 공급지원 사업이 완료되면, 사업완료 신고서, 청구서, 정산서, 사업자등록증, 견적서, 납품내역서, 전자세금 계산서, 입금증빙서, 납품사진을 횡성군청에 제출함. 횡성군청에서는 농정보조사업 시스템에 입력함.

표229 횡성군의 여과액비 공급지원 사업 완료 시 제출 서류

제출 서류명(체크리스트)	비고
① 사업완료 신고서, ② 청구서, ③ 정산서	산업팀에서 작성
④ 사업자 등록증, ⑤ 견적서	공사업체
⑥ 납품내역서, ⑦ 전자세금 계산서, ⑧ 입금증빙서, ⑨ 납품사진	보조사업자, 업체

2) 횡성군의 여과액비 활용 정책과 기술 협력

- 횡성군에서는 지역 특산물인 토마토와 파프리카 등 시설재배 농가를 대상으로 가축분 액비사용 기술컨설팅 사업이 추진되고 있음. 횡성군청 축산지원과는 2018년부터 2023년 현재 여과 액비 생산과 운송 사업을 수행하고 있으며, 횡성군 농업기술센터는 농가 대상 토양검정을 실시하여 필지별 비료사용처방서를 발급하는 한편, 2023년에는 여과액비를 활용한 기술보급 블렌딩 협력모델 사업으로 농가의 액비활용 지원사업을 수행하고 있음.
- 한돈협회 횡성군 지부에서는 여과액비를 생산하고 시설재배 농가 포장에 설치된 액비탱크로 운송 사업을 하고 있음. (주)한바이오는 시설재배 농가의 필지단위 비료사용처방서를 기준으로 액비와 무기질 비료를 이용한 웃거름 사용 컨설팅 사업을 담당하고 있음.

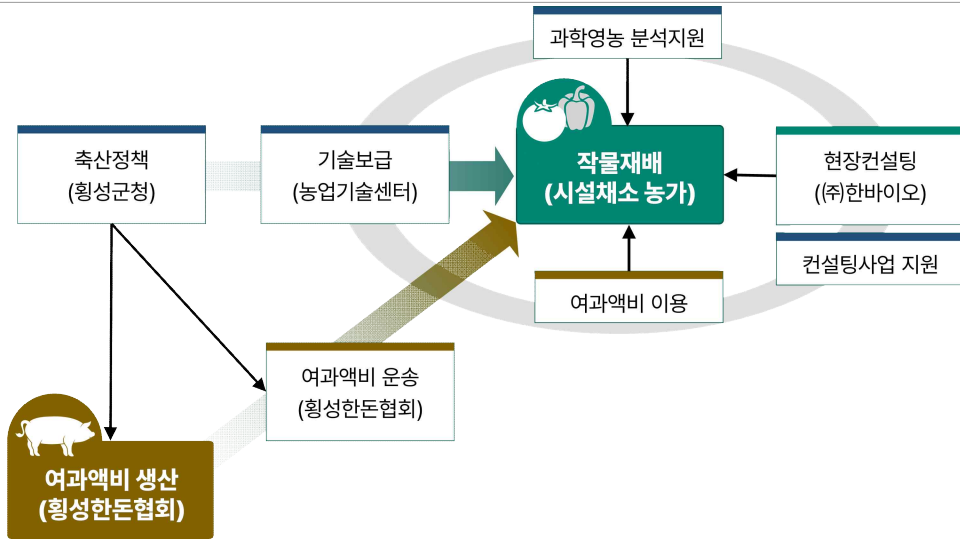


그림65 횡성군 여과액비 활용 협력추진 사업 체계

3) 횡성지역 액비의 발생량과 소비량('20~'22, 횡성한돈협회)

- 연간 분기별 액비의 발생량은 766.700m³~916.7m³이었으며 여름철인 7~9월의 발생량이 가장 적었음. 연간 분기별 액비의 소비량은 742.7m³~1,042m³이었으며, 여름철인 7~9월의 소비량이 가장 적었음.
- 대개 농작물이 재배되지 않는 가을~봄철에 액비 소비량이 많지만, 농작물이 재배되고 있는 여름철에는 소비가 없음. 여름철 쌓이는 액비를 보관하기 위해서 저장탱크의 용량을 늘리려 애쓰는 경우가 많으며, 이는 액비가 노지 작물의 밑거름 중심으로만 살포되고 있기 때문임.
- 횡성지역에서는 농작물이 재배중인 7월~9월 중에도 액비의 연간 소비량은 2020년 760m³, 2021년 734m³, 2022년 734m³로 평균 766.7m³로 나타남. 이 물량은 1~3월 소비량의 71.3%, 4~6월 소비량의 90.5%, 10월~12월 소비량의 95.0%로 수준임. 이는 액비가 농작물의 밑거름은 물론 웃거름으로도 사용되고 있기 때문임.
- 2020년 1월~3월의 발생량과 소비량이 특이하게 많았거나, 2022년 1월~3월 발생량이 0으로 집계된 이유는 해당 분기의 직전 분기에 발생량과 소비량이 반영되었기 때문임.

표230 황성군의 액비 발생량과 소비량(2020~2022, 황성한돈협회)

물량(톤)	연도	1~3월	4~6월	7~9월	10~12월	합계
발생량 (A)	2022년	0	960	900	750	2,610.0
	2021년	600	558	500	1450	3,108.0
	2020년	2,150.0	1,100	900	500	4,650.0
	합계	2,750.0	2,618	2,300	2,700	10,368.0
	연평균	916.7	872.7	766.7	900.0	3,456.0
소비량 (B)	2022년	550	948	734	650	2,882.0
	2021년	532	498	734	1,462	3,226.0
	2020년	2,044	1,014	760	234	4,052.0
	합계	3,126	2,460	2,228	2,346	10,160.0
	연평균	1,042	820.0	742.7	782.0	3,386.7
물질수지 (A-B)	2022년	-550	12	166	100	-272.0
	2021년	68	60	-234	-12	-118.0
	2020년	106	86	140	266	598.0
	합계	-376	158	72	354	208.0
	연평균	-125.3	52.7	24.0	118.0	69.3

4) 황성군 농가 액비 공급 정책사업 성과 평가

- 2018년부터 2023년까지 황성군청과 황성군농업기술센터에서 액비 공급사업 예산 및 농가 보급 액비저장시설 보급 대수를 조사한 결과, 개소당 지원금은 2018년에는 20개의 저장 시설을 보급하는데, 40 백만 원의 예산을 집행하여 개소당 2.0백만 원의 사업비로 시작함. 23년 기준으로 6년간 202 백만 원의 사업비를 투입하여 73개의 저장조가 보급되었음.
- 황성군청 축산지원과에서 시작한 액비 공급정책 사업은 6년간 꾸준히 진행되었고, 기술 컨설팅에 대한 수요가 늘어남에 따라 농업기술센터의 사업 예산이 늘어남. 2023년 액비 공급사업비는 축산지원과가 6.3백만 원, 농업기술센터 기술보급과가 42.7백만 원이었음.

표231 황성군의 농가 액비 공급정책 사업 예산과 저장조 보급 대수

구분	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	합계
사업비(백만 원)	40	30	10	28	45	49	202
보급된 저장조 (셋트)	20	16	6	6	13	14	73

- 황성군 관내에서 2018년부터 2023년까지 시설재배 농가에 73조의 액비 저장조가 보급되었음. 각 액비 저장조의 크기는 11m³(보관조 10m³, 혼합조 1m³)이며, 액비 저장조의 연간 회전율은 4.07회로 나타남. 이를 기준으로 시설원에 농가에서 연간 소비된 액비물량은 3,268m³으로 조사됨. 이 물량은 연간 액비 발생량(3,456m³)의 95.1%에 해당하며, 연간 액비 소비량(3386.7m³)의 97.0%에 달함.

표232 시설원에 농가에서 액비 이용량(2023년 7월 기준)

액비 저장조 보급개수	액비 저장조 용량 ¹⁾	액비 저장조의 회전율 ²⁾ (회/년)	액비의 연간 소화 물량
73개	11m ³ /회	4.07회/년	3,268(m ³ /년) (73×11m ³ /회×4.07회/년)

주: 1) 탱크용량: 액비보관조(10m³) + 액비희석조(1m³)

2) 황성군 한돈협회의 2022년 농가별 공급물량과 횟수를 기준으로 산정

5) 황성군 액비처방서 발급 현황

- 황성군 농업기술센터에서는 액비사용처방서를 2020년 217건, 2021년 62건, 2022년 217건을 발급하였음. 벼와 기타 식량작물 재배농가는 여과되지 않은 액비(비료공정규격상 가축분발효액)를 사용하고, 과채류와 엽채류, 과수 재배 농가는 여과액비(비료공정규격에는 없음)를 사용하고 있음.
- 2020년부터 2022년 사이 황성군 관내에서 일반 발효액비 액비처방서는 벼 59.5%와 기타 식량작물 3.2%를 합한 62.7%임. 반면에 여과액비 액비처방서는 과채류 178건(35.9%), 엽채류 4건(0.8%), 과수류 0.6% 37.3%로 나타남.

표233 황성군 액비처방서 발급 현황('20~'22년, 황성군농업기술센터)

연도	벼	기타 식량작물	과채류	엽채류	과수류	계
	일반 발효액비 사용		여과액비 사용			
2020	157	12	42	4	2	217
2021	31	4	26	0	1	62
2022	107	0	110	0	0	217
합계(비율, %)	188 (59.5)	16 (3.2%)	68 (35.9)	4 (0.8)	3 (0.6)	279 (100)

6) 액비 사용에 따른 농가의 비료값 절감 효과

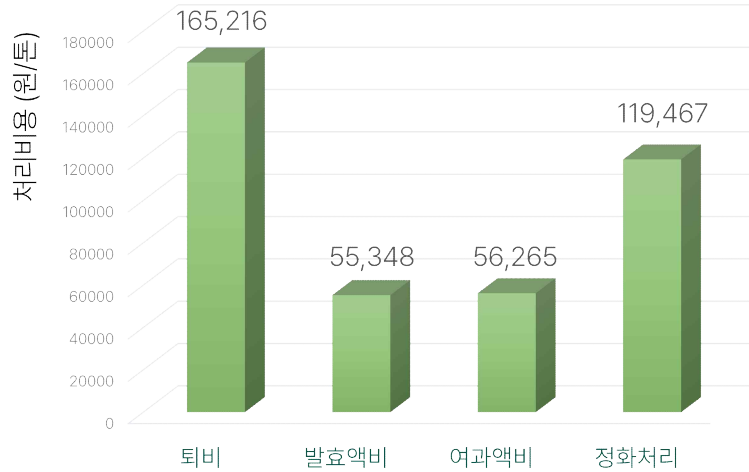
- 우크라이나 전쟁 발발하고 2022년 비료값은 전년 대비 1.5배 올라 농가 경영을 악화시키고 있음. 통계청에서 발표한 2022년산 논벼(쌀)의 10a당 순수익은 317,000원으로써 2021년의 502,000원과 비교하면 185,000원이 감소하였음. 이러한 순수익 감소는 비료값이 37,000원(71.4%)이나 오른 것이 결정적 요인임. 무상으로 사용할 수 있는 액비를 사용하는 것이 농가 경영비를 줄이는 방법이 되고 있음.
- 시설재배 농가가 사용하는 관주용 비료는 대부분 수입되고 있어서 고가임. 시설재배 농가에서 여과액비 사용에 따른 비료값 절감 효과는 재배하는 시설원에 작물 종류에 구입 비용 절감율은 95~98%로 비슷하였으나 작물별로 절감비는 다르게 나타났음.
- 작물별 비료 절감액은 토마토가 1,181천 원/10a로 가장 높았고, 파프리카는 841천 원/10a, 호박은 491천 원/10a로 나타남. 작물별로 사용하는 비료의 종류와 사용량이 다른 데에 기인한 결과로 보임.
- 황성군 여과액비 활용사업이 본격적으로 시작된 2018년부터 2023년까지 사업에 연평균 22.8 농가가 참여했고, 8.64ha의 시설재배지에 사용되었음. 연도별 사용 면적도 2018년 5.69ha, 2019년 9.6ha, 2020년 8.85ha, 2021년 8.27ha, 2022년 9.1ha, 2023년 10.3ha로 꾸준히 증가하고 있음.

표234 황성군 연도별 여과액비 사용 경종 농가수와 사용 면적

연도	참여 농가 수	사용 면적(ha)	경작 작물
2018	20	5.69	토마토, 오이, 파프리카
2019	28	9.6	토마토, 양상추, 파프리카, 옥수수
2020	25	8.85	토마토, 양상추, 포도, 옥수수
2021	17	8.27	토마토, 포도, 부추
2022	22	9.1	토마토
2023	25	10.3	토마토, 양상추, 부추,
평균	22.8	8.64	-

7) 가축분뇨 처리기술로서 액비화 기술의 경제성 평가

- 가축분 발효액인 액비는 1일 100m³ 생산시설을 기준으로, 퇴비는 1일 50m³ 생산시설을 기준으로 양돈분뇨 톤당 처리비용(생산비용)을 산정하였음.
- 톤당 처리비용은 퇴비생산이 톤당 165,216원으로 가장 비쌌는데, 수분조절재인 톱밥의 구입비가 많고 여기에 시설 운전비용이 추가된 요인임. m³당 정화처리비는 119,467원이었고, 발효액비는 m³당 55,348원, 여과액비는 56,265원의 생산비가 발생하였음.
- 가축분뇨를 액비로 만든 다음 액비를 여과처리한다고 해도 추가 비용은 m³당 917원에 불과한 것으로 나타남. 여과액비 생산비는 정화처리비보다 m³당 63,202원 즉, 47.1%의 비용으로 처리가 가능한 것으로 나타남.



산출근거: 서울대

그림66 가축분뇨 처리 종류에 따른 처리(생산)비 비교

8) 횡성군 액비활용 정책사업의 비용과 편익 분석

- 횡성군의 여과액비 활용에 따른 투입비용(Cost)은 118,667천원으로 나타남. 2018년부터 2023년까지 202,000천 원의 사업비로 시설채소 재배농가에 73개의 액비 저장조를 보급하였음. 액비 운송사업비로 횡성한돈협회에 연간 30,000천원의 사업비와 액비 사용 농가 대상 기술 컨설팅 사업비로 (주)한바이오에 20,000천원의 사업비를 집행하였음. 이와 더불어 시간당 2.5m³의 액비 여과기 설치비로 35,000천원을 집행한 결과로 산정됨.
- 여과액비 활용에 따른 편익(Benefit)은 정화처리 대비 199,807천원으로 나타남. 시설재배 농가의 비룻값 절감액이 2023년 10.3ha 기준을 적용하여 72,400천원이었으며, 정화처리 보다 120,407천 원의 편익이 발생되었음. 여기에 축산농가의 환경개선 편익과 전국 공동자원화 시설에서 흔히 겪고 있는 저장 탱크 증설 문제가 발생하지 않는 + α의 편익도 컸을 것임.
- 결과적으로 횡성군의 여과액비 공급사업의 편익(Benefit) 대비 비용(Cost) 비율은 1.68로 나타났고, 추후 축산농가 환경개선 편익과 공동자원 시설운영개선에 대한 편익이 가산된다면, B/C 비율은 한층 높게 산정될 것임.

표235 횡성군 연도별 여과액비 사용 경종 농가수와 사용 면적

비용요소	비용(천원/년)	편익 요소	편익(천원/년)	비고
액비통 설치비	33,667	비룻값 절감 (8.6ha 기준)	72,400 ¹⁾	2018~2023년 총비용을 이용, 연평균으로 산정
컨설팅 사업비	20,000	정화처리 대비 비용 절감	127,407 ²⁾	
액비 여과기 (2022)	35,000	축산농가 환경 개선	+ α	
액비 운송	30,000	공동자원화 시설 운영개선	+ α	
합계	118,667 (Cost)	합계	199,807 + α(Benefit)	

주: 1) 8,380천 원/ha × 8.64ha = 72,400천 원

2) 액비 소비량(2344.7m³/년) × (정화처리비, 119,467원/m³ - 액비화, 56,265원/m³) = 127,407천 원/년

9) 횡성지역 여과액비 사용 농가(n=22) 대상 설문조사

- 2023년 사업에 참여한 25개 농가 중에서 22개 농가를 대상으로 설문조사를 실시함.

가) 여과액비 사용 기간

- 여과액비를 사용하는 농가는 4~6년 사용 농가가 54.5%로 가장 많았고, 처음 사용하는 농가는 22.7%, 1~3년 사용 농가는 18.2%였으며 10년 이상 사용한 농가도 있는 것으로 조사됨.

나) 무기질비료와 여과액비 사용에 따른 수량 차이

- 액비를 사용했을 때 수량의 증감에 대한 농가 반응을 보면, 액비를 사용해도 무기질 비료 사용과 수량이 비슷하다는 반응이 68.2%에 달했고, 10% 증수도 13.6%에 달했음. 반면에 10% 감소했다는 농가 응답은 13.6%였고 20% 감소했다고 응답한 농가도 4.5%로 나타남.

다) 여과액비 사용 목적

- 여과액비를 사용하는 이유로는 비룻값 절감이 90.9%로 가장 많았고, 농산물 판매 확대는 9.1%로 나타남. 축산환경문제 해결을 이유로 하는 농업인은 한 명도 없었음.

라) 농업기술센터의 액비사용처방 서비스에 대한 만족도

- 액비사용처방 서비스에 대한 농업인들은 63.6%가 잘 모르겠다는 반응이었고, 매우 만족과 만족은 각각 18.2%로 나타남. 현재 시·군 농업기술센터 서비스는 액비사용 처방서 발급으로 경우가 많음. 농업인들이 자기 농지에서 액비사용처방 결과를 활용하는데 농업기술센터의 서비스는 미흡한 부분이 많다는 것을 나타냄.

마) 여과액비 사용에 따른 비료절감 효과

- 여과액비 사용으로 50~100만 원의 비료값이 절감된다고 응답한 농업인들은 81.8%로 나타남. 200만 원 이상 또는 100만 원~150만 원의 비료값이 절감됐다고 응답한 농업인은 4.5%였으며, 50만 원 이하 절감되었다고 응답한 농업인들은 9.1%로 나타남.

바) 여과액비 관련 우려사항

- 여과액비 사용 농가들의 향후 우려 사항을 설문조사한 결과, 여과액비 사용 농업인들은 액비의 공급부족을 우려하는 응답이 77.3%였고, 액비의 품질 악화를 우려하는 응답은 18.2%, 여과 액비 구입비 발생을 우려하는 응답은 4.5%로 나타남.

표236 황성지역 여과액비 사용 농가(n=22) 대상 설문조사

구분	응답(%)	
가. 여과액비 사용 기간	10년 이상	4.5
	7~9년	0
	4~6년	54.5
	1~3년	18.2
	처음사용	22.7
나. 여과액비 사용에 따른 재배 수량의 변화	비슷함	68.2
	5% 증가	4.5
	10% 증가	13.6
	20% 증가	0
	10% 감소	13.6
다. 여과액비의 사용 목적	20% 감소	4.5
	농산물 판매확대	9.1
	비료값 절감	90.9
라. 액비사용처방 서비스 만족도	축산환경문제 해결	0
	매우만족	18.2
	만족	18.2
	잘 모르겠음	63.6
마. 여과액비 사용에 따른 재배 비료값 절감	불만족	0
	200만원 이상	4.5
	150~200만원	0
	100~150만원	4.5
	50~100만원	81.8
바. 여과액비 관련 우려사항	50만원 이하	9.1
	여과액비 품질 악화	18.2
	여과액비 구입비 발생	4.5
	여과액비 공급 부족	77.3

5. 소단위 완전순환형 경축순환 모델 실증 재배시험

가. 여과액비를 활용한 브로콜리 재배시험

1) 재료 및 방법

- 시험포장은 강원도 횡성군 안흥면 안흥리 1102-5번지로서 배수가 약간 불량한 가천통 토양임. 10a당 5,430주의 브로콜리를 2023년 3월 7일 정식하였음.
- 시험전 토양의 유기물 함량은 33 g/kg, 전기전도도는 1.1 dS/m로서 적정범위였으나, pH는 7.0, 유효인산은 1,126 mg/kg, 칼륨함량은 1.13 cmol(+)/kg, 칼슘은 9.9 cmol(+)/kg, 마그네슘은 2.2 cmol(+)/kg으로 적정치보다 높았음.
- 여과액비의 화학성분을 보면 양분함량은 pH는 7.81, EC는 9.19dS/m, N 986.04mg/L, P 69.48mg/L(P2O5 363.9mg/L), K 1,479.32mg/L(K2O 2,130.2mg/L)로 나타남. 그 외 NH₄-N은 146.63mg/L, NO₃-N은 268.83mg/L였으며, Ca 100.19mg/L, Mg 163.31mg/L, 유기물 함량은 0.54%, As, Cd 등 중금속은 기준치 이하로 나타남.

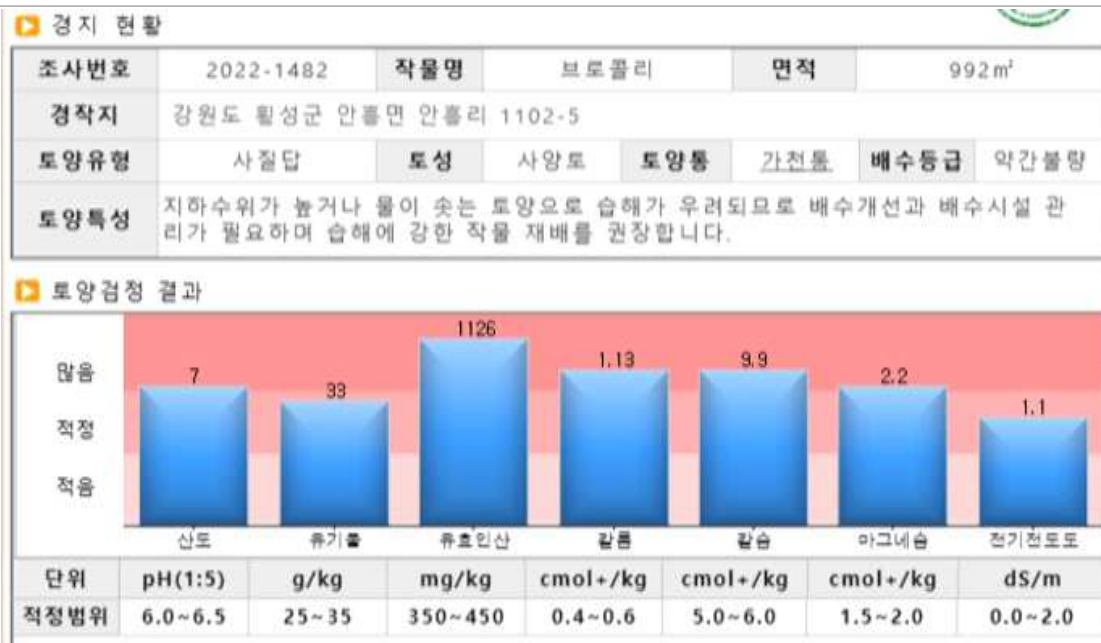


그림 67 브로콜리 시험 재배지의 토양검정 결과

표237 브로콜리 시험에 사용된 여과액비의 성분함량

구분		분석결과
T-N	(mg/L)	986.04
NH ₄ -N	(mg/L)	146.63
NO ₃ -N	(mg/L)	268.83
T-P	(mg/L)	69.48
K	(mg/L)	1479.32
Ca	(mg/kg)	100.19
Mg	(mg/kg)	163.31
Na	(mg/kg)	364.69
Cl	(mg/kg)	1236.79
NaCl	(%)	0.09
SO ₄	(mg/kg)	668.87
B	(mg/kg)	3.44
Fe	(mg/kg)	26.77
Mn	(mg/kg)	불검출
Mo	(mg/kg)	1.12
Al	(mg/kg)	7.48
As	(mg/kg)	0.55
Cr	(mg/kg)	0.45
Hg	(mg/kg)	불검출
Pb	(mg/kg)	불검출
Cu	(mg/kg)	불검출
Zn	(mg/kg)	0.54
Ni	(mg/kg)	0.05
pH[원액]		7.81
EC[원액]	(dS/m)	9.19
TS	(mg/L)	6434.76
수분	(%)	99.37
유기물	(%)	0.54
유기물대질소비		5.51

- 처리내용은 재배 시험포를 토양화학성을 분석한 다음 이를 기준으로 관주용 비료(멀티피드 20-20-20)와 여과 액비 시용량을 설정하였음. 무기질 복합비료(상표명: 멀티피드) 시용은 농가관행에 따라 10a당 총 32.6kg의 비료(N 6.52kg/10a, P₂O₅는 6.52kg/10a, K₂O 6.52kg/10a를 13회 나누어 주었음.
- 여과액비 시용량을 산정함에 있어서 질소 소요량은 비료사용처방산식(이덕배 외, 2019. 작물별 비료사용처방 4차 개정본, 농촌진흥청, 국립농업과학원)에 따름. 즉, $y = 23.908 - 5.987 \times 1.1(\text{토양 EC})$ 로 계산한 결과, 17.3kg으로 산정됨. 여기에 농가가 밭거름으로서 유기질 비료인 헤모왕 (계분 77%, 혈분 5%, 기타 18%) 150kg/10a이 시험 전에 투입됨에 따라(헤모왕 유래 질소 투입량은 $5.25\text{kg}(150\text{kg}/10\text{a} \times 3.5\% - \text{N} = 5.25\text{kg} - \text{N})$) 시험포에 사용할 수 있는 질소량은 17.3kg에서 5.25kg을 뺀 12.05kg 이었으며, 이 추천량의 80%인 9.64kg/10a을 산정하였음.
- 여과액비는 농가의 양분과 수분 관리 관행에 따라 2023.4.8.~5.18 사이 13회 분할 공급하였고 총 10a당 5,000L를 13회 나누어 주었음.
- 액비는 일반적으로 칼리함량이 다소 높음. 액비를 5,000L를 투입한 결과 액비 유래 K₂O의 공급량은 무기질 비료 유래 K₂O 투입량보다 2.36kg이 더 투입되었지만, 질소 투입량은 4.93kg/10a로써 무기질 비료 대비 1.59kg이 덜 투입되었고, 인산 투입량은 0.81kg/10a로써 무기질 비료 대비 5.71kg이 덜 투입되었음. 액비 자체만을 활용하는 시험으로 더 이상 액비투입량을 늘리지 않았음.

표238 브로콜리 재배에서 여과액비 유래 질소, 인산, 칼리 투입방법

멀티피드 (20-20-20)	복비사용량 (kg/회)	투입 횟수	복비 사용량 (kg/10a)	사용량(kg/10a)		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
4.8~4.14	1.6	3	4.8	0.96	0.96	0.96
4.17~4.21	2.4	2	4.8	0.96	0.96	0.96
4.25~4.26	2.5	2	5.0	1.00	1.00	1.00
4.28~5.18	3	6	18.0	3.60	3.60	3.60
계	-	13	32.6	6.52	6.52	6.52

여과 액비	액비살포 (L/회)	투입 횟수	액비투입량 (L/10a)	사용량(kg/10a)		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
4.8~4.14	300	3	900	0.89	0.14	1.60
4.17~4.21	400	2	800	0.79	0.14	1.42
4.25~4.26	400	2	800	0.79	0.13	1.42
4.28~5.11	400	5	2000	1.97	0.32	3.55
5.18	500	1	500	0.49	0.08	0.89
계	2000	13	5000	4.93	0.81	8.88

2) 시험결과

- 여과액비와 무기질 비료(상품명 멀티피드, 20-20-20)로 재배했을 때 브로콜리의 생산량을 조사한 결과, 비료종류별 생산물량은 무기질 비료 사용구는 667㎡에서 114상자(상자당 약 19kg)가 생산된 반면, 여과액비 사용구는 104상자에서 111상자가 생산되었음.
- 무기질 비료사용 대비 액비 사용으로 91.2%~97.4%의 농산물 생산성을 나타냄.

표239 브로콜리 상품과 생산량 (상자, 1상자 무게 ≍ 19kg)

수확 일자	무기질 비료 (멀티피드)	여과액비 A동	여과액비 B동
5.17	2	3	3
5.18	4	4	4
5.19	12	7	14
5.21	14	15	14
5.22	9	11	9
5.23	12	12	14
5.24	6	4	3
5.25	16	14	13
5.26	10	11	11
5.28	15	12	13
5.29	7	7	6
5.30	5	4	4
5.31	2	-	3
계(상자)	114	104	111
수량지수	100%	91.2%	97.4%

- 여과액비와 무기질 비료로 브로콜리를 생산했을 때 경제성을 비교 평가함. 비교 평가 조건은 농가 입장에서 경운·로터리 작업, 관비 공급 작업, 수확 정선 작업은 두 처리 간 차이가 없다고 가정하였음. 또한 액비탱크 설치와 액비운송료 등은 농가가 별도로 부담하지 않기에 비교 대상에서 제외하였음. 두 처리간 관비공급 작업비용도 비교 대상에서 제외하였음.
- 농가에서 667m² 당 브로콜리 생산에 사용한 무기질 비료는 32.6kg으로서 구입비는 208,640원으로 나타남. 여과액비는 농가가 무료로 사용하기 때문에 구입비가 없음. 브로콜리는 상자당 20,000원에 판매되어, 무기질 비료 사용구의 조수익은 667m²당 2,280천원으로 나타남. 따라서 무기질 비료사용구의 수익은 2,071,360원(2,280,000원-208,640원)이었음.
- 여과액비 사용구의 667m²당 조수익은 2,080천 원과 2,220천 원으로 나타남. 이 같은 결과를 볼 때 여과 액비 사용구의 수익은 무기질 비료 사용구 대비 8,640원~148,640원이 높은 것으로 나타남. 향후 여과 액비에 부족한 비료성분을 보충해주는 방식으로 브로콜리를 재배하면서 경제성을 산정할 필요가 있어 보임.

표240 여과 액비를 이용한 브로콜리 생산에서 경제성 평가

구 분	무기질 비료 사용	여과 액비 사용
비룻값(B)	208,640	-
브로콜리	2,280,000	2,080,000 (104상자 수확)
판매액(A)	(20,000원/상자)	2,220,000 (111상자 수확)
수익(A-B)	2,071,360(C)	2,080,000~2,220,000(D)
경제성	D-C = 8,640원~148,640원/10a	

- ① 무기질비료 구입비: 208,640원
= [160,000원(155,000원/25kg(구입) + 5,000원(배송))] × 32.6kg
- ② 무기질 비료사용 시 브로콜리 판매액(114상자 수확: 2,280,000)
- ③ 여과 액비 사용 수익 = 2,080,000원(104상자 수확)~2,220,000(111상자 수확)

나. 바이오액비(클로렐라)와 여과액비+퇴비차(compost tea)를 활용한 브로콜리 재배시험

- 1) 재료 및 방법
 - 시판용 화학비료와 비교하여 작물 재배에 있어 여러 이점을 제공하는 여과액비에 클로렐라를 배양한 바이오액비와 여과액비+퇴비차를 혼합한 액비의 시용이 작물의 생육 및 생리적 반응에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 횡성에 있는 시설재배 농가(37°24'22"N 128°08'46"E)에서 진행됨.
 - 시판용 화학비료 처리구는 멀티피드 (Multifeed 20-20-20)를 이용하였으며, 비료의 성분은 질소전량 20%, 인산 20%, 가리 20%, 철 0.05%, 망간 0.03%, 붕소 0.03%, 아연 0.0075%, 구리 0.006%, 몰리브덴 0.003%를 총 13회에 걸쳐 32.6 kg를 시비함.
 - 바이오 액비에 사용된 클로렐라(*Chlorella fusca*)는 대한민국 전주 소재 국립농업과학원에서 입수하여 10⁷ 세포/mL의 농도로 여과액비에 넣고 인큐베이터에는 빨간색과 파란색 빛(16시간/8시간 주야간 주기)과 0.1 m³ air/m³·분 공기 공급을 갖춘 LED 모듈(FNB-240LED; F&B Nature, Chungju, Korea)로 구성되었으며 평균온도 28℃에서 배양함. 또한, 배양된 배지를 관형 연속 원심분리기(J-1050A; Hanil Sci-Med, Chungcheongbuk-do, Korea)를 사용하여 12,000 xg에서 여과하여 LBF를 얻었으며 이때 EC값은 1.5 mS/cm임.

- CT+LF 처리구는 퇴비 2 kg을 부직포망에 넣어 air pump호스에 돌을 넣고 용기에 잠기도록 하였다. 용기에 여과액비를 200 L를 채운 후 설탕 2 kg을 추가하였으며 퇴비차 2 L를 녹여서 48~72시간 경과후 사용함. LBF 처리구와 CT+LF 처리구는 CF처리구의 질소 기준에 맞춰 액비를 시비함.
- 시설재배 농가 토양의 화학적 성상분석은 통계적 유의성은 R package Agicolae을 이용하여 Duncan의 다중범위검정법 (Duncan's new multiplerage test)을 통해 통계처리 하였으며, 평균제곱오차를 고려해 평균값을 5% 유의수준에 비교하였음. 하우스 농가 토양의 화학적 성상은 다음과 같음.

표241 여과 액비를 이용한 브로콜리 생산에서 경제성 평가

구분	화학비료	바이오액비(클로렐라)	퇴비차(compost tea)
pH[1:5]	7.5±0.06a	7.5±0.12a	7.4±0.25a
OM (g/kg)	32.7±1.53a	33±2.00a	32.3±2.89a
Av. P (mg/kg)	1027.3±69.55a	995±50.39a	930±39.04a
K (cmol(+)/kg)	1.29±0.14a	0.8±0.40a	1.11±0.45a
Ca (cmol(+)/kg)	9.9±0.67a	7.5±1.48a	8.7±1.04a
Mg (cmol(+)/kg)	2.3±0.47a	2.3±0.31a	2.7±0.35a
EC (dS/m)	1.1±0.85a	1.1±0.49a	2.6±2.69a

- 브로콜리 생육조사는 초장, 엽장, 엽폭, SPAD, 꽃봉오리의 직경, 수확량, 생체중, 건물중 총 8가지 항목으로 선정하였으며, 식물체 식재 후 15일차부터 3주에 한 번씩 생육조사를 진행함.



그림 68 결과 브로콜리 재배환경. (a) 브로콜리 재배 액비 왼쪽부터 클로렐라 배양 바이오액비, 여과액비, 퇴비차. (b) 브로콜리 하우스 (c) 브로콜리 하우스 전경

2) 시험 결과

- 조사결과에 따르면 초장은 71일 기준으로 다른 처리구에 비해 시판용 화학비료 처리구 (84.56 cm)에서 상당히 증가함. 엽장 및 엽폭의 경우 여과액비+퇴비차 처리구에서 15일 차 기준 각각 4.27 cm, 2.96 cm로 다른 처리구와 비교하여 가장 낮게 나타났으나 71일 차부터 엽장이 35.50 cm로 다른 처리구와 비교하여 가장 길었으며, 엽폭은 21.85 cm로 다른 처리구와 유의한 차이를 보이지 않음. 이는 마지막 단계에서 여과액비+퇴비차 의 긍정적인 효과를 보여줌. SPAD 함량은 50일까지 모든 처리구 간의 차이가 없었으나 71일 차에 시판용 화학비료 처리구의 값은 79.38로 가장 높게 나타남.
- 그러나 식용으로 이용되는 꽃봉오리의 경우 화학비료(7.7 cm), 바이오액비(클로렐라) (8 cm), 여과액비+퇴비차(7.3 cm) 세 처리구에서 유의성 있는 차이는 관찰되지 않음. 즉 식용되는 꽃봉오리 부위에 한해서 바이오액비와 여과액비+퇴비차가 시판용 화학비료 만큼의 성장을 보임.
- 생체중과 건물중의 경우 마찬가지로 세 처리구 간의 유의성 있는 차이는 보이지 않았으며 이는 유기액비인 바이오액비(클로렐라)와 여과액비+퇴비차가 화학비료 만큼의 작물 성장과 발육을 촉진할 수 있는 가능성에 대해 시사할 수 있음.

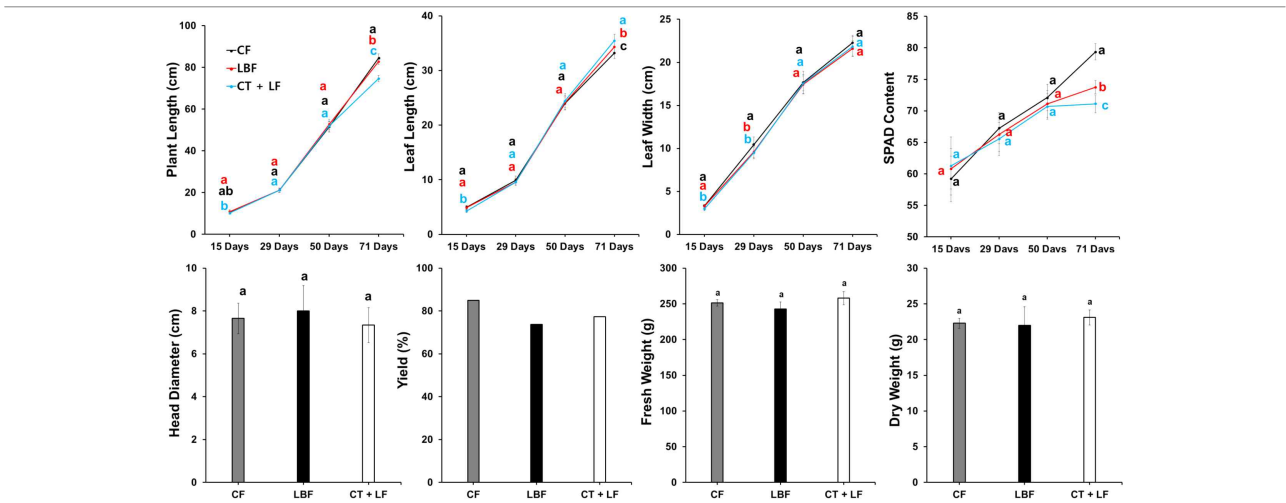


그림 69 바이오액비 및 여과액비+퇴비차의 사용에 따른 브로콜리의 생육적 차이

- 바이오액비(클로렐라)와 여과액비+퇴비차의 사용에 따른 브로콜리의 생리적 효과를 화학비료와 비교하기 위해 항산화 실험을 진행함. 항산화 분석은 총 6가지로 총 폴리페놀 함량, 플라보노이드 함량, DPPH 소거능, Reducing power, ABTS 소거능, 아질산염 소거능을 실험함.
- Total polyphenol, flavonoid 실험의 경우 표준물질을 이용하여 만든 standard curve(표준곡선)의 결과를 기반으로 함량을 구하여 데이터화 하였으며 총 폴리페놀 와 플라보노이드 이외에도 DPPH 소거능, ABTS 소거능 실험도 마찬가지로 표준곡선을 설정함. 표준곡선의 R의 값이 0.99이상 이 되게 하여 정량적인 실험이 이루어지도록 함.
- 항산화 분석결과 총 폴리페놀 함량(3.65, 3.66, 3.35 mg GAE/mL), 플라보노이드 함량 (18.26, 19.85, 16.72 mg QE/mL), Reducing power(1.67, 1.65, 1.32), ABTS소거능 (64.74%, 65.35%, 61.17%)이 시판용 화학비료 처리구, 바이오액비 (클로렐라)처리구, 여과액비+퇴비차 처리구 순으로 유의성 있는 차이는 보이지 않았음. 이는 바이오액비 (클로렐라)처리구 및 여과액비+퇴비차 처리구가 시판용으로 사용되고 있는 화학비료 처리구 만큼의 항산화 성분을 함유하고 있다는 것을 나타냄.

- 특히 DPPH 소거능과 아질산염 소거능의 경우 두 처리구가 화학비료 보다도 더 유의성있게 높은 소거율을 나타냄. DPPH 소거능의 값은 LBF가 39.77%, CT+LF가 36.37%, CF가 34.99%의 순으로 나타났으며 nitrite 소거능의 값은 CT+LF가 97.93%, LBF가 97.87%, CF가 97.74%의 순으로 나타남.
- 이러한 결과는 바이오액비에서 클로렐라가 DPPH 소거능에 미치는 영향, 정제액비+퇴비차에서 퇴비차가 아질산염 소거능에 미치는 영향에 대해 주목해볼 수 있다는 점을 시사함.

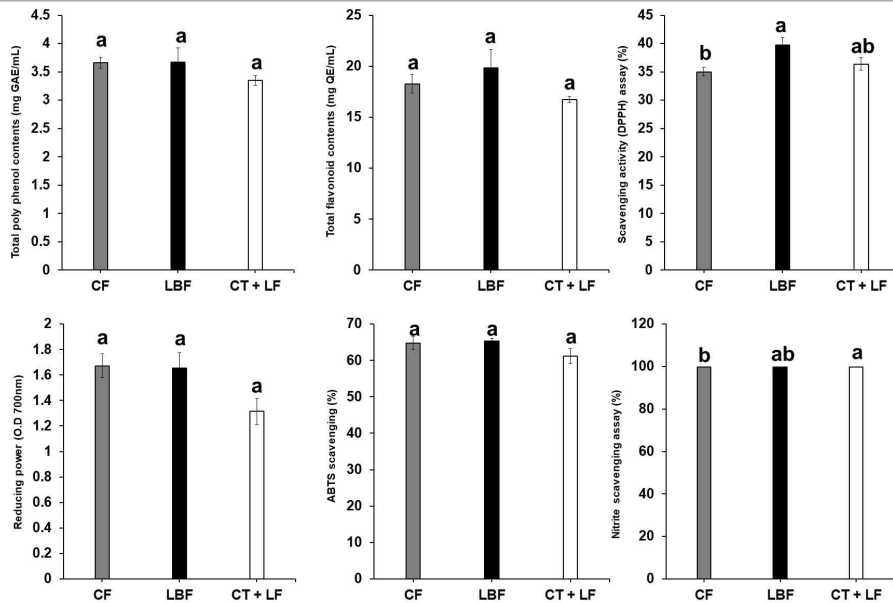


그림70 바이오액비 및 여과액비+퇴비차의 시용에 따른 브로콜리의 항산화 분석

- 바이오액비(클로렐라) 및 여과액비+퇴비차의 시용에 따른 브로콜리의 생리적 특성에 대해 알아보기 위해 항산화 실험 이외에 항염 실험을 추가적으로 진행함. 100 μ l 농도에서 CF, LBF, CT+LF 처리된 세포의 생존율은 각각 40.2%, 42%, 41.8%로 측정됨. 500 μ l 농도에서 CF, LBF, CT+LF 처리된 세포의 생존율은 각각 11.3%, 11.2%, 11.4%로 나타남. 항염 실험 결과 세 처리구 간의 유의성있는 차이는 발견하지 못했음. 바이오액비(클로렐라) 및 여과액비+퇴비차 처리구의 식물체 모두 화학비료를 처리한 식물체 만큼의 항염 능력을 보이는 것을 관찰함.

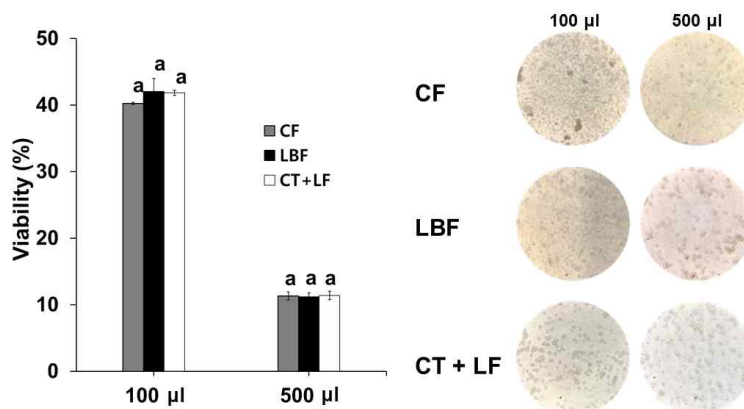


그림71 바이오액비 및 여과액비+퇴비차의 시용에 따른 브로콜리의 항산화 분석

다. 바이오액비(클로렐라)와 여과액비+퇴비차(compost tea)를 활용한 브로콜리 재배시험

1) 재료 및 방법

- 황성지방 단경기 억제재배 채소 농가는 매년 3월부터 6월까지 앞 작물을 생산하고 그 뒤 채소를 무가온으로 생산하고 있음. 본 시험은 황성군 우천면 양적리 582번지 농가 포장이며 배수가 약간 불량한 사양토의 가천통 토양이었음. 취청 오이묘를 2023년 7월 27일 10당 2,760주의 밀도로 심었음.
- 시험 전 토양의 유기물 함량은 26 g/kg, 전기전도도는 1.5 dS/m로서 적정 범위였으나, pH는 7.1, 유효인산은 1,148 mg/kg, 칼슘은 7.6 cmol(+)/kg, 마그네슘은 2.5 cmol(+)/kg으로 적정치보다 높았으나 칼륨 함량은 0.51 cmol(+)/kg로써 적정치보다 낮게 나타남.

조사번호	2022-1483	작물명	오이(시설)			면적	992㎡
경작지	강원도 황성군 우천면 양적리 582						
토양유형	사질담	토성	사양토	토양통	고천통	배수등급	약간양호
토양특성	지하수위가 높거나 물이 솟는 토양으로 습해가 우려되므로 배수개선과 배수시설 관리가 필요하며 습해에 강한 작물 재배를 권장합니다.						

▶ 토양검정 결과

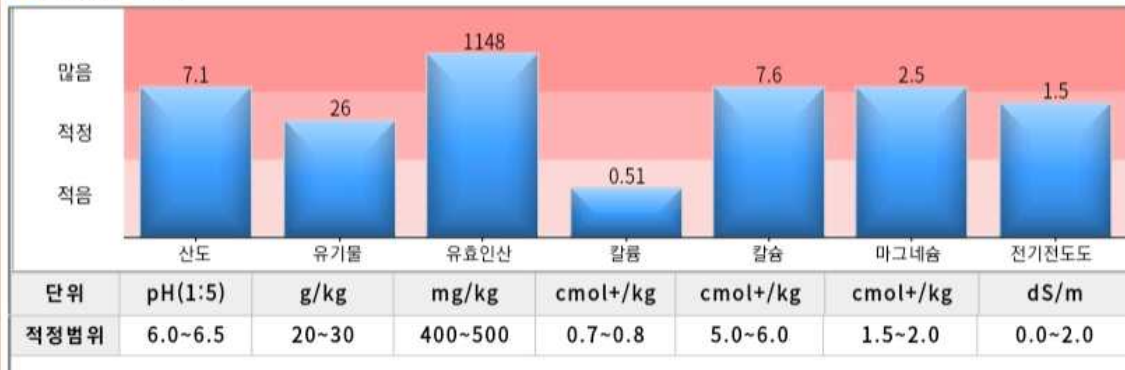


그림 72 오이 시험 재배지의 토양검정 결과

- 여과 액비의 화학성분을 보면 pH는 8.57, EC는 14.38dS/m, N 1,636.35mg/L, P는 46.2mg/L(P₂O₅ 105.8mg/L), K는 1,352.32mg/L(K₂O 1,622.8mg/L)였다. NH₄-N은 821.98mg/L, NO₃-N은 376.16mg/L, Ca은 85.43mg/L, Mg는 불검출, 유기물 함량은 0.11%, As, Cd 등 중금속 함량은 기준치보다 낮았다.
- 시기별 비료공급 방법을 보면, 비료 사용에서는 관행인 8.10~8.20 사이 NK 복비(상표명: 슈퍼콤비) 10kg을 5회 관주 공급하였고, NPK 복합비료인 멀티피드(20-20-20)를 8월 21일부터 8월 27일 사이에는 21kg을, 8월 28일~9월 7일 사이에는 55kg을, 9월 7일~9월 28일 사이에는 132kg을 관주 공급하였다. 이에 반하여 여과액비+화학비료 처리구는 8월 10일~8월 25일은 6.75m³의 액비를 투입하고, 8월 26일~9월 28일은 18m³의 액비를 투입하였으며, 여기에 MAP(Mono Ammonium Phosphate) 15kg을 관주 공급하였다.
- 비료 종류별 사용량은 무기질 비료 관비구는 10a당 멀티피드(N-P₂O₅-K₂O=20-20-20) 161.25kg + 슈퍼콤비(N-P-K=15-0-15) 37.5kg을 사용하였고, 액비 관비구는 10a당 여과액비 24.75m³과 제1 인산암모늄(Mono Ammonium Phosphate, N-P₂O₅-K₂O=12-61-0) 15kg을 투입함.

표242 오이 재배 시험에 사용된 여과액비의 성분함량

구분		분석결과
T-N	(mg/L)	1636.35
NH ₄ -N	(mg/L)	821.98
NO ₃ -N	(mg/L)	376.17
T-P	(mg/L)	46.18
K	(mg/L)	1352.32
Ca	(mg/kg)	85.43
Mg	(mg/kg)	불검출
Na	(mg/kg)	476.87
Cl	(mg/kg)	1057.57
NaCl	(%)	0.12
SO ₄	(mg/kg)	325.89
B	(mg/kg)	12.14
Fe	(mg/kg)	37.13
Mn	(mg/kg)	2.17
Mo	(mg/kg)	1.48
Al	(mg/kg)	불검출
As	(mg/kg)	불검출
Cr	(mg/kg)	불검출
Hg	(mg/kg)	불검출
Pb	(mg/kg)	불검출
Cu	(mg/kg)	1.41
Zn	(mg/kg)	15.95
Ni	(mg/kg)	불검출
pH[원액]		8.57
EC[원액]	(dS/m)	14.38
TS	(mg/L)	6729.07
수분	(%)	99.33
유기물	(%)	0.11
유기물대질소비		0.67

- 10a당 비료 성분별 투입량을 비교하면, 무기질 비료 관비구는 N 37.88kg/10a, P₂O₅ 32.25kg/10a, K₂O 37.88kg/10a를 투입하였고 여과 액비 + 제1 인산 암모늄 처리구는 N 42.45kg/10a, P₂O₅ 11.77kg/10a, K₂O 40.16kg/10a을 투입한 결과가 되었음.
- 10a당 비료투입량을 비교하면 여과 액비 + 제1 인산암모늄 처리구는 관행인 무기질 비료 관비구 보다 질소는 4.57kg, 칼리는 2.29kg이 더 투입되었지만, 인산은 20.48kg이 덜 투입되었음.
- 여과액비 처리구에서 10a당 N,P,K 투입량을 농가 관행 투입량과 비슷하게 맞추려고 하였지만, 관주 공급용 인산 단일비료가 없어서 부득이 제1 인산 암모늄(MAP)로 인산성분을 보충한 결과임.
- 오이 생육조사의 경우 총 9개의 항목(초장, 엽장, 엽폭, SPAD, 페티올, 줄기직경, 과실 수, 과폭, 과실 총 길이)으로 진행함.

표243 오이 재배에서 질소, 인산, 칼리 투입 횟수와 사용량

처리	구분	시기	10a 당 투입량	분시 횟수	성분별 사용량(kg/10a)		
					N	P	K
무기질 비료	슈퍼콤비 (15-0-15)	8.10~8.20	37.5kg	7	7.88	0.00	7.88
	멀티피드 (20-20-20)	8.21~8.27	21.0kg	7	4.20	4.20	4.20
		8.28~9.7	41.25kg	11	8.25	8.25	8.25
		9.7~9.28	99.0kg	22	19.80	19.80	19.80
합계			-	47	40.13	32.25	40.13
액비+ 무기질비료	여과 액비 (0.16-0.01-0.13)	8.10~8.25	6.75톤	15	11.05	0.71	10.95
		8.26~9.25	18.0톤	30	29.45	1.90	29.21
	MAP (13-61-0)	9.6~9.25	15.0kg	20	1.95	9.15	0
	합계			-	65	42.45	11.77

2) 시험 결과

- 여과액비 + 제1인산 암모늄 처리구는 무기질 비료 관비구와 비슷한 수량을 나타냄. 오이의 수량은 여과액비+ 제1인산 암모늄 처리구는 3,715kg/10a로서 무기질 비료 관비구 (3,726.8kg/10a) 대비 99.7%의 수량성을 나타내었음.
- 생육조사 결과 엽폭을 제외한 모든 항목에서 유의성있는 차이를 보였으며 화학비료가 유의미하게 높은 수치를 나타내는 것을 관찰함. 가장 차이가 큰 순서대로 초장, 엽장, SPAD, 페티올, 과실 총 길이 그리고 과실 수와, 과폭, 그 다음으로는 줄기 직경이었음.
- 농가 관행의 비룻값은 멀티피드 1,032,040원과 슈퍼콤비 41,250원을 합한 1,073,290원이었고, 여과액비+제1 인산암모늄의 비룻값은 37,500원으로서 액비활용으로 비료구입 비용은 9,403,040원이 절감되었음.
- 한편 농가 관행의 오이 판매액은 3,726.8kg × 2,800원/kg으로써 10,435,040원으로 나타남. 여과액비+제1 인산암모늄 처리구에서는 오이가 3,726.8kg/10a 생산되어 농가 관행보다 70,540원이 절감됨. 이를 종합해보면 여과 액비 사용으로 998,960원/10a의 경제적 이득을 얻은 것으로 산정됨.
- 농가 관행인 무기질 비료 사용과 비교하여 여과 액비와 제1 인산암모늄 병용처리에서는 P₂O₅, Ca, Mg, EC가 낮았음. 이는 여과액비 이용이 시설원에 재배지 토양 화학성 개량에도 효과를 발휘하고 있음을 나타낸 것으로 보임.

일자별 오이수확량(kg/10a, 2023.9.6~10.6)

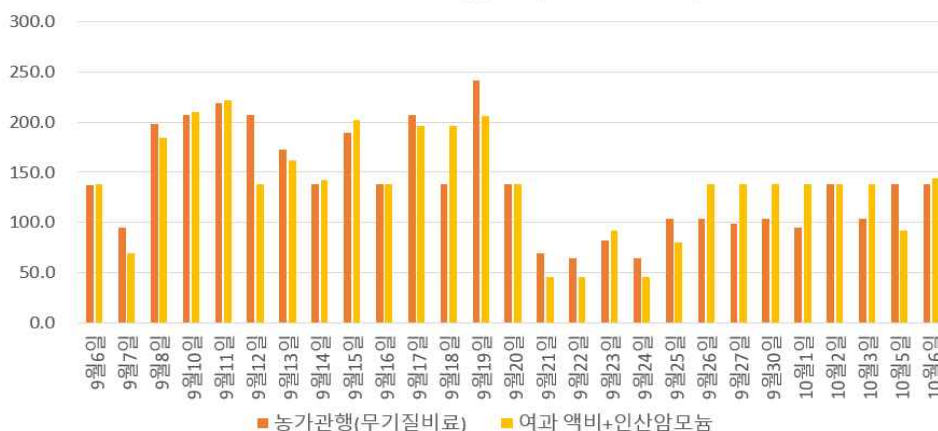


그림73 농가 관행과 여과액비 + 인산암모늄 처리의 오이 수량성 비교

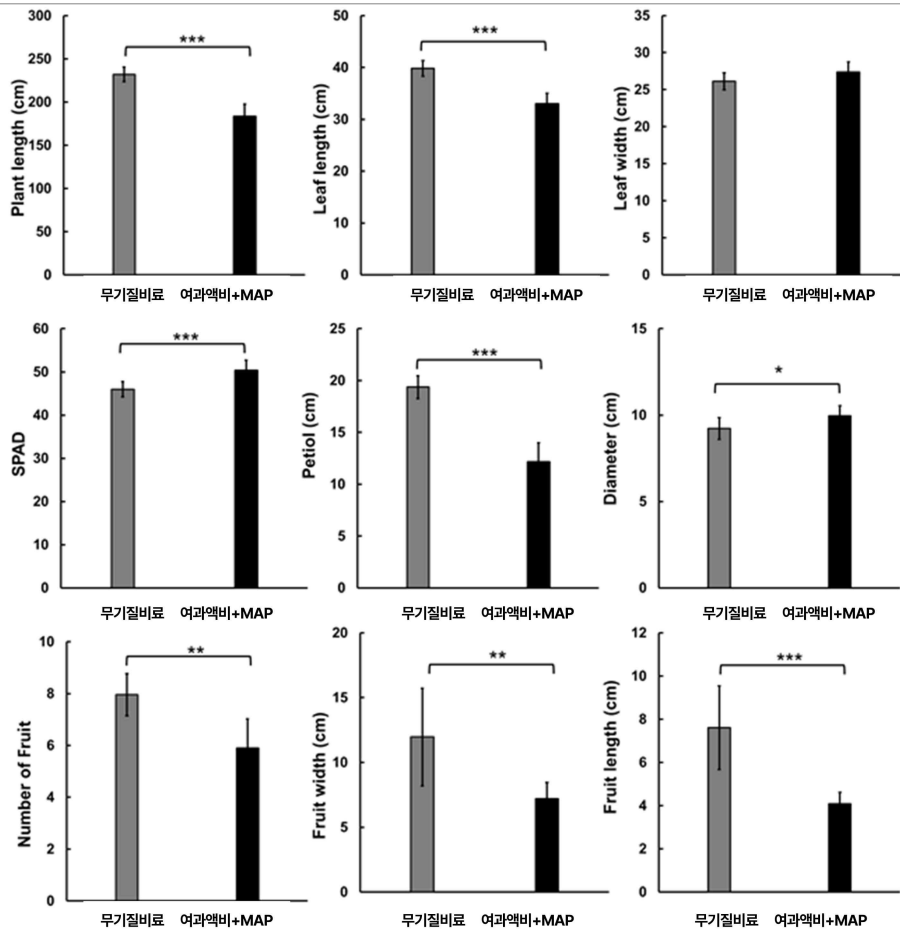


그림 74 농가 관행과 여과액비 + 인산암모늄 처리의 오이 수량성 비교

표244 여과액비+제1 인산암모늄 비료 사용의 경제성 평가

구분	농가 관행 (무기질 비료 관비)	여과액비 + 제1 인산암모늄
비룻값 (원/10a, B)	○ 멀티 피드: 1,032,000 ○ 슈퍼 콤비: 41,250	○ 제1 인산암모늄: 37,500
오이 판매액 (원/10a, A)	○ 10,435,040	○ 10,364,500
조수익 (원/10a, A-B)	-3,726.8kg × 2,800원/kg ○ 9,403,040(C)	-3,701.6kg × 2,800원/kg ○ 10,402,000(D)
여과액비 활용 효과(원/10a)	= 10,435,040 - 1,073,250 ○ D-C = 998,960원/10a	

- 멀티 피드 구입비: 161.25kg × 6,400원/kg = 1,032,000원
- 슈퍼콤비 구입비: 37.5kg × 1,100원/kg = 41,250원
- 제1 인산암모늄 구입비: 15kg × 2,500원/kg = 37,500원

표245 여과액비와 제1 인산암모늄 병용에 따른 오이재배 토양화학성 변화

구분	pH (1:5)	OM g/kg	P ₂ O ₅ mg/kg	K ₂ O	Ca		Mg	EC dS/m
					----- cmol/kg -----			
시험전('22.12)	7.1	26.0	1,148.0	0.5	7.6	2.5	1.5	
무기질비료('23.7)	7.4	44.0	1,197.0	0.3	7.8	2.3	1.4	
무기질비료('23.11)	6.6	40.0	1,361.0	1.2	7.2	2.6	3.2	
액비+MAP('23.7)	7.1	40.0	1,105.0	0.3	6.7	2.1	2.2	
액비+MAP('23.11)	6.9	39.0	944.0	0.6	6.3	1.3	1.0	
적정수준	6.0~6.5	20~30	400~500	0.7~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	2.0 이하	

라. 퇴비-상업용가축분혼합퇴비, 한우퇴비, 화학비료, 한우퇴비+화학비료 (식용, 사료용 옥수수)

1) 재료 및 방법

○ 식물 재료 및 생육조사

- 퇴비 시용에 따른 작물 생육 평가는 사료용 옥수수(광평옥)를 이용하여 실시하였으며, 상지대학교 포장(37°22'16.2"N 127°55'30.1"E)에서 실시함.
- 처리 퇴비로 상업용가축분혼합퇴비, 한우퇴비, 화학비료가 사용되었고 처리구로 무처리. 상업용가축분혼합퇴비, 한우퇴비, 화학비료, 한우비료 + 화학비료를 가지고 사용함. 화학비료 및 퇴비는 옥수수 표준 시비량인 N-P-K = 14.5-3-6kg/10a를 기준으로 시비하였으며, 기비는 옥수수 정식하기 8일전에 시비하였고, 추비는 옥수수가 7~8엽일 때 시비함.
- 시판용 퇴비 처리구와 한우 퇴비 처리구는 기비로 질소기준 100%를 시비하였으며, 한우 퇴비-화학비료 처리구는 기비로 한우퇴비를 질소기준 50%를 시비한 후 추비로 질소 50%를 시비함.
- 옥수수는 12일간 50공 트레이에서 성장하였으며 이후 정식하여 93일차에 수확함. 처리구 간 차이를 보였던 51일차에서부터 2주 간격으로 생육조사를 실시 하였으며, 생육조사 항목으로 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 염록소 농도, 엽수를 조사함.
- 수확 이후 각 샘플은 60°C 건조기에서 24시간 건조하여 건물중을 측정함.

○ 기능성 물질 및 토양 미생물 분석

- 사료용 옥수수의 다른 비료 처리군에서 식물의 항산화 활성을 평가함. Total phenol 및 flavonoid contents, nitrate-scavenging activities, reducing power, and ABTS를 측정함. 모든 측정은 3반복으로 실시함. 식물 추출물은 메탄올을 사용하여 수집됨. 표준 물질은 flavonoid의 경우 퀘르세틴, total phenol의 경우 갈산을 사용하여 진행됨. 흡광도는 total phenol and flavonoid contents, nitrate-scavenging activities, ABTS assay, and reducing power assay 분석을 위해 각각 760, 510, 520, 734, and 700 nm를 사용하여 분광도측정기에서 측정됨.
- 비료 처리된 토양에서 미생물 다양성을 비교하기 위해 Illumina Miseq microbiome 분석을 실시함. 토양 미생물 DNeasy Power Soil Kit를 사용하여 추출 하였으며, DNA Library는 Illumina 16s Metagenomic Sequencing Library를 통해 만들어짐. 다음의 프라이머 쌍을 이용하여 PCR이 진행됨: V3-F: 5'-TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTACGGGNGGCWGCAG-3', V4-R: 5'-GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGGACTACHVGGGTATCTAATCC-3'.
- 시퀀싱을 진행하기 위해 정제 과정을 거친 후 시퀀싱은 Miseq™ platform을 이용하고 paired-end 방법을 사용하여 수행함.
- Cutadapt 프로그램으로 rawdata(fastq)의 adapter sequences를 제거함. R 패키지의 DADA2를 사용하여 필터링 된 paired-end sequencing 데이터를 Amplicon sequence variant (ASV)를 식별함. ASV 데이터들을 QIME를 통해 정규화 하였고, BLAST+ 프로그램에서 85% query 범위로 NCBI 16s microbial 데이터베이스를 통해 ASV를 분류하여 식별함. 통계적 분석과 시각화는 R 패키지의 dplyr, taxa, ggrepel, pyloseq, DESeq2, vegan, ggsignif, ggplot2 패키지를 통해 수행함. 유의미한 통계적 수치는 R 패키지의 agricolae 패키지에서 Duncan test를 통해 수행함($p \leq 0.05$).

2) 연구 결과

가) 처리구별 초장, SPD, 엽장, 엽폭, 경경, 엽수 등 작물생육 특성

- 상업용가축분혼합퇴비, 한우퇴비, 화학비료, 한우퇴비+화학비료의 시용에 따른 옥수수 생육 효과 검증을 위해 재배 실험을 실시함. 생육적 차이를 확인 하기 위해 초장, SPAD, 엽장, 엽폭, 경경, 엽수의 수치를 비교함.
- 사료용 옥수수의 51일차의 초장, 경경, 엽폭, 엽장에서 동일하게 한우퇴비+화학비료, 화학비료, 한우퇴비는 서로 차이를 보이지 않으며 높은 수치를 보였고 낮은 수치로 무처리, 상업용가축분혼합퇴비를 확인함.
- 이후 모든 조사 기간에서는 한우퇴비+화학비료, 화학비료, 한우퇴비, 상업용가축분혼합퇴비, 무처리 순으로 생육효과를 확인함.
- 엽록소 농도 (SPAD) 수치는 51일차에서 한우퇴비+화학비료 (45.04), 화학비료 (43.98), 한우퇴비 (37.48), 무처리 (34.12), 상업용가축분혼합퇴비 (31.20) 순으로 관찰되었으며, 이후 조사기간에서 한우퇴비+화학비료 (65 Days; 52.34, 79 Days; 47.69, 93 Days; 41.86), 화학비료 (65 Days; 47.87, 79 Days; 41.78, 93 Days; 40.18), 상업용가축분혼합퇴비 (65 Days; 38.41, 79 Days; 36.59, 93 Days; 36.68), 한우퇴비 (65 Days; 37.39, 79 Days; 34.47, 93 Days; 35.24), 무처리 (65 Days; 32.71, 79 Days; 30.31, 93 Days; 31.23) 순으로 확인함. 엽수는 초기생육에서는 상업용가축분혼합퇴비가 무처리구와 같이 낮은 수치로 확인하였지만 수확시기에서는 다른 처리와 같이 무처리구보다 높은 수치로 생육 효과를 확인함.

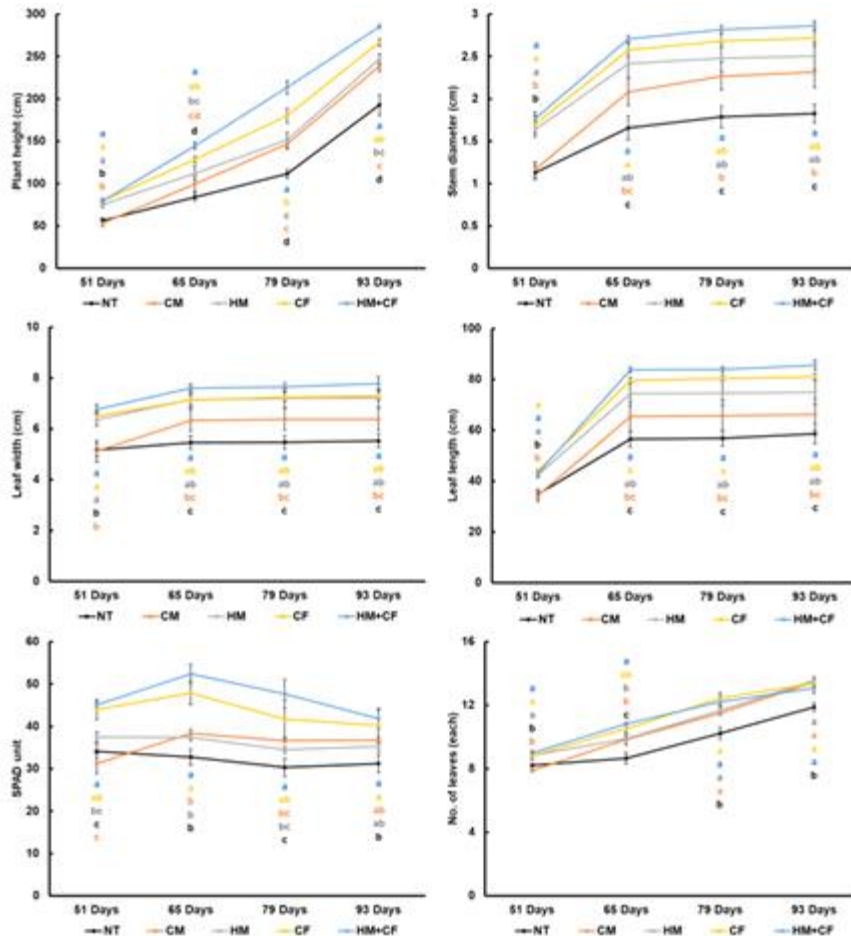


그림 75 처리구별 사료용 옥수수의 신장, 경경, 엽폭, 엽장, SPAD, 엽수.

○ 퇴·액비 시용에 따른 작물의 생산량 평가

- 처리별 생체중과 건조중을 비교 분석한 결과, 한우퇴비 + 화학비료 (생체중; 928 g, 건조중; 174.67 g), 한우퇴비 (생체중; 559 g, 건조중; 92.67 g), 화학비료 (생체중; 477 g, 건조중; 88 g), 상업용가축분혼합퇴비 (생체중; 367 g, 건조중; 65.33 g), 무처리(생체중; 290.33 g, 건조중; 52 g) 순으로 높은 중량을 확인함. 생육 증진 효과 결과와는 다르게 한우 퇴비의 수치가 화학비료의 수치보다 높은 값을 보였으나 유의미한 차이를 보이지 않았음.

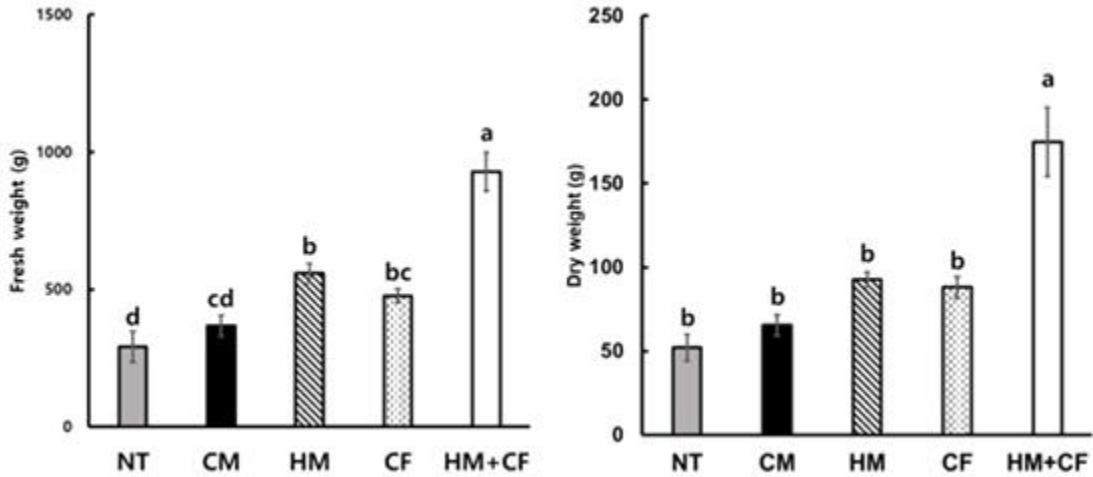


그림76 처리구별 사료용 옥수수의 생체중과 건조중

나) 토양 및 식물체 내 화학성분 분석을 통한 작물 흡수량 평가

○ 무처리 (NT)와 산업용가축분혼합퇴비(CM), 한우퇴비(HM), 화학비료(CF), 한우퇴비+화학비료(HM+CF) 처리 후 토양에 대한 화학적 성상 분석

- 퇴비 처리 후 pH에서는 CM (6.21)에서 가장 높은 수치를 보였으며, CF (5.51)에서 가장 낮은 수치를 보였음. C.E.C에서는 CM (10.93 cmol+/kg)에서 가장 높은 수치를 보였으며 다른 처리구에서는 유의미한 차이를 보이지 않았음.
- 질소총량에서는 CM (0.139 %)에서 가장 높았으며, NT (0.105 %)에서 가장 낮은 수치를 보였음.
- 가용성인에서는 CM (301.70 mg/kg)에서 가장 높은 수치를 보였으며 NT (201.63 mg/kg)에서 가장 낮은 수치를 보임.
- 치환성 칼슘에서는 HM+CF (7.98 cmol+/kg)에서 가장 높은 수치를 보였고 HM (7.0 cmol+/kg)에서 가장 낮은 수치를 보였음.
- 치환성 마그네슘에서는 HM+CF (1.38 cmol+/kg)에서 가장 높은 수치를 보였으며 NT (1.20 cmol+/kg), CF (1.20 cmol+/kg)에서 가장 낮은 수치를 보였음.
- 유기물 함량에서는 HM (2.58 %), HM+CF (2.49 %), CM (2.32 %), CF (1.95 %), NT (1.48 %) 순으로 높은 수치를 보였음.
- EC, 치환성 칼륨, 나트륨, 염분에서는 유의미한 차이를 보이지 않았음.

표246 퇴비 처리 후 토양에 대한 화학적 성상

구분		NT	CM	HM	CF	HM + CF
pH[1:5]		5.57 (± 0.17) ab	6.21 (±0.18) a	5.93 (± 0.13) ab	5.51 (± 0.14) b	5.79 (± 0.22) ab
EC[1:5]	(dS/m)	0.10 (±0.006) a	0.11 (± 0.008) a	0.10 (± 0.05) a	0.10 (± 0.008) a	0.12 (± 0.006) a
C.E.C.	(cmol+/kg)	9.02 (± 0.17) b	10.63 (± 0.17) a	9.45 (± 0.15) b	9.24 (± 0.17) b	9.58 (± 0.13) b
Total N	(%)	0.105 (± 0.004) c	0.139 (± 0.002) a	0.131 (± 0.003) ab	0.126 (± 0.004) b	0.139 (± 0.003) a
Available P	(mg/kg)	201.63 (± 7.72) c	301.70 (± 4.54) a	245.32 (± 6.61) b	297.85 (± 5.56) a	285.86 (± 3.52) a
Exchangeable K	(cmol+/kg)	0.07 (± 0.01) a	0.09 (± 0.01) a	0.11 (± 0.013) a	0.08 (±0.01) a	0.09 (± 0.015) a
Exchangeable Ca	(cmol+/kg)	7.32 (± 0.092) b	7.72 (± 0.093) a	7.0 (± 0.099) b	7.24 (± 0.085) b	7.98 (± 0.104) a
Exchangeable Mg	(cmol+/kg)	1.20 (± 0.02) b	1.37 (± 0.03) a	1.26 (± 0.02) b	1.20 (± 0.02) b	1.38 (±0.02) a
Exchangeable Na	(cmol+/kg)	0.08 (± 0.01) a	0.07 (± 0.01) a	0.09 (± 0.01) a	0.08 (± 0.005) a	0.09 (± 0.01) a
Salinity	(%)	0.005 (± 0.0008) a	0.004 (± 0.0005)a	0.005 (± 0.0005) a	0.005 (± 0.0005)a	0.005 (± 0.0005)a
O.M.	(%)	1.48 (±0.05) d	2.32 (± 0.03) b	2.58 (± 0.04) a	1.95 (± 0.03) c	2.49 (±0.03) a

주: 1) The values are the mean ± standard deviation (n = 3)
 2) The lowercase letters represent the significant differences (p < 0.05) between groups by Duncan test.
 3) NT; not treatment, CM; commercial manure, HM; Hanwoo manure, CF; chemical fertilizer, HM + CF; Hanwoo manure + chemical fertilizer.

○ 퇴비의 처리에 따른 사료용 옥수수의 사료로서의 가치를 판단하기 위해 조사료 가치 분석 결과

- 조회분과 인함량에서 HM (조회분; 6.79 %, 인함량; 0.40 %)이 가장 높은 수치를 보였으며, 다음으로 CM (조회분; 6.02 %, 인함량; 0.38 %), NT (조회분; 5.46 %, 인함량; 0.33 %) 순으로 수치를 보였음. ADF에서는 HM + CF (32.05 %)에서 가장 높은 수치를 보였으며 그다음으로 HM (30.92 %)에서 높은 수치를 보였고 NT (30.35 %), CF (30.15 %), CM (29.84 %) 순으로 높은 수치를 보였음.
- 조섬유에서는 CM (26 %)이 가장 낮은 수치를 보였으며 그 다음으로 NT (27.07 %)가 낮은 수치를, 나머지는 유의미한 차이를 보이지 않았음.
- 조단백질, 조지방, NDF에서는 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음.

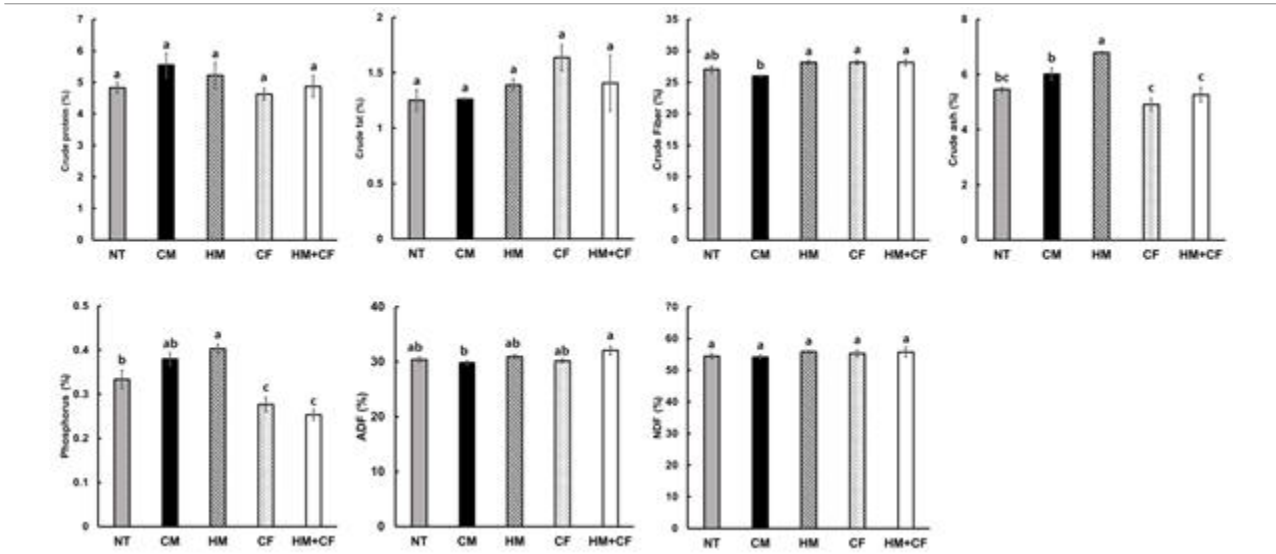


그림77 처리구별 사료용 옥수수의 조사료 가치 분석

○ 퇴비의 처리에 따른 사료용 옥수수의 함유된 항산화 물질 분석

- DPPH 소거능 (50.9 % for NT, 47.45 % for CM, 45.26 % for HM, 67.21 % for CF, 43.75 % for HM+CF), ABTS (81.55 % for NT, 80.65 % for CM, 78.97 % for HM, 88.49 % for CF, 76.54 % for HM+CF), FRAP의 함량 (OD value; 1.14 for NT, OD value; 1.14 for CM, OD value; 0.89 for HM, OD value; 2.19 for CF, OD value; 0.68 for HM+CF) 또는 활성도가 CF에서 가장 높은 수치를 보였음. 반면 polyphenol (3.03 mg GEA/ml NT, 3.11 mg GEA /ml for CM, 3.07 mg GEA /ml for HM, 3.17 mg GEA /ml for CF, 2.87 mg GEA /ml for HM+CF), flavonoid (3.11 mg QE/ml NT, 4.07 mg QE/ml for CM, 3.20 mg QE/ml for HM, 3.26 mg QE/ml for CF, 3.68 mg QE/ml for HM+CF), nitrite scavenging activity (95.46 % NT, 96.75 % for CM, 96.27 % for HM, 96.45 % for CF, 95.52 % for HM+CF), reducing power (OD value; 1.68 for NT, OD value; 1.27 for CM, OD value; 1.41 for HM, OD value; 1.43 for CF, OD value; 1.27 for HM+CF). 여기서 화학비료 유래 처리군과 비교하여 유기물 비료 유래 처리군의 항산화 물질 평가 항목이 차이가 없다는 것을 확인함.

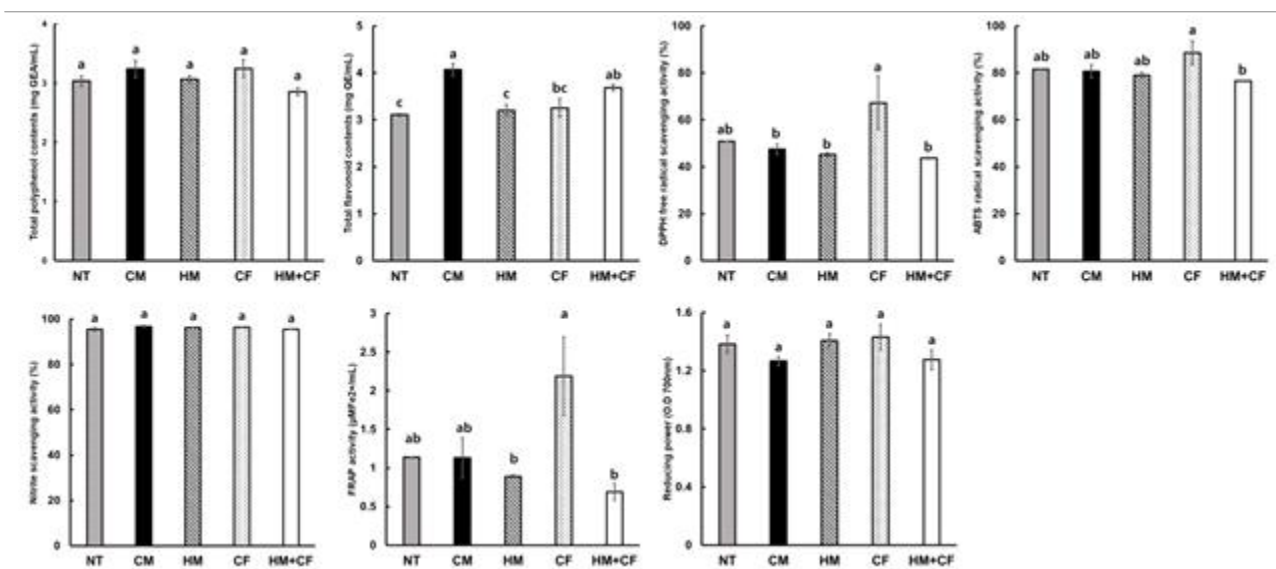


그림78 처리구별 사료용 옥수수의 항산화물질 검정

- 퇴비 처리에 대한 토양 내 미생물 군락 형성 비교·분석
 - 각 처리구간 박테리아 형성의 유의미한 차이는 확인되지 않았음.
 - 각 처리에 대한 주된 박테리아 문을 확인한 결과 Actinobacteria, proteobacteria 등이 높은 분포를 나타내었음.
 - 토양 내 박테리아의 분포에 대한 반복 실험구의 상관관계를 분석한 결과, 화학비료를 사용한 화학비료, 한우퇴비 + 화학비료는 가까운 상관관계를 보였으며, 유기물비료인 상업용 가축분혼합퇴비, 한우퇴비가 가까운 상관관계를 보였음.

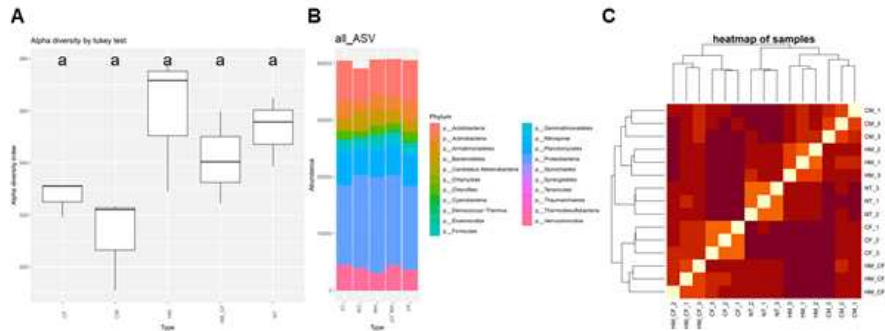


그림79 처리구별 토양 내 박테리아 성장 분석

- Acidobacteria, Actinobacteria, Chloroflexi 에서는 무처리에서 가장 높은 ASVs를 확인 하였고, 상업용가축분혼합퇴비에서는 낮은 ASVs를 확인함. 또 반대로 Bacterioidetes에서는 상업용가축분혼합퇴비가 높은 ASVs를 확인하였고, 무처리에서는 낮은 ASVs를 확인함. 이와 같이 한우퇴비, 화학비료에서 Proteobacteria, Verrucomicrobia Phyla 가 서로 다르게 높낮음을 확인하였고 다른 박테리아 Phyla에서도 서로 다른 차이를 보인다는 것을 확인 함.

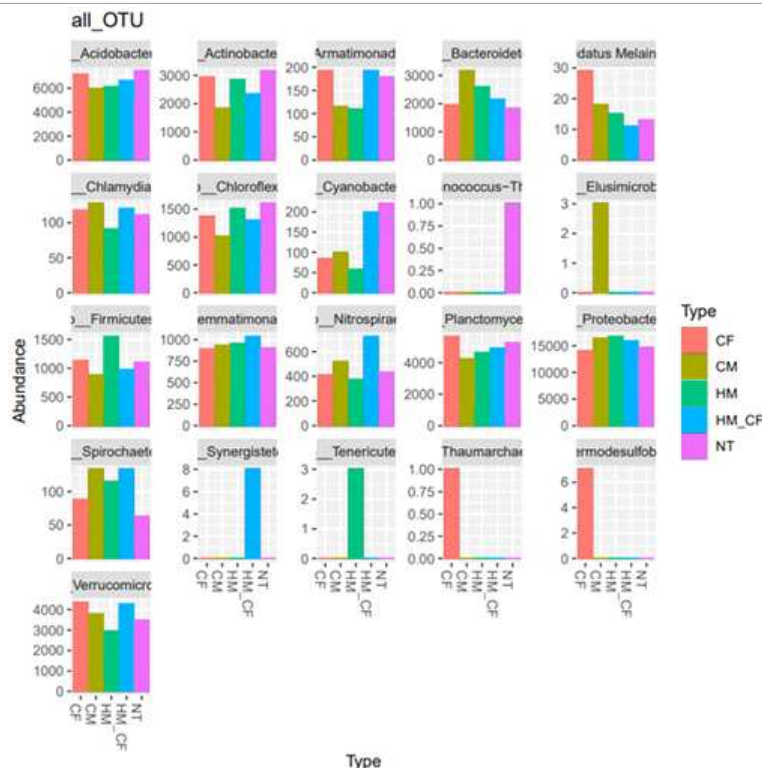


그림80 처리구별 토양 내 박테리아 형성

- 각 퇴비의 처리에 따른 토양 미생물의 변화 양상을 확인 하기위해 무처리구와 각 퇴비 처리구간의 significant differences ASVs (FDR < 0.05)를 확인함. 결과로 각 퇴비의 처리구에서 무처리구와 비교하여 significantly하게 증가되는 ASVs로 65개가 확인 되었고 특이적으로 상업용가축분혼합퇴비에서 Bacteroidetes, Verrucomicrobia, Chloroflexi, Planctomycetes phyla의 ASVs 각각 1개가 확인되었고, 한우퇴비에서 8개의 Proteobacteria, 2개의 Actinobacteria, 1개의 Gemmatimonadetes ASVs가 확인됨. 그리고 화학비료에서는 6개의 Proteobacteria, 그리고 Bacteroidetes, Chlamydiae 각각 1개씩의 ASVs가 확인되었고, 한우퇴비+화학비료에서는 4개의 Proteobacteria, 그리고 Nitospirae, Firmicutes, Cyanobacteria에서 각각 1개씩의 ASVs를 확인함. 감소하는 ASVs에서는 93개가 확인 되었으며 특이적으로 상업용가축분혼합퇴비에서 9개의 Proteobacteria, 4개의 Actinobacteria, 4개의 Planctomycetes, 그리고 Cyanobacteria, Chloroflexi에서 각각 1개의 ASVs가 확인되었고, 한우퇴비에서는 5개의 Actinobacteria, 4개의 Proteobacteria, 2개의 Planctomycetes, 1개의 Acidobacteria가 확인함. 그리고 화학비료에서는 11개의 Proteobacteria, 2개의 Actinobacteria, 2개의 Bacteroidetes, 2개의 Planctomycetes, 1개의 Acidobacteria가 확인되었으며, 한우퇴비+화학비료에서는 3개의 Proteobacteria, 2개의 Actinobacteria, 그리고 Acidobacteria, Bacteroidetes에서 각각 1개씩 확인됨.

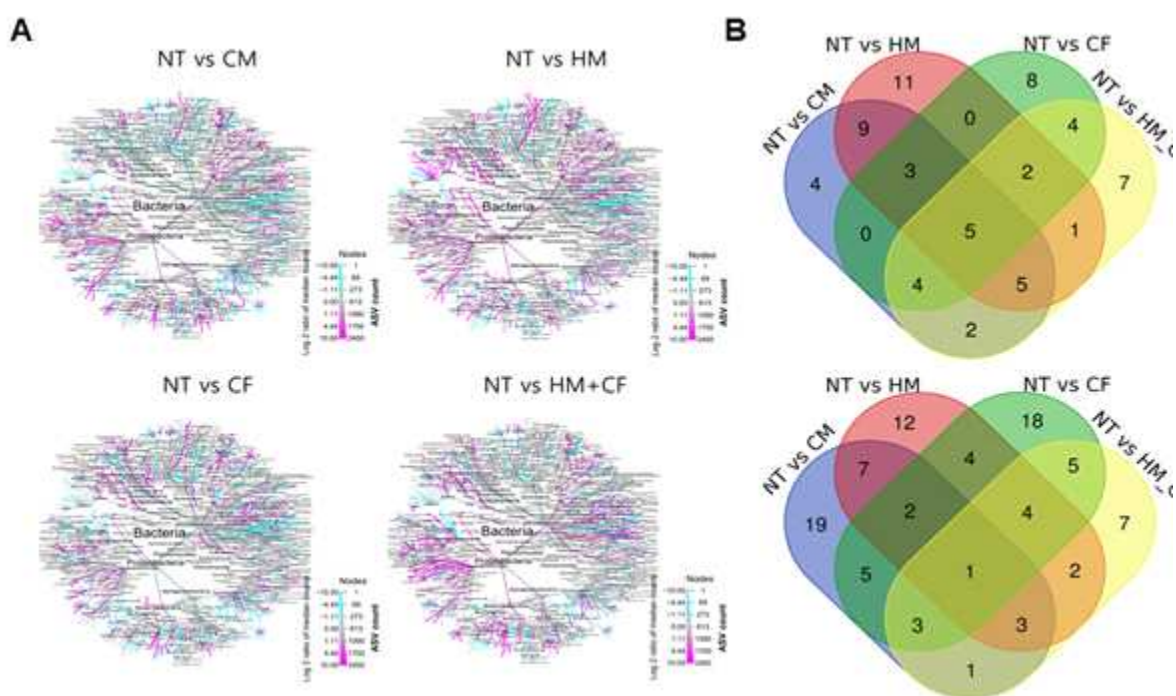


그림 81 처리구별 토양내 박테리아 성상 분석

다) 퇴·액비의 표준시비량과 비교한 적정시비량 도출

- 각 퇴비 처리구 토양에서 Significantly한 차이를 보이는 화학적 성분(pH, C.E.C, Total N, Available P, Exchangeable Ca, Exchangeable Mg, O.M.)과 미생물과의 mantel test
 - Available P 과 O.M. 에서 미생물과의 유의미한 상관관계를 확인함. 두 요소는 양의 상관관계로 미생물 군과 연관 되어 있었으며 13개의 Genus단위 미생물이 유의미한 상관관계를 가지는 것으로 확인됨.
 - Available P의 함유와 연관된 미생물로 Thermomarinilinea 가 양의 상관관계로 유의미하게 연관 되었고 Cystobacter, Tellurimicrobium, Stenotrophobacter, Pseudarthrobacter, Microbirga, Panacagrmonas, Solirubrobacter, Reyranella, Rhodoligotrophos가 음의 상관관계로 유의미하게 연관됨.
 - 토양의 O.M. 함유와 연관된 미생물로는 Acidibacter, Ohtaekwangia가 양의 상관관계로 유의미하게 연관되었으며, Tellurimicrobium, Panacagrmonas, Reyranella에서 음의 상관관계로 유의미하게 연관됨.
- 각 퇴비 처리구의 화학적 상성과 미생물 군의 특이적인 차이가 작물에 영향을 주었을 것이라고 가설을 세웠고, 이를 알아보기 위해 canonical correspondence analysis (CCA)를 실시함.
 - plot을 4분면으로 나누어 처리구를 확인함.
 - 1분면에서는 O.M. Available P와 양의 상관관계를 가지며 상업용가축분혼합퇴비가 포함됨. 2분면에서는 O.M.에서는 음의 상관관계, Available P에서는 양의 상관관계 가졌고 화학비료가 확인됨. 3분면에서는, O.M., Available P와 음의 상관관계를 가지며 무처리구가 확인됨. 4분면에서는 O.M.은 양의 상관관계, Available P은 음의 상관관계를 가지며 한우 퇴비를 확인함. 결과적으로 각 퇴비 처리구별 미생물 군의 차이에서 토양의 화학적 차이에 의한 변화를 확인함.

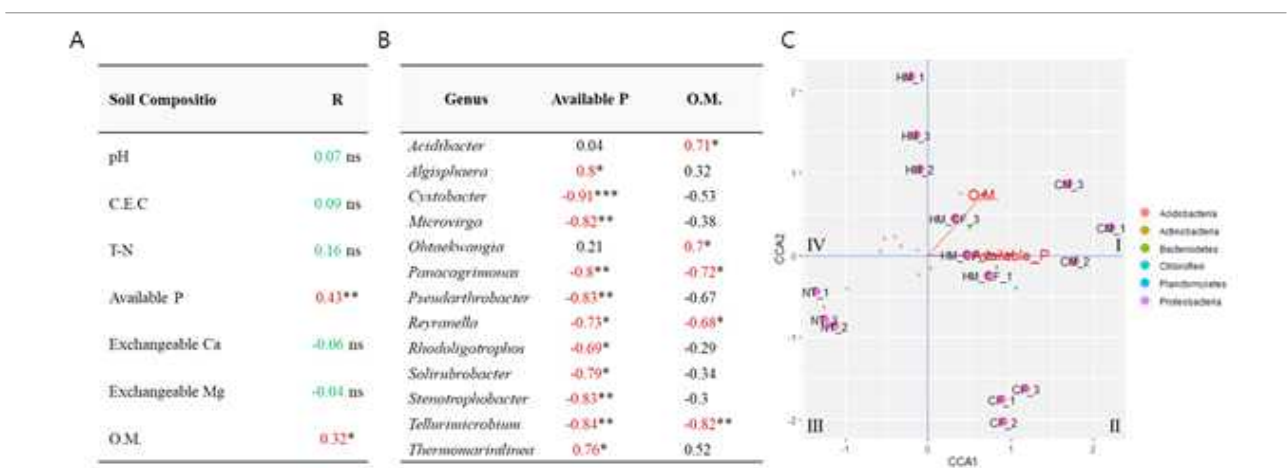


그림82 토양의 화학적 성분과 토양 미생물의 Mantel-test 결과

- 각 퇴비 처리구 별 특이적으로 분포된 박테리아를 확인하기 위하여, 무처리구와 비교하여 상대적 ASVs를 비교함.
 - Ohtaekwangia는 화학비료에서만 감소된 양상을 보임.
 - Acidibacter는 화학비료를 제외한 나머지 처리구에서 모두 증가하는 양상을 보임.
 - Algisphaera는 한우퇴비를 제외한 모든 처리구에서 증가되는 양상을 보임.
 - 특이적인 차이를 보이는 토양의 화학적 성분과 상관관계를 가지는 미생물의 Heat-map analysis 를 진행 하였고 결과로 한우퇴비+화학비료가 화학비료 보다 한우퇴비 에 유사한 양상을 보인다는 것을 확인함. 이는 화학비료의 영향보다 한우퇴비의 영향이 미생물 변화에 더욱 큰 영향을 가졌다는 것으로 사료되며, 결과적으로 이러한 영향이 사료용 옥수수 의 성장과 사료용 가치 그리고 향산화 효과에 영향을 가져왔을 것이라고 사료됨.

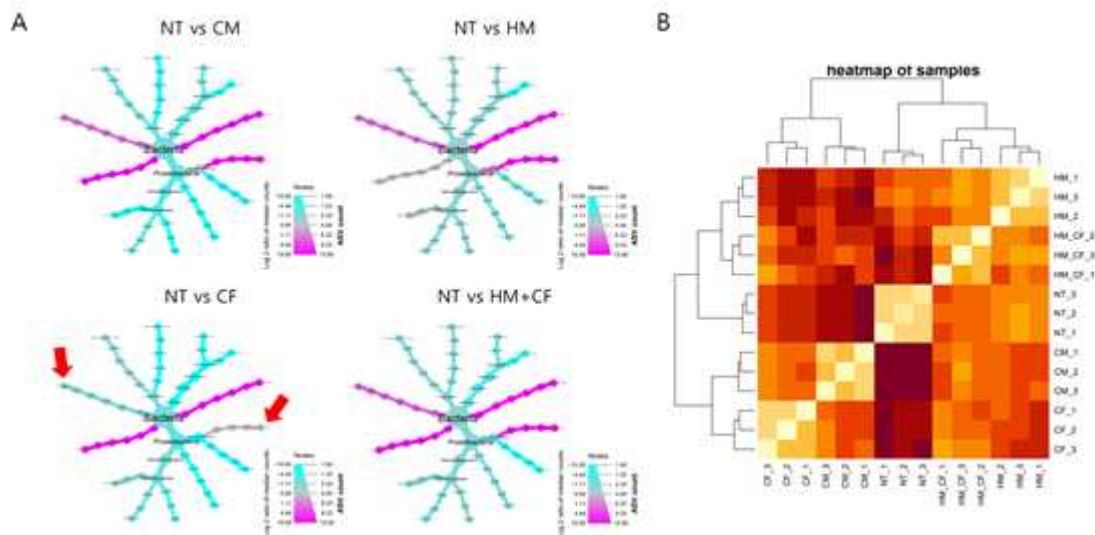


그림 83 대조군과 처리구간 특이적인 토양 미생물의 상대적 ASVs 분석

마. 액비-화학양액, 발효액비, 클로렐라여과액 시용 (얼갈이배추)

1) 재료 및 방법

- 액비 시용에 따른 작물 생육 평가는 얼갈이 배추 (신록엇갈이)를 이용하여 실시하였으며, 황성 농업기술센터의 포장(37°31'43.0"N 127°57'38.9"E)에서 실시함. 처리 액비로 화학양액, 발효액비, 클로렐라 여과액을 사용함. 1.5 mS/cm EC 기준으로 액비처리를 하였으며, 하루에 두 번 액비 처리함. 생육조사 항목으로 초장, 엽장, 엽폭, 생체중, 건물중, 엽록소 수치를 조사하였으며, 정식 10일차부터 초장과 엽록소 수치를 측정하였고, 57일차에 얼갈이배추의 엽장, 엽폭을 측정함. 이 후 수확하여 생체중, 건물중을 측정함.
- 얼갈이 배추의 다른 비료 처리군에서 식물의 항산화 활성을 평가함. Total phenol 및 flavonoid contents, nitrate-scavenging activities, reducing power, and ABTS를 측정함. 모든 측정은 3반복으로 실시함. 식물 추출물은 메탄올을 사용하여 수집됨. 표준 물질은 flavonoid의 경우 퀘르세틴, total phenol의 경우 갈산을 사용하여 진행됨. 흡광도는 total phenol and flavonoid contents, nitrate-scavenging activities, ABTS assay, and reducing power assay 분석을 위해 각각 760, 510, 520, 734, and 700 nm를 사용하여 분광도측정기에서 측정됨.
- 비료 처리된 토양에서 미생물 다양성을 비교하기 위해 Illumina Miseq microbiome 분석을 실시함. 토양 미생물 DNeasy Power Soil Kit를 사용하여 추출하였으며, DNA Library는 Illumina 16s Metagenomic Sequencing Library를 통해 만들어짐. 다음의 프라이머 쌍을 이용하여 PCR이 진행됨: V3-F: 5'-TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTACGGGNGGCWGCAG-3', V4-R: 5'-GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGGACTACHVGGGTATCTAATCC-3'.
- 시퀀싱을 진행하기 위해 정제 과정을 거친 후 시퀀싱은 Miseq™ platform을 이용하고 paired-end 방법을 사용하여 수행함.
- Cutadapt 프로그램으로 rawdata(fastq)의 adapter sequences를 제거함. R 패키지의 DADA2를 사용하여 필터링 된 paired-end sequencing 데이터를 Amplicon sequence variant (ASV)를 식별함. ASV 데이터들을 QIME를 통해 정규화 하였고, BLAST+ 프로그램에서 85% query 범위로 NCBI 16s microbial 데이터베이스를 통해 ASV를 분류하여 식별함. 통계적 분석과 시각화는 R 패키지의 dplyr, taxa, ggrepel, pyloseq, DESeq2, vegan, ggsignif, ggplot2 패키지를 통해 수행함. 유의미한 통계적 수치는 R 패키지의 agricolae 패키지에서 Duncan test를 통해 수행함($p \leq 0.05$).

1) 연구 결과

가) 퇴·액비 시용에 따른 작물 생육평가

- 화학양액, 발효액비, 클로렐라여과액에 대한 생육효과 검증을 위하여 얼갈이배추에 1.5 dS/m EC 기준으로 각 액비를 처리함 그 결과, 화학양액, 클로렐라여과액, 발효액비 순의 생육효과를 확인함.
- 이에 대한 자세한 분석을 위하여 신장, SPAD, 엽장, 엽폭의 수치를 비교함 그 결과, 얼갈이 배추는 초기 생육시 신장에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 처리 57일 후 화학비료, 클로렐라여과액, 발효액비 순의 생육 증진효과를 나타냄. 이와 유사하게 화학비료 (41.48), 클로렐라여과액 (37.2), 발효액비 (32.08) 순으로 잎의 엽록소 농도(SPAD) 수치가 증가함. 57일 후 엽장과 엽폭에서 화학비료, 클로렐라여과액, 발효액비 순의 생육 증진효과를 확인함.

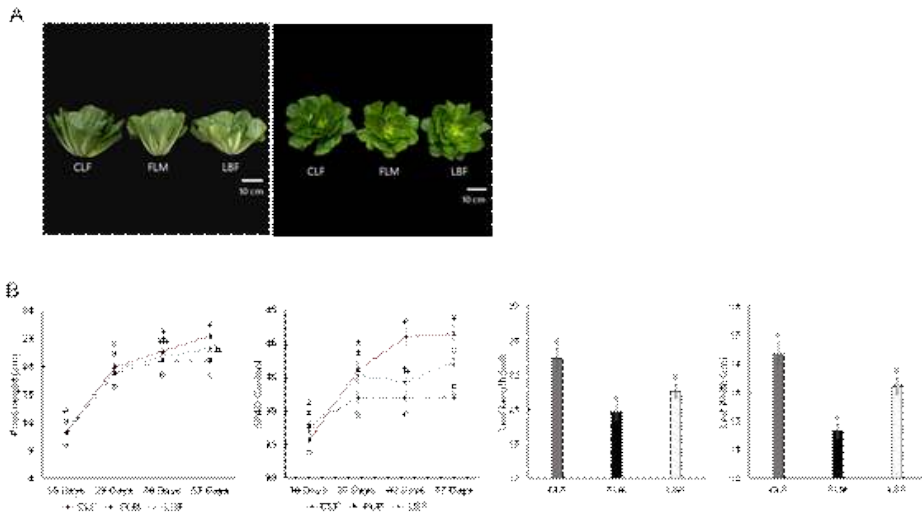


그림 84 열갈이배추의 생육특성

나) 퇴·액비 시용에 따른 작물의 생산량 평가

○ 액비 - 화학양액, 발효액비, 클로렐라 여과액 시용 (열갈이배추)

- 처리 별 생체중과 건조중을 비교 분석한 결과, 화학비료 (생체중; 363.33 g, 건물중; 16.95 g), 클로렐라여과액 (생체중; 294.22 g, 건물중; 13.43 g), 발효액비 (생체중; 248.77 g, 건물중; 10.86 g) 순으로 높은 중량을 확인함. 생육조사에서 언급한 각 액비의 생육 증진효과 결과와 동일한 양상을 확인함.
- 수확 후 액비 처리별 열갈이 배추의 색상을 비교 분석한 결과, 낮은 수치가 어두운 색을 나타내는 Hunter`L`value가 화학비료 (40.57 L*)에서 가장 낮았으며, 클로렐라여과액 (42.13 L*), 발효액비 (43.77 L*) 순으로 나타냄. 양의 값은 적색, 음의색은 녹색을 나타내는 Hunter`a`value는 발효액비 (-14.86 a*), 클로렐라여과액 (-14.05 a*), 화학비료 (-13.28 a*) 순으로 낮은 값을 나타냈으며, 양의 값은 노란색, 음의색은 파란색을 나타내는 Hunter`b`value는 발효액비 (20.06 b*), 클로렐라여과액 (17.31 b*), 화학비료 (16.37 b*) 순으로 높은 수치를 보임.

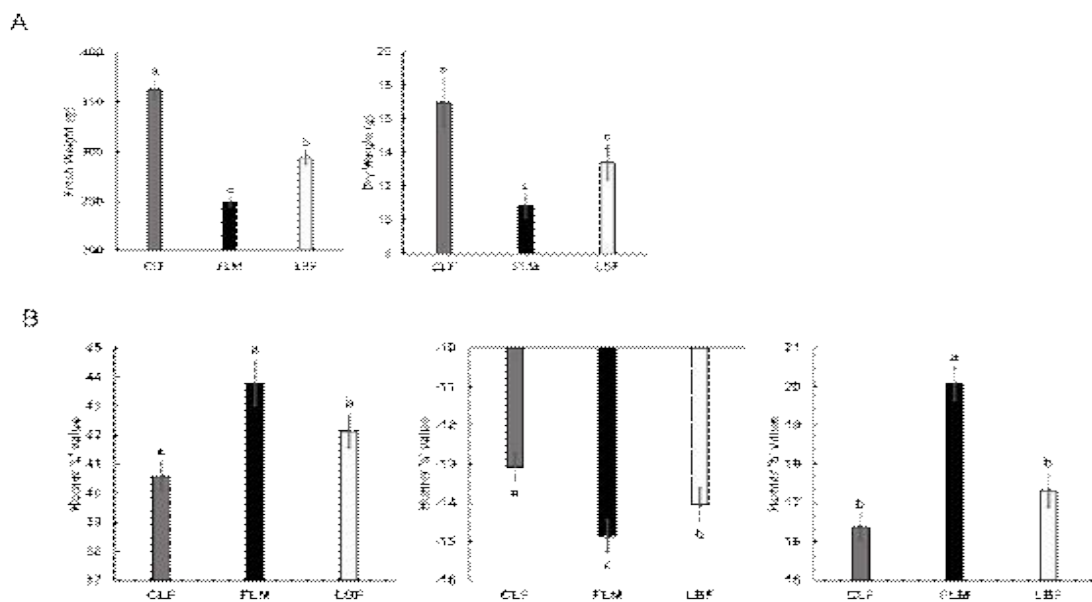


그림 85 액비 처리별 열갈이 배추의 잎 무게 및 품질 분석

다) 토양 및 식물체 내 화학성분 분석을 통한 작물 흡수량 평가

- 액비-화학양액, 발효액비, 클로렐라 여과액 시용 (얼갈이배추)
- 화학비료(CLF), 발효액비(FLM), 클로렐라여과액(LBF)의 양액과 처리후 토양에 대한 화학적 성상을 분석함.
 - 얼갈이 배추에 대한 유의적 차이가 없는 1.5 dS/m의 EC를 확인함.
 - 양액에서 pH는 화학비료와 발효액비에서 높은 수치를 보였으며, NO₃⁻-N은 가축분뇨로부터 생산된 유기질 비료인 발효액비와 클로렐라여과액에서 높은 수치를 확인함. 또한, 양액 별 성상에서 K는 화학비료, 발효액비, 클로렐라여과액, Ca와 Na는 발효액비, 클로렐라여과액, 화학비료 순으로 높은 수치를 확인함. 이외에 전질소, NH₄⁺-N, P, O.M.은 양액 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았음.
 - 액비 처리후 토양에 잔류한 화학적 성상에서 LFM과 LBF의 pH는 CLF와 비교하여 유의하게 높은 수치를 보였으며, NH₄⁺-N은 화학비료에서 상대적으로 높은 수치와 클로렐라 여과액의 낮은 수치를 확인함. NO₃⁻-N와 Na는 유기질 액비에서 상대적으로 높은 수치를 확인함. K는 화학비료에서 상대적으로 가장 높은 수치를 보였으며, Ca은 처리 후 화학비료에서 높은 수치를 확인함.

표247 액비 처리에 따른 토양에 대한 화학적 성상

구분	Liquid fertilizers			Soils after liquid fertilizer treatments		
	CLF	FLM	LBF	CLF	FLM	LBF
pH	7.53 (± 0.06) a	7.63 (± 0.04) a	7.07 (± 0.08) b	6.76 (±0.09) b	7.17 (±0.05) a	7.03 (±0.03) a
EC	(dS/m) 1.57 (± 0.08) a	1.59 (± 0.11) a	1.53 (± 0.09) a	0.12 (±0.02) a	0.11 (±0.01) a	0.10 (±0.01) a
Total N	(mg/kg) 578 (± 25.05) a	590 (± 17.67) a	560 (± 25.13) a	1279.61 (±142.77) a	1266.67 (±153.93) a	1158.01 (±20.17) a
NH ₄ ⁺ -N	(mg/kg) 64.96 (± 7.21) a	46.2 (± 9.25) a	74.29 (± 5.53) a	200.81 (±14.58) a	140.10 (±18.53) ab	114.79 (±14.21) b
NO ₃ ⁻ -N	(mg/kg) 9.94 (± 2.43) b	75.6 (± 3.63) a	80.42 (± 6.95) a	65.38 (±10.7) b	184.49 (±13.27) a	182.34 (±12.19) a
P	(mg/kg) 14.66 (± 5.04) a	19.61 (± 9.17) a	37.26 (± 7.1) a	1115.74 (±71.23) a	1028.84 (±65.46) a	1110.33 (±36.53) a
exchangeable K	(mg/kg) 242 (± 2.57) a	212 (± 3.33) b	177 (± 3.88) c	0.15 (±0.006) a	0.13 (±0.007) b	0.14 (±0.003) b
exchangeable Na	(mg/kg) 47.5 (± 1.23) c	114 (± 1.8) a	78.53 (± 0.75) b	0.22 (±0.02) b	0.53 (±0.05) a	0.51 (±0.04) a
exchangeable Ca	(mg/kg) 37.47 (± 0.34) c	109 (± 1.04) a	90.79 (± 1.27) b	9.62 (±0.4) a	8.08 (±0.4) b	8.50 (±0.27) ab
O.M.	(%) 0.02 (± 0.03) a	0.08 (± 0.06) a	0.11 (± 0.04) a	1.69 (±0.34) a	1.45 (±0.24) a	1.63 (±0.19) a

주: 1) The values are the mean ± standard deviation (n = 3).

2) The lowercase letters represent the significant differences (p < 0.05) between groups by Duncan test.

3) CLF; chemical liquid fertilizer, FLM; fermented liquid manure, and LBF; liquid Bio-fertilizer.

○ 액비의 처리에 따른 얼갈이배추의 함유된 항산화 물질 분석

- 당과 비타민 C를 이루는 물질 중 ascorbic acid의 함량이 클로렐라여과액에서 증진된 것을 확인함. 또한 항산화물질 평가에서 전페놀 함량 (3.7 mg GAE/mL for CLF, 4.49 mg GAE/mL for FLM, and 5.07 mg GAE/mL for LBM), 플라보노이드 (3.42 mg QE/ml for CLF, 3.88 mg QE/ml for FLM, and 4.51 mg QE/ml for LBM), DPPH 소거능 (35.7 % for CLF, 54.74 % for FLM, and 63.96 % for LBM), reducing power (OD value; 1.08 for CLF, OD value; 1.7 for FLM, and OD value; 2.21 for LBM), FRAP (FRAP; OD value; 1.69 for OD value; CLF, OD value; 2.43 for FLM, and OD value; 2.88 for LBM)의 함량 또는 활성도가 클로렐라여과액에서 가장 높은 수치를 확인함.
- 전체적으로 nitrite scavenging activity (65.36 % for CLF, 63.31 % for FLM, and 73.87 % for LBM)를 제외한 나머지 항산화물질 평가 항목에서 화학비료와 비교하여 가축분뇨 유래 액비가 높은 수치를 확인함.

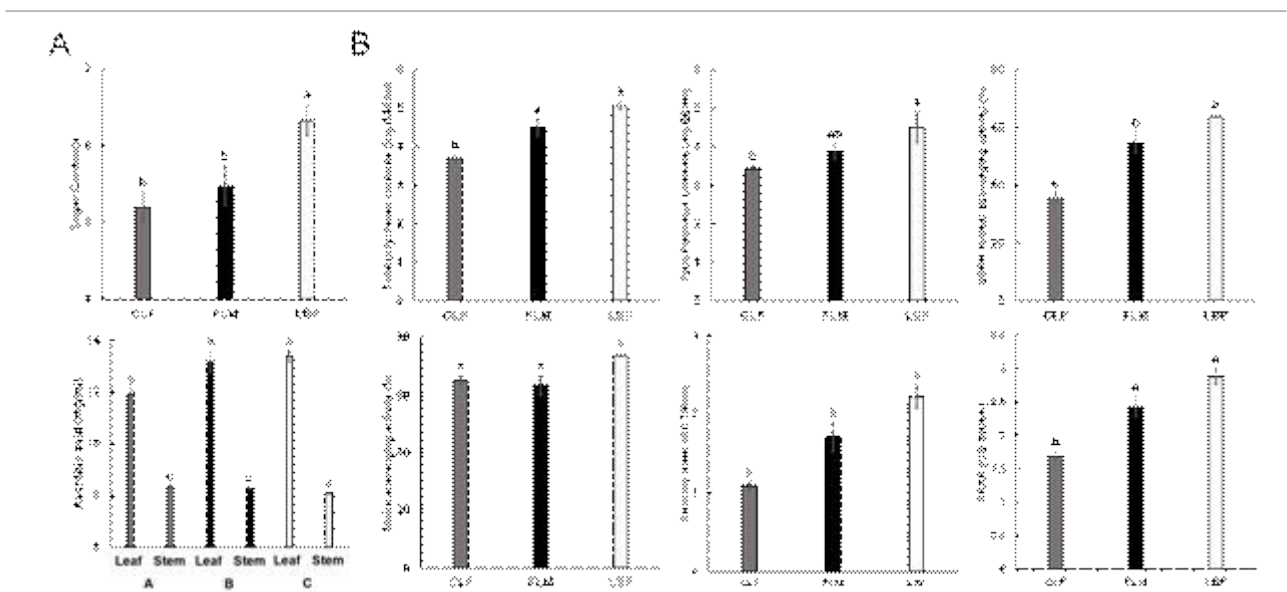


그림86 얼갈이배추의 생체물질 함량 분석

○ 액비 처리에 대한 토양 내 미생물 군락 형성을 비교·분석

- 그 결과 무처리 토양에서 낮은 수치의 박테리아 형성이 확인되었으며 화학비료, 발효액비, 클로렐라여과액은 비슷한 수치의 박테리아 형성을 확인함.
- 각 토양 내 박테리아 형성에 대한 다양성 평가에서 비록 클로렐라여과액이 가장 높은 다양성을 보였으나 무처리를 제외한 처리구에서는 통계적 유의성을 보이지 않았음.
- 토양 내 박테리아의 분포에 대한 반복실험구의 상관관계를 분석한 결과, 발효액비와 클로렐라여과액 사이의 상대적으로 높은 상관관계를 확인함.
- 무처리는 다른 액비처리와는 상대적으로 먼 상관관계를 확인함. 각 처리에 대한 주된 박테리아 문을 확인한 결과 Actinobacteria, proteobacteria 등이 높은 분포를 확인함.

- 처리별 토양 사이의 특이적 박테리아군을 무처리와 비교하여 종 단위에서 비교 분석
 - 7개의 Phylum에서 17개의 genus가 CLF에서 증가하였으며 특히 Actinobacteria (9 genus), Proteobacteria (8 genus)에 많이 포함됨. Actinobacteria phylum의 Arthrobacter, Streptomyces 그리고 Firmicutes phylum의 Neobacillus, Chloroflexi phylum의 Litorilinea 가 감소함.
 - FLM에서는 14개의 genus와 9개의 genus가 감소함. Verrucomicrobia phylum의 Luteolibacter와 Actinobacteria의 Actinoplanes가 가장 큰 차이를 보였으며 특히 Proteobacteria phylum의 증가가 가장 많이 확인됨. 반면에 Firmicutes phylum의 Prietia, Litchfieldia 그리고 Actinobacteria phylum의 Nocardia, Nocardioides, Actinophytocola, Conexibacter, Pseudarthrobacter, Aeromicrobium, 또 Proteobacteria phylum의 Shingomonas가 감소됨.
 - LBF에서는 Luteolibacter, Actinoplanes등 FLM과 함께 비슷한 조성변화를 보임. LBF에서 가장 많은 증가를 보인 phylum은 Actinobacteria (4 genus) 와 Proteobacteria (5 genus) 이 확인됨. 그리고 Firmicutes phylum의 Hydrogenispora, Cyanobacteria phylum의 Trichocoleus 가 감소됨.

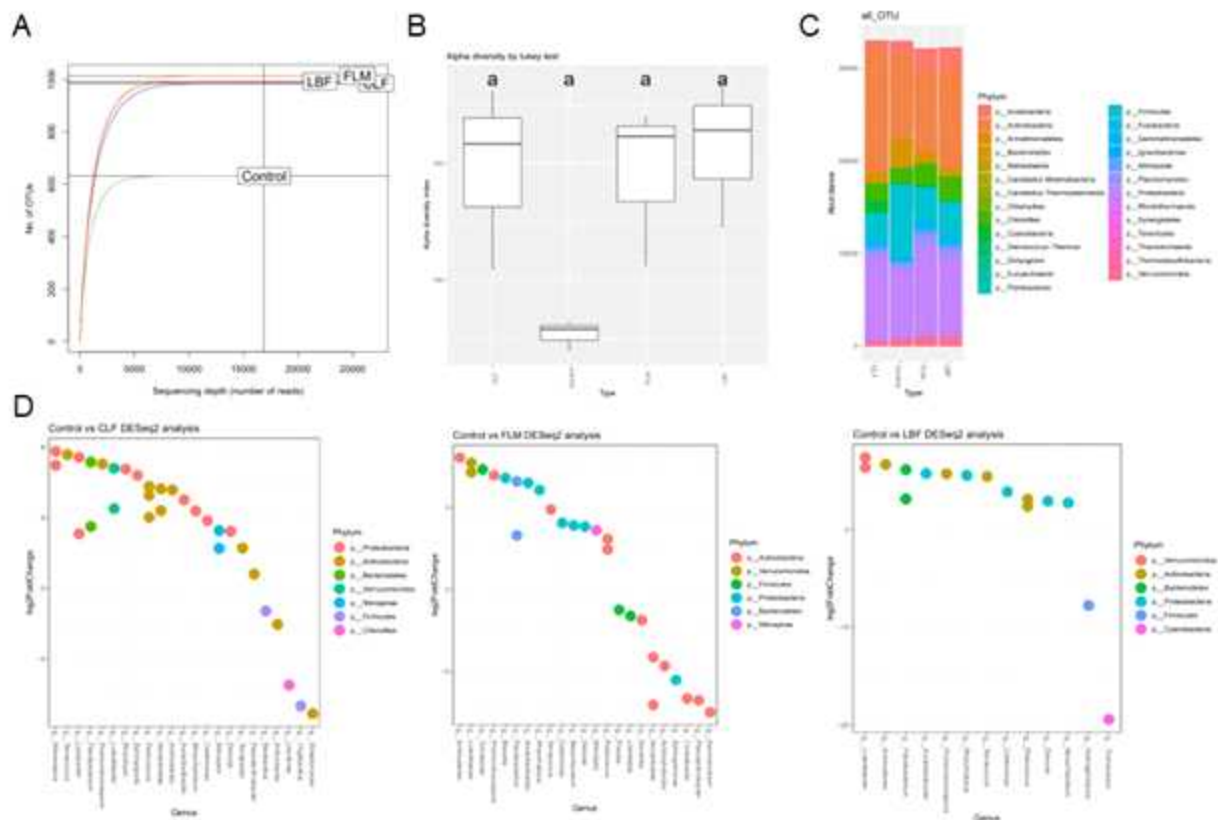


그림 87 액비 처리에 대한 박테리아 성상 분석

- 각 퇴비 처리구의 열 개의 phylum (Acidobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes, Chloroflexi, Firmicutes, Gemmatimonadetes, Nitrospirae, Planctomycetes, Proteobacteria, and Verrucomicrobia)에서 1,000 ASVs 이상의 박테리아가 확인되었으며, 특히 Actinobacteria 그리고 Proteobacteria에서 ASVs가 크게 확인됨.

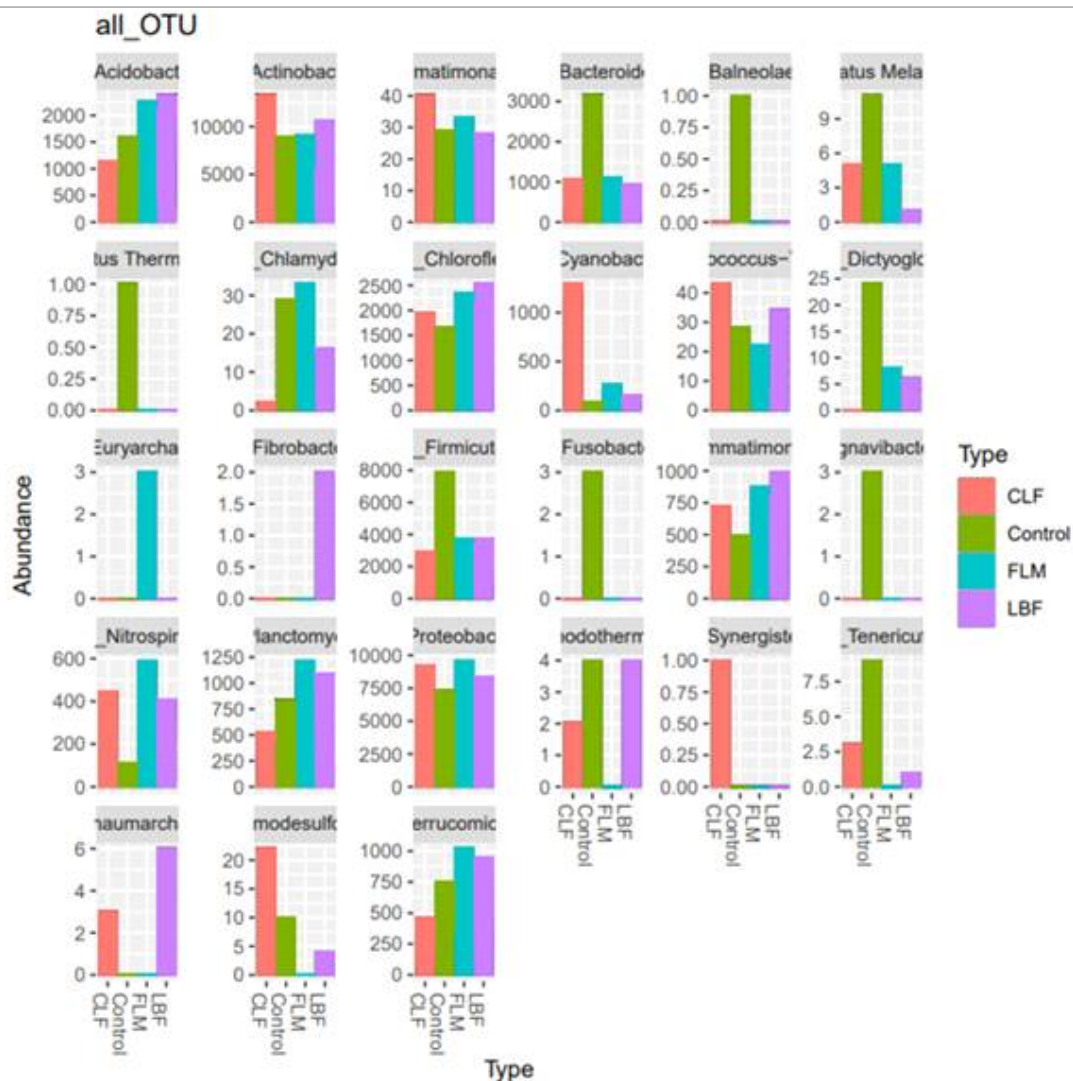


그림88 다양한 퇴비 처리에 의한 박테리아 형성

- 향산화 물질 분석을 위하여 표준물질을 통한 정량 곡선을 분석
 - 위의 실험 모두에서 R2의 값이 0.98 이상으로 나타났으며 농도에 따른 수치의 변화가 높은 상관관계를 보였음.

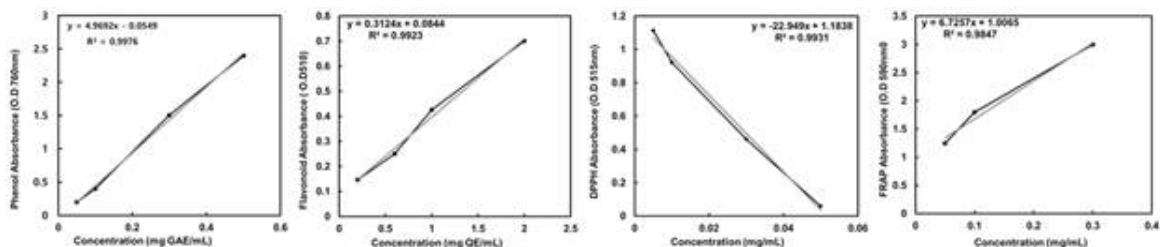


그림89 향산화 물질 분석을 위한 표준물질의 정량 곡선

- 화학비료와 비교하여 액비 처리시 총 폴리페놀의 함량은 감소하였으며, 총 플라보노이드 함량은 증가하였으나 큰 차이를 보이지 않음.
- 총페놀과 유사한 DPPH 소거능 역시 감소하였으며 큰 차이를 보이지 않았으며, FRAP역시 감소함. ABTS 소거능과 아질산염은 화학비료와 액비의 차이는 거의 보이지 않으나 Reducing power은 액비에서 유의하게 감소함.
- 이러한 결과는 액비 처리시 식물세포 성장에는 긍정적인 영향을 미쳤으나, 총페놀, DPPH 소거능, FRAP, reducing power에는 부정적인 영향을 준 것으로 보임.

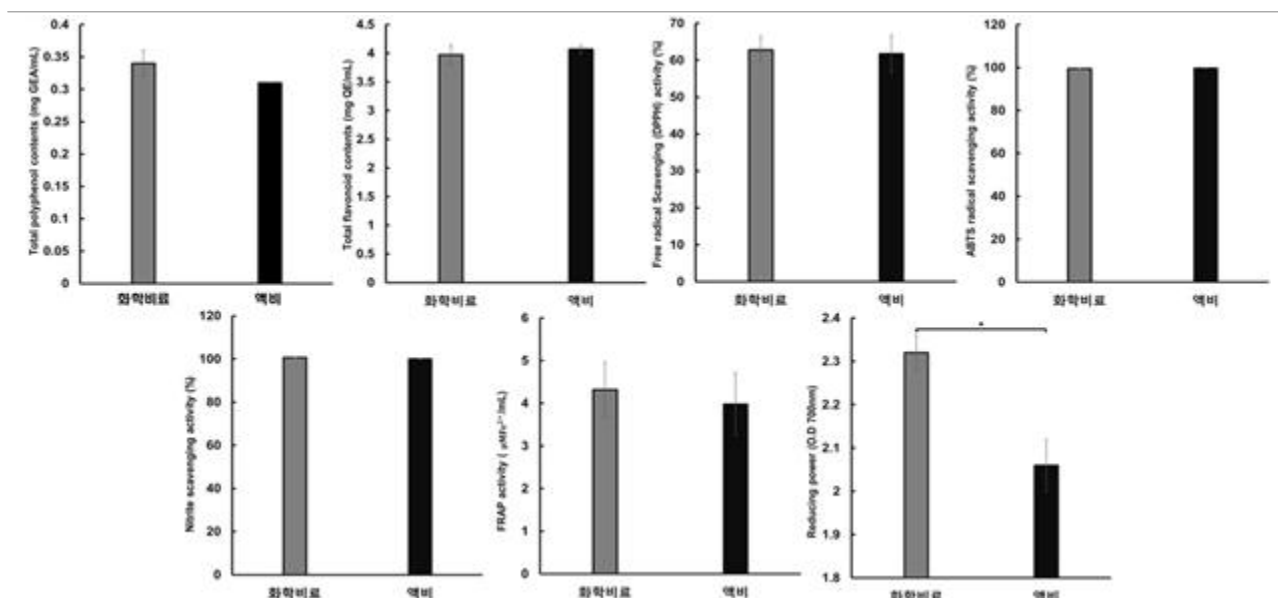


그림90 향산화 물질 검정

라) 퇴·액비의 표준시비량과 비교한 적정시비량 도출

○ 액비-화학양액, 발효액비, 클로렐라 여과액 시용 (얼갈이배추)

- 액비의 NO_3^- -N, K, Na, Ca 와 토양의 pH, NO_3^- -N, 그리고 exchangeable Na가 박테리아 군집과 유의한 상관관계를 보임. 액비와 토양의 7가지 화학적 성분이 토양 미생물 변화에 미친다는 가설을 세움. 7개의 화학 성분과 토양 미생물의 사이에 canonical correspondence analysis (CCA)를 시행함.
- 7가지 화학적 성분과 토양 미생물 사이에 상관관계에서 특이적 차이를 평가한 결과. 5개의 phylum에서 상관관계를 가지는 미생물을 확인함. K 에 상관관계를 가지는 6개의 genus(Terracoccus, Virgibacillus, Lysobacter, Mesorhizobium, Nitrospira, Rhizobium)를 확인 하였고, 특이적이게 다른 화학적 성분인 6개의 성분과는 반대의 상관관계를 보임.
- CCA plot 에서는 4분면으로 나누어져 1분면에서는 FLM이 위치 하였음. 1분면에서는 Na와 양의 상관관계를 가졌으며, 2분면에서는 LBF가 위치해 있으며 NO_3^- -N(액비), Na(액비), Ca(액비), pH(토양), NO_3^- -N(토양)와 양의 상관관계를 가졌음. 4분면에서는 CLF가 위치했으며 K(액비)와 양의 상관관계를 가졌음. 이 결과는 화학적 성분이 뚜렷한 박테리아 군집을 이루었다는 것을 시사함.

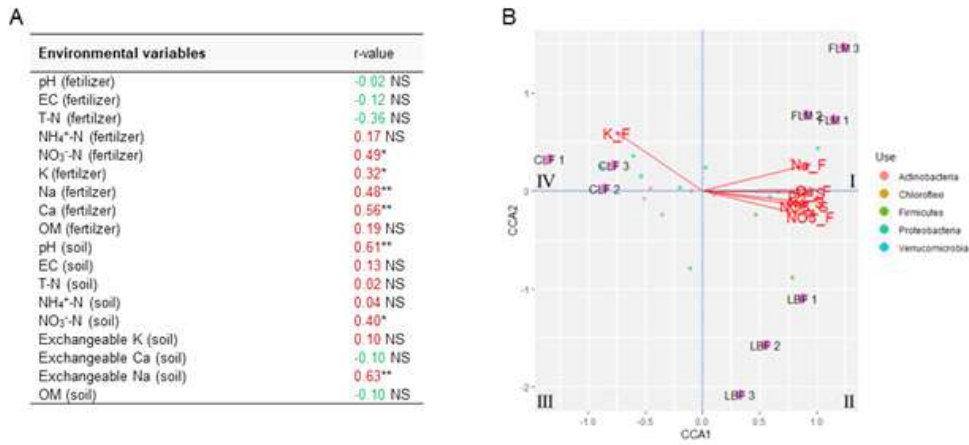


그림91 토양과 액비의 화학적 성분과 토양 미생물간의 상관관계 분석

Phylum	Genus	Na_F	K_F	NO3_F	Ca_F	pH_S	NO3_S	Na_S
Actinobacteria	Actinoplanes	0.77*	-0.21	0.51	0.65	0.63	0.57	0.49
	Nocardioides	-0.77*	0.45	-0.7*	-0.77*	-0.95***	-0.61	-0.72*
	Pedococcus	-0.7*	0.66	-0.84**	-0.81**	-0.94***	-0.7*	-0.78*
	Pseudarthrobacter	-0.45	0.56	-0.59	-0.53	-0.81**	-0.53	-0.62
	Terrabacter	-0.58	0.67	-0.71*	-0.7*	-0.76*	-0.65	-0.78*
	Terracoccus	-0.85**	0.75*	-0.9**	-0.93***	-0.81**	-0.89**	-0.93***
Chloroflexi	Litorilinea	0.86**	-0.5	0.75*	0.88**	0.66	0.8**	0.94***
Firmicutes	Neobacillus	0.66	-0.9***	0.91***	0.82**	0.7*	0.92***	0.88**
	Virgibacillus	0.27	-0.81**	0.64	0.45	0.48	0.56	0.3
Proteobacteria	Lysobacter	-0.78*	0.83**	-0.94***	-0.92***	-0.73*	-0.94***	-0.97***
	Massilia	0.81**	-0.24	0.59	0.78*	0.59	0.52	0.64
	Mesorhizobium	-0.22	0.74*	-0.69*	-0.49	-0.58	-0.47	-0.55
	Nitrosospira	-0.72*	0.74*	-0.9**	-0.85**	-0.89**	-0.79*	-0.87**
	Rhizobium	-0.72*	0.81**	-0.89**	-0.86**	-0.57	-0.92***	-0.9***
	Rhizorhabdus	0.79*	-0.5	0.63	0.78*	0.83**	0.66	0.71*
	Sphingomonas	-0.74*	-0.23	-0.26	-0.51	-0.48	-0.36	-0.4
	Sphingopyxis	-0.47	0.65	-0.72*	-0.6	-0.79*	-0.58	-0.69*
Verrucomicrobia	Luteolibacter	0.76*	-0.43	0.78*	0.74*	0.75*	0.75*	0.59

그림92 미생물과 토양 및 액비의 화학적 성분 간 Mantel test 결과

- 각 액비처리에 따라 특이적으로 차이를 보이는 토양 미생물을 결정하기 위해 각 처리구를 대조군과 비교하여 상대적 ASVs를 분석
 - Litorilinea 는 FLM 및 LBF와 다르게 CLF에서만 감소를 확인함. FLM에서는 Sphingomonas 와 Nocardioides가 특이적으로 감소를 보임. LBF에서는 CLF와 비슷하게 Sphingomonas, Nocardioides가 증가됨.

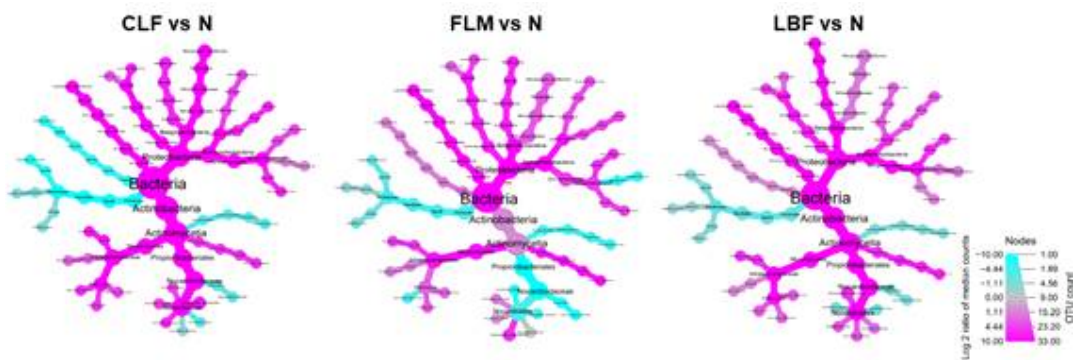


그림93 대조군과 처리구간 특이적 토양 미생물의 상대적 ASVs Heat-tree

바. 여과액비의 상추 재배 시험

1) 실험재료 및 방법

- 여과액비(Filtered liquid manure fertilizer; FLF)의 생육 및 생리적 효과를 확인하기 위해 재배실험을 상지대학교 온실에서 실시하였음. 이 실험에서는 관비재배방법을 도입하여 작물의 성장과 생리적인 변화를 관찰함.
- 여과액비의 경우 실험 전 성분 분석을 실시하였고 성분분석 결과 N, P, K 중 P의 함량이 특이적으로 매우 적은 수치를 나타냄. 이는 퇴비를 액비를 여과할 때 일반적으로 나타나는 문제점임. 이점을 고려하여 여과 액비 20 L 당 인산 암모늄 50 g을 추가적으로 공급하여 실험을 진행함.



(적상추와 청상추 수확 사진)



(여과액비에 추가된 인산암모늄)

그림94 상추와 인산암모늄

표248 여과액비의 화학적 성상 분석 결과.

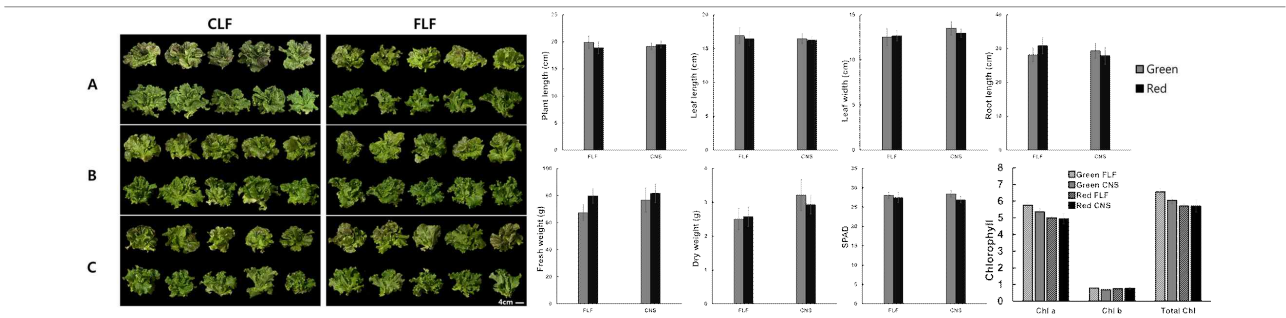
구분	값	구분	값
NO ₃ (mg/kg)	6669.03	Mn (mg/kg)	0.24
NH ₄ (mg/kg)	432.89	Zn (mg/kg)	36.97
Total N (mg/kg)	1,667.88	Cu (mg/kg)	4.57
P (mg/kg)	75.29	Mo (mg/kg)	0.78
K (mg/kg)	1,578.68	Ni (mg/kg)	0.10
Ca (mg/kg)	147.55	Na (mg/kg)	601.44
Mg (mg/kg)	13.08	Cl (mg/kg)	1,161.76
SO ₄ (mg/kg)	604.16	NaCl (%)	0.15
Fe (mg/kg)	57.88	OM (%)	0.30
B (mg/kg)	10.44	Cr (mg/kg)	0.49

- 적상추와 청상추의 모종을 구매하여 2023년 9월 22일에 식재 후 약 일주일 후인 2023년 9월 27일부터 여과액비와 대조구인 화학양액을 공급함. 양액의 공급은 하루에 두번 오전 6시 및 오후 6시에 관비 재배 방법으로 공급되었음.
- 적상추와 청상추의 생육조사는 식재 후 약 두 달 뒤인 23년 10월 20일에 진행되었으며 조사 항목은 SPAD, 초장, 엽장, 엽폭, 클로로필 총 5가지로 선정하여 측정함.
- SPAD는 SPAD 측정기(SPAD-502plus, Minolta, Japan)을 사용하여 측정함. Chlorophyll의 경우 상추의 생잎 20mg을 정량하고 그 즉시 100% DMSO(dimethyl sulphoxid) 5 ml에 침적하여 밀폐된 튜브에 넣고 water bath 65 °C 압조건에서 6시간 증탕함. 그 이후 분광광도계(OPIZEN POP)를 이용하여 665nm(A665) 및 648nm(A648)의 파장으로 흡광도를 측정함.
- Chlorophyll 함량 식은 다음과 같음.
 - Chlorophyll a = (14.85 A665 - 5.14 A648)
 - Chlorophyll b = (25.48 A665 - 7.36 A648)
 - Total Chlorophyll = (7.49 A665 + 20.34 A648)

2) 실험결과

가) 생육

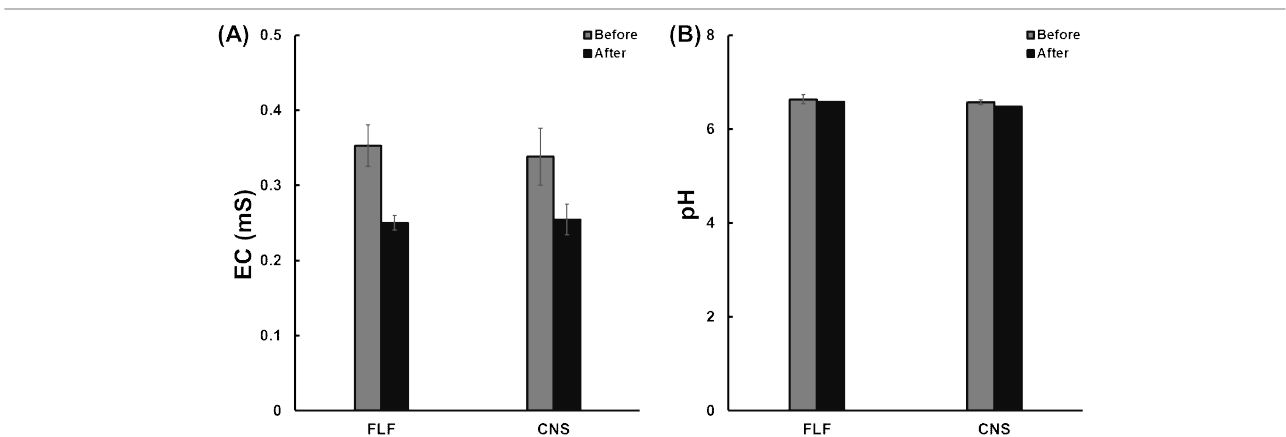
- 생육조사 결과 모든 항목에서 여과액비와 화학양액 간의 유의성 있는 차이는 보이지 않았음.
- SPAD 측정 이후에 추가적으로 분석한 클로로필 함량의 경우 SPAD와 마찬가지로 유의성을 보이지 않았음.
- 즉 상추의 성장에 있어 여과액비는 시판용 화학양액 만큼의 생육 발달을 보였음.
- 작물의 생육에 있어 화학양액과 여과액비 간의 생육 차이는 보이지 않았으며 이는 여과액비가 화학양액과 동등한 생육 발달을 보인다는 것을 시사함.



주: 1) CLF; chemical liquid fertilizer / FLF ; filtered liquid manure fertilizer
 2) 통계적 유의성은 two-tailed student's t-test에 의하여 수행되었다. n=12. (* : p < 0.05, ** : p < 0.01, *** : p < 0.001).

그림95 액비의 종류에 따른 적상추와 청상추의 생육차이 및 생육조사

- 여과액비 및 화학양액의 전기전도도(EC; Electrical conductivity), pH(percentage of Hydrogen ions)을 측정함. 작물이 흡수하기 이전의 값과 작물이 흡수하고 남은 폐양액을 모두 측정하여 비교함.
- pH는 작물의 흡수 전과 후가 크게 다르지 않고 일정하게 유지되는 것을 알 수 있었음. 그와 대조적으로 EC의 경우 작물의 흡수 전과 후의 수치에 차이가 있는 것을 알 수 있었음.
- 수경재배에서 작물생육에 적합한 pH는 5.5에서 6 내외로 작물의 뿌리 흡수 전과 후의 pH값이 일정하고 EC 값이 줄어든 것을 미루어 짐작해봤을 때, 여과액비를 공급한 상추와 화학양액을 공급한 상추의 생육에 유의미한 차이가 없는 것은 옳이 여과액비와 화학양액의 각 처리구별 특징적인 성상의 양분 흡수로 인한 결과라는 것을 시사함.



주: Before : 작물의 흡수 전 / After : 작물의 뿌리 흡수 이후

그림96 여과액비 및 화학양액의 수질 측정

나) 항산화 분석

- 여과액비 및 화학양액의 공급에 따른 적상추와 청상추의 생리적 차이에 대해 알아보기 위해 항산화 실험을 진행함. 항산화 실험은 총 페놀 함량(total polyphenol contents), 플라보노이드 함량(flavonoid contents), DPPH소거능(scavenging activity, DPPH assay), reducing power, ABTS 소거능 (ABTS scavenging activity), 아질산염 소거능(nitrite scavenging activity) 총 6가지 분석을 실시함. 총 폴리페놀과 플라보노이드 실험의 경우 표준물질을 이용하여 만든 standard curve(표준곡선)의 결과를 기반으로 함량을 구했으며, 표준곡선은 R2의 값이 0.99이상으로 나타남. 농도에 따른 수치 변화가 높은 상관관계를 보였음. DPPH 소거능 실험의 경우 실험과정에 있어 정량적인 분석이 이루어졌음을 보여줌.
- 여과액비 및 화학양액의 시용에 따른 적상추와 청상추의 항산화 분석결과 총 폴리페놀 함량, DPPH 소거능, ABTS 소거능은 적상추와 청상추 모두 여과액비와 화학양액간의 유의성있는 차이는 보이지 않음. 여과액비가 화학양액 만큼에 달하는 항산화 물질의 함량을 갖는 수치를 보였음.
- 플라보노이드 함량 분석과 아질산염 소거능 실험의 경우 적상추에서는 유의성 있는 차이를 보이지 않았지만 청상추의 경우 화학양액과 여과액비에 따른 유의성있는 차이를 보이는 것을 나타냄.
- 플라보노이드 함량의 경우 여과액비를 시용한 청상추가 화학양액을 시용한 청상추보다 유의성있게 더 높은 함량을 나타낸 것을 보임. 그러나 이와 대조적으로 아질산염 소거능의 경우 여과액비보다는 화학양액에서 유의성있게 높은 함량을 나타냄.
- Reducing power(%)의 경우 여과액비와 화학양액의 시용에 따른 청상추의 분석에서 유의성있는 차이를 보이지는 않았으나, 적상추의 경우 여과액비와 화학양액의 처리에 따른 유의성있는 차이를 보이는 결과를 나타냄.
- Reducing power(%)에서의 적상추 결과의 경우 화학양액보다는 여과액비에서 더 높은 소거능을 나타낸 것을 보임. 즉 적상추에서 여과액비가 화학양액 그 이상의 활성산소 소거율을 보였다는 것을 보임.

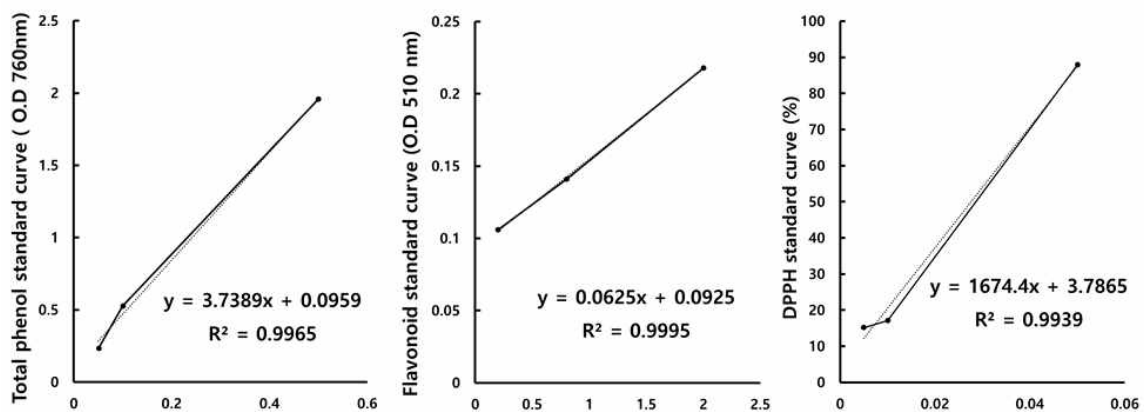
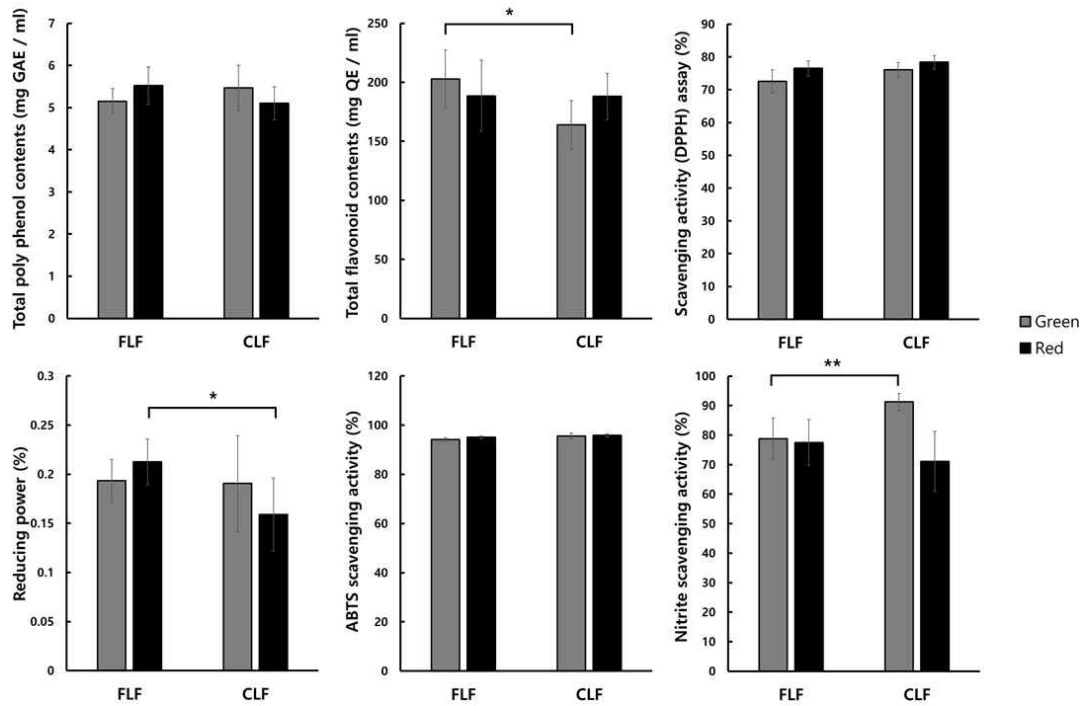


그림97 적상추 및 청상추 추출물의 항산화 물질 분석을 위한 표준물질의 표준곡선. DPPH 표준곡선의 경우 정량적 분석을 위해 진행.



주: CLF: chemical liquid fertilizer; FLF: filtered liquid manure fertilizer; 통계적 유의성은 two-tailed student's t-test에 의하여 수행. n=15 (* : p < 0.05, ** : p < 0.01, *** : p < 0.001)

그림98 여과액비 및 화학양액 시용에 따른 청상추 및 적상추의 항산화 분석

사. 한우퇴비의 옥수수 단수수 재배 시험

1) 실험 재료 및 방법

- 한우퇴비의 처리농도에 따른 옥수수과 단수수의 생육 및 생리적 특성에 대해 알아보기 위해 상지대학교 내에서 사료용 옥수수과 단수수의 노지 재배실험을 진행함.
- 한우퇴비의 경우 이용전 성분분석을 실시하였으며 부속판정결과 적정판정을 받은 것을 이용함.
- 처리구의 경우 시판용 화학퇴비, 무처리, 한우퇴비 적정, 한우퇴비 2배, 한우퇴비 4배의 총 5가지 처리구로 설정하였으며 한우퇴비의 시용 기준의 경우 농촌진흥청에서 제공하는 적정 시비량을 기준으로 함.
- 포장 설계는 통계학적 디자인인 RCBD(random complete block designs)를 기반으로 하여 설계되었음. 총 3개의 block으로 구성하여 block내에서 5개의 처리구가 랜덤하게 배정됨.

표248 한우퇴비의 성상분석

Total nitrogen (%)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Total phosphorus (%)
1.51 (±0.36)	1403.73 (±127.89)	1381.33 (±32.38)	0.98 (±0.31)
Soluble phosphorus (%)	Total potash (%)	Organic matter (%)	CEC (cmol*/kg)
0.69 (±0.15)	1.24 (±0.30)	47.38 (±7.05)	55.93 (±10.94)
Compost maturity	pH (1:10)	EC(1:10)(dS/m)	Moisture(%)
Complete	9.20 (±0.08)	5.40 (±0.62)	28.71 (±1.90)

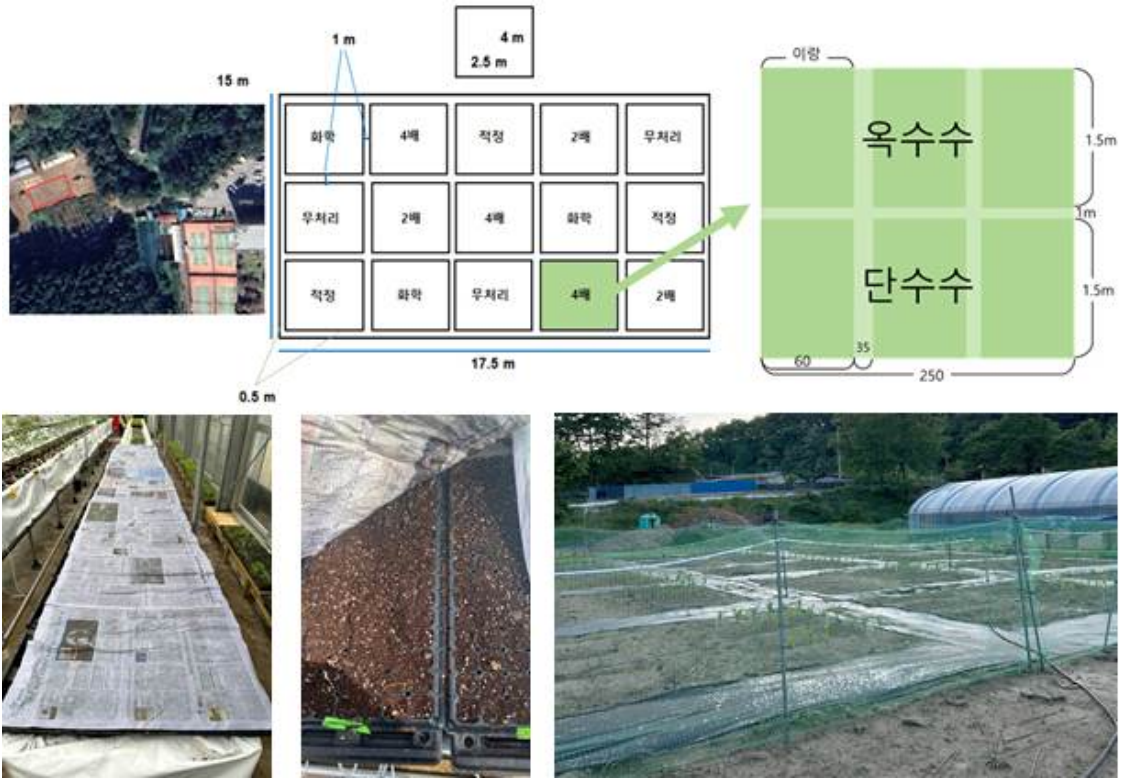


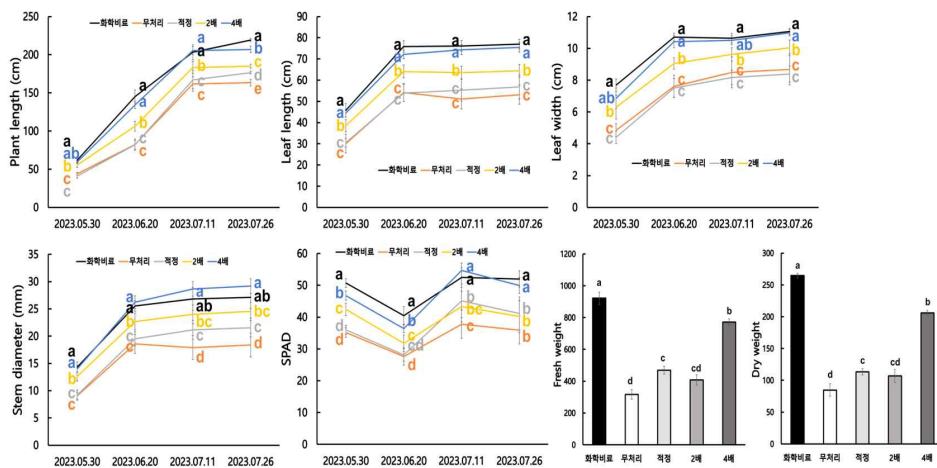
그림99 옥수수 및 단수수 포장 설계도, 종자 파종, 노지재배 포장 전경.

- 사료용 옥수수는 2023년 4월 5일 종자를 플러그묘에 파종함. 파종 후 약 3주 후인 2023년 4월 27일 유묘상태의 식물체를 노지에 이식하여 재배함. 생육조사는 12반복으로 진행되었으며 초장, 엽장, 엽폭, 줄기직경, SPAD 총 5가지 항목을 선정하여 3주에 한 번씩 진행됨.
- 토양 및 식물 지상부 샘플은 토양의 화학적 상성분석, 작물의 향산화 분석에 이용되었음. 토양은 작물의 뿌리를 뽑았을 때 나오는 근권토양을 채취하였음. 식물 샘플링의 경우 작물의 지상부 전체를 증류수로 세척하여 60 °C의 열풍건조기에서 일주일간 건조시킨 후 분쇄기를 이용하여 마쇄하였음.
- 작물 수확시에 지상부만의 무게를 측정하여 생체중을 기록하였으며 그 이후 샘플링과정에서 세척하여 건조과정을 거친 건조된 시료를 분말화 하기 전에 건물중을 기록하였음.
- 작물 생육조사의 경우 3주에 한번 씩 진행하였음. 초장, 엽장, 엽폭, 줄기직경, SPAD를 측정했으며 수확이후 생체중과 건물중을 한번 측정함. 옥수수를 노지에 이식 후 3주 뒤에 처리구간의 차이가 보이기 시작하여 그 때부터 생육조사를 실시함. 생체중과 건물중은 3반복으로 진행했으며(n=3), 이를 제외한 나머지 항목은 12반복으로 진행되었음(n=12).

2) 실험 결과

가) 옥수수 생육

- 한우퇴비의 시용에 따른 옥수수의 생육조사 결과 가장 생육 수치가 높은 순서대로 한우퇴비 4배처리구, 한우퇴비 2배 처리구, 한우퇴비 적정 처리구가 가장 높았음.
- 7월 26일 기준으로 엽장(화학비료:77.03 cm, 4배:75.48 cm), 엽폭(화학비료:1106 cm, 4배: 10.98 cm), 줄기직경(화학비료:27.13 cm, 4배:29.18 cm), SPAD(화학비료:52.01, 4배:49.95)는 화학비료와 4배간의 유의미한 차이를 보이지 않았음. 초장(화학비료:219.07 cm, 4배: 207 cm), 생체중(화학비료:921.33 g, 4배:772 g), 건물중(화학비료:264.67 g, 4배:206 g)의 경우 화학비료가 4배보다 유의성 있게 높긴 했으나 다른 처리구(무처리(초장:163.33 cm, 생체중:30.09 g, 건물중:84.67 g), 적정(초장:176.67 cm, 생체중:25.04 g, 건물중:113.33 g), 2배(초장:185 cm, 생체중:31.76 g, 건물중:107 g))에 비하여 월등히 높은 수치였음.
- 옥수수의 모든 항목의 생육조사 결과 월등히 높은 수치를 나타내는 처리구는 화학비료 및 한우퇴비 4배 처리구간이었으며 이 두 처리구간의 유의성은 보이지 않았음. 즉 한우퇴비 4배 처리구간 작물이 화학비료를 처리한 작물 만큼의 생육발달을 이뤄낸 것을 알 수 있었음.
- 생체중과 건물중의 경우 다른 한우퇴비 처리구 및 무처리 구간보다 화학비료 처리구간의 무게가 유의성 있게 높은 결과를 나타냄. 이러한 biomass의 차이는 화학비료를 처리했던 작물이 한우퇴비 처리구의 작물에 비해 corn emergence rate가 높아 과실을 맺는 시기가 빨랐기 때문이라고 예상됨. 또한 이와 같은 결과로 이전 연구되었던 ‘Effect of Hanwoo (Korean cattle) manure as organic fertilizer on plant growth, feed quality, and soil bacterial community’에서 보고된 바와 같이 화학비료가 corn emergence rate를 촉진한다는 점에서 같은 결과를 나타내고 있으며 이전 보고된 연구와 같은 경향성을 가짐. 즉 이와 같은 결과는 비교적 빠른 생식생장으로의 전환으로 인한 통계적 결과라고 시사함.
- 작물의 생장은 영양생장 이후 생식생장으로 전환됨. 영양생장에서 생식생장으로의 전환시기에 대한 여러 연구문헌에 따르면 생식 생장으로 전환되는 시기가 빠를수록 작물의 스트레스와 관련이 있을 수 있다는 결과가 존재함.

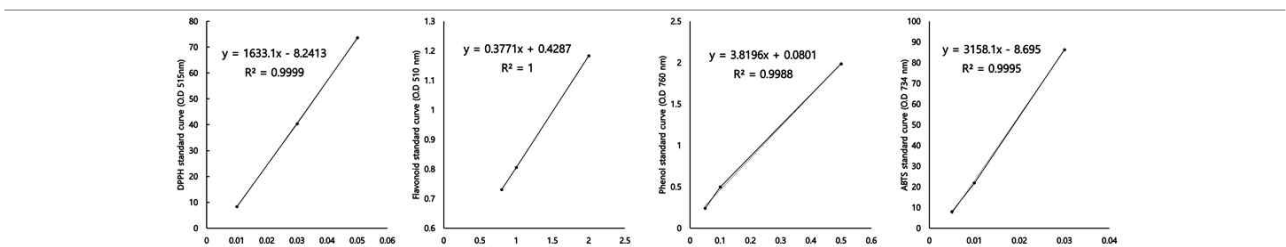


주: 통계적 유의성은 R은 package Agicolae을 이용하여 Duncan의 다중범위검정법 (Duncan's new multiple range test)을 통해 통계처리 하였으며, 평균제곱오차를 고려해 평균 값을 5% 유의수준에 비교하였음. n=12.

그림100 화학비료와 한우퇴비 시용에 따른 옥수수의 생육 차이.

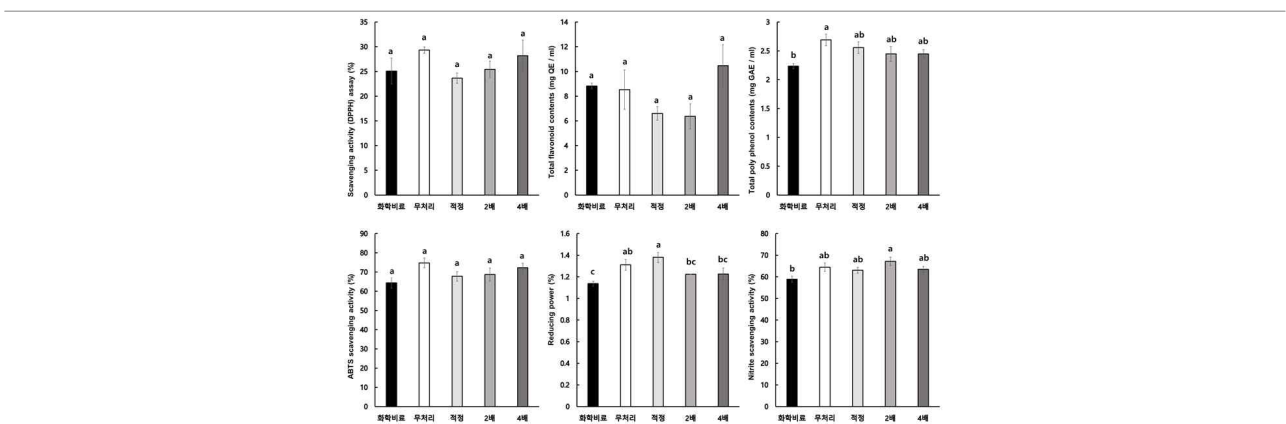
나) 옥수수 향산화 분석

- 한우퇴비의 처리농도에 따른 사료용 옥수수의 향산화 성분 분석을 위해 향산화 실험을 진행함. 총 폴리페놀 함량 (mg/ml), 플라보노이드 함량 (mg/ml), DPPH 소거능 (%), ABTS 소거능 (%), Reducing power (%), 아질산염 소거능 (%) 총 다섯가지 항목을 실험함.
- 실험 결과, DPPH 소거능(화학비료:25.09 %, 무처리:29.32 %, 적정:23.65 %, 2배:25.41 %, 4배:28.19 %), 플라보노이드 함량(화학비료:8.82 mg/ml, 무처리:8.53 mg/ml, 적정:6.60 mg/ml, 2배:6.37 mg/ml, 4배:10.46 mg/ml), ABTS 소거능(화학비료:64.33 %, 무처리:74.76 %, 적정: 67.74 %, 2배:68.70 %, 4배: 72.21 %)의 경우 모든 처리구에서 유의성 있는 차이를 보이지 않음. 즉 무처리, 적정, 2배, 4배 모두 화학비료 만큼의 향산화 활성을 보임.
- 높은 성장률을 보였던 화학비료의 생육조사 결과와는 달리 향산화 분석에서는 총 폴리페놀 함량, Reducing power(%), 아질산염 소거능(%)등에서 화학비료(폴리 페놀:2.24 mg/ml, Reducing power:1.14 %, 아질산염 소거능:58.88 %)가 가장 저조한 수치를 나타냄. 또한 생육이 좋지 못했던 무처리구(폴리 페놀:2.69 mg/ml, Reducing power:1.31 %, 아질산염 소거능:65.45 %) 및 한우퇴비 적정 시비 처리구(폴리 페놀:2.56 mg/ml, Reducing power:1.38 %, 아질산염 소거능:63.06 %)는 총 페놀 함량, reducing power 등의 향산화 분석에서 유의성있게 높은 수치를 드러낸 것을 알 수 있음.
- 유의성이 보이지 않는 DPPH소거능, 플라보이드 함량, ABTS 소거능을 제외하고 나머지 총 페놀 함량, Reducing power, 아질산염 소거능에서 화학비료는 유의미하게 가장 낮은 수치를 보임. 가장 유의성 있게 높았던 처리구는 총 페놀 함량의 경우 무처리구간 이었고, Reducing power의 경우 적정처리구, 아질산염 소거능의 경우 한우퇴비 2배 처리구간 이었음.



주: DPPH 및 ABTS 표준곡선의 경우 정량적 분석을 위해 진행되었음.

그림101 사료용 옥수수 추출물의 향산화 물질 분석을 위한 표준물질의 표준곡선.



주: 통계적 유의성은 R은 package Agicolae를 이용하여 Duncan의 다중범위검정법 (Duncan's new multiple range test)을 통해 통계처리 하였으며, 평균제곱오차를 고려해 평균값을 5% 유의수준에 비교하였음. n=12.

그림102 한우퇴비 처리농도에 따른 사료용 옥수수의 향산화 분석.

다) 옥수수 수확 후의 토양 화학적 상성 분석

- 수확후 뿌리 근권의 잔류토양 분석결과 가장 생육이 발달 되지 못했던 한우퇴비 적정 처리구에서 가장 유의성있게 높은 함량을 보임. 무처리구간을 제외한 대부분의 처리구에서 잔류토양 분석결과의 전체적인 경향을 고려해봤을 때 작물의 성장과 잔류토양의 화학적 성상은 반비례적인 경향을 보임. 즉 작물생육이 좋을수록 잔류토양의 화학적 성상 수치는 낮은 값을 보이는 결과를 나타냄.
- 화학비료의 경우 향산화 실험 및 잔류토양 분석결과에서 가장 낮은 수치를 보였는데 그에 반해 작물의 생육은 가장 좋았으며 생식생장으로의 전환기도 다른 처리구에 비해 매우 빨랐음.
- 옥수수의 생육, 향산화 결과, 처리구별 잔류토양의 화학적 성상을 모두 고려해봤을 때 무처리를 제외하고는 생육이 좋으면 향산화 및 잔류토양 분석결과가 낮고 생육이 저조하면 향산화 및 잔류토양 분석결과가 높음.

표249 수확 후 근권 잔류 토양의 화학적 성상 분석.

항목	단위	무처리	적정	화학	2배	4배
pH	-	6.90 (±0.1) b	7.27 (±0.06) a	6.10 (±0) d	6.70 (±0.1) c	6.73 (±0.06) c
EC	(dS/m)	0.10 (±0) b	0.20 (±0) a	0.10 (±0) b	0.20 (±0) a	0.20 (±0) a
OM	(g/kg)	13.12 (±0.63) d	20.83 (±1.24) a	12.48 (±0.83) d	18.54 (±1.20) b	15.67 (±1.52) c
T-N	(%)	0.08 (±0.01) b	0.13 (±0.01) a	0.08 (±0.01) b	0.12 (±0.01) a	0.09 (±0.01) b
P2O5	(mg/kg)	76.67 (±1.53) c	143.33 (±3.21) a	81.33 (±11.37) c	119.33 (±5.03) b	138.00 (±5.57) a
K		0.07 (±0.01) d	0.15 (±0.02) a	0.12 (±0.01) c	0.12 (±0.01) bc	0.14 (±0.01) ab
Ca		5.30 (±0.17) b	5.93 (±0.12) a	4.33 (±0.15) c	5.13 (±0.32) b	5.43 (±0.15) b
Mg		1.73 (±0.06) b	1.70 (±0.00) bc	2.20 (±0.1) a	1.47 (±0.12) d	1.57 (±0.06) cd

주: 통계적 유의성은 R package Agicolae을 이용하여 Duncan의 다중범위검정법 (Duncan's new multiplerage test)을 통해 통계 처리 하였으며, 평균제곱오차를 고려해 평균값을 5% 유의수준에 비교하였음.

라) 단수수 생육

- 단수수는 2023년 5월 2일 종자를 받아 플러그묘에 파종함. 단수수 종자의 특성상 발아율이 높지 않아 한번에 2-3개의 종자를 파종했고 이후 속아주는 과정을 거쳐서 유묘까지 길러냄. 파종 후 4주뒤인 2023년 5월 30일에 수수를 노지에 이식함. 생육조사는 3주에 한번씩 진행되었으며 이식 후 3주 뒤인 2023년 6월 20일에 처음 생육조사를 시작하였음.
- 생육조사 항목은 옥수수과 마찬가지로 초장, 엽장, 엽폭, 줄기직경, SPAD로 총 다섯가지로 추려서 생육조사를 진행함. 조사결과 8월 2일 기준으로 초장의 경우 화학비료 128.28 cm, 무처리 133.47 cm, 적정 133.21 cm, 2배 131.83 cm, 4배 133.19 cm로 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며 엽장(화학비료:80.39 cm, 적정:74.89 cm, 2배:73.64 cm, 4배:76.65 cm), 엽폭(화학비료:8.15 cm, 적정:8.37 cm, 2배:8.02 cm, 4배:7.84 cm), 줄기직경(화학비료:19.87 cm, 적정:20.09 cm, 2배:18.95 cm, 4배:20.11 cm), SPAD(화학비료:56.47, 적정:55.87, 2배:51.53, 4배:54.45)의 경우에도 무처리(엽장:64.76 cm, 엽폭:6.80 cm, 줄기직경:16.54, SPAD:43.91)를 제외한 나머지 처리구에서 유의성이 보이지 않았음. 무처리는 다른 모든 처리구와 비교하여 가장 낮은 수치를 보임.

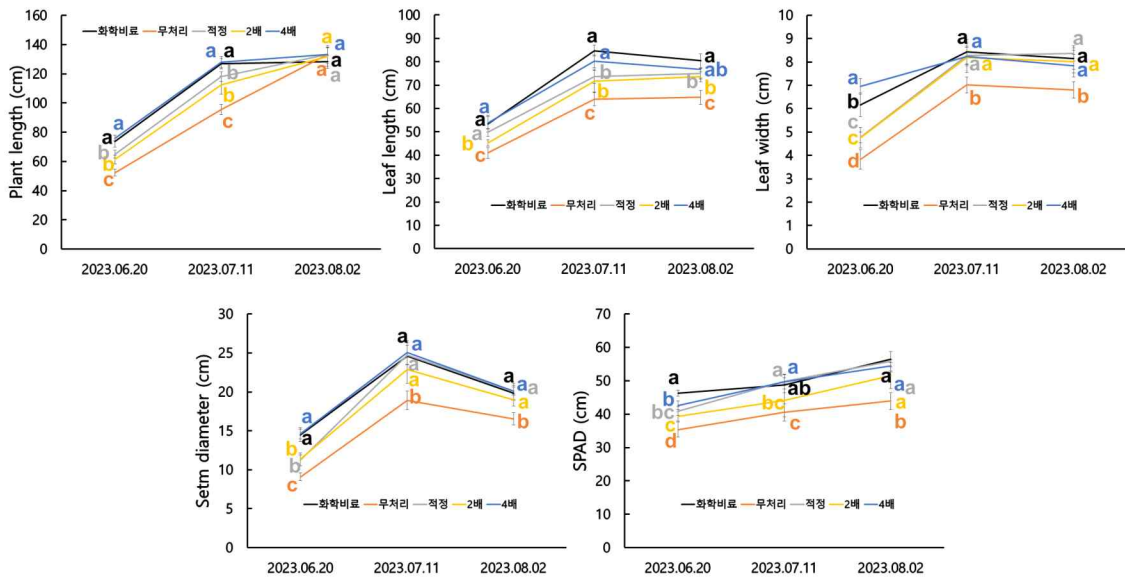


그림103 화학비료와 한우퇴비 시용에 따른 단수수의 생육 차이.

6. 작물별 적정 시비량 분석 및 가축분뇨 발효액 비료처방시스템 개선(안) 개발

가. 벼재배에서 살펴본 지대별 비료 사용량

- 평야지 및 중간지에서는 토양종류별 비료사용량이 다름. 질소사용량은 미숙답이 10kg/10a로 가장 많고 다음으로 사질답 9.0kg/10a, 습답 8.5kg임. 인산사용량은 미숙답이 5.4kg/10a로 가장 많고 사질답이나 습답은 5.1kg/10a로 동일함. 칼리질 비료는 사질답과 습답이 7.1kg/10a로 많고 미숙답은 6.8kg/10a로 이보다 적었음.

표250 평야지 및 중간지 토양 종류별 비료 사용량

단위: 보통답 목표수량 480kg 기준, 성분량, kg/10a

구분	비종	합계	밑거름	분얼거름	이삭거름
사질답	질소	9.0	5.0	2.0	2.0
	인산	5.1	5.1	-	-
	칼리	7.1	5.0	-	2.1
습답	질소	8.5	4.7	1.9	1.9
	인산	5.1	5.1	-	-
	칼리	7.1	5.0	-	2.1
미숙답	질소	10.0	5.6	2.2	2.2
	인산	5.4	5.4	-	-
	칼리	6.8	4.8	-	2.0

- 중산간지 및 냉조풍지는 평야지나 중간지 대비 질소사용량은 비슷하였으나 인산사용량이 1.0~1.3kg/10a 많았으며 칼리사용량도 0.7~1.0kg/10a 많았음.

표251 중산간지 및 냉조풍지 비료 사용량

단위: 보통답 목표수량 480kg 기준, 성분량, kg/10a

비종	합계	밑거름	분얼거름	이삭거름
질소	9.0	5.4	1.8	1.8
인산	6.4	6.4	-	-
칼리	7.8	5.5	-	2.3

- 산간고랭지와 같은 저온지대는 중산간지나 냉조풍지와 질소사용량은 동일하였으나, 인산 사용량은 1.3kg/10a가 많았고 칼리사용량은 1.5kg/10a가 많았음.

표252 산간고랭지 비료 사용량

단위: 보통답 목표수량 480kg 기준, 성분량, kg/10a

비종	합계	밑거름	분얼거름	이삭거름
질소	9.0	7.2	1.8	-
인산	7.7	7.7	-	-
칼리	9.3	6.5	-	2.8

나. 중간지와 산간고랭지의 토양 양분함량 비교 분석 사례

- 중간지인 횡성군과 산간지인 태백시의 토성을 분석하였음. 횡성군의 전체 9개 지역(갑천면, 강림면, 공근면, 둔내면, 서원면, 안흥면, 우천면, 청일면, 횡성읍)에 대한 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온, 전기전도도, 유효규산 함량을 조사한 결과, pH와 유기물의 함량은 큰 차이를 보이지 않았으나 유효인산의 차이가 큰 것으로 나타남.
- 둔내면(598.1 mg/kg)과 안흥면(564.7 mg/kg)은 상대적으로 높은 유효인산 함량을 보이며, 갑천면(267 mg/kg)과 횡성읍(243.6 mg/kg)은 상대적으로 낮은 함량을 나타냄. 치환성 양이온인 칼륨(1 cmol/kg)과 마그네슘(1.6 cmol/kg)은 강림면, 칼슘(4.7 cmol/kg)은 안흥면에서 높은 수치를 보임. 유효규산은 서원면(92.7 mg/kg)에서 가장 높은 수치를 보임.
- 따라서, 동일한 군내에 인접한 지역일지라도 토성에 맞는 적합한 시비 처방이 필요함. 산간고랭지인 태백시는 횡성군보다 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량이 높았으며, 전기전도도와 유효규산함량은 중산간지인 횡성이 높았음.

표253 중간지 횡성군과 산간고랭지 태백시의 토양내 화학적 성상

지역	pH (1:5)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성 양이온(cmol+/kg)			EC (dS/m)	유효규산 (mg/kg)	
				칼륨	칼슘	마그네슘			
횡성군	갑천면	6.0	25.8	267	0.7	4.3	1.3	0.3	76.4
	강림면	5.5	35.4	352	1.0	4.3	1.6	1.0	48.5
	공근면	5.7	27.7	320	0.7	4.0	1.2	0.6	71.0
	둔내면	5.8	32.5	598	0.9	4.4	1.3	1.1	49.3
	서원면	5.7	26.1	301	0.3	3.5	1.0	0.4	92.7
	안흥면	5.6	31.0	565	0.8	4.7	1.3	1.1	43.4
	우천면	5.9	24.4	318	0.4	4.1	1.4	0.6	54.7
	청일면	5.8	25.6	378	0.5	4.4	1.0	0.4	62.6
	횡성읍	5.8	24.8	244	0.3	3.8	1.2	0.6	53.4
횡성군 평균	5.8	28.1	371	0.6	4.2	1.3	0.7	61.3	
태백시 평균	6.8	35.8	543	1.9	8.9	2.3	0.6	7.6	

다. 중산간지와 산간고랭지에서 농작물의 비료사용처방량 비교 분석

- 횡성군과 태백시 지역의 과채류(딸기, 가지, 고추)와 엽채류(상추, 시금치)에 대한 재배방법(노지, 시설)에 따른 적정 비료 사용량을 조사함.
- 그 결과, 시설재배는 노지 재배보다 질소질 비료(요소와 유안)의 요구량이 작았음. 그 이유는 첫째, 노지재배는 토양 양분이 빗물에 의해 유실되는 반면, 시설재배지는 빗물에 의한 양분유실이 없으며, 둘째 시설재배지는 연중 다모작으로 작기별로 농작물을 심을 때마다 비료를 살포하기 때문에 토양중 양분함량이 높기 때문임. 한편 퇴비의 공급량은 노지 재배와 시설재배에서 큰 차이를 보이지 않음.
- 횡성군에 인접한 지역들 조차 서로 다른 화학비료의 조성이 필요함. 하지만 퇴비의 적정 사용량은 큰 차이를 보이지 않으며 적정량의 퇴비 사용량을 도출할 수 있는 방안을 마련해야 할 필요가 있음.
- 중간지인 횡성군에 비하여 산간고랭지인 태백시의 경우 적정시비를 위하여 상대적으로 적은 양의 질소, 인산, 칼리 비료가 필요함. 이는 태백의 토양중 양분함량이 횡성보다 높은 데 기인함.
- 작물별 적정시비량을 조사한 결과, 과채류 중 가지와 엽채류 상추와 시금치가 상대적으로 많은 질소질 비료를 필요로 함. 반면에 인산질과 칼리질 비료의 경우 딸기와 고추와 같은 과채류에서 많은 양을 필요로 함. 따라서 중산간지와 작물의 비료 시용 시 토성뿐만 아니라 작물의 특성도 고려할 필요가 있음.

표254 재배 방법에 따른 비료의 지역별 적정시비량

작물	지역	구분	노지 (kg/1000 m ²)									시설재배 (kg/1000 m ²)									
			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			
			요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	
딸기	횡성군	갑천면	밀	15	32	88	88	15	18	2000	440	340	13	29	88	88	15	18	2000	440	340
			거름	27	59	0	0	5	6					24	54	0	0	5	6		
		강림면	밀	12	25	66	66	9	10	0	0	0	11	23	66	66	9	10	0	0	0
			거름	22	47	0	0	3	3				20	43	0	0	3	3			
		공근면	밀	15	32	755	74	14	17	2000	440	340	12	26	75	74	14	17	2000	440	340
			거름	27	59	0	0	5	6				23	49	0	0	5	6			
		둔내면	밀	12	25	15	15	11	13	0	0	0	10	23	15	15	11	13	0	0	0
			거름	22	47	0	0	4	4				19	42	0	0	4	4			
		서원면	밀	15	32	79	79	23	28	2000	440	340	13	28	79	79	23	28	2000	440	340
			거름	27	59	0	0	8	9												
	안흥면	밀	12	25	15	15	13	16	0	0	0	10	23	15	15	13	16	0	0	0	
		거름	22	47	0	0	4	5				19	42	0	0	4	5				
	우천면	밀	15	32	75	75	22	26	2000	440	340	12	26	75	75	22	26	2000	440	340	
		거름	27	59	0	0	7	9				23	49	0	0	7	9				
	청일면	밀	15	32	60	60	19	23	2000	440	340	13	28	60	60	19	23	2000	440	340	
		거름	27	59	0	0	7	8				24	52	0	0	7	8				
	횡성읍	밀	15	32	94	94	24	29	2000	440	340	12	26	94	94	24	29	2000	440	340	
		거름	27	59	0	0	8	10				23	49	0	0	8	10				
	태백시	밀	12	25	19	19	4	5	0	0	0	12	26	19	19	4	5	0	0	0	
		거름	22	47	0	0	1	2				23	49	0	0	1	2				

작물	지역	구분	노지 (kg/1000 m ²)									시설재배 (kg/1000 m ²)										
			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류				
			요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비		
고추	횡성군	갑천면	밀	18	40	80	80	16	20	200	440	340	38	82	80	80	16	20	200	440	340	
			거름옷	15	33	0	0	11	13						31	67	0	0	11	13		
		강림면	밀	18	40	64	64	9	11	0	0	0	33	72	64	64	9	11	0	0	0	0
			거름옷	15	33	0	0	6	8				27	59	0	0	6	8				
		공근면	밀	18	40	70	70	16	19	200	440	340	36	78	70	70	16	19	200	440	340	
			거름옷	15	33	0	0	11	13				29	64	0	0	11	13				
		둔내면	밀	18	40	17	17	12	14	200	440	340	32	71	17	17	12	14	200	440	340	
			거름옷	15	33	0	0	8	9				26	58	0	0	8	9				
		서원면	밀	18	40	74	74	26	31	200	440	340	37	81	74	74	26	31	200	440	340	
			거름옷	15	33	0	0	17	21				30	66	0	0	17	21				
		안흥면	밀	18	40	24	24	15	17	200	440	340	32	71	24	24	15	17	200	440	340	
			거름옷	15	33	0	0	10	12				26	58	0	0	10	12				
		우천면	밀	18	40	71	71	24	29	250	550	425	36	78	71	71	24	29	250	550	425	
			거름옷	15	33	0	0	16	19				29	64	0	0	16	19				
		청일면	밀	18	40	59	59	21	25	200	440	340	37	81	59	59	21	25	200	440	340	
			거름옷	15	33	0	0	14	17				30	66	0	0	14	17				
		횡성읍	밀	18	40	85	85	26	31	250	550	425	36	78	85	85	26	31	250	550	425	
			거름옷	15	33	0	0	17	21				29	64	0	0	17	21				
		태백시	밀	18	40	28	28	3	4	0	0	0	36	78	28	28	3	4	0	0	0	
			거름옷	15	33	0	0	2	2				29	64	0	0	2	2				

작물	지역	구분	노지 (kg/1000 m ²)									시설재배 (kg/1000 m ²)									
			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			
			요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	
상추	횡성군	갑천면	밀	22	48	55	54	4	5	1500	330	255	20	44	55	54	4	5	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	4	5					20	44	0	0	4	5		
		강림면	밀	17	38	39	39	5	6	0	0	0	16	35	39	39	5	6	0	0	0
			거름	17	38	0	0	0	0				16	35	0	0	0	0			
		공근면	밀	22	48	44	44	3	4	1500	330	255	18	40	44	44	3	4	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	3	4				18	40	0	0	3	4			
		둔내면	밀	17	38	15	15	5	6	0	0	0	10	21	49	49	12	15	0	0	0
			거름	17	38	0	0	0	0				14	31	0	0	8	10			
		서원면	밀	22	48	48	48	14	17	1500	330	255	19	42	48	48	14	17	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	14	17				19	42	0	0	14	17			
		안흥면	밀	22	48	48	48	14	17	1500	330	255	19	42	48	48	14	17	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	14	17				19	42	0	0	14	17			
		우천면	밀	22	48	45	45	12	14	1500	330	255	18	40	45	45	12	14	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	12	14				18	40	0	0	12	14			
		청일면	밀	22	48	35	35	9	11	1500	330	255	19	42	35	35	9	11	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	9	11				19	42	0	0	9	11			
		횡성읍	밀	22	48	60	60	14	17	1500	330	255	18	40	60	60	14	17	1500	330	255
			거름	22	48	0	0	14	17				18	40	0	0	14	17			
		태백시	밀	17	38	15	15	0	0	0	0	0	18	40	15	15	0	0	0	0	0
			거름	17	38	0	0	0	0				18	40	0	0	0	0			

작물	지역	구분	노지 (kg/1000 m ²)									시설재배 (kg/1000 m ²)								
			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류		
			요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비
가지	갑천면	밀	24	51	60	60	6	7	0	0	0	23	51	60	60	6	7	0	0	0
		거름	29	63	0	0	11	14				28	62	0	0	11	14			
	강림면	밀	24	51	60	6	7	0	0	0	23	51	60	60	6	7	0	0	0	
		거름	29	63	0	11	14				28	62	0	0	11	14				
	공근면	밀	24	51	43	43	2	2	0	0	0	24	52	43	43	2	2	0	0	0
		거름	29	63			3	4				29	63	0	0	3	4			
	둔내면	밀	24	51	20	20	5	6	0	0	0	22	48	0	0	5	6	0	0	0
		거름	29	63	0	0	9	11				27	58	0	0	9	11			
	서원면	밀	24	51	37	37	13	16	0	0	0	25	54	37	37	13	16	0	0	0
		거름	29	63	0	0	9	11				27	58	0	0	9	11			
	안흥면	밀	24	51	24	23	7	8	0	0	0	22	48	0	0	7	8	0	0	0
		거름	29	63	0	0	13	16				27	58	0	0	13	16			
	우천면	밀	24	51	48	48	13	16	1500	330	225	25	54	48	48	13	16	1500	330	255
		거름	29	63	0	0	24	29				30	66	0	0	24	29			
	청일면	밀	24	51	44	44	11	14	1500	330	255	26	56	44	44	11	14	1500	330	255
		거름	29	63	0	0	21	25				31	68	0	0	21	25			
	형성읍	밀	24	51	60	60	16	19	1500	330	255	24	52	60	60	16	19	1500	330	255
		거름	29	63	0	0	29	35				29	63	0	0	29	35			
	태백시	밀	24	51	41	41	0	0	0	0	0	25	55	41	41	0	0	0	0	0
		거름	29	63	0	0	0	0				31	67	0	0	0	0			

작물	지역	구분	노지 (kg/1000 m ²)									시설재배 (kg/1000 m ²)										
			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류			질소질비료		인산질비료		칼리질비료		퇴비종류				
			요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비	요소	유안	용성인비	용과린	염화칼리	황산칼리	우분퇴비	돈분퇴비	계분퇴비		
시금치	횡성군	갑천면	밀	22	48	71	71	6	8	1,500	330	255	15	32	71	71	6	8	1,500	330	255	
			거름	33	71	0	0	4	4						22	48	0	0	4	4		
		강림면	밀	17	38	50	50	0	0	0	0	0	12	26	50	50	0	0	0	0	0	0
			거름	26	57	0	0	0	0						18	39	0	0	0	0		
		공근면	밀	22	48	57	57	5	6	1,500	330	255	13	29	57	57	5	6	1,500	330	255	
			거름	33	71	0	0	3	3						20	44	0	0	3	3		
		둔내면	밀	17	38	15	15	0	0	0	0	0	12	25	15	15	0	0	0	0	0	0
			거름	26	57	0	0	0	0						17	38	0	0	0	0		
		서원면	밀	22	48	62	62	23	28	1,500	330	255	14	31	62	62	23	28	1,500	330	255	
			거름	33	71	0	0	13	15						21	47	0	0	13	15		
		안흥면	밀	17	38	15	15	3	4	0	0	0	12	25	15	15	3	4	0	0	0	0
			거름	26	57	0	0	2	2						17	38	0	0	2	2		
		우천면	밀	22	48	58	58	20	24	1,500	330	255	63	138	172	172	28	34	2,000	440	340	
			거름	33	71	0	0	11	13						27	59	0	0	12	15		
		청일면	밀	22	48	45	45	15	18	1,500	330	255	14	31	45	45	15	18	1,500	330	255	
			거름	33	71	0	0	8	10						21	47	0	0	8	10		
		횡성읍	밀	22	48	78	78	24	29	1,500	330	255	13	29	78	78	24	29	1,500	330	255	
			거름	33	71	0	0	13	16						29	44	0	0	13	16		
		태백시	밀	17	38	18	18	0	0	0	0	0	13	29	28	28	0	0	0	0	0	0
			거름	26	57	0	0	0	0						20	44	0	0	0	0		

라. 작물별 표준비료사용량

- 농촌진흥청의 표준비료사용량은 지역별 토양의 양분함량을 고려하지 않고 재배하는 작물의 종류, 작물별 재배형태, 작물 수령 등에 따라 269종의 표준비료사용량을 제시하고 있음. 경축순환농업에서는 가축분 퇴비나 액비의 양분함량을 분석한 다음, 표준비료사용량에 준하는 만큼을 공급하여 농작물을 재배할 수 있음.

표255 작물별 표준비료사용량

분류	작물명	구분1	구분2	질소	인산	칼리	퇴구비	혼합가축분 퇴비
벼	벼			9	4.5	5.7	1,200	433
기타 곡류	보리	도복강		8.8	7.2	3.6	1,500	541
		도복중 ~ 약		7.6	6.6	3	1,500	541
	맥주보리	도복강		7.6	7.2	3.6	1,500	541
		도복중 ~ 약		5	6.7	3	1,500	541
	밀	도복강		8.8	8	3.7	1,500	541
		도복중 ~ 약		7.6	7.3	3.1	1,500	541
	메밀			5.4	3.1	3.9	1,500	541
	콩	기경지		3	3	3.2	1,200	433
		개간지		5.7	7.4	5.7	1,500	541
	조,기장			9	8	7	1,500	541
	수수			10	8	7	1,500	541
	팥	기경지		4.2	5.2	5.8	1,200	433
		보통옥수수		15.8	3	6.3	2,000	721
	옥수수	단옥수수		13.2	3	5.5	2,000	721
참깨		기경지		2.9	3.1	3.2	1,200	433
	개간지		8	20	9	1,200	433	
	2모작지		2.9	6.2	3.2	1,200	433	
유지류	들깨	종실용		12.6	1.5	2.5	1,500	541
		기경지		3	10.4	9.8	1,000	361
	땅콩	신개간지		4	22.3	19.6	1,500	541
		고정품종(점파)		10	8	8	2,000	721
	유채	1대잡종(점파)		15	8	8	2,000	721
		1대잡종(화산회토)		12	23	12	2,000	721
서류	감자	준고냉지 및 고냉지		13.7	3.3	11.4	1,000	361
		남부해안		10	8.8	13	1,000	361
	고구마	기경지		5.5	6.3	15.6	1,500	541
		개간지		9	9	24	1,500	541
과채류	고추	노지재배		22.5	6.4	10.1	2,000	21
		시설재배		19	11.2	14.9	2,000	721
		밀식재배		19	12.3	15.5	2,000	721
	피망	시설재배		21.6	8.7	10.4	2,000	721
		파리고추		27.6	9	13.2	2,000	721
	토마토	노지재배		24	16.4	23.8	2,000	721
		시설재배		20.4	10.3	12.2	2,000	721
	방울토마토	시설재배		22.6	10.6	11.9	2,000	721
	오이	노지재배		24	16.4	23.8	2,000	721
		시설재배		19.7	10.3	12.2	2,000	721
	딸기	노지재배		19	5.9	10.9	2,000	721
		시설재배		9.6	4.9	7.4	2,000	721
	참외	노지재배		25	7.7	16	1,500	541
		시설재배		18.7	6.3	10.9	1,500	541
	멜론	시설재배		8.8	3	7.4	2,000	721
	수박	노지재배		20	5.9	12.8	1,500	541
시설재배			13.8	4.9	8.7	1,500	541	
호박	노지재배		20	13.3	12.6	1,500	541	
	시설재배		20	8.4	9.9	1,500	541	
가지	노지재배		30	12.6	21.4	1,500	541	
	시설재배		19.3	8.7	11.2	1,500	541	

분류	작물명	구분1	구분2	질소	인산	칼리	퇴구비	혼합가축분 퇴비
근채류	생 강	노지재배(점파)		17.3	3.5	10.3	2,000	721
	당 근	노지재배		20	9.6	12.2	1,500	541
	무	노지재배		23.4	5.1	8.1	1,500	541
	열 무	시설재배		7.5	3	3	1,500	541
	비 트	시설재배		5.5	3	3	1,500	541
	토란			20.6	12.2	16.4	1,500	541
	연근			36.5	11.1	23.2	1,500	541
	우영			17.3	15.5	25.7	2,500	902
인경채류	야콘			9.4	10.5	10	1,500	541
		평nan지		24	7.7	15.4	2,000	721
		준고랭지 및 고랭지		23.3	3	15.5	2,000	721
경엽 채소류	마늘	노지재배		25	7.7	12.8	2,000	721
	상 추	노지재배		20	5.9	12.8	1,500	541
		시설재배		7	3	3.6	1,500	541
	양상추	평야지		5.7	3	4.8	1,500	541
		고랭지		8.2	6.5	7.2	1,500	541
	배 추	노지재배		32	7.8	19.8	1,500	541
		시설재배		17.8	3	7.3	1,500	541
	시금치	노지재배		25	5.9	11.9	1,500	541
		시설재배		6.5	3	4.7	1,500	541
	썩 갓	노지재배		20	5.8	14.7	1,500	541
		시설재배		6	3	4.2	1,500	541
	대 파	노지재배		25	6.6	14	1,500	541
		시설재배		6.2	3	4	1,500	541
	쪽 파	노지재배		16	7.4	12.4	1,500	541
		시설재배		6.2	3	4	1,500	541
	잎들깨	노지재배		20	4.3	9.2	1,500	541
		시설재배		6.4	3	6.8	1,500	541
	양배추	노지재배		32	9	21.8	1,500	541
		시설재배		18.4	3	8	1,500	541
	부 추	노지재배		38	10.7	20.8	1,500	541
		시설재배		24.3	3	8.3	1,500	541
	셀러리	노지재배		32	6.2	17.2	1,500	541
		시설재배		13.7	3	6.4	1,500	541
	치커리	노지·시설		14.8	3	11.8	1,500	541
	케 일	시설재배		12.8	3	5.4	1,500	541
	브로콜리	시설재배		6.2	3	4	1,500	541
	콜리플라워	시설재배		6.2	3	5.2	1,500	541
	삼엽채	시설재배		4.9	3	3.2	1,500	541
	신선초	시설재배		21.6	3	6.7	1,500	541
	발미나리	시설재배		4.7	3	4.1	1,500	541
엔다이브	시설재배		16.8	3	8.9	1,500	541	
오너멘탈케 일	시설재배		23.2	3	6.2	1,500	541	
스위트팬넬	시설재배		6.2	3	8	1,500	541	
서양냉이	시설재배		5.4	3	3.8	1,500	541	
갓	시설재배		15.5	9.4	9.4	1,500	541	
청경채	시설재배		12.9	11.5	12.6	1,500	541	
아욱	시설재배		9	6.5	7.5	1,500	541	

표255 계속

분류	작물명	구분1	구분2	질소	인산	칼리	퇴구비	혼합가축분 퇴비	
산채류	참취	시설재배		14	10	9	1,500	541	
	미역취	시설재배		14	10	9	1,500	541	
	곰취	시설재배		14.7	12.1	8.7	1,500	541	
	머위	시설재배		7.5	4.9	12	1,500	541	
	곤달비	시설재배		11.3	8.5	8.8	1,500	541	
	누룩치	시설재배		10.6	8.5	8.2	1,500	541	
	참나물	시설재배		11.6	7.1	8.8	1,500	541	
	모시대	시설재배		7.3	4.5	4.2	1,500	541	
	영아자	시설재배		5.7	3.5	2	1,500	541	
	산마늘	시설재배		10	4.5	8.8	1,500	541	
	고사리		2년 이하		10	7.5	7.5	1,500	541
			3년 이상		15	9	9	1,500	541
	눈개승마(삼나물)			24.1	16.2	8.4	1,500	541	
	민들레	직파		6	8.7	6.5	1,500	541	
육묘 이식			13.7	8.4	12.1	1,500	541		
고려엉겅퀴 (곤드레나물)			22.9	4.9	4.8	1,500	541		
과수	사과	비옥지	1~4	2	1	1	700	252	
			5~9	2	1	2	1,000	361	
			10~14	5	2	3	1,500	541	
			15~19	10	5	8	2,000	721	
			20이상	15	8	12	2,500	902	
		척박지	1~4	2	1	1	700	252	
			5~9	4	2	3	1,000	361	
			10~14	8	5	5	1,500	541	
			15~19	15	8	12	2,000	721	
			20이상	20	12	20	2,500	902	
	배	비옥지	1~4	2	1	1	700	252	
			5~9	3	3	3	1,000	361	
			10~14	10	5	8	1,500	541	
			15~19	17	8	15	2,000	721	
			20이상	20	13	20	2,500	902	
		척박지	1~4	2	1	1	700	252	
			5~9	6	4	5	1,000	361	
			10~14	15	8	12	1,500	541	
			15~19	20	13	20	2,000	721	
			20이상	25	18	25	2,500	902	
	포도	비옥지	1~2	2	1	1	500	180	
			3~4	3	2	2	1,000	361	
			5~10	7	4	5	1,500	541	
			11이상	13	7	10	2,000	721	
척박지		1~2	2	1	1	500	180		
		3~4	5	4	4	1,000	361		
		5~10	10	6	8	1,500	541		
		11이상	18	10	15	2,000	721		

분류	작물명	구분1	구분2	질소	인산	칼리	퇴구비	혼합가축분 퇴비
과수	복숭아	비옥지	1~2	2	1	1	500	180
			3~4	3	2	2	1,000	361
			5~10	7	4	6	1,500	541
			11이상	13	7	10	2,000	721
		척박지	1~2	2	1	1	500	180
			3~4	5	3	4	1,000	361
			5~10	11	6	9	1,500	541
			11이상	18	10	15	2,000	721
	매 실		1~2	3	1.8	2.1	500	180
			3~4	5.6	3.4	3.1	1,000	361
			5~6	8.3	5	6.5	1,250	451
			7~8	11.9	6	7.6	1,500	541
			9이상	14.4	7.1	8.6	2,000	721
	감		1~2	2.5	1.5	2	500	180
			3~4	6	2	4.5	1,000	361
			5~6	10	4	8	1,200	433
			7~8	15	6	12	1,500	541
			9~10	19	8	15.5	1,700	613
			11이상	25	12	24	2,000	721
	감 귤	화산회토양 (온주)	5	11.4	10	8.8		-
			10	14.8	14	12.2		-
			15	20.5	17.5	17		-
			20이상	23	20	19		-
		만감류	5	13	20	13		-
			10	20	35	20		-
			15	25	40	25		-
	유 자	화산회토양	5	16	10	13	1,000	361
			10	22	14	18	1,500	541
			15	31	18	25	2,000	721
			20이상	35	21	28	2,500	902
		비화산회토 양	5	9.6	6.3	7.4	1,000	361
			10	14.3	9.5	11.2	1,500	541
			15	19.2	12.6	14.9	2,000	721
			20이상	23.9	15.8	18.4	2,500	902
	대추		1	1.3	0.7	0.8	1,500	541
			2	2.6	1.3	1.6	2,000	721
			3	5.2	2.6	3.2	2,000	721
			4	7.8	3.9	4.8	2,500	902
			5	10.4	5.2	6.4	2,500	902
			6이상	13	6.5	8	3,000	1,082
			밤		1	0.9	0.6	0.5
	2	5.2			5.1	4.8	500	180
	3	5.2			5.1	4.8	500	180
	4	10.1			5.5	7.9	500	180
5~6	13.2	5.5			10.6	1,000	361	
7~9	17.7	10.6			15.8	1,000	361	
10~14	26.5	16.2			21.6	1,500	541	
15~19	35.5	26.8			32.2	2,000	721	
20이상	44.4	32.3			42.8	2,500	902	
참다래		1	3.2	1	1.3	500	180	
		2~3	6.4	2.1	2.7	1,000	361	
		4~5	9.5	3.1	4	1,500	541	
		6~7	12.7	4.2	5.4	2,000	721	
		성목	15.9	5.2	6.7	2,500	902	

분류	작물명	구분1	구분2	질소	인산	칼리	퇴구비	혼합가축분 퇴비	
과수	자두		1~2	3	1.5	2.2	1,000	361	
			3~4	6	3.1	4.5	1,500	541	
			5~6	9	4.5	6.7	2,000	721	
			7~8	12	5.9	9	2,500	902	
			9이상	15	7.4	11.2	2,500	902	
	무화과		1~2	2.6	1.2	2	500	180	
			3~4	5.2	2.3	4.1	1,000	361	
			5~6	7.8	3.5	6.1	1,000	361	
			7~9	10.4	4.6	8.2	1,500	541	
			10이상	13	5.8	10.2	1,500	541	
	살구		1~2	2	1	1.5	500	180	
			3~4	3.5	2.5	3	1,000	361	
			5~7	7	4	5	1,500	541	
			8~10	11	5.5	6.5	2,000	721	
			11이상	15.4	6.9	8.6	2,000	721	
	블루베리		1~2	3.4	1	1.5	2,000	721	
			3~4	5.8	2.6	3	2,000	721	
			5~6	8.1	3.9	4.5	2,000	721	
			7	10.5	5.2	6	2,000	721	
			8 이상	12.9	6.5	7.5	2,000	721	
약용 작물	백하수오			8	4	4	2,000	721	
	적하수오			14	12	8	2,000	721	
	지 황	신품종 (지황1호)			16	14	20	2,000	721
		재래종			12	12	16	2,000	721
	길 경			12	10.5	9	1,500	541	
	반 하			35	30	50	1,500	541	
	구약감자			15	12	15	1,000	361	
	황 금			6	9	6	1,500	541	
	복분자		1년	8.4	6.8	6.8	1,500	541	
			2년이상	14.7	11.9	11.9	2,000	721	
	마			30.6	21.7	26.7	2,500	902	
	오미자		1년	4.3	2.2	2.7	1,000	361	
			2년	6.4	3.2	4.1	1,500	541	
			3년이상	10.7	5.4	6.8	1,500	541	
	구기자			14	14	14	3,000	1,082	
	황 기			6	7	8	1,500	541	
	백 지			12.8	12	6.1	1,200	433	
	황 런			6	6	10	1,500	541	
	스테비아			10	10	10	1,000	361	
	박 하			12	6	5	1,500	541	
	맥문동			20	18	18	1,500	541	
	을 무			18	6	6	1,500	541	
	향부자			8	6	10	700	252	
	더 덕			6	6	6	1,500	541	
	산수유	성목 (50년 이상)			6.8	3	4.2	1,500	541
	삼백초			5.7	2.9	4.7	1,500	541	
	어성초			7.8	4.2	8.4	1,500	541	
	엉겅퀴			6.4	4.4	7.8	1,500	541	
더위지기 (인진쑈)			7.4	7.9	6.4	1,500	541		
결명자			3.9	4.6	3.4	1,500	541		
식방풍	뿌리수확용(약재)			13.8	11.5	11.3	1,500	541	
	잎수확용 (나물)			15.7	14.3	9.3	1,500	541	

표255 계속

분류	작물명	구분1	구분2	질소	인산	칼리	퇴구비	혼합가축분 퇴비	
화훼류	장미			58	58	48	6,000	2,164	
	국화	온실질화		22	22	20	2,000	721	
		노지재배		50	17	17	2,000	721	
	카네이션			32	39	78	3,000	1,082	
	구근류			20	12	12	1,000	361	
	1년초	절화재배			12	9	12	1,000	361
노지재배				20	20	15	1,000	361	
기타	뽕나무	신규조성		25	11	15	2,000	721	
		밀식기성		30	13	18	2,000	721	
	목초	조성용		8	20	7	2,000	721	
		관리용		21	15	18	-	-	
	청에옥수수			20	15	15	2,000	721	
	연초	황색종		9.8	5.3	18.8	1,500	541	
		버어리종		17.6	9.5	33.8	1,500	541	
	차나무		1년		12	4	6	1,500	541
			2년		30	10	15	1,500	541
			3년		36	12	18	1,500	541
			4년		42	14	21	2,000	721
			5년		48	16	24	2,000	721
6년				54	18	27	2,000	721	
		7년이상		60	20	30	2,500	902	

마. 가축분뇨 발효액비 비료처방시스템 개선(안)

1) 농촌진흥청 흙토람 비료사용처방 시스템 개요

- 농촌진흥청은 농작물의 안정생산과 환경보전을 위해 비료사용량을 규명하는 한편, 이를 바탕으로 필지별 토양비옥도에 따른 비료사용처방 시스템을 운영하고 있음. 농촌진흥청 흙토람에서 비료사용처방서 발급절차는 다음과 같음. 먼저 농가는 스스로 토양시료를 채취하여 농업기술센터에 토양검정을 의뢰함. 농업기술센터 담당자는 의뢰받은 토양의 pH, EC, OM, K, Ca, Mg, SiO₂ 분석치를 흙토람에 입력하고, 이를 이용하여 농가에 필지별 토양검정 기반 비료사용처방서를 발급해 줌.
- 흙토람의 비료사용 처방프로그램은 1단계로 작물별 질소와 인산, 칼리 요구량을 산정함. 2단계로는 토양검정 결과를 활용하여 작물이 토양에서 흡수할 수 있는 양분함량을 산정함. 3단계에서는 1단계에서 얻은 비료 요구량과 토양이 보유한 비료성분량을 뺀 값으로 비료사용량을 산정함. 농경지 토양이 보유한 비료 종류별 성분량이 충분하다면 그 성분의 처방량은 산정되지 않고, 부족한 비료 성분만이 단위로 처방되는 시스템임.
- 가축분뇨 액비는 질소와 인산, 칼리 성분이 복합적으로 함유되어 있음. 가축분 액비를 흙토람을 통해 비료 사용량을 처방한다면, 토양이나 액비중 함량이 가장 많은 비료 성분에 의해서 처방량이 결정되는 구조임.



그림104 흙토람에서 액비사용처방서 발급 절차

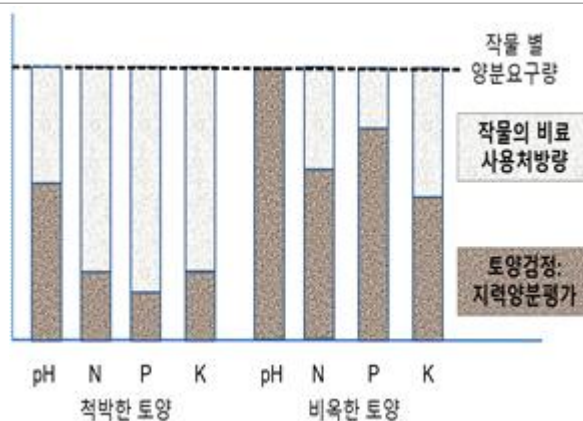


그림105 비료사용처방량 산정 원리

2) 경축순환 활성화를 통한 양분수지 개선의 필요성

- OECD 국가들은 국가 농경지 면적당 질소와 인의 투입량을 기준으로 한 양분수지 지표를 기준으로 농업환경보전 성과를 평가하고 있음. OECD국가 중 2000년대 질소와 인산의 투입량이 가장 많았던 네덜란드는 가축분뇨의 살포에 대해 다양한 규제를 가해왔음. 네덜란드의 가축분뇨 살포 규제는 질소와 인 함량을 대상으로 추진되었으며, 칼리에 대해서는 어떤 규제도 시행하지 않았음. 질소는 토양에서는 영양소이지만, 수계에서는 부영양화 원인물질이며, 대기에서는 악취와 온실가스, 산성비의 원인물질이다. 인은 토양에서는 영양소이지만, 수계에서는 부영양화 원인물질이다. 칼리는 토양에서 영양소일 뿐 수계나 대기에 나쁜 영향을 준다는 보고서는 찾기 어려움.
- 1999년 당시 농림부는 친환경농업 육성법을 제정하고 화학비료 사용량을 줄이는 정책과 가축분 퇴비와 액비의 활용을 높이는 정책을 추진해왔음. 그러나 영농현장은 고령 농업인 증가, 농업경영 규모의 확대, 농업 외에 다른 직업을 갖는 겸업농의 증가, 주말 농업이 늘어나고 노동 인력 부족으로 인해 인건비가 많이 상승하게 됨. 이러한 흐름은 영농에 투입되는 시간을 줄이는 방향으로 영농활동이 바뀌게 됨. 이같은 영농현장의 변화로 인해 비료 사용에서 노동력이 많이 요구되는 유기질 비료의 소비가 한계에 이룸. 반면에 간편한 화학비료의 사용은 꾸준히 유지되는 추세임.

3) 농작물의 양분 요구량

- 농작물에 대한 비료 사용원리에는 최소양분율, 우세의 원리, 울프의 법칙, 수확체감법칙, 토양 pH 관리 등이 있음. 최소양분율은 농작물의 생육과 수량에는 기본적으로 요구되는 비료 성분 중 어느 한 성분이 부족하게 되면 그 성분이 작물생육과 수량을 제한한다는 것임. 우세의 원리는 작물마다 생육에 민감하게 영향을 주는 비료 성분이 있음. 곡류와 목초, 담배 등은 질소비료를 많이 줄수록 잘 자라고, 감자, 고구마 등은 칼리비료를 많이 줄수록 잘 자라며, 사탕수수 등은 인산비료를 많이 줄수록 잘 자람. 그 결과 작물별 표준비료 사용량이 다르게 설정되어 있음.
- 아래 표는 본 연구에서 선정한 작물에 대한 농촌진흥청의 표준비료 사용량은 기준으로 질소, 인산, 칼리 요구도를 분석한 것임. 작물의 칼리 대비 질소의 요구량을 보면, 벼는 1.57배, 보리는 2.44배, 고추는 1.51, 사과(10~14년생)는 1.67배가 많음. 작물의 칼리 대비 인산의 요구량을 보면, 벼는 0.79배, 보리는 2.0배, 고추는 0.75배, 사과는 0.67배로 나타남.

표256 벼, 보리, 고추, 사과의 질소, 인산, 칼리 표준비료 사용량

작물	TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	TN/K ₂ O	P ₂ O ₅ /K ₂ O
벼	9	4.5	5.7	1.57	0.79
보리	8.8	7.2	3.6	2.44	2.0
고추(노지)	22.5	11.2	14.9	1.51	0.75
사과(10~14년생)	5.0	2.0	3.0	1.67	0.67
평균	11.3	6.2	6.8	1.80	1.05

자료: 농촌진흥청(2019) 작물별 비료사용처방 4차 개정본

4) 흙토람 액비사용처방 DB 분석

가) 분석에 사용한 액비처방 DB

- 2013년, 2014년, 2015년 농촌진흥청 흙토람(www.soil.rda.go.kr)을 통한 가축분 발효액비의 사용 처방 DB를 내려받아 3단계로 데이터를 추출한 다음에 얻어진 DB를 분석함. 1단계로는 토양검정 이상치를 제거하였는데, 질소 요구량 산정에 사용되는 토양 OM 함량이 50g/kg 이상이거나 SiO₂ 함량이 1,000mg/kg을 넘는 이상치는 제거함. 토양 P₂O₅ 함량이 3,500mg/kg을 넘는 이상치는 제거함. 2단계로는 액비 중 TN 함량 30g/L, PO₄-P 함량 1,000mg/L, 칼리 함량 20g/kg 이상인 이상치를 제거함. 3단계로는 토양 칼리 함량 적정 및 적정이상, 적정 이하로 DB를 추출하여 분석하였음. 본 분석에 사용된 액비 사용 처방 DB는 2013년 143,502건, 2014년 155,741건, 2015년 120,323건으로서 총 419,566건이 있음.

표257 본 분석에 사용된 흙토람 액비사용 처방서 DB

구분	2013	2014	2015	계
액비사용처방DB(건수)	143,502	155,741	120,323	419,566

- 2013년부터 2015년 사이 액비사용 처방 총건수를 통합하여 이를 곡물류, 채소류, 과수류 작물별로 구분한 결과 곡물류에서는 벼가 225,551건으로 가장 많았고, 보리가 54,517건, 밀 14,888건, 콩 7,587건 순으로 나타남. 채소류에서는 고추 5,208건, 수박 1,765건, 딸기 1,331건, 토마토 206건으로 나타남. 과수류에서는 감귤이 5,520건, 사과가 2,046건, 복숭아가 1,198건, 포도가 1,132건으로 나타남.
- 본 연구에서는 액비사용 처방 건수가 많은 작물을 기준으로 곡물류에서 벼와 보리, 채소류에서 고추를 선정하였으며, 과수류에서는 재배지역이 제주지역으로 국한된 감귤 대신 사과를 선정하였음. 본 연구에 사용된 2013~2015 벼, 보리, 고추, 사과의 액비처방건수의 합은 287,322건으로 같은 기간 전체 액비처방건수의 68.5%에 해당되었음.

표258 곡물류, 채소류, 과수류 작물별 액비처방 DB건수

곡물류		채소류		과수류	
작물	발급건수	작물	발급건수	작물	발급건수
벼	225,551	고추	5,208	감귤	5,520
보리	54,517	수박	1,765	사과	2,046
밀	14,888	딸기	1,331	복숭아	1,198
콩	7,587	토마토	206	포도	1,132

나) 칼리 함량 중심의 액비처방 현실과 경축순환의 과제

- 2013년~2015년 동안 전국에서 흙토람 DB에 등록된 가축분 발효액의 평균 질소 함량은 1.55 g/L, 인은 0.52g/L, 칼리는 1.70g/L였음. 칼리 함량은 질소 함량보다 1.10배 많았고, 인산 함량보다 3.27배나 많았음.

표259 흙토람 DB에서 나타난 액비의 N, P, K 함량

연도	T-N(g/L)	PO ₄ -P(g/L)	K(g/L)	K/TN	K/P
2013	1.94	0.71	2.10	1.08	2.96
2014	1.37	0.45	1.54	1.12	3.42
2015	1.34	0.40	1.48	1.10	3.70
평균	1.55	0.52	1.70	1.10	3.27

- 2013년 농촌진흥청 흙토람의 비료사용 처방서 DB에서 비료 성분별 가축분 액비처방량을 결정 건수를 보면 질소는 15,170건, 인산은 1,932건, 칼리는 79,617건으로 나타남. 2014년 DB에서는 질소가 17,850건, 인산이 5,984건, 칼리가 79,862건으로 나타남. 2015년 DB에서는 질소가 11,815건, 인산은 4,726건, 칼리는 70,977건으로 나타남. 2013~2015년 액비처방량 결정 성분은 질소 44,835건, 인산 12,642건, 칼리 230,456건으로 나타남. 칼리에 의한 액비 사용 처방량 결정 비율은 80.0%나 되었으나, 질소는 15.6%, 인은 4.4%에 불과하였음. 즉, 액비의 사용 처방량이 주로 토양 및 액비 중 칼리 함량으로 인해 제한되고 있는 것을 알 수 있음.

표260 칼리로 대부분 결정되는 흙토람의 액비사용처방

연도	총 처방건수	비료성분 별 액비처방량 결정 건수와 비율		
		질소	인산	칼리
2013	96,719	15,170	1,932	79,617
2014	103,085	17,850	5,984	79,251
2015	87,518	11,815	4,726	70,977
합계	287,322	44,835	12,642	229,845
결정 비율(%)	100	15.6	4.4	80.0

- 대부분 농작물은 질소 요구량이 많음에도 불구하고, 액비에 의한 질소공급량은 부족해서, 요소나 유안과 같은 무기질비료를 보충하는 프로그램이 운영되고 있음. 이같은 흙토람의 비료사용처방 프로그램은 가축분 액비의 활용을 제한시키는 결과를 나타냄. 따라서 국가는 OECD 양분수지를 개선하지 못하고, 경종농가는 비룻값이 늘게 되며, 축산농가나 공동자원화사업장에는 액비 관리비용을 증대시키고 있어서 대책이 시급함.

5) 질소, 인산, 칼리 성분이 환경생태에 미치는 영향

- 비료 성분으로서 질소는 식물체, 토양, 물, 공기를 자유롭게 이동함. 즉, 토양에 뿌려진 질소는 농작물의 뿌리를 통해 흡수되어 단백질 등 농산물 생산에 관여함. 농경지에 있는 질소는 빗물을 따라 지하수로 유입되거나 토사나 배수를 통해 하천이나 호소로 유입되고 이를 흡수한 조류(Algae)가 증식됨. 이같이 물이 부영양화되면 물속의 용존산소가 부족해져서 물고기 떼죽음과 같은 수서 생물의 삶을 위협함. 또한 토양에서 암모니아(NH₃), 질소가스(N₂), 아산화질소(N₂O), 아질산가스(NO₂) 등으로 공기 중으로 날아간 질소는 NO₃⁻로 산화되어 산성비의 원인이 되기도 하고, 온실가스로 작용하기도 함. 따라서 농경지에 질소 투입량을 잘 지키고 농경지 밖으로 유출되지 않도록 관리하고자 OECD는 질소수지(Nitrogen balance)를 기준으로 회원국들의 질소비료 투입량 감축을 유도하고 있음.
- 농경지에 살포된 인산은 물을 따라 지하로 흘러가지만 대부분 토양에 흡착되어 지하수로 도달하는 양이 많지 않음. 다만 토양에 흡착된 인산은 토양유실을 통해 호소나 하천, 바다로 흘러감. 물 중의 인은 조류(Algae)번식에 사용되어 녹조현상이나 적조현상과 같이 물을 부영양화시켜 수생생물의 삶을 위협함 OECD는 농업환경 보전을 위해 회원국들의 인산 수지(Phosphate balance)를 제시하면서 인산비료 투입량 감축을 유도하고 있음
- 농경지에 뿌려지는 칼리는 농작물에 흡수되고 이를 섭취한 동물의 몸체나 분뇨를 통해 토양으로 되돌아옴토양 중 칼리는 토양 EC와 양이온(Ca, Mg, Na) 흡수에 영향을 미치지만, 물이나 공기 중에서 환경에 대한 악영향에 대한 연구보고서는 찾기 어려움. OECD도 보전을 위해 회원국의 질소와 인 수지를 주기적으로 평가하고 있지만, 칼리에 대한 수지는 평가하지 않고 있음.
- 따라서 환경생태계를 보호하는 방향에서 칼리비료의 사용 처방 프로그램의 개발과 운용이 필요한 시점임즉, 토양에서 칼리의 함량을 적정하게 유지하는 방향에서 액비사용처방 프로그램의 개발과 활용이 필요함

6) 토양 칼리 함량에 따른 액비사용 처방 프로그램의 개선 방향

가) 액비사용 농경지의 칼리 함량분포 특성

- 2013~2015년 액비사용 농경지에서 토양 중 칼리 함량이 부족한 필지 비율을 보면 벼 재배지는 20.5%, 보리 재배지는 63.8%, 고추 재배지는 58.0, 사과 재배지는 50.9%로 평균 47.4%의 재배지의 칼리 함량이 부족한 것으로 나타남. 또한 칼리 함량이 적절한 농경지 필지율은 벼 재배지가 23.0%, 보리 재배지가 24.4%, 고추 재배지가 18.3%, 사과 재배지가 18.1%로 칼리 함량이 적절한 필지는 평균 21.2%에 달했다. 칼리 함량이 과잉인 농경지 필지율은 벼 재배지가 56.5%, 보리 재배지가 11.8%, 고추 재배지가 23.7%, 사과 재배지가 31.0%로 칼리 함량이 과잉인 필지는 평균 31.4%에 달했음.
- 우리나라의 농업환경 문제를 고려했을 때, 토양 중 칼리 함량이 부족하거나 적절한 농경지에는 액비 사용량을 최대한 늘리되, 칼리 함량이 과잉인 농경지에는 더 이상 칼리가 투입되지 않게 하는 방법 개발이 시급한 과제로 대두되었음.

표261 농경지 토양의 K 함량분포 사례

재배작물	토양의 K 함량 분포 비율 (%)		
	부족	적정	과잉
벼	20.5	23.0	56.5
보리	63.8	24.4	11.8
고추	58.0	18.3	23.7
사과	50.9	18.1	31.0
평균	47.4	21.2	31.4

나) 칼리 함량에 따라 가축분액비 사용 처방 프로그램을 별도로 운영

- 현재 농촌진흥청 흙토람 비료사용 처방 시스템은 작물의 양분 요구량과 토양중 양분함량, 그리고 비료 중 양분함량을 고려한 N, P, K 공급량을 산정하는 프로그램이 운영되고 있다. 이 프로그램을 액비에 대해 운영한 결과에 농업환경적 측면에서 문제가 발생하고 있다. 즉 액비를 주로 사용하는 작물은 질소 요구량이 많다. 그런데도 액비사용 처방서는 질소 함량을 기준으로 발급되지 않고 농작물의 요구량이 적은 칼리 함량을 기준으로 80%가 처방되고 있다. 이러한 결과로 액비를 뿌려주고도 작물생육에 부족한 질소를 추가로 살포 해주라는 비료사용처방서가 발급되고 있다. 이런 구조이다 보니 액비 소비량이 한계에 이르게 되었음.
- 국가적으로는 경축순환 활성화를 위해 액비살포 지원정책을 펴고 있음에도 OECD 양분수치는 여전히 개선되지 않고 있다. 경종농업계에서는 액비를 처방량만큼 뿌리고도 별도로 무기질비료를 주다 보니, 비료를 살포하는 노동력 절감 효과도 없고 비룻값 절감 효과는 미미하다. 축산환경업계에서는 액비소비량이 많지 않아 액비탱크 저장용량을 확대시켜야 하는 문제와 관리비용이 늘어나는 구조적 문제를 안고 있다. 정부는 물론 경종업계와 축산환경업계 모두에게 실익이 되는 방법으로서 토양중 칼리 함량에 따라 액비사용처방 프로그램을 분리하여 운용하는 체계의 도입을 구상하게 되었음.
- 토양 중 칼리 함량을 기준으로 액비사용처방 프로그램을 구분하여 운영하는 것이다. 그 방법은 다음과 같다. 1단계로 농경지 토양 중 칼리 함량을 분석한다. 2단계로는 토양 중 칼리 함량이 기준치 대비 적정 수준인지 부족한지 과다한지를 판단한다. 3단계는 작물의 양분 요구량과 액비 중 비료 성분함량을 비교한다. 4단계는 토양 칼리 함량에 따라 두 종류의 액비사용 처방 프로그램을 운영한다. 즉 토양 중 칼리 함량이 적정이상이면 기존의 방식처럼 토양 중 질소와 인, 칼리 함량을 고려하여 액비사용량을 처방하는 프로그램을 운영하고, 토양의 칼리 함량이 적정하거나 적정 이하이면 액비의 질소와 인 함량만을 기준으로 사용량을 처방하는 프로그램을 운영하는 것이다. 액비를 사용한 다음 토양 중 칼리 함량을 확인하면서 액비처방량을 산정한다면 이듬해에 토양 중 칼리는 과잉 집적되지 않을 것임.



그림106 토양 칼리 함량 기준 액비처방 프로그램(안)

다) 토양 칼리 함량 기준에 따른 액비처방 프로그램 활용 기대효과

- 토양의 칼리 함량에 따라 두 종류의 액비처방 프로그램을 가동한다면 현행 액비처방량 보다 벼 재배지는 2.21배, 보리 재배지는 1.20배, 고추 재배지는 1.13배, 사과 재배지는 1.35배가 늘어날 것으로 기대되었다. 액비가 주로 살포되는 벼 재배지에서 살포량이 2.21배가 늘고, 보리 재배지에서 1.2배가 늘어난다면 축산농가나 공동자원화처리장에서 액비 관리비용 절감 효과도 무척 클 것임.

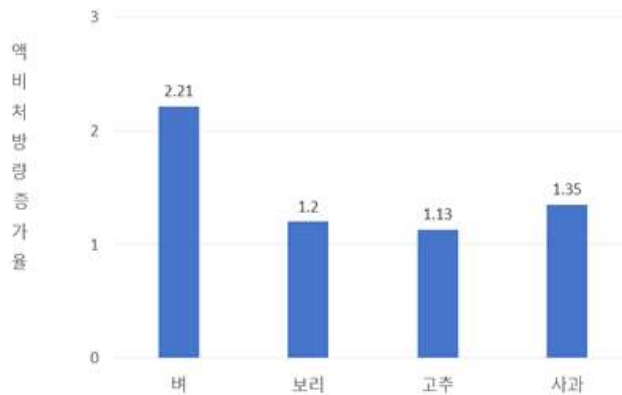


그림107 토양 칼리 함량 기준 프로그램 운용으로 액비 사용량 증가

- 토양 칼리 함량을 기준으로 액비사용처방 프로그램을 운용하면 국가적으로는 연간 요소 1,417톤, 용성인비 154.6톤, 염화칼리 288.7톤을 줄일 수 있어서 국가 양분수지를 개선할 수 있고 비료사용량 절감에 따른 온실가스 감축 효과도 기대할 수 있다. 또한 경종농가들은 무기질 비료 사용량 절감에 따라 연간 2,692백만 원의 비룻값 절감이 기대되었음.

표262 토양 칼리 함량 기준 프로그램 운용으로 무기질비료 절감량

재배작물/비료	요소	용성인비	염화칼리	합계
벼(톤/년)	1417.0	154.6	288.7	1860.3
보리(톤/년)	54.0	12.1	121.4	187.5
고추(톤/년)	12.0	4.2	26.4	42.7
사과(톤/년)	2.1	0.5	2.2	4.7
합계(톤/년)	1485.0	171.3	438.8	2095.1
가격(원/20kg)	28,900	13,600	19,600	-
절감액(천 원/년)	2,145,873	116,507	429,991	2,692,371

7. 소단위 완전순환형 경축순환 모델을 위한 고품질 퇴비 품질인증 프로그램의 개발

가. 고품질 퇴비 개요

- 「가축분뇨법」상 소의 퇴비화 기준은 3가지 항목인 부숙도, 함수율, 염분에 대한 기준이 규정된 반면, 「비료관리법」상 가축분 퇴비 기준은 16가지 항목인 유기물, 유해성분(중금속) 8종, 병원성미생물 2종, 유기물대질소비, 염분, 수분, 부숙도, 염산불용해물 기준에 적합해야만 유통할 수 있음.
- 즉, 일반적인 퇴비의 품질 기준은 상기와 같이 가장 하위 개념인 자원화시설에서 생산되는 퇴비화 기준(「가축분뇨법」)과 유통을 위한 가축분 퇴비(「비료관리법」)의 기준으로 구분되며, 각각의 목적에 따라 품질 항목별 기준에 모두 만족해야 함.
- 한편, 「친환경농어업법」상 유기농업자재 공시기준에서는 유해중금속 8종(「비료관리법」 대비 최대허용량 기준 강화), 병원성미생물 5종(「비료관리법」 대비 3종이 추가됨), 항생물질 5종 등으로 보다 엄격한 품질 기준이 추가로 제시되어 있음.

(품질기준)

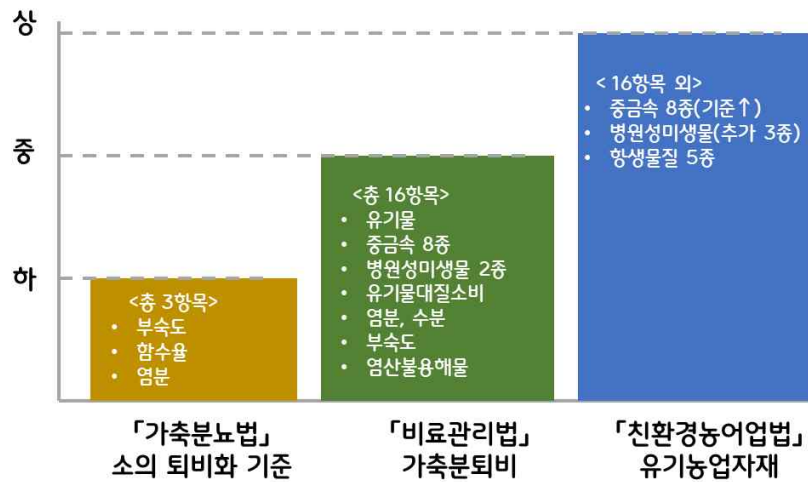


그림108 국내 가축분뇨 퇴비의 품질 기준 분류

- 국내에는 아직 고품질 퇴비에 대한 법률적인 정의나 구체적인 기준이 없으나, 본 연구에서는 고품질 퇴비란 유기농업자재급의 품질 기준을 만족하고, 수요자에게 농업생산을 위한 필요한 정보를 제공하는 것이라 정의하였음. 또한 이를 위한 고품질 퇴비 생산 매뉴얼 및 횡성형 고품질 퇴비 부숙도 자가평가법(안)과 횡성형 고품질 퇴비 인증 평가법(안)에 대해서도 제시하였음.

나. 고품질 퇴비 개요

- 고품질 퇴비를 생산하기 위해서는 다음과 같이 깔짚우사에서 최종 후숙처리까지 면밀한 환경관리가 필요함.

표263 고품질 퇴비 생산 매뉴얼

구분	내용	고품질 퇴비화 과정
깔짚의 선정	<p>기존 깔짚 종류인 톱밥 등에 기능성 깔짚인 피트모스* 등을 약 30% 혼합하여 사용하는 것을 권장합니다.</p> <p>*피트모스의 경우 발효를 촉진하는 미생물과 부식물질을 함유하고 있기 때문에 우사의 악취를 저감하고, 후숙 퇴비화 공정에서 발효에 도움을 줍니다.</p>	
사육밀도	<p>사육밀도는 번식우의 경우 46㎡(1칸)에 3~4두, 비육우의 경우 35㎡(1칸)에 5두의 사육밀도를 권장합니다.</p>	
우상관리	<p>성장단계를 고려하여 우사 바닥에 깔짚을 5~10cm 가량 깔고, 가축 활동으로 인해 깔짚이 부족하거나 질퍽한 부분은 수시로 깔짚을 보충해 줍니다.</p> <p>깔짚은 보통 20~30일 사이에 로터리나 관리기 등을 이용하여 깔짚의 상층 및 하층부가 잘 섞이도록 교반하여 줍니다.</p>	
우분수거 및 수분조절	<p>우분의 수거 시기는 여름철 85일, 85일, 봄·가을철 77일, 겨울철 67일 수준을 권장합니다.</p> <p>수거한 우분은 톱밥+피트모스 등 수분조절재를 이용하여 수분함량이 60~70% 되도록 조절하며, 스킨드러 등의 장비를 이용해 고른 더미 상태가 되도록 축분을 쌓습니다.</p>	
교반 (뒤집기)	<p>퇴비더미 온도가 약 55℃ 이상 상승하는지 확인하며, 주기적으로 주 2회 이상 교반(뒤집기)을 실시 합니다.</p> <p>더미를 뒤집을 때 입자가 공기와 많은 접촉이 되도록 하며, 발효 촉진 미생물제와 부숙퇴비를 일부 혼합합니다.</p> <p>처리일수는 약 30일을 권장합니다.</p>	
후숙 및 저장	<p>퇴비더미 온도가 40℃ 이하로 유지되는지 확인하며, 부숙된 퇴비더미를 이동하여 퇴적(후숙) 합니다. 우분의 수거 주기에 따라 다르나 처리일수는 30~60일을 권장합니다.</p> <p>횡성형 고품질 퇴비 부숙도 자가평가법*을 이용하여 부숙 정도를 평가합니다.</p>	
퇴비 재이용 및 경종농가 보급	<p>완전히 부숙된 퇴비는 염분이나 중금속 함량을 고려하여 우사 깔짚용으로 일부 혼합하여 사용하기도 하며, 퇴비화 초기단계에서 수분조절재로 사용이 가능합니다.</p> <p>퇴비 시료채취 및 분석 후 횡성형 고품질 퇴비 인증 평가법*을 이용하여 등급을 부여하고, 최종적으로 경종농가에 보급합니다.</p>	

자료) 농림축산식품부 외(2019) “농가용 퇴비 부숙도운영 및 관리 매뉴얼” 일부 인용

다. 황성형 고품질 퇴비 부숙도 자가평가법(안)

○ 황성형 고품질 퇴비 부숙도 자가평가법은 기존의 방법을 개선하여 총 10가지 항목에 대한 평가표를 제시하였음. 100점 만점 중 81점 이상이면 고품질 퇴비 부숙완료로 평가됨.

표264 고품질 퇴비 부숙도 자가평가법(안)

구분		내용				점수	
관능평가 항목 (45점)	①색깔 및 형상(10점)	[0~2점] 축분과 유사한 색깔 및 형상	[3~6점] 축분과 유사한 색깔 및 형상			[7~10점] 축분과 유사한 색깔 및 형상	
							
	②냄새(20점)	[0~2점] 아주 강한 축분냄새를 느끼는 정도	[3~11점] 아주 강한 축분냄새를 느끼는 정도			[12~20점] 축분냄새 완전 소멸 및 흙 냄새 등 퇴비냄새	
			*5점: 축분냄새 식별 *8점: 약간의 축분냄새 *11점: 미세한 축분냄새				
	③수분(15점)	[0~2점] 70% 이상	[3~9점] 60% 전후			[10~15점] 50% 전후	
							
		*손으로 움켜쥐면 손가락 사이로 물기가 많이 나옴	*손으로 움켜쥐면 손가락 사이로 물기가 약간 나옴			*손으로 움켜쥐면 손가락 사이로 물기가 스미지 않음 부스러기가 떨어질 정도	
농가 기록 항목 (35점)	④퇴비화 기간 (15점)	축분 단독	[0~2점] 20일 이내	[3~9점] 20일~6개월 미만			[10~15점] 6개월 이상
		축분+ 수분조 절재	[0~2점] 20일 이내	기간 (일)	20~60	20~120	20~180
			점수	3	6	9	
	⑤퇴비화 기간 동안 뒤집기 횟수 (15점)	[0~2점] 2회 이하	[3~9점] 3~6회			[10~15점] 7회 이상	
	⑥강제통기(5점)	[2점] 통기 안함	[3~4점] 통기상태 보통			[5점] 통기상태 양호	
				*퇴적송풍식: 간헐적 운영 정도에 따라 배점			*기계교반식: 주3회 이상(5점) *퇴적송풍식: 상시 가동(5점)
가점 항목 (20점)	⑦부숙 중 최고온도(5점)	[0~2점] 50℃ 미만 *미측정: 0점	[3~4점] 50~60℃			[5점] 60℃이상	
		*50℃ 미만: 2점 [2점] 방선균 없음	*50~55℃: 3점 *56~60℃: 4점 [3~4점] 방선균 보통			[5점] 방선균 많음	
	⑧방선균 발현 여부(5점)		→ 중간 정도 ←				
	⑨퇴비 내 EC 함량(5점) (*EC: 전기전도도)	[0~2점] 40 mS/cm 초과 *미측정: 0점	[3~4점] 26~40 mS/cm			[5점] 25 mS/cm 이하	
		*40 mS/cm 초과: 2점	*33~40 mS/cm: 3점 *26~32 mS/cm: 4점			*25 mS/cm 이하: 5점	
⑩우상교반(5점)	[0~2점] 무교반 또는 2~3달에 1회 *무교반: 0점	[3~4점] 1달에 1~2회			[5점] 1달에 3회 이상		
	*3달에 1회: 1점 *2달에 1회: 2점	*1달에 1회: 3점 *1달에 2회: 4점			*1달에 3회 이상: 5점		
점수합계		[40점 미만] 미숙·부숙 초기	[40~59점] 부숙중기	[60~80점] 부숙후기	[81점 이상] 부숙완료		

자료) 농림축산식품부 외(2019) “농가용 퇴비 부숙도운영 및 관리 매뉴얼” 인용 및 일부개선

라. 고품질 퇴비 인증 평가법(안)

- 횡성형 고품질 퇴비 부숙도 자가판별법은 기존의 연구결과를 개선하여 총 31가지 항목에 대한 100점 만점의 평가표를 제시함.
- 최종적으로는 횡성형 고품질 퇴비 부숙도 자가판별법을 합산하여 200점 만점 중 141~159점은 “횡성 브라운 등급”, 160~179점은 “횡성 그린 등급”, 180~200점은 “횡성 그린 어사진토 등급”으로 구분함.

표265 고품질 퇴비 등급기준(안)

구분	횡성 그린 어사진토 등급	횡성 그린 등급	횡성 브라운 등급
부숙도 자가평가법	95~100	88~95	81~88
고품질 인증 평가법	85~100	72~84	60~71
합계점수	180~200	160~179	141~159
등급			

표266 고품질 퇴비 인증 평가법(안)-지표

연번	항목		점수	평가기준	비료공정 규격 기준	유기농업자재 공시기준
1	유기물함량(%) [10점]		10	40이상	30% 이상	좌동
			8	40미만~35이상		
			4	35미만~32이상		
			2	32미만~30이상		
2	유기물대 질소비 [10점]		10	30이하	45 이하	좌동
			8	30초과~35이하		
			4	35초과~40이하		
			2	40초과~45이하		
3	납	[2점]	2	50이하	130 이하	50ppm
			1	50초과~70이하		
			0.5	70초과~130이하		
4	카드뮴	[2점]	2	2이하	5 이하	2ppm
			1	2초과~3이하		
			0.5	3초과~5이하		
5	구리	[2점]	2	120이하	360 이하	120ppm
			1	120초과~250이하		
			0.5	250초과~360이하		
6	크롬	[2점]	2	90이하	200 이하	90ppm
			1	90초과~150이하		
			0.5	150초과~200이하		
7	비소	[2점]	2	20이하	45 이하	20ppm
			1	20초과~30이하		
			0.5	30초과~45이하		
8	수은	[2점]	2	1이하	2 이하	1ppm
			1	1초과~1.5이하		
			0.5	1.5초과~2이하		
9	아연	[2점]	2	400이하	900 이하	400ppm
			1	400초과~600이하		
			0.5	600초과~900이하		
10	니켈	[2점]	2	20이하	45이하	20ppm
			1	20초과~30이하		
			0.5	30초과~45이하		
11	유해 미생물	병원성대장균(Escherichia coli O157:H7) [1점]	1	불검출	불검출	불검출
			부적합	검출		
12		살모넬라(Salmonella spp.) [1점]	1	불검출	불검출	불검출
			부적합	검출		

13		황색포도상구균(Staphylococcus aureus) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
14		리스테리아 모노사이토제네스 (Listeria monocytogenes) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
15		바실러스 세레우스(Bacillus cereus) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
16		테트라사이클린계(Tetracyclines) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
17	항생물질	베타락탐계(Beta-lactams) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
18		설파계(Sulfonamides) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
19		마이크로라이드계(Macrolides) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
20		아미노글리코사이드계(Aminoglycosides) [1점]	1	불검출	-	불검출
			부적합	검출		
21		염분(%) [5점]	5	1이하	2.0% 이하	좌동
			3	1초과~1.5이하		
			1	1.5초과~2.0이하		
22		염산불용해물(%) [1점]	1	25이하	25% 이하	좌동
			부적합	25초과		
23		수분함량(%) [8점]	2	55이하~52초과	55% 이하	좌동
			4	52이하~50초과		
			8	50이하~45초과		
			4	45이하~40초과		
			2	40이하~35초과		
			0	그 외		
24		기계적부숙도 [15점]	15	완숙(부숙)	부숙	좌동
			부적합	미부숙 및 중숙		
25		종자발아지수 [15점]	15	100이상	70이상	좌동
			12	100미만~90이상		
			8	90미만~80이상		
			5	80미만~70이상		
			5	3이하		
26		EC[10:1] (mS/cm) [5점]	4	3초과~5이하	-	-
			3	5초과~7이하		
			2	7초과~10이하		
			1	10초과		
			5	80이상		
			4	80미만~60초과		
27		질산태질소대 무기태질소비 [5점]	3	60미만~40초과	-	-
			2	40미만~20초과		
			1	20미만		
			5	80이상		
			4	80미만~60초과		
28	성분표시 항목	질소(%, NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ -N	-	-	-	-
29		인산(%)	-	-	-	-
30		칼리(%)	-	-	-	-
31		pH[10:1]	-	-	-	-

마. 고품질 퇴비 인증 평가법(안) 적용 사례

○ 황성형 고품질 퇴비 부숙도 자가평가 적용 사례(황성00농가)

구분		점수
관능평가 항목 (45점)	①색깔 및 형상(10점)	10
	②냄새(20점)	20
	③수분(15점)	15
농가기록 항목 (35점)	④퇴비화 기간 (15점)	-
	축분 단독	15
	축분+수분조절재	15
	⑤퇴비화 기간 동안 뒤집기 횟수 (15점)	12
가점항목 (20점)	⑥강제통기(5점)	2
	⑦부숙 중 최고온도(5점)	5
	⑧방선균 발현 여부(5점)	5
	⑨퇴비 내 EC 함량(5점)	5
	⑩우상교반(5점)	3
점수합계		92

○ 황성형 고품질 퇴비 부숙도 인증평가 적용 사례(황성00농가)

연번	항목		결과	점수	
1	유기물함량(%)		[10점]	37.48	8
2	유기물대 질소비		[10점]	36.58	4
3	유해중금속 (mg/kg, 건물기준)	납	[2점]	불검출	2
4		카드뮴	[2점]	불검출	2
5		구리	[2점]	33.31	2
6		크롬	[2점]	불검출	2
7		비소	[2점]	불검출	2
8		수은	[2점]	불검출	2
9		아연	[2점]	153	2
10		니켈	[2점]	불검출	2
11~15	유해미생물	*유해미생물 5종 불검출 판정으로 가정 [5점]		불검출	5
16~20	항생물질	*항생물질 5종 불검출 판정으로 가정 [5점]		불검출	5
21	염분(%)		[5점]	1.1	3
22	염산불용해물(%)		[1점]	2.1	1
23	수분함량(%)		[8점]	46.72	8
24	기계적부숙도		[15점]	부숙완료	15
25	종자발아지수		[15점]	143	15
26	EC[10:1] (mS/cm)		[5점]	6.0	5
27	질산태질소대 무기태질소비		[5점]	67	4
28	성분표시 항목 *NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ -N 생략	질소(%)		1.22	-
29		인산(%)		0.96	-
30		칼리(%)		2.00	-
31		pH[10:1]		9.7	-
접수합계					89

○ 황성형 고품질 퇴비 인증 등급기준 평가 적용 사례(황성00농가)

구분	황성 그린 어사진토 등급	황성 그린 등급	황성 브라운 등급
부숙도 자가평가법	95~100	88~95 (92점)	81~88
고품질 인증 평가법	85~100 (89점)	72~84	60~71
합계점수	180~200 (181점)	160~179	141~159
등급			

8. 소단위 완전순환형 경축순환 모델 탄소중립을 위한 환경지표 개발 및 적용(강원형성)

가. 개요

- 본 연구 1단계(1~2차년도)에서 구상된 축산환경지표(안)은, 국내 여건 및 특수성을 감안한 축산환경 평가·개선 지표(안)을 제시했다는 의의가 있음.
 - 한국형 축산환경 4단계 구조론을 기반으로 ①1단계 : 환경(악취) 최적화 기술(9개 지표) ② 양분관리 최적화 기술(8개 지표) ③ 경축순환 최적화 기술(8개 지표) ④ 탄소중립 최적화 지표(6개 지표)로 제안되었음.
 - 경축순환체계 전 과정(축산-경종)을 아우르면서, 가축분뇨 자원의 이용률 제고 및 활용처 확대를 통해 “환경(악취)→양분관리→경축순환→탄소중립”으로 이어지는 과제 제시 및 단계적 해법 모색을 꾀했다는 의의를 찾을 수 있음.

- 하지만 본 연구에서 제안된 축산환경지표(안)은 아래의 한계점을 지니고 있음.
 - 경제협력개발기구(OECD) 및 유럽연합(EU)에서 제안·설정하여 적용시켜 온 농업환경지표(Agricultural Environmental Indicators; AEIs)의 주요 지표(수치)와 잘 매칭되지 않고, 이의 기본 구성·작동 원리라 할 수 있는 DSR(혹은 DPSIR) 모델과 호환성·연계성도 떨어짐.
 - 국내 축산환경 현안 및 중앙정부·지자체 등의 정책 추진 내용과 직접 연관된 투입지표 중심으로 구성돼 있으며, 이를 통한 최종적인 결과 및 현 상황을 일목요연하게 살필 수 있는 결과지표·과정지표가 적절하게 제시되지 못했음.
 - 각 지표간 상호 연계성이 부족함. DSR(혹은 DPSIR) 모델에 입각하여 구성된 농업환경지표들은 “동력(Driving Forces)→상태(State)→반응(Responses)”의 순환을 통해 되먹임(Feedback)됨으로써 서로 영향을 주고 받으며 밀접한 상호 연계성을 지니도록 설계돼 있으나, 본 연구에서 제시된 축산환경지표(안)은 그러한 구조로 만들어지지 못했음.

- 본 연구 1단계에서 제시된 한국형 축산환경 4단계 구조론과 DSR(혹은 DPSIR) 모델에 입각하여 새로운 지표(안)을 구성함으로써, 본 연구의 테스트베드인 횡성군의 경축순환체계 전 과정(축산-경종)의 탄소중립 실현 수준을 평가하여, 합리적인 정책 대안을 모색하고 이를 전국적으로 확대·적용할 수 있는 단초를 마련할 필요가 있음.

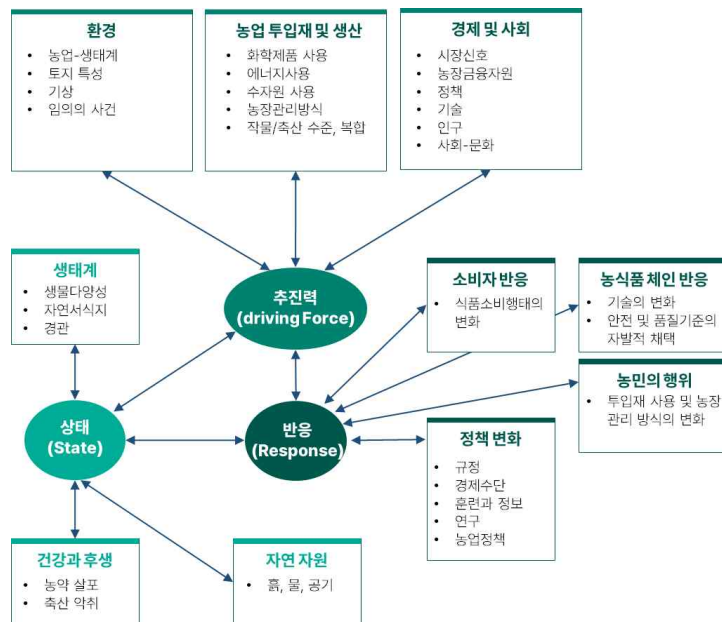
나. DSR(혹은 DPSIR) 모델의 구성·적용 원리

1) DSR(혹은 DPSIR) 모델의 개요

- DSR(혹은 DPSIR) 모델은 OECD·EU 농업환경지표를 형성하기 위한 기본틀임. ○ 농업의 전반적인 생산과정에서 환경에 영향을 미치는 요소들을 3가지 혹은 5가지로 구분한 것임. 여기에서는 OECD 및 EU 농업환경지표에 적용되는 DSR 및 DPSIR 모델의 구성요소에 대하여 선행연구 성과를 인용하여 설명하고자 함.

2) OECD 농업환경지표의 DSR 모델 3가지 구성 요소

- OECD 농업환경지표는 DSR(Driving Force, State, Response) 모형을 바탕으로 개발되었으며, 임송수(임송수, 2000. 농업환경지표(AEIs)와 정책활용 방향, OECD 농업환경지표와 정책활용 방안, 한국농촌경제연구원 세미나 결과보고)는 동 모델이 농업환경의 어긋매김과 복잡한 연계를 능동적으로 반영하는 모형이라 설명하였음.
- ① 추진력(Driving Force) : 농업에서 환경상태의 변화를 일으키는 원인임. 추진력의 개념은 농업활동이 환경의 질에 이익과 손해를 다 가져올 수 있음을 나타내고, 농민 행위, 정부 정책, 경제·사회·문화 요소 등 농업과 지속 가능한 농업에서 환경에 영향을 주는 요인들을 포함함.
- ② 상태(State) : 추진력에서 생기는 환경 조건의 변화를 말함. 농업의 환경영향은 농장 안팎에서 모두 나타나고(예 : 생물다양성, 기후 변화), 들에서 지구 전체에 이르기까지 다양한 시간과 공간 규모를 가짐.
- ③ 반응(Response) : 농업과 지속 농업에서 실제(또는 인식된) 변화나 시장 신호에 대한 사회와 정책 결정자의 반응을 말함. 이는 농민 행위, 소비자 반응, 농산업 반응, 정부 조치 등으로 구분할 수 있음.
- 위 3가지 구성 요소를 모식도로 표현하면 아래 그림과 같음.
- DSR의 연계를 분석하면 농업과 환경에 미치는 영향의 인과관계를 밝히고 지속 가능한 농업을 추진하는 데 도움이 되지만 그 연계의 복잡함과 농업의 다양한 기능으로 인한 제약이 큼.
- 이 때문에 임송수는 “DSR 틀은 지표들을 정확히 나누는 수단이라고 단정하기보다는 지표들을 제시하고 분석하는 기본수단으로 인식하고 접근하는 것이 바람직”하다는 의견을 제시하고 있음.

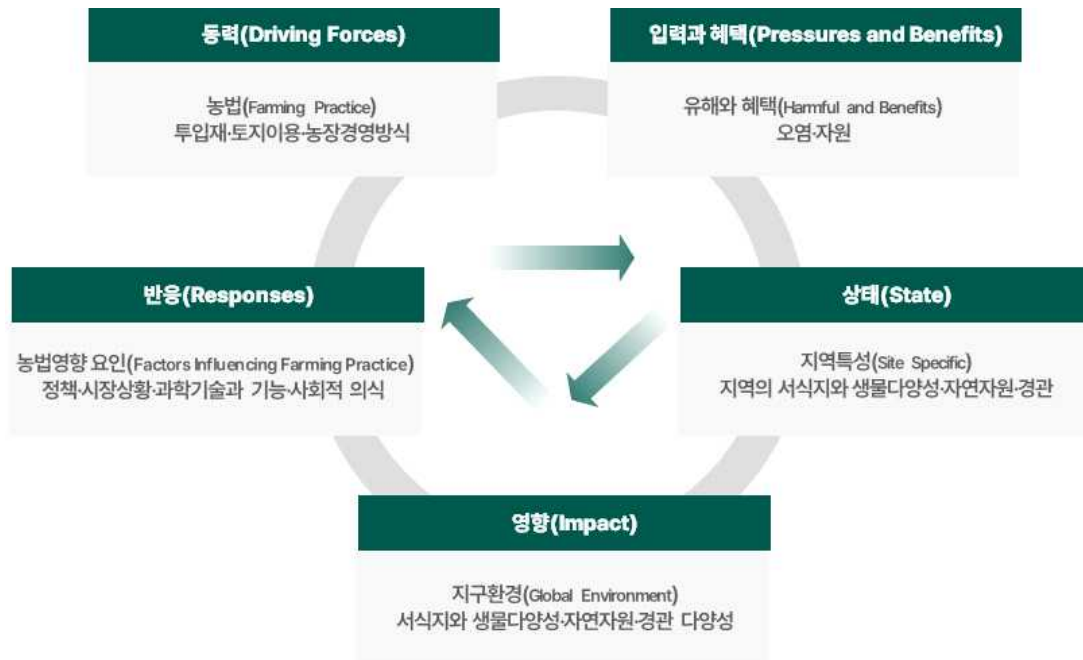


자료) 임송수, 2000. 농업환경지표(AEIs)와 정책활용 방향, OECD 농업환경지표와 정책활용 방안, 한국농촌경제연구원 세미나 결과보고에서 재정리

그림109 OECD 농업환경지표 DSR의 틀

3) EU 농업환경지표의 DPSIR 모델 5가지 구성 요소

- EU 농업환경지표의 DPSIR 모델은, 위 OECD 농업환경지표 DSR 모델에 비해 보다 세밀하게 정의·구분된 구성 요소라 할 수 있음(김태연, 2021. EU의 농업환경지표 관리에서 배울 점. 계간 농정연구 77호 논단)
 - ① 상태(State) : 제거 또는 감소시켜야 하는 요소(예 : 질소, 제초제 등)와 보존해야 하는 요소(예 : 경관, 생물다양성 등)가 무엇인지 판단하는 과정임.
 - ② 압력과 혜택(Pressures and Benefits) : 부정적 효과를 초래하는 압력 요인과 환경에 긍정적 효과를 초래하는 혜택 요인을 판단하는 과정임.
 - ③ 영향(Impact) : 위의 압력과 혜택 요인들이 결과적으로 환경에 어떤 영향을 주는지 판단하는 단계임.
 - ④ 동력(Driving Forces) : 시장상황에 따라 농민들의 활동이 결정되는 것처럼, 경제 내에서 이러한 압력 또는 혜택 요인에 연계되어 있는 동력이 무엇인지를 판단하는 과정임. 즉, 동력은 농업정책에 의해서 직접적으로 영향을 받는 요소들이라고 할 수 있음.
 - ⑤ 반응(Responses) : 사회적으로 이러한 것들이 어떻게 받아들여지고 있는지를 판단하는 과정임. 즉, 농업환경정책이 대중들에게 직접적으로 효과를 미치는지, 대중들이 즉각적으로 반응하는지, 아니면 또 다른 예상치 못한 문제들이 있는지 등을 살펴보는 단계임.
- 위 5가지 구성 요소를 모식도로 표현하면 아래 그림과 같음.
- 결국, 위의 기본적인 틀을 활용하여 농업환경지표와 관련된 문제들을 발견하고 이를 해결하기 위해 어떤 정보가 필요한지를 판단하면서 지표들을 개선하는 것이라 할 수 있음.



자료) 김태연. 2021. EU의 농업환경지표 관리에서 배울 점. 계간 농정연구 77호 논단/ CEC (2000): Indicators for the Integration of Environmental Concerns into the common agricultural policy, COM(2000) 20 final, Commission of the European Communities.에서 재인용

그림110 EU의 DPSIR 모델

4) DSR 및 DPSIR 모델의 의의

○ 위의 DSR 및 DPSIR 모델의 의의는 크게 2가지로 생각해 볼 수 있음.

- ① 농업환경지표를 구성하는 각 요소들이 상호 순환(되먹임; Feedback) 및 영향을 주고 받는 관계를 이루게 되므로, 환경 개선(혹은 악화) 효과 및 그에 대한 정부(지자체)·민간·농업인의 대응을 살필 수 있음.
- ② 최초로 만들어진(이후 수정된) 축산환경지표(안)이 제대로 만들어졌는지, 나아가 향후 추가적인 수정·보완을 통해 논리적·시계열적으로 일관성이 있는 바람직한 지표 체계로 만들어 나갈 수 있을지 방향성을 제공해 줌.
- DSR(DPSIR) 모델은 완벽하고 이상적인 완성태로 받아들이기보다는, 농업(축산)환경 문제를 체계적·종합적인 관점에서 바라보고 이의 합리적인 해결·대응책을 모색하는 데 도움을 받을 수 있는 도구로써 활용하는 것이 바람직할 것임.
- 지속적인 수정·보완을 통해 문제점을 개선하고, 우리나라의 특수성 및 대내외 여건 변화에 부합하게끔 유연성 있게 인식·접근하는 것이 바람직함.

다. 새로운 환경지표(안) 구성에 있어 고려할 사항

○ 우리나라 경종농업·축산업의 현실 및 여건을 반영한 지표가 되어야 함.

- 경종-축산간의 연계가 긴밀하지 못하고 단절돼 있고, 소단위(마을단위) 혹은 지역(시·군·관내) 기반 경축순환농업 활성화를 위한 거버넌스 및 관련 시장 형성·성숙도가 낮은 상황을 감안해야 함.
- 특히 축산업의 규모화·전업화가 진전되고 있음에도, 이를 해결하기 위한 체계적·단계적 해법 제시·적용이 지체되어 축산환경 문제가 복잡·중첩되고 있는(환경·악취→양분관리→경축순환→탄소중립) 현 상황을 감안한 적절한 지표(안) 제시가 요청됨.
- 소단위(마을단위)→지역(시·군) 단위 축산환경 현황 및 문제점 및 이를 해결하기 위한 정부·지자체·민간·농가의 노력을 간명하게 보여줄 수 있는 과정·결과지표를 중심으로 핵심지표 및 보조지표플 적절하게 구성·제시해야 함.
- 국내 당면 축산환경 문제 대응·해결 중심으로 지표를 구성·적용할 수밖에 없는 현실을 감안하더라도, 거시적·중장기적 관점에서 OECD 및 EU 등의 농업환경지표와 연계될 수 있도록 함으로써 추후 종합적·체계적인 농업환경지표가 개발·적용될 경우 호환성·연계성을 지닐 수 있도록 할 필요가 있음.

○ 잘 정의되고(Well-Defined), 측정·평가 가능하며, 간명한 핵심지표 중심으로 구성해야 함.

- 우선, 지표들은 잘 정의되어야(Well-Defined) 함. 축산환경 문제에 있어 무엇을, 어떻게 나타내어야 하는지가 분명히 보여야 함.
- 가능하면 측정·평가 가능한 지표로 구성되는 게 바람직함. 정부·지자체 등의 행정·표본통계나 전세계적·국가적으로 인정받을 수 있으며, 검증 가능한 자료를 통해 도출(추산)된 결과를 바탕으로 축산환경 문제를 파악할 수 있게끔 해야 함.
- 간명한 핵심지표(축산환경 문제의 현 상황 및 해결해야 할 핵심 과제) 중심으로 지표를 제시하는 것이 바람직하며, 이를 보완할 수 있는 보조지표를 논리에 맞게 배치하는 것이 필요함.
- 참고적으로 EU 농업환경지표의 경우 총 28개의 지표를 설정·적용중인데, 작동가능한 지표(Operational Indicator), 잘 정의된 지표(Well-defined Indicator), 개선 필요지표(Improvement-needed Indicator)로 구분·관리하고 있음.

라. DSR 모델에 입각한 축산환경지표(안)의 개선 방안

- 기존에 구상했던 축산환경지표(안)을 아래 표와 같이 DSR 모델 및 한국형 축산환경 4단계 구조론에 입각하여 개편하고자 함.
 - 가로축은 한국형 축산환경 4단계 구조론에 의한 구분, 세로축은 DSR 모델에 의거한 구분이 되어 있음.
 - 붉은 글씨로 된 것이 핵심지표이며, 나머지는 보조지표임.
 - 2단계인 “양분관리 최적화 기술”과 3단계인 “경축순환 최적화 기술”은 상호 연관성이 매우 높다고 판단되어 연결시켰음. 적절한 경축순환을 통하여 양분관리를 하는 것이 바람직한 방법이 될 수 있으므로, 이 둘을 연결시켜 인식·접근하는 것이 합리적이라 판단됨.
 - 가급적 지표 상호간의 논리적 연계성과 정합성을 높이고 순환 관계를 명확하도록 배치하였으며, 특히 소단위(마을단위) 혹은 지역(시·군) 단위 축산환경의 현 실태 및 당면 핵심과제를 압축적으로 보여줄 수 있다고 판단되는 지표들을 핵심지표로 제시하고자 하였음.

표267 탄소중립 최적화 기술 관련 축산환경지표(안)

구분	1단계 환경(악취) 최적화 기술	2단계 양분관리 최적화 기술	3단계 경축순환 최적화 기술	4단계 탄소중립 최적화 기술
1. 동력 (Driving Forces)		<ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨 발생량 • 관내 화학비료 사용량 		<ul style="list-style-type: none"> • 축종별 농후(배합)사료 소비량
2. 상태 (State)	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 배출량 	<ul style="list-style-type: none"> • 관내 질소 수지 • 관내 인 수지 • 관내 농지 면적 		<ul style="list-style-type: none"> • 축산 유래 온실가스 배출량(장내발효, 분뇨처리)
3. 반응 (Responses)		<ul style="list-style-type: none"> • 관내 퇴·액비 생산·활용량 • 관내 사료작물 생산·활용량 • 양분관리·경축순환 거버넌스 체계 구축·운영 실적(퇴액비유통협의체 등) • 경축순환 전문인력(컨설턴트) 육성·활동 현황 		<ul style="list-style-type: none"> • 가축분뇨 처리방법별 비중(예 : 퇴·액비화, 정화방류, 바이오가스 발전, 고체연료화, 기타)

마. 개선된 축산환경지표(안)에 대한 설명

- 1) 동력(Driving Force) 관련 지표 해설
 - 2단계 양분관리 최적화 기술과 3단계 경축순환 최적화 기술과 관련해서는, 가축분뇨 발생량 및 관내 화학비료 사용량, 축종별 농후(배합)사료 소비량이 있음.
 - 해당 통계는 시·군청 통계자료 및 농·축협 내부 자료를 통해 확보함.
 - ① 가축분뇨 발생량 : 해당 시·군의 축종별 사육두수에 농식품부(환경부)가 공표한 가축분뇨 발생원단위를 적용하여 산출함.
 - 가축분뇨 발생량은 가축사육두수와 밀접히 연계돼 있으며, 적절한 처리방안(퇴·액비화, 정화방류, 바이오가스 발전, 고체연료화, 바이오차 등)이 없을 경우 환경부하를 가중시키는 원인으로 작용함.
 - ② 관내 화학비료 사용량 : 해당 시·군 내 농지에 시비된 화학비료의 살포량.
 - 화학비료의 실제 관내 토지(농지)에 시비된 양을 측정하기 곤란하므로, 관내 지역 농·축협에서 판매된 화학비료 관련 통계를 활용하여 N·P·K 함량을 적용함으로써 추산함.
 - 가축분뇨 및 화학비료는 아래 상태(State)와 관련하여 암모니아(미세먼지 전구물질), 질소·인 수지, 온실가스 발생량 등에 영향을 끼치는 요소로 작용함.

- ③ 축종별 농후(배합)사료 소비량 : 해당 시·군 내 축종별 농후(배합)사료의 소비량(추정치).
 - 농후(배합)사료의 판매·급여량은 아래 상태(State)와 관련된 지표인 암모니아(미세먼지 전구물질), 질소·인 수치(양분수지), 온실가스 발생량 등에 영향을 끼치는 요소로 작용함.
 - 반추동물(소·염소 등)은 적절한 사양관리 프로그램에 의거하여 농후(배합)사료를 급여할 경우 축산 유래 온실가스 발생량(장내발효로 인한)을 조절·감소시키는 효과가 있음(저품질 조사료 위주 급여 대비).
 - 그러나 가축사육두수 증가에 따른 농후(배합)사료 급여량 증가는 환경 부하 증가의 원인이 되며, 축산농가의 생산비 부담을 가중시키는 요인으로 작용함.
 - 축종별 농후(배합)사료의 생산량 통계는 사료협회에서 작성·발표하고 있으나, 전국 및 지역(시·도, 시·군)별 축종별 농후(배합)사료 판매량·소비량 통계는 작성·관리되고 있지 않음.
 - 본 연구에서는 사료협회 및 농촌진흥청 등의 자료(축종별 사양관리 프로그램 등)를 활용하여, 축종별 농후(배합)사료 소비량의 추정치를 도출하고자 함.

2) 상태(Stste) 관련 지표 해설

- ① 암모니아 배출량 : 해당 시·군 내에서 특정 년도에 가축사육을 통해 배출되는 암모니아 배출량을 추산한 수치임.
 - 이는 해당 시·군 관내 가축사육두수에 환경부의 암모니아 배출 인벤토리를 적용하여 추산함.
 - 암모니아는 미세·초미세먼지 전구물질이자 축산냄새 유발물질 중 하나이므로, 이의 증감 여부는 축산환경 문제의 개선(악화) 여부를 판단할 수 있는 유용한 수단이 될 수 있음.
- ② 관내 질소 수치, 관내 인 수치 : 토양수지 산정론에 의거하여 해당 시·군 내에 특정 년도 기준 질소 수치와 인 수치(양분수지⇒잠재수계유출량)가 어떠한 변화 패턴을 나타내는지를 분석함.
 - 본 연구의 공동연구기관인 환경대학교가 산출한 질소 수치 및 인 수치(양분수지, 횡성군의 경우 군 전체 및 읍·면별로 계산돼 있음)를 적용하여 평가함.
 - 질소 수치는 해당 지역의 농업환경 특성 및 축산환경 문제의 현 상황을 가늠할 수 있는 핵심지표이며, 지자체는 특정 기간(시점)을 기준으로 질소·인 수치 저감 목표를 설정하여 경축순환농업 활성화(화학비료 시비 저감→가축분 퇴·액비 활용 및 자급 조사료 생산 확대 등)를 통해 양분 수치 균형을 추진하고 이의 실현 여부를 측정함으로써 축산환경 문제 개선(악화) 정도를 평가할 수 있음.
- ③ 관내 농지 면적 : 해당 시·군 내 특정 년도의 농지(논·밭·초지 등) 총 면적을 뜻함.
 - 농지 면적은 가축분뇨 퇴·액비화를 통해 관내에서 처리할 수 있는 능력을 보여주는 지표이며, 도시화 진전으로 인해 농지 면적이 감소하는 상황에서 퇴·액비화 이외 방법을 통한 가축분뇨 처리 필요성을 판단할 수 있는 지표임.
- ④ 축산 유래 온실가스 배출량 : 해당 시·군 내에서 특정 년도에 가축사육(장내발효, 분뇨처리)을 통해 배출되는 온실가스(메탄, 아산화질소) 배출량을 추산한 수치임.
 - 이는 1차적으로 해당 시·군 관내 가축사육두수에 환경부의 온실가스 배출 인벤토리를 적용하여 추산할 수 있음(BAU : Business As Usual).
 - 축산 유래 온실가스 배출량은 가축사육두수와 밀접히 연관되며, 가축의 생장과 연관돼 있어 감축에 어려움이 있음에도 분뇨처리 방법 개선, 사양기간 단축 저메탄 사료 급여 등을 통해 개선할 수 있는 여지가 있음.
 - 위에서 추산한 BAU 수치로부터 국제기구·중앙정부 등에서 인정한 온실가스 감축 방법론에 의거하여 감축 실적으로 인정받은 실적을 반영·차감하여 실제 축산 유래 온실가스 배출량을 산출하는 방식을 적용하는 게 합리적일 것임.

3) 반응(Responses) 관련 지표 해설

- ① 관내 퇴·액비 생산·활용량(추정치) : 해당 시·군 내에서 특정 연도에 축산농가로부터 생산된 퇴·액비를 관내·외에 활용한 실적을 측정하는 지표임.
 - 특정 연도에 축산농가로부터 생산된 퇴·액비의 양은, 해당 시·군 관내에서 축종별로 자가 처리를 통한 퇴·액비화 비율에 축종별 사육두수를 곱하여 추산할 수 있음.
 - 세부적으로는, 환경부의 연도별 가축분뇨 처리통계를 통해 가축분뇨 처리방법별(퇴비화, 액비화) 일간 처리량을 추정할 수 있으며, 이를 통해 연간 처리량을 파악할 수 있음.
 - 관내 퇴·액비 활용량(추정치)는 액비의 경우 특정 연도의 농업기술센터 등의 토양검정을 통한 시비처방에 따른 액비 살포(권장)량을 적용하고, 퇴비의 경우 현장 농가 인터뷰 등을 통해 실제 살포 비율을 파악(예 : 80~90%. 나머지는 농가 저장)하여 추산하는 방법을 적용할 수 있을 것임.

- ② 관내 사료작물 생산·활용량 : 해당 시·군 내에서 특정 연도에 경종·축산농가로부터 생산된 사료작물의 활용 실적을 측정하는 지표임.
 - 벼 재배 부산물인 볏짚을 제외하고, 옥수수·라이그라스·수단그라스 등 동·하계 사료작물을 재배하여 가축사육에 활용한 실적을 평가하기 위한 지표임.
 - 횡성군 축산지원과가 동계·하계 사료작물 종자 보급 실적에 대한 통계를 작성·관리하고 있으며, 매년도 통계를 토대로 재배 면적 및 수확량을 간접 추산할 수 있을 것임.
 - 양질의 조사료를 급여할 경우, 농후(배합)사료 급여 대비 생산비를 절감시킬 수 있을뿐만 아니라 온실가스 저감 및 관내 퇴·액비 활용을 통한 적정 양분관리 등 긍정적인 효과를 거둘 수 있으며, 외지 혹은 수입산 조사료 구입·급여 부담을 줄일 수 있는 이점이 있음.

- ③ 양분관리·경축순환 거버넌스 체계 구축·운영 실적(퇴액비유통협의체 등) : 퇴액비유통협의체를 포함, 해당 시·군 내 양분관리·경축순환 거버넌스의 구성·운영 실적을 측정하는 지표임.
 - 퇴액비유통협의체는 가축분뇨법 상에 명시된 대표적인 양분관리·경축순환 거버넌스 체계인데, 관련 회의 개최 건수 및 주요 의결·집행 내용 등을 정량적·정성적으로 평가함으로써 운영 내실화 여부를 판단하고자 함.
 - 이 외에도 양분관리·경축순환 거버넌스에 경종·축산농가는 물론 시민사회·환경단체 등 이해당사자들이 광범위하게 참여하여 축산환경·경축순환 문제 해결에 적극 나설 수 있는 구조를 지니고 있는지를 정량적·정성적으로 평가하고자 함.

- ④ 경축순환 전문인력(컨설턴트) 육성·활동 현황 : 해당 시·군 내 축산환경·경축순환 담당 공무원, 축산환경 컨설턴트, 가축분뇨 퇴·액비를 활용한 작물재배 관련 전문인력의 육성·활동 인원 수(관련 조직 수, 법인 수)를 측정하는 지표임.
 - 해당 지자체가 축산환경·경축순환 담당 전문인력을 적극 육성·운용하는지를 평가하여, 축산환경 문제 해결에 적극 나서고 있는지를 평가하기 위한 지표임.

- ⑤ 가축분뇨 처리방법별 비중 : 해당 시·군 내 특정 연도 기준 퇴·액비화, 정화방류, 바이오가스 발전, 고체연료화, 바이오차, 기타 방법 등을 통한 가축분뇨 처리방법별 비중이 어떠한지를 측정하는 지표임.
 - 한경대학교 및 서울대학교의 1단계 연구 결과에 의하면, 시·군 관내 양분 수치 및 경제성 여부에 따라 지역별 실정에 맞는 가축분뇨 처리방법이 도출될 수 있음.

- 다양한 가축분뇨 처리방법 중 어떠한 방법이 가장 많이 채택되고 있는지, 여건 변화에 따라 어떤 방법의 비중이 높아지고 낮아지는지를 추적·평가함으로써, 지역 실정에 맞는 합리적인 가축분뇨 처리방법이 채택·적용되고 있는지를 판단하고자 함.
- 양분 수치 및 경제성 분석 결과에 의거한 합리적인 처리 방법이 현재 주로 채택되고 있는 처리 방법과 왜 차이가 나는지, 이를 해소하기 위한 방안은 무엇인지를 모색하기 위한 방법으로써 제안하는 것임.

바. 개선된 축산환경지표(안)을 활용한 횡성군 축산환경 현황 분석

1) 동력(Driving Force)

○ ① 가축분뇨 발생량

- 환경부의 가축분뇨 처리통계를 활용하여 2020년 및 2021년 횡성군 관내 가축사육두수 및 가축분뇨 발생량을 추산하고자 함.
- 가축분뇨 배출원단위는 환경부가 2022년 8월 4일 발표한 개정된 가축분뇨 배출원단위를 적용하여 추산시 정확성을 기하고자 함.

표268 2020년 및 2021년 횡성군 관내 가축사육두수 현황

단위: 두, 수

연도	한육우	젓소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	타조	가금 기타
2020	57,771	2,322	3	61,591	1,803	1,012,400	3,343	-	420,000
2021	59,502	2,362	11	65,027	1,864	1,266,099	6,127	-	450,000

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부

표269 개정된 가축분뇨 배출원단위(2022)

축종(단위)	발생원단위			
	분	뇨	세정수	합계
한우(kg/두·일)	7.98	4.87	-	12.85
젓소(kg/두·일)	17.09	10.72	-	27.81
돼지(kg/두·일)	0.83	3.70	0.20	4.73
산란계(g/수·일)	-	-	-	99.05
육계(g/수·일)	-	-	-	96.95
오리(g/수·일)	-	-	-	191.04
말(kg/두·일)	6.8	4.3	-	11.1
염소(kg/두·일)	0.33	0.36	-	0.69
양·사슴(kg/두·일)	0.2	0.4	-	0.6
개(kg/두·일)	0.3	1.8	-	2.1

주: 다만, 젓소에 대해서는 오염총량관리기술지침과 같이 세정수를 포함할 필요가 있는 경우에는 세정수를 포함한 원단위를 별도로 적용할 수 있으며, 산란계와 육계를 구분하여 조사하지 않는 경우에는 평균값을 적용할 수 있음.

자료: 환경부

표270 개정된 배출원단위로 계산한 횡성군 내 주요 가축의 분뇨 발생량

단위: 톤/일

연도	총합계	한육우	젓소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	가금 기타
2020	1,277	742	65	0	291	1	99	7	71
2021	1,353	765	66	0	308	1	124	13	77

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부

표271 개정된 배출원단위로 계산한 횡성군 내 주요 가축의 분뇨 발생량

단위 : 톤/년

연도	총합계	한육우	젓소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	가금 기타
2020	466,105	270,830	23,725	0	106,215	365	36,135	2,555	25,915
2021	493,845	279,225	24,090	0	112,420	365	45,260	4,745	28,105

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부

- 2021년 횡성군 관내 연간 가축분뇨 발생 현황을 분석한 결과, 주요 가축의 분뇨 발생량 (493,845t) 중 한육우(279.225t) 분뇨의 비중은 56.54%, 돼지(112,420t) 분뇨의 비중은 22.76%를 차지하고 있음을 살필 수 있음.
- 결국 횡성군의 가축분뇨 문제는 한우와 돼지 분뇨가 3/4 이상을 차지함을 알 수 있었으며, 지역 실정에 맞는 한육우 및 돼지 분뇨의 적정 처리 방안을 마련하여(정화방류·바이오 가스화 등 구조적 접근, 가축분뇨 퇴·액비를 활용한 사료작물 재배 포함 비구조적 접근 방법을 적절히 결합), 섬강·주천강에 가해지는 환경 부하를 저감해야 함.

○ ② 관내 화학·유박비료 사용량

- 횡성군 관내 화학비료 사용량을 정확하게 파악하기는 매우 어려움.
- 횡성군 통계연보 및 강원통계연보를 활용하여 횡성군의 종류별 비료공급 통계를 활용하여 화학비료 공급량을 파악할 수 있음.

표272 횡성군 관내 성분별 비료공급 통계

단위 : M/T

연도	계	질소질	인산질	加里질	기타
2017	3,435	1,931	736	768	-
2018	3,680	2,095	772	813	-
2019	3,478	1,160	1,159	1,159	-
2020	4,462	2,318	985	1,159	-
2021	3,422	1,903	568	951	-

주: 성분별 비료량은 비료의 주성분만을 대상으로 함.

자료: 횡성군 통계연보, 각년도

- 위 성분별 비료량 통계에 의하면 (주성분 기준) 연 평균 약 3,400톤 정도의 화학비료가 횡성군 관내 농지에 공급되었을 것으로 추정됨.
- 그러나 위 성분별 비료량 통계 분석을 통해서만 매해 평균 횡성군 관내 농지(논, 밭)에 공급된 질소 및 인산, 칼륨 등의 비료 성분량이 얼마나 되는지를 추산할 수 없음.

표273 횡성군 관내 종류별 비료공급 통계

단위 : M/T

연도	합계	유안	요소	용성인비	염화加里	복합비료	용과린
2013	5,923	108	1,085	10	24	4,685	11
2014	5,499	109	1,012	10	18	4,337	13
2015	5,487	98	1,073	6	19	4,287	4
2016	3,584	100	1,068	8	21	2,378	9
2017	5,445	98	1,035	4	26	4,275	7
2018	5,875	49	1,163	10	29	4,599	25
2019	5,746	71	1,156	21	17	4,432	49
2020	5,853	82	1,192	37	30	4,488	24
2021	5,872	65	1,191	69	25	4,477	45

자료: 강원특별자치도, 강원도기본통계, 2021, 종류별 비료공급, 검색일: 2023.06.30.

- 2013년부터 2021년까지 9년의 기간 동안 횡성군 전체에 공급된 종류별 화학비료 양은 5,923톤(2013년)에서 5,872톤(2021년)으로, 증장기적으로는 소폭 감소하는 추세를 보였음.
- 2016년에는 3,584톤의 화학비료가 공급되어 최소를 기록했으나, 이 수치(outlier)를 제외할 경우 2017년의 5,445톤을 가장 적은 기록으로 간주할 수 있을 것임.
- 해당 연도의 횡성군 관내 화학비료 공급량을 곧장 관내 농지에 대한 살포량으로 간주할 수는 없을 것이며, 실제 작물 재배에 활용된 화학비료 성분량을 추정해야 함.
- 환경대학교에서 분석한 2020년 기준 질소수지 산정을 위한 연구 결과에 의하면, N의 경우 총 8,748ha의 농지(논, 밭)에 2020년 한 해 3,962,231.64kg가, P의 경우 735,269.40kg가 유입된 것으로 추정할 수 있음.
- 이는 위 표에 제시된 횡성군 관내 성분별 화학비료 공급량 통계와 비교했을 때 훨씬 높은 수치이기 때문에, 외지에서 유입되거나 농가가 이전 연도에 구입하여 재고로 보유하고 있던 화학비료, 혹은 지자체 공식 통계로는 확인되지 않는 화학비료 성분이 실제 작물 재배를 위해 투입됐을 것으로 추정할 수 있음.

○ ③ 축종별 농후(배합)사료 소비량

- 횡성군 관내 주요 축종별 농후(배합)사료 소비량을 직접 파악하기는 어려우며, 농협 계통을 통한 축산농가의 농후(배합)사료 구매량을 통해 간접 파악할 수밖에 없음.
- 이를 위해서는 횡성군청, 횡성군농업기술센터, 농협중앙회 횡성군지부 등의 협조가 필요함.

2) 상태(Stste) 관련 지표 해설

○ ① 암모니아 배출량

- 축산업 분야 암모니아 배출 현황과 관련한 기초 자료는 “축산업 환경영향 분석과 정책과제”, 정민국 외, 한국농촌경제연구원 R929 보고서, p.130~132.에서 제시한 인벤토리 및 방법론을 적용하였음.

표274 2020년~21년 기준 횡성군 관내에서 주요 축종으로부터 배출된 암모니아 양

단위 : kg NH₃/년

연도	총합계	한육우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	가금 기타
2020	2,338,243	808,794	57,121	15.3	702,137	829.38	374,588	8,358	386,400
2021	2,531,129	833,028	58,105	56.1	741,308	857.44	468,457	15,318	414,000

주: 1) 한육우의 경우 1~2년 미만 개체 돼지의 경우 비육돈, 닭·오리의 경우 산란계, 양·사슴의 경우 양·염소의 배출계수를 적용.

2) 암모니아 총 배출량의 단위는 kg NH₃/년 임.

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부 및 환경부 배출원단위 자료를 활용하여 연구진 작성.

- 가축사육두수의 증가에 따라 횡성군 관내에서 배출되는 암모니아의 양은 증가 추세에 있음.
- 2021년 횡성군 주요 축종의 암모니아 총 배출량은 2,531,129 kg NH₃/년으로 2020년 2,338,243 kg NH₃/년 대비 8.25% 증가한 것임.
- 닭·오리의 경우 암모니아 배출계수가 가장 높은 산란계를 기준으로 계산했는데 2020년 대비 암모니아 배출량이 25.07% 늘어나는 추세를 보여, 적절한 관리·저감 대책이 요구되는 것으로 나타났음.

○ ③ 관내 질소 수지, 관내 인 수지

- 본 연구의 공동연구기관인 환경대학교는 토양경계 양분수지 방법론을 이용하여 2018년 기준 황성군 전체 및 각 읍·면별 질소 수지 현황을 아래와 같이 산출하였음.

표275 2018년 황성군 지역 양분부하, 양분유입 항목 분석(질소 수지-유입)

지역	질소부하	가축분뇨	무기질	유기질	생물학적	종자 및	대기	관개수	총계
		퇴액비	비료	비료	질소고정	종묘			
kg-N/ha									
황성군	2.62	151.62	213.53	29.14	1.80	2.20	23.19	0.96	422.44
황성읍	6.79	740.48	111.54	28.99	1.03	2.18	23.19	6.26	913.68
갑천면	3.01	80.98	278.20	28.99	2.98	2.40	23.19	1.15	417.88
강림면	2.04	56.04	228.08	28.99	4.54	2.48	23.19	0.13	343.45
공근면	1.48	70.79	95.93	28.99	2.11	2.83	23.19	0.96	224.79
둔내면	1.71	91.61	263.11	28.99	1.38	1.41	23.19	0.62	410.33
서원면	4.95	268.75	283.20	28.99	1.27	2.52	23.19	-	607.93
안흥면	2.98	331.30	410.70	28.99	0.05	0.71	23.19	0.57	795.52
우천면	1.28	89.02	117.84	28.99	0.01	0.91	23.19	1.09	261.05
청일면	3.55	82.38	402.78	28.99	1.48	1.88	23.19	-	540.71

표276 2018년 황성군 지역 양분부하, 양분유입 항목 분석(질소 수지-유출)

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총계
		kg-N/ha				
황성군	2.62	60.58	17.92	59.54	284.40	422.44
황성읍	6.79	60.89	24.90	206.39	621.51	913.68
갑천면	3.01	59.09	18.35	108.72	231.72	417.88
강림면	2.04	65.99	8.06	101.58	167.81	343.45
공근면	1.48	32.17	12.83	45.32	134.46	224.79
둔내면	1.71	101.97	9.14	103.86	195.36	410.33
서원면	4.95	52.81	25.05	155.07	374.99	607.93
안흥면	2.98	123.63	11.74	229.94	430.20	795.52
우천면	1.28	30.40	14.10	65.31	151.24	261.05
청일면	3.55	63.87	23.71	143.50	309.63	540.71

- 아울러 동 연구팀이 산출한 2020년 기준 황성군 전체 및 각 읍·면별 질소 수지 현황(잠정 결과)은 아래와 같음.

표277 2020년 황성군 지역 양분부하, 양분유입 항목 분석(질소 수지-유입)

지역	질소부하	가축분뇨	무기질	유기질	생물학적	종자 및	대기	총계	총계
		퇴액비	비료	비료	질소고정	종묘			
kg-N/ha									
황성군	5.22	161.92	452.94	34.00	3.24	3.17	24.10	679.37	422.44
갑천면	5.05	49.42	452.94	34.00	5.04	3.83	24.10	569.33	913.68
강림면	4.76	72.96	452.94	34.00	9.05	5.12	24.10	598.17	417.88
공근면	5.62	148.51	452.94	34.00	0.62	2.89	24.10	663.05	343.45
둔내면	2.83	79.29	452.94	34.00	2.62	2.28	24.10	595.23	224.79
서원면	6.54	193.46	452.94	34.00	2.13	3.28	24.10	709.91	410.33
안흥면	5.30	354.35	452.94	34.00	7.36	3.22	24.10	875.97	607.93
우천면	6.04	154.26	452.94	34.00	0.56	2.61	24.10	668.46	795.52
청일면	4.40	48.11	452.94	34.00	2.33	2.53	24.10	564.01	261.05
황성읍	7.40	296.01	452.94	34.00	1.74	2.98	24.10	811.76	540.71

표278 2020년 황성군 지역 양분부하, 양분유입 항목 분석(질소 수지-유출)

지역	질소부하	작물생산	작물부산물	대기유출	수계유출	총계
		kg-N/ha				
황성군	5.22	46.77	8.75	87.90	535.96	679.37
갑천면	5.05	40.94	6.25	64.87	457.28	569.33
강림면	4.76	47.04	1.24	69.71	480.18	598.17
공근면	5.62	45.90	14.07	85.14	517.94	663.05
둔내면	2.83	62.78	4.16	70.97	457.32	595.23
서원면	6.54	47.58	11.87	94.35	556.12	709.91
안흥면	5.30	50.10	3.34	127.34	695.20	875.97
우천면	6.04	45.65	12.49	86.31	524.02	668.46
청일면	4.40	42.02	8.49	64.58	448.92	564.01
황성읍	7.40	41.60	12.26	115.35	642.55	811.76

- 2020년 기준 황성군 전체 및 각 읍·면별 인 수지 현황 분석 결과는 아래와 같음.

표279 2020년 황성군 지역 양분부하, 양분유입 항목 분석(인 수지-유입)

지역	인 부하	가축분뇨	무기질비료	유기질비료	종자 및	총계
		퇴액비	kg-P/ha			
황성군	6.48	67.59	84.05	7.41	0.65	159.70
갑천면	6.17	34.64	84.05	7.41	0.75	126.85
강림면	5.87	35.96	84.05	7.41	0.87	128.29
공근면	7.27	72.15	84.05	7.41	0.64	164.25
둔내면	3.53	49.68	84.05	7.41	0.44	141.57
서원면	8.57	82.51	84.05	7.41	0.71	174.68
안흥면	6.80	108.53	84.05	7.41	0.62	200.61
우천면	7.53	82.02	84.05	7.41	0.59	174.07
청일면	4.99	35.41	84.05	7.41	0.61	127.48
황성읍	8.71	91.97	84.05	7.41	0.66	184.09

표280 2020년 황성군 지역 양분부하, 양분유입 항목 분석(인 수지-유출)

지역	인부하	작물생산	작물부산물	수계유출	총계
		kg-P/ha			
황성군	6.48	8.62	2.19	148.89	159.70
갑천면	6.17	8.29	1.56	117.00	126.85
강림면	5.87	10.38	0.31	117.60	128.29
공근면	7.27	8.47	3.52	152.26	164.25
둔내면	3.53	10.22	1.04	130.32	141.57
서원면	8.57	8.93	2.97	162.79	174.68
안흥면	6.80	7.72	0.83	192.05	200.61
우천면	7.53	8.96	3.12	161.99	174.07
청일면	4.99	7.50	2.12	117.86	127.48
황성읍	8.71	7.55	3.06	173.48	184.09

- 황성군 전체 질소수지 지표(잠재수계유출량) : (2018년) : 294.40kg-N/ha → (2020년) 535.96kg-N/ha
- 2020년 기준으로 황성군 전체의 질소 수지 분석 결과, 질소 유입과 관련하여 무기질비료는 66.67%, 가축분뇨(퇴·액비)는 23.83%, 유기질비료(유박비료 등)는 5.00%를 차지하는 것으로 나타났음.

- 아울러 2020년 기준으로 횡성군 전체의 인 수치 분석 결과, 인 유입과 관련하여 무기질비료는 52.63%, 가축분뇨(퇴·액비)는 42.32%, 유기질비료(유박비료 등)는 4.64%를 차지하는 것으로 나타났음.
- 환경대학교의 분석 결과, 횡성군은 가축분뇨 대비 화학비료를 과다 사용하는 지역으로 분류되어 질소 수계유출 잠재량이 많은 지역(Region A)으로 분류되었음.
- 이 때문에 가축분뇨 퇴·액비를 적극 활용하여 사료용 옥수수 및 시설 농작물 재배면적을 늘려가면서 무기질비료 시비량을 줄여야 하며, 바이오가스 발전·고체연료화·바이오차 등 추가적인 양분 저감 방안을 적극 강구할 필요가 있음.

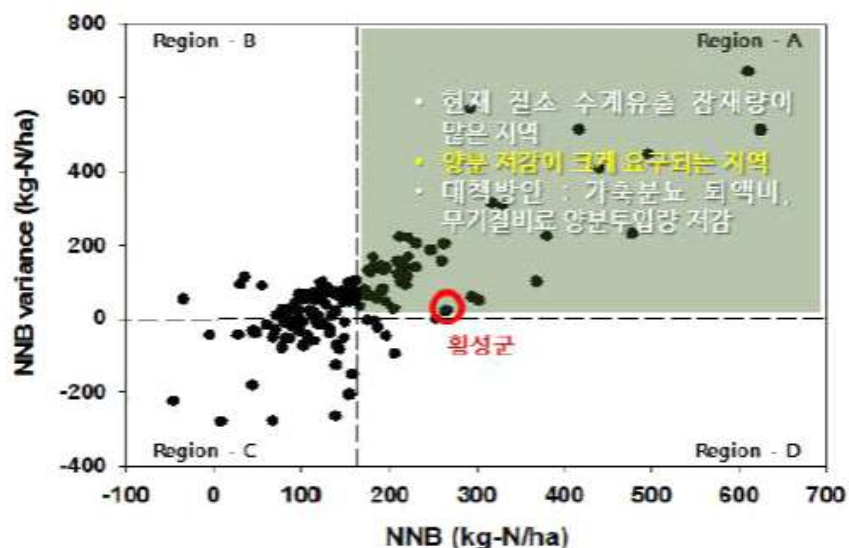


그림111 지역단위 양분수지 관리지표 분석(I) : 강원도 횡성군

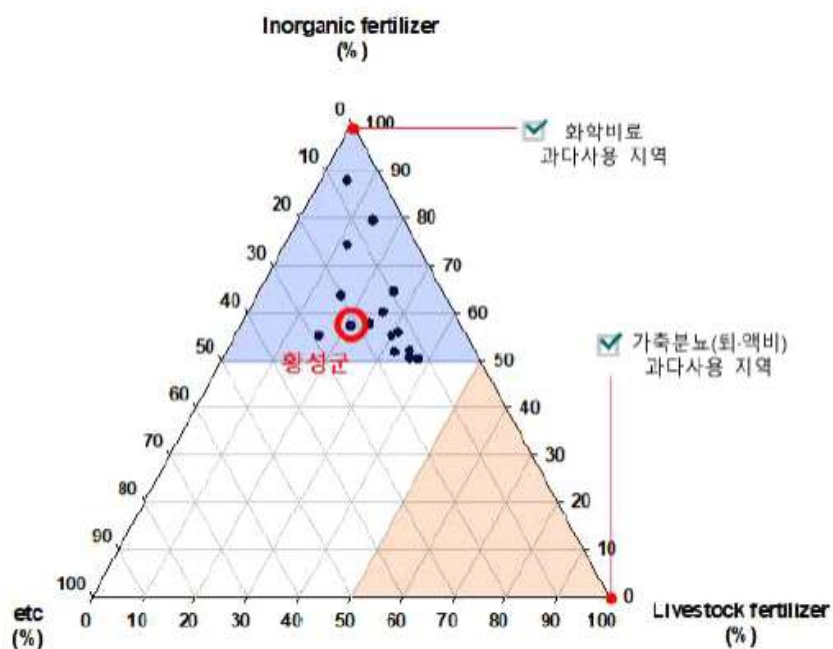


그림112 지역단위 양분수지 관리지표 분석(II) : 강원도 횡성군

○ ④ 관내 농지 면적

- 2022년 기준 황성군 전체 경지면적은 9,440ha로 2016년 대비 1.69% 증가하였는데, 이는 2021년 이후 밭 면적의 증가로 인한 것으로 판단됨(밭 면적 증가는 산지 개간 등을 통한 면적 증가 때문인 것으로 추측됨).
- 그런데 영농 여건이 상대적으로 유리한 논 면적은 가파른 감소세를 보이고 있음. 2022년 논 면적 2,383ha는 2016년 3,195ha 대비 74.6%에 불과한 실정임.
- 황성군은 중장기적으로 도시화 및 농지전용으로 인한 농지 면적 축소가 예상되는 지역이며, 이는 가축분뇨 퇴·액비를 환원시킬 수 있는 관내 농지 확보가 갈수록 어렵게 될 것임을 뜻하기 때문에, 이에 대응하기 위해서는 가축분뇨 퇴·액비의 고부가가치화를 통한 양분의 관외 반출 혹은 자원화 이외 타 처리 방법 확대 등을 강구할 필요가 있음.

표281 황성군 관내 경지면적 변화 추이

단위: ha, a

연도별	총계	논	밭	가구당 논 면적(a)	가구당 밭 면적(a)
2016	9,283	3,195	6,088	53.7	102.3
2017	9,177	2,977	6,200	52.1	108.4
2018	8,929	2,654	6,275	46.4	109.7
2019	8,842	2,662	6,180	46.9	108.9
2020	8,748	2,566	6,182	52.6	126.7
2021	9,491	2,470	7,021	44.5	126.5
2022	9,440	2,383	7,057	42.7	125.5

자료: 농림어업조사, 통계청

○ 축산 유래 온실가스 배출량

- 축산 유래 온실가스는 장내발효 및 가축분뇨 처리 과정에서 발생하는 메탄 혹은 아산화질소의 양으로 측정함.

표282 황성군 관내 주요 축종별 장내발효 및 가축분뇨 처리 과정에서 발생하는 메탄(CH₄)의 양

단위: kg CH₄/년

구분	연도	총합계	한육우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리
장내발효	2020	4,119,236	3,697,344	320,436	54	92,387	9,015	-
	2021	4,241,143	3,808,128	325,956	198	97,541	9,320	-
가축분뇨처리	2020	715,731	57,771	134,676	3.27	492,728	180.3	30,372
	2021	754,895	59,502	136,996	11.99	520,216	186.4	37,983

주: 1) 한육우는, 젖소, 돼지는 2019년 IPCC 지침을 적용하여 계산하였음.

2) 닭의 경우 2006년 IPCC 지침(육계)을 적용하여 계산하였으며, 가금(닭, 오리)의 경우 장내발효 배출계수는 IPCC에서 제공하지 않음.

3) 개, 타조, 가금기타의 장내발효 메탄 배출량, 및 개, 타조, 가금기타의 가축분뇨처리 메탄 배출량에 대한 자료는 부재.

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부 및 환경부 배출원단위 자료를 활용하여 연구진 작성.

표283 황성군 관내 주요 축종별 가축분뇨 처리 과정에서 발생하는 이산화질소(N₂O)의 양

단위: kg N₂O/년

연도	총합계	한육우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리
2020	589,851	84,346	5,085	-	86,551	-	413,869
2021	701,006	86,873	5,173	-	91,379	-	517,581

주: 1) 한육우와 젖소, 닭은 퇴비화시설에서, 돼지는 액비화시설에서 전량 분뇨처리를 한다고 가정하여 계수를 적용·계산한 것임.

2) 말, 양·사슴, 개, 타조, 가금기타의 아산화질소 배출량에 대한 자료는 부재.

자료: 황성군 통계연보 및 환경부 배출원단위 자료를 활용하여 연구진 작성.

- 메탄의 온실효과는 이산화탄소 대비 27.5배, 아산화질소의 온실가스 효과는 265배이므로, 이를 적용하여 온실가스 총 배출량을 추산한 결과는 아래와 같음.

표284 황성군 관내 주요 가축으로부터 발생한 온실가스 총 배출량

단위: kg CO₂/년

구분	연도	총합계	한육우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리
CH ₄	2020	132,126,337	103,265,663	12,515,580	1,575	16,090,649	252,871	-
	2021	136,346,509	106,359,825	12,731,180	5,775	16,988,304	261,426	-
N ₂ O	2020	156,310,439	22,351,600	1,347,573	-	22,935,949	-	109,675,317
	2021	185,766,633	23,021,324	1,370,787	-	24,215,486	-	137,159,037

주: 메탄의 온실효과는 이산화탄소 대비 27.5배, 아산화질소의 온실가스 효과는 265배를 적용하여 환산한 것임.

자료: 황성군 통계연보 및 환경부 배출원단위 자료를 활용하여 연구진 작성.

- 2021년 기준 황성군 관내에서 발생하는 축산 유래 온실가스의 양은 322,113,143 CO₂ kg/년으로 추산할 수 있으며, 이는 2020년 배출 추산량인 288,436,776 CO₂ kg/년 대비 11.68% 증가한 것임.
- 닭·오리의 가축분뇨처리시 발생한 아산화질소 CO₂ 환산량이 2020년 109,675,317 CO₂ kg/년에서 2021년 137,159,037 CO₂ kg/년으로 늘어나, 25.06% 증가한 것이 온실가스 배출량 증가의 주요 원인으로 작용함.
- 온실가스 배출량 증가는 가축 사육두수 증가로 인한 영향도 크지만, 가축분뇨의 적정 처리 및 사양프로그램·사료 개선 등의 방법을 통해 저감시킬 수 있는 여지가 있으므로 지자체 및 민간 차원의 보다 적극적인 대응이 요구됨.

3) 반응(Responses)

○ ① 관내 퇴·액비 생산·활용량

- 환경부가 작성·발표하는 가축분뇨 처리통계를 통하여 2020년 및 2021년 황성군 관내 가축분뇨 처리방법(퇴비화, 액비화)를 파악할 수 있음.

표285 황성군 관내 가축분뇨 처리방법별 비중(톤/일)

단위: 톤/일

연도	총합계	정화방류	퇴비화	액비화	바이오에너지	가축분뇨고체연료	공공처리시설	공동처리시설	재활용신고자	가축분뇨처리업자	미처리
2020	1,277	163	976	14	-	-	67	-	56	-	-
	100.00%	12.78%	76.45%	1.12%	0.00%	0.00%	5.27%	0.00%	4.37%	0.00%	0.00%
2021	1,353	179	991	25	-	-	62	-	96	-	-
	100.00%	13.20%	73.26%	1.83%	0.00%	0.00%	4.59%	0.00%	7.13%	0.00%	0.00%

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부

표286 황성군 관내 가축분뇨 처리방법별 비중(톤/년)

단위: 톤/년

연도	총 합계	정화 방류	퇴비화	액비화	바이오 에너지	가축 분뇨 고체 연료	공공 처리 시설	공동 처리 시설	재활용 신고자	가축 분뇨 처리 업자	미 처 리
2020	466,160	59,591	356,370	5,227	-	-	24,583	-	20,389	-	-
	100.00%	12.78%	76.45%	1.12%	0.00%	0.00%	5.27%	0.00%	4.37%	0.00%	0.00%
2021	493,735	65,176	361,688	9,018	-	-	22,654	-	35,199	-	-
	100.00%	13.20%	73.26%	1.83%	0.00%	0.00%	4.59%	0.00%	7.13%	0.00%	0.00%

자료: 가축분뇨 처리통계, 환경부

- 2020년에는 황성군 내에서 일 평균 1,277톤 발생한 가축분뇨 중 976톤을 퇴비화하였으며, 14톤을 액비화하였음.
- 2021년에는 황성군 내에서 일 평균 1,353톤 발생한 가축분뇨 중 991톤을 퇴비화하였으며, 25톤을 액비화하였음.
- 이를 연간 처리량으로 환산할 경우, 퇴비의 경우 2020년 356,370톤의 퇴비화로 처리되었으며, 2021년에는 361,688톤을 퇴비화하였음. 액비의 경우, 2020년에는 5,227톤이 액비화되었으며, 2021년에는 9,018톤이 액비화되었음.
- 퇴비의 경우 2020년 대비 2021년 증가량이 적은 편이었으나, 액비의 경우 2배 가까운 양이 늘어났기 때문에, 액비 사용처 및 사용방법의 다각화(기비 이외에 추비용 공급, 액비 고부가가치화 등)를 통해 관내·외 사용량을 늘릴 수 있도록 해야 할 것임.
- 황성군 관내 퇴비 및 액비의 생산량은 환경부의 가축분뇨 처리통계 등을 통해 대략적으로 추산할 수 있으나, 소비량은 추산하기 어려운 실정임(관외 반출량, 관내 반입량, 공장퇴비 등의 구입 물량 등에 대한 데이터를 추산할 수 없기 때문에, 황성군 관내 퇴비 및 액비의 소비량을 추정하기 어려움).

○ ② 관내 사료작물 생산·활용량

- 볏짚을 제외한 황성군 관내 사료작물 생산·활용량은 황성군 축산지원과가 관리하는 동계·하계 사료작물 종자 보급 실적 통계에 의거, 재배 면적 및 수확량을 간접 추산할 수 있음.

표287 2021년 기준 황성군 내 주요 조사료 작물 생산량 추정

품종	재배면적(ha)	생산량(톤)
하계 사료작물 계	38.75	9,340
수단그라스	12.00	2,304
옥수수	23.00	6,800
연맥	3.75	239
동계 사료작물 계	36.00	3,188
IRG	32.00	2,996
호밀	4.00	192
총계	74.75	12,528

자료: 황성군 축산지원과 내부자료(2022)

- 2021년 기준 황성군 관내에서 총 74.75ha의 면적에서 하계작물 9,340톤, 동계작물 3,188톤을 합쳐 총 12,528톤을 생산·활용하였음.

- 2021년 기준 횡성군 한우 사육두수 약 57천두를 기준으로 추산할 경우 조사료는 약 60천톤이 필요한 것으로 나타남(한우 57,000두×평균 2.9kg/일 급여×365일=60,334톤)
 - 2021년 횡성군 조사료 생산량 12,528톤은 관내 조사료 필요량의 약 20.8% 수준이며, 나머지 조사료는 관내·외에서 조달한 볏짚 혹은 외지·외국으로부터 조달한 조사료(사일리지, 건초 등)인 것으로 추정됨.
 - 횡성군은 지형·기후 여건이 사료작물 재배에 유리한 조건이 아님에도 불구하고, 가축분뇨 퇴·액비 시비를 통해 사료용 옥수수를 재배·활용하고 있으며(알곡·잎 포함 사일리지 형태), 이를 통해 생산비 절감 효과는 물론 양분 저감 효과도 실현하고 있음(본 연구 2차년도 단계보고서).
- ③ 양분관리·경축순환 거버넌스 체계 구축·운영 실적(퇴액비유통협의체 등)
- “소단위 완전순환형 모델 도출을 위한 강원횡성(테스트베드지역)의 경축순환 기반 조사”파트를 참조함.
- ④ 경축순환 전문인력(컨설턴트) 육성·활동 현황
- 횡성군 관내에는 경축순환 전문인력(컨설턴트, 민간업체 대표)가 활동중에 있음.
 - 해당 전문인력은 양돈농가에는 고품질 발효·정제액비 제조·관리 방법을, 시설채소 재배농가 및 한우번식우 농가(사료용 옥수수 2기작 재배)에는 발효·정제액비 및 퇴비차 공급 및 시비방법을 지도·컨설팅하고 있으며, 횡성군청·횡성군농업기술센터 및 상지대학교와 산학연 협력을 통한 실증실험·연구 활동도 전개하고 있음.
 - 횡성군청(축산지원과) 및 횡성군농업기술센터에도 축산환경 관리 전문 인력이 육성·운용되고 있으며, 이들 인력은 축산환경 컨설턴트 자격증 및 관련 학위 취득, 관련 학회 논문 발표 등의 실적을 보유하고 있음.
- ⑤ 가축분뇨 처리방법별 비중
- 환경부가 작성·발표하는 가축분뇨 처리통계를 통하여 2020년 및 2021년 횡성군 관내 가축분뇨 처리방법별 비중을 파악할 수 있음.
 - 횡성군은 한우 사육비중이 높은 지역이기 때문에 퇴비화를 통해 처리하는 비중이 75% 내외의 비율을 보이고 있음.
 - 횡성군은 양돈 및 젖소 사육두수가 타 지역에 비해 적은 편이기 때문에 액비화의 비중은 2020년 1.12%, 2021년 1.83%로 나타났음.
 - 정화방류의 비중은 2020년 12.78%, 2021년 13.20%로 나타나 증가세를 보였음.
 - 바이오에너지와 가축분뇨고체연료 형태로의 처리 비중은 0%인 것으로 나타났음.
 - 공공처리시설을 통한 처리 비중은 2020년 5.27%, 2021년 4.59%로 나타나 하락세를 보였음.
 - 2020년에 비해 2021년 가축분뇨 발생량이 증가함에 따라 정화방류, 퇴비화, 액비화, 재활용신고자를 통해 처리되는 가축분뇨의 양이 늘어난 반면, 공공처리시설을 통해 처리되는 물량 및 비중은 오히려 줄어드는 현상을 보이고 있음.
 - 서울대학교와 한경대학교의 1단계(2차년도) 연구 결과, 횡성군은 가축분뇨 대비 화학비료를 과다 사용하는 지역으로 분류되어 질소 수계유출 잠재량이 많은 지역으로 분류되었음.
 - 이 때문에 옥수수를 포함한 사료작물 및 시설 농작물(토마토, 브로콜리 등)을 가축분뇨 퇴·액비를 활용하여 재배함은 물론, 횡성군청에서 최근 추진하고자 계획중인 바이오가스(가축분뇨+음식물폐기물) 혹은 축분 고체연료를 활용한 발전 방식 등을 병행함으로써 적극적으로 양분 저감을 꾀할 필요가 있음.

사. 전과정평가를 통한 온실가스 감축의 경제적 효과 추산

1) 개요

- 본 연구 2단계(3차년도)에서는 지역단위 경축순환시스템 지역영향 평가(경영체성과 및 지역영향, 기후·환경영향 결합 통합분석, 10개년 추정 편익 등 중장기 예측 분석)를 목표로 제시하였음.
 - 소단위(마을단위) 내 완전순환형 경축순환농업을 통한 온실가스 감축 포함 환경부하 저감 효과를 측정하고 이를 통한 경제적 효과가 어느 정도인지를 측정하고자 함.
 - 경축순환농업을 통한 경영체의 경제적 성과뿐만 아니라, 기후·환경에 대한 영향에 대해서 까지 결합·통합 분석함으로써 경축순환농업의 유용성 및 필요성을 증명하고자 함.
- 본 연구에서는 온실가스 저감을 통한 환경부하 저감효과와 그 경제적 효과를 측정하고자 함.
 - 가축분뇨로 인한 환경 오염은 수질 및 토양 오염, 대기오염(미세먼지, 초미세먼지 유발)뿐만 아니라 온실가스(메탄 및 아산화질소) 발생을 통한 효과 등도 포함되는 것임.
 - 그러나 선행 연구를 통해 충분히 검증되었으며, 비교적 객관적인 방식으로 추산치를 측정할 수 있는 분야는 온실가스 감축 효과 및 그로 인한 경제적 효과이므로, 본 연구에서는 온실가스 저감을 통한 환경부하 저감 효과만을 우선적으로 검증하고자 함.
- 검증 대상은 한우 번식우 농가의 2기작 옥수수 재배·급여 모델이며, 관행 농업 대비 온실가스 저감 효과를 측정함으로써 실질적인 감축 효과를 규명하고자 함.
 - 타 모델에 비해서 많은 실증 데이터들이 있으며, 선행 연구를 통해 온실가스 감축량을 추정할 수 있는 방법론이 정립되어 있기 때문에, 한우 번식우 농가의 2기작 옥수수 재배·급여 모델에 대해서만 분석을 하고자 함.

2) 한우 번식우 사육과 관련한 전과정 영역의 정의

- 한우 번식우 사육과 관련한 전과정 영역
 - 한우 번식우에 대한 전과정 온실가스 배출량은, 한우 번식우 사육과정에서 발생하는 장내 발효, 분뇨처리에 의한 배출량뿐만 아니라, 사료의 생산, 사육 및 분뇨처리 과정에서의 에너지, 용수 사용에 의한 온실가스 배출도 산정범위에 포함됨.
 - 여기서 쇠고기 및 부산물의 가공·유통·소비·폐기 부분은 제외됨. 이는 식품의 전과정평가에 들어가는 영역이기 때문이며, 본 연구에서는 생체인 한우 번식우에 대해서만 전과정평가를 하는 것임.

3) 한우 번식우 사육과 관련한 온실가스 발생량 추정

- 한우 비육우 사육시 온실가스 발생량 추산
 - 생체중 692kg인 한우 비육우 1두의 탄소발자국은 16.0t CO_{2eq}임.
 - 이는 북미 대륙의 자료를 활용하여 tier 1에 의해 도출된 값이기 때문에, 실제 한우의 사육환경과 다소 동떨어진 과다 추산치일 수 있음.
 - 아래 표와 같이 한우 비육우 1두를 30개월 동안 사육시 온실가스가 배출된다고 할 수 있음(활동 데이터×배출계수로 두당 온실가스 배출량을 추산할 수 있음).

표288 한우 비육우의 투입/산출 Gate to Gate 데이터 및 배출계수

구분	활동데이터		배출계수		
	값	단위	값	단위	
사료	배합사료	10,775.38	kg	0.6140	이산화탄소 환산kg
	TMR 사료	4,578.95	kg		이산화탄소 환산kg
	볏짚	3,848.45	kg	0.0913	이산화탄소 환산kg
	건초	1,136.98	kg	0.2230	이산화탄소 환산kg
	엔실리지	464.93	kg	0.0529	이산화탄소 환산kg
음용수	지하수	1,254.47	kg	0.0000	이산화탄소 환산kg
전력		1,777.80		0.6830	이산화탄소 환산kg
경유	생산	136.46	kg	0.4470	이산화탄소 환산kg
	연소			3.2100	
제품	한우	1.00	두		
	생체중	692.00	kg		
장내발효	메탄	117.50	kg	27.5000	이산화탄소 환산kg
분뇨처리	메탄	2.50	kg	27.5000	이산화탄소 환산kg
	아산화질소	3.52	kg	265.0000	이산화탄소 환산kg

자료: 박규현 외, 2022. 전과정 측면에서 한우의 산업적·환경적 특징 연구, 한우자조금관리위원회 연구용역보고서,

표289 한우 비육우 1두당 30개월 사육 시 온실가스 배출량 추산 결과

구분	값	탄소발자국 기여도	연간 배출량 환산	
사료	배합사료	6,620	41.37%	2,648
	TMR 사료	2,810	17.56%	1,124
	볏짚	351	2.19%	140
	건초	254	1.59%	102
	엔실리지	24.6	0.15%	10
음용수	지하수	0	0.00%	0
전력		1,210	7.56%	484
경유	생산	61	0.38%	24
	연소	438	2.74%	175
장내발효	메탄	3,230	20.19%	1,292
분뇨처리	메탄	68.8	0.43%	28
	아산화질소	933	5.83%	373
한우 1두 탄소발자국		16,000	100.00%	6,400

자료: 박규현 외, 2022. 전과정 측면에서 한우의 산업적·환경적 특징 연구, 한우자조금관리위원회 연구용역보고서,

- 한우 비육우 1두당 30개월 동안 총 16톤 정도의 온실가스(이산화탄소 kg 상당치)를 배출한다고 할 수 있음.
 - 이는 국가의 공식 추정치 4톤 및 농경연의 추정치 5톤보다는 훨씬 많은 수치임.
- 본 연구에서는 한우자조금관리위원회(2022)에서 적용하였던 한우 비육우의 투입/산출 Gate-to-Gate 데이터 및 배출계수를 한우 번식우에 그대로 적용하여 추산하고자 함.
 - 한우 번식우 1두의 생체 무게는 692kg로 한우 비육우와 동일하고, 한우 비육우와 마찬가지로 양으로 분뇨를 발생시킨다고 가정함.
 - 이 경우 장내발효 및 분뇨처리를 통한 메탄 및 아산화질소 발생량은 한우 비육우와 같은 수치가 도출됨.
 - 아울러 편의상 음용수 및 전력 사용량, 경유 사용량도 비육우와 같다고 가정함. 이를 통한 온실가스 발생량은 한우 비육우와 같은 수치가 도출됨.
 - 음용수는 전력을 활용하여 지하수를 끌어올려 사용한다고 가정하였음. 이 경우 전력 사용량에 음용수용 전력이 포함되었다고 간주할 수 있으므로 별도로 온실가스 발생량을 감안하지 않음.
 - 메탄은 이산화탄소 대비 27.5배 더 높은 온실가스 효과를 상정하였음.

- 아산화질소의 경우 이산화탄소 대비 265배 더 높은 온실가스 효과를 상정하였음.
 - 위와 같은 가정대로 계산할 경우, 한우 번식우 농가에서 실제 변화시킬 수 있는 변수는 배합사료, TMR 사료, 볏짚, 건초, 엔실리지(옥수수 사일리지)가 되는 것임.
- 보다 정확한 온실가스 발생량 추산을 위해서는, 황성군 테스트베드 농가의 실제 사료 급여량 파악이 필요함(연간 번식우 1두당 얼마나 급여하는지에 대해 파악)
- 배합사료 : 사용량 및 25kg 포대 당 가격(연 평균)
 - TMR 사료 : 황성군 테스트베드 농가들은 TMR은 급여하지 않는 것으로 파악됐으므로 조사·분석 대상에서 제외함(0으로 처리)
 - 사료 3kg 급여시(옥수수 2기작시) : $3 \times 30 \times 12 = 1,080\text{kg}$ (43 포대)
 - 사료 7kg 급여시(관행적인 사양프로그램을 따를 경우) : $7 \times 30 \times 12 = 2,520\text{kg}$ (101 포대)
 - 볏짚 급여량 : 파악한 자료가 없어서 추가 조사 필요
 - 옥수수 급여량 : 테스트베드 농가 방문시 한우 20두에 대해서 600kg 사일리지를 10일간 급여하는 것으로 파악되었음. \Rightarrow 1일 60kg \rightarrow 1두당 1일 3kg 급여하는 것임.
 - 표준적인 비육우의 사양프로그램에 따른 온실가스 배출계수 및 활동 데이터는 이미 도출돼 있는 상태이므로, 황성군 테스트베드 내 한우 번식우의 경우와 비교하기 위해서는 표준적인 번식우 사양관리 프로그램에 따른 온실가스 활동 데이터와 실제 조사 데이터가 필요함.
- 황성군 테스트베드 및 농협사료, 대한한우(전국한우협회 전용 사료)의 사양관리 프로그램을 비교한 결과는 아래와 같음.
- 황성군 번식우 농가는 1두당 3kg씩의 옥수수 사일리지를 매일 급여하고 있음.
 - 대신 배합사료는 늘어난 옥수수 사일리지 급여량만큼 줄여서 급여하고 있음.
 - 황성군 테스트베드에서는 TMR은 급여하지 않음(그러므로 실제 급여량은 0으로 처리).
 - 농협사료와 대한한우(전국한우협회 전용사료)의 경우 TMR을 급여한다고 가정하였음.
 - 농협사료를 두당 1일 3kg, 대한한우는 두당 1일 4kg씩 배합사료를 급여한다고 가정함.
 - 나머지 볏짚, 건초 등은 황성군 테스트베드 및 농협사료, 대한한우 모두 똑같은 양을 급여한다고 가정하였음.

- 한우 번식우(농협사료 프로그램) 탄소발자국 추정 결과는 아래와 같음.
 - 배합사료는 1일당 1두 3kg씩 급여한다고 가정하였음.
 - TMR 사료, 볏짚, 건초, 엔실리지 급여량은 강원대(박규현 외, 2022. 전과정 측면에서 한우의 산업적·환경적 특징 연구) 제시한 수치와 한우 비육우 1두당 급여량을 그대로 인용하였음.
 - 30개월 동안 번식우 1두당 10,960.1kgCO_{2eq.}의 온실가스가 발생하였음.

표290 한우 번식우(농협사료 프로그램) 탄소발자국 추정 결과

구분	값	탄소발자국 기여도	연간 배출량 환산
사료	배합사료	1,680.8	15.34%
	TMR 사료	2,810.0	25.64%
	볏짚	249.9	2.28%
	건초	254.0	2.32%
	엔실리지	24.6	0.22%
음용수	지하수	0.0	0.00%
전력		1,210.0	11.04%
경유	생산	61.0	0.56%
	연소	438.0	4.00%
장내발효	메탄	3,230.0	29.47%
분뇨처리	메탄	68.8	0.63%
	아산화질소	933.0	8.51%
한우 1두 탄소발자국		10,960.1	100.00%
			4,384

- 한우 번식우(대한한우 프로그램) 탄소발자국 추정 결과는 아래와 같음.
 - 배합사료는 1일당 1두 4kg씩 급여한다고 가정하였음.
 - TMR 사료, 볏짚, 건초, 엔실리지 급여량은 강원대(박규현 외, 2022. 전과정 측면에서 한우의 산업적·환경적 특징 연구) 제시한 수치와 한우 비육우 1두당 급여량을 그대로 인용하였음.
 - 30개월 동안 번식우 1두당 11,520.4kgCO_{2eq.}의 온실가스가 발생하였음.
 - 대한한우에서 온실가스 발생량이 농협사료에 비해 높게 나타난 것은 배합사료를 1kg 더 급여하는 대한한우 사양관리 프로그램 특성 때문인 것으로 보임.

표291 한우 번식우(대한한우 프로그램) 탄소발자국 추정 결과

구분	값	탄소발자국 기여도	연간 배출량 환산
사료	배합사료	2,241.1	19.45%
	TMR 사료	2,810.0	24.39%
	볏짚	249.9	2.17%
	건초	254.0	2.20%
	엔실리지	24.6	0.21%
음용수	지하수	0.0	0.00%
전력		1,210.0	10.50%
경유	생산	61.0	0.53%
	연소	438.0	3.80%
장내발효	메탄	3,230.0	28.04%
분뇨처리	메탄	68.8	0.60%
	아산화질소	933.0	8.10%
한우 1두 탄소발자국		11,520.4	100.00%
			4,608

표292 한우 번식우(횡성군) 탄소발자국 추정 결과

구분		값	탄소발자국 기여도	연간 배출량 환산
사료	배합사료	1,120.6	14.53%	448
	TMR 사료	0.0	0.00%	0
	볏짚	249.9	3.24%	100
	건초	254.0	3.29%	102
	엔실리지	144.8	1.88%	58
음용수	지하수	0.0	0.00%	0
전력		1,210.0	15.69%	484
경유	생산	61.0	0.79%	24
	연소	438.0	5.68%	175
장내발효	메탄	3,230.0	41.89%	1,292
분뇨처리	메탄	68.8	0.89%	28
	아산화질소	933.0	12.10%	373
한우 1두 탄소발자국		7,710.1	100.00%	3,084

4) 온실가스 발생량 감축을 통한 경제적 효과 추산

○ 온실가스 배출량 비교

- 농협사료 프로그램 : 30개월 동안 번식우 1두당 10,960.1kgCO_{2eq.}
- 대한한우 프로그램 : 30개월 동안 번식우 1두당 11,520.4kgCO_{2eq.}
- 횡성군 테스트베드 : 30개월 동안 번식우 1두당 7,710.1kgCO_{2eq.}
- 횡성군 테스트베드는 농협사료 프로그램 대비 연간 감축량이 1,300kgCO_{2eq.}/두에 해당하고, 대한한우 프로그램 대비 연간 감축량 1,524kgCO_{2eq.}에 해당하는 것으로 나타남.
- 이를 2.5년(30개월)로 환산할 경우, 농협사료 프로그램 대비 3,250kgCO_{2eq.}/두, 대한한우 프로그램 대비 3,810kgCO_{2eq.}/두에 해당하는 것임.

○ 2020년 온실가스 배출권 거래단가(2020년 평균, 원/kgCO_{2eq.})는 3.014110원/kgCO_{2eq.}/두로 나타났음.

○ 30두 규모 번식우 농가 20호로 이뤄진(총 600두 사육) 작목반(소단위)의 경우 연간 경제적 효과는 아래와 같이 추산할 수 있을 것임.

- 농협사료 대비 : 2,372,058원 온실가스 저감 경제적 효과 실현
- 대한한우 대비 : 2,781,001원 온실가스 저감 경제적 효과 실현

○ 위 결과를 2.5년(30개월)로 환산할 경우

- 농협사료 대비 : 5,930,145원 온실가스 저감 경제적 효과 실현
- 대한한우 대비 : 6,952,503원 온실가스 저감 경제적 효과 실현

○ 횡성군 테스트베드의 사양관리 프로그램이 농가의 온실가스 배출량 감소를 통한 뚜렷한 경제적 효과를 보이고 있음을 알 수 있음.

○ 이는 농후사료 대신, 옥수수 자가 재배 및 볏짚, 자가 조사료 작물을 통한 급여 효과로 인하여 온실가스 배출량이 줄어들었기 때문임.

○ 한우에 대한 저탄소 축산물 인증제도의 보완·변경이라든지, 한우에 대한 선택형 공익형직불제 도입 등과 관련하여 본 연구 결과를 심화시켜 보다 정밀화된 결과를 도출할 필요성이 있다고 판단됨

아. 한우 번식우 농가 10개년 경제성 분석

1) 개요

- 본 연구 2단계(3차년도)의 목표로, 지역단위 경축순환시스템 지역영향 평가(경영체성과 및 지역영향, 기후·환경영향 결합 통합분석, 10개년 추정 편익 등 중장기 예측 분석)를 제시 하였음.
- 본 연구에서는 한우 번식우 농가들의 경제성을 분석하고자 함.
 - 본 연구 1단계(2차년도)를 통해, 자가우분퇴비로 사료작물(옥수수)를 2기작으로 재배하여 급여하는 한우 번식우 농가(한우 번식우 30두 규모의 가상의 농가를 설정·분석)의 수익성(소득 및 순수익, 단년 기준)을 추산하였음.
 - 특히 액비저장조 및 관수시설 등의 지원이 이뤄질 경우, 그렇지 않을 때와 비교하여 농가의 생산성(봄철 가뭄 극복+발효액비를 활용한 추비 공급) 및 소득 향상 효과가 명확히 나타나고 있음을 확인하였음.
 - 본 연구 2단계(3차년도)에서는 이들 농가(작목반)의 10개년도 경제성 분석(B/C)을 실시하여, 소단위(마을단위) 내 완전순환형 경축순환농업의 중장기적인 경제적 효과는 물론 동모델의 지속가능성과 의의를 규명하고자 함.

2) 기본 가정 및 분석 방법

- 1단계(2차년도) 연구를 통해 수집한 자료를 토대로 분석하고자 함.
 - 1단계(2차년도)에 실시한 단년도 한우 번식우 농가에 대한 수지분석 결과를 토대로, 10개년도 비용 및 편익을 추정하여 편익-비용의 순현재가치(누적 합계) B/C 비율, 내부수익률(IRR) 등을 도출하고자 함.
- 기본 가정
 - 번식우 30두 규모의 한우 농가를 상정함.
 - 번식우의 교체나 추가 도입은 없다고 가정함.
 - 횡성군 한우 번식우 농가의 생산성을 '21년 축산물생산비조사 통계 중 30~40두 구간과 비교·평가하고자 함.
 - 송아지의 번식률은 85%, 육성률은 100%를 적용함.
 - 암소 30두 ⇒ 송아지 25.5두 출산/년 ⇒ 연간 25두를 출산한다고 가정함.
 - 출산된 25두의 송아지는 6~7개월간 육성후 모두 가축시장에 출하·판매한다고 가정함.
 - 2기작 옥수수 재배를 위한 농지면적 : 1,500평(4,950m²)
- 수지분석에 적용할 비용 요소
 - 연간 농후사료 사료비 : 20,292,000원
 - 번식우 : 30두×(2kg/일)×365일×680원=14,892,000원
 - 송아지 : 25두×270kg(송아지 두당 6개월간 급여량)×800원=5,400,000원
 - 연간 외부 조사료 구입 비용 : 0원
 - 농가에서 자가 재배·확보한 옥수수·라이그라스·수단그라스·벚짚을 급여하여 외부 조사료 구입이 없다고 가정함.

- 연간 깔짚용 톱밥 비용 : 6,875,000원
 - 톱밥 톤당 250,000원×(번식우 30두+송아지 25두)×연간 가축분뇨 발생량 5톤×톱밥비율 10%
- 농기계 활용 농작업 대행 비용
 - 파종 작업 : 300,000원(평당 100원 적용. 연간 2회 파종)
 - 수확 및 사일리지 작업 : 1,900,000원(연간 사일리지 50롤 생산, 38,000원/롤 적용)
 - 농약살포 작업(드론 활용) : 450,000원(평당 150원 적용, 연간 2회 살포)
- 연간 화학비료 비용 : 540,000원('22년 하절기 복합비료 1포당 가격 27,000원 적용. 농지 1,500평에 연간 20포를 기비와 추비로 살포. 윤O진씨 인터뷰 내용 적용)

○ 수지분석에 적용할 편익 요소

- 송아지 판매 수익 : 25두×3,582,000원=89,500,000원
- 횡성군청 사료작물 수확 및 사일리지 생산비용 보조 : 1,250,000원
 - 사일리지 50롤×롤당 25,000원 보조
- 횡성군청 사료용 옥수수 종자 보조 : 400,000원
 - 1,500평 농지에 1회 파종시 200,000원 보조

○ 아울러 위의 기본 가정에 액비저장조+지하수 희석·관수를 위한 컨트롤러와 점적관수 장비가 설치될 경우를 상정하고자 함.

- 액비저장조+관수시설 전체 설치 비용 : 1,500만원
- 아울러 액비저장조+관수시설의 지원 및 1기작 수확 후 2기작 파종까지 우분퇴비 추가 살포 및 경운·정지 등과 관련한 농가 기술 수준이 향상돼, 기비(2기작 파종시) 및 추비(1기작, 2기작)에 들어가는 화학비료 구입 비용 부담이 없어진다고 가정함.
 - 화학비료 구입 비용 : 540,000원→0원

○ 사회적 할인율(SDR) 설정

- 사회적 할인율(SDR)은 다음과 같은 공식으로 결정됨
 - 사회적 할인율(SDR)=해당 국가의 장기이자율+해당 국가의 사회경제적 위험도 =(LIBOR+해당국 가산이자율)+해당 국가의 사회경제적 위험도
- 본 연구에서는 사회적 할인율을 5%로 적용하고자 함.
 - EU(유럽연합)의 경우, 회원국가들 중 경제력이 취약하거나 사회적 불안정이 높을 경우 5%를, 기타 선진 국가들에는 3%를 적용할 것을 권고하고 있음.
 - 러시아-우크라이나 전쟁, 중동 정세 불안 등의 요인으로 인해 경제적 불안 요소가 높아지고 있는 현 상황을 감안하여, 본 연구에서는 사회적 할인율을 5%로 적용하고자 함.
 - 한국은행 기준금리가 3.5%(2023 10.기준)으로 설정돼 있으며, 미국 등 주요 선진국들이 인플레이션 대응을 위해 고금리 기조를 유지하고 있는 상황 또한 감안한 것임.

3) 시나리오 1 : 한우 번식우 농가의 비용 및 편익 추산

○ 초기 투자 비용

- 액비저장조 및 관수시설 설치 비용 : 15,000,000원

- 본 분석에서는 한우 번식우 농가가 설치 비용 전액을 부담하는 것으로 가정함.

- 0차년도 첫째 날에 암송아지 30두(7개월령)를 입식하여 번식우로 육성

- 암송아지 30두 입식 비용 : $30\text{두}(7\text{개월령}) \times 2,898,000\text{원} = 86,940,000\text{원}$

- 0차년도에 입식한 7개월령 암송아지 30두는 16개월령이 되면 번식우로 활용 가능하며, 16개월령에 송아지를 임신한다고 가정(25개월령에 송아지 출산 가능)

○ 농후사료 사료비

- 0차년도 농후사료 사료비 : 13,392,000원

- 암송아지 : $30\text{두} \times 405\text{kg}(\text{송아지 두당 3개월간 급여량}) \times 800\text{원} = 9,720,000\text{원}$

- 번식우 : $30\text{두} \times (2\text{kg/일}) \times 90\text{일} \times 680\text{원} = 3,672,000\text{원}$

- 1차년도 이후 농후사료 사료비 : 20,292,000원

- 번식우 : $30\text{두} \times (2\text{kg/일}) \times 365\text{일} \times 680\text{원} = 14,892,000\text{원}$

- 송아지 : $25\text{두} \times 270\text{kg}(\text{송아지 두당 6개월간 급여량}) \times 800\text{원} = 5,400,000\text{원}$

○ 깔짚 비용, 파종 및 수확작업, 농약 살포, 농자재 등 각종 비용

- 연간 깔짚 비용 : 6,875,000원

- 연간 파종 및 수확작업 대행비용 : 300,000원

- 연간 드론 농약살포 비용 : 450,000원

○ 비용 총합 및 사회적 할인율 적용 결과

- 위의 비용 요소들을 감안하여 10개년도의 비용을 합산한 결과 및 이의 순현재가치를 계산한 결과는 아래 표와 같음.

- 비용 총합(명목가치 기준)은 423,027,000원으로 나타났음.

- 위의 비용 총합을 사회적 할인율(SDR) 5%를 적용하여 계산한 결과 355,095,970원으로 나타났음.

연차별 구분	초기 투자비용 (암송아지, 액비저장조, 관수시설)	농후사료	갈짚 비용	파종 수확작업 대행	드론 농약살포	비용합계	비용 순현재가치
0	101,940	13,392	6,875	2,200	450	124,857	124,857
1	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	28,397
2	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	27,045
3	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	25,757
4	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	24,531
5	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	23,362
6	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	22,250
7	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	21,190
8	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	20,181
9	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	19,220
10	-	20,292	6,875	2,200	450	29,817	18,305
합계	101,940	216,312	75,625	24,200	4,950	423,027	355,096

○ 편익 추산

- 편익은 30두의 번식우들이 낳은 송아지(연간 25두)의 판매 수익과 횡성군청의 사료작물 수확 및 사일리지 생산비용 보조, 사료용 옥수수 종자 보조로 구성되어 있음.
- 번식우(처음 입식할 때는 7개월령 암송아지)는 0차년도 첫째 날에 입식한 이후 15개월령 이 경과할 때까지는 번식우 육성기를 거치게 되며, 16개월령에 송아지를 임신하게 된다고 가정함.
 - 이 경우, 0차년도에는 송아지를 출산할 수 없으며, 1차년도부터 출산이 가능하게 되므로, 송아지 판매 수익은 1차년도부터 발생하게 됨.
 - 1차년도부터 매년 발생하게 되는 송아지 판매수익 : 25두×3,582,000원=89,500,000원
- 횡성군청 사료작물 수확 및 사일리지 생산비용 보조 : 1,250,000원
 - 사일리지 50롤×롤당 25,000원 보조
- 횡성군청 사료용 옥수수 종자 보조 : 400,000원
 - 1,500평 농지에 1회 파종시 200,000원 보조

○ 편익 총합 및 사회적 할인율 적용 결과

- 위의 비용 요소들을 감안하여 10개년도의 편익을 합산한 결과 및 이의 순현재가치를 계산한 결과는 아래 표와 같음.
 - 편익 총합(명목가치 기준)은 913,650,000원으로 나타났음.
 - 위의 편익 총합을 사회적 할인율(SDR) 5%를 적용하여 계산한 결과 705,872,226원으로 나타났음.

표294 편익 추산 결과(시나리오 1)

단위: 천원

연차별 구분	매출액 (송아지 판매 수익)	사일리지 생산비 보조	편익 합계	편익 순현재가치
0	-	1,650	1,650	1,650
1	89,550	1,650	91,200	86,857
2	89,550	1,650	91,200	82,721
3	89,550	1,650	91,200	78,782
4	89,550	1,650	91,200	75,030
5	89,550	1,650	91,200	71,458
6	89,550	1,650	91,200	68,055
7	89,550	1,650	91,200	64,814
8	89,550	1,650	91,200	61,728
9	89,550	1,650	91,200	58,788
10	89,550	1,650	91,200	55,989
합계	895,500	16,500	913,650	705,872

- 10년간 편익-비용, 편익-비용의 순현재가치 누적 합계는 아래와 같음.
 - 10년간 편익-비용 합계 : 490,623,000원
 - 10년간 편익-비용 순현재가치 누적 합계 : 350,776,255원
 - 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치는 0차년도에는 마이너스를 기록하다가 1차년도부터 플러스를 나타냄.
 - 편익-비용 순현재가치 누적합계는 0차년도부터 2차년도까지는 마이너스를 기록하다가 3차년도부터 플러스로 전환됨.
 - 이는 암송아지 초기 입식비용 및 액비저장조와 관수시설 초기 설치비용(101,940,000원) 부담은 물론, 번식우가 낳은 송아지의 판매 수익이 1차년도부터 발생하게 됨에 따른 효과 때문인 것으로 판단됨.
 - 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치의 누적 합계를 나타낸 표는 아래와 같음

표295 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치 추산 결과(시나리오 1)

단위: 천원

연차별 구분	편익-비용	편익-비용 순현재가치	순현재가치 누적합계
0	(123,207)	(123,207)	(123,207)
1	61,383	58,460	(64,747)
2	61,383	55,676	(9,071)
3	61,383	53,025	43,954
4	61,383	50,500	94,454
5	61,383	48,095	142,549
6	61,383	45,805	188,354
7	61,383	43,624	231,978
8	61,383	41,546	273,524
9	61,383	39,568	313,092
10	61,383	37,684	350,776
합계	490,623	350,776	

주: ()안의 숫자는 마이너스를 나타내는 것임.

○ B/C 비율, IRR(내부수익률) 도출 결과는 아래와 같음.

- B/C 비율은 1.99로 도출되었음.
- IRR(내부 수익률)은 42%로 도출되었음.

○ 소결

- 전반적으로 자가우분퇴비로 사료작물(옥수수)를 2기작으로 재배하여 급여하는 한우 번식우 농가(한우 번식우 30두 규모의 가상의 농가를 설정·분석)의 수익성은 좋은 것으로 판단할 수 있을 것임.
- 0차년도 암송아지 입식 및 액비저장조와 관수시설 설치 비용을 100% 자부담으로 실시한다고 가정했음에도 불구하고, 자가우분퇴비와 발효액비를 활용한 옥수수 사료작물 2기작 재배를 통해 번식우에 급여하는 농후사료 비용을 줄일 수 있었기 때문에 볼 수 있음.
- 아울러 송아지값이 상대적으로 좋은 수준이었으며, 농후사료 값 등 각종 비용이 안정돼 있던 2022년 7월의 상황을 반영한 결과로 볼 수 있음.
- 그러나 향후에는 우크라이나 전쟁 및 중동 정세 변화 등으로 인해, 한우 가격 하락으로 인한 송아지값 하락(그로 인한 농가 매출액 감소 요인 작용), 농후사료 값 등 각종 비용 상승(그로 인한 농가 비용 증가 요인 작용) 등의 부정적 요인이 작용 가능하기 때문에, 본 분석 결과(시나리오 1)와는 많은 차이가 날 것으로 예상됨.
- 이 때문에, 위에서 언급한 다양한 요인을 반영한 다수의 시나리오를 설정하여, 한우 번식우 농가의 경제성 분석을 실시하여 현실 조건과 보다 가까운 분석 결과를 도출함으로써 보다 능동적인 대응 방안을 마련할 필요가 있다고 판단됨.

4) 시나리오 2 : 송아지 가격 하락 효과를 반영

○ 최근 송아지 가격은 등락을 반복하며 보합세를 보이고 있음.

- 송아지 가격은 2022년 6월을 정점으로 급락하였음.
- 이후 2023년 초 상승하다가 5월에는 하락하였고, 이후 다시 상승과 하락을 반복하며 불안정한 추세를 보였음.
- 송아지 암수 평균가격은 2023년 1월 239만원에서 4월 298만원으로 상승하였으나, 이후 등락을 반복하여 8월에는 286만원에 그쳤음.

표296 월별 송아지 가격(6~7개월령)

단위: 천원/두

구분	2022년			2023년							
	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
암	2,686	2,329	1,988	1,951	2,042	2,182	2,381	2,129	2,150	2,250	2,215
수	3,904	3,429	3,035	2,819	2,786	3,195	3,571	3,436	3,519	3,594	3,513
평균	3,295	2,879	2,512	2,385	2,414	2,689	2,976	2,783	2,835	2,922	2,864

주: 2023년 8월 가격은 1~22일 평균가격임.

자료: GS&J 한우동향 2023년 8월, GS&J인스티튜트 / 농협축산정보센터

- 본 분석에서는 2023년 7월의 송아지 가격을 적용하고자 함.
 - 1단계(2차년도) 경제성 분석 당시 2022년 7월 송아지 가격을 반영하였으며, 1년 경과 후 상황을 반영하여 비교하고자 2023년 7월 송아지 가격을 적용하고자 하는 것임.
 - 2022년 7월 송아지값(6~7개월령)은 다음과 같이 형성되었음.
 - 수송아지 : 4,266,000원 / 암송아지 : 2,776,000원
 - 수송아지와 암송아지 평균 가격 : 3,582,000원(본 연구에서는 송아지 판매 수익 추산을 위해 수송아지와 암송아지 평균 가격을 적용하고자 함.)
 - 2023년 7월 송아지값(6~7개월령)은 다음과 같이 형성되었음.
 - 수송아지 : 3,594,000원 / 암송아지 : 2,250,000원
 - 수송아지와 암송아지 평균 가격 : 2,922,000원
- 2023년 7월 전국한우협회 대한한우 사료값은 아래와 같이 형성되었음(공장출고가, 25kg 포대 당).
 - 어린송아지 : 14,875원 (kg 당 595원)
 - 번식우 : 11,450원 (kg 당 458원)
 - 육성 : 11,600원 (kg 당 464원)
 - 비육 전기 : 11,800원 (kg 당 472원)
 - 비육 후기 : 12,050원 (kg 당 482원)
 - 우크라이나 전쟁 및 환율 상승 등의 조건에도 불구하고, 전년도 동기 대비 농후사료 값이 안정세를 보이고 있음을 확인할 수 있음.
- 이에 한우 번식우 농가에 적용할 사료값은 전년도와 같이 설정하고자 함.
 - 어린송아지 사료값 : 25kg 포대 당 2만원(공장도가격 15,000원+농장까지의 운반비 5천원 등 제비용 반영, kg 당 환산시 800원)
 - 번식우 사료값 : 25kg 포대 당 17,000원(대한한우 공장도가격 12,000원+농장까지의 운반비 5천원 등 제비용 반영, kg 당 환산시 680원)
- 그 외 깔짚 비용, 파종 수확작업 대행, 드론 농약 살포 등의 비용은 동일하다고 가정함.
- 시나리오 2에 의한 비용 추산 결과는 시나리오 1에서 실시했던 것과 동일하게 도출됨.
 - 비용 총합(명목가치 기준)은 423,027,000원으로 나타났음.
 - 위의 비용 총합을 사회적 할인율(SDR) 5%를 적용하여 계산한 결과 355,095,970원으로 나타났음.
- 아울러 시나리오 2에 의한 편익 추산 결과는 다음과 같음.
 - 번식우는 0차년도 첫째 날에 입식(7개월령 암송아지)한 이후 15개월령이 될 때까지는 번식우 육성기를 거치게 되며, 16개월령에 송아지를 임신하게 된다고 가정함.
 - 0차년도에는 송아지를 출산할 수 없으며, 1차년도부터 출산이 가능하게 되므로, 송아지 판매 수익은 1차년도부터 발생하게 됨.
 - 1차년도부터 매년 발생하게 되는 송아지 판매수익 : 25두×2,922,000원=73,050,000원

- 횡성군청 사료작물 수확 및 사일리지 생산비용 보조 : 1,250,000원
 - 사일리지 50롤×롤당 25,000원 보조
- 횡성군청 사료용 옥수수 종자 보조 : 400,000원
 - 1,500평 농지에 1회 파종시 200,000원 보조

○ 편익 총합 및 사회적 할인율 적용 결과

- 위의 비용 요소들을 감안하여 10개년도의 편익을 합산한 결과 및 이의 순현재가치를 계산한 결과는 아래 표와 같음.
 - 편익 총합(명목가치 기준)은 748,650,000원으로 나타났음.
 - 위의 편익 총합을 사회적 할인율(SDR) 5%를 적용하여 계산한 결과 578,463,599원으로 나타났음

표297 편익 추산 결과(시나리오 2)

단위: 천원

연차별 구분	매출액 (송아지 판매 수익)	사일리지 생산비 보조	편익 합계	편익 순현재가치
0	-	1,650	1,650	1,650
1	73,050	1,650	74,700	71,143
2	73,050	1,650	74,700	67,755
3	73,050	1,650	74,700	64,529
4	73,050	1,650	74,700	61,456
5	73,050	1,650	74,700	58,529
6	73,050	1,650	74,700	55,742
7	73,050	1,650	74,700	53,088
8	73,050	1,650	74,700	50,560
9	73,050	1,650	74,700	48,152
10	73,050	1,650	74,700	45,859
합계	730,500	16,500	748,650	578,464

○ 시나리오 2에 의한 10년간 편익-비용, 편익-비용의 순현재가치 누적 합계는 아래와 같음.

- 10년간 편익-비용 합계 : 325,623,000원
- 10년간 편익-비용 순현재가치 누적 합계 : 223,367,629원
- 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치는 0차년도에는 마이너스를 기록하다가 1차년도부터 플러스를 나타냄.
- 그런데 편익-비용 순현재가치 누적합계는 0차년도부터 4차년도까지는 마이너스를 기록하다가 5차년도부터 플러스로 전환됨.
- 이는 농후사료값이 상대적으로 안정세를 보였음에도 송아지 판매를 통한 수익이 2022년 대비 감소세를 보이게 됨에 따라, 한우 번식우 농가의 수익성이 악화되었기 때문임.
- 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치의 누적 합계를 나타낸 표는 아래와 같음.

단위: 천원

연차별 구분	편익-비용	편익-비용 순현재가치	순현재가치 누적합계
0	(123,207)	(123,207)	(123,207)
1	44,883	42,746	(80,461)
2	44,883	40,710	(39,751)
3	44,883	38,772	(979)
4	44,883	36,925	35,946
5	44,883	35,167	71,113
6	44,883	33,492	104,605
7	44,883	31,898	136,503
8	44,883	30,379	166,881
9	44,883	28,932	195,813
10	44,883	27,554	223,368
합계	325,623	223,368	

주: ()안의 숫자는 마이너스를 나타내는 것임.

○ 시나리오 2에 의한 B/C 비율, IRR(내부수익률) 도출 결과는 아래와 같음.

- B/C 비율은 1.63으로 도출되었음.
- IRR(내부 수익률)은 28%로 도출되었음.

○ 소결

- 시나리오 2에서도 B/C 비율, IRR(내부 수익률)이 비교적 높은 수치로 나타났음에도 불구하고, 시나리오 1과 비교하여 한우 번식우 농가의 수익성이 현저히 악화되는 것으로 나타났다.
- 이는 2022년 하반기부터 이어진 한우 가격 하락으로 인해 초래된 송아지값(수송아지, 암송아지) 하락으로 발생한 결과로 해석할 수 있음.
- 전년도 동기 대비 농후사료 값이 상대적으로 안정세를 보였으며, 여타 비용이 인상되지 않았다고 가정했음에도 불구하고, 송아지값 하락으로 인한 한우 번식우 농가의 수익성 악화 수준이 현저하다는 것을 확인하였음.
- 한우 번식우 농가의 생산비 중 상당 비중을 차지하는 것이 농후사료 값이기 때문에('22년 축산물생산비조사에서 32.7%로 나타남), 농후사료 값의 인상 효과까지 반영될 경우 한우 번식우 농가의 수익성은 더욱 악화되어 소득 및 순수익의 하락이 초래될 것으로 보임.
- 시나리오 2에서도 B/C 비율, IRR(내부수익률), NPV(순현재가치) 등이 비교적 높은 수치로 도출된 이유는, 자가우분퇴비와 발효액비를 활용하여 옥수수 2기작 재배를 통한 사일리지 급여를 통해 농후사료 급여량을 줄일 수 있었기 때문인 것으로 보임.

5) 시나리오 3 : 농후사료값 20% 추가 인상시 예상 효과

- 2023년 7월 기준 농후사료값은, 2021년 7월 대비 약 20% 인상된 것으로 나타났음.
 - 2021년 고기소용 1kg 당 농후사료값 : 484원
 - 2022년 고기소용 1kg 당 농후사료값 : 587원
 - 2023년 고기소용 1kg 당 농후사료값 : 580원
 - 우크라이나 전쟁 등의 영향으로 2021년 7월 대비 2022년 7월 농후사료값이 급등한 이후 (2022년 10월 1kg 당 613원으로 최고치를 기록), 2023년에는 보합세를 보이며 안정되는 추세를 보이고 있음.
 - 그러나 국제 정세 불안, 기후변화 등의 요인이 작용할 경우 농후사료의 원료가 되는 국제 곡물가격의 인상이 불가피하며, 이로 인한 농후사료값 인상 또한 불가피한 실정임.

표299 연도별 고기소용 1kg 당 농후사료값 추이

단위: 원

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
'21.	416	415	421	479	450	469	484	470	483	483	490	484
'22.	495	494	505	530	531	553	587	590	611	613	614	607
'23.	595	585	579	582	579	581	580	579				

자료: 농림축산식품부 홈페이지(<http://www.mafra.go.kr>)

- 본 분석에서는 시나리오 2에서 반영된 송아지값 하락 효과에 더하여, 농후사료값이 20% 인상될 경우를 가정하여, 한우 번식우 농가의 수익성이 어떻게 변화하는지를 살펴보고자 함.
- 시나리오 3에서 한우 번식우 농가에 적용할 사료값은 아래와 같이 설정하고자 함.
 - 어린송아지 사료값 : 25kg 포대 당 24,000원(kg 당 환산시 960원)
 - 번식우 사료값 : 25kg 포대 당 20,400원(kg 당 환산시 816원)
- 시나리오 3에 의거한 농후사료 사료비는 아래와 같이 계산됨.
- 농후사료 사료비
 - 0차년도 농후사료 사료비 : 15,098,400원
 - 암송아지 : 30두×405kg(송아지 두당 9개월간 급여량)×816원=9,914,400원
 - 번식우 : 30두×(2kg/일)×90일×960원=5,184,000원
 - 1차년도 이후 농후사료 사료비 : 26,532,000원
 - 번식우 : 30두×(2kg/일)×365일×960원=21,024,000원
 - 송아지 : 25두×270kg(송아지 두당 6개월간 급여량)×816원=5,508,000원
- 그 외 깔짚 비용, 파종 수확작업 대행, 드론 농약 살포 등의 비용은 동일하다고 가정함.
- 시나리오 3에 의한 비용 추산 결과는 아래 표와 같음.
 - 비용 총합(명목가치 기준)은 487,133,400원으로 나타났음.
 - 위의 비용 총합을 사회적 할인율(SDR) 5%를 적용하여 계산한 결과 404,985,996원으로 나타났음.

연차별 구분	초기 투자비용 (암송아지, 액비저장조, 관수시설)	농후사료	갈짚 비용	파종 수확작업 대행	드론 농약살포	비용합계	비용 순현재가치
0	101,940	15,098	6,875	2,200	450	126,563	126,563
1	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	34,340
2	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	32,705
3	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	31,147
4	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	29,664
5	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	28,252
6	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	26,906
7	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	25,625
8	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	24,405
9	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	23,243
10	-	26,532	6,875	2,200	450	36,057	22,136
합계	101,940	280,418	75,625	24,200	4,950	487,133	404,986

○ 아울러 시나리오 3에 의한 편익 추산 결과는 다음과 같음.

- 번식우는 0차년도 첫째 날에 입식한 이후(7개월령 암송아지) 15개월령이 될 때까지는 번식우 육성기를 거치게 되며, 16개월령에 송아지를 임신하게 된다고 가정함.
 - 0차년도에는 송아지를 출산할 수 없으며, 1차년도부터 출산이 가능하게 되므로, 송아지 판매 수익은 1차년도부터 발생하게 됨.
 - 1차년도부터 매년 발생하게 되는 송아지 판매 수익 : 25두×2,922,000원=73,050,000원
- 황성군청 사료작물 수확 및 사일리지 생산비용 보조 : 1,250,000원
 - 사일리지 50롤×롤당 25,000원 보조
- 황성군청 사료용 옥수수 종자 보조 : 400,000원
 - 1,500평 농지에 1회 파종시 200,000원 보조
- 위의 계산 결과를 반영하여 시나리오 3의 편익 추산 결과를 도출하면 아래 표와 같음.
 - 시나리오 2와 같이 송아지값 하락의 효과를 반영한 것이므로 편익 추산 결과는 시나리오 2와 같음.

표301 편익 추산 결과(시나리오 3)

단위: 천원

연차별 구분	매출액 (송아지 판매 수익)	사일리지 생산비 보조	편익 합계	편익 순현재가치
0	-	1,650	1,650	1,650
1	73,050	1,650	74,700	71,143
2	73,050	1,650	74,700	67,755
3	73,050	1,650	74,700	64,529
4	73,050	1,650	74,700	61,456
5	73,050	1,650	74,700	58,529
6	73,050	1,650	74,700	55,742
7	73,050	1,650	74,700	53,088
8	73,050	1,650	74,700	50,560
9	73,050	1,650	74,700	48,152
10	73,050	1,650	74,700	45,860
합계	730,500	16,500	748,650	578,464

○ 시나리오 3에 의한 10년간 편익-비용, 편익-비용의 순현재가치 누적합계는 아래와 같음.

- 10년간 편익-비용 합계 : 261,516,600 원
- 10년간 편익-비용 순현재가치 누적 합계 : 173,477,603원
- 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치는 0차년도에는 마이너스를 기록하다가 1차년도부터 플러스를 나타냄.
- 편익-비용 순현재가치 누적합계는 0차년도부터 4차년도까지는 마이너스를 기록하다가 5차년도부터 플러스로 전환됨.
- 이는 농후사료 값이 20% 인상되었다는 가정을 반영했을뿐만 아니라, 송아지 판매를 통한 수익이 2022년 대비 감소세를 보이게 됨에 따라, 한우 번식우 농가의 수익성이 악화되었기 때문임.
- 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치의 누적 합계를 나타낸 표는 아래와 같음.

표302 편익-비용 및 편익-비용 순현재가치 추산 결과(시나리오 3)

단위: 천원

연차별 구분	편익-비용	편익-비용 순현재가치	순현재가치 누적합계
0	(124,913)	(124,913)	(124,913)
1	38,643	36,803	(88,111)
2	38,643	35,050	(53,060)
3	38,643	33,381	(19,679)
4	38,643	31,792	12,113
5	38,643	30,278	42,391
6	38,643	28,836	71,227
7	38,643	27,463	98,689
8	38,643	26,155	124,845
9	38,643	24,910	149,754
10	38,643	23,723	173,478
합계	261,517	173,478	

○ 시나리오 3에 의한 B/C 비율, IRR(내부수익률) 도출 결과는 아래와 같음.

- B/C 비율은 1.43으로 도출되었음.
- IRR(내부 수익률)은 22%로 도출되었음.

○ 소결

- 시나리오 3에서는 시나리오 1과 2와 비교하여 B/C 비율, IRR(내부 수익률) 수치가 현저하게 떨어지는 결과를 보이고 있으며, 한우 번식우 농가의 수익성 또한 이전 시나리오에 비해 현저히 악화되는 것으로 나타났음.
- 2021년 이후 농후사료 가격이 20% 가까이 인상된 상태에서 2022년과 2023년에는 상대적으로 안정세를 보였지만, 국제 곡물가격 상승 등 불안 요인이 작용할 경우 한우 가격 및 송아지값 하락으로 인한 효과에 더하여 한우 번식우 농가들은 더욱 큰 타격을 받게 될 것임을 살필 수 있었음.
- 하지만 농후사료 급여량이 많고, 외부 조사료를 구입하는 농가와 대비하여 자가우분퇴비와 발효액비를 활용하여 옥수수 2기작 재배를 통한 사일리지 급여를 하는 횡성군 테스트베드 한우 번식우 농가들은 송아지값 하락 및 농후사료값 인상으로 인한 타격이 상대적으로 적다는 점을 확인할 수 있었음.
- 소규모 한우 번식우 농가(번식우 30두 규모)의 경영안정을 위해서는 수급 조절(미경산우, 경산우 비육 전환 등) 및 사료가격 안정 대책 등이 병행되어야 할 것이며, 옥수수·수단그라스·라이그라스 등 자가 사료작물 재배·급여를 통한 생산비 절감 대책 또한 일관성 있게 시행되어야 할 것임.
- 아울러 본 분석에서는 편의상 액비저장조 및 관수시설 설치 비용을 한우 번식우 농가가 전액 부담하는 것으로 가정했으나, 이에 대한 정부·지자체의 지원이 이뤄질 경우 농가의 경영안정에 일정 부분 기여할 수 있다는 점을 확인하였음.
 - 실제 횡성군에서는 1,500만원의 액비저장조 및 관수시설 설치 비용 중 1,200만원을 보조로 지원해주고 있으며, 농가 자부담은 300만원임.

6) 송아지값 하락으로 인한 '23년 기준 횡성군 한우 번식우 농가의 수익성 추정

○ 통계청의 '22 축산물생산비조사 결과에 의하면 한우 번식우 농가의 수익성은 크게 악화되는 양상을 보이고 있음.

- '22년 한우 번식우의 경우 순수익이 전년 대비 -172.6% 하락한 것으로 나타났음.
- 이는 주산물(송아지)의 산지가격이 하락하고 사육비 증가로 순수익이 감소했기 때문임.
- 시나리오 2에 의한 분석 결과를 통해 살펴봤듯이, 송아지값 하락은 한우 번식우 농가의 소득 하락 및 순수익의 하락을 초래하여 이들 농가의 수익성을 크게 악화시키는 요인으로 작용하였음.

○ 비용 측면에 있어서도 한우 번식우 농가들은 어려움에 직면하고 있음.

- '21년 대비 '23년 농후사료값은 20% 가까이 인상되었음.
- 사료비 및 자가노동비 등의 상승으로 인한 비용 인상 요인이 작용하고 있음.

○ 한우 가격 하락으로 인한 송아지값 하락세는 지속될 것으로 전망됨.

- 2024년까지 한우 수소 및 암소의 도축 증가세가 지속될 것으로 예상되면서 한우 가격 하락세가 이어질 것으로 전망됨.
- 아울러 비육우 및 일관사육 농가들의 송아지 입식 의향이 줄어드는 상황이어서, 수송아지와 암송아지 가격 하락세 또한 지속될 것으로 예상됨.

- 한우 번식우 농가의 수익성에 직접적인 영향을 끼치는 요소 중 하나인 송아지값 회복이 쉽지 않을 것으로 예상됨에 따라, 한우 번식우 농가의 평균 소득 및 순수익은 '21년 및 '22년과는 달리 하락 추세를 보이고 있음.
 - 한우 번식우 두당 소득(평균) : 486,626원
 - 한우 번식우 두당 순수익(평균) : -409,221원
- 이에 황성군 테스트베드 한우 번식우 농가의 '23년 기준 수익성(소득, 순수익)에 대한 추산을 통해 이들 농가의 경영 여건을 가늠하여, 한우산업 불황기 완전경축순환 모델을 통한 경영 위기 극복 방안을 모색할 필요가 있음.
- (참고) '22년 축산물생산비조사 결과(통계청 자료)

표303 22년 한우 번식우 마리당 사육비

단위: 원

구분	10마리 미만	10~20	30~49	50마리 이상	평균
사료비	1,508,128	1,584,340	1,514,486	1,594,292	1,578,425
농후사료	1,036,585	1,055,988	962,938	1,023,670	1,019,579
조사료	436,654	450,263	482,298	521,028	503,252
TMR사료	34,889	78,089	69,250	49,594	55,594
수도광열비	77,134	71,590	72,409	52,551	58,760
방역치료비	63,340	48,984	48,875	39,782	43,128
자동차비	95,798	71,701	47,835	33,641	42,846
감가상각비	87,182	65,812	42,627	31,256	39,377
수리유지비	8,616	5,889	5,052	2,360	3,429
임차료	0	0	156	25	40
농구비	229,872	257,784	197,908	153,776	176,345
감가상각비	205,593	237,774	181,236	141,294	161,861
수리유지비	6,905	9,010	11,903	9,321	9,566
임차료	4,520	3,325	0	416	880
소농구비	12,854	7,675	4,769	2,745	4,038
영농시설비	198,098	162,399	147,901	106,142	122,744
감가상각비	176,048	140,245	126,073	84,544	101,024
수리유지비	22,050	22,147	21,828	21,436	21,607
임차료	0	7	0	162	113
기타재료비	55,616	69,091	69,202	49,642	55,195
종부료	52,435	44,439	52,900	44,264	45,823
차입금이자	9,389	23,243	15,137	35,889	30,312
토지임차료	1,255	3,221	0	3,532	2,902
고용노동비	5,593	16,471	18,013	31,716	26,830
분뇨처리비	4,410	7,952	3,164	5,718	5,593
생산관리비	19,497	23,506	12,242	9,240	11,890
기타비용	32,021	23,043	21,309	22,489	22,732
일반비소계	2,352,586	2,407,764	2,221,381	2,182,674	2,223,525
자가노동비	2,280,398	1,253,106	865,657	537,416	739,909
자본용역비	159,724	158,011	152,638	130,409	138,653
고정자본이자	136,746	135,377	130,785	110,142	117,652
유동자본이자	22,978	22,633	21,853	20,267	21,001
토지용역비	30,680	27,384	21,934	13,724	17,285
비용합계	4,823,388	3,846,264	3,261,609	2,864,223	3,119,372

비목별	10두미만	10~29두	30~49두	50두이상	평균
총수입(A)	3,152,358	2,839,453	2,632,418	2,679,148	2,710,151
경영비(B)	2,352,586	2,407,764	2,221,381	2,182,674	2,223,525
생산비(C)	4,823,388	3,846,264	3,261,609	2,864,223	3,119,372
소득(A-B)	799,772	431,689	411,037	496,474	486,626
순수익(A-C)	-1,671,030	-1,006,811	-629,191	-185,075	-409,221

- 본 분석에서는 '23년 7월 기준 송아지 평균 가격 및 농후사료 값 수준을 반영한 시나리오 2의 비용 및 편익 요소를 반영하여 횡성군 테스트베드 한우 번식우 농가의 수익성(소득 및 순수익)을 추산하고자 함.
- 시나리오 2('23년 7월 기준 송아지 평균 가격과 농후사료 값 수준을 반영)에 의거한 횡성군 한우 번식우 농가의 비용 요소를 '22년 축산물생산비조사 결과(한우 번식우 30~49두 구간)와 비교한 결과는 아래와 같음.
 - 농후사료 : 676,400원
 - 번식우 30두와 송아지 25두의 연간 총 사료비(20,292,000원)÷번식우 30두
 - 조사료 : 106,333원
 - 사료용 옥수수 생산비용 총액(3,190,000원)÷번식우 30두
 - TMR사료 : TMR사료를 제조·급여하고 있지 않다고 가정하여 0으로 가정함.
 - 분뇨처리비 : 횡성군 테스트베드의 한우 번식우 농가들은 자체적으로 우분퇴비를 제조하여 자가농지에 환원하므로 별도의 분뇨처리비가 들지 않는다고 가정함.
 - 나머지 비용은 '22년 축산물생산비조사의 한우 번식우 30~49두 구간의 비용과 똑같다고 가정함
 - 통계청의 조사 방식과 똑같은 방식으로 실제 횡성군 한우 번식우 농가의 비용을 파악할 수 없기 때문에, 조사가 불가능했던 부분들은 '22 축산물생산비조사 결과 중 30~49두 구간의 한우 번식우 농가의 통계 수치를 그대로 인용하였음.
- 비용 계산 결과는 아래와 같음.
 - 경영비 : 한우 번식우 두당 1,486,464원
 - 생산비 : 한우 번식우 두당 2,526,693원
 - 경영비는 횡성군 테스트베드의 한우 번식우 농가가 '22년 축산물생산비조사 한우 번식우 농가 30~49두 구간 평균보다 734,917원 낮은 것으로 나타남.
 - 생산비는 횡성군 테스트베드의 한우 번식우 농가가 '22년 축산물생산비조사 한우 번식우 농가 30~49두 구간 평균보다 634,916원 낮은 것으로 나타남.

표305 23년 한우 번식우 마리당 사육비 비교 결과

단위: 원

구분	30~49	평균	횡성군 한우 번식우 농가
사료비	1,514,486	1,578,425	782,733
농후사료	962,938	1,019,579	676,400
조사료	482,298	503,252	106,333
TMR사료	69,250	55,594	0
수도광열비	72,409	58,760	72,409
방역치료비	48,875	43,128	48,875
자동차비	47,835	42,846	47,835
감가상각비	42,627	39,377	42,627
수리유지비	5,052	3,429	5,052
임차료	156	40	156
농구비	197,908	176,345	197,908
감가상각비	181,236	161,861	181,236
수리유지비	11,903	9,566	11,903
임차료	0	880	0
소농구비	4,769	4,038	4,769
영농시설비	147,901	122,744	147,901
감가상각비	126,073	101,024	126,073
수리유지비	21,828	21,607	21,828
임차료	0	113	0
기타재료비	69,202	55,195	69,202
종부료	52,900	45,823	52,900
차입금이자	15,137	30,312	15,137
토지임차료	0	2,902	0
고용노동비	18,013	26,830	18,013
분뇨처리비	3,164	5,593	0
생산관리비	12,242	11,890	12,242
기타비용	21,309	22,732	21,309
일반비소계	2,221,381	2,223,525	1,486,464
자가노동비	865,657	739,909	865,657
자본용역비	152,638	138,653	152,638
고정자본이자	130,785	117,652	130,785
유동자본이자	21,853	21,001	21,853
토지용역비	21,934	17,285	21,934
비용합계	3,261,609	3,119,372	2,526,693

○ 횡성군 한우 번식우 농가의 두당 수익성 계산 결과는 아래와 같음.

- 총수입(A) : 2,490,000원(편익 합계 74,700,000원 ÷ 한우 번식우 30두)
- 경영비(B) : 1,486,464원
- 생산비(C) : 2,526,693원
- 소득(A-B) : 1,003,536원
- 순수익(A-C) : -36,693원

표306 23년 한우 번식우 마리당 수익성 비교 결과

단위: 원

비목별	30~49두	평균	횡성군 한우 번식우농가
총수입(A)	2,632,418	2,710,151	2,490,000
경영비(B)	2,221,381	2,223,525	1,486,464
생산비(C)	3,261,609	3,119,372	2,526,693
소득(A-B)	411,037	486,626	1,003,536
순수익(A-C)	-629,191	-409,221	-36,693

9. 소단위 완전순환형 경축순환 모델 발굴(테스트베드 외 지역)

가. 소단위 경축순환 재배 조사료 품질 및 토양성상 조사

1) 경축순환 재배 조사료 품질 평가 및 우수사례 분석

가) 서천지역 기산자원순환농업단지와 화학비료 살포 토양 영양성분 비교

○ 서천지역 기산자원순환농업단지와 화학비료 살포 토양 영양성분 비교

- 논의 유기물함량 조사 비교(서천군농업기술센터 협조, 총 25,688점)

- 경축순환농업에 의하여 순환단지의 조사료 토양의 유기물함량이 '14년에 22.6에서 '21년 28.1로 24.2% 증가하였으며 '22년에는 27.3으로 다소 하락하였으나 지속적으로 증가추세를 보이고 있음

표307 경축순환농업에 의한 토양의 연도별 유기물 함량(서천군, 기산자원순환농업단지)

년도	서천군/순환단지	분석점수(논)	유기물(논)
2014	서천군 평균	4,837	15
	순환단지	119	22.6
2015	서천군 평균	3,235	20
	순환단지	34	23.0
2016	서천군 평균	2,086	22
	순환단지	76	25.0
2017	서천군 평균	2,983	22
	순환단지	164	25.2
2018	서천군 평균	2,554	23
	순환단지	222	25.6
2019	서천군 평균	2,041	23
	순환단지	189	24.9
2020	서천군 평균	1,504	25
	순환단지	231	25.5
2021	서천군 평균	2,725	22
	순환단지	226	28.1
2022	서천군 평균	2,226	25
	순환단지	236	27.3

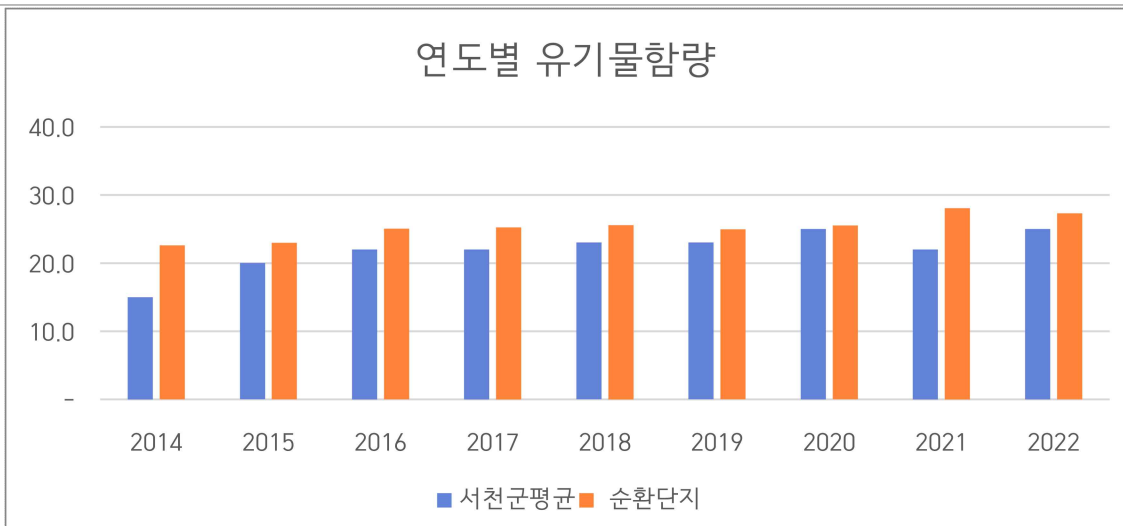


그림113 경축순환농업에 의한 토양의 연도별 유기물 함량(서천군, 기산자원순환농업단지)

나) 서천지역 기산자원순환농업단지 조사료와 화학비료 살포 조사료의 품질 비교

표308 서천지역 기산자원순환농업단지 조사농가의 사료가치 분석 결과

구분	수분	NDF	ADF	조단백	조회분	RFV	TDN	
A	1	31.42	60.48	39.38	7.29	7.36	90.16	57.79
	2	29.28	59.83	40.17	7.42	6.69	90.25	57.17
	3	31.41	59.23	39.11	7.77	7.49	92.11	58.00
	평균	30.70	59.85	39.55	7.49	7.18	90.84	57.65
B	1	64.25	58.33	37.36	9.4	9.34	96.08	59.39
	2	63.54	59.58	38.98	9.64	8.65	91.29	58.11
	3	63.63	60.44	39.4	9.41	9.35	90.45	57.77
	평균	63.81	59.45	38.58	9.48	9.11	92.61	58.42
C	1	34.84	56.08	36.61	5.42	6.98	99.45	59.98
	2	37.52	60.64	39.67	5.88	6.32	89.04	57.56
	3	39.31	58.52	37.51	8.17	7.787	95.64	59.27
	평균	37.22	58.41	37.93	6.49	7.03	94.71	58.94
D	1	48.76	62.42	40.24	9.25	9.42	86.76	57.11
	2	45.47	59.11	38.39	10.05	9.93	93.61	58.57
	3	49.61	61.19	39.19	8.97	9.27	89.43	57.94
	평균	47.95	60.91	39.27	9.42	9.54	89.93	57.87
농가전체 평균		44.92	59.65	38.83	8.22	8.22	92.02	58.22

○ 서천지역 기산자원순환농업단지 생산 조사료(IRG) 성분분석

- 1년차(2021년) 농가별 시료 4점 분석 결과, B농가의 경우 수분이 63.8%로 사일리지 형태이며, 나머지 농가는 수분이 30~48%인 헤일리지 형태로 나타남. 조단백질 함량은 전체적으로 다소 낮은 6.49~9.42로 나타났으며, 상대적 사료가치도 다소 낮게 나타나, 출수기 이후에 수확제조한 것으로 사료됨
 - A농가 : 수분 30.7%, 조단백질 7.49%로 낮은 조단백질 함량을 보이며 상대적 사료가치는 90.84로 다소 낮게 나타남
 - B농가 : 수분 63.8%, 조단백질 9.48%로 타농가에 비해 다소 높은 조단백질 함량을 보이며 상대적 사료가치는 92.61로 나타남
 - C농가 : 수분 37.2%, 조단백질 6.49%로 낮은 조단백질 함량을 보이며 상대적 사료가치는 94.71로 나타남
 - D농가 : 수분 47.9%, 조단백질 9.42%로 타농가에 비해 다소 높은 조단백질 함량을 보이며 상대적 사료가치는 89.93으로 타 농가에 비해 낮게 나타남
- 전국 IRG 수분함량 및 조단백질 함량은 각각 35.17%, 9.35%로, 서천 농가의 시료분석 품질검사 결과, IRG 수분함량 및 조단백질 함량은 각각 44.92%, 8.22%로 조사되어 전국 평균에 비해 높은 수분 함량과 낮은 조단백질 함량을 보임

표309 전국 지역별 품질평가 분석 결과

지역	시료수	수분 (%)	조단백질 (%)	품질 등급
경기	318	40.08	8.35	미발효등급㉔
강원	351	55.68	8.67	발효등급㉕
충북	92	42.44	8.89	발효등급㉖
충남	174	33.31	8.50	미발효등급㉔
전북	3,075	31.95	9.18	미발효등급㉔
전남	1,346	29.27	10.17	미발효등급㉔
경북	507	33.83	9.86	미발효등급㉔
경남	166	33.80	10.24	미발효등급㉔
광주시	25	23.23	7.41	등위
인천시	20	8.66	8.93	등위
대전시	26	24.00	9.90	미발효등급㉔
제주	35	28.08	9.96	미발효등급㉔
전국 계/평균	6,135	35.17	9.35	미발효등급㉔

주 : 2021년 농식품부, 농촌진흥청 내부자료 참고

표310 서천기산자원순환농업단지 농가의 IRG 및 TMR 시료별 사료가치 분석 결과

구분	건물(%)	조단백질(%)	NDF(%)	ADF(%)	RFV	TDN	
A	1	67.3	8.3	57.0	34.8	100.9	61.4
	2	69.3	7.8	51.8	30.0	117.8	65.2
	평균	68.3	8.1	54.4	32.4	109.3	63.3
B	1	72.3	13.7	41.6	22.6	159.3	71.0
	2	68.0	15.1	36.1	19.3	190.3	73.7
	평균	70.2	14.4	38.9	21.0	174.8	72.3

TDN=88.9-(0.79*ADF(%))

RFV = (DMD × DMI) / 1.29, DMD = 88.9 - [ADF(%) × 0.779]. DMI = 120 / NDF(%)

- 농가의 IRG와 TMR 시료를 수집하여 사료가치를 분석한 결과, (A시료) IRG의 건물함량이 68.3%로 헤일리지 수준이었으며, (B시료) IRG위주의 TMR 사료로 건물함량 70.2% 이었음. A시료의 조단백질은 7.8~8.3%(평균 8.1%)로 다소 낮은 함량을 나타내고 있어 출수기 이후에 수확된 것으로 판단된다. B시료(육성우TMR사료)는 조단백질이 15.1%, 비육기 TMR사료는 13.7%로 두 시료 모두 양호한 수준이었음.

다) 소단위 경축순환형 조사료 품질 기준안 도출

○ 경축순환에 알맞은 답리작 조사료

- 이탈리아 라이그라스의 품종 선택

- 국내에 보급되고 있는 이탈리아 라이그라스의 품종은 아래 표에서와 같이 수십 가지가 있음. 물론 국내 재배 적응성 시험을 통과한 장려품종들 이지만 외국에서 수입되는 품종도 있고 국내에서 개발되어 외국에서 증식하여 도입되는 국내 품종들도 있음

표311 국내외 이탈리아 라이그라스의 품종

국내 개발 품종						외국 수입 품종	
구분	품종명	출수기 (월/일)	수확시기	내한성	비고	구분	품종명
극조생종 (2품종)	그린팜	4/25	4월 하순	중강	종자보급 중 종자보급 중	조생종 (5품종)	플로리다80, 플로리다90, 타치와세, 그레이저, 다찌무사
	그린팜2호	4/28	5월 초	중강			
조생종 (3품종)	코스피드	5/3	5월 상순	강	종자보급 중		중생종 (2품종)
	코그린	5/5	5월 상순	강	종자보급 중		
	코윈어리	5/6	5월 상순	매우강	종자보급 중		
중생종	코윈마스터	5/13	5월 중순	강	종자보급 중	만생종 (14품종)	마샬, 골도, 테트론, 토스카, 테트라플로룸, 바물트라, 발티시모, 콤비타, 베티나, 씨캠, 월로, 달리타
만생종 (5품종)	화산101호	5/21	5월 하순	강	종자보급 중		
	화산104호	5/21	5월 하순	강	종자보급 중		
	코위너	5/19	5월 하순	중강	종자보급 중		

- 위 표에서 보는 바와 같이 조생종 중·만생종으로 구분하여 외국에서 도입되는 품종(22종)들과 국내에서 육성되어 보급되고 있는 품종(11종)이 있음. 여기에서 주목할 것은 외국 품종들에 비하여 국내육성 품종들이 겨울에 얼어 죽지 않고 견디는 내한성이 강하다는 것임. 따라서 우리나라에서는 남부지역을 제외하고는 내한성이 강한 코윈어리 품종의 보급이 권장되고 또 실제로도 제일 많이 보급되고 있는 품종 중의 하나임. 국내육성 품종들은 생육특성이 우수할 뿐만 아니라 수량성도 높아 재배농가의 수요가 증가하고 있음.

- 국내외 보급품종의 수량특성

- 이탈리아 라이그라스의 수량성은 조생종 보다는 중·만생종 품종들이 수량이 많으며 사료 가치도 높은 것이 일반적임. 논에서 경축순환농업에 적합한 품종은 조생종으로 우리나라에 가장 많이 보급되고 있는 플로리다 80의 수량과 재배농가에서 선호도가 가장 높은 코윈어리를 비교하여야함. 건물수량으로 비교할 때 외국품종인 플로리다 80은 ha당 8.2톤이고 같은 조생종이지만 국내육성 품종인 코윈어리 품종은 9.6톤임. 똑같은 재배 방법으로 재배관리를 했을 때 단순한 품종선택으로 만 수량이 1.4톤 차이가 나고 이것을 원형곤포 사일리지로 환산한다면 무려 6.3롤/ha의 차이가 나타남.

표312 국내외 보급품종의 생초 및 건물수량

숙기	품종명	생초수량(톤/ha)	건물수량(톤/ha)
극조생	그린팜	34.8	7.0
	내한27호	31.2	6.2
조생	코원어리	48.2	9.6
	코그린	45.7	9.0
	코스피드	43.6	8.6
	플로리다80(외국품종)	41.7	8.2
중생	코원마스터	52.8	10.3
	플로리다90(외국품종)	40.4	7.9
만생	화산101호	52.7	10.4
	화산104호	54.6	10.7
	화산106호	54.7	10.6
	테트라골드(외국품종)	38.6	7.5

- 이와 같이 품종 선택에 따라 월동의 우수성은 물론이고 건물수량도 달라지므로 이탈리아 라이그라스 재배농가라면 누구나 이와 같은 내용을 이해하고 품종선택부터 올바르게 해야 함

○ 이탈리아 라이그라스 다수확재배의 전제조건

- 파종시기 및 월동 전 관리

- 이탈리아 라이그라스의 파종 시기는 월동 후 입모율을 결정하는 중요한 요인이 된다. 따라서 적기에 파종하는 것이 매우 중요하며 답리작으로 파종할 때는 지역별로 벼를 수확하는 시기가 다르기 때문에 파종 일을 결정하기가 어려움. 중부지역은 10월 5일 전후 하여 파종하고 남부지역은 10월15일 전후로 파종하는 것이 알맞다고 할 수 있음.
- 중부지역에서는 파종시기가 되어도 벼를 수확하지 못하기 때문에 벼가 있는 상태에서 종자를 파종하는 입모 중 파종이란 것을 시도하고 있으며 최근에는 무인 헬기나 드론으로 파종하는 경우도 많음. 중요한 것은 언제 하는 것이 적정한가이다. 입모 중으로 파종한다면 벼를 수확하기 20일 전에 파종하는 것이 적합하다고 할 수 있음



① 파종 (미스트기) ② 종자발아상태 ③벼 수확 (콤바인) ④ 벃짚수거 (집조) ⑤ 입모중 정착

그림114 입모 중 파종 과정 및 벃짚 제거

- ①과 같이 입모 중 파종은 벼를 수확하기 전에 파종을 하고 ②와 같이 종자가 발아된 상태에서 벼를 수확하고 벃짚을 수거해 주는 것인데 벃짚수거는 빠를수록 좋고 ⑤벃짚수거가 완료된 후에는 대부분의 농가들이 그대로 월동에 들어가는데 여기서 문제가 많이 생겨 생산력이 저하되는 원인이 됨.

- ⑤땃짚수거가 완료된 상태에서 월동 전에 반드시 해야 되는 작업들이 있음. 우선 배수로 를 설치하고 월동 전 비료를 살포한 다음 꼭 진압을 해 주어야 함. 이와 같은 절차를 무시하면 월동 후 입모율이 낮아져 수량이 대폭으로 감소하게 됨. 배수로 설치를 생략하면 겨울동안에 눈이 와서 녹을 때 배수가 안 돼 물이 고여 있어 이탈리아 라이그라스 뿌리가 상하게 되어 죽게 됨. 또한 비료를 주어야 하며 가을에는 요소(질소)비료는 적게 인산, 칼 리비료는 충분히 주어야 함. 질소비료를 많이 주면 도장하여 월동성이 약해짐. 시비량은 다음과 같음.

- 가을(기비) : 요소-용과린-염화칼리 = 87-375-125 kg/ha
- 시비가 끝나면 반드시 진압을 해야 하며 진압은 진압기만 있으면 간단하게 할 수 있는 데 이것을 생략하면 월동이 어려워 생산량이 15%는 감소하게 됨 따라서 이탈리아 라이 그라스 재배에 있어 진압은 필수 조건임.

- 월동 후 관리

- 이탈리아 라이그라스는 월동하고 나서 가장 먼저 해야 될 작업이 진압임. 이탈리아 라 이그라스는 천근성으로 뿌리가 표면에 널리 분포하는 특성이 있어 겨울동안 서리발이 올라오면 뿌리도 따라 올라오며 월동 후 해빙과 동시에 서리발이 내리면 흠만 가라앉고 뿌리는 그대로 노출되기 십상이다. 이시기에 진압을 반드시 해 주어야 하며, 만약에 진 압을 생략한다면 뿌리가 들떠서 말라 죽거나 생육이 늦어져서 작황이 불량하게 됨. 이시 기는 지역별로 다소 차이는 있으나 해빙과 직후에 실시하면 됨. 진압이 끝나면 이른 봄 시비도 실시하는데 시비 시기는 보통 2월 하순부터 3월 초순에 실시하며 시비량은 다음 과 같음.

- 봄 (추비) : 요소-용과린-염화칼리 = 218-375-125 kg/ha

- 시비를 충분히 하지 않으면 영양생장을 충분히 하지 못하고 절간신장이 이루어져 키가 작아 수량이 감소되므로 충분한 시비를 하여 주고 만약에 가축분뇨를 사용하였다고 해 서 3요소를 적게 주어서도 안 됨.
- 특히 봄철에는 질소비료를 충분히 사용하여 도복이 되도록 주어야 함. 이탈리아 라이그 라스는 도복이 안 되면 수량이 적으며 일생에 3번 정도는 도복이 일어나야 정상적이며 도복이 되어도 땅에 닿는 부분이 썩어서 부패되는 일은 없으므로 반드시 충분한 시비가 필요함.

○ 조사료의 수확시기와 사료가치(품질)의 변화

- 대부분 사료작물이 그렇듯이 이탈리아 라이그라스는 수확시기에 따라 품질이 매우 크게 차이가 나타나므로 사료가치가 우수한 수확물을 얻으려면 예취하는 시기를 적절히 선택하 여야 함.
- 이탈리아 라이그라스 원형근포 사일리지의 우수한 품질 기준은 수분 40% 이하, RFV(상대 사료가치) 110% 이상, 조단백질 12% 이상, 조회분(이물질) 7% 이하가 되어야 최고 등급 으로 사일리지 품질평가를 받을 수 있음. 이와 같은 점수를 받기 위해서는 우선 예취시기 가 매우 중요함.

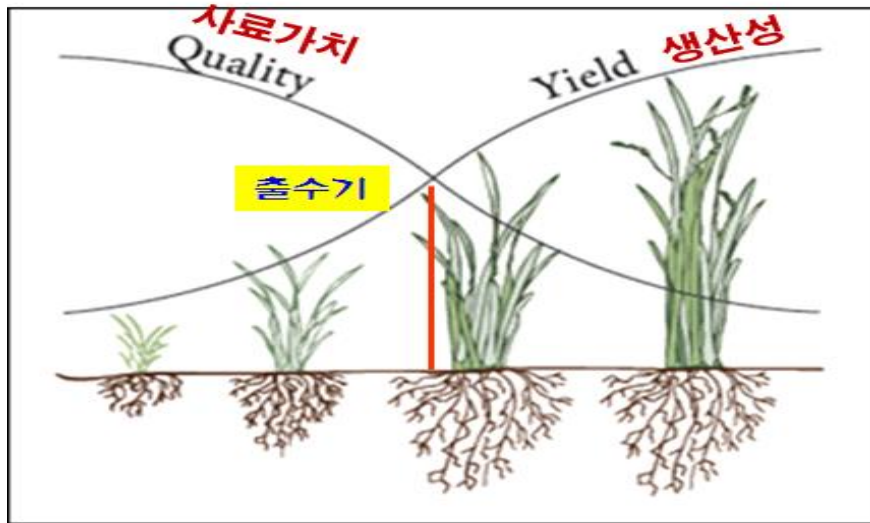


그림115 생육단계별 사료가치와 생산성 변화

- 그림에서 보는 바와같이 이탈리아 라이그라스가 어릴 때는 사료가치가 높고 생육이 진전되어 출수기를 지나면서 부터 수량이 많아지고 품질은 낮아지게 됨. 따라서 사료가치 선과 생산성 선이 교차하는 출수기를 기준으로 출수기보다 일찍 예취를 하면 수량은 낮고 품질은 높으며 반대로 출수기보다 늦게 예취하면 생산성은 높아지지만 사료가치는 낮아짐.
- 수확시기가 많이 늦어져 종실이 생길 때 예취하면 아무리 사료가치가 좋은 이탈리아 라이그라스라 해도 볏짚보다 낮은 사료가치를 나타내는 경우도 많으므로 예취 시기는 품질을 좌우하는 기준임. 예취 후에는 충분히 건조를 하여 수분이 40% 이하가 되도록 건조해 주어야 우수한 사일리지로 평가 받을 수 있음. 특히 건조 과정에서 비를 맞으면 사료가치가 낮아지게 되고 건조 일수가 길어지면 길어질수록 품질도 낮아지게 되는 것이 일반적임.
- 또한 곤포를 형성한 다음 빠른 시간 내에 비닐 랩핑을 해 주어야 하며 늦어지면 사일리지 품질이 나빠짐. 곤포를 형성하는 과정에서 집초 작업을 하게 되는데 이물질(흙 등)이 혼입되는 것에 주의를 해야 하며, 작업을 빨리하려고 서두르게 되면 흙이 들어가 곰팡이가 발생하는 등 품질에 매우 나쁜 영향을 초래하게 됨.

표313 곤포사일리지 비닐 색깔과 품질등급

처리	조단백질(%)	ADF(%)	NDF(%)	건물소화율(%)	TDN	PH	품질등급
백색	10.0	39.9	59.5	59.0	57.1	4.87	3.0
흑색	11.2	38.5	57.9	59.6	58.5	4.91	3.0
연녹색	10.9	38.6	57.8	59.8	58.4	4.93	3.0

- 위의 표와 같이 랩핑을 할 때 비닐 색깔은 사일리지 품질에 영향을 미치지 않지만 아래의 표에서 보는 바와 같이 랩핑하는 회전수는 많은 영향을 미치므로 6개월 정도 보관한다면 6겹(36회전)이상 충분히 감아주어야 하며 10개월 이상 장기로 보관한다면 8겹 이상 감아주어야 함.

표314 곤포사일리지 비닐 겹수와 품질의 변화

저장기간	비닐겹수	건물함량(%)	조단백질(%)	pH	유기산(% , 건물기준)			품질등급
					초산	낙산	젖산	
6개월	2	26.9	4.7	8.23	1.08	0.56	1.27	5
	4	25.8	5.0	4.63	0.59	0.30	2.00	3
	6	26.8	5.6	4.64	0.52	0.24	2.07	3
	8	27.6	7.4	4.67	0.47	0.20	2.16	3
	10	29.4	7.6	4.66	0.46	0.24	2.24	3
10개월	2	-	-	-	-	-	-	-
	4	29.0	4.3	7.17	0.96	0.79	1.03	5
	6	29.4	4.5	4.45	0.62	0.41	1.87	4
	8	26.9	5.0	4.38	0.55	0.36	2.05	3
	10	28.1	5.5	4.23	0.52	0.33	2.07	3

- 사일리지 품질의 향상과 저장기간 동안 부패방지를 위해서는 미생물 첨가제를 사용하는 것이 바람직함.
- 경축 순환농업이 성공하려면 농경지에 가축분뇨를 환원하고 재배되는 작물의 작황이 매우 중요함. 이탈리아 라이그라스의 사일리지나 건초의 품질 기준을 설정한다는 것은 본문에서 열거한 것과 같이 여러 가지 변수가 많아서 특정하여 논하기는 매우 어려우나 사일리지 품질평가의 기준은 수분 40%이하, RFV(상대사료가치) 110% 이상, 조단백질 12% 이상, 조회분(이물질) 7% 이하가 되어야 최고 등급으로 사일리지 품질평가에서 90점 이상을 받을 수 있음.
- 가축분뇨를 농경지에 환원하는 것은 단순한 재배 작물의 작황만 좋아지는 것이 아님. 국내 논의 토양비옥도는 지속적으로 낮아지는 실정임. 뽕짚을 수거하여 가축의 사료로 이용하는 등 논에서 유기물 자원의 수탈로만 이어져 왔기 때문임. 논에서 유기물함량을 비롯한 토양비옥도가 낮아지면 벼 재배 시 추락현상이 발생하여 깨씨무늬병이 생기고 이로 인하여 완전립 비율이 낮아지는 등 미질이 나빠지는 현상이 나타나므로 토양비옥도의 증진을 위해서 가축분뇨를 환원하는 경축순환 농업은 반드시 정착시켜나가야 하는 미래 지향적인 우리 농업의 당면한 과제임

라) 서천지역 기산자원순환농업단지 조사료(IRG) 생산비 조사·분석

- 연구방법 : 농가방문 설문조사(8호)
 - 서천군 IRG조사료 생산비 조사를 위해 경영체와 참여 농가 8개 농가를 대상으로 농가 방문 설문조사를 실시하였음.
 - 2년차 2022년에는 봄 가뭄 등의 피해로 재배여건이 좋지 않아 평년에 비해 생산량이 감소하는 경향을 보였음.

표315 IRG 생산 경영체의 재배면적 및 파종 수확시기

구분	재배 면적(ha)	파종 시기	수확 시기
경영체	80	9월말 ~ 10월초	5/15 ~ 6/5

- 조사료 생산비는 재배단계와 수확단계로 나누어 조사하여 ha당 및 톤당 생산비를 분석하고, 농가에서 생산·유통하는 헤일리지(수분 45% 정도)와 이를 기준으로 건물(수분 0%) 등 각각의 생산비를 계상하여 생산비를 산출하였음. 정부에서 지원하는 사일리지 제조비는 계산에 포함하지 않았음

○ 경영체 IRG 재배 작업 일정

- 파종은 9월 말에서 10월 초 드론을 이용한 입모 중 파종을 하며 경운 작업을 하지 않음. 1ha 당 임차료는 75천원 소요되며 1ha 당 50kg를 파종함. 복합비료는 200평에 25kg을 살포하며 1ha 당 임차료는 75천원 소요됨
- 경영체 참여 농가별 퇴비, 비료 살포를 실시하며 그해 작황에 따라 요소비료를 농가별로 살포함

○ 경영체 IRG 수확 작업 일정

- 5월 중순에서 6월 초순에 IRG 수확작업을 진행하며, 테더 작업과 3일정도 건조 과정을 진행하여 제품의 수분함량을 40%정도로 감소하도록 주력하고 있음. 경영체의 수확면적, 일기상황, 목표하는 수분 함량 등 여건에 따라 연도별 차이 발생는 함. 건조과정과 집초, 베일, 랩핑작업 등 수확에 총 10일이 소요됨

○ IRG 수확량

- ha당 평균 30개의 롤을 생산하며 롤 1개당 평균 400kg, 수분함량 45% 정도로 나타남
- ha당 평균 수확량은 원물 기준 12.6톤, 건물기준 7.6톤으로 나타남

표316 IRG 생산 경영체의 ha당 수확량

구분	생산 롤 수(개/ha)	롤 당 무게(kg)	수분함량(%)	수확량(톤/ha)	
				원물	건물
농가평균	30	400	44.9	12.6	7.6

○ IRG 재배 및 수확 생산비

- (종자대) 종자의 kg당 평균 단가는 3,600원이며, ha당 평균 파종량은 50kg으로, 농가평균 종자대는 ha당 평균 180천원이 소요되었음.

표317 IRG 생산 농가 재배단계 종자대

구분	종자단가(원/kg)	파종량(kg/ha)	종자대(천원/ha)
농가평균	3,600	50	180

- (비료비) 통상 기비로 가축분뇨 퇴비와 복합비료를 살포하고 추비로 요소비료가 사용되고 있으며 가축분뇨 퇴비는 비용에 포함하지 않았음. 복합비료의 kg당 평균단가는 1,300원, 시비량은 ha당 평균 200kg, ha당 평균 복합비료비는 260천원으로 계상됨. 요소비료의 kg당 평균 비료단가는 713원이며, ha당 시비량은 60kg, ha당 평균 요소비료비는 42.7천원으로 계산되어 총 비료비는 ha당 평균 302.7천원으로 나타남.



재배



건조 후 잡초



곤포사일리지



다우리 영농조합

그림116 생육단계별 사료가치와 생산성 변화

표318 IRG 생산 능가 재배단계 비료비

구분	복합비료			요소비료			비료비 (천원/ha)
	비료단가 (원/kg)	시비량 (kg/ha)	복합비료비 (천원/ha)	비료단가 (원/kg)	시비량 (kg/ha)	요소비료비 (천원/ha)	
농가평균	1,300	200	260	713	60	42.7	302.7

- (종자파종) 벼 수확 전에 벼가 있는 상태에서 드론을 활용한 입모종 파종을 실시하며 파종 비용은 1포당 20천원으로 ha당 100천원이 소요되는 것으로 조사됨
- (유류비, 경영체) 조사료 재배·수확 관련 농기계는 경영체가 운영을 하며 운영에 소요되는 유류 사용량은 ha당 평균 60.8ℓ로 조사되었고, 평균 유류단가 ℓ당 803원을 적용한 ha당 유류비는 평균 48.8천원으로 나타났으며 면세유 단가를 적용 함.

표319 IRG 생산 재배단계 유류비

구분	유류 사용량(L/ha)	단가(원/L)	유류비(천원/ha)
경영체	60.8	802	48.8

- (대농구 감가상각비, 경영체) 경영체가 보유하고 있는 트랙터가 조사료 관련 재배·수확 작업에 이용되는 비율은 40%, 부속장비 이용률은 40~60%였음. 트랙터 이외에 집초기 2대, 원형베일러 2대, 수확기 2대, 랩핑기 1대, 쟁기, 로타리, 퇴비살포기 등을 보유하고 있으며 보유 대농기구의 ha당 대농구 감가상각비는 ha당 443.9천원으로 조사·분석되었음.

표320 IRG 생산 재배단계 감가상각비

구분	재배면적 (ha)	트랙터 보유 상황		재배작업 트랙터 이용률(%)	재배작업 부속장비 이용률(%)	대농구상각비 (천원/ha)
		보유대수	HP			
경영체	80	4	130	40	40~60	443.9
		1	90			

○ (기타 생산관리비, 경영체) 생산관리비에는 고용에 따른 식대와 보험료를 계상한, 각각 ha 당 1.3천원, 75천원으로 식대와 보험료의 ha 76.3천으로 조사됨

표321 IRG 생산관리비 및 기타비용

구분	생산관리비 (천원/ha)	IRG 대농구 보험료(천원/ha)	계(천원/ha)
경영체	1.3	75.0	76.3

- (랩 비용, 경영체) 랩 비용은 ha당 290.6천원이며, 랩 1개당 평균 단가는 93,000원, 랩 1개당 평균 롤 생산 개수는 16롤로 조사되었음

표322 IRG 수확 랩 비용

구분	랩 단가(원/랩)	랩당 롤 생산 수 (롤/랩)	면적당 생산롤수 (롤/ha)	랩 비용(천원/ha)
경영체	93,000	16	30	290.6

- (망 비용, 경영체) 망 비용은 ha당 40천원이며, 망 1개당 평균 단가는 160,000원이며, 망 1개당 평균 롤 생산 개수는 200개로 조사되었음. 경영체의 ha당 랩과 망의 비용은 335.6천원으로 조사됨

표323 IRG 수확 망 비용

구분	망 단가(원/망)	망당 롤 생산 수 (롤/망)	면적당 생산 롤 수 (롤/ha)	망 비용(천원/ha)
경영체	160,000	200	30	40

- (농기계 임차료, 경영체) 농기계 임차는 집게차 임차료 1일 675천원으로 7일간 총 4,725천원이 소요되어 ha당 59.1천원으로 나타남

표324 IRG 수확 농기계 임차료

구분	농기계 (지게) 임차 수량(대)	임차일수(일)	농기계 임차 단가(원/대)	농기계 임차료(천원/ha)
경영체	1	7	675,000	59.1

- (고용노력비, 경영체) 고용노동비는 10일간 3인을 고용하여 총 6,750을 지불하여 ha당 84.4천원이 소요되는 것으로 조사됨

표325 IRG 생산 수확 고용노력비

구분	작업 일(일/80ha)	고용인원	일당노임(천원)	고용노력비(천원/ha)
경영체	10	3	225	84.4

- (자가노력비, 경영체) 자가노력비는 ha당 6.3천원이 소요되며, 대부분 IRG 재배 시 철새 방제를 위한 줄작업, 수확작업에 소요됨
- (자본용역비, 경영체) 트랙터와 부속장비 구입비에 대한 현가를 계상하여 자기 자금 투입 금액에 재배작업 이용비율을 적용한 금액을 은행 대출이율 5%를 적용함. 농기계 자본용역비는 ha당 평균 116.9천원으로 나타났으며, 자가소유 토지에 대한 용역비는 제외하여 계산함

표326 IRG 생산 경영체 자본용역비

구분	토지 자본용역비(천원)	농기계 자본용역비(천원/ha)
경영체	-	116.9천원

표327 IRG 생산재배·수확단계 총 생산비

구분	ha당 생산비(천원)	톤당 평균 생산비(천원)	건물 톤당 평균 생산비(천원)	
	평균 30롤 생산	헤일리지 (롤 당 400kg)	수분 0%	
경영비	종자비	180.0	14.2	23.6
	비료비	302.7	23.9	39.8
	파종(드론)	100.0	7.9	13.1
	유류비	48.8	3.8	6.4
	랩	290.6	22.9	38.2
	망	40.0	3.2	5.3
	농기계임차료	59.1	4.7	7.8
	대농구	443.9	35.0	58.3
	감가상각비			
	수리 유지비	66.8	5.3	8.8
	고용노동비	84.4	6.7	11.1
	기타비용	76.3	6.0	10.0
	소계	1,692.4	133.4	222.3
	자가노동비	6.3	0.5	0.8
자본용역비	116.9	9.2	15.4	
생산비	1,815.5	143.1	238.5	

○ IRG 생산 경영체의 재배·수확단계 총생산비

- (ha당 생산비) IRG의 재배단계와 수확단계를 합쳐서 소요된 ha당 경영비는 1,692천원, 생산비는 1,816천원으로 나타남
- (헤일리지 생산비) IRG의 재배단계와 수확단계를 합친 톤당(헤일리지 수분 40%) 경영비는 133.4천원, 생산비는 143.1천원으로 분석됨
- (건물 생산비) IRG의 재배단계와 수확단계를 합친 톤당(건물 수분 0%) 경영비는 222.3천원, 생산비는 238.5천원으로 분석됨

- (타지역과 비교) 타지역 일부 조사 자료와 비교한 결과, 타지역 경영체 IRG의 재배단계와 수확단계를 합친 ha당 경영비는 2,109천원, 생산비는 2,475천원으로 서천지역 경영체가 7.6% 정도 낮게 조사·분석되었으며, 주된 요인으로는 토지임차료 절감과 드론활용에 의한 임모중 파종으로 재배단계에서 비용이 절감된 것으로 추정됨
- 생산비 중 가장 높은 비율을 차지하는 것은 대농구 감가상각비이며, 다음으로는 비료비가 높게 나타나, 퇴비이용 확대에 따른 비료비 절감이 중요한 것으로 사료됨

표328 IRG 생산 농가(경영체 참여) 재배 수확단계 총 생산비

구분	ha당 생산비(천원)	톤당 평균 생산비(천원)	건물 톤당 평균 생산비(천원)	
	평균 30롤 생산	헤일리지 (롤 당 400kg)	수분 0%	
경영비	종자비	180.0	14.2	23.6
	비료비	302.7	23.9	39.8
	파종 등 드론	100.0	7.9	13.1
	기타비용	25.0	2.0	3.3
	소계	607.7	47.9	79.8
	자가노동비	3.1	0.2	0.4
생산비	610.8	48.2	80.2	

- IRG 생산 농가(경영체 참여)의 ha 당 생산비는 610.8천원, 헤일리지 생산 톤당 생산비는 48.2천원, 건물기준 생산비는 80.2천원으로 조사되어 조사료생산 경영체 참여 농가의 조사료 생산비가 낮게 분석되어 자가 조사료 확보가 생산비 절감에 유리한 것으로 나타남. 한우 사육에 있어서도 구입 조사료보다 자가 조사료 생산이 생산비 절감에 유리한 것으로 분석됨
- 유통 IRG(헤일리지)의 가격은 롤 당(400kg) 8만원('21년), kg당으로 환산한 가격은 200원 수준으로, 자가 생산(경영체 참여) IRG(헤일리지)의 kg당 생산비 48.2천원 4.1배 높은 것으로 분석됨
- '22년도 유통 IRG(헤일리지)의 가격은 13만원 수준임

○ 국내산 IRG와 수입 조사료와의 가격 비교

표329 수입 건초 소비자 가격 변화

단위: 원/kg, %

구분	'20년 평균	'21년 평균	'22년 6월	증가율('22. 6월/'20, %)
페스큐	422	423	560	33
티머시	549	571	773	41
알팔파	519	529	696	34

주: 농협경제지주, 소비자가격(kg/원) = 통관가격(US\$/톤)*환율/1,000 + 85원(물류비 45원+수수료 20원+검역비 등 20원)

나. 소단위 경축순환형 축산농가 사양관리 실태 및 우수사례 조사

1) 경축순환형 조사료 급여 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례 발굴

표330 경축순환 재배 조사료 이용 TMR 배합비

원료명	단가 (원/kg)	육성 (kg/배치)	비육전기 (kg/배치)	비육후기 (kg/배치)	번식우 (kg/배치)
보령육성우	452	450	450	450	450
대두박(콩깻묵)	758	200	300	270	
옥수수후레이크	463	370	1000	1300	
들깨묵	300	120	90		240
쌀겨(생미강)	340	300		80	110
벗짚 사일리지	100		330(1단)	330(1단)	990(3단)
연맥 목초	470	190	250		
수단글라스사일리지	100				570(1단)
이탈리안라이그라스	150	1140(2단)			
호밀사일리지	100				600(1단)
물	0	200	540	530	
비타민 첨가제 (A 200만 IU)	2450	9	2	2	6
석회석	26	24	11	12	21
소금	250	9	12	14	10
중조	750		12	12	
합계		3012	2997	3000	2997
원물가격		316	366	360	186
<영양소함량>					
수분		30	30	30	35
건물기준	TDN	73.2	76.7	81.6	62
	조단백질	17.6	17.4	16	12
	칼슘	0.9	0.5	0.5	0.7
	인	0.6	0.4	0.4	0.5



IRG 예취 및 건조



사료제조



TMR 사료 공급

그림117 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례

- 가) 소단위 경축순환 재배 조사료 및 농식품부산물 이용 경제성(‘1년차)
- 전국 경축순환형 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가의 경제성 분석
 - 강원(원주), 경기(포천, 광주시), 대전, 전북(정읍), 경남(진주), 제주 등 7개농가
- 강원 원주
 - 재배 조사료 종류 : 호밀, 수단
 - 농식품부산물 종류 : 제빵부산물, 엿밥, 비지
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표331 A농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	10,387,367	△1,077,650	△11.6
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	10,464,196	△1,077,650	△11.5
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	-
	사료비	3,271,071	2,951,424	▽319,647	▽9.8
	기타비용	921,966	925,760	△3,794	△0.4
	계(D)	8,196,061	7,880,208	▽315,853	▽3.9
소득(C-D)		1,190,485	2,583,988	△1,393,503	△117.1

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 1,077,650원(△11.6%) 증가한 10,387,367원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 319,647원(▽9.8%) 감소한 2,951,424원이었으며, 경영비는 315,853원(▽3.9%)감소한 7,880,208원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 1,393,503원(△117.1%) 증가한 2,583,988원으로 분석됨



치악산한우 영농조합(기술지원)



갑진농장(이병훈 축주)

그림118 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례(A농가)

- 경기 포천
 - 승리목장,
 - 재배 조사료 종류 : 호밀, 수단
 - 농식품부산물 종류 : 장유박, 깻묵, 제과부산물
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표332 B농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	9,460,592	△150,876	△1.6
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	9,537,421	△150,876	△1.6
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	-
	사료비	3,271,071	2,578,653	▽692,418	▽21.2
	기타비용	921,966	964,333	△42,367	△4.4
	계(D)	8,196,061	7,546,010	▽650,051	▽7.9
소득(C-D)		1,190,485	1,991,411	△800,926	△67.3

- 비육우 판매 수입은 전국평균과 비슷한 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 150,876원(△1.6%) 증가한 9,460,592원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 692,418원(▽21.2%) 감소한 2,578,653원이었으며, 사육일수는 전국평균 729일보다 증가된 763일로 두당 42,367원 증가되었음. 경영비는 650,051원(▽7.9%)감소한 7,546,010원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 800,926원(△67.3%) 증가한 1,991,411원으로 분석됨.



장유박, 깻묵 등 부산물 활용 TMR



승리농장(김승곤 축주)

그림119 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례(B농가)

○ 승리목장 현황 및 비육우 사양관리 현황 분석

○ 전반적인 농가 현황

- 자가 제조한 TMR을 급여하고 있으며, 장유박, 제과부산물 등을 활용하여 사료비를 절감
- 경험에 의한 사료배합비를 적용함으로써 거세우의 성장단계에 적합한 영양소 공급이 미진한 상황임



컨설팅 업무협의



현장 컨설팅



분석용 원료사료 채취



우사전경

○ 사양관리의 현황

- 송아지 방을 구획으로 나누어 어린송아지 사료를 섭취할 수 있도록 유도하고 있음
- 이유 전 어린 송아지사료의 에너지 단백질 다소 미비
- 이유 후 송아지 조사료와 농후사료를 분리급여 → 혼합급여 방법 제시



송아지 사료(이유 전)



송아지 사료(이유 후)



송아지방 구비



미네랄 블록 공급

○ TMR 제조 현황

- 육성기, 비육전기, 후기의 영양소 함량에 있어 육성기의 에너지함량이 높으며, 단백질은 전 사육 단계에서 부족함
- 육성기 15.0%(17% 권장), 비육전기 14.8%(16% 권장), 비육후기 14.0%(15% 권장)



TMR 제조 보관



TMR 급여



TMR 배합기



○ 다양한 농식품부산물 활용으로 사료비 절감

- 버섯폐배지, 간장박, 장유박 등 비교적 저렴한 원료사료를 구입하여 활용하고 있으나
- 전산프로그램이 아닌 경험적 방법으로 사료제조를 하여 적정영양소 공급이 부족함
- 전산수업 등 교육을 통하여 자가사료제조 기술을 습득하고, 농장한우에 적합한 영양소 조정



버섯폐배지



간장박



장유박



면실

- 경기 광주시
 - 재배 조사료 종류 : 벳짚, 연맥, 수단
 - 농식품부산물 종류 : 깻묵, 물엿, 비지, 제과부산물
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표333 C농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	10,498,606	△1,188,889	△12.8
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	10,575,435	△1,077,650	△12.7
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	-
	사료비	3,271,071	2,772,267	▽498,804	▽15.2
	기타비용	921,966	925,760	△3,794	△0.4
	계(D)	8,196,061	7,701,051	▽495,010	▽6.0
소득(C-D)		1,190,485	2,874,384	△1,683,899	△141.4

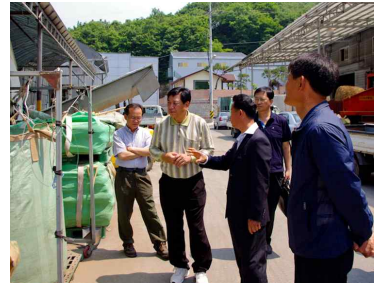
- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 1,188,889원(△12.7%) 증가한 10,498,606원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당498,804원(▽15.2%) 감소한 2,772,267원이었으며, 경영비는 495,010원(▽6.0%)감소한 7,701,051원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 1,683,899원(△141.4%) 증가한 2,874,384원으로 분석됨



부산물 활용 TMR 사료



임종선 한우농장



TMR 공장 기술지원

그림120 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례(C농가)

- 대전
 - 재배 조사료 종류 : 호밀, IRG
 - 농식품부산물 종류 : 비지, 쌀겨, 엿밥, 주정박
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표334 D농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	10,582,892	△1,273,175	△13.7
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	10,659,721	△1,273,175	△13.6
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	-
	사료비	3,271,071	2,368,630	▽902,441	▽27.6
	기타비용	921,966	887,187	▽34,779	▽3.9
	계(D)	8,196,061	7,258,841	▽937,220	▽11.4
소득(C-D)		1,190,485	3,400,880	△2,210,395	△185.7

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 1,273,175원(△13.7%) 증가한 10,582,892원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 902,441원(▽27.6%) 감소한 2,368,630원으로 참여농가 중 사료비 절감효과가 높게 나타남. 경영비는 937,220원(▽11.4%)감소한 7,258,841원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 2,210,395원(△185.7%) 증가한 3,400,880원으로 두당 판매수입 증가와 사료비 절감 효과가 높아 참여농가 중 두당 소득이 가장 높게 나타남.



농장 활용 부산물



농장 지도



농장 교육

그림121 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례(D농가)

- 전북 정읍
 - 재배 조사료 종류 : 벣짚, IRG
 - 농식품부산물 종류 : 맥주박, 버섯배지부산물
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표335 E농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	10,766,342	△1,456,625	△15.6
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	10,843,171	△1,456,625	△15.5
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	-
	사료비	3,271,071	2,883,348	▽387,723	▽11.9
	기타비용	921,966	887,187	▽34,779	▽3.9
	계(D)	8,196,061	7,773,559	▽422,502	▽5.2
소득(C-D)		1,190,485	3,069,613	△1,879,128	△157.8

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 1,456,625원(△15.6%) 증가한 10,766,342원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 387,723원(▽11.9%) 감소한 2,883,348원이었으며, 사육일수는 전국평균 729일보다 다소 감소한 702일로 두당 34,779원 감소되었음. 경영비는 422,502원(5.2%)감소한 7,773,559원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 1,879,128원(△157.8%) 증가한 3,069,613원으로 분석됨. 두당 소득은 참여농가중 2번째로 높은 수준으로 상대적으로 사료비 절감보다 판매 수입 증가가 소득증대에 높게 기여한 것으로 사료됨

- 경남 진주
 - 재배 조사료 종류 : 벳짚, IRG
 - 농식품부산물 종류 : 버섯배지부산물, 비지, 쌀겨, 깻묵
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표336 F농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	9,761,772	△452,055	△4.9
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	9,838,601	△452,055	△4.8
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	-
	사료비	3,271,071	2,639,135	▽631,973	▽19.3
	기타비용	921,966	925,760	△3,794	△0.4
	계(D)	8,196,061	7,567,919	▽628,142	▽7.7
소득(C-D)		1,190,485	2,270,682	△1,080,197	△90.7

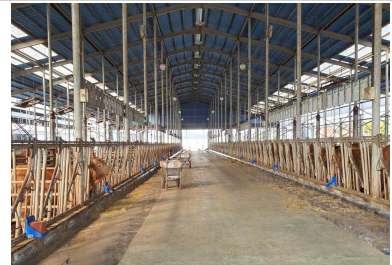
- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 452,055원(△4.9%) 증가한 9,761,772원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 631,973원(▽19.3%) 감소한 2,639,135원이었으며, 사육일수는 전국평균 729일보다 다소 증가된 732일로 두당 3,794원 증가되었음. 경영비는 628,142원(▽7.7%)감소한 7,567,919원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 1,080,197원(△90.7%) 증가한 2,270,682원으로 분석됨 .



농장주 한기웅 대표



TMR 배합기



TMR 급여

그림122 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가 사례(F농가)

- 제주
 - 재배 조사료 종류 : 호밀, IRG
 - 농식품부산물 종류 : 맥주박, 비지, 깻묵
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표337 G농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,309,717	9,761,772	△452,055	△4.9
	기타 수입	76,826	76,826	-	-
	계(C)	9,386,546	9,838,601	△452,055	△4.8
경영비	가축비	4,003,024	4,003,024	-	
	사료비	3,271,071	2,971,920	▽299,151	▽9.1
	기타비용	921,966	925,760	△3,794	△0.4
	계(D)	8,196,061	7,900,704	▽295,357	▽3.6
소득(C-D)		1,190,485	1,937,897	△747,412	△62.8

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 452,055원(△4.9%) 증가한 9,761,772원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 299,151원(▽9.1%) 감소한 2,971,920원이었으며, 사육일수는 전국평균 729일보다 다소 증가된 732일로 두당 3,794원 증가되었음. 경영비는 295,357원(▽3.6%)감소한 7,900,704원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,190,485원 보다 747,412원(△62.8%) 증가한 1,937,897원으로 분석됨

- 나) 소단위 경축순환 재배 조사료 및 농식품부산물 이용 경제성('2년차)
- 전국 경축순환형 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가의 경제성 분석
 - 경기(양주1,2), 경기(광주), 경남(진주), 서천 등 5개농가
 - 경기 양주 1
 - 재배 조사료 종류 : 호밀, 수단 (구입 조사료 : 티모시, 알팔파)
 - 농식품부산물 종류 : 장유박, 깻묵, 제과부산물
 - 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표338 H농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	10,135,229	11,084,588	△949,359	△9.4
	기타 수입	79,727	79,727	-	-
	계(C)	10,214,956	11,164,315	△949,359	△9.3
경영비	가축비	4,341,204	4,341,204	-	-
	사료비	3,483,796	3,106,517	▽377,280	▽10.8
	기타비용	965,432	965,432	-	-
	계(D)	8,790,432	8,413,153	▽377,280	▽4.3
소득(C-D)		1,424,524	2,751,162	△1,326,638	△93.1

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 높은 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 949,359원(△9.4%) 증가한 11,084,588원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 377,280원(▽10.8%) 감소한 3,106,517원이었음
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,424,524원 보다 1,326,638원(△93.1%) 증가한 2,751,162원으로 분석됨.

○ 경기 양주 2

- 구입 TMR 및 일반 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표339 I농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	10,135,229	10,392,867	△257,638	△2.5
	기타 수입	79,727	79,727	-	-
	계(C)	10,214,956	10,472,594	△257,638	△2.5
경영비	가축비	4,341,204	4,341,204	-	-
	사료비	3,483,796	3,583,598	△99,802	△2.9
	기타비용	965,432	965,432	-	-
	계(D)	8,790,432	8,890,234	△99,802	△1.1
소득(C-D)		1,424,524	1,582,361	△157,837	△11.1

- 육성기에 구입 TMR을 급여, 비육전후기에는 배합사료와 볏짚 무제한 급여
- 비육우 판매 수입은 전국평균과 비슷한 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 257,338원(△12.5%) 증가한 10,382,867원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 구입 TMR, 관행사육으로 두당 99,802원(△2.92%) 증가한 3,583,598원으로 분석되어 소득은 전국평균보다 다소 높은 157,837원 높은 것으로 분석됨

○ 경기 광주시

- 재배 조사료 종류 : 볏짚, 연맥, 수단
- 농식품부산물 종류 : 깻묵, 물엿, 비지, 제과부산물
- 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표340 J농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	10,135,229	10,751,628	△616,399	△6.1
	기타 수입	79,727	79,727	-	-
	계(C)	10,214,956	10,831,355	△616,399	△6.0
경영비	가축비	4,341,204	4,341,204	-	-
	사료비	3,483,796	3,030,206	▽453,591	▽13.0
	기타비용	965,432	965,432	-	-
	계(D)	8,790,432	8,336,842	▽453,591	▽5.2
소득(C-D)		1,424,524	2,494,514	△1,069,990	△75.1

- 비육우 판매 수입은 전국평균보다 다소 높은 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 616,399원(△6.1%) 증가한 10,751,628원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 453,591(▽13.0%) 감소한 3,303,206원이었으며, 경영비는 453,591원(▽5.2%)감소한 8,336,842원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,424,524원 보다 1,069,990원(△75.1%) 증가한 2,494,514원으로 분석됨

○ 경남 진주

- 재배 조사료 종류 : 벳짚, IRG
- 농식품부산물 종류 : 버섯배지부산물, 비지, 쌀겨, 깻묵
- 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표341 F농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(A-B)	증감(%)
조수입	비육우판매	10,135,229	11,047,653	△912,424	△9.0
	기타 수입	79,727	79,727	-	-
	계(C)	10,214,956	11,127,380	△912,424	△8.9
경영비	가축비	4,341,204	4,341,204	-	-
	사료비	3,483,796	3,030,206	▽453,591	▽13.0
	기타비용	965,432	965,432	-	-
	계(D)	8,790,432	8,336,842	▽453,591	▽5.2
소득(C-D)		1,424,524	2,270,682	△846,158	△59.4

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 육질, 육량 등급, 도체중의 증가로 두당 수입이 912,424원(△9.0%) 증가한 11,047,653원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 453,591원(▽13.0%) 감소한 3,030,206원이었으며, 경영비는 8,336,842원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,424,524원 보다 846,158원(△59.4%) 증가한 2,270,682원으로 분석됨

다) 소단위 경축순환 재배 조사료 및 농식품부산물 이용 경제성('3년차 및 3년간)

- 소단위 경축순환형 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가의 경제성 분석('3년차)
- 경기(양주1,2), 대전, 경남(진주) 등 4개농가

표342 전국 한우 비육우 생산비 비교(통계청)

구분		'21전국평균(A)	'22전국평균(A)	'23전국평균(C)	(C-B)	(C-A)
조수입	비육우판매	9,309,717	10,135,229	9,586,491	▽548,738	276,774
	기타 수입	76,826	79,727	61,175	▽18,552	▽15,651
	계(C)	9,386,546	10,214,956	9,647,666	▽567,290	261,120
경영비	가축비	4,003,024	4,341,204	3,973,198	▽368,006	▽29,826
	사료비	3,271,071	3,483,796	4,103,152	△619,356	832,081
	기타비용	921,966	965,432	1,065,112	△99,680	143,146
	계(D)	8,196,061	8,790,432	9,141,462	△351,030	945,401
소득(C-D)		1,190,485	1,424,524	506,204	▽918,320	▽684,281

주: '23년 및 '22, 21년 발간 통계청 축산물 생산비('22, '21, '20년 통계자료)

- 통계청 한우비육우 생산비 조사 결과에 따르면 '23년 한우사육 농가의 비육우 판매수입은 전국 사육두수 증가에 따른 가격하락으로 두당 10,135천원에서 9,586천원으로 549천원(5.4%)감소 하였으며, 가축비는 4,341천원에서 3,973천원으로 하락(368천원 감소)하였으나, 사료비는 우크라이나 사태 등에 의한 국제 곡물가격 상승으로 3,484천원에서 4,103천원으로 619천원 증가하여, 두당 소득은 1,425천원에서 918천원 감소한 506천원으로 나타남.

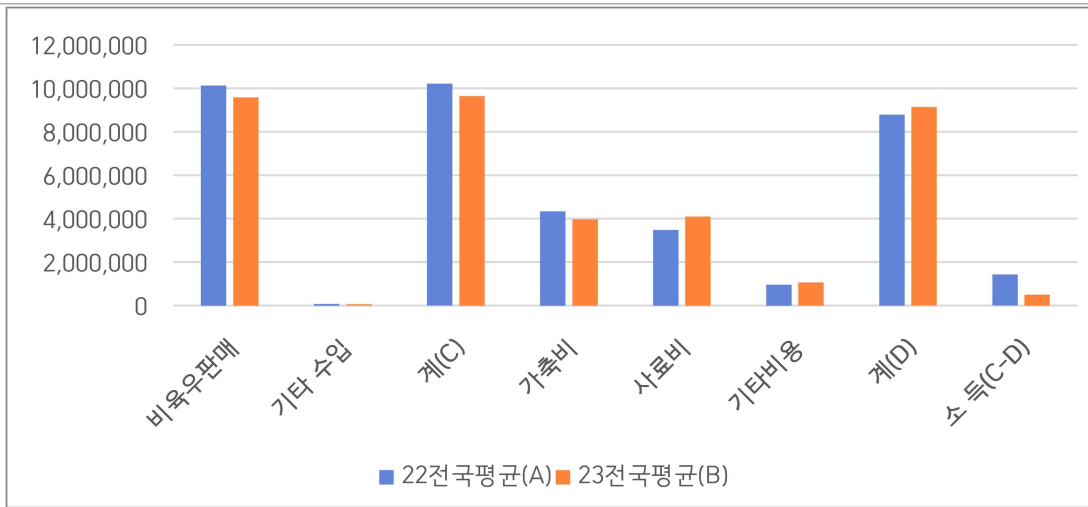


그림123 전국 한우 비육우 생산비 비교(통계청)

○ 경기 양주 1

- 재배 조사료 종류 : 호밀, 수단 (구입 조사료 : 티모시, 알팔파)
- 농식품부산물 종류 : 장유박, 깻묵, 제과부산물
- 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표343 경기 양주 1 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분	전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)	
조수입	비육우판매	9,586,491	9,632,690	△46,199	△0.5
	기타 수입	61,175	61,175	-	-
	계(C)	9,647,666	9,693,865	△46,199	△0.5
경영비	가축비	3,973,198	3,973,198	-	-
	사료비	4,103,152	3,952,800	▽150,352	▽3.7
	기타비용	1,065,112	1,065,112	-	-
	계(D)	9,141,462	8,991,110	▽150,352	▽1.6
소득(C-D)	506,204	702,755	△196,551	△38.8	

- 비육우 판매 수입은 전국평균과 비슷한 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 46,199원(△0.5%) 증가한 9,632,690원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 150,352원(▽3.7%) 감소한 3,952,800원이었음
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 506,204원 보다 196,551원(△38.8%) 증가한 702,755원으로 분석됨.

○ 경기 양주 2

- 구입 TMR 및 일반 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표344 경기 양주 2 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,586,491	9,363,676	▽222,815	▽2.3
	기타 수입	61,175	61,175	-	-
	계(C)	9,647,666	9,424,851	▽222,815	▽2.3
경영비	가축비	3,973,198	3,973,198	-	-
	사료비	4,103,152	4,418,268	△315,116	△7.7
	기타비용	1,065,112	1,065,112	-	-
	계(D)	9,141,462	9,456,578	△315,116	△3.4
소득(C-D)		506,204	-31,726	▽537,930	▽106.3

- 육성기에 구입 TMR을 급여, 비육전후기에는 배합사료와 볏짚 무제한 급여
- 비육우 판매 수입은 전국평균보다 다소 낮은 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 222,815원(▽2.3%) 감소한 9,363,676원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 구입 TMR과 관행사육으로 비육전후기에는 배합사료와 볏짚 무제한 급여로 두당 315,116원(△7.7%) 증가한 4,418,268원으로 분석되어 소득은 전국평균보다 낮은 마이너스 31,726원으로 분석되어 전국 두수증가에 따른 농가 수취가격 하락과 국제 곡물가격 상승에 의한 사료가격 상승 등의 영향을 받은 것으로 사료됨

○ 경남 진주

- 재배 조사료 종류 : 볏짚, IRG
- 농식품부산물 종류 : 버섯배지부산물, 비지, 쌀겨, 깻묵
- 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표345 경남 진주 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,586,491	9,828,538	△242,047	△2.5
	기타 수입	61,175	61,175	-	-
	계(C)	9,647,666	9,889,713	△242,047	△2.5
경영비	가축비	3,973,198	3,973,198	-	-
	사료비	4,103,152	3,714,626	▽388,527	▽9.5
	기타비용	1,065,112	1,065,112	-	-
	계(D)	9,141,462	8,752,936	▽388,527	▽4.3
소득(C-D)		506,204	1,136,777	△603,573	△124.6

- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 388,527원(▽9.5%) 감소한 3,714,626원이었으며, 경영비는 8,752,936원으로 분석됨
- 전국 두수증가에 따른 농가 수취가격 하락과 국제곡물가격 상승에 의한 사료가격 상승 등의 영향에도 불구하고 조사료생산과 자가 TMR 급여로 조수입 증가와 경영비 절감으로 두당 소득은 전국평균 506,204원 보다 603,573원(△124.6%) 증가한 1,136,777원으로 분석됨

○ 대전

- 재배 조사료 종류 : 호밀, IRG
- 농식품부산물 종류 : 비지, 쌀겨, 엿밥, 주정박
- 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표346 대전 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석

구분		전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)
조수입	비육우판매	9,586,491	9,192,556	▽393,935	▽4.1
	기타 수입	61,175	61,175	-	-
	계(C)	9,647,666	9,253,731	▽393,935	▽4.1
경영비	가축비	3,973,198	3,973,198	-	-
	사료비	4,103,152	3,317,683	▽785,469	▽19.1
	기타비용	1,065,112	1,065,112	-	-
	계(D)	9,141,462	8,355,993	▽785,469	▽8.6
소득(C-D)		506,204	897,738	△391,534	△77.3

- 비육우 판매 수입은 전국평균 보다 낮은 도체중 등으로 인한 두당 수입이 393,935원 (▽4.1%) 감소한 9,192,556원으로 나타남
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 785,469원(▽27.6%) 절감한 3,317,683원으로 참여농가 중 사료비 절감효과가 높게 나타남. 경영비는 785,469원(▽8.6%)감소한 8,355,993원으로 분석됨
- 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 506,204원 보다 391,534원(△185.7%) 증가한 896,738원으로 두당 판매수입은 전국평균보다 4.1% 낮았으나 사료비 절감 효과가 높아 두당 소득이 77.3% 높게 나타남.

라) 경축순환형 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가의 경제성 분석 결과 고찰(3년간)

○ 경기 양주 1

- 재배 조사료 종류 : 호밀, 수단 (구입 조사료 : 티모시, 알팔파)
- 농식품부산물 종류 : 장유박, 깻묵, 제과부산물
- 자가 TMR 비육우 육질 및 사육 농가의 경제성 분석

표347 경기 양주 1 농가의 TMR 비육우 육질(3년간)

구분	'21년	'22년	23	평균
근내지방	6.5	5.6	5.9	6.0
육색	4.6	4.6	4.6	4.6
지방색	3.1	2.9	3.1	3.0
조직감	1.3	1.7	1.5	1.5
성숙도	2.4	2.2	2.8	2.5
등지방두께(mm)	15.6	12.6	14.4	14.2
등심면적(cm ²)	98.5	93.2	98.6	96.8
도체중(kg)	481.1	420.7	450.8	450.9
육량지수	60.9	62.1	61.5	61.5

- 3년간 비육우 출하두수 81두 중 1+ 등급은 34.6%, 1++ 등급은 35.8%, 1등급은 25.9%로 일반농가보다 높게 나타남.
- 근내지방은 6.0, 등지방두께는 14.2mm, 등심면적은 96.8cm², 도체중은 450.9kg를 나타냄

표348 경기 양주 1 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석(3년간)

구분	전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)	
조수입	비육우판매	9,677,146	10,358,639	△681,493	△7.0
	기타 수입	72,576	72,576	-	-
	계(C)	9,749,722	10,431,215	△681,493	△6.99
경영비	가축비	4,105,809	4,105,809	-	-
	사료비	3,619,340	3,529,659	▽89,682	▽2.5
	기타비용	984,170	984,170	-	-
	계(D)	8,709,318	8,619,638	▽89,682	▽1.0
소득(C-D)	1,040,403	1,811,578	△771,175	△74.1	

- 비육우 판매 수입은 전국평균보다 높은 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 681,493원(△7.0%) 증가한 10,358,639원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 89,682(▽2.5%) 감소한 3,529,659원이었으나 판매수입의 증가로 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,040,403원보다 771,175원(△74.1%) 증가한 1,811,578원으로 분석됨.

○ 대전

- 재배 조사료 종류 : 호밀, IRG
- 농식품부산물 종류 : 비지, 쌀겨, 엿밥, 주정박
- 자가 TMR 비육우 육질 및 사육 농가의 경제성 분석

표349 대전 농가의 TMR 비육우 육질(3년간)

구분	'21년	'22년	23	평균
근내지방	7.2	6.3	6.5	6.7
육색	4.4	4.5	4.4	4.4
지방색	3	3	2.7	2.9
조직감	1.2	1.6	1.7	1.5
성숙도	2.5	2.5	2.8	2.6
등지방두께(mm)	12.5	12.2	11.6	12.1
등심면적(cm ²)	96.2	91.3	104.3	97.3
도체중(kg)	441	428.4	462.1	443.8
육량지수	62	61.9	62.4	62.1

- 3년간 비육우 출하두수 중 1+ 등급은 26.1%, 1++ 등급은 45.7%, 1등급은 21.7%로 일반농가보다 높게 나타남.
- 근내지방은 6.7, 등지방두께는 12.1mm, 등심면적은 97.3cm², 도체중은 443.89kg를 나타내어 체중이 전국평균보다 다소 낮게 나타남

표350 대전 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석(3년간)

구분	전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)	
조수입	비육우판매	9,677,146	9,887,724	△210,578	△2.2
	기타 수입	72,576	72,576	-	-
	계(C)	9,749,722	9,960,300	△210,578	△2.2
경영비	가축비	4,105,809	4,105,809	-	-
	사료비	3,619,340	2,843,157	▽776,184	▽21.4
	기타비용	984,170	984,170	-	-
	계(D)	8,709,318	7,933,136	▽776,184	▽8.9
소득(C-D)	1,040,403	2,027,165	△986,764	△94.8	

- 비육우 판매 수입은 전국평균보다 높은 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 210,578원(△2.2%) 증가한 9,887,724원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 776,184(▽21.4%) 감소한 2,843,157원으로 사료비의 절감이 크게 나타나 두당 소득은 전국평균 1,040,403원 보다 986,764원(△94.8%) 증가한 2,027,165원으로 분석됨.

○ 경남 진주

- 재배 조사료 종류 : 벳짚, IRG
- 농식품부산물 종류 : 버섯배지부산물, 비지, 쌀겨, 깻묵
- 자가 TMR 비육우 사육 농가의 경제성 분석

표351 경남 진주 농가의 TMR 비육우 육질(3년간)

구분	'21년	'22년	23	평균
근내지방	6.7	6.8	6.5	6.7
육색	4.7	4.8	4.4	4.6
지방색	2.9	3	2.7	2.9
조직감	1.6	1.5	1.7	1.6
성숙도	2.1	2.6	2.8	2.5
등지방두께(mm)	11.9	12	11.6	11.8
등심면적(cm ²)	101.5	107	104.3	104.3
도체중(kg)	472.8	490.1	462.1	475.0
육량지수	62.1	62.2	62.4	62.2

- 3년간 출하 비육우의 1+ 등급은 34.3%, 1++ 등급은 51.0%, A등급 37.3%, B등급 50.0%, C등급 12.7%로 전국평균 보다 높은 육질, 육량 등급을 보이고 있으며, 도체중은 평균 475kg으로 높게 나타남.

표352 경남 진주 농가의 자가 TMR 비육우 사육 경제성 분석(3년간)

구분	전국평균(A)	농가(B)	(B-A)	증감(%)	
조수입	비육우판매	9,677,146	10,078,777	△401,631	△4.2
	기타 수입	72,576	72,576	-	-
	계(C)	9,749,722	10,151,353	△401,631	△4.1
경영비	가축비	4,105,809	4,105,809	-	-
	사료비	3,619,340	3,250,827	▽368,513	▽10.2
	기타비용	984,170	984,170	-	-
	계(D)	8,709,318	8,340,806	▽368,513	▽4.2
소득(C-D)	1,040,403	1,810,548	△770,145	△74.1	

- 비육우 판매 수입은 전국평균보다 높은 수준의 육질, 육량 등급으로 두당 수입이 401,631원(△4.2%) 증가한 10,078,777원으로 분석됨
- 경영비중 사료비는 자가 TMR 이용으로 두당 368,513(▽10.25%) 감소한 3,250,827원이었으며 사료비 절감과 판매수입의 증가로 조수입에서 경영비를 차감한 두당 소득은 전국평균 1,040,403원 보다 770,145원(△74.0%) 증가한 1,810,548원으로 분석됨
- 위의 3년간 전국단위 경축순환형 한우 농가를 조사분석 한 결과 일반 농가에 비해 사료비 절감과 육질 성적 향상으로 경제성이 우수한 것을 확인 할 수 있었음. 따라서 한우농가의 조사료 생산 또는 답리작 재배 농과와의 연계에 의한 조사료 및 자가TMR 사료의 급여로 경종과 축산의 경축순환형 농업의 중요성을 확인 할 수 있었음

마) 전국 조사료 및 농식품부산물 급여 한우농가의 경제성 분석 결과 및 고찰

○ 한우 거세우 사료유형별 출하개월령별 경제성 분석 및 고찰

- 기후변화로 곡창지대에서의 생산량 감소와 국제유가 상승으로 인해 국제곡물가격은 `12년 이후 최고가격을 보이고 있으며, 지속적인 가격상승과 극심한 변동이 예측됨
- COVID-19 발생 이후 우크라이나 사태로 인한 곡물수출량 감소 등으로 국제곡물가격의 상승과 국내한우 두수의 지속적인 증가로 최근 한우 경락가격의 하락 등에 대한 대비한 농식품부산물 급여 필요성 대두
- 국립축산과학원 “한우비육우 출하개월령별 출하현황 조사결과(`18~`21년 출하두수 9,604두, 134농가)” 활용 분석 결과
- 28~31개월의 출하두수가 전체의 76.3%를 차지하는 것으로 나타났으며, 29개월의 출하두수가 23.6%로 가장 많은 것으로 분석되었으며, 도체중은 출하개월의 증가에 따라 점차 증가하다가 31개월을 정점으로 하락하는 추세를 보임

표353 사료유형별 출하개월령별 도체중, 사료비, 소득 분석결과

출하 개월	관행(배합사료 위주 급여)				자가 TMR			
	출하 비중(%)	도체중 (kg)	사료비 (천원)	소득 (천원)	출하 비중(%)	도체중 (kg)	사료비 (천원)	소득 (천원)
25	1.5	426	2,854	2,856	4.1	444	2,690	5,147
26	3.2	435	3,059	3,403	5.8	434	2,816	4,041
27	7.7	448	3,145	3,660	14.2	466	2,847	5,123
28	16.8	455	3,253	3,776	21.1	471	2,956	4,949
29	23.5	459	3,374	3,461	24.7	466	3,088	4,256
30	22.2	459	3,483	3,009	17.1	474	3,173	3,961
31	14.3	464	3,609	2,954	7.4	448	3,101	3,225
32	7.1	461	3,757	2,905	3.0	461	3,107	3,295
33	2.8	460	4,039	3,015	1.2	459	2,857	2,785
34	1.0	449	4,144	2,261	11.3	422	2,995	2,062

주: 1) `18.1~`21.12 까지의 출하두수를 기반으로 산출(134농가, 9,604두)
 2) 24개월령 이하와 35개월령 이상은 전체 분석두수 9,822두의 1% 미만이므로 제외하고 분석
 3) 자가 TMR 25개월령 또한 출하두수 34두 중 1++ 7두, 1+ 18두, 1등급 6두, 2등급 3두로 1+이상 등급 출현율이 73.5%로 나타나 성적이 좋은 한우 거세우의 조기출하로 인해 소득이 증가한 것으로 해석에 주의를 요함
 4) 가축비는 해당연도 송아지가격, 사료비는 급여체계별 사료급여량과 단가로 계산하였으며, 이외 비용은 통계청의 축산물생산비를 이용함

- 사료유형 및 출하개월령별 분석 결과, 관행(배합사료위주 급여농가) 농가는 출하개월 29개월, 도체중 31개월, 소득 28개월령에서 가장 높았음. 자가 TMR 급여농가는 관행 농가에 비해 도체중과 소득이 각각 1개월씩 앞당겨진 것으로 분석됨(도체중 30개월 474kg, 소득 27개월 5,123천원)
 - 사료비는 모든 개월령에서 배합사료위주로 급여하는 관행농가가 자가 TMR 급여농가보다 높게 나타남
 - 자가 TMR 급여농가의 25개월의 소득이 가장 높은 것으로 나타나고 있지만, 이는 일부 성적이 좋은 한우 거세우의 조기출하로 인한 영향으로 판단됨(1+이상 등급 출현율 73.5%)

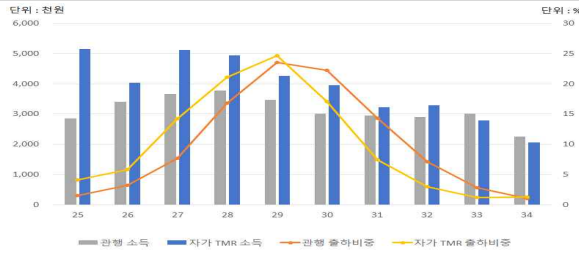


그림124 사료유형별 출하개월령별 출하비중 및 소득 현황

- 사료유형별 출하개월령별 등급출현율을 살펴보면 1++ 출현율은 자가 TMR(28개월, 47%), 관행 및 전체(31개월, 34%) 순으로 나타났으며, 전체두수를 분석한 결과 1+이상 출현율은 27~30개월이 높게나타남. 관행농가와 자가 TMR 급여농가 또한 비슷한 경향을 보이 나, 30개월 출현율이 가장 높은 것으로 분석됨
- 육량 A 등급 출현율은 전체 26개월 30.8%, 관행 27개월 22.9%, 자가 TMR 28개월 35.4% 순으로 출현율이 높은 것으로 분석되었으나, 동일 개월령에서는 자가 TMR 급여농가가 더 높은 것으로 나타남

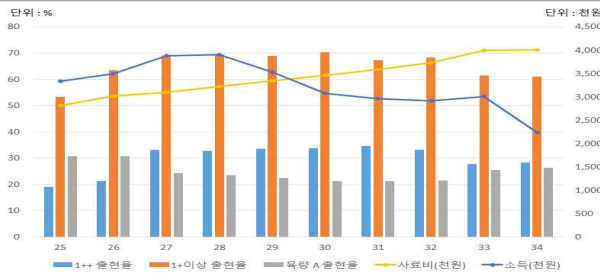


그림125 출하개월령별 출현율, 사료비, 소득 현황

- 국립축산과학원 “한우비육우 출하개월령별 출하현황 조사결과(‘18~’21년) 출하두수 9,604 두, 134농가” 활용 분석 결과와 소단위 경축순환형 한우농가의 우수사례 조사 결과를 비교해 보면, 자가 조사료생산에 의한 자가 TMR사료 급여가 관행 농가보다 사료비 절감, 육질등급·육량등급에서 우의를 나타내 두당 소득이 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었음.
- 국내의 조사료 생산을 통한 축산농가와 의 경축순환 농업을 활성화하기 위해서는 담리작을 활용한 동계 사료작물의 재배 확대와 건조 등의 연중 조사료 제공으로 수입 조사료를 대체 할 수 있는 안정적 생산 공급 시스템 구축이 필요하며 또한 농식품부산물 활용 시스템 구축으로 경축순환에 의한 한우(낙농) 농가의 소득향상과 경쟁력 제고가 가능할 것임.

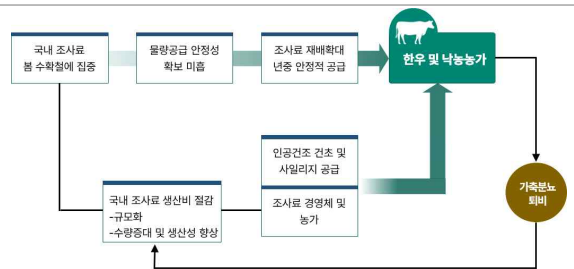


그림126 조사료 생산 및 이용 활성화 모식도

10. 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산기술 확립

가. 선행연구

1) 돈분뇨발효액 기반 SS 5,000mg/L 이하 정제액비 생산기술 확립

○ 실험에 사용된 돈분뇨발효액 특성

- 강원 횡성군 소재 양돈농가 호기성 액비화 시설에서 생산단 돈분뇨발효액을 이용함.
- 돈분뇨발효액의 이화학적 특성은 pH 6.34, EC 9.3 mS/cm, COD_{Mn} 1,404 mg/L, TS 0.6 %, NaCl 0.13 %, T-N 1,525 mg/L, T-P 흔적, K 1,175 mg/L로 나타남.

○ 돈분뇨발효액의 전기화학반응 시간에 따른 pH, EC, Optical density(O.D.), 색도, TDS, SV₃₀의 변화

- 돈분뇨발효액에 대한 전기화학반응 적용 시 시간(0~30min)이 경과함에 따라 주요 검토 항목의 특성은 다음과 같음.
- pH는 증가(pH 6.34→10.59), EC는 감소(9.3→6.5 mS/cm)하는 경향을 나타냄.
- O.D.(380nm)는 3.16(0min)→1.70(5min)→0.98(10min)→0.74(15min)→0.68(20min)→0.68(25min)→0.63(30min)으로 처리 후 20min 이후부터 큰 차이가 발견되지 않음. 색도(육안상)의 경우도 20분 이후부터는 차이가 없었음.
- TDS는 0~20min까지 평균 5,100 mg/L로 큰변화가 없었으나 이후에는 오히려 증가하는 경향이 나타남(TDS 5,633 mg/L(25min)→6,413 mg/L(30min)).
- SV₃₀은 처리시간에 따라 점점 증가하는 경향을 보임(SV₃₀ 0 mL/L(0min)→272 mL/L(0min)).

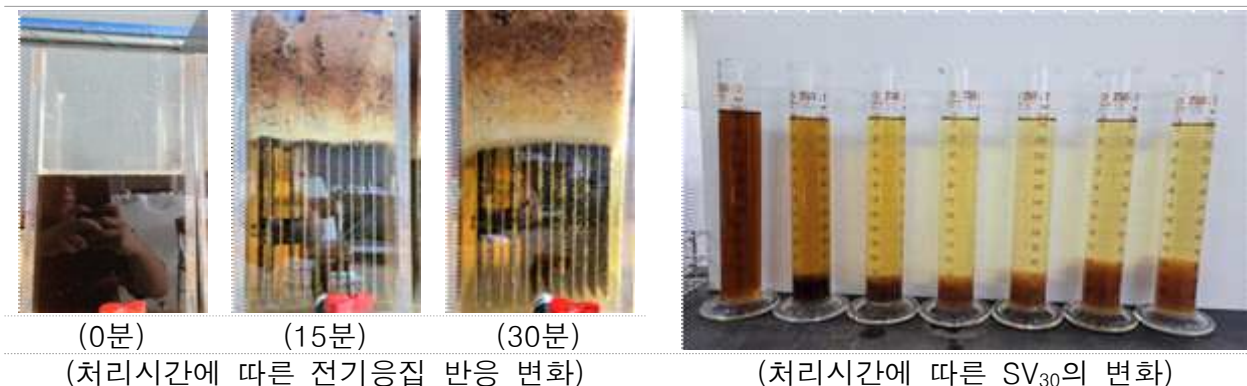


그림127 돈분뇨발효액의 전기응집반응에 따른 물리적 변화

○ 돈분뇨발효액의 전기화학반응 적용 시 적정 반응시간 도출

- 돈분뇨발효액의 전기화학반응 적용 시 pH, EC, Optical density, 육안상의 색도, TDS, SV₃₀ 등을 종합적으로 판단하였을 때 15~20min으로 운영하는 것이 적정한 것으로 판단됨. 단, 이는 원료의 성상마다 상이할 수 있다는 것으로도 해석할 수 있음. 별도의 분석 없이 현장에서 원료의 적정 운영시간을 도출할 시에는 가동 중에 여액과 스크침의 형태를 확인하여 적정 운영시간 도출이 가능할 것으로 판단됨.

- 2) 돈분뇨발효액 기반 정제액비 이용 클로렐라 세포수 10^6 cells/mL 이상 바이오액비 생산기술 확립
- 실험에 사용된 정제액비 및 정제액비의 pH 조절, 클로렐라 균주 특성
 - 돈분뇨발효액을 전기화학반응 처리 후 생산되는 분리여과액을 정제액비로 이용함.
 - 정제액비에 인산(H_3PO_4), 아인산(H_3PO_3), 염산(HCl)을 첨가하여 pH를 6.8~7.2로 조절하여 클로렐라 배양 배지로 이용함.
 - 클로렐라 균주는 원주시 농업기술센터에서 공급받은 *Chlorella fusca*를 이용함. 배양배지는 정제액비(배지)를 이용하였으며 클로렐라 10^7 cell/mL를 10L 배양조에 1%(0.1L) 접종한 후 7일간 배양함.
 - 산도처리 및 정제액비(배지)로 배양된 클로렐라 배양액의 시간에 따른(0~7day) Optical density(O.D.), Chlorophyll a, 세포수, 건조균체량의 변화
 - O.D.(660nm)는 배양 7일차 기준으로 염산첨가 배양액이 0.25로 가장 낮았으며, 아인산첨가 배양액 0.46, 인산첨가 배양액 0.55로 나타났으며 인산첨가 배양액이 가장 높은 수치를 보임.
 - Chlorophyll a는 배양 7일차 기준으로 염산첨가 배지액의 경우 0.03mg/m^3 로 가장 낮았으며, 아인산첨가 배양액은 0.11mg/m^3 , 인산첨가 배양액은 0.13mg/m^3 로 나타남.
 - 클로렐라 세포수는 배양 7일차 기준으로 염산첨가 배양지의 세포수가 9.8×10^5 cells/mL로 가장 낮았으며, 아인산첨가 배양액은 5.1×10^6 cells/mL로 인산첨가 배양액 5.1×10^6 cells/mL와 동일한 수치를 나타냄.
 - 클로렐라 건조균체량은 배양 7일차 기준으로 염산첨가 배양액이 1.5mg로 가장 낮았으며, 아인산첨가 배양액은 3.9mg으로 인산첨가 배지의 3.9mg과 동일한 수치를 보임.

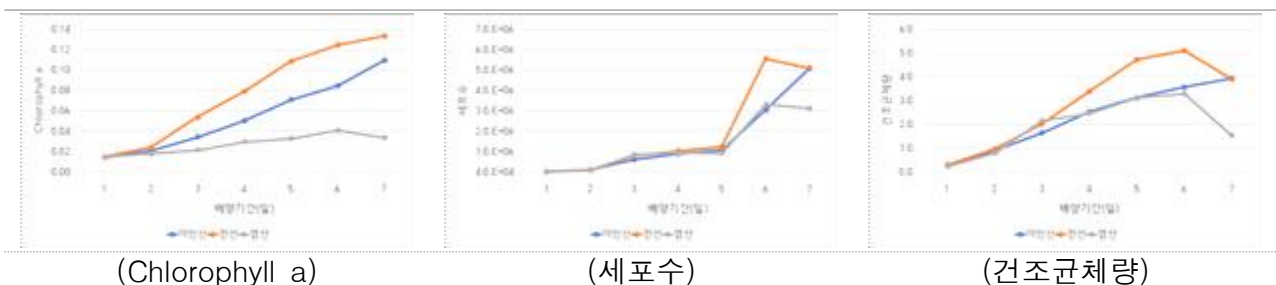


그림128 산도처리에 따른 정제액비의 클로렐라 배양 배지 이용 특성

- 3) 혐기소화액 기반 SS 5,000mg/L 이하 정제액비 생산기술 확립
- 실험에 사용된 혐기소화액 특성
 - 강원 횡성군 소재 축산폐수처리장의 분뇨를 이용하여 50~55°C의 온도로 40일간 혐기소화처리 후 생산된 부산물인 혐기소화액을 3일간 고온호기산화 처리 후 전기응집 처리하였음.
 - 혐기소화액의 이화학적 특성은 pH 8.72, EC 9.5 mS/cm, COD_{Mn} 1,123 mg/L, TS 0.7 %, NaCl 0.14 %, T-N 862 mg/L, T-P 13, K 1,582 mg/L로 나타남.

- 혐기소화액의 전기화학반응 시간에 따른 pH, EC, Optical density(O.D.), 색도, TDS, SV₃₀의 변화
 - 돈분뇨발효액에 대한 전기화학반응 적용 시 시간(0~60min)이 경과함에 따라 주요 검토 항목의 특성은 다음과 같음.
 - pH는 증가(pH 8.72→9.84), EC는 감소(9.5→8.2 mS/cm)하는 경향을 나타냄.
 - O.D.(420nm)는 3.30(0min)→1.70(10min)→0.54(20min)→0.43(30min)→0.43(30min)→0.33(40min)→0.29(50min)→0.29(60min)으로 나타남.
 - TDS는 0~30min까지 평균 6,015 mg/L로 큰변화가 없었으나 이후에는 오히려 증가하는 경향이 나타남(TDS 5,987 mg/L(30min)→7,810 mg/L(60min)).
 - SV₃₀은 처리시간에 따라 점점 증가하는 경향을 보임(SV₃₀ 0 mL/L(0min)→904 mL/L(60min)).

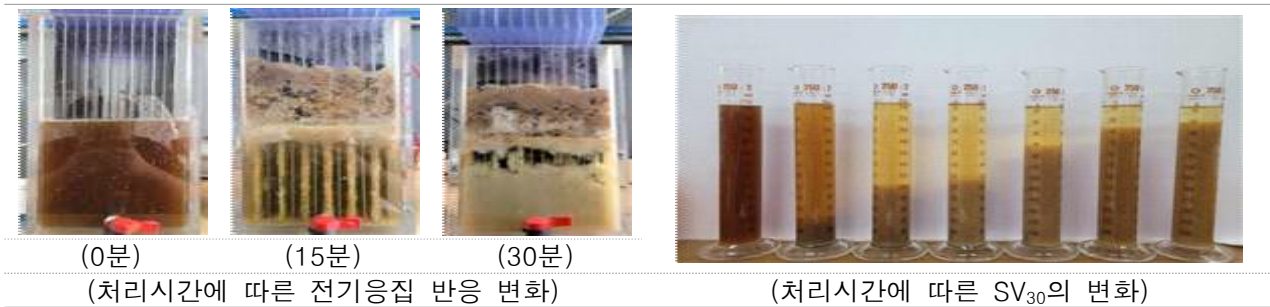


그림129 혐기소화액의 전기응집반응에 따른 물리적 변화

- 혐기소화액의 전기화학반응 적용 시 적정 반응시간 도출
 - 혐기소화액의 전기화학반응 적용 시 pH, EC, Optical density, 육안상의 색도, TDS, SV₃₀ 등을 종합적으로 판단하였을 때 20~30min으로 운영하는 것이 적정한 것으로 판단됨. 단, 이는 원료의 성상마다 상이할 수 있다는 것으로도 해석할 수 있음. 별도의 분석 없이 현장에서 원료의 적정 운영시간을 도출할 시에는 가동 중에 여액과 스크럼층의 형태를 확인하여 적정 운영시간 도출이 가능할 것으로 판단됨.

4) 혐기소화액 기반 정제액비를 이용한 바이오액비(클로렐라 세포수 10^6 cells/mL 이상) 생산기술 확립

○ 실험에 사용된 혐기소화액 기반 정제액비 및 클로렐라 균주 특성

- 혐기소화액의 전기화학반응 처리 후 생산되는 분리여과액을 정제액비를 질소기준 250mg/L로 희석하여 클로렐라 배양 배지로 이용함.
- 클로렐라 균주는 원주시 농업기술센터에서 공급받은 *Chlorella fusca*를 이용함. 배양배지는 혐기소화액 기반 정제액비(배지)를 이용하였으며 클로렐라 10^7 cell/mL를 8L 배양조에 10%(0.8L) 접종한 후 7일간 배양함.

○ 혐기소화액 기반 정제액비(배지)로 배양된 클로렐라 배양액의 시간에 따른(0~7day) Optical density(O.D.), Chlorophyll a, 세포수, 건조균체량의 변화

- O.D.(660nm)는 배양 7일차 기준으로 대조구(화학배지) 배양액이 0.63이었으며, 정제액비 배양액은 0.61로 큰 차이를 보이지 않음.
- Chlorophyll a는 배양 7일차 기준으로 대조구(화학배지) 배양액이 0.16mg/m^3 이었으며, 정제액비 배양액은 0.15mg/m^3 로 큰 차이를 보이지 않음.
- 클로렐라 세포수는 배양 7일차 기준으로 대조구(화학배지) 배양액의 세포수가 1.5×10^7 cells/mL이었으며, 정제액비 배양액은 1.3×10^7 cells/mL로 큰 차이를 보이지 않음.
- 클로렐라 건조균체량은 배양 7일차 기준으로 조구(화학배지) 배양액이 6.2mg이었으며, 정제액비 배양액은 5.6mg으로 다소 낮게 나타남.

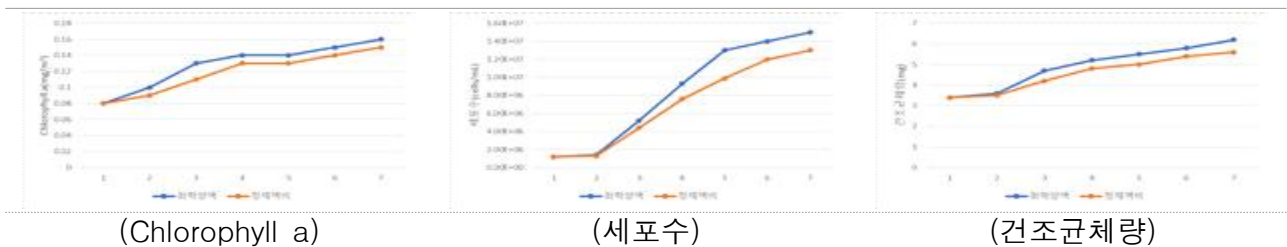


그림130 혐기소화액 기반 정제액비의 클로렐라 배양 배지 이용 특성

나. Pilot-Scale 정제액비 및 바이오액비 생산시설 구축 및 가동

1) Pilot-Scale 정제액비 생산시설 구축

- Pilot-Scale 전기화학반응기는 Lab-Scale 전기화학반응기와 다르게 연속식으로 제작하여 Lab-Scale 전기화학반응기에서 도출한 적정 반응시간을 HRT로 변경하여 원료의 유입 유량, 반응조의 용량 등을 계산하여 제작하였음.
- 스크제거장치는 부속 설비의 유지보수가 용이하도록 스크래퍼 대신 링브로워를 이용하여 공기를 이용하여 스크를 밀어내 제거하는 방식을 채택함.
- 전극은 원료가 흐를 수 있도록 홀을 가공하여 타공형으로 제작함.
- 유출수 밸브는 유출수의 상태를 체크하면서 채취할 수 있도록 텔레스코프밸브를 이용함.
- 유출수 내에 포함된 잔류고형물을 걸러주기 위해 멤브레인하우징필터를 이용함.

표354 정제액비 생산용 전기화학반응기 설비별 사항

구분	명칭	사항
반응조	재질	PVC
	규격	L 2000mm * W 226mm * H 400mm
유출수탱크	재질	PVC
	규격	L 200mm * W 200mm * H 200mm
스크럼탱크	재질	PVC
	규격	L 226mm * W 174mm * H 400mm
스크럼제거장치	링브로워	1.5m ³ /min * 1,000mmAq * 0.75kw
	배관	40A
전원공급장치	전원공급장치	직류형, 가변형(0~30V, 0~30A)
	전선	4sq
타공형 전극	음(-)극	STS304
	양(+)극	Al1060
	규격	L 200mm * W 2mm * H 450mm
펌프	펌프	3L/min
	배관	6mm
멤브레인하우징필터	필터	0.1μm
	케이스	10inch
	배관	6mm



(반응조)



(유출수탱크)



(스컴탱크)



(스컴제거장치)



(전원공급장치)



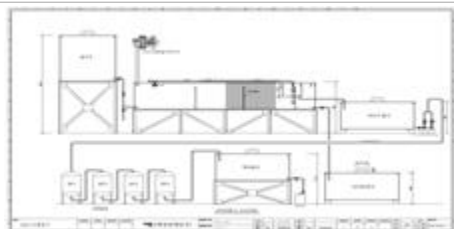
(타공형 전극)



(펌프)



(멤브레인하우징필터)



(도면)

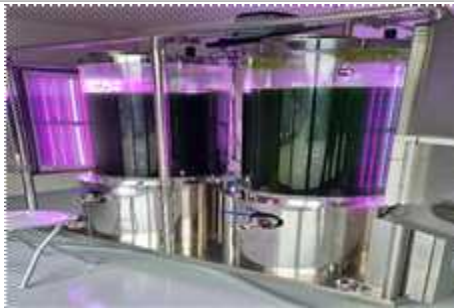


(전경)

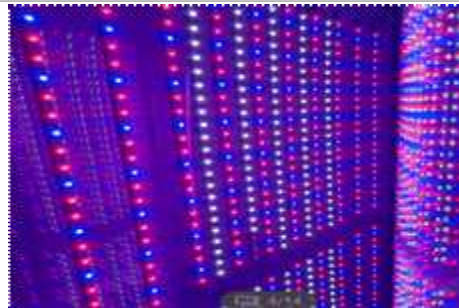
그림131 전기화학반응기 세부 설비

2) Pilot-Scale 바이오액비 생산시설 구축

- 복수의 배양조를 이용하여 소용량부터 대용량까지 다단 배양할 수 있음.
 - 전용 LED를 사용하여 미세조류 배양에 효과적임.
 - 세척 기능을 탑재하여 배양 가능하며, 기기 유지 관리에 용이함.



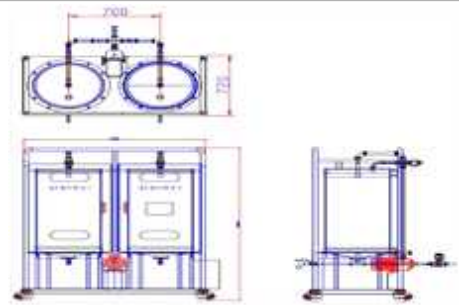
(배양조)



(광원)



(공기공급장치)



(도면)

그림132 바이오액비 생산용 클로렐라 배양기 세부 설비

표355 바이오액비 생산용 클로렐라 배양기 설비별 사항

구분	명칭	사항
배양조	재질	알루미늄, 유리(특수처리)
	총용량	200L * 2조
광원	재질	LED
	파장	450nm, 660nm, 10,000K
공기공급장치	펌프	2.5HP
청수공급장치	하우징필터케이스	10inch
	멤브레인하우징필터	5 μ m, 1 μ m
	배관	15A

3) Pilot-Scale 클로렐라 배양을 위한 정제액비 생산

- 선행연구의 결과를 토대로 횡성군 E양돈농가의 돈분뇨발효액을 이용하여 Pilot-Scale 정제액비 생산시설을 가동함.
- 가동방법
 - 150L 반응조 전체에 돈분뇨발효액을 주입함.
 - 주입완료 후 유입 및 유출구 차단하여 Batch Type으로 15분 가동함.
 - 15분 가동 후 유입 및 유출구를 개방하여 분당 10L의 유량으로 돈분뇨발효액을 주입하며 연속식으로 가동함.(생산된 액상물 및 스킴의 상태를 확인하여 유량 조절 필요)

4) Pilot-Scale 바이오액비 생산을 위한 클로렐라 배양

○ 선행연구의 결과를 토대로 돈분뇨발효액 기반 정제액비를 이용하여 Pilot-Scale 클로렐라 배양기를 가동함.

○ 가동방법

- 가동부피 200L에 종균(10^7 cell/mL, *Chlorella fusca*) 20L + 질소기준 250 ± 50 mg/L로 희석한 정제액비 180L를 주입 함.
- $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 온도에서 분당 3L의 공기를 주입하며, LED를 이용하여 24시간 명반응으로 일주일간 배양함.
- 배양완료 후 종균 20L를 제외한 나머지를 수확하여, 산업용 원심분리기를 이용하여 액상과 고상을 분리함.

5) 클로렐라 배양액의 농축/분리

○ 배양된 바이오액비 클로렐라의 액상과 고상의 분리를 위해 원심분리기를 사용하였음.

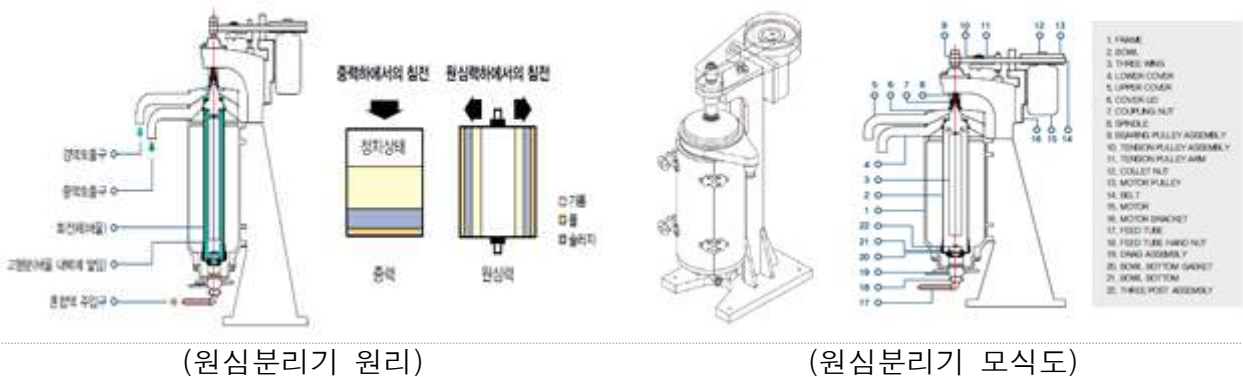


그림133 클로렐라 배양액의 농축/분리를 위한 원심분리기 특성

6) Pilot-Scale 정제액비 및 바이오액비(클로렐라 여과액)의 생산

○ 상기 일련의 생산과정을 통하여 Pilot-Scale 정제액비 및 바이오액비를 생산함.

- 돈분뇨발효액 기반 정제액비 생산
- 정제액비를 배지로 이용한 클로렐라 배양액 생산
- 클로렐라 배양액을 분리/농축 후 바이오액비(클로렐라 여과액) 생산
- 클로렐라 배양액을 분리/농축 후 바이오고형원료(클로렐라 분리농축고형물) 생산



그림134 Pilot-Scale 정제액비, 바이오액비(클로렐라 여과액), 바이오고형원료의 생산

표356 원심분리 전후 클로렐라 배양액의 분리량

차수	원심분리 운전조건	원심분리 전 클로렐라 배양액	원심분리 후 클로렐라 여과액* (바이오액비)	원심분리 후 클로렐라 분리농축 고형물 (바이오고형원료)
1차	14,000rpm / 12,000G	120L	120L	355g
2차	14,000rpm / 12,000G	240L	240L	685g
3차	14,000rpm / 12,000G	200L	200L	410g
4차	14,000rpm / 12,000G	200L	200L	510g
5차	14,000rpm / 12,000G	200L	200L	440g

주: 미세한 양의 오차는 배제함

표357 Pilot-Scale 정제액비 및 바이오액비(클로렐라 여과액)의 이화학적 특성

구 분		돈분뇨발효액 기반 정제액비	바이오액비(클로렐라-여과액)
pH	[1:10]	9.38	6.59
EC[1:10]	dS/m	12.43	5.07
N	(mg/kg)	1,207.35	569.74
NH ₄ ⁺ -N	(mg/kg)	344.69	108.65
NO ₃ ⁻ -N	(mg/kg)	521.97	186.26
P	(mg/kg)	11.70	387.63
K	(mg/kg)	1,163.76	770.30
Na	(mg/kg)	517.37	577.65
Cl	(mg/kg)	1,246.01	1,800.14
NaCl	(%)	0.13	0.14
수분	(%)	99.44	99.28
TS	(mg/L)	4,684.78	7,371.86
대장균O157:H7		N.D.	N.D.
살모넬라		N.D.	N.D.
Ca	(mg/kg)	49.20	12.71
Mg	(mg/kg)	N.D.	2.02
Al	(mg/kg)	N.D.	105.34
Fe	(mg/kg)	27.12	26.12
Mo	(mg/kg)	1.18	0.11
Mn	(mg/kg)	N.D.	N.D.
SO ₄	(mg/kg)	203.44	99.33
B	(mg/kg)	5.00	5.03
유기물대질소비		1.25	2.85
유기물	(%)	0.15	0.16
As	(mg/kg)	N.D.	N.D.
Cd	(mg/kg)	N.D.	N.D.
Hg	(mg/kg)	N.D.	N.D.
Pb	(mg/kg)	N.D.	N.D.
Cr	(mg/kg)	2.26	N.D.
Cu	(mg/kg)	N.D.	N.D.
Zn	(mg/kg)	N.D.	N.D.
Ni	(mg/kg)	0.10	0.53

7) 정제액비 및 바이오액비(클로렐라 여과액)의 제품화 특성과 경제성 비교 및 사업화 전략

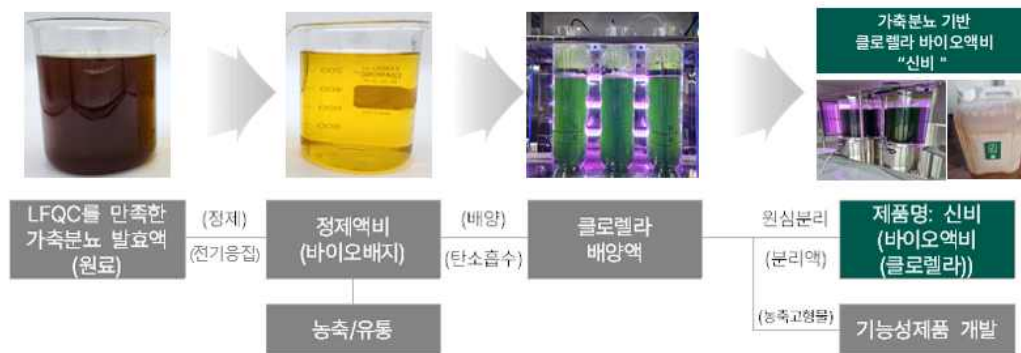
○ 개요

- LFQC(액비품질인증(안))* 기준을 만족하는 발효액을 원료로 이용하여 전기응집 공정을 거쳐 정제액비(바이오배지)로 전환한 후 클로렐라를 배양함. 이후 클로렐라 배양액을 원심분리하여 100% 탈리액을 생산하므로써 가축분뇨 발효액의 다양한 영양 성분과 클로렐라의 기능성 물질이 함유된 바이오액비(클로렐라) “신비”가 제조됨.

* Halder, J.N., Lee, M.G., Kim, S.R., and Hwang, O.H. (2022). Utilization of Thermophilic Aerobic Oxidation and Electrocoagulation to Improve Fertilizer Quality from Mixed Manure Influent. Agronomy, 12(6), 1417.

○ 제품(바이오액비(클로렐라): 신비)의 특성

- LFQC 규격을 통과한 발효액비를 정제하여 빛 투과율을 높인 후(SS 제거) 바이오배지(정제액비)로 활용하면 클로렐라, 바실러스, 광합성세균 등 다양한 유용 미생물의 생산이 가능함. 특히, 바이오배지를 이용하여 Chlorella fusca($10^6 \sim 10^7$ cell/ml)의 대량 배양·생산 및 화학배지 대체 가능성을 확보하였으며, 다양한 소재화가 기대됨.



- 01 (화학배지 대체, CCUS) 화학배지를 사용하지 않고 가축분뇨를 이용하기 때문에 환경친화적임
- 02 (높은 경제성, 기능성) 화학배지 대비 배양 원료의 비용이 거의 들지 않으며, 양질의 바이오액비(클로렐라) 생산
- 03 (품질관리 고도화) LFQC 액비품질 관리 프로세스를 운영(자체개발)
- 04 (높은 보존성) 배양액의 세포를 분리한 여과액이용으로 상품 보존성 높음

<바이오액비(클로렐라): 신비 제조 공정 및 이용 모식도>

- 기존 클로렐라 배양액 관련 제품과 본 기술과의 차이는 크게 ①화학배지를 사용하지 않고 가축분뇨를 이용하기 때문에 환경친화적이라는 것, ②화학배지 대비 배양원료의 비용의 거의 들지 않는 것, ③LFQC 액비품질 관리 프로세스를 운영하는 것, ④배양액의 세포를 분리한 여과액을 사용하기 때문에 상품의 보존성이 높다는 것 등을 들 수 있음.
- 가축분뇨 유래 바이오배지를 시판용 클로렐라 배양용 화학배지(BG11)과 비교시험 결과, 대등한 수준의 클로렐라 생육상태를 확인하였으며, 이를 이용한 작물재배 시험 시 화학양액 대비 향산화물질의 증가 경향을 확인함.

<제품(바이오액비(클로렐라): 신비)의 특성>

구분	기존 유사제품	제품명: 신비 (바이오액비(클로렐라))
배양원료	화학배지	가축분뇨 발효액
배양원료 비용	높음	낮음(무상)
환경친화성	낮음(화학원료 사용)	높음(가축분뇨 재이용·바이오소재화)
품질관리	없거나 미흡	LFQC 품질관리 프로세스
제품형태	세포 포함	세포분리 여과액
보존성	낮음(세포 부패 가능성)	높음



<가축분뇨 기반 바이오배지의 화학배지(BG11) 대체 가능성 확인>

○ 유사제품의 현황 및 경제성 비교

- 국내 클로렐라 생산 대표 업체로는 (주)클00드, (주)단00라, 한00라, 대00프 등이 있으며, 거의 모든 회사가 클로렐라 배양 배지로는 화학배지를 사용하고 있음.
- 클로렐라 배양용 시판배지의 단가는 리터당 140원~875원이며, 미세조류 배양액 시판 제품의 경우 리터당 8,000원~33,333원 수준이며, 농업기술센터의 경우 농업인에게 무상으로 지원되고 있으나 생산량이 제한적임.
- 클로렐라는 주로 *Chlorella fusca* 또는 *Chlorella Vulgaris*가 이용되고 있으며, 세포수는 $2.1 \times 10^7 \sim 9.9 \times 10^8$ cells/ml 수준임.

<시판용 클로렐라 배양 배지 가격 비교>

제품명	기관명	기술·제품 특징			비고
		판매가격	사용량	단가	
정제액비 (바이오배지)	상지대	-	-	(전기비: 10~50원/ℓ)	자원순환, 낮은 생산비, LFQC품질관리, 유효양분함유 (가축분뇨 액비 →정제액비)
BG11	기00오	255,000원/500g	1.68g/ℓ	857원/ℓ	화학배지, 고가
클00랑	(주)에00처	80,000원/ℓ	2ml/ℓ	160원/ℓ	화학배지
클00움	(주)그00로	70,000원/ℓ	2ml/ℓ	140원/ℓ	화학배지

<시판용 클로렐라 배양 배지 가격 비교>

제품명	기관명	기술·제품 특징					비고
		O.D. (650nm)	세포수 (cells/ml)	유통 규격	리터당 단가 (8.6×10^7 cells/ml 기준)	Chlorella sp. (우점종)	
바이오액비 (클로렐라): 신비	상지대	0.815	8.6×10^7	-	(~5,000원/ℓ)	C. Fusca	자원순환, CCUS기술 (탄소흡수), 높은 보존성, 낮은 생산비에 따른 경제성 확보
클로렐라배양액	00농업기술센터	0.560	2.1×10^7	10ℓ	무상	C. Fusca	화학배지, 공급량 부족
클로피아	(주)엘00프	0.097	7.3×10^7	10ℓ	8,000원/ℓ	C. Vulgaris	화학배지
엔클로	(주)단00라	4.000	9.9×10^8	0.9ℓ	33,333원/ℓ	C. Vulgaris	화학배지, 고가

○ 제품(바이오액비(클로렐라): 신비)의 사업화 전략
<실증계획(안)>



<실증 권역별 협력체계 마련>

<실증화 기술 현장 보급 시 민원발생 가능성 사전검토>

- 「가축분뇨법」, 「악취방지법」 상 악취관리
- 추비용액비 등 「시비처방서」 발급 및 운영계획 수립

<권역별 대상작물 및 재배환경 선정, 시험설계>

- 권역별, 작물별 관행시비 대비 “신비” 처리구 면적설정
- 생육시기(모종기, 출수기, 성장기 등)를 고려하여 처리구 설정
- 충분한 반복 횟수를 통해 실험 결과의 신뢰성 확보
- 실증화 시험포에 신기술활용용 20% 이상 적용

<측정 및 분석>

- 기록관리 등 실증농가 협력 매뉴얼 마련
- 생장 측정: 발아율, 생장 속도, 수확량 등
- 품질 측정: 당도, 아미노산 함량, 비타민 함량, 항산화물질 등
- 토양 분석: EC, pH, 가용인산, 토양미생물(NGS분석) 등
- 경제성 분석: 비료 및 농약 사용비 절감, 농가 소득증대 기여도 평가
- 방제효과 분석: 대조구와 생육상태 비교
- 만족도 분석: 만족도 평가지표 마련, 만족도 3.5점 이상(기술수준 향상실적)

<최종 목표달성을 위한 과정 요소 및 성과목표 추진 계획>

- 신기술활용율, 기술수준향상실적, 홍보성과, 사업집행도

○ 제품(바이오액비(클로렐라): 신비)의 고도화 전략

<신비+정제액비 혼합하여 비료성분 강화 및 품질 고도화>

- 농작물의 종류, 재배환경 등을 고려“신비” 및 정제액비의혼합비율 설정
- 교반 및 균질화: “신비”와정제액비의균질화 조정
- 품질검사: 영양성분의 함량, 중금속 함량 등 안정성 검사
- 혼합된 제품을 농작물에 시용하여 생산성, 품질, 토양 건강에 미치는 영향을 평가



<품질 고도화 전략>

○ 파급효과

<농산업적 효과>

- 클로렐라 배양 액비는 작물 재배 시 토양에 유기물을 공급하여 지력을 증진시키고 작물의 생육을 도모할 수 있음. 이는 유기 농업의 원칙에 부합함.
- 클로렐라는 식물성 단백질, 비타민, 미네랄 등 다양한 영양소를 함유하고 있으며 작물에 공급함으로써 작물의 생육 및 기능성 물질을 향상시킬 수 있어 농산물의 품질을 향상시킴.

<경제산업적 효과>

- 클로렐라 배양 액비는 가축분뇨와 같은 유기 폐기물을 활용하여 생산됩니다. 이를 통해 농가는 폐기물 처리 비용을 절감하고, 동시에 가축분뇨를 가치 있는 자원으로 전환할 수 있음.
- 이를 경제적으로 환산시 가축분뇨 1톤으로 클로렐라 바이오액비 3톤의 생산이 가능하므로 리터당 1,000원(시판액의 4분의 1 가격)의 가격으로 환산시 300만원의 경제적 가치를 생산할 수 있음. 지역에서 발생하는 환경폐자원의 경제적 순환전략으로 지역경제 활성화에 이바지 가능함.

<사회적 효과>

- 클로렐라 배양 액비를 활용한 작물 재배는 지속 가능한 농업을 실현할 수 있는 방법 중 하나입니다. 이는 자원 재활용과 유기물 공급을 통해 토양과 환경을 보호하고, 건강한 작물을 생산함으로써 지속 가능한 농업 생산체계를 구축할 수 있음.
 - 클로렐라의 배양은 반드시 공기 중의 이산화탄소를 탄소원으로 이용하므로 온실효과의 원인 물질인 이산화탄소의 CCUS(생물학적 저장, 회수) 전략으로 매우 국가적으로, 사회적으로 유용한 기술임.
-

다. 돈분뇨발효액 기반 정제액비의 바이오액비 고도화(Bacillus)

1) 실험재료 및 방법

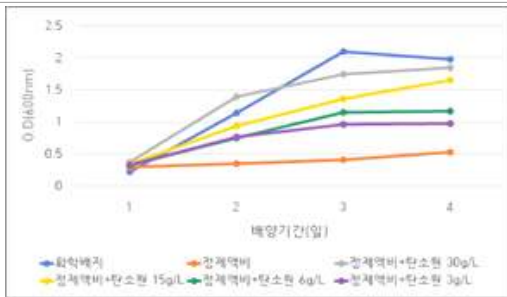
- 농가현장에서 사용/유통되고있는 *Bacillus subtilis*를 구매하여 실험균주로 이용하였음. 배지는 TSB(Tryptic Soy Broth)를 대조구로 이용하였으며, TSB 배지조성(tryptone, soytone, glucose, NaCl, K₂HPO₄)에 맞춰 정제액비 및 정제액비에 탄소원을 추가한배지를 이용함.
- 4일간의 배양 균체량 측정은 매일 혈구측정기(Hemocytometer)를 이용하여 현미경하에서 균체량을 측정하였음. 혈구측정기는 Neubauer improved(NI) 타입의 챔버 깊이 100 μ m, Loading volume 10 μ l 챔버를 사용하였음.
- 균체의 성장을 측정하기 위해 O.D.(600nm)를 측정함. 매일 동일한 시간에 측정하였으며 3반복 측정하여 평균값을 산정하였음.
- 바실러스의 배양은 가동부피 8L 배양조에 균주 150mL + 배지 2,850mL(각각 처리구)를 채운 후 4일간 배양하였음.
 - 무처리구: 화학배지(물+탄소원 30g)
 - 처리구1: 정제액비(단독)
 - 처리구2: 정제액비+탄소원 30g/L
 - 처리구3: 정제액비+탄소원 15g/L
 - 처리구4: 정제액비+탄소원 6g/L
 - 처리구5: 정제액비+탄소원 3g/L



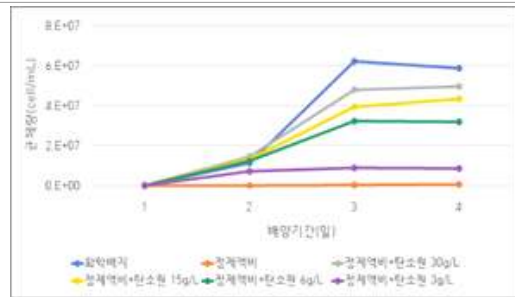
그림135 돈분뇨발효액 기반 정제액비를 배지로 이용한 바실러스 배양

2) 실험결과

- 일부 처리구는 배양기간 2일차부터 뚜렷한 배양 균체수의 차이를 보이기 시작함. 화학배지(대조군)가 가장 우세했으며, 정제액비에 탄소원을 30g/L 추가한 처리구(처리구3)에서 균체수가 대조군 다음으로 균체수가 증가하였음. 정제액비만을 배지로 사용한 처리구(처리구2)는 균체 증가량이 초기 접종 균체량에서 거의 변화가 없는 것으로 나타남.
 - (배양 2일차) 화학배지(대조군) 균체수 1.1×10^7 cell/mL, 정제액비에 탄소원을 30g/L 추가한 처리구(처리구3) 균체수 1.4×10^7 cell/mL
 - (배양 3일차) 화학배지(대조군) 균체수 6.2×10^7 cell/mL, 정제액비에 탄소원 30g/L을 추가한 처리구(처리구3)는 균체수 4.8×10^7 cell/mL
 - 정제액비만을 배지로 사용한 처리구(처리구2)는 균체수가 초기 접종 균체량인 1.6×10^5 cell/mL에서 4일 후 7.0×10^5 cell/mL 으로 증체량 변화가 미미하게 나타남.
- 처리구별 O.D의 변화는 2일 후부터 나타나기 시작함. 4일간의 배양에서 화학배지(대조군)에서 배양한 O.D값이 가장 높게 나타났으며 그다음으로 정제액비에 탄소원을 30g/L 추가한 처리구(처리구3)에서 높게 측정됨.
- 배양 초기 접종 농도에서 크게 변화가 없는 처리구는 탄소원을 투입하지 않은 처리구에서 나타났음. 균체수와 O.D의 변화를 비교하면 *Bacillus subtilis* 의 배양을 위해서는 정제액비에 탄소원을 추가하여 정제액비의 기능성을 높여 보다 다양한 정제액비의 사용처를 개발할 수 있음을 보이고 있다.



(Optical Density)



(균체량)

그림136 돈분뇨발효액 기반 정제액비를 배지로 이용한 바실러스 배양



화학배지
(대조군)



정제액비
(처리구1)



정제액비+탄소원 30g/L
(처리구2)



정제액비+탄소원 15g/L
(처리구3)



정제액비+탄소원 6g/L
(처리구4)



정제액비+탄소원 3g/L
(처리구5)

그림137 돈분뇨발효액 기반 정제액비를 배지로 이용한 바실러스 배양 현미경 사진

라. 정제액비 및 클로렐라여과액(바이오액비)를 이용한 수경재배 작물 생육 평가

1) 실험재료 및 방법

- 수경재배에 사용된 양액은 화학양액, 정제액비, 클로렐라여과액을 이용하였으며, 처리구는 화학양액, 정제액비, 정제액비 + 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액 이렇게 총 4가지 처리구를 가지고 실험하였음.

표358 화학양액 조성표(Yamazaki, 1982)

KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	MgSO ₄ ·7H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄
404	236	123	57.5

표359 정제액비 및 클로렐라여과액 이화학적 성상

항목		정제액비	클로렐라여과액 (바이오액비)
pH		9.38	7.18
EC	mS/cm	12.43	21.03
COD _{Mn}	mg/L	670	164
수분	%	99.53	99.11
TS	mg/L	4,685	8,928
NaCl	%	0.13	0.13
N	mg/L	1,207	1,347
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	345	1,031
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	522	101
P	mg/L	11.7	1,173
K	mg/L	1,164	1,480
Hg	mg/kg	N.D.	N.D.
Cd	mg/kg	N.D.	N.D.
As	mg/kg	N.D.	N.D.
Pb	mg/kg	N.D.	1.1
Cr	mg/kg	2.26	1.54
Cu	mg/kg	N.D.	N.D.
Ni	mg/kg	0.1	0.09
Zn	mg/kg	N.D.	N.D.
Al	mg/kg	N.D.	N.D.
Ca	mg/kg	49.2	38.73
Mg	mg/kg	N.D.	N.D.
Na	mg/kg	517	541
Cl	mg/kg	1,246	2,039
SO ₄	mg/kg	203	214
B	mg/kg	5	5.61
Fe	mg/kg	27.12	23.85
Mn	mg/kg	N.D.	N.D.
Mo	mg/kg	1.18	1.18

- 상추를 받아 시킨 후 암면배지에 상추종자를 이식하였으며, 상추를 이식한 후 7일간 물만 공급하였고, 이식 후 8일차부터는 양액 및 액비를 공급하였음.
- 화학양액처리구는 Yamazaki 상추양액을 조성표에 맞춰 제조하여 사용하였으며, 정제액비, 정제액비 + 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액처리구는 EC 1.5 ± 0.1 mS/cm로 맞추어 공급해주었으며, 3 ~ 4일마다 주기적으로 양액을 교체해 주었음.
- 정식 22일차에 초장, 엽장, 엽수, 엽폭을 조사하였으며, 정식 38일차에 초장, 엽장, 엽수, 엽폭, 엽록소를 조사하였음.

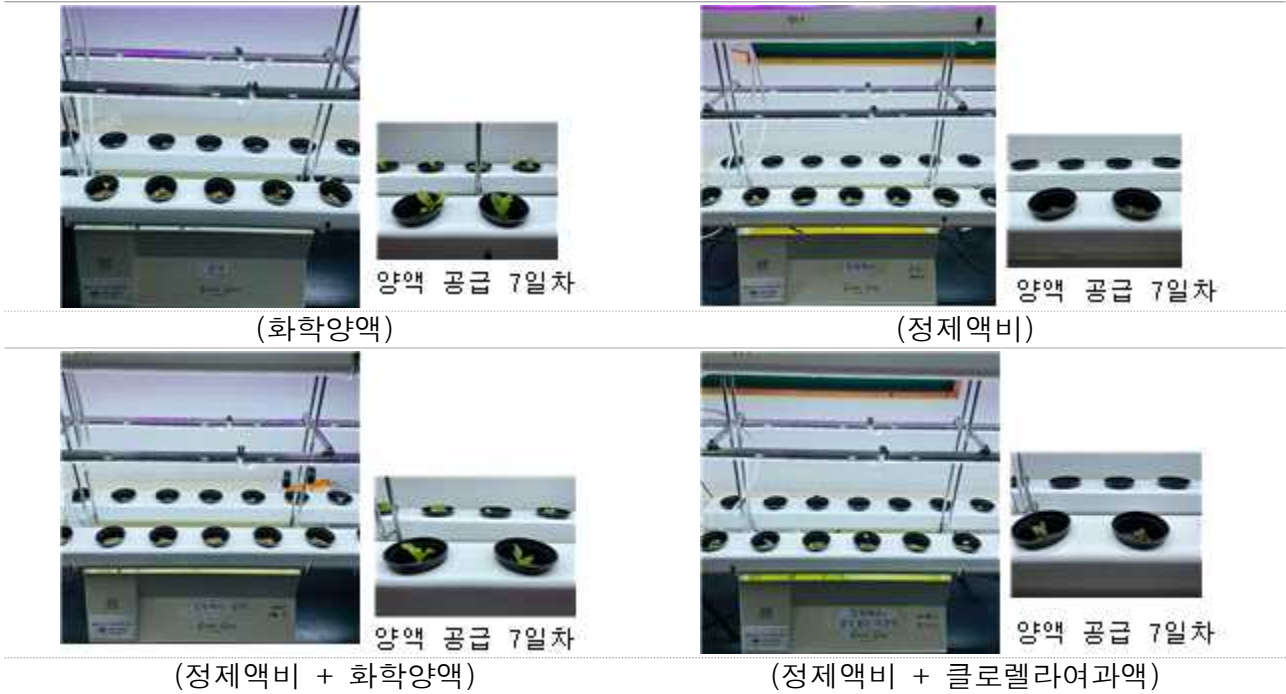


그림138 처리구별 양액 공급 7일차 생육차이

2) 실험결과

○ 처리구에 따른 초장의 차이

- 정식 22일차의 초장은 화학양액처리구가 8.9cm로 처리구 중 가장 길었으며, 정제액비 + 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액, 정제액비순으로 나타났음.
- 정식 38일차의 초장은 화학양액처리구가 14.9cm로 처리구 중 가장 길었으며, 정제액비 + 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액, 정제액비순으로 나타났으며. 정제액비 처리구가 1.6cm로 가장 짧았음.

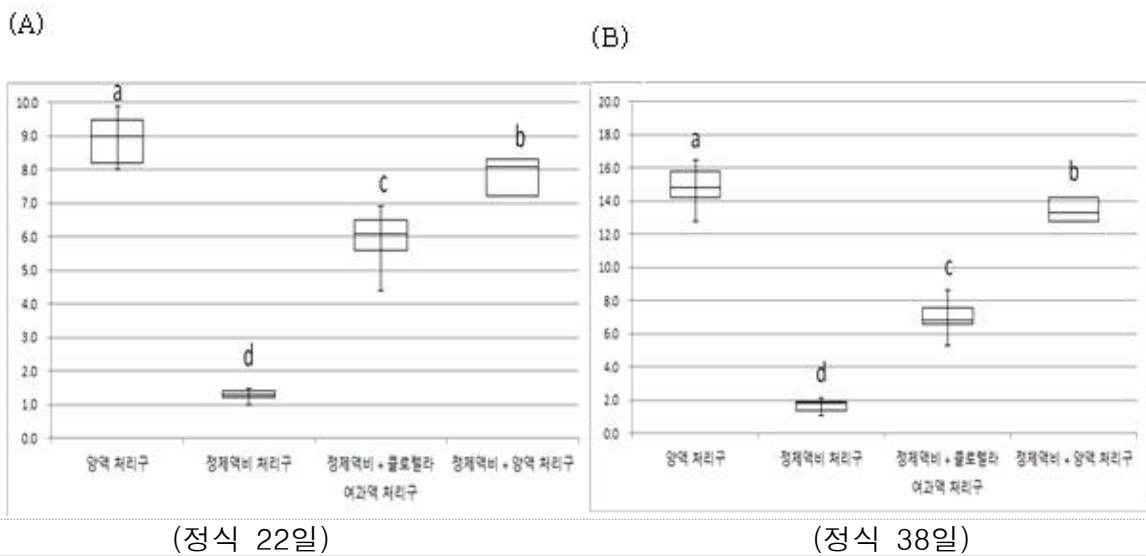
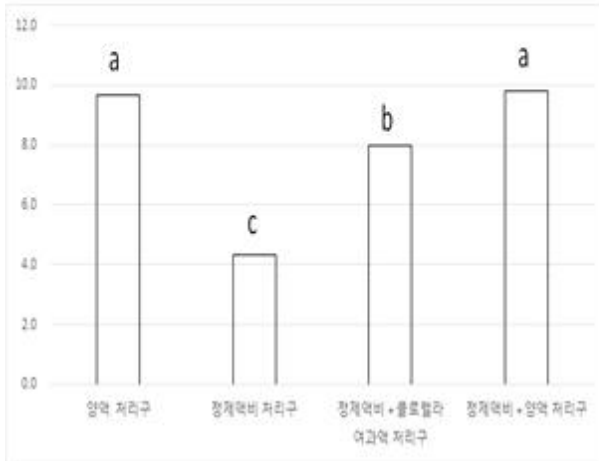


그림139 처리구별 양액 공급 7일차 생육차이

○ 처리구에 따른 엽수의 차이

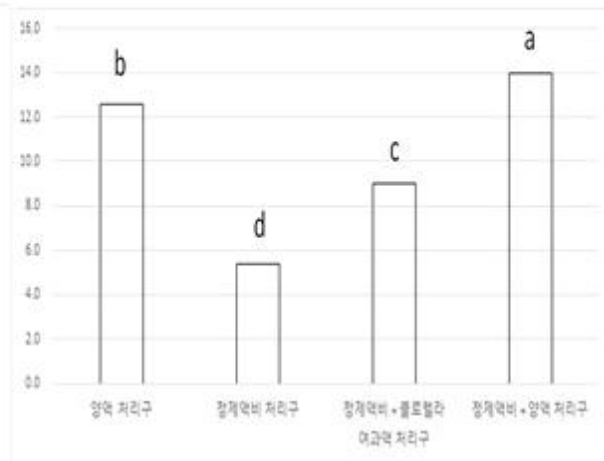
- 정식 22일차의 엽수는 정제액비 + 화학양액처리구가 9.8개로 가장 많았으나 화학양액처리구가 9.7개로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 정제액비처리구가 4.3개로 엽수가 가장 적었음.
- 정식 38일차의 엽수는 정제액비 + 화학양액처리구가 14.0개로 처리구 중 엽수가 가장 많았으며, 다음으로 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액, 정제액비 순으로 나타났음.

(A)



(정식 22일)

(B)



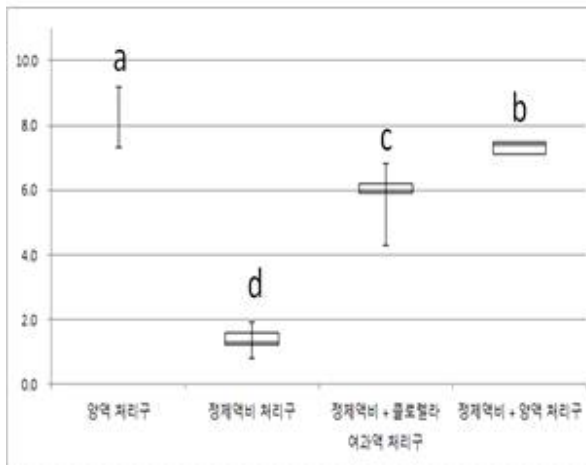
(정식 38일)

그림140 처리구에 따른 엽수의 차이

○ 처리구에 따른 엽장의 차이

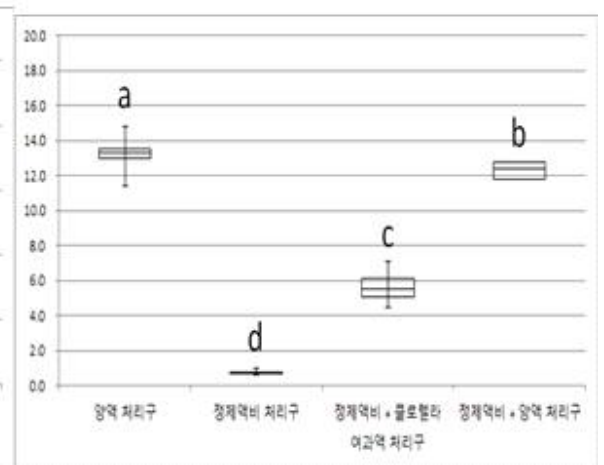
- 정식 22일차의 엽장은 화학양액처리구가 8.2cm로 처리구 중 가장 길었으며, 정제액비처리구는 1.4cm로 처리구 중 엽장이 가장 짧았음.
- 정식 38일차의 엽장은 화학양액처리구가 13.2cm로 엽장이 가장 길게 나타났고, 정제액비처리구가 0.8cm로 가장 짧게 나타나 22일차와 유사한 경향을 보였음.

(A)



(정식 22일)

(B)



(정식 38일)

그림141 처리구에 따른 엽장의 차이

○ 처리구에 따른 엽폭의 차이

- 정식 22일차의 엽폭은 화학양액처리구가 4.5cm로 가장 길었지만 정제액비 + 화학양액 처리구가 4.2cm로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 정제액비처리구가 0.7cm로 엽폭이 가장 짧았음.
- 정식 38일차의 엽폭은 화학양액처리구가 7.4cm로 처리구 중 엽폭이 가장 길었으며, 정제액비 + 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액, 정제액비 순으로 나타났음.

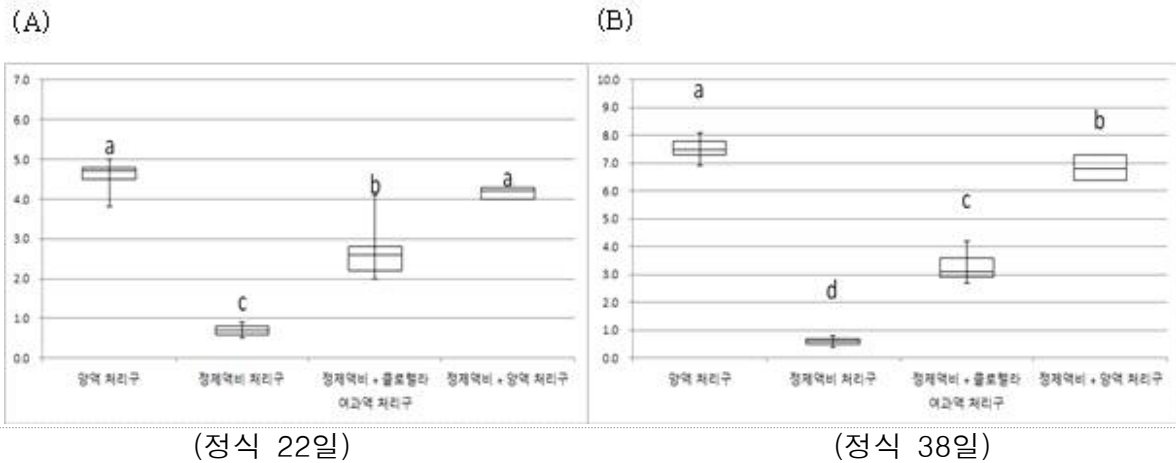


그림142 처리구에 따른 엽폭의 차이

○ 처리구에 따른 엽록소의 차이

- 정식 38일차의 엽록소는 정제액비 + 화학양액처리구가 22.2로 가장 높았으며, 화학양액, 정제액비 + 클로렐라여과액, 정제액비 순으로 나타났남.

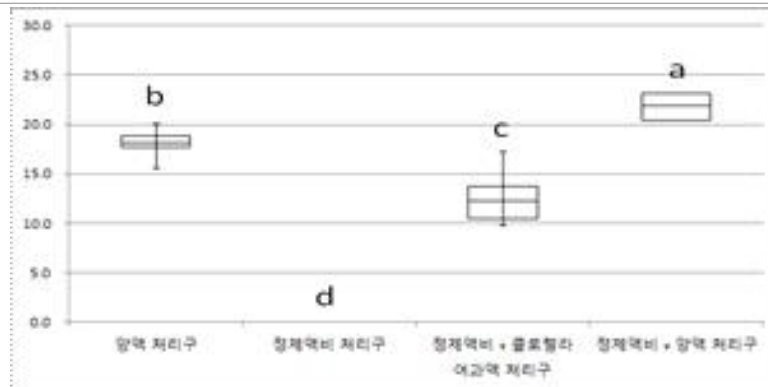


그림143 처리구에 따른 엽록소의 차이

○ 결론

- 종합적으로 초장, 엽장, 엽폭에서는 화학양액처리구가 길었으나 엽수의 경우 정식 22일차에는 화학양액처리구와 정제액비 + 화학양액처리구가 큰 차이를 보이지 않았으며, 38일차에는 정제액비 + 화학양액처리구가 많았음. 또한 엽록소의 경우에도 정제액비 + 화학양액처리구가 가장 높았음.
- 정제액비처리구와 정제액비 + 화학양액처리구를 비교하였을 때 정제액비만 공급하는 것보다 정제액비와 화학양액을 혼합하여 공급하는 것이 초장, 엽장, 엽폭의 길이가 길었고, 엽록소가 높았을 뿐만 아니라 엽수도 많았음.
- 전체적으로 정제액비만 공급하는 것보다 정제액비와 화학양액을 혼합하여 공급하는 것이 상추 생육에 좋았던 것으로 보아 공급 시 EC를 조절함으로써 정제액비에 작물이 필요로 하는 영양분이 낮아져 상추의 생육에 좋지 않았던 것으로 판단됨. 따라서 정제액비의 EC 농도에 따른 상추 생육 비교를 통해 상추 수경재배 시 공급되는 정제액비의 적정 EC를 설정해야 할 것으로 보임.

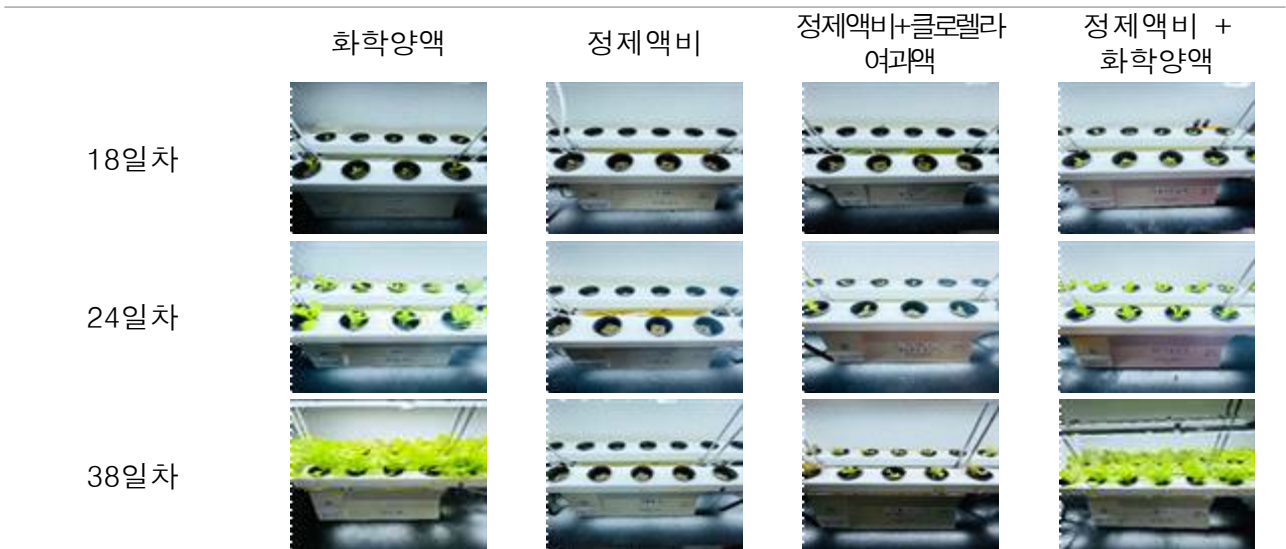


그림144 처리구별 시간에 따른 생육 변화

마. 바이오액비(클로렐라여과액) 엽면시비 시용 효과 분석

1) 실험재료 및 방법

- 실험에 사용된 액비는 돈분뇨발효액, 정제액비, 클로렐라여과액을 이용하였으며, 처리구는 돈분뇨발효액, 돈분뇨발효액 + 클로렐라여과액 엽면시비, 정제액비, 정제액비 + 클로렐라여과액 엽면시비, 클로렐라여과액 + 클로렐라여과액 엽면시비 이렇게 총 6가지 처리구를 가지고 실험하였음.
- 브로콜리 종자를 128공 트레이에 파종하였으며, 1달된 모종을 비닐하우스에 30 cm간격으로 정식하였음. 정식 후 1달간 물만 공급해주었고, 1달 후부터는 양액을 관비시스템 이용하여 처리구별로 EC $1.5 \pm 0.1\text{mS/cm}$ 로 3주간 3회 공급해주었으며, 클로렐라여과액 엽면시비는 정식 1달 후부터 1주일에 1번씩 시비해 주었음. 측정은 정식 60일차에 신장과 화퇴경을 측정하였음.



(관비시스템)



(브로콜리 화퇴경)

그림145 브로콜리 양액 공급을 위한 관비기 및 브로콜리 화퇴경

표360 돈분뇨발효액, 정제액비 및 클로렐라여과액 이화학적 성상

항목		돈분뇨발효액	정제액비	클로렐라여과액
pH		7.23	9.38	7.18
EC	mS/cm	14.13	12.43	21.03
COD _{Mn}	mg/L	1,404	670	164
수분	%	99.41	99.53	99.11
TS	mg/L	5,945	4,685	8,928
NaCl	%	0.13	0.13	0.13
N	mg/L	1,525	1,207	1,347
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	349	345	1,031
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	596	522	101
P	mg/L	N.D.	11.7	1,173
K	mg/L	1,175	1,164	1,480
Hg	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
Cd	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
As	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	mg/kg	1.04	N.D.	1.1
Cr	mg/kg	2.84	2.26	1.54
Cu	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
Ni	mg/kg	0.16	0.1	0.09
Zn	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
Al	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
Ca	mg/kg	96.34	49.2	38.73
Mg	mg/kg	13.39	N.D.	N.D.
Na	mg/kg	535	517	541
Cl	mg/kg	1,088	1,246	2,039
SO ₄	mg/kg	366	203	214
B	mg/kg	5.41	5	5.61
Fe	mg/kg	21.76	27.12	23.85
Mn	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.
Mo	mg/kg	1.25	1.18	1.18

2) 실험 결과

○ 처리구에 따른 신장의 차이

- 액비별 클로렐라여과액 엽면시비에 따른 브로콜리의 신장은 돈분뇨발효액과 정제액비에서는 무처리구와 엽면시비처리구간에 차이가 있는 반면 클로렐라여과액에서는 무처리구와 엽면시비처리구간에 유의한 차이를 보이지 않았음.
- 액비별로 신장을 비교해볼 때 정제액비 처리구가 37.3 cm로 처리구 중 신장이 가장 짧았지만 엽면시비처리구에서는 42.3cm로 신장이 늘어남.

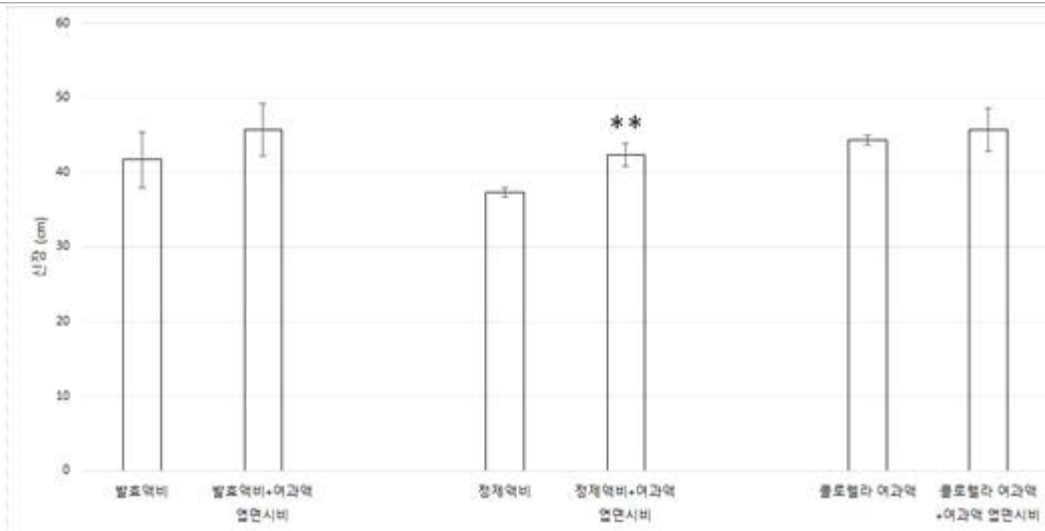


그림146 처리구에 따른 신장의 차이

○ 처리구에 따른 화퇴경의 차이

- 처리구별 클로렐라 여과액 엽면시비에 따른 브로콜리의 화퇴경은 돈분뇨발효액, 정제액비, 클로렐라여과액에서 엽면시비처리구가 무처리구가보다 좋은 차이를 보였음.
- 정제액비에서 무처리구 6.9cm보다 엽면시비처리구 9.0cm로 늘어남. 따라서 정제액비에 대한 클로렐라여과액 엽면시비의 생육 증가 효과를 제시함.

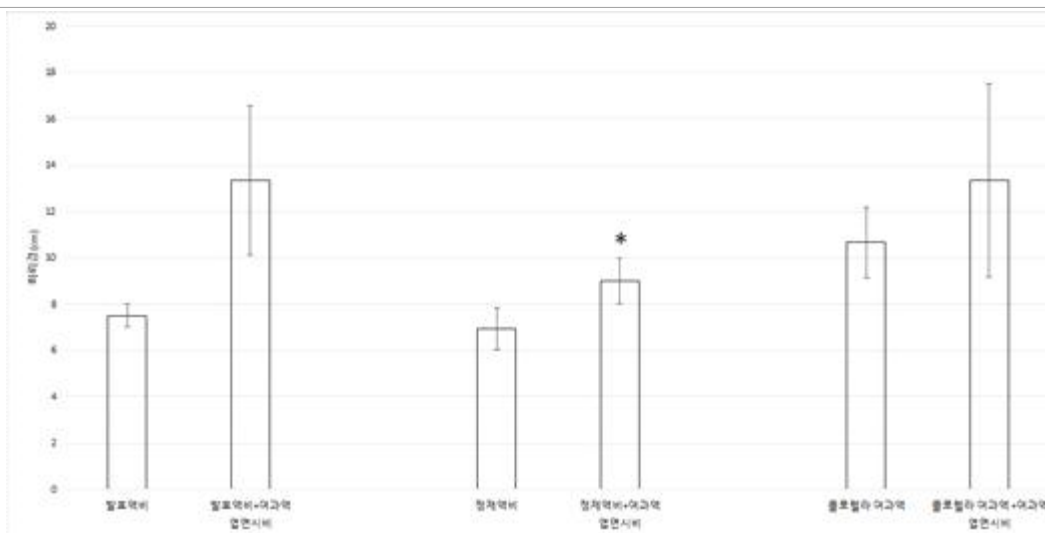


그림147 처리구에 따른 화퇴경의 차이

표362 농장 냄새 평가를 위한 항목조사 기초통계량

항목	N	평균	표준 편차												
1.농장 울타리(조경 포함), 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태	85	1.79	0.411												
2.방역 시설 설치 및 작동 상태 ○ 출입 및 소독실시 기록부 작성 ※ 방문자, 차량 소독시설 설치 및 작동 상태 확인	85	3.69	0.900												
3.축사 주변의 청결/관리 ○ 폐사료포, 폐기자재, 축분 등 청소, 관리 상태 ○ 트랙터, 로더 등 농기계 청결 및 정리정돈 상태	85	5.28	2.207												
4. 악취발생 정도 ○ 냄새를 느낄 수 없는 정도에서 불쾌한 냄새가 나는 정도	85	13.39	2.887												
5.적정 사육밀도 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 5px;"> <thead> <tr> <th>시설형태(m²)</th> <th>번식우</th> <th>비육우</th> <th>송아지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>방사식</td> <td>10.0</td> <td>7.0</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>계류식</td> <td>5.0</td> <td>5.0</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table> * 방사식 우사: 축사내 무리를 지어 키우는 형태 * 계류식 우사: 축사내 별도 칸에 1마리씩 키우는 형태	시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지	방사식	10.0	7.0	2.5	계류식	5.0	5.0	2.5	85	4.93	0.371
시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지												
방사식	10.0	7.0	2.5												
계류식	5.0	5.0	2.5												
6.축사 내부 청결 상태 ○ 축사 내부 거미줄/ 먼지 제거 등 청소 상태 ○ 급이기 및 급수기 청결도(이끼 생성 여부 등) ※ 축사 내부 출입 불가 → 주변 청결 및 정리정돈 상태로 대체	85	5.53	2.510												
7. 바닥 관리 상태 ○ 가축의 몸에 묻어나지 않고, 발굽이상 빠지지 않도록 뽕송 뽕송한 상태 유지 여부 (수분 상태에 따라 건조 → 질퍽거림 정도)	85	11.32	2.436												
8. 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태 ○ 퇴비화 시설 설치 상태(비가림, 교반, 송풍 시설 등)정도, 분뇨 관리상태(퇴적, 주변 정리 등) ※ 전량 위탁처리 시 '우수' 이상 채점	85	2.78	1.016												
9. 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태 ○ 관리대장 소지 여부, 주기적 작성 여부 등	85	10.60	2.944												
10. 암모니아	85	24.58	19.554												

- 조사대상 농가의 냄새발생 요인을 분석하기 위해 9개의 평가 항목을 선정하여 10점 척도로 조사농가 85호의 기초통계는 다음과 같이 분석되었으며, 악취발생정도와 바닥관리상태, 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 등 3개의 평가 항목은 10점 척도가 아닌 수치로 조사하였으나, 요인분석을 위해 10점 척도로 변환하여 분석함

나. 농장 냄새 평가를 위한 요인 분석 및 AHP 조사·분석

○ 요인분석 결과

- KMO계수는 0.757로 나타나 개별 표본수의 적합성 검정에서 적합한 것으로 분석되었으며, Bartlett의 구형성 검정결과 유의확률은 0.001보다 낮게 나타나 표본 변수간의 상관관계가 요인분석을 할 만큼 적절한 수준이라는 것을 확인함

표363 요인분석의 적합성

구분		수치
표준형성 적절성의 Kaiser-Meyer-Olkin 측도		0.757
Bartlett의 구형성 검정	근사 카이제곱	262.95
	자유도	36
	유의확률	<.001

- 요인분석은 주성분 분석을 통하여 Kaiser 정규화가 있는 배리맥스 방법을 사용하여 3개의 요인을 추출하였음
- 요인 1의 적재값은 2.582로 전체의 28.7%를 설명하고, 요인 2는 2.318로 25.8%, 요인 3은 1.085로 12.1%를 설명하고 있으며 누적설명력(Cumulative)은 66.5%로 분석됨

표364 요인분석 통계량

성분	초기 고유값			추출 제곱합 적재값			회전 제곱합 적재값		
	합계	%분산	%누적	합계	%분산	%누적	합계	%분산	%누적
1	3.772	41.9	41.9	3.772	41.9	41.9	2.582	28.7	28.7
2	1.142	12.7	54.6	1.142	12.7	54.6	2.318	25.8	54.4
3	1.072	11.9	66.5	1.072	11.9	66.5	1.085	12.1	66.5

- 요인분석 결과 축사 주변의 청결/관리, 축사 내부 청결 상태, 악취발생 정도, 농장 울타리 (조경 포함), 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태, 바닥 관리 상태가 하나의 요인으로, 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태, 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태, 방역 시설 설치 및 작동 상태가 두 번째 요인으로, 마지막으로 적정 사육밀도가 세 번째로 분류됨

표365 요인분석에 의한 분류결과

	항목	성분		
		1	2	3
1	축사 주변의 청결/관리	0.846	0.042	0.218
	축사 내부 청결 상태	0.772	0.376	0.061
	악취발생 정도	0.634	0.549	-0.068
	농장 울타리(조경 포함), 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태	0.622	0.054	0.002
	바닥 관리 상태	0.584	0.325	-0.236
2	가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태	0.045	0.866	-0.012
	분뇨처리시설 설치 및 관리 상태	0.326	0.758	-0.067
	방역 시설 설치 및 작동 상태	0.178	0.660	0.303
3	적정 사육밀도	0.034	0.068	0.936

Component Plot in Rotated Space

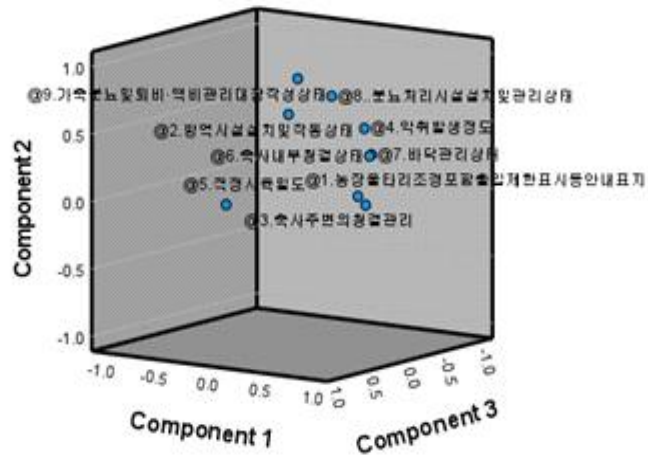


그림148 요인분석에 의한 분류결과 모식도

- 요인분석 결과를 활용한 AHP분석에 의한 주요항목 및 세목의 중요도 조사분석
 - 농가의 냄새에 대한 주요 요인을 분석한 결과를 기초로 활용하여 다음과 같은 세부 설명 자료를 제시하고, 대학교수 및 현장 전문가를 대상으로 계층화 분석을 실시함. 주요 요인과 주요 요인을 이루는 세부항목으로 구분하여 쌍대비교를 실시함
 - 냄새를 대표하는 요인을 전문가 조사로 각 항목에 미치는 영향, 중요도를 수치적으로 구체화하였으며 그 결과를 활용하여 최종적으로 평가지표별 채점표를 작성, 제시하였음

표366 AHP 조사를 위한 항목 구분 설명표

구분	내용												
1. 축사 내·외부 관리 등 청결 상태	○ 축사 주변의 청결/관리 - 폐사료포, 폐기자재, 축분 등 청소, 관리 상태 - 트랙터, 로더 등 농기계 청결 및 정리정돈 상태												
	○ 축사 내부 청결 상태 - 축사 내부 거미줄/먼지 제거 등 청소 상태 - 급이기 및 급수기 청결도(이끼 생성 여부 등) * 축사 내부 출입 불가 → 주변 청결 및 정리정돈 상태로 대체												
	○ 암모니아 등 냄새 느낌 정도(주관적으로 냄새를 느끼는 정도를 5단계로 구분)												
	○ 농장 울타리(조경 포함), 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태												
	○ 바닥 관리 상태 - 가축의 몸에 묻어나지 않고, 발굽이상 빠지지 않도록 뽕뽕뽕한 상태 유지 여부(수분 상태에 따라 건조 → 질퍽거림 정도)												
	○ 방역 시설 설치 및 작동 상태 - 출입 및 소독실시 기록부 작성 * 방문자, 차량 소독시설 설치 및 작동 상태 확인												
2. 분뇨처리 및 방역시설 설치 관리	○ 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태 - 퇴비화 시설 설치 상태(비가림, 교반, 송풍 시설 등)정도, 분뇨 관리상태(퇴적, 주변 정리 등) * 전량 위탁처리 시 '우수' 이상 채점												
	○ 가축분뇨 및 퇴·액비 관리대장 작성 상태 - 관리대장 소지 여부, 주기적 작성 여부 등												
	○ 시설형태 및 두당 소요 면적												
3. 사육밀도	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th>시설형태(m²)</th> <th>번식우</th> <th>비육우</th> <th>송아지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>방사식</td> <td>10.0</td> <td>7.0</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>계류식</td> <td>5.0</td> <td>5.0</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table>	시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지	방사식	10.0	7.0	2.5	계류식	5.0	5.0	2.5
	시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지									
	방사식	10.0	7.0	2.5									
	계류식	5.0	5.0	2.5									

표367 단계별 AHP 조사표

1단계 요인간의 쌍대비교																			
항목(A)	A가 중요 ←								동등	→ B가 중요								항목(B)	
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9		
축사관리 등 청결상태																			분뇨처리 및 방역시설
분뇨처리 및 방역시설																			사육밀도
사육밀도																			축사관리 등 청결상태
1요인(축사관리 등 청결상태)의 2단계 세목별 쌍대비교																			
항목(A)	A가 중요 ←								동등	→ B가 중요								항목(B)	
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9		
축사 주변의 청결/관리																			축사 내부 청결 상태
축사 주변의 청결/관리																			악취 발생 정도
축사 주변의 청결/관리																			울타리, 조경 등 상태
축사 주변의 청결/관리																			바닥 관리 상태
축사 내부 청결 상태																			악취 발생 정도
축사 내부 청결 상태																			울타리, 조경 등 상태
축사 내부 청결 상태																			바닥 관리 상태
악취 발생 정도																			울타리, 조경 등 상태
악취 발생 정도																			바닥 관리 상태
울타리, 조경 등 상태																			바닥 관리 상태
2요인(분뇨처리 및 방역시설)의 2단계 세목별 쌍대비교																			
항목(A)	A가 중요 ←								동등	→ B가 중요								항목(B)	
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9		
분뇨, 퇴·액비 관리대장 작성 상태																			분뇨처리시설 설치 및 관리 상태
분뇨, 퇴·액비 관리대장 작성 상태																			방역시설 설치 및 작동 상태
분뇨처리시설 설치 및 관리 상태																			방역시설 설치 및 작동 상태

다. 농장냄새 평가(요인 및 AHP분석) 가중치 분석을 통한 평가지표 개발·도출

○ 농장평가 1단계(계층2) 주요 요인(항목)별 가중치 분석

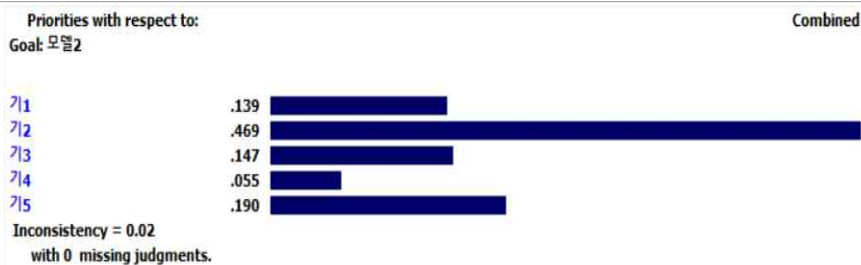
- 1단계(계층2)의 주요 요인으로 Ⅰ.축사내외부 관리 등 청결상태, Ⅱ. 분뇨처리 및 방역시설 설치 관리, Ⅲ. 사육밀도 등 3가지로 구분하여 전문가를 대상으로 AHP분석을 실시한 결과, 첫 번째 Ⅰ요인의 가중치는 0.339로 분석되었으며, 두 번째 Ⅱ요인의 가중치는 0.528, 세 번째 Ⅲ요인의 가중치는 0.133으로 분석되어 두 번째 Ⅱ요인이 가장 중요한 지표로 분석되었음. 일관성지수는 0.01로 유효하게 나타남



주: 기준1 Ⅰ 축사내외부 관리 등 청결상태, 기준2 Ⅱ. 분뇨처리 및 방역시설 설치 관리, 기준3Ⅲ. 사육밀도

그림149 1단계(계층 2) 주요 요인의 가중치

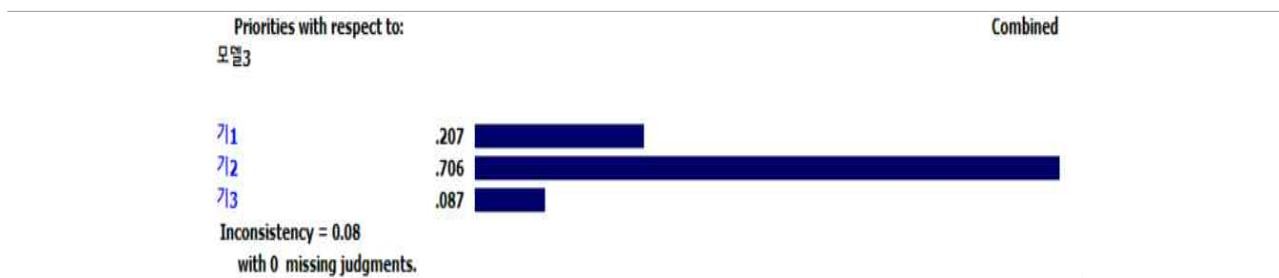
- 1단계(계층2)의 첫 번째 항목인 Ⅰ.축사내외부 관리 등 청결상태에 대한 2단계(계층3)의 5가지 요소인 1,축사 주변의 청결/관리 - 폐사료포 · 폐기자재 · 축분 등 청소 · 관리 상태, 트랙터 · 로더 등 농기계 청결 및 정리정돈 상태 -, 2.축사 내부 청결 상태 - 축사 내부 거미줄/ 먼지 제거 등 청소 상태, 급이기 및 급수기 청결도(이끼 생성 여부 등)-, 3. 암모니아 등 냄새 느낌 정도(주관적으로 냄새를 느끼는 정도를 5단계로 구분), 4. 농장 울타리(조경 포함), 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태, 5. 바닥 관리 상태 - 가축의 몸에 묻어나지 않고, 발굽이상 빠지지 않도록 뽕송뽕송한 상태 유지 여부- 등에 대하여 분석한 결과 1요소(세부항목)의 가중치는 0.139, 2요소(세부항목)의 가중치는 0.469, 3요소(세부항목)의 가중치는 0.147, 4요소(세부항목)의 가중치는 0.055, 5요소(세부항목)의 가중치는 0.190으로 나타나, 2요소인 축사 내부 청결 상태가 가장 중요하게 나타났으며, 다음으로는 5요소인 바닥 관리 상태가 두 번째로 중요하게 나타남. 일관성지수는 0.02로 유효하게 나타남



주: 기1 축사 주변의 청결/관리, 기2.축사 내부 청결 상태, 기3. 암모니아 등 냄새 느낌 정도, 기4. 농장 울타리(조경 포함), 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태, 기5. 바닥 관리 상태

그림150 축사 내·외부 관리 등 청결상태에 대한 2단계(계층3) 5요소의 가중치

- 1단계(계층2) 두 번째 항목인 II. 분뇨처리 및 방역시설 설치 관리에 대한 2단계(계층3)의 3가지 요소인 1.방역 시설 설치 및 작동 상태 - 출입 및 소독실시 기록부 작성 -, 2. 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태 - 퇴비화 시설 설치 상태(비가림, 교반, 송풍 시설 등)정도, 분뇨 관리상태(퇴적, 주변 정리 등), 3. 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태 - 관리대장 소지 여부, 주기적 작성 여부 등에 대하여 분석한 결과, 1요소(세부항목)의 가중치는 0.207, 2요소(세부항목)의 가중치는 0.706, 3요소(세부항목)의 가중치는 0.087로 나타나, 2요소인 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태가 가장 중요하게 나타났으며, 다음으로는 1요소인 방역 시설 설치 및 작동 상태 중요하게 나타남. 일관성지수는 0.08로 유효하게 나타남



주: 1.방역 시설 설치 및 작동 상태, 2. 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태, 3. 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태

그림151 분뇨처리 및 방역시설 설치 관리에 대한 2단계(계층3) 3요소의 가중치

○ 농장평가 항목별 진단표 진단항목의 종합가중치 결과

표368 평가지표 주요 항목별 배점

항목	가중치	세부항목	가중치	종합가중치	100점기준		
1. 축사내·외부 관리 등 청결상태	0.339	1. 축사주변의 청결/관리	0.139	0.0047	4.7		
		2. 축사 내부 청결	0.469	0.159	15.9		
		3. 암모니아 등 냄새 느낌 정도	0.147	0.050	5.0		
		4. 농장 울타리, 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태	0.055	0.0019	1.9		
		5. 바닥 관리 상태	0.190	0.064	6.4		
소계			1.000	0.339	33.9		
2. 분뇨처리 및 방역시설 설치 및 관리	0.528	6. 방역 시설 설치 및 작동 상태	0.207	0.109	10.9		
		7. 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태	0.706	0.373	37.3		
		8. 가축분뇨 및 퇴·액비 관리 대장 작성 상태	0.087	0.046	4.6		
소계			1.000	0.528	52.8		
3. 사육밀도	0.133	9. 시설형태별 두당 소요 면적				0.133	13.3
		시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지		
		방사식	10.0	7.0	2.5		
		계류식	5.0	5.0	2.5		
소계				0.133	13.3		
총계	1.000			1.000	100		

- 위의 AHP분석 결과를 토대로 각 항목 및 각 세부항목의 평가지표별 배점은 표35와 같다. 항목 Ⅰ. 축사내외부 관리 등 청결상태의 점수는 100점기준으로 33.9점, Ⅱ. 분뇨처리 및 방역시설 설치관리 점수는 52.8, Ⅲ.사육밀도는 13.3점으로 항목 Ⅱ. 분뇨처리 및 방역시설 설치관리 점수가 가장 높게 설정되었음.
- Ⅰ 항목의 하위단계인 세부항목의 점수는 다음과 같음. 세부항목 1.축사 주변의 청결/관리는 4.7점, 2.축사 내부 청결 상태는 15.9점, 3. 암모니아 등 냄새 느낌 정도는 5.0점, 4. 농장 울타리, 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태는 1.9점, 5. 바닥 관리 상태는 6.4 점임
- Ⅱ 항목의 하위단계인 세부항목의 점수는 다음과 같음. 세부항목 6. 방역 시설 설치 및 작동 상태는 10.9점, 7. 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태는 37.3점, 8. 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태는 4.6점이며, Ⅲ항목 사육밀도의 하위단계인 세부항목은 하나로 시설형태별 두당 소요면적은 13.3점임.
- 평가지표별 채점 체크리스트
 - 세부항목별 수준 및 점수 체크리스트의 평가점수는 다섯 수준별로 설정하여 Ⅰ 단계 수준은 매우 미흡, Ⅱ단계 수준은 미흡, Ⅲ단계 수준은 보통, Ⅳ단계 수준은 우수, Ⅴ단계 수준은 매우우수로 설정하였음. AHP결과를 반영한 점수결과를 각각의 체크 항목에 체크하여 점수를 종합하고 농장의 냄새·깨끗한 수준 등을 구체적으로 점수화하는 방법을 설정하였음. 결과는 표55와 같으며 평가 방법 사례로 항목별 최고 수준인 경우의 점수 (100점 만점) 결과를 제시함
- 결론
 - 평가지표의 9가지 세부항목에 대해서 Ⅰ 매우미흡, Ⅱ미흡, Ⅲ보통, Ⅳ우수, Ⅴ매우우수 중 농가의 수준정도를 체크하고 점수화하여 평가하는 평가지표를 개발하였음. 이 평가지표 중 중요도가 가장 높은 것은 7번 항목 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태로 37.3점(만점, 매우우수)이며 이어서 두 번째는 2번 항목축사 내부 청결 상태로 15.9점(만점, 매우 우수)이며, 세 번째는 사육밀도를 나타내는 9번 항목 시설형태별 두당 소요 면적을 13.3점(만점, 매우우수)으로 제시하였음. 중요도가 가장 낮은 지표는 4번 항목 농장 울타리, 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태로 1.9로 제시하였음. 개발 평가지표는 요인분석과 AHP분석으로 각 평가 항목을 과학적으로 구체화하고 수치화하여 평가에 객관화를 도모하였음

항목	세목별 수준 및 점수 체크리스트	100점 기준																								
1. 축사내외부 관리 등 청결상태	○ 축사 주변의 청결/관리 - 폐사료포, 폐기자재, 축분 등 청소, 관리 상태 - 트랙터, 로더 등 농기계 청결 및 정리정돈 상태 <table border="1" data-bbox="435 365 1222 495"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>0.9</td> <td>1.9</td> <td>2.8</td> <td>3.8</td> <td>4.7</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	0.9	1.9	2.8	3.8	4.7	체크					○	4.7
	평가점수																									
	수준	I	II	III	IV	V																				
	점수	0.9	1.9	2.8	3.8	4.7																				
	체크					○																				
○ 축사 내부 청결 상태 - 축사 내부 거미줄/ 먼지 제거 등 청소 상태 - 급이기 및 급수기 청결도(이끼 생성 여부 등) <table border="1" data-bbox="435 633 1222 763"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>3.2</td> <td>6.4</td> <td>9.5</td> <td>12.7</td> <td>15.9</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	3.2	6.4	9.5	12.7	15.9	체크					○	15.9	
평가점수																										
수준	I	II	III	IV	V																					
점수	3.2	6.4	9.5	12.7	15.9																					
체크					○																					
○ 암모니아 등 냄새 느낌 정도 <table border="1" data-bbox="435 813 1222 943"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>3.0</td> <td>4.0</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	체크					○	5.0	
평가점수																										
수준	I	II	III	IV	V																					
점수	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0																					
체크					○																					
○ 농장 울타리, 출입제한 표시 등 안내표지판 설치 상태 <table border="1" data-bbox="435 1081 1222 1211"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>0.4</td> <td>0.7</td> <td>1.1</td> <td>.5</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	0.4	0.7	1.1	.5	1.9	체크					○	1.9	
평가점수																										
수준	I	II	III	IV	V																					
점수	0.4	0.7	1.1	.5	1.9																					
체크					○																					
○ 바닥 관리 상태 - 가축의 몸에 묻어나지 않고, 발굽이상 빠지지 않도록 뽕송뽕송한 상태 유지 여부 (수분 상태에 따라 건조 → 질퍽거림 정도) <table border="1" data-bbox="435 1462 1222 1592"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>1.3</td> <td>2.6</td> <td>3.9</td> <td>5.2</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	1.3	2.6	3.9	5.2	6.4	체크					○	6.4	
평가점수																										
수준	I	II	III	IV	V																					
점수	1.3	2.6	3.9	5.2	6.4																					
체크					○																					
2. 분뇨처리 및 방역시설 설치 및 관리	○ 방역 시설 설치 및 작동 상태 - 출입 및 소독실시 기록부 작성 * 방문자, 차량 소독시설 설치 및 작동 상태 확인 <table border="1" data-bbox="435 1731 1222 1861"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>2.2</td> <td>4.4</td> <td>6.6</td> <td>8.7</td> <td>10.9</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	2.2	4.4	6.6	8.7	10.9	체크					○	10.9
	평가점수																									
수준	I	II	III	IV	V																					
점수	2.2	4.4	6.6	8.7	10.9																					
체크					○																					
○ 분뇨처리시설 설치 및 관리 상태 - 퇴비화 시설 설치 상태(비가림, 교반, 송풍 시설 등)정도, 분뇨 관리상태(퇴적, 주변 정리 등) * 전량 위탁처리 시 '우수, VI' 이상 채점	37.3																									

	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>7.5</td> <td>14.9</td> <td>22.4</td> <td>29.8</td> <td>37.3</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>					평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	7.5	14.9	22.4	29.8	37.3	체크					○													
평가점수																																										
수준	I	II	III	IV	V																																					
점수	7.5	14.9	22.4	29.8	37.3																																					
체크					○																																					
	<p>○ 가축분뇨 및 퇴비·액비 관리대장 작성 상태 - 관리대장 소지 여부, 주기적 작성 여부 등</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>0.9</td> <td>1.8</td> <td>2.8</td> <td>3.7</td> <td>4.6</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>					평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6	체크					○	4.6												
평가점수																																										
수준	I	II	III	IV	V																																					
점수	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6																																					
체크					○																																					
3. 사육밀도	<p>○ 시설형태 및 두당 소요 면적</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시설형태(m²)</th> <th>번식우</th> <th>비육우</th> <th>송아지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>방사식</td> <td>10.0</td> <td>7.0</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>계류식</td> <td>5.0</td> <td>5.0</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">평가점수</th> </tr> <tr> <th>수준</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점수</td> <td>2.7</td> <td>5.3</td> <td>8.0</td> <td>10.6</td> <td>13.3</td> </tr> <tr> <td>체크</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>					시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지	방사식	10.0	7.0	2.5	계류식	5.0	5.0	2.5	평가점수						수준	I	II	III	IV	V	점수	2.7	5.3	8.0	10.6	13.3	체크					○	13.3
시설형태(m ²)	번식우	비육우	송아지																																							
방사식	10.0	7.0	2.5																																							
계류식	5.0	5.0	2.5																																							
평가점수																																										
수준	I	II	III	IV	V																																					
점수	2.7	5.3	8.0	10.6	13.3																																					
체크					○																																					
총계						100																																				

제3장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1. 연구수행 결과

가. 정성적 연구개발성과

- 소단위 퇴·액비화 및 바이오에너지화(바이오가스) 실증시설 구축
- 발효액비, 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산
- 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정
- 혐기소화액을 이용한 정제액비(1종, SS저감형) 및 바이오액비(1종, 클로렐라) 생산
- 축분액비/혐기소화액 이용한 바이오액비 고도화(각 1종, 바실러스)
- 퇴·액비생산시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 확립
- 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정
- 소단위/지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 발생 예측 모델 개발 및 분석
- 국가-지역단위 완전순환형 경축순환모델 개발을 위한 지역별 농업환경 유형 분석
- 경축순환모델의 개념 정립과 관련 분야의 이론의 체계화 및 해외사례 검토
- 경축순환의 운영 실태 조사 및 체계적인 진단과 주요국의 경축순환농업 사례 검토

나. 정량적 연구개발성과

성과지표명			(단위 : 건, 천원)				
			연도	1단계 (2021~2022)	2단계 (2023)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원	목표(단계별)	1	2	3	5	
		실적(누적)	2	1	3		
	특허등록	목표(단계별)	1	2	3	5	
		실적(누적)	0	0	0		
	SW저작권	목표(단계별)	2	2	4	30	
		실적(누적)	3	2	5		
	논문 SCI	목표(단계별)	2	2	4		
		실적(누적)	1	2	3		
	논문 비SCI	목표(단계별)	1	1	2		
		실적(누적)	4	3	7		
	학술발표	목표(단계별)	1	1	2	10	
		실적(누적)	9	2	11		
	연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술실사(이전 건수)	목표(단계별)	2	2	2	10
			실적(누적)	3	0	3	
기술실사(이전 기술료)		목표(단계별)		2	2	10	
		실적(누적)	6	0	6		
인력양성		목표(단계별)	2		2	10	
		실적(누적)	2		2		
정책활용		목표(단계별)	2	1	3	10	
		실적(누적)	2	2	4		
홍보전시		목표(단계별)	2	1	3	10	
		실적(누적)	18	0	18		
포상 및 수상	목표(단계별)						
	실적(누적)	1		1			
계	목표(단계별)	14	16	30	100		
	실적(누적)	51	12	63			

다. 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Study of Methodology Estimating the Net Nitrogen Balance for the Management of Regional Nutrient Balance	한국토양비료학회지(Korean Journal of Soil Science and Fertilizer)	이준형	54(2)	대한민국	한국토양비료학회지(Korean Journal of Soil Science and Fertilizer)	비SCIE	21.05.01.	0367-6315	100
2	Comparison of the regional nutrient balance index by land and soil budget	한국축산시설환경학회지	이준형	23(2)	대한민국	한국축산시설환경학회지	비SCIE	21.11.23.	1226-0274	100
3	한우퇴비 시용에 따른 옥수수(Zea mays L.)의 생육에 미치는 영향	한국작물학회지	변지은	67(3)	대한민국	한국작물학회지	비SCIE	22.09.01.	0252-9777	100
4	지역별 분뇨발생량과 농지 양분수지를 고려한 가축분뇨 처리 유형의 경제성 분석	농업경영·정책연구	이승훈	49(4)	대한민국	농업경영·정책연구	비SCIE	22.12.01.	1229-9154	100
5	韩国绿色种养循环农业发展概况与经验启示	中国环境管理	全銀华	15(3)	중국	中国环境管理	비SCIE	23.03.08.	1674-6252	100
6	제주지역 가축분뇨 공동자원화 시설의 발효액비 및 여과액비 품질 평가	축산시설환경학회지	김수량	25(1)	대한민국	축산시설환경학회지	비SCIE	23.04.15.	1226-0274	100
7	한우분뇨 퇴비의 품질 현황 분석	축산시설환경학회지	김수량	25(1)	대한민국	축산시설환경학회지	비SCIE	23.04.15.	1226-0274	100

8	Utilization of Thermophilic Aerobic Oxidation and Electrocoagulation to Improve Fertilizer Quality from Mixed Manure Influent	agronomy	Joshua Nizel Halder	12(6)	스위스	agronomy	SCIE	22.06.13.	2073-4395	100
9	Effects of Hanwoo (Korean cattle) manure as organic fertilizer on plant growth, feed quality, and soil bacterial community	Frontiers in Plant Science	Jun-Kyung Lee	14	미국	Frontiers in Plant Science	SCIE	23.03.21.	1664-4621	100
10	Analysis of microbial communities in solid and liquid pig manure during the fertilization process	Scientific Reports	Soo-Ryong Kim	14(72)	미국	Scientific Reports	SCIE	23.12.22.	2045-2322	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021년도 한국토양비료학회 제53차 총회 및 정기학술대회	이준형	21.11.18.	변산 소노벨 리조트	대한민국
2	2022년 한국육종학회 공동학술발표회	이준경	22.06.30.	라마다프라자 제주 호텔	대한민국
3	2022년 한국농업경제학회 연례학술대회	이승훈	22.07.07.	휘닉스 평창	대한민국
4	2022 AAAP	황선구	22.08.24.	ICC JEJU	대한민국
5	2022 AAAP	정지원	22.08.23.	ICC JEJU	대한민국
6	2022 AAAP	박승현	22.08.25.	ICC JEJU	대한민국
7	2022년 (사)한국축산환경학회 추계학술대회	이준경	22.10.27.	수원컨벤션센터 이벤트홀 (지하1층)	대한민국
8	2022년 (사)한국축산환경학회 추계학술대회	이준경	22.10.27.	수원컨벤션센터 이벤트홀 (지하1층)	대한민국
9	2022년 (사)한국축산환경학회 추계학술대회	이준형	22.10.27.	수원컨벤션센터 이벤트홀 (지하1층)	대한민국
10	한국농식품정책학회 창립 60주년 기념 지역자원 기반	이승훈	23.08.17	충남 예산 스피러스 리솜리조트	대한민국
11	양분관리제도 도입 현황 및 방향	이준형	23.09.07.	대구 EXCO	대한민국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	전기 응집을 이용한 혐기 소화액의 고품질화 방법	대한민국	상지대학교 신학협력단	22.11.22	10-2022- 0157080					100	
2	가축 분뇨를 이용한 저농도 클로렐라 물비료 제조 방법	대한민국	상지대학교 신학협력단	22.11.22	10-2022- 0157075					100	
3	지역단위 양분관리 목표설정을 위한 행렬매트릭스 방법론	대한민국	한경국립 대학교 신학협력단	23.11.22	10-2023- 0163373					100	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다.

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1			√							
2			√							
3			√							

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	지자체 양분수지 산출 가이드라인 보고서	22.11.23.	한경국립대학교 산학협력단	22.11.23.	C-2022-047636	한경국립대학교 산학협력단	100
2	지자체 양분수지 저감 목표 산출 가이드라인 보고서	22.11.23.	한경국립대학교 산학협력단	22.11.23.	C-2022-047637	한경국립대학교 산학협력단	100
3	지역단위 양분수지 관리목표 도출 S.W 설명 보고서	22.11.23.	한경국립대학교 산학협력단	22.11.23.	C-2022-047638	한경국립대학교 산학협력단	100
4	지역단위 양분관리를 위한 인수지 저감 시나리오	23.06.01	한경국립대학교 산학협력단	22.11.23.	C-2023-053820	한경국립대학교 산학협력단	100
5	지역단위 양분관리를 위한 질소수지 저감 시나리오	23.06.01	한경국립대학교 산학협력단	22.11.23.	C-2023-053821	한경국립대학교 산학협력단	100

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	노하우	전기응집 기술을 이용한 고품질 액비 생산 기술 R&D 및 컨설팅	상지대학교 산학협력단	22.11.01.	2,000,000	2,000,000
2	노하우	전기응집 기술을 이용한 경축순환 고품질 액비 생산 설비	상지대학교 산학협력단	22.11.01.	2,000,000	2,000,000
3	노하우	전기응집 기술을 이용한 양돈분뇨의 정화처리 기술 적용 연구	상지대학교 산학협력단	22.11.01.	2,000,000	2,000,000

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

[사회적 성과]

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	추비용 액비 생산 및 연중이용 모델 확산	농림축산식품부		
2	제안	토양갈륨 함량을 감안한 흙도람 가축분뇨 액비 시비처방 프로그램 개발	농림축산식품부		
3	제안	가축분뇨 기술관리인에 양분관리 및 경축순환 분야 추가와 이의 정책적 활용	농림축산식품부		
4	제안	가축분뇨처리지원 컨설팅 사업	농림축산식품부		

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	Internet/PC통신	이뉴스투데이	'지역 미래 경축 순환서' 황성군, 축산발전 미래 포럼	21.12.10.
2	Internet/PC통신	쿠키뉴스	[황성 단신]2021년 축산발전 미래포럼 개최 등	21.12.10.
3	Internet/PC통신	아리랑뉴스	2021년 황성군 축산발전 미래포럼 개최	21.12.10.
4	Internet/PC통신	포탈뉴스	2021년 황성군 축산발전 미래포럼 개최-지역의 미래와 발전!	21.12.10.
5	Internet/PC통신	한국검경뉴스	[강원도] 황성군, 2021년 축산발전 미래포럼 개최	21.12.10.
6	Internet/PC통신	브랜드타임즈	2021년 황성군 축산발전 미래포럼... "지역의 미래와 발전! 경축순환에서 찾다!" 주제 로열러	21.12.14.
7	Internet/PC통신	한국농어민신문	[기고] 미래농업, 스마트경축순환농업이 '답'	21.12.24.
8	Internet/PC통신	천지일보	황성군, 2022년 제1회 축산발전 미래포럼 '개최'	22.10.20.
9	Internet/PC통신	불교공뉴스	황성군, 2022년 제1회 축산발전 미래포럼 개최	22.10.20.
10	Internet/PC통신	신아일보	황성군, 2022년 제1회 축산발전 미래포럼 개최	22.10.20.
11	Internet/PC통신	머니투데이방송	황성군, 2022년 제1회 축산발전 미래포럼 개최	22.10.20.
12	Internet/PC통신	머니투데이	황성군-상지대, 업무협약체결	21.06.03.
13	Internet/PC통신	원주MBC	황성-상지대, 바이오 액비 대량생산 기술개발 협력	21.06.03.
14	Internet/PC통신	내외뉴스통신	황성군-상지대학교산학협력단, 혁신기술개발 사업업무협약(MOU) 체결	21.06.03.
15	Internet/PC통신	G1방송	황성군-상지대, 스마트팜 혁신기술개발 협약 체결	21.06.03.
16	Internet/PC통신	쿠키뉴스	[황성 단신] 황성군-상지대학교 산학협력단, 혁신기술개발 사업 MOU 등	21.06.03.
17	Internet/PC통신	쿠키뉴스	황성군, 제2회 축산발전 미래포럼 개최	22.12.23.
18	Internet/PC통신	신아일보	황성군, 제2회 축산발전 미래포럼 개최	22.12.25.

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	수상	우수 학술 논문상	위 사람은 2022년도 (사)한국축산환경학회 추계학술대회에서 귀하가 발표한 상기 학술논문이 우수하여 이 상장을 드립니다.		22.10.27.	사단법인 한국축산환경학회

[그 밖의 성과]

- SW저작권 1건 추가
 - 기술실시(이전) 1건 추가
 - 기술실시(이전) 4백만원 추가
 - 논문(비SCI) 5건 추가
 - 학술발표 9건 추가
 - 정책활용 1건 추가
 - 홍보전시 2건 추가(중복 제외)
 - 기타(수상) 1건 추가
-

라. 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

해당 없음

2. 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
• 소단위 퇴·액비화 및 바이오에너지화(바이오가스) 실증시설 구축	• 소단위 퇴·액비화 및 바이오에너지화(바이오가스) 실증시설 구축 완료	• 100
• 발효액비, 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산	• 발효액비, 정제액비(1종, SS저감형)/바이오액비(1종, 클로렐라) 생산 완료	• 100
• 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정	• 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정 완료	• 100
• 혐기소화액을 이용한 정제액비(1종, SS저감형) 및 바이오액비(1종, 클로렐라) 생산	• 혐기소화액을 이용한 정제액비(1종, SS저감형) 및 바이오액비(1종, 클로렐라) 생산 완료	• 100
• 축분액비/혐기소화액 이용한 바이오액비 고도화(각 1종, 바실러스)	• 축분액비/혐기소화액 이용한 바이오액비 고도화(각 1종, 바실러스) 완료	• 100
• 퇴·액비생산시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 확립	• 퇴·액비생산시스템 및 바이오에너지화 시설의 운영 및 생산 매뉴얼 확립 완료	• 100
• 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정	• 시비 처방 기술 개발을 위한 작물별 생육검정과 이를 통한 적정 시비량 설정 완료	• 100
• 소단위/지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 발생 예측 모델 개발 및 분석	• 소단위/지역단위 양분수지 기반 농축부산물 및 가축분뇨 발생 예측 모델 개발 및 분석 완료	• 100
• 국가-지역단위 완전순환형 경축순환모델 개발을 위한 지역별 농업환경 유형 분석	• 국가-지역단위 완전순환형 경축순환모델 개발을 위한 지역별 농업환경 유형 분석 완료	• 100
• 경축순환모형의 개념 정립과 관련 분야의 이론의 체계화 및 해외사례 검토	• 경축순환모형의 개념 정립과 관련 분야의 이론의 체계화 및 해외사례 검토 완료	• 100
• 경축순환의 운영 실태 조사 및 체계적인 진단과 주요국의 경축순환농업 사례 검토	• 경축순환의 운영 실태 조사 및 체계적인 진단과 주요국의 경축순환농업 사례 검토 완료	• 100

제4장 목표 미달 시 원인분석

1. 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당 없음.

2. 자체 보완활동

해당 없음.

3. 연구개발 과정의 성실성

해당 없음.

제5장 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 지역단위(시/군) 양분수지 분석을 위한 자료체계 구축
 - 지역의 양분 유입(가축분뇨, 화학비료, 유기질비료 등), 유출(작물생산, 작물부산물), 환경영향(대기유출, 수계유출) 현황 분석자료에 근거하는 경축순환농업 모델을 도출함.
 - 지역단위 양분수지 분석을 위한 양분유입 항목에서는 무기질비료, 가축분뇨 퇴·액비, 유기질비료, 생물학적 질소고정, 대기강하물, 종자 및 종묘, 관개수가 있으며, 양분유출 항목에서는 작물생산, 작물부산물, 대기유출, 수계유출을 산출함.
 - 지역단위 양분수지 분석을 위한 자료는 통계데이터를 기반으로 토양경계 양분수지 방법론을 이용함. 양분유입 항목에서는 가축분뇨 퇴·액비 투입량을 산출하기 위해 가축분뇨 처리시설에서의 양분 삭감량, 축종별 퇴·액비화 양분 조정계수가 이용되며, 논의 관개수를 통한 양분유입량을 반영함. 양분유출 항목에서는 작물부산물의 소각 등 부산물 처리방식을 반영하여 농경지 외부로 유출되는 양분을 고려함.

- 지역단위(시/군) 지역양분 관리 기반 경축순환모델 개발을 위한 적적양분 수준의 도출
 - 본 연구에서 지역단위 양분수지 관리를 위한 양분수지 지표는 순양분수지 (Net nutrient balance)를 지표로 설정하였으며, 양분수지 지표 관리과정에서 수계 양분유출 저감과 농업 생산성에 저하 영향을 정량적으로 파악할 수 있는 양분수지 지표 관리목표 도출을 위한 방법론을 개발하였음. 지역단위 양분수지 지표 관리목표 도출을 위한 방법론은 지역단위 양분부하 변동에 따른 양분수지 지표와 작물생산의 변동의 수치적 모사를 통해 도출함.
 - Region(A)는 현재 질소 수계유출 잠재량이 많고 적적양분 관리를 위해 양분 저감이 크게 요구되는 지역
 - Region(B)는 현재 질소 수계유출 잠재량이 적지만 적적양분 관리를 위해 양분저감이 요구되는 지역
 - Region(C)는 현재 질소 수계유출 잠재량이 적고 양분저감이 불필요한 지역
 - Region(D)는 현재 질소 수계유출 잠재량이 많지만 양분저감이 불필요한 지역

- 전국 평균치의 축종별 분뇨발생량 및 양분수지 기준의 비용-편익분석 도출
 - 국가기준에서는 퇴·액비화의 B/C가 1.03으로 정화(0.90), 바이오가스 후 정화(1.00), 바이오가스 후 액비화(0.84)보다 높았고, NPV 역시 813백만 원으로 정화(-4,627백만 원), 바이오가스 후 정화(35백만 원), 바이오가스 후 액비화(-6,272백만 원)보다 높아 가장 경제성이 높은 것으로 평가됨.
 - 지역 기준으로는 바이오가스 정화가 B/C 1.28로 정화(0.98), 바이오가스 후 액비화(1.08), 퇴·액비화(1.20)보다 높았고 NPV 역시 10,635백만 원으로 정화(-727백만 원), 바이오가스 후 액비화(2,578백만 원), 퇴·액비화(5,228백만 원)보다 높았음.
 - 사업자의 경우는 바이오가스 후 액비화가 B/C 0.79로 정화(0.31), 바이오가스 후 정화(0.57), 퇴·액비화(0.64)보다 높으며, NPV는 -5,779백만 원으로 정화(-26,166백만 원), 바이오가스 후 정화(-14,464백만 원), 퇴·액비화(-8,186백만 원)보다 높아 가장 높은 경제성을 보였음.
 - 지역별 분뇨발생량과 양분수지를 적용한 비용-편익분석 결과, 국가 전체 차원에서는 경기도, 충청북도, 제주도에서 바이오가스 생산 후 정화처리하는 유형의 경제성이 높았고 강원도, 충청남도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도에서 퇴·액비화의 경제성이 높았으며 이러한 차이에 지역별 양분수지가 결정적인 영향을 미침.
 - 바이오가스 생산 후 정화처리의 경제성이 높게 나타나는 경기도와 충청북도, 제주도의 경우는 질소와 인의 작물흡수비율이 타 광역지자체보다 낮은 것으로 확인됨.
 - 이처럼 농지면적은 상대적으로 부족하나 가축분비료의 발생량과 화학비료의 투입이 많은 지역일수록 퇴비화나 액비화보다는 정화처리의 경제성이 높아짐.

○ 소단위 완전순환형 경축순환 모델 개념 정립 및 테스트베드에서의 모델 유형 선정

- ‘소단위’란 대상 지역의 독특한 물리적 환경과 기능적 특성 등에 맞추어 개발 및 적용의 단위를 작게하는 것임. 그러나 경축순환농업에 있어 ‘소단위’의 적용은 일반적인 행정구역(읍면동 등)의 구분으로 접근하기 어려운 면이 있음. 즉 경축순환농업의 ‘소단위’란 양분을 발생시키는 축산농가와 양분을 소비하는 경종농가, 그리고 이를 다시 축산에 환원시키는 구조속에서 축산-경종의 양분균형을 맞춘 일종의 거버넌스 단위를 의미함.
- ‘완전순환형’이란 기본적으로 양분의 발생이 이용을 통해서 잉여양분이 0이 되는 것을 의미함. 국내 대부분의 농경지는 이미 과잉의 양분이 축적되어 있는 상황이므로 소단위에서의 완전순환형을 실현하기 위해서는 권역(소단위) 외로 반출/이용될 수 있는 프로그램이 필요함. 즉 잉여양분의 지역간 유통 활성화를 위한 경종농가(수요자) 중심의 퇴·액비 품질 고도화 및 자원화 품질의 고도화를 통한 수요처 확대를 필요로 하며, 경우에 따라서는 농업 외의 이용방안을 마련해야함. 따라서 소단위 경축순환농업에 있어 ‘완전순환형’의 광의적 의미로는 소단위 내 양분의 발생과 이용이 균형을 맞추고 잉여양분이 발생할 경우 이를 권역 외로 반출/이용하거나 농업 외 자원화를 실현하는 것이라 할 수 있음.
- 테스트베드에서의 모델 유형 선정: (1) 한우+경종(옥수수 2기작) 겸업 중심, (2) 양돈농가→추비용액비/시설토마토 중심, (3) 고품질 우분퇴비생산 공동자원화 플랫폼 중심, (4) 한우농가 자급조사료 TMR생산 공유 플랫폼 중심, (5)장비업체 중심 축분퇴비 수거 및 경종농가 연계 농지환원 중심.

○ 소단위 완전순환형 경축순환모델 적용을 위한 바이오액비 생산(단위기술) 기술 개발

- 가축분뇨 액비 품질고도화 공정을 통해 정제액비(바이오액비 배지) 및 바이오액비(미세조류: 클로렐라)를 생산함. 전기적 응집반응 방법을 통해 부유물질이 현저히 저감되어 빛 투과성이 개선된 정제액비를 생산함과 동시에 정제액비를 배지로 활용한 미세조류($10^5 \sim 10^6$ cell/ml)의 대량 배양·생산 및 화학배지 대체 가능성을 확보함. 한편 미세조류는 비료, 사료, 식품 및 식품첨가물, 의약품, 바이오디젤 등 광범위하게 이용되고 있으며, 산업적 이용 가치가 높아 주목받고 있는 바이오신소재 원료이다. 또한 이산화탄소를 탄소원으로 이용하는 미세조류를 1톤 배양할 시 약 1.8톤~2톤의 이산화탄소 고정이 가능한 것으로 보고되고 있음.
-

제6장 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE	2024년 1건
	비SCIE	-
	계	-
국내논문	SCIE	-
	비SCIE	-
	계	-
특허출원	국내	-
	국외	-
	계	-
특허등록	국내	2024년 1건, 2025년 1건
	국외	-
	계	-
인력양성	학사	-
	석사	-
	박사	-
	계	-
사업화	상품출시	-
	기술이전	-
	공정개발	-
제품개발	시제품개발	-
성과홍보		2024년 1건, 2025년 1건 (학술발표: 2024년 1건, 2025년 1건)
포상 및 수상실적		-
정성적 성과 주요 내용		<ul style="list-style-type: none"> • 양분수지 기반 농업생산 연계형 지역/국가단위 경축순환 모델 개발 및 완전순환형 경축순환모델 소(지역) 단위 실증 • 소단위 농축부산물·분뇨 자원의 완전순환형 모델 정립 • 소단위/국가단위 농축부산물 및 가축분뇨 발생량 예측 모델 개발 • 소단위/국가단위 농축부산물 및 가축분뇨 활용 경축순환 모델 개발
연구개발 성과의 활용 계획		<p><경축순환농업 활성화를 위한 공익직불금의 지원 및 잉여양분 적정 활용 방안 정책건의 계획(24년 1건)></p> <ul style="list-style-type: none"> - 전 지구적 환경문제로 기후위기가 대두되면서 경종/축산분야에 있어서도 기존의 환경문제와 탄소중립형 경종/축산과의 관계를 포함하여 가축분뇨 자원화 및 경축순환농업과 탄소중립 활동 영역의 관계, 특히 경축순환농업에서의 탄소중립 활동 구체화에 따른 탄소중립 직불금 지급 정책 방향성의 검토가 시급함. - 또한 지역별 잉여양분(가축분뇨를 포함한 유기성부산물)의 적정 활용을 위한 제도마련(비료관리법, 바이오가스이용촉진법, 가분법 등 연계)이 필요함. - 이를 추진하기 위한 세부영역은 다음과 같음. 유형별 경축순환농업의 개념 정립, 경축순환농업의 활동 식별 및 분류 구체화(탄소저감기여 여부 식별), 경축순환농업의 활동 내 탄소중립 직불금 지급(안)과 잉여양분의 적정활용을 위한 기술 검토 및 정책방안 제시 - 본 연구를 통해 도출된 성과를 활용하여 추가적인 정책건의를 추진하도록 함. - 기대효과는 다음과 같음. ▲빅데이터 구축 및 활용에 따른 정보공유 지식 기반 탄소중립형 경축순환농업 구축, ▲지역별 양분수지 분석 및 예측 모델링 통한 농업분야 탄소감축 및 비점오염저감, ▲탄소중립형 경축순환농업 시스템 구축을 통한 농산물 품질향상, 비용 절감 등 농가 소득 증대, ▲양분관리·바이오소재 생산 등 신개념의 경축순환형 양분관리 관련 기술 및 서비스 산업의 성장을 촉진, ▲직불금 도입에 따른 농업 생산을 유지 및 농가 소득 안정화로 안정적 식량 공급 보장에 기여, ▲경축순환 농업분야 투자 및 정책 극대화에 따른 농촌지역 사회 안정 및 지속가능한 발전

제7장 참고문헌

1. 국립환경과학원, 2021, 지역단위 양분관리 시범사업
2. 한국농촌경제연구원, 2021, 경축순환농업 실태 분석과 활성화 방안
3. 농림수산성, 2019, 飼料用米の推進について
4. 환경부, 가축분뇨 처리 통계
5. 농림축산식품부, 2021, 농림축산식품사업 시행지침
6. 환경부, 2022, 오염총량관리기술지침
7. 농림축산식품부, 2022, 사업시행지침서-농업환경보전프로그램
8. 농림축산식품부, 2019, 농가용 퇴비 부숙도 운영 및 관리 매뉴얼
9. 황성균, 농업농촌 및 식품산업 발전계획(2019~2023)
10. 국립농산물품질관리원, 2018, 농업경영체등록정보연감
11. 한국전력거래소, 2017~2021년 평균 SMP
12. 한국전력거래소, 2021, REC 현물 평균가격
13. 농협, 2020, 대농업인 비료 판매기준가격
14. 환경부, 2020, 가축분뇨 발생 및 처리현황 통계
15. 통계청, 2020 농림어업총조사
16. 어성욱, 2017, 공동자원화시설 퇴비화 저감률
17. 이준형, 윤영만, 2019, 농경지 양분관리를 위한 양분수지 지표와 양분부하 지표간의 비교
18. 임정빈 외, 2019, 공동자원화시설 바이오가스 연계사업 경제성 분석
19. 조을생 외, 2019, 지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구
20. 라창식 외, 2020, 경축순환농업 현황분석 및 모델 개발
21. 이호중, 최동석, 2019, 지역자원기반 경축순환농업 활성화 방안
22. 임송수, 2000, 농업환경지표 (AEIs)와 정책활용 방향, OECD 농업환경지표와 정책활용 방안
23. 김태연, 2021, EU의 농업환경지표 관리에서 배울 점
24. 박규현 외, 2022, 전과정 측면에서 한우의 산업적·환경적 특징 연구
25. GS&J, 2023, 한우동향
26. 농협축산정보센터
27. 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙
28. 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령
29. 축산법 시행규칙
30. 친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 시행규칙
31. 유기식품 및 무농약농산물 등의 인증에 관한 세부실시 요령
32. 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙
33. 농업과학기술원, 2010, 작물별 시비처방 기준
34. 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr/>)
35. 농업날씨 365 (<http://weather.rda.go.kr/w/>)
36. 온실가스 인벤토리 보고서
37. Leip et al., 2011, Farm, land, and soil nitrogen balances for agriculture in Europe calculated with CAPRI.
38. OECD/Eurostat, 2013, Methodology and Handbook
39. 두과녹비작물의 종류와 주요 특성
40. 지역별 사료작물 작부 체계

41. 곤포사일리지
42. 농업기술실용화재단, 2020, 저탄소 농축산물 인증제 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침.
43. 환경표지인증 EL727 바이오매스 유래 합성수지제품
44. 농촌진흥청, 2019, 가축분뇨 배출원단위 재산정 및 깔짚축사 유형별 분뇨 발생량 산정
45. 국립축산과학원, 2017, 친환경 축산을 위한 올바른 가축분뇨 퇴비 만들기
46. 농촌진흥청, 2022, 5차 개정본 작물별 비료사용처방
47. 축산환경관리원, 2022, 축산환경실태조사
48. EPA, 2012, NPDES Permit Writer's Manual for Concentrated Animal Feeding Operations
49. USDA NRCS, 2018, Regulatory Impact Analysis for the Environmental Quality Incentives Program (EQIP)
50. Spiegel et al, 2020, Research Network, illustrating farm, community (within county) and regional (among county) scales to which manure nutrients generated by animal production operations may be recycled in crop and rangeland production.

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부·과학기술정보통신부·농촌진흥청에서 시행한 “스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업”의 “지역/국가단위 경축순환 모델 개발” 연구개발과제 최종보고서입니다.
2. 이 연구개발 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부·과학기술정보통신부·농촌진흥청((재)스마트팜연구개발사업단)에서 시행한 “스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업”의 “지역/국가단위 경축순환 모델 개발” 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.