

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000445-01

농업·식품분야 온실가스 감축잠재량 분석과 감축목표 달성전략

연구기관: 한국농촌경제연구원



농림축산식품부

발간등록번호

11-1543000-000445-01

C2014-13 | 2014. 4.

농업·식품분야 온실가스 감축잠재량 분석과 감축목표 달성전략

정학균 연구위원
김창길 선임연구위원
문동현 연구위원

한국농촌경제연구원

연구 담당

정 학 균	연구 위원	연구 총괄, 감축잠재량 분석, 감축 전략
김 창 길	선임연구위원	감축 정책 추진실태 분석
문 동 현	연구 위원	배출현황, 주요국 감축 정책 사례

머 리 말

세계는 국제협약을 통해 온실가스 의무감축을 현실화하고 있으며, 우리나라도 2009년 11월 온실가스 배출량을 2020년까지 배출전망치(Business as Usual, BAU) 대비 30%를 자발적으로 감축하기로 발표하였다. 이러한 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 농림어업 부문의 감축목표는 5.2%로 할당되었다. 박근혜 정부는 기후변화 시대에 대한 적극적 대처를 주요 국정과제로 제시하였으며, 2013년 5월 관계부처 합동으로 ‘국가 온실가스 감축 로드맵’을 수립키로 결정하였다. 이에 따라 농업·식품 부문 온실가스 감축잠재량의 분석 및 감축 전략 수립이 요구되는 가운데 온실가스 감축잠재량 분석을 토대로 온실가스 감축을 위한 실천전략을 도출하는 연구가 필요하다.

이 보고서는 「농업·식품 분야 온실가스 감축잠재량 분석과 감축목표 달성 전략」에 관한 정책과제의 최종결과물이다. 농업·식품 분야 온실가스 배출 현황을 살펴보고 2020년 예상배출량을 제시하였다. 비에너지 및 에너지 분야별로 온실가스 감축잠재량을 분석하였으며, 주요국의 온실가스 감축정책 추진 현황을 살펴보았다. 뿐만 아니라 논 물관리, 장내발효 개선 등 감축기술의 보급 확대, 가축분뇨 에너지화 시설 및 공동자원화시설 설치 확대 등 농업부문의 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시하였다. 아무쪼록 이 연구의 결과가 우리나라 농업부문 기후변화 감축전략 수립을 위한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

바쁘신 중에도 귀중한 자문을 해 주신 농림축산식품부 기후변화대응과 최유림 과장, 국립농업과학원 정현철 연구사께 감사드린다.

2014. 4.

한국농촌경제연구원장 최 세 균

요 약

1. 서 론

□ 연구배경 및 필요성

- 우리나라는 2020년까지 배출전망치 대비 30% 감축 발표하였으며, 농업부
문 감축목표는 5.2%가 할당되었음. 농식품부는 세부실천계획을 수립하여
온실가스 감축 프로그램을 제시하였고 관련 정책을 추진하고 있음.
- 현 정부 들어 기후변화 시대에 대응한 적극적 대처를 주요 국정과제로 제
시하였으며, 국가 온실가스 감축 로드맵을 수립키로 결정(2013.5)
- ☞ 농업, 식품 부문 온실가스 감축잠재량 분석을 토대로 온실가스 감축을 위
한 실천전략 도출 연구 필요

□ 연구목적

- 정책적인 목표를 반영하여 농업·식품 부문 온실가스 감축잠재량 분석
- 감축기술 DB 구축 및 여건 변화를 반영한 감축잠재량 분석
- 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시

2. 온실가스 감축정책 추진현황

□ 온실가스 감축정책 전개과정

- 농림수산식품분야 기후변화 대응 세부 추진계획(2011-2020) (2011)
- 농업, 축산 부문 온실가스 감축기술 개발 및 보급, 에너지 절감시설 및
신재생에너지 시설 확대 계획
- 농업, 식품분야 온실가스 감축 로드맵 수립(2013)

- 감축잠재량 분석 및 감축 로드맵 제시

□ 농가설문 반응조사 결과

- 저탄소농업기술 도입 의사 결정에 가장 크게 영향을 미친 요인으로 기후 변화 등 환경문제에 대한 관심(49.7%), 정부의 저탄소농업 지원(21.4%), 저탄소농산물 수용 증대(20.6%) 등으로 나타남.
- 기술적용 시 애로사항은 ‘저탄소농업 기술 적용에 따른 단보당 수량 감소’(25.7%), ‘저탄소 농산물의 인지도가 낮아 가격차별화가 되지 않은 점’(24.6%), ‘노동력 투입량 증가’(21.7%) 등으로 나타남.

3. 온실가스 배출현황 및 2020년 예상배출량

□ 배출량산정 방법

- 비에너지분야
 - 온실가스 배출량은 기본적으로 배출계수×활동량으로 이루어지며, IPCC 제공 배출계수(Tier 1)와 국가고유계수(Tier 2)가 있음.
- 에너지분야
 - 에너지분야는 농업부문과 식품부문이 있으며 에너지경제연구원의 EGMS모형을 통해 전망됨.

□ 배출현황

- 비에너지분야
 - 축산부문 온실가스 배출량은 1990년 6,261Gt CO₂-eq에서 1997년 9,039Gt CO₂-eq까지 증가하였음. 2010년은 9,225Gt CO₂-eq에 이르렀음.
- 에너지분야
 - 농업부문의 2000년 온실가스 발생량은 13,014천 톤이었으나 연평균 1.8% 감소하여 2009년에는 11,034천 톤으로 나타났음.

- 식품부문을 살펴보면, 전력비분배의 경우 2007년 2,647천 톤에서 2011년 2,160천 톤으로 연평균 4.7%로 감소하였음.

□ 2020년 온실가스 예상배출량

- 2020년 농업, 식품분야 온실가스 배출전망치(BAU)
 - 2020년 농업부문 온실가스 배출전망치는 에너지 9,685천 톤과 비에너지 18,801천 톤을 합하여 전체 28,486천 톤이 될 것으로 전망되고 있음.
 - 2020년 식품분야 온실가스 배출전망치는 5,822천 톤으로 전망되고 있음.

4. 온실가스 감축잠재량 분석

□ 비에너지분야

- 비에너지분야의 감축잠재량은 경종부문의 경우 논 간단관개 면적 확대 142천 톤(0.5%) 화학비료 사용절감 93천 톤(0.3%)으로, 축산부문의 경우 가축분뇨 에너지화 및 공동자원화 시설 확대 320천 톤(1.0%), 양질조사료 재배면적 및 가축급여 확대 80천 톤(0.3%)으로 분석되었음.

□ 에너지분야

- 에너지분야의 감축잠재량은 신재생 에너지부문의 경우 신재생 에너지를 이용하는 냉난방기 설치 지원 380천 톤(1.3%), 에너지절감시설부문의 경우 에너지 절감시설 보급 확대 470천 톤(1.7%), 식품부문의 경우 전동기, 건조기, 고효율 가스보일러의 효율개선 308천 톤(5.3%)으로 분석되었음.

5. 주요국 온실가스 감축정책 추진현황

□ 주요국 기후변화 대응책

- 미국의 경우 AgSTAR 프로그램이 있는데 이는 퇴비관리를 통해 메탄(CH₄)

을 저감함. 또 미국, 일본, 호주는 배출권거래제를 통해 상쇄 크레딧을 제공함.

- 일본은 소비측면에서 ‘CO₂ 표시하기’, ‘지역소비를 위한 지역생산’ 등의 정책이 있고, 생산측면에서 ‘환경보전형농업 직접지원 교부금’ 정책이 있음.

□ 국내 적용가능성 검토

- 환경보전형농업에 대한 메뉴방식의 직접지불금 지급함으로써 유기농업, 조방농업, 가축 수 감소, 질소비료 사용량 감소 등을 촉진할 수 있음.
- 배출권거래제를 통해 크레딧 제공함으로써 농가 수익원을 창출할 수 있음.

6. 농업부문 온실가스 감축전략

□ 논 물관리, 장내발효 개선 등 감축기술의 보급 확대

- 수로가 잘 갖추어진 경우 1~2월 새해 영농기술 교육 프로그램에 간단관계 교육 아이템 도입함. 수로가 잘 갖추어지지 않는 경우 농가들의 물관리 조절장치 도입을 직불금 형태로 지원
- 유기질 비료 지원 사업을 확대하며 화학비료를 대체하고, 비료 효과를 증대시키는 토양개량제 보급함.
- 장내발효 개선을 위해 양질조사료 재배면적 및 가축급여 확대를 통해 온실가스 저감함.

□ 가축분뇨 에너지화 시설, 공동자원화시설 설치 확대

- 가축분뇨 에너지화 및 가축분뇨 공동자원화 사업을 지속적으로 확대해 나가기 위해 지방비 부담 완화 등 지원조건을 단계적으로 개선할 필요 있음.

□ 신재생에너지 이용 및 에너지 절감 시설 보급 확대

- 지열히트펌프나 목재펠릿 보일러 가격이 높기 때문에 자부담 20%일지라

도 농가에게는 상당한 부담이 되고 있음. 따라서 중장기적으로 농가 자부담 비중을 완화 및 용자확대 등을 검토할 필요 있음.

- 에너지 절감시설 보급을 확대하여 온실가스를 감축할 수 있음. 기계를 효율적으로 이용하는 농가를 직불제 등을 통해 지원할 필요가 있음.

□ 저탄소 농업 실현을 지원하기 위한 재배기술 개발 등 R&D 추진

- 배출량 산정 통계기반을 선진국 수준으로 향상시키며, 식량작물 저탄소 생산 재배기술별 메뉴얼 개발 등이 요구됨. 또 경제적 분석에 기반한 감축정책 추진을 위해 한계감축비용분석 연구 추진도 요함.

□ 농업인의 온실가스 감축 참여 활성화를 위한 제도적 기반 마련

- ‘농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업’, ‘저탄소 농축산물 인증제’를 평가·보완하여 2015년부터 본사업 추진 필요함.
- 면세유 다소비(多消費) 농가에 신재생에너지 시설 설치를 유도함.
- 배출권거래시장이 적절히 활용될 수 있도록 하고, 메뉴방식의 저탄소 직불제 도입을 고려할 필요가 있음.

□ 저탄소 농축산물의 소비 촉진

- 저탄소 농축산물에 대한 충분한 홍보가 이루어진다면 많은 소비자들이 관심을 갖고 구매할 것임.
- 탄소성적표지(저탄소인증)와 연계하여 저탄소 농축산물 인증을 받은 농축산물을 원료로 한 가공식품이 탄소성적표지를 용이하게 취득할 수 있도록 함.

□ 신뢰성 있는 활동 데이터베이스 구축

- 온실가스 감축량으로 인정받기 위해서는 배출량 및 감축량에 대한 산정·보고·검증 (MRV)체계가 구축되고 가능해야 함
- 온실가스 배출에 영향을 미치는 다양한 통계자료를 구축하고 신뢰성을 확보

ABSTRACT

An analysis of the Potential to Reduce Greenhouse Gas Emission in Agrifood Sector and Strategies to Achieve the Reduction Goal

Mandatory cuts in greenhouse gases are being carried out by international agreement around the world. The Korean government has also announced its plan to voluntarily reduce the total greenhouse gas emission by 30 percent of BAU in 2020. In order to accomplish greenhouse gas abatement, reduction goal is allocated as 5.2 percent in Agriculture, Forestry and Fisheries sector. Park Geun-hye government has proposed a major national task as active management in the era of climate change and the relevant authorities jointly decide to make 'A Greenhouse Gas Reduction Roadmap' in may 2013. Accordingly, analyses on greenhouse gas reduction potential in Agrifood sector and establishments of abatement strategies are required.

This study utilizes various research methods such as literature reviews, expert interviews, and cooperation researches. In literature reviews, estimation of greenhouse gas potential reductions and Business as Usual in agricultural sector are reviewed. And methods for calculating on greenhouse gas emissions in Agrifood sector were specifically examined. Also, the validity of estimation results and effectiveness of practical strategies of reducing greenhouse gas emissions were identified by expert interviews. In addition to that, analyses of emission state and the abatement potential in arable, livestock and food sector were conducted by contract research.

Abatement potential for the non-energy sector was analysed as follows. First, in arable sector, abatement potential by expanding of intermittent irrigated crop land was revealed as 142 thousand tons. And it was analyzed as 93 thousand tons by reducing of use of chemical fertilizers. Secondly, in livestock sector, abatement potential by extending of manure-to-energy facilities and joint resource utilization center was analyzed as 320 thousand tons. Furthermore, it was given as 80 thousand tons by enlarging good quality roughage crop land and livestock feeds.

Abatement potential for the energy sector was analysed as follows. Abatement potential of Installation supports for renewable energy based air-conditioning system in renewable energy part was analyzed as 380 thousand

tons. Abatement potentials were respectively identified as 470 and 308 thousand tons by extensive diffusion of energy saving facilities in energy conservation facilities and by improving energy efficiency of motors, dryers, and gas boilers in food industries.

In order to accomplish the greenhouse gas abatement in the agricultural sector, it is necessary to expand abatement technologies for water-saving irrigation in rice paddy and enteric fermentation improvement.

Besides, manure-to-energy facilities, joint resource recovery centers and renewable energy facilities would need to be built. In order to support the development of low carbon agriculture, it is required to directly support research facilities so as to develop a variety of cultivation techniques, and it is also important to create investment environment that private enterprises can invest in research and development.

Voluntary emission reduction in agricultural sector is required so that farmers could participate in greenhouse gas reduction. And we need to push forward this project for certification of low-carbon agricultural and livestock products from 2015 by assessing and supplementing. Moreover, it is important not only to make emission trading market useful, but also to consider introducing direct payment program for low-carbon agriculture. Further, promoting the consumption of low-carbon products and constructing reliable active database are required.

Researchers: Hak-Kyun Jeong, Chang-Gil Kim, Dong-Hyun Moon
Research period: 2013. 8. - 2014. 4.

차 례

제1장 서 론

- 1. 연구의 배경 및 필요성 1
- 2. 연구의 목적 2
- 3. 선행연구 검토 2
- 4. 연구방법 및 범위 5

제2장 온실가스 감축 정책 추진 현황

- 1. 온실가스 감축정책 전개 과정 9
- 2. 온실가스 감축정책 추진사업 현황 12
- 3. 농가설문 반응조사결과 15

제3장 온실가스 배출 현황 및 2020년 예상 배출량

- 1. 비에너지분야 온실가스 배출현황 21
- 2. 에너지 분야 온실가스 배출현황 49
- 3. 부분별 2020년 온실가스 예상 배출량 54

제4장 온실가스 감축 잠재량 분석

- 1. 감축기술 DB 57
- 2. 감축잠재량 분석 61

제5장 주요국 온실가스 감축정책 추진현황

- 1. 미국 73
- 2. 호주 87
- 3. 영국 96

4. 일본	106
5. 주요국 사례 종합	118
제6장 농업분야 온실가스 감축 전략	
1. 전략수립의 기본방향	121
2. 온실가스 완화를 위한 실천전략	122
제7장 요약 및 결론	148
부록 1: 감축옵션 인벤토리	151
2: 농업부문 온실가스 감축 R&D 주요 과제별 계획	152
참고 문헌	153

표 차 례

제2장

- 표 2- 1. 온실가스 완화사업 추진현황 14
- 표 2- 2. 적용하고 있는 저탄소 농업기술의 종류 17

제3장

- 표 3- 1. 가축 사육 두수의 변화 추이(1990~2011) 23
- 표 3- 2. 축종별 장내발효 과정의 메탄 배출계수 및 출처 26
- 표 3- 3. 축종 별 가축분뇨 처리과정의 메탄 배출계수 및 자료 29
- 표 3- 4. 분뇨처리시설의 아산화질소 배출계수 29
- 표 3- 5. 축산부문의 온실가스 배출량(1990~2011) 32
- 표 3- 6. 벼, 보리, 밀의 재배면적 변화 추이(1990~2011) 33
- 표 3- 7. 물 관리 방법별 논면적 변화 추이(1990~2011) 33
- 표 3- 8. 유기물 시용 논면적 변화 추이(1990~2011) 34
- 표 3- 9. 주요 작물 생산량 추이(1990~2011) 35
- 표 3-10. 화학비료 및 가축분뇨의 농경지 투입량(1990~2011) 37
- 표 3-11. 논벼 물 관리 방법별 보정계수 39
- 표 3-12. 유기물 시용량 보정계수 39
- 표 3-13. 벼 재배 논에서의 CH₄ 배출량 추이(1990~2011) 40
- 표 3-14. 농경지에서의 N₂O 직접 배출량 추이(1990~2011) 45
- 표 3-15. 농경지에서의 N₂O 간접 배출량 추이(1990~2011) 46
- 표 3-16. 작물 잔사 소각에 따른 온실가스 배출률 47
- 표 3-17. 작물 잔사 소각에 따른 온실가스 배출량 산정을 위한 계수 ... 47
- 표 3-18. 작물 잔사 소각에 의한 온실가스 배출량 추이(1990~2011) ... 49
- 표 3-19. 경종부문의 온실가스 배출량(1990~2011) 49

표 3-20.	주요 전체 및 출처	52
표 3-21.	연도별 에너지분야 농업부문 온실가스 배출량	52
표 3-22.	에너지분야 농업부문 온실가스 배출량 비중(2009년 기준)	53
표 3-23.	에너지분야 식품부문 온실가스 배출량 추이	53
표 3-24.	경종부문의 활동량 전망치	54
표 3-25.	주요축산물 사육두수 전망	55
표 3-26.	화학비료 질소 투입량 전망	55
표 3-27.	농업부문 온실가스 배출전망치(BAU)	56
표 3-28.	식품부문 온실가스 배출전망치(BAU)	56

제4장

표 4- 1.	농업, 식품분야 감축기술 DB(계속)	59
표 4- 2.	경종부문 2020년 온실가스 감축잠재량	63
표 4- 3.	축산부문 2020년 온실가스 감축잠재량	65
표 4- 4.	신재생에너지부문 2020년 온실가스 감축잠재량	68
표 4- 5.	에너지 절감시설부문 2020년 온실가스 감축잠재량	70
표 4- 6.	식품부문 2020년 온실가스 감축잠재량	72

제5장

표 5- 1.	미국의 부문별 온실가스 배출량 및 전망치	75
표 5- 2.	미국 농업부문 온실가스 원별 배출량(2011)	76
표 5- 3.	CRP 프로그램 등록을 통한 탄소감축 효과	82
표 5- 4.	2011 CSP 연간 직불금 지급액	83
표 5- 5.	호주 농업부문 온실가스 배출량 및 전망치	90
표 5- 6.	호주의 2020년 감축 목표	91
표 5- 7.	영국 온실가스 감축 목표(The Carbon Action)	99
표 5- 8.	영국 농업부문 온실가스 감축 목표(The Carbon Action)	99
표 5- 9.	일본 부문별 CH ₄ 배출량	107

표 5-10. 일본 부문별 N₂O 배출량(2010, 2011) 109

표 5-11. 농림분야 크레딧의 지역별 분포 112

표 5-12. 농림분야 크레딧의 형태별 분포 113

표 5-13. 일본의 농업부문 기후변화 대응 정책사업(2011년) 117

표 5-14. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(미국, 일본) 118

표 5-15. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(영국, 호주) 119

표 5-16. 주요국의 온실가스 감축 대책 사례분석 시사점 120

제6장

표 6- 1. 농업부문 온실가스 감축 R&D 주요과제별 계획 139

부록

부표 1. 농업부문 온실가스 완화옵션 인벤토리 151

그림 차례

제1장

그림 1- 1. 연구의 흐름도	8
------------------------	---

제2장

그림 2- 1. 정읍시 가축분뇨 에너지화 CDM 사업 사례	13
그림 2- 2. 저탄소농업기술 도입경로 및 배경	16
그림 2- 3. 저탄소농업기술 적용의 애로사항 및 보급방안	17
그림 2- 4. 새로운 저탄소농업기술 수용의향	18
그림 2- 5. 연간 저탄소농업 교육 참가횟수 및 교육기관	19

제3장

그림 3- 1. 가축 사육 두수의 변화 추이(3년 평균치)	22
그림 3- 2. 주요 가축 사육 두수의 변화 추이(1990~2011)	24
그림 3- 3. 장내발효에 의한 메탄 배출량 변화 추이(1990~2011)	26
그림 3- 4. 가축분뇨 처리에 의한 온실가스 배출량 변화 추이(1990~2011)	30
그림 3- 5. 축산부문의 온실가스 배출량(1990~2011)	31
그림 3- 6. 벼 재배 논에서의 CH ₄ 배출량 추이(1990~2011)	40
그림 3- 7. 농경지에서의 N ₂ O 직접 배출량 추이(1990~2011)	44
그림 3- 8. 농경지에서의 N ₂ O 간접 배출량 추이(1990~2011)	45
그림 3- 9. 작물 잔사 소각에 의한 온실가스 배출량 추이(1990~2011)	48
그림 3-10. KEEI-EGMS 모형의 전망시스템 구조(상향식)	51

제5장

그림 5- 1. 미국 농업부문 온실가스 구성(2011)	74
--------------------------------------	----

그림 5- 2.	CRP 일반등록 계약 토지의 에이커 당 연간 평균 보상액('08년)	80
그림 5- 3.	식생·지역에 따른 CRP 프로그램 일반계약참여 토지이용현황	81
그림 5- 4.	환경개선장려계획 계약의 에이커 당 평균보상비('08년)	84
그림 5- 5.	호주 농업부문 온실가스 배출량 변화 추이	89
그림 5- 6.	호주의 2020년 감축 목표	91
그림 5- 7.	영국 농업부문 온실가스 배출량의 구성	97
그림 5- 8.	영국 농업부문 CH ₄ 와 N ₂ O 배출량 구성	98
그림 5- 9.	일본 온실가스 배출량 변화 추이	107
그림 5-10.	일본 CH ₄ 배출량 구성	108
그림 5-11.	일본 N ₂ O 배출량 구성	110
그림 5-12.	일본의 온실가스 배출량 추이 및 감축 목표	111
그림 5-13.	일본의 저탄소직불제 프로그램	115

제6장

그림 6- 1.	농업분야 온실가스 감축 로드맵	124
그림 6- 2.	토양 검정 및 맞춤형 비료 지원 절차	128

제 1 장

서 론

1. 연구의 배경 및 필요성

- 기후변화는 지구온도의 평균적인 증가를 의미하며, 미래 사회의 변화를 주도할 메가트렌드임. 기후변화가 가져올 환경변화에 대응하기 위해 온실가스 감축이 글로벌 어젠다로 등장하였고, 세계는 국제협약을 통해 온실가스 의무감축을 현실화하고 있음. 우리나라도 2009년 11월 온실가스 배출량을 2020년까지 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 30%를 자발적으로 감축(녹색성장기본법 시행령 제25조)하기로 발표하였으며, 2011년 7월 부문별·업종별 감축목표를 설정하였음.
- 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 농림어업 부문의 감축목표는 5.2%로 할당되었음. 농림축산식품부는 2011년 12월 「농림수산식품 기후변화 대응 세부실천 계획(2011~'20)」을 수립하여 온실가스 감축 프로그램을 제시하였고, 농림수산식품 부문의 온실가스를 감축시키기 위한 정책을 추진해 왔음.
- 박근혜 정부는 기후변화 시대에 대한 적극적 대처를 주요 국정과제로 제시

하였으며, 온실가스 배출량 증가, 석탄화력 신규 추진 등으로 국가 감축목표 달성여건이 악화됨에 따라 2013년 5월 관계부처 합동으로 ‘국가 온실가스 감축 로드맵’을 수립키로 결정하였음(’13.05.03. 국가정책조정회의).

- 따라서 농업·식품 부문 온실가스 감축잠재량의 분석 및 감축 전략 수립이 긴요해졌음. 특히 농업·식품 부문의 온실가스 감축잠재량 분석을 토대로 온실가스 감축을 위한 실천전략을 도출하는 연구가 필요함.

2. 연구의 목적

- 정책적인 목표를 반영하여 농업·식품 부문 온실가스 감축잠재량 분석
 - 농업·식품 분야의 감축기술 DB 구축 및 농업·식품 분야의 여건 변화를 반영한 감축잠재량 분석
- 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시
 - 저탄소 농업기술의 개발·보급, 신재생에너지 이용 확대, 에너지 절감시설 확대 등 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시함.

3. 선행연구 검토

가. 선행연구 현황

- 오진규 외 5인(1995)은 기후변화협약에 따른 제1차 국가보고서 작성에 대비하여 산업부문별 온실가스 배출량 추정과 저감 대응방안을 제시함. 이 연구

에서 처음으로 IPCC 온실가스 배출량 추정방법을 검토하고 농업부문과 축산부문의 온실가스 배출량 추정과 농업부문의 활동량 예측을 기초로 배출량 전망치도 제시함.

- 농업과학기술원(2005)은 농업부문의 온실가스 배출저감 기술개발에 관한 5개년 연구과제의 종합보고서에서 농경지 배출 온실가스모니터링, 밭에서의 아산화질소 배출량 억제, 주요 지역별 농경지의 온실가스 저감 방법, 축산부문의 장내발효와 가축분뇨에서의 온실가스 배출량 추정 및 저감방법 등을 제시함.
- 김창길, 김태영, 신용광(2006)은 IPCC(1995) 온실가스 배출량 추정방식 (Tier 1)을 적용하여 메탄과 아산화질소 배출량과 비료와 에너지 투입에 따른 이산화탄소 배출량을 추정하였고, 벼의 조곡과 벧짚에 포함된 탄소함량을 기초로 이산화탄소 흡수량을 추정하였음. 또한 농업부문의 중장기 전망지표를 기초로 2020년과 2030년의 온실가스 배출량을 전망하였음.
- 노기안 등(2009a)은 농업부문의 온실가스 배출 특성, IPCC의 온실가스 배출추정 방법론의 변천과정을 소개하고, 온실가스 시료채취 및 분석방법 등을 설명함. 농업부문 온실가스 배출전망치 추정과 관련하여 농경지 유기질 비료 사용 증가, 휴경지 보전, 바이오연료 생산을 위한 다년생초목 도입, 무경운 또는 최소 경운 실천, 유기농법 확대 등 이용 가능한 방법별로 농경지 단위면적 당 미래의 탄소흡수 잠재량을 추정하였음.
- 산림청(2008)은 지구온난화에 따른 임업·임산업에 대한 영향분석, 기후변화 대응전략 및 내용에 관한 국내외 동향 파악, 국가별 기후변화에 대한 산림분야의 대응방안, 국제 탄소배출권 거래시장 등의 파악을 통해 최종적으로 국내 산림분야의 기후변화 대응방안에 대한 시사점을 도출하고 대응방안을 제시하였음.

- 이상민, 김경덕, 송성환(2008)은 선진국의 산림부문 기후변화협약 대응을 살펴보고 시사점을 제시하였음. 또한 동적임분성장모델(Dynamic stand growth model)로 만든 자료를 사용하여 탄소배출 및 흡수를 고려한 목재의 경제성 최적화를 분석한 후, 탄소흡수 확대 및 보전과 탄소흡수 기능 확대로 나누어 산림부문 관리방안을 제시하였음.
- 김창길 등 4인(2010)은 2020년 목표년도의 농업부문 온실가스 배출량 전망을 위해 내외적 여건변화를 고려하여 네 가지 시나리오를 설정하여 시나리오별 배출량을 전망을 하였으며, 2020년 온실가스 감축목표인 BAU 대비 30% 감축을 위해서는 농업부문도 2020년 BAU전망치를 기초로 적절한 대응 전략 수립의 필요성을 제시함.
- 김창길 등 4인(2011)은 기후변화가 농림수산물산업에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였고, 국가온실가스 중기감축목표에 대응하기 위해 농림수산물산업의 온실가스 감축잠재력을 분석하였음. 한계감축비용 분석, 주요국 기후변화 대응사례 분석, AHP 우선순위 분석 등을 바탕으로 체계적인 기후변화 대응전략을 제시하였음.
- 김창길 등 3인(2013)은 주요 저탄소 농업 기술 적용의 경제성 평가를 바탕으로 저탄소 직불제 프로그램의 적정수준의 지급단가·한도·기한 등을 산정하였으며, 주요국의 저탄소 직불제 프로그램을 검토하였음. 이 연구는 농업인들의 여건에 따라 실천 가능한 방법을 선택할 수 있는 메뉴방식의 저탄소 농업 직불제 프로그램을 제시하였음.
- Malmshemer et al.(2008)은 목제품 이용, 산림 바이오매스 대체, 산불관리 등을 통한 온실가스 배출저감 효과와 산림의 탄소저장을 통한 온실가스 흡수효과를 소개함. 특히 탄소저장 증대를 위해 건강성 유지, 고사·산불·병해충 등으로 인한 손실방지의 필요성을 제시하고 간벌을 이용하여 임분의 밀

도를 관리함으로써 지속가능한 목재자원을 공급하고 동시에 탄소를 저장하는 역할을 유지할 수 있으므로 탄소저장 확대와 배출감소를 위해 전통적인 조림이 고려되어야 함을 주장함.

나. 선행연구와의 차별성

- 기후변화 심화, 식량안보의 중요성 증대 등 환경 변화를 반영하여 농업·식품 분야의 감축잠재량을 분석하고, 농업부문을 중심으로 온실가스 감축전략 도출
- 기존의 선행연구들을 종합화하고, 감축기술의 잠재량을 평가하며, 새로운 감축전략을 도출하여 제시

4. 연구방법 및 범위

가. 연구방법

관련 문헌 및 기존연구자료 조사

- 농업부문 온실가스 감축 잠재량과 온실가스 배출전망치 추정 관련 국내 연구기관(국립농업과학원, 한국농촌경제연구원)의 연구실적을 최대한 활용하고, 온실가스 감축 잠재량에 관한 시험적인 연구결과는 국립농업과학원, 농업기술실용화재단, 에너지경제연구원 및 유관기관의 축적된 정보를 활용함.
- 온실가스 감축 잠재량과 배출전망치 추정 관련 국외정보는 IPCC, OECD 등 해외 유관기관의 자료와 정보를 활용함.

□ 통계자료 분석 및 계량분석

- 농업·식품부문 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법론 검토
- 농업·식품 산업의 온실가스 배출량 현황 및 배출특성 분석
- 영농기술별 온실가스 감축잠재량 산정

□ 농업부문 온실가스 감축 산정 및 할당 대응

- 온실가스 감축잠재량 산정을 위해 온실가스 감축이 가능한 영농기술의 목록과 정확한 영농기술별 잠재량 파악을 위해 국내 관련 분야의 전문가를 자문위원으로 활용.

□ 전문가 자문회의 및 의견수렴

- 온실가스 배출전망치의 유의성 여부를 확인하기 위해 관련 전문가를 자문위원으로 활용
- 농업·식품부문 온실가스 감축 목표 달성전략을 위해 자문회의를 개최하고 식량안보 등 관련분야의 국내 전문가 의견수렴

□ 현지방문 면담조사

- 농업, 식품부문 온실가스 감축 목표 달성전략에 대한 정책담당자 대상 심층 면담 조사
- 농업, 식품부문 온실가스 배출량, 감축잠재량 관련 연구 과제를 수행하는 기관을 방문하여 관련분야 자료수집

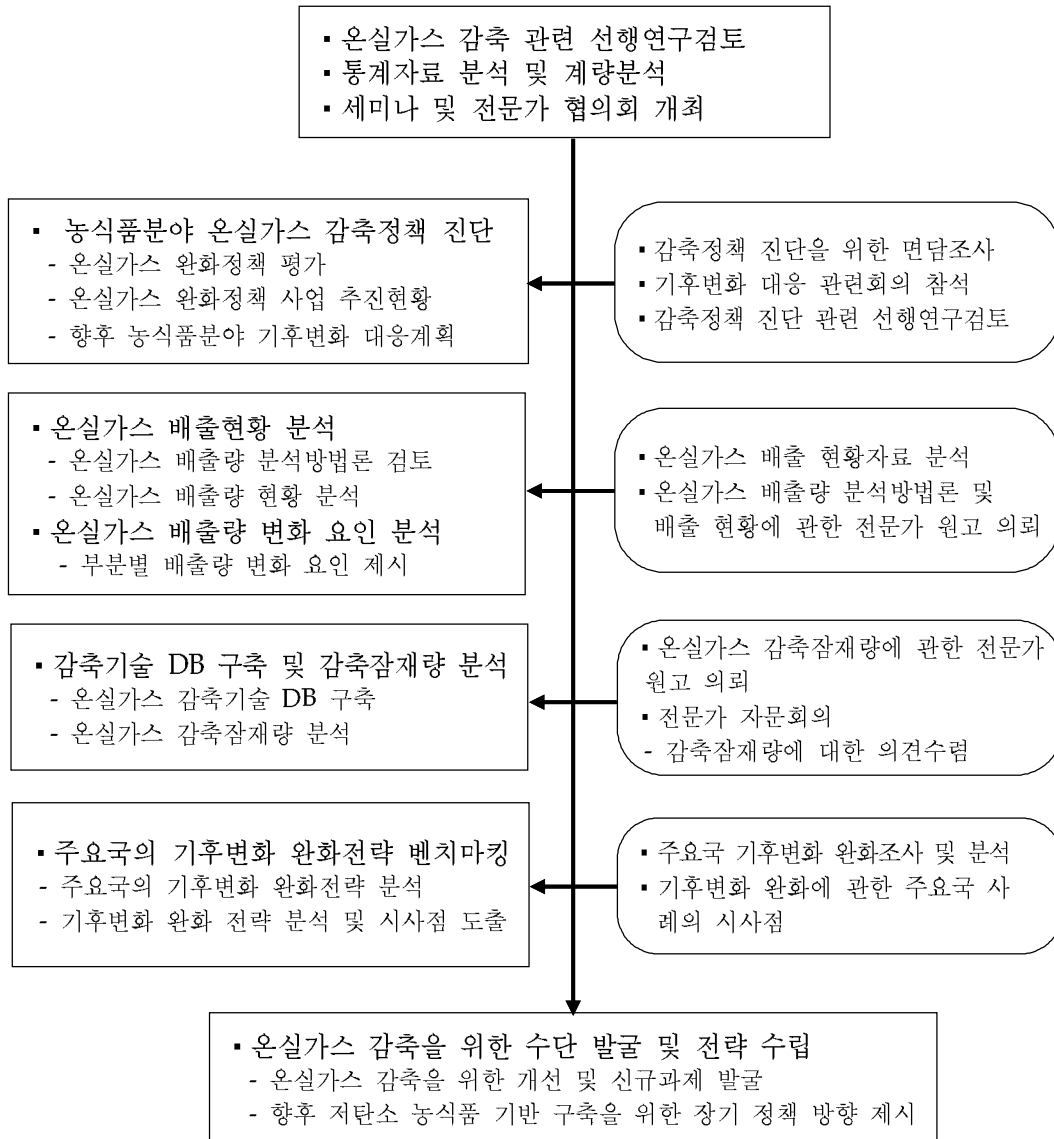
□ 농업·식품부문 전문가와의 협동연구 추진

- 농업부문의 온실가스 배출 현황 및 감축잠재량 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 정현철 연구사에게 원고 의뢰
- 축산부문의 온실가스 배출 현황 및 감축잠재량 분석은 강원대학교 박규현 교수에게 원고 의뢰
- 식료품의 온실가스 배출 현황 및 감축잠재량 분석은 농업기술실용화재단 류승현 연구원에게 원고 의뢰

나. 연구범위

- 농림축산식품산업의 경우 농업, 축산, 식품 등으로 분석대상을 한정함.
 - (농업·축산) 에너지분야 및 비에너지분야로 구분하여 온실가스 감축 기술 DB 구축 및 잠재량 분석
 - (식품) 업종 특성을 고려한 감축기술 DB 구축 및 잠재량 분석
- 온실가스 감축목표 달성의 구체적인 실행 전략은 농업, 축산 부분에 초점을 맞추어 제시함.

그림 1-1. 연구의 흐름도



제2장

온실가스 감축 정책 추진 현황

1. 온실가스 감축정책 전개 과정

- 농식품분야 기후변화 협약 대책
 - 제3차 기후변화협약대책(2005~2007)의 경우 협약이행 기반구축사업 3개, 부문별 온실가스 감축사업 8개, 기후변화 적응기반 구축사업 5개 등 16개 세부과제를 대상으로 하였음.
 - 제4차 기후변화협약대책(2008~2012)의 경우 기후친화산업을 신성장동력으로 육성 1개, 국민의 삶의 질 제고와 환경 개선 15개, 기후변화 대처를 위한 국제사회 노력을 선도 1개 등 17개 세부과제가 포함됨.
- 저탄소 녹색성장 추진전략의 농업분야 기후변화 대응 정책
 - 2009년 11월에 농림수산식품 분야 저탄소 녹색성장 추진전략을 확정하였음. 3대 전략과 9대 추진과제, 50개 실천과제를 수립하여 추진하고 있음.
 - 2010년 4월 ‘2010년도 농림수산식품분야 녹색성장 중요 추진계획’을 마련하였음. 연도별 시급성 및 파급성이 높은 정책들을 7대 핵심과제 및 2대 관리과제로 선정하여 중점 관리하고 있음.
 - 2011년 3월에는 ‘2011년 녹색성장 핵심과제 추진계획’을 발표하였음. 핵

심분야로 농식품산업의 특성을 반영하고, 여건변화에 선제적으로 대응할 수 있는 기후변화 대응, 녹색에너지, 녹색생활 실천 확산, 지속가능한 자원관리, 국제협력 강화 등 5대 과제를 선정하였고, 관리 분야로 핵심과제들과 연계한 지속적인 성과관리, 홍보 등을 통해 정책성과 창출을 극대화하는 것으로 제시함.

○ 농림축산식품부는 2011년 11월 농림수산식품산업의 선제적인 기후변화 대응을 위해 「농림수산식품분야 기후변화 대응 세부 추진계획(2011~2020)」을 확정·발표함.

- 농업부문의 온실가스 감축을 위해 물걸러대기 확대, 무경운 농법 도입, 화학비료 절감 등 저탄소 농법을 개발·보급하고, 에너지 절감시설 보급 및 목재펠릿·지열·풍력·태양광 등 신재생에너지 시설도 확대하는 계획을 담고 있음.
 - 물걸러대기(間斷灌溉 : 논을 항상 담수상태로 유지하지 않고 며칠간 물을 뺀 후 다시 관개)를 할 경우, 상시담수에 비해 온실가스 감축능력 43.8% 향상
 - 밭 무경운 농법 적용시 경운농법에 비해 약 32%의 온실가스 감축 가능
- 축산부문의 온실가스 감축을 위해 가축분뇨 자원화 및 에너지화 시설을 계속 확대해 나가고, 사료개발 및 기술개발을 통해 반추가축의 장내발효에서 발생하는 온실가스를 감축하는 방안을 담고 있음.
 - 가축분뇨 퇴비화 과정에서 호기(好氣)처리시 온실가스 배출량 68~82% 저감¹이 가능하며, 장내발효 유래 온실가스를 획기적으로 감축 가능한 사료 개발
 - 2012년부터 도입한 축산업 허가제 등을 통해 적정 가축사육 두수를 유

1 퇴비화 방법에 따른 온실가스 배출량을 비교해보면 기존의 무송풍의 방법과 비교하여 송풍, 교반 등 호기처리를 하게 되면 온실가스 배출량을 68~82% 감축시킬 수 있음(녹색농업기술 편람, 2011).

지하는 방안을 담고 있음.

- 농림축산식품부가 중심이 되어 지자체, 민간과 협력체계를 구축하고 장기적으로 농림수산식품산업의 이상기상 예보 전담기관인 「(가칭)농림축산식품기후변화대응센터」 설립도 추진함.
 - 1차 농축산물을 대상으로 「저탄소 농축산물 인증제도」를 도입하고, 향후 탄소배출권 거래제 도입 등에 대비하여 「농림수산식품분야 탄소상쇄사업」을 계획함. 탄소상쇄(Carbon Offset)사업은 녹색기술 이용 등 추가적인 활동을 통한 탄소감축량을 의무감축이행 등에 활용가능한 일종의 배출권 형태로 생산하는 사업을 지칭함.
- 향후 농식품분야 기후변화 대응 계획; 기후변화 시대에 대한 적극적 대처가 주요 국정과제로 제시되었으며, 온실가스 배출량 증가, 석탄화력 신규 추진 등으로 국가 감축목표 달성여건이 악화됨에 따라 관계부처 합동으로 ‘국가 온실가스 감축 로드맵’을 수립함.
- 정부는 온실가스 감축 로드맵 공동작업반 추진 계획하였고(5월 27일), 온실가스 감축 로드맵 공동작업반을 구성하여 운영함.
 - 공동작업반 운영방안 및 에너지 수요 전망모형 및 배출전망 전제조건 논의(6월 3일)
 - 농축산 부문 전제조건 및 활동자료 논의(6월 27일)
 - 온실가스 감축잠재량 분석(2013.9)
 - 감축정책 및 신규 감축수단 발굴 등 감축 로드맵(2013.11)
 - 로드맵(안)에 대한 사회적 합의 및 확정(2013.12)

2. 온실가스 감축정책 추진사업 현황

○ 저탄소농업 관련 추진 사업

- 2012년 3월 저탄소 농식품 기반구축을 위한 신규사업으로 ‘농업탄소상쇄 시범사업 및 저탄소 농축산물 인증 시범사업’을 추진함. 농업분야 온실가스 감축, 농업경영체 소득 제고, 녹색농업기술을 통한 에너지 절감 등을 목적으로 함. 농업탄소상쇄 시범사업의 경우 지열히트펌프 활용 등 10개 사업자(177농가)를 선정하여 추진하고, 저탄소 농축산물 인증 시범사업의 경우 벼, 토마토 등 22품목, 433농가를 각각 선정하여 추진하고 있음.
- 농업부문 탄소상쇄 시범사업 추진; 탄소상쇄는 국가와 기업이 탄소배출을 직접 줄이는 대신 탄소감축사업 투자로 줄어든 온실가스를 자신의 감축량으로 인정받는 제도임. 이 제도는 농업부문 온실가스 발생 최소화 정책을 적극 추진한다는 ‘친환경농업육성법(제10조)’과 국가온실가스 감축목표 달성을 위해 배출권거래제도 도입을 담은 ‘녹색성장기본법’(제46조)에 근거를 두고 있음.

○ 농업부문의 UN CDM 사업 공식 등록

- 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism)는 교토의정서 제12조에 규정된 제도로서 온실가스 非감축의무 국가에서 확보한 온실가스 감축량을 온실가스 감축의무국가(선진국)의 감축실적으로 인정받을 수 있도록 한 제도임.
- 우리나라가 UNFCCC에 등록한 CDM 사업은 태양광, 풍력, 소수력발전 등 91건(2014. 3월 기준)이며, 이 중 농업부문은 정읍시 가축분뇨 에너지화 사업이 처음으로 등록됨(2012. 11. 29).
- 전북 정읍시(소재지: 정읍시 신태인읍 연정리 581, 친환경대현그린)에 구축된 가축분뇨 에너지화 사업 관련 CDM 사업등록자인 농업경영체는 향

후 10년간 약 16,640tCO₂-eq의 온실가스 감축을 인정받아 이를 국제 배출권 거래시장에 판매할 수 있게 될 것으로 예상되며, 또한 한국전력에 매전(2,492MWh/년)을 통해 부가적인 수익을 올릴 수 있는 것으로 기대됨.

- 정읍시 가축분뇨 에너지화 사업규모는 총 100m³/일(가축분뇨: 70m³/일, 음폐수: 30m³/일)에 달하며, 발전용량은 370kw, 사업비는 약 70억 원이 투입됨.
- 가축분뇨 에너지화 사업은 기후변화 대응 및 친환경농업 확대를 위해 소나 돼지 등의 배설물을 활용하여 바이오가스와 퇴비, 액비를 생산하는 농림축산식품부 지원사업으로서, 2010년부터 정읍 등 8개 지역을 사업지로 선정하여 추진하고 있음. 농림축산식품부는 2020년까지 전국에 30개소를 설치하여 연간 365만 톤의 가축분뇨를 바이오 에너지원으로 활용하고, 온실가스 166.4천 톤을 감축할 계획임.

그림 2-1. 정읍시 가축분뇨 에너지화 CDM 사업 사례



메탄발효조(좌), 발전기(우)



발전기(370kW)

- 주요 저탄소농업 추진 현황을 보면 <표 2-1>과 같음. 현재까지의 누적실적을 보면 목재펠릿 보일러는 15,657대, 에너지절감 및 신재생에너지 시설은 5,766ha, 농업용 LED보급 시범사업 75개소, 친환경농업 육성 및 보급 지원

사업 172,674ha임. 전체 친환경농업 가운데 유기농업 19,312ha, 무농약농업 95,253ha 등으로 나타났음. 또, 녹비작물 종자대 지원 사업은 166,000ha를 나타냈음.

표 2-1. 온실가스 완화사업 추진현황

분 류	단 위	2013년까지 누적 실적
목재펠릿 보일러 보급	대	15,657
에너지절감 및 신재생에너지 시설	ha	5,766
농업용 LED보급 시범사업 ¹⁾	개소	75
친환경농업 육성 및 보급 지원 사업 ¹⁾	ha	172,674
- 유기농업	ha	19,312
- 무농약농업	ha	95,253
- 저농약농업	ha	58,109
녹비작물 종자대 지원	ha	166,000

주: 1) 농업용 LED 보급 및 친환경농업은 2012년까지 누적 실적임.
 자료: 농림축산식품부 기후변화대응과 내부자료(2014.3)

3. 농가 설문조사결과²

3.1. 설문조사 개요

- 저탄소 농업기술 적용의 실태 및 기술 적용의 애로사항을 조사하고 저탄소 농업직불제 도입방안에 대해 의견을 수렴함으로써 저탄소 직불제의 대상 기술, 단가 및 지급기한 산정, 사후관리(모니터링) 등 저탄소 농업직불제 도입방안을 도출하기 위해 설문조사를 실시하였음.
- 저탄소 농업기술 적용에 관한 설문조사 내용은 저탄소농업 기술 도입 배경 및 경로, 적용하고 있는 저탄소농업 기술의 종류, 저탄소농업 기술적용의 애로사항, 정부의 정책 방향, 저탄소농업 직불제의 지급 대상, 적정수준의 직불금, 향후 새로운 저탄소 농업기술에 대한 수용의향, 현재 적용하고 있는 기술에 대한 교육 횟수, 저탄소 농업 직불제 도입방안 등 총 20개 문항으로 구성하였음.
- 설문조사 기간은 2012년 12월 11일부터 2013년 1월 4일까지였으며, 조사 대상은 한국농촌경제연구원 현지통신원 친환경농업 실천 농가(우편) 150명, 저탄소농업 실천농가(우편 및 면접) 190명 등 총 340농가였음. 이 가운데 총 92농가가 설문에 응답하였음.

3.2. 설문분석 결과

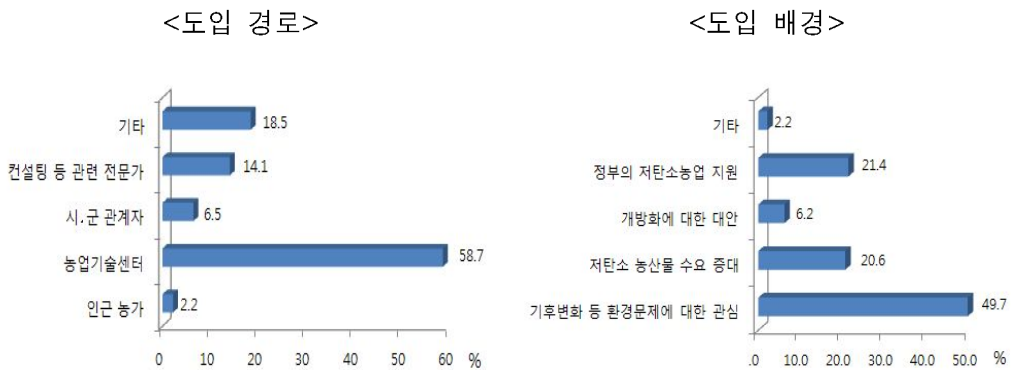
- 저탄소 농업기술을 듣게 된 계기 혹은 도입하게 된 경로에 대하여 ‘농업기

² 김창길 등(2013)을 인용함.

술센터'가 58.7%로 가장 높았고, '컨설팅 등 관련 전문가' 14.1%, '시·군 관계자' 6.5% 등으로 그 뒤를 이음. 향후에도 저탄소 농업기술의 전파에 효율적인 경로가 농업기술센터인 것으로 보임.

- 저탄소 농업기술 도입 시 의사결정에 가장 크게 영향을 미친 요인으로 '기후변화 등 환경문제에 대한 관심'이 49.7%로 가장 높았고, '정부의 저탄소 농업 지원' 21.4%, '저탄소 농산물 수요 증대' 20.6% 등으로 그 뒤를 이음. 저탄소 농업기술 도입 시 의사결정에 영향을 미친 요인으로 환경문제가 가장 큰 가운데 정부의 지원여부나 저탄소 농산물 수요 증대에 따른 소득증대 등 경제적인 요인도 어느 정도 작용하는 것으로 보임.

그림 2-2. 저탄소농업기술 도입경로 및 배경



주: 도입배경의 비중은 1순위에 2점, 2순위에 1점을 곱하여 가중평균 함.

- 적용하고 있는 저탄소 농업기술의 종류에 대하여 자주 적용하는 기술을 3가지까지만 선택하게 한 결과, '녹비작물'이 25.4%로 가장 많았고, '맞춤형 비료' 17.6%, '완효성 비료' 16.7%, '무경운농업' 7.1%, '간단관개' 5.5% 등의 순서로 나타났음.

표 2-2. 적용하고 있는 저탄소 농업기술의 종류

저탄소농업	비중(%)	저탄소농업	비중(%)
녹비작물	25.4	건답직파농법	2.6
맞춤형 비료	17.6	목재 펠릿	2.2
완효성 비료	16.7	기타 저에너지 농기계	2.2
무경운농업	7.1	논물 얹게대기	2.0
간단관개	5.5	순환식수막시스템	1.1
다겹보온커튼	4.0	담수직파농법	0.9
밭 물관리	3.3	지열히트펌프	0.7
트랙터 에코드라이빙	3.3	기타	5.8
		합 계	100.0

주: 적용하고 있는 저탄소 농업기술의 비중은 1순위에 3점, 2순위에 2점, 3순위에 1점을 부여하여 가중평균함.

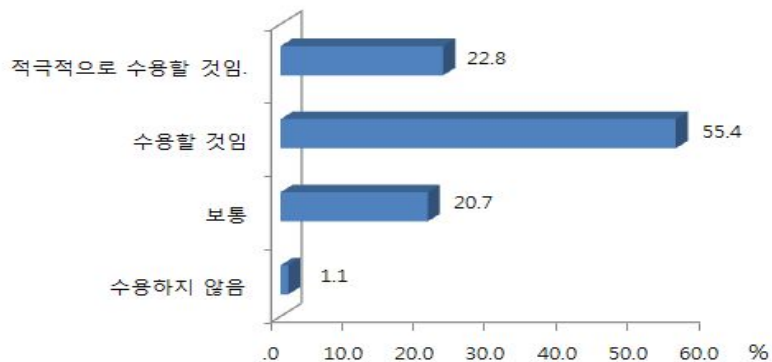
- 주로 적용하는 저탄소 농업기술에 대하여 기술적용 시 애로사항을 질문한 결과, ‘저탄소농업 기술 적용에 따른 단보당 수량 감소’가 25.7%로 가장 많았고, ‘저탄소 농산물의 인지도가 낮아 가격차별화가 되지 않은 점’이 24.6%, ‘노동력 투입량 증가(까다로운 서류작성 등 포함)’ 21.7%, ‘기술도입 성공에 대한 신뢰 부족’이 13.8% 등으로 나타났음.

그림 2-3. 저탄소농업기술 적용의 애로사항 및 보급방안



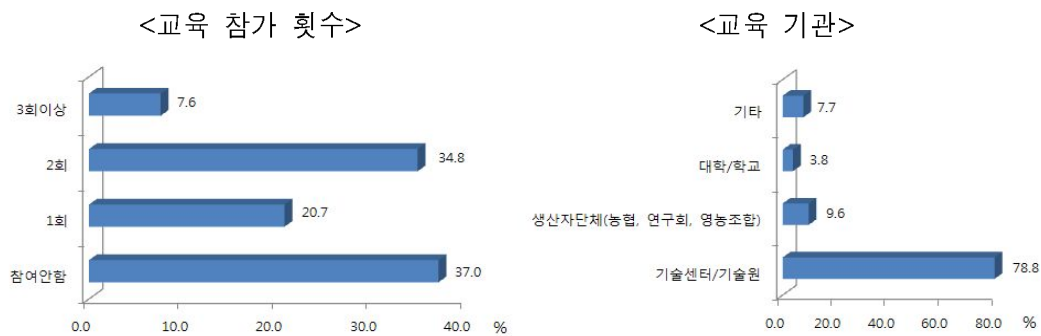
- 저탄소 농업기술 적용을 확산시키기 위해 앞으로의 정부의 노력에 대해 ‘직불제 등 인센티브 제공’이 42.0%로 가장 많았고, ‘저탄소 농업기술의 기술력 향상’ 17.0%, ‘새로운 저탄소농업기술의 개발 및 보급’ 14.1%, ‘안정적인 판로확보(계약재배, 수출 등)’ 13.8% ‘인지도 제고를 위한 홍보’ 11.6% 등으로 나타났음. 이는 정부에서 저탄소 농업기술을 장려할 경우 정책결정시 직불제 등 인센티브 제공을 최우선적으로 고려해야 함을 시사함.
- 향후 새로운 저탄소농업 기술이 개발될 경우 적극적으로 수용할 의향에 대하여 질문한 결과, ‘수용할 것임’이 55.4%, ‘적극적으로 수용할 것임’이 22.8%로 수용 비중이 78.3%로 높게 나타났음.

그림 2-4. 새로운 저탄소농업기술 수용의향



- 연간 저탄소농업 교육 참가횟수는, 참여하지 않고 있다는 비중이 37.0%로 가장 높은 가운데 ‘2회’가 34.8%, ‘1회’가 20.7%, ‘3회 이상’이 7.6% 등으로 나타났음. 저탄소농업 교육기관으로는 기술센터와 기술원이 78.8%로 가장 높게 나타났음.

그림 2-5. 연간 저탄소농업 교육 참가횟수 및 교육기관



3.3. 시사점

- 저탄소농업 기술적용 실태와 저탄소농업 도입방안에 대한 설문조사분석 결과를 통해 다음과 같은 시사점을 도출하였음.
- 정부가 농업부문 온실가스를 감축시키기 위해 저탄소 농업기술을 장려할 경우 정책결정시 직불제 등 인센티브 제공을 최우선적으로 고려할 필요가 있음.
- 저탄소 농업기술 적용 시 애로사항으로 저탄소농업 기술 적용에 따른 단보당 수량 감소가 가장 많았는데 기술개발을 통해 수량 감소를 완화시켜 줄 수 있는 대책이 요구됨. 또 저탄소 농산물의 가격이 일반농산물과 차별화가 되지 않는 점도 주요 애로요인으로 나타났는데 이는 저탄소농산물의 판로 및 마케팅 방안도 매우 중요함을 시사함.
- 향후 농가들은 새로운 저탄소농업 기술이 개발될 경우 수용의사를 나타낸 점으로 미루어 보아 저탄소 농업 기술 개발에 대한 적극적인 투자는 온실가

스 감축에 기여할 것으로 보임.

- 농가들은 저탄소 농업직불제가 원활하게 도입되기 위해서는 저탄소농업 기술적용 농가가 확대될 필요가 있으며, 이를 위해 저탄소농업 및 기술에 대한 홍보와 교육이 우선적으로 필요하며, 홍보와 교육 기관으로 농업기술센터의 역할이 보다 중요함.

제 3 장

온실가스 배출 현황 및 2020년 예상 배출량³

1. 비에너지분야 온실가스 배출현황

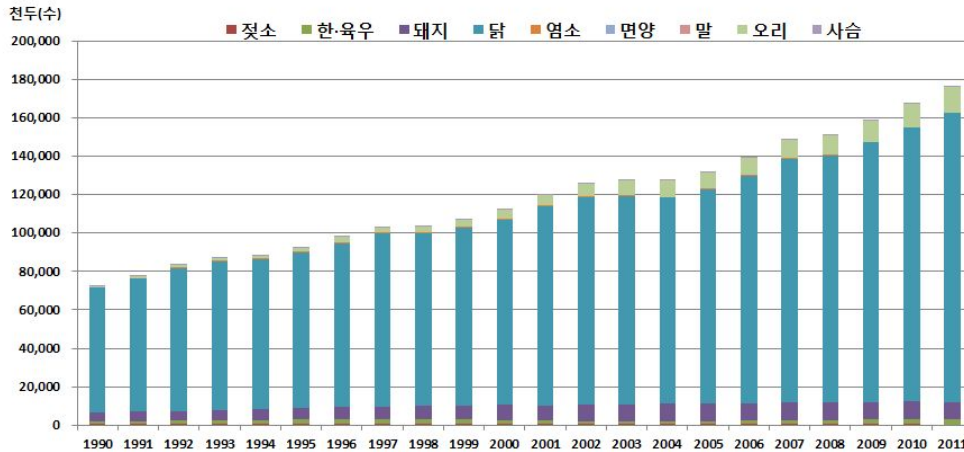
1.1. 축산 부문

1.1.1. 축산 부문의 생산활동

- 축산 부문의 활동자료는 1988~2011년의 연도별 분기자료를 이용하여 연도별 평균값을 계산한 후 3년 평균값을 계산함.
 - 1988~1995년 자료는 농림수산통계연보를, 1996~2006년 자료는 농림통계연보를, 2007~2011년은 농림수산식품통계연보의 연평균 자료를 이용함.

³ 제3장은 온실가스종합정보센터(2014) 「2013년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」의 중심내용을 기초로 요약·정리하였음.

그림 3-1. 가축 사육 두수의 변화 추이(3년 평균치)



자료: 온실가스종합정보센터(2014)의 자료를 재구성.

- 젖소는 1995년 이후 약 540~550천두 수준으로 큰 변화가 없다가 2003년 이후에 감소하는 추세를 보임. 한·육우는 1998년 2,756천두를 정점으로 감소하다가 2003년 1,439천두를 기록한 이후 다시 증가하고 있음.
- 돼지는 1990년 이후 지속적으로 증가하여 2010년 9,414천두로 최대 사육두수를 기록함. 이는 1990년 4,745천두의 약 두 배에 이르는 수치임.
- 닭과 오리는 1990년 이후 지속적으로 증가하여 각각 2011년 150,229천수와 13,165천두로 나타났음.
- 염소는 1997년 653천두를 정점으로 감소하였음. 이후 2002년 445천두를 기준으로 2005년 511천두로 잠깐 증가하였으나 다시 감소추세를 보이고 있으며, 2011년에는 247천두로 크게 감소하였음.
- 말은 전체적으로 증가추세에 있음. 2000년을 기준으로 이후 증가추세가 약 5배 정도 더 빨라짐.

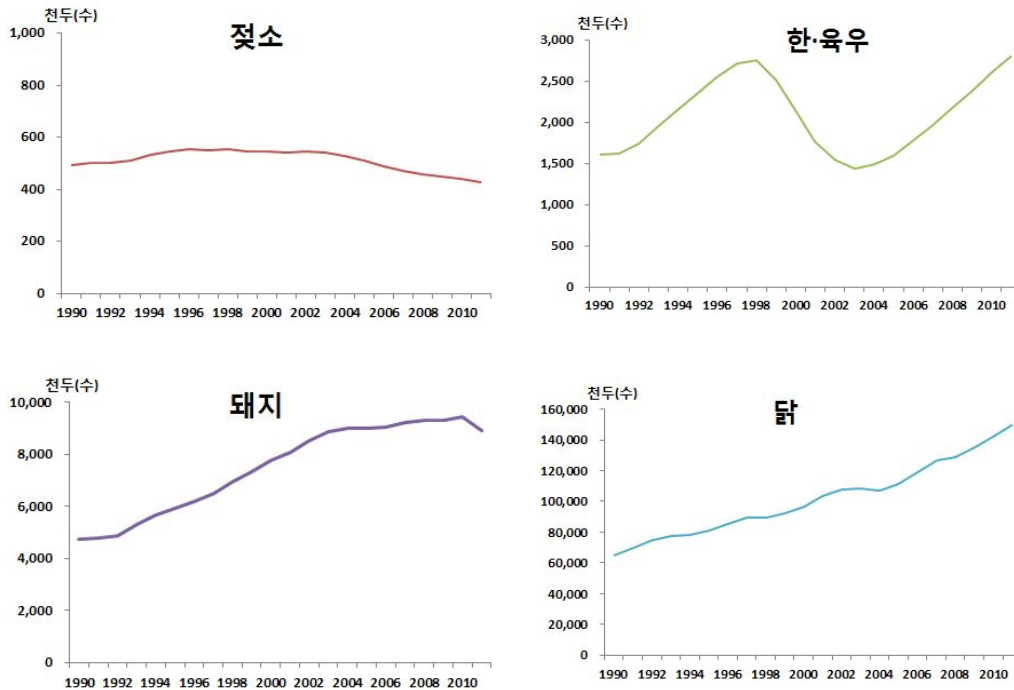
표 3-1. 가축 사육 두수의 변화 추이(1990~2011)

단위: 천 두(수)

연도	젖소	한·육우	돼지	닭	염소	면양	말	오리	사슴
1990	492.9	1,608.7	4,745.6	64,706.3	169.1	3.3	4.4	605.2	45.4
1991	501.1	1,621.2	4,788.3	69,471.9	238.4	3.3	5	833.9	53.3
1992	499.6	1,746.0	4,862.5	74,754.4	353	3.5	5.3	983.5	61.5
1993	512.1	1,952.3	5,281.9	77,371.0	468.4	3.1	5.4	1,088.5	69.6
1994	530.5	2,167.4	5,639.9	78,086.8	554	2.5	5.4	1,178.2	77.2
1995	547.5	2,360.1	5,926.7	81,162.3	613.9	1.7	5.7	1,615.5	87.2
1996	554.1	2,559.3	6,196.4	85,412.6	652.9	1.6	6.2	2,426.4	98.4
1997	551.6	2,717.1	6,501.5	89,741.7	653.2	1.6	6.9	2,843.7	113.1
1998	553.4	2,756.7	6,945.4	89,564.9	605.8	1.4	7.6	3,113.8	125.5
1999	545.8	2,525.7	7,318.7	92,419.1	549.2	1.3	8.1	3,554.6	135.3
2000	543.7	2,155.2	7,769.0	96,551.9	497.7	1.1	9.1	4,362.6	142.8
2001	540.4	1,767.2	8,089.7	103,533.8	465	0.9	10.5	5,545.4	149.1
2002	544.0	1,540.5	8,516.5	107,972.2	444.7	0.8	12.5	6,557.5	153.3
2003	541.8	1,439.0	8,849.5	108,258.5	455.9	0.9	14.4	7,852.1	151.5
2004	528.8	1,489.6	9,007.5	107,294.2	484.6	0.9	16.4	8,368.8	145.6
2005	509.7	1,603.4	9,012.6	111,434.4	510.7	1.1	18.4	8,557.2	136.3
2006	488.6	1,780.9	9,029.0	118,620.0	505.4	1.2	20.7	8,680.2	124.7
2007	471.8	1,961.1	9,203.7	126,795.2	454.1	1.4	22.8	9,429.4	111.2
2008	458.0	2,172.4	9,280.8	128,465.8	368.6	2	25.3	9,867.2	95.6
2009	448.4	2,382.4	9,313.7	134,863.3	296.2	2.7	27.2	10,982.9	84
2010	441.2	2,617.7	9,414.1	142,297.6	253.2	4.4	29	12,277.6	73
2011	426.4	2,812.6	8,898.7	150,228.9	247.1	4.4	29.7	13,164.7	63.9

자료: 온실가스종합정보센터(2014)의 자료를 재구성.

그림 3-2. 주요 가축 사육 두수의 변화 추이(1990~2011)



자료: 온실가스종합정보센터(2014)의 자료를 재구성.

1.1.2. 가축 장내발효

- 장내발효(enteric fermentation) 과정에서 배출되는 메탄은 가축의 장(腸)에 있는 미생물들이 섭취한 사료를 발효하는 과정에서 발생하는 것으로 가축의 소화과정에서 생기는 일반적인 부산물임.
- 소, 염소, 양, 낙타 등의 반추(反芻)가축은 비 반추가축에 비해 전위(혹위) 안에 있는 특정 미생물 때문에 탄수화물 형태인 섬유소(cellulose)를 소화하는 과정에서 많은 양의 메탄이 발생함.
 - 유사반추가축인 말, 노새, 당나귀와 단위가축인 돼지, 닭 등은 반추가축

에 비해 상대적으로 메탄 배출량이 적음.

- 메탄배출량은 축종, 나이, 무게, 사료 질과 양, 에너지 소비량 등에 따라 다름.

가. 배출량 평가방법

- 1996 IPCC 지침 수정판에서 제시된 Tier 1 방법으로 계산함. 배출량은 기본 배출계수 값 또는 배출계수에 축산부문의 활동량인 축종별 사육두수를 곱하여 계산함.

$$EFEmissions (Gg/year) = EF(kg/head/year) \times \frac{LSpopulation(head)}{10^6 (kg/Gg)} \quad (3-1)$$

EFEmissions: 장내발효에 따른 온실가스 배출량

EF: 배출계수 (*Emission Factor*)

LSpopulation: 가축사육두수

Gg: 기가그램 (= 1천톤)

나. 배출계수

- 배출계수는 IPCC(1996)의 각 지역 별 Tier 1의 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 것을 선택함. 젓소와 한·육우는 북미의 배출계수인 118과 47을 이용하였으며, 돼지는 서유럽의 배출계수인 1.5를 이용함.

표 3-2. 축종별 장내발효 과정의 메탄 배출계수 및 출처

축종	배출계수 (kg 메탄/두수/년)	배출계수 출처	배출계수 계산법
젖소	118	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
한·육우	47	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
돼지	1.5	IPCC 기본값 서유럽	IPCC, Tier 1
닭, 오리	NE	IPCC 기본값	IPCC, Tier 1
염소, 사슴, 변양	5	IPCC 기본값 개도국	IPCC, Tier 1
말	18	IPCC 기본값 개도국	IPCC, Tier 1

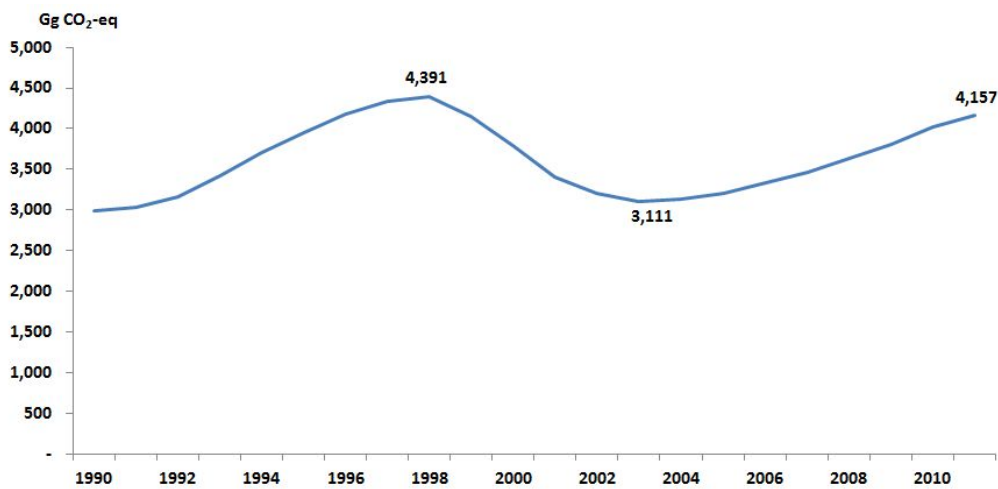
주: NE는 Not Estimated를 의미함.

자료: IPCC(1996).

다. 배출량

- 가축의 장내발효 과정에 의해 배출되는 메탄은 1990년 2,983Gg CO₂-eq에서 1998년 4,390Gg CO₂-eq까지 증가하였고, 이후 2003년 3,111Gg CO₂-eq으로 감소하였음. 2004년부터는 다시 증가하는 경향을 보였으며 2011년에는 4,157Gg CO₂-eq으로 나타남.

그림 3-3. 장내발효에 의한 메탄 배출량 변화 추이(1990~2011)



자료: 온실가스종합정보센터(2014).

1.1.3. 가축 분뇨처리

가. 배출량 평가방법

(1) 가축분뇨 처리과정에서의 메탄 발생

- 가축분뇨는 유기물로 구성되어 있기 때문에 이 유기물이 혐기적 환경(산소가 없는 경우)에서 분해될 때 미생물에 의하여 메탄이 발생함.
- IPCC 지침 1996년 수정판을 따르며 Tier 1 방법으로 계산하였음. 배출량 계산은 기본 배출계수에 각 축종의 사육두수를 곱하여 계산함.

$$LMEmissions (Gg/year) = EF(kg/head/year) \times \frac{LSpopulation(head)}{10^6 (kg/Gg)} \quad (3-2)$$

LMEmissions : 가축분뇨로부터의 온실가스 배출량

EF: 배출계수

LSpopulation: 가축사육두수

Gg: 기가그램(= 1천톤)

(2) 가축분뇨 처리과정에서의 아산화질소 발생

- 아산화질소는 분뇨 내 질소 성분의 분해과정에서 발생함.
 - 분뇨가 질산화·탈질화 과정을 거치면서 질소 성분이 질소가스로 분해되는 과정에서 부산물로 발생하거나, 질산화 과정 중 산소가 부족한 경우에 발생함.
 - 본 연구에서는 직접적 아산화질소 배출량만 고려함.
- 가축분뇨 처리과정의 직접적인 아산화질소 배출량은 IPCC(1996)의 Tier 1

방법으로 계산하였음. Tier 1 방법은 각각의 분뇨처리 방법에 따른 배출계수가 필요함.

$$N_2O_D = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(s)} \right] \times \frac{44}{28} \quad (3-3)$$

$N_2O_D(mm)$: 가축분뇨처리시설의 직접적인 N_2O 배출량($kg N_2O/year$)

$N_{(T)}$: 가축종류와분류에 따른두수

$Nex_{(T)}$: 가축당 분뇨로 배출하는 연평균 질소량($kg N/가축/year$)

$MS_{(T,S)}$: 가축분뇨처리시설 S 의 이용비율

$EF_{3(s)}$: 가축분뇨처리시설 S 의 직접적인 아산화질소 배출계수($kg N_2O-N/kg$)

S : 가축분뇨처리시설

T : 가축의 종류/분류

44/28: N_2O-N 을 N_2O 로 전환

나. 배출계수

(1) 가축분뇨 처리과정에서의 메탄 발생

- 가축분뇨의 배출계수는 분뇨처리시설이 위치한 지역과 기후환경에도 영향을 받음. 가축분뇨 배출계수 역시 IPCC(1996)의 각 지역 별 Tier 1의 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택함.
- 젓소와 한·육우는 각각 북미의 배출계수인 36과 1을 이용했으며, 돼지는 서유럽의 배출계수 3을 이용함. 닭은 선진국의 값 0.078을 사용했으며 그 외의 축종은 개발도상국의 배출계수인 염소 0.11, 말 1.09, 양 0.1을 이용함.

표 3-3. 축종 별 가축분뇨 처리과정의 메탄 배출계수 및 자료

축종	배출계수 (kg 메탄/두수/년)	배출계수 자료	배출계수 계산법
젖소	36	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
한·육우	1	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
돼지	3	IPCC 기본값(서유럽)	IPCC, Tier 1
닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국)	IPCC, Tier 1
염소·사슴	0.11	IPCC 기본값(개도국)	IPCC, Tier 1
면양	0.10	IPCC 기본값(개도국)	IPCC, Tier 1
말	1.09	IPCC 기본값(개도국)	IPCC, Tier 1

자료: IPCC(1996).

(2) 가축분뇨 처리과정에서의 직접적 아산화질소 발생

- 가축분뇨 처리과정에서 발생하는 직접적 아산화질소는 분뇨처리 시설에 따라 배출계수를 달리함. 매일 살포할 경우에는 메탄이 발생하지 않지만 액비화 시설의 경우 배출계수는 0.001, 퇴비화 시설의 경우 0.02, 기타시설의 경우 0.005를 적용함.

표 3-4. 분뇨처리시설의 아산화질소 배출계수

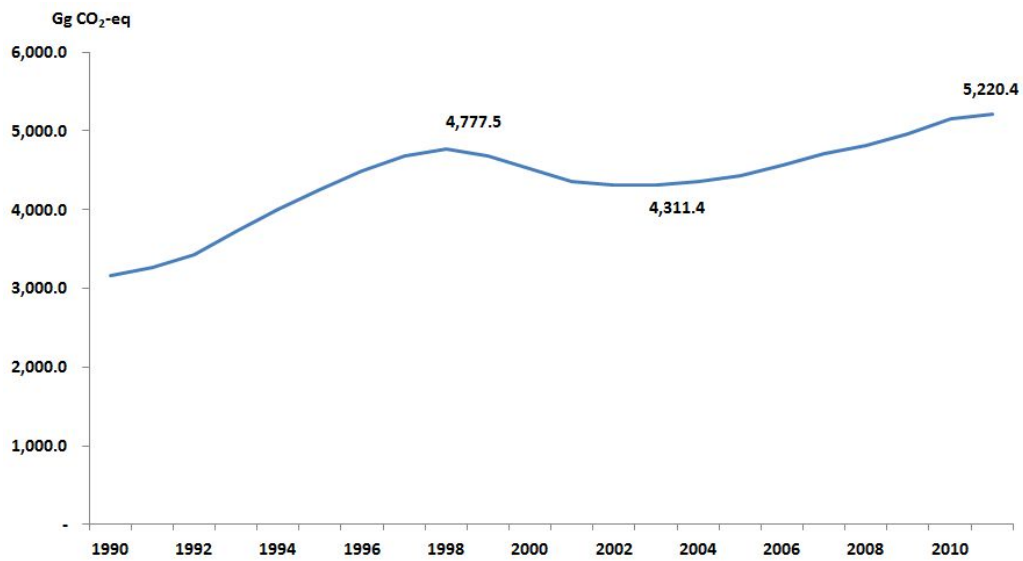
가축분뇨 처리시설	배출계수 (kg N ₂ O-N/kg 분뇨 내 질소량)
액비화 시설	0.001
퇴비화 시설	0.02
기타 시설	0.005

자료: IPCC(1996).

다. 배출량

- 가축분뇨 처리과정에서 온실가스 배출량은 1990년 3,169Gg CO₂-eq을 시작으로 1997년 4,777Gg CO₂-eq으로 크게 증가하였다가 2002년 4,310Gg CO₂-eq으로 감소하였음. 이후 다시 증가하여 2011년에는 5,220Gg CO₂-eq으로 최고조에 달함.

그림 3-4. 가축분뇨 처리에 의한 온실가스 배출량 변화 추이(1990~2011)

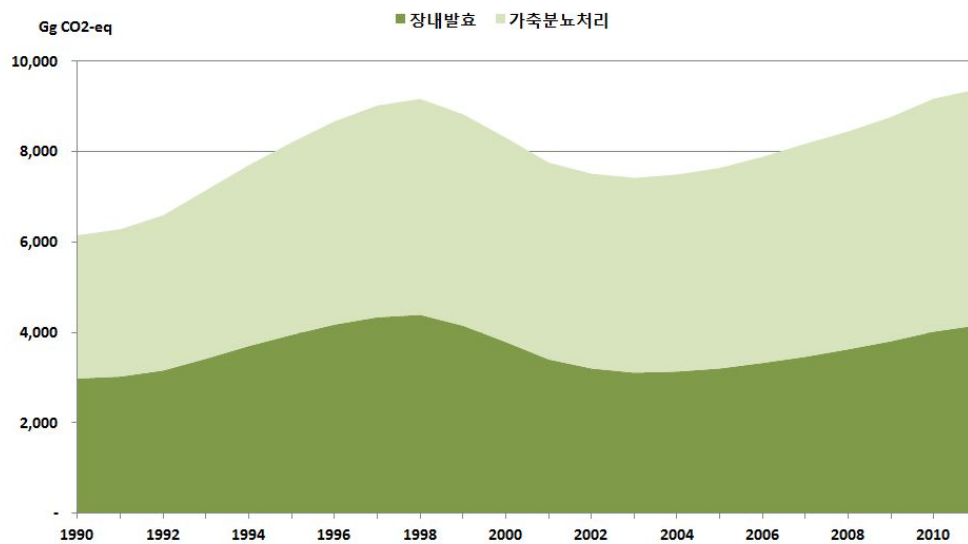


자료: 온실가스종합정보센터(2014).

1.1.4. 축산 부문 온실가스 배출량 종합

- 축산부문 온실가스 배출량은 1990년 6,153Gg CO₂-eq에서 1999년 9,168Gg CO₂-eq까지 증가하였음. 이후 2003년 7,422Gg CO₂-eq으로 감소하였다가 다시 증가하여 2011년에는 9,378Gg CO₂-eq에 이르렀음.

그림 3-5. 축산부문의 온실가스 배출량(1990~2011)



자료: 온실가스종합정보센터(2014).

표 3-5. 축산부문의 온실가스 배출량(1990~2011)

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구 분	장내발효	가축분뇨처리	합계
1990	2,983.1	3,169.7	6,152.8
1991	3,025.6	3,259.9	6,285.5
1992	3,160.3	3,434.2	6,594.5
1993	3,421.2	3,728.4	7,149.6
1994	3,700.0	4,003.6	7,703.6
1995	3,948.8	4,257.1	8,205.9
1996	4,175.8	4,496.9	8,672.7
1997	4,336.8	4,685.0	9,021.8
1998	4,390.8	4,777.5	9,168.3
1999	4,151.0	4,678.5	8,829.5
2000	3,789.9	4,520.6	8,310.5
2001	3,406.7	4,353.8	7,760.5
2002	3,204.4	4,310.9	7,515.3
2003	3,110.9	4,311.4	7,422.3
2004	3,136.8	4,358.0	7,494.8
2005	3,204.5	4,437.0	7,641.5
2006	3,327.0	4,561.9	7,888.9
2007	3,462.9	4,714.0	8,176.9
2008	3,629.8	4,818.8	8,448.6
2009	3,806.3	4,961.7	8,768.0
2010	4,019.3	5,156.2	9,175.5
2011	4,157.2	5,220.4	9,377.6

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

1.2. 경종 부문

1.2.1. 경종 부문의 생산활동

- 벼, 보리, 밀 재배면적 자료는 통계청(www.kosis.kr)의 자료를 이용함.
- 우리나라 벼 재배 면적은 1990년 1,242천ha에서 2000년 1,057천ha, 2010년 911천ha, 2011년 885천ha로 지속적인 감소 추세를 보임.
 - 보리와 밀 재배면적은 1990년대 초반에 크게 감소하였고 이후로도 지속적으로 감소하여 2010년 51천ha, 2011년 42천ha로 파악됨.

표 3-6. 벼, 보리, 밀의 재배면적 변화 추이(1990~2011)

단위: 천ha

구분	항목	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
재배면적 (논밭)	벼	1,242	1,097	1,057	984	929	911	885
	보리, 밀	159	90	68	61	54	51	42

주: 불확실성을 줄이기 위하여 3년 평균한 값을 생산량 값으로 이용함.
자료: 농림수산식품통계연보. 각 연도.

표 3-7. 물 관리 방법별 논면적 변화 추이(1990~2011)

단위: 천ha, (%)

구분	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
상시답수	626	47.1	35.9	24.7	16.7	14.8	13.3
	(50.0)	(41.1)	(32.2)	(23.3)	(16.2)	(14.4)	(14.4)
간단관개	626	626	698	737	762	763	752
	(50.0)	(58.9)	(67.8)	(76.7)	(83.8)	(85.6)	(85.6)

주: 3년 평균값을 이용. 2009년 이전활동자료는 존재하지 않아 전문가 판단 결과를 활용하였으며, 1990년 간단관개와 상시답수의 비율인 50:50을 기준으로 추세선을 적용하여 산출함.

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

- 물 관리 방법에 따른 재배면적은 2010년 농림어업 총조사결과를 이용함.
 - 2009년 이전활동자료는 존재하지 않아 전문가 판단 결과를 활용하였으며, 1990년 간단관개와 상시담수의 비율인 50.0 : 50.0을 기준으로 2010년 총조사 결과인 14.4 : 85.6까지 추세선을 적용하여 산출함. 2011년에는 통계가 존재하지 않아 2010년의 비율을 그대로 적용함.

- 유기물 시용에 따른 재배면적을 파악하기 위하여 2010년 농림어업총조사 결과와 전문가 판단 결과를 활용하였음.
 - 2010년 총 조사 결과 볏짚 투입 논면적의 비율은 45.5%로 확인됨.
 - 2009년 이전활동자료는 존재하지 않아 전문가 판단 결과를 활용하였음. 논외 지력증진 및 안전 다수확을 위한 유기물 시용 권장량을 기초로 하였음.
 - 1990년은 유기물 시용 권장에 따라 유기물 시용면적을 50.0%로 정하고 2010년까지 추세선을 적용하였음.
 - 보리 짚과 밀 짚의 환원 비율은 2010년 「국가 온실가스 인벤토리 활동자료 개선·개발 방안 연구」의 결과인 38.6%를 적용함.

표 3-8. 유기물 시용 논면적 변화 추이(1990~2011)

단위: 천ha, (%)

구 분	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
볏짚 시용	621	516	504	451	420	403	385
	(50.0)	(48.9)	(47.8)	(46.6)	(46.0)	(45.7)	(45.5)
볏짚 무시용	621	540	551	516	498	483	466
	(50.0)	(51.1)	(52.5)	(53.6)	(54.1)	(54.3)	(54.5)

주: 3년 평균값을 이용.
 자료: 온실가스종합정보센터(2014).

○ 곡물 생산량 변화 추이를 보면 벼와 보리는 감소한 반면, 밀은 크게 증가한 것으로 나타남.

- 벼는 1990년 5,846천 톤에서 2010년 4,465천 톤으로 23.6% 감소하였음.
- 보리는 같은 기간 689천 톤에서 101천 톤으로 무려 85.2%나 줄어들었음.
- 반면, 밀은 1.5천 톤에서 33.8천톤으로 약 21배 이상 증가하였음.
- 두류는 292천 톤에서 138천 톤으로 52.5% 감소하였음.
- 고추는 163천 톤에서 307천 톤으로 88.2% 증가하였고, 마늘은 359천 톤에서 307천 톤으로 14.2% 감소하였음. 양파는 497천 톤에서 1,434천 톤으로 188.5% 증가하였음.

표 3-9. 주요 작물 생산량 추이(1990~2011)

단위: 톤

구분	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
벼	5,846,762	4,833,216	5,188,591	4,703,644	4,704,101	4,668,511	4,465,687
보리	689,852	387,779	271,245	247,175	209,230	156,962	101,787
밀	1,494	4,634	4,249	10,104	12,164	22,752	33,858
두류	292,056	189,447	145,891	158,511	143,409	140,428	138,755
고추	163,468	226,555	372,015	385,249	383,445	348,887	307,718
마늘	359,011	405,662	450,690	370,550	360,096	334,767	307,947
참깨	43,383	25,356	27,844	18,767	16,586	14,985	11,666
양파	497,310	690,610	895,162	905,444	1,206,914	1,273,004	1,434,651

주: 각 작물 생산량은 3년 평균한 값임. IPCC 지침서는 농업분야의 온실가스 배출량을 3년 평균하여 산정하도록 규정하였음. 이에 따라 각 작물 생산량도 3년 평균하였음.

자료: 농림수산식품통계연보. 각 연도.

- 농경지 질소 공급은 화학비료 투입과 가축분뇨 적용, 질소고정작물, 작물잔사환원에 의한 것으로 구분할 수 있음.
 - 화학비료에 의한 질소 공급량은 농식품부의 각 연도별 농림수산물통계연보를 활용함. 질소성분 화학비료 투입량 통계는 논과 밭에 투입된 양이 각각 구분되어 있지 않아 통계청의 농산물 생산비 통계 중 2008년 논에 10a 당 질소 투입량(요소, 유안, 복합비료, 기타 등)을 계산하여 농경지 면적당 질소 투입량인 13.02kg/10ha를 산출함. 이후 논과 밭 면적에 적용하여 논과 밭의 질소 투입량을 구분함. 화학비료에 의한 질소 투입량은 총 질소 공급량 중 대기휘산비율 10%를 제외한 양으로 1990년부터 2011년까지 논과 밭에서 모두 지속적으로 감소하였음.
 - 가축분뇨에 의한 질소공급량은 연간 축산에 의한 총 질소 발생량에서 가축분뇨 처리과정 중에 대기로 소실되는 질소를 제외하고 남은 양을 농경지 투입으로 계산함(농촌진흥청, 1996). 가축 사육에 의한 질소 배출량은 가축 사육두수의 증가에 따라 1990년 이후 지속적으로 증가하였고, 농경지에 실제 투입되는 가축분뇨량 또한 1990년 182,875톤에서 2011년 약 317,523톤으로 증가하였음.
 - 질소고정작물에 의한 질소 공급량은 두과 작물에 의한 질소공급량으로 1990년 12,588톤에서 2011년 8,920톤으로 약 53% 감소하였음.
 - 작물잔사환원에 의한 질소 공급량은 작물별로 차이가 크게 나타남. 농림어업총조사에 따르면 논에서 벗짚은 약 45.5%가 환원되는 것으로 조사되었고, 보리와 밀은 2011년 통계청 조사결과 약 38.6%가 농경지로 환원되는 것으로 조사됨.

표 3-10. 화학비료 및 가축분뇨의 농경지 투입량(1990~2011)

단위: 톤

구분		1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
화학비료	논	162,939	142,915	137,623	128,153	121,045	118,627	115,276
	밭	341,847	331,625	300,481	240,959	178,456	147,729	135,522
축산분뇨		182,875	249,870	268,293	265,249	301,207	313,592	317,523

자료: 농림수산물통계연보. 각 연도.

1.2.2. 벼 재배

- 논에서의 CH₄ 배출은 유기물이 혐기적으로 분해되는 과정에서 식물체의 통기조직을 통해 대기 중으로 배출됨. CH₄ 배출량은 지역과 시기에 따라 변동이 크며, 토양 특성, 온도, 물 관리방법, 유기물 사용량, 벼 품종, 수확 횟수 및 재배 기간에 따라서도 크게 차이가 있음(Neue and Sass, 1994).

가. 배출량 평가방법

- 벼 재배 논에서 메탄 배출량은 IPCC 가이드라인 방법론에 따라 아래와 같이 산정함. 기본 배출계수(EF_D)에 벼 재배기간 중 관리 방법별 보정 계수(SF_W), 유기물 시용량별 보정계수(SF_O) 및 토성이나 벼 품종에 따른 보정계수(SF_S)를 곱하여 일 배출계수(EF_1)를 산정하고 여기에 벼 재배면적(A)과 재배일수(t)를 곱하여 메탄 총 배출량을 산정함.
 - 기본 배출계수(EF_D)는 벼를 재배하는 기간(작기 중) 벼 논 물을 상시담수조건에서 유기물(벼짚, 퇴비 등)을 시용하지 않고 벼를 재배하는 것을 의미함.

$$EF_1 = EF_C \times SF_P \times SF_W \times SF_O \times SF_S (kg CH_4 ha^{-1} day^{-1})$$

EF_C : 기본 배출계수

SF_W : 벼 재배기간 중 물 관리 보정계수

SF_O : 유기물 시용 보정계수

SF_S : 토양 특성이나 벼 품종별 보정계수

$$CH_4 Rice = A \times t \times EF_1 \times 10^{-6} (Gg CH_4 yr^{-1})$$

A : 면적 ($ha yr^{-1}$)

t : 재배일수 ($days$)

나. 배출계수

(1) CH_4 배출계수(EF_C)

- CH_4 배출계수(EF_C)는 농촌진흥청에서 개발한 국가 고유배출계수인 2.37 ($CH_4 kg ha^{-1} day^{-1}$)를 적용하였음. 벼 재배일수는 우리나라에서 재배하는 품종별 재배일수와 재배면적의 가중평균을 통하여 138일로 하였음.
- 이를 근거로 산출한 농경지 CH_4 기본 배출계수(EF_C)는 $32.7 g m^{-2} ry^{-1}$ 임 (Park and Yun 2002).

(2) 물 관리 보정계수(SF_W)

- 벼 재배기간 중 물 관리는 상시담수와 간단관개로 구분하고, 물 관리 보정계수는 IPCC 지침서에서 제시한 0.6을 적용하였음.

표 3-11. 논벼 물 관리 방법별 보정계수

논벼 물 관리 방법		SF_W
자연 강우		0.28
상시 담수		1.00
간단 관개	물떼기 1회	0.60
	물떼기 2회 이상	0.52

자료: IPCC(1996).

(3) 유기물 보정계수(SF_O)

- 우리나라 표준 볏짚 사용량 ha 당 6톤을 적용하여, GPG 2000에서 제시하고 있는 기본값 2.5를 적용하였음.
 - 유기물 시용량에 따른 CH_4 보정계수는 현재 개발 중임.

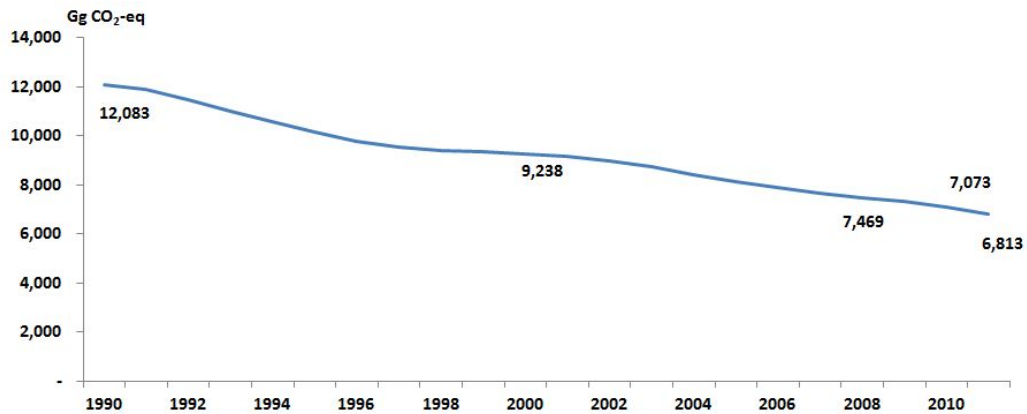
표 3-12. 유기물 시용량 보정계수

유기물 시용량(건중량) (t/ha)	SF_O
1~2	1.5
2~4	1.8
4~8	2.5
8~15	3.5

자료: GPG 2000.

다. 배출량

- 벼 재배 논에서의 CH_4 배출량은 1990년 이후 지속적으로 감소하였음. 이는 경지면적이 계속해서 감소하였기 때문임.
 - 1990년 12,083Gg CO_2 -eq에서 2011년 6,813Gg CO_2 -eq으로 40% 이상 감소하였음.

그림 3-6. 벼 재배 논에서의 CH₄ 배출량 추이(1990~2011)

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

표 3-13. 벼 재배 논에서의 CH₄ 배출량 추이(1990~2011)

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구분	1990	1995	2000	2005	2008	2009	2010	2011
CH ₄ 배출량	12,083	10,147	9,238	8,118	7,469	7,306	7,073	6,813

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

1.2.3. 농경지 토양

가. 배출량 평가방법

- 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량은 IPCC 가이드라인에 따라 직접배출과 간접배출로 구분하여 산정함.

(1) 직접배출

- 직접배출은 농경지 토양에 투입된 질소원(화학비료 시용, 가축분뇨 시용, 작물잔사 농경지 환원 및 두과 작물에 의한 질소 고정 등)이 다른 지역으로 이동하지 않고 동일 장소에서 아산화질소로 배출되는 것을 말함.
- 직접배출량은 농경지에 투입된 질소량과 배출계수의 곱으로 산정하였음.
 - 농경지에 공급하는 질소는 화학비료에 의한 공급, 가축분뇨에 의한 공급, 두과작물에 의한 공급, 작물잔사 환원에 의한 공급 등 크게 4가지로 구분함.
 - 우리나라의 경우 유기 토양 및 방목 토양에서의 직접배출은 해당되지 않아 배출량 산정에서 제외함.
 - 배출량 산정 방법(Tier 1)은 아래와 같음.

$$N_2O - N_{DIRECT} = (F_{SN} + F_{AW} + F_{BN} + F_{CR}) \times EF_1$$

$$N_2O_{DIRECT} \text{ 배출량} = N_2O - N_{DIRECT} \times \frac{44}{28}$$

EF_1 : N_2O 직접배출계수

F_{SN} : 화학비료로 공급되는 총 질소량에서 NH_3 나 NO_x 로서
대기로 휘산되는부분을 제외한 질소량

F_{AW} : 화학비료로 공급되는 총 질소량에서 NH_3 나 NO_x 로서
대기로 휘산되는부분을 제외한 질소량

F_{BN} : 질소고정작물에 의해 투입되는 질소량

F_{CR} : 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량

(2) 간접배출

- 농경지 토양에서의 아산화질소 간접배출은 배출 경로에 따라 대기 휘산에

의한 배출과 수계 유출에 의한 배출로 구분하여 산정함.

1) 대기 휘산에 의한 간접배출

- 대기 휘산에 의한 간접배출은 농경지에 투입된 질소가 NH₃나 NO_x의 형태로 대기 중으로 휘산되어 다른 지역으로 이동·침적되는 것을 말하며 배출량 산정방법(Tier 1)은 아래와 같음.

$$N_2O(G) = [N_{FERT} \times Frac_{GASF}] + [\Sigma T(N_{(T)} \times Nex_{(T)}) \times 0.4] \\ + [\Sigma T(N_{(T)} \times Nex_{(T)}) \times 0.6 \times Frac_{GASM}] \times EF_4 \times \frac{44}{28}$$

$Frac_{GASF}$: 화학비료 농경지 사용시 대기 휘산비율

$Frac_{GASM}$: 가축분뇨 농경지 사용시 대기 휘산비율

EF_4 : 대기 휘산에 의한 간접배출계수

2) 수계 유출에 의한 간접배출

- 수계 유출에 의한 간접배출은 농경지에 투입된 질소가 지하수나 지표수를 통해 수계로 유출되는 것을 말하며 배출량 산정방법(Tier 1)은 아래와 같음.

$$N_2O(L) = [(F_{SN} + F_{AW} + F_{BN} + F_{CR}) \times Frac_{LEACH}] \times EF_5 \times \frac{44}{28}$$

F_{SN} : 화학비료로 공급되는 질소량

F_{AW} : 가축분뇨를 농경지에 유기질비료로 투입한 질소량

F_{BN} : 질소고정작물에 의해 투입되는 질소량

F_{CR} : 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량

$Frac_{LEACH}$: 수계 유출비율

EF_5 : 수계 유출에 의한 간접배출계수

나. 배출계수

(1) 직접배출

- 화학비료 시용량에 따른 N_2O 직접 배출계수는 논에서의 배출계수(EF_1)와 밭에서의 배출계수(EF_{1FR})로 구분하여 다음과 같이 적용함.
 - 논 : 2006 IPCC 기본계수 $0.003kg N_2O-N/Nkg$
 - 밭 : GPG 2000의 기본계수 $0.0125kg N_2O-N/Nkg$
 - 가축당 질소 배출량은 GL 기본계수를 적용
 - 가축분뇨 투입에 따른 N_2O 기본계수는 화학비료와 같은 $0.0125kg N_2O-N/Nkg$

(2) 간접배출

1) 대기 휘산에 의한 N_2O 간접 배출계수

- 대기 휘산에 의한 N_2O 간접 배출 계수(EF_4)는 IPCC(1996) 지침서에 따라 $0.01kg N_2O-N/Nkg$ 을 적용함.

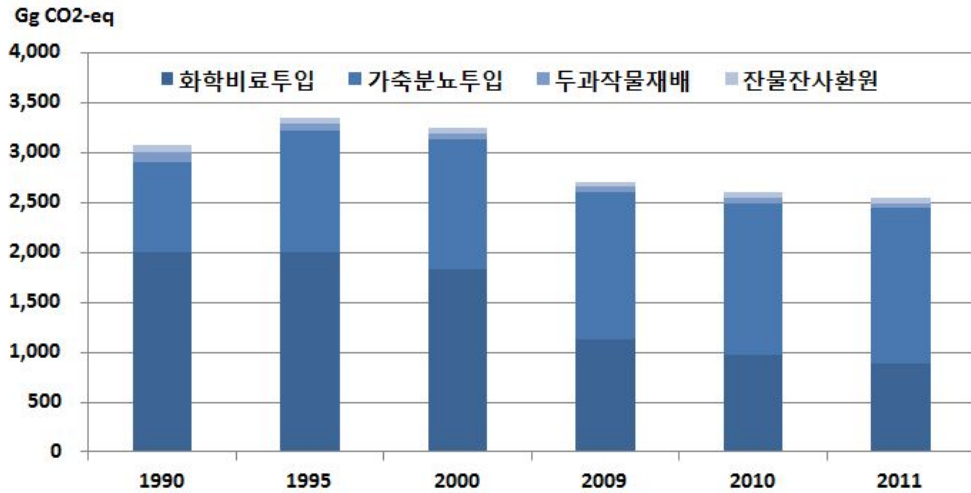
2) 수계 유출에 의한 N_2O 간접 배출계수

- 수계유출에 의한 N_2O 간접 배출계수(EF_5)는 IPCC(1996) 지침서에 따라 $0.025kg N_2O-N/Nkg$ 을 적용함.

다. 배출량

(1) 직접배출

- 농경지토양에서 총 N_2O 직접배출량은 1990년 $3,152 Gg CO_2\text{-eq}$ 에서 2011년 $2,543 Gg CO_2\text{-eq}$ 으로 1990년 대비 약 19% 감소하였음.

그림 3-7. 농경지에서의 N₂O 직접 배출량 추이(1990~2011)

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

- 논과 밭에 사용된 화학비료에 의한 N₂O 직접배출량은 1990년 2,008 Gg CO₂-eq.에서 2011년 894 Gg CO₂-eq.으로 화학비료 투입량 감소와 함께 지속적으로 감소하였음.
- 질소고정작물(두과작물) 및 작물잔사 농경지 환원에 의한 N₂O 직접배출량 또한 그 양은 미미하지만 지속적으로 감소함.
- 그러나 가축분뇨 농경지 사용에 의한 N₂O 직접배출량은 가축 사육두수 증가로 인해 1990년에 891 Gg CO₂-eq.에서 2011년은 1,547 Gg CO₂-eq.으로 지속적으로 증가함.

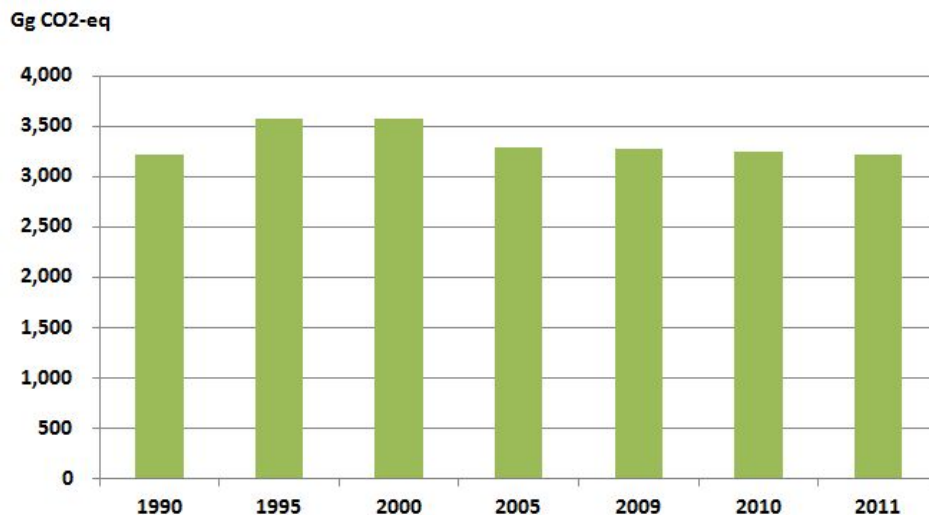
표 3-14. 농경지에서의 N₂O 직접 배출량 추이(1990~2011)단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구 분	화학비료투입	가축분뇨투입	두과작물재배	잔물잔사환원	소계
1990	2,008	891	107	67	3,152
1995	2,005	1,217	69	56	3,348
2000	1,828	1,307	53	61	3,249
2009	1,137	1,466	52	54	2,710
2010	966	1,528	51	54	2,598
2011	894	1,547	51	51	2,543

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

(2) 간접배출

- 농경지에서의 N₂O 간접 배출량은 연도별로 약간의 증감을 보였음.
 - 농경지토양에서의 N₂O 간접 배출량은 1990년 3,218.2Gg CO₂-eq에서 1995년 3579Gg CO₂-eq로 최고를 기록한 이후 감소하는 경향을 보임.

그림 3-8. 농경지에서의 N₂O 간접 배출량 추이(1990~2011)

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

표 3-15. 농경지에서의 N₂O 간접 배출량 추이(1990~2011)단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구분	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
간접 배출량	3218.2	3579.6	3573.0	3290.6	3283.6	3247.5	3216.4

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

1.2.4. 작물잔사 소각

가. 배출량 평가방법

- 농경지 작물잔사 소각에 의해 발생하는 온실가스는 주로 CO₂이며 이밖에도 CH₄, CO, N₂O, NO_x 등이 배출됨. 이 중 CO₂는 다시 작물로 흡수되기 때문에 IPCC 지침서에서는 탄소중립(Carbon neutral)으로 평가되어 온실가스 배출량으로 산정하지 않음.
- 농경지에서 작물 수확 후 곡실을 제외한 작물잔사를 농경지에서 소각할 경우 발생하는 메탄 및 아산화질소 배출량은 연간 작물별 생산량에 잔사/곡실 비율, 건물률, 소각률, 산화율, 건물 중 C, N의 함량 및 각 온실가스의 배출률을 곱하고 여기에 환산계수를 곱하여 산정함.

작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량

$$= \text{작물생산량} \times \text{잔사/곡실 비율} \times \text{건물률} \times \text{소각률} \times \text{산화율} \\ \times \text{탄소, 질소 함량} \times \text{탄소, 질소 배출계수} \times \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O 환산계수}$$

나. 배출계수

- 배출계수는 IPCC 지침서에 따라 다음과 같이 적용하였음.

표 3-16. 작물 잔사 소각에 따른 온실가스 배출률

구 분	배출률	범 위
CH ₄	0.005	0.003~0.007
CO	0.060	0.04~0.08
N ₂ O	0.007	0.005~0.009
NO _x	0.121	0.094~0.148

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

표 3-17. 작물 잔사 소각에 따른 온실가스 배출량 산정을 위한 계수

구 분	잔사/곡실 비율	건물률	소각률	산화율	탄소함량	질소함량
벼	1.56	0.85	0.010	0.9	0.4144	0.0067
맥류	1.27	0.85	0.439	0.9	0.4567	0.0043
밀	1.30	0.85	0.439	0.9	0.4853	0.0028
두류	1.07	0.86	0.339	0.9	0.4050	0.0080
고추	2.67	0.86	0.631	0.9	0.4143	0.0060
마늘	0.92	0.33	0.215	0.9	0.3583	0.0060
합계	6.60	0.27	0.598	0.9	0.4350	0.0060
양파	0.13	0.08	0.094	0.9	0.3546	0.0081

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

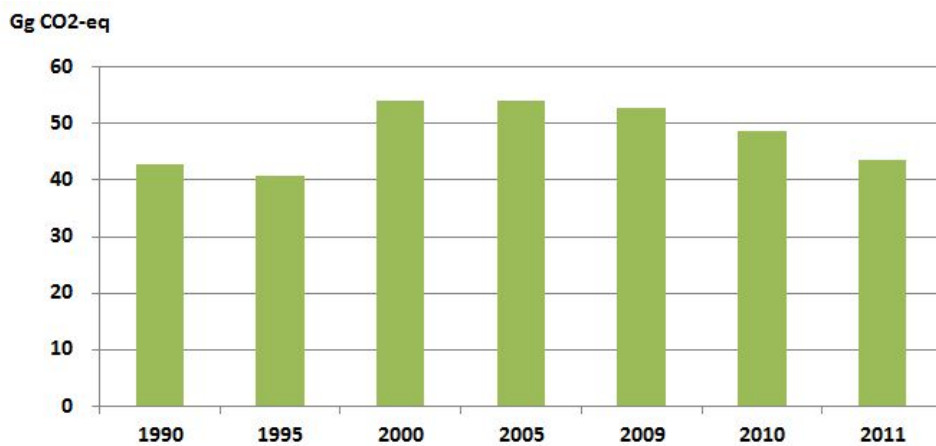
- 잔사/곡실 비율의 경우 벼, 맥류, 두류, 고추는 국립농업과학원의 시험연구사업 보고서의 자료를 활용하였고, 밀은 국내 자료의 부재로 IPCC 지침서의 기본계수를 적용함. 건물률은 IPCC 지침서의 기본계수를 적용하였음.
- 소각률의 경우 벼는 2010년 농림어업총조사에서 조사된 자료를, 맥류와 밀은 국립식량과학원의 연구보고서를 활용하였음.
 - 두류와 고추는 전문가 판단에 따라 모두 소각하는 것으로 가정하였음.

- 이 밖에 산화율, 탄소함량, 질소함량은 IPCC 지침서의 기본값을 적용하였음.

다. 배출량

- 작물 잔사 소각에 의한 온실가스 배출량 변화 추이를 보면, 1990년 42.7Gg CO₂-eq에서 2000년 53.9Gg CO₂-eq으로 증가였으나 이후 지속적으로 감소하여 2011년에는 43.5Gg CO₂-eq으로 나타남.

그림 3-9. 작물 잔사 소각에 의한 온실가스 배출량 추이(1990~2011)



자료: 온실가스종합정보센터(2014).

표 3-18. 작물 잔사 소각에 의한 온실가스 배출량 추이(1990~2011)

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구분	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
작물잔사소각 배출량	42.7	40.8	53.9	53.9	52.8	48.6	43.5

주: CO₂는 다시 작물로 흡수되기 때문에 탄소중립으로 평가하여 온실가스 배출량으로 산정하지 않음.

자료: 온실가스종합정보센터(2014).

1.2.5. 경종 부문 온실가스 배출량 종합

- 경종 부문의 온실가스 배출량은 전체적으로 감소하는 경향을 보임.
 - 벼 재배에서 배출되는 메탄이 가장 많은 비중을 차지하고 있으나, 그 비중은 점차 감소하고 있음.

표 3-19. 경종부문의 온실가스 배출량(1990~2011)

단위: 천 톤(CO₂-eq)

구분	벼 재배	농경지토양	작물잔사소각	합계
1990	12,083.4	6,370.2	42.7	18,496.3
1995	10,146.7	6,927.6	40.8	17,115.1
2000	9,238.3	6,822.0	53.9	16,114.2
2005	8,118.4	6,185.8	53.9	14,358.1
2009	7,306.2	5,993.6	52.8	13,352.6
2010	7,073.3	5,845.5	48.6	12,967.4
2011	6,813.2	5,759.4	43.5	12,616.1

자료: 온실가스종합정보센터(2014)를 기초로 작성.

2. 에너지 분야 온실가스 배출현황

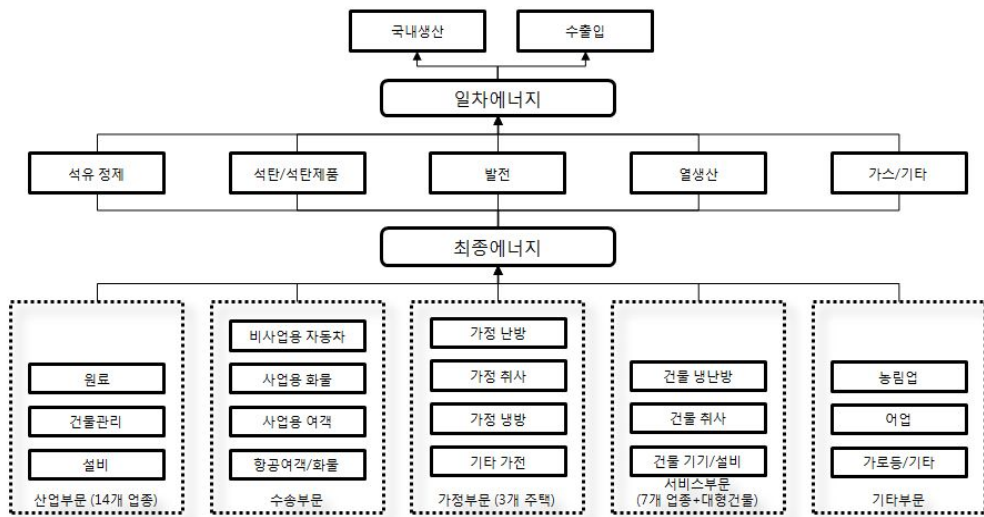
2.1. 배출량 전망 모형 및 방법

- 에너지분야는 농업부문과 식품부문이 있으며 에너지경제연구원의 EGMS (Energy and GHG Modeling System) 모형을 통해 전망됨.
 - EGMS는 국가 장기 에너지 수급과 에너지 부문 온실가스 배출량을 전망하기 위해 개발되었음. 주로 에너지 및 온실가스 관련 정책과 기술, 경제

상황, 소비행태 변화 등 장기 에너지 수급과 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석 하는데 사용되고 있음.

- EGMS는 에너지서비스의 성격 및 대체 가능성과 자료 입수 가능성, 추정 가능성, 기술 및 정책 분석의 유의미성에 따라 시스템을 구성하고 있으며 네 개의 최종 소비 부문, 전환 부문, 에너지공급 부문, 시스템 통합관리 등 총 7개의 부문 모듈로 설계되어 있음.
- 모형에서 에너지공급은 국내생산, 수입, 재고변화로 구성되며 에너지전환은 주로 석유제품과 석탄제품 및 LNG와 같은 1차 에너지를 연소하여 2차 에너지인 전력과 열을 생산하여 전환하는 행위를 의미하며, 이때 2차 에너지 생산에 사용한 원자력에너지 또는 수력, 풍력, 태양광과 같은 신재생에너지도 에너지 전환에서 다루게 됨.
- 에너지 소비구조는 산업, 수송, 가정, 서비스, 기타로 구성되어 있으며 5개 부문에서 전망된 부문별 소비량의 합이 최종에너지를 구성함.
 - 온실가스 배출량은 모형에서 전망된 연료별 에너지 수요량에 연료별 배출계수를 적용하여 산출함.
- EGMS 모형은 상향식(Bottom-up)전망시스템의 구조를 가지고 있음. 산업부문은 14개 업종의 설비, 건물관리, 원료로 구성되며, 기타부문은 농림업, 어업, 가로등 및 기타임. 각 부문에서 전망한 최종에너지 수요량을 바탕으로 일차에너지를 추정함. 일차에너지는 최종에너지 수요를 만족시키기 위해 전환되는 에너지를 포함하게 됨.

그림 3-10. KEEI-EGMS 모형의 전망시스템 구조(상향식)



자료: 에너지경제연구원.

2.2. 주요 전제

- 업종별 온실가스 예상배출량 분석을 위해 모형에서 사용한 주요전제는 인구, GDP, 국제유가, 산업구조(부가가치액)임. 인구전망은 통계청 인구추계 자료를 사용하며, GDP는 KDI 경제성장률 전망자료, 국제유가는 미국 에너지정보청(Energy Information Administration, EIA), 산업구조는 산업연구원 산업구조전망자료를 사용함.
- 식품업종 부가가치액 성장률 전망은 생산활동 수준을 결정하기 때문에 향후 식품업종 에너지 수요 및 온실가스 배출량에 직접적인 영향을 미치는 전제조건임. 모형에서는 산업연구원의 부가가치전망을 식품업종 부가가치액 성장률로 사용함.

- 모형에서 식품업종 에너지 원단위는 에너지경제연구원에서 전망한 자료를 사용함.

표 3-20. 주요 전제 및 출처

주요 전제		출처
인구(천명)		• 통계청
국제유가(US\$/bbl)		• EIA 2008
산업구조(부가가치비중)	제조업	• 산업연구원 • 산업구조전망
	에너지다소비업	
	서비스업	
GDP 성장률		• KDI 경제성장률 전망
식품업종 부가가치액 성장률		• 산업연구원의 부가가치전망
식품업종 에너지 원단위		• 에너지경제연구원에서 전망한 자료
자료: 에너지경제연구원		

2.3. 배출량 현황

2.3.1. 농업부문

- 2000년 에너지분야 농업부문 온실가스 발생량은 13,014천 톤이었으나 연평균 1.8% 감소하여 2009년에는 11,034천 톤으로 나타났음.

표 3-21. 연도별 에너지분야 농업부문 온실가스 배출량

단위: 천 톤(CO₂eq), %

구분	2000	2005	2006	2007	2008	2009	연평균
에너지	13,014	11,472	11,171	11,300	10,334	11,034	-1.8

주: 에너지분야 추정시 배출계수는 저위계수를 적용하였고, 전력의 경우 2007년도 저위계수를 적용하였음

자료: 한국농촌경제연구원 추정치(2013).

- 2009년 기준 우리나라 농업부문 에너지분야 온실가스 발생량 비중을 살펴보면 농기계용이 6,749천 톤(61.2%)으로 가장 많고, 온실 및 축사용 2,986천 톤 (27.1%), 건물용 1,299천 톤(11.8%) 등의 순으로 나타났음.

표 3-22. 에너지분야 농업부문 온실가스 배출량 비중(2009년 기준)

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구 분	농기계용	건물용	온실 및 축사용	합계
발생량	6,749	1,299	2,986	11,034
비 중	61.2	11.8	27.1	100.0

자료: 한국농촌경제연구원 추정치(2013).

2.3.2. 식품부문

- 에너지분야 식품부문 온실가스 배출량 현황을 살펴보면, 전력비분배의 경우 2007년 2,647천 톤에서 2011년 2,160천 톤으로 연평균 4.7%로 감소하였음. 전력분배의 경우 2007년 6,413천 톤에서 2011년 7,075천 톤으로 연평균 2.6%로 증가하였음.

표 3-23. 에너지분야 식품부문 온실가스 배출량 추이

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구 분		2007	2008	2009	2010	2011	연평균 증감률
식품업	전력비분배	2,647	2,298	2,289	2,362	2,160	-4.7%
	전력분배	6,413	6,109	6,439	6,995	7,075	2.6%

자료: 에너지경제연구원.

3. 부분별 2020년 온실가스 예상 배출량

3.1. 농업부문별 활동량 전망

- 경종부문의 활동량 전망치는 <표 3-24>에 제시되어 있음.
- 재배면적의 경우 감소 내지 정체하는 품목은 벼, 보리, 고추, 참깨, 들깨, 감자, 옥수수 등으로 나타났으며, 증가하는 품목은 밀, 고구마 등으로 나타났음.
 - 생산량의 경우 감소 내지 정체하는 품목은 보리, 고추, 참깨, 들깨, 감자 등으로 나타났고, 증가하는 품목은 밀, 고구마, 옥수수, 두류 등으로 나타났음.

표 3-24. 경종부문의 활동량 전망치

단위: 천ha, 천톤

		벼	보리	밀	고추	참깨	들깨	감자	고구 마	옥수 수	두류
재 배 면 적	2005	984	58	3	66	34	26	26	16	17	-
	2010	911	46	7	45	33	27	22	19	16	-
	2015	880	36	8	36	27	26	20	21	14	-
	2020	850	31	9	30	25	25	20	22	12	-
생 산 량	2005	-	247	10	385	19	19	678	299	74	159
	2010	-	131	24	119	20	24	519	387	83	144
	2015	-	106	31	103	18	24	475	414	88	168
	2020	-	93	35	92	18	24	465	433	90	177

주: 3개년 이동평균 자료임.

자료: 온실가스종합정보센터 내부자료

○ 축산부문의 활동량 전망

- 축산부문의 활동량을 전망한 결과 한·육우, 돼지, 닭, 말, 양, 오리 등을 증가하는 것으로, 젓소, 염소, 사슴 등은 감소하는 것으로 나타났음.
- 주요 축종별로 보면 한·육우는 2005년 1,655천 마리에서 2010년 2,790천 마리, 2020년 2,229천 마리로 증가하며, 돼지의 경우 2005년 9,013천 마리에서 2010년 9,517천 마리 2020년 10,056천 마리로 증가하는 것으로 나타났음.

표 3-25. 주요축산물 사육두수 전망

단위: 천 마리, 천 수(닭)

연도	젓소	한·육우	돼지	닭	염소	말	양	오리	사슴
2005	498	1,655	9,013	105,523	647	18	1	8,557	136
2010	442	2,790	9,517	133,264	295	29	3	13,000	75
2015	418	2,488	10,008	140,424	270	30	4	15,000	70
2020	400	2,229	10,056	146,674	265	31	4	17,000	65

주: 3개년 이동평균 자료임.

자료: 온실가스종합정보센터 내부자료

○ 화학비료 질소 투입량 전망

- 질소질 화학비료의 투입량은 2005년 354,173톤에서 2010년 332,776톤, 2020년 329,737톤으로 완만하게 감소하는 것으로 전망됨.

표 3-26. 화학비료 질소 투입량 전망

단위: 톤

구분	해당 년도 값	3개년도 평균
2005	354,173	369,112
2010	332,776	355,887
2015	330,898	338,343
2020	329,737	320,803

자료: 온실가스종합정보센터 내부자료

3.2. 온실가스 배출전망치(BAU)

○ 2020년 농업, 식품분야 온실가스 배출전망치(BAU)

- 2020년 농업부문 온실가스 배출전망치는 에너지 9,685천 톤와 비에너지 18,801천 톤을 합하여 전체 28,486천 톤이 될 것으로 전망되고 있음.
- 비에너지 부문의 경우 경종부문이 12,418천 톤(43.6%), 축산부문이 6,383천 톤(22.4%)이 될 전망이다.

표 3-27. 농업부문 온실가스 배출전망치(BAU)

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구 분	에너지	비에너지			전체
		경종부문	축산부문	소계	
배출전망치	9,685	12,418	6,383	18,801	28,486
비율(%)	34.0	43.6	22.4	66.0	100.0

자료: 온실가스종합정보센터 내부자료.

- 2020년 식품분야 온실가스 배출전망치는 5,822천 톤으로 전망되고 있음.

표 3-28. 식품부문 온실가스 배출전망치(BAU)

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq)

구 분	2020
에너지	5,822
합 계	5,822

자료: 온실가스종합정보센터 내부자료.

제 4 장

온실가스 감축잠재량 분석

1. 감축기술 DB

- 농업분야 온실가스 감축기술은 협의로는 국가(농촌진흥청)에서 공인된 기술을 의미하고, 광의로는 에너지 및 온실가스를 감소시킬 수 있는 모든 기술 및 재배방법을 포함할 수 있음.
- 농업·식품의 감축기술은 비에너지와 에너지분야로 분류할 수 있음. 비에너지분야 온실가스 감축기술은 경종과 축산부문으로, 에너지분야는 신재생에너지, 에너지절감, 식품 부문 등으로 분류될 수 있음.
- 먼저 비에너지분야의 경종부문에는 논과 밭 물관리, 화학비료 절감, 무경운농업, 가을경운, 벧짚제거, 암거배수, 직파농법(담수, 건답), 토양개량제, 돈분톱밥퇴비, 조생종파종, 녹비작물, 맞춤형 비료, 완효성 비료 등이 있음.
 - 물관리농법은 관수방법과 토양수분을 조절하여 재배단계에서의 온실가스 배출량을 저감하는 모든 방법을 총칭하며 간단관개, 논물 얹게대기, 밭 물관리 등이 있음.
 - 무경운농업은 논이나 밭의 경운 방법을 달리해 농기계에 의한 에너지 사

용량을 절감하는 방법임.

- 담수직파농법과 건답직파농법은 논에 파종하는 방법을 달리해 농기계의 에너지 사용량 및 농자재 사용량을 절감하거나 담수일수의 변동으로 온실가스(CH₄)를 절감하는 방법임.
 - 맞춤형 비료와 완효성 비료는 저탄소비료농법으로 토양 양분수지 및 비료특성에 맞춰 적정량의 비료를 사용함으로써 비료 사용량을 줄여 재배 전 단계와 재배 단계의 온실가스 배출량을 저감하는 모든 방법을 총칭함.
 - 녹비작물은 헤어리베치, 자운영, 클로버, 호밀, 귀리 등이 있으며, 휴경 기간 동안 녹비작물을 재배하여 비료 사용을 대체하는 모든 방법임.
- 비에너지분야의 축산부문에는 가축분뇨 에너지화 및 자원화 시설 설치, 장내발효개선(사료첨가제, 양질조사료) 등이 있음.
- 다음으로 에너지분야의 신재생에너지 부문에는 지열히트펌프, 목재펠릿보일러 등이 있음. 이는 대체에너지활용농법으로 농작업 시 기존의 화석연료를 바이오매스 또는 재생에너지로 대체하여 에너지로 인한 온실가스 배출량을 절감하는 농법임.
- 에너지분야의 에너지절감 부문에는 다겹보온커튼, 보온터널개폐장치, 순환식 수막시스템, LED 적용, 트랙터에코드라이빙, 부분경운건답직파기, 부분경운이앙기, 온풍난방기 그을음제거기술, 하이브리드 농산물 건조기, 대체에너지 농업기계이용기술 등이 있음.
- 다겹보온커튼과 순환식수막시스템은 재배 환경 조절을 위한 장비 및 장치의 에너지 효율을 개선하는 기술임. 트랙터 에코드라이빙과 기타 저에너지 농기구는 농기계의 연비 조건을 개선하는 기술임.
- 마지막으로 에너지분야의 식품 부문에는 건조기 효율개선, 전동기 효율개선, 고효율 가스보일러 비중 확대 등이 있음. 이러한 기기의 효율을 개선함

으로써 온실가스를 절감시킴.

표 4-1. 농업, 식품분야 감축기술 DB

구분	기술명	기술 설명	
비 에 너 지 분 야	경 중	논 물관리	• 간단관개와 논물 얇게 대기가 있으며, 농업인의 간단관개 실시를 확대하여 논에서의 메탄 발생을 감소시킴
		밭 물관리	• 고랑에 관수하지 않고 점적관수 함으로써 토양수분함량을 줄여 녹색농업기술의 간접효과를 얻는 농법
		화학비료 절감	• 밭 화학비료 사용량 절감을 통해 아산화질소 배출 감소시킴
		무경운농업	• 경운 작업을 하지 않고 파종하거나 이식하여 농산물을 재배하는 방법
		가을경운	• 봄 경운에 비해 가을 경운 시 메탄 배출량 저감됨
		벗짚제거	• 벼를 수확한 후, 토양에 벗짚을 제거한 처리가 벗짚을 사용한 처리에 비해 온실가스 배출량 저감시킴
		암거배수	• 배수 시설을 한 암거배수가 배수 시설을 하지 않은 무암거 처리에 비해 온실가스 배출량 감소시킴
		담수직파농법	• 논에 물을 가둔 다음 씨레질을 한 후 싹이 튼 볍씨 종자를 논표면에 뿌리는 방법
		건답직파농법	• 물을 대지 않은 마른 논에 볍씨를 바로 뿌리는 방법
		토양개량제 (규산 사용)	• 토양개량제를 사용한 경우 온실가스 감축효과 발생함
		돈분툽밥퇴비	• 돈분툽밥퇴비 사용이 벗짚 사용과 비교할 때 온실가스 배출 감소시킴
		조생종파종	• 생육기간 짧은 조생종이 만생종에 비해 메탄 배출량 저감시킴
		녹비작물	• 헤어리베치, 자운영, 클로버, 호밀, 귀리와 같이 비료성분이 풍부하여 녹비작물로 사용되는 작물을 활용하여 비료절감효과를 얻는 농법
		맞춤형 비료	• 토양 양분수지 특성을 고려하여 시비함으로써 온실가스 배출 감소시킴
완효성 비료	• 비료의 효과가 천천히 나타나는 비료로써 온실가스 배출 감소시킴		
축 산	가축분뇨 에너지화 시설 설치	• 가축분뇨를 통해 전기를 생산하여 전기 생산에 필요한 화석연료 사용 감소시킴	
	가축분뇨 자원화 시설 설치	• 가축분뇨를 퇴비·액비화 등 자원화함으로써 분뇨처리에 따른 온실가스 배출 감소시킴	
	장내발효 개선 (사료첨가제)	• 미생물, 천연식물자원 등 사료첨가제를 통해 장내발효를 인위적으로 조절하여 메탄발생을 감소시킴	
	장내발효 개선 (양질조사료)	• 청보리 등 양질 조사료 보급을 통해 메탄발생 감소시킴	

표 4-1. 농업, 식품분야 감축기술 DB(계속)

구분	기술명	기술 설명
신재생에너지	지열히트펌프	• 지중 3~5m 깊이의 저심도 지중열을 이용하여 시설 냉난방에 이용하여 온실가스 감축시킴
	목재펠릿보일러	• 톱밥을 압축하여 만든 재생 가능한 청정연료로서 화석연료 대체 및 온실가스 감축시킴
에너지분야	다겹보온커튼	• 부직포, 폴리에틸렌폼 등의 보온자재를 여러겹으로 누벼서 만든 커튼을 통해 시설의 보온효과를 높여 온실가스를 절감시킴
	보온터널개폐장치	• 온실 내부에 보온을 위해 설치된 소형 터널의 피복을 자동으로 개폐해 온실가스 배출을 감축시킴
	순환식 수막시스템	• 수막으로 사용한 물을 회수하여 저장하였다가 일정 온도로 가열하여 다시 수막으로 사용함으로써 온실가스 배출을 감축시킴
	LED적용	• 전조작물을 대상으로 LED 적용 통해 백열등 적용에 비해 온실가스 감축시킴
	트랙터에코드라이빙	• 농작업 부하에 적합한 기어 단수로 운전 방법을 안내하여 최적의 연비 조건으로 농작업을 수행하는 농법
	부분경운건담직파기	• 경운 정지 작업을 생략하고 파종할 부분만 로타리 경운하면서 동시에 벼를 파종·시비하는 기술로 온실가스 크게 절감
	부분경운이앙기	• 경운 정지 작업을 생략하고 이앙할 자리만 부분경운하면서 벼 이앙과 동시에 완효성 비료를 시비하여 온실가스 절감시킴
	온풍난방기 그을음 제거기술	• 에어 콘프레서를 이용, 온풍난방기의 그을음을 제거함으로써 온풍난방기 이용효율을 향상시켜 온실가스 절감시킴
	하이브리드 농산물 건조기	• 히트펌프가 운전될 때 발생하는 제습된 차가운 바람과 반대쪽의 더운 공기를 모두 이용하여 농산물을 건조시킴으로써 온실가스 절감시킴
	대체에너지 농업기계 이용기술	• 식물성 오일, 폐식용유, 동물성 지방을 원료로 해서 만든 경유 대체연료를 이용함으로써 온실가스 절감시킴
식품	건조기	• 건조기의 효율 개선을 통해 온실가스를 절감시킴
	전동기	• 전동기의 효율 개선을 통해 온실가스를 절감시킴
	가스보일러	• 고효율 가스보일러 비중을 확대시킴으로써 온실가스를 절감시킴

자료: 농업부문은 김창길 등(2011), 농업기술실용화재단(2011) 자료를 정리하였고, 식품부문은 온실가스종합정보센터의 내부 자료를 이용함.

2. 감축잠재량 분석

2.1. 비에너지분야

- 비에너지분야는 경종, 축산 등으로 부문을 나누어 주요 기술을 대상으로 온실가스 감축잠재량을 분석하였음.
 - 경종부문에서는 논 물관리, 화학비료 절감기술을, 축산부문에서는 가축 분뇨 에너지화, 가축분뇨 자원화, 양질조사료 기술에 대하여 온실가스 감축잠재량을 분석하였음.
- 각 기술별로 기술개요, 감축잠재량 산정방법, 감축잠재량 산정 등의 순으로 기술함.

2.1.1. 경종부문⁴

가. 기술개요

- 논 물관리
 - 벼논의 물 관리는 벼 쓰러짐을 방지할 뿐만 아니라 온실가스 감축 수단으로서 매우 중요함. 벼는 뿌리에서 잎에 이르기까지 공기가 드나들 수 있는 구멍(통기조직)이 연결되어 있어 논물에서도 잘 자람. 관개된 논외 물 떼기를 통해 산소가 잘 공급되어야만 튼튼하게 자랄 수 있고 메탄 발생을 줄일 수 있음.
 - 논 물관리는 ‘중간물떼기⁵’와 ‘얕게 물대기⁶’로 나눌 수 있으며 중간물떼

⁴ 경종부문은 국립농업과학원 정현철 연구사에게 원고 의뢰하여 작성되었음을 밝힘.

⁵ 벼 논에서 물 관리 방법 중 중간낙수 방법은 벼 이앙 후 출수 30~40일전에 일주일 정도 논외 물을 뺐다(자연 배수) 다시 채우는 방법으로 벼논에서는 유기물 관리와 더

기는 상시관개 대비 43.8% 감축할 수 있음. 한편 얇게 물대기는 중간물
떼기 대비 18.3% 감축할 수 있음.

- 2011년 통계청 조사에 따르면 우리나라 벼재배 농가 중 약 86%가 중간
물떼기를 하는 것으로 조사됨.

○ 화학비료 절감

- 농경지 토양에서 N_2O 배출원은 크게 화학비료에 의한 배출, 축산분뇨에
의한 배출, 작물잔사 환원에 의한 배출 및 두과 작물의 질소 고정에 의한
배출로 구분
- 밭 화학비료 시용량 절감을 통해 아산화질소 배출 감소시킴

나. 감축잠재량 산정식

○ 논 물관리

- 재배기간 중 물을 상시담수 할 경우 메탄은 304kg(/ha), 아산화질소가
1.1kg(/ha) 배출되었고 이를 지구온난화지수(GWP)로 환산한 결과는
6,717kg CO_2 (/ha)임. 반면 중간낙수를 한 경우 메탄은 159kg(/ha), 아산
화질소가 1.4kg(/ha) 배출되었으며 이를 GWP로 환산한 결과는 3,777kg
 CO_2 (/ha)임. 배출량은 상시담수 대비 간단관개 논에서 약 44%가 저감됨.
- 논 물관리의 경우 상시담수를 간단 관개할 경우 ha당 약 4t CO_2 -eq의 이
산화탄소 감축함.

○ 화학비료 절감

- 농경지 토양에서는 화학비료 시용량은 아산화질소 배출에 직접적인 영
향을 미침. 일반적으로 벼논에서 화학비료를 질소 기준으로 130 kg/ha
시용할 경우 직접배출에 의해 약 171kg CO_2 -eq의 온실가스가 배출되고,

불어 온실가스 감축 효과가 가장 큰 방법 중 하나임.

6 이삭이 익는 시기에 물을 2~3cm로 얇게 대는 것을 말함.

간접배출에 의해 대기로 63kg CO₂-eq, 수계로 약 428kg CO₂-eq의 온실가스가 배출됨.

- 농경지 토양에 화학비료 1톤을 처리할 경우 직접배출로 5,480kg CO₂-eq, 간접배출로 약 3,775kg CO₂-eq의 온실가스가 배출되어 총 9,255kg CO₂-eq의 온실가스가 배출됨.
- 감축량 계산식: 밭 화학비료 감축량 × 배출계수(0.0125) × 44/28 × 310

다. 기술보급에 따른 감축잠재량

○ 논 물관리

- 2007년에 간단관개 비율은 50%이며, 이는 베이스라인임. 2013년 현재 간단관개 비율은 85.6%이며, 이때 감축잠재량은 0톤임. 2020년 간단관개 비율 목표치는 90%이며, 이때 감축잠재량은 142천 톤임.

○ 화학비료 절감

- 화학비료 추정식은 $-72.73\ln(x) + 414.61$ 임. 밭 화학비료 사용 예상량은 KREI 추정에 의하면, 2013년 187천 톤에서 2020년 167천 톤으로 약 10.7% 감소함. 정부의 화학비료 사용량 감소목표를 적용(약 16% 감소)하게 되면 2013년 187천 톤에서 2020년 157천 톤으로 감소하는 것으로 계산됨. 이는 BAU ('20) 167천 톤에서 약 6% 감소하는 것으로 계산됨. 따라서 BAU 대비 6% 감소 시나리오를 적용하고, 밭 화학비료 감축량 계산식을 적용하면 93천 톤이 감소하게 됨.

표 4-2. 경종부문 2020년 온실가스 감축잠재량

단위: 천 톤, (%)

구분	감축잠재량	BAU 비중
논 간단관개 면적 확대	142	(0.5)
화학비료 사용절감	93	(0.3)

2.1.2. 축산부문⁷

가. 기술 개요

○ 가축분뇨 에너지화 시설

- 가축분뇨 처리와 관련하여 자원화 되지 않은 양은 정화에 의해 처리되고 있음. 친환경에너지 확보 및 온실가스 저감을 위해 바이오가스 생산시설에 대한 사회적 요구가 높아지고 있음.
- 가축분뇨를 통해 전기를 생산하여 전기 생산에 필요한 화석연료를 절감
- 1일 70톤 이상 가축분뇨(70%이상) 등을 활용하여 혐기소화(메탄발효)를 거쳐 바이오가스를 생산하고 열병합발전기로 전기 생산 후 소화액은 액비로 농경지 환원

○ 가축분뇨 자원화 시설

- 육류 소비량 증가에 따라 가축 사육 형태가 규모화 되고 있으며, 이로 인해 연간 가축분뇨 발생량이 꾸준히 증가하고 있음. 가축분뇨 공동자원화 시설을 통해 발생한 가축분뇨를 퇴비와 액비로 자원화 하고 온실가스를 감축시킬 수 있음.

○ 양질조사료

- 반추가축(한우, 젃소, 산양 등)은 정상적인 소화 작용인 장내발효 과정의 부산물로 메탄이 발생되어 가축의 입을 통해 외부로 방출됨. 메탄생성에 영향을 주는 요인으로는 사료의 물리화학적 특성, 사료 급여수준, 반추위 내 미생물 생태계, 사료첨가제, 가축의 건강 상태 등 유전적 요인 등을 들 수 있음. 장내발효에 의한 메탄 배출 저감기술은 청보리 등 양질조사료 급여, 사료내 첨가제 적용, 가축생산성 향상 등 직간접적 방법으로 온

⁷ 축산부문은 강원대학교 박규현 교수에게 원고 의뢰하여 작성되었음을 밝힘.

실가스를 저감할 수 있는 잠재력이 있음.

나. 감축잠재량 산정식

- 가축분뇨 에너지화 시설
 - 온실가스 감축량 (CO₂톤/연): 개소수 × 1개소당 771톤 감축(100% 가동률, 365일 가정) × 평균 가동률 80% × 가동일수 비율 (300/365)
- 가축분뇨 자원화 시설
 - 온실가스 감축량 (CO₂톤/연): 개소수 × 2,549톤 감축(100%, 365일 가동 가정시) × 평균 가동률 80% × 가동일수 비율 (300/365)
- 양질조사료
 - 한육우: 젖소에 50:50 공급 시 3,441톤 CH₄/년(83,517톤 CO₂/년) 감축 가능

다. 기술보급에 따른 2020년 감축잠재량

- 축산부문의 감축잠재량은 가축분뇨 에너지화 및 공동자원화 시설 확대 320천 톤(1.0%), 양질조사료 재배면적 및 가축급여 확대 80천 톤(0.3%)으로 분석되었음.

표 4-3. 축산부문 2020년 온실가스 감축잠재량

단위: 천 톤, (%)

구 분	감축잠재량	BAU 비중
가축분뇨 에너지화 및 공동자원화 시설 확대	320 천 톤	(1.0)
양질조사료 재배면적 및 가축급여 확대	80 천 톤	(0.3)

2.2. 에너지분야

- 에너지분야는 신재생에너지, 에너지절감, 식품 등으로 부문을 나누어 주요 기술을 대상으로 온실가스 감축잠재량을 분석하였음.
 - 신재생에너지 부문은 지열히트펌프, 목재펠릿 적용 기술에 대하여, 에너지절감 부문은 다겹보온커튼, 보온터널개폐장치, 순환식 수막 보온시스템 적용 기술에 대하여, 그리고 식품부문은 건조기 효율개선, 전동기 효율개선, 고효율 가스보일러 확대 등의 기술에 대하여 온실가스 감축잠재량을 분석하였음.
- 에너지분야의 감축잠재량은 각 기술별로 기술개요, 감축잠재량 산정방법, 감축잠재량 산정 등의 순으로 기술함.

2.2.1. 신재생에너지 부문

가. 기술 개요

- 지열히트펌프
 - 지열히트펌프는 지하에 열교환기를 매설하여 지중의 물 또는 토양으로부터 히트펌프의 냉매 순환과정에 열을 흡수하거나 열을 방출하는 시스템임. 지열히트펌프를 시설원예에 적용하면 난방비를 절감하고 온실가스를 줄이는 효과가 발생함.
 - 지중 3~5m 깊이의 저심도 지중열을 이용하여 시설 냉난방에 이용하여 온실가스를 감축시킴.
 - 땅속의 열(10~15℃)을 히트펌프의 증발기에서 흡수한 후 고온 열(30~50℃)로 변환하여 겨울철 난방에 활용하고, 여름철에는 실내의 더운 열(30~40℃)을 흡수하여 땅속으로 방출하면서 냉방에 활용하는 장치

○ 목재펠릿

- 목재펠릿은 청정에너지 자원으로 인식되고 있으며 국내에서 가능한 자원을 활용하여 에너지를 생산할 수 있는 중요한 재생에너지원으로 기대되고 있음. IPCC에서 바이오매스는 연소 시에 발생하는 배기가스에서 온실가스 배출이 없는 것으로 규정하고 있어 온실가스 배출저감과 직접적인 연관이 있음.
- 목재펠릿의 단위당 감축량은 다른 기술에 비해 높은 편인데 감축량 원단위가 높은 이유는 목재펠릿을 이용할 때 발생하는 이산화탄소는 발생량으로 산정하지 않는다는 IPCC 기준에 근거함.
- 톱밥을 압축하여 만든 재생 가능한 청정연료로서 화석연료 대체 및 온실가스 감축에 효과적인 바이오매스 활용 기술임.

나. 감축잠재량 산정식

○ 지열히트펌프

- 온실난방 면적(13,000ha)의 10%인 1,300ha(A)를 지열로 대체할 경우 감축량 159,147톤(B) 활용; $A/B = 122.4208$ 톤 = 약 122톤; 지열히트펌프 ha 당 감축량 약 122톤 사용; 지열히트펌프 보급면적 147ha \times 122톤 = 17,934톤

○ 목재펠릿

- 2010년 온실가스 감축량을 2010년 목재펠릿 사용량을 나누어 계산하며, 목재펠릿 톤당 433톤 감축으로 계산됨.

다. 기술보급에 따른 감축잠재량

○ 지열히트펌프

- 지원면적(ha) \times ha당 감축량, 농진청 실증연구 결과, 1ha당 122.4208톤 감축
- 감축량 : 보급면적 \times ha 당 감축량(122 tCO₂e)

○ 목재펠릿

- 지원면적(ha) × ha당 감축량, 자발적 온실가스 감축사업 참여농가의 펠릿 사용 면적과 감축량을 통해 ha당 감축량 도출하여 사용 = 195tCO₂/ha
- 감축량: 목재펠릿 사용량 × 감축량(톤) = 1,300 톤CO₂-eq

- 에너지분야의 신재생에너지부문 감축잠재량은 신재생 에너지를 이용하는 냉난방기 설치 지원에 의한 380천 톤(1.3%)으로 분석되었음.

표 4-4. 신재생에너지부문 2020년 온실가스 감축잠재량

단위: 천 톤, (%)

구 분	감축잠재량	BAU 비중
신재생 에너지를 이용하는 냉난방기 설치 지원	380 천 톤	1.3%

2.2.2. 에너지 절감시설 부문

가. 기술 개요

○ 다겹보온커튼 장치

- 부직포, 폴리에틸렌폼 등의 보온자재를 여러 겹으로 누벼서 만든 온실 보온용 커튼. 수평형 다겹보온커튼은 부직포커튼에 비해 난방연료 절감 효과가 크고, 단동온실 다겹보온커튼장치는 PE필름 3중 피복 대비 난방 연료 절감효과가 커서 연료 연소 시 발생하는 이산화탄소의 발생량을 연료절감 비율만큼 절감할 수 있음.
- 다겹보온커튼의 온실가스 감축량 산정에서 기존 시스템 대비 에너지(경유) 절감효과는 29.6%임.
- 다겹보온커튼을 온실내부에 자동개폐가 가능하도록 설치하여 보온력을 향상시키고 난방비를 절감하는 기술

○ 보온터널개폐장치

- ‘보온’은 온실 내부의 열이 외부로 빠져나가지 않도록 단열 성능이 우수한 재료를 이용한 커튼 등의 형태로 열의 이동을 억제하여 실내의 온도 하강을 최소화하는 기술을 말함. 온실의 보온력에 영향을 미치는 요인으로는 피복재의 보온성능, 틈새환기율, 실내외기온차, 보온비(온실바닥면적/온실표면적), 보온커튼의 단열성능 등이 있음.
- 온실 내부에 보온을 위해 설치된 소형 터널의 피복을 자동으로 개폐해, 보온터널 개폐에 소요되는 노동력을 절감하고 난방에너지를 절감하는 기술

○ 순환식 수막 보온 시스템

- 수막재배는 자연에너지인 지하수를 비닐하우스 피복재에 살수하고 보온 및 단열효과를 높여 무가온으로 작물을 재배하는 기술이며, 주요 재배작물은 딸기, 상추, 감자 등 저온성 작물임.
- 순환식 수막시스템은 수막으로 사용한 물을 흘려버리지 않고 회수하여 가열장치(보일러)를 이용해 일정 수온으로 가열한 다음 다시 사용하는 수막시스템을 말함.
- 순환식 수막시스템 도입 시 비순환식 대비 2,000m³의 온실에서 연간 17,788톤의 지하수를 절약할 수 있음.
- 지하수의 가치를 303원/톤으로 환산하면 ha당 연간 26.5백만 원의 비용을 절감할 수 있는 것으로 산정됨. 또한 지하수와 난방연료 절감으로 이산화탄소 배출량을 절감할 수 있음.
- 수막으로 사용한 물을 회수하여 저장하였다가 일정 온도로 가열하여 다시 수막으로 사용함으로써 에너지를 절감하여 온실가스 배출 감축시킴
- 기존의 수막시스템이 한번 사용한 물을 흘려버리는 것에 반해, 수막으로 사용한 물을 회수하여 저장하였다가 일정 온도로 가열하여 다시 수막으로 사용하는 기술

나. 감축잠재량 산정식

○ 다겹보온커튼

- 산정식은 지원면적(ha) × 가온면적당 난방용 면세유(경유) 사용량(L/ha) × 에너지절감율(46%) × 경유 1L의 온실가스 배출량(tCO₂/L)

○ 보온터널개폐장치

- 산정식은 지원면적(ha) × 가온면적당 난방용 면세유(경유) 사용량(L/ha) × 에너지절감율(60%) × 경유 1L의 온실가스 배출량(tCO₂/L)

○ 순환식수막 보온시스템

- 산정식은 지원면적(ha) × 가온면적당 난방용 면세유(경유) 사용량(L/ha) × 에너지절감율(67%) × 경유 1L의 온실가스 배출량(tCO₂/L)

다. 기술보급에 따른 감축잠재량

- 에너지절감시설 감축잠재량은 에너지 절감시설 보급 확대에 의한 470천 톤 (1.7%)으로 분석되었음.

표 4-5. 에너지 절감시설부문 2020년 온실가스 감축잠재량

단위: 천 톤, (%)

구분	감축잠재량	BAU 비중
에너지 절감시설 보급 확대	470천 톤	(1.7)

2.2.3. 식품부문⁸

가. 기술 개요

- 식품업종 온실가스 감축 잠재량 분석은 온실가스종합정보센터에서 제9차 한국표준산업분류 상 ‘식료품제조업, 음료제조업, 담배제조업’을 대상으로 분석함. 2008년 에너지총조사 기준으로 식품업종이 사용하고 있는 에너지 사용량 비중은 전체 제조업 대비 약 2%에 해당함.
- 식품업종은 소비자의 기호 및 제품품질, 안전성과 관련된 식품업종만의 특수성이 존재하기 때문에 타 업종처럼 온실가스 배출 또는 에너지 이용 효율화를 일괄 적용하기 어려움. 그러므로 감축잠재량 분석 시 이와 같은 식품업종의 특성을 충분히 고려하여야 하며, 오븐, 파쇄기, 압착기, 여과기, 살균기, 착즙기, 반죽기 등은 분석에서 제외함.
- 식품업종의 온실가스 감축기술은 공통기기(전동기, 건조기, 고효율 가스보일러)의 효율개선임.

나. 감축잠재량 산정방법

- 식품업종은 Message 모형 분석결과를 이용해 업종내 공통기기의 감축잠재량을 산정함. 분석의 대상은 대부분의 업종에서 공통적으로 사용하는 공통기기(전동기, 건조기, 고효율 가스보일러)의 효율개선을 가정함. 공통기기에서 사용하는 최종에너지 수요는 식품업종 최종에너지 수요 중 공통기기 비중을 적용하여 도출하며, 공통기기별 에너지사용량 비중은 ‘2008년 에너지총조사, 산업부(2009)’에 근거하여 산출함.

⁸ 식품부문은 농업기술실용화재단 류승현 연구원에게 원고 의뢰하여 작성되었음을 밝힘.

- 식품업종 온실가스 감축잠재량 분석은 ‘제4차 에너지이용합리화 기본계획’ 중 공통기기 효율개선 및 고효율 제품 확대 방안을 적용함.
 - 건조기 효율개선의 경우 2012년 보급되는 건조기 효율 75%, 2017년 보급되는 건조기 효율 80%를 설정하였으며 업종전체의 건조기 평균효율은 47.4%('07년), 50.8%('15년), 61.7%('20년)로 예상함.
 - 전동기 효율개선의 경우 2012년 보급되는 전동기 효율 90%, 2017년 보급되는 전동기 효율 95%를 설정하였으며 업종전체의 전동기 평균효율은 84.0%('07년), 84.1%('15년), 90.9%('20년)으로 예상함.
 - 고효율 가스보일러 비중확대의 경우 고효율 가스보일러 비중확대 목표를 근거로 2020년까지 전체 수요의 20%를 차지하도록 설정함.

다. 기술보급에 따른 감축잠재량

- 식품업종 온실가스 감축잠재량 분석은 해당연도(2007~2020년)의 연료별 최종에너지 수요 중 감축기술별 에너지이용 효율개선을 고려하여 최종적인 연료별 에너지수요를 재산정함. 재산정된 연료별 에너지 수요에 각 온실가스 배출계수를 적용하여 감축잠재량을 분석함.
- 온실가스종합정보센터의 감축잠재량 분석에 따르면 식품업종의 감축잠재량은 58천tCO₂-eq(2015년)에서 308천tCO₂-eq(2020년)으로 급격히 증가함. 최종적인 감축목표인 2020년 감축률은 예상배출량 대비 약 5%에 해당함.

표 4-6. 식품부문 2020년 온실가스 감축잠재량

단위: 천 톤(Gg CO₂-eq), (%)

구분	감축잠재량	BAU 비중
전동기, 건조기, 고효율 가스보일러의 효율개선	308	(5.3)

자료: 온실가스종합정보센터 내부자료.

제 5 장

주요국 온실가스 감축정책 추진현황

1. 미국

1.1. 미국의 농업환경

- 미국은 농업생산성이 매우 높은 수준이며, 다양한 종류의 식품과 섬유작물, 사료작물, 오일시드(oil seed), 과일, 채소 등을 재배하여 국내외 시장에 판매하고 있음.
- 토양은 대기 중의 상당한 유기 및 무기 탄소를 저장할 수 있음. 토양이 저항력과 복원력을 높이지만, 적절한 관리를 하지 않으면 침식과 염류축적작용이 진행되어 토양의 질이 저하됨.
- 미국 농무부(USDA)는 환경적으로 민감한 토지를 보완함으로써 다양한 보전 프로그램을 운영하고 있음. 가장 규모가 큰 프로그램은 토양침식 방지, 수질개선, 야생서식지 보전 등을 목적으로 하는 자연보전프로그램(CRP, Conservation Reserve Program)으로 약 1,260만 ha가 등록되어 있음.

- 경운농법의 개선으로 토양침식이 줄어들고 토양탄소수준이 향상되었음. 1998년부터 2004년까지 무경운시스템이 25.4만ha(31%)까지 증가하였고, 보전경운시스템을 사용한 토지는 40~46만 ha가 되었음.

1.2. 농업부문 온실가스 배출

- 미국의 온실가스 배출량은 2011년 6,702Tg CO₂-eq였으며, 이 가운데 산림과 토지이용으로 저장된 양이 -905Tg CO₂-eq로 나타나 순 배출량은 5,797Tg CO₂-eq로 추정됨. 이는 2000년 6,395Tg CO₂-eq에서 지속적으로 감소한 것임.
- 미국 농업부문의 온실가스 배출량은 2011년 기준으로 461.5Tg CO₂-eq이며, 미국 온실가스 배출량 6,702Tg CO₂-eq의 6.9%를 차지함. 아산화질소(N₂O)와 메탄(CH₄)가 농업부문의 주요 온실가스임.
 - 2012년도 정책을 베이스라인 시나리오로 설정할 때, 2005년부터 2020년까지 8.7% 증가할 것으로 예상됨. 농업부문 온실가스 배출량은 계속 증가하여 2030년에는 512Tg CO₂-eq에 이를 것으로 전망됨.

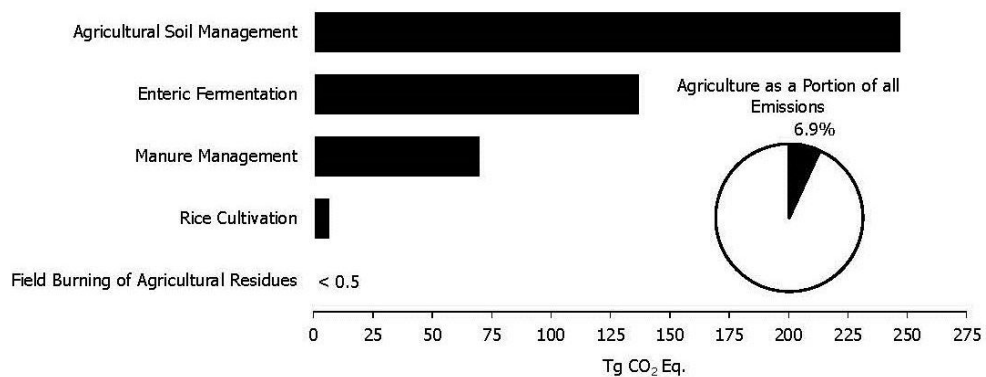
표 5-1. 미국의 부문별 온실가스 배출량 및 전망치

단위: Tg CO₂-eq.

구 분	배출량				배출량 전망치			
	2000	2005	2010	2011	2015	2020	2025	2030
에너지	4,258	4,321	4,104	3,981	3,936	4,038	4,141	4,207
수송	1861	1931	1786	1765	1710	1702	1660	1627
산업공정	357	335	308	331	378	438	504	536
농업	432	446	462	461	461	485	498	515
LULUCF	31	25	20	37	30	27	40	35
폐기물	136	137	131	128	127	126	125	123
총 배출량	7076	7195	6812	6702	6643	6815	6967	7041
LULUCF 상쇄	고				-884	898	917	937
	저	-682	-998	-889	-905	-787	614	573
순 배출량	고				5759	5918	6050	6104
	저	6,395	6197	5923	5797	5856	6201	6394

자료: US. Department of State(2013)

그림 5-1. 미국 농업부문 온실가스 구성(2011)



자료: EPA(2013)

- 미국 농업부문의 N₂O와 CH₄의 배출량을 살펴보면, CH₄와 N₂O 모두 2005년 이후 다소 증가하였음.
- CH₄는 2005년 191.5Tg CO₂-eq에서 2011년 196.3Tg CO₂-eq로 증가하였음. 주요 증가 원인으로는 부산물 관리로 인한 배출량이 47.6Tg CO₂-eq에서 52.0Tg CO₂-eq로 크게 증가한 것을 꼽을 수 있음.
 - N₂O는 2005년 254.7Tg CO₂-eq에서 2011년 265.2Tg CO₂-eq로 증가하였음. 농업토양관리로 인한 배출량과 부산물 관리로 인한 배출량이 모두 증가하였음.
 - 2009년에는 배출량이 감소하는 데, 글로벌 금융위기의 영향으로 인한 생산위축에 기인한다고 볼 수 있음.

표 5-2. 미국 농업부문 온실가스 원별 배출량(2011)

구 분	1990	2005	2007	2008	2009	2010	2011
CH ₄	171.5	191.5	200.5	200.3	198.6	199.9	196.3
장내발효	132.7	137.0	141.8	141.4	140.6	139.3	137.4
부산물관리	31.5	47.6	52.4	51.5	50.5	51.8	52.0
쌀 재배	7.1	6.8	6.2	7.2	7.3	8.6	6.6
농업부산물 소각	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
N ₂ O	242.3	254.7	270.4	263.3	260.6	262.4	265.2
농업토양관리	227.9	237.5	252.3	245.4	242.8	244.5	247.2
부산물관리	14.4	17.1	18.0	17.8	17.7	17.8	18.0
농업부산물 소각	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
총 계	413.9	446.2	470.9	463.6	459.2	462.3	461.5

주: 총계는 각 부문의 합이 아님.
 자료: EPA(2013)

1.3. 미국의 온실가스 감축 방안

- 미국의 농업토지와 관련하여 온실가스 감축정책을 경작지 대상 프로그램과 휴경지 대상 프로그램의 두 가지로 구분할 수 있음. 우선 경작지 대상 프로그램을 살펴보면, 환경개선장려프로그램(EQIP: Environmental Quality Incentives Program)과 보전의무프로그램(CSP: Conservation Stewardship Program) 등이 있음.
- 환경개선장려프로그램(EQIP)은 농장 및 목장의 보전농법에 대하여 재정적·기술적 지원을 제공하는 자발적인 프로그램임.
 - NRCS는 환경개선장려프로그램 랭킹 시스템 하에서 온실가스 감축에 대한 지침서를 제공하였음. 환경개선장려프로그램은 최대 10년 동안 참가가 가능하며 주요 내용으로는 부산물관리, 관개, 물 관리, 양분관리, 윤작, 피복작물 사용, 습지복원, 목초지관리 등이 있음. 이 프로그램으로 인하여 2007년 기준으로 390만 CO₂톤의 온실가스를 감축한 것으로 추정되며, 2020년에는 약 1,420만 CO₂톤까지 감축량이 증가할 것으로 전망됨.
- 보전의무프로그램(CSP: Conservation Stewardship Program)은 보전보장프로그램(Conservation Security Program)으로도 알려져 있으며, 토양과 물, 공기, 에너지, 동식물 생활 등의 보전과 개선을 목적으로 재정적·금융적 지원을 하는 연방 프로그램임.
 - 경작지, 초지, 대초원지대에서의 작업과 산림 보호 등을 포함함. 농가들은 최소 5년의 계약기간동안 환경개선을 위한 노력을 기울였을 때 지원을 받을 수 있음. 이 프로그램을 통하여 계약된 지역의 온실가스 배출량 또한 줄일 수 있음.
- 휴경지 대상 프로그램으로는 농지보전프로그램(CRP, Conservation Reserve Program)과 습지보전프로그램(WRP, Wetlands Reserve Program), 초지보전

프로그램(GRP, Grassland Reserve Program) 등이 있음.

- 농지보전프로그램(CRP)은 미국농업진흥청(FSA: Farm Service Agency)에서 담당하는 프로그램으로 농민들이 환경적으로 민감한 작물을 생산하는 농가에 일정 비용을 지불하고, 통상 10년에서 15년의 의무계약기간동안 피복작물을 재배하도록 장려하는 정책임.
 - 일반적으로 자연초(native grasses), 또는 야생수목의 재배를 장려하며, 이 밖에 습지를 복원하고, 강 유역에 비료 완충지대를 설치하는 것을 권고함. 이 프로그램을 통하여 민간 토지의 탄소고정 잠재력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨. FSA는 2008년 동안 자원보전프로그램으로 인한 온실가스 감축량이 56백만 CO₂ 톤에 이를 것으로 추정하고 있으며, 2012년에 5천3백만 CO₂ 톤으로 감소한 후, 2020년까지 이 수준을 유지할 것으로 전망함.

- 습지보전프로그램(WRP)은 토지소유자들이 자신의 소유지에 있는 습지를 보호, 복원, 개선할 수 있는 기회를 제공하는 자발적인 프로그램임.
 - NRCS는 습지복원과 관련한 기술적·재정적 지원을 하고 있는데, 이를 통하여 습지 기능과 가치를 높이고, 최적의 야생서식지를 복원하는 것을 목표로 함. 습지보전과 관련된 활동들은 탄소고정과 온실가스 감축에도 영향을 미침. NRCS는 2007년 동안 습지보전이 18만 CO₂ 톤의 온실가스를 감축하는 것으로 추정하였으며, 2020년에는 25만 CO₂ 톤의 온실가스 감축이 가능하다고 예측하고 있음.

- 초지보전프로그램(GRP) 역시 자발적인 프로그램으로 방목지 작업과 동식물의 다양성 향상, 초지의 보호를 위한 지원을 강조함. 초지보전프로그램 참여자들은 사료 및 종자의 생산과 관련된 방목과 작업에 대한 권리는 그대로 유지하면서, 토지의 미래 개발과 사용을 위해 자발적으로 제한을 설정함.
 - 또한 방목지관리계획(grazing management plan)에 따른 보전농법은 초지

의 탄소고정능력을 제고시킴. 2007년 동안 NRCS는 초지보전프로그램을 통하여 온실가스 7천 CO₂ 톤을 감축한 것으로 추정하였으며, 이러한 방법을 통한 온실가스 감축량은 2020년에 2만7천 CO₂ 톤으로 증가할 것으로 예측됨.

- 야생서식지지원프로그램(WHIP: Wildlife Habitat Incentives Program)은 국가의 야생서식지를 개선하는 자발적인 접근방법으로 NRCS에서 기술적 지원을 해주고 있으며, 서식지 개선비용의 75%까지 지원하고 있음.
 - 야생서식지 개선으로 인하여 탄소고정 잠재력이 증가할 것으로 기대하고 있으며, 2007년 25만 CO₂톤의 온실가스가 감축된 것으로 추정하고 있음.
- AgSTAR 프로그램은 EPA와 USDA, DOE에서 지원하는 자발적 프로그램으로 퇴비관리에서 배출되는 메탄 감축을 위하여 복원기술 사용을 권장함.
 - AgSTAR는 다른 정책수단들에 비해 국가수준에 미치는 영향력이 상대적으로 미약하지만 낙농 및 돼지농장의 이윤을 증대시키면서 동시에 온실가스를 감축하고 기타 오염통제 편익을 가져온다는 점에서 중요한 역할을 하고 있음.
- 이 밖에 미국은 배출권거래제를 활용하여 농업부문의 온실가스 감축을 유도하고 있음. 특히 2003년 설립된 자발적 탄소시장인 시카고기후거래소(CCX: Chicago Climate Exchange)는 상쇄(offset) 프로그램을 도입하여 주요 산업부문 외에 축산부문 메탄, 농경지토양, 에너지 효율성, 산림, 쓰레기 매립 메탄, 재생가능에너지 등에서의 온실가스 감축에 대하여 상쇄 크레딧을 발급하고 있음.
 - 이 가운데 가장 많은 양을 차지하고 있는 것이 농경지 토양에 의한 이산화탄소 흡수이며, 상쇄 프로젝트의 약 28.5%를 차지하고 있음. CCX의 토양관리 상쇄는 미국과 캐나다의 지정된 주와 지역에서 보전경운 및 적

응활동으로 토양 탄소고정 프로젝트를 적용하는 경우, 배출권의 판매 권리를 인정하는 프로그램을 말함. 농경지 토양에 의한 온실가스 흡수는 지속적인 보전경운과 초지로의 전환 등을 들 수 있음.

<미국 농지보전프로그램(Conservation Reserve Program, CRP)>

- 농지보전프로그램은 2002년 농업법에서 도입되어 2004년부터 실시 중에 있는 휴경지를 대상으로 하는 프로그램으로 침식가능성이 높거나 환경적으로 민감한 경작지를 농가에서 자발적으로 10~15년 휴경할 경우(최대 3,200만 에이커), 정부가 지대에 상당하는 금액의 일부를 매년 휴경보상금 및 환경보전 시설비 등으로 보조해 주고 있음.
- 등록된 토지에 풀이나 나무를 심어 탄소감축 이외에도 수질오염 감축, 산불위험 감소, 야생 생물 서식지 개선 등 다양한 효과를 거두었음.

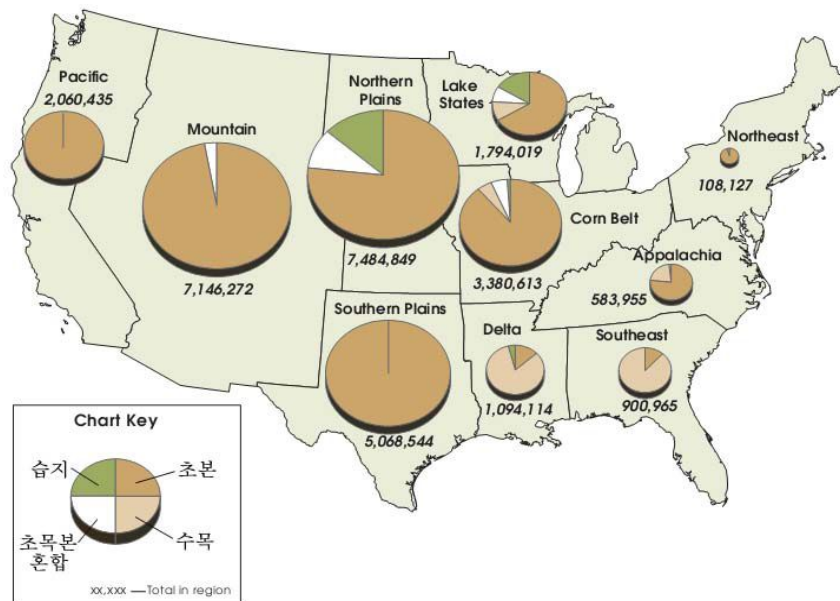
그림 5-2. CRP 일반등록 계약 토지의 에이커 당 연간 평균 보상액'08 년



자료: 농림수산식품기술기획평가원(2011)

- 2008년 3월 기준으로 총 3,400만 에이커 이상의 토지가 농지보전 프로그램에 등록되어 미국의 민간소유 토지를 대상으로 한 프로그램 중 가장 규모가 크며, 미국 전역이 보상을 받고 있음. Corn Belt 지역의 보상금액이 가장 높게 나타났는데, 이는 옥수수 생산을 포기하여 얻는 기회비용이 상대적으로 높기 때문임.

그림 5-3. 식생·지역에 따른 CRP 프로그램 일반계약참여 토지이용현황



자료: 농림수산식품기술기획평가원(2011)

- CRP 프로그램 참여로 받는 연간 보상액과 참여하지 않았을 때 얻는 기회비용을 비교하여, 기회비용이 더 크다면 CRP 프로그램은 효용이 없는 것으로 판단할 수 있음. 따라서 CRP 프로그램을 통한 이산화탄소 감축효과를 비용으로 추정해 볼 필요가 있음. 1톤당 탄소비용을 13달러로 계산한다면, Northeast, Appalachia, Southeast, Delta, Southern Plains 등의 5개 지역은 CRP 프로그램을 통해 더 많은 보상을 받을 수 있음.
- 총량거래제와 함께 농민들이 온실가스 감축을 통해 수익을 낼 수 있을 것으로 전망함.
- 농무부 산하 미국농업진흥청(FSA)은 현재 미국 전역의 CRP 참여토지가 이전의 용도로 사용될 때보다 4,800만 톤의 이산화탄소를 감축하고 있다고 추정함.
- 탄소감축효과가 큰 수목을 식재하는 지역이 더욱 넓어질 것으로 전망함.

표 5-3. CRP 프로그램 등록을 통한 탄소감축 효과

단위: \$/CO₂-eq

구 분	평균비용(초본)	평균비용(수목)
Northeast	57	12
Appalachia	73	11
Southeast	82	8
Delta	29	8
Corn Belt	68	32
Lake States	68	24
Northern Plains	43	16
Southern Plains	38	7
Mountains	55	20
Pacific Coast	69	15

자료: 농림수산식품기술기획평가원(2011).

<미국 보전보장프로그램(Conservation Security Program, CSP)>

- 보전보장프로그램은 휴경지를 대상으로 하는 농지보전프로그램(CRP)의 계약 만료에 따라 생산이 재개된 경우 환경적 편익을 유지하기 위해 마련된 조치로, 2002년 농업법에 따라 환경적 보전행위의 실시를 계약한 농장에 직접지불금을 제공하는 제도로, EU의 환경직불제와 유사함.
 - 추가적인 보전활동의 이행이나 기존 보전시스템의 개선 및 유지활동을 장려함.
- 보전안전프로그램에 참가하기 위해 적합한 토지는 경작지, 초지, 대초원, 개량된 목초지, 방목지, 비상업적 사유림, 농지 등이 해당됨. 신청은 개인, 법인, 공동경영(joint operations), 인디언부족 등이면 가능함.
- 자연자원 보전 서비스(Natural Resources Conservation Service, NRCS)는 CSP 참가자들에게 보전성과에 따라 직불금을 지급함. 직불금은 두가지 종류가 있는데, 새로운 보전활동 및 기존보전활동의 유지에 대한 연간 직불금과 자원보전운작 농가에 대한 보조직불금이 있음.
- 직불금 수령액은 계약당 연간 4만 달러, 5년간 20만 달러를 초과할 수 없음. 계약 제한은 연간 8만 달러, 계약기간동안 40만 달러임. 단, 인디언부족이나 알래스카 원주민은 제한을 받지 않음.
- 보전안전프로그램에 따른 보조 직불금은 자원보전 운작을 시행하는 면적(에이커)당 12달러이며, 연간 직불금은 다음 표와 같음. 추가적인 환경보전활동에 대해서는 경작지의 경우 가장 많은 직불금을 주며, 기존활동을 계속 연장하는 활동에 대해서는 목초지의 경우가 가장 많은 금액을 지급 받음.

표 5-4. 2011 CSP 연간 직불금 지급액

토지용도	단위: \$/point	
	추가활동 지급액	기존활동 지급액
경작지(cropland)	0.1217	0.0411
목초지(pastured cropland)	0.0492	0.0444
초지(pasture)	0.0492	0.0271
방목지(range)	0.0200	0.0060
산림(forest)	0.0633	0.0049

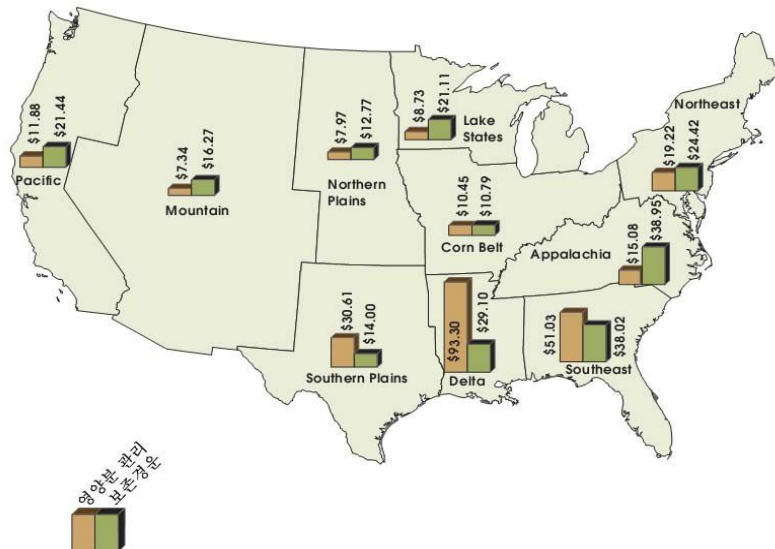
자료: 농림수산물기술기획평가원(2011)

<미국 환경개선장려프로그램

(Environmental Quality Incentives Program, EQIP)>

- 환경개선장려프로그램은 미국정부가 환경보전 및 개선활동을 하는 축산업자나 농민을 지원하기 위해서 비용의 일부를 분담하여 기술지원이나 인센티브를 제공하는 정책으로 농민은 보존 시행령에 따라 최대 10년까지 수혜가 가능함.
- 이 계획은 농지 및 비산업적인 사유림에 있는 토양, 물, 동식물, 대기, 관련자원을 향상시키는 기회를 제공하며, 연방정부와 주정부, 지방정부의 환경규제를 준수하도록 돕는 의미를 가지고 있음.
- 보상금액은 270만 에이커 당 양분관리와 보존경운을 통해 4,250만 달러가 지불됨. 보존경운을 통해서 에이커 당 평균 0.59톤을 저장한다고 가정할 때 160만 톤의 이산화탄소가 감축됨. 이는 이산화탄소 1톤을 격리하는데 27달러의 경비가 드는 것을 감안한다면 약 4,320만 달러의 수익을 확보한 것으로 평가할 수 있음. 양분관리를 통해서 400만 에이커의 토지에서 3,570만 달러의 수익을 올림.
- 2011년 4월 기준으로 7,531,845 에이커의 면적, 24,866건의 계약이 이루어졌으며 신규 지급되는 금액은 약 5,141만 달러임.

그림 5-4. 환경개선장려계획 계약의 에이커 당 평균보상비('08년)



- 환경개선장려계획은 실제이행과 관련한 평균비용의 비중에 따라 보조금을 지급하며, 보전계획을 수립하는 생산자들을 지원하기 위하여 추가 보조금이 지급될 수 있음. 또한 이전부터 환경이 좋지 못한 생산자들에게 높은 보조금이 지급되는데, 자원부족 농업인, 초보 농업인, 사회적 약자, 원주민의 경우가 이에 해당함.
- 농업인들은 검증받은 기술서비스제공자(Technical Service Provider, TSP)를 통해 기술지원을 받을 수 있음. 자원부족 농업인은 보전농법의 이행을 위해 필요한 원료 및 서비스 구매비용의 30%까지 보조받을 수 있음.
- NRCS는 EQIP과 관련하여 자연자원을 처리하는 데 필요한 적절한 보전방법 및 조치들을 확인하고 지역조건을 고려하여 NRCS 기술표준을 확립하는 역할을 함. 그리고 EQIP의 계획에 따라 농업인들과 함께 적절한 보전방법과 활동을 이행해 나감.
- EQIP 참여는 각 주(State)의 EQIP 홈페이지를 통해 신청할 수 있으며, NRCS는 이를 평가하고 등급을 부여하게 됨.

나. 농업관련 에너지부문 대응정책

- 2008년 식량, 보전, 에너지 법률(The Food, Conservation, and Energy Act of Farm Bill 2008)은 바이오파이너리 지원(Biorefinery Assistance Program, Section 9003), 에너지 재공급 지원 프로그램(Repowering Assistance Program, Section 9004), 바이오에너지프로그램(Bioenergy Program for Advanced Biofuels (Section 9005)의 세 가지 프로그램을 포함하고 있음.
 - 바이오파이너리 지원은 바이오파이너리의 개발, 시설물설치, 보강에 대한 대출보증을 실시해주는 프로그램임.
 - 에너지재공급 지원 프로그램은 기존의 화석연료를 활용한 전력생산을 신재생에너지인 바이오파이너리 시설로 교체하는 것에 대하여 보조금을 지원해주는 프로그램임.

- 바이오에너지프로그램은 바이오연료 생산을 확장하는 데 따른 보조금 지원프로그램임.
- 미국농촌에너지프로그램(Rural Energy for America Program)은 공식적으로 신재생에너지시스템 및 에너지효율성개선 프로그램(Renewable Energy Systems and Energy Efficiency Improvements Program)으로 알려져 있음.
 - 이 프로그램은 재생에너지 시스템을 구입하거나 에너지효율성을 개선하고자 하는 농업인 및 농촌의 소규모 사업자에게 대출보증을 지원해주는 프로그램임. 2002년부터 2008년 동안 694개의 재생에너지시스템과 1,329개의 에너지효율개선 자금을 지원하였음.
- 미국 에너지부(Department of Energy)는 바이오작물, 우드칩, 작물잔사로부터 바이오연료 생산기술에 대한 다양한 프로그램을 실시하고 있으며 대표적인 프로그램으로는 바이오매스프로그램(Biomass Program)이 있음. 에너지부는 2020년에 5,520만 CO₂톤의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 전망하였음.

2. 호주

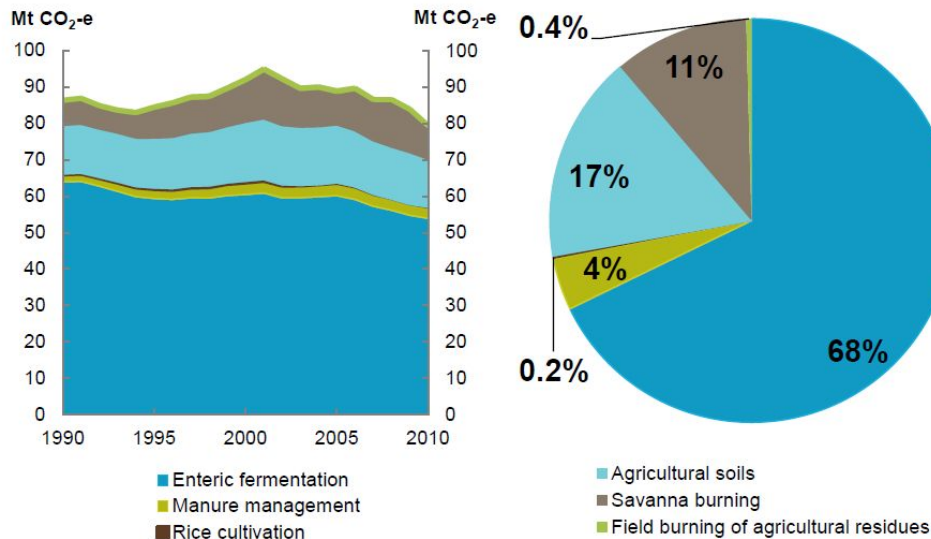
2.1. 농업환경

- 호주에서 농업은 토지를 가장 광범위하게 이용하는 산업부문임. 농업부문 토지는 약 4억 1,720만 ha로, 호주 국토의 54%를 차지함. 특히 축산업은 농업 토지이용 가운데 가장 넓은 지역을 사용하고 있음.
- 호주 농업은 낙농업과 대규모 농업(broadacre industries)이 중심임. 호주 농업 가운데 가장 큰 부문은 축산으로, 전체 농업에서 33%를 차지하고 있음. 경종부문이 그 다음으로 11%, 경종과 축산을 동시에 하는 혼합농업이 10% 수준임. 농산업은 호주 전역에 걸쳐 이루어지고 있으며, 농촌지역사회와 경제의 기본이 됨.
- 광대한 토지를 이용하는 호주 농업은 국내 수요를 초과하여 많은 양의 농축산물을 생산하고 있음. 호주 농업의 상당부분은 수출기반으로 이루어지는데, 최근 생산량의 60% 정도가 수출되고 있는 실정임.
- 호주 농업은 계절 조건에 매우 큰 영향을 받으며, 생산성 변동이 심하다는 특성이 있음. 2001~2002년 이후, 여러 농업지역이 높은 기온과 강수량 부족을 경험하면서 생산량 및 생산성이 급격히 하락하기도 하였음.
- 호주에는 1억 7백만 ha의 산림지역이 있는데, 이 가운데 1억 5백만 ha는 자연산림이며 2백만 ha는 조림한 것임.

2.2. 농업부문 온실가스 배출

- 호주 농업부문은 2010년 79Mt CO₂-eq의 온실가스를 배출하였음. 이는 호주 총 온실가스 배출량의 15%를 차지하는 양이며, 1990년 수준보다 7Mt CO₂-eq(8%) 줄어든 것임. 2001~2010년 동안 농업부문 배출량은 크게 감소하였음.
- 호주 농업부문에서 온실가스를 가장 많이 배출하는 것은 장내발효로, 54Mt CO₂-eq를 배출하며, 농업부문 총 배출량의 68%를 차지함. 장내발효 배출량 가운데 81%는 육우, 19%는 양 사육으로 인한 배출량으로 나타남.
 - 2001~2010년 장내발효로 인한 온실가스 배출량은 7Mt CO₂-eq(11%) 줄어들었음. 이는 수출수요의 감소, 가뭄으로 인한 양과 낙농 사육의 침체가 원인임.
- 부산물 관리 배출량은 1990~2006년 동안 2Mt CO₂-eq(74%) 증가하였음. 이는 집약적인 사육장 육우 산업의 성장으로 인한 것임. 이후 2006~2010년은 가뭄, 가격하락에 따라 낙농과 양돈 사육이 위축되어 배출량이 0.3Mt CO₂-eq(8%) 감소하였음.
- 농업 토양 배출량은 1990~2001년 3Mt CO₂-eq(25%) 증가하였으나 2001~2010년에는 4Mt CO₂-eq 감소하였음.
 - 1990~2001년에는 합성비료를 많이 사용하는 등 농법전환이 많이 있었고, 집약적인 축산의 증가로 가축 부산물을 퇴비로 이용하는 경우도 많았음.
 - 2001~2010년에는 경종생산과 축산, 비료사용이 모두 감소하였음.

그림 5-5. 호주 농업부문 온실가스 배출량 변화 추이



Note: 1990 emissions are from December 2011 NGGI and are not Kyoto period base emissions.

자료: 원자료는 December 2011 NGGI이며, Australian Government. Department of Climate Change and Energy Efficiency(2012) 인용.

- 농업부산물 소각으로 인한 온실가스는 2001~2008년 35% 감소하였음. 가뭄과 사탕수수 부산물의 보유량 증가가 원인임. 강수량 증가로 2008~2010년 동안에는 배출량이 다시 증가하였음.
- 호주의 쌀 재배는 관개로 이루어짐. 2001~2008년 가뭄 때문에 쌀 재배로 인한 온실가스 배출량은 0.7Mt CO₂-eq 감소하였음. 이는 97% 줄어든 것임. 2008~2010년에는 가뭄에서 벗어나 0.1Mt CO₂-eq 증가하였음.
- 사바나 소각으로 인한 배출량은 1990~2010년 동안 35% 증가하였음. 증가량은 2Mt CO₂-eq이었으며, 2001년 7Mt CO₂-eq으로 최고, 2010년 최저를 기록하였음.
 - 2009~2010년 전반적인 농업부문 온실가스 배출량은 5Mt CO₂-eq가 줄었는데, 감소량의 절반 이상은 2010년 사바나 소각의 감소로 인한 것임.

- 호주 농업부문 배출량은 지속적으로 증가하여 2020년 92~93Mt CO₂-eq, 2030년 100~102Mt CO₂-eq에 이를 전망이다. 청정에너지미래패키지(Clean Energy Future package)와 탄소미래계획(CFI: Carbon Future Initiative) 등의 탄소가격 정책으로 인하여 1~2Mt CO₂-eq정도의 감축이 가능한 것으로 분석됨.

표 5-5. 호주 농업부문 온실가스 배출량 및 전망치

단위: Mt CO₂-eq.

구 분	1990	2000	2008-12 평균 (Kyoto period)	2020		2030		
				탄소가격 유	탄소가격 무	탄소가격 유	탄소가격 무	
축 산	장내발효	64	60	56	62	63	70	70
	부산물 관리	2	3	3	3	4	3	4
경 종	쌀 재배	0.5	0.7	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6
	농업토양	13	16	14	14	14	16	16
	농업부산물 소각	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
사바나 소각		7	11	10	10	10	10	10
총 배출량		87	92	83	91	92	100	102

주: 총 배출량은 각 부문별 배출량의 합이 아님.

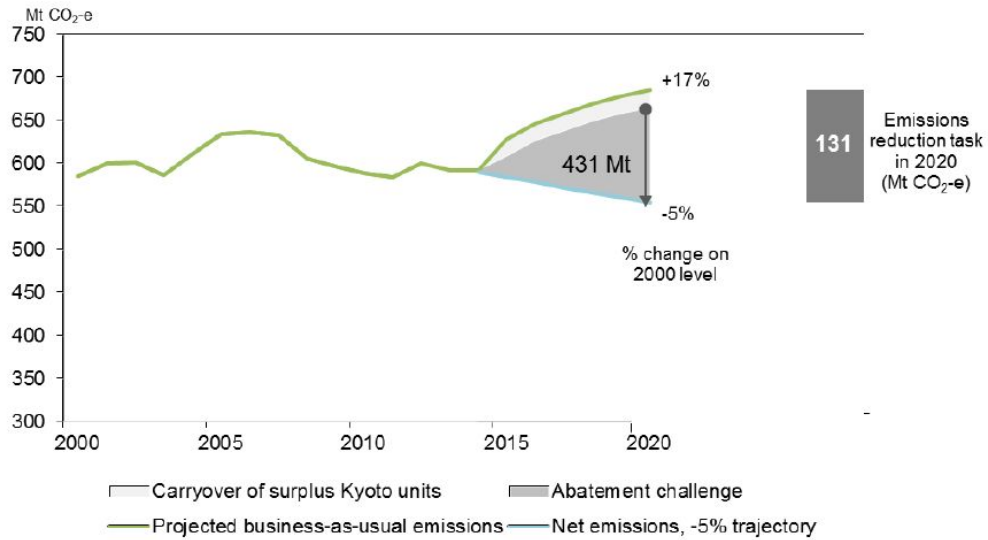
()안은 1990년 대비 증감률.

자료: 원자료는 December 2011 NGGI, SGLP (2011), DCCEE analysis 이며 Australian Government. Department of Climate Change and Energy Efficiency(2012)를 기초로 재구성.

2.3. 온실가스 감축 방안

- 호주 정부는 2015-2020년 동안 2000년 온실가스 배출량의 5%(431Mt CO₂-e)를 감축하는 목표를 가지고 있음. 호주 정부는 탄소세와 CFI를 이용하여 목표를 달성하고자 하며, 2020년에는 배출전망치인 685Mt에서 131Mt을 감축한 555Mt의 온실가스를 배출할 것으로 전망하였음.

그림 5-6. 호주의 2020년 감축 목표



자료: Australian Government. Department of Environment(2013).

표 5-6. 호주의 2020년 감축 목표

단위: Mt CO₂-e

	2000년 배출량	교토 기간 평균 (2008-'12)	2020년 배출량	2020년 감축량	누적 감축량
베이스라인	586	596	685		
-5% 목표	-	-	555	131	431

자료: Australian Government. Department of Climate Change and Energy Efficiency(2012)

○ 호주 연방정부는 농업부문을 탄소오염 감축계획(CPRS)에서 제외시켰음. 그

러나 호주의 총 온실가스 배출량에서 농업부문이 차지하는 비중을 상당하기 때문에 농업부문의 온실가스 감축은 필수적임. 다만, 탄소오염 감축계획하에서 상쇄 크레딧은 농업부문 배출원의 감축을 허용하고 있음.

- 호주 연방정부는 국제적으로 허용되지 않은 부문에도 자발적 국가 탄소 상쇄표준(Voluntary National Carbon Offset Standard)을 제공함으로써 농업부문의 감축을 독려하고 있음. 이러한 국내 상쇄가 부분이 국제적으로 허용될 수 있도록 영구성, 추가성, 측정가능성의 기본원리와 누출의 회피, 독립적인 감사·등록에 대한 필수요소를 체계화하는 작업을 추진하고 있음.
- 호주는 온실가스 완화와 관련된 연구개발을 지원하고 있음. 실질적으로 농장에서의 탄소상쇄가 실현가능하도록 기회를 확대하기 위하여 R&D 부문에 5천만 달러를 투입할 계획을 가지고 있음. 또한 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향을 모니터링하고 이에 대하여 대응하기 위해 4천만 달러 규모의 녹색탄소기금을 마련하여 운영할 계획임.
- 호주 정부의 농업미래계획(Farming Future initiative)은 기후변화에 대한 적응력과 복원력의 구축을 목표로 함. 적응력과 복원력을 높여 생산자와 산업이 기후변화로 인한 위협을 관리할 수 있는 능력을 기를 수 있도록 하는 것임.
 - 농업미래계획은 기후변화 연구프로그램(CCRP: Climate Change Research Program), 농장준비(Farm Ready), 지역사회 네트워크 및 역량 구축(Community Networks and Capacity Building), 기후변화 조정프로그램(Climate Change Adjustment Program) 등이 있음.
 - 4,620만 달러 규모로 운영되는 기후변화연구프로그램은 농업인과 산업계를 위하여 실질적인 관리방안들이 제시될 수 있도록 연구 및 농장 시범사업을 위해 사용됨. 연구는 온실가스 감축, 토양관리 및 기후변화 적응력 향상을 중심으로 이루어지며, 농업인과 농산업에 실질적인 관리방안을 제시하는 것에 중점을 두고 있음.

- 농장준비 프로그램은 위기관리 및 사업관리 기술의 향상을 목표로 하며, 기후변화에 대응한 신기술 및 우수농법의 적용을 촉진하기 위한 프로그램임. 지역사회 네트워크 및 역량 구축은 다양한 문화적 언어적 배경 하에 있는 여성, 청년, 토착민들의 리더십을 길러 지역사회의 복원력과 생산성을 강화시키기는 것을 목적으로 하였음.
 - 기후변화 조정프로그램은 기후변화의 영향으로 인하여 잠재적으로 소득과 자산이 감소할 우려가 있는 농민들을 지원하기 위한 프로그램임.
- 국가 농업 및 기후변화 행동계획(National Agriculture and Climate Change Action Plan 2006-2009)은 호주 연방정부와 주 정부, 지자체간의 협력체제로, 기후변화 하에서 농업부문의 지속가능성과 경쟁력을 높이기 위한 전략 개발을 목적으로 함.
- 이 계획은 기후변화 적응전략, 온실가스 감축을 위한 완화전략, 연구개발, 주요 생산자 및 농촌사회의 의사결정을 위한 의사소통 활성화 등 4가지 부문에 중점을 두었음.
- 호주 정부는 2011년 9월 저탄소농업과 배출권거래제를 촉진시키기 위하여 탄소농업계획(CFI: Carbon Farming Initiative)을 확정하여 발표하였음.
- CFI는 탄소크레디팅 메커니즘과 상쇄 프로젝트 방법론 개발의 조기달성을 위한 펀딩, 탄소시장에서 수익을 낼 수 있도록 농민들과 토지보유자에게 정보와 방법(tool)을 제공함. 호주 농림수산부 웹사이트를 통하여 탄소시장을 활용하여 수익을 올릴 수 있도록 농민들에게 필요한 정보와 방법을 제공하고 있음.
 - CFI는 배출권거래제에 참가하고 있는 다양한 사람들에게 권리를 부여하는데, 배출권거래제 상쇄프로그램 참여하는 대상은 재식림 및 재녹화, 축산부문의 매탄 배출량 완화, 화학비료의 감축, 부산물 관리, 농업토양에서의 온실가스 배출량 완화 및 탄소고정 증대, 사바나 소각 관리, 삼림벌채의 방지, 그루터기와 작물 부산물 소각, 벼 재배에서의 온실가스 배

출량 감소 등이 있음.

- CFI의 크레딧은 국제시장과 자발적 시장 모두에서 수요가 있을 것으로 기대되고 있으며, 국제 자발적 시장에서 직접적으로 판매될 수 있음. 호주는 CFI 크레딧이 직접적으로 국제간에 거래될 수 있도록 자발적 목록에 배출원국가등록(Australian National Registry of Emissions Units)을 연계하는 방안을 모색하고 있음.
- 국내의 CFI 크레딧은 국가탄소상쇄계획(National Carbon Offset Scheme, NCOS) 하에서 자발적인 탄소상쇄로 인정됨. CFI 방법론은 기후변화에너지효율성부와 농림수산부가 산업계와 협동으로 개발하며, 감축활동, 온실가스 프로젝트에 영향을 받는 온실가스 배출원과 탄소저장에 대한 설명, 베이스라인 배출량 결정 절차와 프로젝트에 의한 온실가스 제거, 탄소 누출의 확인 및 추정 절차, 프로젝트 모니터링 조건, 법안에 규정되지 않은 추가적인 보고와 요구조건 등이 포함됨. 승인된 방법론은 기후변화에너지효율성부의 웹 사이트에 게시됨.

호주 기후변화 연구프로그램 (Climate Change Research Program, CCRP)

- 농업미래계획(Farming Future initiative)하에서 수행되고 있는 기후변화 연구프로그램은 다음과 같은 세 가지 분야에 주안점을 두고 있음.
 - (1) 메탄, 아산화질소, 이산화탄소 등의 온실가스 감축
 - 축산부문의 메탄감축 연구프로그램 프로젝트
 - 질산 연구프로젝트
 - 바이오 숯(biochar) 연구프로젝트: 1,400만 달러를 지원하고 있음.
 - (2) 토양관리의 개선과 농업토지의 탄소고정 잠재력 확인, 다양한 특징의 농업토양 유형별 관리방안
 - 호주는 국토 전역에서 농업이 행해지고 있기 때문에 농업부문과 관련된 토양 탄소고정이 매우 중요함. 따라서 토양관리향상이 가장 우선적으로 고려되고 있음.
 - 토양탄소연구프로그램은 호주 전역의 토양 표본을 수집·분석하여 토양관리 및 탄소저장과 관련한 국가표준시스템을 만드는 것을 목적으로 하고 있음. 이 표준시스템은 주요 생산자, 대학, 연구자, 산업관계자, 정부대표 등에게 토양 내 탄소수준을 높이기 위한 토양이용 및 관리방법을 제시할 것임.
 - (3) 대안적 관리방안에 대한 연구와 적응관리방법·기술에 대한 연구
 - 단기·중기적인 관점에서 기후변화의 영향들을 고려하여 주요 생산자들이 기후변화에 적응하여 생산성을 높일 수 있도록 지식관리전략을 개발하는 것을 목표로 함.
 - 적응연구프로그램은 피할 수 없는 기후변화에 적응하고, 잠재적인 기회에 출자하며, 지속가능하고 복원력 있는 생산시스템의 개발을 촉진함.
 - 적응 프로젝트는 기후준비작물, 작물관리시스템, 산업기회, 다년생 원예, 축산시스템, 수산시스템 등 6개 분야의 혁신을 유도하고 있음.
 - 적응연구프로젝트는 완화수단과의 연계도 고려하여 수행되고 있음.
- 제2차(Round 2) 기후변화 연구프로그램 프로젝트는 농장에서부터 식품가공활동 부문까지 모든 부문에서 기후변화 적응 및 완화 기술의 적용을 위하여 시범사업을 중점적으로 추진하고 있으며, 다음과 같은 활동을 포함함.
 - 연구·기술의 시범사업은 주요기술과 농업시스템에 대한 연구·개발의 실용화
 - 효과적인 의사소통과 실질적인 시범사업 추진
 - 모니터링 및 평가 체계의 개발

3. 영국

3.1. 농업환경

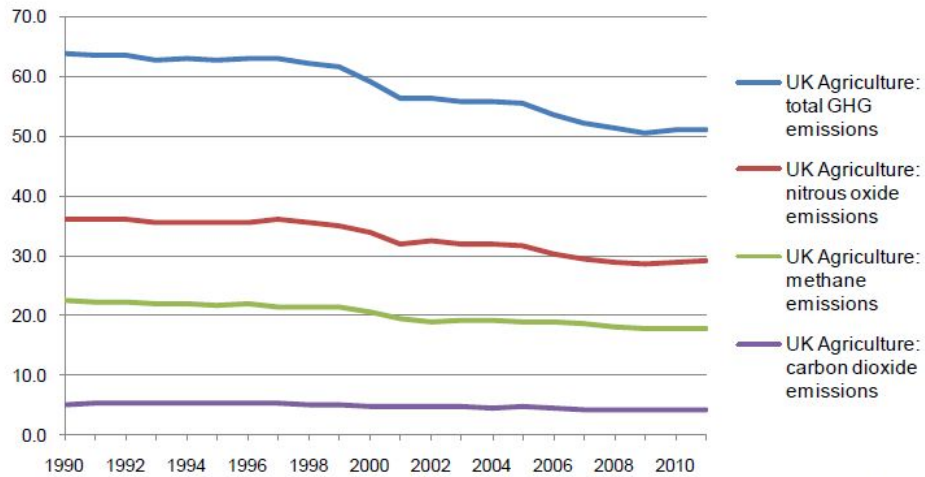
- 영국의 농지면적은 2008년 기준으로 약 1,730만 ha이며, 경종 631만 ha, 영구초지 974만 ha, 기타 120만 ha로 이루어져 있음. 기타는 길이나 건축물, 농장 산림지대 등 임.
 - 경종은 농작물 450만 ha, 화훼 16만 ha, 5년 이하의 초지 139만 ha로 구성됨.
 - 영구초지는 5년 이상의 초지가 580ha, 산, 언덕, 황무지가 394ha 정도임.

- 영국의 지역별로 농지의 비율은 상당한 차이가 있음. 스코틀랜드는 농지의 84%가 소외지역(less favoured area)에 있으며, 권역별 농지비율은 북아일랜드는 70%, 웨일즈는 75%, 잉글랜드는 17% 수준임.

3.2. 농업부문 온실가스 배출

- 2011년 영국 농업은 영국 총 온실가스 배출량의 9%를 차지하였음.
 - 온실가스별로 살펴보면 총 배출량 기준으로 CH₄는 43%, N₂O은 84%, CO₂는 0.9%를 차지함.

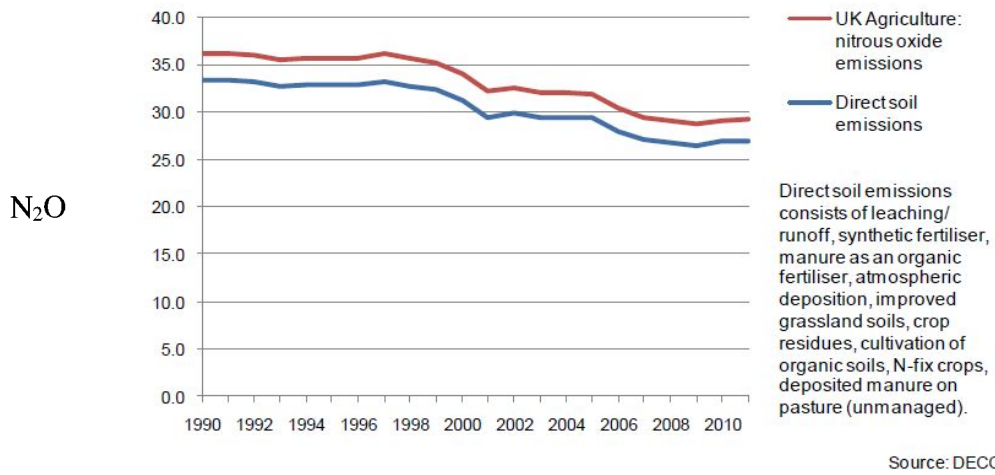
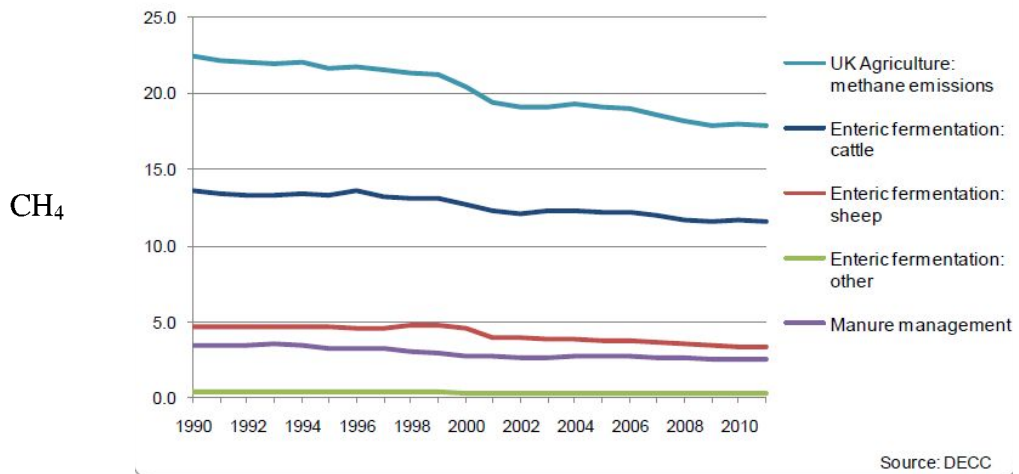
그림 5-7. 영국 농업부문 온실가스 배출량의 구성



자료: DEFRA(2013).

- 영국 농업부문 온실가스 배출량은 1990~2011년 동안 51.2Mt CO₂-eq(20%) 줄어들었음.
 - CH₄ 배출량은 17.9Mt CO₂-eq(20%) 감소하였음.
 - N₂O 배출량은 29.2Mt CO₂-eq(19%) 감소한 것으로 나타남.
 - 농업부문의 CO₂ 배출량은 4.2Mt CO₂-eq 감소하여, 20% 줄어듦.

그림 5-8. 영국 농업부문 CH₄와 N₂O 배출량 구성



자료: DEFRA(2013).

3.3. 온실가스 감축 방안

- 영국 2008년 기후변화 법을 발효하여 2050년까지 영국 온실가스 배출량을 80%까지 줄인다는 계획을 발표하였음. 이 목표를 달성하기 위하여 탄소예산(carbon budget) 시스템을 도입하였는데, 이 계획은 2050년까지를 5개 기간으로 구분하였고, 기간별 감축목표를 명시하였음. 영국은 탄소예산 시스템에 따라 2027년까지 1990년도 배출량의 50%로 줄여야 함.

표 5-7. 영국 온실가스 감축 목표(The Carbon Action)

단위: Mt CO₂-eq, (%)

탄소예산	1기 (2008-'12)	2기 (2013-'17)	3기 (2018-'22)	4기 (2023-'27)
탄소배출량	3,018	2,782	2,544	1,950
감축률(%)	23	29	35	50

주: 1) 이 수치들은 배출권 거래의 효과를 포함함.
 2) CO₂, N₂O, CH₄ 배출량은 1990년이고, HFCs, PFCs, SF₆는 1995년임.
 자료: DECC(2011).

- 영국 농업부문의 온실가스를 제2기부터 감축하는 것을 목표로 하고 있음. 2기에 2.1Mt CO₂-eq, 3기에 14.9Mt CO₂-eq을 줄이고자 함. 2016년 0.6Mt CO₂-eq을 시작으로 연도별 감축량 목표는 매년 증가하여 2022년에는 3.4Mt CO₂-eq을 줄이고자 함.

표 5-8. 영국 농업부문 온실가스 감축 목표(The Carbon Action)

단위: Mt CO₂-eq

구분	1기					2기					3기				
	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
감축량	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.5	2.2	2.7	3.2	3.4	3.4
계	0.0					2.1					14.9				

자료: DECC(2011).

나. EU 공동농업정책(Common Agricultural Policy) 하의 감축정책

- 공동농업정책(CAP) 건강관리협의(Health Check)는 수질 및 서식지 보호에 대한 관심을 도모하기 위한 법적 체계의 기반을 제공하고 있음. 잉글랜드는 토지면적의 최소 5%는 생물다양성 및 수질을 개선시키는 방법으로 관리할 것을 제안하였고, 이 제안을 이행하면 토지에서 발생하는 온실가스를 줄이는 역할도 하게 됨.

다. 농업부문의 N₂O 및 CH₄ 감축정책

- 비료로 사용하는 무기질소는 아산화질소 배출의 주요 원인으로 부산물을 저장하는 동안 많이 발생함. 따라서 양분사용의 부정적인 영향을 최소화하는 농법이 필요함. 영국 정부는 양분관리계획 및 비료와 부산물의 효율적인 사용과 관련된 권고사항들을 보완하는 작업을 진행 중에 있음. 농민, 재배자, 토지관리자를 위한 우수농산물인증제도 시행령(Code of Good Agricultural Practice)은 자연자원을 보호하면서 경제적인 농업이 되게 하는 한편, 동시에 오염의 위험을 줄일 수 있음. 이를 위하여 정부는 농장의 양분관리를 향상시키기 위하여 비료사용 메뉴얼을 업데이트하고 있음.
- 다양한 요인과 생물학적 과정의 변화로 인해 메탄이 배출됨. 영국정부는 농업부문에서 배출되는 메탄을 줄이기 위한 연구과제를 수행하고 있음. 예를 들면, 축산부문의 장내메탄과 질소배출량을 줄이기 위한 반추가축영양(ruminant nutrition regimes)에 대한 연구, 젖소의 생산성을 향상시키기 위한 연구 등이 있음.

라. 농촌개발규정과 환경의무

- 환경의무(Environmental Stewardship)의 EU 농촌개발규정 2007-2013(Rural Development Regulation 2007-2013)에서 기후변화는 중요한 요소로 다루어짐. 이에 따라 스코틀랜드, 웨일즈, 북아일랜드, 잉글랜드의 농촌개발프로그

램(Rural Development Programmes)이 시행되고 있으며, 특히 웨일즈 의회 정부는 최근 Axis II 농업환경 프로그램(Axis II agri-environment programmes)을 진단하고 있음. 진단은 탄소저장구축에 초점을 맞추어 방안을 제시하고 있는데, 비생산적이며, 종이 다양하지 못한 한계초지의 반자연/습지식지 복원, 고지대 대규모 유기토양의 습윤화 등이 있음.

마. 농업관련 에너지부문 감축정책

1) 혐기성 소화 촉진 정책

- 영국 정부는 기후변화와 환경적 목적에 있어서 혐기성소화(anaerobic digestion)의 가능성에 많은 관심을 가지고 있음. 이에 따라 2007년 5월 혐기성소화 기술의 사용을 촉진하기 위한 행동들을 포함한 영국 바이오매스 전략(UK Biomass Strategy)과 바이오매스 전략을 보완한 폐기물전략(Waste Strategy for England)을 발표하였음. 이러한 전략들은 혐기성소화 관련 시장을 촉진되고 발전시키기 위하여 실시됨.
- 2009년 영국정부는 “Anaerobic Digestion: Shared Goals”를 발간하였음. 이 문서는 산업계, 규제담당자, 정부 등 이해당사자들이 혐기성소화의 비용효과적이고 혁신적이며 경제적으로 사용하는 것에 대하여 공유된 목표를 제시하고 있음. 영국정부는 이들 이해당사자들과 함께 실행계획을 수립하고 있으며, 이를 통하여 개별적으로나 전체적으로 목표달성을 위한 실질적인 조치가 될 것임.
- 영국정부는 2009년 4월 음식물 쓰레기처리 인프라 구축을 위해 추가적인 1천만 파운드의 예산을 투입하였음. 영국 환경식품농촌부(Defra: Department for Environment, Food and Rural Affairs)는 음식물쓰레기 재처리 시설의 개발을 위한 840만 파운드를 투입하도록 하였으며, 이는 기존의 유기자본프로그램(Organics Capital Programme) 하에 있는 폐기물 및 자원 행동프로그램

(WRAP: Waste & Resources Action Programme) 예산으로 집행됨.

2) 에너지 효율성 향상

- 기후변화법 하에서 농업부문의 에너지 효율성 향상과 관련된 사항으로는 집약적인 돼지 및 가금 사육과 관련이 있으며, 에너지 효율성 목표를 달성할 경우에 기후변화세(climate change levy)를 80% 감면 받을 수 있는 세제 혜택이 있음.

3) 비식용작물 생산

- 영국 바이오매스전략(UK Biomass Strategy)은 바이오매스 공급과 사용의 확대를 목표로 하며, 경쟁력 있고 지속가능한 시장과 공급사슬의 개발을 추구하고 있음. 에너지, 수송, 산업에 대한 바이오매스 관련 정책이 도입되고 있으며, 이러한 맥락에서 비식용작물전략 행동계획(Non-Food Crops Strategy Action Plan)이 재조명받고 있음. 에너지작물을 포함한 바이오매스의 생산은 다양한 지원계획을 통하여 장려되고 있음. 예를 들면, 잉글랜드의 에너지작물계획(Energy Crops Scheme)은 농민들에게 보조금을 지급하고 있음. 또한 바이오에너지 인프라계획(Bio-energy Infrastructure Scheme)은 바이오매스의 수확·처리·공급을 담당하는 농민, 산림업자, 사업자에게 보조금을 지급하고 있음. 스코틀랜드는 산림자원이 풍부한 점을 활용하여 바이오에너지의 사용을 촉진하고 있음. 스코틀랜드 정부는 산림연료 전담반(Woodfuel Taskforce)을 설치하여 이와 관련된 정책을 담당하게 하고 있을 뿐만 아니라 또한 바이오매스 보일러의 공급사슬 개발과 설치를 지원하기 위하여 다양한 금융적 지원도 병행하고 있음.

가. 지방정부의 감축정책

- 영국의 각 지방정부는 농업·산림·토지관리 부문의 온실가스 감축과 관련하여 정책 프레임워크를 개발하고 있음.
- 잉글랜드 정부는 높은 지위의 농촌기후변화포럼(RCCF, Rural Climate

Change Forum)을 조직하여 농촌부문과 관련된 잉글랜드의 주요기관들과 함께 일하고 있음. 이 포럼은 농민, 토지관리인 등에게 기후변화에 대한 인지도를 높이는 것을 목적으로 하며, 농촌기후변화정책과 관련하여 정부에 자문함으로써 실질적인 정책이 되도록 하고 있음. 즉, 농촌기후변화포럼의 업무는 정부의 농업과 기후변화의 중심에 있는 것이라 볼 수 있음. 이 밖에 잉글랜드 정부는 농업과 기후변화에 관한 연구를 포함하여 농식품과학프로그램(Farming and Food Science Programme)을 강력히 지원하였음.

- 스코틀랜드 정부는 토지이용이 온실가스과 온실가스 감축, 기후변화 적응에 미치는 영향에 대한 다양한 연구를 지원하고 있음. 예를 들면, 생물다양성, 물, 토양, 생태계 기능, 농업시스템의 적응, 토지이용성의 변화, 바이오매스에너지 작물의 비용·편익, 탄소고정 관련 산림의 역할, 저탄소경제로 향한 소비자 수요의 변화 등이 있음. 2008년 5월 스코틀랜드 정부는 Graham 보고서(Graham Report)를 발간하였음. 이 보고서는 농업과 기후변화와 관련된 주요 이슈를 제시하고, 온실가스 감축을 위하여 농민들이 할 수 있는 실질적인 조치에 초점을 맞추고 있음.
- 웨일즈 의회는 ‘지속가능한 농업과 환경(Sustainable Farming and Environment - Action towards 2020)’ 이라는 보고서를 통과시켰음. 이 보고서는 2020년까지 농업부분의 탄소중립을 달성하기 위한 행동들이 포함되어 있음. 웨일즈 의회는 캠브리지 산 계획(the Cambrian Mountains Initiative)을 통하여 농촌위원회(Countryside Council for Wales), 환경청(Environmental Agency Wales), 산림위원회(Forestry Commission)와 합동작업을 하고 있음.
 - 캠브리지 산 계획은 생태계 서비스를 통하여 토양탄소를 보존하고, 배출량을 감축하며, 기후변화에 적응하는 방법을 포함하고 있음. 뿐만 아니라 웨일즈 의회는 새로운 기후변화연계농업 테마(Farming Connect Climate Change theme)하에서 양분 및 자원관리를 촉진하고 있음. 이는 우수농산물인증제도 시행령(COGAP, Good Agricultural Practice)과 같은 맥락으

로 축산, 경종, 원예부문의 온실가스 배출량을 완화하기 위하여 기술적 효율성을 촉진하는 방법을 개발하고 있으며 새로운 농업환경 모니터링 계약을 일부로써 농민들이 탄소회계방법을 사용하도록 권장하고 있음.

- 북아일랜드는 북아일랜드 농촌개발 프로그램(Northern Ireland Rural Development Programme)을 마련하였음. 대표적인 농촌개발 프로그램에는 농촌경영계획(Countryside Management Scheme), 환경민감 지역계획(Environmentally Sensitive Area Scheme), 유기농업계획(Organic Farming Scheme) 등이 있음.

<농촌기후변화포럼>

○ 영국 정부는 농촌기후변화포럼(Rural Climate Change Forum, RCCF)을 조직하여 농촌부문의 기후변화 대응에 관한 핵심적인 역할을 수행함.

※ 영국 농촌기후변화포럼(UK Rural Climate Change Forum) 개요

▶ 포럼의 목적

- 농민과 토지관리자들에게 기후변화에 대한 인지도 향상, 농촌부문에서의 기후변화에 대한 작업을 촉진하고 협력, 농업부문의 온실가스 완화에 대한 강력한 근거산출 및 기후변화의 영향 관리에 대한 연구 우선순위에 대한 자문, 농업, 산림, 토지관리 부문에 대한 국제협력의 증진

▶ 포럼의 역할

- Defra의 농업 미래 프로그램의 기후변화요인에 대하여 중추적인 역할

▶ 포럼의 구성

- 농업, 산림, 토지관리 부문과 관련된 주요 기관들을 연합하여 2005년도에 포럼을 구성하였으며, 농업 및 원예개발 이사회, 농산업연합회, 국가토지사업연합회, 환경청, 산림위원회, 카본트러스트, 전국농민연합, 내셔널트러스트, 내셔널잉글랜드, 왕실조류보호협회, 토양협회, 지속가능발전위원회 등이 참여함.

▶ 포럼의 운영

- 포럼은 연간 4회의 회의를 갖는 것을 기본으로 하며, 회의 전·후로 문서 및 이메일로 논의

▶ 포럼 주요활동

- 영국 기후변화 프로그램(UK Climate Change Programme, 2006)의 농업, 산림, 토지관리 부문을 수립
- 기후변화위원회, 식품정책자문이사회, 위임행정기관 등과 같은 주요 기관에 정기적으로 참석
- 농민, 토지관리자들과 기후변화에 대응하는 우수농법에 대해 의사소통할 때 Defra에 자문
- Defra에서 자금을 지원하는 Farming Futures의 커뮤니케이션 프로젝트에 협력
- 영국 저탄소전환계획의 이행(UK Low-Carbon Transition Plan National strategy for climate and energy)의 주요 이해관계자로 참여

4. 일본

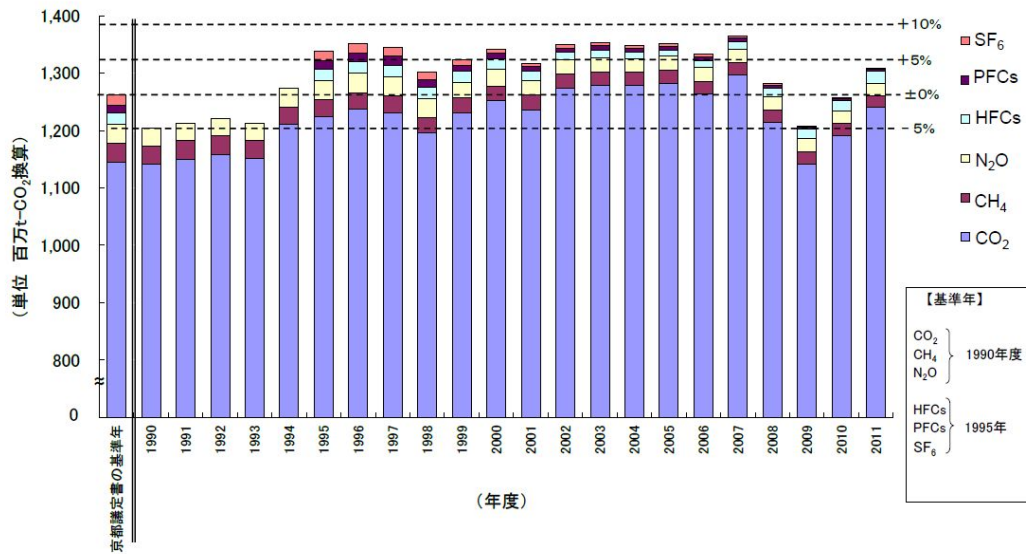
4.1. 농업환경

- 일본은 습하고 비가 많이 오는 여름기후로 인하여 벼농사가 오래전부터 이어져왔음. 일본의 경지면적은 2011년 기준 약 456만 ha로 논이 54.2%인 247만ha, 밭이 45.7%인 209만ha로 구성됨.
- 일본은 우리나라와 마찬가지로 산지가 많음. 국토의 60% 이상이 산지이며, 평야는 많지 않아 국토면적에서 농업을 위한 토지이용은 12% 수준임. 또한 농가당 경지면적도 좁은 수준임.
- 일본은 경지면적이 감소하면서 식량자급률도 하락하고 있는데, 1975년 곡물을 기준으로 69%에서 2011년 59%로 10% 감소하였음. 그 원인으로서는 쌀 소비가 줄어들고 육류 소비가 증가하는 등 식품기호의 변화를 꼽을 수 있음.

4.2. 농업부문 온실가스 배출

- 2011년 일본의 온실가스 배출량을 보면 1,380Mt CO₂-eq로, 교토의정서 기준년도 대비 3.7% 증가하였음.

그림 5-9. 일본 온실가스 배출량 변화 추이



자료: 日本 農林水産省(2013).

표 5-9. 일본 부문별 CH₄ 배출량

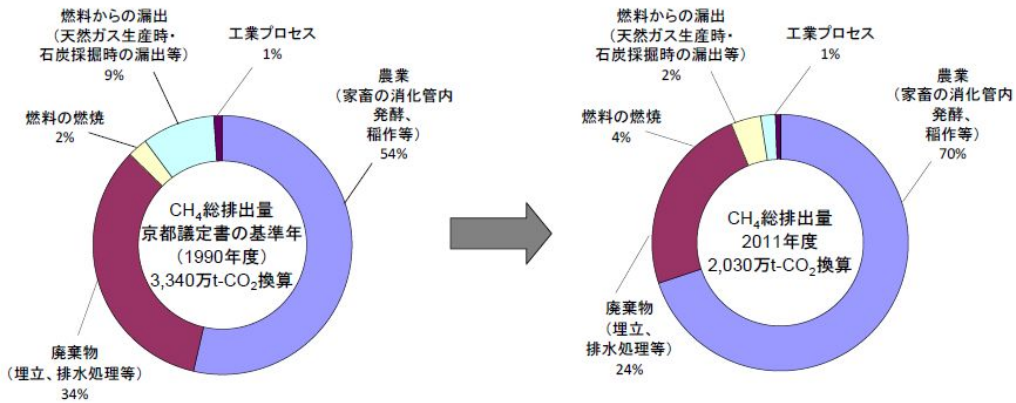
단위: Mt CO₂-eq, (%)

구 분	1990 (기준년도)	2010 (기준년도 대비 증감률)	전년대비 증감률	2011 (기준년도 대비 증감률)
농업 (가축 장내발효, 벼농사 등)	17.9	14.3 (-19.9)	(-1.0)	14.2 (-20.7)
폐기물 (매립, 폐수처리 등)	11.3	5.1 (-54.7)	(-4.8)	4.9 (-56.9)
연료의 연소	0.8	0.8 (-2.1)	(-5.6)	0.8 (-7.6)
연료의 누출 (천연가스 생산 및 석탄 채굴시)	3.0	0.4 (-87.6)	(-0.4)	0.4 (-87.7)
산업공정	0.4	0.1 (-66.8)	(+1.1)	0.1 (-66.4)
계	33.4	20.7 (-37.9)	-2.1	20.3 (-39.2)

- 2011년의 CH₄ 배출량은 20.3Mt CO₂-eq으로, 기준년도와 비교하면 39.2% (13.1 Mt CO₂-eq) 감소하였고, 전년과 비교하여 2.1% (0.4Mt CO₂-eq) 감소하였음.
 - 가축의 장내발효에 의한 배출량 감소 등에 의해 농업 분야의 배출량은 전년 대비 1.0% (0.10Mt CO₂-eq) 감소함.

- 일본의 CH₄ 배출량 구성을 보면, 농업부문이 가장 많은 비중을 차지하고 있는데, 1990년 54%, 2011년 70%로 증가하였음.
 - 이는 농업부문의 CH₄ 배출량이 크게 증가하였다는 것은 아니며, 다른 부분의 CH₄ 감축이 농업부문의 CH₄ 감축량보다 크기 때문임.

그림 5-10. 일본 CH₄ 배출량 구성



자료: 日本 農林水産省(2013).

○ 2011년의 N₂O 배출량은 21.6Mt CO₂-eq으로, 기준년도와 비교하면 33.7% (11Mt CO₂-eq) 감소하였고, 전년보다 1.7%(0.4Mt CO₂-eq) 감소하였음.

- 가축 사육두수의 감소, 질소비료 사용량의 감소에 따라 농업부문의 배출량이 기준년도 대비 21.7% 감소하였음.

표 5-10. 일본 부문별 N₂O 배출량(2010, 2011)

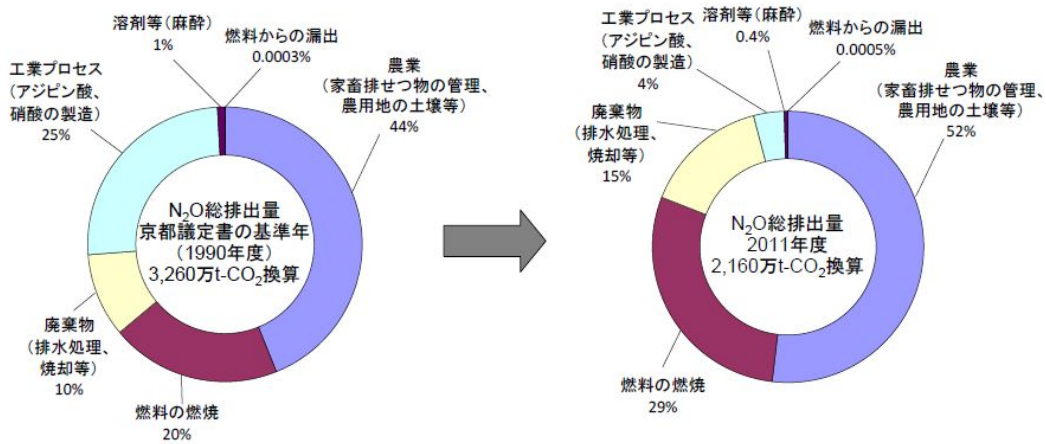
단위: Mt CO₂-eq, (%)

구 분	1990 (기준년도)	2010 (기준년도 대비 증감률)	전년대비 증감률	2011 (기준년도 대비 증감률)
농업 (가축 부산물 관리, 농업토양 등)	14.3	11.2 (-21.9)	(+0.3)	11.2 (-21.7)
연료의 연소	6.5	6.3 (-3.3)	(-0.5)	6.3 (-3.8)
폐기물 (폐수처리, 소각 등)	3.2	3.2 (+2.9)	(2.4)	3.2 (+0.4)
산업공정	8.3	1.1 (-87.0)	(-26.9)	0.8 (-90.5)
용제 등(마취)	0.3	0.1 (-65.5)	(-1.8)	0.1 (-66.2)
연료의 누출	0.0001	0.0001 (-6.4)	-1.7	0.0001 (-0.8)
계	32.6	22.0 (-32.6)	(-1.7)	21.6 (-33.7)

○ 일본의 N₂O 배출량은 농업부문이 가장 많은 비중을 차지하고 있는데, 1990년 44%, 2011년 52%로 증가하였음.

- 이는 농업부문의 N₂O 배출량이 크게 증가하였다는 것은 아니며, 산업공정 등 다른 부분의 N₂O 감축이 농업부문의 N₂O 감축량보다 크기 때문임.

그림 5-11. 일본 N₂O 배출량 구성



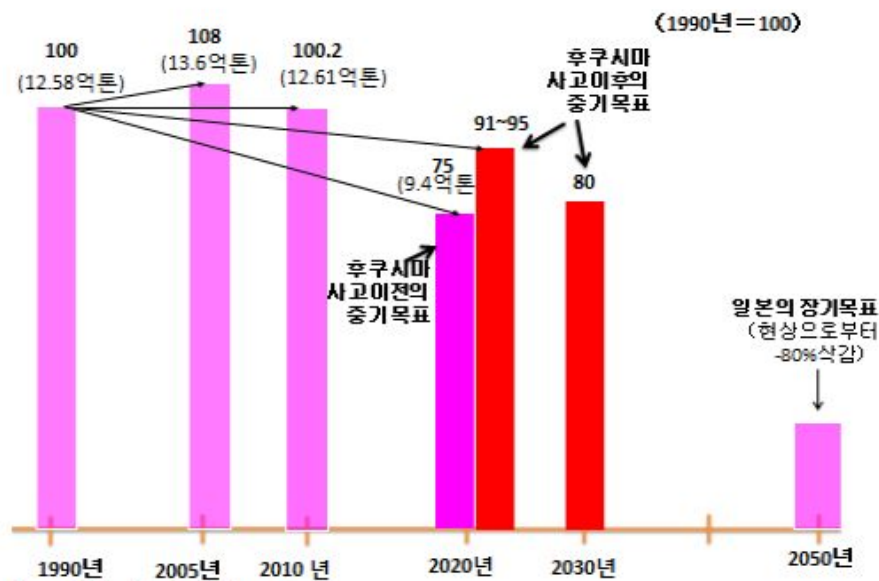
자료: 日本 農林水産省(2013).

3.3. 온실가스 감축 방안

- 일본은 2030년까지 1990년 수준의 20%, 2050년까지 80%의 온실가스를 감축하고자 하는 목표를 설정하였음. 농업부문도 온실가스 감축을 위하여 다양한 방안을 모색하고 있음.
- 비료적용의 최적화 및 감소를 통해 친환경적인 농업으로의 전환을 촉진하고 있음. 먼저 농법전환과 관련하여 기존의 벧짚경운을 퇴비적용으로 전환함으로써 메탄 배출량을 줄일 수 있는데, 이를 촉진하기 위한 각종 지원을 하고 있음. 다음으로 화학비료 사용량 감소, 흩어뿌림 활용, 완효성 비료 (slow release fertilizers) 사용으로 아산화질소 배출량을 줄일 수 있음. 기존의 비료표준을 검토하고 수정·보완하여 생산성을 높이면서 메탄 배출량을 줄이도록 할 계획임.

- 토양에서 발생하는 온실가스를 통제할 수 있는 시스템 구축 프로젝트를 수행 중에 있음. 온실가스 통제 시스템 구축 프로젝트는 신기술 적용, 온실가스 산정을 위한 기본데이터 수집으로 구분할 수 있음. 신기술 적용과 관련하여 새롭게 개발된 메탄배출통제기술을 설치 및 시험 적용하는 농가에 대하여 정부가 지원하고 있고, IPCC 지침서에 기초한 온실가스 계산을 위하여 기본 데이터 수집을 지원함.

그림 5-12. 일본의 온실가스 배출량 추이 및 감축 목표



자료: 원자료는 에너지환경회의(2012), 김용건 등(2012), p.71에서 재인용

- 농림수산 분야의 ‘CO₂ 표시하기’를 추진하고 있음. 농림수산업에서 사용하는 생산자원과 수입원자재 등과 관련된 온실가스 배출원단위 등에 필요한 기초 데이터베이스 구축을 위하여 관련기술을 연구·개발 중임. 궁극적으로는 CO₂ 표시를 통한 저탄소제품의 촉진이 목적임.

- 교토의정서에 따른 온실가스 배출권 거래제를 추진하는 가운데, 새로운 배출감축 방법론의 검토·채택을 지원하고 크레딧을 창출하는 농업인(판매자)과 기업(구매자)을 연결시킴으로써 농민들에게 탄소감축 인센티브를 부여함.
- 농림수산분야의 크레딧제도에 대한 지역별 프로젝트는 204건이며, 그 중 東北 38건, 中部 42건, 九州 36건을 차지하고 있음. 인증 국내 크레딧의 합계는 93,556톤에 이룸. 프로젝트의 건수가 많은 東北과 九州에서는 인증 크레딧량도 많지만, 中部는 예외적으로 적은 수준임. 東北과 九州의 크레딧을 합하면 50,441톤, 전체의 53.9%로 절반이상을 차지하고 있는 반면 中部는 프로젝트 건수는 전체의 20.6%를 차지하나 인증 크레딧량은 7.7%에 불과함.

표 5-11. 농림분야 크레딧의 지역별 분포

구 분	프로젝트건수	승인 프로젝트건수	총 인증 국내크레딧 (t-CO ₂)	승인건수당 크레딧 (t-CO ₂)
北海道	21	13	4,783	367.9
東北	38	36	24,627	684.1
關東	16	12	9,831	819.3
中部	42	37	7,214	195.0
近畿	14	13	7,715	593.5
中國	21	15	8,166	544.4
四國	16	15	5,406	360.4
九州	36	27	25,814	956.1
계	204	168	93,556	556.9

자료 : 후지카와 키요시

- 다음으로 형태별 분포를 살펴보면 농림수산성이 추진하고 있는 식물 바이오매스에 의한 연료 대체의 건이 131건이 압도적으로 많아 60%이상을 차

지함. 다음으로는 히트펌프의 도입으로 48건이었음. 크레딧량에서는 바이오매스에 의한 연료대체가 전체의 약 90%를 차지할 정도로 압도적이고, 다음으로는 열펌프도입이 10%수준으로, 이들 2종이 대부분을 차지함.

표 5-12. 농림분야 크레딧의 형태별 분포

구 분	프로젝트건수	승인 프로젝트건수	총 인증 국내크레딧 (t-CO ₂)	승인건수당 크레딧 (t-CO ₂)
식물바이오매스대체	131	119	82,622	694.3
바이오디젤대체	7	5	324	64.8
바이오가스대체	4	1	1,255	1,255.0
열펌프도입	48	37	9,043	244.4
태양광발전도입	3	2	43	21.5
LED도입	5	2	269	134.5
기타 및 상기 복합	6	2	0	0.0
계	204	168	93,556	556.9

자료 : 후지카와 키요시

- 바이오매스와 열펌프 이외의 바이오가스는 축산폐기물(소나 돼지의 대변)이 발효할 경우에 배출되는 메탄가스로, 이 프로젝트는 1건당 크레딧이 크며, 비교적 대규모 농장이나 복수농장이 공동으로 축산폐기물의 관리시설을 도입하고 있을 것으로 판단됨. 이는 메탄의 온난화계수가 21로 매우 크다는 것과 관련이 있음. 또, 2011년 8월에 재생가능에너지를 이용한 전력과 관련해서 그 전량을 고정가격으로 매입하는 제도를 도입하기로 결정하였음. 기존 제도는 「잉여전력」만의 매입을 대상으로 하였기 때문에, 이러한 제도의 변경은 재생가능에너지 이용을 위한 촉진제 역할을 하게 됨. 이러한 제도 도입으로 태양광발전에 의한 전력대체가 빠르게 진행될 것으로 전망됨.

- 농경지 토양의 온실가스 흡수원 기능 활용과 관련하여 탄소저장기능을 향상시키는 조치로 풋거름의 작부면적을 확대시키고, 논에 퇴비사용량을 증가시킬 계획을 가지고 있음. 또한 배출량검증을 위한 모델을 검토하고 있음.
- 일본 정부는 농업분야의 지구온난화 방지와 생물다양성 보전에 기여하기 위해 2011년부터 환경보전 효과가 높은 영농활동에 대하여 메뉴방식의 저탄소 직접지불제도(환경보전형농업 직접지원 교부금)를 추진하고 있음.
 - 지원대상자: 에코팜으로 인정을 받고, 농업환경규범에 근거한 점검을 시행하는 농업인과 농업인그룹(집락영농)
 - 지원단가: 8,000엔/10a(중앙정부 4,000엔, 지방정부 4,000엔)
 - 지원대상 사업: 지구온난화 방지나 생물다양성 보전 등에 효과가 높은 사업
 - ① 화학비료와 농약의 50% 절감사업과 피복작물(녹비작물) 작부를 조합시킨 사업
 - ② 화학비료와 농약의 50% 절감사업과 리빙멀칭 또는 초생재배를 조합시킨 사업
 - ③ 화학비료와 농약의 50% 절감사업과 동절기 담수(湛水)관리를 조합시킨 사업
 - ④ 유기농업 사업(화학비료, 농약을 사용하지 않는 사업)

그림 5-13. 일본의 저탄소직불제 프로그램

영농활동	지원대상 사업사례	도입방식			지불연도
		2010	2011	2012	
피복작물	추파소맥 ⇒ 귀리		소맥(50%저감) → 피복작물 (귀리)		2011년도
	양배추 ⇒ 귀리		양배추(50%저감) → 피복작물 (귀리)		2011년도
	수도 ⇒ 연꽃		수도(50%저감) → 피복작물 (연꽃)		2012년도 ¹⁾
리빙멀칭· 초생재배	대두 / 맥류		리빙멀칭 (맥류) 대두(50%저감)		2011년도
	복숭아 / 들목새		초생재배 (들목새) 복숭아(50%저감)		2012년도
동절기 담수관리	수도 ⇒ 동절기담수		수도(50%저감) → 동절기 담수관리		2011년도
	동절기담수 ⇒ 수도		동절기 담수관리 → 수도(50%저감)		2012년도 ¹⁾
유기농업	유기농업		유기농업 (수도)		2011년도

주: 1) 피복작물(동절기담수관리) 또는 화학비료, 화학농약의 50%감축 사업 중 하나가 2011년도 이전에 종료되기 때문에, 2011년도에 실시계획서 검 확인의뢰서를 제출할 필요가 있음.

자료: 日本 農林水産省(2011).

나. 농업관련 에너지부문 감축정책

- 일본 정부는 농장의 에너지 효율성 개선, 신재생에너지 사용을 권장하고 있음.
 - 예를 들면, 오일절약/오일프리 온실원에 촉진정책이 있음. 이는 목질계 바이오매스를 활용하는 열 시스템과 오일프리 원예시스템을 도입하도록 장려하고, 에너지 효율성 등급 시스템을 고려하는 것임. 가축 부산에서 발생한 메탄을 원예하우스에서 활용하는 것을 지원하며, 온실가스 배출량이 적은 저탄소 농기계의 이용도 권장하고 있고, 농기계용 바이오디젤 활용을 위한 ‘지역소비를 위한 지역생산’ 모델 개발을 시도하고 있음. 일본정부는 제재소(lumber mills)와 기타 시설에서 목질계 바이오매스를 활용한 시설을 설치함으로써 에너지 보전을 촉진하고 있음. 이 밖에 LED와 같은 새로운 에너지 절약 기술의 도입을 권장함.
- 바이오매스와 관련하여 2010년까지 300개의 바이오매스 타운 건립을 목표로 하고 있는데, 이를 통하여 바이오연료 생산을 위한 조치들을 도입할 계획임. 바이오연료 생산은 식량생산과 경쟁관계에 있는 것이 아니라는 인식하에 벼짚이나 폐목재로부터 에탄올을 생산하고 이를 수송부문으로 확장하여 사용하는 계획을 포함하고 있음.
- ‘지역소비를 위한 지역생산’과 관련하여 학교급식에 지역에서 생산된 농수산물을 주로 공급하고 지역생산물 직판장을 설치하는 계획을 추진하고 있음. 또한 폐식용유를 활용하여 바이오연료를 생산하는 것도 포함하고 있음.

표 5-13. 일본의 농업부문 기후변화 대응 정책사업(2011년)

정책사업명	예산액 (백만엔)	주요 사업내용
환경보전형농업 직접지원대책	4,807	<ul style="list-style-type: none"> 지구온난화방지와 생물다양성보존에 효과가 높은 영농활동을 실시하는 농업자에게 직접 지원 환경보전형 농업활동(피복작물, 겨울철 담수관리, 유기농법, 초생멸칭 등)을 실천하는 농업인 등에 대한 직접적인 지원(4,000엔/10a)
농업생산의 지구 온난화 대책		<ul style="list-style-type: none"> 정부의 온실가스 감축목표 달성 기여
- 생산환경 종합대책사업	607	<ul style="list-style-type: none"> 토양의 탄소흡수기능 활용 토양의 탄소감축량 측정, 녹비작물 등 영농활동의 탄소저류량과 비용 등 조사
- 농림수산분야 배출량거래 추진사업	30	<ul style="list-style-type: none"> 농업부문 온실가스 배출권거래제 참여 온실가스 감축, 흡수 등 크레딧 창출농업인 지원
- 강한농업만들기 교부금	3,138	<ul style="list-style-type: none"> 지구온난화대책에 필요한 시설 지원 논의 벧짚 활용 메탄발생 억제, 농경지 탄소저장 촉진 유기물공급시설, 농작물 고온장해 회피시설 지원 등
- 농축산업기계 임대지원 사업	2,707	<ul style="list-style-type: none"> 시설원예형 에너지시설 관련 기계도입 선진적 에너지 절약 가온시설 지원 고단열 피복설비(외장·내장다중화 설비) 지원
유기농업 지원	11,032	<ul style="list-style-type: none"> 전국단계 유기농업보급·참여촉진지원 유기농업참여 촉진대책, 유기농업보급 지원대책, 유기농업조사지원대책, 유기농업재배기술체계화 촉진대책 등 유기농업 수익력 향상 대책 유기농업 산지 수익력 향상 프로그램 유기농산물 연결 박람회 개최 지원 유기농업 산지활성화 종합대책 유기농업 시설장비 지원

자료: 日本 農林水産省(2011).

5. 주요국 사례 종합

표 5-14. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(미국, 일본)

구분	미 국	일 본
농업부문 온실가스 배출량	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 총 배출량은 6,702 (Tg CO₂-eq) • 농업부문은 461.5(6.9%): CH₄ 196.3, N₂O 265.2를 배출 	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 총 배출량은 1,308 (Mt CO₂eq) • 농업부문은 약 4.99%를 차지: CH₄ 총 배출량의 70%, N₂O 총 배출량의 52%
저감 목표	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년까지 2005년 대비 17% 감축 - 청정에너지·안보법안(Waxman-Markey) (2009.6 하원통과) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 1990년 대비 20% 감축 • 2050년까지 1990년 대비 80% 감축
완화 정책	<ul style="list-style-type: none"> • 휴경지 대상 프로그램 <ul style="list-style-type: none"> - 농지보전프로그램(CRP) - 습지보전프로그램(WRP) - 초지보전프로그램(GRP) • 경작지 대상 프로그램 <ul style="list-style-type: none"> - 환경개선장려프로그램(EQIP) - 보전보장프로그램(CSP) • AgSTAR 프로그램 : 퇴비관리를 통한 CH₄ 저감 • 야생서식지보호장려프로그램 • 탄소시장거래: CCX-오프셋 크레딧 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 친환경농업 촉진 및 비료사용의 최적화 - 밧짚경운에서 퇴비적용으로 전환 - 화학비료의 적용을 줄이고, 흩어 뿌림. - 원효성 비료를 이용 • 'CO₂ 표시하기' 추진 • '환경보전형농업 직접지원 교부금' 추진 • 배출권거래제와 연계된 상쇄크레딧 • 농업수리관개시설에 태양광발전 시스템 도입 • 저탄소시설도입 지원 사업 <ul style="list-style-type: none"> - 식물공장 보급 및 LED 도입 지원 사업 • 메탄 배출저감기술 개발 • 가온시설의 열펌프 및 다중피복의 도입 • 식품산업분야에 고효율보일러 설치 • '지역소비를 위한 지역생산'을 추진
탄소 저장	<ul style="list-style-type: none"> • 2011년 기준 LULUCF는 배출량이 37, 상쇄량이 -905으로, 순배출량이 -868 • 다년생 풀로 전환, 습지복원, 완충림 보전, 바이오 에너지 작물 • 방목장 관리, 목초지 관리 • 보전경운, 정밀농법, 윤작 및 겨울 피복작물, 관개시설 정비 	<ul style="list-style-type: none"> • 산림과 산림조치를 통하여 탄소저감 <ul style="list-style-type: none"> - 간벌을 통한 산림개선 • 농경지 토양의 온실가스 흡수원 기능 활용 • 적절한 관리와 보호 숲의 보존 • 도시의 시민들과 함께 숲 가꾸기 • 도시 녹색화 추진 • 농경지 토양의 온실가스 흡수원 기능 활용 대책 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 쪼갬의 작부면적 확대, 퇴비사용 확대
바이오 에너지 생산 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 미국농촌에너지프로그램 • 2008년 식품, 보존, 에너지법 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오파이너리 지원 프로그램 - 에너지 재공급지원 프로그램 - 바이오에너지 프로그램 • 에너지부(DOE)의 프로그램 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오작물, 우드칩, 작물잔사 활용 • 바이오연료 생산기술 프로그램 수행 • 목질계 바이오매스이용 보조 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> • 미개발 바이오매스 자원의 에너지화 <ul style="list-style-type: none"> - 농림 바이오매스 개발추진 • 목질계 바이오매스의 사용

표 5-15. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(영국, 호주)

구 분	영 국	호 주
농업부문 온실가스 배출량	<ul style="list-style-type: none"> • 2010년 총 배출량은 590(Mt CO₂-eq) • 농업부문은 약 9% 차지: CH₄ 총 배출량의 43%, N₂O 총배출량의 84% 	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년 농업부문은 79(15%를 차지): CH₄ 총 배출량의 68%, N₂O 총 배출량의 80.15%
저감목표	<ul style="list-style-type: none"> • 2027년까지 1990년 대비 50% 감축 • 2050년까지 1990년 대비 80% 감축 - 세계최초로 기후변화법 발효, 감축목표 명시 • 농업·산림부문 2010년 2,900Gt, 2015년 2,900Gt, 2020년 2900 Gt 	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년까지 2000년 대비 60% 감축
완화정책	<ul style="list-style-type: none"> • 2008년 기후변화법과 2009년 저탄소 전환계획을 기반으로 전략 추진 • 질소 민감지역 농업 프로그램 <ul style="list-style-type: none"> - 수질오염 통합패키지 활용 - 간접적 온실가스 배출(N₂O) 저감 • 영국 IPPC 규정 <ul style="list-style-type: none"> - 돼지와 가금류 생산자의 환경영향통제, 간접적 온실가스 배출 저감 • 우수농산물인증제도 	<ul style="list-style-type: none"> • 농업시스템으로부터의 배출 경감 • 농업부문의 에너지 효율성 개선 • 화석연료 사용의 비효율적 대안 촉진 • 온실가스의 생물학적 고정화의 기회 확대 • 온실가스 저감을 위한 연구개발투자 효율성보장 • 탄소오염저감계획(CPRS)하에서 농업 등의 부문은 교토의정서 준수 탄소 상쇄 크레딧과 자발적 탄소상쇄 크레딧 제공 • 탄소농업계획(Carbon Farming Initiative, CFI) 의거하여 저탄소농업 및 배출권거래제 권장
탄소저장	<ul style="list-style-type: none"> • 산림보조금제도(잉글랜드) • 산림조성제도(스코틀랜드) 	<ul style="list-style-type: none"> • 초지와 농지 관리를 통한 탄소저장에 대해 CPRS에서 국내 상쇄 크레딧을 을 제공 - 토양탄소, 바이오 숯, 산림관리 포함.
바이오 에너지 생산지원	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오매스 전략 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기성 소화 촉진 - 바이오매스 지속적 개발 체제구축 - 바이오에너지 교부금 지원 - 바이오매스 보일러 사업지원 • 산림연료전략: 에너지 효율성 목표 달성 시 세제 지원 • 에너지작물계획 <ul style="list-style-type: none"> - 비식용작물행동계획 • 지역사회 에너지 프로그램 • 차세대 바이오연료 기술촉진 전략 • 재생가능한 수송원료 의무화 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소오염 감축계획 • 의무적 재생에너지 목표계획 • 재생에너지 시범 프로그램

표 5-16. 주요국의 온실가스 감축 대책 사례분석 시사점

구 분	주요국 기후변화 대응책	국내 적용가능성 검토
감축정책	<ul style="list-style-type: none"> •미) AgSTAR 프로그램 : 퇴비관리를 통한 CH₄ 저감 •미 일 호) 배출권거래제 상쇄 크레딧 제공 •일) 'CO₂ 표시하기, '지역소비를 위한 지역생산' •일) '환경보전형농업 직접지원 교부금' •영) 질소 민감지역 농업 프로그램 - 수질오염 통합패키지 활용, 간접적 N₂O 저감 	<ul style="list-style-type: none"> •환경보전형농업에 대한 메뉴방식의 직접지불금 지급 - 유기농업, 조방농업, 가축 수 감소, 질소비료 사용량 감소 등을 촉진 •배출권거래제를 통한 크레딧 제공, 수익원창출 •가축사육에 대한 환경적 승인 - 가축 사육두수 감소 - 퇴비관리를 통한 CH₄ 저감
탄소저장	<ul style="list-style-type: none"> •미 일) 농경지 토양의 온실가스 흡수원기능 활용 - 보전경운, 정밀농법, 윤작, 피복작물, 관개시설정비 	<ul style="list-style-type: none"> •농경지 및 산림의 온실가스 흡수원기능 활용 - 탄소시장을 활용하여 크레딧을 제공 - 흡수원 기능을 높이기 위한 방법 연구·개발
바이오 에너지 생산지원	<ul style="list-style-type: none"> •영) 바이오매스 전략 - 혐기성 소화 촉진 - 바이오에너지 교부금 지원 - 바이오매스 지속적 개발 체제구축 - 바이오매스 보일러 사업지원 	<ul style="list-style-type: none"> •신생에너지 발전차액지원제도를 활용하여 바이오매스 활용 확대
정책수립 및 지원	<ul style="list-style-type: none"> •영) 농촌 기후변화 포럼 •호) 기후변화연구프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화 관련 위원회 구성 - 다양한 이해관계자들 참여, 의견을 수렴하여 정책수립에 반영

제 6 장

농업분야 온실가스 감축 전략

1. 전략수립의 기본방향

- 농업분야의 효과적인 온실가스 감축을 위한 전략수립의 기본방향은 다음과 같이 여섯 가지로 설정됨.
- 첫째, 온실가스 감축잠재량 평가 등 과학적인 분석결과를 바탕으로 기후변화에 선제적으로 대응함.
- 둘째, 온실가스 감축기술 보급에 따른 애로 요인을 농가 단위에서 파악하여 개선함으로써 효과적으로 온실가스 감축기술을 보급함. 농가 설문조사 결과 감축기술도입에 따른 비용 증가, 적용 기술의 불안정성 등을 해결해야 할 과제로 제시함.
- 셋째, 현재의 온실가스 감축기술 적용에 국한되지 않고 새로운 기술개발을 통하여 미래의 감축잠재량을 확대시킴.
- 넷째, 온실가스 감축정책은 기간별로 주요 목표를 세우고 세부적인 계획을

세워 추진하도록 함.

- 다섯째, 농업인의 참여를 유도하고 가시적인 성과를 나타낼 수 있도록 농가 소득 창출과 연계된 정책프로그램을 개발하여 핵심과제로 추진함.
- 여섯째, 실효성 있는 온실가스 감축정책 추진을 위해 관련 주체의 적절한 역할 분담과 네트워크를 구축함.

2. 온실가스 완화를 위한 실천전략

2.1. 감축수단별 목표 및 이행 로드맵

2.1.1. 주요 수단별 감축목표

- 전체적으로 논 경종·축산 배출원 관리, 농어업 에너지이용 효율화 등으로 2020년 BAU 28.49백만톤 대비 5.2%인 1.48백만톤 감축을 목표로 함. 따라서 2020년에 감축량을 제외한 27.0백만톤의 배출이 전망됨.
- 비에너지분야의 논 물관리, 장내발효 개선 등 배출원 관리를 통해서 BAU 대비 1.1%인 0.31백만톤 감축을 목표로 함.
 - 이러한 목표를 달성하기 위해서는 간단관개(논 물관리) 면적 비중을 2013년 85.6%에서 2020년 90%로 증대 시키도록 함. 또한 장내발효 개선을 위한 양질조사료 급여를 위해 양질조사료를 2013년 2,400천 톤에서 2020년 3,204천 톤으로 공급을 확대되도록 함.
- 비에너지분야의 가축분뇨 처리시설 확대로 BAU 대비 1.1%인 0.32백만톤

감축을 목표로 함.

- 이러한 목표를 달성하기 위해서 가축분뇨 처리시설 중 에너지화 시설을 2013년 8개소에서 2020년 30개소로 확대하도록 함. 또, 가축분뇨 처리시설 중 자원화 시설을 2013년 95개소에서 2020년 180개소로 확대되도록 함.
- 에너지분야에서 지열, 목재펠릿 등 신재생에너지 이용 확대로 BAU 대비 1.3%인 0.38백만톤 감축을 목표로 함.
 - 이러한 목표를 달성하기 위해서 신재생에너지시설 지원면적을 2013년 1,076ha에서 2020년 2,375ha로 확대되도록 함.
- 에너지분야에서 농림·어업 에너지절감시설 보급으로 BAU 대비 1.7%인 0.47백만톤 감축을 목표로 함. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 농업의 에너지절감시설 지원면적을 2013년 4,690ha에서 2020년 10,050ha로 확대 보급되도록 함. 또, 어선 LED 집어등 보급률을 2015년 9%에서 2020년 26%로 확대되도록 함.

2.1.2. 감축이행 로드맵

- 농업분야 온실가스 감축 로드맵은 아래 <그림6-1>과 같이 제시할 수 있음.
 - 감축량은 2014년 37천 톤, 2017년 1012천 톤, 2020년 1,484천 톤으로 증가하는 것으로 설정됨.
 - 이러한 감축 목표를 달성하기 위해 가축분뇨 처리시설 확대, 신재생 에너지 보급 확대, 에너지 절감시설 증대, 화학비료 절감, 장내발효개선 등 주요 수단별 정책목표가 설정됨.

그림 6-1. 농업분야 온실가스 감축 로드맵

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
감축량 (천톤CO ₂)	-	-	37	509	855	1,012	1,170	1,327	1,484



2.2. 전략 실천을 위한 핵심과제

- 저탄소 농업기술의 개발·보급, 신재생에너지 이용 확대, 에너지 절감시설 확대 등 온실가스 감축을 위한 개선·신규과제를 발굴하여 추진할 필요가 있음.

2.2.1. 논 물관리, 장내발효 개선 등 감축기술의 보급 확대

가. 논 물관리

- 벼논에서의 물 관리는 온실가스 감축 수단으로서 매우 중요함. 현재 우리나라 벼논에서 간단관개 비율은 85.6%(2010년 통계청 총조사 결과를 2011년, 2012년, 2013년에 적용)로 조사되었으며, 논 물관리를 통한 온실가스 감축 목표 달성을 위해 간단관개 비율을 2017년 88.1%, 2020년 90%까지 확대할

계획임.

- 간단관개 비율을 효과적으로 확대시키기 위해서는 수로가 잘 갖추어져 있는 논과 그렇지 않은 논을 구분하여 접근할 필요가 있음.
- 먼저 수로가 잘 갖추어져 있는 논인 경우 중간물떼기를 통해 감축하는 것이 효과적임.
 - 중간물떼기를 하게 되면 논토양에 산소를 공급하여 메탄의 배출을 감소시키게 됨. 그런데 농가가 간단관개를 실시할 수 있는 조건은 수로가 잘 갖추어져 있는 논이어야 하고, 반나절(약 3시간) 정도의 노동시간을 필요로 함. 또한 물을 뺀 후 1주일 이상 지난 후 다시 물을 공급해야 하기 때문에 농가 입장에서는 노동시간의 양보다는 귀찮은 일이 더 문제일 수 있음.
 - 중간물떼기를 유도하기 위해 수로가 잘 갖추어져 있는 논이 많은 시·군 농업기술센터를 중심으로 1~2월 새해 영농 기술교육 프로그램에 간단관개 교육 아이টে을 도입하도록 함.
 - 간단관개 교육 아이টে에는 간단관개가 농업환경에 미치는 영향(온실가스감축, 기후변화 완화 등), 뿌리의 활력유지, 도복에 대한 저항성 증대 등 쌀 생산성에 미치는 영향 등을 포함할 수 있음.
 - 중간물떼기를 통한 감축을 위해서는 수로 등 수리시설 개선을 통해 여건을 조성하는 사업도 동시에 이루어져야 함. 수리안전답률⁹은 2012년 현재 59.3%이며, 정부의 정책적 목표에 따라 2020년 65%, 2030년 80%로 확대하는 것으로 함.
- 다음으로 수로가 잘 갖추어져 있지 않은 논인 경우 얇게 물대기를 통해 감축할 수 있음. 얇게 물대기는 물관리 조절장치를 이용하는 것이 용이함.

⁹ 수리안전답은 한해(旱害)를 극복하기 위해 저수지, 양배수장, 보, 집수암거, 관정 등의 수리시설을 함으로써 인위적인 관개(灌溉)가 가능한 논을 말함.

- 농가들이 물관리 조절장치를 도입하도록 직불금 형태로 지원을 할 수 있음. 물관리 조절장치를 농가가 도입하고자 하면 매년 ha당 280~488천원의 비용이 발생하게 되므로 시설 고정비에 인센티브를 합하여 매년 50~70만원의 직불금을 지급할 수 있음(김창길 등, 2013)
- 물 관리 조절장치는 논에 물을 댈 때 사용하는 취수 물꼬와 물을 뺄 때 사용하는 배수 물꼬가 있음. 물 관리를 통한 온실가스 감축 기술의 3차 점인증을 위해서도 물 관리 조절 장치가 필요함.

나. 화학비료 절감

- 농경지 토양에서 밭 화학비료 시용량 절감을 통해 아산화질소 배출을 감소시킬 수 있음. 화학비료 사용량은 2013년 현재 225kg/(ha)이며, 2020년에는 188kg/(ha)으로 감소될 계획임.
- 유기질 비료 지원 사업을 확대하여 화학비료를 대체하고, 비료효과를 증대시키는 토양개량제를 보급하여 화학비료 사용을 지속적으로 감축시킬 필요가 있음.
 - 유기질 비료 지원사업은 2011년 현재 308만톤에서 2020년 320만톤까지 보급하며, 토양개량제는 2020년 65만톤까지 보급하는 것으로 함.
- 농경지 토양에서 화학비료 시용량을 줄이기 위해 흙토람¹⁰의 토양정보를 활용하여 해당 시·군의 토양환경상태를 분석하고, 분석결과를 토대로 맞춤형 비료를 보급함.
 - 흙토람을 통해 제공하는 주요 정보는 농업환경지도와 토양 및 농업환경 통계자료, 시비처방 등의 정보를 제공하고 있음. 토양환경지도는 작물재배적지, 농경지화학성, 토양특성, 정밀농업기후도, 생물상분포도, 농업환

¹⁰ 흙토람은 토양환경정보시스템 내에 있으며, 농촌진흥청 국립농업과학원에서 운영하는 농업토양정보시스템(ASIS)을 말함(<http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp>).

경변동정보 등을 제공하고 있음.

- 이 가운데 시비처방은 농경지의 토양시료를 채취 및 분석하여 토양의 양분상태를 진단하고 결과에 따라 작물재배에 적합한 시비처방 및 토양관리법을 추천하여 농업인의 영농활용에 기여함. 시비처방에서는 필지별 토양검정결과의 입출력, 토양검정 결과 및 시비 추천식을 이용한 토양관리처방서 출력, 토양검정자료의 검색, 변환, 집계 및 분석, 시비처방 체험, 객토량 구하기 등을 제공함.
 - 시비처방에 따른 맞춤형 비료사용을 통해 화학비료 사용량을 감축시키고 농업의 환경질을 개선시키는 효과가 있음.
 - 하지만 맞춤형 비료지원사업이 2013년 이후부터는 중앙정부 차원의 지원이 중단된 상태이므로 지방정부 차원에서 지속적으로 사업이 이루어질 수 있도록 적절한 대책이 요구됨.
- 녹비작물 재배를 통해 또한 화학비료 시용량을 감소시킬 수 있음. 정부는 녹비작물 종자대 지원사업을 통해 2014년 40천ha를 지원하였으나 2015년 이후에는 지원을 중단하는 것으로 되어 있음. 녹비작물 재배는 이산화탄소 절감 뿐만아니라 비용절감, 생산효과, 경관가치효과 등 경제적인 효과도 있는 것으로 분석되었음(김창길 등, 2011). 그러므로 녹비작물 재배를 농가단위로 지속적으로 보급 확산시킬 필요가 있음.
- 한편, 녹비작물의 작황이 기상요인에 의해 변동이 심하여 농가가 중도 포기하거나 연속 재배를 회피하는 사례가 발생하고 있고, 녹비작물의 종자를 외국으로부터 수입하게 되는데 외화가 낭비되고 있을 뿐만 아니라 세계적인 기후변화로 가격변동이 심함. 따라서 녹비작물 보급을 보다 확대시키기 위해서는 안정적인 녹비작물 재배기술 개발이 필요함. 또한 외국 녹비작물의 국내공급 차질을 방지하기 위해 국내 녹비작물 종자의 자가 채종기술 개발이 필요함.

토양검정 및 맞춤형비료지원 사례¹⁾

- 강원 정선군 임계농협의 사례를 통해 토양검정 및 맞춤형 비료지원 사업 프로세스를 살펴보면 다음과 같음.
 - 농가 홍보 및 신청안내: 맞춤형 화학비료 도입배경, 추진경과 등
 - 농가신청 마감 및 예약 발주: 신청 집계표 작성, 예약발주 입력 등
 - 농업기술센터에서 농촌진흥청의 흙토람 서비스를 활용하여 정선군의 토양을 검정하고, 맞춤형 비료를 추천함.
 - 비종선정위원회에서 임계농협의 여건에 맞게 적용할 맞춤형 비료의 종류를 확정

그림 6-2. 토양 검정 및 맞춤형 비료 지원 절차



다. 장내발효개선

- 메탄가스는 반추가축의 장내발효에 의해서 생성되어 섭취 에너지의 손실을 가져오는데, 이 에너지 손실 범위는 섭취 사료의 급여수준과 조성 그리고 섭취 사료의 소화율에 크게 영향을 받음(농업기술실용화재단, 2011).
- 반추가축의 장내발효 과정의 부산물로 발생된 메탄은 가축의 입을 통해 외부로 방출됨. 장내발효에 의한 메탄 배출 저감기술로는 청보리 등 양질조사료 급여, 사료내 첨가제 적용 등 직간접적 방법이 있음.
- 양질조사료(청보리, 이탈리아안 라이그라스 등) 재배면적 및 가축급여 확대를 통해 온실가스를 저감시킬 필요가 있음.
 - 정부는 양질조사료 재배면적을 2013년 300천ha에서 2020년 390천ha로 확대하며, 양질조사료 공급량은 2013년 2,400천 톤에서 2020년 3,204천 톤으로 확대할 계획을 가지고 있음.
 - 반추가축 사육농가에 대한 양질 조사료의 생산·이용 확대를 위해 조사료의 생산과 유통에 소요되는 사일리지 제조비, 기계·장비, 장거리 유통비 등을 지속적으로 지원할 필요가 있음.

2.2.2. 가축분뇨 에너지화 시설, 공동자원화시설 설치 확대

가. 가축분뇨 에너지화 시설

- 온실가스 저감을 위해 바이오가스 생산시설에 대한 사회적 요구가 높아지고 있음. 가축분뇨를 통해 전기를 생산하여 전기 생산에 필요한 화석연료를 절감시킴으로써 온실가스를 줄일 수 있기 때문임.

11 김창길 등(2011).

- 온실가스 감축 이외에도 가축분뇨 및 음식물 쓰레기의 처리, 액비의 농경지 활용 등 다양한 장점을 가지고 있는 가축분뇨 에너지화 사업을 지속적으로 확대해 나갈 필요가 있음.
 - 가축분뇨 에너지화 시설은 2013년 현재 8개소에서 2020년 30개소로 확대될 계획임. 2020년 30개소가 설치되었을 경우 온실가스 감축과 더불어 연간 약 120백만kw의 전기 생산 및 고품질의 친환경 액비 생산 효과가 발생함. 이때 전기 생산량은 4인 가구 기준으로 약 33천호가 1년간 사용할 수 있음.
- 가축분뇨·농산부산물 등을 이용하여 에너지를 생산하고 남은 혐기소화액을 액비화 하여 자원순환을 촉진할 목적으로 추진되는 가축분뇨 에너지화 사업은 개소당 70억원(국고 30%, 지방비 30, 용자 20, 자담20)으로 1일 70톤 이상 가축분뇨 등을 활용하여 에너지를 생산한 후 액비로 자원화 할 수 있는 시설·장비를 지원하고 있음.
 - 하지만 초기에 고비용이 투자되고 있으며 특히 지방비 부담이 높아 확대의 애로요인으로 작용하고 있음. 시설설비에 대한 기술개발을 통해 지속적으로 설치비용을 낮춰갈 필요가 있으며, 지방비 부담 완화 등 지원조건을 단계적으로 개선할 필요가 있음.
- 바이오가스플랜트의 경제적 효과를 추산한 결과, 수익성 창출을 위해 고품질의 액비를 농가에게 판매하는 것이 중요함.
 - 바이오가스 플랜트에서 생산되는 액비를 농가가 잘 이용하지 않고 있는데, 농가가 실제로 사용할 수 있도록 액비가 토양 및 농작물에 미치는 부정적인 영향이 없다는 점을 부각시켜 적극적으로 홍보할 필요가 있음

나. 공동자원화시설

- 발생한 가축분뇨는 대부분 퇴비와 액비로 자원화 되고 있음. 온실가스 감축 및 친환경 퇴비와 액비의 생산 등을 위해 가축분뇨 공동자원화 사업을 지

속적으로 확대해 나갈 필요가 있음.

- 가축분뇨 공동자원화 시설은 2013년 현재 95개소에서 2020년 180개소로 확대할 계획임. 가축분뇨 자원화는 온실가스를 감축시킬 뿐만 아니라 고품질의 친환경 퇴·액비 생산 효과가 발생함.
- 가축분뇨를 퇴·액비로 자원화하여 농경지에 살포할 목적으로 추진되는 가축분뇨 에너지화 사업은 개소당 액비 30억원, 퇴비 45억원(국고 40%, 지방비 30, 용자 30)으로 가축분뇨 퇴비·액비 등 자원화를 중심으로 1일 70톤 이상 가축분뇨를 처리할 수 있는 시설·장비, 교육장 등을 지원하고 있음.
 - 하지만 지방비 부담이 높아 확대의 애로요인으로 작용하고 있음. 시설설비에 대한 기술개발을 통해 지속적으로 설치비용을 낮춰갈 필요가 있으며, 지방비 부담 완화 등 지원조건을 단계적으로 개선할 필요가 있음.

2.2.3. 신재생에너지 이용 및 에너지 절감 시설 보급 확대

- 2008년 OECD 환경지표를 보면 우리나라의 농업분야 에너지 사용량은 ha 당 1415.5kg으로 네덜란드에 이어 세계 2위를 나타냄. 신재생에너지 도입 및 농기계의 에너지이용 효율 개선을 통해 에너지사용량 및 온실가스 배출량을 감소시킬 필요가 있음.

가. 신재생에너지

- 지열히트펌프¹², 목재펠릿 등 신재생에너지 활용기술은 비용 대비 온실가스를 감축시키는 효과가 큰 것으로 나타났음(김창길 등, 2011). 따라서 이들에 대한 기술 보급은 기후변화 대응에 있어 매우 중요한 의미를 가지며, 지속적으로 확대해 나갈 필요가 있음.

¹² 히트펌프를 이용해 지하에 축적된 열을 냉난방시스템에 이용하는 것을 지열히트펌프라고함.

- 온실에 지열히트펌프, 목재펠릿 보일러 등 신재생 에너지를 이용하는 냉난방기 설치를 지원하여 온실가스를 감축하며, 신재생에너지시설 지원면적은 2013년 4,690ha에서 2020년 10,050ha로 확대될 목표임.
- 현재 지열히트펌프의 경우 국고보조 60%, 지방비 20%, 자담 20%의 지원형태로 이루어지며, 지원 사업비는 지역별 최저온도와 시설특성을 감안하여 산출된 시설부하용량(kW)에 따라 지원함. 목재펠릿의 경우 현재 예특회계로 국고(보조 30%, 용자 20%), 지방비 30%, 자담 20%의 지원형태로 이루어지고 있음. 설치비 지원목록을 보면, 온실외부의 경우 연료저장탱크, 기계장치 연결밸브, 전기배선, 인건비, 축열탱크 등이며, 온실내부의 경우 급수분배기, 배관, 헨코일, 송풍기, 온도센서, 순환모터 등임.
- 신재생에너지 활용기술이 정부와 지자체에 의해 보급된다 할지라도 지열히트펌프나 목재펠릿 가격이 높기 때문에 자부담 20%의 비용이라도 농가단위에서는 상당한 부담을 가지고 있음. 그래서 실제로 보급 확대가 예상대로 잘 이루어지지 않고 있음.
 - 따라서 중장기적으로 농가 자부담 비중을 완화 및 용자확대 등을 검토할 필요가 있음.
 - 목재펠릿의 경우에는 추가적으로 저렴한 펠릿을 안정적으로 공급할 수 있는 체계 구축이 필요함. 왜냐하면 목재 펠릿 보일러는 보일러 초기 설치비는 지열냉난방 시설에 비해 낮은 편이지만 펠릿의 가격이 높은 편이어서 수익성을 확보하기 쉽지 않기 때문임.
- 농가단위에서 신재생에너지 보급 확대를 위해 신재생에너지를 활용하는 농가에 대해 시설 현대화 사업을 우대해 주는 추가적인 인센티브 방안이 필요함.
 - 시설현대화는 신재생에너지 활용의 효율성도 높일 수 있다는 측면에서도 중요한 의미를 가짐. 시설현대화 지원대상은 에너지 효율형 냉·난방·보온시설로 하며, 농어업에너지이용효율화 사업의 지원과 중복지원 불

가 근거가 존재하는데 이를 완화시켜 줄 필요가 있음. 에너지 효율형 냉방·난방·보온시설은 국고보조 20%, 국고융자 60%, 자부담 20%로 지원하는 것이 적절함.

- 신재생에너지 활용기술 확대를 위해 장기적으로는 생산시설을 규모화 하여 생산단가를 낮춤으로써 초기 고비용 구조를 개선할 필요가 있음.
 - 지열히트펌프, 목재펠릿 난방기 등의 생산시설을 규모화 하여 생산단가를 낮추어야 함. 생산시설의 규모화를 위해서는 대규모의 민간투자가 이루어져야 하지만, 실패할 수 있는 여러 가지 위험부담으로 민간투자가 이루어지지 않을 가능성이 매우 높음. 이러한 위험은 녹색보험¹³을 통해 완화시킬 수 있음¹⁴.
 - 또 면세채권(Tax-exempt Bond)을 통해 민간투자를 유도할 수 있음. 면세채권의 경우 저탄소 시설을 생산하는 회사의 채권을 구입한 사람의 이자소득에 대하여 세금을 부과하지 않음으로써 채권을 구입할 유인을 갖게 하며, 회사는 채권을 판매한 자금으로 저탄소 시설의 규모화에 투자할 수 있게 함.

- 신재생에너지 활용 확대보급을 위해 제도적인 개선도 필요함. 현재 추진중인 지열히트펌프 사업의 예를 들면, 시공업체가 난립되어 있어 농가에게 혼란을 주고 있는데 면허제를 도입하여 무능력업체를 규제할 필요가 있음. 설계·시공·감리 관련 업체에서 사업을 총괄하도록 일원화하고 관리감독이 실제적으로 이루어지도록 해야 함. 또한 향후 사업 대상자 선정시 자부담능력이 있고, 재배기술이 높은 농가를 우선적으로 고려해야 함. 뿐만 아니라 품목별로 일률적으로 적용하고 있는 지열 용량을 품목에 따라 다르게 적용할

13 녹색보험이란 녹색산업과 관련된 위험을 보장하거나 환경 친화적 내용이 포함된 보험상품임.

14 김창길 외 (2010).

필요가 있음.

- 신재생에너지를 활용하고 있는 선도농가로 하여금 농가 경영컨설팅을 하도록 할 필요가 있음.
 - 지열히트펌프 적용 농가를 대상으로 살펴본 결과, 생태효율성 지수¹⁵가 높은 농가일수록 난방비 사용액은 감소하고 생산액은 증가하는 것으로 나타났음. 농가 간 생태효율성 지수의 차이가 발생하는 이유는 하우스보온시설을 갖춘 농가와 그렇지 않은 농가 간 운영기술의 차이에 기인한 것으로 보임. 즉 운영기술이 좋은 농가일수록 적정온도를 맞추어 줄 수 있기 때문에 겨울철에도 생산량과 품질을 제고시킬 수 있는 것으로 보임. 따라서 이러한 선도농가들로 하여금 신재생에너지 이용 농가들을 대상으로 경영컨설팅을 할 필요가 있음. 체계적인 교육 시스템을 개발하고 선도농가들에 대한 적절한 지원이 요구됨.

나. 에너지절감시설

- 온실에 다겹보온커튼, 보온터널 개폐장치 등 에너지 절감시설 보급을 확대하여 온실가스를 감축할 수 있음. 다겹보온커튼의 에너지 절감율은 관행에 비해 46%이며, 보온터널 개폐장치는 60%임.
 - 에너지 절감시설 지원면적은 2013년 4,690ha에서 2020년 10,050ha를 보급될 목표임.
- 현재 에너지 절감시설의 지원형태를 살펴보면 국고 50%(보조 30%, 융자 20%), 지방비 30%, 자담 20%임.
 - 수분흡수 방지를 위한 코팅 보온재를 포함한 5겹 이상의 보온 재료를 사

15 생태효율성은 경제적 성과를 나타내는 지표를 환경적 부담을 나타내는 지표(또는 그 역도 성립)를 나눈 값으로 경제성과 환경성의 양립가능성을 나타내는 지표로 활용됨.

용한 보온커튼, 순환식 수막재배시설, 열회수형 환기장치, 작물별, 시설별 특성에 맞는 자동 보온덮개, 배기열 회수장치 등을 지원하고 있음.

- 농기계를 효율적으로 이용하는 농가를 직불제 등을 통해 지원할 필요가 있음.
 - 부분경운건답직파기는 논외 정지, 파종, 복토작업을 일괄적으로 적용하여 관련 농작업 시간을 57% 절감¹⁶ 경운 정지 작업을 생략하고 파종할 부분만 로타리 경운하면서 동시에 벼를 파종·시비하는 기술로 온실가스가 크게 절감됨.
 - 부분경운이앙기는 논외 경운, 정지, 비료살포, 이앙작업을 일괄적으로 적용하여 관련 농작업시간을 33% 절감함.¹⁷ 경운 정지 작업을 생략하고 이앙할 자리만 부분경운하면서 벼 이앙과 동시에 완효성 비료를 시비하여 온실가스를 절감시킴.
 - 트랙터용 에코 드라이빙 시스템은 농작업 부하에 적합한 기어 단수 운전을 안내하는 시스템으로 최적의 연비조건으로 농작업을 수행함.¹⁸ 농작업 부하에 적합한 기어 단수로 운전 방법을 안내하여 최적의 연비 조건으로 농작업을 수행하는 농법임.
 - 단위당 CO₂ 감축량은 부분경운 건답직파기의 경우 관행에 비해 ha당 0.144톤, 부분경운이앙기 0.174톤, 트랙터용 에코드라이빙 시스템 0.016톤의 온실가스 감축효과가 있음.
 - 새로운 농기계 및 농작업 기술 보급으로 농기계 이용 효율성을 개선하는데는 초기 투자비용이 발생하고, 농가의 노력이 뒤따라야 함. 이러한 이유 때문에 농가단위에서 농기계 에너지이용 효율개선 기술을 쉽게 받아들이지 않을 것임. 따라서 효율적인 농기계를 이용하는 농가에 직불금을

16 관행대비 약 3.5hr/ha 농기계(트랙터) 사용시간 절감함. 트랙터 유류사용량 : 65마력 기준 16.85L/hr(면세유공급기준)(국립식량과학원)

17 관행대비 약 2.6hr/ha 농기계(트랙터) 사용시간 절감(국립식량과학원)

18 관행대비 연료소모량 38% 절감(16.2L/ha → 9.9L/ha)(국립식량과학원)

지급함으로써 에너지이용 효율을 개선할 필요가 있음. 농기계를 효율적으로 이용하는 농가를 지원할 경우 화석 에너지의 사용을 감소시킴으로써 농업부문의 화석에너지 의존도를 낮출 수 있어 농가 경영개선에도 도움이 되고, 농업부문의 온실가스 감축에도 기여할 수 있음. 농기계를 효율적으로 이용하는 농가에는 온실가스 감축을 장려하고 초기 투자비를 지원해준다는 점에서 예를 들어 에코드라이빙시스템 장착시 30~50만 원을 지원해 주는 것이 필요함(김창길 등, 2012).

2.2.4. 저탄소 농업 실현을 지원하기 위한 재배기술 개발 등 R&D 추진

- 향후 새로운 저탄소농업 기술이 개발될 경우 적극적으로 수용할 의향에 대하여 농가들에게 질문한 결과, ‘수용할 것임’이 55.4%, ‘적극적으로 수용할 것임’이 22.8%로 수용 비중이 78.3%로 높게 나타났음. 또, 기술적용 시 애로사항을 질문한 결과, ‘저탄소농업 기술 적용에 따른 단보당 수량 감소’의 응답 비중이 25.7%로 가장 높았음. 따라서 현재까지 농림축산식품분야에서 개발된 저탄소 기술 이외에도 감축잠재량이 크고, 비용이 적게 소요되는 기술들을 지속적으로 개발해야 함. 뿐만 아니라 단보당 수량 감소를 완화시키는 방향으로 기술개발이 이루어질 필요가 있음. 기존의 기술들에 대해서도 추가적인 응용기술을 개발함으로써 활용분야를 확대시키는 것도 매우 중요함.
- 온실가스 완화 기술을 새롭게 개발하거나 기존기술의 추가적인 응용기술을 개발하는 데는 많은 시간과 비용이 소요됨. 따라서 정부는 연구시설을 직접 지원해 주거나 민간 기업이 연구/개발에 투자할 수 있도록 투자환경(서비스)을 조성해 줄 필요가 있음.
- 농업분야 국가 고유배출계수를 개발하여 온실가스 배출량 산정 통계기반을 2020년까지 선진국 수준(Tier 3)으로 향상시킬 필요가 있음.

- 저탄소 농작물 생산기술 개발로는 단기적으로 식량작물 저탄소 생산 재배 기술별 메뉴얼을 개발하고, 중장기적으로 식량작물 저탄소 생산 재배기술 국가 DB를 구축할 필요가 있음.
- 다음으로 BT를 활용한 가축 장내발효 메탄발생 저감 기술 개발이 필요함.
 - 천연물질의 메탄저감 효과 연구 결과를 활용하여 저메탄 사료를 개발¹⁹ 하고, 현장 적용성 확대 기술을 개발할 필요가 있음.
 - 소의 반추위 내의 다양한 미생물 중 메탄생성균만 분리·배양하는 기술을 확립하고, 메탄발생 억제기술 개발로 연계·발전시키는 연구가 필요함.
- 토양탄소 증진을 위한 토양관리 기술개발
 - 온실가스 흡수원으로서의 농경지 토양 활용기술 개발을 통해 미래 탄소 시장에서의 농업의 새로운 소득원 발굴이 필요함. 단기적으로는 기초자료 조사(DB구축) 및 기초 기반 기술 개발 등 공급 측면 인프라 구축에 주력하고, 중장기적으로는 바이오매스의 순환활용을 통한 토양탄소 저장능력 제고 등 토양탄소 관리기술 개발 및 정책을 지원할 필요가 있음.
 - 토양 탄소 저장 및 격리비율을 2011년 60%에서 2020년 80%로 확대하기 위해 토지 경운방법 개선, 밭 토양 작물잔사 투입 등 기술 개발이 요구됨.
- 가축분뇨 처리효율 및 바이오가스 생산효율 향상을 위해 정화시스템, 전처리 절차 개선, 소화조 운영기술 개발 등이 단기적으로 이루어져야 함.
- 신재생에너지 이용 기술개발 분야에서는 단기적으로 열원 다양화 및 히트 펌프 성능 향상이, 중장기적으로 다양한 신재생에너지 활용 기술 개발이 요구됨.

19 농진청과 CJ제일제당이 공동연구(2010~13)하였으며, CJ에서 현장 모니터링 등 실용화 연구를 거쳐 2014년 말 저메탄 사료를 개발·출시할 계획임.

- 경제적 분석에 기반한 감축정책 추진을 위해 온실가스 한 단위 감축에 추가적으로 들어가는 비용으로 정의되는 한계감축비용분석 연구를 추진할 필요가 있음.

한계 감축비용 분석²⁰

- 한계감축비용은 온실가스 한 단위 감축에 추가적으로 들어가는 비용으로 정의할 수 있으며 이는 배출권 거래시장에서 배출권의 가격으로도 활용됨. 예를 들어, 이산화탄소 1톤을 감축하는데 필요한 추가 저감비용(한계비용)은 설비투자비용과 연간유지관리비용에서 선택된 대책기술에 의한 탄소 톤당 에너지비용 경감분을 공제하여 산정할 수 있음.

$$A = C - EP$$

여기서, A : CO₂ 1톤을 감축하는데 필요한 추가 감축비용

C : CO₂ 1톤 감축에 추가적으로 필요한 설비투자비용과 연간유지관리비용

EP : 대책기술 채택에 의한 탄소 톤당 에너지 비용 경감분

- 한계감축비용 곡선 도출을 통해 비용효과적인 감축대책의 우선순위를 정하는데 활용할 수 있고, 정책결정에 기초자료를 제공할 수 있음.

20 김창길 등(2011).

표 6-1. 농업부문 온실가스 감축 R&D 주요과제별 계획

주 제	내 용
온실가스 배출량 산정	<ul style="list-style-type: none"> 농업분야 국가 고유배출계수 개발하여 온실가스 배출량 산정 통계기반을 2020년까지 선진국 수준(Tier 3)으로 향상(중장기)
저탄소 농작물 생산 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 식량작물 저탄소 생산 재배기술별 메뉴얼 개발(단기) 식량작물 저탄소 생산 재배기술 국가 DB 구축(중장기)
장내발효 메탄저감 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 저메탄 사료 개발 및 현장 적용성 확대 기술 개발(단기) 소의 반추위 내의 다양한 미생물 중 메탄생성균만 분리·배양하는 기술을 확립('18)하고, 메탄발생 억제 기술 개발로 연계·발전(단기)
토양탄소 관리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 기초자료 조사(DB구축) 및 기초 기반 기술 개발(단기) 토양탄소 관리기술 개발 및 정책(중장기)
농경지 탄소저장 및 격리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 토지 경운방법 개선, 밭 토양 작물잔사 투입(단기)
가축분뇨 처리효율 및 바이오 가스 생산효율 향상 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 정화시스템, 전처리 절차 개선, 소화조 운영기술 개발 등(단기)
신재생에너지 이용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 열원 다양화 및 히트펌프 성능 향상(단기) 다양한 신재생에너지 활용 기술 개발(중장기)
감축기술의 경제성 분석연구	<ul style="list-style-type: none"> 경제적 분석에 기반한 감축정책 추진을 위한 한계 감축 비용분석 연구(계속)

주: 단기는 5년 미만, 중장기는 5~10년으로 설정함.

자료: 기후변화대응 농업기술 2단계(2014~23) 중장기 계획(농촌진흥청, 2013.12)을 기초로 작성함.

2.2.5. 농업인의 온실가스 감축 참여 활성화를 위한 제도적 기반 마련

○ 시범 추진 중인 ‘농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업’, ‘저탄소 농축산물 인증제’를 평가·보완하여 2015년부터 본사업 추진 필요함.

- 자발적 감축사업은 온실가스를 감축한 농가의 감축실적을 모니터링, 평

가하여 인센티브를 제공하는 사업으로 2013년 4,859톤 CO₂를 감축함.

- 저탄소 인증제는 저탄소 농업기술을 통해 해당 품목의 국가 평균 배출량보다 온실가스 배출을 줄인 농축산물에 저탄소 인증을 부여함. 2013년 현재 433농가가 참여함.
- 면세유 다소비(多消費) 농가에 2015년까지 신재생에너지 시설 설치를 유도하고, 미설치 시 2016년부터 단계적으로 면세유 감소 배정하는 방안을 검토할 필요가 있음.
- 2010년 기준 면세유 10만ℓ 이상 사용 농가 1,022개 중에서 지열시설 설치농가는 53개 농가임. 따라서 이들 농가를 대상으로 신재생에너지 시설 설치를 유도함.
- 배출량 감축분을 크레딧화하여 배출권거래시장에서 거래함으로써 수익을 창출할 필요가 있음.
- 농림축산식품 분야의 탄소상쇄제도 적용이 가능한 분야로 가축분뇨를 이용한 바이오가스 플랜트, 목재연료 활용, 바이오에너지 생산 등 바이오매스 활용분야, 퇴비와 액비 활용과 녹비작물 등을 통한 화학비료 절감분야, 지열 등의 신재생에너지 분야, 고효율 설비전환과 연료전환 등의 에너지이용 효율화 사업 분야 등임.
 - 탄소배출권거래제의 핵심은 배출량 감축분을 계측하고 기록하여 이들 자료를 기초로 크레딧화 하는 작업이 관건임. 따라서 이에 따른 비용이 수반되므로 향후 배출권거래제에 대비하여 정책적 차원에서 적절한 대책이 마련되어야 함.

탄소배출권 거래제도

- 정부는 녹색법 제46조(총량제한 배출권거래제 도입)에 따라 ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률’을 2012. 5월에 제정하였고, 동년 11월에 시행령을 확정·공포하여 2015년 1월 국가 배출권거래제 도입을 확정하였음.
- 농업부문의 경우 배출권거래제 추진에 대비하여 탄소상쇄(carbon offset)²¹에 참여함으로써 새로운 소득원 창출의 기회로 활용하는 적극적인 대응책 마련이 필요함.
- 농림축산식품 분야의 탄소상쇄제도 적용이 가능한 분야로 가축분뇨를 이용한 바이오가스 플랜트, 목재연료 활용, 바이오에너지 생산 등 바이오매스 활용분야, 퇴비와 액비 활용과 녹비작물 등을 통한 화학비료 절감분야, 태양광, 태양열, 지열과 소수력 등의 신재생에너지 분야, 고효율 설비전환과 연료전환 등의 에너지이용 효율화 사업 분야 등임(남재작 외 4 인 2011).

- 농업부문의 온실가스 감축을 위해 효과적인 정책의 하나로 환경적 상호준수(ECC: Environmental cross-compliance)²²의 개념을 도입한 메뉴방식의 저

21 탄소상쇄란 개인이나 기업과 단체 등이 온실가스 배출량을 감축하기 위한 조치를 하였음에도 불구하고, 불가피하게 발생하는 배출량의 전부 또는 일부를 크레딧으로 상쇄하는 활동을 의미함. ‘온실가스 배출권거래제 법률안’ 제24~제26조에서 탄소상쇄제도와 조기감축 실천에 대해서 명시하고 있음.

22 ECC는 수혜자격이 있는 농업인이 환경적 목표와 관련된 특정 요구사항을 충족하

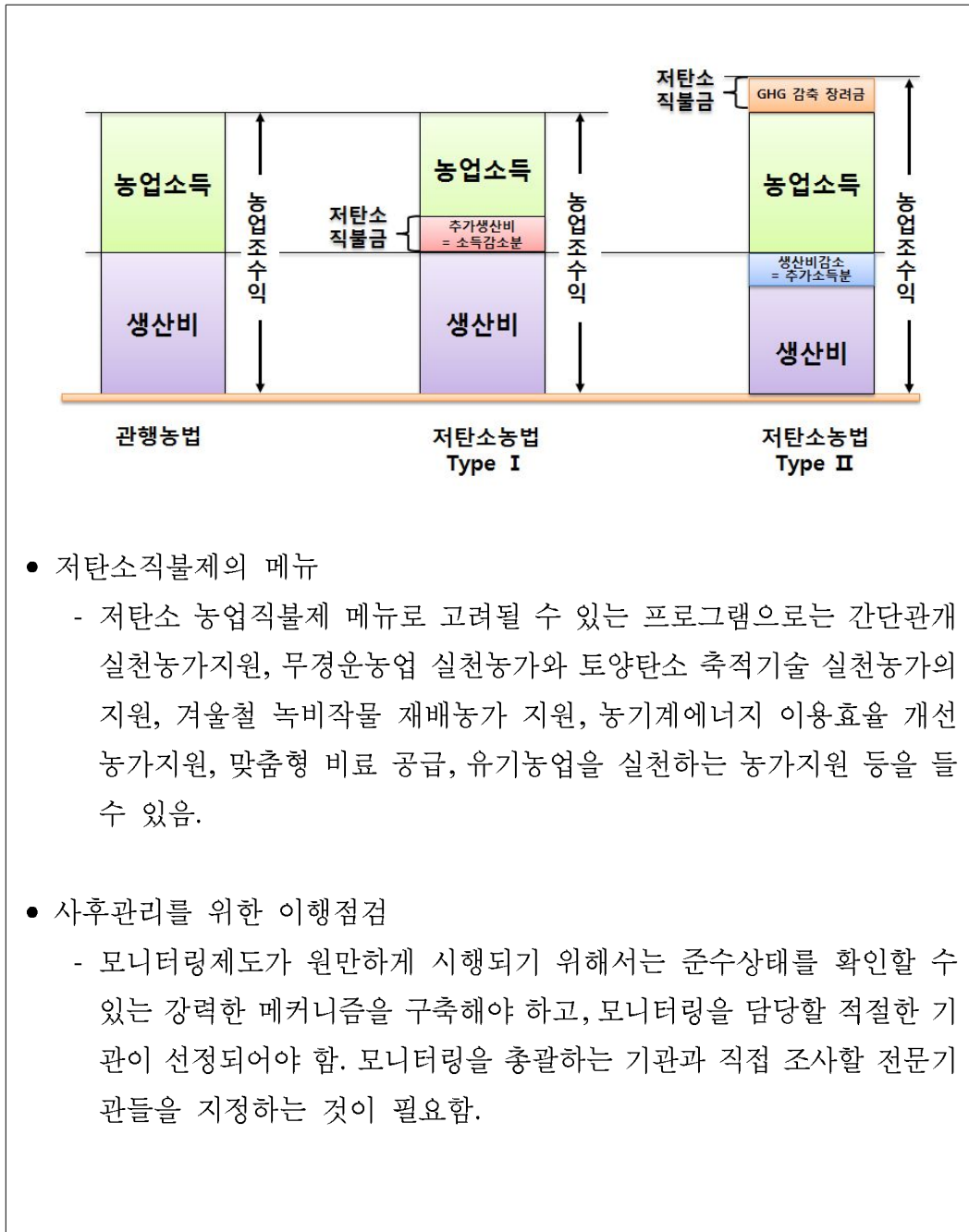
탄소 직불제를 고려할 수 있음.

- 농가조사 결과, 저탄소 농업기술 적용을 확산시키기 위해 앞으로의 정부의 노력에 대해 ‘직불제 등 인센티브 제공’이 42.0%로 가장 많은 것으로 나타났음.
- 메뉴방식의 저탄소직불제는 지역별·농가별 입지적 여건 및 농가의 경영 상황 등을 고려하여 저탄소농업 실천방안으로 선택할 수 있는 여러 가지 대안 가운데 농업인이 자발적으로 실천 가능한 방법을 선택하여 준수사항을 이행하면 직불금을 지급하는 방식을 말함.
- 농업부문 온실가스 감축을 위한 저탄소 농업직불제 메뉴로 고려될 수 있는 프로그램으로는 간단관개 실천농가지원, 무경운농업 실천농가와 토양 탄소 축적기술 실천농가의 지원, 겨울철 녹비작물 재배농가 지원, 농기계 에너지 이용효율 개선 농가지원, 맞춤형 비료 공급, 유기농업을 실천하는 농가지원 등을 들 수 있음.

메뉴방식의 저탄소 직불제²³

- 메뉴방식의 저탄소직불제의 개념
 - 저탄소농업 실천방안으로 선택할 수 있는 여러 가지 대안 가운데 농업인이 자발적으로 실천 가능한 방법을 선택하여 준수사항을 이행하면 직불금 지급하는 방식
 - 저탄소 농업직불금 단가 산정은 추가생산비를 보전해 주는 TYPE I과 공익적 가치를 고려해 주는 TYPE II가 있음.

²³는 경우 정부가 개개인에게 직접적으로 보상하는 조건부 제도임(김창길 등, 2009).



- 저탄소직불제의 메뉴
 - 저탄소 농업직불제 메뉴로 고려될 수 있는 프로그램으로는 간단관계 실천농가지원, 무경운농업 실천농가와 토양탄소 축적기술 실천농가의 지원, 겨울철 녹비작물 재배농가 지원, 농기계에너지 이용효율 개선 농가지원, 맞춤형 비료 공급, 유기농업을 실천하는 농가지원 등을 들 수 있음.

- 사후관리를 위한 이행점검
 - 모니터링제도가 원만하게 시행되기 위해서는 준수상태를 확인할 수 있는 강력한 메커니즘을 구축해야 하고, 모니터링을 담당할 적절한 기관이 선정되어야 함. 모니터링을 총괄하는 기관과 직접 조사할 전문기관들을 지정하는 것이 필요함.

2.2.6. 저탄소 농축산물의 소비 촉진

- 농업부문 온실가스 감축 목표달성을 위하여 그동안 강조되어온 생산 측면 이외에 소비 촉진을 위한 방안도 중요한 한 축이 되어야 함. 저탄소 농축산물에 대한 소비가 활성화 되면 농업인들의 저탄소 농업기술 수용을 더욱 촉진할 수 있기 때문임. 농가조사 결과에서 기술적용 시 애로사항을 질문한 결과, ‘저탄소 농산물의 인지도가 낮아 가격차별화가 되지 않은 점’의 응답 비중이 24.6%로 ‘단보당 수량 감소’(25.7%) 다음으로 높았음.
- 저탄소 농축산물 인증제는 온실가스 저감 효과가 있는 저탄소농업기술을 적용하여 생산한 우리 농산물의 생산과 소비를 촉진하기 위한 제도임.
 - 현재 2015년 본 사업 시행에 앞서 시범사업을 하고 있음. 저탄소 농축산물 인증제는 친환경 인증, GAP 등 농식품 국가인증을 취득한 농가들을 대상으로 하고 있음. 따라서 안전하고 우수한 농산물이면서 동시에 기후변화 완화에도 기여하는 농가에서 생산한 농산물이라는 의미를 담고 있음.
- 현재 2015년 본 사업 시행에 앞서 시범사업 기간 동안 참여하는 농업경영체에게는 저탄소 인증 획득을 위한 컨설팅 및 인증심사 지원을 무상으로 제공하며, 인증 취득 후 농산물 유통 및 마케팅홍보 지원을 받을 수 있는 혜택을 제공하고 있음.
- 친환경 및 GAP 인증 농축산물에 대한 소비가 확대되어가는 가운데 저탄소 농축산물에 대한 충분한 홍보가 이루어진다면 많은 소비자들이 관심을 갖고 구매할 것으로 평가함.
 - 저탄소 농축산물의 신뢰성을 확보하고 소비자들이 보다 잘 인식할 수 있도록 탄소감축량을 표시하는 것을 고려해 볼만 함. 저탄소 인증을 받았지만 얼마만큼의 온실가스를 저감했는지 알 수 없음.
 - 현재 농업기술실용화재단에서 ‘스마트 그린푸드’라는 이름으로 저탄소

농축산물 홈페이지를 운영하고 있음. 이 홈페이지 등 다양한 매체를 통하여 저탄소 농축산물의 탄소저감량 등의 정보를 소비자들이 알 수 있도록 하는 방안을 고려해야 함.

- 소비자 홍보와 판촉 활동을 하여 소비 확대를 유도할 수 있는 방안을 모색해야 함. 본 사업에 들어가기 전에 백화점 및 대형마트 등과 미리 협의하여 홍보할 수 있도록 준비해야 함.
 - 현재 많은 백화점 및 대형마트에 별도의 친환경농산물 코너가 마련되어 있는데, 저탄소 농축산물도 잘 눈에 잘 보일 수 있는 공간에 배치한다면 지, 표시를 하여 소비자들의 관심을 유도하고 실제 구매로 이어질 수 있도록 해야 함.
- 이밖에 탄소성적표지(저탄소인증)와 연계하여 저탄소 농축산물 인증을 받은 농축산물을 원료로 한 가공식품이 탄소성적표지(저탄소인증)를 용이하게 취득할 수 있도록 한다면 판로확대의 기회가 마련될 수 있음. 이를 위해서는 농식품부(농업기술실용화재단)와 환경부(환경산업기술원) 간의 협력이 필요할 것으로 판단됨.
- 또한 정부는 탄소포인트 제도를 운영하고 있음. 저탄소 농축산물 구매하면 탄소포인트를 적립할 수 있도록 탄소포인트제도와 연계하는 방안도 고려해 볼 수 있음.
 - 현재 탄소포인트 제도는 환경부에서 총괄하며 한국환경공단에서 운영하고 있음. 에너지(전기, 수도, 가스)절약 시 환경부 및 각 지자체에서 감축량을 선정하여 탄소포인트로 제공함. 포인트당 2원 이내로 인센티브를 제공하고 있음.
 - 포인트는 그린카드를 발급받은 경우 제휴가맹점에서 현금처럼 사용할 수 있고, 그렇지 않은 경우에는 현금, 상품권, 종량제봉투 등으로 받을 수 있음.

- 저탄소 농축산물을 구매하는 경우, 해당 농축산물의 온실가스 감축량에 따라 포인트를 지급하는 방안을 생각할 수 있음. 이를 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 탄소저감량을 표시해야 함.

2.2.7. 신뢰성 있는 활동 데이터베이스 구축

- 지금까지 농업부문에서 온실가스를 저감하기 위한 많은 기술들이 개발되었고 지금도 온실가스 저감을 위한 많은 연구들을 진행 중에 있음. 이러한 기술들을 농가 현장에 적용하여 국가 차원에서 온실가스 감축량으로 인정받기 위해서는 배출량 및 감축량에 대한 산정·보고·검증 (MRV: Mearsurable, Reportable, Verifiable)체계가 구축되고 가능해야 함.
- 산정·보고·검증(MRV)체계를 구축하고 뒷받침하기 위해서는 신뢰할 수 있는 활동자료(통계자료)가 구축되어야 함.
 - 농업분야의 경우 다른 산업분야와는 달리 자연환경에서 농업활동을 통해 발생되고 감축되는 온실가스 배출량을 측정하고, 검증하는 것이 쉽지가 않기 때문에 벼논에서 물 관리, 유기물 투입량 및 비료 사용량, 가축 분뇨 투입량 등 온실가스 배출에 영향을 미치는 다양한 통계자료를 구축하고 신뢰성을 확보하는 것이 중요함.
- 2010년 농업총조사에서 벼논 물 관리 방법에 관한 통계자료를 구축함. 그러나 이는 5년 단위 총조사임. 따라서 매년 물 관리 방법에 대한 통계 조사가 필요함. 이러한 통계 자료가 구축되어야 2020년 벼논에서 간단관개를 통한 온실가스 저감 목표 달성이 가능할 것임.
- 2020년 농업부문 온실가스 감축 목표 달성을 위해 경지면적당 화학비료 사용량을 줄이기 위한 감축 목표가 수립되었음. 그러나 현재 비료 사용량 통계는 실제 농경지 투입량이 아닌 생산량 통계로 구축되어 있고, 이 또한 논

과 밭 구분이 되어있지 않음. 정확한 온실가스 배출량 산정 및 감축 잠재량 산정을 위해서는 논과 밭으로 구분된 화학비료 투입량에 대한 활동자료 구축이 시급한 실정임. 더불어 Tier 2 수준의 배출계수 개발 적용을 위해서는 작물별 화학비료 투입량에 대한 통계가 필요함.

제 7 장

요약 및 결론

- 세계는 국제협약을 통해 온실가스 의무감축을 현실화하고 있음. 우리나라도 2009년 11월 2020년까지 배출전망치 대비 30% 감축을 발표하였으며, 농업 부문 감축목표는 5.2%가 할당되었음. 현 정부 들어 기후변화 시대에 대응한 적극적 대처를 주요 국정과제로 제시하였으며, 2013년 5월 국가 온실가스 감축 로드맵을 수립키로 결정함에 따라 농업, 식품 부문도 온실가스 감축 잠재량 분석을 토대로 온실가스 감축을 위한 실천전략 도출 연구가 요구됨.
- 정책적인 목표를 반영하여 농업·식품 부문 온실가스 감축잠재량 분석
 - 농업·식품 분야의 감축기술 DB 구축 및 농업·식품 분야의 여건 변화를 반영한 감축잠재량 분석
- 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시
 - 저탄소 농업기술의 개발·보급, 신재생에너지 이용 확대, 에너지 절감시설 확대 등 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시함.
- 이 연구의 목적은 정책적인 목표를 반영하여 농업·식품 부문 온실가스 감축 잠재량을 분석하고, 저탄소 농업기술의 개발·보급, 신재생에너지 이용 확대, 에너지 절감시설 확대 등 온실가스 감축을 위한 실천전략을 제시하는데

있음.

- 농가들의 저탄소농업 기술적용 시 애로사항은 ‘저탄소농업 기술 적용에 따른 단보당 수량 감소’(25.7%), ‘저탄소 농산물의 인지도가 낮아 가격차별화가 되지 않은 점’(24.6%), ‘노동력 투입량 증가’(21.7%) 등이며, 보급 방안으로는 ‘직불제 등 인센티브 제공’(42.0%), ‘저탄소 농업기술의 기술력 향상’(17.0%), ‘새로운 저탄소농업기술의 개발 및 보급’ (14.1%) 등으로 나타남.
- 농업부문 비에너지분야 온실가스 배출량 산정은 기본적으로 배출계수에 활동자료를 곱하여 이루어지며, 농업, 식품부문 등 에너지분야는 에너지경제연구원의 EGMS모형을 통해 전망됨. 2020년 농업부문 온실가스 배출전망치는 에너지 9,685천 톤과 비에너지 18,801천 톤을 합하여 전체 28,486천 톤임. 비에너지 분야의 경우 경종부문이 12,418천 톤(43.6%), 축산부문이 6,383천 톤 (22.4%)이 될 전망이다. 2020년 식품분야 온실가스 배출전망치는 5,822천 톤으로 전망되고 있음.
- 비에너지분야의 감축잠재량은 경종부문의 경우 논 간단관개 면적 확대 142천 톤(0.5%) 화학비료 사용절감 93천 톤(0.3%)으로, 축산부문의 경우 가축분뇨 에너지화 및 공동자원화 시설 확대 320천 톤(1.0%), 양질조사료 재배 면적 및 가축급여 확대 80천 톤(0.3%)으로 분석되었음.
- 에너지분야의 감축잠재량은 신재생 에너지부문의 경우 신재생 에너지를 이용하는 냉난방기 설치 지원 380천 톤(1.3%), 에너지절감시설부문의 경우 에너지 절감시설 보급 확대 470천 톤(1.7%), 식품부문의 경우 전동기, 건조기, 고효율 가스보일러의 효율개선 308천 톤(5.3%)로 분석되었음.
- 주요국의 기후변화 대응책을 살펴본 결과, 미국의 경우 AgSTAR 프로그램에 의해 퇴비를 관리하여 CH₄을 저감함. 또 미국, 일본, 호주는 배출권거래

제를 통해 상쇄 크레딧을 제공하고 있음. 일본은 소비측면에서 ‘CO₂ 표시하기’, ‘지역소비를 위한 지역생산’ 등의 정책이 있고, 생산측면에서 ‘환경보전형농업 직접지원 교부금’ 정책이 있음. 영국의 경우 질소 민감지역 농업 프로그램을 통해 수질오염 통합패키지 활용하여 간접적 N₂O를 저감하고 있음.

- 농업부문의 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 논 물관리, 장내발효 개선 등 감축기술 보급을 확대하고, 가축분뇨 에너지화 시설, 공동자원화시설 설치를 증시킴, 신재생에너지 이용 및 에너지 절감 시설 보급을 확대할 필요가 있음. 또한 저탄소 농업 실현을 지원하기 위해 다양한 재배기술을 개발할 수 있도록 연구시설을 직접 지원해 주거나 민간 기업이 연구 및 개발에 투자할 수 있도록 투자환경 조성 필요 있음.
- 농업인의 온실가스 감축 참여 활성화를 위해 ‘농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업’ 추진이 필요하고, ‘저탄소 농축산물 인증제’를 평가·보완하여 2015년부터 본사업 추진이 필요함. 뿐만 아니라 배출권거래시장이 적절히 활용될 수 있도록 하고, 메뉴방식의 저탄소 직불제 도입을 고려할 필요가 있음. 더 나아가 저탄소 농축산물의 소비 촉진, 신뢰성 있는 활동 데이터베이스 구축 등이 요구됨.

부록 1

감축옵션 인벤토리

부표 1. 농업부문 온실가스 완화옵션 인벤토리

	범 주	내 용
경제적 수단	① 배출권거래제	<ul style="list-style-type: none"> 농림축산식품부문의 탄소상쇄 오프셋 배출권거래제에 온실가스 조기감축분 인정
	② 탄소세	<ul style="list-style-type: none"> 화석연료사용 농자재에 대한 탄소세 도입
	③ 보조금 지급	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소농업직불제의 도입 고효율 에너지 및 신재생에너지 시스템 도입에 대한 보조금 지급
규제적 수단	④ 화학비료 및 퇴액비 살포 규제	<ul style="list-style-type: none"> 화학비료 사용기준, 퇴액비 살포기준 설정 가축사육두수 제한
	⑤ 에너지 사용 규제	<ul style="list-style-type: none"> 바이오에너지 의무사용 비율할당
	⑥ 목표관리제 적용	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 식품가공업체 목표관리제 적용
기술개발 (R&D)	⑦ 저탄소 농법개발	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축기술(무경운, 물관리 등) 개발 농경지 토양보전기술개발 사회경제적 영향분석 온실가스 감축 실용화 기술개발
	⑧ 온실가스 흡수	<ul style="list-style-type: none"> 탄소고정 및 흡수 활용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> 토양탄소/해양탄소 관리기술 개발 과수의 탄소고정기술 개발 농경지 토양탄소 저장에 의한 탄소배출 감축량 예측 및 검증 프로그램 개발
	⑨ 에너지 사용	<ul style="list-style-type: none"> 농업시설 보온력 향상기술 개발 지열·공기열 신재생에너지 활용기술 개발
통계 및 DB 시스템	⑩ 온실가스 배출/흡수량 통계	<ul style="list-style-type: none"> 배출 및 흡수 인벤토리 통계 시스템 구축 농경지 토양탄소 변화 장기 모니터링 시스템 구축
	⑪ 에너지 사용량 통계	<ul style="list-style-type: none"> 지역별 바이오매스 및 농업용 에너지사용량 DB구축
	⑫ 농업환경자원관리	<ul style="list-style-type: none"> 농업환경자원관리 시스템 구축
인력양성 및 교육	⑬ 인력양성	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 농업기술교육 전문인력 양성 온실가스 산정·보고·검증(MRV) 부문의 전문인력 양성
	⑭ 교육·홍보	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 농법적용 교육 온실가스 감축 실용화기술 매뉴얼 활용 교육 탄소라벨링 및 푸드마일리지에 대한 소비자 교육, 생산자 교육

자료: 김창길 등(2011).

부록 2

농업부문 온실가스 감축 R&D 주요 과제별 계획

주요 연구과제	단계별 목표		
	현재(~'13)	중기('14~'18)	장기('19~'23)
저탄소 농작물 생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •무경운 최소경운 등 제배방법 별 토양특성 구명 	<ul style="list-style-type: none"> •식량작물 저탄소 생산 제배 기술별 메뉴얼 개발 	<ul style="list-style-type: none"> •식량작물 저탄소 생산 제배 기술 국가 DB 구축
장내발효 메탄저감 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •메탄생성균 배양기술 개발 (초기단계) •메탄저감율 : 0% 	<ul style="list-style-type: none"> •메탄생성균 배양기술 개발 (활용단계) •메탄저감율 : 3% 	<ul style="list-style-type: none"> •메탄 생성 제어 기술 개발 •메탄저감율 : 6%
농경지 탄소저장 및 격리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •탄소격리효과 분석 : 2종 *왕겨 고추대 등 탄화물 활용기술 실험 중 	<ul style="list-style-type: none"> •탄소격리 요소 기술 : 2종 •LCA적용 탄소순환 영향평가 	<ul style="list-style-type: none"> •탄소저장·격리 기반 체계 구축 •격리 지속성 증진기술 개발
시설원에 에너지 이용 효율 향상	<ul style="list-style-type: none"> •근권 냉난방 등 2종 	<ul style="list-style-type: none"> •작물 특성 고려 국소 냉난방 4종 	<ul style="list-style-type: none"> •생육 단계별 정밀 국소냉난방 기술 7종
	<ul style="list-style-type: none"> •축열 물주머니, 잠열재 이용 등 3종 	<ul style="list-style-type: none"> •온실내 에너지 밀도 균등화 기술 등 4종 	<ul style="list-style-type: none"> •초전도체 이용 축열 기술 등 5종
	<ul style="list-style-type: none"> •발전소 폐열 이용 기술 	<ul style="list-style-type: none"> •대규모농업시설단별집단에너지공급 기술 	<ul style="list-style-type: none"> •지역밀 열병합 냉난방 에너지 공급 기술
에너지 절감 온실 및 축사시설 개발	<ul style="list-style-type: none"> •다검보온커튼 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> •유리온실 보온성 향상 커튼 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> •고기밀 온실용 단열 소재 적용
	<ul style="list-style-type: none"> •토마토 등 맞춤형 온실 모델 개발 중 	<ul style="list-style-type: none"> •에너지 최소형 온실 모델 6종 	<ul style="list-style-type: none"> •에너지 자립형 온실 모델 4종
신재생에너지 이용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •지열, 폐열, 여과수열 및 지하 공기 열원 히트펌프 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> •열원 다양화 및 히트펌프 성능 향상 	<ul style="list-style-type: none"> •다양한 신재생에너지 활용 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> •유기성 폐수 통합처리 및 에너지화 기술 	<ul style="list-style-type: none"> •폐수 미생물 처리 및 전기 생산 효율 향상 	<ul style="list-style-type: none"> •메탄 저감 미생물 연료전지 실용화
바이오 매스 활용 기술	<ul style="list-style-type: none"> •섬유질계 바이오매스 자원 분석 	<ul style="list-style-type: none"> •역새 등 바이오매스 대량생산 기술 개발 •파일럿 규모의 당화 및 발효 최적공정 기술 	<ul style="list-style-type: none"> •생산/가공/이용 종합화

참고 문헌

- 김건엽 등 6인. 2005. 「IPCC지침서에 의한 농업부문 온실가스 총배출 및 흡수량 산정」. 농업과학기술원.
- 김건엽, 노기안, 심교문, 정현철, 소규호, 고병구, 이정보, 고지연. 2010. 온실가스 저감을 위한 벼 재배 기술. 국립농업과학원.
- 김건엽, 소규호, 심교문, 정현철, 이슬비. 2011. 온실가스 저감을 위한 발작물 재배 기술. 국립농업과학원.
- 김건엽, 이종식, 정현철, 최은정, 소규호, 윤순강. 2014. 논에서 온실가스 감축을 위한 실용화 추천 기술. 국립농업과학원.
- 김명환 등 5인. 2008. 「농업부문 전망모형 구축 연구(2/2차년도)」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 김태영, 신용광. 2006. 「기후변화 협약에 따른 농업부문 과급영향 분석」. 연구보고서 R520. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 등 4인. 2007. 「교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응 전략」. 연구보고서 R541. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 등 4인. 2010. 「2020년 농업활동량 변화 및 온실가스 배출량 전망」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 등 4인. 2011. 「기후변화 대응을 위한 농림수산식품산업 전략수립 연구」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길·김정섭·김윤형·정학균·채중현·임지은·김태훈. 2011. 「농업·농촌부문 녹색성장 추진 전략 개발(2/2차연도)」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 등 3인. 2013. 「저탄소농업직불제 도입방안」. 한국농촌경제연구원.
- 노기안 등. 2009a. 「기후변화협약 대응 농경지 온실가스 배출 및 흡수 평가」. 국립농업과학원.
- 노기안 등. 2009b. 「온실가스 저감을 위한 벼 재배 기술」. 국립농업과학원.
- 노기안, 김건엽, 심교문, 정현철, 소규호, 이덕배, 박규현. 2010. 우리나라 농경지 온실가스 배출량 평가. 국립농업과학원.
- 녹색성장위원회. 2009. 「국가 온실가스 중기(2020년) 감축목표의 설정방안」.
- 농림수산식품기술기획평가원. 2011. 온실가스 배출량 감소를 위한 농업의 역할과 전략. 「I-webzine」 제52호. 5-10.
- 농림수산식품부. 2011a. 「농림수산식품분야 기후변화 대응 기본계획안(2011~'20)」.
- 농림수산식품부. 2011b. 「농림수산식품 기후변화 대응 세부추진계획(2011~'20)」. 녹색미래

전략과.

농림수산물통계연보. 각 연도.

농업과학기술원. 2005. 「농업부문 온실가스 배출저감 기술개발」.

농업기술실용화재단. 2011. 「녹색농업기술 편람」

농촌진흥청·국립농업과학원. 2009. 「온실가스 저감을 위한 벼 재배 기술」.

농촌진흥청. 2010. 「헤어리베치 표준영농교본 175」.

박석호 등 5인. 2010. 「에너지 및 CO2 저감을 위한 농업기계 효율향상기술 개발」. 국립농업과학원.

방기열 등 14인. 2004. 「기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구」. 에너지경제연구원.

산림청. 2008. 「기후변화가 임업·임산업에 미치는 영향 및 대응연구」.

신용광, 윤성호, 박무언. 1995. “한국 논토양에서 물관리와 볏짚 시용에 따른 메탄 배출량의 추정.” 「한국토양비료학회지」 28(3): 261-265.

신용광 등. 2005. “농업여건 변화에 따른 우리나라 농업부문 온실가스 배출량 추정 및 전망 예측.” 「OECD 농업환경지표의 개발과 전망」. pp.119-134. 한국환경농학회 2005년 춘계전문학술워크숍.

오진규 등 5인 1995. 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구」. 에너지경제연구원.

온실가스종합정보센터. 2014. 「2013년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」.

유동현. 2004. 「산업공정부문 온실가스 배출전망」. 에너지경제연구원.

유승직. 2008. “온실가스 배출 현황, 전망 및 감축 잠재량.” 「녹색성장: 국가성장전략의 모색」. 한국개발연구원.

이상곤 등 19인. 2003. 「기후변화협약 및 교토의정서 대응전략 연구」. 에너지경제연구원.

이상민, 김경덕, 송성환. 2008. 「기후변화협약에 대응한 산림의 역할과 관리 최적화 방안」 R607. 한국농촌경제연구원.

임재규. 2006. 「기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축 연구(제3차년도)」. 에너지경제연구원.

정경화 등 8인. 2008. 「기후변화협약 대응 국가온실가스 IPCC 신규 가이드라인 적용을 위한 기획연구-총괄보고서 제2권-」. 에너지경제연구원.

지식경제부. 2009.12.29. “2007년 우리나라 온실가스 총배출량 전년대비 2.9% 증가.” 보도 자료.

Australian Government. Department of Climate Change and Energy Efficiency. Agriculture Emissions Projections 2012.

- Australian Government. Department of Environment. 2013. Australia's Abatement Task and 2013 Emissions Projections.
- Department of Energy & Climate Change. 2011. UK greenhouse gas emissions statistics coverage. United Kingdom.
- Department for Environment, Food & Rural Affairs(DEFRA). 2013. Farming Statistics : Final Crop Areas, Yields, Livestock Populations and Agricultural Workforce at 1 June 2013. United Kingdom
- Department for Environment, Food & Rural Affairs(DEFRA). 2013. Agricultural Statistics and Climate Change 4th Edition. United Kingdom
- EPA. 2013. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2011
- IPCC. 1995. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 3). IPCC/OECD Joint Program.
- IPCC. 1996. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories.
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Khatri, Y., S. Solomou, and W. Wu. 1998. "Weather and Fluctuations in Agricultural Output, 1867-1913." *Research in Economic History* 18: 83-102.
- Malmsheimer, R.W., et al. 2008. "Forest management solutions for mitigating climate change in the United States." *Journal of Forestry* 106(3): 115-173.
- Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P. and Scialabba, N. 2009. Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation and Adaptation Potential of Sustainable Farming Systems. FAO, April 2009, Rev. 2.
- Solomou, S. and W. Wu. 1999. "Weather Effects on European Agricultural Output, 1850-1913." *European Review of Economic History* 3, 351-373.
- Tubiello, F.N. and G. Fischer. 2007. "Reducing Climate Change Impacts on Agriculture: Global and Regional Effects of Mitigation, 2000-2080." *Technological Forecasting & Social Change*, 74: 1030-1056.
- US Department of Agriculture(USDA). 2013. Greenhouse Gas Mitigation Options and Costs for Agricultural Land and Animal Production within the United States. USDA (http://www.usda.gov/oce/climate_change/mitigation_technologies/GHGMitigationProduction_Cost.htm)
- 日本 農林水産省. 2011. 地球温暖化対策. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/in->

[dex.html](#).

日本 農林水産省. 2013. 2011年度（平成23年度）の温室効果ガス排出量.

C2014-13

농업·식품분야 온실가스 감축잠재량 분석과 감축목표 달성전략

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25)
인 쇄 2014. 4.
발 행 2014. 4.
발행인 최세균
발행처 한국농촌경제연구원
130-710 서울특별시 동대문구 회기로 117-3
02-3299-4000 <http://www.krei.re.kr>
인 쇄 문원사
02-739-3911~5

-
- 이 책에 실린 내용은 한국농촌경제연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.
 - 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다. 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
-