

발간등록번호

11-1541000-001005-01

기후변화 대응을 위한 농림수산식품산업 전략수립 연구

2011. 11

연구기관: 한국농촌경제연구원

 농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 『기후변화 대응을 위한 농림수산식품산업 전략수립 연구』의 최종보고서로 제출합니다.

2011년 11월

연구기관명: 한국농촌경제연구원

연구책임자: 김 창 길

연구 원: 정 학 균

김 윤 형

김 태 훈

문 동 현

요 약

- 이 연구는 국가 온실가스 감축정책에 대응하여 합리적인 감축목표 계획을 도출하고 감축목표를 달성하기 위한 실효성 있는 정책프로그램을 제시하며, 기후변화가 농림수산식품산업에 미치는 영향분석과 정책진단을 통해 부문별 적절한 대응방안을 제시하기 위해 수행되었다.
- 농림수산부문의 에너지사용량 및 온실가스 배출특성을 분석한 결과 가온시설면적의 90% 이상에서 유류를 이용하여 가온을 하고 있어 유류 의존도가 매우 높은 것으로 나타났다. 경종부문에서 온실가스 배출량은 벼 재배에 의한 메탄 배출량과 화학비료나 축산분뇨의 농경지 투입에 의한 아산화질소 배출량이 대부분을 차지한다. 통계상 우리나라 경종부문 온실가스 배출량 감소추세는 벼 재배면적 감소에 기인하며, 실질적인 온실가스 감축기술 적용에 의한 것은 아닌 것으로 나타났다.
- 농림수산식품부문은 대부분의 영역에서 기후변화에 매우 취약한 것으로 보인다. 농업, 산림, 수산의 경우 생산량이 감소하고, 생산 적지가 변동하며, 병해충 발생 빈도가 증가하는 등 부정적인 영향이 심화되고 있다. 수자원의 경우 한반도의 기온이 1℃ 상승함에 따라 실제 증발산량이 3.4%~5.3% 변하고, 홍수 규모와 빈도가 증가할 것으로 전망되고 있다. 또, 식품·유통의 경우 각종 세균번식을 유도하여 식품 안전에 큰 위협이 되고, 농산물의 수급불안을 야기할 것으로 보인다.
- 농림수산식품산업분야 온실가스 감축잠재력을 분석한 결과, 농림어업분야의 경우 2020년 기준 2,611~3,626천톤(BAU 대비 9.0~12.5% 수준)으로, 식품분야의 경우 308천톤(BAU 대비 5.0% 수준)으로 산정되었다. 농림어업분

야 부문별 감축잠재량 추정결과 2020년 기준 농업 1,967~3,626천톤, 축산 617~1,071천톤, 수산 26~34천톤, 수자원 0.6~1.7천톤 등으로 나타났다.

- 온실가스 감축기술들을 대상으로 온실가스 한 단위 감축에 추가적으로 들어가는 비용으로 정의되는 한계감축비용을 분석한 결과 지열히트펌프가 가장 비용효과적인 기술로 나타났고, 다겹보온커튼, 잎들깨 LED 적용, 녹비작물 재배, 바이오가스플랜트 등의 순으로 나타났다. 한계감축비용분석을 통한 비용효과적 대책의 정책적 우선순위 결정은 예산제약 하에서 농림수산식품 산업분야 온실가스 감축목표를 효과적으로 달성할 수 있음을 시사한다.
- 주요국의 기후변화 대응책을 살펴본 결과 대체적으로 유사하나 국가별 특성에 따른 전략들도 있는 것으로 나타났다. 미국의 경우 농지를 휴경지와 경작지로 구분하여 온실가스 완화프로그램을 실시하고 있으며, 특히 자발적 탄소시장인 시카고 기후거래소 등을 통하여 농업부문 온실가스 감축에 대하여 오프셋 크레딧을 제공하고 있다. 일본은 ‘CO₂ 표시하기’를 통하여 저탄소제품의 소비를 촉진하고 있으며, 2011년부터 환경보전 효과가 높은 영농활동에 대한 메뉴방식의 저탄소 직접지불제도(환경보전형농업 직접지원 교부금)를 추진하고 있다.
- 영국의 기후변화 대응전략을 살펴보면, 질소 민감지역 농업프로그램을 통해 간접적인 온실가스를 저감하는 방안을 추진하고 있으며 독일의 경우 농업투자지원 프로그램을 통하여 온실가스 감축에 대한 투자를 확대하고 있는데, 바이오가스시스템과 유기퇴비 저장에 많은 투자가 이루어지고 있다. 덴마크의 경우 지속가능한 농업·수생환경 행동계획을 단계적으로 추진하고 있으며, 스위스의 경우 생태적 표준과 직불제를 연계하여 생태적 표준을 준수하는 농가에 직불금을 지급하고 있다.
- 네덜란드의 기후변화 대응전략을 살펴보면, 온실원예정책을 통하여 에너지

효율성을 크게 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, 가축사육규모를 제한하여 CH₄ 배출량을 줄이고, 기후완충지대를 설치하여 기후변화로 인한 피해를 줄이는데 역점을 두고 있다. 호주의 경우 탄소오염저감계획(CPRS) 하에서 탄소상쇄 크레딧과 자발적 탄소상쇄 크레딧을 제공하고 있으며, 농업시스템의 복원력 배양 및 지역사회 역량구축에 중점을 두고 있다.

- 기후변화 완화전략 추진을 위한 핵심과제로는 배출권거래제 도입, 저탄소직불제 프로그램 도입 등 경제적 수단의 활용, 규제적 수단의 활용, 연구 및 기술개발, 기술보급 및 교육, 온실가스 흡수원 활용 등이 필요한 것으로 나타났다. 기후변화 적응전략 추진을 위한 핵심과제로는 적응기술개발, 기반시설관리 강화, 경제적 인센티브 활용, 인력양성 및 교육 강화, 모니터링 시스템 구축, 농가적용 기술·경영 활용 등이 필요한 것으로 나타났다.
- 기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략에 관한 체계적인 연구를 위해서는 농학·생태학·농공학·수문학·기상학·농업경제학 등 학제간의 공동연구가 중요하다. 보다 신뢰성 있는 기후변화 영향분석이 이루어지기 위해서는 기후변화 시나리오별 예측결과와 농업적 특성을 연계한 시뮬레이션 분석과 사회경제적 요인을 연계한 경제적 분석 등 통합적 모형개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

ABSTRACT

Strategies for Agriculture, Food, Forestry and Fishery Industries against Climate Change

This study aims to establish schemes for rationally reducing greenhouse gas to comply with the national policy for greenhouse gas abatement, to present effective policy programs for attaining the abatement target, and to present appropriate solutions for each sectors through analysis of the impact of climate change on the agro-fishery food industry and policy analysis.

This report consists of eight chapters. Chapter 1 describes the necessity and purpose of this study, a review of prior studies, and the method and scope of this study. Chapter 2 describes an analysis of current situation and related policies for the agro-fishery and food industry in connection with climate change. Chapter 3 describes approaches to coping with climate changes, the impact of climate change, approaches to adapting to climate change, approaches to mitigating greenhouse gas, etc. Chapter 4 describes the impact of climate change on agriculture, forestry, fishery, water resources, food and distribution. Chapter 5 describes the current system for managing the greenhouse gas abatement target, estimation of greenhouse gas abatement, and analysis of marginal abatement costs, in the agro-fishery food industry. Chapter 6 describes cases of actions in the agriculture sector of major countries including the US, Japan, the UK, Germany, Denmark, Switzerland and Australia, against climate change. Chapter 7 describes comprehensive strategies to cope with climate change, e.g., the approaches to establishing strategies, mitigation strategies and adaptation strategies, strategies against climate change, overhaul of regulations and systems. Lastly, Chapter 8 provides a summary and concluding remarks.

The analysis of the volume of used energy and the characteristics of emitted greenhouse gas in the agro-fishery sector showed that oil has been used for heating in more than 90% of horticultural facility area, which implies a high dependence on oil for heating. Most of emitted greenhouse gases from the tilling sector are attributed to the emission of methane by cultivating rice and nitrous oxide by inputting chemical fertilizers or livestock excretions into agricultural land. According to statistics, these is a trend of reduced

greenhouse gas in the tilling sector of Korea as a result of reduced area for rice cultivation, and is not led by substantial application of technology for abating greenhouse gas.

It is considered that most of the agro-fishery food sector is vulnerable to climate change. In agriculture, forestry and fishery, more and more negative impacts have been observed in relation to climate change, e.g., reductions in production volume, changing patterns optimum land for production, increased occurrence of diseases and harmful pests, etc. With respect to the water resources, as the temperature in the Korean peninsula increases by 1°C, the actual volume of evaporation has changed by 3.4%~5.3%, and it is predicted that the scale and the frequency of floods will increase. Also, in terms of food and distribution, bacterial pests will multiply to significantly threaten food safety, and to result in unstable demand and supply of agricultural products.

The analysis of potential greenhouse gas abatement in the agro-fishery food industry is estimated from 2,611,000~3,626,000 tons (compared to BAU, 9.0~12.5%) in the agriculture, forestry and fishery industry, and 308,000 tons (compared to BAU, 5.0%) in the food industry, by 2020. Estimation of the volume of potential abatement in each sector of the agriculture, forestry and fishery industry showed 1,967,000~3,626,000 tons in agriculture, 617,000~1,071,000 tons in livestock farming, 26,000~34,000 tons in fishery, and 600~1,700 tons in water resources, by 2020.

With respect to greenhouse gas abatement technologies, analysis of the marginal abatement costs, which is defined as an additional cost for unit abatement of greenhouse gas, showed that geothermal heat pumps were the most cost-effective technology, followed by multi-ply thermal insulation curtains, application of LED to perilla, cultivation of green manure crops, and biogas plants for reduction of greenhouse gases. This implies that decision of policy priority for the cost effective solutions through analysis of marginal abatement costs can contribute to achieving the target of greenhouse gas abatement in the agro-fishery food industry with the limited budgets.

Review of the solutions by major countries against climate change showed similarities, but some strategy were shown to be unique to characteristics of each country. For instance, the US has divided agricultural land into unused land and cultivated land to apply a program for mitigating greenhouse gas, and provides offset credits for abating greenhouse gas in agriculture through the Chicago Climate Exchange, which is the voluntary

carbon market. Japan encourages the consumption of low-carbon products through 'CO₂ labelling' and also has employed the Low Carbon Direct Payment System of menu type (direct support grant for environment conserving farming) for farming of high environment conservation since 2011. The UK's program against climate change includes a scheme for indirectly reducing greenhouse gas through the agricultural programs in nitrogen-sensitive regions. Germany has increasingly in greenhouse gas abatement through the programs for supporting investment in agriculture, and great investment has been made in the biogas system and storage of organic compost. Denmark has promoted the schemes for sustainable agriculture and actions for the aquatic environment step by step. Switzerland has connected an ecological standard to the direct payment system to grant the direct payment to farmers who complied with the ecological standard.

Climate change initiatives in the Netherlands aim at significantly improving energy efficiency through the greenhouse horticulture policy, and focus on limiting the scale of livestock farming to reduce emitted CH₄ and on installing climate buffer zones to reduce damages due to climate change. Australia provides carbon offset credits and voluntary carbon offset credits according to the Carbon Pollution Reduction Scheme (CPRS), and focuses on improving the recovering capability of the agricultural system and establishment of the capability of local communities.

Required key projects for promoting the strategy for mitigating climate change include use of economic measures, e.g., introduction of emission trading and introduction of the low carbon direct payment programs, use of regulation measures, research and technology development, dissemination of technology and training, use of greenhouse gas absorption sources. Required key projects for promoting strategies for adaptation to climate change include development of adaptation technology, enhancement of infrastructure management, use of economic incentives, enhancement of human power training, establishment of monitoring systems, use of application and management of technology to farmers, etc.

Interdisciplinary studies among agriculture, ecology, agricultural engineering, hydrology, meteorology, agricultural economics, etc., are very important for the systematic analysis of the impact of climate change on agriculture and developing strategies to cope with climate change. For more reliable analysis of the impact of climate change, it is necessary to continue integrated model development, e.g., analysis of simulations to connect the

x

prediction result for each climate change scenario to specific agricultural characteristics, and economic analysis to draw connections to socio-economic factors.

Researchers: Chang-Gil Kim, Hak-Kyun Jeong, Yoon-Hyung Kim, Tae-Hoon
Kim and Dong-Hyun Moon

Research period: 2011. 6. - 2011. 11.

E-mail address: changgil@krei.re.kr

차 례

제1장 서론

- 1. 연구 배경 및 목적 1
- 2. 선행연구 검토 3
- 3. 연구방법과 범위 8

제2장 농림수산식품산업 여건변화 및 정책 진단

- 1. 농림수산·식품분야 여건변화 진단 12
- 2. 기상변화와 농업부문의 수급불안정 진단 15
- 3. 농림수산부문의 에너지사용량 및 온실가스 배출특성 분석 18
- 4. 기후변화 대응 농림수산식품분야 정책에 대한 평가 24

제3장 농림수산식품부문의 기후변화 대응 방식

- 1. 기후변화 대응의 접근방식 35
- 2. 기후변화의 파급 영향 38
- 3. 기후변화 적응의 접근방법 40
- 4. 온실가스 완화의 접근방법 41

제4장 기후변화에 따른 농림수산식품산업의 부문별 영향

- 1. 농림수산식품산업에 미치는 부문별 영향 46
- 2. 기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향 84

제5장 농림수산식품산업 분야 온실가스 감축잠재력 분석

- 1. 농림수산식품산업분야의 온실가스 감축목표 89
- 2. 농림수산식품부문의 온실가스 감축잠재량 추정 94

3. 한계감축비용분석 114

제6장 국제기구 및 주요국의 기후변화 대응 사례

1. 국제기구의 농업부문 기후변화 대응 동향 118
2. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책 135

제7장 농림수산식품부문의 기후변화 대응 전략

1. 전략수립의 접근방법 212
2. 기후변화 완화 전략 216
3. 기후변화 적응 전략 246
4. 기후변화 대응을 위한 법과 제도적 정비 264

제8장 요약 및 결론 269

부록 272

참고문헌 275

표 차 례

제2장

표 2- 1.	농림어업부문의 생산구조 변화추이	13
표 2- 2.	식품산업의 시장규모 변화추이	14
표 2- 3.	월평균 호우 발생일수(1981~2010년)	16
표 2- 4.	시설채소 가온방법별 온실현황	18
표 2- 5.	어업용 면세유 공급실적	18
표 2- 6.	화학비료 소비량	19
표 2- 7.	우리나라 농업부문 온실가스 배출량(2009) 평가 결과	21
표 2- 8.	우리나라 농업부문 온실가스 배출현황(2009)	21
표 2- 9.	제조업·건설업과 농업의 탄소생산성 변화 추이 (GDP 2005년 기준)	23
표 2-10.	제3차 종합대책 관련 농림부문의 사업 내용 및 실적	25
표 2-11.	제4차 종합대책 관련 농림부문의 사업 내용 및 실적	27
표 2-12.	농업부문의 녹색성장 추진정책의 주요 내용	29
표 2-13.	농림수산식품분야 기후변화 대응 기본계획(2011~2020) 사업내용	33

제3장

표 3-1.	농업분야의 적용 가능한 적응 인벤토리	40
표 3-2.	온실가스 감축수단의 분류	42
표 3-3.	농업부문의 온실가스 저감기술 목록	45

제4장

표 4- 1.	품목별 온난화에 따른 향후 주산지 예측	51
---------	-----------------------------	----

표 4- 2.	등속온도 상승에 따른 쌀 품질 저하	52
표 4- 3.	2002~2003년과 2006~2007년의 미곡 단수 정체 요인별 기여도	53
표 4- 4.	CERES-Rice모형을 이용한 중장기 쌀 생산 예측	53
표 4- 5.	벼에 발생하는 주요 병	59
표 4- 6.	벼에 발생하는 주요 해충	59
표 4- 7.	기후변화에 의한 매개체의 영향	80
표 4- 8.	기후변화로 인한 식품가공과정별 잠재적 오염원	80
표 4- 9.	기후변화에 따른 농업부문 총소득의 변화	87
표 4-10.	기후변화에 따른 품목별 생산량변화율	88

제5장

표 5- 1.	농업분야 온실가스 배출량 산정 항목 분류	90
표 5- 2.	농림어업, 식품분야 BAU 전망	91
표 5- 3.	분야별 관리업체 수	92
표 5- 4.	관리업체 지정기준(온실가스 에너지 목표관리제 시행령 제29조 제1항)	92
표 5- 5.	농림어업, 식품분야 감축목표	93
표 5- 6.	온실가스 감축기술 목록	96
표 5- 7.	벼논 간단관개 면적 비율	97
표 5- 8.	청보리 생산전망치	100
표 5- 9.	퇴액비와 시설개선 시나리오	101
표 5-10.	바이오가스 생산시설 설치 계획 시나리오	102
표 5-11.	농림어업분야 감축잠재량 추정	110
표 5-12.	농림어업분야 부문별 감축잠재량 추정	111
표 5-13.	식품분야 감축잠재량 추정	112
표 5-14.	녹색기술의 한계감축비용 도출	117

제6장

표 6- 1. 시점과 책임주체별 적응 옵션의 예시 119

표 6- 2. 기후변화 영향평가를 위해 농업관련 지표의 제안된 구조 121

표 6- 3. 농가수준과 사회전체 수준 적응전략 122

표 6- 4. 작물재배에서의 온실가스 감축 조치 123

표 6- 5. 미국의 부문별 온실가스 배출량과 탄소저장의 최근 경향 136

표 6- 6. CRP 프로그램 등록을 통한 탄소저감 효과 141

표 6- 7. 2011 CSP 연간 직불금 지급액 143

표 6- 8. 미국의 전력사용과 관련된 경제부문별 온실가스 배출량의
최근 경향 146

표 6- 9. 농림분야 크레딧의 지역별 분포 152

표 6-10. 농림 분야 크레딧의 형태별 분포 153

표 6-11. 일본의 농업부문 기후변화 대응 정책사업(2011년) 158

표 6-12. 일본 농림수산성의 부문별 온실가스 감축량 추정 159

표 6-13. 메루헨로즈사의 배출량 저감 계획 162

표 6-14. 농업부문의 온실가스 배출량(UNFCCC 범위) 165

표 6-15. 영국의 배출원별 온실가스 배출량 165

표 6-16. 1990년 이후 독일의 온실가스 배출량의 경향 174

표 6-17. 1990년 이후 독일의 온실가스 배출량의 경향 180

표 6-18. 2007년 스위스의 부문별 온실가스 배출량 187

표 6-19. 2006-2007년 호주의 부문별 온실가스 배출량 197

표 6-20. 2006-2007년 호주의 부문별 매탄 배출량 198

표 6-21. 2006-2007년 호주의 부문별 아산화질소 배출량 198

표 6-22. 주요국의 기후변화 대응책 사례분석 시사점 207

표 6-23. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(미국, 일본) 208

표 6-24. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(영국, 독일) 209

표 6-25. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(덴마크, 스위스) 210

표 6-26. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(네덜란드, 호주) 211

제7장

표 7- 1.	농림수산식품부문 기후변화 완화대책 추진 로드맵	216
표 7- 2.	온실 가스 배출권 거래제에 관한 법률안의 주요 내용	217
표 7- 3.	메뉴 방식의 저탄소직불제 프로그램(안)	222
표 7- 4.	시설하우스 농작물에 대한 재해보험 사업시행지침	233
표 7- 5.	농림수산식품부문 기후변화 적응대책 추진 로드맵	246
표 7- 6.	분야별·단계별 기후변화 적응 연구개발 로드맵	248
표 7- 7.	권역별 기후변화 적응 기술개발 추진과제	250
표 7- 8.	주요 품목별 기후변화 적응대책	258

부록

부표 1.	농업부문 온실가스 완화옵션 인벤토리	272
부표 2.	농업부문 기후변화 적응옵션 인벤토리	273

그림 차례

제1장

그림	1-	1.	연구의 흐름도	11
----	----	----	---------------	----

제2장

그림	2-	1.	농림어업부문의 생산구조	13
그림	2-	2.	식품산업의 시장규모	14
그림	2-	3.	12시간 누적강수량 80mm이상 집중호우 발생빈도	15
그림	2-	4.	12시간 누적강수량 150mm이상 집중호우 발생빈도	16
그림	2-	5.	월평균 호우 발생일수의 퍼센티지 비율(1981~2010년)	17
그림	2-	6.	기상변화에 따른 국제곡물가격 변동 실태	17
그림	2-	7.	농업부문 온실가스 배출량 추이	20
그림	2-	8.	제조업 및 건설업의 탄소생산성 변화율 추이(2000년 기준) ...	23
그림	2-	9.	농업부문의 탄소생산성 변화율 추이(2000년 기준)	23

제3장

그림	3-	1.	기후변화 대응의 접근방식 체계	36
그림	3-	2.	기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 구조	38
그림	3-	3.	온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향	39
그림	3-	4.	온실가스 감축방법 구분	41
그림	3-	5.	농림수산식품부문의 온실가스 배출-흡수 구조	43

제4장

그림	4-	1.	연대별 사과 재배지역의 지역별 변동 현황	47
그림	4-	2.	‘후지’의 생육기 평균기온 상승 정도별 재배적지 변동 예측 ...	47

그림 4- 3.	연대별 복숭아 재배지역의 지역별 변동 현황	48
그림 4- 4.	한라봉 재배지역 변화	49
그림 4- 5.	기온상승시 스트로베리 구아바 재배가능지역 변동 예측도 ...	50
그림 4- 6.	참다래 재배면적 변화	50
그림 4- 7.	기후변화 전망에 따른 벼 생산성 변화 예측	54
그림 4- 8.	가을보리 재배지대 변화	55
그림 4- 9.	전북지역 벼 병해충 피해면적 추이	58
그림 4-10.	우리나라 산불 발생면적과 산사태 발생면적 변화	63
그림 4-11.	연강수량과 산사태 발생면적과의 관계	64
그림 4-12.	빠른 기후변화시나리오(A2)에 따른 소나무림의 적정 생육분포 범위 변화	67
그림 4-13.	우리나라 온대중부산림에 대한 기온상승 시뮬레이션	68
그림 4-14.	국립수산과학원 해양관측자료를 통한 최근 41년간 표층수온 상승 경향(상)과 일본 기상청 제공 전 세계 평균 표층수온 상승 경향(하)	70
그림 4-15.	IPCC AR4 사용 모델을 활용한 2000년 표층수온(좌상), 2000년 대비 2030년 표층수온 변동(우상), 2050년 표층수온 변동(좌하) 및 2100년 표층수온 변동(우하) 경향	71
그림 4-16.	고등어 어장 변화	74
그림 4-17.	농업기후지대별 연강수량 변화	76
그림 4-18.	기후변화에 따른 농업부문 연간 손실액의 변화 추이	88

제5장

그림 5- 1.	농림어업분야 부문별 감축잠재량 추정(시나리오 2 기준) ..	112
그림 5- 2.	농림어업분야 기술별 감축잠재량 추정(시나리오 2 기준) ..	113
그림 5- 3.	대안별 한계감축비용 비교: 농업부문 사례	115
그림 5- 4.	농업부문 녹색기술의 한계감축비용 비교	117

제6장

그림 6- 1.	기후변화 대응을 위한 관련주체별 협력 체계도	124
그림 6- 2.	2007년 미국의 배출원별 매탄 배출량	137
그림 6- 3.	2007년 미국의 배출원별 아산화질소 배출량	137
그림 6- 4.	CRP 일반등록 계약 토지의 에이커 당 연간 평균 보상액 (’08년)	142
그림 6- 5.	식생·지역에 따른 CRP 프로그램 일반계약참여 토지이용 현황	142
그림 6- 6.	환경개선장려계획 계약의 에이커 당 평균보상비(’08년)	144
그림 6- 7.	일본 경작지 면적의 변화	148
그림 6- 8.	일본 농업부문의 온실가스 배출량 추세	150
그림 6- 9.	온실가스 배출량과 LULUCF로 인한 상쇄량	150
그림 6-10.	온실가스 완화에 효과적인 지원 대상 영농활동	154
그림 6-11.	농업부문의 매탄과 아산화질소 배출량 추세	175
그림 6-12.	농업과 산림부문의 에너지 소비 및 집약도	180
그림 6-13.	네덜란드 농업의 총 부가가치 변화	192

제7장

그림 7- 1.	기후변화 대응을 위한 농업정책과 환경정책·에너지정책의 통합	213
그림 7- 2.	기후변화 대응 전략의 단계적 추진방안	214
그림 7- 3.	농식품 부문 기후변화 대응 정책추진 로드맵	215
그림 7- 4.	농업부문 탄소상쇄제도 운영체계의 구성도	218
그림 7- 5.	수도작의 온실가스 저감수단별 효과 비교	221
그림 7- 6.	농기계 에너지효율성 보조금 지급방안	230
그림 7- 7.	2020년 농업부문 온실가스 관리의 기본구조	245

제 1 장

서 론

1. 연구 배경 및 목적

1.1. 연구배경

- 기후변화는 지구온도의 평균적인 증가를 의미하며, 미래 사회의 변화를 주도할 메가트렌드이다. 기후변화가 가져올 환경변화에 대응하기 위해 온실가스 감축이 글로벌 어젠다로 등장하였고, 세계는 국제협약을 통해 온실가스 의무감축을 현실화하고 있다. 우리나라도 2020년 온실가스 배출 전망치 대비 30% 감축을 목표로 설정한 바 있다.
- 기후변화에 매우 취약한 농림수산식품부문은 온난화와 이상기상으로 농작물 생산량이 감소하고, 재배 적지가 변동하며, 병해충 발생 빈도가 증가하는 등 부정적인 영향이 심화되고 있다.
- 농림수산식품부문은 정부의 국가온실가스 감축정책에 대응하고, 기후변화에 따른 농산물 수급불안을 해소할 수 있는 체계적인 방안 마련이 시급하다. 이를 위해서는 기후변화가 농림수산식품산업에 미치는 영향을 체제적으로

분석하고, 식품공급체인 관점에서 농림수산식품산업의 역량을 검토함으로써 농림수산식품산업의 기후변화대응을 위한 실효성 있는 전략 개발이 필요하다. 뿐만 아니라 국가온실가스 중기감축목표에 대응하기 위해 농림수산식품산업의 온실가스 감축목표를 설정하고 감축방안을 마련할 필요가 있다.

- 기후변화가 농업분야에 미치는 부정적인 영향분석을 바탕으로 한 기후변화 적응전략 수립에 관한 연구는 상당히 이루어졌으나, 상대적으로 온실가스 감축 및 흡수와 관련된 기후변화 완화와 관련된 체계적인 연구는 부족한 실정이다.
- 기후변화에 대응한 지속가능한 농림수산식품산업 육성을 위해 기후변화와 온실가스 감축의 영향분석과 주요 선진국의 대응방안을 기초로 우리나라에 적합한 실효성 있는 기후변화 대응전략 제시가 필요하다. 특히 국가온실가스 감축정책에 대응하여 농림수산식품부문의 감축목표 설정과 기술적·경제적·단계별 대응전략을 기초로 기후변화 대응 로드맵 수립은 중요한 현안과제이다.

1.2. 연구목적

- 이 연구의 목적은 기후변화가 가져올 환경변화에 대응한 농림수산식품산업 육성 방안을 제시하는데 있다. 특히 기후변화가 농림수산식품산업에 미치는 영향분석과 정책진단을 통해 농림수산식품산업 육성을 위한 정책프로그램을 제시하고자 한다.
- 또한 농림수산식품분야 감축목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 감축방안을 제시하고자 한다. 국가 온실가스 감축정책에 대응하여 합리적인 감축목표 계획을 도출하고 감축목표를 달성하기 위한 실효성 있는 정책프로그램을 제시한다.

2. 선행연구 검토

2.1. 기후변화가 농업생산에 미친 영향분석

- 윤성택(2005)은 여러 학자들에 의해 보고된 지구온난화와 이에 따른 기후변화 예측시나리오를 이용하여 지구온난화의 증거를 진단하고 온난화에 따른 우리나라 기후변화에 대한 예측과 농업생산에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 전망과 대응 방안을 제시하였다.
- 한화진 외 10인(2006)은 기후변화의 영향평가 및 적응시스템 구축에 관한 연구에서 작물기후통합-미곡(CERES-Rice) 모형을 이용하여 1971~2000년 기준의 단보당 벼 수확량 대비 2080년 벼 수확량 전망치를 제시하였다.
- 김창길 외 5인(2009)은 기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략에 관한 보고서에서 국내외 기후변화의 실태 진단과 전망, 기후변화가 농업부문에 미치는 종합적 영향분석, 기후변화에 대한 농업계 인지도 및 반응분석, 농업부문 영향의 경제적 분석, 농업부문의 대응전략 및 기후변화 적응 마스터플랜 등을 제시하였다.
- 김창길, 정학균(2010)은 로지스틱 함수추정을 통해 미곡단수의 기상영향력을 분석한 결과 기상이 2000년대 미곡 단수 정체에 크게 영향을 미쳤고, 기상요인에 의한 단수변동이 지속적으로 증가하였다는 결론을 도출하였다.
- Solomou and Wu(1999)와 Khatri et al.(1998) 등은 1867~1913년(영국), 1870~1913년(독일)의 기간 동안 유럽 국가들에 있어 전체 농업생산지수가 강수량 및 기온과 같은 기후변수에 의해 어떤 영향을 받는지를 준모수 추정법을 적용하여 분석한 결과 평균기온 이하에서는 기온상승 시 생산량이 증

가하나 어느 수준 이상의 고온에서는 추가적인 기온상승이 오히려 산출을 낮추는 것으로 나타났다.

- Chang(2002)은 2단계 접근방식을 적용하여 기후변화와 대만 농업의 잠재적 영향을 추정하였다. 첫 번째 단계에서는 기후변화에 따른 주요작물의 단위 반응함수를 추정하였고, 두 번째 단계에서는 추정된 함수를 기초로 가격내생 수리계획모형을 적용하였다.
- Tubiello and Fischer(2007)는 생태경제학적 모형을 이용하여 지구온난화로 기온이 상승할 경우 1990~2080년까지 매 10년마다 주요 곡물(소맥, 쌀, 옥수수, 조곡 등)의 세계 지역별 생산량 변화를 분석하였다. 특히 그들의 연구 결과에서는 기후변화 정도에 따라 지역별로 식량부족 문제가 심화될 수 있다는 점에서 특정 개도국의 경우 식량안보가 중요해질 수 있음을 강조하였다.

2.2. 기후변화에 따른 산림·수산·식품 분야 대응 연구

- 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 제시하였다.
- 이상민, 김정덕, 송성환(2008)은 선진국의 산림부문 기후변화협약 대응을 살펴보고 시사점을 제시하였다. 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 제시하였다.

- Malmshheimer et al.(2008)은 목제품 이용, 산림 바이오매스 대체, 산불관리 등을 통한 온실가스 배출저감 효과와 산림의 탄소저장을 통한 온실가스 흡수효과를 소개하였다. 특히 탄소저장 증대를 위해 건강성 유지, 고사·산불·병해충 등으로 인한 손실방지의 필요성을 제시하고 간벌을 이용하여 임분의 밀도를 관리함으로써 지속가능한 목재자원을 공급하고 동시에 탄소를 저장하는 역할을 유지할 수 있으므로 탄소저장 확대와 배출감소를 위해 전통적인 조림이 고려되어야 함을 주장하였다.
- 이연경(2009)은 지속가능한 수산업을 위해 수산식품의 생산에서부터 소비까지 각 단계별 기후변화에 따른 영향을 지속적으로 모니터링하고, 그에 대한 장단기 대응방안을 마련하며, 탄소를 저감할 수 있는 친환경 연료를 개발하는 것이 필요함을 제시하였다.
- 정명생(2009)은 온실가스 의무감축을 상정하고 어업부문의 온실가스 배출 실태 파악과 배출량을 추정하고, 시나리오별 파급영향 분석을 기초로 어업분야의 대응전략을 제시하였다.
- 정명섭(2009)은 기후변화로 인한 부문별 영향의 종류를 제시하고 그 중 식품안전에 미치는 영향으로 수인성 및 식품매개체 관련 질환 등 잠재적 위해 발생률 증가를 제시하였다. 기후변화에 바람직한 식품안전관리 방안으로 비상대책반 활동 강화, 국가적·범부처 대응, 모니터링 및 감시활동 강화 등을 제시하였다.
- 정기혜(2009)는 기후변화 시 식품의 가공과정별로 잠재적 오염원이 증가하여 실제 오염이 증가하며, 식품매개 및 수인성 전염병의 증가를 예측하였다. 정기혜(2010)는 또 기후변화 시나리오를 이용하여 식중독 발생 현황을 예측하였으며, 전염병 확산요인의 조기진단시스템 강화, 곤충 및 설치류 등 병원성매개체의 밀도 감소를 위한 시스템 마련의 필요성을 제시하였다.

2.3. 농업부문의 기후변화 완화전략

- 오진규 외 5인(1995)은 기후변화협약에 따른 제1차 국가보고서 작성에 대비하여 산업부문별 온실가스 배출량 추정과 저감 대응방안을 제시하였다. 이 연구에서 처음으로 IPCC 온실가스 배출량 추정방법을 검토하고 농업부문과 축산부문의 온실가스 배출량 추정과 농업부문의 활동량 예측을 기초로 배출량 전망치도 제시하였다.
- 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 제시하였다.
- 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 벃짚에 포함된 탄소함량을 기초로 이산화탄소 흡수량을 추정하였다. 또한 농업부문의 중장기 전망지표를 기초로 2020년과 2030년의 온실가스 배출량을 전망하였다.
- 노기안 등(2009)은 농업부문의 온실가스 배출 특성, IPCC의 온실가스 배출 추정 방법론의 변천과정에 대한 소개와 온실가스 시료채취 및 분석방법 등을 설명하였다. 농업부문 온실가스 배출전망치 추정과 관련하여 농경지 유기질비료 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 추정하였다.
- 김창길 외 4인(2010)은 2020년 목표년도의 농업부문 온실가스 배출량 전망

을 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 제시하였다.

2.4. 농업부문의 기후변화 적응전략

- 윤성호 외 4인(2001)은 2001년 IPCC에서 밝힌 기후변화의 과정과 예측 시나리오를 중심으로 기후변화가 국내외 농업생태계에 미치는 영향을 분석하고 기후변화에 대한 우리나라 농업부문의 대책을 제시하였다.
- 한화진 외 19인(2008)은 18개 분야별 연구기관이 참여하여 기후변화 적응 현황과 성과평가, 해외 적응 논의동향과 적응사례, 부문별 추진 중장기 발전 계획 및 국가 기후변화 적응 마스터플랜을 제시하였다. 이 연구에서는 농업부문의 기후변화 적응프로그램과 관련주체의 역할분담, 향후 적응분야 연구 과제 등을 다루고 있다.
- Smit and Skinner(2002)는 기후변화에 대한 농업 적응 옵션들을 구별하고 특색을 나타내는 적응옵션을 유형화하였다. 캐나다 농업의 적응옵션들에 대한 연구를 종합하여 기술개발, 정부 프로그램과 보험, 생산방식, 농장재정관리 등 네 개의 주요 범주로 구분하여 제시하였다.
- Reid, et al.(2007)은 취약성 접근법(vulnerability approach)을 도입하고, 캐나다 온타리오 농장에 초점을 맞추어 기후변동에 대응한 농업부문의 적응 가능성을 분석하였다. 특히 농장들의 기후위험을 식별하고, 농가들의 반응을 조사한 자료를 분석한 결과, 농가들은 농장 운영에 내·외부적인 많은 요인들이 작용하는 복잡한 의사결정 환경 속에서 농장운영과 의사결정에 영향을

미치는 중요한 요인으로 기후와 기상이 작용하는 것으로 제시하고 있다.

- Tarleton and Ramsey(2008)은 캐나다 마니토바 지역 농장을 대상으로 사회적, 정치적, 경제적 상황 하에서 기후변화에 의한 위험과 기회들에 대한 농장 수준의 적응방안을 분석하였다. 특히 농가들은 가뭄과 홍수, 여름과 겨울 기온의 변화, 재배기간의 변화와 연관된 위험에 대하여 많은 적응을 해왔으며, 가장 빈번하게 실용된 것으로 재배형태 및 품종의 변화로 조사되었다.

⇒ 이 연구는 농림수산물산업 및 정책 진단과 기후변화의 영향분석을 기초로 온실가스 감축 및 적응 등 종합적인 농림수산물산업의 기후변화 대응 전략 제시에 초점을 맞추었다. 그동안 KREI에서 이루어진 기후변화 대응 관련 연구를 종합하고 최근의 여건변화를 반영한 국내외 대응전략을 제시하였다.

3. 연구방법과 범위

3.1. 연구방법

- 국내외 기후변화 완화 및 적응 대책 관련문헌 검토하였다. 기후변화 분야의 연구를 지속적으로 수행해온 농촌진흥청, 국립농업과학원, 기상청 국립기상연구소, 한국환경정책평가연구원, 에너지경제연구원 등 유관기관의 보고서와 관련분야 학술지의 선행연구 결과물 등을 검토하였다. 또한 미국, 영국, 호주, 일본 등의 기후변화대응 관련 문헌과 IPCC, OECD, FAO 등 국제기구의 기후변화 대응 관련자료를 검토하였다. 또한 온실가스 산정방법론, 생태효율성 분석 등과 관련된 응용연구에 대한 관련분야 자료도 검토하였다.

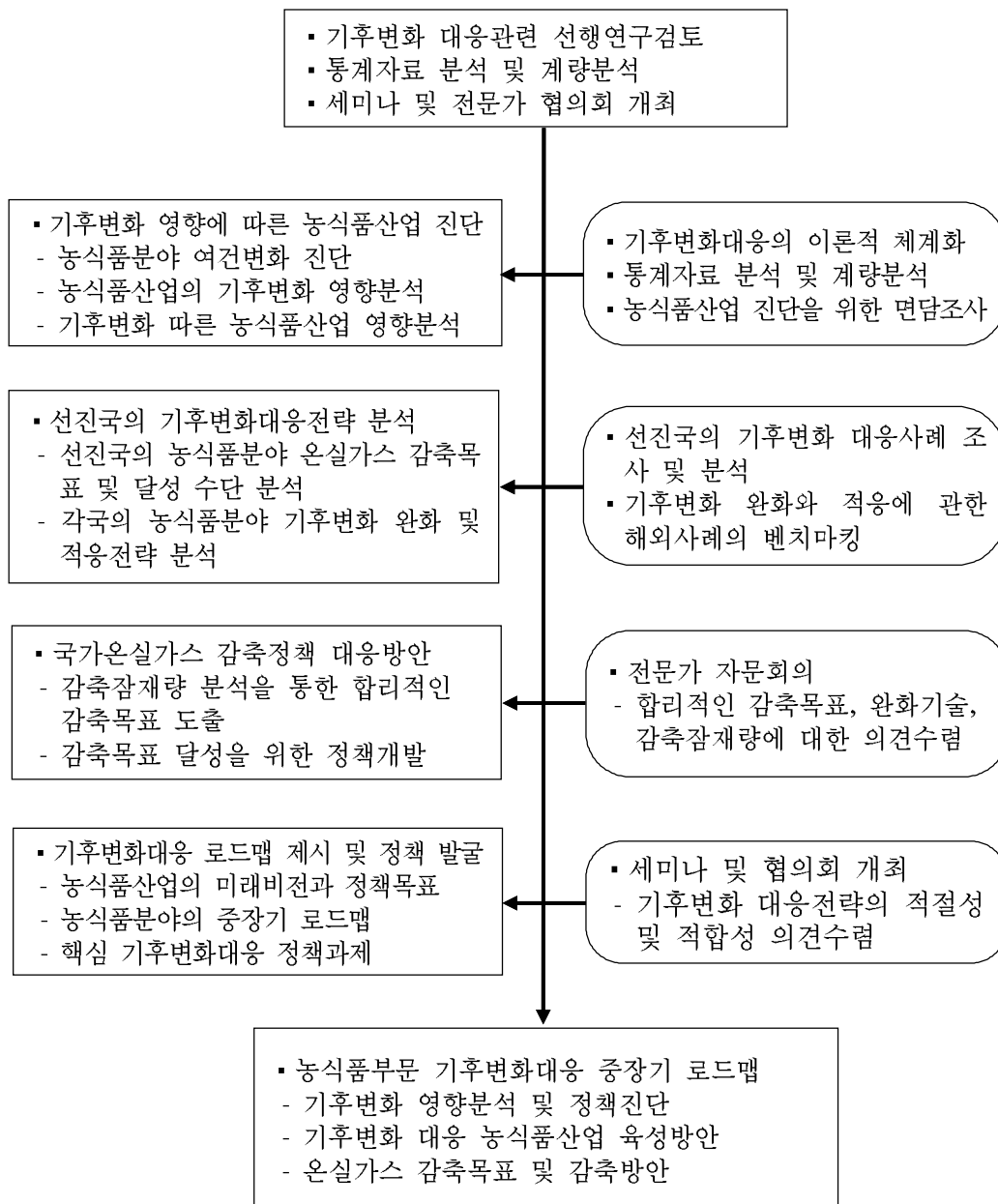
- 농림수산식품산업의 구조와 발전추세와 농업분야(경종, 축산, 시설재배, 농기계 사용)의 에너지 사용량 추정을 위해 통계자료 및 계량분석 방법론을 적용하였다. 또한 기후변화에 따른 주산지 변화는 GIS 분석을 이용하였고, 기후변화가 식품의 소비패턴에 미치는 영향에 관한 소비자 설문조사 분석, 농림수산식품산업의 기후변화 취약요인에 대한 SWOT 분석을 적용하였다.
- 기후변화 영향분석 및 대응관련 연구 과제를 수행한 연구기관(농촌진흥청, 국립농업과학원, 에너지경제연구원, 한국환경정책평가연구원 등)을 방문하여 관련분야 자료를 수집하였다.
- 농업부문 기후변화 대응관련 국내외 전문가를 초청하여 세미나(또는 워크숍) 개최하였다. 이밖에도 기후변화 대응 관련 농림수산식품부·국립농업과학원 담당자간의 정책협의회 개최를 통해 기후변화 영향분석 및 대응전략의 적절성 및 적합성에 대한 의견을 수렴하였다.

3.2. 연구범위

- 농림수산식품산업의 온실가스 배출량 및 기후변화 영향에 심층적인 분석은 주로 농업과 축산업에 초점을 맞추고, 수산업과 임업 부문은 관련분야의 전문가 원고의뢰와 자료를 이용하였다. 또한 식품산업 부문은 농업기술실용화재단의 추정 자료를 이용하였다.
- 주산지 변동에 대한 분석은 작물통계 입수가 가능한 1960~2010년으로 설정하였다. 분석대상 품목은 경종부문의 경우 곡류(쌀), 과실류(사과, 복숭아, 포도, 한라봉 등), 채소류로 설정하였다. 분석대상 지역은 주산지와 새롭게 부각되는 재배지역으로 한정하였다.

- 기후변화 대응책은 온실가스 배출량 전망을 기초로 한 온실가스 감축의 완화 대책에 초점을 맞추고 적응대책은 영향분석을 토대로 가능한 범위에서 제시토록 하였다.
- 온실가스 배출량 최근 관련분야 국내외 정보를 최대한 활용하였다. 온실가스 배출량 추정방식은 유엔 기후변화협약(UNFCCC)에 따른 온실가스 국가 보고서 작성의 기초자료로 활용되고 있는 IPCC(2007)의 개정지침을 활용하고, 농축산부문의 부문별 배출계수는 항목별 특성에 따라 IPCC 제공하는 배출계수(Tier 1)와 국가고유계수(Tier 2)를 선택적으로 적용하였다.
- 온실가스 배출관련 농축산 부문의 활동량 전망과 관련하여 경제성장률, GDP 디플레이터 상승률, 이자율, 환율 등 거시경제지표의 전망치는 한국은행, 글로벌인사이트, IMF, OECD 등 국내외 관련기관의 전망치 평균치를 활용하였다. 대내외 여건변화를 반영한 농축산부문의 재배면적과 가축사육두수 전망은 한국농촌경제연구원에서 개발 운용되고 있는 중장기 장기전망 모형인 KREI-KASMO(Korea Agricultural Simulation Model)를 활용하였다.

그림 1-1. 연구의 흐름도



제 2 장

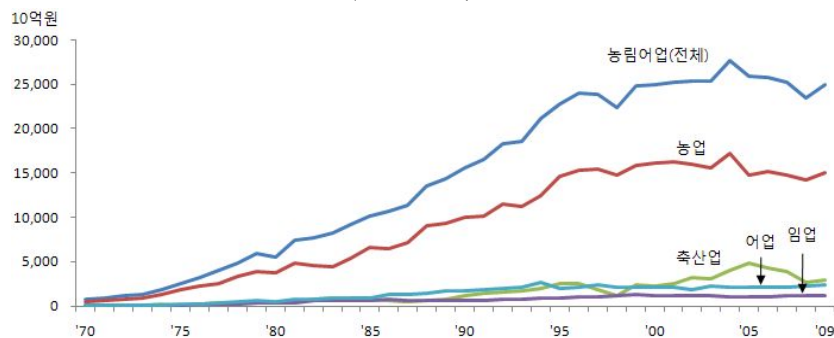
농림수산물산업의 여건변화 및 정책 진단

1. 농림수산물·식품분야 여건변화 진단

- 2009년 농림업의 생산액은 42조 9,951억원으로 전년대비 8.4% 증가한 것으로 나타났다. 2009년 기준 농업부문의 생산액은 41조 3,643억원으로 농림업 총생산액의 96.2%를 차지한다. 이중 재배업은 24조 8,802억원으로 57.8%를 차지하고, 축산업은 16조 4,840억원으로 38.3%를 차지하고, 임업이 1조 6,309억원으로 3.8%를 차지한다.
 - 농림업 생산액은 매년 증가세를 보여 생산 활동이 지속적으로 증가하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 저탄소 녹색기술 활용이 확대되지 않는 경우 온실가스 배출량 증가요인으로 작용한다.
- 2009년 농림어업의 부가가치 실적을 보면 26조 6,150억원으로 전년대비 7.8% 증가하였다. 이중 재배업의 부가가치는 17조 4,413억원으로 65.5%, 축산업 3조 9,258억원으로 14.8%, 임업 1조 4,276억원으로 5.4%, 어업이 3조 2,795억원으로 12.3%를 차지한다.
 - 농림어업 부가가치는 1990년 이후 지속적으로 증가하였으나, 2004년을 정점으로 2008년까지 감소추세를 보였으나, 2009년부터 상승세로 전환

되었다. 국내총생산에서 농림어업 부문이 차지하는 비중은 2009년은 2.8%로 전년대비 0.1%포인트 증가한 것으로 나타났다.

그림 2-1. 농림어업부문의 생산구조



자료: 농림수산물식품 주요통계.

- 농림어업부문 생산구조 변화추이를 세부적으로 보면, 재배업부문이 감소하고 있는 반면 축산업과 부대서비스 부문은 증가하고 있다. 이는 소득수준의 향상에 따라 육류소비의 증가에 따른 것으로 보인다. 축산업의 생산량과 비중이 크게 증가함에 따라 가축 장내발효에서 발생하는 메탄 배출량도 크게 증가하였다고 볼 수 있다.

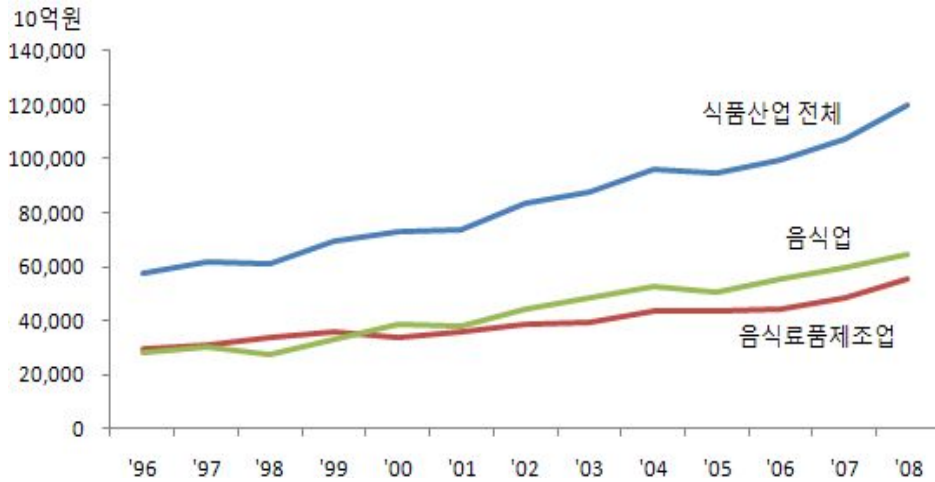
표 2-1. 농림어업부문의 생산구조 변화추이

단위: 십억 원, %

연도	농림어업	농업			임업	어업
		재배업	축산업	부대서비스		
1970	736.7 (100.0)	643.9 (87.4)	504.2 (68.4)	50.9 (6.9)	7.1 (1.0)	49.4 (6.7)
1980	5,576.0 (100.0)	4,773.1 (85.6)	3,684.8 (66.1)	343.7 (6.2)	57.3 (1.0)	379.2 (6.8)
1990	15,592.4 (100.0)	13,269.1 (85.1)	9,951.8 (63.8)	1,127.9 (7.2)	199.0 (1.3)	654.9 (4.2)
2000	24,939.1 (100.0)	21,597.3 (86.6)	16,154.8 (64.8)	2,246.1 (9.0)	302.4 (1.2)	1,197.1 (4.8)
2009	24,928.8 (100.0)	21,413.8 (85.9)	15,053.9 (60.4)	2,869.5 (11.5)	471.1 (1.9)	1,196.6 (4.8)

주: ()안은 당해 연도 농림어업생산량 중 해당 부문이 차지하는 비중(%)
 자료: 농림수산물식품 주요통계.

그림 2-2. 식품산업의 시장규모



자료: 농림수산물식품 주요통계.

- 2009년 식품산업의 시장규모는 2000년 대비 무려 65% 증가한 약 119조 9,240억원으로 매년 지속적인 증가추세를 나타내고 있다. 이는 음식료품 제조시 발생하는 이산화탄소배출량도 함께 증가하고 있다고 볼 수 있다.

표 2-2. 식품산업의 시장규모 변화추이

단위: 십억 원

연도	시장규모	음식료품제조업	음식점업
2000	72,672	34,072	38,600
2002	83,140	38,939	44,200
2004	96,136	43,526	52,610
2006	99,838	44,381	55,457
2008	119,924	55,212	64,712

자료: 농림수산물식품부(2011).

2. 기상변화와 농업부문의 수급불안정 진단

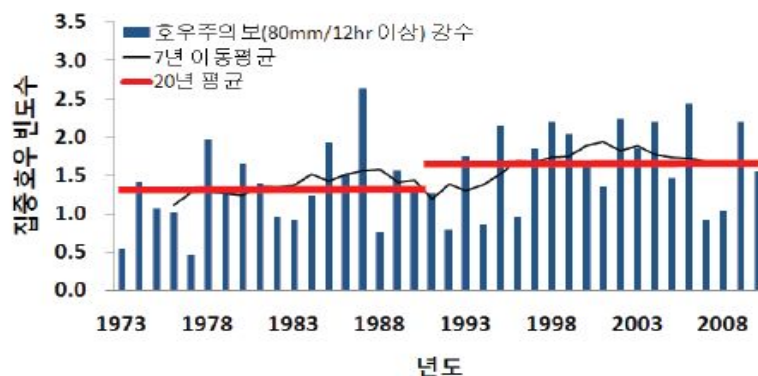
2.1. 기후변화 추이 분석

2.1.1. 강수 빈도 특징

○ 강수빈도 선정기준과 특징

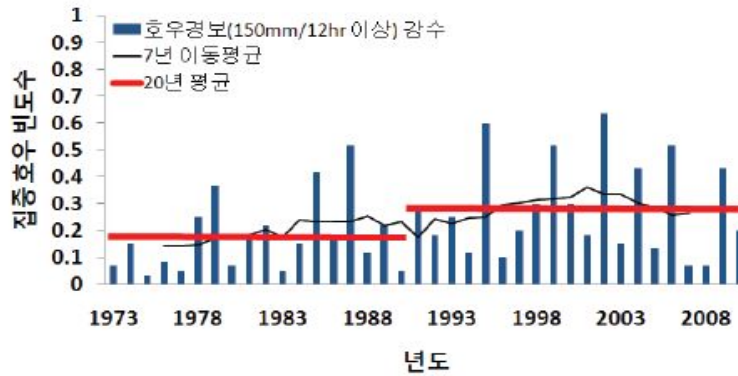
- 강수빈도는 1973~2010년 사이의 관측소 강수량을 사용하여 기상청의 공식적인 호우주의보(12시간 누적강수량 80mm 이상) 및 호우경보(12시간 누적강수량 150mm 이상) 기준에 해당될 경우로 선정한다.
- 1990년대 중반 이전보다 그 이후가 더 큰 발생 빈도를 보인다. 7년 이동 평균을 보면, 집중호우 빈도가 1970년대부터 지속적으로 증가한 것으로 나타났다. 전체적으로 최근 15년 정도의 강수 강도가 이전보다 증가하였다. 최근 20년이 과거보다 호우주의보에 해당하는 강수 빈도는 25%, 호우경보에 해당하는 강수 빈도는 60% 증가한 것으로 나타났다.

그림 2-3. 12시간 누적강수량 80mm이상 집중호우 발생빈도



자료: 기상청「장마백서 2011」

그림 2-4. 12시간 누적강수량 150mm이상 집중호우 발생빈도



자료: 기상청「장마백서 2011」

2.1.2. 기후학적 통계 분석

○ 호우 추세와 특징

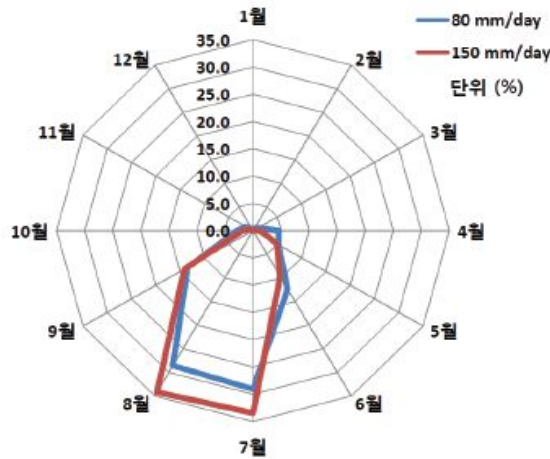
- 일강수량 80mm와 150mm이상의 호우가 내린 날(1981~2010)을 선정하였다.
- 호우는 1년 강수량의 약 84%가 6~9월 중에 발생하고 있으며, 그 중 장마 및 태풍의 영향을 많이 받는 7~8월에 집중적으로 발생한다. 일강수량 80mm이상 호우가 내린 날이 연평균 약 27일(하나의 관측소라도 측정된 날이 27일 정도), 많은 해는 44일(1998년) 발생하였다. 일강수량 150mm 이상의 강한 호우는 연평균 약 9일이며, 많은 해는 17일(1999년) 발생한 것으로 나타났다.

표 2-3. 월평균 호우 발생일수(1981~2010년)

강수량		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
일강수량 80mm이상 발생일수	평균	0.1	0.1	0.3	1.3	1.5	3.4	8.1	7.9	3.7	0.8	0.4	0.1	27.8
	비율(%)	0.4	0.5	1.1	4.6	5.3	12.4	29.1	28.6	13.4	2.9	1.6	0.4	100
일강수량 150mm이상 발생일수	평균	-	-	-	0.1	0.4	0.9	3.0	3.1	1.3	0.2	-	-	9.0
	비율(%)	-	-	-	1.5	4.9	9.7	33.6	34.3	14.2	1.9	-	-	100

자료: 기상청「장마백서 2011」

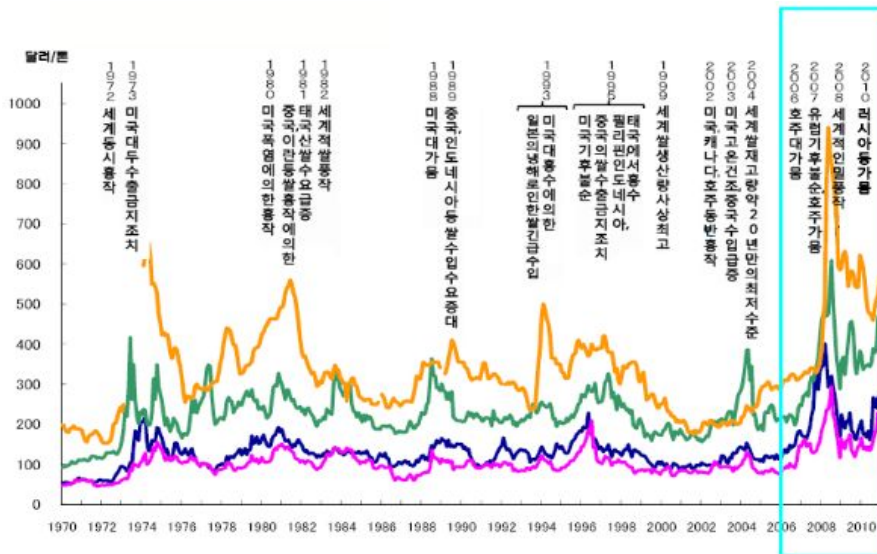
그림 2-5. 월평균 호우 발생일수의 퍼센티지 비율(1981~2010년)



자료: 기상청 「장마백서 2011」

- 고온과 한파 등 기상이변에 따른 국제곡물 가격 변동실태를 보면 2007년 이후 급속하게 증가하고 있음을 볼 수 있다<그림 2-6>.

그림 2-6. 기상변화에 따른 국제곡물가격 변동 실태



자료: 농림수산물식품부(2011).

3. 농림수산부문의 에너지사용량 및 온실가스 배출특성 분석

3.1. 농림수산부문의 에너지 사용량

○ 농림수산식품산업의 에너지 사용량 특성

- 시설채소 온실면적 중 가온면적이 차지하는 비중은 20~30% 가량이며, 이 중 90% 이상에서 유류를 이용하여 가온하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 2010년에는 고체연료, 지열 등의 사용 증가로 88.2%로 감소한 것으로 나타났다.

표 2-4. 시설채소 가온방법별 온실현황

단위: ha

구분	2001	2005	2006	2007	2008	2009	2010
가온면적계	10,001	9,975	9,951	10,210	10,631	11,955	12,951
고체	370	529	591	666	671	747	931
유류	9,628	9,430	9,346	9,495	8,506	11,114	11,418
가스	3	15	16	26	1,518	32	15
전기	-	-	-	-	-	-	475
지열	-	-	-	-	-	-	112

자료: 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적 각 년도.

- 어업용 면세유의 공급량은 감소추세이나, 유가상승으로 인해 공급액은 증가추세로 나타났다.

표 2-5. 어업용 면세유 공급실적

단위: 천드럼, 억원

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
공급량	7,738	7,316	7,007	6,391	6,318	6,266	4,843	5,611
공급액	4,351	4,481	5,228	5,862	6,146	6,355	7,665	6,723
면세액	5,483	6,395	6,326	6,564	7,092	7,542	5,816	7,522

자료: 농림수산식품 주요통계 각 년도.

- 국내에서 사용되는 화학비료 소비량은 지속적으로 감소추세를 보이고 있고, 화학비료 소비량 가운데 질소질 비료의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다.

표 2-6. 화학비료 소비량

단위: 천톤

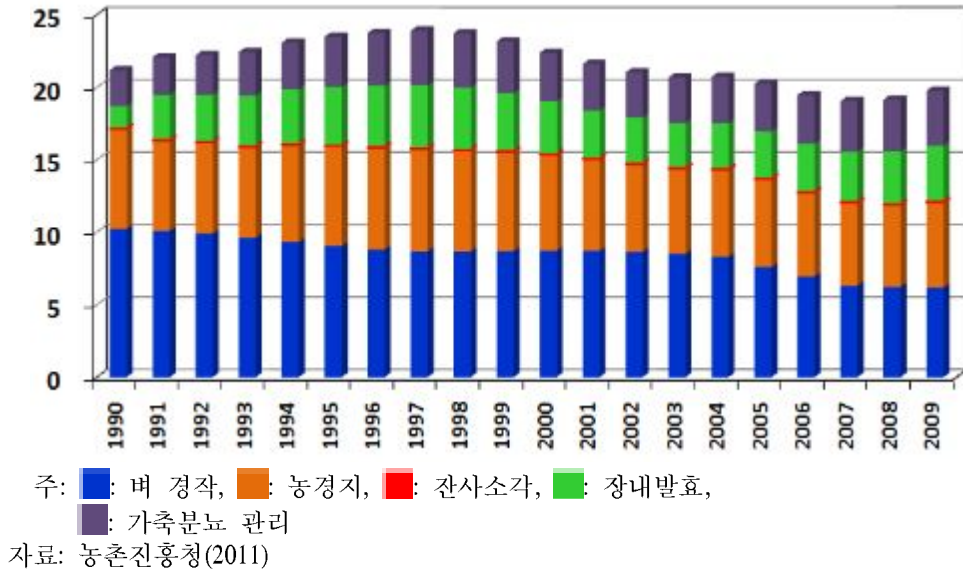
구분	1970	1980	2000	2005	2006	2007	2008	2009
계	536	828	801	722	478	631	570	500
질소	356	448	423	354	244	335	302	262
인산	124	196	171	162	102	129	115	102
가리	83	184	207	206	131	167	153	136

자료: 농림수산물식품 주요통계 각 년도.

3.2. 농림수산부문의 온실가스 배출량

- 농업부문 온실가스 배출량은 1990년 22,686천톤(CO₂-eq.)에서 1997년 23,911천톤(CO₂-eq.)을 정점으로 약간 증가했으나 1998년부터는 조금씩 감소하여 2009년에는 19,767천톤(CO₂-eq.)을 배출하였다.
 - 2009년 농업부문 총배출량은 1990년을 기준으로 12.9% 감소하였고, 2005년을 기준으로 2.4% 감소하였다.
 - 경종부문 전체 배출량은 1990년 17,176천톤(CO₂-eq.)에서 2009년 12,128천톤(CO₂-eq.)으로 약 29.4% 감소하였으며, 이 결과는 작물재배면적 감소와 화학비료 사용량 감소에 기인한다.
 - 경종부문에서 온실가스 배출량의 대부분은 벼 재배에 의한 CH₄ 배출량과 화학비료나 축산분뇨의 농경지 투입에 의한 N₂O배출량이 대부분을 차지하며, 잔사소각에 의한 배출량은 전체 배출량에 큰 영향을 미치지 않는다.
 - 축산부문의 경우 2009년 배출량(7,639천톤 CO₂-eq.)은 1990년(5,510천톤 CO₂-eq.)을 기준으로 33.1% 증가하였고, 2005년을 기준으로 17.2% 증가하였다.

그림 2-7. 농업부문 온실가스 배출량 추이

단위: 백만CO₂ t

- 2009년 벼 재배면적은 93만ha, 한육우 사육두수는 2,422천두에 달한다.
- 2009년 우리나라 경종부문 온실가스 배출량 평가 결과, 메탄을 배출하는 벼 경작에서 상시담수와 간단관개를 통해 총 6,182천톤(CO₂-eq.)의 온실가스가 배출되었다. 아산화질소를 배출하는 농경지 토양에서는 화학비료, 축산퇴비, 콩과작물, 잔사환원 등을 통해 총 2,636천톤(CO₂-eq.)의 온실가스가 배출된다. 메탄과 아산화질소 모두를 배출하는 잔사소각을 통해 총 77천톤(CO₂-eq.)의 온실가스가 배출된다.
- 축산부문 2009년 온실가스 배출량 평가 결과, 메탄을 배출하는 장내발효에서 총 3,848천톤(CO₂-eq.)의 온실가스가 배출된다. 메탄과 아산화질소 모두를 배출하는 가축분뇨처리로부터 총 2,590천톤(CO₂-eq.)의 온실가스가 배출된다.

표 2-7. 우리나라 농업부문 온실가스 배출량(2009) 평가 결과

단위: 천톤CO₂-eq

배출항목			배출량	
경종	벼 재배(CH ₄)		상시답수	3,743
			간단관개	2,439
	농경지 토양 (N ₂ O)	직접배출	화학비료	1,136
			축산퇴비(유기비료)	1,433
			콩과작물	52
		간접배출	잔사환원	15
			대기침적	1,388
			수계유출	1,845
	잔사소각(CH ₄)			56
	잔사소각(N ₂ O)			21
소 계			12,128	
축산	장내발효(CH ₄)		3,848	
	분뇨처리(CH ₄)		1,201	
	분뇨처리(N ₂ O)		2,590	
	소 계		7,639	
농업전체			19,767	

자료: 농촌진흥청(2011)

- 2009년 농업부문 온실가스 배출 비중은 경종부문 61.4%(벼재배:31.3%, 농경지 토양: 29.7%, 잔사소각: 0.7%), 축산부문 38.6%(장내발효: 19.5%, 분뇨처리 19.2%)를 차지한다.

표 2-8. 우리나라 농업부문 온실가스 배출현황(2009)

단위: 천톤CO₂-eq, %

배출원	축산		경종			전체
	장내발효	분뇨처리	벼 재배	농경지 토양	잔사소각	계
배출량 (2005)	3,848 (3,227)	3,791 (3,289)	6,182 (7,593)	5,869 (6,055)	77 (81)	19,767 (20,246)
비율(%)	19.5	19.2	31.3	29.7	0.4	100.0
		38.6			61.4	100.0

자료: 농촌진흥청(2011)

3.3. 농림수산부문의 탄소생산성

○ 농업부문과 비농업부문의 탄소생산성 비교 분석

- 탄소생산성(carbon productivity)은 GDP(또는 부가가치)와 온실가스 배출량의 비율로 산정한다(McKinsey, 2008). 탄소생산성은 경제성장과 온실가스 감축 정도인 녹색생산성을 비교·평가할 수 있는 녹색성장 지표로 활용될 수 있다.
- 탄소생산성 변화율 추이를 보면 제조업·건설업부문의 경우 온실가스 배출량과 GDP 증가로 탄소생산성이 1990년 1.4로부터 2000년까지 약 1.2~1.4 수준이었으나, 2001년 이후 지속적인 증가추세를 보여 2007년 1.9를 기록하였다.
- 농업부문 탄소생산성은 1990년 1.4로 시작하여 1991~1999년까지 1.0수준으로 감소했다가 다시 반전되어 2000년 1.2, 2007년 1.4로 지속적인 증가세를 보였다. 경중부문의 탄소생산성은 1991년 0.9를 시작으로 느린 속도로 증가하는 추세에 있으며 2000년 1.1에서 2007년 1.2까지 증가하고 있다. 축산부문의 탄소생산성은 1990년 0.5, 2000년 0.9, 2007년 1.0까지 증가한 것으로 나타났다.
- 2000년을 기준시점으로 부문별 탄소생산성 변화 추세를 비교하면 제조업과 건설업의 2000년 이후 배출량, GDP, 탄소생산성 변화율은 지속적으로 증가해왔다. 제조업 및 건설업의 경우 2000년 대비 2007년의 GDP는 51% 증가하였고, 온실가스 배출량은 12.8% 증가하여 탄소생산성은 33.9% 증가한 것으로 나타났다.
- 농업부문의 탄소생산성 변화율은 2000년 이후 지속적인 온실가스 배출량 감소와 축산부문의 GDP 성장에 힘입어 지속적인 증가 추세이다. 농업부문의 경우 2000년 대비 2007년의 GDP는 9.6% 증가, 온실가스 배출량은 2.9% 감소, 탄소생산성은 12.9% 증가하였다. 농업부문 온실가스 감소는 논 경지면적 감소와 그에 따른 화학비료 감소에 기인한 것으로 판단된다.

그림 2-8. 제조업 및 건설업의 탄소생산성 변화율 추이(2000년 기준)

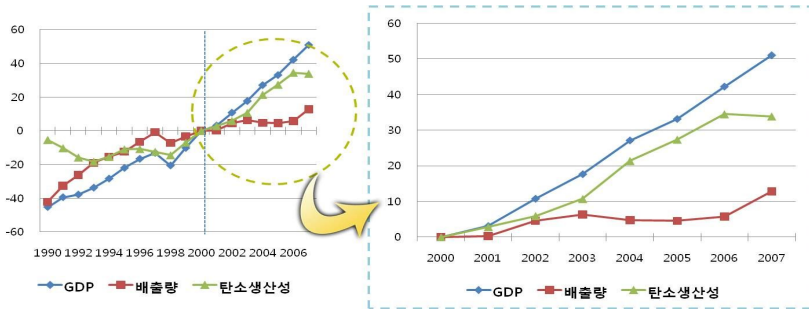


그림 2-9. 농업부문의 탄소생산성 변화율 추이(2000년 기준)

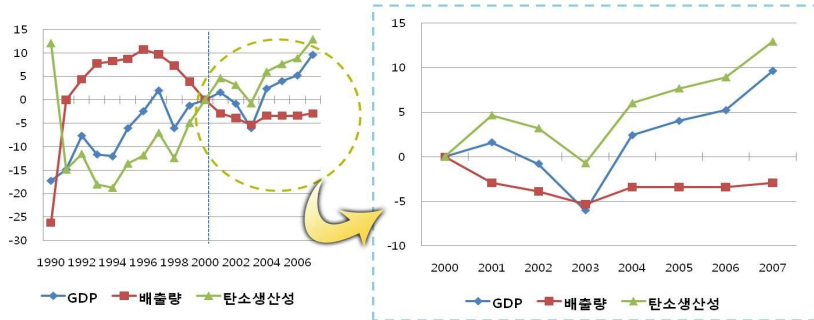


표 2-9. 제조업·건설업과 농업의 탄소생산성 변화 추이(GDP 2005년 기준)

단위: 백만tCO₂eq, 십억원, (%)

구분	제조업 및 건설업			농업			재배			축산		
	GDP	배출량	탄소 생산성	GDP	배출량	탄소 생산성	GDP	배출량	탄소 생산성	GDP	배출량	탄소 생산성
1990	112.2 (-45.3)	82.0 (-42.2)	1.4 (-5.4)	20.6 (-17.3)	15.2 (-26.2)	1.4 (12.1)	13.7 (-18.5)	10.3 (-31.3)	1.3 (18.8)	2.6 (-46.9)	4.8 (-14.3)	0.5 (-38.1)
1995	159.8 (-22.0)	124.2 (-12.4)	1.3 (-11.0)	23.4 (-6.0)	22.4 (8.7)	1.0 (-13.6)	15.4 (-8.3)	15.6 (4.0)	1.0 (-11.9)	4.7 (-4.1)	6.8 (21.4)	0.7 (-21.0)
2000	205.0 (0.0)	141.8 (0.0)	1.4 (0.0)	24.9 (0.0)	20.6 (0.0)	1.2 (0.0)	16.8 (0.0)	15.0 (0.0)	1.1 (0.0)	4.9 (0.0)	5.6 (0.0)	0.9 (0.0)
2005	272.9 (33.1)	148.2 (4.5)	1.8 (27.4)	25.9 (4.0)	19.9 (-3.4)	1.3 (7.7)	16.8 (0.0)	14.0 (-6.7)	1.2 (7.1)	5.5 (12.2)	5.9 (5.4)	0.9 (6.5)
2006	291.5 (42.2)	149.9 (5.7)	1.9 (34.5)	26.2 (5.2)	19.9 (-3.4)	1.3 (8.9)	16.7 (-0.6)	13.8 (-8.0)	1.2 (8.0)	5.7 (16.3)	6.1 (8.9)	0.9 (6.8)
2007	309.5 (51.0)	159.9 (12.8)	1.9 (33.9)	27.3 (9.6)	20.0 (-2.9)	1.4 (12.9)	16.9 (0.6)	13.6 (-9.3)	1.2 (11.0)	6.2 (26.5)	6.4 (14.3)	1.0 (10.7)

주: ()는 2000년 기준 변화율
 자료: 김창길 외 7인(2010), p.116.

4. 기후변화 대응 농림수산물분야 정책에 대한 평가

○ 제3차 기후변화협약대책(2005~2007) 농림분야 정책에 대한 평가

- 기후변화협약 제3차 종합대책과 관련한 농림부문의 과제로는 16개 세부 과제를 대상으로 하였다.
- 협약이행 기반구축사업으로 축산분뇨자원화 연구의 경우 바이오가스 전기 발전시스템이 개발되어 특허등록과 기술이전이 이루어졌고, 또한 돈분 및 음식물폐기물 혼용 혐기성발효조 개발도 완료되어 가동되고 있다. 그러나 축산분뇨자원화 연구를 통해 개발된 기술의 농가 보급 프로그램 개발이 이루어지지 않아 실제로 농촌현장에 활용이 잘 이루어지지 않고 있다.
- 음식물쓰레기 퇴비화 연구는 음식물쓰레기 수거, 처리 및 재활용 등 종합관리체계를 구축한 것으로 제시하고 있다. 그러나 음식물쓰레기 퇴비화의 경우 폐기물처리시스템과 연계 및 온실가스 저감방법 등에 대한 고려가 미흡한 것으로 평가되었다.
- 흡수원 활용기반 구축의 경우 CDM 사업의 최근 동향 파악을 위한 국제심포지엄 개최와 탄소흡수원 확보를 위한 해외조림 기반구축 연구용역 추진 등 인프라 구축에 관한 기초단계의 사업이 이루어진 것으로 평가된다. 해외조림의 경우 국내기업의 해외조림 CDM 사업 진출이 용이하도록 사업 추진에 필요한 제도정립 및 인센티브 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.
- 부문별 온실가스 감축사업 분야에서 농경지 온실가스 배출 감축과 관련 비 재배방식, 물 관리, 품종과 작부체계 등에 따른 메탄 배출량 산정과 논농사의 메탄 배출저감 기술 개발 등에 관한 연구는 1993년부터 10년 이상을 추진해왔다. 상당한 기간 동안 연구실적이 추적되어 사업화 가능성이 매우 높은 것으로 자체평가에서 제시하고 있다. 그러나 실제로 온실가스 저감기술로 농가에 보급되는 사례가 제한적이어서 개발된 기술 보급을 위한 프로그램 개발이 필요한 것으로 판단된다.
- 반추가축 장내발효 개선 연구의 경우 제2차 대책에 이어 계속과제로 추

진하여 장내발효개선 물질 첨가를 통해 메탄가스를 저감시킬 수 있는 기술개발이 이루어졌고, 자체평가 결과 사업화 가능성은 높은 것으로 제시되고 있다. 그러나 장내발효 개선 기술의 축산농가 보급은 잘 이루어지지 않고 있어 요인분석을 기초로 기술보급을 위한 적절한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

표 2-10. 제3차 종합대책 관련 농림부문의 사업 내용 및 실적

구 분	추진내용	실적	예산 (백만원)	추진 기관	
협약 이행 기반 구축 사업 (3)	축산분뇨 자원화 연구	<ul style="list-style-type: none"> 축산부문에서 Biogas 잠재 발생량 연구(축종별) 축산분뇨 Biogas의 대체 에너지화 	<ul style="list-style-type: none"> 혐기소화조 제작 완료: 톤 규모의 12기, 유해물질 제거기술 개발 음식물쓰레기 적정혼합비율 산정 	133	농진청
	음식물쓰레기 퇴비화 연구	<ul style="list-style-type: none"> 발생에서 처분까지 이력관리체계 마련 음식물쓰레기 퇴비화의 온실가스 감축효과 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 음식물 퇴비의 작물생산 효과: 벼(520kg/10a), 고추(1,925.4kg/10a) 작물별 탄소고정량: 벼(2,763kg CO₂/10a), 고추(10,175kg CO₂/10a) 	374	농진청
	흡수원 활용기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 흡수원 CDM사업관련 해외사례 분석 및 정보제공 	<ul style="list-style-type: none"> 조립CDM사업 길잡이 작성 중국의 '황폐지의 재조림' CDM 사업사례 분석 	80	산림청
부문 별 온실 가스 감축 사업	농경지 온실가스 배출 감축	<ul style="list-style-type: none"> 논 메탄 감축기술 개발 온실가스 자동측정 시스템 개발 농경지 온실가스 총 배출량 분석 및 배출 전망 	<ul style="list-style-type: none"> 토양의 이산화탄소배출·흡수량 동시 측정 전국 농경지 토양의 온실가스 잠재량 측정 논 52.9톤/ha, 밭 50.6톤/ha, 시설재배지 86.9톤/ha 밭에서 토성별 온실가스 배출량 측정: 식양토>사영토 	128	농진청
	반추가축 장내발효개선	<ul style="list-style-type: none"> 장내 메탄생성 억제 기술 연구 반추미생물 제어를 통한 메탄발생 억제 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 3종의 in vitro 메탄억제 확인 	90	농진청
	축산분뇨 처리 개선	<ul style="list-style-type: none"> 깔짚우사 및 퇴적우분의 온실가스 배출량 및 배출계수 산정 퇴비화 방법에 따른 메탄발생 저감효과 	<ul style="list-style-type: none"> 깔짚처리에서 온실가스 저감효과 교반처리에서 메탄저감효과 확인 	110	농진청
	숲가꾸기사업 확대	<ul style="list-style-type: none"> 숲가꾸기사업 지속 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 큰나무가꾸기: 143천ha 조림지가꾸기: 57천ha 	822,078	산림청
산림 병해충 집중 방제	<ul style="list-style-type: none"> 산림병해충 방제 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 산림병해충 방제: 161,581ha - 소나무재선충: 32,978ha - 솔잎혹파리: 26,086ha - 솔껍질깍지벌레: 631ha - 밤나무해충: 50,743ha - 기타 병해충: 51,143ha 	155,863	산림청	

표 2-10. 제3차 종합대책 관련 농림부문의 사업 내용 및 실적(계속)

구 분	추진내용	실적	예산 (백만원)	추진 기관	
부 문 별 온 실 가 스 감 축 사 업 (8)	산불예방 및 진화 적극추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪공중진화능력향상 ▪전문인력 확충 	<ul style="list-style-type: none"> ▪공중진화능력향상 - 헬기도입 및 도입예정 ▪산불취약지관리사업 - 내화수림대(1,092ha) - 산불진화진입도로(20km) - 소화전설치(3개소) ▪전문인력확충 - 전문예방진화대 5,910명 	342,828	농진청
	도시숲 조성 관리사업 추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪도시숲조성, 산림공원조성 ▪가로수 식재, 학교숲조성 	<ul style="list-style-type: none"> ▪도시숲조성(58개소), 산림공원조성9개소, 가로수 식재(305km), 학교숲조성(240개교) 	170,370	농진청
	해외조림사업 확대	<ul style="list-style-type: none"> ▪조림사업 확대 ▪탄소흡수원 확충 및 해외조림 추진기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ▪인니와 50만ha 조림협정체결 ▪용자율인하: 3%→1.5% ▪사업비지원: 36억원 	19,539	산림청
기 후 변 화 적 응 기 반 구 축 사 업 (5)	기후변화가 산림생태계에 미치는 영향 연구	<ul style="list-style-type: none"> ▪기후변화가 농업생태계에 미치는 영향 평가 ▪농업생태계내에서의 탄소순환수지 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪중점조사지 설치, 분야별 기초자료 DB구축, 모델 수집 	380	농진청
	농경지 이용에 따른 탄소고정 능력 연구	<ul style="list-style-type: none"> ▪농경지 이용 형태별 바이오매스 생산량 산출 ▪농경지 탄소 배출 모니터링과 순환모형자료 ▪농경지 작부체계별 탄소 수지 모형 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ▪보리-콩 작부체계 이산화탄소 수지 평가(단위: CO₂ 톤/ha) ▪전국 결보리 CO₂ 고정량 76,047톤 	426	농진청
	강수량 변화가 농업용수에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> ▪농업용 수자원 확보 방안연구 ▪적정 물관리 기술 개발 보급 	<ul style="list-style-type: none"> ▪시설재배 작물 적정 관개 기준 보완: 참외, 오이, 토마토, 고추 ▪물관리 실증포 운영: 수원, 제주 	160	농진청
	황사에 따른 농업환경 영향평가	<ul style="list-style-type: none"> ▪중국 황토지대 토양 및 미생물 특성 분석 ▪황사가 토양 및 농업환경에 미치는 영향 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪국내 유입 황사의 토양학적 특성 규명 ▪황사발생시 대기 중 미생물 농도 및 동정 	360	산림청
	작물의 생육 및 생산성 영향 평가	<ul style="list-style-type: none"> ▪기존 작물생육/수량 시뮬레이션 모델 개량 ▪기후변화에 따른 지역간 생산량 변동성 예측 	<ul style="list-style-type: none"> ▪단위재배구역 설정: 1,445개 ▪단위재배 구역별 지리정보, 전체면적 식별번호, 식부면적 추가 및 보완 ▪토양정보: 토층별 토양특성(토성, 토양수분, 유기물 등) 	78	산림청

- 제4차 기후변화협약대책(2008~2012) 농림분야 정책에 대한 평가
 - 기후변화협약 제4차 종합대책의 농림업 부문의 과제로 17개 세부과제가 대상이나, 대부분의 정책들이 녹색성장 추진전략에 포함되어 추진되고 있다.

표 2-11. 제4차 종합대책 관련 농림부문의 사업 내용 및 실적

구 분	추진내용	실적	예산 (백만원)	추진 기관	
기후 친화 산업을 신성장 동력으로 육성 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 벼짚 등 농업부존자원 바이오메스 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 시군별 바이오메스 종합 활용센터 도입방안 연구 시군별 바이오메스 종합 활용센터 시범조성 	<ul style="list-style-type: none"> 농업부존자원 종합 활용센터 건립을 위한 연구용역 추진 바이오메스 특성별 표준모델 개발 	48,000	농식품부
국민 의 삶의 질 제고 와 환경 개선	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 농업 생산기반 조성 및 유통 소비 촉진 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경농축산 생산기반 조성 토양지력 증진 및 친환경농자재 공급 친환경농산물 유통활성화 및 소비 촉진 	<ul style="list-style-type: none"> 집단화된 친환경축산 생산기반 조성 친환경 농축수산물 인증제 확대 친환경농산물 유통활성화 및 소비촉진 	1,623,689	농식품부
	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 가축분뇨처리 지원을 통한 메탄가스 감축 	<ul style="list-style-type: none"> 액비저장조 설치 확대 공동자원화시설 확충 	<ul style="list-style-type: none"> 메탄가스 감소에 따른 온실가스 감소 효과 	244,193	농식품부
	<ul style="list-style-type: none"> 로컬푸드 운동 활성화 	<ul style="list-style-type: none"> 학교급식에 우유 공급, 저소득층 쌀 반값 공급 전통 식생활 보급사업 	<ul style="list-style-type: none"> 농식품 수송거리 단축 	519,800	농식품부
	<ul style="list-style-type: none"> 농수산물품 분야 에너지수요 관리 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 절약형 난방 보온시설 설치 지원 교유가 대응 농업에너지 절감기술 조기 확대 보급 LED 집어등 개발 및 소형 어선 전기추진 시스템 개발 온실가스 저감 영농매뉴얼 개발 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 시설원에 이산화탄소 발생량 감축 유류비 절약 및 어업경영 개선 도모 	186,268	농식품부
	<ul style="list-style-type: none"> 연안지역 바다숲 조성 	<ul style="list-style-type: none"> 미래 및 다목적형 바다 숲 조성 바이오에너지 및 웰빙식품 개발 기초연구 및 실용화 연안 생태 기반조사 	<ul style="list-style-type: none"> 연안생태계 회복으로 수산자원량 증가 및 적조 발생억제 해조류를 이용한 바이오에너지 생산 웰빙식품 생산 	75,000	농식품부
	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 관련 보험제도 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 보험상품 지속 개선 및 보험가입률 지속 제고 위험자료DB 구축 및 보험관리제도 고도화 보험대상 품목확대 	<ul style="list-style-type: none"> 국민생활 안정 및 농어업재생산 유지 기후변화 대비 자율적 방재체계 구축 	996,500	농식품부

표 2-11. 제4차 종합대책 관련 농림부문의 사업 내용 및 실적(계속)

구 분	추진내용	실적	예산 (백만원)	추진 기관	
국민 의 삶 의 질 제고 와 환경 개선 (15)	숲가꾸기 사업	<ul style="list-style-type: none"> 정척숲가꾸기 산림바이오매스 수집단 	<ul style="list-style-type: none"> 산림의 탄소흡수원 확충 숲가꾸기를 통한 경제적 공익적 가치 증가 	2,833,700	산림청
	사유림 탄소흡수능력 증대를 위한 대리경영 제도 개선	<ul style="list-style-type: none"> 대리경영 활성화방안 마련 숲가꾸기 시범사업 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 사유림 대리경영을 통한 전문화된 산림경영 활동 강화 	76,770	산림청
	숲사랑 운동 전개	<ul style="list-style-type: none"> 산불예방 등을 위한 지역별 업무협약 숲사랑 운동 관련 법령 개정 및 홍보 	<ul style="list-style-type: none"> 숲사랑 의식 고취 	800	산림청
	도시지역 유휴토지 등에 새로운 탄소흡수원 조성	<ul style="list-style-type: none"> 유휴토지조립 도시숲·산림공원 조성 가로수 조성 	<ul style="list-style-type: none"> 신규 탄소흡수원 확충 및 국토보전 도시 녹색 생활환경 제공 	1,170,795	산림청
	해외조림 확대 사업	<ul style="list-style-type: none"> 조림사업 실시 해외산림자원개발 세미나 등 투자정보 제공 및 자원외교 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 목재산업 및 국가 경쟁력 향상 해외조림을 통한 저탄소 녹색성장 기반조성에 기여 	110,400	산림청
	취약지 특별관리	<ul style="list-style-type: none"> 리기다소나무 갱신조립 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 흡수원 확충 	56,380	산림청
	산지이용 및 복원을 통한 탄소배출 최소화	<ul style="list-style-type: none"> 산지관리정보시스템 구축 및 운용 백두대간 훼손지 복원 산지전용타당성평가제도의 도입 및 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 산지관리제도 개선을 통한 탄소배출 최소화 산지전용 통계 자료 제공 	24,353	산림청
	북한 황폐 산림 복구 사업	<ul style="list-style-type: none"> 인공위성을 활용한 북한 산림 황폐지 실태조사 황폐지 조립 	<ul style="list-style-type: none"> 상생 협력 모델 제시 	524,289	산림청
	산림 영향분석 및 적응대책 마련	<ul style="list-style-type: none"> 산림의 건강·활력도 진단 평가 및 D/B구축 산불발생 위치정보시스템 개발 및 취약지 무인감시시스템 산사태 예측 및 대응시스템 개발, 사방댐 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 멸종위협 산림종 보호 산림재해 사전 예방 	1,124,215	산림청
기후 변화 대처 를 위한 국제 사회 노력 을 선도 (1)	개도국 산림조성 사업지원	<ul style="list-style-type: none"> 황사 및 사막화방지를 위한 조립사업 황폐된 열대림의 산림생태계 복원사업 개도국 산림분야 공무원 연구원 초청사업 	<ul style="list-style-type: none"> 국가이미지 제고 	56,694	산림청

○ 농림수산물 분야 저탄소 녹색성장 추진전략(2009)에서 기후변화 대응 정책에 대한 평가

표 2-12. 농업무문의 녹색성장 추진정책의 주요 내용

3대 전략	9대 추진과제	50개 실천과제 (농업부문 34 개)	온실가스 감축 목표	비고	소요예산	
지투 입· 고효율 녹색 산업화	바이오 매스 에너지화 촉진	가축분뇨 자원화·에너지화	▪ 3,000톤 CO ₂ 감축(개소당 1,000 tCO ₂ 감축)	▪ 2012년 가축분뇨 해양배출 금지 대비, 자원순 환농업 활성화를 통한 온실가스 감축 ▪ 에너지시범사업: 2010년 3개소/105억원	2010~2020년 4,476억원	
		농산 바이오매스 에너지화	▪ 바이오디젤 생산 만 고려: 107,217 톤 CO ₂ 저감 ▪ 유채재배시: 225 천톤 CO ₂ 저감	▪ 2012년 유채 45천ha 재배 ▪ 농림수산물부(2007년 자료) ▪ 바이오디젤의 CO ₂ 배출량은 0.7톤으로 경유 에 비해 2.48톤 저감 가능 ▪ 유채 재배시 ha당 5톤CO ₂ , 저감 효과	-	
	녹색 기술· 장비 보급 확대	녹색기술 R&D 투자 확대	-	-	▪ 기초연구 단계인 농식품 과학기술에 투자 확대 ▪ R&D 중 농식품 기술 분야의 재정투자도 녹색성 장 전인	2010~2020년 71,725억원
		시설원에 에너지절감 장비 보급	▪ 7,976천톤 CO ₂ 감축, 연간 665천 톤 CO ₂ 감축 (2009년~2020년인 12년으로 나눔)	▪ 농어업분야 신재생에너지(지열) 보급으로 농가 경영비 부담 완화, 농업분야 친환경 녹색성장 선도 ▪ 2010년은 시설원에 위주, 2011년부터 농어업 타분야로 확대 (시설원에 전체 난방면적 48%인 6,323ha보급 시) 2020년까지 시설원에 유류사용 1,132 천톤 난방비 11,588억원 절감	2010~2020년 29,840억원	
		농업용 LED 이용효율성 향상	▪ 연간 약 68천톤 탄소 저감	▪ 농업용 백열등 중심 광원을 LED로 대체할 경 우, 연간 120억원 전기에너지 절감 농촌진흥청	-	
		유용미생물 이용기술 개발	-	-	-	
		소수력 발전	▪ 연간 46,800톤 CO ₂ 감축	▪ 2016년까지 소수력 발전소 57개소 (2009년 10 개소) 건립, 연간 8만Mwh 전기 생산 ▪ 농어촌공사의 탄소저감계수를 이용해 추정하 값임. ▪ 소수력 발전시 탄소저감계수 1Mwh당 0.588톤 CO ₂	-	

표 2-12. 농업무문의 녹색성장 추진정책의 주요 내용 (계속)

3대 전략	9대 추진과제	50개 실천과제 (농업부문 34개)	온실가스 감축 목표	비고	소요예산
저투입· 고효율 녹색 산업화	기후변화 대응역량 강화	온실가스 인벤토리 구축	-	-	-
		탄소배출권 거래제 도입	-	-	-
		농축산분야 온실가스 감축기술 개발	-	-	-
		해외농업 정보 수집	-	-	-
		농·식물 수산물 병 해 관리	-	-	-
		농업 경영체 정보화, 자동화	-	-	-
		산림 재해예방 생태계 모니터링	-	-	-
		농작물 재해보험 활성화	-	-	-
농산어촌		체험·생태관광 인프라 확대	-	-	-
		새만금을 녹색성장 시범 지역으로 육성	-	-	-
		농촌형 저탄소 녹색마을 조성	-	<ul style="list-style-type: none"> 바이오메스와 신재생에너지를 활용한 "농촌형 에너지자립 녹색마을" 조성 대상지 1개소(전북 완주) 선정 및 조성 (2010~2012년) 2020년 4개소 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 2010 ~ 2020년 1,363억원
		친환경 농어촌 주택 표준설계도 개발·보급	-	<ul style="list-style-type: none"> 기존 건물 대비 연간 10% 이상의 CO₂ 저감(농어촌연구원) 	-
자연자원의 지속가능 이용·관리	활력증진	농업용수 관리강화	-	-	-
		도농교류 활성화	-	-	-
		필도강산 금수강촌 만들기	-	-	-
	탄소 흡수 녹색 공간 유지·확대	생활원에 실용화	-	<ul style="list-style-type: none"> 시민, 농업, 문화가 함께 하는 도시농업 도심녹지 조성으로 에너지 절감, 도심 안전한 먹거리 생산 및 관련 산업 확대로 일자리 창출 	<ul style="list-style-type: none"> 2010 ~ 2020년 4,250억원
		고부가 생명산업	신소재 기능성 작물 개발	-	-
고부가 종자산업 육성	-		-	-	

표 2-12. 농업무문의 녹색성장 추진정책의 주요 내용 (계속)

3대 전략	9대 추진과제	50개 실천과제 (농업부문 34개)	온실가스 감축 목표	비고	소요예산	
국민건강 증진과 국격 제고	친환경 농산업 기반 육성	친환경 농산물 생산비중 확대	<ul style="list-style-type: none"> 친환경농업지구 7,555톤 CO₂ 저감, 연간 1,511톤 CO₂ 저감 광역친환경농업단지 85,673CO₂ 저감, 연간 17,135톤 CO₂ 저감 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경농업지구 조성(2008~2012년) 광역친환경농업단지 조성(2008~2012년) 유기농산물 재배면적: 2009-13천ha, 유기농식품 시장규모: 2008-4,000억원, 2015년-2조원, 2015년-50천ha 	<ul style="list-style-type: none"> 2010~2020년 34,008억원 - 기반구축: 6,259억원 - 유통센터: 231억원 - 친환경비료 지원: 27,513억원 	
		친환경 농자재 산업 육성	<ul style="list-style-type: none"> 유기질비료 지원 사업으로 37,453톤 CO₂ 저감, 연간 7,491톤 CO₂ 저감 	<ul style="list-style-type: none"> 유기질비료: 2008년 200만톤, 2009년 210만톤, 2012년 250만톤으로 확대 2010년 225만톤, 2011년 233만톤으로 추정 5개년 지원량은 1,120만톤 톤당 0.00344톤 CO₂ 저감 	-	
		제2녹색혁명 추진	<ul style="list-style-type: none"> 제2녹색혁명 가운데 청보리 재배로 644,974톤 CO₂ 저감, 연간 128,995톤 CO₂ 저감 	<ul style="list-style-type: none"> 청보리면적: 2008년 115천 ha, 2009년 153ha, 2012년 260ha로 확대 2010년 면적 190ha, 2011년 면적 230ha로 추정하여 탄소저감량 추정시 3년 면적은 948ha임. ha당 0.68톤 CO₂ 저감 	-	
	저탄소 국가 식품 시스템 구축	첨단 식품클러스터 확충	-	-	-	-
		식품정보 제공 확대(원산지, 푸드 마일리지 등)	-	-	-	-
		고부가 저탄소 식품기술 개발	-	-	-	-
		한식세계화	-	-	-	-
		농림수산식품분야 탄소표시제 도입	-	<ul style="list-style-type: none"> 농림수산식품의 저탄소형 생산 및 소비 유도 인증대상 품목: 2015년-100품목, 280건 	<ul style="list-style-type: none"> 2010~2020년 141억원 	
	녹색 식문화 확산	녹색식생활 운동 확대	-	-	-	-
	연간 탄소감축량 계			1,270,149톤 CO₂ 저감		

- 농식품분야의 녹색성장 추진을 위해 3대전략(저투입·고효율 녹색산업화, 자연자원의 지속가능 이용·관리, 국민건강 증진과 국격 제고)과 9대 추진 과제, 50개 실천과제를 수립하고 추진하고 있다.
- 주요 성과로는 대규모·자동화 온실에 지열난방 보급, 어선의 집어등을 고효율 LED로 교체, 가축분뇨 자원화 시설시설 등 설치로 에너지 절감 및 신재생 에너지 확대 보급 등의 성과를 거두었다.

- 토양 특성을 고려한 맞춤형 비료지원으로 전환 및 친환경광역단지 및 친환경 농업지구 확대로 친환경 농식품산업 육성의 정책기반을 구축한 것으로 나타났다.
 - 녹색 기술 분야의 재정투자 확대와 온실가스·에너지 목표관리제를 통해 농식품업체의 에너지 효율 향상과 기후변화 대응역량을 강화되었다.
 - 농업부문 녹색성장 정책프로그램에서 제시된 온실가스 감축량 등 정책 성과와 기대효과가 명확하게 제시되고 있지 않으며, 정책성과에 대한 계량적 평가와 우수사례 발굴을 통해 성과확산이 이루어질 수 있는 성과관리시스템 구축이 필요하다.
 - 온실가스 감축 기술을 보급하는 정책프로그램 개발이 필요하며, 농업분야 녹색성장 추진 34개 프로그램에 대한 추진실적 점검과 평가를 통해 정책의 보완과 조정 등 피드백을 강화할 필요가 있다.
- 농림수산식품분야 기후변화 대응 기본계획(2011~2020)에 대한 평가
- 온실가스 감축을 농림수산식품산업 발전 기회로 활용하는 공세전략을 수립하여 추진하였다. 특히 기후변화 대응 기본계획의 농림수산식품분야 온실가스 감축목표는 국가차원의 감축목표보다 높게 설정하고 적극적으로 가시적으로 대응책을 추진한 것으로 평가된다.
 - 국가목표(농업·축산)를 초과하여 달성한 온실가스 감축분은 상쇄사업(Offset)을 통한 소득창출 방안을 모색하고 있다. 상쇄사업 분야로 농작물 재배법 개선, 가축사육 및 분뇨처리기술 개발, 화석연료 감축 등 환경친화적 농림수산식품산업으로의 전환 등은 적절한 대안으로 사료된다.
 - 농업기상 예측 및 위험관리시스템 혁신을 통한 기후변화 적응력 강화를 통한 방어 전략을 수립하여 추진하였다. 농업기상을 주산지 등 지역단위로 세분화하여 제공함으로써 한파, 폭설 등 단기 이상기상에 선제적으로 대응하고, 온난화에 따른 생산예측 및 기술개발(품종개발, 병해충 방제기술, 재배기술) 등을 통해 중장기적 수급 안정 도모는 실효성 있고 적절한 대응책으로 판단된다.

표 2-13. 농림수산물분야 기후변화 대응 기본계획(2011~2020) 사업내용

구 분	추진내용
온실가스 흡수원 확대를 통한 흡수능력 제고	<ul style="list-style-type: none"> 과수작물을 이용한 탄소격리량 증진 - 사과 1.1 CO₂ 톤/ha 격리 도시농업활성화를 통해 조경수, 옥상녹화 등 도시녹지 조성 - 옥상 녹화시 냉난방비 16.6% 경감
온실가스 배출량 저감을 위한 농법 개발·보급 확대	<ul style="list-style-type: none"> 벼농사 물 걸러대기 비율 제고 - 물 걸러대기는 상시담수에 비해 온실가스 감축 능력 43.8% 향상 농경지 유래 온실가스 저감을 위해 무경운 농법 도입 방안 연구 - 밭 무경운 농법 적용시 경운농법에 비해 약 32%의 온실가스 감축 유기농법 등 친환경농법 확대로 화학비료 사용 절감 - 화학비료 사용·절감계획(kg/ha): ('10)242 → ('13) 220, 이후 매년 3%씩 절감
에너지 절감 및 화석연료 대체를 위한 신재생 에너지 보급·확대	<ul style="list-style-type: none"> 농업용 온실대상 다점 보온커튼 등 에너지 절감시설 보급 확대 농업용 온실 등에 목재펠릿 보일러, 지열난방시설, 공기열 냉 난방시설 확대 보급 농촌에 목재펠릿 보일러 보급 확대 및 풍력 태양광 등 신재생 에너지 발전소 설치 확대 - '16년까지 풍력 20개, 태양광 6개 설치(연간 발전량: 214MWh, 88만 가구 사용 가능)
이상기상 등 기후변화 예측 능력 강화	<ul style="list-style-type: none"> 외국 모델의 개선·검증을 통해 쌀 등 주요 작목 작물모델 구축 - 작물모델은 농진청이나 주산지 지자체 주도로 연구기관, 경영체 등이 협력하여 대상작물을 선정하고 개발 추진 동해 등 이상기상 피해가 심한 품목 중심으로 취약성 지도를 작성하고 취약지역에 대하여 경보 실시
기후변화 적응 능력 향상을 통한 피해 최소화	<ul style="list-style-type: none"> 주요 농작물을 중심으로 기후변화 적응 품종개발 지원 - 미곡 등 식량안보 차원의 작물은 농진청 등을 중심으로 기술개발 - 가을배추 등 특정 지역에 편재하고 기후변화가 수급에 큰 영향을 주는 작물은 지자체 주도로 품종 개발 국지적 가뭄, 돌발 병해충 등 재해 대응 능력 강화 - 물절약 재배기술, 농업용수 효율적 이용, 병해충 방제기술 등 확립
고수의 품종 개발 및 보급 확대를 통한 신소득원 창출	<ul style="list-style-type: none"> 망고 등 수익성이 검증된 품목의 보급 확대 무가운 재배, 냉해를 견딜 수 있는 품종개발 지원
시설 현대화 및 기술개발을 통한 온실가스 감축	<ul style="list-style-type: none"> 친환경·동물복지형 축산기술을 통한 온실가스 감축 가축분뇨 자원화 및 에너지화 시설 확충으로 가축분뇨로부터 유래하는 온실가스 배출량 감축 장내에서 메탄 생산을 저감할 수 있는 사료 및 미생물 개발 활용 등 반추가축의 장내발효 개선
축산업 허가제 도입 및 등록제 강화로 밀집사육 방지	<ul style="list-style-type: none"> 축산업 허가제는 '12년부터 대규모 농가부터 단계적 도입 등록제는 4개 축종(소·돼지·닭·오리)에서 기타가축으로 2012년 확대
기후변화 피해 경감을 위한 가축관리기술 개발 및 질병방지 대책 마련	<ul style="list-style-type: none"> 고온 적응을 위한 최적 가축 사양기술 개발 및 적정 사육두수 설정 등 축사관리기준 설정 한반도 온난화시 발병이 예측되는 질병에 대한 방제기술 개발
조사료 재배면적 확대 등 사료 자급을 제고	<ul style="list-style-type: none"> '20년까지 350천ha의 조사료 재배

표 2-13. 농림수산물분야 기후변화 대응 기본계획(2011 ~2020) 사업내용(계속)

구분	추진내용
수산	바다의 온실가스 흡수원 확대 <ul style="list-style-type: none"> 바다숲, 바다목장 조성 등을 통해 탄소를 바다에 격리 해조류의 탄소 흡수능력을 국제적으로 인정받기 위한 연구 추진
	저탄소 에너지절감형 기술개발을 통한 온실가스 배출량저감 <ul style="list-style-type: none"> 어선 LED 설치 및 유류 절감장치 계속 지원 트롤어구 등 어선어업의 온실가스 저감방안 마련을 위한 연구 추진 양식장 에너지 절감을 위해 지하해수를 사용한 양식기술 보급 수산바이오메스 에너지화를 통해 바이오에너지 등을 개발·보급
	기후변화 영향에 대한 예측능력 강화 및 수산업 피해 최소화 <ul style="list-style-type: none"> 이상해황 발생 등에 대처하기 위한 한국형 어장환경 예측기반 구축 주요 상업종의 분포역 변동조사 및 예측을 통한 안정적 수산물 공급전략 개발 아열대화로 인한 새로운 수산질병 제어기술 개발
	기후변화에 대응한 미래 양식업 실현 <ul style="list-style-type: none"> 신규 내유성 어종에 대한 어획 및 활용기술, 내온성 양식품종 개발 기후변화에 따른 미래 양식적지 재산정 및 친환경 양식업 기술개발을 통한 지속가능한 어장활용 실현
산림	산림의 온실가스 흡수능력 제고 <ul style="list-style-type: none"> 유류 토지 조림 및 수종갱신 등으로 신규 탄소 흡수원 확충 숲가꾸기를 통해 산림의 온실가스 흡수 능력 향상 도시공간에 나무 등을 심어 도심 녹지의 온실가스 흡수 기능 제고
	해외 조림, 산림탄소 상쇄제도 운영 등 탄소배출권거래제 준비 <ul style="list-style-type: none"> 인도네시아, 캄보디아 등 해외조림 확대를 통한 탄소배출권 확보 국내 산림탄소배출권 거래기반 구축을 위해 「탄소흡수원증진법」 제정 산림전용방지활동을 통한 탄소배출권 확보방안 추진
	기후변화에 대응한 산림의 적응능력 강화 <ul style="list-style-type: none"> 편백, 백합나무 등 기후적응 광범위 수종과 난대수종 확대 등 지역별 산림구조 개편 기후변화에 따른 대규모 산림재해 최소화 방안 강구 산림생태계 장기 모니터링 강화 및 산림 생태계 변화 예측 모델 개발
수자원	농촌용수 안정적 공급 등 풍부한 물환경 기반조성 <ul style="list-style-type: none"> 다목적 용수개발, 저수지 뚝 높임 등을 통해 용수 공급량 확보 농촌용수를 비영농기에 하천 유지수로 공급하여 농어촌지역의 하천 건천화 방지 및 수생태계 보전
	기상변화에 따른 재해대응 능력 강화 <ul style="list-style-type: none"> 홍수배제 능력이 부족한 저수지 및 양·배수장 등에 대해 기능보강 추진 저수량 500만톤이상 대형 저수지 물넘이 보강 중·대형 저수지 및 방조제의 지진대응 능력 보강
	농업용수 수질 개선 및 사전 예방적 수질관리 <ul style="list-style-type: none"> 저수지 상류지역 하수처리장, 하수도 등 환경기초시설 조기 설치 저수지에 대한 정기적인 수질조사 및 침전지, 인공습지 조성 등 호내 수질 개선대책 확대 추진
	소수력 발전 추진 <ul style="list-style-type: none"> 수량이 풍부하고 낙차가 큰 저수지를 대상으로 점진적 확대
식품·유통	온실가스·에너지 목표관리제 추진 <ul style="list-style-type: none"> 합리적이고 공정한 감축목표 설정 중소기업 온실가스 관리 인프라 구축 지원
	물류효율화, 음식물 쓰레기 줄이기 <ul style="list-style-type: none"> 산지 화상 경매제 도입 한식의 녹색·웰빙 이미지 구축 12년까지 도매시장 쓰레기 중량제를 32개 공영도매시장으로 확대
기후변화 대응을 위한 인프라 구축	저탄소 가공식품 소비 촉진 <ul style="list-style-type: none"> ‘가정식생활수첩’ 제작·보급 및 ‘가족밥상의 날’ 정착 ‘우수 농어촌 식생활 체험공간’ 및 체험 프로그램 보급 확대 민간 주도의 국민운동 확산 유도
	추진체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> 농림수산물분야 기후변화 대응 T/F 설치 기후변화 선제적 대응을 위한 중앙-지자체-민간 협력체계 구축 농림수산물분야의 이상기상 예보 전달기구 설립 추진 검토
	제도개선 <ul style="list-style-type: none"> 탄소배출권 거래제에 대비하여 탄소상쇄 지원 체계 구축 자율적인 온실가스 감축 추진을 위한 저탄소농축산물 인증제 도입 저탄소 생산활동 장려를 위해 직접지불제 및 정책자금제도 개선
	투자확대 <ul style="list-style-type: none"> 기후변화 선제적 대응을 위한 R&D 투자 확대 민간의 기후변화 대응역량 강화를 위한 “(가칭)녹색펀드” 도입 검토
공감대 형성 및 국제협력 증대 <ul style="list-style-type: none"> 저탄소 생활에 대한 국민적 공감대 형성 온실가스 감축·적응 핵심기술 확보를 위한 국제협력 확대 	

제 3 장

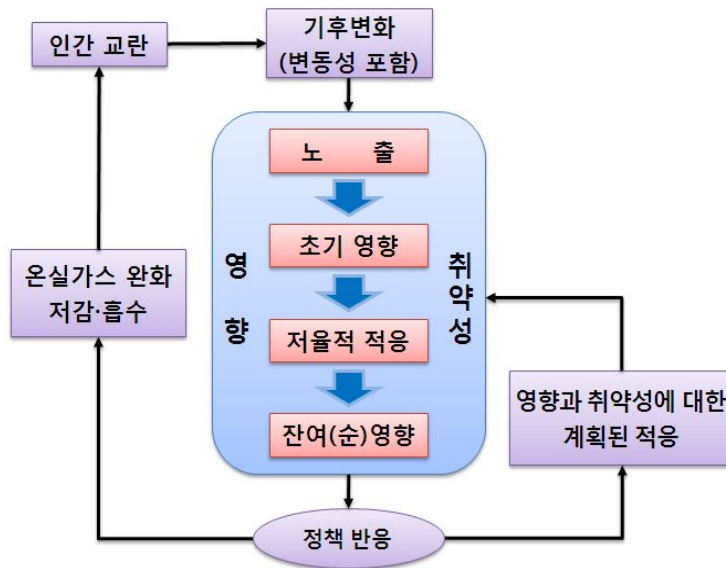
농림수산부문의 기후변화 대응 방식

1. 기후변화 대응의 접근방식

- 기후변화의 대응책은 온실가스의 배출과 흡수를 통해 기후변화 자체의 크기와 비율을 줄이는 완화방식과 온난화의 불가피성을 인정하고 기후변화의 영향과 취약분야를 확인하여 피해를 최소화하는 적응방식으로 대별될 수 있다.
 - 기후변화로 인한 영향 및 취약성을 평가하는 것은 적응을 위한 선행단계이다. 영향은 자연시스템과 인위시스템에 대한 기후변화의 결과를 의미하며, 영향에 대한 적응 여부에 따라 잠재적 영향과 잔여 영향으로 구분한다.
 - 잠재적 영향이란 적응을 고려하지 않았을 때 나타날 수 있을 것이라고 예측되는 기후변화로 인한 모든 영향을 말하고, 잔여영향은 적응이 이루어진 이후에 예측되는 기후변화의 영향으로 생물리적 취약성을 지칭한다.
- 기후변화 적응과 적응력의 개념
 - 적응은 다양하게 정의되고 있는데, IPCC는 현재와 미래 예상되는 기후변화로 인해 발생할 가능성이 있는 피해를 줄이기 위한 생태학적, 사회·경제적 시스템의 조절작용으로, UNFCCC는 지역사회와 생태계가 변화하는 기후조건에 대응하여 취하는 행동으로 볼 수 있다.

- 적응과정을 통해 기후변화의 부정적 위험이 감소되고 긍정적으로 이용할 수 있는 기회를 제공하므로 적응은 기후변화의 영향을 완화시키는데 중요한 역할을 수행한다. 적응에는 기후변화에 의한 피해를 직접적으로 경감하기 위해 실시되는 것과, 장래의 적응능력을 높이는 것으로 간접적으로 기후변화 피해의 경감에 이바지하는 것 등이 포함된다.
- 적응력(adaptive capacity)이란 어떤 시스템이 기후변화에 대응하여 스스로를 조절하거나, 잠재 피해를 감소시키고, 기회를 이용하거나 기후변화 결과에 대처하는 잠재능력을 지칭한다. 즉, 효과적으로 적응을 계획·실시하는 능력이며 기후변화의 영향에 따른 유해한 결과의 빈도와 정도를 경감시키기 위해서 증가하는 위험과 압박에 대해서 반응하는 능력을 의미한다.
- 적응능력은 이러한 것들의 구성인자 조합에 의해 얻을 수 있는 것들이지만, 적응이 수행되는 상황 및 직면하는 재해의 성질 등에 의해서, 각 구성인자의 상대적 중요성은 다르다. 또한 각 구성인자는 제 각각 독립적·배타적인 것이 아니며, 상호간의 밀접한 관계를 가지고 있다.

그림 3-1. 기후변화 대응의 접근방식 체계



자료: IPCC(2007).

○ 취약성(vulnerability)의 개념과 적응과의 관계

- 취약성(위험- 적응)은 기후변동성(variability)이나 극단적인 기상현상을 포함하는 기후변화의 악영향을 받기 쉬운 정도, 즉 기후변화의 역효과에 대한 대처할 수 없는 정도를 나타낸다.
- 취약성은 시스템이 노출된 기후변동의 크기와 속도, 시스템의 민감도와 적응능력의 함수임(취약성 = f[노출-(민감도, 적응력])). 여기서 시스템의 민감도는 기후 교란에 의해 시스템이 받는 영향정도를 의미하며, 즉 시스템이 변화에 순응할 수 있는 정도를 말한다. 적응능력은 기후변화의 영향에 적응할 수 있는 시스템, 지역 또는 사회의 능력을 의미한다. 적응능력의 확충은 기후변화의 불확실성에 대항할 수 있는 실제적인 수단을 나타낸다.

○ 농업부문 기후변화 적응의 유형

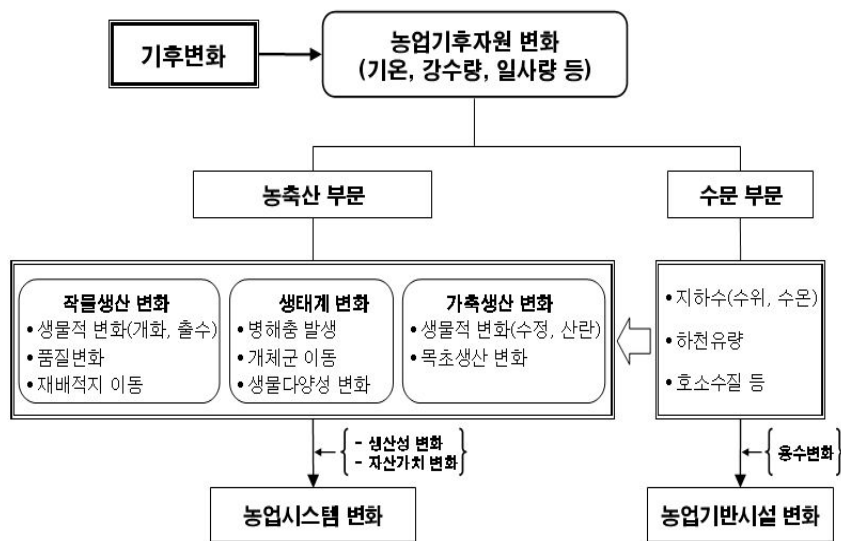
- 기후변화에 따른 적응의 유형은 크게 영향을 받는 시스템의 민감도를 줄이는 방식(저수지 저장능력 제고, 내열성 작물재배, 홍수대비 등), 기후변화의 영향에 대한 어떤 시스템의 노출(exposure)을 변경시키는 방식(위험 대비투자과 조기경보 활용), 사회적·생태적 시스템의 복원력(resilience)을 증가시키는 방식(자원보존 조치 등) 등을 들 수 있다.
- 복원력은 변화와 장애물을 흡수하는 사회나 생물학적 시스템의 능력으로 스스로 조직화하는 능력과 스트레스와 변화에 적응하는 능력을 의미한다. 이러한 복원력은 시스템이 그 기능과 구조를 유지하면서 변화와 스트레스를 견딜 수 있는 양(시스템의 취약성), 압력에 대응하여 적응하고 장기 목표를 추구할 때 스스로 조직화할 수 있는 능력(적응능력)을 반영한다.
- 적응을 추진하는 관련주체는 농업인과 유관업체 등의 민간부문과 중앙 정부와 지방자치단체 등 공공부문으로 대별될 수 있다. 민간부문은 사적 이윤극대화를 추구하고, 공공부문은 공익극대화를 추구하고.
- 적응의 유형 구분 축으로 시스템 특성, 의도성, 시점 등을 들 수 있다. 시스템은 크게 자연시스템과 인간시스템으로 대별되며, 의도성 기준에 따라 자생적(autonomous) 적응과 계획된(planned) 적응, 시점에 따라 사

전적 적응과 사후적 적응, 기간에 따라 단기와 중장기, 공간적 범위에 따라 농가단위, 지역단위, 국가단위 등으로 구분이 가능하다.

2. 기후변화의 파급 영향

- 기후변화가 농축산부문에 미치는 영향으로 작물의 개화·출수 등 생물학적 변화와 품질변화, 재배적지 이동 등을 들 수 있다.

그림 3-2. 기후변화가 농업부문에 미치는 파급영향 구조



자료: 김창길 외 4인(2009).

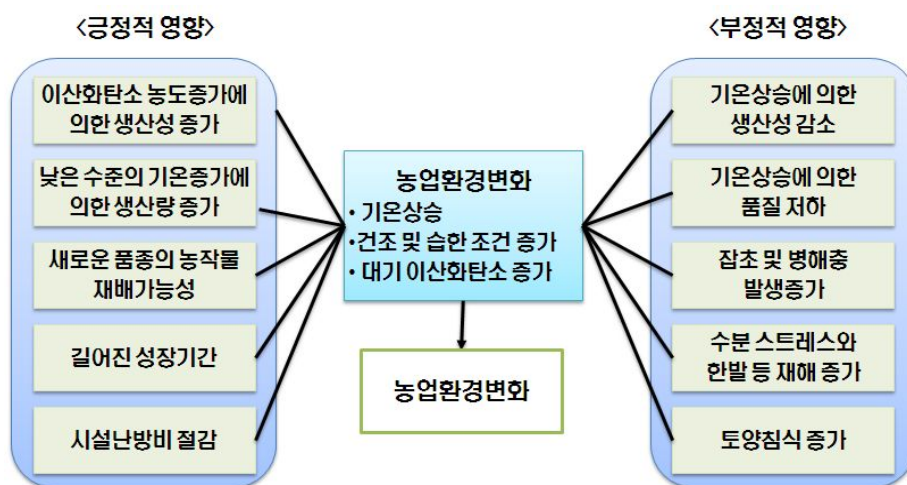
- 기후변화는 농업생태계에 영향을 미쳐 병해충 발생과 개체군의 이동 및 생물다양성에 영향을 준다. 또한 축산부문에는 수정과 산란 등 생물학적 변화와 목초생산에 영향을 미친다.
- 기후변화는 강수량, 증발, 토양수분 등의 변화를 통한 지하수 수위와 수온, 하천 유량, 호소 수질 등 수문 분야에도 영향을 미친다. 특히 기후변

화에 따른 강수의 증가는 유출의 증가로 연결되며, 온도의 상승은 증발산을 증가시켜 유출에는 감소의 요인으로 작용한다.

○ 지구온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향

- 지구온난화의 긍정적인 영향으로는 이산화탄소 증가에 따른 시비효과로 작물의 생산성 증가, 새로운 고온성 및 아열대성 작물(망고, 아보카도, 아테모아 등)의 재배 가능지역 확대, 작물재배 기간 증가로 인한 이모작 확대, 월동작물 저온피해 감소 및 시설재배 농작물의 난방비 절감 등을 들 수 있다.
- 지구온난화의 부정적인 영향으로는 기온상승에 따른 생육기간 단축으로 인한 작물 수량감소와 품질저하, 특히 과수의 당도저하 및 착색불량과 저장성 저하, 잡초 및 농작물의 병해충 활동 증대, 유기물 분해 촉진으로 인한 지력 저하, 강우 증가로 인한 토양침식의 심화 등을 들 수 있다.
- 기후변화시 작물의 재배한계선과 재배적지가 북상함에 따라 주산지가 변동하게 된다. 주산지 변동은 지역별 위치에 따라 위기로 작용하기도 하고 기회로 작용할 수도 있어 긍정적·부정적 영향으로 구분하는데 어려움이 있다.

그림 3-3. 온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향



3. 기후변화 적응의 접근방법

○ 농림수산부문 기후변화 적응대책의 접근방법

- 기후변화 적응에 적용되는 수단은 국가별·지역별 여건에 따라 매우 다양한 프로그램이 활용되고 있다. 캐나다의 경우 기술 개발, 정부 프로그램과 보험, 농가생산기법, 농가재정관리 등 다섯 가지 수단으로 유형화하고 있다. 일본은 농업분야 기후변화 적응수단을 물·토양의 보전, 토양 질의 개량, 경작활동, 물 이용 효율, 정부 및 관행적인 시책, 신기술 연구투자, 인프라 구축, 교육과 인지, 토지관리, 수자원 관리, 인간행동, 기타수준의 농가적용 등 12개 분야로 유형화하여 관리하고 있다.
- 여기서는 농업분야의 세부 적응수단으로 기술개발 분야 5개, 기반시설관리 분야 8개, 경제적 수단 1개, 법제도 정비 3개, 인력양성 및 교육 2개, 모니터링 1개, 농가적용 기술 및 경영 4개 등 총 19개 적응수단을 고려하기로 한다.

표 3-1. 농업분야의 적용 가능한 적응 인벤토리

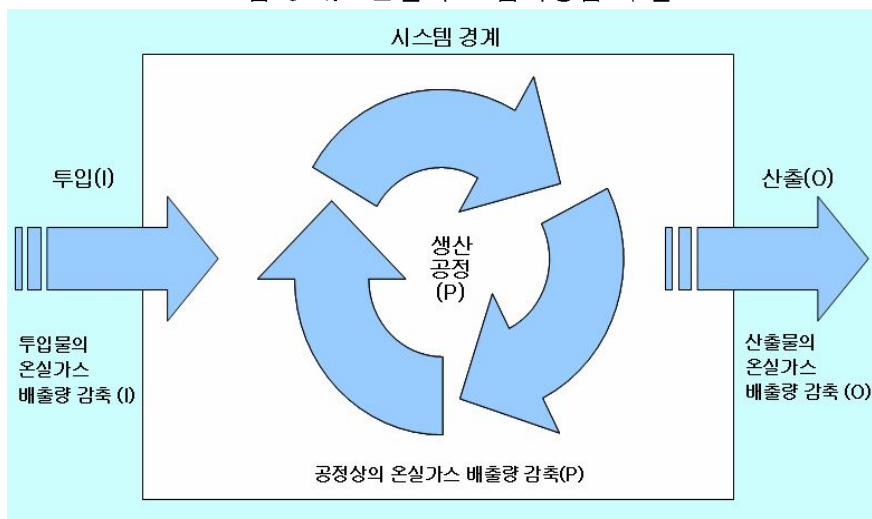
분야별	세부 적응프로그램
기술개발 (R&D)	① 품종개발 ② 생산기술개발 ③ 기반구축기술개발 ④ 자원관리혁신 ⑤ 기후정보시스템
기반시설관리	⑥ 농경지관리 ⑦ 농업용수관리 ⑧ 농업시설관리
경제적 수단	⑨ 보조금 지급
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대 ⑪ 자원관리시스템구축 ⑫ 지역별계획수립
인력양성·교육	⑬ 인력양성 ⑭ 교육·홍보
모니터링	⑮ 적응 및 취약성평가
농가적용 기술·경영	⑯ 생산기술관리 ⑰ 토양관리 ⑱ 용수관리 ⑲ 농가재정관리

4. 온실가스 완화의 접근방법

○ 온실가스 완화를 위한 접근방법

- 온실가스를 감축하는 방법은 크게 투입물의 온실가스 감축방법, 생산공정상의 온실가스 감축, 산출물의 온실가스 감축방법 등으로 대별될 수 있다.

그림 3-4. 온실가스 감축방법 구분



- 온실가스 감축수단은 경제적 수단, 규제조치, 자발적 협약, 연구개발·보급, 정보제공·인식제고 등으로 분류된다.
- 온실가스 감축을 위한 경제적 수단에는 부과금, 탄소세, 배출권거래제 등을 들 수 있다.
 - ① 온실가스 부과금: 온실가스 단위당 배출에 대해 그 귀속가격과 같은 금액의 부과금을 화석연료 이용자에게 부담시키는 방안이다.
 - ② 탄소세: 탄소세는 부과금의 형태로 화석연료 사용시 연료에 함유되어 있는 탄소 함유량에 비례하여 세를 부과하는 형태이다.
 - ③ 온실가스 배출권: 효율적인 온실가스 총배출량 산출을 기초로 배

출권을 설정하여 그 권리시장에서의 매매를 인정하는 방안이다.

- 규제조치에는 총량규제, 화학비료살포기준, 퇴액비 살포기준, 사육밀도규제 등을 들 수 있다. 자발적 협약에는 모범영농준칙과 자원순환형 마을관리 등을 들 수 있다.

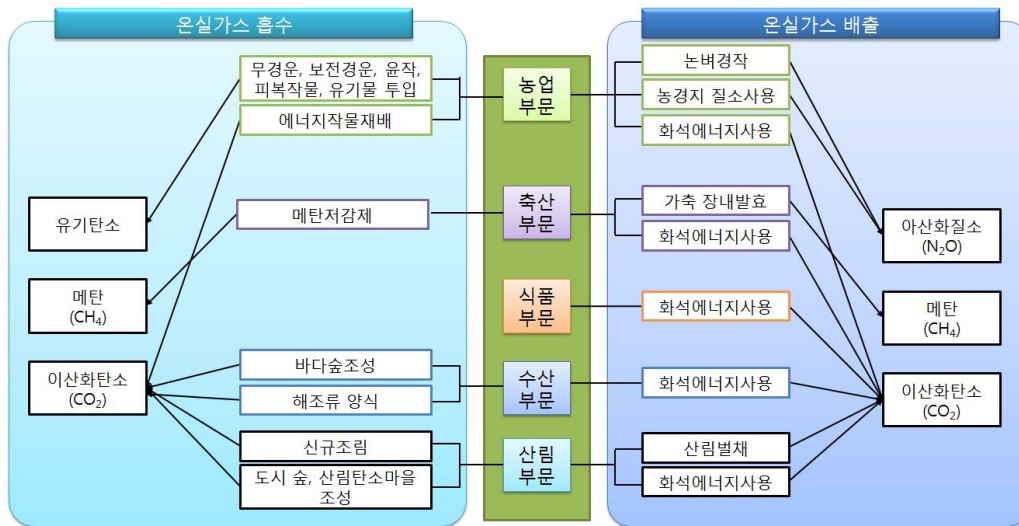
표 3-2. 온실가스 감축수단의 분류

구분	감축수단
경제적 수단	부과금제도, 탄소세, 보조금, 자금지원, 배출권거래제, 청정개발체제
규제조치	총량규제, 화학비료살포기준, 퇴액비 살포기준, 사육밀도규제
자발적 협약	모범영농준칙, 자원순환형 마을관리
연구개발·보급	연구프로그램, 기술개발, 실증사업
정보제공·인식제고	온실가스 모니터링, 사업이행지원

○ 농림수산식품 부문의 온실가스 배출 및 흡수 구조

- 농축산부문에에서 발생하는 온실가스는 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 등이 주류를 이루며 부분적으로 이산화탄소(CO_2) 등을 들 수 있다<그림 3-5>.
- 메탄은 무색·무취의 가연성 기체로 논벼경작과 축산부문의 가축 장내발효와 가축분뇨 분해 과정에서 발생한다. 아산화질소는 무색의 기체로 향기와 단맛을 가지는데 농경지의 질소시용과 가축분뇨 분해로부터 발생한다. 이산화탄소는 농축산부문에에서 사용되는 석탄, 석유, 가스 등의 에너지 사용에 의해 발생한다.
- 식품부문에에서는 제조공정에서 화석연료를 사용하는 경우 이산화탄소를 발생한다.
- 수산부문에에서는 연근해어선 또는 원양어선의 화석연료 사용으로부터 이산화탄소가 발생한다. 한편 수산부문에에서 바다숲 조성과 해조류 양식 등을 통해 이산화탄소 흡수가 가능하다.
- 산림부문에에서는 산림벌채와 화석에너지 사용으로부터 이산화탄소가 배출된다. 한편 산림의 경우 신규조림, 도시 숲 조성과 산림탄소마을 조성 등을 통해 이산화탄소 흡수가 가능하다.

그림 3-5. 농림수산물식품부문의 온실가스 배출-흡수 구조



○ 논에서의 메탄 배출

- 논은 담수되어 있기 때문에 발과는 다르게 산소가 없는 조건을 좋아하는 성질의 미생물(혐기성세균)이 존재하고, 이 미생물의 활동에 의해 메탄이 생성된다.
- 메탄발생 억제를 위해서는 볏짚을 대신하여 완숙퇴비를 투입하거나 중간에 토지를 건조시키는 방법 등이 효과가 있다.

○ 농업부문의 아산화질소 배출

- 화학비료나 퇴비 및 농산부산물 등을 토양 속에 투입하게 되면 질소가 암모늄태질소로 변하고, 미생물의 활동에 의해 아산화질소가 발생한다. 아산화질소 발생은 산소가 많은 조건(호기조건) 하에서 암모늄태질소가 질산태질소로 변화하는 과정과 산소가 적은 조건(혐기조건) 하에서 질산태질소가 질소가스로 변화하는 과정에서 발생한다.
- 아산화질소 발생을 억제하기 위해서는 적절한 시비량의 준수와 토양 속 질소의 투입 억제가 효과적이다.

○ 농업부문의 온실가스 흡수원

- 토양탄소는 식물이 광합성으로 흡수한 CO₂에서 온 것으로, 토양 속의 탄소가 증가하면 그 만큼 대기 중의 CO₂가 감소했다는 것을 의미하므로 CO₂ 흡수원으로 볼 수 있다. 또한 약화된 토양을 적절하게 관리하여 복원시킨다면 토양 속에 탄소를 축적시킬 수 있다는 것을 의미한다.
- 퇴비나 볏짚 등의 유기물을 토양 속에 투입하게 되면, 그것에 포함된 탄소는 미생물에 의해 분해되고 일부는 대기 속에 방출되며, 일부는 토양 속에 장기간 쌓이게 된다. 이러한 차감은 농지토양에 의한 흡수·배출에 해당한다.

○ 온실가스 흡수원으로써 토양의 탄소저장

- 토양은 지구규모의 탄소순환, 탄소저류의 장으로써 중요한 역할을 담당하고 있다. 토양은 표층 1m당 약2조t의 탄소를 토양유기물의 형태로 보유하고 있고, 이것은 대기 속 탄소의 2배 이상, 식물체 바이오매스의 약4배에 해당하며, 그 증가는 지구온난화에 큰 영향을 미친다.

※ 일본의 토양탄소 저장량 시산

- 퇴비 등 유기물의 시용에 의해 토양 속에 저류된 탄소량: 일본의 농업시험장에서 행해진 퇴비와 볏짚 등 유기물의 연용시험(수전 52곳, 보통 밭 26곳)의 성과를 통해, (1)특별한 경우를 제외하고, 유기물 사용에 의한 토양 속 탄소 저류량은 증가, (2)탄소 저류량이 높은 흑색초원토나 산림 등을 개간하여 조성한 밭 토양은 유기물을 사용하여도 탄소 저장량이 저하하는 경우가 있는 것으로 나타났다(단, 이 경우에도 유기물 사용은 화학비료만을 사용한 경우와 비교했을 때, 탄소 저류량의 감소를 억제하는 효과가 있다) 등을 분명하게 밝히는 한편, 유기물을 연용 할 경우, 화학비료만을 사용한 경우와 비교하여 매년 토양 속의 탄소 저류량이 어느 정도 증가 하는지를 산정했다.
- 일본의 토양탄소 저장량 시험자료에 따르면 전국 농지토양에 대해서 퇴비를 매년 1.0~1.5톤/10a (논: 1.0톤/10a, 밭: 1.5톤/10a) 사용한 경우의 탄

- 소저장 증가량을 매년 약 220만 톤CO₂로 계산하고 있다.
- 퇴비사용과 함께 논토양에서 추가적으로 16.8~27.4만 톤CO₂에 해당하는 메탄이 발생할 것으로 예상되며, 이것을 차감하면 퇴비사용으로 인한 농지토양 전체의 탄소지수를 연간 약 193~204만 톤CO₂로 추정하고 있다.
 - 농업부문의 토양탄소 저장량은 교토의정서에 기초한 일본의 제1차 이행기간(2008~2012) 삭감 목표량 2,063만 톤CO₂(7,655만 톤CO₂: 1990년 온실효과가스 총배출량의 6%)의 9.3~9.9%에 해당하는 양이다.
- 농축산부문의 온실가스 저감기술은 크게 경종부문, 축산부문, 바이오에너지 부문 등으로 유형화할 수 있다.
- 경종부문에는 메탄 및 아산화질소 배출량 감축, 휴경농경지 초목조성, 토양 내 유기탄소 저장 등을 들 수 있다.
 - 축산부문에는 반추가축 장내발효 개선과 축산분뇨 처리시설 개선 등이 있다.
 - 바이오에너지 부문에는 바이오에너지 작물 재배를 통한 화석연료 대체가 있다.

표 3-3. 농업부문의 온실가스 저감기술 목록

부문	저감 기술
농경지 메탄 및 아산화질소 배출량 감축	유기농법 및 친환경농법 확대
	영농방법 개선을 통한 화석연료 사용량 감축
휴경 농경지 초목 조성	휴경지 조립, 초지조성
	휴경지 피복작물 재배
토양내 유기탄소 저장	보전경운(홀경, 무경운), 윤작
	화학비료의 유기물 대체(작물잔사, 슬러지 활용 등)
	토양피복, 관개방법 개선(물관리 방법 개선)
반추가축 장내발효 개선	사료의 에너지 함량 및 소화효율 개선
	가축개량, 양질조사료 급여
	반추위 발효조정제(사료첨가제, 미생물제제 등) 투여
축산분뇨 처리시설 개선	슬러리의 호기처리시설 확대, 덮개설치
	메탄포집 및 자원화
바이오매스 활용 및 화석연료사용 감축	바이오에너지 작물 재배를 통한 화석연료 대체
	바이오가스·바이오매스 자원화기술 확대
	짚겨 이용 발전

제 4 장

기후변화에 따른 농림수산물산업의 부문별 영향

1. 농림수산물산업에 미치는 부문별 영향

1.1. 농업

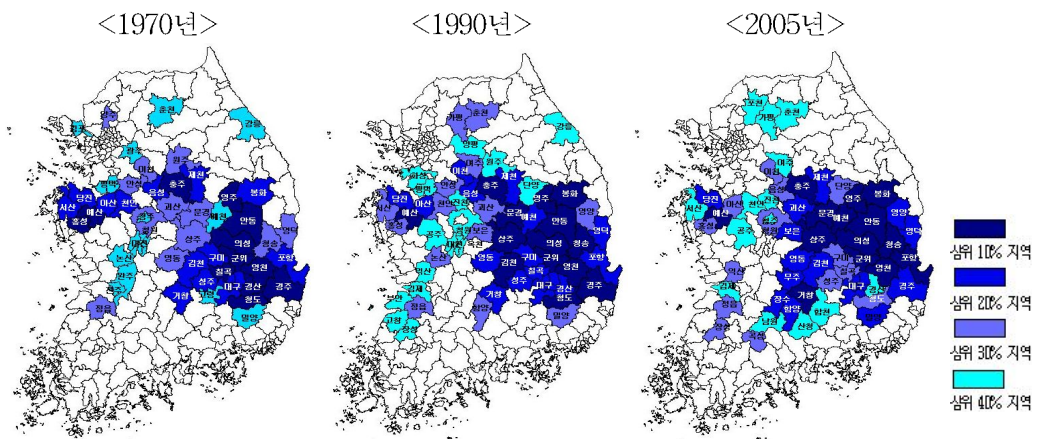
1.1.1. 주산지 변동

가. 사과

- 1970년 경북 및 경남에서 재배되던 사과는 점차 주산지가 북상하여 2005년에는 주로 경북에서 재배되며 거창, 장수, 무주 등 고랭지·준고랭지역 또는 산간지역으로 재배지가 확대될 것으로 전망된다.
- 생육기 평균기온이 1℃ 상승하게 되면 남쪽에서 북쪽으로, 해안에서 내륙으로, 평지에서 산지로, 도시의 중심에서 외곽으로 사과 재배적지가 점차 축소된다. 또한 매우 추운지역인 산간지가 점차 사과 재배에 적합한 지역으로 변화한다. 만약 생육기 평균기온이 2℃ 상승할 경우 우리나라 대부분 지역이 사과재배 부적지가 된다.<그림 4-1>, <그림 4-2>.

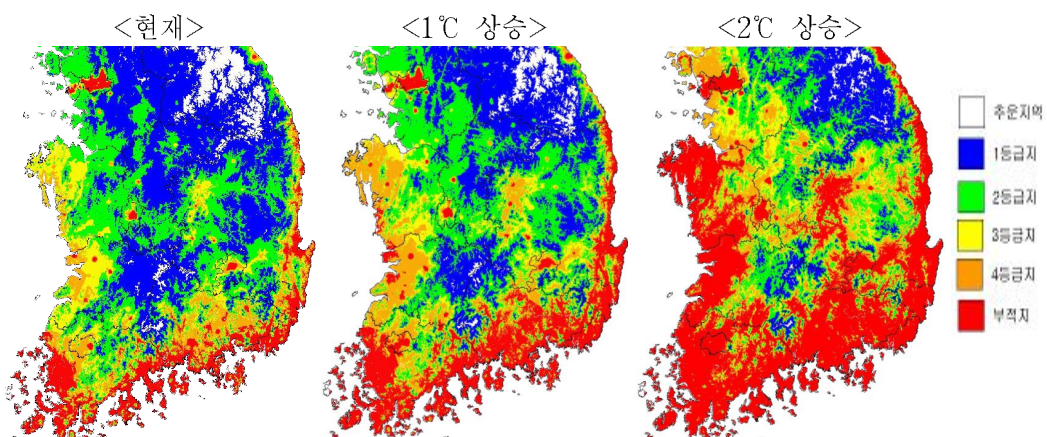
- 온난화로 사과 재배지가 북상하고, 향후 경남 및 충남의 사과 재배면적은 계속 감소될 것으로 예상된다. 반면 경북에서도 지금보다 위도가 더 높은 지역과 경기 및 강원지역으로 재배지가 북상하고 고랭지·준고랭지역 및 산간지역으로 재배면적이 확대될 것으로 예상된다.

그림 4-1. 연대별 사과 재배지역의 지역별 변동 현황



자료: 김창길 외(2009)

그림 4-2. '후지'의 생육기 평균기온 상승 정도별 재배적지 변동 예측

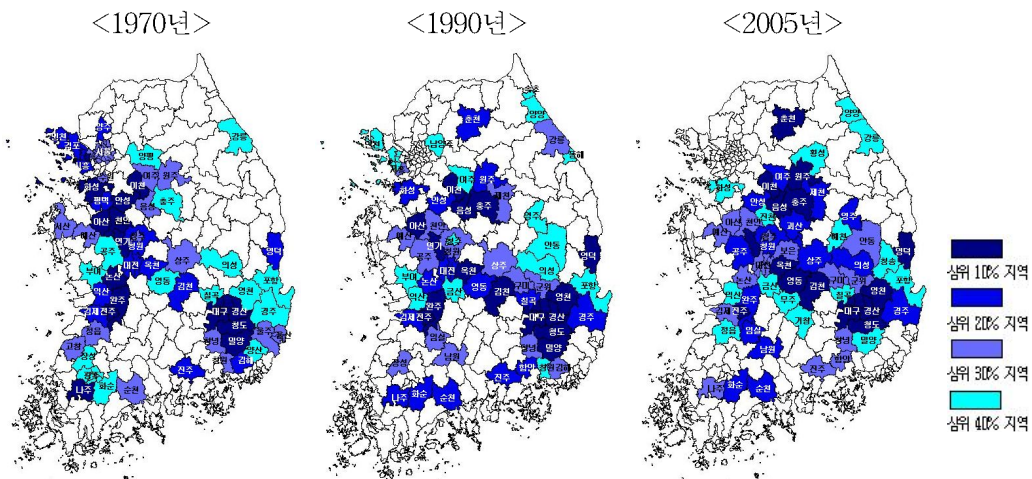


자료: 김창길 외(2009)

나. 복숭아

- 1970년대 복숭아 주 재배지역이 서해안일대와 경남이었으나, 2005년에는 전국적으로 분포하고 있다.
- 향후 강수량 증가로 경남지역의 복숭아 재배면적은 더욱 감소할 것으로 전망되나, 기온 상승으로 인해 고랭지·준고랭지역, 산간지역, 경기 및 강원지역으로 재배지역이 확대될 것으로 예상된다.

그림 4-3. 연대별 복숭아 재배지역의 지역별 변동 현황

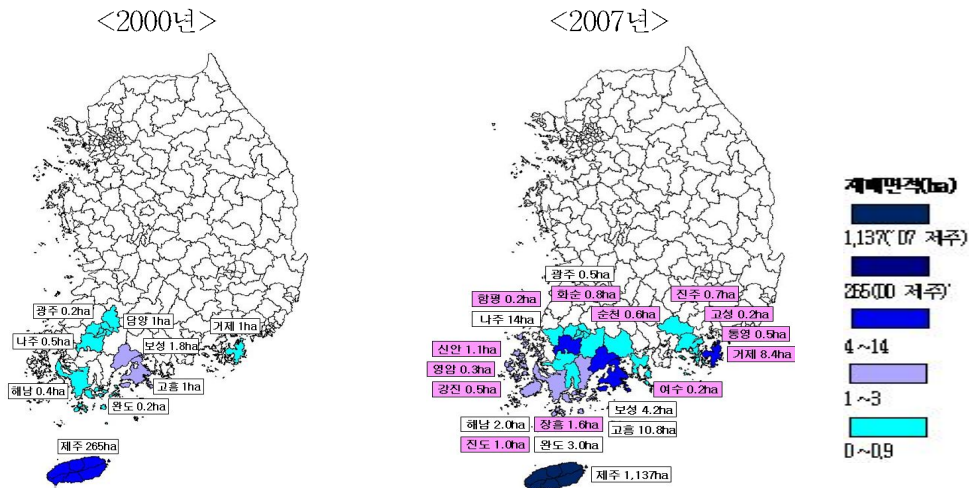


자료: 김창길 외(2009)

다. 한라봉

- 2000년 제주 265ha, 전남 4.2ha, 경남 1ha 등 일부지역에서 재배되던 한라봉은 2007년에는 제주 1,137ha, 전남 40.8ha, 경남 9.8ha으로 크게 재배면적이 증가하였다.<그림 4-4>. 향후 한라봉 재배지역은 한반도 온난화로 인해 더욱 확대될 것으로 예상된다. 기온이 상승하면서 시설재배가 주로 이루어졌던 제주지역의 한라봉은 노지재배로 많이 전환될 것으로 전망되며, 재배지역도 전남 및 경남의 다른 지역으로 확대될 것으로 예상된다.

그림 4-4. 한라봉 재배지역 변화



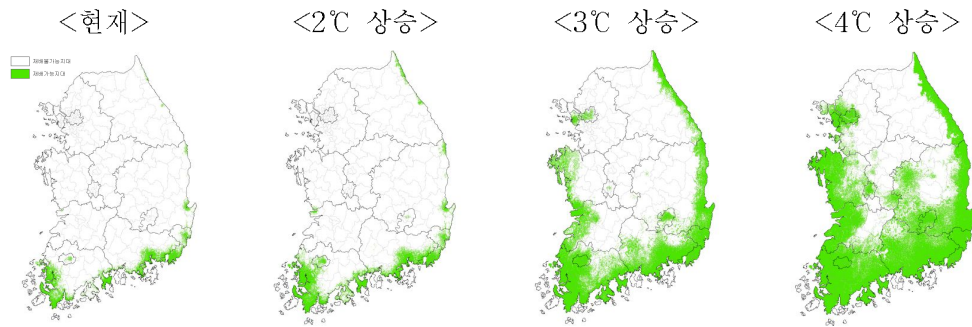
주: 2007년 지역에 색이 있는 곳은 신규 재배지역임.
 자료: 김창길 외(2009).

라. 열대작물

- 한반도 미래기후 전망 가운데 하나인 A1B 시나리오¹를 이용하여 제주를 제외한 육지부의 향후 열대과수 재배가능성을 예측한 해보면² 구아바의 경우 현재 기온대에서는 극히 적은 면적이 재배가능지역으로 포함되지만 기온이 지속적으로 상승한다면 앞으로 40년 후(연평균 2℃ 상승)에는 전남 및 경남 지역을 위주로 재배가능지역이 확대되며 70년 후(3℃ 상승) 서해안 및 동해안을 따라 재배가능지역이 확대될 것으로 예상된다<그림 4-5>.

1 A1B 시나리오의 예측결과, 평년(1971~2000년) 대비 21세기 말(2071~2100) 우리나라 연평균 기온은 약 4℃ 상승하고, 강수량은 약 17% 증가할 것으로 전망되었다.
 2 인용된 그림의 본 출처는 서형호, 권영순(농촌진흥청, 2009)임. 공간해상도는 30m×30m임.

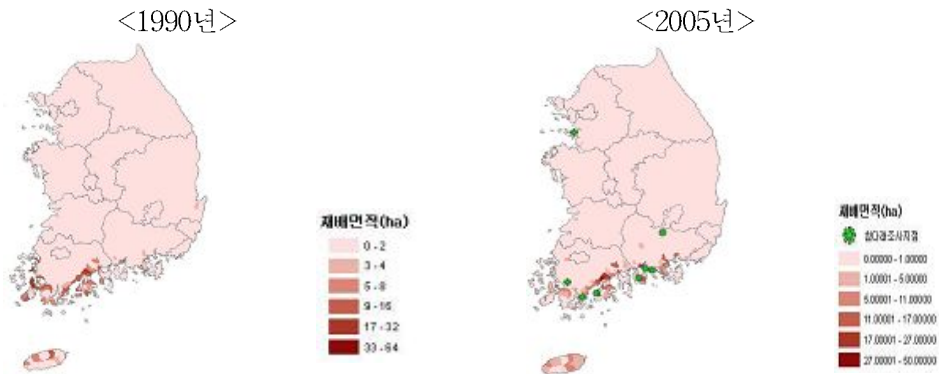
그림 4-5. 기온상승시 스트로베리 구아바 재배가능지역 변동 예측도



자료: 김창길 외(2009).

- 1990년에 전남 목포, 해남, 고흥과 제주 북부에 형성되어 있던 참다래 주산지 2005년에는 경남 사천 등으로 확대되었으며, 제주도는 북부지역에 한정되어 있던 재배지가 제주 전역으로 확대되었다.

그림 4-6. 참다래 재배면적 변화



자료: 김창길 외(2009).

마. 주산지 변동의 시사점

- 앞서 살펴본 작물의 재배적지는 북상하고 있으며 복숭아 및 포도 등은 재배가능면적이 확대되고 있었다. 그러나 재배가능면적이 확대는 안전재배지대라는 의미는 아니며 일부 지역에서는 이상기온 등으로 인한 피해를 입을 우려도 있다. 따라

서 기후분석에 의한 안전재배지대 평가에 의해 안전재배지대를 설정하는 것이 중요하며 더불어 재배경험이 없는 지역에서는 지속적인 시험재배를 통하여 확실한 안전재배 가능 여부를 확인한 후 작물을 재배하는 것이 무엇보다도 중요하다.

- 첫째, 기존 작물의 재배지역 복상에 대처하기 위해 향후 재배가능지역의 대처노력이 요구되며 향후 열대작물의 재배가 가능한 제주는 물론이고 전남과 경남 등 남부지방에서는 기후변화의 위기를 기회로 활용할 수 있는 지역별 적응품종을 선발 및 육성, 적응성 검토 및 재배한계 검정 등 적절한 대응책 마련이 이루어져야 한다.
- 둘째, 기후변화에 의한 온난화는 지역의 기반 농업체계를 흔들 수 있을 정도로 영향력이 대단하므로 예상되는 온난화에 효과적으로 적응하기 위해서는 재배 적지 변동에 대한 신뢰성 있는 예측이 우선되어야 한다. 특히 작물과 과수분야에서 기후변화로 인한 영향을 위기가 아닌 기회요인으로 만들기 위해서는 과학적인 영향평가와 장기적이고 효과적인 적응대책 수립이 이루어져야 한다.
- 셋째, 지역별·품목별로 지구온난화로 인한 영향을 긍정적으로 수용하고 있는 사례를 발굴하여 이를 다른 지역 및 농가에서 적극적으로 활용할 수 있도록 하는 방안이 시급히 마련되어야 한다.

표 4-1. 품목별 온난화에 따른 향후 주산지 예측

사과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경북에서도 현재 재배지보다 위도가 더 높은 지역(봉화, 청송, 영주, 안동 등) ▪ 경남에서 밀양, 거창, 함양 등 고랭지·산간지역 ▪ 전북지역에서 장수, 무주 등 고랭지 지역
복숭아	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존의 충주, 음성, 이천, 원주, 춘천 등 충북 및 강원지역이 주산지역으로 부상 ▪ 경남과 전남, 제주 지역 등을 제외한 전국 대부분의 지역으로 확대될 전망
포도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경북, 충북 및 경기지역이 주산지역으로 부상할 전망 ▪ 경기 및 강원지역으로 재배가 확대 전망
한라봉	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제주지역의 한라봉은 노지재배로 많이 전환 ▪ 전남 및 경남 지역으로 확대 예상
열대작물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 구아바, 아보카도, 아페모야, 망고, 용과, 파파야 등의 열대과수의 재배 가능 지역도 육지부 전지역으로 점차 복상할 것으로 전망

1.1.2. 생산에 미치는 영향

가. 벼

- 벼는 여름작물로 기온이 상승하면 재배 가능지역이 확대되며, 품종과 재배 양식도 기후적응을 위해 변화하게 된다. 우리나라의 과거 기상자료에 따르면 1970년대 적정 출수기(등숙기 평균온도: 21~23℃)는 8월 15일 전후였으나, 2000년대에는 8월 21일로 적정출수기가 약 일주일 늦춰진 것으로 나타났다. 벼 등숙기 평균기온이 21~23℃로 유지되어야 고품질 쌀 생산에 유리한데 이 온도를 초과하면 등숙이 충실하지 못해 벼알 무게가 가벼워지고 심복백비율과 단백질 함량이 증가하여 미질이 저하된다.
- 기온이 상승하면 벼 발육속도가 빨라지면서 고온에서의 임실을 저하, 야간고온에 의한 호흡손실 등으로 생육기간이 단축되어 생산성이 감소하게 된다.

표 4-2. 등숙온도 상승에 따른 쌀 품질 저하

등숙온도 (°C)	현미천립중 (g)	쌀단백질 (%)	심복백비율 (1/4이상, %)	비고
21.5	22.1	8.5	9.4	시험품종: 일품벼, 남평벼
23.0	21.5	8.7	12.3	
24.5	20.8	9.0	21.7	

자료: 농촌진흥청(2007).

- 미곡 단수의 정체요인별 기여도를 분석한 결과, 2002~2003년의 단수 정체요인은 기술요인 23.6%, 기상요인 76.4%, 2006~2007년은 기술요인 33.5%, 기상요인 66.5%로 나타나 2002~2003년과 2006~2007년 모두 기상요인이 매우 크게 나타났다. 이는 태풍의 영향으로 등숙기의 기온저하와 일사량 부족 등에서 비롯된 것으로 추정된다.
- 기후가 변함에 따라 미곡의 단수변동 요인 가운데 기상요인은 16.8%('80년대)→24.9%('90년대)→28.0%('00년대)로 점차 증가하는 추세를 나타내고 있다.

표 4-3. 2002~2003년과 2006~2007년의 미곡 단수 정체 요인별 기여도

구 분	2002~2003		2006~2007	
	기여도(kg)	기여율(%)	기여도(kg)	기여율(%)
기술요인	9.8	23.6	9.6	33.5
- 육종요인	6.9	70.7	6.8	71.3
- 보급요인	1.9	19.8	1.9	19.4
- 재배요인	0.9	9.4	0.9	9.3
기상요인	31.6	76.4	19.1	66.5
합 계	41.4	100.0	28.7	100.0

- 국립기상연구소의 2011~2100년 기간의 기후변화 시나리오를 기초로 CERES-Rice 모형을 이용하여 조생종(오대벼), 중생종(화성벼), 만생종(동진벼)을 대상으로 쌀 생산을 예측한 결과, 세 품종 모두 중장기(2011~2040년)에는 출수기가 7일 정도 빨라지고, 장기(2071~2100년)에는 최대 20일까지, 생리적 성숙기는 최대 1개월까지 단축될 것으로 전망되었다. 또한 CERES-Rice 모형을 이용하여 한반도 기후변화 시나리오(A2 시나리오)에 따른 벼 생산성 변화를 분석 결과에 따르면, 1971~2000년 평년기후도에서 시뮬레이션 한 10a당 전국평균 쌀 수확량은 전국 평균 539kg이고, 도별로 보면 충남이 591kg으로 가장 높고, 강원도가 493kg으로 가장 낮은 것으로 나타났다<표 4-4>.

표 4-4. CERES-Rice모형을 이용한 중장기 쌀 생산 예측

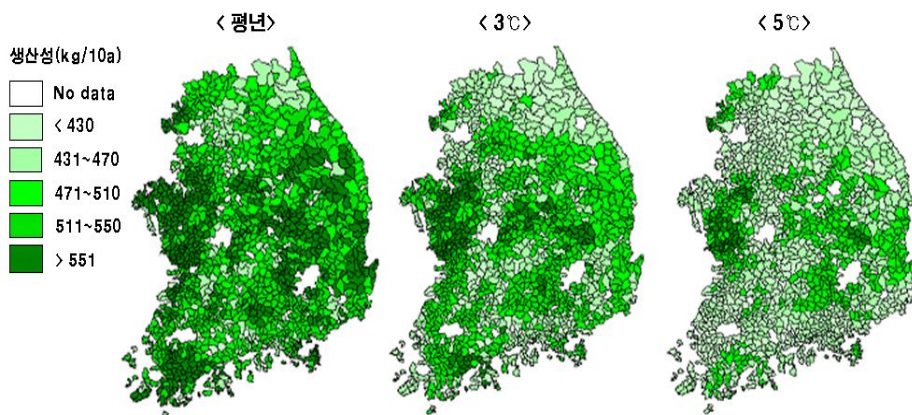
단위: kg/10a, %

도별	평년	2℃ 상승		3℃ 상승		4℃ 상승		5℃ 상승	
		수량	평년 대비	수량	평년 대비	수량	평년 대비	수량	평년 대비
강원	493	471	95.5	450	91.3	457	92.6	443	89.8
경기	520	501	96.3	480	92.3	470	90.4	449	86.5
경남	517	488	94.4	474	91.6	463	89.4	444	85.9
경북	550	532	96.7	506	92.1	503	91.5	481	87.6
전남	535	498	93.1	481	89.9	474	88.6	431	80.6
전북	531	500	94.1	487	91.7	472	88.8	456	85.8
충남	591	575	97.3	549	93.0	529	89.6	495	83.8
충북	523	510	97.6	484	92.5	494	94.4	457	87.3
평균	539	515	95.5	495	91.8	486	90.1	459	85.1

자료: 심교문 외(2008).

- 지구온난화로 평년보다 온도가 2℃ 상승하는 경우 10a당 벼 수량은 전국평균은 515kg으로 평년보다 4.5% 감소하는 것으로 추정되었다. 도별로는 전남과 전북이 5.9~6.9% 감소하여 감소폭이 가장 크고, 충남과 충북은 2.4~2.7% 정도 감소하여 감소폭이 상대적으로 적을 것으로 나타났다.
- 온도가 평년보다 3℃ 상승하는 경우 10a당 전국평균 벼 수량은 495kg으로 평년보다 8.2% 감소할 것으로 예측되었다. 도별로는 전라남도가 평년수량 대비 10.1% 감소로 감소폭이 가장 컸으며, 충청남도는 평년대비 7% 감소로 감소폭이 가장 적은 것으로 분석되었다.
- 온도가 평년보다 5℃ 상승하는 경우 10a당 전국평균 벼 수량은 459kg으로 평년보다 14.9% 감소하는 것으로 분석되었다. 도별로는 전라남도가 19.4% 감소로 감소폭이 가장 컸고, 다음으로 충청남도가 16.2% 감소하는 것으로 예측되었다. 반면에 강원도는 10.2% 감소하는 것으로 추정되어 수량 감소폭이 상대적으로 가장 낮을 것으로 예측되었다. 이러한 생산량 감소는 온난화로 인한 등숙기간의 단축뿐만 아니라 고온에서의 임실을 저하 및 야간고온에 의한 호흡손실 때문인 것으로 분석되고 있다.

그림 4-7. 기후변화 전망에 따른 벼 생산성 변화 예측



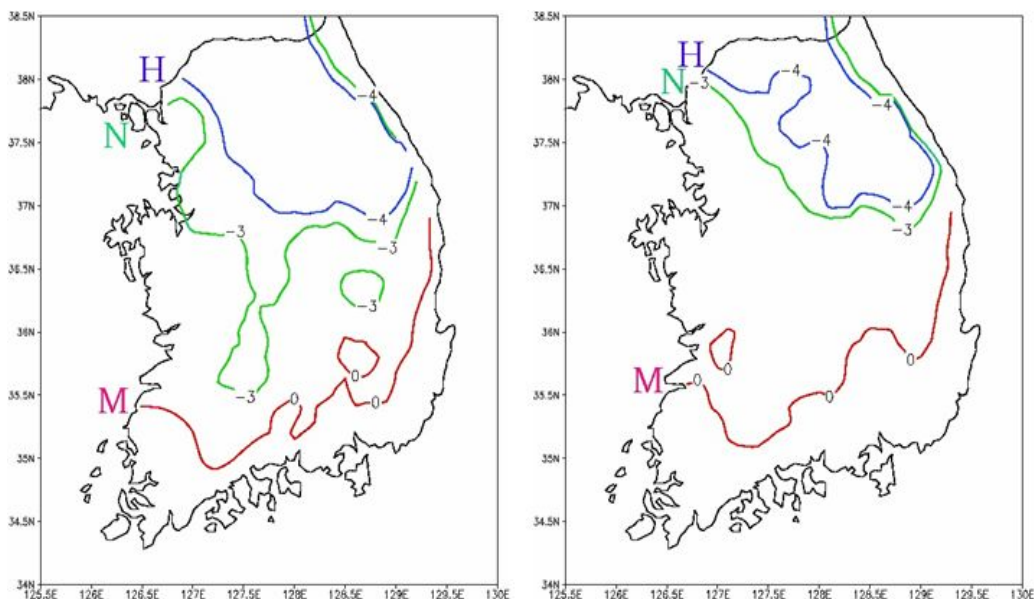
자료: 심교문 외(2008).

- 평년(1971~2000년) 대비 온도가 상승(3℃, 5℃ 상승) 하는 조건에 따라 전국 1,455개 읍·면별 벼 생산량을 CERES-Rice 모형에 의해 모의한 결과를 <그림 4-7>에 제시된 바와 같이 지도로 나타낼 수 있다(심교문 외 5인, 2008).

나. 맥류

- 1987년 이후 2000년까지 혹한기 기온이 1.5~2.5℃ 상승한 ‘춥지 않은 겨울’ 현상이 지속됨에 따라 가을보리 재배한계선이 재조정된 것으로 분석되고 있다. 농업과학기술원(2000)의 지구온난화에 따른 가을보리 안전재배선에 대한 조사결과에 따르면 1987~1998년의 12년 동안 1월의 평균기온 및 최저기온을 분석한 결과 겨울철 온난화 현상으로 가을보리 안전재배선이 크게 북상한 것으로 나타났다<그림 4-8>.

그림 4-8. 가을보리 재배지대 변화



주: H는 겉보리, N은 쌀보리, M은 맥주보리를 나타냄.
 자료: 심교문 외(2004)

다. 채소

- 고온을 요구하는 수박, 고추, 토마토 등 고온성 과채류는 생육저해온도(35℃) 이하까지는 온도가 상승할수록 생육이 촉진되고 당도 등 품질이 높아진다.
- 무·배추 등과 같이 서늘한 기후를 좋아하는 노지채소의 경우는 평균기온 상승이 품질 저하를 야기할 가능성이 있다.
- 고추의 경우 평균기온이 15℃ 이하나 30℃ 이상이 되면 화분에 이상이 생겨 정상적으로 착과되지 못하며 착과가 되더라도 낙과가 많이 생길 수 있다.
- 딸기의 경우 기후변화에 따른 평균기온 상승에 대하여 고온으로 인한 꽃눈 분화장애를 대비해야 할 필요가 있다. 양파, 파, 상추와 같은 채소는 고온이 화아분화를 유도하여 문제를 일으킬 수 있다.

라. 과수

- 기후변화는 과수의 성장과 발육에 영향을 주며, 과실품질과 수확기, 저장력 등에도 영향을 미친다. 사과는 영년생 작물로 한번 재식하면 10년 이상의 장기간 동안 동일지역에서 재배되므로 기후조건의 변화가 생산성과 품질에 크게 영향을 미친다. 사과의 경우 평균기온이 상승할수록 과실착색 불량, 경도, 수확전 낙과율 등에 부정적인 영향을 준다(서형호 외, 2003).
- 온난화에 의해 과실생육기간이 연장되어 과실 비대가 양호하게 되며, 이산화탄소 농도의 상승에 의한 광합성량의 증가로 수량과 당도가 증가하게 된다. 시설재배에서는 겨울철 기온 상승으로 난방기간이 짧아져 가온재배의 난방용 연료 사용률을 저감시킬 수 있고, 난방온도가 높은 망고나 패션푸르트 등의 열대과수 재배에 유리한 조건이 될 수 있다(일본 농림수산성, 2008).

- 사과 재배적지는 연평균 기온이 13℃ 이하로서 겨울 온도가 내륙 또는 분지의 특징을 지닌 곳이라야 한다. 온난화로 사과는 더욱 북쪽 아니면 현재의 고랭지로 이동하고 있다. 배, 복숭아, 포도, 단감 등은 재배지역이 점차 북상하나 고온으로 부적지가 되는 곳도 있다. 또한 기온상승으로 남부지방의 바람이 적은 곳에서는 참다래 재배가 보편화 되고, 제주도에서는 아열대 과수 재배가 이루어지고 있다.

1.1.3. 병해충 발생

가. 과일류

- 갈색여치가 충북 충주(2001), 충북 영동, 옥천, 청원, 보은(2006, 피해규모 20ha), 충북지역 전역(2007, 피해규모 30ha)에서 복숭아, 포도에 피해를 준 것으로 보고되었다. 주홍날개 꽃매미는 2008년에 포도과수원 약 91ha에 피해가 발생하였다.

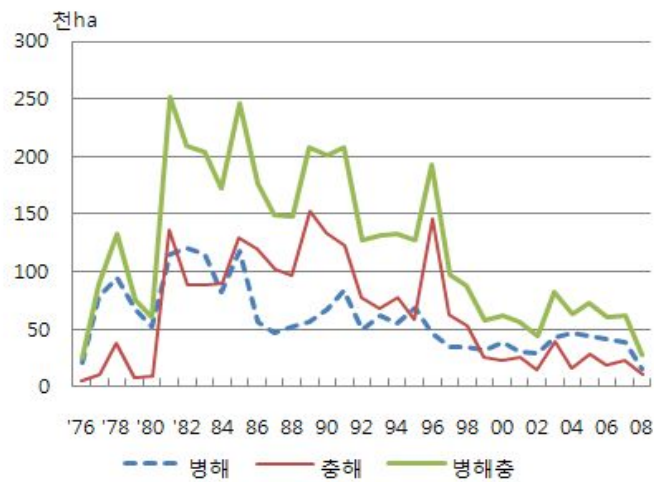
나. 벼³

- 바이러스병인 줄무늬 잎마름병의 피해지역이 북상하여 경기, 충남, 전남북, 경남 등 전국적으로 14,137ha 발생하였다.
- 대표적인 벼 재배지역 중의 하나인 전북지역 벼 병해충 관찰포 피해면적은 2008년을 기준으로 전체 27,016ha이며 병해가 59.3%, 충해가 40.7%를 차지하였다. 병해충 피해면적은 1980년대에 연평균 31.6% 증가하였으나 1990년대에 7.1%, 2000년대에 2.7% 감소하고 있는 추세이다.
- 병해 피해면적 1980년대에 연평균 10.6% 증가하였으나 1990년대에는 2.4%,

3 전남, 충남과 함께 대표적인 벼 생산 지역인 전북지역을 대상으로 한 김창길 외 (2010)의 연구를 기초로 작성.

2000년대에는 5.4% 감소하였다. 총해 피해면적은 1980년대에 연평균 152.7%로 크게 증가하였다가 1990년대에 5.1% 감소하였으나 2000년대에 다시 10.6% 증가하였다. 2000년대에 총해가 증가하는 이유는 온난화 되면서 외래 돌발해충의 피해가 늘어나고 있기 때문으로 판단된다<그림 4-9>.

그림 4-9. 전북지역 벼 병해충 피해면적 추이



자료: 김창길 외(2010).

- 전북도에서 주로 발생하는 병으로는 잎도열병(Blast), 잎집무늬마름병(Sheath blight), 흰잎마름병(Bacterial blight), 깨씨무늬병(Brown spot), 줄무늬잎마름병(Stripe) 등이 있다. 이러한 병들은 늦봄과 여름철의 다우, 다습, 고온, 저온, 태풍 등의 기상여건 하에서 다발하는 특징을 가지고 있다.
- 벼에 발생하는 주요 해충으로는 흑명나방(Rice leaf roller), 벼물바구미(Rice water weevil), 흰등멸구(White-backed planthopper), 애멸구(Smaller brown planthopper), 벼멸구(Brown planthopper) 등이 있다<표 4-5>, <표 4-6>. 이러한 해충들은 벼 잎을 갉아먹거나 벼 줄기를 흡즙함으로써 생육을 지연시키거나 고사시키게 되어 결국 수량을 감소시킨다. 벼에 발생하는 해충들 가운데

데서 흑명나방, 흰등멸구, 벼멸구 등은 중국에서 비래하여 정착하며, 벼물바구미는 미국에서 유입되었다. 특히 벼물바구미와 애멸구는 월동을 하므로 온난화됨에 따라 그 밀도가 증가할 것으로 예상된다.

표 4-5. 벼에 발생하는 주요 병

병명	병징(피해)	발생조건(기상)
잎도열병 (Blast)	<ul style="list-style-type: none"> 잎에 형성된 작은 병반이 확대 융합하여 결국 고사 	<ul style="list-style-type: none"> 젖은 강우, 여름철 저온(15~23℃) 높은 습도 및 이슬 지속(10시간 이상)
잎집무늬마름병 (Sheath blight)	<ul style="list-style-type: none"> 주로 잎집에 처음 얼룩무늬 형성함. 심하게 진전되면 잎이 거의 고사하고 줄기가 부러짐. 	<ul style="list-style-type: none"> 다습조건(습도 96% 이상)에 다발생(어린모 기계야양: 분얼수 증가로 포기 내 습도 높을 때) 6~8월의 고온(30~32℃)에 다발생
흰잎마름병 (Bacterial blight)	<ul style="list-style-type: none"> 잎의 가장자리에 황록색 병무늬 형성하며 점진되면 줄무늬를 띄게 되며 결국 회백색으로 고사 	<ul style="list-style-type: none"> 중간기주, 병든 벼짚 등에서 월동 벼 잎의 수공, 기공 및 상처 통해 침입→태풍 후나 침수지에서 급격히 진전
깨씨무늬병 (Brown spot)	<ul style="list-style-type: none"> 잎과 꺾질에 깨알 같은 점무늬 발생하고 심하면 수량 감소 초래함. 출수 후 발생하여 피해 	<ul style="list-style-type: none"> 월동: 이병종자 및 이병잔재물 일조부족, 높은 습도, 다우
줄무늬잎마름병 (Stripe)	<ul style="list-style-type: none"> 잎의 기부에 황록색의 작은 반점 형성함. 분얼수 적어지고 출수하여도 기형이나 쪽정이가 됨. 	<ul style="list-style-type: none"> 병원균은 벼줄무늬 바이러스로 애멸구에 의해 전염

자료: 전라북도농업기술원(2005).

표 4-6. 벼에 발생하는 주요 해충

해충명	피해특성	발생생태
흑명나방 (Rice leaf roller)	<ul style="list-style-type: none"> 유충이 엽육을 갉아먹음. 발생이 많을 때는 출수가 불량해 지며 등숙도 늦어짐. 	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 월동하지 못하고 중국대륙에서 해마다 비래하는 것으로 추정 성충발생최성기는 7월 하순~8월 상순, 9월 상순~중순
벼물바구미 (Rice water weevil)	<ul style="list-style-type: none"> 성충은 잎살을 갉아먹어 성충 밀도 높은 경우 포기 전체 고사 유충은 뿌리를 갉아먹어 뿌리가 끊어지며, 결국 수량이 감소 	<ul style="list-style-type: none"> 미국이 원산지인 해외유입 해충 월동성충은 5월 하순, 유충은 5월 중순~8월, 신성충은 7월 하순~8월 상순 최성기
흰등멸구 (White-backed planthopper)	<ul style="list-style-type: none"> 벼줄기를 직접 흡즙하여 생육을 지연시킴. 출수기에 품질에 영향을 미치기도 함. 	<ul style="list-style-type: none"> 6~7월에 중국에서 비래하여 정착하게 되며 7월 하순~8월 중순에 발생량 최고
애멸구 (Smaller brown planthopper)	<ul style="list-style-type: none"> 몸에 바이러스를 지니고 있다가 흡즙하는 과정에서 바이러스를 이동시켜 바이러스병 발생 시킴. 	<ul style="list-style-type: none"> 잡초에서 월동하며 성충이 5월 이후부터 벼에 흡즙을 시작함.
벼멸구 (Brown planthopper)	<ul style="list-style-type: none"> 벼줄기를 흡즙하여 벼가 쓰러지고 이삭이 여물지 못하게 됨. 심하면 고사현상 발생하여 수량감소 초래 	<ul style="list-style-type: none"> 6~7월에 중국에서 비래하여 논에 정착하여 산란을 시작함.

자료: 전라북도농업기술원(2005).

1.2. 산림⁴

1.2.1. 현황

가. 숲의 구조변화와 생산성 변화

- 현재 심겨져 있는 천연림과 조림지의 수종은 기후변화에 따라 생육이 부적합한 경우가 발생하여 쇠퇴하거나 생산력 저하도 예상된다. 엘니노 등에 의한 이상기상현상으로 1998년과 2007년도에 진주, 무주, 청도, 충주 등지에서 잣나무림과 소나무림이 겨울철 고온과 건조스트레스에 의해 단목 또는 집단으로 고사하는 현상이 발견되었는데, 상록침엽수는 겨울철에 온난하면 광합성을 하게 되며 이때 건조하면 건조스트레스로 쇠퇴하기 된다. 우리나라 특산수종인 구상나무가 한라산 일부지역에서 최근 급속히 쇠퇴하고 있는데, 겨울과 봄철 기온상승과 건조스트레스의 영향인 것으로 추정되고 있다.

나. 생물 다양성 변화

- 나비류와 같은 곤충류도 발생하는 시기와 1년 동안 발생하는 횟수가 달라질 것으로 예상된다. 나비류의 경우 광릉과 앵무봉에서 5년간(2002~2006년) 조사한 결과를 과거(광릉 1958~1959년, 앵무봉 1971~1972년)와 비교해 본 결과, 많이 증가한 5종 가운데 3종이 남방계 나비인 반면, 많이 감소한 8종의 나비 중 6종이 북방계 나비였다. 1960년대 중반부터 장수하늘소의 개체군이 감소하기 시작하여 1970년 중반 이후에는 광릉을 제외한 대부분의 지역에서는 개체군이 거의 사라졌다. 그 원인에 대한 다양한 가설들이 있으나 이 종이 북방계통으로 광릉지역이 분포의 남방한계선인 것을 보았을 때 겨울철 기온상승으로 인해 경쟁종과의 관계 및 곰팡이류와 같은 천적류 변화로 인한 유충의

4 산림부문은 산림청산림정책과(2009)의 「기후변화와 산림」, 임종환(2009)의 기후변화에 따른 산림부문 영향과 관리방향, 산림청 웹사이트 “기후변화와 산림”(http://carbon.forest.go.kr)을 기초로 작성하였음.

고사율 증가 등과 연관성이 높을 것으로 추정된다.

다. 산림생물계절 변화

- 우리나라의 주요 산림수종인 신갈나무, 졸참나무 등의 개엽 시기는 당년도 기온조건과 비교적 잘 일치하였다. 1996년부터 강원도 계방산에서 신갈나무를 대상으로 동일한 날짜에 나뭇잎이 나온 정도를 조사한 결과 그해 봄철 기온과 밀접한 관계를 나타내었다. 과거 평년기온과 비슷했던 1996년과 2000년도에는 잎이 나오지 않았거나 막 잎이 트기 시작한 반면, 엘니뇨현상으로 겨울철 이상난동을 보인 1998, 2002, 2008년도는 잎이 완전히 나왔고 새로 나온 가지도 제법 자라기까지 하였다. 이렇게 잎이 피는 시기는 대체로 기온 1℃ 상승에 5~7일 앞당겨지는 것으로 추정된다.
- 기온상승으로 인해 벚꽃이 피는 시기와 같은 개화 시기는 앞당겨지고 단풍과 낙엽 시기는 늦어졌다. 한국과 일본에서 3월 평균기온 1℃ 상승으로 벚꽃이 피는 시기가 3~4일 앞당겨지고, 은행나무와 단풍나무의 잎이 물드는 시기는 월평균 기온 1℃ 상승에 2~7일 늦어진 것으로 나타났다. 홍릉수목원에서 1999년부터 100수종에 대하여 지속적으로 개화시기를 조사하고 있고 이를 1966년도 조사결과와 비교하였을 때 최근 10년간 약 10일정도 개화시기가 앞당겨졌다. 100수종 가운데 1966년도 대비 2008년도에 개화시기가 앞당겨진 종은 53종이었고 늦어진 종은 16종이었다. 이렇게 기온이 상승한다고 해서 모든 종의 개화시기가 앞당겨지지 않고 오히려 늦어지는 종이 있으며 이러한 현상은 영국 큐식물원의 조사 자료와도 유사하다.
- 생물계절 변화는 생태계의 기능과 먹이사슬에도 영향을 미친다. 잎이 피어 있는 기간을 생육기간으로 보면, 생태계에서 생산성의 변화나 대기와의 에너지와 수분 교환량 등에 영향을 미치게 될 것이다. 이러한 변동은 수목 자신의 생리적 현상의 변화와 함께 다른 생물상에게도 영향을 줄 수 있다.

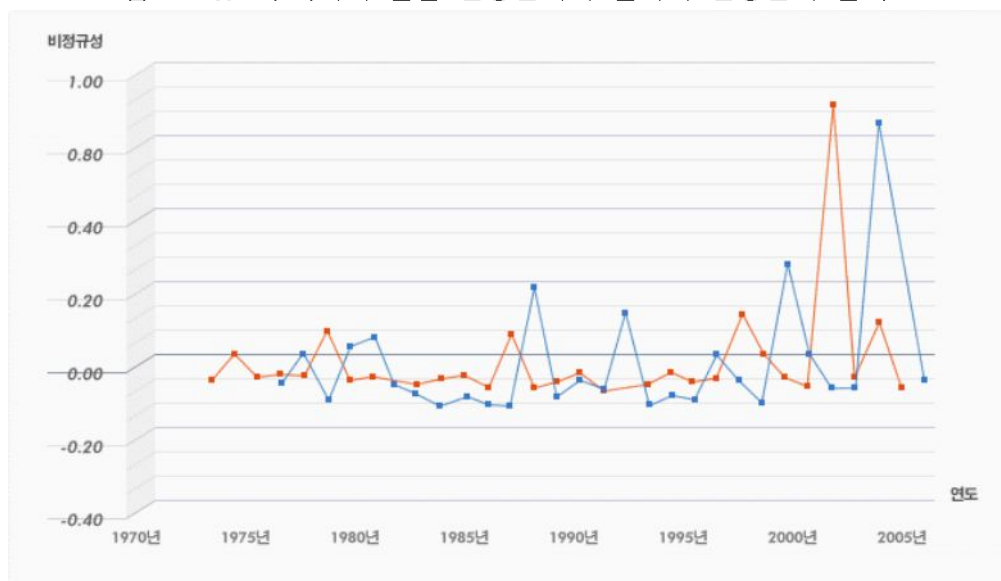
- 유럽에서의 조사 자료에 따르면 과거에는 먹이로써의 곤충량(애벌레)의 변성기와 박새 새끼가 가장 먹이를 많이 필요로 하는 시기가 일치하였는데, 봄철기온의 상승으로 인하여 지난 23년간 박새의 번식 시기는 별로 변하지 않은 반면 식물의 개엽시기와 곤충류는 9일이 앞당겨졌고 이로 인해 박새 개체군이 감소하였다(Visser et al., 1998). 1년에 곤충류가 발생하는 횟수는 종별로 다른데 기온이 상승하면 일반적으로 늘어나게 된다. 우리나라에서도 솔나방의 연중 발생횟수가 과거에는 7월 중순부터 8월 중순 사이 1회인 것으로 알려져 있었지만, 1990년대 중후반에는 2회 발생하여 기온상승이 곤충의 생활주기를 변화시키고 있는 것으로 나타났다.

라. 산림재해 및 병해충 발생 증가

- 우리나라에서 산불은 실화 등 대부분 인위적인 원인으로 발생하지만 기후변화에 따라 고온 건조한 날씨에 따른 산불발생 위험도의 증가로 봄철 대형 산불은 물론 겨울가뭄으로 인해 1월에 발생하는 건수도 증가하고 있다.
- 우리나라에서 산불과 발생면적 변화를 살펴보면 최근 들어서 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 산불피해면적은 1970년대 이후 비교적 안정적인 추세를 보였는데 이는 천이과정으로 인해 소나무림 면적이 줄어든 것으로 판단된다. 그러나 최근 엘니뇨와 같은 겨울과 봄철 이상고온, 건조일수 증가와 함께 숲의 성장으로 인해 임내 연료량 증가로 대형 산불 발생이 증가한 것으로 판단된다. 최근의 대표적인 대형 산불 피해현황은 1996년 고성산불 3,762ha, 2000년 동해안 산불 23,794ha, 2002년 청양·예산 산불 3,095ha.의 사례가 있다.
- 우리나라에서 폭우로 인한 산사태 피해가 급증하고 있고 향후 기후변화로 크게 증가할 가능성이 있다. 우리나라에서도 1998년 여름철 지리산과 중부지방에서 참사를 만들어 낸 아열대 게릴라성 폭우로 인한 산사태, 2000년 건조 상태의 지속으로 동해안의 대형 산불 발생, 2001년도 봄철 가뭄, 2002년

태풍 루사 및 2003년 매미로 인한 산림훼손 및 산사태, 2004년 3월의 폭설피해, 2011년 서울 및 경기지방에 게릴라성 폭으로 인한 산사태 등 산림피해가 점차 증가하고 있다.

그림 4-10. 우리나라 산불 발생면적과 산사태 발생면적 변화



· 자료 : 지구온난화, 기후변화협약, 산림 (2005)



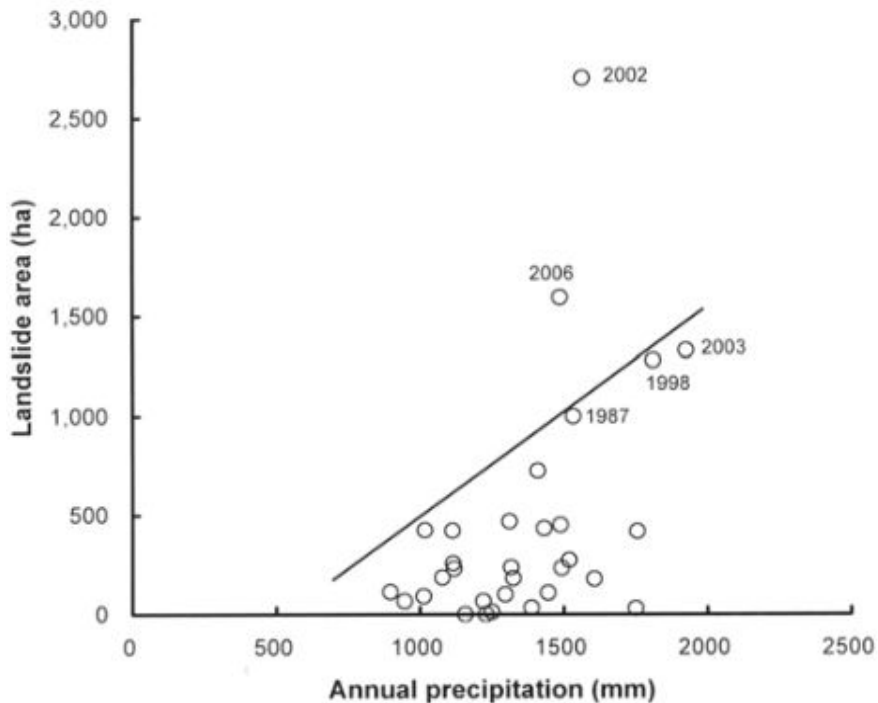
주: 산불(빨간색), 산사태(파란색)

자료: 산림청 기후변화와 산림(<http://carbon.forest.go.kr>)

- 산불과 산사태 피해 등 산림교란은 서로 상승작용을 하여 피해를 가중시킬 수 있다. 2002년도 태풍 루사가 통과하면서 발생시킨 산사태 피해는 기록상 가장 큰 피해로써 1998년 경기지역 집중폭우, 1987년 태풍 셀마 등에 의한 피해를 크

게 증가했다. 이는 시간당 강수량도 많았거니와 피해를 입은 강원해안지역이 2000년도 대형 산불로 피해를 입었기 때문인데 자연재해가 서로 상승작용을 일으킬 수 있다는 것을 나타낸 사례이다.

그림 4-11. 연강수량과 산사태 발생면적과의 관계



자료: 임종환(2009)

- 우리나라에서 기후변화는 강수량의 변화가 단순한 강수량 증가만이 아니라 계절적으로는 여름철 강수량이 더 증가하면서 강수강도의 증가와 강력한 태풍발생 확률의 증가를 내포하고 있어 폭우로 인한 산지토사재해가 증가할 것으로 전망된다.
- 기후변화로 산림병해충 발생과 피해도 증가할 것으로 예상된다. 기후변화에 따른 해충발생 증가의 주요 원인으로 ① CO₂ 농도 증가에 따른 식물방어능

력 저하와 영양분 증가 ② 천적의 섭식량 감소, ③ 생물다양성의 감소, ④ 계절성 변화 등이 있다. 교역이 발달하여 외래병해충이 유입될 확률이 높고 그 종이 새롭게 변화된 환경에서 잘 적응하는 종이라면 이를 조절하는 다른 생물이 생태계에 충분하지 않아 더욱 창궐할 것이기 때문이다. 극한적 고온 현상과 같이 이상기상 현상에 의해 수목이 스트레스를 받으면 병해충의 침입이 더욱 용이해지고 가뭄피해를 입으면 수목의 병해충에 대한 감수성이 높아진다. 아울러 환경변화로 인해 병해충의 천적이 되는 생물 개체군이 감소하여 이를 조절하지 못할 가능성도 있는 반면, 곤충은 환경조건이 유리해지면 폭발적으로 증가하는 특성을 가지고 있기 때문이기도 하다.

○ 아열대성 병해충이 새롭게 발생하거나 최근 급격히 증가하고 있다.

- 솔나방의 경우 과거 30~40년 전에는 1년에 1번 발생하는 경우가 대부분이었으나 최근 2회 이상 발생하였다. 대벌레류는 과거에는 찾아보기 힘든 곤충이었으나 1990년대 말부터는 창궐하는 횟수가 증가하고 있는데, 아열대 및 열대계통의 대벌레류가 번성한다는 것은 환경변화로 인해 일반 곤충류가 해충화하는 예가 될 수 있다.
- 최근 창궐하여 포도 등 과수에 큰 피해를 입히고 있는 꽃매미는 중국이 원산지로서 인도, 베트남, 일본 등에 분포하는 아열대성 해충이다. 1932년도에 국내에서 보고된 기록이 있었으나 발견 기록이 없다가 돌연 2006년 서울과 경기지역에서 발견된 이래 점차 창궐하고 기온이 보다 높은 정읍, 상주 방향으로 확대되었다. 이러한 사실들은 꽃매미의 창궐이 온난화와 직·간접적으로 연관되어 있을 가능성을 나타낸다.
- 리기다소나무 등에 피해를 주는 푸사리움가지마름병은 미국 남부, 멕시코, 하이티, 일본 큐슈 남부 등 아열대지역에 주로 분포하는데, 우리나라에 1996년 처음 발견된 이래 전국적으로 확산되었다. 참나무시들음병은 우리나라 숲의 대부분이 참나무류로 구성되어 있어 온난화로 인한 수목의 스트레스 증가나 수목의 연령 증가로 더욱 확산될 가능성이 있다.

1.2.2. 전망

가. 산림 식생대 이동

- 기온이 상승하게 되면 북반구의 식생대는 남쪽에서 북쪽으로, 그리고 저지대에서 고지대로 이동하게 된다. 평균기온이 1℃ 상승하면 중위도 지역의 경우, 현재 기후대는 북쪽으로 약 150km, 고도는 위쪽으로 약 150m 정도 이동하게 된다. 따라서 미세한 크기의 종자를 가진 식물을 제외하고는 현재 예상되는 기후변화의 속도를 따라 잡기는 쉽지 않을 것으로 전망된다. 또한 고산 지대에만 서식하는 식물의 종들도 분포하는 범위가 줄어들거나 소멸될 위험성이 높아지게 된다.
- 우리나라 산림기후대는 2℃ 상승만으로도 서울을 포함한 중부지역이 상록활엽수가 살 수 있는 난대기후대로 변화할 것으로 전망된다. 현 기후에서는 동백나무를 비롯한 상록활엽수림이 주요 식생인 난대림지대가 남부해안과 제주도 저지대에 국한되어 있으나 평균기온 2℃ 상승 시 전라남북도, 경상남도, 충청남도 그리고 경상북도 일부 및 경기도 일부가 난대기후대로 변화할 것으로 예상된다. 4℃가 상승하면 남부해안지대는 아열대기후대로 변화할 것으로 예상되며 현재 우리나라의 대부분을 차지하는 온대기후대는 크게 줄어들고 대부분은 난대기후로 변화할 것으로 전망된다. 따라서 향후 우리나라 남부지역에 야자류를 비롯한 아열대 수종의 생육이 가능하고, 현재 남부지역에만 생육하는 동백나무, 붉가시나무 등 상록활엽수들이 중부지역까지 생육할 수 있는 등 기회적인 요소도 있다.

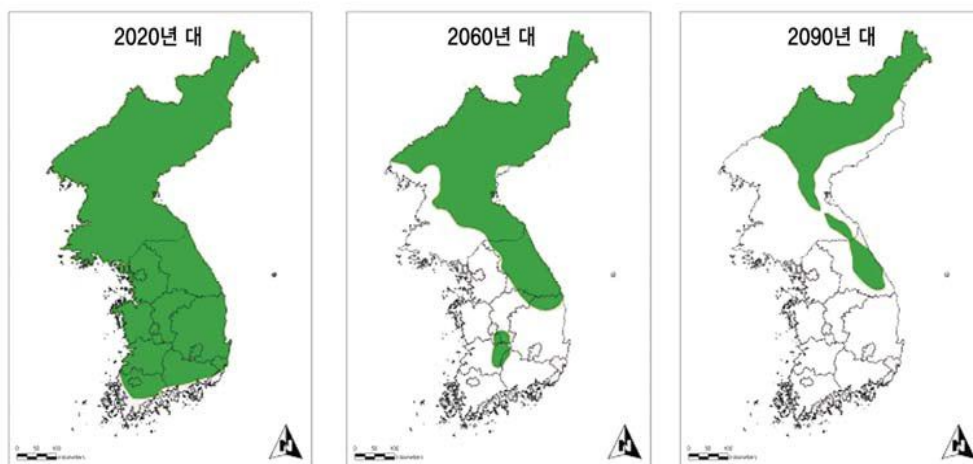
나. 숲의 구조변화와 생산성 변화

- 기후변화에 따른 산림생태계 구조의 변화 및 영향의 정도는 구성 수종별 적응능력에 따라 다르며 대체로 서서히 진행된다. 나무는 수종별로 다른 생리적 반응을 가지고 있으므로 수종 간에 경쟁력이 달라지고 식생천이의 진행

방향도 바뀌게 된다. 결과적으로 현재의 식물 군집구조와는 다른 구조로 변하게 되며, 산림을 구성하는 수종도 침엽수에서 활엽수로 바뀔 것으로 예측된다. 이런 경우 그 숲의 생산성이 저하될 가능성이 있다.

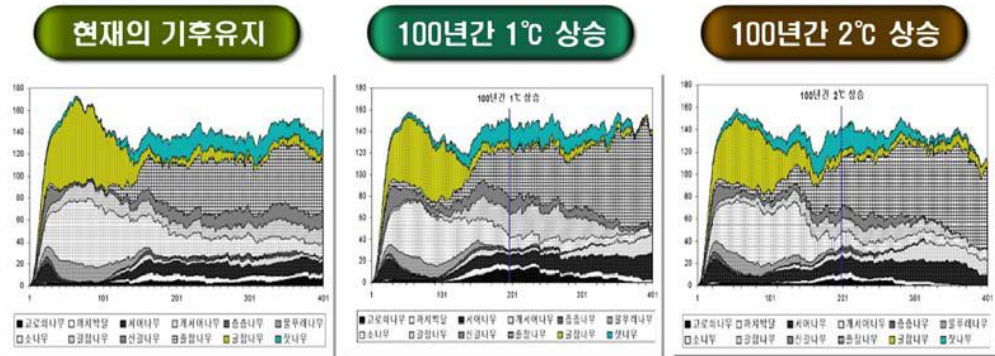
- 기후변화에 따른 수종별 생육범위가 변화하여 생산성 및 조림지대가 바뀌고 조림지 산림생산성이 변화할 것으로 예상된다.
- 소나무는 현재 거의 우리나라 전역에 분포하고 있는데, 발전지향적(A2) 시나리오에 따르면 생육과 갱신능력이 유지되는 적정생육범위가 변할 것으로 전망된다. 2060년대에는 지리산, 덕유산 등 남부 고지대와 경북 북부 및 강원도에 국한되고 나머지 지역에서는 점차 쇠퇴하거나 개체군의 축소가 예상된다. 2090년대에는 강원산간지역으로 국한될 것으로 예상된다. 적정생육범위를 벗어난다고 해서 소나무림이 완전히 없어지는 것은 아니며 병해충과 가뭄피해로 인한 고사가 늘고 후대로의 갱신이 어렵거나 다른 수종과의 경쟁에서 더욱 불리해져 개체수와 유전적 다양성이 많이 줄어들게 된다.

그림 4-12. 빠른 기후변화시나리오(A2)에 따른 소나무림의 적정 생육분포 범위 변화



자료: 산림청 산림정책과(2009)

그림 4-13. 우리나라 온대중부산림에 대한 기온상승 시뮬레이션



주: 200년까지는 자연적인 발달과정이고 그 이후 기후변화가 진행되는 것으로 가정
자료: 임중환(2009)

- 우리나라 온대 중부지역의 천연림을 대상으로 시뮬레이션 한 결과, 현 기후로 유지될 경우에 비해 기온이 상승하면 졸참나무, 서어나무, 개서어나무 등이 증가하고 잣나무와 신갈나무의 비율이 낮아지며 2°C 이상 상승하면 숲이 쇠퇴할 가능성이 있다.
- 지역과 수종에 따라 다르지만 향후 지구온난화로 강수량이 증가하고 기온도 어느 정도 상승하고 이산화탄소 농도증가와 질소순환변화에 따른 비료효과로 식물의 성장속도가 빨라질 수 있는데, 이러한 긍정적 효과는 향후 30년 내외까지일 것으로 예상되며 그 이후에는 기온 상승에 따른 토양 유기물 분해 속도와 수목의 스트레스 증가 그리고 이상기상현상에 따른 호흡량의 증가 등으로 배출량이 오히려 커질 것으로 예상된다.
- 기온상승으로 산림식생대가 북상하여 상록활엽수림지대가 증가하면서 소나무림 등 침엽수림을 대체하면 수자원 함양기능의 변화가 예상된다. 일반적으로 침엽수림에서의 차단손실량은 강수량의 30%에 달하며 활엽수림에서 보다 2배 이상 많기 때문에, 소나무림이 활엽수림으로 대체되면 산림의 차단손실량이 감소하고 산지의 토양수분함량 및 지하수위가 증가할 것으로 예

상된다.

- 우리나라는 연강수량의 대부분이 여름철에 집중되기 때문에, 기후변화로 인해 강수량이 증가하고 토양함수량과 지하수위가 증가한다는 것을 고려하면 여름철 홍수 위험도의 현저히 증가할 것으로 전망된다. 강우강도 증가에 따른 계류 내 부유물질 유입량 증가와 수온상승은 수질저하와 수생태계의 생물상 변화를 야기할 것으로 전망된다.

다. 생물다양성 변화

- 우리나라 산림생태계는 복잡한 지형적 조건을 가지고 있어 수직적 상승에 따라 고산 및 아고산지대 식생은 기후변화에 취약할 것으로 예상된다.
 - 기온이 상승하면 기후대는 남에서 북으로, 저지대에서 고지대로 이동하게 되는데, 높은 산지에 섬처럼 고립되어 있는(mountain island) 고산 및 아고산지역의 식생은, 향후 온난해진 기후가 생존과 생장에 불리해지거나 저지대에서 올라온 수종들과의 경쟁에 밀려나 크게 감소할 것으로 예상된다.
 - 이로 인해 우리나라 고산 및 아고산지역에 분포하고 있는 구상나무, 분비나무, 가문비나무, 시로미, 돌매화나무, 눈향나무, 월굴 등과 같은 수종들은 우리나라에서 멸종에 처하거나 개체군의 크기가 크게 감소하여 유전적 다양성이 줄어들 가능성이 크다.
- 아울러 개체군 크기가 작고 고립되어 있는 식물 종, 급격한 환경변화에 잘 적응하지 못하는 종, 종자확산 거리가 짧은 종들에게는 빠른 기후변화가 더욱 불리하게 작용할 것으로 예상된다. 식물뿐만 아니라 산림곤충과 야생동물상 변화도 예상되며 기후변화로 인해 침입외래종의 유입과 돌발적 확산도 우려된다.

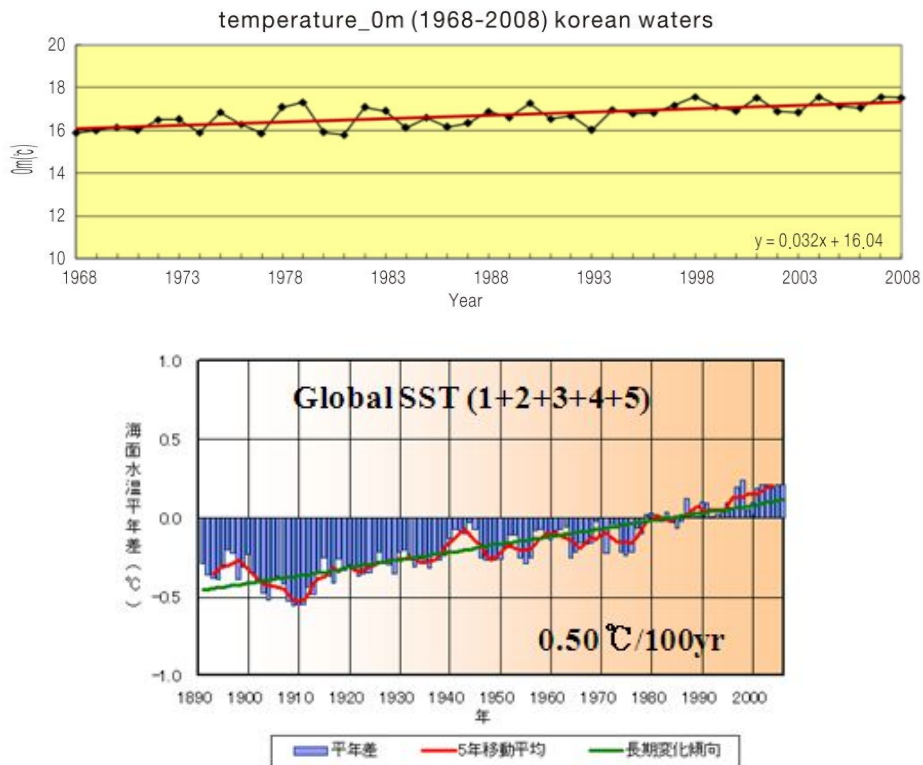
1.3. 수산업

1.3.1. 현황

가. 한반도 주변 수온 변화

- 한반도 주변 표층수온은 지속적으로 상승하고 있다. 국립수산과학원의 해양 조사에서 얻어진 최근 41년간 표층수온 변동경향을 살펴보면 약 1.3℃ 상승한 경향을 나타내며, 이는 전 세계 평균 표층수온 상승률인 100년간 0.5℃ 상승에 3배 이상 높은 것이다<그림 4-14>.

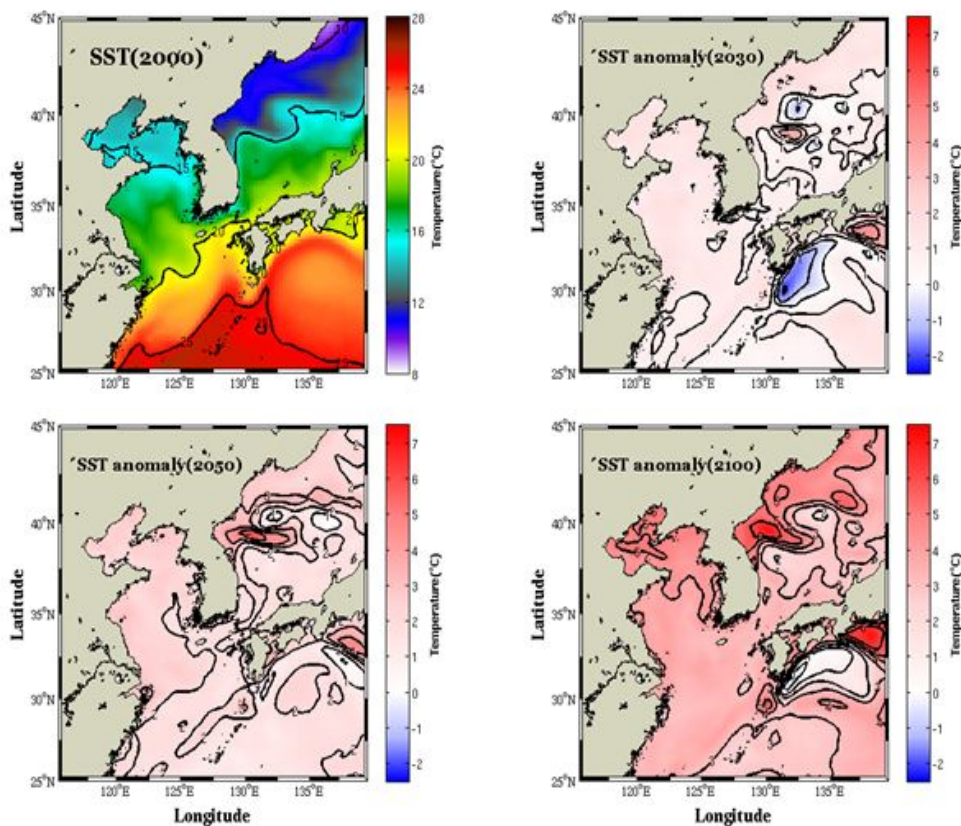
그림 4-14. 국립수산과학원 해양관측자료를 통한 최근 41년간 표층수온 상승 경향(상)과 일본 기상청 제공 전 세계 평균 표층수온 상승 경향(하)



자료: 김영만(2011)

- 우리나라 주변 해역의 수온상승 경향의 특징을 살펴보면, 여름에 비하여 겨울철 표층수온 상승이 두 배 가량 높게 나타나고 있다<그림 4-15>.
 - 표층은 수온이 상승하고 있으나 표층 바로 아래 수층인 아표층에서는 수온이 하강하는 경향을 나타내고 있다.
 - 또한 연안역에 비하여 근해해역에서 수온 상승이 높은 특징을 보이고 있다. 이는 우리나라 해역의 해황 변동 특징인 대마난류의 영향, 시베리아 고기압의 직접 영향, 연안의 폭넓은 혼합역 존재 등이 원인이 되고 있다.

그림 4-15. IPCC AR4 사용 모델을 활용한 2000년 표층수온(좌상), 2000년 대비 2030년 표층수온 변동(우상), 2050년 표층수온 변동(좌하) 및 2100년 표층수온 변동(우하) 경향



자료: 김영만(2011)

- 향후 한반도 주변 표층수온 변동경향을 살펴보기 위하여 IPCC AR4에 사용된 동경대학교 CCSR COCO3.4 모델의 분석결과 2000년 대비 2100년에는 약 4℃ 수온 상승이 예측되며, 동해 중부 근해역에서 높은 수온 상승이 일어날 것으로 예측되었다. 따라서 산란장 및 어장의 북상 이동으로 우리나라 어업생 산의 큰 변동이 예상되며, 이와 같은 표층 수온 상승으로 인해 우리 해역이 현재 오키나와 주변 해역과 유사한 수준으로 아열대화 될 것으로 예상된다.

나. 수산자원 어획량 변동

1) 난류성 어종

- 고등어는 20, 30년대 10만 톤 수준에서 이후 감소하였다가 1969-1991년 10만 톤, 최근 15만 톤 수준으로 증가하였다. 멸치는 70년대 들어 증가하기 시작하여 90년대 중반 이후에는 20만 톤 수준의 높은 어획량을 나타내었다. 살오징어는 60년대에 6만 톤 수준에서 감소하여 70, 80년대는 낮은 수준이었으나 90년대 이후 증가하여 최근에는 20만 톤 수준으로 증가하였다.

2) 한류성 어종

- 명태는 70년대 중반에서 80년대 중반까지 10만 톤 수준을 유지하다가 이후 감소하여 최근에는 극히 낮은 수준의 어획량을 나타내었다. 대구, 청어는 20, 30년대 높은 어획량을 보인 후 감소하였으나 최근 다소 증가하는 경향이 있다.

다. 수산자원 어장 및 어기 변동

1) 난류성 어종

- 오징어, 고등어, 멸치 등 연근해 주요 난류성 어종은 겨울철 분포 해역이 최근 북상하였고, 분포밀도도 높아 어획량 증가하였다. 오징어의 경우 2~3월에는 1970년대 중반에 비해 1998-2000년 사이에 약 100km 이상 어장이 북상하였고, 겨울철 어획량도 1980년대 이전에 비해 1995년 이후에는 2.5~6배 증가하였다. 고등어의 경우도 70년대 중반에 비해 100km 정도 북상하여 어

장 형성하였다. 연간 어획량에 대한 겨울철 어획비율도 1975년 이전에는 5% 미만이었으나 1990년 이후에는 13% 수준으로 증가하였다.

2) 한류성 어종

- 명태는 1990년대 후반에는 1970년대 평균어획량보다 백분의 일 이하로 줄어들었다. 남해 한계선이 점점 북쪽으로 이동해 이제는 강원 중부 이북에서만 잡히며 찬물에 사는 붉은 대게 또한 어획량이 감소추세에 있다. 대구나 가자미, 청어 등은 좀 더 따듯한 물에 사는데 어획량 감소율이 둔화되는 경향이 있다.

3) 아열대성 어종의 출현

- 2003년 한국어류학회 학술 발표에 따르면, 우리나라에 서식하는 약 1,100여종의 어류 중에서 동해에 서식하는 어종은 약 439종이라고 보고된 바 있지만, 최근 기후변화와 관련하여 새로운 아열대성 어류의 동해 출현이 증가하고 있는 추세이다.
- 제주도 및 남해 해역에 주로 서식하는 아열대성 어류 중에서 2009년과 2010년에 동해 중북부 해역까지 처음으로 북상하였던 종은 23종이었다. 우리나라 최북단 강원 고성군에서는 실전갱이, 눈통멸, 강담복, 흑가오리 등이, 양양군에서는 꼬치삼치, 긴가라지, 범돔 등의 종들이 여름과 가을에 출현하였다.
- 동해의 경우 아열대성인 보라문어과에 속하는 대형문어 및 노랑가오리속에 속하는 대형가오리가 대량 출현하였다. 우리나라 전 해역에서 해파리가 대량 발생하고 있으며, 해파리의 이상 발생은 어린 해파리를 많이 먹는 천적(쥐치, 병어, 거북이 등)의 감소가 하나의 원인으로 지목되고 있다.

1.3.2. 전망

가. 수산자원의 변동 개요

- 기후변화에 따른 온난화로 한류성 어종의 어획량 감소, 난류성 어종의 어획량 증가세 지속될 전망이다. 특히 황해에서 서식하는 대표적 한류성 어종인 대구와 청어는 동해보다는 빠른 기간에 사라질 것으로 전망된다.

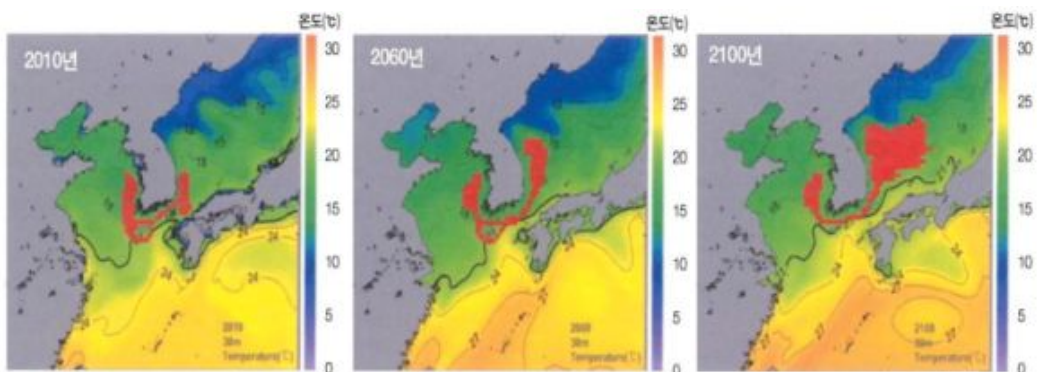
나. 아열대성 어종

- 지금은 아열대성 어종의 출현이 잠시 일부 지역에서 1~2마리씩 나타나는 희귀한 현상으로 보이지만, 점진적인 수온의 상승과 함께 이러한 아열대성 어종의 출현빈도는 높아질 것이며, 그 양도 점점 증가하여 한반도 전 해역에서 쉽게 찾아 볼 수 있게 될 것으로 전망된다.

다. 주요 어종의 어장변화

- 꽁치를 포함한 여러 종(정어리, 멸치, 쥐치 혹은 고등어 등)의 분포역 경계(stock boundary)가 반국지적 규모에서 이동하고, 아열대, 온대 혹은 아한대성 어종들의 분포역이 중첩되어 상대적으로 유리한 온도의 영향을 받는다. 해수의 국지적 순환 혹은 유입이 기후 및 온도의 변화를 일으켜 우점종의 교체가 일어날 것으로 예상된다.

그림 4-16. 고등어 어장 변화



자료: 국제신문 2011년 1월 2일자. 국립수산과학원 남서해수산연구소 아열대수산연구센터 기후변화 과제 보도자료

- 현재 제주도를 중심으로 남해안에 어장을 이루고 있는 고등어의 경우 수온 상승이 진행되면서 점차 동해 쪽으로 어장이 바뀔 것으로 전망된다. 50년 이후인 2060년에는 동해 쪽에서 북위 38도 이상까지 북상해 어장을 형성하고, 2100년께에는 강원도와 울릉도 중간 수역에서 현재보다 4~5배 확장된 어장이 형성될 것으로 전망됐다<그림 4-16>.
- 제주도 특산 자리돔의 분포 해역도 수온 상승에 따라 북상할 것으로 예측됐다. 현재 자리돔은 동해의 독도와 울릉도 주변, 서해의 흑산도와 가거도 인근, 남해의 섬 암초 지역에서 주로 발견되고 있지만 2060년 이후에는 우리나라 연근해 전역에 고르게 분포할 것으로 보인다.
- 제주도 전역에서 생산되는 오분자기와 소라도 2060년께에는 우리나라 전 해역의 암초지대에 골고루 분포할 것으로 분석됐다.

1.4. 수자원

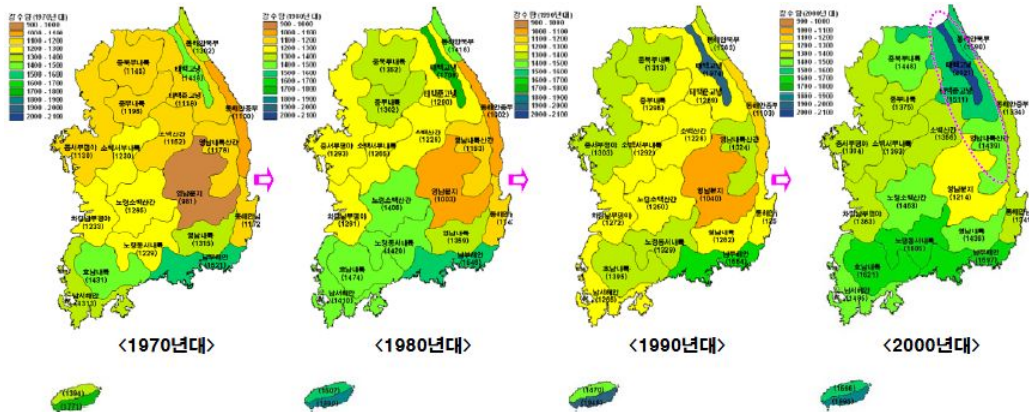
1.4.1. 현황

- 유엔의 정부간 기후변화위원회(IPCC)에서 발표한 보고서에 의하면, 기후변화로 가뭄, 홍수, 태풍 등의 자연재해가 자주 일어나고, 각종 병원체가 기승을 부리며 전염병이 확산될 것으로 전망된다. 또한, 물, 식량, 에너지 부족으로 국가 간 분쟁이 발생하고, 생물종이 대량 멸종 될 것이라고 경고하고 있다.
- 지구온난화에 따른 온실가스 농도의 증가는 표면 복사 및 기온을 증가시키며, 표면온도의 증가는 강우와 증발산에 영향을 준다. 또한, 강우와 증발산의 변화는 유출량 및 지하수의 함양에 영향을 준다. 기온, 복사, 강우, 토양 함수비 및 이산화탄소의 농도변화는 모두 유역의 생태시스템 및 토지이용에

영향을 주며 이는 다시 유역의 물수지에 영향을 준다. 하천수질은 온도와 유역의 토지이용, 강우 및 유출량, 해수침투의 영향을 받는다.

- 지구온난화에 따라 강수량 및 강수특성과 증발량 등이 변화하면 유역에서의 물 순환도 변하게 된다. 이러한 변화는 수자원 부존량의 변화와 홍수 및 가뭄의 빈도에 영향을 미칠 수 있다.
- 한반도의 연 강수량은 지난 35년간 전국 평균 283mm 증가했다. 특히 태백의 고랭지 지역과 준고냉지 지역, 영남내륙산간지대는 강수량이 급증하였다.

그림 4-17. 농업기후지대별 연강수량 변화



자료: 강기경(2009)

- 강수량의 증가는 토양수분의 증가를 초래하고 따라서 동일 강수량에 대해서도 더 큰 홍수가 발생할 수 있다. 또한 늘어난 홍수량 때문에 과거의 홍수빈도 해석에 따른 홍수량이 달라질 수 있다. 온도와 토양수분의 변화는 식물의 증발산에 큰 영향을 미칠 수 있고, 강수량의 변화에 대한 유출량의 변화 폭이 크므로 강수량이 조금 감소해도 유출은 상대적으로 많이 줄게 되어 용수 부족이 심화될 수 있으며, 강수량의 증가에 따른 유출의 증가 때문에 더 많은 홍수에 노출될 수 있다.

- 겨울철의 강수 및 온도의 증가로 적설은 줄어들고 유출이 늘어날 것이며, 지역적으로 기상 및 수문특성이 변함에 따라 물이 남는 지역과 부족한 지역이 심화될 수 있다.
- 수자원은 기후변화에 대해 매우 취약하며, 적절한 평가시스템 구축과 대응책이 마련되지 않으면 막대한 피해를 초래할 수도 있다. 21세기에 전개된 우리나라 기온변화와 강수량 변화는 정도의 차이는 있지만 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다.
- 수자원에 직접적인 영향을 미치는 기후요인은 기온 상승과 강수량 및 강우강도 증가 등 강우패턴의 변화이다.
 - 이에 따라 수자원분야는 용수수요증대 및 시기변화, 하천유출량의 감소 및 시간적 변화, 기존 수자원 시설 기능저하, 극한 홍수 및 가뭄 발생빈도와 규모증가, 수질악화 및 하천생태계 변화, 지하수의 염수화 등 영향을 받을 수 있다.
 - 실제 우리나라에서도 2001년, 2002년에는 가뭄으로 109개 시·군에서 약 40만명이 제한급수를 받는 등 주기적으로 가뭄피해가 발생하였으며, 또한 루사('02), 매미('03), 에위니아('04) 등의 태풍과 집중호우로 인해 홍수피해가 대폭 증가하였다.

1.4.2. 전망

- 한반도에서도 전지구적인 기후변화와 국지적인 기후변화로부터 많은 영향을 받을 것으로 예측된다. 특히, 농업 분야에서는 수확량 감소가 예상되며, 수자원 및 환경 분야에서는 강수량 및 수문순환의 불확실성이 증가하여 수자원 개발과 운영에 많은 문제들을 야기할 것으로 예상된다. 가뭄 및 홍수와 같은 자연재해가 빈번히 발생하고 피해규모가 커질 것이며, 하천 수질 및 생태계의 훼손 및 관리의 어려움이 발생할 것으로 예측된다.

- IPCC SRES A2 시나리오를 적용하여 기후변화에 따른 5대강 수계 139개 유역의 수자원 변동성을 시·공간적으로 분석한 결과 한반도의 기온이 1 °C 상승함에 따라 실제증발산량이 3.4 %~5.3 % 변할 것으로 전망된다. 강수량이 ± 10 % 변화할 경우, 유출량은 한강 -18.2 %~12.4 %, 낙동강 -21.6 %~14.6%, 금강 -17.5 %~11.5 %, 섬진강 -18.4 %~10.6%, 영산강 -9.9 %~12.7 %로 변동할 것이라는 결과를 제시하였다(배덕효 등, 2007)
- CCCma CGCM2의 대기해양결합모형을 사용하여 모의 결과 값을 통해, SRES 시나리오(A2, B2)에 대한 기후변화에 따른 농업수자원 영향분석을 실시한 결과 대상유역과 금광, 고삼 농업저수지 유역의 2030년, 2060년, 2090년의 일 단위 기상자료를 제시하였다(박근애 등, 2007).
 - 2030년, 2060년, 2090년의 강수량의 변화는 2004년(1296.9mm)에 비해 각각 788.2mm, 1093.5mm, 651.2mm로 대체적으로는 감소하였으며, 그 양상은 불규칙적이었다.
 - 기후변화에 따른 대상유역의 총 유출량은 2004년 901.9mm에 비해 2030년, 2060년, 2090년 각각 410.3mm, 572.0mm, 365.4mm로 강수량의 변화 양상과 유사하게 분석되었다.
 - 금광, 고삼 농업저수지 유역 또한 기후변화에 따른 강우량의 변화 양상에 따라 유출량의 변화가 발생하였다.
 - 기후변화에 따라 한반도에서는 수자원의 변동성이 커지고 홍수 규모와 빈도가 증가할 것으로 전망되었다. 또한, 태풍의 강도가 증가하고, 대규모 태풍 발생 빈도가 증가할 것으로 전망되므로 이에 대한 대책수립이 필요하다.
- CCWG 프로그램을 이용하여 생성한 기상자료를 바탕으로 잠재증발산량과 실제증발산량을 산정한 결과 잠재증발산량은 1985년보다 2~42% 증가하는 것으로 분석되었다. 실제 증발산량은 1985년보다 5~26%까지 증가하는 것으로 분석되었다(윤동균 등, 2009 2010).

- CCWG 프로그램을 이용하여 LARS-WG 모델의 기상자료를 생성하여 전국 8개 지역별 논 필요수량을 산정한 결과 전반적으로 2020년대, 2050년대, 2080년대 모두 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하여 소비수량이 증가하는 결과를 나타내었다.
- 향후 100년간 필요수량이 가장 작게 증가하는 청주지역의 경우 유효수량이 1985년에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 적게 증가는 것으로 판단되며, 진주지역의 경우, 강우량이 비관개기에 집중되어 유효수량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가하는 것으로 판단된다.

1.5. 식품, 유통

1.5.1. 현황

가. 기후변화와 식품안전

- 기후변화는 각종 바이러스, 박테리아, 원충류 등 세균변식을 유도하여 식중독, 식품변질 등 각종 식품 안전에 큰 위협이 될 수 있다.
 - 온도, 습도, 강우량, 해충, 가뭄, 토양 등을 통해 생성되는 곰팡이는 옥수수, 밀, 보리, 귀리, 콩, 쌀, 사과 등 다양한 농산물에서 검출되었다. 각종 식품 위협을 방어하고자 약품의 사용량과 사용빈도가 더욱 많아질 것으로 예상되나, 이는 인체에 유해한 대책이다. 기후온난화로 인해 유해해초류 유발이 증가하고 있으나, 이에 대한 해독제가 없고 무미·무취이기에 구별하기가 힘든 상황이다.
- 우리나라 국민들은 기후변화가 식품안전에 부정적인 영향(83.6%)을 주며, 기후변화는 식중독 발생에 영향(84.0%)을 줄 것이라는 판단하고 있다. 부정적 영향에 대해서도 특정 계절이나 연도별로 정기적으로 발생, 똑같은 유형

의 식중독 사고가 지속적으로 반복, 새로운 균에 의한 식중독 발생 증가, 특정지역이나 계절을 벗어나 발생 등으로 생각하고 있다(김용수, 2009).

- 미국의 국가과학기술위원회는 기온 상승과 식중독 발생건수와의 상관관계가 매우 높은 것으로 보고하였다.

표 4-7. 기후변화에 의한 매개체의 영향

매개체	기후변화에 의한 영향	
	간접영향	직접영향
바이러스	폭풍우로 인한 인간 배설물이나 하수의 증가로 오염 확산	기후변화와 자외선의 변화로 생존율 증가
박테리아	조류 퍼짐의 증가로 인한 미생물 증식을 동반하여 해수나 해산물을 통한 질병 발생이 증가	바닷물 염도나 온도변화에 따라 조류 생존 환경의 변화로 확산
기생충	폭풍으로 인한 인간 배설물이나 하수의 증가로 확산	온도상승으로 기생충의 성충화와 감염성 증가

자료: Rose et al.(2001)

표 4-8. 기후변화로 인한 식품가공과정별 잠재적 오염원

가공과정	잠재적 오염원	기후변화 영향
생산 - 추수, 운반, 묶음	관개수, 인분, 유출수, 작업 공간의 위생 미흡	축사, 농장, 해안가
초기 생산과정 - 씻기, 분류하기, 포장하기	행굼물, 처리과정	축사, 농장, 해안가
운반 - 트럭 운반	얼음, 불결한 트럭, 온도조절 실패	-
최종 생산과정 - 자르기, 껍질 벗기기, 분쇄, 압축가공	행굼물, 처리, 교차오염	도살장, 채소 및 과일 처리 공장, 갑각류의 처리과정
음식물 조리	조리원/조리기구, 조리기구와 사용수의 교차 감염, 부적절한 보관 및 저장온도	부엌이나 식탁의 음식물

자료: Rose et al.(2001)

- 식중독 및 수인성 전염병의 경우 미생물 유기체와 독성이 있는 식품의 섭취 및 오염된 식수원에 의해 감염될 위험이 있으며 이러한 질병매개체의 활동은 기상 및 기후변화에 영향을 받을 수 있다.
- 기후변화는 숙주요인, 병원체요인, 환경요인 모두에 영향(Epidemiological Triad)을 준다. 특히 개발도상국(세균성이질, 콜레라)과 선진국(오물처리, 수질, 위생, 설사성 질환) 사례가 보고되고 있으며, 오염원은 인간·동물의 분변, 인간의 피부·코·목, 자연계 등이 있고, 오염 시나리오는 인간·동물의 분변 오염, 식품취급자 감염, 환경(공기, 물, 식품접촉면)에 오염, 식품원료에 접촉 등이 있다.
- 기후변화는 감염성질환의 발병 시기, 심각도에 영향을 미친다. 일반적으로 기후는 감염성질환의 범위를 제한한다. 그러나 기후변화는 지리적 범위를 변화시켜, 질병발생주기, 전염병발생(악천후)을 확대시킬 것으로 예상된다. 가능성의 근거로써 고온, 다습, 엘니뇨는 살모넬라증, 캄필로박터증, 콜레라 등을 증가시킨다는 보고가 있다. 홍수, 가뭄, 허리케인 등 악천후는 전파에 영향(미생물, 대피상황)을 미친다.
- 기후변화로 주시해야 할 식중독미생물은 감염량이 적은 미생물, 악천후 이후 환경지속성 큰 미생물, 스트레스(온도, pH)에 대한 저항성 큰 미생물 등이 있다. 대표적인 예로써는 장내바이러스(enteric viruses), 기생원충(parasitic protozoa), 이질(*Shigella* spp.), 장출혈성대장균(Enterohemorrhagic *E. coli*), 살모넬라(*Salmonella*) 등이 있다.

나. 식품제조·유통 부문

- 기후변화는 식품 취급·가공에 상당한 영향을 미치는데, 식품공정에 미치는 영향 및 결과는 1차 생산과정에서 유입될 수 있는 위해 요소 변화, 식품 보관·유통 시 위해 요인 증가, 용수 부족으로 인한 위해관리 프로그램의 어려

음, 위해관리 적응전략 마련의 어려움이 있다. 따라서 최종 식품 안전성 확보를 위해 그 위해요소를 효과적으로 관리할 수 있는 안전관리체계 디자인에 영향을 미치게 될 것이다. 또한 식중독 발생 가능성이 증가하는데, 기온 1°C 상승 시 식중독 발생건수는 5.27% 증가하고 식중독 환자 수는 6.18% 증가했다(박기환, 2011)

- 평균온도상승으로 인해 식품 보관·유통시 위생 위험 증가할 것으로 전망된다. 식품산업은 신속한 위생프로그램으로 수정이 필요하고, 새 위생프로그램에 대한 타당성검증, 정기 자체·외부감사가 필요하고, 정부는 새로운 가이드라인 작성 보급을 해야 한다.
- 식품산업 기후변화 관리 필요성을 경제적 측면에서 본다면 전 세계적으로 가공식품 소비비율이 높아지고 있다. 우리나라는 40%이고, 미국·캐나다 등 선진국은 90%에 이른다. 또한, 기상이변으로 인한 식품 생산 공급의 차질, 식중독으로 인하여 연간 1조 3천여억 원의 손실을 보고 있다. 아울러 식중독 원인 식품은 소비자들로 하여금 소비 감소를 일으키며 전반적인 경제적 손실을 증가시킨다(박기환, 2011).

1.5.2. 전망

가. 기후변화와 식품안전

- A2 기후변화 시나리오에 근거한 우리나라 식품안전에 관련한 식중독 발생 현황은 기후변화와 이상기후에 따라 더욱 심화될 전망이다. 기후변화의 영향에 대응하기 위한 전략으로 IPCC는 총 6가지 시나리오를 제시하고 있는데 그중 우리나라가 근간으로 하고 있는 A2 시나리오이다. 우리나라의 식중독 주요 질환의 발생건수를 연도별 비교해 보면, 광범위한 노력에도 불구하고 2000년대 이후에도 지속적으로 증가하는 추세이다(정기혜, 2010).

- 예를 들면 홍수, 폭우 등에 의한 불결한 위생 상태에서 콜레라와 같은 수인성 전염병 및 식품매개 전염병이 급격히 확산되는데, 실제로 1998년 페루에서는 엘니노 기간 동안 설사로 병원에 입원한 어린이수가 2배에 달하였다. 식중독 발생예측에 따르면 2003년에서 2007년까지의 5개년 평균기온 및 습도의 평균치를 기준으로 향후 식중독 발생을 예측한 결과 2020년대 14.8℃, 2050년대 16.6℃, 2080년대 18.6℃의 예측 평균기온에서 식중독 발생건수는 5개년 평균대비 2020년에는 6.3%, 2050년에는 15.8%, 2080년대에는 26.4% 증가할 것으로 예상된다.
- 한반도 기온이 1℃ 상승하면 식중독 발생 건수가 5.27~5.99% 증가하게 된다(신호성, 2009). 한국보건산업진흥원의 ‘기후변화에 따른 식중독 발생 영향 분석 및 관리체계 연구’ 보고서에 따르면 2030년까지 한반도 기온과 강수량이 (2008년 대비) 매년 12℃와 4.9%씩 증가해 노로바이러스에 의한 식중독이 급증할 것으로 예상된다. 식중독균인 살모넬라 장염비브리오 황색포도상구균은 월평균 기온이 1℃ 상승했을 때 각각 47.8%, 19.2%, 5.1%씩 증가할 것으로 예상된다.
- 기온상승과 상대습도변화에 따른 우리나라 16개 광역단위별 주간 식중독 발생 건수 및 환자 수의 변화를 예측하였다. 분석결과 상대위험률(Relative Risk Rate, IRR)은 단위기온 상승 당 5.27%(시간지연효과포함)~5.99%의 식중독 발생 건수가 증가하는 것으로 예측되었다. 상대습도 계수는 음의 값을 보이나 통계학적으로 유의하지 않아 발생 건수에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되었다. 주간 환자 수의 경우 기온이 평균 1도 상승하면 6.18%(시간지연효과 포함)~7.01%의 환자수가 증가하는 것으로 예측된다. 주간최고 상대습도는 주간 발생 건수의 경우와 달리 식중독 발생 환자 수에 통계적으로 유의한 영향을 미쳐 상대습도가 1% 증가할수록 환자수는 1.7% 감소하는 것으로 예측되었다(신호성, 2009).

2. 기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향

2.1. 경제적 영향분석 방법론

- 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 영향분석
 - 기후변화 영향의 경제적 분석은 기본적으로 과학적 지식을 기초로 하며, 과학적 불확실성은 경제적 불확실성과 직접적인 관련성이 있다. 경제적 영향분석 모델링의 경우 불확실성의 결합과 변이와 공간적 이질성 (spatial heterogeneity)의 결합 등 두 경계선으로 나눌 수 있다.
- 경제적 모델링의 접근방법
 - 작물반응함수와 생산함수 등을 이용한 농경제적 모델(agro-economic model): 기후변화에 따른 농산물의 생산 단수와 비용 등에 미치는 영향을 추정하기 위해 작물반응함수와 생산함수 등을 이용한다. 다양한 조건과 다양한 지역에서의 기후요소가 변화하는 경우 농산물 생산성 변화와 농업수익 변화 등을 분석할 수 있다.
 - 속성가격(hedonic price) 모형: 기후변화의 영향은 자산 가치(asset values)에 반영되며, 현재 자산가격은 기후 파라미터 변화에 따른 토지가치의 가격 민감도(price sensitivity)를 추정하는데 이용된다. 기후변화와 토지가치를 연계하여 경제적 영향을 분석하는 속성가격 모델로 Mendelsohn, Nordhaus, and Shaw(1994)은 리카디안 모형(Ricardian model)을 제시하였다.⁵

5 기후변화의 경제적 영향 분석의 접근방식으로 Mendelsohn 등은 작물반응함수와 생산함수 접근방법은 기후변화와 관련 조정과 적용이 고려되지 않은 비현실적인 측면을 지적하면서 리카디안 모델을 제시하였다. 리카디안 방법은 토지가치로부터 경제적·환경적 요인을 측정하기 위한 시도로 전통적인 추정법보다 선호되며, 기후변화에 대한 농민의 효율적인 적응을 자동적으로 고려하게 된다. 그러나 리카디안 모델은 기후변화와 토지수익과의 관계에서 조정비용이 고려하지 못하는 문제점이 지적되고 있다.

- 프로그래밍 시뮬레이션 모형: 시뮬레이션 모형의 대전제는 최적 산출물 공급 및 투입물 수요는 토지이용 추정치를 이용하여 계산된다. 다양한 지역에서의 균형가격, 산출 수준, 이익 등을 도출할 수 있다. 특히 확률적 시뮬레이션은 다양한 지역에서 생산과 수익성에 대한 평균 및 변이지표의 추정된 변화의 영향력을 고려한다.

2.2. 리카디언 모형을 이용한 경제적 영향 분석

- 생산함수를 이용한 접근방법은 기후 변화에 따른 직접적인 영향만 측정이 가능할 뿐이며 생산에 투입되는 요소들의 변화, 즉 기후변화에 따라 투입요소를 적정하게 조정함으로써 발생하는 생산량 증감 등과 같은 간접적인 영향을 반영하지 못하여 경제적인 영향에 대한 과대추정의 문제점이 발생한다. 이러한 문제점 해결방안으로 Mendelsohn 외(1994)가 제시한 리카디언 방법이 적용된다.
 - 기후가 변화함에 따라 바뀌는 모든 생산요소를 감안한 장기적인 균형 상태에서 토지가격(land rent)은 토지이용에 따른 수익(quasi-rent)을 나타내는 것으로 가정한다.
 - 기후 변화에 따른 농지의 가치와 농산물 수익 변화를 추정함으로써 경제적인 영향의 평가방법이다. 따라서 농지의 가치나 이윤을 직접 계측하여 기후 변화에 따른 작물의 생산성 변화와 같은 직접적인 영향뿐만 아니라 투입 생산요소의 대체효과, 토지 이용의 변화와 같은 간접적인 영향을 모두 측정할 수 있다.
- 기후변화에 따른 농가자산(농지가격)에 미치는 영향분석에서 리카디언 모형을 적용한 분석결과 연평균 기온(12.4℃)이 1℃ 상승하면 모형에 따라 1ha당 농지가격이 1,455~1,924만원 하락하는 것으로 추정된다. 이는 평균농지가격의 5.7~7.5% 하락에 해당되는 것이다. 한편 월평균 강수량(110.8mm)에

서 1mm 증가는 ha당 농지가격을 33~36만원 증가시키는 것으로 분석된다.

- 리카디언 모형을 이용한 기후변화 영향분석은 완전경쟁상태의 적정 토지가격을 얼마나 정확하게 도출해낼 수 있느냐가 관건이다. 현재 조사된 농지가격이 미래에 농지를 이용하여 얻을 수 있는 가치를 충분히 반영하느냐 하는 것이다.
 - 실제적인 제약점이 있음에도 불구하고 이 방법이 의미 있게 평가되는 이유는 시장경제이론에 가장 적합하며, 모든 요소들이 최적화된 것으로 가정하여 균형 상태를 추정하는 것이기 때문이다.
 - 생산함수를 이용하거나 최적화 문제를 해결하여 경제성을 평가하는 방법 등은 최적화된 상태에서 기후 변화의 영향을 평가하기보다는 기존의 상태를 유지하면서 기후요소의 변화에 따른 영향을 평가하는 것이므로 리카디언 방법보다 경제학적인 함축성이 떨어진다고 볼 수 있다.

2.3. 동태적 수리계획모형을 이용한 농업부문 총소득 변화 분석결과

- 기후변화가 농업부문에 미치는 경제적 영향분석을 위해 동태화 된 실증적 수리계획모형(Positive Mathematical Programming)을 이용하여 기간변화에 따른 농업부문 총소득 변화를 추정한다.
 - 동태적 수리계획모형은 축차적 분석을 통한 최적화 기법으로 기후변화에 따른 농업부문의 경제적 영향분석이 가능하여 지역별 농업현황과 작목별 영향 분석과 농가소득 분석이 가능하다는 점에서 시사하는 바가 크다. 다만 향후 수십 년의 기간 동안 이루어질 수 있는 기술변화의 효과를 반영하지 못한다는 점에서 한계가 있다.
 - 분석대상 작목은 쌀, 겉보리, 쌀보리, 감자, 고구마 등 식량작물 8개 품목, 수박, 참외, 딸기, 오이, 무, 배추, 고추, 양파 등 17개 품목, 사과, 배 복숭아, 포도, 감귤, 단감 등 6개 품목 등 총 43개 품목을 대상으로 하고 있다.
 - 43개 품목에 대한 단위당 가격, 비용, 생산량, 투입시간 등을 기초로 미래전

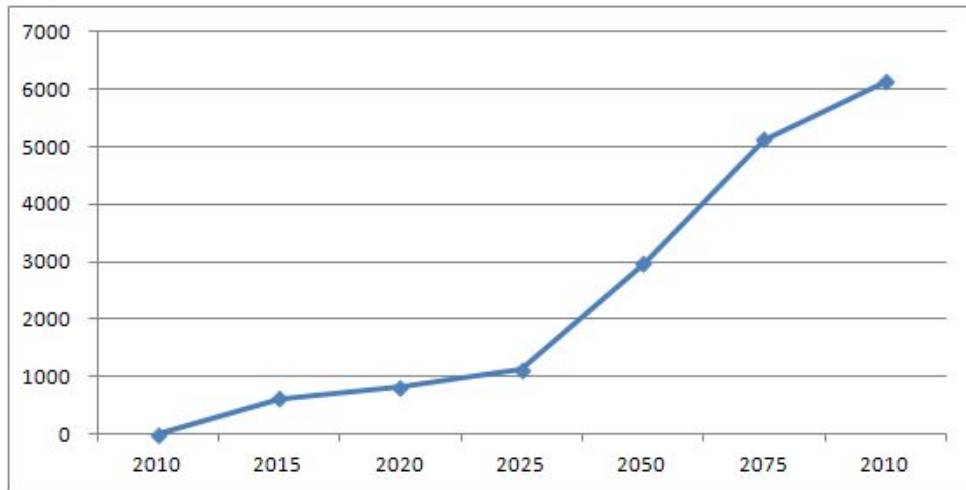
- 망치 자료를 투입자료로 활용하여 여건변화를 최대한 반영토록 하고 있다.
- 분석모형의 제약조건으로 지역별 토지부존량과 노동력을 설정한다.
 - 기후변화가 쌀 생산에 미치는 영향은 벼 생육모델(ORYZA2000)인 시물레이션 분석결과를 이용하였고, 온도상승과 이산화탄소 증가를 동시에 고려할 수 있도록 모형을 수립한다.
- 기후변화 시나리오는 A1B(인구성장은 낮고, GDP성장은 매우 높고, 에너지 사용이 매우 높고, 토지이용변화는 낮고, 에너지 자원사용 가능성이 중간이고, 기술발전이 빠른 상태, 에너지원의 균형을 중시 등을 가정하는 시나리오)로 설정하고, 농업부문에 미치는 총소득의 변화를 추정한다.
- 기온변화 평균치는 기준시점(1971~2000년의 30년 동안 평균치) 대비 2010년대 0.78℃, 2020년대 1.16℃, 2030년대 1.13℃, 2040년대 1.93℃, 2050년대 2.33℃, 2060년대 3.09℃, 2070년대 3.47℃, 2080년대 4.20℃, 2090년대 4.20℃ 상승할 것으로 예측하였다.
 - 기후변화에 따른 농업부문의 총소득 변화를 보면 2010년을 기준으로 2020년에 0.81% 감소한 823억원, 2030년 1.41% 감소한 1,422억원, 2050년 2.97% 감소한 2,964억원, 2075년 5.22% 감소한 5,133, 2100년 6.42% 감소한 6,135억원으로 추정되었다.

표 4-9. 기후변화에 따른 농업부문 총소득의 변화

구 분	억원, %			
	기후변화를 고려하지 않은 농업부문 총 이윤 (A)	기후변화를 고려한 농업부문 총 이윤 (B)	기후변화 효과 (A-B)×10 ⁸	변화율 (B-A)×A ⁻¹ ×100
2010	115,628	115,628	0	0
2015	107,692	107,065	-627	-0.58
2020	101,156	100,332	-824	-0.81
2025	100,941	99,816	-1,125	-1.11
2050	99,882	96,916	-2,964	-2.97
2075	98,254	93,121	-5,133	-5.22
2100	95,596	89,461	-6,135	-6.42

자료: 이회성 외. 「우리나라 기후변화의 경제학적 분석」. 환경부. 2011.

그림 4-18. 기후변화에 따른 농업부문 연간 손실액의 변화 추이



○ 기후변화에 따른 주요 품목별 생산량 변화율을 보면 품목별로 큰 차이가 있는 것으로 나타났다.

- 딸기(시설), 고추(시설) 품목의 경우 2015~2040년 생산량과 참외와 마늘의 2015년 생산량은 소폭 증가하다 감소하는 것으로 나타났다. 나머지 39개 품목의 생산량은 기후변화에 따라 지속적으로 감소하는 것으로 전망된다(이회성 외 2011, pp.344-346).

표 4-10. 기후변화에 따른 품목별 생산량변화율

단위: %

구분	쌀	맥주보리	옥수수	딸기	배추
2010	0	0	0	0	0
2015	-1.28	-1	-11.99	0.05	-1.86
2020	-2.13	-0.91	-11.92	0.05	-1.95
2025	-3.03	-1.01	-11.54	0.04	-2.03
2030	-3.92	-1.1	-11.18	0.03	-2.11
2050	-8.06	-1.44	-10.51	-0.06	-4.95

자료: 이회성 외 (2011), p.344-345.

제 5 장

농림수산식품산업분야 온실가스 감축잠재력 분석

1. 농림수산식품산업분야의 온실가스 감축목표

1.1. 농림수산식품산업분야의 BAU 전망치

- 온실가스 감축목표를 알아보기 전에 먼저 정확한 BAU 전망치가 도출되어야 한다. 농업분야 온실가스 배출량 산정 항목을 보면 축산분야에서 가축 장내 발효, 가축분뇨처리 등 두 가지가 있고, 경종분야에서 벼 재배 유래 메탄, 밭 토양 유래 아산화질소, 작물잔사의 농경지 소각 등 세 가지가 있다<표 5-1>.
- 배출량 산정 세부 항목을 보면 축산분야에서 축종별 사육두수, 분뇨발생량, 분뇨처리 방법 등이 있고, 경종분야의 벼 재배 유래 메탄의 경우 물 관리 방법, 유기물 시용방법 등이 있다.
 - 물 관리 방법에는 다시 상시담수와 중간배수 등으로 나누어지고 유기물 시용방법에는 유기물 종류, 시용량, 시용시기 등이 있다.
 - 경종분야의 밭 토양 유래 아산화질소 산정을 위한 세부항목으로는 화학비료, 가축분뇨, 콩과작물 수확량, 콩과작물 퇴비화율 등이 있고, 작물 잔사의 농경지 소각 산정을 위한 세부항목으로는 벼짚, 보릿짚, 고추 등 작

물별 잔사 소각 면적이 있다.

표 5-1. 농업분야 온실가스 배출량 산정 항목 분류

분류번호	산정항목(Key Category)	세부항목
4 A	① 가축 장내발효	축종별 사육두수
4 B	② 가축 분뇨처리	분뇨발생량, 분뇨처리 방법
4 C	③ 벼 재배 유래 메탄	
	- 물 관리방법	상시답수
		중간배수
		1회 배수
		2회 이상 배수
	겨울철 답수, 비답수	
	- 유기물 시용방법	유기물 종류, 시용량, 시용시기
4 D	④ 밭 토양 유래 아산화질소	화학비료, 가축분뇨, 콩과작물 수확량, 작물잔사 퇴비화율
4 F	⑤ 작물 잔사의 농경지 소각	벼짚, 보릿짚, 고추 등 작물별 잔사 소각면적

- 농업부문의 BAU 전망치는 KREI에서 개발한 한국농업전망모형(Korea Agricultural Simulation Model, KASMO)을 통해 도출된 재배면적과 사육두수를 바탕으로 IPCC의 온실가스 배출량 산정 지침에 따라 기본적으로 ‘배출계수×활동자료’ 식을 통해 산정되었다.
- 농림어업 에너지 분야와 식품부문 에너지 분야의 BAU 온실가스 전망치는 에너지경제연구원의 전망모형인 장기 에너지수요 시스템(KEEI-LEDS, Long-Term Energy Demand System)⁶을 통해 도출되었다.
 - 농림어업, 식품분야 BAU 전망치는 온실가스 정보센터의 전망치로 <표 5-2>와 같다. 여기서 농림어업 분야 BAU 온실가스 전망치는 29,103천 CO₂톤, 식품분야 BAU 온실가스 전망치는 6,160천 CO₂톤으로 나타났다.
 - 농림어업분야의 경우 비에너지(경종과 축산) 18,801천 CO₂톤, 에너지 10,302천 CO₂톤으로 전망되었고, 농림어업분야의 비에너지부문은 경종

6 에너지경제연구원(KEEI)의 에너지수요 전망모형으로 BAU 에너지 수요 부문별 특성을 전제로 수요전망이 가능하다.

12,418천 CO₂톤, 축산 6,383 CO₂톤으로 각각 전망되었다.

표 5-2. 농림어업, 식품분야 BAU 전망

단위: 천 CO₂톤

			2015	2020
농림 어업	비에너지	경종	12,711	12,418
		축산	6,764	6,383
		소계	19,475	18,801
	에너지		11,114	10,302
	합계		30,589	29,103
식품	에너지	6,610	6,160	
총계			37,199	35,263

자료: 온실가스 정보센터 전망치(2011, 내부자료)

1.2. 농림수산식품분야의 온실가스 감축목표

1.2.1. 국가온실가스 감축목표

- 저탄소 녹색성장 기본법이 2010년 1월 13일 공포되었고, 2010년 4월 14일 시행되었다. 주요 내용으로는 2020년까지 온실 가스 배출 전망(BAU) 대비 국가 온실 가스 배출량의 30%를 감축하는 것을 국가 온실 가스 중기 감축 목표로 명시하였다. 이를 위해 정부는 비용효과적 정책(규제/인센티브), 산업의 국제경쟁력, 투자계획 등을 반영한 부문별 감축목표 설정 및 목표관리제를 도입하였다.
- 목표관리제는 온실가스 다배출, 에너지 다소비 업체 등을 대상으로 온실가스 배출량, 에너지 사용량 및 효율 목표를 기업과 정부가 협의하여 설정하고 인센티브, 패널티 등을 통해 목표를 효율적으로 달성하는 제도이다. 녹색성장기본법의 온실가스 에너지 목표관리제에 따라 관리업체 470개(사업장 1,570개)가 9월 30일 고시되었다<표 5-3>. 관리대상 업체 선정기준은 2011

년 기준으로 최근 3년간 사업장 온실가스 배출량이 12만 5,000 CO₂톤, 에너지 사용량이 500 테라줄(Tera-joule)을 초과하는 곳이고, 사업장 추정기준으로는 3년간 온실가스 배출량이 2만 5,000CO₂톤, 에너지 사용량이 100 테라줄을 초과하는 곳이다<표 5-4>.

표 5-3. 분야별 관리업체 수

	산업·발전	건물·교통	농업·축산	폐기물	합계
주관부처	지식경제부	국토해양부	농림부	환경부	
관리업체 수	374	46	27	23	470
사업장 수	924	247	68	331	1,570

표 5-4. 관리업체 지정기준(온실가스 에너지 목표관리제 시행령 제 29 조 제1 항)

연도	2011년		2012년		2014년	
	업체	사업장	업체	사업장	업체	사업장
온실가스 (CO ₂ 톤)	125,000	25,000	87,500	20,000	50,000	15,000
에너지소비 (Terajoule)	500	100	350	90	200	80

주: 1 Terajoule=23.9TOE, 1TOE=3.2 CO₂톤

- 관리업체에 대한 규제 기관을 소관부처별로 단일화하여 관리업체에 대한 이중규제를 하지 않도록 되어 있다.
 - 예를 들어 국가 및 사업장의 온실가스 종합 관리는 환경부, 산업·발전은 지경부, 건물·교통은 국토부, 농업·축산은 농식품부가 해당 사업장의 온실 가스 인벤토리를 관리하도록 한다. 환경부는 총괄 및 점검 기능을 수행하며 소관부처의 관리업체 평가에 대한 메타 평가 및 사업장 온실가스 관리기준, 지침 등 수립 및 검증기관 지정 관리를 한다.
- 지정된 관리업체는 2011년 3월 31일까지 온실가스 인벤토리를 구축하여 최근 4년간(2007~2010)의 온실가스 배출량 및 에너지 사용량에 대한 명세서를

작성해야 하며, 이 명세서가 정확히 작성되었는지 제 3의 검증기관을 통해 확인하고 해당 소관부처에 제출하여야 한다.

- 목표 의무준수는 2012년부터 시작하며 향후 5년간 실적을 관리한다. 2012년 1월부터 연간 온실가스 배출량이 2만 톤 이하로 되면 해당업체는 100여개가 될 것으로 예상된다. 식품업계의 경우, 그 동안 온실가스 에너지 관리측면에서는 준비 정도가 미흡하여 향후 짧은 기간 동안 많은 노력이 필요한 상황이다.
- 온실가스종합정보센터와 농림수산식품산업분야의 온실가스 배출 전망치 및 감축잠재량에 대해 공동작업반을 운영(농식품부, 농진청, 농경연 전문가로 구성)하고 2011년 4월 15~8월 30일까지 협상을 하였다.
 - 최종 협상된 온실가스 감축목표는 2020년 기준 농림어업 1,516천CO₂톤으로 농림어업 BAU 대비 5.2%로, 식품의 경우 308천CO₂톤으로 식품분야 BAU 대비 5.0%로 설정되었다.

표 5-5. 농림어업, 식품분야 감축목표

단위: 천 CO₂톤

		2015		2020	
		감축량	비중	감축량	비중
농림 어업	비에너지	649.0	3.3	1,349	7.1
	에너지	64.8	0.6	167	1.6
	합계	713.8	2.3	1,516	5.2
식품	에너지	132.2	2.0	308	5.0

자료: 온실가스 정보센터 전망치(2011).

1.2.2. 농림수산식품분야의 감축목표

- 농림수산식품부의 「농림수산식품분야 기후변화 대응 기본계획안('11~'20)」에 따르면, 2020년까지 농업분야의 온실가스 감축 목표를 BAU 대비 35% 감축하고, 산림의 온실가스 흡수량을 전망치 대비 6% 향상을 제시하고 있

다. 또, 기후변화 적응능력 제고를 통한 수급불안 해소라는 정책목표를 제시하고 있다.

- 농림수산식품분야 온실가스 흡수 및 감축 능력 제고를 위한 분야별 주요 정책과제로서, 경종분야는 화학비료 절감, 신재생에너지 보급 확대, 기후변화 적응 품종 및 재배기술 개발 등을 추진하며, 축산분야는 조사료 재배면적 확대, 시설현대화, 밀식사육 완화 등을 추진하는 것으로 되어 있다. 수산분야는 바다숲·바다목장 조성 확대, 에너지 절감형 어선 및 어구 개발 등을 추진하고, 산림분야는 국내 신규조림·숲가꾸기, 해외조림, 대규모 산림재해 최소화 등을 추진하는 것으로 되어 있다.
- 농림수산식품부는 국민생활에 밀접한 농림수산식품산업이 기후변화에 선제적·능동적으로 대응하여 국가 온실가스 감축 목표 달성에 기여하고자 감축 목표량을 제시한 것으로 평가된다. 이러한 농림수산식품분야의 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 부문별 온실가스 감축잠재량을 분석하고 목표에 도달하기 위한 농식품부의 대응전략을 도출할 필요가 있다.

2. 농림수산식품부문의 온실가스 감축잠재량 추정

2.1. 감축기술 목록

- 국내 농업부문에서 온실가스 감축기술들을 살펴보면 <표 5-6>과 같다. 농업분야의 온실가스 감축기술은 크게 농업과 축산으로 분류할 수 있고, 농업은 다시 경종과 시설원예로, 축산은 장내발효개선과 분뇨처리로 분류할 수 있다. 온실가스 감축기술은 다시 에너지의 직접적인 감축을 통해 온실가스를 줄이는 기술의 경우 에너지기술로 그 밖의 기술을 비에너지기술로 분류할 수 있다.

- 농업부문의 경종분야에서 간단관개, 무경운+로타리, 가을경운 등 17개, 시설원예 분야에서 지열히트펌프, 다겹보온커튼장치 등 6개가 있다. 축산부문에서는 장내발효개선에서 양질조사료, 사료첨가제 등 2개, 분뇨처리에서 퇴액비화, 에너지화 등 2개가 있다.
 - 경종분야에서 감축량이 가장 큰 기술은 녹비작물 재배로 ha당 7.300톤을 줄일 수 있다. 다음으로 바이오디젤용 유채재배 5.000톤, 무경운+로타리 3.827톤, 간단관개 2.940톤, 암거배수 2.912톤을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 감축량이 가장 적은 기술은 유기질비료 사용으로 ha당 0.003톤을 줄이는 것으로 나타났다.
 - 축산분야에서는 바이오가스플랜트가 개소당 1,763톤으로 나타났고, 가축분뇨퇴액비화의 경우 한우 1두당 0.059톤, 사료첨가제 0.025톤, 양질조사료 0.009톤 등으로 나타났다.
- 시설원예 분야에서는 목재펠릿 보일러가 ha당 486.0톤으로 가장 많은 양을 감축시키는 것으로 나타났고, 보온터널개폐장치 109.0톤, 다겹보온커튼장치 92.5톤, 지열히트펌프 77.6톤 등으로 단위당 감축량이 높게 나타났다.
 - 이는 시설원예농업이 토지 집약적인 데다 냉·난방, 전조 등 에너지 집약적이기 때문이다. 목재펠릿 감축량 원단위가 높은 이유는 목재펠릿을 이용할 때 발생하는 이산화탄소는 발생량으로 산정하지 않는다는 IPCC 기준에 근거하고 있다.

표 5-6. 온실가스 감축기술 목록

분류1	분류2	분류3	감축기술	단위당 CO ₂ 감축량(톤)	참고 문헌
농업	경종	비에 너지	간단관개	2.939/ha	a,e
			무경운+로타리	3.827/ha	a
			가을경운	0.383/ha	a
			벗짚제거	2.885/ha	a,e
			압거배수	2.915/ha	a
			건담직파재배(평면)	1.278/ha	a
			토양개량제(규산 사용)	0.978/ha	a
			돈분툭밧퇴비	0.482/ha	a
			조생종파종	0.102/ha	a
			청보리재배	0.680/ha	c
			맞춤형비료사용	0.479/ha	j
			유기질비료사용	0.003/ha	c
			바이오디젤용 유채재배	5.000/ha	c
			녹비작물 재배 ¹⁾	7.300/ha	l
	에너지	에너지	부분경운건담직파기	0.144/ha	j
			부분경운이앙기	0.174/ha	j
			트랙터용에코드라이빙시스템	0.016/ha	j
	시설 원예	에너지	지열히트펌프	77.6/ha	f
			다접보온커튼장치	92.5/ha	h
			보온터널개폐장치	109.0/ha	j
순환식수막보온시스템			67.1/ha	h	
잎들개 LED적용			27.1/ha	b	
목재펠릿보일러 ²⁾			486.0/ha	h	
축산	장내발효 개선	비에	양질조사료(한우)	0.009/두	k
		너지	사료첨가제(한우)	0.025/두	k
	분뇨처리	비에	가축분뇨퇴액비화(한우)	0.059/두	k
		너지	가축분뇨에너지화	1,763/개소	k

주 1) 녹비작물의 경우 헤아리베치 기준이며, 흡수량을 나타냄.

2) 목재펠릿의 감축량 원단위가 높은 이유는 목재펠릿을 이용할 때 발생하는 이산화탄소는 발생량으로 산정하지 않는다는 IPCC 기준에 근거함.

자료 a: 국립농업과학원(2009). b: 농촌진흥청(2009).

c: 농림수산물식품부(2009). d: 고지한외 8명(2002).

e: 신용광외 3명(1995). f: 김창길외 7명(2010)

g: 김창길외 7명(2011). h: 김연중외 2명(2009)

j: 농업기술실용화재단(2011). k: 국립축산과학원 추정치(2011).

l: 농촌진흥청(2010).

2.2. 농림어업(비에너지) 분야

- 농업, 축산, 수자원 등의 비에너지부문은 간단관개, 무경운, 장내발효(양질조 사료), 장내발효(사료첨가제), 가축분뇨 처리기술, 가축분뇨 에너지화 등의 기술을 적용하여 감축잠재량을 도출하였다. 다음에는 감축잠재량 산출을 위한 주요 전제 및 시나리오, 온실가스 감축량 산정식을 제시하였다.

2.2.1. 농업

가. 간단관개

- 담수된 논에서 발생하는 메탄은 혐기 상태에서 유기물이 분해될 때 생성되기 때문에 메탄 배출량은 벼 재배 기간 중 물 관리와 밀접한 관련이 있다. 관개된 논은 물 떼기는 논토양에 산소를 공급하여 메탄의 배출을 감소시키면서, 밭에서는 작물의 적정 관개 시점에 따라 물 관리를 하면 아산화질소 배출이 감소된다. 논 물관리는 상시담수와 간단관개가 있다.
- 간단관개의 온실가스 감축량 산정을 위한 주요전제를 살펴보면, 벧짚 시용 논면적 비중의 경우 농진청 전문가 자문을 받아 20%로 하였다. 간단관개 전환면적 비율은 시나리오를 설정하였으며, 시나리오 1은 2020년에 16% 증가, 시나리오 2와 3은 20% 증가로 하였다. 이와 같은 간단관개 전환면적 비율에 관한 시나리오는 관련전문가 회의를 통해 설정하였으며, 농민교육, 배수개선 사업 등 정책사업 추진을 통해 가능할 것으로 예상된다.

표 5-7. 벧논 간단관개 면적 비율

	2007	2010	2015	2020
시나리오1	50	50	58	66
시나리오2	50	50	58	70
시나리오3	50	50	58	70

주: 산정근거 및 자료: 농진청 관련전문가 회의 결과치(2011).

- 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-1>과 같다. 간단관계에 의한 온실가스 감축량은 배출량 원단위에 벼논경지면적(ha)과 간단관계비율을 곱하여 산출된다. 배출량 원단위는 벼 재배일수에 1일 평균 벼 재배 메탄 배출계수, 유기물시용계수, 메탄의 이산화탄소 배출 전환율을 곱하여 산출된다. 이때 벼 재배일수는 농촌진흥청 전문가에 따라 138일로 산정하였으며, 1일 평균 벼 재배 메탄 배출계수는 농촌진흥청 전문가에 따라 상시담수의 경우 2.37, 간단관계의 경우 2.37×0.6으로 설정하였다. 유기물 시용계수는 IPCC 2000 모범관행에 따라 2로 산정하였다.

RA=배출량 원단위×벼논경지면적(ha)×간단관계비율(기본전제-간단관계증가)
 (식 5-1)

- 배출량 원단위: 벼 재배일수(day)×1일 평균 벼 재배 메탄 배출계수
 ×유기물시용계수×메탄의 이산화탄소 배출 전환율
 - 벼 재배일수는 138일로 산정(농촌진흥청)
 - 1일 평균 벼 재배 메탄 배출계수는 상시담수의 경우 2.37, 간단관계의 경우 2.37×0.6(농촌진흥청)
 - 유기물 시용계수는 2로 산정(IPCC 2000 모범관행)

나. 무경운

- 토양은 육상 생태계에 있어서 매우 중요한 탄소 저장고이다. 토양 내 탄소 축적이란, 전 지구적 탄소순환에 있어서 대기 중 이산화탄소가 광합성을 통하여 육상 생태계에 유입된 뒤 토양 내에 장기간 안정적으로 머무를 수 있는 형태로 전환되는 것을 말한다. 농업부문의 토양탄소 축적기술로 무경운이 있다.
- 무경운 재배는 일련의 포장작업 중에서 경운, 정지과정을 생략하는 재배법이다. 무경운의 온실가스 감축량 산정을 위한 시나리오를 유기농 재배농가의 무경운 농법(+로터리) 실천면적 비율에 대해 설정하였다. 시나리오 1은

2020년에 20%, 시나리오 2는 30%, 시나리오 3은 50%로 설정하였다. 이러한 시나리오는 전문가 자문에 따라 설정되었으며, 무경운 농법을 실천하는 농가에게 인센티브를 제공함으로써 목표를 달성 가능한 것으로 예상된다.

- 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-2>와 같다. 무경운 재배에 의한 온실가스 감축량은 유기짚 재배면적(ha)에 무경운 실천비중, 단위당 감축량(톤/ha)을 곱하여 산출된다. 여기에서 유기짚 재배면적은 유기농업 짚 단수 조사치(김창길 외, 2009)와 품관원 유기짚 생산량 조사치를 적용하였다.

$$RA = \text{유기짚 재배면적(ha)} \times \text{무경운 실천비중} \times \text{단위당 감축량(톤/ha)} \cdot (\text{식 5-2})$$

2.2.2. 축산

가. 축산 장내발효개선(양질조사료)

- 반추가축(한우, 젖소, 산양 등)은 정상적인 소화 작용인 장내발효 과정의 부산물로 메탄이 발생되어 가축의 입을 통해 외부로 방출된다. 메탄생성에 영향을 주는 요인으로는 사료의 물리화학적 특성, 사료 급여수준, 반추위내 미생물 생태계, 사료첨가제, 가축의 건강 상태 등 유전적 요인 등을 들 수 있다. 장내발효에 의한 메탄 배출 저감기술은 양질조사료 급여, 사료내 첨가제 적용, 가축생산성 향상 등 직간접적 방법으로 온실가스를 저감할 수 있는 잠재력이 있다.
- 양질조사료 공급 공급확대로 온실가스 감축효과 및 증체효과가 발생한다. 축산 장내발효개선의 온실가스 감축량 산정을 위한 주요 전제를 살펴보면, 청보리 급여시 증체효과를 8%로 산정하였다. 청보리 생산량에 대한 시나리오는 2020년 기준으로 시나리오 1은 477천 톤, 시나리오 2는 509천 톤, 시나리오 3은 540천 톤으로 설정하였다<표 5-8>.

표 5-8. 청보리 생산전망치

	단위: 톤			
	2009	2010	2015	2020
시나리오1	39,750	79,500	278,250	477,000
시나리오2	42,375	84,750	296,625	508,500
시나리오3	45,000	90,000	315,000	540,000

자료: 농식품부 정책담당자 및 농진청 관련전문가 회의 결과치.

- 축산 장내발효개선(양질조사료)의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-3>과 같다. 온실가스 감축량은 축종별 사육두수 증가효과에 축종별 장내발효과정 메탄 배출계수와 메탄의 이산화탄소 배출 전환율을 곱하여 산출한다.

$$RA = \sum \text{축종별 사육두수 증가효과(두수)} \times \text{축종별 장내발효과정 메탄 배출계수} \times \text{메탄의 이산화탄소 배출 전환율} \dots\dots\dots (\text{식 5-3})$$

나. 축산 장내발효개선(사료첨가제)

- 장내발효에 의한 메탄 배출 저감기술은 위에서 언급했듯이 양질조사료 급여 이외에도 사료내 첨가제 적용이 있다. 장내발효 메탄 발생량 저감량 산정을 위한 주요전제를 살펴보면, 전 사육두수에 사료첨가제를 급여함으로써 온실가스 감축효과를 발생시키게 된다. 메탄 발생량 저감 목표에 대한 시나리오의 경우 시나리오 1은 2.5%, 시나리오 2는 5%, 시나리오 3은 7.5%로 설정하였다.

- 축산 장내발효개선(사료첨가제)의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-4>와 같다. 온실가스 감축량은 축종별 온실가스 배출량에 감축목표 비율과 메탄의 이산화탄소 배출 전환율을 곱하여 산출한다.

$$RA = \sum \text{축종별 온실가스 배출량} \times \text{감축목표비율} \times \text{메탄의 이산화탄소 배출 전환율} \dots\dots\dots (\text{식 5-4})$$

다. 가축분뇨 퇴액비화(가축분뇨처리기술)

- 육류 소비량 증가에 따라 가축 사육 형태가 규모화되고 있으며, 이로 인해 연간 가축분뇨 발생량이 꾸준히 증가하고 있다. 2010년 기준 4천 700여 만 톤의 가축분뇨가 발생하였고, 이 가운데 86.6%가 퇴비와 액비로 자원화되고 있다. 이러한 자원화 시설들이 노후화 되어 이를 개선함으로써 온실가스를 감축시킬 필요가 있다.
- 가축분뇨 처리시설 향상에 대한 시나리오의 경우 농진청 전문가 자문을 따라 한우, 젓소, 닭의 축종에 대해 시나리오 1은 ‘2011년까지 연평균 0.2% 저감’을, 시나리오 2와 3은 ‘2011년까지 연평균 0.4% 저감’을 설정하였다. 그리고 시나리오 1~3 모두 ‘2012~2020년까지 처리시설 효율 향상의 한계로 연평균 0.15% 저감 예상’을 설정하였다. 돼지에 대해 시나리오 1은 처리시설 효율향상에 따라 ‘2011년까지 연평균 0.2% 저감 예상’을, 시나리오 2와 3은 ‘2011년까지 연평균 0.7% 저감 예상’을 설정하였다. 그리고 ‘해양배출 금지량의 자원화를 통한 저감’과 ‘처리시설 효율 향상의 한계’에 대해 시나리오 1~3에서 동일하게 설정하였다<표 5-9>.

표 5-9. 퇴액비와 시설개선 시나리오

구분		시나리오 내용
시나리오1	한우, 젓소, 닭	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2011년까지 연평균 0.2% 저감 예상 ▪ 2012~2020년까지 처리시설 효율 향상의 한계로 연평균 0.15% 저감 예상
	돼지	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 처리시설 효율향상에 따라 2011년까지 연평균 0.2% 저감 예상 ▪ 2012년부터 해양배출 금지량의 자원화를 통해 0.42% 저감 가능 ▪ 2012~2020년까지 처리시설 효율 향상의 한계로 연평균 0.15% 저감 예상
시나리오2 & 시나리오3	한우, 젓소, 닭	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2011년까지 연평균 0.4% 저감 예상 ▪ 2012~2020년까지 처리시설 효율 향상의 한계로 연평균 0.15% 저감 예상
	돼지	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 처리시설 효율향상에 따라 2011년까지 연평균 0.7% 저감 예상 ▪ 2012년부터 해양배출 금지량의 자원화를 통해 0.42% 저감 가능 ▪ 2012~2020년까지 처리시설 효율 향상의 한계로 연평균 0.15% 저감 예상

주: 산정근거 및 자료는 농진청 관련전문가 회의 결과치(2011).

- 가축분뇨 퇴액비화(가축분뇨처리기술)의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-5>와 같다. 온실가스 감축량은 축종별 가축사육두수에 축종별 해당 연도의 감축비율을 곱하여 산출한다.

$$RA = \sum \text{축종별 가축사육두수} \times \text{축종별 해당연도의 감축비율} \dots\dots\dots (\text{식 5-5})$$

라. 가축분뇨 에너지화

- 가축분뇨 처리와 관련하여 위에서 언급했듯이 자원화 되지 않은 13.4%는 아직까지 정화와 해양배출에 의해 처리되고 있다. 런던협약에 의해 2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 전면 금지되면서 가축분뇨에 의한 축산 환경 규제, 친환경에너지 확보 및 온실가스 저감을 위해 바이오가스 생산시설에 대한 사회적 요구가 높아지고 있다.
- 바이오가스 생산시설 설치 계획에 대한 시나리오의 경우 농식품부 정책담당자와의 회의 결과에 따라 시나리오 1은 2020년 기준 농식품부 중규모 50기, 환경부 중규모 50기, 소규모 100기 보급을 설정하였다. 시나리오 2와 3은 2020년 기준 농식품부 중규모 100기, 환경부 중규모 250기, 소규모 500기 보급을 설정하였다<표 5-10>.

표 5-10. 바이오가스 생산시설 설치 계획 시나리오

단위: 톤

			2010	2015	2020
시나리오1	농식품부	중규모	-	14	50
		환경부	1	19	50
		소규모	1	38	100
시나리오2 시나리오3	농식품부	중규모	-	28	100
		환경부	2	99	250
		소규모	2	198	500

근거 및 자료: 농식품부 정책담당자 및 농진청 관련전문가 회의 결과치.

- 가축분뇨 에너지화의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-6>과 같다. 온실가스 감축량은 바이오가스 생산시설의 온실가스 저감량(톤/두수)에 시설당 돼지사육두수 환산 값과 시설개소를 곱하여 산출한다. 여기에서 바이오가스 생산시설의 온실가스 저감량 계수로 IPCC 96의 서유럽 기준으로 0.0782775(tCO₂/두/년)를 적용한다. 시설당 돼지 사육두수 환산 값은 농촌진흥청 전문가를 따라 19,608(마리)을 적용한다.

RA=바이오가스 생산시설의 온실가스 저감량(톤/두수)×시설당 돼지사육두수 환산 값×시설개소 (식 5-6)

- 바이오가스 생산시설의 온실가스 저감량 계수로 0.0782775(CO₂톤/두/년) 적용(서유럽기준, IPCC 96)
- 시설당 돼지 사육두수 환산 값은 19,608(마리) 적용(농촌진흥청)

2.2.3. 수자원

가. 온실빗물 재활용 기술

- 농업용 빗물이용 기술은 빗물을 모아 농업용수로 이용할 수 있도록 처리하는 기술을 말하며, 빗물을 모아 이용할 수 있도록 한 시설을 빗물이용 시설이라고 한다. 온실 내 물 소요량은 작물 필요수량, 온실 내 세척수, 농약 방제에 소요되는 물량, 인부 생활용수 등이 있다. 이러한 물이용에 따른 물 사용량은 온실면적 1ha 기준 연간 11,863m³이며, 온실가스 배출량은 3,938.5kgCO₂가 된다(농업기술실용화재단, 2011).
- 온실 빗물 재활용 기술의 온실가스 감축량 산정을 위해 온실빗물 재활용 설치면적 비중에 대해 시나리오를 설정하였다. 시나리오1의 경우 연동형 온실면적 중 온실빗물 재활용 시설 설치 비중을 2015년 1%, 2020년 5%로, 시나

리오 2의 경우 2015년 2%, 2020년 10%로, 시나리오 3의 경우 2015년 3%, 2020년 15%로 설정하였다. 온실가스 재활용 기술은 연동형 온실재배를 하고 있는 농가를 대상으로 초기 투자비 지원을 통해 보급한다.

- 온실가스 재활용 기술의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-7>과 같다. 온실가스 감축량은 연동형 온실면적(ha)에 온실가스 재활용 시설 설치비중과 단위당 감축량(톤/ha)을 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{연동형 온실면적(ha)} \times \text{온실가스 재활용 시설 설치비중} \times \text{단위당 감축량 (톤/ha)} \dots\dots\dots \text{(식 5-7)}$$

2.3. 농림어업(에너지) 분야

- 농업, 축산 등의 에너지분야는 지열히트펌프, 목재펠릿보일러, 에너지절감시설, 농업용 LED 보급, 어선 LED 보급 기술 등을 적용하여 감축잠재량을 산출하였다. 다음에는 감축잠재량 산출을 위한 주요 전제와 시나리오, 산정식 등을 설명한다.

2.3.1. 지열히트펌프

- 지열히트펌프는 지하에 열교환기를 매설하여 지중의 물 또는 토양으로부터 히트펌프의 냉매 순환과정에 열을 흡수하거나 열을 방출하는 시스템이다. 지열히트펌프를 시설원예에 적용하면 난방비를 절감하고 온실가스를 줄이는 효과가 발생한다.
- 시설하우스 지열히트펌프 보급을 통한 온실가스 감축량 산정에서 기존 기름 난방 시스템 대비 에너지 절감효과는 경우 70% 절감으로 설정하였다. 농식

품부 정책담당자 의견을 반영하여 시설원에 보급면적은 2015년 384ha, 2020년 634ha로 설정하였다.

- 지열히트펌프 기술 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-8>과 같다. 온실가스 감축량은 보급면적(ha)에 에너지 사용량(기존기술-신기술), 에너지별 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급면적(ha)} \times \text{에너지 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{에너지별 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-8})$$

2.3.2. 목재 펠릿보일러

- 목재펠릿은 청정에너지 자원으로 인식되고 있으며 국내에서 가능한 자원을 활용하여 에너지를 생산할 수 있는 중요한 재생에너지원으로 기대되고 있다. IPCC에서 바이오매스는 연소 시에 발생하는 배기가스에서 온실가스 배출이 없는 것으로 규정하고 있어 온실가스 배출 저감과 직접적인 연관이 있다.
- 시설하우스 목재 펠릿 보일러 보급을 통한 온실가스 감축량 산정에서 농식품부 정책담당자 의견을 반영하여 시설원에 보급면적은 2015년 870ha, 2020년 1,620ha로 설정하였다. 단, 2020년 시설원에 면적은 23,000ha로 추정된다.
- 목재 펠릿 보일러 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-9>와 같다. 온실가스 감축량은 보급면적(ha)에 에너지 사용량(기존기술-신기술)과 에너지별 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급면적(ha)} \times \text{에너지 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{에너지별 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-9})$$

2.3.3. 다겹보온커튼

- 다겹보온커튼은 부직포, 폴리에틸렌폼 등의 보온자재를 여러 겹으로 누벼서 만든 온실 보온용 커튼이다. 수평형 다겹보온커튼은 부직포커튼에 비해 난방연료 절감효과가 크고, 단동온실 다겹보온커튼장치는 PE필름 3중 피복 대비 난방연료 절감효과가 커서 연료 연소 시 발생하는 이산화탄소의 발생량을 연료절감 비율만큼 절감할 수 있다.
- 시설하우스 다겹보온커튼 보급을 통한 온실가스 감축량 산정에서 기존 시스템 대비 에너지(경유) 절감효과는 29.6%로 설정하였다. 농식품부 정책담당자의 의견을 반영하여 시설원에 보급면적은 2015년 2,980ha, 2020년 5,480ha로 설정하였다.
- 시설하우스 다겹보온커튼 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-10>과 같다. 온실가스 감축량은 보급면적(ha)에 에너지 사용량(기존기술-신기술)과 경유의 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급면적(ha)} \times \text{에너지 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{경유의 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-10})$$

2.3.4. 보온터널 개폐장치

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

요되는 노동력을 절감하고 난방에너지도 절감한다.

- 보온터널 개폐장치 보급을 통한 온실가스 감축량 산정에서 에너지(경유) 절감 효과의 경우 농식품부 정책담당자의 의견을 반영하여 47% 절감으로 설정하였다. 2009년 시설원예 가온면적은 13,300ha이며, 2020년 보온터널 개폐장치의 보급목표는 2009년 가온면적 대비 실용화 재단의 보급목표인 15%보다 보수적인 5%로 설정하였다. 따라서 보급목표는 2015년 200ha, 2020년 600ha이다.
- 보온터널 개폐장치 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-11>과 같다. 온실가스 감축량은 보급면적(ha)에 에너지 사용량(기존기술-신기술)과 경유의 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급면적(ha)} \times \text{에너지 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{경유의 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-11})$$

2.3.5. 농업용 LED 보급

- LED(Light Emitting Diode)는 반도체 발광소자이며, 광 효율이 높고 반영구적인 차세대 광원이다. 잎들깨, 국화의 재배에서 LED 적색광을 활용하면 백색광보다 광합성 작용을 촉진하여 생산량과 품질을 향상시킬 수 있다. 잎들깨, 딸기 등 시설 전조재배에서 기존의 백열등을 대체하여 LED 기술을 적용하면 에너지 절감 및 온실가스 절감효과가 발생한다.
- 에너지 절감효과는 농진청 전문가 의견을 반영하여 10a당 전력 5,600kWh로 설정하였다. LED 기술은 2010년에 약 9ha가 보급되었으며, 농식품부의 2010~2012년 매년 25개소(약 9ha) 보급목표를 반영하여 2020년까지 9ha씩 증가하는 것으로 가정하였다. 따라서 누적보급목표는 2015년 54ha, 2020년 99ha이다.

- 농업용 LED 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-12>와 같다. 온실가스 감축량은 보급면적(ha)에 에너지 사용량(기존기술-신기술)과 전력의 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급면적(ha)} \times \text{에너지 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{전력의 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-12})$$

2.3.6. 순환식 수막보온시스템

- 수막재배는 자연에너지인 지하수를 비닐하우스 피복재에 살수하고 보온 및 단열효과를 높여 무가온으로 작물을 재배하는 기술이며, 주요 재배작물은 딸기, 상추, 감자 등 저온성 작물이다. 순환식 수막시스템은 수막으로 사용한 물을 흘려버리지 않고 회수하여 가열장치(보일러)를 이용해 일정 수온으로 가열한 다음 다시 사용하는 수막시스템을 말한다. 순환식 수막시스템 도입 시 비순환식 대비 2,000m³의 온실에서 연간 17,788톤의 지하수를 절약할 수 있다. 지하수의 가치를 303원(/톤)으로 환산하면 ha당 연간 26.5백만 원의 비용을 국가적으로 절감할 수 있다. 또한 지하수와 난방연료 절감으로 이산화탄소 배출량을 절감할 수 있다.
- 순환식 수막보온시스템 보급을 통한 온실가스 감축량 산정에서 에너지 절감 효과의 경우 전력은 10a당 1,744kWh 증가하지만, 경유는 2,720리터 감소하는 것으로 설정하였다(김연중외, 2009). 수막재배면적은 2006년 기준 10,746ha이고, 2010년까지 순환식 수막시스템 보급면적은 154ha이며, 2010년만 약 50ha가 보급되었다. 2020년 보급목표를 농업기술실용화재단 보급 목표치 50%보다 보수적인 18%로 가정하였다. 따라서 보급목표는 2015년 600ha, 2020년 1,920ha이다.
- 순환식 수막보온시스템 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-13>

과 같다. 온실가스 감축량은 보급면적(ha)에 에너지 사용량(기존기술-신기술)과 에너지별 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급면적(ha)} \times \text{에너지 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{에너지별 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-13})$$

2.3.7. 어선 LED 보급

- LED 집어등 기술은 LED조명 응용기술과 수산 기술이 접목된 미래기술로 부각되고 있다. 공랭식 LED 집어등 광원은 시각적으로 백색이나 청색 파장이 혼합되어 있고, 램프 내부에 반사장치가 있으며 방수, 방염 설계가 특징이다. 수냉식 LED 집어등의 광원은 시각적으로 백색이나 청색 파장이 혼합되어 있으며, 해수를 사용하여 램프의 열을 냉각시키는 것이 특징이다.
- 어선 LED 보급을 통한 온실가스 감축량 산정에서 에너지 절감효과의 경우 기존 시스템 대비 경우 43.2% 절감으로 설정하였다. 전체 어선수는 2007년 기준 85,627척이며 이 가운데 집어등 사용어선은 1,712척인데, LED 보급비율은 농식품부 정책담당자의 의견을 반영하여 2015년 17.3%, 2020년 26.1%로 설정하였다.
- 어선 LED 보급의 온실가스 감축량 산정식은 아래 <식 5-14>와 같다. 온실가스 감축량은 보급척수(척)에 경우 사용량(기존기술-신기술)과 경우의 이산화탄소 환산계수를 곱하여 산출한다.

$$RA = \text{보급척수(척)} \times \text{경유 사용량(기존기술-신기술)} \times \text{경유의 이산화탄소 환산계수} \dots\dots\dots (\text{식 5-14})$$

2.4. 농림수산식품 분야 감축잠재량

2.4.1. 농림어업분야 감축잠재량 추정결과

- 농림어업분야 감축잠재량 추정결과 2020년 기준 2,611~3,626천 톤으로 나타났다으며, 이는 전체 BAU 대비 9.0~12.5% 수준으로 산정되었다. 농림어업분야 부문별 감축잠재량 추정결과 2020년 기준 농업 1,967~3,626천 톤, 축산 617~1,071천 톤, 수산 26~34천 톤, 수자원 0.6~1.7천 톤 등으로 나타났다.

표 5-11. 농림어업분야 감축잠재량 추정

단위: 천CO₂톤

			2015	2020
비에너지	농업	시나리오1	218	452
		시나리오2	142	549
		시나리오3	142	549
	축산	시나리오1	314	617
		시나리오2	563	988
		시나리오3	654	1,071
	수자원	시나리오1	0.1	0.6
		시나리오2	0.2	1.1
		시나리오3	0.3	1.7
에너지	시나리오1	794	1,541	
	시나리오2	873	1,696	
	시나리오3	1,032	2,004	
전체	시나리오1	1,325 (4.3)	2,611 (9.0)	
	시나리오2	1,578 (5.2)	3,233 (11.1)	
	시나리오3	1,829 (6.0)	3,626 (12.5)	

주: 에너지 분야 시나리오는 기본전제를 시나리오 1로, 기본전제 보급면적보다 10% 증가를 시나리오 2로, 30% 증가를 시나리오 3으로 각각 설정하였음.

자료: 한국농촌경제연구원 추정치(2011).

표 5-12. 농림어업분야 부문별 감축잠재량 추정

단위: 천CO₂톤

			2015	2020
농업	비에너지	시나리오1	218	452
		시나리오2	142	549
		시나리오3	142	549
	에너지	시나리오1	776	1,515
		시나리오2	854	1,667
		시나리오3	1,009	1,970
	소계	시나리오1	994	1,967
		시나리오2	996	2,216
		시나리오3	1,152	2,519
축산	비에너지	시나리오1	314	617
		시나리오2	563	988
		시나리오3	654	1,071
수산	에너지	시나리오1	17	26
		시나리오2	19	29
		시나리오3	23	34
수자원	비에너지	시나리오1	0.1	0.6
		시나리오2	0.2	1.1
		시나리오3	0.3	1.7
전 체	시나리오1	1,325 (4.3)	2,611 (9.0)	
	시나리오2	1,578 (5.2)	3,233 (11.1)	
	시나리오3	1,829 (6.0)	3,626 (12.5)	

주: 에너지 분야 시나리오는 기본전제를 시나리오 1로, 기본전제 보급면적보다 10% 증가를 시나리오 2로, 30% 증가를 시나리오 3으로 각각 설정하였음.

자료: 한국농촌경제연구원 추정치(2011).

2.4.2. 식품부문의 감축잠재량 추정결과

- 식품분야 감축잠재량 추정결과 2020년 기준 308천 톤으로 나타났으며, 이는 전체 BAU 대비 5.0% 수준으로 산정되었다.

표 5-13. 식품분야 감축잠재량 추정

단위: 천CO₂톤

구분	2015	2020
공통기기 효율향상	132 (2.0)	308 (5.0)

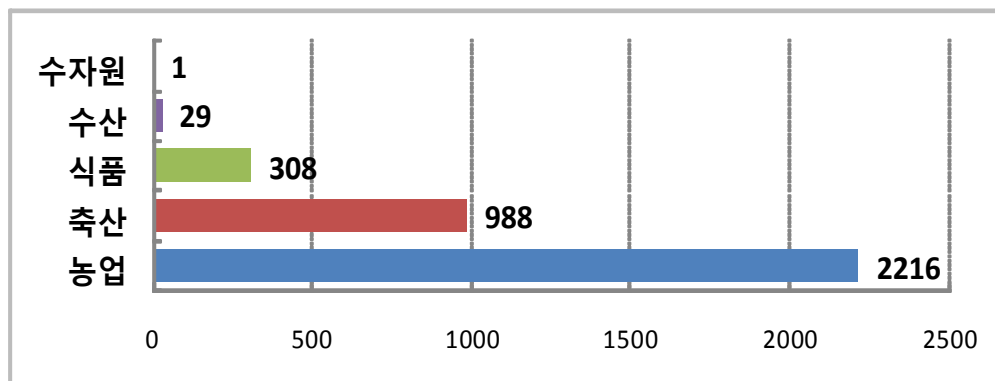
자료: 온실가스 정보센터 추정치(2011).

2.4.3. 농림수산식품 분야 감축잠재량 종합

- 농식품분야 부문별 감축잠재량 추정결과 시나리오 2 기준으로 농업 2,216천 톤, 축산 988천 톤, 식품 308천 톤, 수산 29천 톤, 수자원 1천 톤 등으로 나타났다<그림 5-1>.

그림 5-1. 농림어업분야 부문별 감축잠재량 추정(시나리오 2 기준)

단위: 천톤



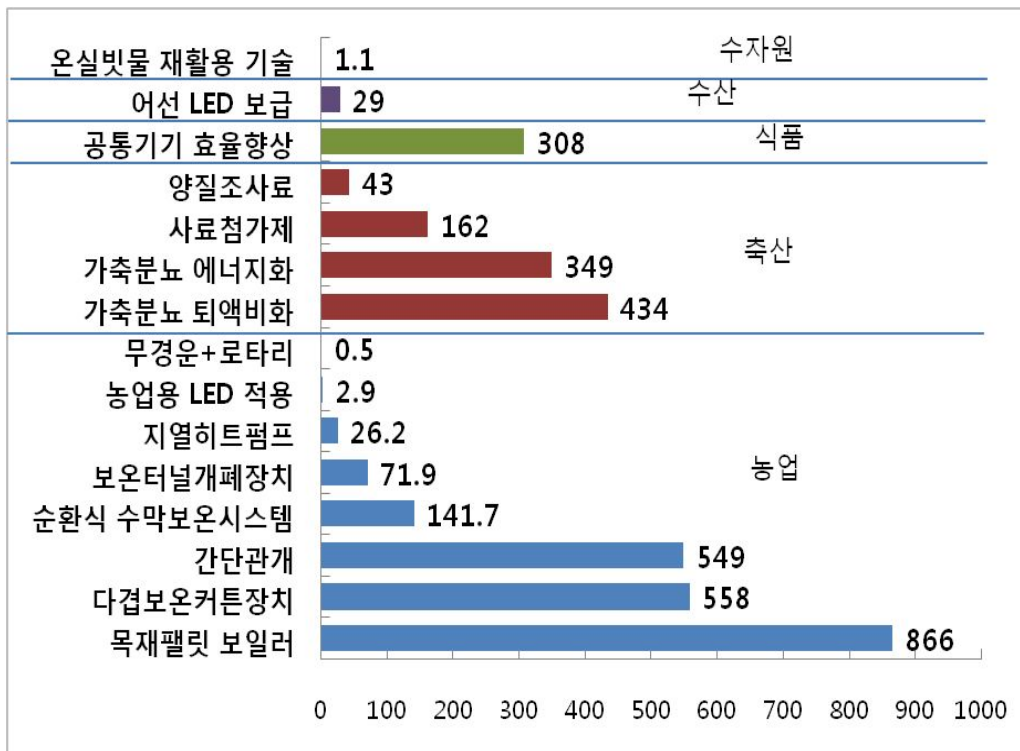
- 농식품분야 기술별 감축잠재량 추정결과, 시나리오 2 기준으로 농업부문에서는 목재펠릿 보일러 866천 톤, 다겹보온커튼장치 558천 톤, 간단관개 549천 톤, 순환식 수막보온시스템 142천 톤, 보온터널 개폐장치 72천 톤, 지열 히트펌프 26천 톤, 농업용 LED 적용 2.9천 톤, 무경운+로타리 0.5천 톤 등의 순으로 나타났다<그림 5-2>. 목재펠릿의 경우 목재펠릿을 이용할 때 발

생하는 이산화탄소는 발생량으로 산정하지 않는다는 IPCC 기준에 근거하여 높게 산정되었다.

- 축산부문에서는 가축분뇨 퇴액비화 434천 톤, 가축분뇨 에너지화 349천 톤, 사료첨가제 162천 톤, 양질조사료 공급 43천 톤 등의 순으로 나타났다.
- 식품부문의 경우 공통기기 효율향상 308천 톤, 수산부문의 경우 어선 LED 공급 29천 톤, 수자원의 경우 온실빛물 재활용 기술 1.1천 톤 등으로 각각 나타났다.

그림 5-2. 농림어업분야 기술별 감축잠재량 추정(시나리오 2 기준)

단위: 천톤



3. 한계감축비용분석

3.1. 한계감축비용분석의 개요

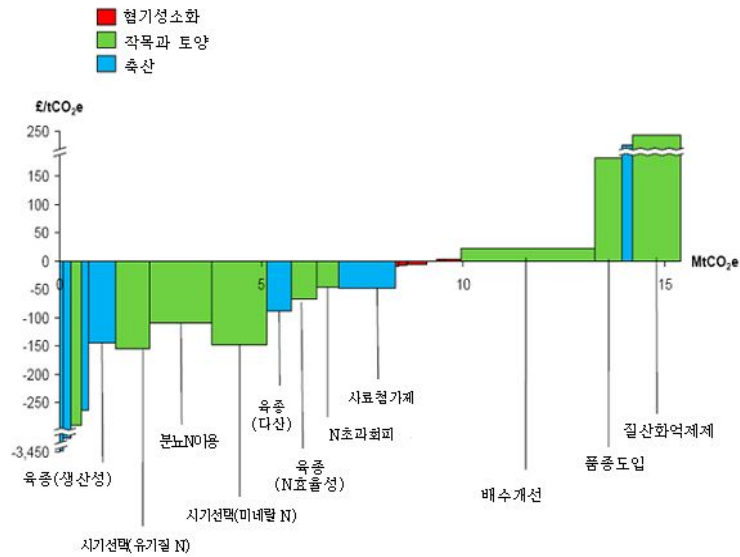
- 한계감축비용(Marginal Abatement Cost, MAC)은 온실가스 한 단위 감축에 추가적으로 들어가는 비용으로 정의할 수 있으며 이는 배출권 거래시장에서 배출권의 가격으로도 활용된다. 예를 들어, 이산화탄소 1톤을 감축하는데 필요한 추가 저감비용(한계비용)은 설비투자비용과 연간유지관리비용에서 선택된 대책기술에 의한 탄소 톤당 에너지비용 경감분을 공제하여 산정할 수 있다.

$$A = C - EP \dots\dots\dots (\text{식 5-15})$$

- 여기서, A : CO₂ 1톤을 감축하는데 필요한 추가 감축비용
 C : CO₂ 1톤 감축에 추가적으로 필요한 설비투자비용과 연간유지 관리비용
 EP : 대책 기술 채택에 의한 탄소 톤당 에너지 비용 경감분

- 한계감축비용은 단위 온실가스 감축에 투입되는 비용 즉, 추가비용이 얼마인가를 나타내는 절대적인 판단기준이 된다. 감축비용이 마이너스 값을 갖게 되면 에너지절약에 의한 비용 감소분이 대책 채택에 따른 초기투자비나 운영비 등을 충분히 보상해 주는 ‘NO regret’ 대책으로 분류된다. MACC 분석은 부문별 배출 목표를 맞추기 위한 비용 효과적 대책을 확인하며, 효율적인 배출량 수준을 결정하는데 도움을 준다.
- 한계감축비용 곡선 도출을 통해 비용효과적인 감축대책의 우선순위를 정하는데 활용할 수 있고, 정책결정에 기초자료를 제공할 수 있다. 더 나아가 타 분야의 한계감축비용이 있다면 타 분야와의 비교를 통해 농업분야가 상대적으로 비용 효과적이지를 비교할 수 있다<그림 5-3>.

그림 5-3. 대안별 한계감축비용 비교: 농업부문 사례



자료: McKinsey & Company(2009).

3.2. 국내 온실가스 감축기술의 한계감축비용 도출

- 한계감축비용은 각 감축기술별로 이산화탄소 1톤을 감축하는 데 추가적으로 필요한 설비투자비용과 연간유지관리비용에서 감축기술 채택에 의한 탄소 톤당 에너지 비용 경감분을 빼줌으로써 도출할 수 있다.
- 온실가스 감축기술 목록 가운데 경제성 분석이 시도되었던 지열히트펌프, 바이오가스플랜트, 잎들개 LED, 다겹보온커튼, 수막보온시스템, 목재팻릿, 녹비작물 등에 대해서 한계감축비용을 도출하였다<표 5-14>.
- 지열히트펌프 기술의 경우 KREI 경제성 분석 결과(2011)를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 비용을 계산하면 고정비와 경영비를 합하여 10a당 101만 원이고, 추가 수익은 생산액 증가분과 에너지비용 감축분을 합하여 136만원이

된다. 따라서 한계감축비용은 -35만원으로 나타났으며, 이는 CO₂ 1톤을 감축하기 위해 지열히트펌프를 설치하면 10a당 35만원의 수익이 발생함을 의미한다.

- 바이오가스플랜트 기술의 적용의 경우 이지 바이오가스플랜트 경제성 분석결과(2008)를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 비용을 계산하면 고정비와 경영비를 합하여 1개소 당 67만원이고, 추가 수익은 전력판매액, 액비살포지원금 등을 합하여 88만원으로 나타났다. 따라서 한계감축비용은 -21만원(21만원의 수익)으로 나타났다.
- 잎들깨 LED 기술 적용의 경우 농촌진흥청 경제성 분석결과(2010)를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 고정비용을 계산하면 10a당 42만원이고, 추가 수익은 증가된 생산액, 에너지사용액 감축분 등을 합하여 71만원이 된다. 따라서 한계감축비용은 -29만원(29만원의 수익)으로 나타났다.
- 다겹보온커튼 기술의 경우 농촌진흥청 경제성 분석결과에 대한 내부자료를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 고정비용을 계산하면 10a당 12만원이고, 감축 비용은 46만원이 된다. 따라서 한계감축비용은 -34만원(34만원의 수익)으로 나타났다.
- 수막보온시스템 기술의 경우 농촌진흥청 경제성 분석결과에 대한 내부 자료를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 고정비용을 계산하면 10a당 18만원이고, 감축 비용은 32만원이 된다. 따라서 한계감축비용은 -14만원(14만원의 수익)으로 나타났다.
- 목재펠릿 보일러 적용 기술의 경우 농촌진흥청 경제성 분석결과에 대한 내부 자료를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 고정비용을 계산하면 10a당 5만원이고, 감축 비용은 6만원이 된다. 따라서 한계감축비용은 -1만원(1만원의 수익)으로 나타났다.

- 녹비작물 재배기술은 헤어리베치, 청보리, 호밀 등을 재배하여 화학비료를 대체하는 기술로 농촌진흥청 경제성 분석결과(농촌진흥청, 2010)를 바탕으로 CO₂ 1톤을 감축하기 위한 추가 경영비용을 계산하면 10a당 -2만원이고, 추가수익은 21만원이 된다. 따라서 한계감축비용은 -23만원(23만원의 수익)으로 나타났다.

표 5-14. 녹색기술의 한계감축비용 도출

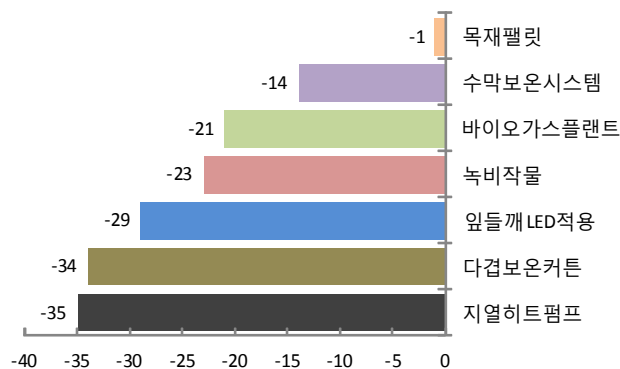
단위: 톤, 만원, 10a/개소

	한계 감축비용	추가 고정비용	추가 경영비용	추가 수익	비용 감축
지열히트펌프	-35	77	24	29	107
바이오가스플랜트	-21	32	35	88	-
앞들깨LED적용	-29	42	-	63	8
다겹보온커튼	-34	12	-	-	46
수막보온시스템	-14	18	-	-	32
목재펠릿	-1	5	-	-	6
녹비작물	-23	-	-2	21	-

주 1) 지열히트펌프는 KREI 추정치를, 바이오가스플랜트는 이지바이오 추정치를, 나머지 기술은 농촌진흥청 추정치를 기초로 각각 도출함.
2) 바이오가스플랜트의 단위는 개소 기준이며, 나머지 기술은 10a당 기준임.

- 한계감축비용을 추정한 결과 지열히트펌프가 가장 비용효과적인 기술로 나타났다고, 다음에는 다겹보온커튼, 앞들깨 LED 적용, 녹비작물재배, 바이오가스플랜트, 수막보온시스템 등의 순으로 나타났다<그림 5-4>.

그림 5-4. 농업부문 녹색기술의 한계감축비용 비교

단위: 만원/CO₂ 톤

제 6 장

국제기구 및 주요국의 기후변화 대응 사례

1. 국제기구의 농업부문 기후변화 대응 동향

1.1. OECD

1.1.1 농업환경정책위원회의 기후변화 논의동향

- OECD에서 농업부문의 기후변화에 대한 논의는 2006년 6월 7일부터 6월 9일까지 개최된 OECD 농업환경정책위원회 제23차 합동작업반(Joint Working Party, JWP) 회의에서 시작되었다.
 - OECD 사무국은 영국 이스트앵글리아 대학교의 Neil Adger교수에게 의뢰하여 “농업분야 기후변화 영향과 적응 방안”에 대한 컨설팅 보고서를 작성토록 하고, 제23차 JWP 회의에서 핵심내용을 발표하였다.
 - IPCC의 3차 기후변화 평가보고서에서 제시된 내용을 기초로 2100년까지 지구온도가 1.4~5.8℃정도 상승할 것이며 온도변화는 작물 성장(강수량 변화, 대기 중 이산화탄소 농도 변화 등을 통해)에 많은 영향을 미칠 것이라고 전망하였다.
 - 기후변화가 생산량에 미치는 영향은 작물별, 지역별로 매우 다양하며 분

석 가정(도구)에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 일부 국가에서는 기술의 발달에 따라 작물 구성이 변화할 수도 있으며 작물별 생산량 변동은 그 국가의 사회·경제적 구조에 따라 결정되는 것으로 나타났다.

- OECD 국가들은 주로 기후변화에 대한 민감성을 줄이는 방법(reducing the sensitivity), 위험 노출을 줄이는 방법(altering the exposure), 복원력을 높이는 방법(increasing the resilience)을 사용하고 있다. 특히 정부가 공공 인프라구축(관개 시설 등), 기후변화 관련 정보 제공 등의 역할을 담당하여야 하며 민간은 기술개발을 통한 적응 전략을 준비해야 하는 것으로 제시하였다.
- 농업부문의 적응 옵션에는 관련주체와 등급을 필요로 하고 생산자, 투입물과 식품산업, 정부기관, 사적이익을 위해 행동하는 개인, 적응의 공적이익을 극대화하는 공공기관의 행동 등을 포함한다. 시점과 책임주체별 적응옵션은 민간과 공공부문의 책임주체별로 예방적 및 반응적 등 반응 시점에 따른 옵션을 예시해볼 수 있다.

표 6-1. 시점과 책임주체별 적응 옵션의 예시

		반응 시점	
		예비적(Anticipatory)	반응적(Reactive)
반응의 책임	민간 부문	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 민간 보험 시장 ▪ 민간 연구, 개발, 투자 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 보험시장 내에서의 적응 ▪ 최소비용 적응옵션의 식별
	공공 부문	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공공 인프라 제공 ▪ 농업부문에 대한 리스크 커뮤니케이션과 공적으로 이용 가능한 공공 연구 및 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재난 후 복구 ▪ 영향에 대한 보상 ▪ 보험증권 인수

자료: OECD(2006), p.19.

- OECD 무역농업국에서 기후변화 이슈를 핵심의제로 선정하여 2009년 7월 개최된 OECD 농업환경정책위원회 제28차 JWP 회의부터 본격적으로 논의하기 시작하여, 2011년 6월에 개최된 제32차 JWP 회의에 이르기까지 기후변

화의 대응 관련 핵심이슈를 발굴하여 지속적으로 다루어오고 있다.

- 2009년 7월에 개최된 제28차 JWP회의에서는 농업부문의 기후변화 이슈를 ① 기후변화와 농업: 영향 및 적응, 완화와 OECD 회원국 대응방안, ② 온실가스의 감축: 농경지 탄소고정 경제성, ③ 토지이용변화: 기후변화에 대한 합의 및 분석, ④ 회원국의 기후변화 적응에 관한 농업정책의 역할 및 온실가스 감축에 관한 농업의 역할 등 네 가지 의제로 나누어 심층적인 논의가 이루어졌다.
- 2009년 12월에 개최된 제29차 JWP회의에서는 농업부문의 기후변화 이슈를 ① 2010년 및 이후 기후변화 분석 로드맵, ② 토지이용 변화, ③ 탄소정량화, ④ 호주와 뉴질랜드, 유럽의 식품분야 탄소발자국 제도, ⑤ 기후변화와 농업 관련 전문가 워크숍 개최 계획 등 다섯 가지 의제로 나누어 논의가 이루어졌다.
- 2010년 6월에 개최된 제30차 JWP회의에서는 농업부문 기후변화 이슈를 ① 기후변화 대응 OECD-FAO 워크숍 결과, ② 농업부문의 탄소 산정(carbon accounting), ③ 축산부문의 완화 옵션, ④ 기후변화 완화와 적응에 있어서 농가 행동과 관리 방식, ⑤ 기후변화 완화를 위한 비용효과적인 토지기반 조치를 위한 데이터베이스 등 다섯 가지 의제로 나누어 심층적인 논의가 이루어졌다.
- 2010년 12월에 개최된 제31차 JWP에서는 이전 회의에서 논의된 내용을 포함하여 ① 기후변화 완화와 적응에 있어서 농가 행동과 관리 방식, ② 기후변화 완화를 위한 비용효과적인 토지기반 조치의 파일럿 프로젝트-설문조사표, ③ 기후변화에 적응하기 위한 작물보험과 농가 인센티브에 관한 연구계획서, ④ 적응정책과 방식에 대한 컨설턴트 보고서, ⑤ 농업부문의 복원력 구축: OECD와 FAO의 협력, ⑥ 기후변화에 따른 캐나다 농업의 환경성과 추세 등 여섯 가지 의제로 나누어 논의가 이루어졌다.
- 2011년 6월에 개최된 제32차 JWP회의에서는 기후변화 대응책 모색을 위해 ① 기후변화: 물, 농업: 연계, 예측 및 영향, ② 농업부문에서 기후변화에 따른 복원력 구축, ③ 기후변화의 농업환경적 함축성 평가와 기후

변화에 따른 농업부문 적응, ④ 정책이슈 부응한 기후변화 모형화 미래 작업 옵션에 관한 전문가회의 보고, ⑤ 기후변화에 따른 농업부문 위험 관리의 비교연구, ⑥ 토지기반 온실가스 완화를 위한 비용효과성 데이터 베이스 구축 관련 시범 프로젝트 갱신 등 여섯 가지 의제로 나누어 심층적인 논의가 이루어졌다.

1.1.2. 기후변화 영향평가의 접근방식

- ‘기후변화와 농업 - 영향, 적응, 완화 및 대응 방안’에 대한 의제에서 기후변화에 대응한 종합적인 내용을 제시하였다.
 - 지구의 온실가스 배출에서 농업부문이 차지하는 비중은 약 10~12%를 차지한다. 온실가스 가운데 메탄의 경우 농업부문의 비중이 50%, 아산화질소의 경우 60% 정도로 상당한 비중을 차지한다.
 - 농업부문의 기후변화 영향에 있어서 다양한 형태의 불확실성을 인식해야한다. 기후변화의 비율과 정도에 있어서의 불확실성, 농산물 산출의 생물학적 반응의 불확실성, 영향에 대한 사회적 반응의 불확실성 등을 들 수 있다. 기후변화의 영향평가를 위해서는 취약성을 평가할 수 있는 적절한 지표를 이용하여 접근하는 것이 바람직하다<표 6-2>.

표 6-2. 기후변화 영향평가를 위해 농업관련 지표의 제안된 구조

구 분	취약성 평가기준	측정 분류
생물학적 지표	노출	토양과 기후, 작물달력, 수자원의 이용과 저장, 바이오메스/수확량
농업제도의 특성	탄력성	토지자원, 투입요소와 기술 관계비율, 생산
사회·경제적 자료	적응능력	농촌후생, 빈곤과 영양 보호와 무역, 작물 보험
기후정책	완화와 적응의 시너지 효과	교도의정서 이행능력, 지역지원정책(예. CAP), 탄소 고정 잠재력, CDM 프로젝트 : 실행과 계획, 바이오 에너지, 관계용수의 확장 프로젝트, 토지 확장 계획, 운작 시스템의 변화

자료: OECD(2009). p.25.

1.1.3. 기후변화 적응과 완화를 위한 대응방안

- 기후변화에 따른 적응의 두 가지 요소는 변화하는 기후에 의해 발생하는 영향에 대비하여 혹은 반응하여 실행될 수 있다. 적응은 활동(activities), 행동(actions), 결정(decisions), 태도(attitudes) 등에 따라 경제적 활동의 의사결정에 대한 정보를 제공하고, 실행되고 있는 사회적 규범과 과정을 반영한다. 적응의 주요 유형을 보면 영향을 받는 시스템의 민감도를 감소시키는 경우로 제방 투자, 저수지 저장능력의 증가, 내열성 작물재배, 홍수대비 인프라 구축 등을 들 수 있다. 기후변화의 영향에 대한 어떤 시스템의 노출을 변경하는 경우로 위험대비 투자와 계절예보 등과 같은 조기경보시스템을 들 수 있다. 또한 사회적·생태적 시스템의 복원력(resilience)을 증가시키는 경우로 자원보전의 조치를 들 수 있다.

표 6-3. 농가수준과 사회전체 수준 적응전략

농가수준	사회전체 수준
▪ 작물 및 농가소득 보험	▪ 연구 및 개발 투자(예: 내열)
▪ 생산의 다각화	▪ 새로운 기술 및 재배법의 채택 장려
▪ 재배시기의 조정	▪ 기후변화와 적응가능성에 관한 정보를 확산시키기 위한 제도적 지원(예: 농촌지도, 조기경보시스템)
▪ 이동(도시 혹은 다른 농촌지역으로)	▪ 자원의 효율적 이용 장려(예: 시장효율성)
▪ 투입물 사용 강도의 조정 (예: 비료, 관개)	▪ 효율적이고 지속가능한 적응환경 지원정책 검토(예: 용수권, 환경정책, 무역정책국내지원)
▪ 새로운 생산 경운 채택(예: 보존경운)	▪ 지역적 공급부족의 충격을 세계시장으로 분산시키기 위한 농산물 무역 개선

자료: OECD(2008).

- 농가와 정부단위에서 적응관리에 관한 의사결정이 이루어지고 있다. 적응에 대한 농가단위 결정들은 소득감소의 위험과 환경인식과 같은 농가에 미치는 내부적 자극과 거시경제정책과 제도적 체계와 같은 대규모 농업 시스템에

영향을 미치는 외부적 자극에 의해 영향을 받는다. 추가적으로 농가수준 적응전략은 농장에서의 생산방법과 농가 재무관리(보험과 위험관리)로 나누어질 수 있다.

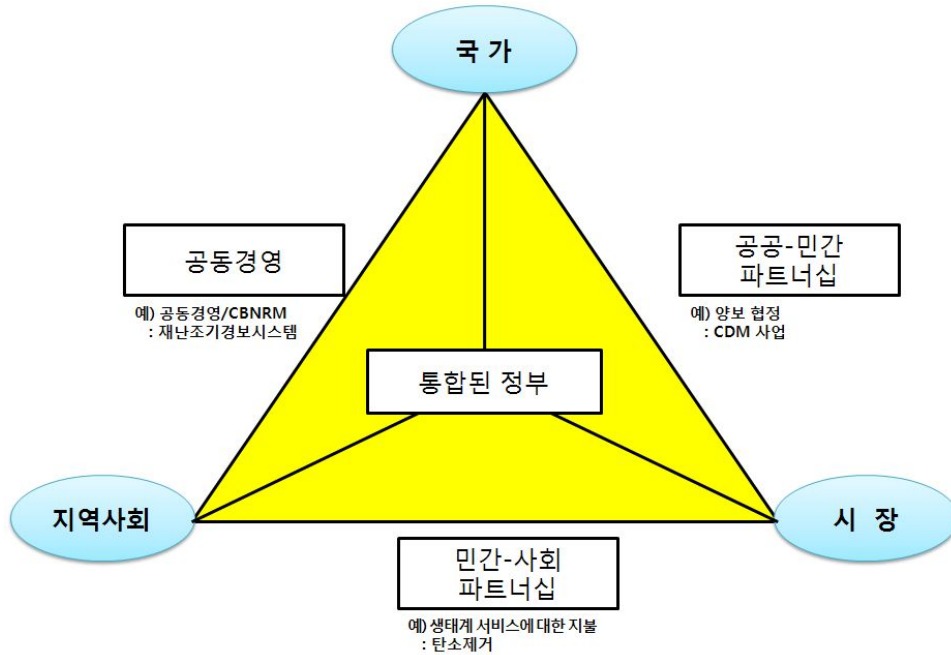
표 6-4. 작물재배에서의 온실가스 감축 조치

조치	사례
농경지 관리	농지관리
	양분관리
	경작기술/잔사관리
	물관리(관개, 배수)
	벼 관리
	농림업
	휴경농지, 농지-이용변화
유기질 토양관리	습지의 배수 지양
훼손된 토양의 복원	침식 관리, 유기적 개량, 양분 개량
축분/도시폐기물 관리	저장 및 처리 개선
	혐기적 소화
	양분원으로 보다 효율적 이용
바이오에너지	에너지 작물, 고품, 액체, 바이오가스, 잔사

자료: OECD(2010).

- 온실가스 배출 감축을 위한 최선의 실행방법들이 폭넓게 알려져 있다. 작물 재배에 있어 대표적인 온실가스 감축 조치로 다양한 수단이 활용될 수 있다.
- 농업부문의 기후변화 대응책이 효과적으로 추진되기 위해서는 관련주체별 적절한 역할분담과 협력체제 구축이 관건이다. 기후변화 대응책 추진과 관련 공동경영을 통한 국가와 지역사회의 협력체제, 공공-민간 파트너십 구축을 통한 국가와 시장의 협력체제, 민간-사회 파트너십을 통한 지역사회와 시장의 협력 관계 등 관련주체의 협력관계와 네트워킹의 중요성을 제시하였다<그림 6-1>.

그림 6-1. 기후변화 대응을 위한 관련주체별 협력 체계도



○ 기후변화 완화는 농업분야의 핵심 온실가스인 메탄과 아산화질소 배출을 감축하는 내용으로 농업생산에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 비용 효과적이고 효율적인 완화방안 모색이 중요하다. 부문별로 온실가스 감축기술이 많이 개발되고 있지만 실제로 농장단위 또는 농가에서 활용하는 데는 상당한 제약이 수반된다. 따라서 가능하다면 시장기능을 활용할 수 있는 정책프로그램 개발이 필요하다. 뉴질랜드는 2013년부터 국가온실가스 배출권거래제도 (emission trading scheme) 추진을 위해 인벤토리 구축과 법적 장치 마련 등 체계적인 준비가 이루어지고 있다.

- 기후변화 대응책 모색에 있어서 완화 방안과 적응책 모색은 각기 별개로 접근하기 보다는 통합적으로 접근하는 것이 정책성과를 높일 수 있다. 농업분야 기후변화 대응을 위한 향후 핵심적인 연구 분야로 다섯 가지 과제를 제시하였다.

① 시장 및 비시장영향의 가치평가와 연계된 종합영향평가(integrated

impact assessment)

- ② 비용편익 분석에 기초한 적응체제의 구축
- ③ 온실가스 배출 수지 개선을 위한 한계감축비용 추정모형 개발
- ④ 식품 및 농업에 관련된 자발적 대안 및 시장지향적 수단의 적용 연구
- ⑤ 기후변화에 따른 영농의 행태변화 및 소비자 행태

- ‘기후변화와 농업 - 완화와 적응 관련 농민 행태와 관리기법’의 주요 내용
 - 기후변화의 완화와 적응 조치에 농민들의 의사결정이 어떻게 이루어지는지를 심층적으로 다루기 위해 농민들의 의사결정에 있어서 시간선호, 위험선호, 사회적 선호 등과 연계된 행동연구에 대한 검토, 정책의 역할 등을 다루는 내용을 담고 있다.
 - 기후변화 관련 인센티브와 규제의 정책조치가 농업인에게 어떤 영향을 미치는지에 대한 체계적인 분석이 중요하다. 또한 정책이행의 촉진 요인과 장애요인이 어느 정도인지를 평가하는데 있어서 농장관리의 이행과 장벽 등에 다루어야 한다.
 - 정책입안자가 정책대상인 농업인에 대한 고려사항으로 기후변화 완화와 적응 정책으로 금융적 인센티브와 규제조치, 교육 및 정보, 전통적인 지역적 기법과 정책의 일치성 등을 다루어야 한다. 또한 농업인 의사결정에 있어서 불확실성과 비용 측면, 탄소배출권거래제에 있어서 농업인들의 온실가스 저감에 따른 크레딧 부여에 관한 반응 등을 다루고 있다.
 - 농업인의 의사결정에 영향을 미치는 요인으로 수입극대화 이외에 정책 목표와 정책내용에 대한 인식도, 농업에 대한 전통적·윤리적 태도, 스트레스 및 스트레스를 다루는 능력, 농업에 대한 만족도 및 낙관성, 위험태도, 정보의 질과 양, 개인의 문제해결 능력 및 개성 등을 제시하였다.
 - 기후변화에 대응한 농장관리에서 나타나는 행동의 변칙성으로 농장 크레딧 프로그램을 예상보다 더 많거나 적게 이용하는 경우(이윤극대화 및 예산된 효용함수에 대한 시스템 상의 에러), 시장 기회에 예상보다 더 많거나 적게 참가하는 경우(이윤극대화 및 예산된 효용함수에 대한 시스템 상

의 예러), 장기 후생에 부합되지 않아 보이는 단기 결정(선택기간에 할인율의 변화) 등을 제시하였다.

- 기후변화 대응 농업인의 행태분석을 다루는 연구과제 추진방향으로 통상적인 의사결정에서 벗어나는 비표준 선호, 비표준 소신(믿음, 의견), 비표준 의사결정을 다루기 위해 행동경제학적 접근방법을 활용하였다. 또한 정책수용을 위한 금융 인센티브 및 비금융적 동기부여와 관련 완화활동의 비용에 대한 연구와 기후변화의 외부성 문제와 손실회피에 대한 연구 등으로 제시하였다.
- ‘농지이용 및 농지이용 변화: 기후변화 분석을 위한 함축성’의 주요 내용
- 농지이용 및 농지이용 변화는 2009-2010 작업 프로그램의 기후변화 관련 전략과제의 일환으로 제안되었다. 이 과제는 2010년도 “저탄소경제의 농업” 분석을 지원하여 농경지의 탄소고정을 통한 온실가스 흡수능력 활용 프로젝트 수행에 기여하기 위함이다.⁷
 - 현행 토지이용 방식은 온실가스 배출에 상당한 기여를 하고 있다. 농지이용 및 농지이용 변화의 개선은 기후변화 대응방안 모색에 있어 중요한 수단으로 활용될 수 있다. 지구상의 이산화탄소 농도를 450ppm 수준으로 안정화시키기 위해서는 토지이용의 탄소고정이 중요한 역할을 수행한다.
 - 토지이용·토지이용변화·산림(Land Use, Land-Use Change, and Forestry, LULUCF)과 농업은 전 세계 온실가스 배출량의 30%이상을 차지한다. 토양탄소고정(Soil Carbon Sequestration)과 관련하여 IPCC는 배출량 저감을 위한 농업부문의 기술적 잠재력을 약 5.5~6Gt으로 추정하고 있는데, 90% 이상이 토양탄소고정을 통해서 달성될 수 있다. 토양탄소고정은 농민들에 의해서 이행될 수 있는 가장 비용효과적인 방안으로, 공공정책에서 중요한

7 농경지의 탄소고정을 이용한 온실가스 흡수 능력은 포스트교토에서 중요한 과제로 다루어질 것으로 보인다. 특히 농경지 면적이 큰 국가(농산물 수출국)인 미국, 호주, 뉴질랜드 등 주요국가의 국가전략으로 추진되고 있어 OECD에서도 비중을 두고 세부적인 내용을 담은 보고서가 중요하게 다루어지고 있다.

역할을 할 수 있다.

- 농경지의 탄소흡수 기능을 체계적으로 다루기 위해 산림분야와의 비교, 토지이용 역할, 체계적으로 다루기 위한 시기별 문서 발표내용, 특히 교토 의정서에서 제시하는 LULUCF와 다른 토지이용정보교환(Land Use Change Information Exchange, LUCIE)에 대해 제안하였다.
- 탄소고정에 대한 정보격차(information gap) 해소를 위해서는 농경지 토양의 탄소고정의 측정과 모니터링에 대한 정보격차가 중요하다. 따라서 농업토양 탄소고정과 관련된 정책을 수립하기 전에 보다 많은 지역들의 정보를 수집하는 추가적인 연구가 필수적으로 이루어져야 함을 강조하였다.
- 토지와 토지이용변화의 역할분석과 관련하여 농업부문 토지이용의 탄소고정과 관련된 측정과 모니터링에 대한 최근의 과학적 이해를 종합해야 한다. 측정과 모니터링에 대한 정보격차를 확인해야 하고, OECD 회원국들의 토지이용에 대한 정책정보를 공유하는 네트워크 구축의 필요성을 강조하였다.
- 농지이용 및 농지이용 변화에 관한 체계적이 접근을 위해 2010년 6월 JWP회의시 LULUCF의 하위범주로 “농경지”, “목초지”, “습지대“ 등으로 설정하고, 토양고정을 위한 작물관리 방식(무경운 혹은 경운의 감소, 종합양분관리, 윤작, 토양 개량, 목초지 개선) 등을 다루고 있다. 또한 회원국의 농지이용 관련정보를 체계적으로 관리하기 위해 LUCIE 프로그램을 활용하는 방안을 제안하였다.
- 캐나다와 미국은 농지이용 관련 정보격차를 해소하기 위해서는 탄소고정에 관한 과학적인 모니터링과 분석이 선행되어야 하고, LULUCF를 대체하는 방안으로 LUCIE를 제시하고 있으나, 좀 더 명확하게 부각될 수 있도록 심층적인 검토가 필요하다는 의견을 제시하였다. 프랑스와 폴란드는 농경지의 이용변화의 정보를 온실가스 관리정보로 활용하는 방식에 공감하나 과연 LULUCF와 같이 국제적으로 공인될 수 있는 관리시스템 구축이 필요하다는 점을 강조하였다. 영국은 토지의 탄소흡수능력을 인정하는 LULUCF를 대체하는 새로운 토지이용 능력을 평가할 수 있는 관리시스템으로 LUCIE는 바람직한 것으로 판단되나, 구축 목적을 분명하

게 제시해야 함을 강조하였다.

○ ‘탄소계산과 농지이용 변화’의 주요 내용

- 농경지의 탄소저장 기능에 대한 체계적인 접근을 위해 미국 아이오와대의 Miranowski교수의 컨설턴트 보고서 초안인 “탄소계산과 농지이용 변화 : 온실가스 감축에 있어 농업부문의 잠재적 기여”를 발표하였다.
- 탄소계산(carbon accounting)은 해당 부문의 에너지 이용과 농산물 생산의 투입-산출(input-output) 자료를 기초로 이루어지며 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 방법을 적용하여 이루어지고 있다. 현행 탄소계산 모형은 고정된 모수와 공학적인 방식을 적용하고 있어, 해당분야의 수요와 공급이 변하는 경우의 가격효과(price effect)가 반영되지 않는 한계를 가지고 있다. 실례로 미국에서 바이오에너지 생산을 위해 사료용 옥수수 가격이 급등하여 축산분야에 상당한 영향을 미쳤고 옥수수를 생산하는 농가는 수익이 증가하였으나, LCA에서는 이러한 가격변화가 반영할 수 없다.
- 탄소계산을 기초로 한 농경지의 탄소흡수량 산정은 특정지역을 대상으로 한 연구도 중요하나, 국제 모형(global model) 개발이 필요하며, 이를 위해 회원국간의 정보공유가 필요함을 강조하였다. 탄소계산의 추정결과는 탄소배출권거래시장의 배출권(credit) 확보에도 중요한 정보로 활용될 수 있어 온실가스 완화에도 기여하고, 또한 기후변화 적응에도 활용될 수 있다.

○ ‘시장에서 탄소계산 - 탄소발자국제도 개관 및 적용사례’의 주요 내용

- 제품 탄소발자국(Product Carbon Footprinting, PCF) 계산은 정책과 사회 트렌드를 반영하여 기업에 의해 수행되는 다양한 행동에 대한 기반으로 하고 있으며, 제품생산과 유통에 있어서 온실가스 배출량을 줄이도록 환경적·경제적으로 유도하기 위해 추진되고 있다.
- PCF에서 전과정 분석과 관련된 방법론적 문제점으로는 보편적으로 적용될 수 있는 단일 LCA 방법론이 개발되지 않아 LCA 대한 합의가 도출되

지 않고 있고, LCA에 대한 정의가 다양해, 정의에 따른 전혀 다른 결과가 도출되며, LCA에 대한 포괄적인 자료가 부족하다는 점이다.

- ISO 환경기준은 1997년 이후 ISO는 탄소발자국과 관련된 다양한 표준 방식을 제시하고 있는데, ISO 14040 시리즈가 탄소발자국에 적용될 수 있다. LCA 이행에서 준수되어야 하는 절차로 2006년에 ISO 14040과 ISO 14044의 두 표준으로 분리되어 운용되고 있다.
- 온실가스 산정과 관련하여 세계자원연구소(World Resources Institute, WRI)와 세계 지속가능 발전기업 협의회(World Business Council on Sustainable Development, WBCSD)는 2008년 9월에 제품 및 공급 체인 온실가스 측정 및 보고 표준을 제시하였다. 새로운 표준은 제품 전과정 측정과 계산, 보고에 대한 가이드라인을 포함하고 있다.
- 탄소라벨링제도의 회원국 적용 사례로 프랑스는 자국내에서 판매되는 제품 및 서비스의 특정 범주에 대한 환경마크의 표시를 2011년까지 의무화할 계획이다. 환경마크에 대한 지원 분야는 환경 라벨링 관련 민간 분야 지원과 데이터베이스 구축 지원 등을 들 수 있다. 일본은 2009년 새로운 탄소발자국 시스템(Carbon Footprint System, CFS)을 도입하였다. “탄소발자국 시험프로그램”은 경제무역산업성, 농림수산성, 환경성, 국토교통성 등의 협력으로 운영되고 있다. 탄소발자국제도는 제품 탄소발자국에 대한 일반규정과 라벨에 대한 탄소 정보의 커뮤니케이션 규정으로 운영되고 있다.
- 유럽위원회가 주도하는 EU 탄소 라벨링 제도는 우선 지속가능한 생산과 소비 행동 계획에 따라 EU 이사회는 EU 집행위원회에 기존의 EU 환경 라벨링에 제품 탄소발자국에 대한 연구를 의뢰하였다. EU 이사회는 기존 PCF 방법론과 이니셔티브를 다양한 접근방법으로 분석하였다. 공공 탄소발자국 데이터 참고 시스템의 개발에 대한 협력 및 지원과 정책·기술 회의를 지속적으로 개최하고 있다.

1.2. FAO

1.2.1. 기후변화와 식량안보

- FAO의 농업부문 기후변화 논의는 1996년 11월 세계 식량 정상 회담(World Food Summit)이 이루어진 이후 식량안보와 연계하여 이루어졌다(FAO, 1996). 2000년대 들어 기후변화에 대한 영향평가, 기후변화 완화와 적응을 위한 대응책 마련 등 활발한 논의와 관련분야 보고서가 발간되었다.
- 기후변화와 물, 식량안보 보고서에서 수자원과 식량안보의 중요성을 제시하였다(FAO, 2011). 20세기 초·중반 빠른 인구증가와 식품 수요의 증가로 인하여 전 세계 관개지역이 상당히 증가하였다. 관개는 농업토지의 약 20%인 3억 ha에서 전 세계 식품의 약 40%를 공급하게 해준다.
 - 높은 질소비료투입의 녹색혁명(Green Revolution) 기술은 아시아의 잠재력을 이끌기 위해 관개시설을 필요로 한다. 녹색혁명은 여러 아시아 국가의 농업이 산업화된 경제로 전환하는 도약판을 제공하고 있다.
 - 지난 30년 이상 모든 주요 상품의 시장가격은 실질단위로 봤을 때, 하락하였다. 더욱이 관개 농업에 대한 공공투자와 원조 금융도 줄어들었다. 반면, 같은 기간 동안 지하수에 대한 민간투자는 증가하였다. 결론적으로 세계 곳곳에서 대수층(aquifer, 지하수를 품고 있는 지층)이 큰 폭으로 줄어들었다.
 - 기후변화는 물 수요의 증가와 작물 생산성의 한계, 물 이용성의 저하로 인하여 농업에 상당한 영향을 미치기 때문에 관개가 매우 필요하다.
 - 지구 온난화는 육지와 해양의 증발률을 높여 물 순환을 촉진한다. 이에 따라 열대지역과 고위도 지역에서는 강수량이 증가하고, 반건조지역과 대륙의 내륙에서는 강수량이 감소하게 된다. 세계의 물 부족지역은 벌써부터 건조해지고 더워지는 것으로 나타나고 있다. 특히 기후변화로 가뭄과 홍수의 발생정도가 심화될 것으로 전망되고 있다.

- 기후변화 하에서 미래 농산물 수요를 충족시키기 위하여 상당한 양의 물이 필요하다. 물 요구량 추정치는 지구온난화가 발생하지 않을 때의 추가적인 물 요구량의 40~100%에 이르는 것으로 추정되고 있다. 특히 미래 물 수요는 증가하는 반면, 공급은 감소하여 환경과 농업간의 경쟁이 발생하게 된다. 따라서 양측을 고려하여 수요와 공급을 조화시키기가 어려울 것으로 전망된다.
- FAO(2002)의 식량안보를 “활동적이며 건강한 삶을 위해 모든 사람들이 필요로 하고 선호하는 안전하며 영양분 있는 음식에 물질적·사회적·경제적으로 충분히 항상 접근할 수 있는 상황”으로 정의하고 있다. 기후변화와 연계하여 식량안보를 이용가능성(availability), 안정성(stability), 접근성(access), 이용성(utilization) 등 네 가지 측면에서 평가하고 있다.

1.2.2. 기후변화 대응 스마트농업

- FAO는 개발도상국의 농업의 경우 식량안보와 기후변화의 도전에 대응하기 위하여 농정개혁과 같은 상당한 변화가 필요한 것으로 진단하고 있다. 지난 60여 년 동안 세계의 농지는 10% 증가에 머무른 반면, 효율성의 증대와 생산시스템 및 작물·축산사료 시스템 등의 향상으로 식량생산은 매우 크게 증가하였다. 그러나 기후변화가 농업부문에 위협요소로 작용함으로써 기존의 위기들을 더욱 악화시킬 것으로 예상하고 있다. 특히 세계인구가 현재 67억 명에서 2050년 90억 명으로 증가할 것으로 전망되어 FAO는 인구증가에 부응하기 위해 약 70%의 농산물생산 증가가 필요한 것으로 추정하고 있다. 동시에 FAO는 기후변화가 농산물의 안정성과 생산성을 위협하고, 세계의 여러 지역에서는 이미 농산물 생산성이 하락하고 있는 것으로 진단하고 있다. 장기적으로 기후변화는 생산시기와 병해충 발생패턴의 변화를 가져오고, 생산량과 가격, 소득 등에 영향을 미칠 것으로 보고 있다. 따라서 농업부문의 생산량, 소득, 생산시스템을 안정화시키기 위해서는 기후변화에 대한 복원력을 높여야 하고, 이를 위해서

는 자연자원의 환경 친화적인 관리와 자연자원의 효율적 사용이 전제되어야 하는 것으로 보고 있다.

- 이러한 여건변화 속에서 FAO는 기후변화 대응하면서 생산성을 증가시키고 지속가능한 저탄소농법으로의 전환을 의미하는 스마트농업(climate-smart agriculture)을 강조하고 있다. 스마트농업은 현재 개발된 최신과학기술을 활용하고 제도개혁, 금융 등의 인프라를 구축함으로써 이루어질 수 있다. 특히 기후변화 하에서 식량안보를 튼튼히 하기 위해서는 농업생산시스템과 생산성, 복원력이 중요하며, 이를 위해서는 제도적·정책적 지원이 필수적이다. 이 같은 맥락에서 FAO는 농업과 환경, 금융적 범위를 뛰어넘어 협력과 혁신적 제도가 요구된다는 점을 강조하고 있다.
- 스마트 소규모 농업으로의 전환을 촉진하는 정책적 환경을 조성하기 위해 기후변화, 농업발전, 식량안보 3대 정책간의 일관성, 협력, 통합이 매우 중요하다는 견해를 밝혔다. 국가수준의 기후변화정책은 적응을 위한 국가행동계획(NAPAs, National Action Plan for Adaptation)과 국내적으로 적절한 감축행동(NAMAs, Nationally Appropriate Mitigation Action)을 통해 표현된다. 농업발전과 식량안보 계획은 국가발전전략(National Development Strategies)과 빈곤 퇴치전략보고서(PRSPs, Poverty Reduction Strategy Papers)에 잘 제시되어있다. FAO는 최근 NAPAs, NAMAs, CAADP에 명시된 정책목표들을 비교하는 연구를 수행하였다. 이 연구결과에 따르면 식량안보, 안전망, 적응정책의 통합으로 상당한 이익을 가져올 수 있음이 밝혀졌다. 주요 정책방안으로 위험과 취약성평가에 대한 기후과학정보를 사용하는 것은 안전망과 보험 상품의 개발을 이끌어 긍정적인 결과를 가져올 수 있으며, 가격 안정화 관련 정책 역시 기후변화적응과 식량안보 모두에 있어 중요한 역할을 한다고 제시하였다.
- 국제 수준에서도 식량안보, 농업발전, 기후변화정책의 통합과 금융지원이 필요하다. 식량안보 구축과 기후변화대응이라는 양대 축은 지금까지 특별

히 실질적인 통합이 이루어지지 않는 것은, 향후 식량안보, 농업발전, 기후변화와 관련하여 정책입안자들 간의 긴밀한 협력과 네트워킹이 필요하다는 의견을 제시하였다. 제도의 중요한 역할 중 하나는 규제와 표준 개발을 위한 생산 및 마케팅 조건에 대한 정보를 생산하고 보급하는 것이다. 기후변화는 불확실성을 높이기 때문에 신속하고 정확한 대응이 필요하다. 따라서 정보의 가치와 제도의 중요성이 커지고 국가적·국제적 농업 연구프로그램 역시 중요하게 된다.

- 기후변화 대응 스마트농업은 농업기술적인 측면에서는 생산시스템의 효율성, 복원력, 적응력, 저감잠재력 등 다양한 요소들의 개선을 통해 이루어질 수 있다. 각 분야별 핵심적인 수단으로는 토양 및 양분관리, 물 관리, 병해충 방지, 복원력 강한 생태계(resilient ecosystem), 유전자원, 수확·가공·공급망(supply chains) 등을 들 수 있다.
- 저탄소 농법에 적용될 수 있는 스마트 농업기술로는 논농사에서 기후변화에 대응하여 경작패턴을 변경하고, 파종일을 조정하는 등 재배기술을 활용하고, 농장에서 발생하는 부산물과 폐기물을 혼합하여 농장에서 혼합퇴비로 사용함으로써 농가소득을 증대시키는 동시에 양분수지를 개선할 수 있다. 나아가 복원력을 높이고, 기후변화로 인한 손실증가에 따른 농가의 재정위기를 최소화하는데 기여할 수 있다. 기후변화 대응 스마트농업이 제대로 이루어지기 위해서는 교육·훈련이 필요하다. 기후변화는 농민들이 반드시 단·장기적인 계획을 수립하고 기술을 선택할 수 있는 능력을 갖출 것을 요구한다. 농업기술보급은 이러한 변화에 대한 정보 확산의 통로이다. 농민현장학교(Farmer Field Schools, FFS)는 농민교육과 훈련을 위한 실제적인 방법이다. FFS는 최근 빠르게 확산되고 있으며, FAO로부터 지원을 받고 있다. 농민들이 생산시스템을 분석하여 문제점을 파악하고 가능한 해결방법을 시험하여 최종적으로 그들의 농장에 가장 적합한 농법과 기술을 채택하도록 하는 것이다.

- 기후변화에 대응하는 환경적 서비스에 대한 적절한 보상책과 과감한 투자가 필요하다. 환경서비스지불금(Payment for environmental services, PES)은 농업 전환을 위한 대안적 금융지원의 잠재적 요인 중 하나이다. 기후변화의 완화는 소규모 농가가 제공할 수 있는 일종의 환경적 서비스이며, 나아가 농업 생산성 및 안정성의 향상으로 인한 시너지도 유발된다. 다음으로 탄소시장의 부상은 농업활동과 농민에게 새로운 소득원을 제공할 것으로 관심과 기대를 받고 있다. 하지만 대부분의 소규모 농가 입장에서는 거래비용이 높고, 감축으로 인한 이윤이 낮기 때문에 탄소시장의 진입 가능성이 제한된다. 따라서 소규모 농가의 탄소시장 활용에 대한 적절한 대응 방안으로 대규모 농가와 소규모 농가를 포괄할 수 있는 공식적·비공식적 제도의 준비, 공공과 민간금융지원이 농민에게 유입될 수 있도록 하는 농업금융정책, 농업인 보조금에 대한 합의된 시스템 등이 필요하다.
- 식량안보, 농업발전, 기후변화에 대응하기 위하여 필요한 지속가능한 스마트 농업 체제로의 전환은 많은 비용이 소요되므로 대규모의 투자가 필요하다. 잠재적인 손실, 기후변화에 대응하지 않았을 때의 비용증가와 비극적인 위험에 대한 불확실성 등을 고려할 때 상당한 재원마련이 긴급하다. 재원마련을 위해서는 혁신과 협력이 요구되며, 실제로 긴급하고 적절하게 다루어져야 한다. 다양한 금융요인과 기존체계, 새로운 체계를 연결해 사용함으로써 기후변화 적응 및 완화를 위한 프로젝트를 진행해 나가야 한다. FAO (2009)는 측정과 모니터링, 능력배양 시스템구축과 인프라구축, 탄소 크레딧 화폐화 등을 위한 거래비용으로 2030년 기준 38억 유로로 추정하였다. 2010-2030년 동안에 감축활동으로 소요되는 총비용은 130억 유로 등으로 상당한 비용이 소요될 것으로 추정하고 있다.

2. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책

2.1. 미국

2.1.1. 미국의 농업·산림환경

- 미국은 농업생산성이 매우 높은 수준이며, 다양한 종류의 식품과 섬유작물, 사료작물, 오일시드(oil seed), 과일, 채소 등을 재배하여 국내 및 해외 시장에 판매하고 있다.
- 기후, 지형, 식생 및 여러 조직의 영향에 따라 토양이 다른데, 미국은 이러한 많은 요소들이 조합되기 때문에 다양한 특성을 지닌 수많은 토양의 종류가 있다. 모든 토양은 효과적인 자연필터 기능을 하여, 토양 내외부의 잠재적 오염물질을 제거함으로써 지면과 지표수를 보호하는 역할을 한다.
- 미국의 토양은 대기 중의 상당한 양의 유기 및 무기 탄소를 저장할 수 있다. 다양한 토양이 저항력과 복원력을 높이지만, 적절한 관리를 하지 않으면 침식과 염류축적작용 등으로 인하여 토양의 질이 저하된다.
- 미국 농무부(The U.S. Department of Agriculture administers)는 환경적으로 민감한 토지를 보완함으로써 다양한 보전 프로그램을 운영하여 오고 있다. 가장 규모가 큰 프로그램으로는 토양침식 방지, 수질개선, 야생서식지 보전 등을 목적으로 하는 농지보전프로그램(CRP, Conservation Reserve Program)이 있는데, 약 1260만 ha가 등록되어 있다.
- 경운농법의 개선으로 인하여 토양침식이 줄어들고 토양탄소저장능력이 향상되었다. 1998년부터 2004년까지 무경운 시스템이 25.4ha(31%)까지 증가

하였고, 보전경운시스템을 사용한 토지가 40-46ha가 되었다.

- 미국 산림은 동부의 천연 종의 자연임분(natural stands)과 복잡한 견목림(hardwood forests), 태평양연안의 생산성 높은 침엽수림(conifer forests)이 두드러진 특징이다. 조성된 산림은 대부분 동부지역에, 조성된 토종 소나무 임분은 남부에 위치하고 있다. 산림은 미국 총 국토의 1/3을 차지하고 있다. 미국 산림 3억 5백만 ha 중 2억 8백만 ha는 목재용 산림(timberland)이며, 주로 민간이 소유하고 있으나 상당한 면적에 해당하는 산림이 보존되고 있다.
- 기존에 조성된 미국의 산림은 대기의 탄소 저장소로 중요한 역할을 담당하고 있다. 2007년 LULUCF는 1,062.6Tg CO₂의 순탄소고정을 기록하였는데, 이는 미국 총 온실가스 배출량의 14.9%에 이르는 양이다.
- 미국 농업부문에서 배출되는 온실가스는 주로 메탄과 아산화질소이다. 2007년을 기준으로 총 메탄 배출량의 24%는 가축의 장내발효에, 8%는 부산물관리에서 기인한다. 아산화질소는 시비적용, 기타 경작활동으로 인해 배출되며, 농업토양관리에서 배출되는 총 아산화질소 배출량의 67%가 배출된다.

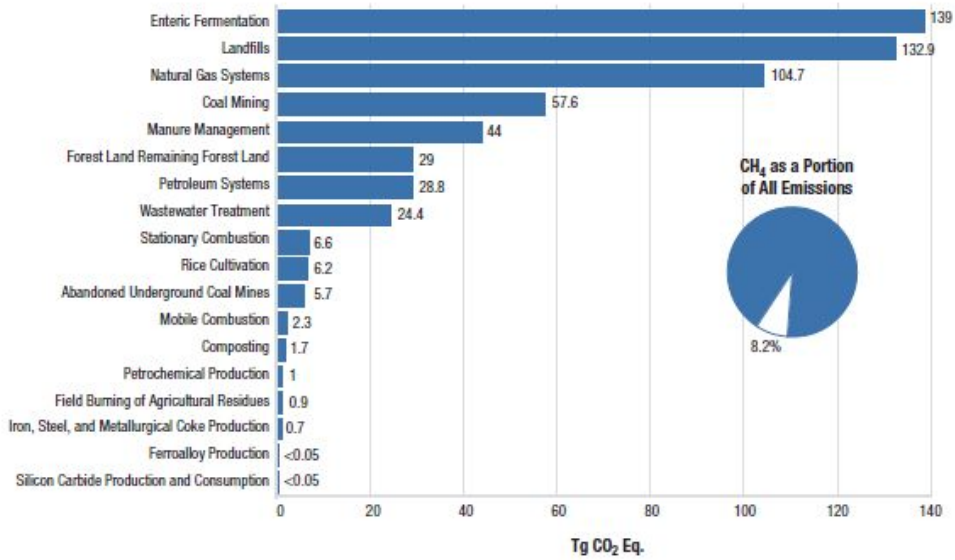
표 6-5. 미국의 부문별 온실가스 배출량과 탄소저장의 최근 경향

단위:Tg CO₂ Eq.

구 분	1990	1995	2000	2005	2006	2007
에너지	5,193.6	5,520.1	6,059.9	6,169.2	6,084.4	6,170.3
산업공정	325.2	345.8	356.3	337.6	343.9	353.8
솔벤트 및 다른 제품 사용	4.4	4.6	4.9	4.4	4.4	4.4
농업	384.2	402.0	399.4	410.8	410.3	413.1
LULUCF	14.2	16.2	33.0	26.4	45.1	42.9
폐기물	177.1	174.7	154.6	160.2	163.0	165.6
총 온실가스 배출량	6,098.7	6,463.3	7,008.2	7,108.6	7,051.1	7,150.1
LULUCF로 상쇄되는 배출량	841.4	851.0	717.5	1,122.7	1,050.5	1,062.6
순 온실가스 배출량	5,257.3	5,612.3	6,290.7	5,985.9	6,000.6	6,087.5

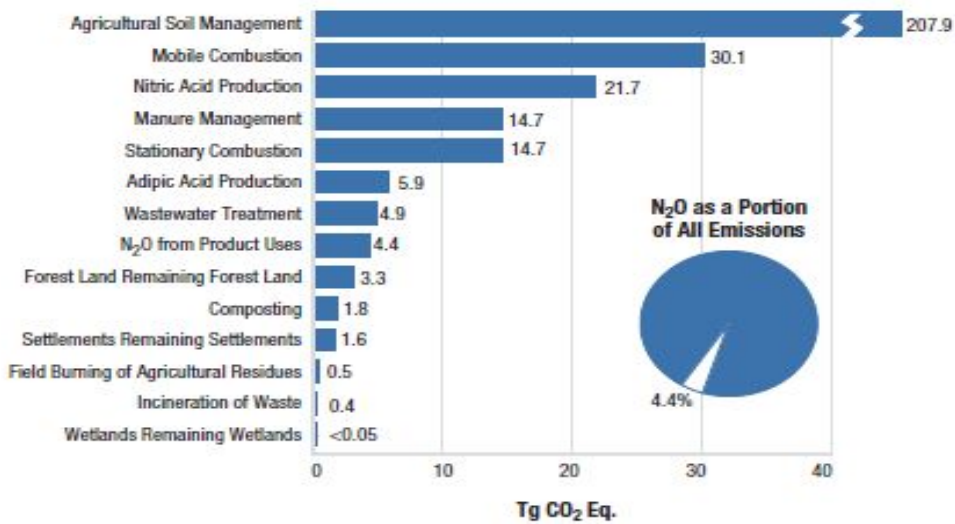
자료: U.S. Department of State(2010)

그림 6-2. 2007년 미국의 배출원별 매탄 배출량



자료: U.S. Department of State(2010)

그림 6-3. 2007년 미국의 배출원별 아산화질소 배출량



자료: U.S. Department of State(2010)

2.1.2. 미국의 농업부문 기후변화 대응정책

가. 농업부문 대응정책

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

Program, CRP)과 습지보전프로그램(Wetlands Reserve Program, WRP), 초지보전프로그램(Grassland Reserve Program, GRP) 등이 있다.

- 농지보전프로그램(CRP)은 미국농업진흥청(Farm Service Agency, FSA)에서 담당하는 프로그램으로 농민들이 환경적으로 민감한 작물을 생산하는 농가에 일정 비용을 지불하고, 통상 10년에서 15년의 의무계약기간동안 피복작물을 재배하도록 장려하는 정책이다. 일반적으로 자연초(native grasses), 야생수목을 재배하는 것을 장려하며, 이 밖에 습지를 복원하고, 강 유역에 비료 완충지대를 설치하는 것을 권고한다. 이 프로그램을 통하여 민간 토지의 탄소고정 잠재력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. FSA는 2008년 동안 농지보전프로그램으로 인한 온실가스 저감량이 56백만 CO₂톤에 이를 것으로 추정하고 있으며, 2012년에 5천3백만 CO₂톤으로 감소한 후, 2020년까지 이 수준을 유지할 것으로 전망하고 있다.
- 습지보전프로그램(WRP)은 토지소유자들이 자신의 소유지에 있는 습지를 보호, 복원, 개선할 수 있는 기회를 제공하는 자발적인 프로그램이다. NRCS는 습지복원과 관련한 기술적·재정적 지원을 하고 있는데, 이를 통하여 습지 기능과 가치를 높이고, 최적의 야생서식지를 복원하는 것을 목표로 한다. 습지보전과 관련된 활동들은 탄소고정과 온실가스 저감에도 영향을 미친다. NRCS는 2007년 동안 습지보전이 18만 CO₂톤의 온실가스를 저감하는 것으로 추정하였으며, 2020년에는 25만 CO₂톤의 온실가스 저감이 가능하다고 예측하고 있다.
- 초지보전프로그램(GRP) 역시 자발적인 프로그램으로 방목지 작업과 동식물의 다양성 향상, 초지의 보호를 위한 지원을 강조한다. 초지보전프로그램 참여자들은 사료 및 종자의 생산과 관련된 방목과 작업에 대한 권리는 그대로 유지하면서, 토지의 미래 개발과 사용을 위해 자발적으로 제한을 설정한다. 또한 방목지관리계획(grazing management plan)에 따른 보전농법은 초지의 탄소고정

능력을 제고시킨다. 2007년 동안 NRCS는 초지보전프로그램을 통하여 온실가스 7천 CO₂톤을 감축한 것으로 추정하였으며, 이러한 방법을 통한 온실가스 저감량은 2020년에 2만7천 CO₂톤으로 증가할 것으로 예측하고 있다.

- 야생서식지지원프로그램(Wildlife Habitat Incentives Program, WHIP)은 국가의 야생서식지를 개선하는 자발적인 접근방법으로 NRCS에서 기술적 지원을 해주고 있으며, 서식지 개선비용의 75%까지 지원하고 있다. 야생서식지 개선으로 인하여 탄소고정 잠재력이 증가할 것으로 기대하고 있으며, 2007년 25만 CO₂톤의 온실가스가 저감된 것으로 추정하고 있다.
- AgSTAR 프로그램은 EPA와 USDA, DOE에서 지원하는 자발적 프로그램으로 퇴비관리에서 배출되는 메탄을 줄이기 위하여 복원기술을 사용할 것을 권장한다. AgSTAR는 다른 정책수단들에 비해 국가수준에 미치는 영향력이 상대적으로 미약하지만 낙농 및 돼지농장의 이윤을 증대시키면서 동시에 온실가스를 저감하고 기타 오염통제 편익을 가져온다는 점에서 중요한 역할을 하고 있다.
- 이 밖에 미국은 배출권거래제를 활용하여 농업부문의 온실가스 저감을 유도하고 있다. 특히 2003년 설립된 자발적 탄소시장인 시카고기후거래소(Chicago Climate Exchange, CCX)는 상쇄(offset) 프로그램을 도입하여 주요 산업부문 외에 축산부문 메탄, 농경지토양, 에너지 효율성, 산림, 쓰레기 매립 메탄, 재생가능에너지 등에서의 온실가스 저감에 대하여 상쇄 크레딧을 발급하고 있다. 이 가운데 가장 많은 양을 차지하고 있는 것이 농경지 토양에 의한 이산화탄소 흡수이며, 상쇄 프로젝트의 약 28.5%를 차지하고 있다. CCX의 토양관리 상쇄는 미국과 캐나다 내의 지정된 주와 지역에서 보전경운 및 적응활동으로 토양 탄소고정 프로젝트를 적용하는 경우, 배출권의 판매 권리를 인정하는 프로그램을 말한다. 농경지 토양에 의한 온실가스 흡수는 지속적인 보전경운과 초지로의 전환 등을 들 수 있다.

<미국 농지보전 프로그램(Conservation Reserve Program, CRP)>

- 농지보전 프로그램은 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 이에 상응하는 금액의 일부를 매년 휴경보상금 및 환경보전 시설비 등으로 보조해 주고 있음.
 - 등록된 토지에 풀이나 나무를 심어 탄소저감 이외에 도 수질오염 저감, 산불위험 감소, 야생 생물 서식지 개선 등 다양한 효과를 거두었음.
- 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 지역이 보상금액이 가장 높게 나타났는데, 이는 옥수수 생산을 포기함으로써 얻는 기회비용이 상대적으로 높기 때문임.
- CRP 프로그램 참여로 받는 연간 총 보상액과 참여하지 않았을 때 얻는 기회비용을 비교하여, 기회비용이 더 크다면 CRP 프로그램은 효용이 없는 것으로 판단할 수 있음. 따라서 CRP 프로그램을 통한 이산화탄소 저감효과를 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 참여 토지가 이전의 용도로 사용될 때보다 4,800만 톤의 이산화탄소를 저감하고 있다고 추정함.
 - 탄소저감효과가 큰 수목을 식재하는 지역이 더욱 넓어질 것으로 전망함.

표 6-6. CRP 프로그램 등록을 통한 탄소저감 효과

	단위: \$/CO ₂ eq	
	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

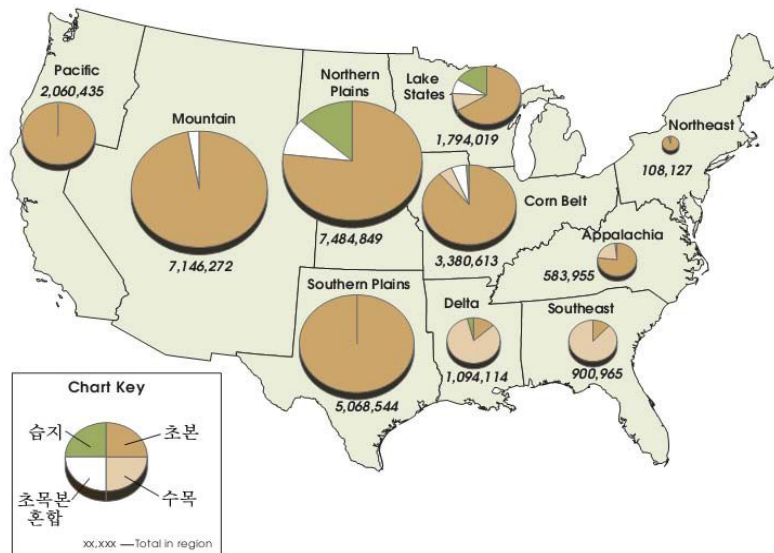
자료: 농림수산식품기술기획평가원(2011)

그림 6-4. CRP 일반등록 계약 토지의 에이커 당 연간 평균 보상액('08년)



자료: 농림수산식품기술기획평가원(2011)

그림 6-5. 식생·지역에 따른 CRP 프로그램 일반계약참여 토지이용현황



자료: 농림수산식품기술기획평가원(2011)

<미국 보전보장프로그램(Conservation Security Program, CSP)>

- 보전보장프로그램은 휴경지를 대상으로 하는 농지보전프로그램(CRP)의 계약 만료에 따라 생산이 재계된 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.
- NRCS는 CSP 참가자들에게 보전성과에 따라 직불금을 지급함. 성과가 높을수록 직불금을 많이 받을 수 있음. 직불금은 두 가지 종류가 있는데, 새로운 보전활동 및 기존보전활동의 유지에 대한 연간 직불금과 자원보전운작 농가에 대한 보조직불금이 있음.
- 직불금 수령액은 계약 당 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 직불금 지급률은 보조 직불금은 자원보전 운작을 시행하는 면적(에이커)당 12달러가 지급되며, 연간 직불금은 다음 표와 같음. 추가적인 환경보전활동에 대해서는 경작지의 경우 가장 많은 직불금을 주며, 기존활동을 계속 연장하는 활동에 대해서는 목초지의 경우에 가장 많은 금액을 지급함.

표 6-7. 2011 CSP 연간 직불금 지급액

단위: \$/point

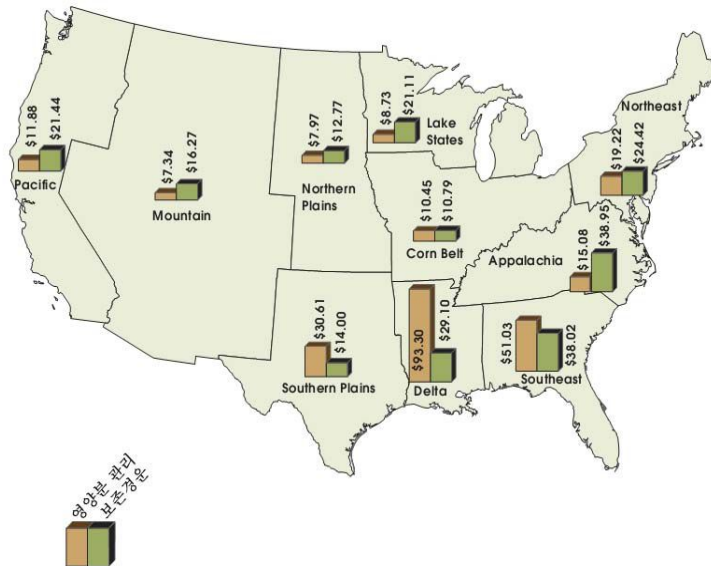
토지용도	추가활동 지급액	기존활동 지급액
경작지(cropland)	0.1217	0.0411
목초지(pastured cropland)	0.0492	0.0444
초지(pasture)	0.0492	0.0271
방목지(range)	0.0200	0.0060
산림(forest)	0.0633	0.0049

자료: 농림수산물기술기획평가원(2011)

<미국 환경개선장려프로그램(Environmental Quality Incentives Program, EQIP)>

- 환경개선장려계획은 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, 동·식물, 대기, 관련자원을 향상시키는 기회를 제공하며, 연방정부와 주정부, 지방정부의 환경규제를 준수하도록 돕는 의미를 가지고 있음.
- 지급되는 보상금액은 270만 에이커 당 양분관리와 보존경운을 통해 총 4,250만 달러가 지불됨. 보존경운을 통해서 에이커 당 평균 0.59톤을 저장한다고 가정할 때 총 160만 톤의 이산화탄소가 저감됨. 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 6-6. 환경개선장려계획 계약의 에이커 당 평균보상비('08년)



자료: 농림수산물기술기획평가원(2011)

- 환경개선장려계획은 실제이행과 관련한 평균비용의 비중에 기반으로 보조금을 지급하며, 보전계획을 수립하는 생산자들을 지원하기 위하여 추가 보조금이 지급될 수 있음. 또한 이전부터 환경이 좋지 못한 생산자들에 대해서는 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 농업인의 경우, 보전농법의 이행을 위해 필요한 원료 및 서비스 구매비용의 30%까지 보조받을 수 있음.
- NRCS는 EQIP과 관련하여 자연자원을 처리하는데 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 법(The Food, Conservation, and Energy Act of 2008, Farm Bill)은 바이오파이너리 지원(Biorefinery Assistance Program, Section 9003), 에너지 재공급 지원 프로그램(Rempowering Assistance Program, Section 9004), 바이오에너지프로그램(Bioenergy Program for Advanced Biofuels (Section 9005)의 세 가지 프로그램을 포함하고 있다. 바이오파이너리 지원은 바이오파이너리의 개발, 시설물설치, 보강에 대한 대출보증을 실시해주는 프로그램이다. 에너지재공급 지원 프로그램은 기존의 화석연료를 활용한 전력생산을 신재생에너지인 바이오파이너리 시설로 교체하는 것에 대하여 보조금을 지원해주는 프로그램이며, 바이오에너지프로그램은 바이오연료 생산을 확장하는데 따른 보조금지원프로그램이다.

표 6-8. 미국의 전력사용과 관련된 경제부문별 온실가스 배출량의 최근 경향
단위: Tg CO₂ Eq.

구 분	1990	1995	2000	2005	2006	2007
산업	2,166.5	2,219.8	2,235.5	2,081.2	2,082.3	2,081.2
교통/운송	1,546.7	1,688.3	1,923.2	2,003.6	1,999.0	2,000.1
상업	942.2	1,000.2	1,140.0	1,214.6	1,201.5	1,251.2
거주	950.0	1,024.2	1,159.2	1,237.0	1,176.1	1,229.8
농업	459.2	489.7	503.2	511.7	530.0	530.1
미국 영토	34.1	41.1	47.3	60.5	62.3	57.7
총 온실가스 배출량	6,098.7	6,463.3	7,008.2	7,108.6	7,051.1	7,150.1
LULUCF로 상쇄되는 배출량	841.4	851.0	717.5	1,122.7	1,050.5	1,062.6
순 온실가스 배출량	5,257.3	5,612.3	6,290.7	5,985.9	6,000.6	6,087.5

자료: U.S. Department of State(2010)

- 미국농촌에너지프로그램(Rural Energy for America Program)은 공식적으로 재생에너지시스템 및 에너지효율성개선 프로그램(Renewable Energy Systems and Energy Efficiency Improvements Program)으로 알려져 있다. 이 프로그램은 재생에너지 시스템을 구입하거나 에너지효율성을 개선하고자 하는 농업인 및 농촌의 소규모 사업자에게 대출보증을 지원해주는 프로그램이다. 2002년부터 2008년 동안 694개의 재생에너지시스템에 대하여, 1,329개의 에너지효율개선에 대한 자금이 지원되었다.
- 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)는 바이오작물, 우드칩, 작물잔사로 부터 바이오연료 생산기술에 대한 다양한 프로그램을 실시하고 있으며 대표적인 프로그램으로는 바이오매스프로그램(Biomass Program)이 있다. 에너지부는 2020년에 5520만 CO₂톤의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 전망하였다.

다. 산림부문 대응정책

- 생태계 서비스의 개선(Enhancing Ecosystem Services on Forests, Grasslands, Parks, and Wildlife Reserves)은 미국 국무부(DOI)와 농무부(USDA), 환경보호국(EPA)이 공동으로 지원하는 프로그램이다. 생태계의 보전, 개선, 복원,

적응과 탄소고정 및 재생에너지 개발에 대한 지원을 통해 새로운 기회를 창출하고 있다.

- 장기적인 관점에서 유발되는 효과로는 온실가스의 포집 및 저장 능력을 확대, 생태계와 야생서식지 개선, 수질과 수량의 개선, 토양침식 완화, 멸종위기 종의 위협 완화, 환경적 윤리의 개선, 휴양기회의 확대 등이 있을 수 있다.
- 목질계 바이오매스 이용 보조 프로그램(Woody Biomass Utilization Grant Program)은 복원활동에서 제외되는 소규모 재료와 가치가 낮은 나무를 매매하는 시장의 창출에 초점을 있다. 이런 종류의 나무들을 바이오매스로 활용함으로써 화석연료를 대체하고 온실가스를 저감할 수 있다.

2.1.3. 미국의 농업부문 기후변화관련 연구 및 교육

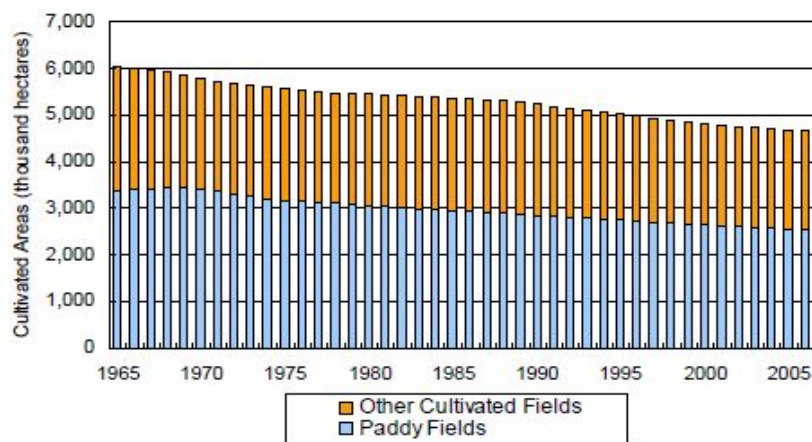
- 미국 농무부(USDA)는 산하기관인 미국농업연구소(Agricultural Research Service)를 통하여 기후변화에 따른 농업부문 영향과 농업에 대한 연구를 수행 중에 있다. 새로운 정보를 꾸준히 발간하고, 대학의 연구자들과 협력하여 기후변화 연구정보를 관련기관에 제공하고 있고, 이 밖에 연구결과를 간행물이나 기술보고서 형태로 발간하여 이해당사자들에게 정보를 제공하고 있다.
- 국립식량농업원(National institute of Food and agriculture, NIFA)은 농무부의 공식적인 협력 연구기관으로 기후변화에 대한 다양한 연구와 교육을 수행하고 있으며, 지원 프로그램도 운영하고 있다.
- 미국 산림청(USFS)은 기후변화 교육훈련, 국민의 인지와 관련된 사항을 수행하고 있다. 500명 이상의 과학자들이 연구개발 프로그램을 수행 중에 있으며, 연구결과는 과학교육저널 'The Natural Inquirer'를 발행하여 기후변화의 영향에 대한 정보를 제공하고 있다.

2.2. 일본

2.2.1. 일본의 농업·산림환경

- 2007년 기준 일본의 총 온실가스 배출량은 12억 9,290만 CO₂톤이며, 이 가운데 농업부문은 26.5 백만 CO₂톤으로 약 4.99%를 차지하고 있다. 농업부문 중 가장 비중이 높은 온실가스는 메탄과 아산화질소이며, 총 메탄 배출량 중 농업부문의 배출량은 66.37%, 총 아산화질소 배출량 중 농업부문의 배출량은 47.48%에 이르는 매우 높은 수준이다. LULUCF 는 81.4 백만 CO₂톤을 순 저감하고 있는데, 이는 일본의 온실가스 배출량의 약 6.30%를 흡수하고 있다는 것을 의미한다.
- 일본은 습하고 비가 많이 오는 여름기후로 인하여 벼농사가 오래전부터 자리잡아왔다. 논 재배가 발달하기 위해서는 관개개선 조치들이 선행되어야 하는데, 이 때문에 일본 전체 농업지역에서 관개 논이 차지하는 비율은 54.4%에 이르고 있다.

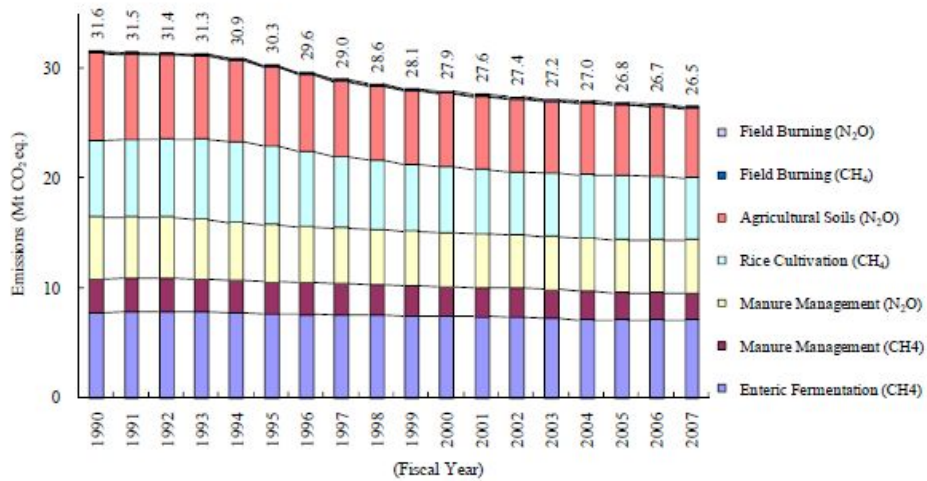
그림 6-7. 일본 경작지 면적의 변화



자료: The Government of Japan(2010)

- 그러나 일본은 국토의 61%에 이를 정도로 산지가 많고, 평야지역은 많지 않다. 따라서 농업을 위한 토지이용의 비율이 13%에 머물고 있으며, 농가당 경작지 면적은 1.6ha로 좁은 수준이다. 그런데 경작지 면적은 점차 줄어들고 있는 경향이다. 경작지 면적이 감소하면서 일본의 식량자급률 역시 큰 폭으로 낮아졌다. 1965-2007년 동안 식량 자급률은 칼로리를 기준으로 73%에서 40%로, 곡물기준으로 62%에서 28%로 하락하였다. 장기적인 원인으로서는 쌀 소비가 줄어들고 있으며, 육류 및 지방의 소비가 증가하는 식품기호의 변화를 꼽을 수 있다.
- 산림은 일본에서 공익적 편익을 제공하는 중요한 역할을 한다. 목재를 제공할 뿐만 아니라 산림활동을 통하여 국토 보전을 할 수 있다.
- 국유림과 사유림을 합하여 일본 국토의 약 70%인 2천5백만 ha가 산림지역이며, 구성비를 보면 국유림이 770만 ha로 약 30%, 사유림이 1740만 ha로 약 70%를 이루고 있다.
- 일본은 1950년대 초반부터 1970년대 초반까지 매년 30만 그루 이상의 나무를 심어왔는데, 많게는 40만 그루를 심었다. 1945년부터 1954년까지 10년 동안 산림이 두 배로 성장하였으며, 이에 따라 산림지역의 면적이 약 2천5백만 ha에 이르렀다.
- 2007년 기준으로 농업부문 온실가스가 2,655만 CO₂톤 배출되었다. 이는 1990년 기준으로 16.0%, 전년도 대비 0.6% 감소한 것이다.
- 농업부문에서 배출되는 온실가스를 상세히 살펴보면, 총 2655만 CO₂톤 가운데 7,121만 CO₂톤의 메탄이 가축 장내발효에서, 7,255만 CO₂톤이 부산물 관리에서, 5,654 CO₂톤이 벼 경작에서, 6,337만 CO₂톤이 농업토양에서 배출되었다. 이 밖에 농업 부산물의 소각에서도 179만 CO₂톤이 배출되었다.

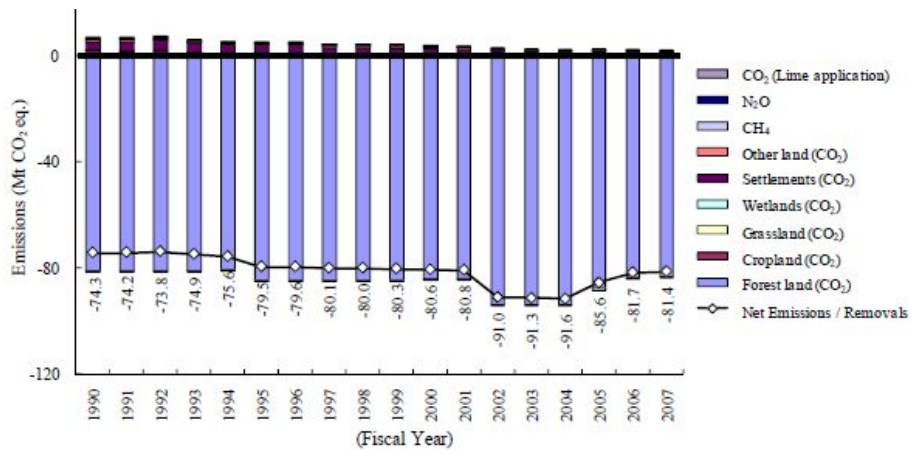
그림 6-8. 일본 농업부문의 온실가스 배출량 추세



자료: The Government of Japan(2010)

- LULUCF는 메탄과 아산화탄소를 포함한 온실가스를 상쇄시키는 효과를 발휘하고 있다. 2007년 기준으로 LULUCF의 온실가스 순제거량은 8,135만 CO₂톤으로 1990년 대비 9.5% 상승하였고, 전년도와 비교해서는 0.5% 감소하였다.

그림 6-9. 온실가스 배출량과 LULUCF로 인한 상쇄량



자료: The Government of Japan(2010)

2.2.2. 일본의 농업부문 기후변화 완화정책

가. 농업부문 완화정책

- 비료적용의 최적화 및 감소를 통해 친환경적인 농업으로의 전환을 촉진하고 있다. 먼저 농법전환과 관련하여 기존의 벧짚경운을 퇴비적용으로 전환함으로써 메탄 배출량을 줄일 수 있는데, 이를 촉진하기 위한 각종 지원을 하고 있다. 다음으로 화학비료 사용량 감소, 흩어 뿌림 활용, 천천히 녹는 비료 (slow release fertilizers) 사용으로 아산화질소 배출량을 줄일 수 있다. 기존의 비료표준을 검토하고 수정·보완하여 생산성을 향상시키면서 메탄 배출량을 줄이도록 할 계획이다.
- 토양에서 발생하는 온실가스를 통제할 수 있는 시스템 구축 프로젝트를 수행 중에 있다. 온실가스 통제 시스템 구축 프로젝트는 신기술적용, 온실가스 산정을 위한 기본데이터 수집으로 구분할 수 있다. 신기술적용과 관련하여 새롭게 개발된 메탄배출통제기술을 설치 및 시험 적용하는 농가에 대하여 정부가 지원하고 있고, IPCC 지침서에 기반을 둔 온실가스 계산을 위하여 기본 데이터 수집을 지원한다.
- 농림수산 분야에 따른 ‘CO₂ 표시하기’를 추진하고 있다. 농림수산업에서 사용하는 생산자원과 수입원자재 등과 관련된 온실가스 배출원 단위 등에 필요한 기초 데이터베이스 구축을 위하여 관련기술을 연구·개발 중에 있다. 궁극적으로는 CO₂ 표시를 통한 저탄소제품의 촉진을 목적으로 한다.
- 농촌지역은 산림을 통해 탄소를 저장하는 등 저탄소 사회 구축을 위한 중요한 역할을 하게 된다. 일본 정부는 수송부문에서의 에너지사용을 줄이기 위하여 ‘지역소비를 위한 지역생산’을 촉진하고 있다. 또한 산림자원의 개선과 사용, 농림수산업부문의 온실가스 저감을 촉진하고 있는데, 이러한 조치들

은 지역사회에 새로운 활력을 제공하고, 식량자급률을 높인다는 점에서 편익효과를 유발한다고 볼 수 있다.

- 교토의정서에 따른 온실가스 배출권 거래제를 추진하는 가운데, 새로운 배출저감 방법론의 검토·채택을 지원하고 크레딧을 창출하는 농업인(판매자)과 기업(구매자)을 연결시킴으로써 농민들에게 탄소저감 인센티브를 부여한다.
- 농림수산분야의 크레딧 제도에 대한 지역별 프로젝트 수는 총 204건이며, 그 중 東北이 38건, 中部가 42건, 九州가 36건을 차지하고 있다. 총 인증 국내 크레딧의 합계는 총 93,556톤에 이른다. 프로젝트의 건수가 많은 東北과 九州에서는 인증 크레딧량도 많지만, 中部는 예외적으로 적은 수준이다. 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%(42/204×100)를 차지하나 인증 크레딧량은 7.7%(7,214/93,556×100)에 불과하다<표 6-9>.

표 6-9. 농림 분야 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 藤川清史, 山岸尚之(2011).

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

다. 다음으로는 열펌프(heat pump)의 도입으로 48건이었다. 크레딧량에서는 바이오매스에 의한 연료대체가 전체의 약 90%를 차지할 정도로 압도적이고, 다음으로는 열펌프도입이 10%수준으로, 이들 2종이 대부분을 차지하고 있다<표 6-10>.

표 6-10. 농림 분야 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: 藤川清史, 山岸尙之(2011).

- 바이오매스와 열펌프 이외의 바이오 가스는 축산폐기물(소나 돼지의 대변)이 발효할 경우에 배출되는 메탄가스로, 이 프로젝트는 1건당 크레딧이 크며, 비교적 대규모 농장이나 복수농장이 공동으로 축산폐기물의 관리시설을 도입하고 있을 것으로 판단된다. 이는 메탄의 온난화계수가 21로 매우 크다는 것과 관련이 있다. 또, 2011년 8월에 재생가능에너지를 이용한 전력과 관련해서 그 전량을 고정가격으로 매입하는 제도를 도입하기로 결정하였다. 기존 제도는 「잉여전력」만의 매입을 대상으로 하였기 때문에, 이러한 제도의 변경은 재생가능에너지 이용을 위한 촉진제 역할을 할 것이다. 전량매입 제도는 금년 중 시행될 것으로 예상되며, 이에 따라 태양광발전에 의한 전력대체가 빠르게 진행되는 것으로 전망된다.
- 산림자원의 개선 및 사용과 관련하여 정부는 간벌(thinning)을 통한 산림개

선 계획을 수행하고 있다. 주택건설시 지역원료를 사용하는 것에서부터 미개발 바이오매스 자원으로부터 에너지를 생산하는 것까지 확장하고 있다.

- 농경지 토양의 온실가스 흡수원 기능 활용과 관련하여 탄소저장기능을 향상시키는 조치로 쫓겨름의 작부면적을 확대시키고, 논에 퇴비사용량을 증가할 수 있다. 또한 배출량검증을 위한 모델을 검토 중에 있다.

그림 6-10. 온실가스 완화에 효과적인 지원 대상 영농활동

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

자료: 日本農林水産省(2011).

- 일본 정부는 농업분야가 지구온난화 방지와 생물다양성 보전에 적극적으로 기여하기 위해 2011년부터 환경보전 효과가 높은 영농활동에 대한 메뉴방식의 저탄소 직접지불제도(환경보전형농업 직접지원 교부금)를 추진하였는데, 주요 내용은 다음과 같다.
 - 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)

나. 농업관련 에너지부문 완화정책

- 일본정부는 농장의 에너지 효율을 높이고, 신재생에너지를 사용하도록 권장하고 있다.
 - 예를 들면, 오일절약/오일프리 온실원예를 위한 촉진정책이 있다. 오일절약/오일프리 온실원예 촉진정책은 목질계 바이오매스를 활용하는 열 시스템과 오일프리 원예시스템을 도입하도록 장려하고 있으며, 에너지 효율성 등급 시스템을 고려하고 있다.
 - 국내 가축부산물에서 발생한 메탄을 원예하우스에서 활용하는 것을 지원하며, 온실가스 배출량이 적은 저탄소 농기계의 이용도 권장하고 있고, 농기계용 바이오디젤 활용을 위한 ‘지역소비를 위한 지역생산’ 모델 개발을 시도하고 있다.

- 일본정부는 제재소(lumber mills) 및 기타 시설에서의 목질계 바이오매스를 활용한 시설을 설치함으로써 에너지 보전을 촉진하고 있다. 이 밖에 LED와 같은 새로운 에너지 절약 기술을 도입을 권장하고 있다.
- 바이오매스와 관련하여 2010년까지 300개의 바이오매스 타운 건립을 목표로 하고 있는데, 이를 통하여 바이오연료 생산을 위한 조치들을 도입하게 될 것이다. 바이오연료 생산은 식량생산과 경쟁관계에 있는 것이 아니라는 인식하에 벼짚이나 폐목재로부터 에탄올을 생산하고 이를 수송부문으로 확장하여 사용하는 계획을 포함하고 있다.
- ‘지역소비를 위한 지역생산’과 관련하여 학교급식에 지역에서 생산된 농수산물을 주로 공급하고 지역생산물 직판장을 설치하는 계획을 추진하고 있다. 또한 폐식용유를 활용하여 바이오연료를 생산하는 것도 포함하고 있다.

2.2.3. 일본의 농업부문 기후변화 취약성과 적응정책

- 기후변화가 일본 농업에 위협요인으로 작용하는 바를 살펴보면, 우선 쌀의 품질이 심각하게 저하될 것으로 전망된다.
 - 수도작(wet-rice cultivation)의 경우 큰 충격을 받을 수 있으며, 수도작의 충격은 평균 쌀 수확량에 큰 영향을 미치게 된다. 높은 기온은 과채류의 주산지 이동, 보리·콩의 수확량 감소를 유발하고, 병해충 또한 증가시키기 때문에 이를 방지하기 하기 위한 별도의 조치가 요구된다. 강설 및 해빙기간의 변화로 인한 벼 파종시기 조절이 필요하고, 이 밖에 해풍을 동반한 태풍의 강도와 빈도가 커지므로 대비가 필요하다.
- 생산지역의 특성을 고려한 기후변화 적응기술의 개발이 우선시 되어야 하며, 다음과 같은 내용이 포함할 수 있다.
 - 고온장애를 극복할 수 있도록 재배작물과 재배기술을 다양화하고, 파종방법

을 개선하는 기술개발이 필요하다.

- 온난화에 적응된 다양한 작물이 재배되고 있고, 토양개선을 위한 관리방법도 연구 중에 있다. 이를 통하여 물 수요의 변화에 유연하게 대응할 수 있으며, 재배기간을 변동할 수 있다.
 - 농업부문의 위험에 대응할 수 있는 기술이 필요하다. 기후변화로 가뭄이나 홍수 등의 재해가 증가하고 있으므로 이로 인한 피해를 방지·최소화하기 위한 기술이 개발 중에 있다.
 - 새로운 병해충의 등장을 예측하고 방지할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 이러한 기술로 농림수산부문의 적응을 도울 수 있다.
 - 지구온난화의 중장기적인 영향과 범위에 대한 끊임없는 논의가 필요하다. 생산지역의 변화는 의사결정의 지표역할을 하므로, 농림수산 생태계의 관점이 반영되어야 한다.
- 농업부문 지구온난화 적응조치를 촉진하기 위하여 각종 연구개발이 이루어지고 있다.
- 2007년 6월 각 부문별로 개발된 지구온난화에 대한 적응조치 보고서를 발간하였으며, 이 보고서는 새롭게 개발된 적응기술 외에 기술전망 등을 소개하고 있다.
 - 2009년 9월 2008 지구온난화의 영향 조사보고서를 발간하였는데, 조사보고서는 2006년 이후 2년마다 발간되는 보고서로 적응조치의 영향을 조사하였다. 또한 지구온난화로 인한 고온장애를 회피할 수 있는 농업생산기술의 검증과 보급을 촉진하고 있다.

표 6-11. 일본의 농업부문 기후변화 대응 정책사업(2011년)

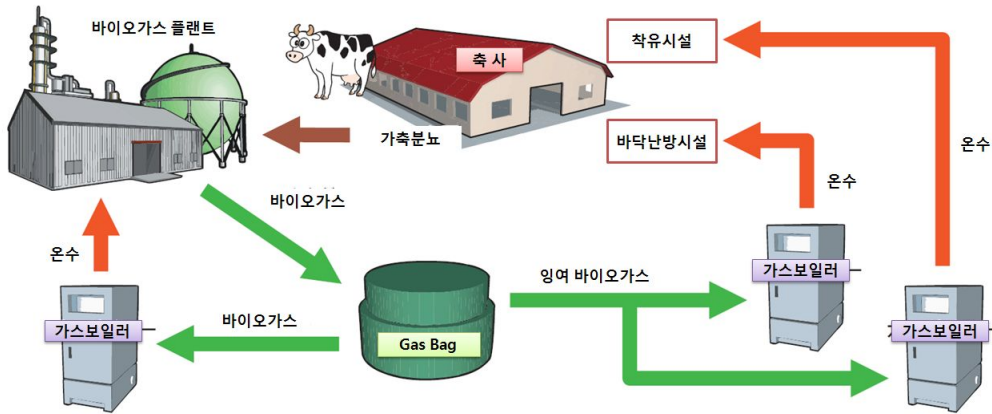
정책사업명	예산액 (백만엔)	주요 사업내용
기후변화 완화 정책	환경보전형농업 직접지원대책	4,807 <ul style="list-style-type: none"> 지구온난화방지와 생물다양성보존에 효과가 높은 영농활동을 실시하는 농업자에게 직접 지원 환경보전형 농업활동(피복작물, 겨울철 담수관리, 유기농법, 초생밀칭 등)을 실천하는 농업인 등에 대한 직접적인 지원(4,000엔/10a)
	농업생산의 지구 온난화 대책	<ul style="list-style-type: none"> 정부의 온실가스 감축목표 달성 기여
	-생산환경 종합대책사업	607 <ul style="list-style-type: none"> 토양의 탄소흡수기능 활용 토양의 탄소저감량 측정, 녹비작물 등 영농활동의 탄소저류량과 비용 등 조사
	-농림수산분야 배출량거래 추진사업	30 <ul style="list-style-type: none"> 농업부문 온실가스 배출권거래제 참가 온실가스 감축, 흡수 등 크레딧 창출농업인 지원
	-강한농업 만들기 교부금	3,138 <ul style="list-style-type: none"> 지구온난화대책에 필요한 시설 지원 논의 벚짖 활용 메탄발생 억제, 농경지 탄소저장 촉진 유기물공급시설, 농작물 고온장해 회피시설 지원 등
	-농축산업 기계임대 지원사업	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
적응 정책	지구온난화 적응책	33 <ul style="list-style-type: none"> 전문가로 구성된 지원팀을 통한 적응대책 등 컨설팅지원

표 6-12. 일본 농림수산성의 부문별 온실가스 감축량 추정

분야	감축량 (CO ₂ 톤)	주요내용
농식품	630만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농업분야 <ul style="list-style-type: none"> - 질소시용량 10~20% 감축: 약 35~71만CO₂톤 - 퇴적발효 낙농가의 50% 강제 발효로 전환: 약 77만 CO₂톤 - 가온하우스 60% 히트펌프 및 다층피복 도입: 약 165만 CO₂톤
임업·목재산업	70만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목재가공시설 등의 중유보일러 연료를 간벌재 톱 등 175만m³로 대체: 약 70만 CO₂톤
수산업	17만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 에너지절약 어선으로 전환 및 오징어낚시어선 15,000척의 집어등 LED화: 약 17만 CO₂톤
식품산업	82만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중규모 식품제조사업소의 고효율보일러 갱신: 약 82만CO₂톤
임업·농지토양 흡수	4,140만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산림 흡수원: 약 3,700만 CO₂톤 ▪ 벌채목재제품: 약 61만 CO₂톤 ▪ 녹비와 퇴비사용 배증, 경축연계 자원순환농업 등: 약 380만 CO₂톤
목재이용 에너지 절약	640만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목재이용: 약 640만 CO₂톤
바이오매스, 재생에너지 활용	3,190만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농산어촌주택 태양광 판 설치: 약 1,332만 CO₂톤 ▪ 농산어촌지역 풍력발전설치: 약 622만 CO₂톤 ▪ 농산어촌지역 수력 활용 발전설비 정비: 약 594만 CO₂톤

자료: 日本農林水産省(2011).

<일본의 잉여 바이오가스 보일러 시스템 활용사례>



● 설비개요

- 가스보일러: 2대
- 가스배관: 1세트
- 낙농시설용 바닥난방: 1세트
- 제습장치: 1대

● 바이오가스 플랜트

- 원료가 되는 가축분뇨 등의 유기성 폐기물을 공기와 접촉하지 않은 상태, 즉 혐기 상태로 두고 열을 가하여 메탄발효에 의해 바이오가스를 발생시키는 플랜트.

● 잉여바이오가스의 발생

- 발전기를 설치하지 않은 일반적인 개별형 플랜트에서는 발생한 전체 바이오가스의 약 2/3 정도가 잉여바이오가스로 폐기처분되고 있음. 이 목장에서는 1일 약 270m³의 잉여바이오가스가 발생함.

● 잉여 바이오가스 보일러 시스템의 활용

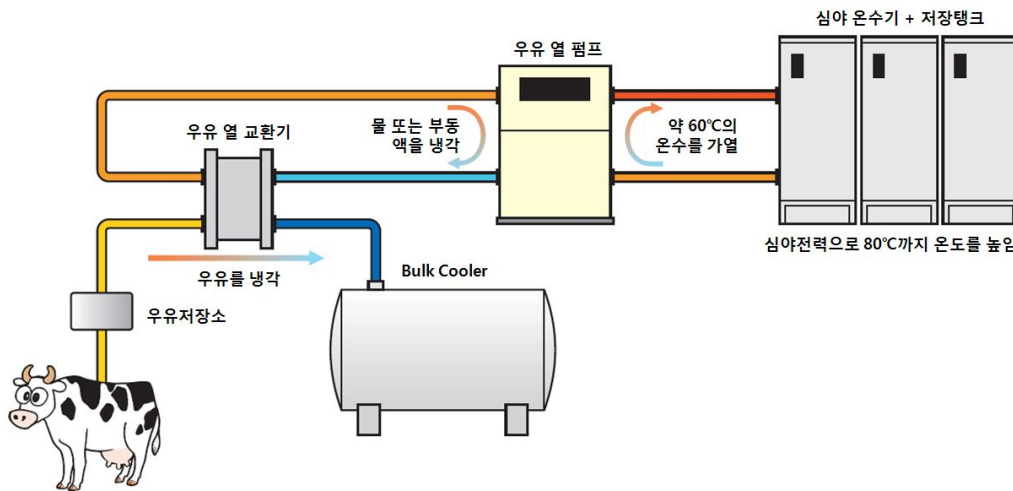
- 개별 낙농가의 바이오가스 플랜트에서 발생한 바이오가스는 발효통에 열을 가하기 위한 에너지로 사용됨.
- 다량의 잉여 바이오가스가 발생하기 때문에 가스보일러 확충하고 시설에서 사용하는 온수나 바닥 난방에 이용함으로써 에너지를 저감하고 있음.
- 연간 원유를 기준으로 에너지 투입을 44KL 줄일 수 있으며, CO₂ 배출량은 연간 120t CO₂ eq 저감할 수 있음.

● 온실가스 감축효과

구 분	기존시스템(A)	신 시스템(B)	비용절약(A-B)
유지비	3,400,000	0	3,400,000
중유요금	3,400,000	0	3,400,000
전기요금	0	0	0
기본건설비	0	20,800,000	-
투자회수기간	6.1년	6.1년(4.1년)	-

주: 기본건설비의 1/3을 보조금으로 지급할 경우 투자회수기간은 4.1년으로 단축가능

<일본의 열 펌프 도입을 통한 열원기기의 갱신 시스템 활용사례>



● 설비개요

- 시설용도 : 축사 내 세정용 온수 공급
- 에너지 회수 시스템 : 열 펌프
- 열교환기 : 플레이트 세트 1대
- 탱크 : Cushion 탱크 1대, 저장 탱크 2대

● 열 펌프 도입을 통한 열원기기의 갱신 시스템의 활용

- 물로 우유를 식혀서 Bulk Cooler에 보관하던 기존 시스템에서 착유에서 열 교환기로 열을 제거하여 우유의 냉각과 착유기계의 세정 등 온수를 만드는 열 펌프 시스템으로 변환하였음.
- 우유를 냉각하는 것으로 착유를 보관하는 냉장고 기능을 하는 Bulk Cooler의 경비부담을 줄이고, 기존의 냉각수와 등유 사용을 크게 줄였음.
- 연간 가구당 4.1KL의 원유를 절약할 수 있으며, CO₂ 배출량은 연간 7.6t을 저감할 수 있음. 50가구를 기준으로 하면 원유 205KL의 원유를 절약과 CO₂ 배출량 380t CO₂ eq를 저감하는 효과를 달성할 수 있음.

● 온실가스 감축효과

구 분	기존시스템(A)	신 시스템(B)	비용절약(A-B)
유지비	864,000	265,000	-5,990,000
수도요금	421,000	0	-421,000
등유요금	443,000	0	-443,000
전기요금	0	265,000	265,000
기본건설비	0	4,000,000	
투자회수기간	6.7년	6.7년(4.5년)	

주: 기본건설비의 1/3을 보조금으로 지급할 경우 투자회수기간은 4.5년으로 단축가능

<일본의 장미농장의 배출권거래제 활용 사례>

- 사업 추진배경
 - 일본 오이타현(大分縣)의 유한회사 메루헨로즈(2009년 기준 직원 14명, 자본금 2,200만 엔)는 장미 생산기업으로 일본에서 배출권거래제 활용 성공사례로 제시되고 있음.
 - 이 회사는 연료가격 상승에 따른 비용부담을 해소하고, 환경친화적 장미재배를 통해 CO₂ 배출량저감 운동에 동참하기 위해 온실난방용 중유 보일러를 열펌프(heat pump)로 대체함.
 - 이 과정에서 열펌프의 제안이나 제조업에 대한 소개는 동경 소재 쇼코통상(昭光通商) 주식회사(2009년 기준 직원 430명, 자본금 80억 2,179 만 엔)로써 현재 국내크레딧 인증사업의 공동실시자로 참여하고 있음. 쇼코통상은 국내크레딧 인증사업의 공동참여를 통해 2009년에 176톤의 CO₂ 배출권을 취득하였는데, 이것이 농업 분야에서 CO₂배출감축 실적에 대해 처음으로 인증된 것임.
- 사업 성과
 - 2008년 국내크레딧 인증을 신청한 이후 현재 열펌프의 도입으로 도입 2차년인 2009년에는 도입 이전인 2002년도에 비해 연간 약 60%의 CO₂ 배출량을 감축함.
 - 사업 1차년인 2008. 12. 3~2009. 3. 31 기간에 176tCO₂, 2차년인 2009. 4. 1~2010. 2. 28 기간에는 559CO₂톤을 감축한 것으로 조사됨.

표 6-13. 메루헨로즈사의 배출량 저감 계획

	기준배출량 (CO ₂ 톤/년)	사업실시후배출량 (CO ₂ 톤/년)	배출량감축 (CO ₂ 톤/년)
2008 ¹⁾	332	137	195
2009	986	409	577
2010	986	409	577
2011	986	409	577
2012	986	409	577
계	4,276	1,773	2,503

주: 1) 2008년은 가동일수 123일 기준임.
자료: 일본농림수산성(2011).

- 국내크레딧 인증기간 및 감축계획
 - 인증기간: 2008.12.3 ~2013.3.31
 - 배출량감축계획: 577tCO₂/년
- 사업자 및 사업소
 - 배출감축사업자: 유한회사 메루헨로즈
 - 배출감축 공동실시자: 쇼코통상주식회사



昭光通商株式会社 SHOKO Co., Ltd.

<일본의 멜론농장의 배출권거래제 활용 사례>

● 사업 추진배경

- 시즈오카(静岡)현 후쿠로이(袋井)시 온실 멜론 생산자 5명(크라운 멜론: 조합원 총수 약 300명)이 2008년에 목질 펠릿 보일러를 도입, 저탄소형 농업에 착수함.
- 맛있는 멜론을 재배하기 위해서는 동절기 가온 온도 22~25℃가 필요함. 이를 위해 연간 A종유 사용량은 생산자 1호(戶)당 약 60~80㎏정도가 되어 에너지 전환으로의 신속한 대책이 필요한 상황임.
- 2008년 CO₂ 감축사업이 필요하다고 느끼는 온실 멜론 생산자 5명이 목질 펠릿 보일러를 도입하고 연료를 카본 뉴트럴(이산화탄소 배출량 제로) 목질 펠릿으로 전환하여 화석연료에 의존하지 않는 멜론재배 농장을 경영함.
- 목재 펠릿 연료를 활용한 이산화탄소 감축을 실현하기 위해 시즈오카 산림에너지연구소, 지역상공회의소, (주)마루분 제작소와 원주 목질연료이용조합 등이 출자자로 참여함. 유한책임 사업조합 덴류 목질바이오사업조합(2008년 7월 설립)은 목질계 바이오매스 자원을 활용한 사업화와 시장화를 위한 컨설턴트 사업을 추진하고 있음.
- 일본정부는 시설원에 에너지절감 기술인급도입 추진사업을 추진하여 온실가스 배출량 감축에 기여하는 목질계 바이오매스활용 설비와 히트펌프 등에 대해 설비비의 1/2 이내의 보조금을 지급함.

● 사업 성과

- 원주(遠州) 목질 연료 이용 조합의 연간 펠릿 사용량은 약 665t이며, 국내 크레딧 제도에 의해 SONY와 계약을 체결하여 연간 1,382tCO₂를 거래함.
- 생산된 멜론은 '에코 멜론'으로 환경친화적인 멜론으로 시장에서 주목을 받고 있음.

● 국내크레딧 인증기간 및 감축계획

- 인증기간: 2008.12.3~2013.3.31
- 배출량감축계획: 1,382tCO₂/년

● 사업자 및 사업소

- 배출감축사업자: 크라운멜론조합
- 배출감축 공동실시자: 원주목질이용조합



2.3. 영국

2.3.1. 영국의 농업환경

- 영국의 농지면적은 2008년 기준으로 약 1,870만 ha이며, 경종 610만 ha, 초지 1,040만 ha로 이루어져 있다. 나머지는 길이나 건축물, 농장 산림지대이다.
- 영국의 지역별로 농지의 비율은 상당한 차이가 있다. 스코틀랜드는 농지의 84%가 소외지역(less favoured area)에 있으며, 권역별 농지비율은 북아일랜드는 70%, 웨일즈는 75%, 잉글랜드는 17% 수준이다. 영국은 2008년 기준으로 총 215백만 마리의 가축을 사육하였다. 품종별로 살펴보면, 소 1,010만 마리, 양 3,310만 마리, 돼지 470만 마리, 가금류 1억 5,420만 마리였다.
- 2000년 EU는 공동농업정책(Common Agricultural Policy)을 개정하면서 친환경적인 농촌개발을 위한 생산지원을 강조하는 한편 통합된 EU 농촌개발 정책(Rural Development Policy)을 제시하였다.
- 영국의 산림지역은 총 280만 ha으로, 스코틀랜드 47%, 잉글랜드 40%, 웨일즈 10%, 북아일랜드 3%로 구성되어 있다. 품목별로 보면, 침엽수가 160만 ha이고, 나머지는 활엽수 종이다. 2007-2008년도에 새롭게 계획한 조림사업 가운데 89%는 활엽수이다.
- 영국 산림표준(2004)은 지속가능한 관리에 대한 기준 및 표준을 제공하고 있다. 영국 총 삼림지대의 45%가 영국 삼림지대인증을 받았고, 인증 받은 산림은 소비자에게 지속가능한 자원으로 인식된다.
- 영국의 농업부문에서 배출되는 온실가스 역시 주로 메탄과 아산화질소이다. 메탄은 1990년 기준으로 1억 450만 CO₂톤을 배출하였는데, 이는 영국 온실

가스 배출량의 13%로 이산화탄소 다음으로 많은 비중을 차지하는 양이다. 2007년 메탄배출량은 4,800 CO₂톤으로 53% 감축하였으며, 연간 영국 총 온실가스 배출량의 8% 수준이 되었다. 메탄의 주요 배출원으로는 농업부문의 매립 폐기물 혐기성 비하(anaerobic degradation) 장내발효, 폐기물 관리이며, 수송부문과 탄광의 천연가스 누출 등이 있을 수 있다. 아산화질소는 1990년 기준으로 6,460만 CO₂톤 배출되어 영국 총 온실가스 배출량의 8% 수준이었다. 2007년에는 3,430만 CO₂톤, 5% 수준으로 크게 감소하였다. 아산화질소의 주요 배출원으로는 농업토양과 산업공정 등이 있다.

표 6-14. 농업부문의 온실가스 배출량(UNFCCC 범위)

단위: MtCO₂

구 분	1990	1995	2000	2005	2006	2010	2015	2020
CO ₂	8.8	8.2	7.3	7.2	7.1	6.7	6.8	6.6
CH ₄	21.8	21.1	20.2	18.4	18.7	18.1	17.9	17.8
NO ₂	32.8	31.3	29.6	27.1	25.9	26.1	26.7	26.5
총 온실가스 배출량	63.4	60.6	57.0	52.8	51.6	51.0	51.3	50.8
1990년 대비 변화 수준	-	-4.4	-10.1	-16.7	-18.5	-19.6	-19.0	-19.8

주: 변화수준은 %이며, 배출량 추정은 범위설정으로 인해 다소 차이가 있을 수 있음.
 자료: U.K. Department of Energy and Climate Change(2009)

표 6-15. 영국의 배출원별 온실가스 배출량

단위: MtCO₂

부 문	1990	1995	2000	2005	2006	2010	2015	2020
에너지 공급	273.0	231.4	216.2	229.2	231.8	197.5	199.0	180.7
비즈니스	115.5	107.6	111.0	102.0	100.4	92.0	92.1	91.6
산업공정	54.4	44.8	24.4	17.6	17.1	15.2	15.4	15.4
교통	124.4	125.1	131.3	137.5	139.3	134.4	137.8	138.0
주거	81.5	82.6	90.0	87.9	84.5	81.5	71.3	63.3
공공부문	13.6	13.2	11.7	11.0	10.5	10.4	10.3	10.3
농업	59.5	57.4	54.3	49.9	48.8	48.7	49.1	48.8
LULUCF	2.9	1.2	-0.4	-2.1	-2.0	-1.4	0.8	2.7
폐기물 관리	52.9	46.9	33.5	22.0	21.4	20.5	19.7	19.7
총 순 온실가스 배출량	773.5	710.2	671.9	655.2	652.3	599.6	596.3	570.5

주: 변화수준은 %이며, 배출량 추정은 범위설정으로 인해 다소 차이가 있을 수 있음.
 자료: U.K. Department of Energy and Climate Change(2009)

2.3.2. 영국의 완화정책

가. 농업부문 완화정책

1) 지방정부의 완화정책

- 영국의 각 지방정부는 농업·산림·토지관리 부문의 온실가스 감축과 관련하여 정책 프레임워크를 개발하고 있다.
- 잉글랜드 정부는 높은 지위의 농촌기후변화포럼(Rural Climate Change Forum, RCCF)을 조직하여 농촌부문과 관련된 잉글랜드의 주요기관들과 함께 일하고 있다. 이 포럼은 농민, 토지관리인 등에게 기후변화에 대한 인지도를 높이는 것을 목적으로 하며, 농촌기후변화정책과 관련하여 정부에 자문함으로써 실질적인 정책이 되도록 하고 있다. 즉, 농촌기후변화포럼의 업무는 정부의 농업과 기후변화의 중심에 있는 것이라 볼 수 있다. 이 밖에 잉글랜드 정부는 농업과 기후변화에 관한 연구를 포함하여 농식품 과학 프로그램(Farming and Food Science Programme)을 강력히 지원하였다.
- 스코틀랜드 정부는 토지이용이 온실가스와 온실가스 저감, 기후변화 적응에 미치는 영향에 대한 다양한 연구를 지원하고 있다. 예를 들면, 생물다양성, 물, 토양, 생태계 기능, 농업시스템의 적응, 토지이용성의 변화, 바이오매스에너지 작물의 비용·편익, 탄소고정 관련 산림의 역할, 저탄소경제를 향한 소비자 수요의 변화 등이 있다. 2008년 5월 스코틀랜드 정부는 Graham 보고서(Graham Report)를 발간하였다. 이 보고서는 농업과 기후변화와 관련된 주요 이슈를 제시하고, 온실가스 저감을 위하여 농민들이 할 수 있는 실질적인 조치에 초점을 맞추고 있다.
- 웨일즈 의회는 ‘지속가능한 농업과 환경(Sustainable Farming and Environment - Action towards 2020)’ 이라는 보고서를 통과시켰다. 이 보고서는 2020년까

지 농업부분의 탄소중립을 달성하기 위한 행동들이 포함되어 있다. 웨일즈 의회는 캄브리지 산 계획(the Cambrian Mountains Initiative)을 통하여 농촌위원회(Countryside Council for Wales), 환경청(Environmental Agency Wales), 산림위원회(Forestry Commission)와 합동작업을 하고 있다. 캄브리지 산 계획은 생태계 서비스를 통하여 토양탄소를 보존하고, 배출량을 저감하며, 기후변화에 적응하는 방법을 포함하고 있다. 뿐만 아니라 웨일즈 의회는 새로운 기후변화연계농업 테마(Farming Connect Climate Change theme)하에서 양분 및 자원 관리를 촉진하고 있다. 이는 우수농산물인증제도 시행령(Good Agricultural Practice, COGAP)과 같은 맥락으로 축산, 경종, 원예부문의 온실가스 배출량을 완화하기 위하여 기술적 효율성을 촉진하는 방법을 개발하고 있으며 새로운 농업환경 모니터링 계약을 일부로써 농민들이 탄소회계방법을 사용하도록 권장하고 있다.

- 북아일랜드 정부는 북아일랜드 농촌개발 프로그램(Northern Ireland Rural Development Programme)을 통하여 다양한 농업환경계획을 구성하고 있다. 농촌개발 프로그램은 농촌경영계획(Countryside Management Scheme), 환경적으로 민감한 지역계획(Environmentally Sensitive Area Scheme), 유기농업 계획(Organic Farming Scheme) 등을 포함한다.

2) EU 공동농업정책(Common Agricultural Policy) 하의 완화정책

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

3) 농업부분의 아산화질소 및 메탄 저감정책

- 비료로 사용하는 무기질소는 아산화질소 배출의 주요 원인으로 부산물을 저

장하는 동안 많이 발생한다. 따라서 양분사용의 부정적인 영향을 최소화하는 농법이 필요하다. 영국 정부는 양분관리계획 및 비료와 부산물의 효율적인 사용과 관련된 권고사항들을 보완하는 작업을 진행 중에 있다. 농민, 재배자, 토지 관리자를 위한 우수농산물인증제도 시행령(Code of Good Agricultural Practice)은 자연자원을 보호하면서 경제적인 농업이 되게 하는 한편, 동시에 오염의 위험을 줄일 수 있다. 이를 위하여 정부는 농장의 양분관리를 향상시키기 위하여 비료사용 매뉴얼을 최신화하고 있다.

- 다양한 요인과 생물학적 과정의 변화로 인해 메탄이 배출된다. 영국정부는 농업부문에서 배출되는 메탄을 줄이기 위한 연구 과제를 수행하고 있다. 예를 들면, 축산부문의 장내메탄과 질소배출량을 줄이기 위한 반추가축영양(ruminant nutrition regimes)에 대한 연구, 젓소의 생산성을 향상시키기 위한 연구 등이 있다.

4) 농촌개발규정과 환경의무

- 환경의무(Environmental Stewardship)의 EU 농촌개발규정 2007-2013(Rural Development Regulation 2007-2013)에서 기후변화는 중요한 요소로 다루어진다. 이에 따라 스코틀랜드, 웨일즈, 북아일랜드, 잉글랜드의 농촌개발프로그램(Rural Development Programmes)이 시행되고 있으며, 특히 웨일즈 의회 정부는 최근 Axis II 농업환경 프로그램(Axis II agri-environment programmes)을 진단하고 있다. 진단은 탄소저장구축에 초점을 맞추어 방안을 제시하고 있는데, 비생산적이며, 종이 다양하지 못한 한계초지의 반자연/습지서식지 복원, 고지대 대규모 유기토양의 습윤화등이 있다.

나. 농업관련 에너지부문 완화정책

1) 혐기성 소화 촉진 정책

- 영국 정부는 기후변화와 환경적 목적에 있어서 혐기성소화(Anaerobic

Digestion)의 가능성에 많은 관심을 가지고 있다. 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 발표하였다. 이러한 전략들은 혐기성소화 관련 시장을 촉진되고 발전시키기 위하여 실시된다.

- 2009년 영국정부는 “Anaerobic Digestion: Shared Goals”를 발간하였다. 이 문서는 산업계, 규제담당자, 정부 등 이해당사자들이 혐기성소화의 비용효과적이고 혁신적이며 경제적으로 사용하는 것에 대하여 공유된 목표를 제시하고 있다. 영국정부는 이들 이해당사자들과 함께 실행계획을 수립하고 있으며, 이를 통하여 개별적으로나 전체적으로 목표달성을 위한 실질적인 조치가 될 것이다.
- 영국정부는 2009년 4월 음식물 쓰레기처리 인프라 구축을 위해 추가적인 1천만 파운드의 예산을 투입하였다. 영국 환경식품농촌부(Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra)는 음식물쓰레기 재처리 시설의 개발을 위한 840만 파운드를 투입하도록 하였으며, 이는 기존의 유기자본프로그램(Organics Capital Programme) 하에 있는 폐기물 및 자원 행동프로그램(the Waste & Resources Action Programme, WRAP) 예산으로 집행된다.

2) 에너지 효율성 향상

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

3) 비식용작물 생산

- 영국 바이오매스전략(UK Biomass Strategy)은 바이오매스 공급과 사용의 확대를 목표로 하며, 경쟁력 있고 지속가능한 시장과 공급사슬의 개발을 추구

하고 있다. 에너지, 수송, 산업에 대한 바이오매스 관련 정책이 도입되고 있으며, 이러한 맥락에서 비식용작물전략 행동계획(Non-Food Crops Strategy Action Plan)이 재조명받고 있다. 에너지작물을 포함한 바이오매스의 생산은 다양한 지원계획을 통하여 장려되고 있다.

- 예를 들면, 잉글랜드의 에너지작물계획(Energy Crops Scheme)은 농민들에게 보조금을 지급하고 있다. 또한 바이오에너지 인프라계획(Bio-energy Infrastructure Scheme)은 바이오매스의 수확·처리·공급을 담당하는 농민, 산림업자, 사업자에게 보조금을 지급하고 있다.
- 스코틀랜드는 산림자원이 풍부한 점을 활용하여 바이오에너지의 사용을 촉진하고 있다. 스코틀랜드 정부는 산림연료 전담반(Wood fuel Task force)을 설치하여 이와 관련된 정책을 담당하게 하고 있을 뿐만 아니라 또한 바이오매스 보일러의 공급사슬 개발과 설치를 지원하기 위하여 다양한 금융적 지원도 병행하고 있다.

다. 산림부문 완화정책

- 산림조성과 관련해서는 기본적으로 EU 농촌개발프로그램을 통하여 공동 금융 지원을 하고 있으며, 지방정부가 개별적으로 추진하고 있는 정책들도 있다.
- 잉글랜드, 스코틀랜드, 웨일즈는 재생에너지 생산을 위해 산림연료전략(Woodfuel Strategies)을 수립하여 시행 중에 있다. 더욱이 산림조성과 탄소고정을 촉진하기 위해 보조금과 민간 금융지원을 지급되고 있다.
 - 민간금융지원은 영국 산림탄소관리 계획(UK-based forest carbon management schemes) 하의 우수농법 시행령(Code of Good Practice)을 통하여 지급되고 있다.
 - 스코틀랜드는 기후변화 행동계획을 산림전략(Forestry Strategy)과 연결하여 산림조성 수준을 높임으로써 기후변화 완화정책을 추진하고 있다.

2.3.3. 영국의 적응정책

가. 농업부문의 영향과 적응정책

- 기후변화로 인해 작물 재배기간이 길어져 잠재적인 수확량이 증가할 것으로 전망된다. 또한 생물다양성의 변화, 토양습도의 저하, 풍수침식의 강화, 토양 유기물의 누출이 일어나고, 새로운 병충해의 등장으로 작물 및 가축의 피해가 증대될 수 있다.
- 환경식품농촌부(Defra)는 영국 생물다양성 협약의 일환으로 생물다양성보존에 관한 지침서를 발간하였다. 지침서는 기후변화 적응을 위한 기존의 계획과 사업들을 기초로 적응방법을 제시하고 있다.
- Defra는 Farming Futures에 자금을 지원하여 기후변화적응에 대한 교육과 실질적인 자문을 하도록 하고 있다. 이 밖에 Defra는 농촌부문과 관련된 주요기관들과 함께 농촌기후변화포럼(Rural Climate Change Forum)을 설치하여 기후변화에 대한 인지도를 향상시키기 위해 노력하고 있다. 또한 기후변화 관련 협력, 농촌기후변화 정책과 연구 우선순위에 대한 자문 등을 수행케 한다.

나. 산림부문 적응정책

- 영국 국내 산림정책은 지방정부에게 이양되었고, 연방정부의 산림위원회(Forestry Commission)는 연구 및 국제 정책 분야를 담당하고 있다. 산림위원회는 산림연구기관(Forest research agency)을 통하여 포괄적으로 기후변화 연구 프로그램을 운영하고 있다.
- 영국 산림위원회는 다음과 같은 적응방안을 제시하였다.
 - 기후변화에 대한 나무, 목재, 산림의 복원력 개선
 - 기후변화에 대한 농촌경관의 적응에 있어서 나무와 삼림지대의 역할 증대

- 도시에 미치는 기후변화의 영향을 최소화하기 위하여 가로수 및 도시삼림지역의 역할 향상
 - 기후변화 이슈와 기후변화로 인한 행동의 변화에 대한 이해도 제고를 위하여 나무, 목재, 삼림을 활용
- 스코틀랜드 산림전략(Scottish Forestry Strategy, 2006)은 기후변화를 7가지 주요 테마로 정의하고, 생태적·경제적·사회적으로 스코틀랜드 산림부문의 적응을 높이기 위한 세 가지 행동을 제시하였다.
- 산림생태계에 대한 기후변화의 영향과 관련하여 이해도를 향상시키고, 예방적인 조치를 이행
 - 예방적 조치를 유지하고 병해충 등의 각종 위험을 꾸준히 대비
 - 지속가능한 홍수 및 저수지 관리, 토양보호를 포함한 환경보호에 있어서 산림의 역할 증대
- 스코틀랜드 산림위원회는 기후변화 적응을 위해 조기행동의 중요성에 초점을 맞추었는데, 먼저 기후변화의 미래위험을 최소화시키는 방법으로 산림 및 산림지대의 관리하는 것을 중요시 한다.
- 예를 들어, 산림서식지의 네트워크를 창출하고, 다양한 목재의 사용하는 것을 권장한다. 다음으로 경사지의 불안정성 해결, 강기슭 침식방지, 자연홍수관리, 도시지역에서의 나무 및 목재의 기여 증대 등 환경보호사업의 지원한다.

<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, 국가토지사업연합, 환경청, 산림위원회, 카본트러스트, 전국농민연합, 내셔널트러스트, 내셔널 잉글랜드, 왕실조류보호협회, 토양협회, 지속가능발전위원회 등이 참여함.
 - 포럼의 의장은 북아일랜드 출신의 지속가능발전위원회 소속, John Gilliland
 - ▶ 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

2.4. 독일

2.4.1. 독일의 농업·산림환경

- 독일 농업부문의 온실가스는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소로 구성된다. 농업부문의 온실가스 배출량 경향을 보면, 생산량과 밀접하게 연관되어 있음을 볼 수 있다. 2005년 농업 및 농업토지이용에서의 배출량은 1억 4백만 CO₂ 톤이었다. 이 중 농장 및 초지에서 4,162만 CO₂톤, 비료사용 2천7백만 CO₂톤, 가축장내발효 1천7백만 CO₂톤이 배출되었다.
- 독일은 식품수요가 감소함에 따라 농업생산이 줄어들면서 온실가스도 줄어들 가능성이 있다. 하지만 전세계적으로 인구가 빠르게 증가하고 식량생산이 늘어나므로 농업부문 온실가스 배출량도 늘어나게 되었다.

표 6-16. 1990년 이후 독일의 온실가스 배출량의 경향

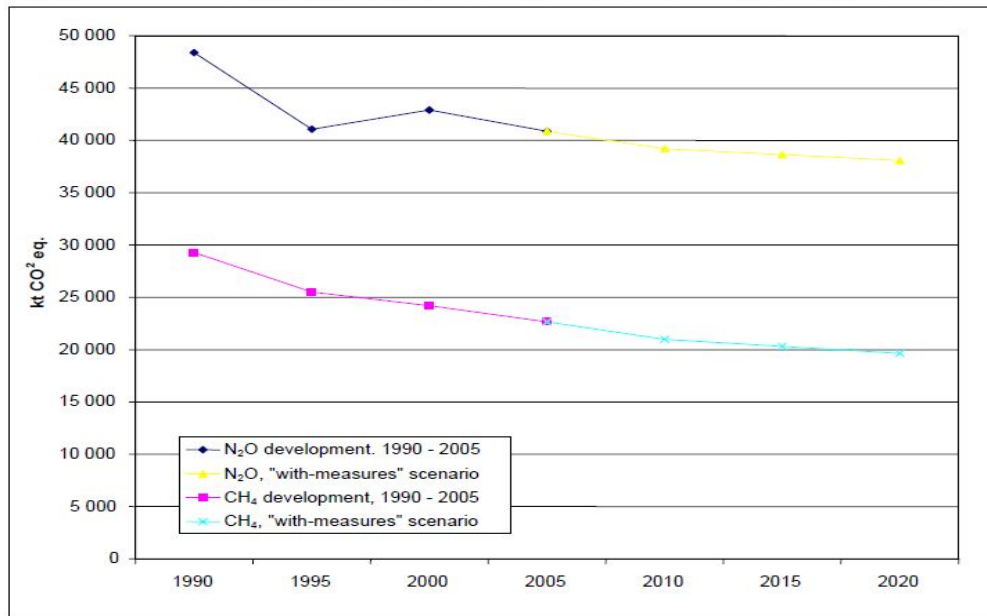
단위: Gg CO₂ Eq.

구 분	기준연도	1990	1995	2000	2005	2006	2007
순 온실가스 배출량	1,007,274	1,007,274	891,748	851,528	829,106	850,787	824,362
CO ₂ (LULUCF 제외)	1,035,580	1,035,580	922,660	883,683	851,708	867,021	841,152
CH ₄	4,657	4,657	3,809	3,040	2,201	2,100	2,026
N ₂ O	226	226	216	156	181	171	180
HFCs(CO ₂ eq.)	6,463	4,369	6,463	6,471	9,978	10,516	11,098
PFCs(CO ₂ eq.)	1,750	2,708	1,750	781	707	569	528
SF ₆ (CO ₂ eq.)	7,220	4,785	7,220	5,082	4,898	5,510	5,567
총 온실가스 배출량 (LULUCF 포함)	1,190,530	1,186,959	1,054,041	976,065	947,043	964,433	939,985
총 온실가스 배출량 (LULUCF 제외)	1,218,837	1,215,265	1,084,954	1,008,220	969,654	980,667	956,775

주: CO₂, CH₄, N₂O에 대한 기준연도는 1990년이며, HFCs, PFCs, SF₆에 대한 기준연도는 1995년 임.

자료: the Government of the Federal Republic of Germany(2009)

그림 6-11. 농업부문의 매탄과 아산화질소 배출량 추세



자료: the Government of the Federal Republic of Germany(2009)

2.4.2. 독일의 농업부문 기후변화 완화정책

가. 농업부문 완화정책

- 독일의 농업분야 정책은 EU 공동농업정책(Common Agricultural Policy, CAP)의 체제 하에서 결정된다. 공동농업정책은 기본적으로 유기농업, 조방적 농업, 가축 수 감소, 질소비료 사용의 감소를 장려하고 있고 있다. 독일정부는 이를 기본으로 하면서 2008년 CAP 'Health Check'의 도입을 통하여 기후변화 대응을 위한 조치를 강화하고 있다.
- 독일은 농업투자지원 프로그램(Agricultural Investment Support Programme, AFP)을 운영하여 재정적 지원을 하고 있다. 투자 대상을 보면, 바이오가스 시스템이나 유기퇴비 저장·적용과 같은 자연적 과정의 온실가스 감축에 대

한 투자확대사업을 지원하며, 냉난방 절연체를 포함한 열방출 시스템 보존과 같이 방출에너지를 활용하는 사업이 있다.

나. 농업관련 에너지부문 완화정책

- 2007년 기준 바이오에너지는 독일 총 전력수요의 3.9%를 충족시켰다. 이는 열 요구량의 6.1%, 총 연료 요구량의 7.3%에 해당한다. 독일 연방정부는 바이오에너지 생산량을 점차적으로 늘려 2020년까지 총 연료소비량의 15%를 바이오연료로 충당할 계획을 갖고 있다.
- 독일은 UN 식량농업기구(FAO)의 ‘바이오에너지와 식량안보(Bioenergy and Food Security)’ 프로젝트를 지원하고 있다. 이는 최소의 환경·사회 표준과 관련된 프로젝트로 바이오에너지와 농촌개발에 잠재하는 기회와 위험을 평가하는 표준을 개발하기 위한 목적에서 수행되고 있다.
- 독일 연방정부는 바이오연료와 관련하여 연방대기보존법규와 에너지법규 외에 바이오연료의 혼합과 관련한 최대허용비중, 이에 대한 세제혜택에 대한 규정들을 마련하였다. 이에 따라 다음의 기준을 충족시키는 바이오연료는 세제혜택을 받을 수 있다.
 - 바이오에너지 작물의 재배과정에서 경작지의 지속가능한 이용과 관련한 기준 바이오연료
 - 생태생활공간의 보호와 관련한 기준 바이오연료
 - 온실가스 저감잠재력이 입증된 바이오연료
- 독일 연방정부의 농업지원 프로그램 중 ‘농업구조의 개편 및 해안보호(GAK)’는 에너지작물의 재배와 관련한 대표적인 지원정책으로 이 프로그램의 사업들은 연방정부와 주정부가 공동으로 재정지원을 한다. GAK 프로그램의 사업들은 개별사업체지원, 농업기반조성지원, 해안보호 등의 기타지원으로 분류할 수 있다. 이 중 개별 사업체지원에 대한 예산규모가 가장 크다.

GAK 프로그램을 통해서 바이오에너지작물 재배에 대한 지원도 가능하며, 현재 바이오에너지작물의 재배확대를 위한 지원에 대하여 협의 중에 있다.

2.4.3. 독일의 농업부문 기후변화의 취약성과 적응정책

- 적절한 토양보전은 기후변화적응에 상당한 도움이 될 수 있다. 지역에 적합한 식물이나 토양피복을 사용하는 것이 토양보전에 유용할 수 있다. 기후변화와 토지이용은 양분과 물순환, 토양구조에 영향을 미치며, 이로 인하여 토양의 특성과 기능도 변하게 된다.
- 대기 중의 CO₂의 밀도가 작물의 생장을 촉진하기도 하지만 이산화탄소 시비는 과밀화된 수준이다. 더욱이 급격히 변하는 극한의 날씨는 농업생산에 위험요인으로 작용할 수 있다. 열과 추위, 가뭄과 습도 폭우, 폭풍, 태풍 등이 증가함에 따라 농작물의 피해와 수확량 감소가 심화되고 있다.
- 축산에 있어서도 높은 여름 기온은 생산성을 저하시킨다. 예를 들어 젖소는 평균온도가 20-25% 이상 올라가면 우유생산량이 감소하는 경향이 있다.
- 2008년 9월 독일 연방정부와 농민, 여러 기관에서 기후변화 적응을 위한 조치들을 발표하였는데, 다음과 같은 내용들이 있다.
 - 효과적인 작물 다양성 보호법을 통하여, 농민들이 다양한 작물을 유지하게 함으로써 적응력을 개선
 - ‘농업구조의 개편 및 해안보호(GAK)’ 공동과업을 통하여 가뭄에 취약한 농경지와 산림경관에 물 저장 촉진, 관개시설 확충
 - 토양비옥도, 토양 구조, 자연통제체계의 향상 및 환경조치체계 개선을 위한 매뉴얼 개발
 - 농법, 가축사육, 가축영양 및 건강과 관련된 노하우 이전
 - 가축사육 및 관리 방법과 관련된 조치 개발

- 농업 전문가와의 대화 및 지식교환 체계 구축
 - 식물육종(plant breeding)에 대한 혁신을 장려
 - 기후변화 모니터링
- 기후변화 적응과 관련하여 식물육종 분야의 혁신은 작물이 양분수지를 맞추고, 그 특성과 품질을 유지하게 한다. 동시에 농작물 수확량을 증대시키며 작물의 종다양성도 풍부하게 한다.
 - 신재생자원의 재배를 통해 이용 가능한 작물 품종을 확대하고, 운작을 통하여 농업생태계에 긍정적인 영향을 가져올 수 있다.
 - 연방토양보전법(Federal Soil Conservation Act)은 1998년 실시된 법으로 영구적인 지속가능한 기반으로 토양의 기능을 보호하고 복원하는 것을 목적으로 한다. 연방토양보전법의 주요내용으로는 해로운 토양변화의 방지, 오염된 토양이나 물의 복원, 부정적인 토양영향의 예방 등이 있다.
 - 2002년에 실시된 연방자연보전법(Federal Nature Conservation Act)은 자연 그 자체로서의 가치와 인간의 생활을 지원한다는 가치가 있으므로 미래 세대와 자연을 위해 자연을 보전하고 경관을 관리해야 함을 기본정신으로 수립되었다.
 - 연방자연보전법은 생태계와 생태계 서비스, 자연자원의 복원력 및 지속 가능한 이용, 동식물 서식지, 생물다양성 및 자연과 경관의 미를 보전·보호함을 명시하였다. 특히, 여기서 생태계란 토양, 물, 공기, 기후, 동식물 요소를 총칭하며 요소간의 상호작용을 포함하고 있다.

2.5. 덴마크

2.5.1. 덴마크의 농업환경

- 덴마크의 농업지역은 1960년 30,900km²로 총 국토의 72%에서 2006년 27,105 km² 63%로 감소하였다. 풀과 녹색사료는 1970년부터 1990년까지 크게 감소하다 1990년대 들어서면서 증가하였다. 이는 낙농업에서의 초지 사용 증가와 EU 보조금 계획의 변화에 기인한다. 더욱이 옥수수과 소 사료를 재배하는 지역은 풀과 녹색사료 재배지역에 포함되는데, 옥수수의 경우 1980년 농업지대의 0.4%에서만 재배되던 것이 2006년에는 5%로 크게 확장되었음을 알 수 있다. 기후변화로 옥수수 재배가 보다 용이해졌기 때문이다.
- 농장의 수 역시 크게 감소하였는데, 1980년 119,155개에서 2006년에 47,385개로 절반이하가 되었다. 이에 따라 주요 고용원으로서의 농업의 역할이 줄어들었다. 반면 동기간동안 농산물의 품질과 가치는 향상되었고, 농업 수출은 덴마크 총 수출의 10% 수준으로 상당히 중요한 위치를 유지하고 있다. 농장의 평균면적은 24ha에서 54ha로 100% 이상 증가하였다.
- 1990년대 유기농업에 대한 관심이 크게 증대되어, 2006년 유기농장은 재배면적의 약 6%에 이르렀다. 1990년대까지 질소비료 사용량이 크게 증가하였으나, 1990년대 들어서면서부터 감소하여 2006년 질소소비량은 1970년의 수준보다도 낮아졌다. 질소비료 뿐만 아니라 인 소비량과 칼륨 소비량도 감소하였다.
- 소의 사육두수는 1970년부터 2006년까지 46%가 감소하였다. 소 사육두수의 감소는 마리당 생산성이 높아졌기 때문인 것으로 분석된다. 동기간 돼지의 사육두수는 60%, 양 사육두수는 약 두 배가량 증가하였다. 가금류 사육두수는 1970년 수준을 밑돌았다. 1970년대 시작된 양분관련 계획으로 인하여 농업부문의 온실가스 배출량은 1990년 이후 약 21% 감소하였다.

표 6-17. 1990년 이후 독일의 온실가스 배출량의 경향

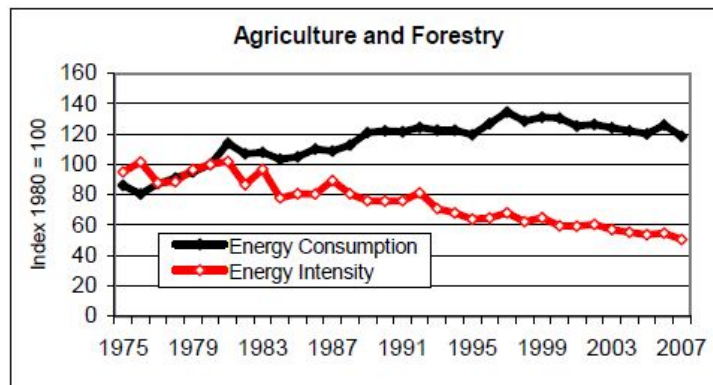
단위: Gg CO₂ Eq.

구분	1990	1995	2000	2005	2006	2007
CO ₂ (LULUCF 포함)	53,345	58,905	54,721	50,390	57,194	52,101
CO ₂ (LULUCF 제외)	52,793	60,574	53,090	50,229	58,069	53,228
CH ₄	5,695	5,988	5,889	5,678	5,625	5,748
N ₂ O	10,527	9,358	8,288	6,739	6,482	6,780
HFCs(CO ₂ eq.)	NA, NE, NO	218	605	795	815	840
PFCs(CO ₂ eq.)	NA, NE, NO	1	18	14	16	15
SF ₆ (CO ₂ eq.)	44	107	59	22	36	30
총 온실가스 배출량 (LULUCF 포함)	69,611	74,577	69,580	63,638	70,167	65,514
총 온실가스 배출량 (LULUCF 제외)	69,060	76,246	67,950	63,477	71,043	66,641

자료: Denmark's The Ministry of Climate and Energy(2009)

- 2007년 기준 덴마크 총 온실가스 배출량의 18%를 농업부문에서 배출하고 있다. 농업부문은 주로 메탄과 아산화질소를 많이 배출하고 있으며, 농업부문의 연료소비로 인한 이산화탄소 배출량은 총 배출량의 3% 수준이다. 2007년 농업과 산림부문의 에너지 소비는 1980년부터 1997년까지 35% 증가하였으나 이후 2007년까지 꾸준히 줄어들었다.

그림 6-12. 농업과 산림부문의 에너지 소비 및 집약도



자료: Denmark's The Ministry of Climate and Energy(2009)

- 덴마크의 약 14%가 산림으로 이루어져 있다. 초기에는 주로 침엽수였으나 최근에 장기적인 생산에 따라 낙엽수가 증가하고 있다. 덴마크 산림은 임관(林冠, canopy forest)으로 관리되고 있는데, 임관 관리의 목적은 산림이 지속가능하고 다양한 용도로 사용가능하도록 하는 것이다. 스칸디나비아반도의 국가들과는 달리, 덴마크는 산림부문이 국가경제에서 차지하고 있는 비중이 높지는 않다.
- 덴마크 산림법은 토지이용의 전환으로부터 기존 산림을 보호하는 역할을 한다. 예를 들어 조림은 산림보존에 해당하여 보조금을 지급하고 있다.

2.5.2. 덴마크의 완화정책

가. 농업부문 완화정책

- 2007년 기준, 덴마크 농업부문은 총 온실가스 배출량의 약 18%를 차지하고 있다. 농업부문 온실가스의 대부분은 아산화질소와 메탄으로, 각각 총 배출량의 72%와 67%를 농업부문에서 배출하고 있다. 1990년부터 2007년까지 아산화질소와 메탄은 각각 31%, 4% 감소하였다. 농업부문의 온실가스는 약 84%가 메탄과 아산화질소, 16%가 연료사용으로 인한 이산화탄소로 구성된다.
- ‘지속가능농업실행계획(Action Plan for Sustainable Agriculture)’과 ‘수생환경실행계획(Action Plans for the Aquatic Environment) I, II’의 중요 목표는 수생환경으로 배출되는 농업부문의 질소 배출량을 줄이는 것이다. 수생환경실행계획과 지속가능한 농업을 위한 실천계획은 각각 1987년과 1991년에 시행되었다. 수생환경실행계획II는 1998년부터 시행된 추가조치로 습지의 복원, 조림, 환경친화적인 농업조치와 유기농업에 대한 합의를 포함하였다. 주요내용으로는 사료 사용의 개선, 가축사육밀도의 완화, 흡비작물(catch crop)의 사용, 비료표준, 강화된 요구사항의 적용 등이 있다. 이러한 실행계

획들은 아산화질소 배출량을 감소시키는 역할을 하지만 부산물 저장에서 배출되는 메탄 배출량 저감에는 그 효과가 적은 편이다. 흡비작물의 사용과 유기농업의 확산, 습지복원으로 토양의 탄소저장을 증대시킬 수 있다.

- ‘수생환경실행계획(Action Plans for the Aquatic Environment) III’는 질소, 인, 민감한 자연지역, 슬러리 악취를 줄이는 것을 목표로 하는데, 이전계획 ‘I, II’를 이어 다양한 조치들을 시행한다. 수생환경실행계획은 물관리지침(Water Framework Directive)과 서식지지침(Habitats Directive)과 연계되며, 특별히 흡비작물의 사용, 부산물사용에 대한 강화된 조건, 조림과 농업환경 조치 등을 강조하고 있으며, 슬러리의 악취를 제거하고 양분배출을 감축하기 위한 연구계획을 포함하고 있다.
- 가축사육에 대한 환경적 승인(Environmental Approval Act for Livestock Holdings)은 2007년 1월부터 시행되고 있다. 환경적 승인은 75 가축단위(Livestock Units, LU) 이상을 사육하는 경우에 대하여 악취·암모니아·질산염·인·경관 등의 환경적 보호를 위한 최소한의 국가 요구사항을 제시하고 있다. 이런 행동의 목적은 이용 가능한 최고의 기술(Best Available Techniques, BAT)을 사용하도록 촉진하는 의미도 포함하고 있다. 구체적인 내용으로는 다음과 같은 항목이 있으나, 이러한 조치들이 온실가스를 저감하는지에 대한 확실한 과학적인 근거는 아직 확인되지 않았다.
 - 암모니아 취약지역에 300m 완충지대 설치
 - 저 암모니아 배출계획에 따라 생산시설과 관련된 암모니아 배출량의 저감을 요구
 - 완충지역 내 흙토 및 초지에 있는 동물 슬러리에 자금지원
 - 고체 부산물과 슬러리 탱크에 대한 유지보수
 - 질산염 취약지역 내 ha 당 가축단위의 수 감소
 - 부산물 확산지역에 인 과잉 규제
- 암모니아 실행계획은 수생환경계획 I, II 와 함께 2001년 채택되었다. 암모니

아는 아산화질소가 배출될 때 동시에 발생하는 특성이 있기 때문에 온실가스 감축과 간접적인 관련성이 있다. 암모니아 실행계획으로는 다음과 같은 조치들이 있으며, 이러한 조치들의 도입으로 2010년까지 연간 34,000 CO₂톤의 아산화질소를 저감할 수 있을 것으로 추정된다.

- 부산물의 최적화, 저장시설에 대한 규정,
 - 부산물 표면 확산금지 및 확산부산물의 적용 시간의 감소
 - 고체 부산물과 슬러리 탱크에 대한 덮개저장시설에 대한 규정
 - 지푸라기 암모니아 처리 금지
- 1990년 도입한 지푸라기 소각 금지의 목적은 대기오염을 줄이는 것이다. 지푸라기 소각을 금지함으로써 토양의 탄소저장을 증대시키고, 지푸라기 연료 사용을 높일 수 있다. 이러한 조치는 또한 소각과 관련되는 메탄과 아산화질소 배출량을 줄이는 역할을 한다. 지푸라기 소각 금지는 환경보호법 (Environmental Protection Act)에 명시되었으며, 준수여부는 지역 책임기관에 의해 모니터링 되고 있다.
- 2008년 2월 ‘에너지정책합의(Energy Policy Agreement)’에 따라 바이오가스 기반 전력생산의 판매가격에 보조금을 지급하고 있다. 에너지정책합의는 2008년 12월 ‘재생에너지 촉진에 관한 법률(Law on Promotion of Renewable Energy)’로 이어졌으며, 결과적으로 덴마크 에너지기구(Danish Energy Agency)는 2007년 4PJ에서 2020년 12PJ로 바이오가스 생산이 증가할 것이라 전망하였다. 바이오가스 생산의 증가에 따라 농업부문의 메탄과 아산화질소의 연간 배출량은 2020년까지 약 20만 CO₂톤의 온실가스가 줄어들 것으로 전망된다. 또한 화석연료의 대체로 2020년까지 이산화탄소 배출량이 에너지부문에서 40만 톤 줄어들 것으로 추정된다.
- 방풍림조성(Planting of windbreaks)은 풍식(wind erosion)을 방지하고, 생물 다양성을 확보하는 것에 목적이 있다. 방풍림조성은 방풍림조성에 관한 법

령과 소(小)생활권 개선조치(biotope-improving measures)에 따라 지원을 받게 된다. 이러한 조치는 EU 농촌지역프로그램(EU Rural Districts Programme) 하에서 보조금의 형태로 지원한다. 방풍림의 조성으로 인하여 온실가스 배출량도 줄어들 수 있는데, 연간 130,000 톤의 이산화탄소가 목질계 바이오매스(woody biomass)에 저장될 수 있는 것으로 추정하고 있다.

나. 산림부문 완화정책

- 덴마크 산림은 대기 중의 이산화탄소 상당량을 저장하고 있다. 새로운 산림을 조성하는 것은 새로운 이산화탄소 저장소를 만드는 것과 같기 때문에 조림은 유용한 기후변화 정책수단이라 할 수 있다.
- 다른 부문과 비교하였을 때, 산림부문은 상대적으로 에너지 소비가 매우 적다. 그럼에도 불구하고 산림부문에서 화석연료의 사용을 줄일 수 있는지를 판단하기 위하여 녹색회계(Green accounting)와 환경관리가 개발되고 있다.
- 국가산림프로그램(National Forest Programme)은 교토의정서에 제시된 산림의 이산화탄소 고정의 가능성 평가를 포함하고 있다. 가능성 평가에 있어서 교토의정서의 진실성과 지속가능한 산림관리를 지원하는 조치 등을 고려해야 한다. CDM과 JI와 연결한 산림 프로젝트도 적용할 수 있다. 산림은 다양한 이용과 지속가능성의 관점에서 관리되고 있으며, 탄소고정도 이러한 목적 중의 중요한 요소이다.
- 산림조성을 확대하기 위하여 덴마크는 정부보조금계획(government grant scheme)을 운영하고 있다. 정부보조금계획은 개인 농지에 산림을 조성하는 행위에 대하여 인센티브를 지급하는 제도이다. 이 밖에 주 자체적으로 새로운 숲을 조성하고 있고, 민간 개인이 보조금과는 무관하게 농지에 산림을 조성하는 경우도 있다.

- 기존농지에 산림을 조성하는 경우, 농지를 사용 즉, 농업활동을 하였을 때보다 바이오매스를 더 많이 축적할 수 있다. 산림바이오매스는 약 50%가 탄소인데, 토양내 유기물질을 공급하기 때문에 추가적인 탄소를 저장하게 된다.
- 덴마크 산림자연청(Danish Forest and Nature Agency)은 민간농지와 주 소유지에 대한 조림정책을 주관하고 있다. 1990년부터 2007년까지 18,000ha의 민간 농지에 산림을 조성하여 323,000톤의 이산화탄소를 고정시켰고, 1990년 이후로 주 소유지와 국유지 약 7,200ha에 산림을 조성하였다.
- 조림은 이산화탄소 고정 이외에 많은 편익을 유발시킨다. 야외 휴양지로의 가치가 있으며, 소중한 지하수와 동식물의 서식지를 보호하는 기능을 한다. 문화적 가치와 경관의 관점에서 매우 높은 가치를 지닌다. 덴마크의 산림지역이 100년 이내에 2배로 증가한다면, 다음 120년 동안에 2억5천만 톤의 이산화탄소를 고정시킬 수 있을 것으로 추정하고 있다.
- 덴마크 산림정책은 점점 자연친화적인 산림관리를 향해 전진하고 있다. 장기적인 순환관점에서 영구적인 산림을 조성하여 이산화탄소 저장을 증가시키고 있다. 또한 산림법(The Forestry Act of 2004)을 제정하여 민간산림보유자들에게 온실가스 감축에 대한 더 많은 인센티브를 제공한다.

2.5.3. 덴마크의 적응정책

가. 농업부문 취약성과 적응정책

- 덴마크 농업에 미치는 기후변화의 영향은 전반적으로 긍정적이라 할 수 있다. 경종부문의 급격한 변화로 인하여 약간의 위기가 찾아올 수는 있으나, 기온상승과 CO₂ 농도의 증가, 생육기간의 연장으로 인하여 수확량이 늘어날 수 있다. 그러나 병해충 발생패턴의 변화에 따라 식물을 보호해야할 필요성

이 높아지고, 비료의 필요성이 역시 증대된다. 이 밖에 유거수가 증가하여 버려지는 물이 많아지므로 물부족 위험이 커질 수 있다. 또한 온난화에 따라 가뭄도 잦아진다.

- 겨울 강수량의 증가는 질소와 인의 누출 가능성을 높여 수생환경에 위협요인으로 작용할 수 있으며, 수온의 상승과 결합하여 산소결핍도 높일 수 있다. 겨울 강수량의 증가와 이에 따른 수위의 상승으로 홍수의 위험도 높아진다.
- 단기적인 적응은 주어진 조건 하에서 생산을 최적화하는 것이고, 장기적인 적응은 신제품종과 작물유형의 개발 및 적응 외에 농업의 구조, 기술, 토지이용, 관개시스템 등과 관련된다. 새로운 형태의 생산과 기술의 개발 및 이행으로 이어지기 위하여 연구·개발이 필요하다. 연구·개발은 환경영향이 적고 식품안전을 높이는 동시에 생산성을 증대시킬 수 있어야 한다.

나. 산림부문 적응정책

- 덴마크는 이미 국가산림프로그램(National Forest Programme), 산림법(Forest Act), 관련 지원계획 등을 통하여 변화하는 기후요소들에 대하여 더욱 유연하게 적응할 수 있는 방향으로 산림을 보다 건강하게 만들고 있다.
- 덴마크 왕립 농축산대학교(Royal Veterinary and Agricultural University)와 덴마크 산림자연청(Danish Forest and Nature Agency)간의 협력은 자연산림에 대한 새로운 개념의 개발을 주도하고 있다. 이를 중심으로 덴마크는 나무 종의 다양성을 촉진하는 경제적 지원이 있어서 생물다양성이 확장될 수 있도록 하고 있다. 또한 종의 목록을 꾸준히 업데이트하여 미래 기후에 대한 적응력을 높이고 있다.

2.6. 스위스

2.6.1. 스위스의 농업·산림환경

- 스위스는 국토의 24% 정도를 농민들이 이용하고 있으며, 13%는 알프스의 목초지대이다. 농업적으로 생산성 있는 토지의 70%는 자연 초지와 목초지로 사용되고 있다. 따라서 스위스 농업생산품 중 유제품과 육류가 상당한 비중을 차지하고 있다.
- 스위스 농업부문의 온실가스 배출량은 국가 총 온실가스 배출량의 약 10% 정도를 차지하고 있다. 가축의 장내발효와 반추로부터 배출되는 메탄과 농업토양에서 배출되는 아산화질소가 많은 부분을 차지하고 있다.
- 온실가스 인벤토리에 따르면 농업부문의 2007년 온실가스 배출량은 1990년 대비하여 10%까지 줄어들었다. 동기간 메탄은 7% 감소하였으며, 아산화질소는 12%까지 줄어들었다. 이는 주로 축산부문의 감소와 질소비료 적용의 감소에 기인한다.

표 6-18. 2007년 스위스의 부문별 온실가스 배출량

단위: Gg CO₂ Eq.

구 분	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	총합
에너지	41,358	279	330	-	-	-	41,966
산업공정	2,086	7	83	630	77	175	3,058
솔벤트 사용	177	0	54	-	-	-	231
농업	0	2,829	2,516	-	-	-	5,346
폐기물	15	396	252	-	-	-	663
총 온실가스 배출량 (LULUCF 제외)	43,636	3,511	3,235	630	77	175	51,265
LULUCF	-655	2,	6	-	-	-	-647
총 온실가스 배출량 (LULUCF 포함)	42,982	3,513	3,241	630	77	175	50,617

자료: Switzerland's Federal Office for the Environment(2009)

- 산림탄소저장은 점차 줄어들고 있는 것으로 보인다. 2000년 이전에는 LULUCF의 배출량보다 저장량이 더 많았으나 바이오매스 다이내믹스에 의하여 압도하고 있다. 2007년을 기준으로 LULUCF의 탄소저장은 총 온실가스 배출량의 1% 수준이다.

2.6.2. 스위스의 농업부문 기후변화 완화정책

가. 농업부문 완화정책

- 스위스 농업정책은 직접지불제를 생태적 표준과 연결하여 보조금을 지급하고 있다. 농민들이 생태적 표준(ecological standards)에 따라 농지를 유지하고 관리해야 직접지불금을 수령할 수 있도록 법안이 개정되었다. 또한 농업 분야에서 자연자원의 효율적 사용에 대해서도 보조금을 지급한다. 농민들은 적절한 토양 양분수지를 유지할 수 있을 때에만 직접지불금을 수령할 수 있다. 또한 농지 중 적절한 비율을 생태적 보상지역으로써 관리해야 한다. 이 밖에 윤작과 토양보호, 작물보호기관의 선택, 법규정과 동물보호요구사항에 부합하는 가축사육이 이루어져야 한다.
- 농업부문에 자원 프로그램이라는 신규 정책수단이 도입되었다. 이 프로그램은 농업부문에 자원을 효율적으로 사용하는 것에 대해 보조금을 지급하는 조치로 질소와 인, 에너지의 효율적 사용, 최적화된 병충해 관리, 토양과 생물다양성의 보호, 지속가능한 사용 등이 포함된다. 보조금은 최대 6년까지 지급되며, 지속가능성이 높은 신기술이나 조직구조가 포함되어야 한다.
- 농업정책이외에 농업부문에 영향을 미치는 정책들이 있다. 대표적으로는 물보호법과 에너지부문에 부과되는 이산화탄소세가 있다. 물보호 법(SR 814.20)은 ha당 최대 비료사용량을 규정하고 있기 때문에 농업에 영향을 미치며, 에너지부문의 이산화탄소세 부과 역시 농업부문에 사용하는 에너지

에 적용되기 때문에 영향을 미친다. 단, 이산화탄소세 부과대상에 바이오연료는 제외되며, 재생원료를 활용한 전력생산의 차액지원제도가 별도로 시행되어 화석연료의 사용을 줄이고, 재생에너지의 생산을 유도하고 있다.

나. 산림부문 완화정책

- 스위스 최초의 연방 산림법(The federal forest Act)은 1876년에 발효되었다. 최초의 산림법(The forest Act)은 단순히 알프스 지역만 포함하였으나, 1902년 법이 개정되면서 스위스 전역을 포함하였다. 법의 목적은 산림의 황폐화를 방지하고, 지속가능한 방법으로 산림지역을 유지하며, 조림을 촉진하는 데 있다. 스위스는 산림지역 및 산림을 자연 생태계로 인식하고 보존하는 전통이 있는데, 여기에 산림법이 시행되고 경제개발이 진행되면서 19C 중반에 비하여 약 50% 가까이 산림이 증가하였다. 산림법은 지속가능한 산림관리와 숲속의 빈터 금지를 명시하고 있다. 또한 대체 조림사업이나 이와 동등한 생물다양성 개선 조치 없이는 산림벌채를 금지하고 있다.
- 국가 산림계획(A National Forest Programme)은 산림의 보호기능을 보장, 산림분야의 경제적 실행가능성을 개선, 목재의 부가가치 사슬의 강화, 생물다양성의 보존, 산림토양, 나무, 식수의 위협을 방지 등 5가지 주요목적을 규정하고 있다. 국가 산림계획의 목적은 경제적 인센티브와 신기술 이행을 통하여 목재와 연료목재 생산을 위해 산림을 더 많이 사용하도록 하는 것이다. 동시에 교토의정서를 준수한다는 관점에서 산림의 특성을 활용한 탄소저장을 높여 온실가스 제거에 기여한다는 목적도 있다. 하지만 산림의 탄소저장 능력보다는 화석연료 대체가 주요목적이다. 따라서 스위스 산림의 탄소저장 잠재력은 낮아지고 있다고도 볼 수 있다. 스위스 산림에는 오래된 나무들이 많기 때문에 나무의 생산성과 나무의 질이 점차 낮아짐과 동시에 산림의 탄소저장 잠재력도 줄어들고 있다. 따라서 이러한 문제를 개선하기 위하여 스위스 정부는 가까운 시일에 상당한 양의 목초들을 벌채할 계획이다.

- 국가 산림계획의 하나로 “Wood 21”이 있다. Wood 21은 생태적으로 효과적인 나무사용을 촉진하는 실행계획의 추진을 목적으로 한다. 예를 들어 나무는 에너지 원료로 사용될 수 있다. 에너지 원료로써의 목재 사용을 위해서는 전반적인 시스템 전환기술의 효율성이 달성되어야 한다.

2.6.3. 스위스의 농업부문 기후변화 적응정책

가. 농업부문 적응정책

- 농업부문은 재배에 적합한 품종의 선택, 경작방법, 농장관리, 관개시설의 확충과 같은 수단을 활용하여 기후변화에 적응할 수 있다. 중소규모의 강과 지하수에 의존하는 다양한 물 사용자들이 물 부족을 호소하면서 여러 지역에서 관개에 대한 수요가 크게 증가하는 실정이다. 재배 품종의 다양화 역시 기후변화 적응에 크게 기여한다. 수확량 감소의 위험을 분산시키기 위해 품종을 다양화하는 전략을 바람직하다. 이러한 조치는 잠재적인 피해를 가질 수 있는 병해충 대응에도 도움을 된다. 이 외에도 수확손실에 대한 보험의 범위가 점점 중요해질 것으로 전망된다. 기후변화는 가축 사육에 있어서도 많은 대응을 요구하고 있다. 예를 들어, 온난화에 따른 고온으로부터 가축을 보호하기 위하여 적절한 환기구와 그늘을 만들어야 한다. 이와 관련하여 관개시설과 식량 및 사료작물의 최적화와 관련된 주제, 병해충 및 작물품질에 대한 내용 등에 관한 다양한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

나. 산림부문 적응정책

- 기후변화로 인한 산림관리의 불확실성은 임학에 있어서도 상당한 도전과제를 부여하였다. 이를 극복하기 위하여 기간별 산림 인벤토리를 제공하고 식물계절학과 생물다양성에 대한 네트워크 모니터링을 통하여 소중한 자료를 제공할 수 있다. 이러한 데이터는 산림부문의 적응정책을 개발하는데, 중요한 자료로 사용된다.

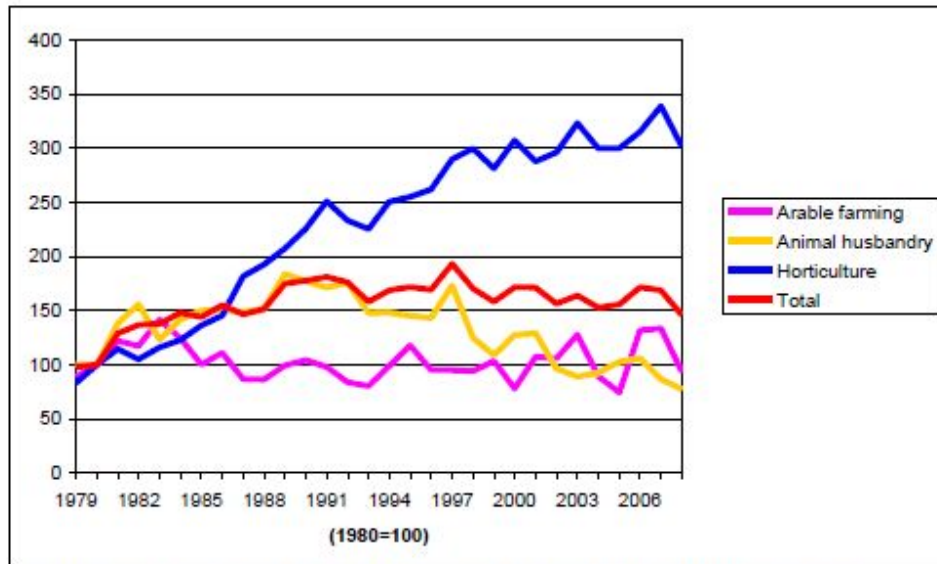
- 그러나 빠른 변화에 대응할 수 있는 적절한 적응조치관련 정보는 아직 부족한 상황이다. 따라서 “산림과 기후” 연구 프로그램의 체계에서 적응조치에 대한 권고사항을 유도해야 하며, 이를 위한 과학기반은 보다 정교해질 것으로 전망된다.
- 최근 스위스는 기후변화 하에서의 전략적 적응을 위한 산림관리 지침서를 발간하였다. 권고사항의 전반적인 내용은 지역특성의 자연조건을 고려한 임학의 강화와 종 다양성의 향상에 대한 것이다.
- 장기적으로 스위스 산림의 수목 구성이 크게 변화할 것으로 예상된다. 기후조건의 변화와 기후변화에 대응한 사람들의 조치가 수목구성의 변화에 많은 영향을 미치게 된다. 예를 들어 태풍, 화재, 가뭄에 적응력이 높은 나무들의 비중이 증가하게 될 것으로 예상된다.

2.7. 네덜란드

2.7.1. 네덜란드의 농업·산림환경

- 네덜란드의 농업은 축산업, 농작물생산, 원예산업에 중심으로 이루어지고 있으며, 그 가운데서도 온실원예는 특히 중요한 하위부문이다. 전체 농업생산에서 원예부문이 차지하는 비중이 점점 증가하고 있다. 온실원예부문에서 소비되는 연료소비의 양은 상업 및 공공서비스 부문의 소비량과 비슷한 수준이다.
- 분뇨 관련 법안의 시행으로 인해 제한을 초과하는 양의 분뇨가 농경지에 퇴비로 사용되는 경우가 점점 증가하고 있다. 이는 네덜란드뿐 아니라 EU차원에서 분뇨 및 양분관련 법안들이 강화되고 있기 때문이다.

그림 6-13. 네덜란드 농업의 총 부가가치 변화



자료: Netherlands' Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment(2009)

- 네덜란드 정부는 농업의 환경적 부하를 줄이기 위하여 청정 및 효율적 농업 (Clean and Efficient Agriculture) 규약을 시행하고 있다. 에너지 효율성 및 재생에너지 생산과 별도로 이 규약은 2020년까지 1990년 대비 25-30%의 비이산화탄소 온실가스를 줄이는 것을 목표로 한다.
- 산림자원평가(Forest Resources Assessment 2005)에 따르면, 네덜란드의 산림은 36만5천ha로 국토의 11%를 차지한다. 하지만 산림지대 및 산림서비스에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있어 부족한 수준으로 여겨진다. 이에 따라 네덜란드 정부는 2001년에 발간된 정책보고서 'Nature for People, People for Nature'를 발간하였다. 보고서는 2000-2020년 사이에 4만 ha의 산림지대를 신규 조성하는 계획이 포함되어 있으며, 네덜란드정부는 이 계획에 기반하여 매년 500-1,000ha의 산림을 조성하고 있다.
- 기존에 조성된 산림들은 한두 가지의 목적으로 조성되었다. 특히 목재생산

을 위해 조성되었는데, 최근에는 자연이나 휴양, 경관, CO₂ 포집 등 다양한 목적으로 조성되고 있다. 이렇게 신규 조성된 산림자원은 지속가능한 산림 관리 원칙(Sustainable Forest Management principles)에 따라 관리되고 있다.

2.7.2. 네덜란드의 기후변화 완화정책

가. 농업부문 완화정책

- 네덜란드 정부는 농업 및 원예부문에서 2020년까지 CO₂를 5~6Mt 저감하는 목표를 수립하였다. 이는 2020년 BAU대비 1~2Mt을 줄이는 것에 해당한다. 동일기간 비이산화탄소 온실가스는 25~27Mt CO₂eq를 저감할 계획이며, 이를 달성하기 위해서는 농업 및 원예부문에서 16~17Mt CO₂eq를 감축해야 한다.
- CO₂ 저감과 관련한 청정 및 효율적 프로그램은 2020년까지 1990년 대비 3.5~4.5Mt 저감하는 것을 목표로 한다. 온실원예정책(Greenhouse horticulture policy)은 1980~2010년 동안 에너지 효율성을 65%까지 높이는 것을 목표로 한다. 에너지 절약과 지속가능한 전기 및 열 병합 등의 지속가능한 소비 통해 달성할 수 있다. 이를 위해 규제 및 재정정책, 자발적 협약 등을 포함한 다양한 수단을 사용한다. 온실원예 외에 다른 농업활동들은 에너지 절약과 바이오베스의 발효 및 생산을 목표로 한다.
- 청정 및 효율적 프로그램은 비이산화탄소 저감, 특히 산업부문에서의 아산화질소, 농업부문에서의 메탄과 이산화질로의 감축을 목표로 한다. 비이산화탄소는 2020년까지 4.0~6.0 Mt CO₂eq를 줄어야 한다. 메탄 저감을 위한 가축사육규모 제한(Size of cattle stock)은 2015년까지 우유쿼터를 시행하고 가축 수를 줄이는 규제정책이다. 아산화질소 저감을 위한 암모니아 및 분뇨 정책(Ammonia and manure policy)은 암모니아와 가축분뇨 관리를 통하여 아산화질소 배출량을 줄이는 규제정책이다.

- 네덜란드 기후정책(Dutch Climate Policy 2008~2012) 기간 동안에는 농업부문은 온실가스 의무저감이 적용되지 않으나 비용효과적인 방법으로 자발적인 참여가 필요하다. 아산화질소를 줄이기 위해서는 우수농업의 개발, 메탄저감을 위한 가축사료 조치, 분뇨저장, 분뇨발효 등이 필요하다.

나. 산림부문 완화정책

- 국가 산림정책의 가장 중요한 목표는 국가 생태네트워크(National Ecological Network) 및 휴양시설의 조성이다. 2018년까지 728,500 ha가 국가 주요정책으로 국가 생태네트워크와 휴양시설을 조성할 예정이다. 또한 도시지역의 휴양시설 부족을 완화하기 위해 2013년까지 약 2만ha에 이르는 대규모 녹지를 조성할 계획으로 있으며, 이 지역은 부분적으로 산림지대로 구성될 예정이다. 이러한 산림정책은 휴양시설 조성과 온실가스 완화효과를 동시에 가져올 수 있다.

2.7.3. 네덜란드의 기후변화 적응정책

- 기후변화는 네덜란드 농업의 평균 기후조건을 전반적으로 개선시킬 수 있다. 기온 상승으로 작물 생육기간이 늘어나 잠재적인 수확량이 증가할 수 있기 때문이다. 네덜란드 농업은 기후조건에 유연성 있게 대응하기 때문에 가뭄으로 인한 수확량의 감소는 농산물의 가격상승으로 소득보전이 가능하다. 다만, 극심한 기상재해가 농업부문에 제한적으로 경제적으로 손실을 가져올 수는 있다.
- 농업지역은 극심한 기후변화와 병해충 발생을, 해안지역은 염류작용을 경계해야 한다. 또한 높은 가축사육밀도와 다양한 운송수단을 활용한 여러 지역과의 접촉을 조심해야 한다.
- 네덜란드의 저지대에서는 기후적응과 수계 경관개발, 간척지와 이탄지에서 물관리조정 사이의 시너지가 매우 중요하다. 고지대에서는 개천(지역수

계)과 누수지역의 개발 및 복구가 시너지로 작용할 수 있다.

- 기후 완충지대(Climate Buffers)는 기후변화로 인한 모든 피해와 위협을 줄이는 역할을 한다. 취약한 지역에 특별 계획을 수립하고 완충지대를 구성하여 위협을 줄이고 상쇄시킬 수 있다. 완충지대는 홍수의 위협을 줄임과 동시에 가뭄도 줄이는 역할을 한다. 이 밖에 경관, 문화·역사, 휴양 등에 있어서도 이차적으로 긍정적인 영향을 미친다.
 - 네덜란드에는 Natuurmonumenten, Bird Protection, State Forest Foundation, The ARK Foundation and the Wadden Association 등 5개의 보전기관이 있어 자연 기후완충지대의 개발을 담당하고 있다. 이미 35개 도시에 기후 완충지대가 기능을 하고 있다. 산림지역의 취약성 방지를 위하여 완충지대를 사용하며, 특히 모래지역, 언덕지대, 상류지역에 완충지대를 설치함으로써 집중호우로 인한 피해를 줄일 수 있다.
- 농업부문의 토지 및 물 관련한 정책으로 농업 그린 앤 블루 서비스(Agricultural green and blue services)가 있다.
 - 농업 그린 앤 블루 서비스는 공간개발을 위한 국가 정책계획(National Policy Plan for Spatial Development)이 서부의 토탄지역의 침강을 멈추어야 한다고 주장한 것에서 시작하였다. 당시 52,900ha의 농경지를 포함하여 약 67만 5천ha의 토지가 침식되었다. 이 가운데 Farming with water 프로그램은 농민들이 주요 농업기능 이외의 물의 기능과 중요성에 대한 관심을 제고시키는 것을 목표로 한다. 궁극적으로 물 저장, 물 보전, 지표 및 지하수의 수질개선을 목적으로 하며, 네덜란드는 이러한 블루 서비스에 대하여 직불금도 부여하고 있다.

2.8. 호주

2.8.1. 호주의 농업환경

- 호주농업은 호주 산업부문에서 토지를 가장 광범위하게 이용하고 있다. 농업부
문에서 사용하고 있는 토지는 약 4억 1,720만 ha로, 호주 국토의 54%를 차지한
다. 특히 축산업은 농업 토지이용 가운데 가장 넓은 지역을 사용하고 있다.
- 호주 농업은 낙농업과 대규모 농업(broadacre industries)을 포괄하고 있다.
호주 농업가운데 육우사육이 가장 큰 부문이며 33%를 차지하고 있다. 곡물
재배가 그 다음으로 11%이며, 곡물재배와 양·육우사육을 동시에 하는 혼합
농업이 10%수준이다. 농산업은 호주 전역에 걸쳐 이루어지고 있으며, 농촌
지역사회와 경제의 기본이 된다.
- 호주 농업은 광대한 토지를 이용하고 있고, 국내 수요를 초과하는 많은 양의
농축산물을 생산하고 있다. 호주 농업의 상당부분은 수출기반으로 이루어지
며, 최근 생산량의 60% 정도가 수출되고 있는 실정이다.
- 호주 농업은 계절 조건에 매우 큰 영향을 받으며, 생산성의 변동이 심한 특
성이 있다. 2001-2002년 이후, 여러 농업지역이 높은 기온과 강수량 부족을
경험하면서 생산량 및 생산성이 급격히 하락하기도 하였다.
- 호주에는 1억 7백만 ha의 산림지역이 있는데, 이 가운데 1억 5백만 ha는 자
연산림이며 2백만 ha는 조림한 것이다.
- 호주의 온실가스 인벤토리를 살펴보면, 농업부문에서 배출되는 온실가스는
2007년 기준으로 약 8,810만 CO₂톤으로 약 10.7%를 차지하며, 1990년의 약
8,680만 CO₂톤 대비 1.5% 증가하였다. LULUCF 부문은 약 2억 8,470만 CO₂

톤으로 총 배출량의 34.4%를 차지해 매우 높은 비중을 차지하였다. 농업부문은 1990-2001년 동안 비료사용과 사바나 소각(savanna burning)의 증가로 인하여 온실가스 배출량이 증가하였다. 2002년 이후로는 남부와 동부지역의 가뭄이 심화되어 가축의 수, 작물생산량, 비료사용량, 온실가스 배출량이 줄어들었다. LULUCF 부문은 온실가스 순배출 요인과 순고정에 있어 급격한 변화를 보였다. LULUCF 부문의 이러한 변화는 기본적으로 연간 기후변동성과 자연적 방해(natural disturbance)에 의한 것으로 분석된다. 자연적 방해는 화재나 극심한 가뭄 등을 의미하며 탄소누출의 원인으로 작용한다.

- 2007년 기준으로 메탄 배출량의 56.7%, 1억1980만 CO₂톤이 농업부문에서 배출되었다. 농업부문 메탄의 87.4%는 장내발효와 가축부산물에서 주로 배출되며, 벼 재배, 사바나소각, 경종부산물 소각 등에 의해서도 일부 배출된다.
- 아산화질소는 2007년 기준으로 총 2천5백만 CO₂톤이 배출되었으며, 1990년 배출량과 비교하여 거의 동일한 수준이다. 아산화질소의 80.5%는 농업부문에서 배출되었는데, 특히 비료나 퇴비를 적용한 토양에서 상당량이 배출되었다.

표 6-19. 2006-2007년 호주의 부문별 온실가스 배출량

단위: Mt CO₂ Eq.

구 분	1990	2006	2007	1990년 대비 2007년 변화	
				변화량	변화율(%)
에너지	286.4	400.1	408.2	121.7	42.5
정치형에너지	195.1	287.1	291.7	96.6	49.5
교통/운송	62.1	78.6	78.8	16.7	26.9
탈루성 배출량	29.2	34.3	37.7	8.4	28.9
산업공정	24.1	29.4	30.3	6.2	25.7
농업	86.8	90.8	88.1	1.3	1.5
폐기물	18.8	14.2	14.6	-4.2	-22.5
총 온실가스 배출량 (LULUCF 제외)	416.2	534.5	541.2	125.0	30.0
LULUCF	37.6	16.6	284.7	247.1	657.6
총 온실가스 배출량 (LULUCF 포함)	453.8	551.1	825.9	372.1	82.0

자료: Australian Department of Climate Change(2009)

표 6-20. 2006-2007년 호주의 부문별 매탄 배출량

단위: Mt CO₂ Eq.

구 분	1990	2007	1990년 대비 2007년 변화	
			변화량	변화율(%)
에너지	25.6	33.3	7.7	30.3
정치형에너지	1.8	1.3	-0.6	-31.5
교통/운송	0.6	0.6	0.0	-3.1
탈루성 배출량	23.2	31.5	8.3	35.7
산업공정	0.1	0.1	0.0	4.4
농업	70.7	67.9	-2.8	-4.0
LULUCF	51	45	-0.6	-12.1
폐기물	182	13.9	-4.3	-23.5
총 온실가스 배출량	119.8	119.8	0.0	0.0

자료: Australian Department of Climate Change(2009)

표 6-21. 2006-2007년 호주의 부문별 아산화질소 배출량

단위: Mt CO₂ Eq.

구 분	1990	2007	1990년 대비 2007년 변화	
			변화량	변화율(%)
에너지	1.50	2.702.70	1.20	79.7
정치형에너지	0.72	0.98	0.25	35.1
교통/운송	0.75	1.70	0.96	128.1
탈루성 배출량	0.04	0.03	-0.01	-28.7
산업공정	0.02	0.02	0.00	-20.6
농업	16.09	20.16	4.07	25.3
LULUCF	2.01	1.57	-0.43	-21.6
폐기물	0.49	0.59	0.10	20.1
총 온실가스 배출량	20.11	25.04	4.93	24.5

자료: Australian Department of Climate Change(2009)

2.8.2. 호주의 기후변화 대응정책

가. 농업부문 대응정책

- 호주 연방정부는 농업부문을 탄소오염 저감계획(CPRS)에서 제외시켰다. 그러나 호주의 총 온실가스 배출량에서 농업부문이 차지하는 비중을 상당히 높기 때문에 농업부문의 온실가스 저감은 필수적이다. 다만, 탄소오염 저감계획 하에서 상쇄 크레딧은 농업부문 배출원의 저감을 허용하고 있다.
- 호주 연방정부는 국제적으로 허용되지 않은 부문에도 자발적 국가 탄소 상쇄표준(Voluntary National Carbon Offset Standard)을 제공함으로써 농업부문의 저감을 독려하고 있다.
 - 이러한 국내 상쇄가 부분이 국제적으로 허용될 수 있도록 영구성, 추가성, 측정가능성의 기본원리와 누출의 회피, 독립적인 감사·등록에 대한 필수요소를 체계화하는 작업을 추진하고 있다.
- 호주는 온실가스 완화와 관련된 연구개발을 지원하고 있다. 실질적으로 농장에서의 탄소상쇄가 실현가능하도록 기회를 확대하기 위하여 R&D 부문에 5천만 달러를 투입할 계획을 가지고 있다. 또한 기후변화가 생물대양성에 미치는 영향을 모니터링하고 이에 대하여 대응하기 위해 4천만 달러 규모의 녹색탄소기금을 마련하여 운영할 계획이다.
- 호주 정부의 농업미래계획(Farming Future initiative)은 기후변화에 대한 적응력과 복원력의 구축을 목표로 한다. 적응력과 복원력을 높여 생산자와 산업이 기후변화로 인한 위협을 관리할 수 있는 능력을 기를 수 있도록 하는 것이다.
 - 농업미래계획은 기후변화 연구프로그램(Climate Change Research Program, CCRP), 농장준비(Farm Ready), 지역사회 네트워크 및 역량 구축

(Community Networks and Capacity Building), 기후변화 조정프로그램 (Climate Change Adjustment Program) 등이 있다.

- 4,620만 달러 규모로 운영되는 기후변화연구프로그램은 농업인과 산업계를 위하여 실질적인 관리방안들이 제시될 수 있도록 연구 및 농장 시범사업을 위해 사용된다. 연구는 온실가스 감축, 토양관리 및 기후변화 적응력 향상을 중심으로 이루어지며, 농업인과 농산업에 실질적인 관리방안을 제시하는 것에 중점을 두고 있다.
 - 농장 준비 프로그램은 위기관리 및 사업관리 기술의 향상을 목표로 하며, 기후변화에 대응한 신기술 및 우수농법의 적용을 촉진하기 위한 프로그램이다.
 - 지역사회 네트워크 및 역량 구축은 다양한 문화적 언어적 배경 하에 있는 여성, 청년, 토착민들의 리더십을 길러 지역사회의 복원력과 생산성을 강화시키기는 것을 목적으로 한다.
 - 기후변화 조정 프로그램은 기후변화의 영향으로 인하여 잠재적으로 소득과 자산이 감소할 우려가 있는 농민들을 지원하기 위한 프로그램이다.
- 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 한다.
- 이 계획은 기후변화 적응전략, 온실가스 저감을 위한 완화전략, 연구개발, 주요 생산자 및 농촌사회의 의사결정을 위한 의사소통 활성화 등 4가지 부문에 중점을 두고 있다.
- 호주 정부는 2011년 9월 저탄소농업과 배출권거래제를 촉진시키기 위하여 탄소농업계획(Carbon Farming Initiative, CFI)을 확정하여 발표하였다.
- CFI는 탄소크레디팅 메커니즘과 상쇄 프로젝트 방법론 개발의 조기달성을 위한 펀딩, 탄소시장에서 수익을 낼 수 있도록 농민들과 토지보유자

에게 정보와 방법(tool)을 제공한다. 호주 농림수산부 웹사이트를 통하여 탄소시장을 활용하여 수익을 올릴 수 있도록 농민들에게 필요한 정보와 방법을 제공하고 있다.

- 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, 삼림 벌채의 방지, 그루터기와 작물 부산물 소각, 벼재배에서의 온실가스 배출량 감소 등이 있다.
- CFI의 크레딧은 국제시장과 자발적 시장 모두에서 수요가 있을 것으로 기대되고 있으며, 국제 자발적 시장에서 직접적으로 판매될 수 있다.
- 호주는 CFI 크레딧이 직접적으로 국제간에 거래될 수 있도록 자발적 목록에 배출원국가등록(Australian National Registry of Emissions Units)을 연계하는 방안을 모색하고 있다.
- 국내의 CFI 크레딧은 국가탄소상쇄계획(National Carbon Offset Scheme, NCOS) 하에서 자발적인 탄소상쇄로 인정된다.
- 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 포함된다. 승인된 방법론은 기후변화에너지효율성부의 웹 사이트에 게시된다.

<호주 기후변화 연구프로그램(Climatic 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 토양탄소고정이 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 토양내 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

나. 산림부문 대응정책

- CPRS는 산림지역의 벌목을 줄이고 숲을 조성하는 사업을 확대하도록 장려하는 인센티브를 개발하고 있다.
- 국가 기후변화 및 민영 산림행동계획(National Climate Change and Commercial Forestry Action Plan 2009-2012)은 주요 이해당사자들과 협력체제로 개발되었으며, 관련 연구개발 및 소통의 촉진을 통한 산림산업의 기후변화 완화 및 적응을 목표로 하고 있다. 이 계획은 모든 규모의 상업적 목적으로 하는 조림사업, 자연 산림자원을 활용한 목재생산, 산림자원을 원료로 하는 가공시설 등의 부문을 포함한다. 이 행동계획은 지역간의 산림 및 기후변화에 대한 지식수준차이를 확인하고, 잠재적인 장애물을 정밀진단하며, 이에 대응하기 위한 방안 등을 제시하고 있다.
- 산림산업 기후변화 연구기금(Forest Industries Climate Change Research Fund)은 산림 및 산림산업에 대한 기후변화의 영향과 관련하여 주요 지식격차를 다루기 위한 새로운 보조 프로그램이다. 국가 기후변화 및 민영산림행동계획에서 확인된 문제들에 중점을 두고 있으며, 5백만 달러의 규모로 운영된다. 기후변화의 영향에 대한 인식제고와 산업계의 적응능력 향상을 목표로 한다.

2.9. 주요국의 기후변화 대응책 요약 및 시사점

- 2007년 기준 주요국의 총 온실가스 배출량 중 농업부문의 비중은 미국 8.70%, 일본 4.99%, 영국 6.81%, 독일 10.36%(2005년 기준), 덴마크 15.04%, 스위스 10.56%, 네덜란드 8.77%, 호주 10.67% 수준인 반면 국내 농업은 2007년 기준 기준 2.9%로 상당히 낮은 수준이다. 앞서 제시한 주요 8

개국과 비교하면 농업부문 온실가스 배출량이 가장 높은 덴마크에 비하여 5분의 1수준이고, 가장 낮은 일본보다도 약 2%나 낮은 수준이다.

- 주요국의 기후변화 대응책을 살펴본 결과 대체적으로 유사한 기후변화 완화 및 적응전략들을 채택하고 있으나 각국의 산업구조 및 문화적 특성에 따른 특색 있는 전략들도 있었다<표 6-22~26>.
- 미국의 경우 농지를 휴경지와 경작지로 구분하여 온실가스를 완화프로그램을 실시하고 있으며, 특히 자발적 탄소시장인 시카고 기후거래소 등을 통하여 농업부문 온실가스 감축에 대하여 상쇄 크레딧을 제공하고 있는 점을 볼 수 있다. 보전경운, 정밀농업, 윤작 및 겨울 피복작물의 활용 등을 통하여 탄소저장능력의 구축을 촉진하고 있다. 일본과 호주도 역시 탄소시장에 농업부문을 포함시켜 크레딧을 부여하고 있다.
- 일본은 ‘CO₂ 표시하기’를 통하여 저탄소제품의 소비를 촉진하고 있으며, 미국과 마찬가지로 자발적 탄소시장에 농업부문을 포함시키고 있다. 특히, 2011년부터 환경보전 효과가 높은 영농활동에 대한 메뉴방식의 저탄소 직접지불제도(환경보전형농업 직접지원 교부금)를 추진하고 있다.
- 영국, 독일, 덴마크, 스위스, 네덜란드 등의 EU 국가들은 기본적으로 유럽 공동농업정책(CAP)의 체제하에서 EU수준으로 결정된 사항을 추진하게 되며, 국가수준에서 별도의 대응책도 추진하고 있다.
 - 영국은 질소 민감지역 농업프로그램을 통해 간접적인 온실가스를 저감하는 방안을 추진하고 있으며, 농촌 기후변화포럼을 구성하여 정책수립시 다양한 의견을 수렴하고 있는 것이 특징이다.
 - 독일은 농업투자지원 프로그램을 통하여 온실가스 감축에 대한 투자를 확대하고 있는데, 바이오가스시스템과 유기퇴비 저장에 많은 투자가 이루어지고 있다.

- 덴마크는 지속가능한 농업·수생 환경 행동계획을 단계적으로 추진하고 있다.
 - 스위스는 생태적 표준과 직불제를 연계하여 생태적 표준을 준수하는 농가에 직불금을 지급하고 있고, 국가생물다양성 전략을 통해 생물다양성을 유지하고 복원력을 배양하는 노력을 기울이고 있다.
 - 네덜란드는 세계 최대의 원예산업을 가지고 있는 국가의 특성을 반영하여 온실원예정책을 통하여 에너지효율성을 크게 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, 가축사육규모를 제한하여 CH₄ 배출량을 줄이고, 기후완충지대를 설치하여 기후변화로 인한 피해를 줄이는데 역점을 두고 있다.
- 주요국의 농업부문 기후변화 대응책에 관한 사례분석을 통해 다음과 같은 시사점을 도출하였다.
- 첫째, 기후변화에 따른 농업부문 피해는 현 세대뿐만 아니라 다음 세대에 영향을 있기 때문에 국가가 보조금 프로그램을 통해 농업생산자들의 기후변화에 대한 적응을 적극 지원할 필요성이 있다. 특히 농업은 환경·생태계·생물다양성 등과 밀접한 관련이 있으므로 이를 보전하는 노력에 대하여 지원이 필요하다. EU 회원국들과 일본 등에서 시행되고 있는 바와 같이 환경보전형농업에 대하여 메뉴방식의 직접지불금을 적극적으로 추진해 나가야 한다. 이를 통하여 유기농업, 조방적 농업, 가축 수 감소, 질소비료 사용의 감소 등을 촉진할 수 있다.
 - 둘째, 농업부문이 기후변화에 적응하게 대응하기 위하여 생산지역의 특성을 고려한 적응기술을 개발해야 한다. 특히 인공위성 등을 활용한 기후예측시스템을 개선하고 이를 활용하여 작물경영결정 지원을 지원하는 방안을 고려할 수 있다. 기술개발에 소요되는 원활한 자금지원을 위하여 녹색금융 시스템을 활용할 수 있도록 관련 법률 및 제도를 개선을 검토하는 것 역시 필요하다.
 - 셋째, 재배품종 및 기술을 다양화하고 파종법을 개선함으로써 가뭄·홍수 등에 대비할 수 있어야 하는데, 이와 관련하여 기후변화가 품목에 미치

는 영향에 관한 전국 및 지역 수준의 조사가 선행되어야 한다.

- 넷째, 농경지 및 산림의 온실가스 흡수원 기능을 활용하기 위하여 탄소 시장을 활용해 온실가스 감축에 기여하는 농가에 대하여 크레딧을 제공할 필요가 있다. 우리나라는 현재 2015년 배출권거래제를 시행할 계획을 가지고 있는데, 농업부문의 온실가스 감축을 배출권거래제에 포함시킴으로써 비용효과적인 흡수원을 충분히 활용해 나가야 한다.
- 다섯째, 바이오매스 등 신재생에너지 계획을 체계적으로 추진해 나가야 한다. 바이오에너지 생산시설에는 상당한 초기 고정비용이 소요되므로 바이오에너지 기술개발, 설비투자 및 보급을 위하여 인센티브를 제공할 필요가 있다. 스위스에서 시행되고 있는 재생에너지 발전차액지원제도와 관련하여 추가적인 검토가 필요하다.
- 여섯째, 영국에서 운영 중인 농촌기후변화포럼과 같은 다양한 이해관계자들이 참여하는 위원회를 구성하여 지역사회와 기후변화에 대한 심각성을 알리고 의견을 수렴하여 정책수립에 반영하도록 해야 한다. 또한 관련연구에 대한 정보 및 의견교류를 활성화 할 필요가 있다.

표 6-22. 주요국의 기후변화 대응책 사례분석 시사점

구 분	주요국 기후변화 대응책	국내 적용가능성 검토
완화정책	<ul style="list-style-type: none"> •미) AgSTAR 프로그램 : 퇴비관리를 통한 CH₄ 저감 •미, 일, 호) 배출권거래제: 상쇄 크레딧 제공 •일) 'CO₂ 표시하기', '지역소비자를 위한 지역생산' •일) '환경보전형농업 직접지원 교부금' •영) 질소 민감지역 농업 프로그램 <ul style="list-style-type: none"> - 수질오염 통합패키지 활용, 간접적 N₂O 저감 •덴) 가축사육에 대한 환경적 승인 <ul style="list-style-type: none"> - 고체 부산물과 슬러리 탱크 유지보수 - 완충지역 내 흑토 및 초지에 있는 동물 슬러리에 자금지원 	<ul style="list-style-type: none"> •환경보전형농업에 대한 메뉴방식의 직접지불금 지급 <ul style="list-style-type: none"> - 유기농업, 조방농업, 가축 수 감소, 질소비료 사용량 감소 등을 촉진 •배출권거래제를 통한 크레딧 제공, 수익원창출 •농약침출로 인한 수질오염과 기후변화 통합관리 •가축사육에 대한 환경적 승인 <ul style="list-style-type: none"> - 가축 사육두수 감소 - 퇴비관리를 통한 CH₄ 저감 •탄소성적표지 활용: 저탄소 농림수산물 제품 촉진
적응정책	<ul style="list-style-type: none"> •일) 생산지역의 특성을 고려한 적응기술의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 재배품종 및 기술의 다양화, 파종법 개선 - 가뭄·홍수 등 재난에 대비하여 기술 적용 •네덜란드) 기후 완충지대 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 홍수 및 가뭄으로 인한 피해를 대비 - 경관, 문화·역사, 휴양 등에도 긍정적인 영향 •호) Farming with water <ul style="list-style-type: none"> - 물 저장, 물 보전, 지표 및 지하수의 수질개선에 대하여 직불금 제공 	<ul style="list-style-type: none"> •지역특성에 적합한 기술·방법개발, 보급 •기후 완충지대 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화로 인한 피해 최소화 - 토양침식
탄소저장	<ul style="list-style-type: none"> •미, 일) 농경지 토양의 온실가스 흡수원기능 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 보전경운, 정밀농법, 윤작, 피복작물, 관개시설정비 •스위스) 숲 소유주에게 자발적 시장에 탄소저장으로 인한 크레딧을 제공 •스위스) 성목을 교체하여 탄소저장능력을 회복 •스위스) 산림지역보존: 대체 조림없이 삼림벌채 금지 	<ul style="list-style-type: none"> •농경지 및 산림의 온실가스 흡수원기능 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 탄소시장을 활용하여 크레딧을 제공 - 흡수원 기능을 높이기 위한 방법 연구·개발
바이오 에너지 생산지원	<ul style="list-style-type: none"> •스위스) 재생에너지 발전차액지원제도 •영) 바이오매스 전략 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기성 소화 촉진, - 바이오에너지 교부금 지원 - 바이오매스 지속적 개발 체제구축 - 바이오매스 보일러 사업지원 	<ul style="list-style-type: none"> •신재생에너지 발전차액지원제도를 활용하여 바이오매스 활용 확대
정책수립 및 지원	<ul style="list-style-type: none"> •영) 농촌 기후변화 포럼 •독) 전문가들과의 대화 및 지식 교환 •호) 기후변화연구프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화 관련 위원회 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 이해관계자들 참여, 의견을 수렴하여 정책수립에 반영

표 6-23. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(미국, 일본)

구분	미 국	일 본
농업 부문 온실 가스 배출량	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 총 배출량은 6,087.5 (Mt CO₂ eq) 이 중 CO₂가 85.4% 차지 • 농업부문은 530.1(8.70%): CH₄ 총배출량에서 분뇨폐기물 24%, 부산물 관리 8%의 80%를 N₂O 총배출량의 67%를 배출 • LULUCF는 -1,062.6 (-17.46%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 총 배출량은 1,292.9 (Mt CO₂eq) • 농업부문은 26.5(약 4.99%를 차지): CH₄ 총 배출량의 66.37%, N₂O 총 배출량의 47.48% • LULUCF는 -81.4(약 -6.30%)
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"> • 2020년까지 1990년 대비 25% 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 • 야생 서식지 보호 장려 프로그램 • 탄소시장거래: CCX-오프셋 크레딧 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 친환경농업 촉진 및 비료사용의 최적화 - 벚짚경운에서 퇴비적용으로 전환 - 화학비료의 적용을 줄이고, 흩어 뿌림. - 완효성 비료를 이용 • ‘CO₂ 표시하기’ 추진 • ‘환경보전형농업 직접지원 교부금’ 추진 • 배출권거래제의 추진 • 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 다층피복의 도입 • 식품산업분야에 고효율보일러 설치 • ‘지역소비를 위한 지역생산’을 촉진
적용 정책	<ul style="list-style-type: none"> • 수자원 공급 및 보전 • 병충해방지도지이용 계획 • 농업생물학적 다양성 증대 • 환경보전지킴이프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산지역의 특성을 고려한 적용기술의 개발 - 재배품종 및 기술의 다양화, 과중범 개선 - 기름·홍수 등 재난에 대비하여 기술 적용 • 적응방안에 대한 연구개발 추진 • 안정적인 농업생산기술의 검증 및 확산
탄소 저장	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 기준 LULUCF의 탄소저장은 1,062.6 • 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 촉진 • 농경지 토양의 온실가스 흡수원 기능 활용 대책 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 꽃겨름의 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 6-24. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(영국, 독일)

구분	영국	독일
농업부문 온실가스 배출량	<ul style="list-style-type: none"> 2007년 총 배출량은 638.49 (Mt CO₂eq) 농업부문은 43.46(6.81%)로, CH₄ 총 배출량의 37.64%, N₂O 총배출량의 73.00% LULUCF 는 -1.72(-0.27%) 	<ul style="list-style-type: none"> 2007년 총 배출량은 824(Mt CO₂ eq) : CO₂가 85.4% 2005년 총 배출량은 1,004(Mt CO₂ eq) 2005년 농업과 농업토지이용 104(10.33%) <ul style="list-style-type: none"> - 농장/초지 41.62, 비료사용 27, 가축장내발효 17
저감목표	<ul style="list-style-type: none"> 2020년까지 1990년 대비 34% 감축목표(2009) - 세계최초로 기후변화 법안도입, 감축목표 명시 농업·산림부문 2010년 2,900Gt, 2015년 2,900Gt, 2020년 2,900 Gt 	<ul style="list-style-type: none"> 2020년까지 2005년 기준 21% 감축 - 농업부문은 9.2% 감축, - 이는 1990년 수준에서 25.7% 저감한 것과 동일
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 IPCC 규정 <ul style="list-style-type: none"> - 돼지와 가금류 생산자의 환경영향통제, 간접적 온실가스 배출 저감 우수농산물인증제도 	<ul style="list-style-type: none"> 공동농업정책(CAP)의 체제 하에서 EU수준으로 결정 농업구조 및 환경친화적 생산방법 촉진 <ul style="list-style-type: none"> - 유기농업 조영력 농업 기층수 감소, 질소비료 사용의 감소 농업투자지원 프로그램으로 재정지원 <ul style="list-style-type: none"> - 자연적 과정 온실가스 감축 투자확대 (바이오가스시스템, 유기퇴비 저장과 적용) - 방출에너지활용 (냉난방 절연체를 포함한 열방출 시스템 보존)
적응정책	<ul style="list-style-type: none"> 2010년 구조개혁계획안에 따른 정책추진 환경친화적 농업을 지원 및 개발 지속가능한 식품생산 장려 식품기술의 경쟁력과 복원력 강화지원 안전·지속가능·건강한 식품공급 보장, 동물복지 표준향상 삶의질 향상을 위한 환경조성, 생물다양성증진 지속가능 녹색경제와 기후변화 대응력 지원 Farming Futures를 통한 기후변화적응과 온실가스 완화의 필요성/방법을 교육 농촌 기후변화 포럼을 구성하여 농촌기후변화 정책 및 연구 우선순위에 대해 조언 	<ul style="list-style-type: none"> 농업구조의 개편 및 해안보호(GAK) 식물육종(plant breeding)에 대한 혁신을 장려 기후변화 모니터링 전문가들과의 대화 및 지식 교환 친환경농업 노하우 교환 관개시설의 확충 토양비료·토양구조, 자연통제체계의 절차를 촉진 토양의 수분보유력 강화, EU토양보존전략 시행 효과적인 파종
탄소저장	<ul style="list-style-type: none"> 산림보조금제도(잉글랜드) 산림조성제도(스코틀랜드) 	<ul style="list-style-type: none"> 2006년 산림부문의 탄소저장은 79(Mt CO₂eq) 연방 토양보전법: 토양자원 보존 및 탄소저장 촉진 연방 자연보존법: 토양탄소저장 지원
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 세계지원 에너지작물계획 <ul style="list-style-type: none"> - 비식용작물행동계획 지역사회 에너지 프로그램 차세대 바이오연료 기술촉진 전략 재생 가능한 수송원료 의무화 	<ul style="list-style-type: none"> 재생가능 에너지법 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오매스 지원 활용 전력생산 목표 설정 및 인센티브 제공 재생가능 에너지를 지원하는 시장 인센티브 프로그램 바이오연료 할당법 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오연료 형태의 연료의 특정할당 제공

표 6-25. 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(덴마크, 스위스)

구 분	덴마크	스위스
농업부문 온실가스 배출량	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 총 배출량은 66,193 (Gg CO₂eq) • 농업부문은 10,072(15.04%): CH₄ 총 배출량의 67%, N₂O 총 배출량의 92% 	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 총 배출량은 50,610 (Gg CO₂eq) • 농업부문은 5,346(10.56%): CH₄ 총 배출량의 80.54%, N₂O 총 배출량의 77.65% • LULUCF 는 -647(-1.28%)
저감목표	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년까지 1990년 대비 21% 감축 	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년까지 1990년 대비 20% 감축 - EU 기후변화 종합법(Directives) 발효(09.4)
완화정책	<ul style="list-style-type: none"> • 지속가능한 농업 수생환경 행동계획 I, II, III - 질소 인의 배출감소 목표와 조치 강구 - 화학비료의 사용제한 - 가축분뇨처리개선, 양분배출 감축목표 설정 - 겨울 녹색초지 유지, 부산물 이용 - 환경친화적 농업, 습지복원, 유기농업, 산림조성, - 가축밀집사육 완화, 바이오가스 플랜트사용 • 암모니아 행동계획 - 부산물의 최적화, 저장시설에 대한 규정, - 지푸라기의 암모니아 처리 금지 - 암모니아 취약지역에 300m 완충지역 설치 • 가축사육에 대한 환경적 승인 - 고체 부산물과 슬러리 탱크 유지보수 - 완충지역 내 흑토 및 초지에 있는 동물 슬러리에 자금지원 • 벼질 소각 금지 	<ul style="list-style-type: none"> • 생태적 표준과 직접지불제를 연결 - 생태적 표준을 준수하여 농지를 관리하는 농가에 직불금을 지급 - 적절한 토양 양분수지 유지, 일정한 비율의 토지를 생태적 보상지역으로 관리, 윤작시스템, 토양보호, 작물보호기관의 선택적 적용, 동물복지 • 자원 프로그램 - 자연자원의 효율적 이용에 대한 보조금 지급 • 산림지역보존 - 대체 조림없이 삼림벌채 금지 • 지속가능한 숲 관리 - 수목 증가량보다 많은 양의 수확 금지 • Wood 21 - 화석연료를 대체하여 목재연료사용을 유도 • 나무실천계획 - 수확량과 사용량 증가
적응정책	<ul style="list-style-type: none"> • 농업구조 개편 • 기술과 토지이용 변화 • 관개시설 확충 • 환경적 영향을 줄이고 안전하며 높은 생산성을 나타내는 새로운 생산 및 기술을 위한 연구개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가생물다양성전략 - 유전자풀과 서식지 연결성을 보호 - 생태계의 적응적 변화에 대한 서식지의 연결성을 복원함으로써 생태계의 복원력을 향상시켜 장기적으로 생태계서비스를 안전하게 공급받을 수 있게 함. • 전략적 적응적 숲 관리를 위한 지침서 발간 - 특정한 자연조건에 대한 식림법의 강화, 종 다양성 증진 - 숲과 나무의 저항력을 강화시켜 잠재적 위험을 최소화 • 재배작물, 재배방법, 농장관리의 적절한 선택. • 물 부족에 대비한 관개시설의 확충 및 효율적 사용 • 고온으로부터 가축을 보호하기 위해 외양간에 적절한 환기구와 그늘막을 설치 • 기후변화의 농업부문 영향에 대한 다양한 연구과제 수행(Swiss Federal Office for Agriculture)
탄소저장	<ul style="list-style-type: none"> • 정부 보조금계획 • 국가산림프로그램 : 민간 농경지 조림 지원 • 정부 및 지자체 부분 조림활동 	<ul style="list-style-type: none"> • 성목(오래된 나무)을 교체하여 탄소저장능력을 회복 • 자발적 시장에 탄소저장으로 인한 크레딧을 숲 소유주에게 제공하는 방안 검토
바이오 에너지 생산지원	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오매스 협정 - 밀짚·나무 칩 등 바이오매스 최소사용량 규정 • 바이오가스 행동프로그램 - 중앙 바이오가스 설비투자 교부금 지원 • 농업협동조합 운송, 유통부문 역할 담당 • 정부 보조금 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 발전자역지원제도 • 연방 에너지 연구체제 프로그램 2008~2011 - 바이오매스 사용의 3배 확대 - 태양열 사용

표 6-26 주요국의 농업부문 기후변화 대응책(네덜란드, 호주)

구분	네덜란드	호주
농업부문 온실가스 배출량	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 총 배출량은 210.041 (Mt CO₂eq) • 농업부문은 18.423(8.77%): CH₄ 총 배출량의 52.72%, N₂O 총배출량의 60.69% • LULUCF 는 2.537(1.21%). 	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 총 배출량은 825.9 (Mt CO₂eq) • 농업부문은 88.1(약 10.67%를 차지): CH₄ 총 배출량의 56.68%, N₂O 총 배출량의 80.15% • LULUCF 는 284.7(약 34.47%) - 방목지(초지)에서 배출되는 GHG가 상당함
저감목표	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년까지 1990년 대비 30% 감축목표 - 2011~2020년 동안 연간 평균 2% 에너지 절감 - 2007년 2%의 지속가능에너지 소비율을 2020년까지 20%로 확대 • 농업부문은 2020년까지 21~23 Mt CO₂eq 감축목표 - 감축목표: 5~6 Mt (= BAU 대비 1~2 Mt CO₂ 감축) - Non CO₂ 감축목표: 16~17 Mt CO₂eq 	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년까지 2000년 대비 60% 감축
완화정책	<ul style="list-style-type: none"> • 온실원예정책: CO₂ 저감 - 1980~2010 동안 에너지 효율성을 65%까지 높이는 것을 목표로 함. - 에너지 절약과 지속가능한 전기 및 열 병합 등의 지속가능한 소비 통해 달성 - 이를 위해 규제 및 재정정책, 자발적 협약 등을 포함한 다양한 수단을 사용함. • 가축사육규모 제한: CH₄ - 2015년까지 우유쿼터를 시행, 가축수를 줄이는 규제 • 암모니아 및 분뇨정책: N₂O - 암모니아관리 및 가축분뇨관리를 통하여 아산화질소 배출량을 줄이는 규제정책 	<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)에 의거하여 저탄소농업 및 배출권거래제 방법론 제시
적응정책	<ul style="list-style-type: none"> • 기후 완충지대 설치 - 홍수 및 가뭄으로 인한 피해를 대비 - 경관, 문화·역사, 휴양 등에도 이차적으로 긍정적인 영향을 미침 • 공간개발을 위한 국가 정책계획 - 지반 침식의 방지 • Farming with water - 물 저장, 물 보전, 지표 및 지하수의 수질개선에 대하여 직불금 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 농업시스템의 복원력 배양 • 자연자원 관리자 및 시스템의 능력배양 • 병충해 유입에 의한 악영향 최소화 • 시장기회의 장점 활용 • 기후변화연구프로그램 - 연구과제와 농장실험에 자금지원, 대응책 마련 • 농장 준비프로그램 - 위험관리와 사업관리 기술, 신기술 적용의 향상 지원 • 지역사회 네트워크 및 역량구축 • 기후변화 조정프로그램 - 가뭄 등 기후변화로 인한 피해자들에게 금융지원
탄소저장	<ul style="list-style-type: none"> • 'Nature for People, People for Nature'에 따른 신규 산림지대 조성 - 2000년부터 2020년 사이에 4만 ha의 산림지대를 신규조성하고 지속가능한 산림관리 원칙(Sustainable Forest Management principles) 	<ul style="list-style-type: none"> • 초지와 농지 관리를 통한 탄소저장에 대해 CPRS에서 국내 상쇄 크레딧을 을 제공 - 토양탄소, 바이오 숯, 산림관리 포함.
바이오에너지 생산지원	<ul style="list-style-type: none"> • 온실원에 외에 다른 농업활동들은 에너지 절약과 바이오메스의 발효 및 생산을 목표로 함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소오염 감축계획 • 의무적 재생에너지 목표계획 • 재생에너지 시범 프로그램

제 7 장

농림수산식품부문의 기후변화 대응 전략

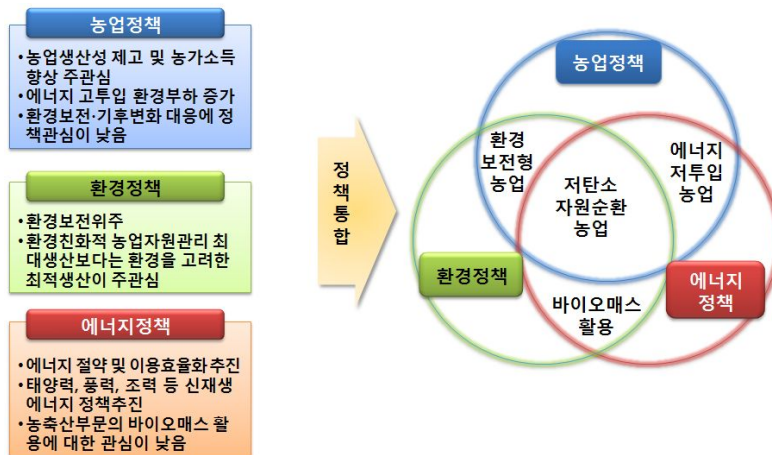
1. 전략수립의 접근방법

1.1. 전략수립의 기본방향

- 비전으로 ‘기후변화에 선제적·능동적으로 대응하는 농림수산식품산업 육성’으로 설정하고, 기후변화 대응 전략은 온실가스 감축과 흡수의 완화대책과 온난화의 적응대책으로 대별하여 접근한다.
- 전략수입의 기본방향은 영향분석과 취약성 평가 등 과학적·경제적 분석결과를 바탕으로 기후변화에 선제적으로 대응하고, 기후변화의 부정적 영향을 최소화에 중점을 둔다.
 - 농림수산식품 부문별 기후변화의 영향 파악과 온실가스 관리 정책수단별 온실가스 감축 잠재력 파악과 한계감축비용 추정 등을 전략수립의 기초자료로 활용한다.
- 기후변화에 대응한 효과적인 정책수립을 위해 농림수산식품정책과 에너지 정책, 환경정책의 적절한 정책통합을 추진하며, 적극적인 기후변화 대응을 위해 농림수산식품부의 농정목표에 ‘선제적 기후변화 대응’을 포함시킨다.

- 기후변화 대응 완화부문의 성과지표로 기준시점(2000년 또는 2005년 대비 온실가스 감축률 또는 부가가치(GDP)를 이산화탄소 배출량으로 나눈 탄소생산성(GDP/CO₂) 등을 설정한다.
- 체계적인 기후변화 대응에는 상당한 시간이 소요되므로 2020년 목표연도를 설정하고 기반구축단계, 활용단계, 정착단계 등 3단계로 나누어 단계적으로 접근한다.
- 농업인의 참여를 유도하고 가시적인 성과를 나타낼 수 있도록 농가소득 창출과 연계된 정책프로그램을 개발하여 핵심과제로 추진한다.
- 실효성 있는 기후변화 대응정책 추진을 위해 관련주체의 적절한 역할분담과 네트워크를 구축한다.

그림 7-1. 기후변화 대응을 위한 농업정책과 환경정책·에너지정책의 통합



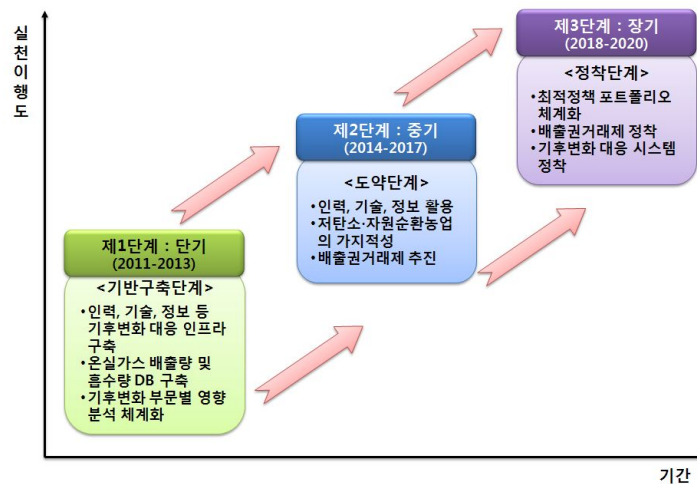
1.2. 실천전략의 접근방법

- 온실가스 의무 감축과 관련하여 환경친화적 저탄소농업시스템을 구축하기 위

해서는 상당한 기간이 소요되므로 실천전략은 2020년을 목표 연도로 시스템 구축을 위한 기반구축단계, 도약단계, 정착단계 등 3단계로 나누어 접근한다.

- 기반구축단계(2011-2013)에서는 기후변화 대응 인력·기술·정보 등 인프라 구축, 온실가스 배출량 및 흡수량 DB구축, 기후변화 영향분석 체계화 등을 추진한다. 온실가스 흡수 부문에서는 토양유기탄소 역할 규명, 적응단계에서는 농산물 생산성 및 생물상 예측 개발, 온난화 적응품종 개발 등을 추진한다.
- 도약단계(2014-2017)에서는 온실가스 배출량 D/B 는 개발된 온실가스 저감기술의 보급 확대, 흡수기능 제고를 위한 인센티브 프로그램 적용 등을 추진한다.
- 정착단계(2018-2020)는 환경친화적 저탄소 농업생산시스템 구축과 관련 온실가스 저감, 온실가스 흡수, 온난화적응 등 각 분야 프로그램의 최적의 정책조합을 추진한다.

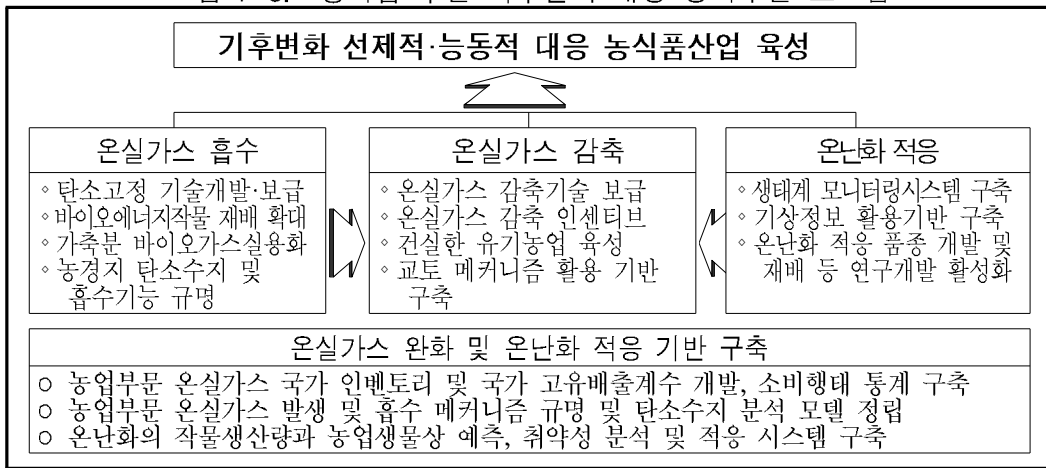
그림 7-2. 기후변화 대응 전략의 단계적 추진방안



- 온실가스 저감-흡수-적응 분야의 부문별 프로그램 추진을 통해 환경친화적 저탄소 농업생산시스템이 구축될 수 있도록 단계별 로드맵을 작성한다.
 - 기술개발, 인력육성, 모니터링 시스템 구축, 관련주체별 역할 분담 등을 통한 친환경친화적 저탄소농업생산체제로의 전환을 위한 인프라를 구축한다.

- 온실가스 방지 인프라 구축을 통한 특정 지역별·단지별 자원순환형 친환경 농업시스템과 환경친화적 축산시스템 정착 방안을 개발하여 활용토록 한다.
- 농업부문의 온실가스 배출 및 흡수 구조를 정확하고 과학적으로 점검할 수 있는 D/B 및 모니터링 시스템을 구축한다.

그림 7-3. 농식품 부문 기후변화 대응 정책추진 로드맵



< 정책추진 로드맵 >

	기반구축단계(2011-2013)	활용단계 (2014-2017)	정착단계 (2018-2020)
온실가스 감축	◦ 친환경농업육성 확대 ◦ 신재생에너지 생산 및 보급 확대 ◦ 배출권거래제 시범사업 추진 ◦ 장내발효 감축, 가축분뇨 적정처리 ◦ 양식장 유류사용 감축	◦ 온실가스 배출 D/B 구축 ◦ 지역별 맞춤형 기술 개발 및 보급 ◦ 배출권거래제 정착	◦ 온실가스 감축 정책 프로그램 보완 ◦ 저탄소농업시스템 구축 ◦ 온실가스 감축 BMP정착
온실가스 흡수	◦ 토양유기탄소 역할 규명 ◦ 유기탄소 축적량 추정 및 활용기반 구축 ◦ 도시농업 활성화 기반구축 ◦ 해조류 흡수원 활용	◦ 농경지 흡수기능 제고 인센티브 프로그램 활용 ◦ 흡수원 활용 제고 교육 ◦ 도시농업 활성화	◦ 온실가스 흡수기능 활용 ◦ 흡수기능 극대화 농업 시스템 구축 ◦ 도시농업 정착
온난화 적응	◦ 생산성 예측 및 생물상 평가 모델 구축 ◦ 농업생태계 모니터링 시스템 구축 ◦ 온난화 대응 재배지 및 작물분포도 작성 ◦ 온난화 적응 종자개발 ◦ 가축개량 및 생산기술개발 ◦ 양식 적지지도 및 적합어종 보급	◦ 온난화 적응 매뉴얼 작성 및 보급 ◦ 기상정보활용 조기경보시스템 구축 ◦ 온난화 적응품종 보급 ◦ 온난화 적응 정보제공 및 교육시스템 구축	◦ 온난화적응 시스템 구축 ◦ 온난화 활용 농업생산 시스템으로 전환 ◦ 작물형질전환 평가 시스템 구축

2. 기후변화 완화 전략

2.1. 기후변화 완화전략 추진을 위한 로드맵

○ 기후변화에 대응한 온실가스 감축과 흡수를 위한 대책 추진에는 상당한 기간에 걸쳐 나타나게 될 것이므로 완화 로드맵은 기본방향에서 제시된 바와 같이 2020년을 목표연도로 정하였으며, 단기인 기반구축단계(2011~2013), 중기인 도약단계(2014~2017), 장기인 정착단계(2018~2020) 등 3단계로 나누어 접근한다.

- 단계별로 경제적 수단, 규제적 수단, 연구 및 기술개발, 기술보급 및 교육, 통계 및 DB구축, 온실가스 흡수 등 6개 분야의 주요과제를 구분하여 단계별 로드맵을 제시할 수 있다<표 7-1>.

표 7-1. 농림수산물부문 기후변화 완화대책 추진 로드맵

	기반구축단계(2011~2013)	도약단계(2014~2017)	정착단계(2018~2020)
경제적 수단	<ul style="list-style-type: none"> 친환경농업 실천 보조금지원 배출권거래제 운용 기반구축 저탄소농업직불제 도입 신재생에너지 도입 시설지원 	<ul style="list-style-type: none"> 유기농식품산업의 전략적 육성 배출권거래제 시범사업 추진 저탄소농업직불제 본격 운영 신재생에너지 시설지원 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 유기농식품 산업의 정착 배출권거래제 정착 저탄소농업직불제 정착 신재생에너지 활용 보편화
규제적 수단	<ul style="list-style-type: none"> 화학비료 사용기준설정 퇴액비 살포기준 지역단위 양분총량제 시범사업 	<ul style="list-style-type: none"> 화학비료 사용기준 지역단위 양분총량제 본격추진 	<ul style="list-style-type: none"> 퇴액비 살포기준 지역단위 양분총량제 정착
연구 및 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축 기초기술 개발 탄소축적 및 흡수 활용 기술개발 농경지 토양보전기술 개발 에너지 절약형 농업(지열 공기열 등) 실용화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축 실용화 기술 개발 토양탄소 관리기술 개발 농경지 탄소배출 감축량 예측 및 검증 프로그램 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축 실용화 기술 개발 토양탄소 관리기술 개발 농경지 탄소배출 감축량 예측 및 검증 프로그램 개발
기술보급 및 교육	<ul style="list-style-type: none"> 토양개량제, 유기질비료 공급확대 등 맞춤형비료 공급 확대 온실가스 감축 실용화기술 매뉴얼 작성 및 보급 지열·공기열 신재생에너지 활용기술 보급 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경·유기농법의 확대 자원순환형 광역친환경농업단지 조성 확대 온실가스 감축기술 보급 교육확대 저탄소 농업교육 전문인력 양성 탄소성적표지제도 소비자교육 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경·유기농법의 기술보급의 체계화 정착화 온실가스 감축기술 보편화 탄소성적표지제도 정착 신재생에너지 활용 정착
통계 및 DB구축	<ul style="list-style-type: none"> 배출 및 흡수통계 시스템 구축 원화정책 인벤토리 구축 농업용 에너지사용량 DB구축 	<ul style="list-style-type: none"> 지역별 바이오매스 및 농업용 에너지 사용량 DB구축 농경지 토양탄소 장기모니터링 	<ul style="list-style-type: none"> 농업환경자원관리시스템 구축 농업부문 기후변화종합 정보시스템 구축
온실가스 흡수	<ul style="list-style-type: none"> 녹비작물재배 확대 과수의 탄소고정 도시농업 활성화 	<ul style="list-style-type: none"> 농경지 토양의 탄소축적 및 변화량 평가시스템 구축 도시농업 정착 	<ul style="list-style-type: none"> 토양탄소 활용 흡수시스템 정착 도시농업 정착

2.2. 기후변화 완화 전략 추진을 핵심과제

2.2.1 경제적 수단의 활용

가. 배출권거래제 도입에 대비한 기반구축 및 시범사업 추진

- 정부는 온실가스 관리를 위한 경제적 수단인 배출권거래제를 2015년부터 시행하기로 방침을 정하였고, ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률안’이 국회에 넘겨져 법안심사소위원회와 법제사법위원회를 거쳐 본회의의 최종심의 단계에 있다. 온실가스 배출권거래제는 ‘저탄소녹색성장기본법’ 제46조를 기초로 한 가격기능과 시장원리에 기반을 둔 비용효과적인 방식으로 온실가스 감축을 추진하고 국내탄소시장을 활성화하여 국제탄소시장에 적극적으로 대비함을 목적으로 추진하고 있다.

표 7-2. 온실 가스 배출권 거래제에 관한 법률안의 주요 내용

항 목	내 용
목적	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축 및 국내 탄소시장 활성화
온실가스	<ul style="list-style-type: none"> 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)
할당계획	<ul style="list-style-type: none"> 5년 단위의 국가 배출권 할당 계획 수립 국가 배출권 할당계획 및 국내 산업의 국제 경쟁력에 미치는 영향 등을 고려 감축 목표 초과 또는 미 달성시 이월 및 차입 승인
할당 대상	<ul style="list-style-type: none"> 사업장 기준 연간 25,000t CO₂eq 15,000t CO₂eq 이상의 경우 목표관리제 선택 가능
거래 참여 주체	<ul style="list-style-type: none"> 할당대상 업체, 대한민국의 개인 또는 법인, 대한민국 정부와 상호배출권거래를 합의한 제3국의 개인 또는 법인
상쇄 및 조기감축 실적	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 부분에서 국제적으로 인정받는 측정·보고·검증이 가능한 온실가스 감축량 조기 감축 실적 할당량 계획에 반영 산림분야 인증 유효기간은 20년
배출량 검증	<ul style="list-style-type: none"> 할당대상 업체는 외부 인증기관의 인증을 거쳐 온실가스 배출 명세서를 제출 정부는 배출량 인증위원회 설치

자료: 온실가스 배출권거래제 법률안

- 농업부문의 경우 배출권거래제 추진에 대비하여 탄소상쇄(carbon offset)에 참여함으로써 새로운 소득원으로 창출의 기회로 활용하는 적극적인 대응책 마련이 필요하다. 탄소상쇄란 개인이나 기업과 단체 등이 온실가스 배출량을 감축하기 위한 조치를 하였음에도 불구하고, 불가피하게 발생하는 배출량의 전부 또는 일부를 크레딧으로 상쇄하는 활동을 의미한다. ‘온실가스 배출권거래제 법률안’ 제24조~제26에서 탄소상쇄제도와 조기감축 실천에 대해서 명시하고 있다.
- 농수산식품 분야의 탄소상쇄제도 도입을 위해서는 사업계획, 타당성 평가, 사업승인, 모니터링, 검증과 인증, 크레딧 발급 등 운영규정이 마련되어야 하고, 관련기관(환경부, 지식경제부, 녹색성장위원회, 에너지관리공단 온실가스검증원 등)과의 적절한 역할분담과 협력체제가 구축되어야 한다.⁸
 - 농업부문 탄소상쇄제도가 운영되기 위해서는 총괄기관, 운영기관, 검증기관, 인증과 심의를 담당하는 전문가 위원회 등으로 관련기구별 적절한 역할분담이 이루어져야 한다.

그림 7-4. 농업부문 탄소상쇄제도 운영체계의 구성도



자료: 남재작 외 3인(2011)

⁸ 농림수산식품 분야의 탄소상쇄 사업의 검증 및 인증체계와 사업화 방법론 구축에 관한 연구가 농업기술실용화재단(연구책임자 남재작 박사) 연구진에 의해 이루어졌다(남재작 외 4인, 2011).

- 농림수산물 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 등으로 나누어 접근되고 있다(남재작 외 4인, 2011). 해외사례를 벤치마킹하여 탄소상쇄제도를 적용할 수 있는 분야를 많이 발굴해야 한다.
- 미국의 자발적 배출권거래제에서 농업부문의 다양한 분야에서 탄소상쇄 프로그램 목록이 개발되어 운용되고 있다.
 - ① 농지, 초지, 방목지의 탄소고정 관련 상쇄 프로젝트
 - 대체경작 재배법(altered tillage)의 도입
 - 겨울철 커버작물이나 지속적인 커버작물의 재배를 통해 농지휴경을 실시하고, 바이오매스를 증가시켜 농지에 환원하는 프로젝트
 - 질소비료 시용의 감축과 효과적인 이용방법
 - 논농사에서 투입되는 화학적 투입재의 감축
 - 유기토양에서의 탄소 배출량 삭감
 - 비료 및 관개에 의한 온실가스 배출량 감축
 - 가축사료와 가축사양관리 방법의 개선에 따른 온실가스 배출량 감축
 - ② 비료관리 및 폐기물 처리 관련 상쇄 프로젝트
 - 폐기물의 순환처리 기술
 - 바이오 가스 수집 및 연소 기술
 - 합성비료의 대체비료 이용 방법
 - ③ 토지이용과 산림활용에 따른 탄소저장과 관련된 상쇄 프로젝트
 - 식림 및 산림 재생활동
 - 탄소저장량을 증가시키는 산림관리
 - 이탄지 및 습지 관리
 - 인공 산림지 및 산림의 보호

- 산림관리방법 개선
 - 산림벌채의 감축
 - 도시녹화정책
 - 산림농업계획
- 일본 사례에서 제시된 바와 같이 일본의 경우 온실가스 완화의 가시적인 성과를 거둘 수 있는 정책 프로그램으로 2008년부터 농업분야의 배출권거래제가 도입되어 추진되고 있다.
- 일본의 제도는 농가(시설재배 농가)가 에너지 저감기기 도입 등 사전에 결정된 방법론으로 저감한 온실가스 배출 프레임으로 인정하여 크레딧을 부여하는 시스템이다. 해당 농가는 배출저감사업계획서를 작성하여 크레딧 인정위원회로 제출하고 승인받은 배출저감실적보고서를 기초로 크레딧을 인정받아 대기업 등에 크레딧을 판매하여 수익원으로 활용하는 방식이다.
- 탄소배출권거래제의 핵심은 배출량 감축분과 흡수량 등을 계측하고 기록하여 이들 자료를 기초로 크레딧화 하는 작업이 관건이다. 따라서 지침에 따라 모니터링과 계측을 위한 계측기 설치가 필요하며, 이에 따른 비용이 수반되므로 향후 배출권거래제에 대비하여 정책적 차원에서 적절한 대책이 마련되어야 한다.

나. 메뉴방식의 저탄소직불제 프로그램 도입

- 농축산부문의 생산활동에서 온실가스를 감축할 수 있는 저탄소농업기술이 개발되어 활용되고 있다. 벼 재배의 경우 상시담수에서 간단관개로 전환하는 경우 43.8% 감축, 무경운 실천시 20.9% 감축 등 다양한 온실가스 저감기술을 적용될 수 있다(농촌진흥청·국립농업과학원, 2009).

그림 7-5. 수도작의 온실가스 저감수단별 효과 비교



자료: 농촌진흥청·국립농업과학원(2011).

- 메뉴방식의 저탄소직불제는 지역별·농가별 입지적 여건 및 농가의 경영상황 등을 고려하여 저탄소농업 실천방안으로 선택할 수 있는 여러 가지 대안 가운데 농업인이 자발적으로 실천 가능한 방법을 선택하여 준수사항을 이행하면 직불금을 지급하는 방식을 말한다.
 - 저탄소농업 실천을 위한 메뉴로는 현행 친환경농업 직불제로 무농약과 유기농업을 실천하는 농가지원(M1), 온실가스 흡수원 역할을 하는 겨울철 피복작물 재배농가 지원(M2), 농기계에너지 이용효율 개선 농가지원(M3), 지역단위 양분수지를 기초로 환경친화적 양축농가지원(M4), 간단관개 실천농가지원(M5), 무경운농업 실천농가의 지원(M6) 등 다양한 프로그램을 들 수 있다.
 - 저탄소농업 실천 메뉴 가운데 지원단가 산정을 기초로 농가단위에서 실제로 적용할 수 있는 프로그램에 대해서는 저탄소 농업기술의 보급에서 구체적인 내용을 제시하였다.

표 7-3. 메뉴 방식의 저탄소직불제 프로그램(안)

구분	프로그램 유형	주요 내용
M1	○ 친환경농법의 실천유형별 직불금 지급	○ 현행 방식의 무농약, 유기재배 등의 실천농가 ○ Codex 유기농 기준을 실천하는 농가에 대한 직불금 지급, 특히 유기경종과 유기축산을 연계하는 경우 우선권 부여
M3	○ 겨울철 피복작물(cover crop) 재배농가 지원	○ 자운영, 호밀 등 겨울철 피복작물을 재배하는 경우
M3	○ 농기계에너지 이용효율 개선 농가 지원	○ 농업기계 효율 및 이용효율 개선 시스템 도입농가 지원 ○ 에너지 및 이산화탄소 절감형 농업기계 활용 농가 지원
M4	○ 지역단위 양분수지를 기초로 환경친화적 양축농가 지원	○ 지역단위 양분총량제가 시행되어 과도한 양분관리 차원에서 축산농가의 사육두수 감축이 이루어지는 경우
M5	○ 간단관계 실천농가 지원	○ 벼 재배 간단관계 실천을 위한 물관리 장치(자동물꼬장치) 도입 농가 지원
M6	○ 무경운 농법의 실천농가 지원	○ 논토양의 생물다양성 증대, 토양내 탄소가 축적을 위해 무경운으로 벼를 재배하는 경우

2.2.2 규제적 수단의 활용

- 지역단위 양분총량제는 과학적 토대위에서 지역별 농경지의 양분 투입과 처리를 종합적으로 파악하여 지역의 환경용량 범위에서 수용할 수 있는 총량 수준으로 관리하기 위한 제도이다. 양분수지는 화학비료와 유기질 비료 투입 등에 따른 온실가스 배출량과 직접적으로 연계되어 영국에서는 농업분야 온실가스 관리수단으로 양분관리를 다루고 있다.
 - 양분총량제는 농경지에 일정수준 이상으로 양분이 과다 투입되는 지역만을 대상으로 추진되는 정책프로그램으로 궁극적으로는 해당지역의 양분수지를 균형수준에 도달할 수 있도록 하는 양분관리 수단이다.
 - 지역단위 양분총량제는 가축사육두수 감축과 직접적으로 연계된 정책프

로그램이 아니며 지역단위(시·군 행정구역 기준)에서 양분을 종합적으로 관리하는 정책수단이다. 즉, 양분공급이 과다한 지역에서 더 이상 늘어나지 않도록 점차적으로 줄이며, 양분수용이 가능한 지역에서는 양분과잉 지역으로부터 양분을 수용하여 궁극적으로는 양분균형 수준이 유지됨으로써 지속가능한 농업시스템을 구축하는 것이 기본적인 취지이다.

- 지역단위 양분수지 산출을 위한 작물재배 면적, 경지이용률, 화학비료 및 유기질 비료소비량, 성장단계별 가축사육두수, 가축분뇨의 처리실태(퇴비화, 액비화, 정화처리, 해양투기 등) 및 자원화 형태로 타지역 이동량 등에 관한 통계자료 및 실적자료의 D/B를 구축해야 한다.
- 논·밭의 농경지에 투입되는 화학비료와 가축분뇨를 비료성분으로 환산하여 작물이 흡수하는 양과 외부로 배출하는 양의 비율인 양분수지지표(양분초과율) 수준에 따라 Blue(관심)지역, Yellow(주의) 지역, Orange(경계), Red(심각) 등 네 단계로 구분한다.
 - Blue 지역(양분관리 우수지역): 양분초과율 30% 미만 지역
 - Yellow 지역(양분관리 유도지역): 양분초과율 30~69% 지역
 - Orange 지역(양분관리 중점지역): 양분초과율 70~149% 지역
 - Red 지역(양분관리 특별지역): 양분초과율 150% 이상 지역

2.2.3. 연구 및 기술개발

- 2020년 경종분야의 온실가스를 최대한 약 40% 감축목표를 달성하기 위해 농가보급형 무경운, 간단관개의 물관리 등 기초기술 개발과 온실가스 감축 실용화 기술개발이 요구된다. 현재까지 농림수산물분야에서 개발된 저탄소 기술 이외에도 감축잠재량이 크고, 비용이 적게 소요되는 기술들을 지속적으로 개발해야 한다. 기존의 기술들에 대해서도 추가적인 응용기술을 개발함으로써 활용분야를 확대시키는 것이 매우 중요하다.
- 온실가스 완화 기술을 새롭게 개발하거나 기존기술의 추가적인 응용기술을

개발하는 데는 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 정부는 연구시설을 직접 지원해 주거나 민간 기업이 연구/개발에 투자할 수 있도록 투자환경(서비스)을 조성해 줄 필요가 있다.

- 물관리를 통한 온실가스 감축기술 개발의 경우 물 관리기술(간단관개, 중간낙수, 물 절약농법)의 실용화 기반 기술 개발이 필요하고, 물 관리 자동화장치 및 비료 시용량 절감 실용화 기반기술 개발과 물관리 및 맞춤형 시비기술 체계 매뉴얼 개발 등이 요구된다.
- 토양탄소 증진을 위한 토양관리 기술개발
 - 온실가스 흡수원으로써의 농경지 토양 활용기술 개발을 통해 미래 탄소시장에서의 농업의 새로운 소득원 발굴이 필요하다. 단기적으로는 기초자료조사(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 있다.

2.2.4. 저탄소 농업기술의 보급

가. 신재생에너지 활용 보급 확대방안

- 지열히트펌프, 목재펠릿 등 신재생에너지 활용기술은 한계감축비용이 낮고, 또 온실가스를 감축시키는 효과가 큰 것으로 나타났다. 따라서 이들 기술을 확대 보급시키는 것은 기후변화 대응에 있어 매우 중요한 의미를 가진다.
- 현재 지열히트펌프의 경우 국고보조 60%, 지방비 20%, 자담 20%, 목재펠릿의 경우 예특회계로 국고(보조 30%, 용자 20%), 지방비 30%, 자담 20%로 지원이 이루어지고 있다. 신재생에너지 활용기술이 정부와 지자체에 의해 보급된다 할지라도 지열히트펌프나 목재펠릿 가격이 높기 때문에 자부담

20%의 비용이라도 농가단위에서는 상당한 부담을 가지고 있다. 그래서 실제적으로 보급 확대가 예상대로 잘 이루어지고 않고 있다.

- 농가가 실제로 설치하고자 할 때 과연 이러한 활용기술의 안정성이 보장될 수 있을 지에 대해 확신하지 못하고 있는 것이다.

- (보급확대 방안 1) 농가단위에서 신재생에너지 보급 확대를 위해 현재의 설치비 지원이외에 추가적인 인센티브 방안이 필요하다. 신재생에너지를 활용하는 농가에 대해 시설 현대화 사업을 우대해 주는 것도 방안이 될 수 있다. 시설현대화는 신재생에너지 활용의 효율성도 높일 수 있다는 측면에서도 중요한 의미를 가지기 때문이다. 시설현대화 지원대상은 에너지 효율형 냉·난방·보온시설로 하며, 농어업에너지이용효율화 사업의 지원과 중복지원 불가 근거가 존재하는데 이를 완화시켜 줄 필요가 있다. 에너지 효율형 냉·난방·보온시설은 국고보조 20%, 국고용자 60%, 자부담 20%로 지원하는 것이 적절하다.
- (보급확대 방안 2) 신재생에너지 활용기술 확대를 위해 장기적으로는 초기 고비용을 낮추는 방안을 강구할 필요가 있다. 지열히트펌프, 목재펠릿 난방기 등의 생산시설을 규모화 하여 생산단가를 낮추어야 한다. 생산시설의 규모화를 위해서는 대규모의 민간투자가 이루어져야 하지만, 실패할 수 있는 여러 가지 위험부담으로 민간투자가 이루어지지 않을 가능성이 매우 높다. 이러한 위험은 녹색보험을 통해 완화시킬 수 있다⁹. 또한 면세채권(Tax-exempt Bond)¹⁰을 통해 민간투자를 유도할 수 있다. 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 한다.

9 김창길 외 (2010).

10 면세채권은 이자소득에 대하여 과세가 되지 않는 채권을 말한다.

- (보급확대 방안 3) 신재생에너지 활용 확대보급을 위해 제도적인 개선도 필요하다. 현재 추진되고 있는 지열히트펌프 사업의 예를 들면 우선 현재 시공 업체가 난립되어 있어 농가에게 혼란을 주고 있는데 면허제를 도입하여 무능력업체를 규제할 필요가 있다. 설계·시공·감리 관련 업체에서 사업을 총괄하도록 일원화하고 관리감독이 실제적으로 이루어지도록 해야 한다. 또한 향후 사업 대상자 선정시 자부담능력이 있고, 재배기술이 높은 농가를 우선적으로 고려해야 한다. 또한 품목별로 일률적으로 적용하고 있는 지열용량을 품목에 따라 다르게 적용할 필요가 있다.

나. 간단관개 실천농가 확대방안

- 간단관개는 불필요한 관개용수의 낭비를 줄이고 중경(中耕)제초나 추비작업을 용이하게 할 수 있으며, 환원이 심한 논에서 일시적으로 물을 빼내어 토양에 산소를 공급함으로써 뿌리를 건전하게 하는 이점이 있고, 또 토양의 온도도 높일 수 있다. 간단관개의 실시시기는 유효분얼(새끼치기)이 확보된 후부터이며, 그 간격은 토양에 따라 다르나, 발자국에 낀 물이 빠진 뒤에도 2일 정도 더 말려서 표면에 실금 또는 이보다 조금 굵은 금이 생길 때 끝내는 것이 좋다. 간단관개를 실천할 경우 논 물관리시 상시담수에서 간단관개로 관리방법을 개선하면 이산화탄소 감축을 43% 할 수 있다.
- 온실가스 감축기술 실행에 의한 감축량을 인증받기 위해서는 각 기술들의 실행면적, 유기물 시용량 등 관련 활동자료를 확보하고 배출량 측정·보고·검증 시스템(MRV, Measurable, Reportable, Verifiable)을 갖추는 것이 필요하다¹¹.

다. 친환경농업 실천 확대방안

- 친환경농업 실천은 농업환경자원을 보존하는 효과 이외에도 온실가스를 감

11 온실가스 배출량 평가 및 증명시스템 구축을 위해 농진청에서는 2010년부터 통계청과 활동자료 조사를 시작하였다.

축시키는 효과 있으므로 기후변화에 대응하여 보다 적극적으로 재배면적을 확대시켜 나갈 필요가 있다.

- 친환경농업을 실천하면 초기의 수량이 감소하고, 또한 제초제거, 농약제조 및 살포 등에 일반관행에 비해 노동력이 많이 투입된다. 또, 친환경농자재의 단가도 높아 일반관행보다 생산비가 높다. 현재 친환경농업에 대한 지원은 직접지불형태로 이루어지고 있으며, 지급단가는 논·밭의 경우 ha당 유기농업 392천원, 무농약농업 307천원이고, 밭의 경우 ha당 유기농업 794천원, 무농약농업 674천원이 지급되고 있다. 지급단가가 설정된 이후 상당한 시간이 지나 물가상승을 고려할 때 지급액수는 낮은 수준으로 보인다. 농가들은 새로운 농법을 기꺼이 받아들이려 하지 않고 있다. 그 이유는 위의 경제적 요인 이외에도 새로운 기술에의 적용에 대한 막연한 불안감도 작용하고 있는 것으로 보인다.
- (친환경농업 확대방안 1) 친환경농업 확대를 위해서는 우선 친환경농업 직접지불제도를 현실화할 필요가 있다. 친환경농업 직접지불금은 친환경농업 실천에 따른 수량감소와 생산비 증가분을 반영하여 산정되었으나 물가상승 등을 고려하여 보다 현실화 시킬 필요가 있다. 또한 지급방식도 3년간 동일 금액을 지원하는 방식에서 연차별 차등지원 방식으로 전환할 필요가 있다. 친환경농업 직불제의 연차별 차등 지급안으로 논 농업에서 유기재배의 경우 1~2년차(1단계)는 60~70만원, 3~4년차(2단계) 50~60만원, 5년차 이후(3단계)는 30만원 수준에서 10년간 지급토록 한다. 밭 농업의 경우 유기재배 1~2년차는 120~130만원, 3~4년차는 100~110만원, 5년차 이상은 60만원 수준에서 10년간 지급토록 한다(김창길 외 4인, 2009).
- (친환경농업 확대방안 2) 친환경농업 확대를 위해서는 직접지불금 이외의 추가적인 인센티브가 필요하다. 정부는 농기계 구입부담을 경감하고 농작업 기계화율을 제고하기 위해 농기계 임대사업을 추진하고 있으며, 2015년까지

350개소의 농기계임대사업장 설치를 목표로 하고 있다. 친환경농업의 가장 큰 애로사항은 농촌노동력이다. 친환경 직불금 현실화를 통해 노임 증가분을 충분히 반영한다 할지라도 고령화와 농촌인구 감소에 따른 절대노동력의 부족으로 친환경농업을 실천하는데 어려움이 있다. 따라서 친환경농업을 실천하는 단지에 우선 농기계임대사업을 할 수 있도록 우대조건을 부여할 필요가 있다. 농기계 임대사업의 사업 단가는 개소당 10억 원이며, 지원조건은 국고보조 50%, 지방비 50%가 적절하다.

라. 무경운농업 실천농가 지원방안

- 무경운농법은 논 토양의 생물다양성을 증대시키고, 잡초 발생량을 경감시킨다. 토양 내 탄소축적을 통한 온실가스 흡수잠재량이 매우 큰 것으로 평가되고 있다. 현재는 토양탄소 저장을 통한 온실가스 감축이 탄소시장에서 인정을 받고 있지 못하지만 미래에 기후변화 대응 국제협상에서 인정을 받을 가능성이 높으며, 이 경우 농가소득 창출원으로 활용할 수 있다.
- 무경운농업을 현장에서 실천하면 노동력이 증가하고, 초기 수량이 감소하기 때문에 무경운 농업을 보급하는데 어려움이 있다. 따라서 무경운농업을 실천하게 함으로써 온실가스를 감축시키기 위해서는 적절한 인센티브가 지원될 필요가 있다.
- (무경운농업 지원방안 1) 무경운농법은 보통 자운영, 헤어리베치 등의 피복작물재배와 연계되며, 무경운 자운영피복 벼 재배법 경우의 소득을 분석해보면¹² 1년차는 관행농법의 67% 수준, 2년차는 85% 수준이며, 3년차 이후에는 일반 관행농법의 소득을 상회하는 것으로 나타난다. 따라서 1~2년차의 무경운 농법 소득을 관행농법 소득 ha당 452만원의 76% 수준인 343만원으로 할 때 소득격차는 109만원이 된다. 이러한 소득격차의 50~60% 수준을

12 경상남도농업기술원 친환경농업과(2009).

적용하여 ha당 55~65만원을 저탄소 직불금으로 지원할 수 있다. 단 이 경우는 자운영 피복작물재배를 연계시킨 경우이며 피복작물을 재배하지 않을 경우의 소득격차를 분석하고 단가를 보다 정확하게 산정할 필요가 있다(김창길 외 4인, 2009). 저탄소 직불금을 지원하기 위해서는 무경운 농법을 실천하고 있는지에 대한 확인 및 지속적인 모니터링이 필요하며 이에 대한 소요 인력도 확보될 필요가 있다.

- (무경운농업 지원방안 2) 무경운농업 실천농가를 지원하는 또 다른 방안으로 온실가스 흡수원 활용을 통한 농가소득창출 방안이 있다. 무경운 농법 실천을 통해 미래 탄소시장에서의 농업의 새로운 소득원 발굴이 필요하다. 이를 위해 기초자료 조사(DB구축) 등 인프라를 구축할 필요가 있다.

마. 농기계 에너지이용 효율개선 지원방안

- 2008년 기준 농업기계에 사용된 총 에너지는 1,975천KL이며, 이 가운데 60%가 난방기에 사용되었고, 트랙터, 건조기 등 일반 농업기계에 36%, 기타에 4%가 사용되었다(농업기술실용화재단, 2011). 특히 농작업의 기계화가 가속화되면서 농업분야의 에너지 사용량이 크게 증가하였다. OECD 환경지표를 통해 볼 때 에너지 사용량은 1ha당 1,415.5kg으로 네덜란드에 이어 세계 2위를 나타내었다.¹³ 농기계의 에너지이용 효율개선을 통해 에너지사용량 및 온실가스 배출량을 감소시킬 필요가 있다. 부분경운 건담직파기¹⁴의 경우 관행에 비해 ha당 0.144톤, 부분경운이앙기¹⁵ 0.174톤, 트랙터용 에코드라이빙 시스템¹⁶ 0.016톤의 온실가스 감축효과가 있다.

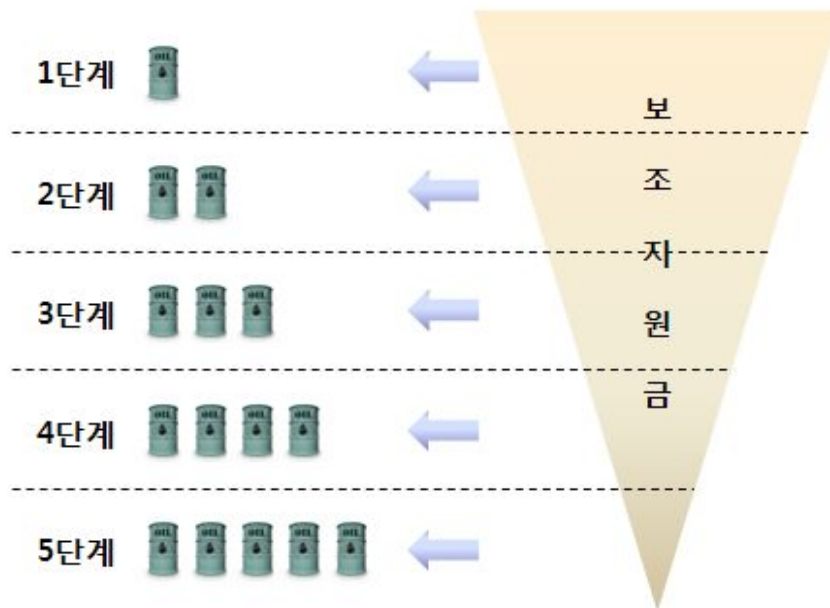
13 OECD. 2008. ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AGRICULTURE IN OECD COUNTRIES SINCE 1990.

14 부분경운 건담직파는 경운 정지 작업을 생략하고, 파종할 부분만 로터리 경운하면서 동시에 벼를 파종·시비하는 기술을 지칭한다.

15 부분경운이앙기는 경운 정지 작업을 생략하고 이앙할 자리만 부분경운하면서 벼 이앙과 동시에 완효성 비료를 시비하여 노동력과 에너지를 크게 절감할 수 있다.

- 새로운 농기계 및 농작업 기술 보급으로 농기계 이용 효율성을 개선하는 데는 비용이 수반되고, 농가의 노력이 뒤따라야 한다. 이러한 이유 때문에 농가 단위에서 농기계 에너지이용 효율개선 기술을 쉽게 받아들이지 않을 것이다.

그림 7-6. 농기계 에너지효율성 보조금 지급방안



- 농업기계 에너지 효율과 관련되어 현재 국내에서 추진되는 정책으로는 농업기계 중 농업용 난방기에 대해서만 ‘고효율 농용 난방기’를 선정하는 제도를 시행하고 있다. 선진국 사례를 보면 스페인의 경우 2006년 농업용 트랙터 에너지 소비 효율 등급제도를 법제화하여 국가 정책으로 시행하고 있다. 트랙터를 5등급으로 검사하여 2010년 현재 A등급은 52모델에 1hp 당 30유로, B등급은 95모델에 1hp당 10유로의 보조금을 지급하여 고효율 트랙터 사용을 권장하고 있다. 우리나라도 농기계의 에너지 소비 효율 등급을 정하고 그에

16 트랙터의 동력(출력)을 얼마나 사용하고 있는지, 시간당 얼마만큼의 연료가 소모되는지, 1ha를 작업하는 데 얼마만큼의 시간이 필요하고 연료가 소모될 것인지를 알려준다.

따라 보조금을 지급함으로써 에너지이용 효율을 개선할 필요가 있다¹⁷. <그림 7-6>은 농기계의 에너지효율 등급(1~5단계)에 따른 보조금 지급방안을 그림으로 나타낸 것이다.

바. 시설하우스의 내재해형 시설보급 확대방안

- 최근에 국지성 폭설, 강풍이 빈번히 발생하여 원예·특작시설 피해가 급증하고 있다. 최근 5년간(2005~2010) 원예·특작시설 피해복구액은 1조 5,122억 원에 달한다. 농작물 재해에 영향을 미치는 기후변수들을 분석한 결과, 온난화됨에 따라 태풍, 돌풍, 설해에 의한 피해는 증가하고, 강수집중도가 높아짐에 따라 호우, 태풍에 의한 피해가 증가하는 것으로 분석되었다.¹⁸ 대설, 강풍 등 기상재해에 의한 국가 및 농업인의 경제적 손실을 예방하기 위해 원예시설 내재해형 보급사업 추진이 필요하다.
- 시설원예 품질개선 사업을 통해 현재 내재해형 시설을 보급하고 있다. 지원 비율은 국고보조 20%, 국고융자 60%, 자부담 20%이다. 국고융자의 금리는 3년 거치 7년 분할상환으로 3%이다. 그러나 내재해형 설계도를 농식품부 고시하여 2007년 4월부터 농가에 보급하였으나 보급률은 아직 1.1% 정도의 수준이다. 이렇게 보급되지 않는 요인으로는 농가의 경제력 부족과 재해에 의한 위험을 완화시키기 위한 투자의식이 미흡하기 때문으로 보인다.
- 시설하우스의 내재해형 시설 보급을 확대하기 위해서는 추가적으로 재해보험부담금을 추가 인센티브로 지급할 수 있다. 이는 내재형 시설을 도입하고자 하는 농가가 보험에 가입하고 있는 경우에 한정된다. 농작물 재해보험 가운데 시설하우스 농작물에 대한 재해보험 사업 현황을 요약하면 박스로 제시

17 현재 국립농업과학원과 서울대학교 공동으로 농업기계 에너지소비효율 등급제 연구를 추진하고 있다.

18 김창길 외. 2009. 기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략. 한국농촌경제연구원.

된 <표 7-4>와 같다. 그 주요 내용을 보면, 현재 시설하우스에서 재배되는 수박, 시설딸기, 시설오이, 시설토마토, 시설풋고추, 시설호박, 시설장미, 시설국화 및 복분자 등은 2011년 현재 시범사업 대상이다. 시설하우스 농작물은 종합위험방식으로 자연재해와 조수해 및 화재 등으로 인하여 발생하는 피해를 보상하며, 보험가입금액의 70% 보장형이다. 보험가입금액의 30%, 20%, 15% 해당액은 자기부담금으로서 보험계약 시 계약자가 선택하며, 자기부담비율 이하의 손해는 계약자 또는 피보험자가 부담하기 때문에 보험금을 지급하지 않는다. 정부는 순보험료(위험보험료)의 50%를 가입농가에게 지원해주고 있다. 예를 들어 시설오이를 재배하는 농가가 500만원의 금액으로 보험에 가입하였고, 20% 해당액인 100만원을 자기부담금으로서 계약하였다면, 50만원은 농가가, 나머지 50만원은 정부가 부담하게 되는 것이다.

- 내재해형 시설을 설치하는 농가가 보험에 가입할 경우 순보험료의 정부 지원비율을 현재의 50%에서 70~80%로 상향 조정하는 방안을 고려할 수 있다. 이렇게 되면 위의 예에서 실제 농가부담은 50만원에서 20~30만원으로 감소하기 때문에 추가적인 인센티브로 작용하게 될 것이다. 이러한 인센티브를 고려하여 농가가 두 가지 사업을 모두 시행할 경우 내재해형 시설보급 확대와 함께 보험가입의 확대도 함께 이루어질 수 있다.

표 7-4. 시설하우스 농작물에 대한 재해보험 사업시행지침

<시설하우스 농작물에 대한 재해보험 사업시행지침 개요>

□ 사업개요

- 목적: 자연재해로 인한 경영불안을 해소하여 농가의 소득 및 경영안정을 도모하고 안정적인 농업 재생산활동을 뒷받침
- 재해보험 가입률(본사업 기준): 2008년 28.5%, 2009년 31.4%, 2010년 36.0%, 2011년(목표) 38.0%

□ 지원자격 및 요건

- 보험대상 농작물 등: 본사업과 시범사업으로 구분되며, 수박, 시설딸기, 시설오이, 시설토마토, 시설풋고추, 시설호박, 시설장미, 시설국화 및 복분자 등 시설하우스에서 재배되는 품목은 시범사업에 속해있음.
- 보험대상 자연재해의 범위: 시설하우스 농작물은 종합위험방식으로 자연재해와 조수해 및 화재 등으로 인하여 발생하는 피해를 보상함.
- 보장유형: 종합위험방식의 경우 보험가입금액의 70% 보장형으로 보험가입금액의 30%, 20%, 15% 해당액은 자기부담금으로서 보험계약 시 계약자가 선택하며, 자기부담비율 이하의 손해는 계약자 또는 피보험자가 부담하기 때문에 보험금을 지급하지 않음.
- 보험가입단위: 시설작물의 경우 하우스 1단지 단위로 가입 가능하며, 시설작물의 재배면적이 1,000m² 이상인 단지
- 보험가입금액 산출: 시설작물의 보험가입금액은 보험가액(생산비)의 50%~100%(10% 단위)를 보험가입금액으로 설정함. 보험가액은 하우스 1동 단위로 운용되며, 보험가입 당시의 단위면적당 생산비와 하우스 내 작물재배면적을 곱하여 산출

□ 지원대상

- 순보험료: 순보험료의 50% 보조
- * 순보험료(위험보험료): 재해보험사업자가 판매하는 농작물재해보험에 가입한 농업인의 납입보험료 지원

사. 녹비작물 확대방안

- 녹비작물의 한계감축비용을 분석한 결과 이산화탄소 1톤을 줄이는데 -23만원(23만원의 수익)으로 한계감축비용이 비교적 낮은 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 비용절감, 생산효과, 이산화탄소절감, 경관가치효과 등 경제적인 효과도 있는 것으로 분석되었다. 그러므로 녹비작물 재배를 농가단위로 보급 확산시킬 필요가 있다.
- 농가단위에 녹비작물을 확산시키는데 있어 애로사항으로는 녹비작물의 작황이 기상요인에 의해 변동이 심하여 농가가 중도 포기하거나 연속 재배를 회피하는 사례가 발생한다는 것이다. 또한 녹비작물의 종자를 외국으로부터 수입하게 뿐만 아니라 세계적인 기후변화로 가격변동이 심하다는 점을 들 수 있다.
- 녹비작물 보급을 보다 확대시키기 위해서는 안정적인 녹비작물 재배기술을 개발할 필요가 있다. 또한 외국 녹비작물의 국내공급 차질을 방지하기 위해 국내 녹비작물 종자의 자가 채종기술 개발이 필요하다.

아. 농업용 LED 확대방안

- 농업용 LED의 한계감축비용을 분석한 결과 이산화탄소 1톤을 줄이는데 -29만원(29만원의 수익)으로 녹색기술 가운데 한계감축비용이 비교적 낮은 것으로 나타났다. 농업용 LED를 농가단위로 보급 확산시킬 필요가 있다.
- 농가단위에 농업용 LED를 확산시키는데 있어 장애요인으로는 초기의 높은 시설투자비용이라고 할 수 있다. LED 광원의 수명이 백열등보다 10~30배 길고 전기에너지로부터 광전환 효율이 90%로 높아 에너지절감효과가 매우 크게 나타나지만(홍성창, 2009) 초기 설치비용이 너무 높아 농가단위에서 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 단기적으로 초기 설치비용에 대한 정부의

지원이 필요하고, 장기적으로 지열히트펌프와 같이 설치비용을 낮추기 위한 여러 가지 방안을 강구할 필요가 있다.

- 농림수산식품부에서는 저탄소 녹색성장 추진전략의 하나로 LED 이용 시범사업 정책을 추진하고 있다. 현재의 시범사업을 본사업으로 추진할 필요가 있고, 실증연구 대상품목을 보다 확대할 필요가 있다. 또, 백열등은 열이 나지만 LED는 열이 나지 않아 주로 겨울철에 재배하는 시설농가들을 위해 LED 보급과 함께 시설하우스의 보온대책을 함께 강구시켜줄 필요가 있다.

2.2.5. 온실가스 흡수원 활용

- 전국 농경지와 초지의 탄소저류 효과 파악을 위한 탄소조사(정점 및 기준점 조사) 프로젝트를 추진한다. 우선 온실가스 흡수활동을 모니터링 할 수 있는 적절한 지역을 선정하여 시범사업을 추진하고, 지역별 여건에 적합한 토양탄소 흡수원 활용 사업지침을 확정하고 전국적으로 확대하도록 한다.
- 농경지토양의 온실가스 흡수원 활용을 위한 시범사업 추진¹⁹
 - 토양탄소 저장에 효과가 있는 농업활동을 하고 있는 시범지역을 대상으로 농업인의 장부를 기초로 그 실제비용 등을 조사하고, 토양탄소량과 온실효과가스를 실제로 측정하고 있는 농업인단체나 유관기관에 관련자재 소요경비, 기장경비와 분석비 등 실증을 위한 경비를 정액으로 보조하도록 한다.
 - 토양탄소 흡수원 활용 시범사업은 논과 밭, 과수원, 방목지 등의 다양한 영농활동에서 유기물(퇴비, 녹비 등) 시용, 초생재배 등을 추진하는 농가나 단지를 시범지역으로 선정한다. 시범지역에서 토양탄소 저장 활동을

19 토양탄소저장 관련 시범사업은 일본의 ‘토양탄소 저류 모델사업’을 벤치마킹하여 제시하였다.

실시하면서 소요되는 경비와 소득 변화를 농업인들의 장부를 통해 조사토록 한다. 또한 토양 및 퇴비 등의 모든 탄소, 전체 질소와 메탄과 아산화질소 등을 측정하여 탄소저장과 관련된 정보를 수집한다.

- 토양탄소 흡수원 활용 시범사업을 추진하기 위해서는 해당지역의 농업인과 농업인단체와 농업기술센터, 국립농업과학원 온실가스 측정 전문가(또는 해당지역의 농과대학 온실가스 전문가) 등으로 구성된 ‘토양탄소 활용 지역협의회(가칭)’를 조직하고 내부 규약을 정하도록 해야 한다. 해당지역 농업기술센터에 협의회 사무실을 설치하도록 한다.
 - 보조대상 경비는 우선 재배와 관련하여 논밭·채소밭, 퇴비, 녹비종자, 제초제 등의 자재구입비·생산을 기록한 장부 비용과 기계임대비(비경작과 종기, 잡초제거기, 견인 퇴비 살포기 등)를 대상으로 한다. 분석경비는 기계임대료(가스 크로마토그래프(Gas Chromatograph))·실험 종사자 경비(수당, 여비)·실험기재 구입비(진공용기, 가스채집봉투 등) 등을 대상으로 한다. 또한 사무비로 검토 회개최비(회의비, 여비, 인쇄·제본비 등), 소모품비(논·채소밭의 간판비, 문방구 등) 등을 대상으로 한다.
- 온실가스 흡수원으로 도시농업 활성화 유도
- 도시텃밭(2010년 247개 농장, 104ha), 옥상농원 조성, 도시 주말농장 등을 효과적으로 활용하기 위한 도시농업 인프라 구축을 추진할 필요가 있다.

2.3. 농림수산 분야별 온실가스 감축 대응방안

2.3.1. 농업(경종과 원예)

- 농업 비에너지부문의 온실가스는 대부분 생산증대를 위한 물관리 기술, 비료 사용 등 영농기술 사용에서 발생하고 있다. 감축잠재량 분석결과 간단관개를 통해 온실가스를 상당히 감축할 수 있고, 무경운 농법을 통해서도 어느

정도 감축할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 원예부문에서 온실가스를 감축 시키기 위해 시설원예 에너지 절감방안을 추진할 필요가 있다. 농업·농촌부문의 녹색성장 정책 추진 우선순위 전문가 평가에서 20개의 정책 중 에너지 이용 효율화가 3위를 차지할 정도로 우선순위가 높았으며, 농식품부의 농업 관련 녹색성장 33개의 프로그램 가운데 바이오매스 에너지화 촉진을 전문가들은 중요하게 평가하였다. 또, 시설원예에서 지열히트펌프를 적용할 경우 한계감축비용이 이산화탄소 1톤을 줄이는데 -35만원(35만원의 수익)으로 한계감축비용이 가장 낮은 것으로 나타났다.

- 무경운 농법의 경우 작물 재배기술 매뉴얼을 개발하고 영농현장에서 효과를 검증할 수 있는 체계를 확립할 필요가 있다. 무경운 농법의 실증연구를 통해 경제적 효과를 분석할 필요가 있다.
- 간단관개의 경우 기술체계의 설정이 필요하며 온실가스 감축의 객관적 검증 체계 확립이 필요하다. 간단관개를 통한 온실가스 감축을 위해 단기적으로는 DB 구축 및 실용화 기반기술 개발이 필요하고 중장기적으로는 온실가스 감축기술 현장적용 시범사업을 통해 농가의 온실가스 감축 인프라 구축에 주력할 필요가 있다.
- 시설원예 에너지 절감의 경우 경영비 절감 및 시설원예 에너지 사용에 따른 온실가스 감축을 위해 신재생 에너지 보급 및 에너지 절약형 난방·보온시설을 지원할 필요가 있다. 이를 위해 유류사용축소를 위한 지열 등 신재생에너지 및 에너지 절약시설을 대폭 확대할 필요가 있고, 신재생에너지 및 에너지 절약시설 보급과 면세유 배정과의 연계를 추진하여 유류의존도가 낮은 산업 구조로 개편할 필요가 있다.

2.3.2. 축산

- 온실가스 감축을 위한 축산부문의 기술로는 지열, 환기개선 등의 시설을 적용시키는 온실가스 감축 축사시설개발, 장내 발효개선, 가축분뇨 자원화 및 에너지화가 있다. 지열 등 에너지 절감시설을 시설하우스에 적용할 경우 온실가스 감축효과가 있는 것으로 나타났으므로 축사에 적용할 경우에도 비슷한 효과가 나타날 것으로 보인다. 장내발효개선, 가축분뇨 자원화 및 에너지화는 온실가스 감축잠재량 분석에 의하면 보급의지에 따라 상당한 감축효과가 있는 것으로 나타났다.
- 온실가스 감축 축사시설개발의 경우 중기적으로는 DB구축 및 기초 기반기술 개발에 주력하고, 장기적으로는 지열 및 태양열 이용 축사시설 개발 등 다각적 이용방안 마련을 추진할 필요가 있다.
- 반추가축이 섭취한 사료를 소화시키는 과정에서 장내 미생물에 의해 메탄이 발생되고, 이 과정은 지구온난화의 원인이 되고 있으므로 반추가축 장내 발효개선을 위해 가축 소화관내 메탄생성 미생물 제어 및 수소 이용경로의 변환을 통한 메탄 생성 저감기술을 개발하고, 영양·사양기술을 이용한 저메탄 사료 제조기술을 개발할 필요가 있다.
- 우리나라의 가축분뇨 자원화, 농경지 환원 및 환경영향평가 기술수준은 선진국에 비하여 낮은 수준이다. 따라서 가축분뇨 퇴·액비의 농경지외 다각적 이용방안 마련으로 자원순환농업과 연계되도록 할 필요가 있다. 또 가축분뇨 에너지화 시설의 경우 국내환경에 적합한 시설의 인프라 구축이 필요하다. 더 나아가 가축분뇨 자원화 및 에너지화 시설 설치를 지속적으로 확대할 필요가 있다.

2.3.3. 수산(양식업과 어선어업)

- 양식업 부문의 온실가스 감축을 위해 양식장의 에너지 절감설비(히트펌프) 설치를 확대하고 지하해수를 양식장 용수로 활용할 필요가 있다. 어선어업 부문에서는 저비용·고효율 어업시스템 개발과 LED 보급이 필요하다. 온실가스 감축잠재량 분석 결과 어업용 LED의 경우 보급의지에 따라 감축효과가 다소 있는 것으로 나타났다.
- 양식업부문의 에너지 절감 양식기반 구축을 위해 양식장 에너지 절감 설비(히트펌프)와 양식장 용수개발을 위한 지하수 해수조사연구를 실행할 필요가 있다.
- 어선어업부문에서 저비용·고효율 어업시스템 개발과 LED 보급의 경우 LED 기법을 활용한 저비용 수산업 기술 개발과 친환경·에너지 절감형 어업구조 정착이 필요하다. 어업구조 정착을 위해 단기적으로 성능 및 어획능력이 개선된 오징어 채낚기용 집어등을 보급 확대하고, 생분해성어구보급 시범사업을 실행하고, 중장기적으로 친환경 어업 기자재 사용 정착화를 추진할 필요가 있다.

2.3.4. 산림

- 온실가스 감축잠재량 분석결과 목재펠릿 보일러의 경우 상당한 감축량을 나타내고 있다. 난방기 연료로 목재펠릿을 활용할 경우 발생하는 온실 가스는 IPCC 기준에 따라 온실가스 발생량으로 계산되지 않기 때문에 목재펠릿 난방기의 온실가스 감축량은 매우 크다고 할 수 있다. 목재펠릿과 같이 산림바이오매스를 활용하기 위해서는 충분한 산림바이오매스가 확충될 필요가 있다. 따라서 바이오순환림조성, 숲가꾸기 등을 통해 목재 자급률을 제고시킬 필요가 있다. 또, 독일, 일본 등 임업 선진국에서는 산림바이오매스 등 신재

생에너지를 이용한 에너지 자립마을을 조성·운영하는 추세에 있으므로 우리도 산림탄소순환마을을 조성할 필요가 있다.

- 신재생에너지 보급·확대에 있어 산림 바이오매스는 조기에 가시적인 성과창출이 가능하고 중장기적으로도 기여도가 높기 때문에 산림바이오매스 이용 활성화를 위해 목재산업을 육성하고, 기후변화 대응을 위한 산림바이오매스 활용을 확대할 필요가 있다.
- 우리나라에서도 풍부한 산림자원을 활용한 저탄소 녹색마을을 적극적으로 조성해야 할 단계이다. 이를 위해 산림자원 육성과 연계하여 폐자원 및 바이오매스 에너지를 활용하는 산림탄소순환마을 조성을 추진할 필요가 있다.

2.3.5. 수자원

- 온실가스 감축을 위해 화석연료를 대체할 신재생에너지가 각광을 받고 있으며, 저수지 등 농업기반시설을 이용하여 소수력발전을 함으로써 에너지를 생산하고, 온실가스 감축에 기여하며, 신소득을 창출할 수 있다.
- 소수력 발전시설 설치를 위해 시설물 특성에 따라 사업비 확보 방안을 다양화하고, 저수지 외 취입보, 도수로 등 발전소 설치 가능 시설물에 대한 자원 조사를 통한 사업영역을 확대할 필요가 있다.

2.3.6. 식품·유통

- 우리나라는 기후변화 대응을 위해 자발적으로 국가 온실가스 감축목표를 설정하고 여러 방면으로 온실가스 감축정책을 추진하고 있으며, 그 가운데 온실가스를 많이 배출하는 기업을 관리대상으로 지정하여 온실가스 감축을 도모하는 온실가스·에너지 목표관리제를 시행하고 있다. 따라서 온실가스·에

너지 목표관리제를 통해 식품부문의 2020년 온실가스 감축목표 달성에 기여할 필요가 있다. 또 식품부문의 온실가스 감축을 위해 소비단계의 음식물 쓰레기를 줄이고, 건전한 식생활 유도를 위한 녹색식생활 교육 추진체계를 정립할 필요가 있다. 우리나라의 음식물 쓰레기는 지속적으로 증가하고 있으며, 연 2% 증가 추세 시 사회·경제적 부담이 매우 크며 2012년에 25조원의 경제적 손실이 발생할 것으로 예상되고 있다.

- 온실가스 목표관리제 추진을 위해 우선은 합리적이고 공정한 목표관리제 운영을 위한 제도 운영체계를 강화할 필요가 있다. 제도의 이해도 제고를 위해 식품업체를 대상으로 교육 및 홍보를 실시하고, 식품업종 및 업체별 합리적인 감축목표 설정을 위한 업종 분석 등의 연구를 추진할 필요가 있다. 다음으로 목표관리제 추진에 따른 업체의 부담을 완화시켜 주기 위해 지원방안을 마련할 필요가 있다. 예를 들어 관리업체의 에너지 효율화 및 온실가스 감축활동 지원을 위한 용자지원을 추진할 수 있다.
- 녹색식생활 확산을 통해 온실가스를 줄이기 위해서는 우선 식생활 개선을 위한 인프라를 구축할 필요가 있다. 식생활 교육 지원을 위한 법적·제도적 기반 구축, 식생활 교육기관을 통한 전문인력 양성, 건전한 식생활 유도를 위한 녹색 식생활 지침 마련 및 보급 등의 과제가 필요하다.

2.4. 농림수산 분야별 온실가스 흡수 대응방안

2.4.1. 농업(경종과 원예)

- 온실가스 흡수원으로써 농경지 토양의 활용에 대해 세계적으로 관심이 높아지고 있음에도 불구하고 우리나라의 토양탄소 저장에 대한 기술은 현저히 낮은 수준이다. 현재는 토양탄소 저장을 통한 온실가스 감축이 탄소시장에서

인정을 받고 있지 못하지만 미래에 기후변화 대응 국제협상에서 인정을 받을 가능성이 높다.

- 토양탄소 저장 기술은 온실가스 감축잠재량이 매우 큰 것으로 나타났으므로 적극적으로 기술을 개발할 필요가 있으며 토양탄소 저장기술로는 토양탄소 관리기술개발과 농경지 토양 보전기술 개발이 있다. 또 원예부문에 온실가스 흡수를 위해 도시농업 활성화 방안을 도출하고 추진할 필요가 있다. 도시농업 활성화를 통해 도심녹지공간을 확대함으로써 도심온도 저감, 온실가스 감축 및 생태계 복원이 가능할 것이다.
- 온실가스 흡수원으로써의 농경지 토양 활용기술 개발을 통해 미래 탄소시장에서의 농업의 새로운 소득원 발굴이 필요하다. 단기적으로는 기초자료조사(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 있다.
- 농경지 토양 보전기술 개발은 우리나라 밭토양의 61%가 경사 7%이상의 경사지에 분포하고 있어 여름철 집중 강우로 토양유실이 가속화되고 있는 점을 감안하여 침식방지농법 도입 시 비점오염을 모형과 결부하여 환경영향평가를 체계화할 필요가 있고, 농가 필지단위 토양침식방지 실용화 기술 적용을 위한 토양보전 농법의 실용화할 필요가 있다.
- 도시농업 활성화를 위해 법적, 제도적 인프라를 구축하고, 단기적으로는 주말농장 등 도시텃밭을 확대하며, 도시농업공원 조성 등을 통해 도시농업 공간 확보에 주력, 중장기적으로는 식물공장의 산업화를 촉진하고, 도심녹지 조성을 통해 도심지 온도를 저감시키며 온실가스를 감축할 필요가 있다.

2.4.2. 수산(양식업과 어선어업)

- 해조류 온실가스 흡수 잠재력은 매우 큰 것으로 알려져 있으므로 농식품부
문 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서도 해조류 흡수원 활용은 매우 중
요하다. 현재 IPCC에서는 온실가스 흡수원으로 해조류를 고려하지 않고 있
으나 2013년 이후 포스트교토 체제를 대비하여 온실가스 감축 및 탄소흡수
원 확보 절실하다. 양식업부문 온실가스 흡수를 위해 해조류 대량생산 및 해
조류 흡수원 국제인증 추진할 필요가 있다.
- 해조류 흡수원 국제인증을 추진하기 위해 해조류에 의한 온실가스 흡수력을
정밀 산정하여, 탄소흡수원으로 공식인증을 획득하여 활용할 필요가 있다.
실내 실험을 통해 대표 해조류 종별·발생단계별 흡수 능력을 정밀 산정하고,
해조류 양식현장에서 온실가스 흡수능력 정밀 산정할 필요가 있다.
- 해조류 대량생산을 위해 바다숲을 조성하고 탄소흡수원을 확대하고, 탄소배
출권을 확보하기 위해 단기적으로 온실가스 흡수원 최적지를 개발하고 기술
개발 인프라를 구축하고, 중장기적으로 온실가스 흡수원인 바다숲을 조성할
필요가 있다.

2.4.3. 산림

- 온실가스 감축을 위해 유일한 탄소 흡수원인 산림의 체계적 관리가 요구된
다. 산림부문의 온실가스 흡수를 위해 조림, 숲가꾸기 등을 통해 탄소 흡수
원을 확대시킬 필요가 있다. 우리나라 산림은 67%가 한창 자라는 단계에 있
어 산림자원의 가치 증진 및 탄소흡수원 확대를 위해서는 지속적인 조림·숲
가꾸기 필요하다. 더 나아가 “탄소흡수원 증진법” 제정과 산림탄소배출권
거래 등을 통해 산림상쇄기반을 구축할 필요가 있다.

- 산림부문의 탄소흡수원 확대를 위해 탄소흡수기능이 저하된 산림에 대하여 경제성이 높은 수종으로 갱신 및 조림사업을 추진하고, 경제림육성단지 중심으로 탄소흡수원 확충을 위한 숲가꾸기를 추진할 필요가 있다.
- 산림상쇄기반 구축과 관련하여 국제 협상에서 국가의무감축량을 산림에서 최대한 상쇄하기 위한 인프라를 구축할 필요가 있으며, 산림탄소흡수원 확충과 활용을 위한 제도적 기반 구축, MRV(측정·보고·검증) 가능한 산림탄소 관리체계 구축, 기후변화 전문인력 양성 및 민·관협력 모델 개발 등이 요구된다.

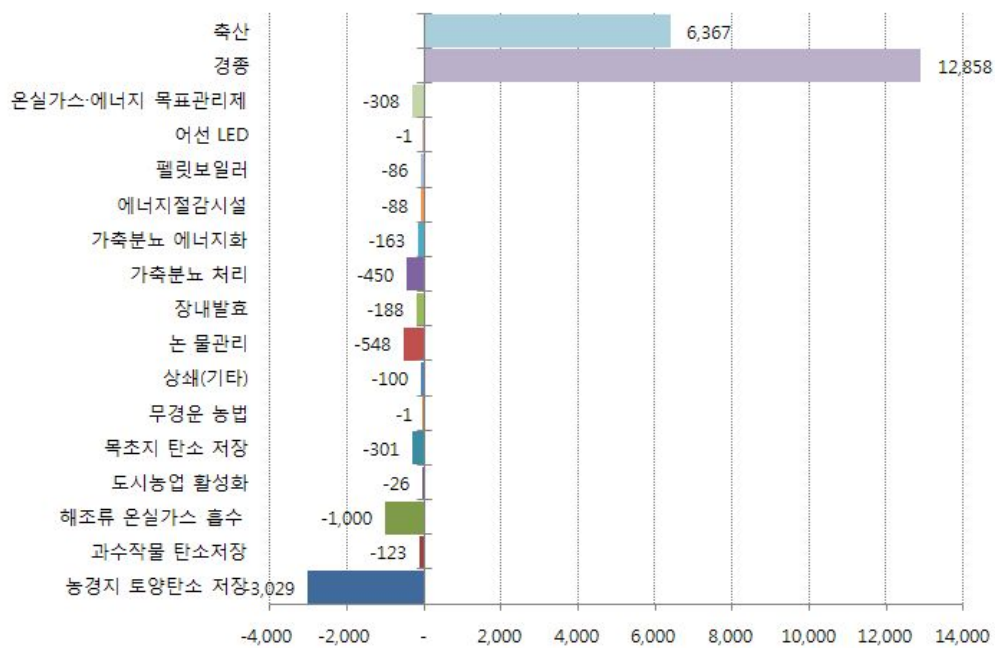
2.5. 농식품부문 온실가스 관리를 위한 포트폴리오

- 농식품부문의 효과적인 온실가스 관리를 위한 감축 수단과 흡수 수단의 적절한 결합을 통해 비용최소화와 효과 극대화를 추구해야 한다. 이를 위해 감축수단별 감축잠재량 추정, 흡수수단별 흡수량 추정 등을 통한 감축목표 달성 시나리오 구성할 필요가 있다.
- 농경지 토양의 탄소저장 능력에 대한 전략적 접근 방안 제시할 필요가 있다. 농지토양관리를 흡수원으로 채택하고 있는 국가로는 캐나다, 미국, 포르투갈, 일본 등을 들 수 있다. 미국과 호주 등의 국가에서 농경지 토양의 탄소고정 능력은 연간 대략 0.2~3.0 탄소톤/ha으로 이는 0.7~11CO₂톤/ha에 달한다(1 탄소톤 = 3.67 이산화탄소톤).
- 토양의 탄소고정 능력은 토양형태, 기후와 작물 종에 따라 차이가 있으며, 유기물 관리의 바이오동태시스템 시스템의 경우 약 12%의 능력이 증가한다. 세계적으로 농경지 토양의 탄소저장 분야에서 저명한 학자인 오하이오 주립대 Lal 교수의 연구에 따르면 토양의 탄소저장 능력은 토양관리방식에 따라

연간 ha당 0.1(온대지대)~1.5 탄소톤(건조지대) 정도로 이를 이산화탄소 단위로 환산하면 0.4~5.5 CO₂톤으로 추정된다.

그림 7-7. 2020년 농업부문 온실가스 관리의 기본구조

단위: 천CO₂톤



- 토양의 유기탄소 흡수 과정은 다음과 같다. 퇴비나 볏짚 등의 유기물을 토양 속에 투입하게 되면 그것에 포함된 탄소는 미생물에 의해 분해되고 일부는 대기로 방출되고, 일부는 토양에 속에 장기간 쌓이게 된다. 이 과정에서 토양의 유기탄소 흡수가 이루어진다. 흡수의 증가와 배출의 억제를 위해서는 퇴비 등의 유기물 투입을 늘리거나 적절량의 시비량 준수 등이 효과적이다.

3. 기후변화 적응 전략

3.1. 기후변화 적응 전략 추진 로드맵

- 기후변화는 상당한 기간에 걸쳐 나타나게 될 것이므로 적응로드맵은 기본방향에서 제시된 바와 같이 2020년을 목표연도로 정하였으며, 단기인 기반구축단계(2011~2013), 중기인 도약단계(2014~2017), 장기인 정착단계(2018~2020) 등 3단계로 나누어 접근하였다. 단계별로 기술개발, 기반시설관리, 경제적 수단, 홍보교육, 모니터링, 농가적용 기술·경영 등 6개 분야의 주요과제를 구분하여 단계별 로드맵을 제시하였다<표 7-5>.

표 7-5. 농림수산물식품부 기후변화 적응대책 추진 로드맵

	기반구축단계(2011~2013)	도약단계(2014~2017)	정착단계(2018~2020)
기술개발 (R&D)	<ul style="list-style-type: none"> · 소비자수령·내열성 신품종 개발 · 시비·파종 등 재배기술 보급 · 재배지 및 작물분포도 작성 · 조기경보시스템 개발 및 활용 · 재해대비 수자원관리시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> · 온난화 적응품종 보급 · 작물형질전환 평가연구 추진 · 조기경보시스템 정교화 · 물이용효율 최적화설비 활성화 · 재해대비 수자원관리시스템 활성화 	<ul style="list-style-type: none"> · 온난화적응 시스템 구축 · 작물형질전환 평가 시스템 구축 · 조기경보시스템 구축 · 가뭄·홍수 등 재해대비 수자원관리시스템 활성화
기반시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> · 논·밭 탄소감축 기술 보급 · 물 절약형 관개기준 설정 · 농업기반시설의 현대화 · 시설원에 에너지저장기술 보급 	<ul style="list-style-type: none"> · 논·밭 탄소감축 활성화 · 물 절약형 관개기준 보급 · 농업용수관리자동화 구축 · 시설원에 에너지저장기술 확대 	<ul style="list-style-type: none"> · 논·밭 탄소감축 활성화 · TM/TC시스템 구축 · 시설원에 에너지 저감 융합기술 확대
경제적 수단	<ul style="list-style-type: none"> · 저탄소직불금 도입 · 절수 투자인센티브 도입 · 고효율 관개시스템 지원 	<ul style="list-style-type: none"> · 저탄소 직불제 활성화 · 절수 투자인센티브 활성화 · 농업용수사용료 도입검토 	<ul style="list-style-type: none"> · 저탄소직불제 정착 · 농업용수사용료 제도 운용
홍보 교육	<ul style="list-style-type: none"> · 위험관리 전문농업인육성 · 위험관리전문컨설턴트 육성 · 농작물재해보험 및 위험관리 농가 교육 확대 	<ul style="list-style-type: none"> · 위험관리 전문농업인 육성 · 위험관리 전문컨설턴트 활용 · 온난화적응 매뉴얼 보급 · 적응 교육시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> · 위험관리 전문농업인 육성 · 온난화 적응매뉴얼 보완 · 관련주체별 온난화적응 체계적 교육시스템 구축
모니터링	<ul style="list-style-type: none"> · 생산성 예측 및 생물상 변화 등 영향평가 모델 도입 · 농업생태계 모니터링 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> · 생산성 예측 및 생물상 변화 등 영향평가 모델 활용 · 작물생육 환경영향평가 시스템 운용 	<ul style="list-style-type: none"> · 대체 용수사용에 따른 작물 생육 및 환경영향평가 시스템 구축 · 국내외식량수급 증장기 예측
농가적용 기술경영	<ul style="list-style-type: none"> · 작물 성장속도 조절 · 기후변화 적합한 작물재배 · 농가단위 용수관리설비 설치 · 위험회피 작물보험 활용 	<ul style="list-style-type: none"> · 물이용 효율 제고 · 소득안정화 프로그램에 참여 · 작물다각화 등을 통한 농가소득원 다양화 	<ul style="list-style-type: none"> · 최적의 재배지 전환 · 물이용 효율 제고를 위한 관개스케줄 작성

- 단계별 주요과제 가운데 지속적으로 추진되어야 할 과제의 경우는 엄밀하게 시기별로 나누어 구분하여 제시하는데 어려움이 있다.
 - 기후변화 피해를 예방하고 최소화 할 수 있도록 기후변화 적응기술 개발은 모든 기간에 지속적으로 추진되어야 할 분야이다.
 - 특히 소비다수성·내재해성·내열성 품종개발은 시급한 과제이며, 개발된 품종이 농가단위에 보급될 수 있도록 지속적으로 추진해야 한다.
 - 경제적 수단 분야의 경우 저탄소직불제 도입은 기반구축단계에서 이루어지고 이후 지속적으로 추진되어야 할 핵심과제이다.
 - 홍보와 교육은 기후변화 적응에 대한 공감대 형성을 위해 특별히 관심을 가지고 지속적이고 체계적으로 추진해야 할 과제이다.
 - 모니터링 분야의 경우는 기후변화 여건을 반영한 중장기 세계식량수급 예측모형 개발을 위해 단계적인 과제가 추진되도록 해야 한다.
 - 농가적용 기술·경영의 경우는 기술개발과 연계하여 적응기술이 농가에 실제로 보급될 수 있도록 단계별로 실효성 있는 프로그램 개발에 관한 연구가 필요하다.

- 기술개발 분야의 경우 작물분야, 원예분야, 열대·아열대 분야로 나누어 로드맵 제시해야 한다.
 - 농업부문 기후변화 적응분야의 연구가 지속적으로 이루어지기 위해서는 관련시설과 인력 등 연구 인프라가 기반구축단계에서 확실하게 이루어질 수 있도록 정책적 지원과 관심이 중요하다.
 - 도약단계에는 기후변화 연구동이 운용됨으로써 향후 기후변화 연구의 전진기지로 활용될 수 있도록 해야 한다. 기변화에 대응하여 장기적인 농업부문 적응대책을 수립하기 위해서는 작물의 생산성, 품질, 재배적지 변화에 대한 과학적인 영향평가가 필요하며, 이를 위해서 인위적으로 기온과 이산화탄소 등의 재배환경 조절이 가능한 종합적인 ‘기후변화 연구동(가칭)’ 시설이 마련되어야 한다.
 - 일본을 비롯하여 미국과 독일 등 주요국의 경우 국립 농업관련연구원과 관련분야 대학에서 기후변화 연구동이 구축되어 적응분야의 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

표 7-6. 분야별·단계별 기후변화 적응 연구개발 로드맵

구분	기반구축단계 (2011~2013)	도약단계 (2014~2017)	정착단계 (2018~2020)
작물 분야	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 따른 농업형질동정 및 우량유전자원 탐색 온난화에 따른 재배작기 및 작형, 재배기술 개발 새로운 문제 병해충모니터링 및 예찰기술 개발 이상기상에 따른 식량작물재해 양상 및 경감기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 고온등숙 품종 등 대응품종 및 품질유지기술 개발 온난화 단계별 재배관리기술 개발 기상재해 요인별 피해특성 구명 및 경감기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 온난화 대응 육성 신품종의 농가보급 및 작물별 산업화 육성 온난화 적응 재배기술 및 병해충 관리기술 보급 및 현장실증 이상기상에 따른 벼 피해 경감기술 개발
원예 분야	<ul style="list-style-type: none"> 고온적응성, 내재해성 신품종 개발 유전자원 수집 평가 및 국내외 국제공동연구 강화 원예작물 영향평가, 재배지대 설정 연구 채소·과수의 최적 재배적지 분포도 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 고온적응성, 내재해성 유망계통 및 재배평가, 지역적응시험 실시 온난화 단계별 재배관리기술 개발 주요 채소, 과수 재배품종별 재배적지 변동 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 고온적응성 및 내재해성 신품종 보급 기후변화 영향평가를 위한 주요 원예작물별 환경생리반응 연구 신재생에너지를 이용한 온난화 대응 저투입 고효율 재배기술 실용화
열대·아열대 분야	<ul style="list-style-type: none"> 열대/아열대 유전자원 활용 신 소득작물 개발기반 구축 열대/아열대작물 수집 및 국제협력체계 구축(오키나와, 미얀마 등) 최적 재배적지 분석 및 기후변화 변동 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 열대/아열대 수집 유전자원 적응성 검토 및 선발 선발 작물의 지역적응 시험 및 재배관리기술 개발 열대/아열대의 기후적 재배적지 구분 	<ul style="list-style-type: none"> 개발 신소득 작물 재배확대를 위한 시범사업 및 브랜드 산업화 육성 기후변화 작물 취약성 지도 및 작물 재해지도 작성 개발도상국 열대/아열대 농업전문가 교육 및 교류
축산 분야	<ul style="list-style-type: none"> 축종별 기후적응 형질 개발 가축개량 및 생산기술 개발 가축질병 대응기술 개발 목표유전자 집적기술 개발 권역별 사료작물 2-3모작 도입 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 온난화 대응 증체·육질향상 기술개발 고온기 생산성 향상 기술개발 우선 질병대상 예방기술 개발 내재해 사료맥류 신품종개발 	<ul style="list-style-type: none"> 혹서기 대응 가축사양 기술개발 및 보급 고온 스트레스 저감 첨가제 개발 내재해 양질 다수성 목초 품종 개발 및 보급
수산 분야	<ul style="list-style-type: none"> 해역별·품종별 양식 취약성 평가기술 개발 어류의 감염성병원체 진단기술 개발 최적 양식사료 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 유독플랑크톤 발생에 따른 양식업 피해저감기술개발 유기양식 및 다영양입체양식 기술개발 아열대성 내온성 양신품종개발 	<ul style="list-style-type: none"> 품종병 해양 양식지도 개발 다영양입체양식(IMTA) 효과 평가 및 양식매치 기술개발 신규 내유성어종 어획 기술개발
산림 분야	<ul style="list-style-type: none"> 산림생태계 취약성 평가 산림탄소 수치 및 산림플러스 관측기술 개발 산림탄소순환마을 운영매뉴얼 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소흡수 증진 수종육성 연구 탄소흡수자원 유전생리 및 유전생태 규명연구 산림병해충의 변화 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 산림수자원 통합관리 기술 산림생태계 관리기법 개발 산림생태계 영향 예측기술 기후변화 대응 적지적수 모형 개발
연구 인프라	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 종합연구 연구동 건립 검토 및 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 연구동 건립 및 운용 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 연구동의 적응분야 연구 전진기지화

주: 농촌진흥청(2007b), 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터(2009), 각 도농업기술원 시험연구계획 등에 제시된 자료를 기초로 재구성하여 작성한 것임.

3.2. 적응전략 추진을 위한 핵심과제

3.2.1. 적응기술 개발

- 농산물의 고유한 품종 특성을 고려하여 품종개량과 함께 새로운 품종개발이 이루어져야 한다. 예를 들어 벼의 경우 기후조건과 토양 등을 고려하고 각종 재해에 견딜 수 있는 내재해성, 고온등숙성, 지역적응성이 높은 품종을 개발하고, 사과와 같은 경우 저온요구에 둔감하고 고온에서 착색이 용이한 품종 개발이 바람직하다.
 - 지역적 특성을 반영하여 주산지 변동에 따른 새로운 품종 도입이 필요한 경우 지역적 적응성과 소비자 기호성, 국내외 경합성 등을 종합적으로 고려하여 도입작목을 선정해야 한다. 예를 들면 열대 또는 아열대 작물을 도입하는 경우 환경 적응성이 높고 재배하기 쉬우며 기능성을 함유하고 있어 소비자의 기호성이 높고 해외에서 수입하기 어려우며 수익성이 높은 작물을 선정해야 한다.
- 기후변화 적응을 위한 품종개량과 새로운 품종개발에 관한 연구는 지역별 기후변화와 농업여건 등을 종합적으로 고려하는 실제적인 현장연구로 상당한 시간과 예산 투입이 필요하다.
 - 경기권의 경우 고온적응 벼 품종 개발과 사과와 복숭아 등 주요 과실의 품종개량 기술 개발이 필요하다.
 - 경상권의 경우 고온적응 및 고위도에 적합한 사과 품종개량과 새롭게 도입되는 품종으로 감귤, 한라봉, 무화과 등 난대성 과일의 품종개량, 중장기적으로 아열대 과일의 적응성 연구가 이루어져야 한다.
 - 전라권의 경우 감귤과 한라봉 등 난대성 과일의 적응성 연구와 중장기적으로 아열대 과수와 채소에 대한 적응성 연구, 고랭지에 적합한 사과 품종개량 등의 품종개발이 이루어져야 한다.
 - 충청권은 고등숙 적응 고품질 조생종 벼 품종선발, 고온적응 콩 품종개량, 고온적응 복숭아·포도 등의 품종개량이 이루어져야 한다.

- 강원권의 경우 주산지 변동에 따른 사과, 배, 포도 등 주요 과실류의 적절한 품종선발, 고감미·내한성의 복숭아 신품종 개발이 필요하다.
- 제주권의 경우 고온성 감귤 및 한라봉 품종개량과 열대 및 아열대 과수와 채소의 신품종 적응성 연구가 필요하다.

표 7-7. 권역별 기후변화 적응 기술개발 추진과제

권역	기술개발 분야
경기권	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화 대비 고온적응 벼 품종개량 및 재배기술 개발 •경기북부지역 사과 주산지 관련 품종개량 및 확대 전략개발 •기후변화 대응 복숭아 품종개량 및 재배기술 보급 확대
경상권	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화에 따른 쌀 수량 및 품질변화 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 무경운 자운영피복 벼 기계 이앙기술 보급 •온난화 대응 경남북 지역 맥류 재배법 •기후변화대응 사과종 재배기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 감귤, 한라봉, 무화과 등 과수류 품종적응 및 재배기술 보급 •고온적응 사과 품종개량 및 고위도·고랭지·산간지역의 사과 재배기술 개발 •아열대 과종 재배환경 적응성 검토
전라권	<ul style="list-style-type: none"> •벼 이모작 확대 기술개발 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 이상고온에 따른 병해충의 작물별 피해를 산정기술 개발 •온난화 대응 과수류 품종개발 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 감귤·한라봉 등 난대성과일 재배기술 보급 - 아보카도, 망고, 패션프루트, 체리모야, 용과, 노니, 캔타로프 등 아열대과일 적응 및 재배기술 •온난화 대응 소득증대 작물류 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 아티초크, 열대시금치, 오크라, 아스파라가스 등 아열대 채소류 적응 연구 •전북 고랭지지역의 사과주산지 관련 신품종 육성 및 재배기술 보급
충청권	<ul style="list-style-type: none"> •기후변화 대응 고등숙 적응 고품질 조생종 벼 품종선발 •조생종 벼 조기이앙과 적정 재식거리 설정 등 적응기술 개발 및 보급 •충청지역 콩 품질향상 및 안전재배 기술연구 •충북지역 복숭아, 포도 등 과실류 품종개량 및 재배기술 보급
강원권	<ul style="list-style-type: none"> •고품질 내재해 우량계통 벼 신품종 육성 연구 •기후온난화 대비 강원지역 과수류 품종개량 및 재배기술 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 강원 지대별 사과, 포도, 배 등 주요 과수류 적응 및 재배기술 보급 - 영동지역의 난지 과수재배가능성 연구 - 복숭아 고감미 내한성 신품종 육성
제주권	<ul style="list-style-type: none"> •기후온난화에 따른 병해충발생 양상 변화연구 •온난화 대응 열대/아열대 작물 개발 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 열대과수로 망고, 패션프루트의 적응성 평가 - 도입과종: 망고, 아보카도, 패션프루트, 용과, 마카다미아, 아메모야, 체리모야, 구아바 등 8과종 12품종 - 채소류: 오크라, 아티초크, 열대시금치, 차요체, 공심채, 페피노, 구와이, 열대토마토, 양빈 등 10개 품종

자료: 각도 농업기술원의 기후변화 대응 연구과제와 관련분야 전문가 면담조사를 통해 작성된 것임.

- 농업부문의 기후변화 적응을 위한 기술개발과 관련하여 생산기술 개발 분야도 중요한 분야이다.
 - 생산기술에는 새로운 병해충·잡초 등에 대응한 방제기술 및 예측모델 개발, 새로운 시비·작목파종 및 수확시기조절 등의 재배기술 개발, 새로운 재배적지의 조정, 과실의 결실 안정기술, 난지작물 내륙지역 적응성 검증기술 등을 들 수 있다.
 - 기후변화에 적응할 수 있는 품목별·지역별 재배기술 개발은 비용효과적인 적응수단으로 활용될 수 있다. 특히 온난화 적응 관련 생산기술에 있어서 파종시기 조절과 재배적지 조정 분야는 실제로 농가단위에 쉽게 적용되는 분야로 활용도가 매우 높은 기술개발 분야이다.

- 기후변화 적응이 효과적으로 이루어지기 위해서는 농업분야의 기후정보시스템 구축을 위한 체계적이고 심층적인 연구수행 필요하다.
 - 기후정보시스템 구축을 위한 연구과제로는 사전적 기상정보 제공을 위한 조기경보시스템 개발, 기상재해 모니터링 및 농업기상재해 DB구축, 농업기상재해 발생위험지역 상세구분 및 예측기술 개발, 농업기후 요소별 상세 기후도 구축, 온난화에 따른 농업기상재해 대응기술 개발 등을 들 수 있다.
 - 전자기후도를 활용한 농업기후 요소별 상세기후도 구축은 실제로 온난화에 대응하여 농장경영에 필요한 기후 및 농업 관련정보를 직접적으로 제공한다.

- 기후변화 적응 농업자원관리혁신 분야의 기술개발 과제로는 농업환경정보의 정책연계성 분석 시스템 개발, 가뭄·홍수 등 재해 대비 수자원관리시스템 개발, 대안적 경작과 배수시스템 등 농업자원관리시스템 개발 등을 들 수 있다.

- 기후변화 적응 기반구축기술개발 과제로는 농경지 온실가스 감축 기술 개

발, 물이용 효율 최적화 설비 개발, 인수(물을 끌어다 댐) 소실 저감 기술 개발, 토양의 침투특성을 고려한 물 절약형 관개자재 개발 등을 들 수 있다.

- 기후변화에 따른 수자원 부족 문제는 심화될 것으로 보여 이에 대비한 물 관리 현대화 등 농업용수관리 시스템의 보완에 관한 심층적인 연구가 필요하다.
- 기후변화에 따른 해수면상승에 대비한 농업기반시설 연구는 중요한 중장기 과제로 해수면 상승 시나리오 검토, 대상지 파악, 농업기반시설 진단과 평가 등을 기초로 단계별·분야별 기술개발이 필요하다.

3.2.2. 기반시설관리 강화

- 농업부문의 기후변화 적응을 위한 기반시설 관리는 크게 농경지관리, 농업용수관리, 농업기반시설관리 분야로 구분된다.
 - 기반시설관리 분야의 핵심과제는 농업용수관리이다. 기후변화에 따른 수자원 부족 문제는 심화될 것으로 예상되므로 물 관리 현대화 등 농업용수관리 시스템의 보완은 지속적으로 다루어야 할 중요한 과제이다.
 - 농업용수관리에 있어서 다루어야 할 세부과제로는 시설재배 작물 물 절약형 관개기준 설정과 재배환경 조건에 적합한 맞춤형 물관리 등을 들 수 있다. 또한 농업용수의 배수시스템 개선을 위한 파이프 도랑 수로 정비와 관개수로의 건설, 물 절약을 위한 스프링클러 및 점적관개, 농업용수관리자동화(TM/TC)의 확대 등도 농업용수관리에서 비중을 두고 다루어야 할 과제이다.
- 기후변화에 따른 피해를 경감시킬 수 있는 농업시설관리 분야의 대책이 필요하다.
 - 농업시설관리 분야의 실행 프로그램으로 태풍 등 기상재해 피해 최소화를 위해 방풍 울타리, 열을 막을 수 있는 장치(보호막), 시설하우스는 기후변화에 대응 현대화 시설물, 수분의 증발산을 억제하기 위한 플라스틱

필름 설치 등이 필요하다.

- 농업부문 기후적응을 위한 농경지 관리의 세부과제는 메탄 배출 감소를 위한 논외 건답직파 및 간단관개, 아산화질소 배출 감소를 위한 밭에 질소질 비료 사용량 감축, 무경운 농법 확대, 토양 침식을 억제하기 위한 주변 식생 관리 등을 들 수 있다.

3.2.3. 경제적 인센티브 활용

- 농업분야 기후변화 적응 전략이 효과적으로 추진되기 위해서는 농가단위에서 적응방안 도입에 따른 추가적인 비용이나 노력에 대해 적절한 인센티브가 필요하다.
 - 현재 많은 나라에서 환경적인 조치를 농가단위에서 집행하기 위해 환경적 상호준수(environmental cross compliance, ECC) 프로그램을 도입하여 운영하고 있다. 농업분야의 기후변화 대응이 효과적으로 이루어지기 위해서는 ECC를 기초로 한 메뉴방식의 직불제 도입이 바람직하다.
- 기후변화로 물문제가 심화됨에 따라 농업부문의 대응방안으로 영국 사례 등을 벤치마킹하여 절수에 대한 투자 인센티브 도입, 고효율 관개시스템의 보조금 지원책 강구해야 한다.
 - 농업용수를 다량으로 사용하는 농장에서 절수기와 중수도시설 등 절수시설 설치를 할 경우 설치자금융자, 세액공제, 상수도 요금 감면, 환경개선부담금 감면 등 인센티브를 제공함으로써 절수시설 설치를 활성화하도록 해야 한다.
 - 초기 투자비용이 높은 고속정밀 스프링클러, 마이크로 스프링클러 등의 고효율 관개시스템(High Efficiency Irrigation System)을 도입하는 농가에게 보조금을 지원한다.
- 기후변화에 따른 위험관리를 위한 적절한 손실보상 조치 강구해야 한다.

- 기후변화로 홍수, 가뭄, 이상기온 등 자연재해가 더욱 증가할 것으로 예상되며 이러한 자연재해는 농가파산으로 이어질 수 있고, 많은 농가에서 동시에 발생하는 경우 농업기반의 붕괴를 가져올 수 있으므로 정부가 적극적으로 개입하여 농가의 손실을 적절하게 보상해 주어야 한다.
- 재해에 따른 위험은 사전적으로 예방조치를 강화하는 것이 중요하고 농가파산이 일어나지 않도록 재해보험과 같은 위험관리프로그램을 운용해야 한다. 농가 지원금을 재해지원프로그램(Disaster Assistance Program) 명목으로 지급함으로써 작물 및 다년생 작물의 재해보상에 재정적 지출을 부담토록 하는 방안을 검토할 필요가 있다.
- 기후변화 적응과 관련한 농가위험관리를 위한 보상 프로그램 도입이 필요하다. 기후변화에 적응하기 위해 농가단위에서 새로운 작목을 도입하는 경우 재배기술이 안정되고 생산수준이 일정한 수준에 도달하기까지 개별농가는 상당한 위험을 부담해야 한다. 이 경우 새로운 작목도입에 따른 생산량 및 소득 감소의 위험성을 완화시켜 줄 수 있도록 일정수준의 직불금을 지급하는 방안에 대한 검토도 필요하다.

3.2.4. 인력양성 및 교육 강화

- 농업분야 기후변화 대응 인력양성 분야에서는 적응대책 전문 인력 육성과 기후변화 적응 선도농업인 육성을 위한 교육 프로그램 운용이 필요하다.
 - 농촌현장에서의 기후변화 대응은 시군 농업기술센터의 지도, 작목반장 또는 선도 농업인 등을 통해 이루어지고 있으므로 이들 기관과 핵심적인 지도자에 대한 체계적인 교육이 필요하다.
- 기후변화 대응 교육분야에서는 농업 기상정보시스템 활용 및 농작물재해보험과 위험관리에 대한 농가 인식 제고를 위한 교육투자 확대가 이뤄져야 한다.
 - 성공적인 기후변화 대응을 위한 공감대 형성과 인식제고를 위해서는 효과적인 교육 프로그램 개발과 상당한 예산투입이 필요하다.

- 호주의 기후변화 조정프로그램(Climate Change Adjustment Program)을 벤치마킹하여 일정한 자격시험을 통과한 사람에게 교육지원금을 보조하고, 국가 인증을 받은 교육기관 혹은 단체에서 교육을 받게 함으로써 농업 기상정보시스템 활용 및 농작물재해보험과 위험관리 등에 대한 농가 인식을 제고할 필요가 있다.
 - 특히 필지별 토양전자지도와 전자기후도의 활용에 대한 교육을 통해 농가 스스로 자신의 지역에 적합한 작목을 선정하거나, 재난에 대비토록 해야 한다.
- 농업인이 현장에서 적용할 수 있도록 지역·품목별 기후변화 영향분석 연구 결과를 바탕으로 한 현재와 미래의 품목별 적응대책 매뉴얼을 개발하여 보급해야 한다.
 - 기후변화 영향 및 취약성 평가를 포함하여 보다 정확한 기상정보, 기상 재해관련정보를 제공하는 시스템을 구축함으로써 농업인이 사전적으로 기후변화의 영향에 대응할 수 있도록 해야 한다.
 - 새로운 품종 및 난지작물 등의 재배기술보급을 위한 농가교육을 확대하고, 새로운 재배기술에 대한 적응력을 높이기 위해 우수농가, 외국의 선진사례 등을 견학할 수 있는 프로그램을 개발하여 추진해야 한다.
 - 기후변화 대응기술 교육 등을 위해 대학교에 “농림수산식품분야 기후변화 특성화 대학원” 개설과 지원을 추진한다.

3.2.5. 모니터링 시스템 구축

- 기후변화에 사전적·능동적으로 대처하기 위해서는 과학적인 대응 방안인 기후변화 조기 탐지와 신뢰할만한 예측을 제공하는 조기경보시스템 구축이 필요하다.

- 조기경보시스템 구축을 위해서는 농경지의 환경 및 기상인자에 대한 모니터링 시스템 구축이 관건이다.
- 농업생태계 변화에 대한 모니터링 시스템 구축도 모니터링 분야의 중요한 과제이며, 벼 재배단지의 수자원 부족량 변화에 대한 모니터링과 기후변화에 따른 작물의 생육과 생산성에 대한 모니터링도 중요하다.
- 기후변화에 따른 식량안보 시스템 구축을 위해서는 시나리오를 기초로 한 세계 식량수급 중장기 예측모델 개발도 모니터링 분야에서 중요한 과제이다.
 - 온난화 심화에 따른 국가별·지역별 작물생산 감소는 곡물의 국제가격을 상승시키는 요인으로 작용한다. IPCC는 기온상승과 강수량이 상당히 변화하는 경우 농업기술이 발달하지 않은 국가의 농업생산에 상당한 악영향을 미칠 것으로 추정하였다. 또한 기후변화에 따른 고온과 가뭄, 한발 등의 기상이변 빈발과 수자원 감소 등으로 인해 지역적으로 식량생산이 큰 영향을 입게 될 것으로 전망하고 있다. 기온이 약 3℃ 상승하는 경우, 세계 전역의 작물생산은 상당히 부정적인 영향을 받게 될 것으로 분석하였다(IPCC, 2008).
 - 밀, 옥수수, 콩 등 해외의존도가 높은 곡물에 대해 주요 생산국의 당해연도 식부면적, 생육상황을 위성자료, 기상관측자료 등을 이용하여 추정하고, 중장기 날씨정보 및 전망자료를 기초로 한 생육모델링 기술을 적용하여 곡물생산량을 예측할 필요가 있다.
- 지구온난화에 대해 적절하게 대처하지 못할 경우 세계경제가 위축되어 식량수요도 축소될 가능성이 있는 것으로 분석된다.
 - 지구온난화는 기온과 강수, 일조 등 기상조건에 결정적으로 의존하는 식량생산에 중대한 영향을 주며, 세계식량수급에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.
 - 기상여건 변화를 고려한 세계 식량수급 중장기 예측모델이 개발된다면 중

장기 국내 식량수급 예측의 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

3.2.6. 농가적용 기술·경영 활용

- 농가단위에서의 기후변화 적응전략을 도출하기 위해서는 지역·품목별 기후변화 영향분석이 이루어져야 하고, 기후변화 영향에 대응할 수 있는 기술개발 및 적응전략이 필요하다.
- 기후변화 적응을 위한 농가가 적용할 수 있는 기술과 경영분야의 핵심과제로는 생산기술관리, 토양관리, 용수관리, 농가재정관리 등으로 구분될 수 있다.
 - 생산기술 분야에서 농가가 실제로 실천할 수 있는 기술로는 작물 성장속도 조절, 온실 경작, 농약과 잡초의 조절, 병해 예방, 작물 유형의 다각화, 이식 일자 등의 조정, 적당한 기후로의 재배적지 전환 등을 들 수 있다.
 - 농가단위에 적용할 수 있는 품목별 대책은 일본의 경우 주요사업 지침에 상세하게 잘 제시하고 있다. 일본의 대응사례를 참고하여 품목별 적응대책을 제시하였다<표 7-8>.
 - 토양관리 분야의 세부 프로그램으로 토양침식 방지를 쉽게 하기 위한 밭의 세분화, 토양침식 방지를 위한 경작 회피 및 주변식생관리, 경작체계의 변경(윤작, 간작) 및 다양화를 위한 기술 채택을 들 수 있다.
 - 용수관리 분야의 실행프로그램으로는 스프링클러 관개, 적하관개, 파이프도랑 수로 이용, 물이용 효율 제고를 위한 관개 스케줄 작성 설비 이용, 농가단위 저수시설 설치 등을 들 수 있다.
 - 농가재정 분야에서 소득감소 위험회피를 위한 작물보험 활용, 소득 안정화 프로그램에 참여, 작물다각화 등을 통한 농가소득원 다양화, 농산물 선물시장에 참여 등과 관련 농가별 여건을 고려한 적절한 프로그램 선택 등을 들 수 있다.

표 7-8. 주요 품목별 기후변화 적응대책

품목	기후	영향	적응대책	
벼	기상재해	침관수	▪ 재해위험지구 지정, 내병성 품종 선택, 시비량 조절	
		풍해	▪ 재배시기 조절, 내풍성 품종의 선별, 방풍시설설치	
		도복	▪ 내도복성이 강한 품종 선택, 적정량의 비료적기 시용, 물 관리와 도복 경감제 처리	
		수발아	▪ 휴면성이 강한 품종의 선택, 생장조절제 처리	
	고온장해	백미숙립	▪ 고온내성 조생품종 육성 ▪ 이앙기 연기, 적정 낱알수 억제·유도, 재배 밀도 조정 ▪ 질소, 인산, 칼리 3요소의 균형시비	
		동할립		
		고온불입		
과실류	고온해	폭염피해	▪ 7-16일간 강우량이 30mm 이하일 때는 일정 간격 정해 점적관수	
		병해충	▪ 정밀 예찰 우선	
	사과	착색기 고온	착색불량(과육연화, 저장성 저하)	▪ 쓰가루, 후지 등에서 착색 불량 계통 선택: 반사 필름 등에 의한 수광 개선 기술
	복숭아	성숙기 고온	밀증상~과육갈변병	▪ 조생품종으로의 전환, 적정착과나 적정수확업수, 토양, 지초 관리
	포도	착색기 고온	착색불량	▪ ABA(abscisic acid) 처리와 환장박피 처리기술: 적정착과 철저
	감귤류	착색기 고온	착색불량 및 부피과	▪ 반사 멀칭 자재에 의한 수광 개선 기술 ▪ 방장착과 등에 의한 큰 열매 억제 ▪ 식물조절제에 의한 부피과 경감 기술
여름 고온		생리적 낙과	▪ 지베렐린처리에 의한 생리낙과 억제 기술	
야채화훼	기후변동	-	▪ 적지·적품종 선정의사 결정 지원시스템	
	서열대책	-	▪ 분무식냉방 온도 상승 억제 기술 ▪ 호박의 내서성 대목 선정 ▪ 가지의 단위결실 품종 육성 ▪ 토마토의 고온착과불량 경감기술	
	병해충	담배거세미나방	▪ 방충망, 성페로몬트랩	
두류	하·추 고온	한발해	▪ 지하수위 조절시스템 개발	

자료: 日本 農林水産省(2008), 농촌진흥청(2007b), 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터(2009)의 자료를 종합하여 작성한 것임.

3.3. 농림수산물 분야별 핵심 적응 방안

3.3.1. 농업(경종과 원예)

- 영향평가 및 예측은 실효성 있고 효과적인 기후변화 적응정책을 위해 필요한 과제이며 작물모델 구축 및 활용이 있다. 기후변화 적응품종 개발은 농업 부문의 기후변화 적응을 위한 실천전략 개발에 있어서 단기적으로나 중장기적으로 가장 우선적인 과제이며, 재배기술 및 작부체계 개발도 농업인의 주된 관심사이므로 이러한 기술개발을 우선적으로 추진할 필요가 있다.
- 기후변화 대응방안 마련에 활용하기 위해 영향평가 및 예측과 관련하여 기후변화가 벼 생육에 미칠 영향에 대한 종합적이고 체계적인 평가시스템 구축을 위해 영향평가/예측 및 작물모형 개선연구가 필요하다. 더 나아가 온도, CO₂ 농도 변화뿐 아니라, 수자원, 한발, 홍수 등 생물리적 환경변화를 모두 고려할 수 있는 벼 작물모형으로 개선될 필요가 있다. 벼 생육에 미치는 기후변화 영향 평가 시스템 구축을 위해 우선은 기초자료 조사 및 기반시설 구축 등 기후변화 벼 영향평가를 위한 인프라 구축이 필요하고, 영향평가 결과를 바탕으로 적응정책 개발 및 발굴이 필요하다. 원예부문에서도 기후변화에 따른 과수 및 노지채소의 영향평가를 확대할 필요가 있다.
- 실효성 있는 품종개발이 이루어지 위해서는 첫째 농산물의 고유한 품종 특성을 고려하여 품종개량과 함께 새로운 품종개발이 이루어져야 하고, 둘째, 새로운 작목을 도입할 때 지역적 적응성과 소비자 기호성, 국내외 경합성 등을 종합적으로 고려해야 하며, 셋째 권역별 특성을 고려하여 적절한 품종개발 주체별로 적절한 역할분담이 이루어져야 한다. 품종개발과 관련하여 벼의 경우 내재해 및 내병충성을 제고시키며, 배추의 내서성 자원 개발을 확대하고 사과·배 등 기후변화 적응품종 개발로 생산량을 안정화시킬 필요가 있다.

- 생산기술 개발 분야도 중요하며, 생산기술에는 새로운 병해충·잡초 등에 대응한 방제기술 및 예측모델 개발, 새로운 시비·작목파종 및 수확시기조절 등의 재배기술 개발, 새로운 재배적지의 조정, 과실의 결실 안정기술, 난지 작물 내륙지역 적응성 검증기술 등을 들 수 있다. 특히 맥류의 파종량 및 시비량을 기후조건에 맞게 재설정하고 잡곡의 적지적작 방안을 마련할 필요가 있다. 원예부문의 경우 과수 안전재배 지대를 설정하고, 태풍 등 이상기상에 따른 피해경감 기술을 개발할 필요가 있다.

3.3.2. 축산

- 가축은 상대습도 및 기온이 높은 여름철에 고온 스트레스가 심화되어 생산 능력이 떨어짐으로 기후변화 대응 가축개량 및 안정생산 기술 개발을 추진할 필요가 있다. 또 국제수역사무국(OIE)은 기후·환경변화가 가축전염병 발생에 상당한 영향을 미치고 있으므로 지속적인 관심을 촉구한 바 있다. 따라서 기후변화에 따른 신종 질병 발생에 대비하여 가축질병 모니터링 및 진단 기법을 확대할 필요가 있다.
- 가축개량의 경우 한우 및 젓소의 선발 기술 개발을 통해 생산량을 증대시킬 필요가 있다. 또, 안정생산의 경우 번식우 고온기 수태율 향상 기술개발, 젓소 고온 스트레스 저감 사료 개발, 돼지 흑서기 대응기술 보급 등의 과제를 추진할 필요가 있다.
- 가축질병 모니터링 및 진단기법 확대의 경우 기후변화에 따른 신종출현 예상 가축질병의 효율적 관리를 위한 종합적인 시스템 구축을 위해 기후변화 관련 가축전염병 대응기술을 확보하고, 아열대성 신종가축전염병 모니터링을 확대할 필요가 있다.

3.3.3. 수산(양식업과 어선어업)

- 기후변화가 우리나라의 수산업(양식업)에 미치는 영향을 보면 어획량의 경우 난류성 어종은 증가하고, 한류성 어종은 감소하고 있으며, 난류성 어종의 분포해역이 북상하고 있다. 따라서 기후변화에 따라 양식업에 미치는 영향을 평가하고, 적절한 대응방안을 통해 피해를 사전에 예방하며, 아열대성 내온성 양식품종 보급으로 기회를 최대화 할 필요가 있다. 어선어업 분야의 경우도 기후변화 영향의 위험을 최소화하고 기회를 최대화하도록 주요 어장에 대한 예측 강화 및 수산자원 관리 방안이 필요하다.
- 기후변화에 따른 양식업 취약성 평가의 경우 해역별 양식 취약 품종 파악, 취약성평가 기법 개발 및 양식어업 DB 구축 등 평가 기술개발 기반을 조성하고, 평가기법을 적용·개선할 필요가 있다. 기후변화에 대한 양식업의 대응방안의 경우 해역별·생물별 기초 정보 구축을 통해 양식 지도를 작성할 필요가 있다.
- 양식업에서의 기후변화의 기회 활용의 경우 기후변화에 따른 질병발생빈도가 높아짐에 따라 내병성 육종품종(넙치, 전복, 돌돔, 멧게)을 개발하고 산업화를 추진하며, 구체적으로 유전자표지를 이용한 선발육종기술 개발, 유전자지도를 이용한 분자육종기술 개발 등의 과제를 추진할 필요가 있다.
- 어선어업의 기후변화 대응관련 우리나라 주요 어장의 기초생산력 모니터링 체계 구축, 해역별 아열대 타깃 지표종 모니터링 실시 등 예측기반을 강화하고 유해생물 제거기술 개발 확대, 해적생물 등의 모니터링 확대를 통해 기후변화에 의한 부정적인 영향으로 인한 어업피해를 경감시켜야 한다. 더 나아가 연안 바다목장 확대, 해조장 확대 및 어패류 종묘 방류 확대로 수산자원화를 확대할 필요가 있다.

3.3.4. 산림

- 온난화가 진행되면서 현재의 천연림과 조림지의 수종은 생육이 부적합한 경우가 발생하며, 숲의 생물 다양성도 변화하고, 개화시기, 낙엽시기도 변동하고 있다. 미래에도 기후변화에 따른 수종별 생육범위가 변화하여 생산성 및 조림지대가 바뀌고 조림지 산림생산성이 변화할 것으로 예상되고 있다. 이와 같은 기후변화의 부정적인 영향을 최소화하기 위한 적응방안이 요구된다. 산림 부문에서는 산림 생태계 변화 유지 및 관리와 체계적 산림수자원 관리가 필요하다.
- 산림생태계 변화 유지 및 관리를 위해서는 산림생태계 영향평가와 산림생물계절 모니터링이 필요하다. 산림생태계 영향평가를 위해 산림수종 산림식생 등 변화 예측기술을 개발하고, 산림생태계영향 예측모델 개발 및 취약 산림생물 보존 방안을 수립할 필요가 있다. 또 체계적인 산림수자원 관리를 위해 산림수자원의 통합관리시스템을 개발하고, 산림수자원 관리프로그램을 확대시킬 필요가 있다.

3.3.5. 수자원

- 지구 온난화에 의해 한반도의 5대강 수계 139개 유역의 수자원 변동성을 시·공간적으로 분석한 결과를 보면 한반도의 기온이 1℃ 상승함에 따라 실제 증발산량이 3.4%~5.3% 변할 것으로 전망되고(배덕효 등, 2007), 기후변화로 한반도 수자원의 변동성이 커지며, 홍수 규모와 빈도가 증가할 것으로 전망되고 있다(박근애 등, 2007). 따라서 충분한 수자원 확보 및 효율적 수자원 이용이 필요하다고 할 수 있다. 충분한 수자원 확보를 위해 저수지 뚝 높이기, 다목적 농촌용수 개발 등의 과제를 실행하고, 효율적 수자원 관리를 위해 농업용수 관리자동화 시스템 구축, 작물에 대한 물절약 관개기술 개발, 주요 시설물 안전 관리 강화 등이 필요하다.

- 충분한 수자원 확보를 위한 다목적 농촌용수 개발의 경우 준공위주의 집중 투자로 지속가능한 수자원을 안정적으로 확보하고, 생산에서 생존·환경자원의 물로 농촌용수 패러다임을 전환하여 농촌용수의 다기능을 강화시킬 필요가 있다.
- 우리나라는 강수량의 계절적 편차가 크고 국토의 65%가 산악지형으로 총 강수량중 이용 가능한 수자원이 제한적이다. 따라서 효율적 수자원 관리가 필요하며, 이를 위해 농업 수자원 분포 DB구축, 토지이용 형태별 물절약형 및 물 재활용 기술 개발, 농경지 토양 중 양수분 행동양식에 대한 기작 구명 및 모형화 등이 필요하다.

3.3.6. 식품·유통

- 지구가 온난화됨에 따라 이상기상이 발생하고 있고, 농산물의 수급불안을 야기하고 있다. 2010년 여름철의 지속적인 강우로 국내 배추파동이 발생하기도 하였다. 이상기상에 따른 농산물 수급불안을 해소하기 위해 농업관측을 보다 강화시킬 필요가 있다. 특히 기상이 단수에 미치는 영향을 계량적으로 추정·반영하기 위해 기상요인을 고려한 단수예측모형을 개발하고 적용할 필요가 있다.
- 농업관측 강화를 위해 기상이변을 고려한 단수예측모형을 개발하는데 있어 과거의 선형함수를 이용한 모형에서 비선형함수를 이용한 확률적 예측모형으로 전환할 필요가 있다. 또, 농업관측시스템 개선을 추진하며, 관측에 실제로 적용할 수 있는 기상정보 생산·제공 체제를 구축할 필요가 있다.

4. 기후변화 대응을 위한 법과 제도적 정비

4.1. 탄소시장의 활용

- 농업부문의 온실가스 감축분에 대한 인정과 또한 적절한 보상체계 시스템 구축을 위해서는 배출권거래제 시범사업 추진이 필요하다. 이를 위해서는 일본의 사례를 벤치마킹하여 배출권거래제 운용관련 탄소상쇄제도 지침 마련이 필요하다.
 - 국무총리실은 온실가스 배출권거래제도에 관한 법률(안)을 제정하여 2010년 11월 입법예고하였다. 이 법은 시장기능을 활용하여 효율적으로 국가의 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 온실가스 배출권을 거래하는 제도를 운영하는 내용을 담고 있다.
 - 비용효과적인 방식으로 국가 온실가스 감축목표(2020년 BAU 30% 감축) 달성에 이바지 하고 국제 탄소시장에 적극적인 대비책으로 배출권거래제 법안을 작성하였다. 이 법안에서는 배출권거래제도의 실시를 위한 배출허용량의 할당방법, 등록·관리방법 및 거래소 설치·운영 등에 관한 내용을 담고 있다.
 - 일본과 호주에서는 농업부문의 배출권거래제 도입과 관련하여 지침을 작성하여 운영하고 있다.

4.2. 위험관리 시스템 구축

- 농가위험관리를 위한 개인보험 개발 등 지역별·품목별 조건을 고려한 농업재해보험 확대
 - 농업재해보험에 농업인의 참여도 제고를 위해 기후조건을 반영한 약관의 현실성 있는 조정이 필요하다.

- 농업 기반시설 피해에 대비한 풍수해보험의 재정비

4.3. 도시농업 활성화

- 도시농업 활성화를 위한 법적 제도적 인프라 구축
 - 도시농업 육성을 위해 도시농업 육성계획 수립, 도시농업위원회 구성, 기술개발, 인력양성, 사후관리 등을 담은 ‘도시농업 육성 및 지원에 관한 법률’을 제정하고, 하위법령을 마련해야 한다.
 - 중앙행정기관, 학계, 민간전문가를 중심으로 도시농업 주요 정책을 심의하는 ‘도시농업위원회’를 설치하여 운영한다. 또한 도시농업 활성화를 위한 도심지역의 유희지 실태조사를 추진한다.
 - 도시농업을 선도하고 설계하는 민간전문가를 육성할 수 있도록 농과계 고교 및 대학(한국농수산대학 등)에 도시농업 특성화 과정을 운영한다.

4.4. 농업부문 기후변화 대응 컨트롤 타워

- 농림수산식품 부문의 기후변화 대응 업무는 소관기관별로 업무특성에 따라서 이루어지고 있다.
 - 기후변화와 관련하여 농림수산식품분야의 기관별 담당부서를 보면 농림수산식품부의 경우 농식품 및 수산부문의 업무총괄은 녹색미래전략과, 산림청의 경우 산림정책과, 농촌진흥청의 경우 연구정책국의 연구정책과와 연구운영과, 국립농업과학원은 농업환경부의 기후변화생태과, 국립수산물과학원은 수산해양종합정보과, 농림수산검역검사본부는 연구기획과에서 다루고 있다.
 - 농림수산식품부문의 기후변화 대응 정책은 농식품 및 수산부문의 정책은 농림수산식품부, 산림부문은 산림청에 의해 이루어지고 있다. 기후변

화 대응 연구는 농업부문의 경우 농촌진흥청의 연구기획 총괄과 실질적인 연구수행은 국립농업과학원, 국립식량과학원, 국립원예특작과학원, 국립축산과학원 등 산하기관에서 이루어지고 있다.

- 농림수산식품 부문의 기후변화 대응 업무를 효과적으로 추진하기 위해서는 관련 업무를 총괄하고 관리하는 컨트롤타워가 필요하다.
- 농림수산식품 부문의 기후변화 대응 정책과 연구 등을 종합적으로 관리하는 컨트롤타워로 ‘(가칭)농림수산식품부문 기후변화 대응센터’의 설립을 추진하고 이 센터를 통해 온난화 방지와 적응 대책을 수립하고 모니터링과 평가하는 역할과 다음과 같은 주요업무를 담당하도록 한다.
 - 실행 가능한 온실가스 저감목표를 설정하고, 온실가스 감축목표에 대한 평가를 실시한다.
 - 온실가스 감축기술의 연구/개발을 독려하며, 온실가스 감축잠재력을 분석한다.
 - 온실가스 감축기술의 경제성을 분석하고, 정책적 우선순위를 설정한다.
 - 온실가스 저감기술에 대한 데이터베이스를 구축하며, 온실가스 감축기술의 보급 및 확대를 위해 기술홍보 및 교육 등을 실시한다.
 - 농업부문의 기후변화 협약 및 교토의정서에 대응한 협상전략 수립, 교토 메커니즘 활용의 국제적 동향 파악, 기후변화 협약에 대응한 국제정보 수집 등의 업무를 담당한다.
 - 국내외 연구기관 및 유관기관 등 협력기관과의 네트워킹을 통해 유기적인 협력 체제를 구축한다.
- ‘농림수산식품 기후변화대응센터(가칭)’의 설치를 위해서는 추후 연구용역을 통해 조직 구성과 기능 및 법적 근거마련 등 구체적인 추진방안을 수립해야 한다. 단기적으로 기후변화 적응에 대한 체계적이고 종합적인 연구수행을 위해서는 환경부의 사례를 참고하여 농촌진흥청이나 국책연구원에 ‘기후변화적응센터’를 설치하여 운영하는 방안에 대한 검토도 필요하다.

- ‘농림수산식품 기후변화대응센터(가칭)’의 설치를 위해서는 추후 연구용역을 통해 조직 구성과 기능 및 법적 근거마련 등 구체적인 추진방안을 수립해야 한다. 단기적으로 기후변화 적응에 대한 체계적이고 종합적인 연구수행을 위해서는 환경부의 사례를 참고하여 농촌진흥청이나 국책연구원에 ‘기후변화적응센터’를 설치하여 운용하는 방안에 대한 검토도 필요하다.
- ※ 환경부는 기후변화 적응대책의 효과적인 추진을 위해 2009년 7월 1일 환경정책평가연구원에 ‘국가기후변화적응센터’를 설립하여 운영해오고 있다. 국가기후변화적응센터의 조직은 적응협력팀, 정책연구팀, 지식정보팀 3개 팀으로 구성하고(연구인력 약 30명), 적응분야와 연구과제 수행과 국내외 협력 네트워크 구축에 힘쓰고 있다(<http://kaccc.kei.re.kr>).

4.5. 농림수산식품분야 기후변화대응포럼 운영

- 기후변화대응포럼의 목적은 농가와 국민에게 기후변화에 대한 인지도를 향상시키고, 농림수산식품부문에서의 기후변화에 대응전략에 대한 의견수렴의 역할을 담당한다.
 - 기후변화의 완화와 적응분야의 정책추진과 연구수행 등의 우선순위에 대한 자문을 하고, 학제 간 통합연구와 관련분야의 정보교류 확대, 실효성 있는 대응전략에 대한 검토 등을 실시한다.
 - 포럼의 주요 임무는 기후변화 관련 과제의 연구자문과 컨설팅, 농업부문 기후변화 대응 방안에 대한 논의(세미나, 워크숍 등), 온난화 적응 마스터플랜 검토, 농식품부의 기후변화 기본계획 검토, 농업부문 온실가스 감축, 영향평가 및 예측, 농업부문 기후변화 대응 제도, 정책 추진 방안, 기후변화 관련 국제 동향분석 및 대응, 국내외적인 쟁점사항에 대한 활발한 논의기구로 역할을 담당한다.

- 포럼의 회원자격은 포럼의 취지에 공감하는 농업분야 전문가 및 정책담당자로 하며, 참여기관으로는 농식품부(주관기관), 농촌진흥청, 산림청, 국립농업과학원, 국립식량과학원, 국립원예특작과학원, 국립축산과학원, 국립수산물과학원, 한국농촌경제연구원, 한국해양수산개발원, 한국식품연구원, 농업기술실용화재단, 국립수산물기술기획평가원, 농어촌연구소, 농협, 대학, 민간연구소, NGO 등의 관계자로 한다.
- 포럼의 운영은 연간 3회의 회의를 갖는 것을 기본으로 하며, 온라인 포럼이 구축되는 경우 병행하여 운영토록 한다. 포럼의 효과적인 운영을 위해 유관기관 관계자가 참여하는 운영위원회를 두고, 위원회에서는 국내외 쟁점 대응을 위한 논의의제 및 발표자 등을 선정하도록 한다. 운영위원회는 회장이 분기별 1회 원칙으로 소집하며 필요시 별도의 워크숍이나 세미나 등을 수행하도록 한다.

제 8 장

요약 및 결론

- 이 연구는 국가 온실가스 감축정책에 대응하여 합리적인 감축목표 계획을 도출하고 감축목표를 달성하기 위한 실효성 있는 정책프로그램을 제시하며, 기후변화가 농림수산물산업에 미치는 영향분석과 정책진단을 통해 부문별 적절한 대응방안을 제시하기 위해 수행되었다.
- 농림수산물부문의 에너지사용량 및 온실가스 배출특성을 분석한 결과 가온시설면적의 90% 이상에서 유류를 이용하여 가온을 하고 있어 유류 의존도가 매우 높은 것으로 나타났다. 경종부문에서 온실가스 배출량은 벼 재배에 의한 메탄 배출량과 화학비료나 축산분뇨의 농경지 투입에 의한 아산화질소 배출량이 대부분을 차지한다. 통계상 우리나라 경종부문 온실가스 배출량 감소추세는 벼 재배면적 감소에 기인하며, 실질적인 온실가스 감축기술 적용에 의한 것은 아닌 것으로 나타났다.
- 농림수산물부문은 대부분의 영역에서 기후변화에 매우 취약한 것으로 보인다. 농업, 산림, 수산의 경우 생산량이 감소하고, 생산 적지가 변동하며, 병해충 발생 빈도가 증가하는 등 부정적인 영향이 심화되고 있다. 수자원의 경우 한반도의 기온이 1℃ 상승함에 따라 실제 증발산량이 3.4~5.3% 변하고, 홍수 규모와 빈도가 증가할 것으로 전망되고 있다. 또, 식품/유통의 경우 각

종 세균변식을 유도하여 식품 안전에 큰 위협이 되고, 농산물의 수급불안을 야기할 것으로 보인다.

- 농림수산식품산업분야 온실가스 감축잠재력을 분석한 결과, 농림어업분야의 경우 2020년 기준 2,611~3,626천톤(BAU 대비 9.0~12.5% 수준)으로, 식품분야의 경우 308천톤(BAU 대비 5.0% 수준)으로 산정되었다. 농림어업분야 부문별 감축잠재량 추정결과 2020년 기준 농업 1,967~3,626천톤, 축산 617~1,071천톤, 수산 26~34천톤, 수자원 0.6~1.7천톤 등으로 나타났다.
- 온실가스 감축기술들을 대상으로 온실가스 한 단위 감축에 추가적으로 들어가는 비용으로 정의되는 한계감축비용을 분석한 결과 지열히트펌프가 가장 비용효과적인 기술로 나타났고, 다겹보온커튼, 잎들개 LED 적용, 녹비작물재배, 바이오가스플랜트 등의 순으로 나타났다. 한계감축비용분석을 통한 비용효과적 대책의 정책적 우선순위 결정은 예산제약 하에서 농림수산식품산업분야 온실가스 감축목표를 효과적으로 달성할 수 있음을 시사한다.
- 주요국의 기후변화 대응책을 살펴본 결과 대체적으로 유사하나 국가별 특성에 따른 전략들도 있는 것으로 나타났다. 미국의 경우 농지를 휴경지와 경작지로 구분하여 온실가스 완화프로그램을 실시하고 있으며, 특히 자발적 탄소시장인 시카고 기후거래소 등을 통하여 농업부문 온실가스 감축에 대하여 오프셋 크레딧을 제공하고 있다. 일본은 ‘CO₂ 표시하기’를 통하여 저탄소제품의 소비를 촉진하고 있으며, 2011년부터 환경보전 효과가 높은 영농활동에 대한 메뉴방식의 저탄소 직접지불제도(환경보전형농업 직접지원 교부금)를 추진하고 있다.
- 영국의 기후변화 대응전략을 살펴보면, 질소 민감지역 농업프로그램을 통해 간접적인 온실가스를 저감하는 방안을 추진하고 있으며 독일의 경우 농업투자지원 프로그램을 통하여 온실가스 감축에 대한 투자를 확대하고 있는데, 바

이오가스시스템과 유기퇴비 저장에 많은 투자가 이루어지고 있다. 덴마크의 경우 지속가능한 농업·수생환경 행동계획을 단계적으로 추진하고 있으며, 스위스의 경우 생태적 표준과 직불제를 연계하여 생태적 표준을 준수하는 농가에 직불금을 지급하고 있다.

- 네덜란드의 기후변화 대응전략을 살펴보면, 온실원예정책을 통하여 에너지 효율성을 크게 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, 가축사육규모를 제한하여 CH₄ 배출량을 줄이고, 기후완충지대를 설치하여 기후변화로 인한 피해를 줄이는데 역점을 두고 있다. 호주의 경우 탄소오염저감계획(CPRS) 하에서 탄소상쇄 크레딧과 자발적 탄소상쇄 크레딧을 제공하고 있으며, 농업시스템의 복원력 배양 및 지역사회 역량구축에 중점을 두고 있다.
- 기후변화 완화전략 추진을 위한 핵심과제로는 배출권거래제 도입, 저탄소직불제 프로그램 도입 등 경제적 수단의 활용, 규제적 수단의 활용, 연구 및 기술개발, 기술보급 및 교육, 온실가스 흡수원 활용 등이 필요한 것으로 나타났다. 기후변화 적응전략 추진을 위한 핵심과제로는 적응기술개발, 기반시설관리 강화, 경제적 인센티브 활용, 인력양성 및 교육강화, 모니터링 시스템 구축, 농가적용 기술·경영 활용 등이 필요한 것으로 나타났다.
- 기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략에 관한 체계적인 연구를 위해서는 농학·생태학·농공학·수문학·기상학·농업경제학 등 학제간의 공동연구가 중요하다. 보다 신뢰성 있는 기후변화 영향분석이 이루어지기 위해서는 기후변화 시나리오별 예측결과와 농업적 특성을 연계한 시뮬레이션 분석과 사회경제적 요인을 연계한 경제적 분석 등 통합적 모형개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

부록 1

부표 1. 농업부문 온실가스 완화옵션 인벤토리

범 주		내 용
경제적 수단	① 배출권거래제	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농림수산물부문의 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

부표 2. 농업부문 기후변화 적응옵션 인벤토리

범 주	적 응 수 단
기술개발 (R&D)	① 품종개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 변화한 기후에 적합한 새로운 품종 개발 ▪ 새롭게 발생하는 외래종 연구 ▪ 고온에서 착색이 용이한 과수품종 개발
	② 생산기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 새로운 병해충·잡초 등에 방제기술 및 예측모델 개발 ▪ 새로운 시비, 작목과종 및 수확시기 등 재배기술 개발 ▪ 새로운 재배적지의 조정 ▪ 과실의 결실 안정기술, 난지작물 내륙지역 적응성 검증
	③ 기반구축 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농경지 온실가스 감축기술 개발 ▪ 물이용 효율 최적화 설비 개발 ▪ 인수(물을 끌어다 댐) 소실 저감기술 개발 ▪ 토양의 침투특성을 고려한 물 절약형 관개자재 개발
	④ 자원관리 혁신 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농업환경 정보의 정책연계성 분석 시스템 개발 ▪ 가뭄·홍수 등 재해대비 수자원관리 시스템 개발 ▪ 대안적 경작과 배수 시스템 등 농업자원관리 시스템 개발
	⑤ 기후정보 시스템 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 사전적 기상정보 제공을 위한 조기경보 시스템 개발 ▪ 기상재해 모니터링 및 농업기상재해 DB구축 ▪ 농업기상재해 발생위험지 상세구분 및 예측기술 개발 ▪ 농업기후 요소별 상세기후도 구축 ▪ 지구온난화에 따른 농업기상재해 대응기술 개발
기반시설 관리	⑥ 농경지 관리 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 메탄 감축을 위한 건답직파 및 간단관개 ▪ 아산화질소 감축을 위한 밭 질소질 비료사용 감축 ▪ 무경운 농법 확대 ▪ 토양침식을 억제하기 위한 주변식생 관리
	⑦ 농업용수 관리 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 시설재배 작물 물 절약형 관개기준 설정 ▪ 재배환경 조건에 적합한 맞춤형 물관리 ▪ 배수 파이프도랑 및 관개수로 등 수로 시스템 정비 ▪ 스프링클러 및 적(물방울)하 관개 확대 ▪ 농업용수 관리자동화(TMTC)의 확대
	⑧ 농업시설 관리 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 태풍 등 재해피해 최소화를 위해 방풍 울타리 설치 ▪ 시설하우스는 기후변화에 대응 현대화 시설물 설치 ▪ 수분의 증발산을 억제하기 위한 플라스틱 필름 사용 ▪ 온난화에 따른 농산물 저장시설의 현대화 ▪ 시설원예 에너지 절감기술 개발

부표 2. 농업부문 기후변화 적응옵션 인벤토리(안) (계속)

범 주		적 응 수 단
경제적 수단	⑨ 보조금 지급	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저탄소 적응농법 실천 저탄소직불금 지급 ▪ 절수에 대한 투자 인센티브 도입 ▪ 고효율 관개시스템의 보조금 지원 ▪ 농가 위험관리를 위한 보상정책 개발
법제도 정비	⑩ 보험제도 확대	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지역별·품목별 조건을 고려한 농업재해보험 확대 ▪ 농업재해보험 약관의 현실성 있는 기후조건의 반영 ▪ 농가 위험관리를 위한 개인보험 개발 ▪ 농업 기반시설 피해에 대비한 풍수해보험의 재정비
	⑪ 자원관리시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농작물 피해량 산정 및 지원시스템 구축 ▪ 해방지를 위한 토지이용계획의 변경 ▪ 재해대비 시설물 규격 강화 ▪ 농업용수의 절약 및 재활용에 관한 법률 검토 ▪ 농업자원의 효과적 이용·관리를 위한 법률 검토
	⑫ 지역별계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주산단지 특별대책단 구성방안 ▪ 지역단위 농업농촌 장기발전계획 수립 ▪ 지역별 기후변화 적응계획 수립
인력양성 및 교육	⑬ 인력양성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적응대책 전문인력 육성 ▪ 기후변화 적응 선도농업인 육성
	⑭ 교육·홍보	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농업 기상정보시스템 운영 및 홍보를 통한 이용 확대 ▪ 농작물재해보험 및 위험관리에 대한 농가인식 제고 ▪ 적응대책 매뉴얼·자료 등의 구축 및 보급 ▪ 새로운 품종 및 난지작물 등의 재배기술 농가교육 ▪ 농업부문 온난화 적응 홍보
모니터링	⑮ 적응 및 취약성 평가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농경지 환경 및 기상인자 모니터링 시스템 구축 ▪ 농업생태계 변화 모니터링 시스템구축 ▪ 벼 재배단지의 수자원 부존량 변화 모니터링 ▪ 기후변화에 따른 작물의 생육 및 생산성 영향 평가 ▪ 세계 식량수급의 중장기 예측 ▪ 대체용수 사용에 따른 작물 생육 및 환경영향평가

참고 문헌

- 강기경. 2009. 「농업용수의 공익적 가치」. 농촌용수관리 심포지엄 자료. 한국물포럼. 한국농어촌공사
- 강민구. 2008. “기후변화에 대응하기 위한 적응형 수자원 관리”. 「한국수자원학회지」. Vol.41 No.8. pp.55~65
- 고봉현. 2010. “기후변화가 제주 수산업에 미치는 영향과 시사점”. 「JDI OPINION」. 제주발전연구원
- 국립농업과학원, 국립축산과학원. 2011. 「2009년 농업부문 온실가스 배출량 평가보고서」. 농촌진흥청
- 국제신문. 2011년 1월 2일자. “해양온난화와 수산업”. (<http://wcms.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=1600&key=20110103.22018201955>)
- 권원태. 2007. “세계 기후의 미래 전망.” Global warning and its socio-economic impacts. pp. 33-47. 한국기상학회
- 김수암. 2010. “기후변화에 따른 수산부문의 영향 및 적응.” 「농림수산식품 기후변화 대응정책의 현황과 과제」. 발표 자료집.
- 김영만. 2011. “기후변화에 따른 수산분야 대응 방안.” 「수산동향」. 2011년 6월호. 한국해양수산개발원
- 김용수. 2009. “기후변화와 식품안전에 대한 대국민 설문조사.” 「safe food」. 제 4권 3호 pp. 19~24. 한국식품위생안전성학회.
- 김창길 외 7인. 2010. 「농업·농촌부문 녹색성장 추진전략 개발」. 연구보고서 R613. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 정확균. 2010. “미곡 생산의 기상영향 분석.” 「농업경영·정책연구」. 37(4): 621-642.
- 김창길, 정확균, 장정경, 김태훈, 이용만. 2010. 「기후변화 대응 전북의 미래 농업기술 개발 전략」. 연구보고서. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 외 4인. 2010. 「2020년 농업활동량 변화 및 온실가스 배출량 전망」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 이상민, 정확균, 장정경, 이충근. 2009. 「기후변화에 따른 농업부문 영향분석과 대응전략」. 연구보고서 R593. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 정확균, 장정경, 권희민, 문동현. 2009. 「친환경농업 직접지불제 개편 및 환경기준 준수조건 지원정책 도입방안 연구」. 연구보고서 C2009-63. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 박현태, 이상민, 주현정, 권오상, 로버트멘델존. 2008. 「기후변화에 따른 농업부문

- 영향분석」. 연구보고서. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 김태영, 신용광. 2006. 「기후변화 협약에 따른 농업부문 파급영향 분석」. 연구보고서 R520. 한국농촌경제연구원.
- 김태곤. 2005. 「미국 환경보전직불제 실시동향」. 한국농촌경제연구원.
- 김희선. 2008. “기후변화와 식품안전.” 제32회 식품안전열린포럼.
- 남재작 외 4인. 2011. 「농림수산식품 분야 탄소상쇄 사업 검·인증체계 및 사업화 방법론 구축방안 연구」. 농업기술실용화재단.
- 노기안 등. 2009. 「기후변화협약 대응 농경지 온실가스 배출 및 흡수 평가」. 국립농업과학원.
- 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.
- 농업과학기술원. 2005. 「농업부문 온실가스 배출저감 기술개발」.
- 농촌진흥청·국립농업과학원. 2009. 「온실가스 저감을 위한 벼 재배 기술」.
- 농촌진흥청 온난화대응농업연구센터. 2009. 「농업분야 기후변화 적응 연구」.
- 농촌진흥청. 2007. 「기후변화 대응: 농업환경 영향평가 및 적응대책」.
- 박근애, 박민지, 신형진, 김성준. 2007. “기후변화에 따른 농업수자원 영향 분석.” 2007 대한토목학회 정기학술대회 pp. 1409~1412
- 박기환. 2011. “기후변화에 따른 위험요인의 공정별 관리 방안.” 식품안전의날 심포지엄에서 박기환 교수 발표내용 발췌. 「월간식품산업」. 2011월 03월호.
- 박진혁, 김우구. 2007. “지구온난화에 따른 수자원 전망과 담유역관리”
- 박성쾌 외 3인. 2010. “기후변화와 수산업의 관계에 관한 연구.” 「수산해양교육연구」. 22(3).
- 박영석, 권태성, 김종국, 김철수, 박지두. 2003. “대벌레 *Baculum elongatus* (Phasmida: Phasmidae)의 발육에 미치는 온도의 영향과 생활환경.” 한국임학회
- 배덕효, 정일원, 이병주. 2007. “A2 시나리오에 따른 국내 수자원의 변동성 전망.” 한국수자원학회논문집. 40(12). pp. 921-930.
- 변봉규 등 15인. 2007. “광릉숲에서의 장수하늘소(딱정벌레목: 하늘소과) 서식실태 조사결과 및 보전을 위한 제언”. 「한국응용곤충학회지」. 46. pp. 19-25
- 산림청. 2008. 「기후변화가 임업·임산업에 미치는 영향 및 대응연구」.
- 산림청 산림정책과. 2009. 「기후변화와 산림」.
- 산림청 웹사이트. “기후변화와 산림.” (<http://carbon.forest.go.kr>)
- 서형호. 2005. “기후변화가 과수 재배에 미치는 영향”. 「기후변화 전문가 워크숍-제3차 기

- 후변화 학술대회 및 제2차 기후변화정책 포럼」. pp. 33-37.
- 서형호. 2003. “기후변화가 원예작물의 생장과 품질에 미치는 영향(과수를 중심으로).” 「제1차 기후변화 학술대회」. pp. 131-137.
- 성주한, 조재형, 김영걸. 2008. “이상기상이 소나무와 잣나무 피해에 미치는 영향.” 제2회 기후변화대응 범부처 제주 합동워크숍.
- 신호성, 이수형, 김동진, 이종경, 최성은. 2009. 「기후변화에 따른 식품안전 분야의 사회경제적 손실비용 평가」. 정책보고서. 한국보건사회연구원.
- 신호성, 정기혜, 윤시몬, 이수형. 2009. “기후변화와 식중독 발생 예측.” 「보건사회연구」. 29(1) pp. 143~162.
- 심교문 외 5인. 2008. “기후변화가 농업생산 환경에 미치는 영향.” 「기후온난화 대비 강원농업의 진로 탐색」. 제21회 강원농업 발전방안 심포지엄. 강원도농업기술원 pp. 43-71.
- 심교문 외. 2004. “최근의 기후변화를 고려한 가을보리 안전재배지대 구분.” 「한국농림기상학회지」. 제6권 제4호. pp. 218~234.
- 오진규 외 5인 1995. 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구」. 에너지경제연구원.
- 윤동균, 최진용 외 10인. 2009. 「기후변화에 따른 농업용수 영향평가 연구 I」. 농림수산식품부
- 윤동균, 최진용 외 10인. 2010. 「기후변화에 따른 농업용수 영향평가 연구 II」. 농림수산식품부
- 윤성탁. 2005. “지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책”. 「한국국제농업개발학회지」. 제17권 제3호. pp. 199~207.
- 윤성호 외 4인. 2001. “기후변화와 농업생산의 전망과 대책.” 「한국농림기상학회지」. 제3권 제4호. pp. 220-237.
- 이동률, 문장원, 권현한. 2009. “기후변화와 수자원 계획.” 「대한토목학회지」. Vol.57 No.9. pp. 20~26
- 이상민, 김경덕, 송성환. 2008. 「기후변화협약에 대응한 산림의 역할과 관리 최적화 방안」. 연구보고서 R607. 한국농촌경제연구원.
- 이언경. 2009. “기후변화가 수산식품 공급에 미치는 영향.” 「수산정책연구」. 2009년 6월. pp. 95-116.
- 이희성 외 18인. 2011. 「우리나라 기후변화의 경제학적 분석 I·II」. 환경부
- 임종환. 2009. “기후변화에 따른 산림부문 영향과 관리방향.” 「농업전망 2009」. 한국농촌경제연구원
- 임종환 등. 2008. 「지구환경변화에 대응한 장기생태연구」. 국립산림과학원 연구사업보고서
- 임종환, 신준환. 2005. “지구온난화에 따른 산림식생대 이동과 식물계절 변화.” 「자연보존」. 130. pp. 8-17.

- 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환. 2006. “한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 온도변화에 따른 광합성 능력과 수분이용효율.” 「한국임학회지」, 95. pp. 705-710.
- 전라북도농업기술원. 2005. 「벼 병해충 진단과 방제 핸드북」.
- 정기혜. 2009. “기후변화와 식품안전”. 「보건복지 ISSUE&FOCUS」, 제14호.
- 정기혜. 2010. “기후변화에 따른 식품안전관리 및 국가 대응을 위한 아젠다 개발.” 2010년도 한국환경농학회 춘계워크숍 자료집. pp. 91~121. 한국환경농학회.
- 정명생. 2009. 「기후변화협약 이행 대비, 어업부문의 영향 평가 및 대응전략」. 한국해양수산개발원.
- 정명섭. 2009. “기후변화와 식품안전관리.” 「safe food」, 제 4권 3호. pp. 11~18. 한국식품위생안전성학회.
- 한화진 외 19인. 2008. 「국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립 연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 한화진 외. 2007. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III」. 한국환경정책·평가연구원.
- 한화진 외 10인. 2006. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 II」. 연구보고서 RE-01. 한국환경정책·평가연구원.
- 日本農林水産省. 2011. 地球温暖化対策. (<http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/index.html>).
- 藤川清史, 山岸尙之. 2011. 日本の排出量取引制度の現況と課題. 農業部門綠色成長資料集 韓. 國農村經濟研究院.
- Australian Department of Climate Change. 2009. Fifth National Communication on Climate Change: A Report Under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Chang, Ching-Cheng. 2002. “The potential impact of climate change on Taiwan’s agriculture.” *Agricultural Economics*, 27: 51-64.
- Ciais P and 32 others. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-533. physiology of individuals. in *Proceedings of the International Conference on Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis on Forest Health: A Review of Science, Policies, and Practices*. Umea, Sweden.
- Denmark The Ministry of Climate and Energy. 2009. Denmark’s Fifth National Communication on Climate Change.
- FAO. 1996. Food Security and the Risks of a Changing Climate. in *World Food Summit for All*.

- FAO. 2010. "Climate-Smart" Agriculture; Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation.
- FAO. 2011. Climate Change, Water and Food Security.
- Fitter AH and RSR Fitter. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296: 1689-1691.
- Kai K, M. Kainuma and N. Murakoshi. 1996. Effects of global warming on the phenological observation in Japan. In: *Climate Change and Plants in East Asia*, ed. by K. Osama et al. Springer Verlag, Tokyo 85-92.
- Khatri, Y., S. Solomou, and W. Wu. 1998. "Weather and Fluctuations in Agricultural Output, 1867-1913." *Research in Economic History* 18: 83-102.
- Lim J.H. and J.H. Shin. 2004. Relationship between leafing time and air temperature in two oak forests of Korea. *Proceedings of the 1st EAFES International Congress, Mokpo.* pp151-152.
- Malmsheimer, R.W., et al. 2008. "Forest management solutions for mitigating climate change in the United States" *Journal of Forestry*, 106(3): 115-173.
- McKinsey. 2008. *The Carbon Productivity Challenge - Curbing Climate Change and Sustaining Economic Growth*. McKinsey Global Institute.
- Mendelsohn, R. W. D. Nordhaus, and D. Shaw. 1994. "The Impact of Grobal Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis." *American Economic Review*, 84(4): pp. 753-771.
- Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. 2009. *Fifth Netherlands' National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- OECD. 2006. *The Impact of Climate Change on Agriculture and Options for Adaptation*. Joint Working Party on Agriculture and the Environment. COM/AGR/CA/ENV/EPOC(2006)25.
- OECD. 2008. *Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990*.
- OECD. 2009. *Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation, Mitigation and Options for the OECD*. COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2009)13.
- Reid, S., B. Smit, C.W. and S. Belliveau. 2007. "Vulnerability and adaptation to climate risks in Ontario Agriculture." *Mitigation & Adaption Strategies for Global Change*, 12-4: 609-637.
- Rose, J. B., Epstein, P. R., Lipp, E. K., Sherman, B. H., Bernard, S. M., and Patz, J. A., 2001. "Climate Variability and Change in the United States: Potential Impacts on Water and Foodborne Diseases Caused by Microbiologic Agents". *Environmental*

- Health Perspectives. Volume 109, 211-220
- Smit, B. and M.W. Skinner. 2002. "Adaptation options in agriculture to climate change: a typology." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 85-114.
- Solomou, S. and W. Wu. 1999. "Weather Effects on European Agricultural Output, 1850-1913." *European Review of Economic History* 3, 351-373.
- Tarleton, M. and D. Ramsey. 2008. "Farm-Level Adaptation to Multiple Risks: Climate Change and Other Concerns." *Journal of Rural and Community Development* 3-2: 7-63.
- 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.
- Switzerland Federal Office for the Environment. 2009. Switzerland's Fifth National Communication under the UNFCCC.
- U.K. Department of Energy and Climate Change. 2009. The UK's Fifth National Communication under the United Nations Framework Convention On Climate Change.
- U.S. Department of State. 2010. U.S. Climate Action Report 2010. Fifth National Communication of the United States of America Under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- The Government of the Federal Republic of Germany. 2009. Fifth National Report of the Government of the Federal Republic of Germany.
- Visser, ME, AJ van Noordwijk, JM Tinbergen and CM Lessells. 1998. Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society, London*, 265: 1867-1870.
- Yoshino M. and P.H. Ono. 1996. Variations in plant phenology affected by global warming. In: *Climate Change and Plants in East Asia*, ed. by K. Osama et al. Springer Verlag, Tokyo 93-107.

C2011-32

기후변화 대응을 위한 농림수산물산업 전략수립 연구

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25)

인 쇄 2011. 11.

발 행 2011. 11.

발행인 이동필

발행처 한국농촌경제연구원

130-710 서울특별시 동대문구 회기동 4-102

02-3299-4000 <http://www.krei.re.kr>

인 쇄 (주)문원사

02-739-3911~5 E-mail: munwonsa@chol.com

- 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.
-