

## 교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응전략

|        |              |
|--------|--------------|
| 김 창 길  | 연 구 위 원      |
| 김 배 성  | 부 연 구 위 원    |
| 김 태 영  | 초청전문연구원      |
| 김 만 근  | 네바다주립대 교수    |
| 자슨 앤더슨 | 유럽환경정책연구원 부장 |

한국농촌경제연구원

최근 유엔 기후변화에 관한 정부간협의체의 지구온난화에 대한 평가보고서가 발표된 이후 대부분의 국가가 온실가스 감축을 국가 핵심과제로 다루고 있다. 국가별 여건에 따라 온실가스를 의무적으로 감축해야 하는 교토의정서 이행과 관련, 우리나라는 2012년까지 감축의무가 면제되었으나, 2013년부터 시작되는 제2차 공약기간부터는 온실가스 의무감축 이행국이 될 가능성이 높아졌다. 따라서 산업부문별로 온실가스 의무감축에 대비한 적절한 대응책 마련이 당면과제로 부각되고 있다. 농업부문의 경우 축산부문은 사육두수 증가로 메탄가스 발생이 증가하나 경종부문은 경지면적 감소와 친환경농업의 확산 등으로 온실가스 배출량이 감소할 것으로 전망되어 온실가스 감축 의무 이행은 새로운 기회와 도전을 제공하게 될 것이다.

이 보고서는 기후변화협약의 농업부문 파급영향 및 대응전략과 관련하여 2006년도에 수행한 ‘기후변화협약에 따른 농업부문 파급영향 분석’의 후속연구로 「교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응전략」을 제시한 기본연구의 최종 결과물이다. 이를 위해 온실가스 의무감축에 대비하여 주요국의 사례를 벤치마킹하여 농업부문의 단계별 대응전략을 담은 로드맵과 핵심 실행과제 등을 제시하였다. 아무쪼록 이 연구가 기후변화협약에 따른 농업부문의 대응전략 수립에 기여하게 되기를 기대한다.

이 연구와 관련하여 미국과 유럽의 농업부문 대응사례 부분의 원고를 작성한 네바다주립대 김만근 교수와 유럽환경정책연구원의 자슨 앤더슨 부장, 연구자문위원으로 기여해 준 고려대학교 조용성 교수와 농림부 조백희 서기관 등 관계자들에 감사드린다.

2007. 12.

한국농촌경제연구원장 최 정 섭

## 요 약

교토의정서 이행과 관련하여 국내외 여건변화를 종합해볼 때 우리나라는 2012년 이후 2차 공약기간(2013~2017)부터 온실가스 의무감축을 이행해야 할 가능성이 높다. 교토의정서 이행에 따른 농업부문 파급영향 분석에 관한 후속연구로 추진된 이 연구는 의정서 이행에 대비하여 농업부문의 체계적이고 단계적인 대응전략을 제시하는 데 목적이 있다.

보고서의 구성은 서론에서 연구의 필요성, 연구목적과 범위, 선행연구 검토, 연구방법 등을 제시하였다. 2장에서는 교토의정서 내용과 이행 메커니즘, 2012년 이후 체제의 논의 동향과 전망 등을 제시하였다. 3장에서는 농업부문의 온실가스 발생실태와 관리수단을 기술하였다. 4장에서는 온실가스 의무감축의 농업부문 파급영향과 감축수단의 온실가스 감축 잠재력을 분석하였다. 농업부문 파급영향은 1차연도 연구결과를 간략하게 요약하여 제시하였다. 온실가스 저감잠재력 평가에서는 농업부문의 온실가스 감축 핵심기술을 대상으로 분석하였다. 5장에서는 교토의정서 이행 관련 주요국의 대응 사례를 제시하였다. 2008년부터 온실가스 감축의무가 부과되는 일본, 덴마크, 독일, 영국 등 주요국과 미국의 사례를 검토하였다. 6장에서는 농업부문의 대응전략 수립과 관련 기본방향, 실천전략의 접근방법, 핵심과제 등을 기술하였다. 끝으로 7장에서는 요약 및 결론을 제시하였다.

이 연구의 주요 성과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 교토의정서 이행으로 2013년부터 기준시점(2000년 기준) 대비 온실가스 배출량의 5% 감축의무 부과를 가정하면, 경종부문은 온실가스 배출 수준이 배출허용량 이하로 감소하면서 잉여배출량이 발생하게 되나, 축산부문은 의무감축량이 발생하는 것으로 추정되었다. 특히 축산부문은 온실가스 저감비용이 타 부문에 비해 상대적으로 높아 온실가스 감축을 위한 적절한 대책 마련이 시급한 것으로 나타났다.

둘째, 온실가스 감축 수단으로 농업부문이 배출권거래제에 참여하는 경우 내부적 수익증가와 국가 경제에 기여하는 것으로 분석되었다. 탄소세가

부과될 경우 농업부문은 단기적으로 화석에너지 의존도가 높은 시설채소와 시설화훼 부문에서 농업경영비 상승 압박이 큰 것으로 나타나 적절한 대책 마련이 필요하다.

셋째, 교토의정서 이행에 따른 온실가스 의무감축과 관련하여 주요국(일본, 미국, 덴마크, 독일, 영국)은 온실가스 감축목표 달성을 위해 농업부문이 자발적으로 참여하여 큰 성과를 이룬 것으로 나타났다. 검토 대상국가 가운데 온실가스 배출량에서 농업부문이 차지하는 비중은 덴마크를 제외하고는 7% 미만이나, 메탄과 아산화질소 배출에서는 상당히 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이들 국가의 경우 농업을 의무감축 부문에 포함시켜 관리하기보다는 자율적으로 온실가스를 조정·관리하는 방식을 취하고 있다. 특히 농업부문의 온실가스 감축수단으로 시설지원, 유기농 육성, 바이오에너지 활용, 연구개발, 적응 등이 핵심적인 방안으로 추진되고 있어 우리나라 대책 수립의 벤치마킹 자료로 활용할 수 있다.

넷째, 지금까지 국내 연구를 통해 개발된 농업부문의 온실가스 감축 기술은 상당한 저감 잠재력을 가진 것으로 추정되었다. 온실가스 감축을 위한 핵심기술로 논벼 건답직파를 통한 메탄 감축, 질소시비관리의 아산화질소 감축, 농경지 토양유기탄소의 활용, 바이오에너지 작물 재배, 축산부문 장내발효 및 분뇨처리시설 개선 등에 관한 온실가스 저감 잠재력을 평가한 결과 온실가스 감축에 상당히 기여할 수 있는 것으로 분석되었다. 개발된 감축 기술의 온실가스 저감 잠재력은 기술적으로 가능한 최대 가능량으로 실제로 현실화되기 위해서는 경제적인 측면이 고려되어야 한다.

다섯째, 교토의정서 이행과 관련된 농업부문의 체계적·단계적 대응전략을 제시하였다. 전략 수립과 관련하여 교토의정서 이행을 지속가능농업 시스템 구축을 위한 기회로 활용, 농업정책과 온실가스 정책의 적절한 결합, 국내외 협상에 적극적·능동적으로 대처, 온실가스 배출량·흡수량에 관한 과학적인 분석, 온난화 적응 등의 다섯 가지 기본방향을 제시하였다. 실천전략으로는 2030년을 목표연도로 기반구축단계(2008~2012), 도약단계(2013~2018), 정착단계(2019~2030) 등 세 단계로 접근하였다. 특히 온실가스 감축-흡수-적응 분야의 부문별 프로그램 추진을 통해 환경친화적

저탄소 농업생산시스템을 위한 단계별 정책추진 로드맵을 제시하였다.

여섯째, 실천전략의 핵심과제로 기후변화대응 제4차 종합대책의 적극적 추진, 청정개발체제 사업과 배출권거래제 등 교토메커니즘을 적극 활용하는 프로그램 개발, 메뉴방식 직불제 등 환경적 상호준수 프로그램 도입, 바이오에너지 생산지원 확대 등을 제시하였다. 특히 온실가스 의무감축을 농업부문의 기회로 활용하기 위해서는 국제적으로 공인된 가축분뇨의 바이오가스 플랜트와 농산부산물을 이용한 바이오에너지 사업 등을 통한 청정개발체제 사업추진에 대한 적극적인 검토가 필요하다. 또한 농업부문의 경우 배출권거래제의 유형인 환경크레딧거래제를 도입하여 온실가스 감축 등 환경크레딧을 비농업부문에서 구입토록 함으로써 농가소득 증대와 연계시킬 수 있는 방안에 대한 검토도 필요하다.

일곱째, 온실가스 의무감축에 대비하여 농업부문의 주요 추진과제로, 기후변화협약 관련 국내외 협상에 적극 참여, 온실가스 감축 및 관리를 위한 체계적인 연구와 기술개발, 건설한 유기농업 육성, 적응부문의 지속적인 노력, 온실가스 통합관리시스템 구축 등을 제시하였다. 특히 연구 및 기술개발과 관련 온난화 방지책, 온난화 영향평가, 온난화 적응책 등의 분야별로 단계별 로드맵을 작성하여 체계적으로 추진해야 한다.

끝으로, 지구온난화 문제가 국내외적으로 핫이슈로 부각되고 있는 시점에서 이제 농업부문은 여건변화에 적극적으로 대처하여 ‘농업은 온실가스를 효과적으로 관리하기 위한 기간산업’으로 재인식시켜야 할 것이다. 이를 위해서는 기후변화대책 수립의 국책과제 논의에 적극 참여할 수 있도록 전담인력과 조직 보강, 유관기관 간의 적절한 역할 분담과 전문가 활용 등이 유기적으로 이루어져야 한다.

이 연구에서는 농업부문의 온실가스 저감수단별 한계비용 산정과 정책수단별 우선순위 결정에 관한 심층적 분석이 이루어지지 않았으나 향후 이들 분야에 대한 연구가 심층적으로 다루어져야 한다. 아울러 농업분야의 온실가스 저감수단별 경제성 공학의 방법론을 적용하여 저감수단별 온실가스 저감량과 비용 간의 관계에 대한 비용효과성 평가를 기초로 한 실제적 저감량 추정에 관한 실증적인 연구도 이루어져야 할 것이다.

## ABSTRACT

### Measures to Comply with Kyoto Protocol in Agricultural Sector

The comprehensive consideration of the internal and external changes in conditions pertaining to the post-2012 Kyoto Protocol scheme indicates that Korea is highly likely to be mandated to reduce greenhouse gas emission from the second commitment period(2013~2017). In the agricultural sector, greenhouse gas emission has been on the decrease, and it also has carbon sinks. Therefore the new emission cut mandate under the Kyoto Protocol to Korea could serve as a good opportunity depending on how we are reacting. This study is a follow-up of the analysis of the impact of the Kyoto Protocol implementation on the agricultural sector and has the purpose of proposing systematic and step-by-step responding strategies in preparation for the implementation of the Kyoto Protocol.

In the introduction of the report, the need of the study, purpose and scope of the study, review of literature, and study methods are described. Chapter 2 explains the details of the Kyoto Protocol and the implementation mechanism, discussion trends and forecasts of the Post-2012 scheme. Chapter 3 takes a look at the greenhouse gas generation in the agricultural sector and management means. Chapter 4 analyzes the impact of the mandatory greenhouse gas emission cut on the agricultural sector and the potential capability of greenhouse gas reduction by emission cut means. The impact on the agricultural sector is briefly summarized using the result of the first year analysis. Chapter 5 shows the examples of reactions by major countries related to the implementation of the Kyoto Protocol including Japan, Denmark, German, Britain, and the United States where the reduction mandate will apply from 2008. Chapter 6 sets forth the agricultural sector's basic direction of reactions to mandatory reduction, practical strategies, and core tasks. Lastly, Chapter 7 delivers summary and conclusion.

The highlights of the study are summarized as follows:

First, the participation of the agricultural sector in the emission trad-

ing program is found to increase earnings and boost national economy. If carbon tax is imposed, in the short term, facilities plastic vegetable gardening and horticultural sectors, which are highly dependent on fossil fuels, will be put under great pressure of growing management costs. For these, proper responding measures are needed.

Second, regarding mandatory emission reduction under the Kyoto Protocol, major countries (Japan, the United States, Denmark, German, Britain) have marked significant achievements with the agricultural sector's voluntary participation to meet the goal of greenhouse gas reduction. Except for Denmark among the concerned countries, the proportion of the agricultural sector in the greenhouse gas emission is less than 7%, but the agricultural sector takes up a large portion of methane and nitrogen dioxide emission. These countries do not require the agricultural sector to manage their greenhouse gas emission in the form of mandatory requirement. Instead they encourage the agricultural sector to adjust and manage the greenhouse gas generated on the self-regulatory basis. Representative measures taken by the agricultural sector of these countries to cut greenhouse gas emission include facility support, fostering of organic farming, utilization of bio-energy, R&D, and adaptation that can be benchmarked by Korea in establishing its measures.

Third, the local study that has been conducted so far concludes that the agricultural sector's greenhouse gas emission cut technologies have the potential to achieve substantial amount of emission cut. The core technologies of emission cut are related to the methane reduction through intermittent irrigation, reduction of nitrogen dioxide in nitrogen fertilization, the use of organic carbon in soil, the cultivation of bio-energy crops, in-premise fermentation in the livestock sector, and improvement of livestock night soil treatment facilities, and they are found to have the potential to make considerable contribution to greenhouse gas emission cut.

Fourth, systematic and step-by-step strategies for the agricultural sector are presented regarding the implementation of the Kyoto Protocol. In relation to this, five basic strategic directions are proposed including using the implementation mandate as an opportunity to build the sustainable agricultural system; proper combination between agricultural policy and greenhouse gas reduction policy; active and proactive response to internal and

external negotiations; scientific analysis of greenhouse gas emission and absorption volume; and adaptation to global warming. Practical strategies will be in place under the 3-step approach by period. The first period of 2008 to 2012 period will lay down the foundation. The second period of 2013 to 2018 will make a leap forward, and the last period of 2019 to 2030 will cement and finalize the achievements obtained so far.

Fifth, the core tasks of practical strategies are presented. They include the active pursuit of the 4th comprehensive measures of responding to climate change, the program development for active use of the Kyoto mechanism, the fostering of sound organic farming, active participation in onshore and offshore negotiations regarding climate change convention, continuous effort in the adaptation sector, the systematic R&D efforts, and the establishment of the integrated greenhouse gas management system.

Lastly, with the global warming emerging as a hot issue at home and abroad, the agriculture should be recognized as an infrastructure industry for effective management of greenhouse gas emission. To this end, dedicated personnel and organization should be expanded, and proper role sharing and use of experts among related organizations should be sought for active participation in the discussions on national tasks setting for climate change management.

The study does not estimate marginal costs by greenhouse gas reduction means and does not determine the priority among policy measures. These areas should be covered by future studies. In addition, an empirical study needs to be conducted to estimate actual reduction volume by applying the economics engineering method and the cost effective analysis by reduction means.

Researchers: Chang-Gil Kim, Bae-Sung Kim, Tae-Young Kim,  
Man-Keun Kim, and Jason Anderson

E-mail address: [changgil@krei.re.kr](mailto:changgil@krei.re.kr)



## 차 례

### 제1장 서론

|                 |   |
|-----------------|---|
| 연구 필요성 .....    | 3 |
| 연구목적 및 범위 ..... | 5 |
| 선행연구 검토 .....   | 6 |
| 연구 방법과 내용 ..... | 9 |

### 제2장 교토의정서 내용 및 2012년 이후 논의 동향

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 교토의정서의 주요 내용 .....          | 15 |
| 교토의정서 이행 메커니즘 .....         | 17 |
| 2012년 이후 체제 논의 동향과 전망 ..... | 21 |

### 제3장 농업부문의 온실가스 발생실태와 관리수단

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 온실가스 배출 실태 진단 .....   | 25 |
| 농업부문 온실가스 배출 전망 ..... | 30 |
| 농업부문 온실가스 관리 수단 ..... | 32 |

### 제4장 농업부문 파급영향과 감축수단의 잠재력 분석

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 농업부문 온실가스 배출량 추정 및 전망 .....   | 49 |
| 온실가스 감축의 시나리오별 경제적 파급영향 ..... | 52 |
| 온실가스 감축수단의 저감 잠재력 분석 .....    | 59 |

### 제5장 교토의정서 이행 관련 주요국의 농업부문 대응사례

|           |    |
|-----------|----|
| 일 본 ..... | 69 |
| 미 국 ..... | 74 |
| E U ..... | 80 |

## 제6장 온실가스 의무감축 관련 농업부문 대응전략

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 전략수립의 기본방향 .....        | 97  |
| 실천전략의 접근방법 .....        | 98  |
| 전략 실천을 위한 향후 추진과제 ..... | 104 |

## 제7장 요약 및 결론 .....

119

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 부록: 교토의정서 조문별 주요 내용 ..... | 123 |
| 참고 문헌 .....               | 125 |

## 표 · 그림 차례

|       |                                           |     |
|-------|-------------------------------------------|-----|
| 표 1.  | 교토메커니즘의 구성 및 주요 내용 .....                  | 17  |
| 표 2.  | 교토의정서 이행 의무부담 방식에 대한 평가 .....             | 20  |
| 표 3.  | 산업 부문별 온실가스 배출 현황 .....                   | 26  |
| 표 4.  | 온실가스별 배출량 변동 추이 .....                     | 27  |
| 표 5.  | 농업부문 온실가스 배출량 및 온난화지수 변화추이 .....          | 29  |
| 표 6.  | 농업부문 온실가스 배출량 및 온난화지수 전망 .....            | 31  |
| 표 7.  | 온실가스 감축수단의 분류 .....                       | 33  |
| 표 8.  | 배출권 거래시장에서 활용 가능한 크레딧 유형 .....            | 36  |
| 표 9.  | 농업부문의 온실가스 저감기술 목록 .....                  | 42  |
| 표 10. | 유기농축산업의 온실가스 감축 효과 평가 .....               | 44  |
| 표 11. | 농업부문 온실가스 감축·흡수 수단에 대한 평가 .....           | 46  |
| 표 12. | 기후변화협약 이행을 위한 의무부담 시나리오 설정 .....          | 53  |
| 표 13. | 시나리오별 온실가스 저감 단가 및 배출권 거래가격 .....         | 54  |
| 표 14. | 시나리오 1 대비 시나리오 2의 경제적 효과 .....            | 54  |
| 표 15. | 시나리오 1 대비 시나리오 3의 경제적 효과 .....            | 55  |
| 표 16. | 경종·축산부문의 배출권 및 생산물 판매수입 변화 .....          | 57  |
| 표 17. | 탄소세 부과 시(30% 가정) 농업경영비에 미치는 영향 .....      | 58  |
| 표 18. | 온실가스 저감수단에 따른 저감량 및 저감 후 배출량 추정 .....     | 65  |
| 표 19. | EU에서 적용되고 있는 농업부문 청정개발체제<br>바이어와 유형 ..... | 84  |
| 표 20. | 유럽 주요 3개국의 온실가스 대응책 비교 .....              | 92  |
| 표 21. | 주요국의 농업부문 온실가스 저감정책 수단 비교 .....           | 94  |
| 표 22. | 농업부문의 온실가스 감축 및 흡수 수단평가 .....             | 99  |
| 표 23. | 기후변화협약 제4차 종합대책 농업부문 추진사업 .....           | 105 |
| 표 24. | 주요국의 배출권거래제 현황 .....                      | 110 |

|        |                                       |     |
|--------|---------------------------------------|-----|
| 그림 1.  | 연구방법의 흐름도 .....                       | 12  |
| 그림 2.  | 교토메커니즘의 운영체계 .....                    | 18  |
| 그림 3.  | 농업부문의 온실가스 배출-흡수 구조 .....             | 28  |
| 그림 4.  | 농업부문의 온실가스 배출 구조(2005년 기준) .....      | 30  |
| 그림 5.  | 투입과 산출 측면에서 온실가스 감축방법 .....           | 33  |
| 그림 6.  | 청정개발체제 사업의 타당성 확인 절차 .....            | 39  |
| 그림 7.  | 경종부문 온실가스 배출허용량 및 잉여배출량 .....         | 50  |
| 그림 8.  | 축산부문의 온실가스 배출허용량 및 의무감축량 .....        | 50  |
| 그림 9.  | 농업 관련 산업의 온실가스 배출허용량 및 잉여배출량 .....    | 51  |
| 그림 10. | 전체 농업부문의 온실가스 배출허용량 및 잉여배출량 .....     | 51  |
| 그림 11. | 농업부문의 시나리오별 거래권 판매수입 및 지출 비교 .....    | 56  |
| 그림 12. | 탄소세 부과 시(30% 가정) 농업경영비 상승률 .....      | 59  |
| 그림 13. | 온실가스 감축효과 분석의 기본 틀 .....              | 60  |
| 그림 14. | 농축산부문의 온실가스별 감축수단 적용 메커니즘 .....       | 61  |
| 그림 15. | 경종부문 온실가스 배출량 및 배출저감량 전망 .....        | 63  |
| 그림 16. | 축산부문 장내발효 및 시설 개선에 따른 배출저감량 전망 .....  | 64  |
| 그림 17. | 농업부문 전체 배출량 및 배출저감량 전망 .....          | 66  |
| 그림 18. | 일본의 온실가스 배출량 및 감축목표 설정 .....          | 70  |
| 그림 19. | 미국의 온난화 대응 정책수단 사다리 .....             | 78  |
| 그림 20. | EU 회원국들의 온실가스 배출량 목표(2008~2012) ..... | 81  |
| 그림 21. | 교토의정서 이행에 대응한 정책추진 로드맵 .....          | 103 |
| 그림 22. | 온실가스 의무감축 대응 농업부문 연구추진 로드맵 .....      | 115 |

# 제 1 장 서 론

## 연구 필요성

산업혁명이 일어나기 이전 온실가스 배출이 많지 않았을 때에는 지구의 자정능력과 온실가스량이 균형을 이루고 있었다. 온실가스는 산업혁명 이후 발생한 급속한 화석연료의 사용과 이로 인한 이산화탄소 배출량의 증대로 그 균형을 잃게 되었다. 산업혁명 이후 시작된 과학기술의 급격한 발전과 경제성장, 급속한 인구증가에 따른 생산과 소비의 증대 등으로 인류 삶의 질은 크게 개선되었다. 그러나 인류의 터전인 지구환경은 지구자정능력만으로 해결하기 어려운 시점에 근접하고 있다.

유엔 산하 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)의 「기후변화에 관한 제4차 평가보고서」에 따르면 지금과 같이 석유·석탄 등 화석연료에 의존한 인류의 생활이 계속되면 21세기 말(2090~2099)에는 지구의 평균기온이 최대 6.4℃ 추가로 상승하고, 해수면은 59cm까지 상승할 것이라고 보고하고 있다(IPCC, 2007a). 또한 지난 100년(1906~2005) 동안 지구의 평균기온이 0.74℃ 상승한 것으로 발표하였다. 특히 유엔 기후변화 정부간협의체는 인간의 활동이 지구온난화의 90% 이상 원인을 제공한다는 분석결과를 제시하고 있다. 아울러 세계기상예측 모델을 이용한 분석결과에 따르면 2100년경에는 지구 평균기온이 1.8~4℃ 증가하여 북극빙하가 녹아 없어지고 폭염과 집중호우 등 기상재난이 빈번해지며 열대 폭풍도 더욱 거세질 것으로 전망하였다. 이처럼 지구의 평균온도가 1.5~2.5℃ 상승하면 동식물종의 20~30%가 멸종 위기에 처하고 아프리카는 2020년까지 7,700만~2억 5,000명이 심각한 식량난과 물 부족에 직면할 것이라는 경고를 하고 있다. 유엔 기후변화 정부간협의체 보고서는 지구온난화를 방지하려면 2050년까지 이산화탄소 배출 규모를 2000년의 50~65% 수준으로 줄여야 한다고 강조했다.

한편 우리나라의 경우 세계평균 이상의 온난화 현상이 가시화되고 있고, 농업부문도 그 영향을 받고 있다. 우리나라의 이산화탄소 평균 농도는 세계평균인 379ppm보다 높은 389ppm 수준이다. 기온은 1900년 이후 평균

1.5℃ 상승하였고, 최근 평년기온(1971~2000년 평균치)보다 0.6℃ 상승한 것으로 나타났다. 이처럼 지구온난화 영향으로 겨울철 단축과 여름철 연장의 계절변화와 봄꽃 개화시기 변화, 농산물(사과·녹차·감귤 등) 생육한계선의 북상 등의 현상이 가시적으로 나타나고 있다.

온실가스 감축을 위한 범세계적인 대응책으로 1992년 6월 기후변화협약<sup>1</sup>이 채택되었다. 기후변화협약에 따라 전 세계 국가들이 온실가스 감축을 이행할 경우 누가, 얼마만큼, 어떻게 줄이는가에 대한 문제를 결정하는 구체적인 실행지침으로 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol)가 채택되었고, 2005년 2월 16일 공식적으로 발효되었다. 교토의정서에 따라 제1차 공약기간(2008~2012)에 걸쳐 선진국(부속서 I 국가)은 전체 온실가스 배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축하되, 각국의 경제적 여건에 따라 -8%에서 +10%까지 차별화된 감축량을 규정하고 있다. 우리나라는 1993년 12월 47번째로 기후변화협약에 가입하였고, 2002년에 교토의정서를 비준하였다. 한국은 교토의정서상에 개도국(non-Annex I) 지위확보로 제1차 공약기간 중 온실가스 감축의무는 없다. 그러나 제2차 공약기간(2013~2017)에 우리나라의 온실가스 의무감축 참여 여부는 향후 당사국총회의 논의에서 결정될 것이나, 2004년 기준 세계 9위의 온실가스 배출국이자 OECD 회원국으로서 제2차 이행 기간부터는 국제사회로부터 온실가스 배출 감축을 위한 의무 동참 압력이 거세질 것으로 전망되고 있다. 교토의정서 체제는 2012년에 종결되고 온실가스 감축을 위한 새로운 협의 체제가 2009년까지 확정될 예정이어서 세계 각국은 향후 국가경쟁력을 좌우할 탄소시장에서 자국의 이익 확보를 위해 치열한 협상을 전개하게 될 것이다.

교토의정서는 환경협약의 시행령으로 볼 수 있으나 실제 생산 및 소비 활동 등 국가경제에 상당한 영향을 미치므로 오히려 경제협약의 성격이 강하다. 온실가스 발생은 상당히 많은 산업부문의 활동과 직간접으로 연계되

<sup>1</sup> 정식명칭은 ‘기후변화에 관한 유엔 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)’이며, 지구의 온난화를 규제·방제하기 위한 국제협약이다.

어 있어 교토의정서에 따른 온실가스 감축을 실제로 이행하는 경우 농업부문에도 직간접으로 상당한 영향을 미칠 것으로 전망된다. 특히 농업부문의 경우 온실가스 저감에 기여하는 긍정적 측면과 배출량을 증가시키는 부정적 측면을 동시에 가지고 있어, 기후변화협약에 어떻게 대응하느냐에 따라 위협 요소 또는 기회 요소로 작용하게 될 것이다.

기후변화협약에 대응하여 정부는 기후변화대책위원회(위원장 국무총리)와 관계장관회의 등 범정부대책기구를 설치하여 운영하고 있으며, 1999년부터 종합대책을 수립하여 추진해오고 있다. 정부는 기후변화협약대응 제3차 종합대책(2005~2007)에 약 15조 5천억 원을 투입하였고, 2008년부터 시작되는 제4차 종합대책(2008~2012)을 수립 중에 있다.

향후 교토의정서 이행과 관련하여 농업부문은 온실가스 배출량이 감소하는 추세이고 흡수원으로서의 기여 가능성도 있으므로 이를 좋은 기회로 활용할 수 있다. 한편 온실가스 감축의무가 부과되는 경우 배출권거래제, 탄소세, 에너지사용 규제 등의 정책 실행으로 농산물 생산비와 농업자원 배분 및 농가소득 등에 직간접적으로 상당한 영향을 미치게 될 것이므로 적절한 대응전략 개발이 필요하다.

## 연구목적 및 범위

이 연구는 『기후변화협약에 따른 농업부문 파급영향 분석』(김창길, 김태영, 신용광, 2006)에 관한 후속 연구로 교토의정서 이행에 따른 온실가스 의무감축에 대비하여 농업부문의 체계적이고 실효성 있는 대응전략을 제시하는 데 목적이 있다.

연구범위는 경종과 축산 부문을 대상으로 설정하였다. 농업부문의 온실가스 분석 대상은 메탄과 아산화질소만으로 하였고, 이산화탄소는 포함시키지 않았다. 온실가스 배출량과 관련하여 메탄은 경종부문의 논과 축산부문의 장내발효로 나누어 접근하였고, 아산화질소는 질소비료 사용량과



가축분뇨 분해를 기초로 추정하였다. 농기계와 시설원에 난방 등의 화석 연료로부터 발생하는 이산화탄소는 기후변화협약 국가보고서(National Communication) 작성 시 국내 농업부문의 온실가스 발생원으로 포함시키지 않고 있어 제외하였다. 농업부문의 온실가스 흡수부문은 유엔 기후변화 정부간협의체에서 공식적으로 인정하고 있는 토양유기탄소만으로 분석대상을 한정하였다.

## 선행연구 검토

### ■ 일반 산업분야의 교토의정서 이행에 따른 대응방안 연구

일반 산업분야에서는 교토의정서 이행에 대비한 대응방안 개발에 관해 상당히 많은 연구가 이루어졌다. 조광우 외 5인(2002)은 기후변화협약에 대한 대응체제 구축 방안 모색을 위해 주요국의 사례검토를 바탕으로 우리나라 종합대책 추진기구의 문제점 진단 및 지구온난화대책법안 제언 등 제도적 개선 방안을 제시하였다.

기후변화협약에 대응한 국가종합대책 수립과 관련하여 이상곤 외 13인(2003)은 교토의정서 이행에 따른 대응 방안과 관련하여 온실가스 감축 분담방안에 대한 분석과 계량경제시물레이션 모형을 이용한 온실가스 저감수단에 대한 평가 및 영국·독일·프랑스·네덜란드 등 주요국의 기후변화협약 대응에 관한 제도 분석을 시도하였다. 또한 방기열 외 10인(2004)은 기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략 수립과 관련 온실가스 저감수단에 대한 평가와 부문별 저감 잠재량을 추정하였고, 온실가스 저감을 위한 거시정책 및 부문별 시책수립을 통해 감축단계별 비용효과적인 최적의 정책결합을 제시하였다.

기후변화협약에 따른 국가보고서 작성에 대비하여 임재규 외 3인(2004, 2005)은 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축 연구에서

온실가스 배출통계 및 전망, 부문별 온실가스 저감정책 효과분석 및 시나리오별 전망, 기후변화 적응체계 구축, 기후변화협약 교육 및 홍보체계 개선 방안 등을 제시하였다. 특히 3년차 연구에서 임재규(2006)는 온실가스 감축을 위한 각종 정책 및 조치의 감축효과 분석을 위한 방법론을 제시하였다.

## ■ 농업부문의 교토의정서 이행에 따른 대응방안 연구

교토의정서 이행에 대비한 농업부문의 대응방안에 관한 연구는 2000년대 중반 이전까지는 주로 기술개발에 초점을 맞추어 진행되었다.

윤성호(1995)는 기후변화협약 국가보고서 작성과 관련, 농업부문의 온실가스 배출 특성과 벼 재배 논의 메탄가스와 질소질 화학비료 사용에 따른 아산화질소의 배출량 추정과 온실가스 배출량 저감 기술 등을 제시하였다. 탁태영(1995)은 축산부문의 가축 장내발효에 따른 메탄가스 배출량 추정과 메탄배출 저감기술 및 저감 잠재력 등을 평가하였고, 메탄배출 저감을 위한 정책방안을 제시하였다.

교토의정서 이행에 대비한 정책적 연구로 양승룡 외 7인(2005)과 양승룡 외 3인(2006)은 온실가스 감축과 관련하여 탄소배출권 거래제를 활용하여 농업부문의 새로운 수익원으로 활용하는 방안 모색과 청정개발체제사업을 생산조정제라는 농업정책과 연계하는 방안 등을 제시하였다. 임재규(2006)는 농축산부문의 온실가스 감축정책의 감축효과 분석을 시도하였다. 경종부문의 생산 활동과 전망치를 기초로 이루어진 함수식을 이용하여 온실가스 감축수단의 효과를 산정하였고, 축산부문도 가축의 장내발효와 가축분뇨 분해 관련 기술수단의 효과 등을 분석하였다. 김창길, 김태영, 신용광(2006)은 동태적 연산가능 일반균형모형을 활용하여 기후변화협약에 따른 농업부문의 경제적 파급영향을 계측하였다. 이 연구에서는 2013년부터 기준시점(2000년) 배출량 대비 5%의 감축의무가 부과될 경우, 경종부문은 2013년 이후 배출량이 배출허용량 이하로 감소하면서 잉여배출량이 발생하여 향후 배출권 판매가 가능하기 때문에 기회 요소로의 활용 가능성을 제시하였다.

## ■ 외국의 교토의정서에 대응한 농업부문 연구

미국과 캐나다 및 유럽에서는 교토의정서 이행에 따른 농업부문의 대응전략 개발에 관한 심층적인 연구가 다양한 분야에서 활발하게 이루어져 왔다.

Clark, et al(2001)은 농업부문의 아산화질소, 메탄, 이산화탄소 배출량 감축을 위해 개발된 농법 및 기술에 대한 효과 검토와 온실가스 감축의 잠재량을 평가하였다. 이 연구 결과에 따르면 보전농법이나 가축사육두수 감축, 사료효율 개선 등에서 감축효과를 관측할 수 있으나 정확한 감축효과를 판단하는 데는 시간적·공간적인 한계점이 많은 것으로 나타났다. Schneider and McCarl(2002)은 농업부문모형을 이용하여 경종 및 축산농가의 실행 가능한 다양한 온실가스 감축전략 분석과 농업환경의 외부성(externality)에 대해 공간적으로 완전히 구분된 계정을 구축함으로써 미국 농업부문의 온실가스 저감 잠재력을 평가하였다. 이 연구에서는 농업부문이 온실가스 감축에 어느 정도 기여할 수 있을 것으로 보이나, 총 감축량은 탄소 가격에 따라 매우 민감한 것으로 분석되었다. Feibauer et al.(2004)은 2008~2012년까지 유럽지역 농경지의 토양 내 기술적·경제적으로 실행 가능한 탄소저장 잠재력에 대한 분석과 이용 가능한 방법별로 농경지 단위면적당 탄소흡수 잠재량 추정 및 환경과 농가소득에 미치는 영향 등을 분석하였다. 이 연구에서는 토양 내 탄소저장 능력 향상을 위한 가장 유력한 수단으로는 농경지 유기질비료 사용 증가, 휴경지 보전과 바이오연료 생산을 위한 다년생초목 도입, 무경운 또는 최소경운 실천, 유기농법 확대 등을 제시하였다.

캐나다를 대상으로 한 대응방안에 관한 연구로 Duke(2006)는 온대지역 경종과 축산부문의 양분관리가 온실가스 감축에 미치는 효과에 대한 분석을 시도하였다. 분석결과를 기초로 양분관리, 가축분뇨관리 및 다양한 온실가스 감축수단의 효과를 분석하여 제시하였다. 또한 Smith and Upadhyay(2005)는 캐나다의 경종-축산 복합농가를 대상으로 선형계획법을 이용하여 온실가스 배출량 감축 수단에 따른 한계저감비용을 추정하였다. 경종과 축산이 통합된 농장에서 온실가스 배출량을 줄이는 방법은 매우 제한적이지만 경종부문의 경우 무경운 직파농법, 여름 휴경 폐지 등의 농장관리방법은 탄소저장의 기

술적인 편익과 경제성 측면에서 매우 효과적이며, 축산부문의 경우 사육두수 감축 외에 비용 효과적인 수단이 매우 제한적임을 제시하였다.

## ■ 선행연구와 본연구의 차별성

기존의 연구는 대부분 기후변화협약과 교토의정서에 따른 의무감축 이행에 대비한 기술적인 연구·개발과 대응방안에 관한 것으로 탄소배출권 거래제 도입에 관한 기초 연구 성격이었다. 이 연구는 기후변화협약에 따른 농업분야의 부문별 경제적 파급영향 분석(1년차 연구)을 기초로 농업부문의 국가적인 대응전략을 제시하는 데 초점을 맞추었다.

이 연구에서는 2013년 이후 2030년을 목표연도로 교토의정서 이행에 따른 온실가스 의무감축과 관련된 농업부문의 중장기 대응전략 수립에 초점을 맞추어 연구의 기본방향을 설정하고 실제적인 정책프로그램을 제시하였다.

## 연구 방법과 내용

교토의정서 이행에 따른 농업부문의 대응전략 수립을 위한 체계적이고 심층적인 연구 추진을 위해 1차연도에는 온실가스 의무감축 시나리오를 설정하여 농업부문에 미치는 파급영향을 계측하였다. 동태적 연산가능 일반균형모형(Dynamic CGE Model)을 이용하여 온실가스 의무감축의 산업 부문별 파급영향과 부문별 온실가스 저감비용을 계측하였다. 또한 부분균형모형을 이용하여 탄소세가 부과되는 경우 쌀, 시설원예, 시설화훼 및 축산 부문에 미치는 파급영향을 계측하였다(김창길, 김태영, 신용광, 2006).

교토의정서 이행에 대비한 농업부문의 대응전략 수립에 초점을 맞춘 2년차 연구인 이 연구에서는 기후변화협약 대책 수립에 관한 농림부와 농촌

진흥청, 축산과학원 등의 보고 자료와 기후변화협약 종합대책 수립 관련 에너지경제연구원, 한국환경정책평가연구원 등 연구기관 및 학계의 관련 분야 논문과 연구보고서 등 관련문헌을 검토하였다.

교토의정서에 따라 2008년부터 온실가스 의무감축 이행에 대비하여 2007년 6월에 발표한 「일본농림수산성 지구온난화 종합전략」의 정책수립 배경과 구체적인 전략에 관한 자료수집 및 정책담당자·전문가와의 면담을 위해 일본 현지조사(2007. 9. 17~9. 20)를 실시하였다.

교토의정서에 대비한 농업분야의 대응전략에 대한 전문가의 의견을 반영하기 위해 농림부에 설치된 ‘기후변화대응 자문위원회’에서의 논의와 제시된 의견을 수렴하여 반영하였다.<sup>2</sup> 또한 연구 및 기술개발 분야의 실천전략 로드맵은 농촌진흥청 주관 지구온난화 세미나 발제를 통해 관련분야 전문가들의 의견을 수렴하였다.<sup>3</sup>

특히 농업부문의 교토메커니즘 활용과 관련한 실효성 있는 대응전략 수립을 위해 청정개발체제 분야의 경우 전문가(에너지관리공단 CDM인증원 한승호 심사원)에게 원고를 의뢰하여 정책대안을 제시토록 하였다. 또한 온실가스 감축의무 부과에 따른 주요국의 대응책을 벤치마킹하기 위해 미국은 네바다주립대학교 김만근 교수에게 「미국 농림업부문의 온실가스 저감정책 전략」, 유럽(EU, 덴마크, 독일, 영국 등 3개국 대상)은 유럽환경정

<sup>2</sup> 농림부의 기후변화대응 자문위원회는 차관보를 위원장으로 농림부에서 친환경 농업정책과장, 농생명정책과장, 축산자원순환과장, 농촌진흥청에서 국제기술협력과장, 농업과학기술원 환경생태과장, 산림청 산림정책팀장, 외부전문가로 윤성이 교수(동국대), 이해춘 교수(성균관대), 연인철 교수(명지대), 조경엽 박사(한국경제연구원), 김창길 박사(농경연), 정종원 박사(축산과학원), 이경학 박사(산림과학원) 등 13명으로 구성되어 있다. 제1차 자문회의가 2007년 7월 16일에 개최되어 기후변화협약에 따른 농업부문의 대응과제에 관해 심층적으로 논의하였다.

<sup>3</sup> 농촌진흥청 주관 ‘지구온난화 농업부문 대응 세미나’가 2007년 10월 16일 농업과학기술원 대강당에서 발표되었다. 이 세미나에서 “지구온난화의 농업부문 파급영향과 대책”(김창길, 2007)이라는 발제를 통해 온실가스 감축 대응 농업부문 연구추진 로드맵을 발표하였다.

책연구소 앤더슨 박사에게 「EU 농업부문에서 교토의정서 준수 대책」에 관한 원고를 의뢰하였다. 일본의 지구온난화대응전략에 관해서는 농림수산성과 농업환경기술연구소 등 해외조사를 통해 수집된 정보를 활용하였다. 위탁원고와 일본 농림수산성의 지구온난화 대책 종합전략 등의 관련 내용을 모아 별도로 「주요국의 농업부문 기후변화협약 대응 방안」자료집을 발간하였다(김창길 외 3인, 2007 12월 발간).

이 보고서의 연구내용을 살펴보면 우선 서론에서는 연구의 필요성과 연구추진 배경, 연구목적과 범위, 선행연구 검토, 연구방법 등을 제시하였다. 특히 연구방법에서는 분야별 분석방법에 대한 설명과 더불어 이 연구가 2년차 연구과제로 추진된 내용을 연구 흐름도를 이용하여 설명하였다<그림 1>.

제2장에서는 교토의정서의 내용 및 2012년 이후 논의동향과 관련 교토의정서가 담고 있는 주요 내용, 교토의정서 이행 메커니즘, 2012년 이후 체제의 논의동향과 전망을 제시하였다.

제3장에서는 농업부문의 온실가스 발생실태와 관리수단을 기술하였다. 여기서는 우리나라 온실가스 배출실태에 대한 검토, 농업부문의 온실가스 배출실태 진단과 배출 전망 등을 다루었다. 온실가스 관리수단에서는 감축수단 개관과 교토의정서에서 제시된 온실가스 관리 핵심수단을 기술하였다.

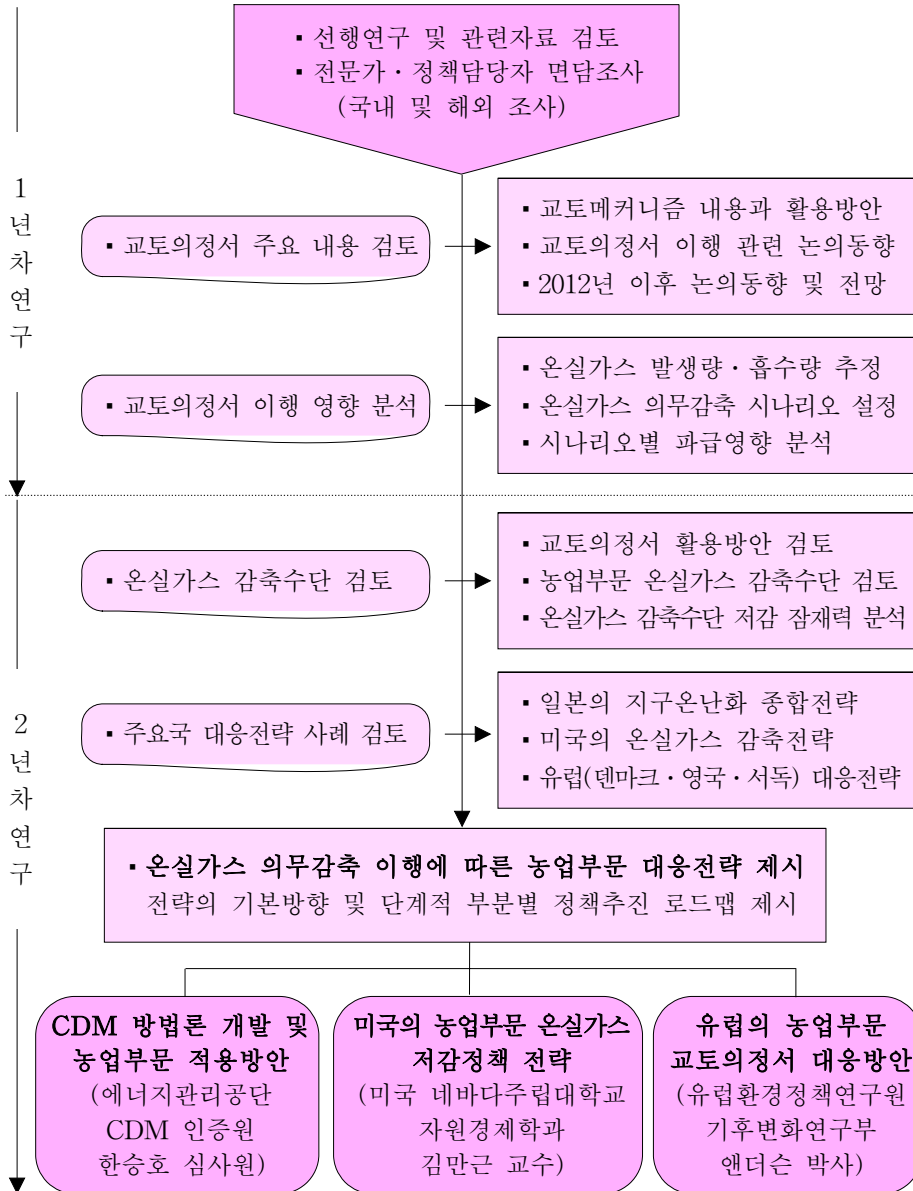
제4장에서는 온실가스 의무감축의 농업부문 파급영향과 감축수단의 온실가스 감축잠재력을 분석하였다. 농업부문 파급영향은 1차연도 연구결과를 간략하게 요약하여 제시하였다. 온실가스 저감잠재력 평가에서는 농업부문의 온실가스 감축 핵심기술을 대상으로 분석하였다.

제5장에서는 교토의정서 이행 관련 주요국의 대응사례를 제시하였다. 여기서는 2008년부터 온실가스 감축의무가 부과되는 일본, 덴마크, 독일, 영국 등 주요국과 미국의 대응사례를 검토하였다.

제6장에서는 온실가스 의무감축 관련 농업부문의 대응전략을 제시하였다. 여기서는 전략수립의 기본방향, 실천전략의 접근방법, 전략실천을 위한 핵심과제를 기술하였다.

끝으로 제7장에서는 요약 및 결론을 제시하였다. 아울러 연구의 한계와 향후 과제를 간략하게 제시하였다.

그림 1. 연구방법의 흐름도



## 제 2 장

### 교토의정서 내용 및 2012년 이후 논의 동향



교토의정서는 기후변화협약의 구체적인 이행과 관련, 국가별 온실가스 의무감축, 의무감축 이행방식 등을 규정한 시행령이라 할 수 있다. 제2장에서는 교토의정서의 주요 내용과 온실가스 의무 감축이행을 위한 교토메커니즘, 2012년 이후(Post-2012) 체제에 대한 논의동향과 전망 등을 다루었다.

## 교토의정서의 주요 내용

기후변화협약은 인간의 활동에 의해 발생하는 위험하고 인위적인 영향이 기후 시스템에 영향을 미치지 않도록 대기 중 온실가스의 농도를 안정화시키는 것을 궁극적인 목적으로 하고 있다. “공동의 차별화된” 책임 및 능력에 입각한 온실가스 저감의무 등 형평성, 비용효율성, 기후변화 방지를 위한 예방적 조치의 시행, 지속가능한 발전 보장 등의 기본원칙을 담고 있다.

기후변화협약은 1997년 교토의정서에 의해 구체화되었으며, 2001년 11월 제7차 당사국총회에서 교토의정서 이행방안이 최종 타결됨으로써 부속서 I 국가(Annex I Party)들은 2008년부터 2012년에 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축해야 하는 온실가스 감축의무 부담방식이 확정되었다.<sup>4</sup>

교토의정서는 기후변화협약의 부속의정서로 부속서 I 국가에 온실가스 의무감축을 명시한 지침으로 기후변화협약의 최고 의사결정기구 회의인 제3차 당사국회의에서 기후변화협약의 기본원칙에 입각하여 선진국에게 구속력 있는 온실가스 감축목표를 부여한 법적 구속력이 있는 국제협약이다. 기후변화협약상 한국은 개도국으로 분류되어 온실가스 통계 작성과 이행 상황을 담은 국가보고서를 제출해야 하지만, 교토의정서에서 제시하고 있

<sup>4</sup> 교토의정서상의 국가별 감축목표는 EU·스위스·체코·불가리아 등은 8% 감축, 미국은 7% 감축, 일본·캐나다·헝가리·폴란드는 6%, 크로아티아 5% 감축, 러시아·뉴질랜드·우크라이나 0%, 노르웨이 1% 증가, 호주 8% 증가, 아이슬란드 10% 증가 등으로 제시하고 있다.

는 온실가스 의무감축 부담은 면제를 받고 있다.

온실가스 의무감축에 대한 교토의정서의 기본 원칙과 주요 내용을 보면 교토의정서는 전문과 총 28조의 조항 및 2개의 부속서로 이루어진 기후보호를 위한 구체적인 이행을 담은 문서로 국제법상 법률적 구속력이 부여되어 있다.

교토의정서는 주요 용어에 대한 정의, 온실가스 감축을 위한 정책적 조치, 부속서 I 국가의 감축의무, 감축목표의 공동달성, 온실가스 추정방식, 국가보고서 작성, 당사국의 의무, 신축적 의무이행을 위한 교토메커니즘, 선진국별 감축목표, 산업부문별 온실가스 배출원의 범주 등을 상세하게 제시하고 있다(교토의정서의 조항별 내용은 <부록 1> 참조).

교토의정서에는 온실가스 배출원과 흡수원의 개념을 명확하게 제시하고 있다. 배출원(sources)은 온실가스를 발생시키는 원인으로 농업분야에서는 장내발효, 퇴비관리, 벼 경작, 농경지, 목초지의 예정된 소각, 농업잔여물의 경작지 소각 등을 제시하고 있다. 또한 흡수원(sinks)은 대기로부터 온실가스를 흡수하여 지구온난화를 줄이는 요인으로 토지이용, 토지이용 변화 및 산림(Land Use, Land-Use Change, and Forestry, LULUCF)을 제시하고 있다. 유사한 개념으로 저장원(reservoirs)은 탄소를 저장할 수 있는 수단으로 토양과 해저(ocean floor) 등을 제시하고 있다.

이밖에도 교토의정서에는 온실가스 감축을 위한 다양한 정책적 조치를 제시하고 있다.

온실가스 감축을 위한 수단으로 에너지 효율 향상, 온실가스의 흡수원과 저장원의 보호와 증진, 지속가능한 산림관리·조림·산림회복 추진, 지속가능한 농업추진, 신생 및 재생 형태의 에너지, 이산화탄소 저장기술, 환경친화적 기술 연구 개발 및 이용 확대, 재정적 유인책, 조세감면, 보조금의 점진적 저감 및 철폐, 폐기물의 재활용 촉진, 국제적 협력 촉진 등을 제시하고 있다(교토의정서 제2조).

농림업 및 폐기물 분야에서는 기후변화의 저감조치와 기후변화의 적응을 촉진하는 적절한 지역 프로그램의 수립, 이행, 공표 및 정기적 갱신 등을 제시하고 있다.

온실가스 의무준수체제의 이행을 모니터링하기 위하여 온실가스 의무준수체제(monitoring compliance)는 촉진분과(Facilitative Branch)와 집행분과(Enforcement Branch)로 구성된 의무준수위원회를 두고 있다. 촉진분과는 의무를 준수하려는 당사국들을 보조하고 지원하는 역할을 하고, 집행분과는 의무를 이행하지 않는 당사국들에 대해 적절한 조치를 취하는 역할을 담당하도록 하고 있다.

## 교토의정서 이행 메커니즘

교토의정서 이행과 관련하여 선진국들이 온실가스 감축의무를 자국 내에서 모두 이행하기에는 한계가 있다는 점을 인정하여 배출권의 거래나 공동사업을 통한 감축분의 이전 등 의무이행에 유연성을 부여하고 있다. 즉 「부속서 I 국가」의 효과적인 온실가스 의무감축 이행을 위해 온실가스 감축 공동사업을 통한 감축분의 이전을 교토의정서의 핵심사항으로 허용하는 등 의무이행에 신축적 메커니즘을 인정하기 위해 교토메커니즘(Kyoto Mechanism)을 도입하고 있다.

표 1. 교토메커니즘의 구성 및 주요 내용

| 구 분           | 내 용                                                                           |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 공동이행제도 (JI)   | 선진국인 A국이 선진국인 B국에 투자하여 발생된 온실가스 감축분의 일정분을 A국의 배출저감 실적으로 인정하는 제도(교토의정서 제6조)    |
| 청정개발체제 (CDM)  | 선진국인 A국이 개도국인 B국에 투자하여 발생된 온실가스 배출 감축분을 자국의 감축실적에 반영할 수 있도록 하는 제도(교토의정서 제12조) |
| 배출권 거래제도 (ET) | 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도(교토의정서 제17조)               |

주: 선진국은 「부속서 I 국가」를 의미하고, 개도국은 「비부속서 I 국가」를 의미함.

자료: 유엔(1998).

교토메커니즘은 「부속서 I 국가」에 대한 온실가스 감축목표와 함께 이를 달성하기 위한 비용을 최소화하기 위해 시장원리에 입각한 공동이행제도(Joint Implementation, JI), 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM), 배출권거래제(Emission Trading, ET) 등 세 가지의 국제협력수단을 허용하고 있다<표 1>.

공동이행제도는 감축의무를 가진 선진국들이 그들 사이에 온실가스 감축사업에 투자하여 발생한 감축량(Emission Reduction Unit, ERU)을 자국의 의무부담 이행에 활용하는 제도이다.

청정개발체제는 「부속서 I 국가」의 정부와 민간조직이 개도국에서 배출 감축 프로젝트를 수행하고 공인된 감축분(Certified Emission Reduction, CERs)의 형태로 배출권 확보를 인정하는 제도이다. 청정개발체제는 개도국의 지속가능한 발전을 촉진하는 한편 선진국들로 하여금 온실가스를 효율적으로 감축할 수 있도록 유도하고 있다.

배출권거래제는 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도이다.

공동이행제도와 배출권거래제는 2008년부터 시행되며 「부속서 I 국가」인 선진국만이 참여할 수 있으나, 청정개발체제는 2000년부터 시행되고 있으며 우리나라를 포함한 개도국이 참여할 수 있다.

그림 2. 교토메커니즘의 운영체계



온실가스 배출 저감량을 결정하는 방식으로는 크게 하향식과 상향식으로 나눌 수 있다. 하향식(top-down)은 정부가 거시경제지표를 기초로 저감 잠재량을 직접 계산하여 저감목표를 결정하는 방식을 말한다. 상향식(bottom-up)은 저감 주체가 미시적 기반에 의해 해당 부문의 저감량을 직접 계산하여 감축 계획을 수립하는 방식이다. 대부분의 선진국은 정치적 결정에 따라 하향식을 채택하고 있다. 원칙적으로 상향식을 추진하기 위해서는 장기간에 걸친 준비와 함께 부문별 계획을 수립할 중간단계의 대표기관 혹은 대표기구 등이 필요하다.

만약 2013년부터 시작되는 제2차 공약기간부터 우리나라가 의무적으로 온실가스를 감축해야 한다면 이 기간에 적용될 감축목표 설정 방식은 감축 의무 이행비용에 상당한 영향을 미칠 것이므로 우리나라 실정에 적합한 부담방식에 관한 심층적인 검토와 논의를 필요로 한다. 기후변화협약에서는 의무부담원칙으로 형평원칙, 책임원칙, 능력원칙 등을 제시하고 있다. 이들 원칙을 기초로 한 의무감축량을 분배하는 기준으로 일인당 온실가스 배출량, GDP 대비 배출량 집약도, 경제성장률, 수출대비 배출량 집약도 등의 지표를 들 수 있다. 지금까지 2차 공약기간의 감축목표 달성과 관련하여 교토체제지속방식, 집약도방식, 정책 및 조치방식, 수렴방식, 다단계방식 등 다양한 의무부담 방식이 제안되고 있다(방기열 외 10인, 2004, pp.431-468). 이들 의무부담 방식은 환경적 기준, 정치적 기준, 경제적 기준, 기술적 기준 등의 측면에서 제각기 특징이 있다<표 2>. 환경적 기준으로 볼 때 집약도 방식과 정책 및 조치방식을 제외한 다른 방식은 확실한 배출목표 설정이 가능하다. 온실가스 감축 조기참여나 조기이행을 유도하기 위해서는 수렴방식과 정책 및 조치방식만이 가능하다. 정치적 기준에서 평가할 때 능력, 책임, 지속성장 등의 형평성 원칙에 잘 부합하는 방식은 다단계 방식뿐이다. 한편 경제적 기준에서 볼 때 개별 국가의 경제성장에 융통성을 부여코자 한다면 집약도 방식이 효과적이다. 기술적 측면에서 가장 간단한 방식은 기존의 교토체제와 수렴방식이다. 따라서 성공적인 배출 감축 체제를 정착시키기 위해 몇 가지 의무부담 방식이 결합되어야 할 것으로 판단된다.

표 2. 교토의정서 이행 의무부담 방식에 대한 평가

| 구분          | 환경적 기준                                                                                                                              | 정치적 기준                                                                                                                                              | 경제적 기준                                                                                                                                     | 기술적 기준                                                                                                                                   |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 교토 체제 지속 방식 | <ul style="list-style-type: none"> <li>대기농도 안정화 가능성 높음</li> <li>참여국의 배출이 비참여국으로 전이되는 누출 발생</li> <li>조기참여 유인없고, CDM 유인 역할</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>책임원칙과는 다소 거리가 있으나, 능력원칙 일부 고려</li> <li>미국의 의정서 거부 및 G-77의 개도국 참여 거부</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>국가간 구조적 차이 고려를 위해서는 감축목표 차별화 필요</li> <li>경제성장률에 따라 추가적 부담 또는 hot air 발생</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존의 교토의정서 체계 이용 가능</li> <li>비참여국의 참여시 기, 감축수준, 국가별 차별화 등이 주요한 협상과제</li> </ul>                     |
| 집약도 방식      | <ul style="list-style-type: none"> <li>미래의 배출량이 확정적이지 못함</li> <li>비참여국의 조기참여 유인 없음</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>국가별 능력 원칙 및 책임원칙 유리</li> <li>아르헨티나 제안, 미국 교토체제대안 제안</li> </ul>                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>국가간 감축목표의 차별화 필요</li> <li>경제성장이 예상치를 초월할 경우 융통성</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>교토의정서 이행체제와 통합 가능</li> <li>GDP와 배출량의 관계, 감축률 목표 합의 필요</li> </ul>                                  |
| 정책 및 조치 방식  | <ul style="list-style-type: none"> <li>포괄적 배출상한 설정 곤란으로 지구적 안정화 여부 불확실</li> <li>특정 정책 및 조치가 시행될 경우 조기참여 유인 없음</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>지속성장 원칙 부합. 능력원칙과 부조화, 책임원칙 부분적 반영. 역사적 책임 미반영</li> <li>EU 옹호, 미국 반대. 주요 개도국은 장래 수용가능하나 현실적 도입 반대</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>국가별 차이 고려 세분화목표 설정 필요. 특정정책 모든 국가 적용 효과성에 의문</li> <li>국가별 한계저감비용 차이, 배출권거래 불가, 부문간 융통곤란.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화협약에서 요구하는 사항이나, 도입 시 교토체제에서 합의한 배출감축·배출권거래 유지곤란</li> <li>부문별 효율 등 합의해야 할 사항 매우 많음.</li> </ul> |
| 수렴 방식       | <ul style="list-style-type: none"> <li>세계 배출량수준 확실한 설정가능</li> <li>모든 국가의 참여를 원칙으로 할 경우 조기참여 유인 가능</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>능력원칙 및 책임원칙에 배치되지는 않으나, 충족도 낮음</li> <li>선진국에 비해 개도국이 불리</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>국가들간의 구조적 차이 미고려</li> <li>모든 국가가 참여 배출권거래 허용 시 효율적 감축 목표달성 가능</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>교토체제를 바탕으로 확립 가능</li> <li>인당 배출수준만 결정하면 되므로 간단명료</li> </ul>                                       |
| 다단계 방식      | <ul style="list-style-type: none"> <li>매 5/10년단위로 지구적 배출수준에 합의할 경우 대기농도 안정화 가능. 단 엄격한 감축기준 적용</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>지속발전 원칙 부합. 단계별 참여기준을 이용 능력원칙 감안가능.</li> <li>단계별 참여를 통해 많은 국가의 입장 반영가능</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>국가간 구조적 차이 반영</li> <li>배출권 거래가 허용될 경우 국가간 한계저감비용의 차이가 감소</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>교토체제와 병행 가능</li> <li>지구적 감축목표, 단계별 진입기준 등 합의해야 할 요소가 많음.</li> </ul>                               |

자료: 방기열 외 10인(2004).

## 2012년 이후 체제 논의 동향과 전망

교토의정서 1차 공약기간의 종료 이후인 2012년 이후(Post-2012) 체제를 대비하여 현행 교토의정서체제의 한계를 극복하기 위하여 기후변화체제 구축에 관한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 2012년 이후 체제에 관한 논의는 크게 유엔을 중심으로 한 ‘협상 프로세스’와 미국을 중심으로 한 ‘주요국 회의 프로세스’로 대별되어 진행되고 있다.

유엔을 중심으로 한 협상 프로세스는 2005년 몬트리올 제11차 당사국총회(COP11)에서 선진국과 개도국 모두를 포함하는 기후변화 대응 대화체(Dialogue)가 출범하였다. 2006년 나이로비 제12차 당사국총회(COP12)에서는 교토의정서 적절성 여부를 논의하는 점검 프로세스가 출범되었다. 2007년 12월 인도네시아 발리에서 개최된 제13차 당사국총회(COP13)에서는 2012년 이후의 협상 로드맵인 ‘발리 행동계획(Bali Plan of Action)’이 채택되었다.<sup>5</sup> 2012년 이후의 기후변화 협상의 기본방향과 일정을 제시하는 「발리 로드맵」이 채택됨으로써 2012년 이후에는 선진국뿐만 아니라 개도국까지 온실가스 감축에 참여하는 방안을 향후 2년간 본격적으로 논의하게 되며 2009년 덴마크 코펜하겐에서 개최되는 기후변화협약 당사국 총회에서 최종 결정될 예정이다.

주요국 회의는 미국이 중심이 되어 17개 주요 온실가스 배출국이 참석한 2007년 9월 워싱턴에서 1차 회의가 개최되었다.<sup>6</sup> 워싱턴 회의에서는

<sup>5</sup> 유엔 기후변화협약 제13차 당사국총회에서 채택된 「발리 로드맵」의 핵심은 교토의정서 기준을 거부해온 미국은 물론 개도국도 온실가스 감축 협상에 참여토록 한 것이다. 교토의정서체제에서는 선진국 39개국만이 온실가스 의무감축에 참여하고 있으나, 「발리 로드맵」에서는 개도국들도 능력에 맞게 자발적으로 정량적 감축목표를 설정하여 이행토록 하는 기본적인 방향이 설정되었다.

<sup>6</sup> 미국 주도의 기후변화 주요국 회의에 참석하는 국가는 미국, 영국, 이탈리아, 프랑스, 독일, 러시아, 캐나다, 일본, 호주, 포르투갈, 인도네시아, 중국, 인도, 브라질, 남아프리카공화국, 멕시코, 한국 등 17개국이다.

2012년 이후 체제의 기본방향, 기술개발과 연구추진 방향, 청정에너지 확산을 위한 재원문제, 토지 이용(산림 및 농지), 에너지 효율, 적응 등의 분야가 논의되었다. 2차 주요국 회의는 2008년 1월말 미국 하와이에서 개최될 예정이다. 이 회의에서는 2012년 이후 온실가스 감축에 대한 국가별 역할분담과 경제성장과 이에 따른 에너지 사용 증가를 수용하면서 동시에 기후변화 문제를 해결할 수 있는 방안으로 청정기술 개발과 확산에 초점을 맞추어 다루어질 것으로 예상된다.

포스트 교토의정서에 대한 협상의 타결 여부는 과학적 합의, 정치적 타협, 시장의 활성화 등 3대 변수에 의해 좌우될 것으로 보고 있다. 협상완료 시한은 2009년으로 유엔 프로세스가 중심이 된 협상이 될 것이며, 미국이 주도하는 주요국 회의 프로세스는 보완적 성격으로 2008년까지 병행되고 2009년 이후 유엔 프로세스에 접목될 것으로 보인다. 이와 관련해서 2009년 1월 출범하는 미국 신 행정부의 입장이 중요한 요소로 작용하게 될 것으로 보인다. 2012년 이후 협상 최종결과를 교토의정서의 연장이라기보다는 새로운 요소를 담은 새로운 국제합의 가능성이 높은 것으로 전망되고 있다.

한국의 온실가스 의무감축 이행에 대해 전망해보면 한국은 2004년 기준 온실가스 배출과 에너지 소비에 있어서 세계 10위국이고 경제규모(GDP 기준)로는 세계 13위의 OECD회원국으로 국제사회로부터 제2차 이행 기간부터는 온실가스 배출 의무감축에 참여해야 한다는 압력이 가중되고 있다. 한국의 온실가스 의무감축 참여 문제와 관련하여 2007년 정상회의에서는 선발개도국의 책임과 능력을 강조하였고, 유엔고위급회의와 기후변화 부속기구회의 등에서도 한국, 사우디, 싱가포르 등에 선진국 의무분담을 요구하고 있다. 특히 2007년 12월 15일에 채택된 「발리 로드맵」에서 선진국 및 개도국의 참여방안 논의에 합의가 이루어져 2008년 이후 2009년까지 한국의 참여 방안에 대한 논의도 가시화될 전망이다. 따라서 이제 우리나라는 기후변화협상에서 온실가스 의무 감축국의 입장에서 대응 전략을 마련하고, 의무부담 시나리오별로 국가경제에 미치는 영향과 감축 잠재량 및 감축비용에 대한 분석을 기초로 수용 가능한 의무부담의 범위를 설정하는 작업이 필요하다.



## 제 3 장

### 농업부문의 온실가스 발생실태와 관리수단

온실가스 감축에 따른 대응방안을 모색하기 위해서는 부문별 온실가스 발생 실태에 대한 정확한 진단이 이루어져야 한다. 제3장에서는 우선 우리나라의 온실가스 배출량과 관련 산업부문별·온실가스별 실태를 파악하였다. 다음으로 농업부문의 온실가스 배출 및 흡수 구조를 살펴보고 경종부문과 축산부문으로 나누어 온실가스 배출량 변화 실태를 검토하였다. ‘농업부문 비전 2030 중장기 지표’를 활용하여 농업부문의 온실가스 배출 전망치를 제시하였다.

농업부문의 온실가스 관리수단에서는 감축수단에 대한 개관, 교토의정서의 온실가스 관리 핵심수단인 배출권거래제와 청정개발체제사업, 온실가스 저감기술 등을 다루었다.

## 온실가스 배출 실태 진단

### ■ 우리나라 온실가스 배출 실태

온실가스는 지구온난화 현상을 유발하는 가스로서 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ), 메탄( $\text{CH}_4$ ), 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황( $\text{SF}_6$ ) 등을 지칭하며, 이 가운데 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 등은 자연계에는 존재하지 않는 인간이 합성한 가스이다. 온실가스 배출원을 보면 이산화탄소는 주로 석유와 석탄 등 화석에너지 사용 및 산업공정, 메탄은 폐기물 처리 및 농축산 활동, 아산화질소는 주로 산업공정과 질소비료 사용 등으로부터 발생한다. 또한 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 등은 냉장고와 에어컨의 냉매와 도금산업의 세척용 및 전기제품 생산과정 등으로부터도 발생한다.

우리나라의 온실가스 총배출량 규모(2005년 기준)는 5억 9,110만  $\text{CO}_2$ 톤에 달하며, 이 중 토지이용 및 임업부문으로부터의 흡수량인 약 3,330만  $\text{CO}_2$ 톤을 제하면, 순 배출량은 5억 5,830만  $\text{CO}_2$ 톤으로 세계 10위 수준이

다. 온실가스 배출량은 1990년 이후 연평균 4.7%씩 증가한 것으로 나타났다<표 3>.

온실가스 배출량을 산업부문별(2005년 기준)로 보면 에너지부문 84.3%, 산업공정부문 11%, 농업부문 2.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 농업부문의 온실가스 배출량은 1990년 이후 농경지면적과 화학비료 사용량 감소 등으로 매년 0.7%씩 줄어든 것으로 나타났다.

온실가스별 배출 구조를 보면 이산화탄소와 메탄이 전체 배출량의 92.0% 차지하고 있다. 온실가스 중 이산화탄소 배출 비중은 1990년 83.2%에서 2005년 87.7%로 증가하여 1990년 이후 연평균 5.1% 증가하였다. 아산화질소는 비중은 1990년 2.6%에서 매년 7% 증가하여 2005년 3.5%를 차지하고, 메탄은 1990년 이후 연평균 3.7%의 감소세로 비중도 1990년 13.9%에서 2005년 4.3%로 감소된 것으로 나타났다.

표 3. 산업 부문별 온실가스 배출 현황

단위: 백만 CO<sub>2</sub>톤

| 구 분                  | 1990             | 1995             | 2000             | 2003             | 2005             | 1990~2005<br>연평균<br>증가율(%) |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 에너지                  | 247.7<br>(79.8)  | 372.1<br>(82.2)  | 438.5<br>(83.0)  | 481.4<br>(82.7)  | 498.6<br>(84.3)  | 5.0                        |
| 산업공정                 | 19.9<br>(6.4)    | 47.1<br>(10.4)   | 58.3<br>(11.0)   | 69.7<br>(12.0)   | 64.8<br>(11.0)   | 9.3                        |
| 농 업                  | 17.5<br>(5.6)    | 17.8<br>(3.9)    | 16.2<br>(3.1)    | 15.5<br>(2.7)    | 14.7<br>(2.5)    | -0.7                       |
| 폐기물                  | 25.5<br>(8.2)    | 15.7<br>(3.5)    | 15.6<br>(3.0)    | 15.6<br>(2.7)    | 13.0<br>(2.2)    | -3.7                       |
| 총배출량                 | 310.6<br>(100.0) | 452.8<br>(146.0) | 528.6<br>(170.0) | 582.3<br>(187.0) | 591.1<br>(190.0) | 4.7                        |
| 토지이용변경 및<br>임업 (흡수원) | -23.7            | -21.2            | -37.2            | -33.3            | -33.3            | 2.4                        |
| 순 배출량                | 286.8            | 431.5            | 491.4            | 548.6            | 558.3            | 4.9                        |

자료: 에너지경제연구원(2007).

표 4. 온실가스별 배출량 변동 추이<sup>1)</sup>

단위: 백만 CO<sub>2</sub>톤(%)

|                                | 1990             | 1995             | 1996             | 2000             | 2003             | 2005             | 1990~2005<br>증가율(%) |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| CO <sub>2</sub>                | 258.3<br>(83.2)  | 401.0<br>(88.6)  | 438.3<br>(86.8)  | 464.9<br>(87.9)  | 510.7<br>(87.7)  | 517.9<br>(87.7)  | 5.1                 |
| CH <sub>4</sub>                | 43.2<br>(13.9)   | 28.5<br>(6.3)    | 30.6<br>(6.1)    | 26.4<br>(5.0)    | 25.8<br>(4.4)    | 25.7<br>(4.3)    | -3.7                |
| N <sub>2</sub> O               | 8.0<br>(2.6)     | 11.9<br>(2.6)    | 12.6<br>(2.5)    | 14.9<br>(2.8)    | 18.2<br>(3.1)    | 20.9<br>(3.5)    | 7.1                 |
| HFC <sub>s</sub>               | 1.0<br>(0.3)     | 5.1<br>(1.1)     | 5.7<br>(1.1)     | 8.3<br>(1.6)     | 7.7<br>(1.3)     | 7.1<br>(1.2)     | 15.2                |
| PFC <sub>s</sub> <sup>3)</sup> | - <sup>2)</sup>  | -                | 1.0<br>(0.2)     | 2.3<br>(0.4)     | 2.5<br>(0.4)     | 3.1<br>(0.5)     | 15.4                |
| SF <sub>6</sub> <sup>3)</sup>  | -                | 6.3<br>(1.4)     | 17.0<br>(3.4)    | 11.7<br>(2.2)    | 17.4<br>(3.0)    | 15.9<br>(2.7)    | 12.1                |
| 합 계                            | 310.6<br>(100.0) | 452.8<br>(100.0) | 505.2<br>(100.0) | 528.6<br>(100.0) | 582.3<br>(100.0) | 590.6<br>(100.0) | 4.7                 |

주: 1) 배출량에는 토지이용변경 및 임업부문의 배출/흡수량은 제외한 것임.

2) - 는 자료입수가 불가능함을 나타냄.

3) PFC<sub>s</sub>는 1996~2005, SF<sub>6</sub>는 1994~2005 증가율임.

자료: 에너지경제연구원(2007).

## ■ 농업부문의 온실가스 배출 실태

농축산부문에서 발생하는 온실가스는 메탄과 아산화질소가 주류를 이루며 부분적으로 이산화탄소 등으로 구성되어 있다<그림 3>.

메탄은 무색·무취의 가연성 기체로 경종부문의 논벼 경작 시 산소가 없는 담수상태의 토양에서 발생한다. 또한 축산부문의 반추가축 미생물 발효과정인 장내발효와 가축분뇨 분해과정 등에서 메탄이 발생한다. 아산화질소는 무색의 기체로 향기와 단맛을 가지는데 질소비료 사용과 가축분뇨가 분해될 때 발생한다. 이산화탄소는 농축산부문에서 사용되는

석탄, 석유, 가스 등 화석연료 에너지의 연소에 의해 발생한다. 농업부문의 에너지 사용은 농기계, 농업용 기기 및 시설 등과 관련된 직접에너지, 비료, 농약 등 생산요소를 통해 사용된 간접에너지 사용 등으로부터 발생한다.

한편 농축산부문의 경우 에너지작물 및 피복작물 재배로부터의 유기탄소 저장, 축산부문의 메탄포집에 따른 온실가스 흡수도 가능하다. 농축산부문의 온실가스 저장·흡수는 유채 등 에너지작물 재배에 따른 이산화탄소 흡수, 친환경농법과 피복작물 재배에 따른 토양유기탄소 저장, 축산부문에서 발생하는 메탄포집 등을 들 수 있다. 그러나 농축산부문의 온실가스 저장 및 흡수 기능은 유엔 기후변화 정부간협의체로부터 공식적으로 인정을 받지 못해 아직 국가온실가스 통계에서는 포함시키지 않고 있다.

농업부문의 온실가스 배출량 추정을 위해 「기후변화협약 제3차 국가보고서 작성 기반 구축연구」(임재규, 2006)에서 제시된 농업부문 온실가스 배출량 추정 방법을 이용하였다. 논벼와 축산부문 메탄배출량 추정은 국가고유의 배출계수(Tier 2)를 적용하였고, 농경지 및 축산부문의 아산화질소 배출량 추정은 기후변화 정부간협의체 임의배출계수(Tier 1)를 이용하였다.

그림 3. 농업부문의 온실가스 배출-흡수 구조

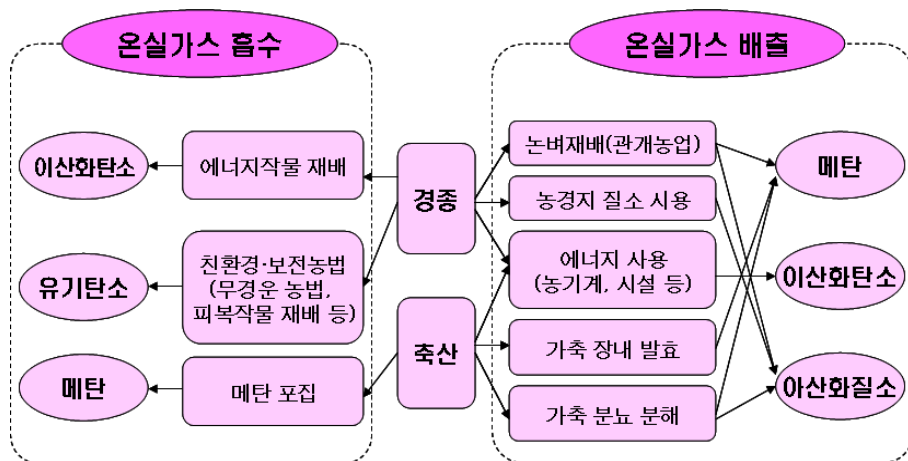


표 5. 농업부문 온실가스 배출량 및 온난화지수 변화추이

단위: 천 톤(온실가스), 천 CO<sub>2</sub>톤(온난화지수)

| 구분   | 경종부문 배출량 |                   |     |       | 축산부문 배출량 |       |     |       | 이산화탄소 <sup>2)</sup> | 총계 <sup>3)</sup><br>(GWP) |
|------|----------|-------------------|-----|-------|----------|-------|-----|-------|---------------------|---------------------------|
|      | 메탄       | 아산화               |     |       | 메탄       | 아산화   |     |       |                     |                           |
|      |          | GWP <sup>1)</sup> | 질소  | GWP   |          | GWP   | 질소  | GWP   |                     |                           |
| 2000 | 357.6    | 7,509             | 8.3 | 2,574 | 147.0    | 3,086 | 8.1 | 2,525 | 3,043               | 15,694                    |
| 2002 | 351.3    | 7,377             | 7.1 | 2,213 | 139.7    | 2,934 | 8.2 | 2,546 | 2,907               | 15,070                    |
| 2003 | 338.9    | 7,117             | 7.0 | 2,185 | 140.7    | 2,955 | 8.3 | 2,574 | 2,817               | 14,831                    |
| 2004 | 333.9    | 7,013             | 7.7 | 2,401 | 146.9    | 3,085 | 8.4 | 2,619 | 2,861               | 15,118                    |
| 2005 | 326.8    | 6,862             | 7.7 | 2,376 | 152.3    | 3,198 | 8.8 | 2,736 | 2,858               | 15,172                    |

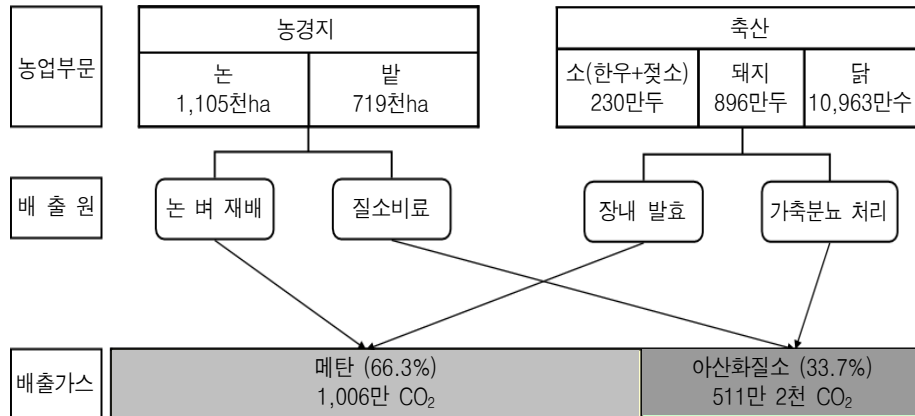
- 주: 1) 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는 이산화탄소를 1로 할 때, 메탄 21, 아산화질소 310을 적용하여 산출한 이산화탄소 환산 배출량임.  
 2) 이산화탄소 배출량에는 농기계 및 시설이용, 비료·농약·배합사료 생산에 따른 이산화탄소 배출량을 포함함.  
 3) 농업부문의 온실가스 배출 총계에는 이산화탄소 배출량은 포함하지 않고 메탄과 아산화질소 합계치를 나타냄.

농업부문의 온실가스 배출량 변동 추이를 보면 경종부문의 경우 벼 재배면적 감소로 메탄 배출량은 2000년 750만 9천 CO<sub>2</sub>톤에서 2005년에는 686만 2천 CO<sub>2</sub>톤으로 8.6% 감소하였고, 아산화질소는 화학비료 사용량이 줄어들어 같은 기간에 257만 4천 CO<sub>2</sub>톤에서 237만 6천 CO<sub>2</sub>톤으로 7.7% 감소한 것으로 나타났다<표 5>. 축산부문의 경우 가축사육두수 증가로 메탄은 2000년 308만 6천 CO<sub>2</sub>톤에서 2005년에는 319만 8천 CO<sub>2</sub>톤으로 3.6% 증가하였고, 아산화질소는 같은 기간에 252만 5천 CO<sub>2</sub>톤에서 273만 6천 CO<sub>2</sub>톤으로 8.4% 증가한 것으로 추정된다. 농축산부문에서 발생한 이산화탄소 배출량은 2000년 304만 3천 CO<sub>2</sub>톤에서 2005년 285만 8천 CO<sub>2</sub>톤으로 6.1% 감소한 것으로 추정된다. 따라서 농업부문의 온실가스 발생의 약 60%는 경종부문에서 발생하고, 약 40%는 축산부문에서 발생하는 것으로 볼 수 있다.

유엔 국가보고서에서는 농업부문의 온실가스로 메탄과 아산화질소만을 대상으로 하고 있다. 따라서 농업부문 전체 온실가스 배출량은 2000년 1,569만 4천 CO<sub>2</sub>톤에서 2005년 1,517만 2천 CO<sub>2</sub>톤으로 3.3% 감소한 것으로 나타났다. 2005년 농업부문에서 발생하는 온실가스 가운데 메탄이

1,006만 CO<sub>2</sub>톤으로 66.3%를 차지하고, 아산화질소가 511만 2천 CO<sub>2</sub>톤으로 33.7%를 차지하는 것으로 나타났다<그림 4>.

그림 4. 농업부문의 온실가스 배출 구조(2005년 기준)



## 농업부문 온실가스 배출 전망

농업부문의 온실가스 배출량 전망을 위해 「농업부문 비전 2030 중장기 지표 개발」(김정호 등, 2007)에서 제시한 농경지면적, 가축사육두수 등의 중장기 농업부문 전망치를 이용하였다.

2000년 비 재배에 의한 메탄 배출량은 35만 8천 톤, 온난화지수로는 750만 9천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정된다. 메탄배출량을 전망해 보면 비 재배면적이 지속적으로 감소하여 메탄배출량은 2000년에 비해 2010년에는 15.6% 감소한 633만 8천 CO<sub>2</sub>톤, 2020년에는 23.7% 감소한 572만 9천 CO<sub>2</sub>톤으로 전망된다<표 6>.

농경지 질소비료 투입에 의한 아산화질소 배출량은 2000년에 257만 4천 CO<sub>2</sub>톤이었으나, 작물 재배면적 감소에 따른 질소비료 사용량 감소로 2000년 대비 2010년에는 12.7% 감소한 224만 7천 CO<sub>2</sub>톤, 2020년에는 23.2% 감소한 197만 7천 CO<sub>2</sub>톤으로 전망된다.

표 6. 농업부문 온실가스 배출량 및 온난화지수 전망

단위: 천 톤(온실가스), 천 CO<sub>2</sub>톤(온난화지수)

| 구분   | 경종부문 배출량 |                   |     |       | 축산부문 배출량 |       |      |       | 계<br>(GWP) |
|------|----------|-------------------|-----|-------|----------|-------|------|-------|------------|
|      | 메탄       |                   | 아산화 |       | 메탄       |       | 아산화  |       |            |
|      |          | GWP <sup>1)</sup> | 질소  | GWP   |          | GWP   | 질소   | GWP   |            |
| 2000 | 357.6    | 7,509             | 8.3 | 2,574 | 147.0    | 3,086 | 8.1  | 2,525 | 15,693     |
| 2005 | 326.8    | 6,862             | 7.7 | 2,376 | 152.3    | 3,198 | 8.8  | 2,736 | 15,172     |
| 2010 | 301.8    | 6,338             | 7.2 | 2,247 | 170.1    | 3,573 | 9.6  | 2,981 | 15,139     |
| 2015 | 286.9    | 6,024             | 6.8 | 2,096 | 173.6    | 3,645 | 9.9  | 3,058 | 14,823     |
| 2020 | 272.8    | 5,729             | 6.4 | 1,977 | 175.8    | 3,691 | 10.0 | 3,105 | 14,503     |

주: 1) 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는 이산화탄소가 1, 메탄 21, 아산화질소 310을 적용하여 산출한 이산화탄소 환산 배출량임.

축산부문의 경우 장내발효 및 가축분뇨 분해에 의한 메탄 발생량은 2000년 기준 14만 7천 톤, 온난화지수로는 308만 6천 CO<sub>2</sub>톤으로 추산된다. 그러나 젓소를 제외한 한육우, 돼지, 닭의 사육두수가 지속적으로 증가하여 2000년 대비 2010년에는 15.7% 증가한 357만 3천 CO<sub>2</sub>톤, 2020년에는 19.6% 증가한 369만 1천 CO<sub>2</sub>톤으로 전망된다. 또한 가축분뇨 질소성분에 의한 아산화질소 발생량도 2000년 252만 5천 CO<sub>2</sub>톤에서 지속적으로 증가하여 2010년에는 18.1% 증가한 298만 1천 CO<sub>2</sub>톤, 2020년에는 23% 증가한 310만 5천 CO<sub>2</sub>톤으로 전망된다.

농업부문 전체의 온실가스 배출량은 축산부문의 배출량 증가분보다 경종부문의 재배면적 감소로 인한 배출량 감소분이 상대적으로 더 많아 향후 지속적으로 감소할 것으로 전망된다. 2020년 농업부문 온실가스 배출량은 2000년 농업부문 온실가스 배출량 1,569만 3천 CO<sub>2</sub>톤 대비 7.6% 정도 감소한 1,450만 3천 CO<sub>2</sub>톤으로 전망된다. 따라서 2000년 기준 온실가스 감축을 이행할 경우 농업부문 전체적으로 약 119만 CO<sub>2</sub>톤을 추가로 배출할 수 있는 여유가 발생하는 것으로 전망된다.



## 농업부문 온실가스 관리 수단

### ■ 온실가스 감축 수단

지구온난화 문제는 지구환경이라는 공공자본을 사적 이윤추구 목표로 제약 없이 과다하게 사용함에 따라 발생하는 부정적 외부효과로 접근할 수 있다. 사적이윤 극대화를 목표로 하는 자유경제시스템에서는 경제활동에 수반되는 온실가스 방출로 현재 및 미래세대의 생활환경이 악화된다 해도 경제활동을 하는 당사자에게 그 비용을 부담하게 하는 시스템이 존재하지 않기 때문이다. 그 결과 지구 전체 및 인류 전체의 관점에서 보면 과잉 수준의 온실가스가 방출되었고, 이러한 추세가 지속될 경우 지구생태계는 회복이 불가능할 정도로 크게 악화될 수 있다는 것이 최근의 유엔 기후변화에 관한 정부간협의체의 기후변화에 관한 4차 평가보고서의 핵심적인 내용이라 할 수 있다(IPCC, 2007a).

지구환경 문제를 경제주체가 충분히 인식하지 못하고 경제활동을 지속하기 때문에 외부효과에 의해 지구온난화는 가속화되고 있다. 따라서 지구온난화 문제를 해결하기 위해서는 이러한 부정적 외부효과(negative externality)를 내부화하고 지구환경 악화로부터 초래되는 비용을 각 개인이 명시적으로 부담하는 시스템을 구축함으로써 해결이 가능하다.

지구온난화 문제에 대한 해결책은 크게 온실가스 배출 감축정책, 흡수능력 제고 정책, 적응정책 등으로 대별될 수 있다. 또한 온실가스를 감축하는 방법은 크게 투입물의 온실가스 감축방법, 생산 공정상의 온실가스 감축, 산출물의 온실가스 감축방법 등으로 나눌 수 있다<그림 5>.

현실적으로 지구온난화의 외부효과를 정확하게 계측하여 온실가스 배출자에게 해당하는 경제적 비용을 부과하는 최선책(first best solution) 모색은 거의 불가능하다. 현실적인 여건을 고려할 때 온실가스 감축수단은 경제적 수단, 규제조치, 자발적 협약, 연구개발·보급, 정보제공·인식제고 등으로 분류되고 있다<표 7>.

그림 5. 투입과 산출 측면에서 온실가스 감축방법

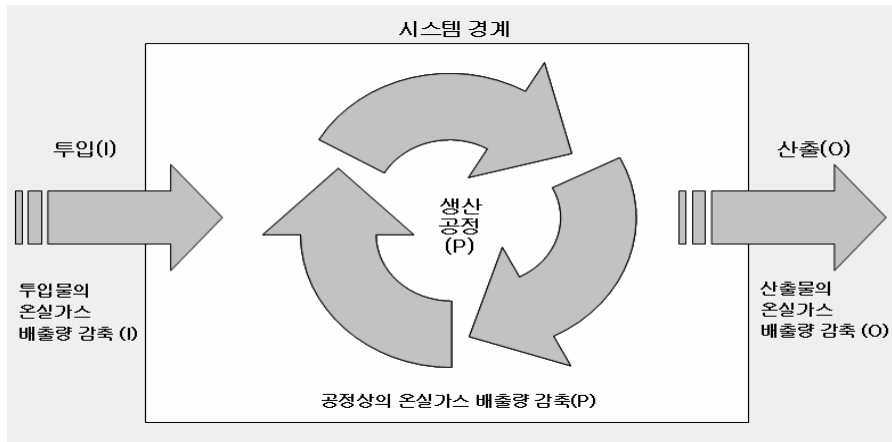


표 7. 온실가스 감축수단의 분류

| 구분        | 감축수단                                |
|-----------|-------------------------------------|
| 경제적 수단    | 부과금제도, 탄소세(또는 온실가스세), 배출권거래제, 보조금제도 |
| 직접규제      | 총량규제, 화학비료 살포기준, 퇴액비 살포기준, 사육밀도규제   |
| 자발적 협약    | 적정영농규범, 자원순환형 마을조성                  |
| 연구개발·보급   | 연구프로그램, 기술개발, 실증사업                  |
| 정보제공·인식제고 | 온실가스 모니터링, 사업이행 지원                  |

자료: Perman, et al(2003).

경제적 수단은 시장메커니즘을 활용하는 정책으로 부과금, 탄소세(또는 온실가스세), 배출권거래제, 보조금제도 등을 들 수 있다.

온실가스 부과금은 온실가스 단위당 배출에 대해 그 귀속가격(imputed price)과 같은 금액의 부과금을 온실가스 배출자에게 부담시키는 방안으로<sup>7</sup> 금전적인 유인을 사용하여 효율적인 자원배분을 달성하는 이상적인 경제적 수단이다. 실제로 부과금 제도를 실행하기 위해서는 개별이용자의 온

<sup>7</sup> 귀속가격은 온실가스 증가 1단위당 외부효과에 의해 감소되는 경제후생을 현재가치로 평가한 수치로 온실가스 방출의 사회적 한계비용(social marginal cost)을 의미한다.

실가스 배출량에 대한 모니터링과 실제 배출량에 따라 부과해야 한다.

온실가스 감축을 위한 세금은 크게 탄소세와 온실가스세로 나눌 수 있다. 탄소세는 부과금의 형태로 화석연료 사용 시 연료에 함유되어 있는 탄소 함유량에 비례하여 세금을 부과하는 제도이다. 현실적으로 탄소세의 부과 및 징수상의 편의성 때문에 제품부과금의 형태로 운용되고 있다. 온실가스세와 탄소세의 차이는 온실가스세는 가스배출량을 과세기준으로 하고 탄소세는 가스배출의 원천이 되는 화석연료의 투입량(또는 생산량)을 과세기준으로 한다는 점이다. 탄소세가 화석연료 투입량을 효율적 수준으로 유지할 수 있는 것은 온실가스세와 동일하나 화석연료 투입량(또는 생산량)을 과세기준으로 설정함으로써 실행가능성을 높일 수 있다. 또한 온실가스 배출량을 과세당국이 정확하게 모니터할 필요가 있는 온실가스세와 달리, 탄소세는 화석연료의 출하단계 또는 유통단계만 과세당국이 모니터하여 과세하면 충분하다. 세금이 화석연료가격으로 전가됨으로써, 온실가스의 귀속가격을 화석연료의 최종이용자의 의사결정에 반영할 수 있어 탄소세를 실행하는 행정비용은 비교적 적다고 볼 수 있다.

배출권거래제(emission trading 또는 marketable permit system)는 온실가스 총배출량 산출을 기초로 배출권을 설정하여 그 권리를 시장에서 매매할 수 있도록 인정하는 방안이다. 배출권에 대한 시장의 수요와 함께 가격조절 기능을 통하여 배출권의 수요량과 공급량이 결정된다. 어떤 온실가스 배출원이 보다 저렴한 비용으로 온실가스를 배출할 수 있으면 배출량을 절감하고 절약된 양만큼의 배출권을 배출권거래시장에 공급함으로써 이득을 얻게 된다.

보조금(subsidy) 제도는 온실가스 배출자에게 특정수준까지 온실가스를 배출할 권리를 인정해주고, 배출자가 자신이 부여받은 권리 가운데 일부를 포기할 경우에 보조금을 통해 정부가 보상해주는 방법이다. 보조금 제도가 제대로 작동하기 위해서는 보조금을 지급하는 정부가 지급대상 기술수준, 비용, 저감잠재량 등 여러 가지 관련정보를 정확하게 알아야 한다.

시장기능에 기초를 두고 있는 경제적 수단이 제대로 작동되기 위해서는 온실가스 배출의 사회적 한계비용, 온실가스 배출량, 온실가스 저감의 사회적 편익 등에 관한 신뢰할 만한 자료 및 정보가 구축되어야 한다.

직접규제는 온실가스 배출수준을 달성하기 위하여 배출자가 준수해야 할 배출기준(emission standards)을 구체적인 법률로 정하고 여러 가지 수단을 동원하여 기준을 준수하도록 하는 방법이다. 배출기준은 각 배출원이 배출할 수 있는 온실가스 총량의 상한을 명시하여 이를 준수하도록 하는 지침으로 타 정책수단에 비해 단순하고 명확하여 정부가 손쉽게 도입하여 실행할 수 있는 조치이다. 농업부문에 적용될 있는 규제조치로는 총량규제, 화학비료 살포기준, 퇴·액비 살포기준, 사육밀도규제 등을 들 수 있다.

자발적 협약(voluntary agreement)은 기업 및 사업장(또는 농업인)과 정부가 온실가스 감축목표, 감축방안, 정부지원 규모 등을 자발적으로 협의하여 추진하는 비규제적 정책수단이다. 농업분야의 온실가스 감축 관련 자발적 협약으로 적정영농규범(Good Farming Practices, GFP)과 주민 자발적인 자원순환형 마을조성 등을 들 수 있다. 자발적 협약에서는 온실가스 감축 목표량이 자발적인 협의에 의해 결정되기 때문에 실제 목표 달성이 이루어지지 않더라도 이에 대한 제재방법이 없기 때문에 국가 전체적인 온실가스 목표 달성을 위해서는 효과성이 낮은 정책수단일 수도 있다.

이 밖에도 온실가스 감축과 흡수 분야를 다루는 연구개발·보급, 온실가스 모니터링과 관련 사업에 대한 교육·홍보 등의 정보제공과 인식제고 등을 들 수 있다.

온실가스 감축을 위한 각각의 정책수단은 경제적 효율성, 환경적 효과성, 정책수용성, 시행가능성 측면에서 장점과 단점을 가지고 있다.<sup>8</sup> 따라서 실제로 정책을 집행하기 위해서는 어떤 하나의 정책프로그램을 선택하여 추진하기 보다는 정책여건에 대한 종합적인 평가를 기초로 정책결합(policy mix)의 포트폴리오를 수립해야 한다. 현실적으로 적절한 정책결합 방안을 찾기가 쉽지 않기 때문에 정책 시뮬레이션에 의한 사전적인 평가와 비교적 성공적인 정책추진이 이루어지고 있는 외국의 사례를 벤치마킹해야 한다.

<sup>8</sup> 경제적 효율성, 환경적 효과성, 형평성, 정책수용성, 기술개발 촉진, 환경의식 증진 등의 정책 평가기준을 기초로한 온실가스 감축수단별 비교는 임재규·박근수(2004) pp.12-17에 상세히 제시되어 있다. 또한 온실가스 관리 정책수단에 대한 경제적 후생 비교는 신의순·김호석(2005), pp.112-119에 제시되어 있다.

## ■ 교토의정서의 온실가스 관리 핵심 수단

### 배출권거래제

온실가스 배출권거래제란 온실가스의 배출허용량을 각국별로 할당한 후 허용량을 배출권이라는 무형의 상품으로 간주하여 각국이 시장원리에 따라 직접 혹은 거래소를 통해 거래토록 함으로써 배출저감 비용을 줄이고 저감 실현을 용이하게 하려는 제도이다. 배출권거래제는 국내 배출권거래제와 국제 배출권거래제로 대별될 수 있다. 국제 배출권거래제(International Emission Trading, IET)는 교토의정서(제17조)에서 제시하고 있는 신축적인 수단으로 온실가스 감축의무가 있는 국가(부속서 I 국가)에 배출 쿼터를 부여한 후, 감축의무를 초과 달성한 국가의 잉여배출권을 미달성 국가가 구입함으로써 감축의무를 이행하는 제도이다.

국제배출권 거래시장에서 활용 가능한 크레딧 유형은 크게 할당배출권(AAU), 배출권감축단위(ERU), 공인배출감축(CER), 제거단위(RMU) 등을 들 수 있다<표 8>.

표 8. 배출권 거래시장에서 활용 가능한 크레딧 유형

| 거래 단위                                            | 메커니즘                                | 1차 이행기간 중<br>활용한도                    | 이월(banking)<br>한도 |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 할당배출권<br>(Assigned Amount<br>Unit, AAU)          | 부속서 I국가에<br>대한 할당량                  | 한도 없음                                | 한도 없음             |
| 배출감축단위<br>(Emission Reduction<br>Unit, ERU)      | 공동이행제도                              | 한도 없음                                | 구매국 할당량의<br>2.5%  |
| 공인배출감축<br>(Certified Emission<br>Reduction, CER) | 청정개발체제                              | 흡수원 사업에 따른<br>CER의 경우 구매국<br>할당량의 1% | 구매국 할당량의<br>2.5%  |
| 제거단위<br>(Removal Unit, RMU)                      | 부속서 I 국가의<br>흡수원 감축량에<br>대해 발생한 배출권 | 산림경영에 대한<br>RMU의 경우<br>국가별로 한도 설정    | 이월 불가능            |

자료: UNFCCC(2001).

할당배출권은 의무감축국인 부속서 I 국가를 대상으로 교토의정서에 정해진 배출허용량보다 온실가스를 적게 배출하는 국가의 잉여배출권을 의미한다. 이러한 할당배출권은 다른 의무감축 국가에 팔 수 있다.

배출권감축단위는 부속서 I 국가들 간의 공동이행사업으로 발생하는 온실가스 감축분을 의미한다. 또한 공인배출감축은 의무감축을 받은 부속서 I 국가인 선진국과 해당 의무가 없는 개도국 간의 공동 온실가스 감축사업인 청정개발체제사업으로부터 발생하는 온실가스 감축분을 말한다. 제거단위는 조림, 재조림, 산림경영 등의 활동을 통한 온실가스 흡수분을 말한다.

현재 우리나라에서 시행 중인 청정개발체제사업과 연계하여 거래 가능한 배출권은 공인배출감축이다.

온실가스 의무감축 부담국가는 2008년 초에 1990년 대비 감축목표에 해당하는 감축량을 제외한 할당량을 국가등록소에 등록하게 된다. 국내적으로 발행 가능한 크레딧은 할당배출권과 제거단위로 할당배출권의 경우 감축목표 설정 방식이 확정되면서 발행할 수 있는 양이 사전에 고정되며, 제거단위의 경우 국내적으로 발행 가능하나 최대 발생량이 국가별로 제한되어 있다. 반대로 배출감축단위와 공인배출감축의 경우 국제사업을 통해 발행 가능하며, 흡수원사업을 통해 청정개발체제사업의 경우 구매국 초기할당량의 최대 1%까지 공인배출감축 발행이 가능하다. 배출감축단위의 경우 사업대상국의 할당배출권이나 제거단위에서 배출감축단위만큼을 전환해서 발행해야 한다. 또한 국가 의무준수 평가 후 초과달성분에 대한 차기 의무이행 기간으로의 이월에 대해서는 할당배출권은 100%, 배출감축단위와 공인배출감축의 경우 초기할당량의 2.5%, 제거단위의 경우 이월을 허용하지 않고 있다.

흡수원에 의해서 제거되는 온실가스 감축량은 제거단위로 나타낸다. 부속서 I국가는 온실가스 배출목표 달성을 위해 제거단위를 이용할 수 있다. 그러나 이 제거단위는 교토의정서의 보고와 평가절차에 의해 전문조사팀이 실제 온실가스 제거를 검증하고 입증하는 평가를 거친 이후에야 타당성을 인정받을 수 있다.

배출권거래제에서 ‘탄소배출권’이란 온실가스를 방출할 수 있는 권리이며, 탄소에 가격을 설정하여 상품처럼 거래할 수 있게 함으로써 금융상품으로서

의 성격을 보유하고 있다.<sup>9</sup> 배출권거래시장은 크게 교토의정서 준수시장, 비 교토의정서 준수시장, 자발적 시장, 소매시장 등으로 세분화될 수 있다.

배출권거래제는 기본적으로 온실가스 감축목표가 존재하여야 운영될 수 있는 제도이다.

국내배출권거래제로 환경크레딧거래(environmental credit trading) 방식을 들 수 있다. 농업부문과 연계된 하나의 유형으로 농업분야에서 온실가스 감축이 이루어지는 부문에 대한 크레딧을 부여하여 실제적인 보상이 이루어지도록 하는 경우를 들 수 있다. 예를 들면, 친환경농법을 실천하는 농가는 온실가스 감축에 기여하였으므로 이에 대해 크레딧을 부여하여 온실가스 배출 기업이 거래권을 구입하도록 한다. 이러한 활동은 환경목표 달성을 위한 비용을 낮춤으로써 농민에게 재정적 기회를 제공하고 환경보전 활동에 대한 투자를 유인할 수 있다.

### 청정개발체제(CDM) 사업

청정개발체제 사업은 교토의정서에 따라 이루어지는 배출권거래의 한 형태로 사업 단위의 감축실적을 배출권처럼 거래할 수 있도록 만든 제도이다. 개도국에서 온실가스 감축과 관련된 사업을 발굴하여 추진함으로써 온실가스 공인배출감축 크레딧을 획득하여 선진국에 판매하는 방식을 말한다. 배출권거래제와 차별화되는 특성은 사업이 이루어지는 곳은 온실가스 의무감축 대상이 아닌 개도국이며, 사업으로 인한 감축실적은 감축의무를 이행해야 하는 선진국으로 거래된다는 점이다.

청정개발체제 사업의 객관적이고 투명한 평가를 수행하기 위해 청정개발체제운영기구를 두고 있다. 운영기구는 사업계획에 따른 측정기기 설치 및 설비가동 여부 등의 모니터링과 감축실적을 확인하는 역할을 담당한다. 우리나라는 2005년 11월 에너지관리공단 내에 청정개발체제 인증원을 설

<sup>9</sup> 탄소배출권을 상품화하여 거래하는 특수시장으로 '탄소시장'의 명칭은 온실가스 주성분인 CO<sub>2</sub>가 탄소(C)에 의해 생성된 물질로부터 유래한 것이다.

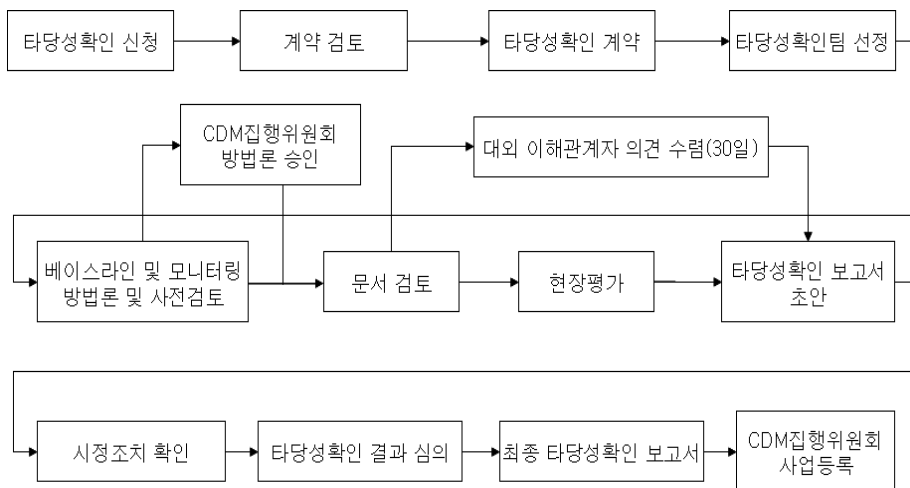
치하여 운영하고 있다.

청정개발체제 사업 추진을 위해서는 사업계획단계에서 베이스라인 배출량에 대한 타당성 확인(validation)을 받아야 하고, 다음으로 사업이행과정에서 감축실적에 대한 검증(verification) 등 두 단계에서 청정개발체제 사업평가를 받아야 한다<그림 6>. 베이스라인 배출량 평가는 해당사업 수행 전에 이루어지며 감축실적의 평가는 사업자가 모니터링한 양을 기초로 하여 사후적으로 실시한다. 타당성 확인은 사업을 실시하지 않았을 상황하에서의 배출량이 적절히 산정되었는지 평가한다. 타당성 확인을 통과한 사업은 적격성을 인정받아 청정개발체제 집행위원회에 등록되며, 이후 사업 감축 실적에 따라 크레딧을 발급받을 수 있다. 크레딧 양은 기본적으로 사업자에 대한 검증을 기초로 청정개발체제 운영기구가 감축량을 평가한다.

청정개발체제 사업 타당성 확인과 검증은 일반적으로 문서검토, 현장평가, 시정조치 확인의 3단계로 진행된다.

청정개발체제 사업계획서 주요항목에는 사업개요, 베이스라인 방법론, 사업 및 크레딧 인정기간, 모니터링 방법론, 배출원별 온실가스 배출추정량, 해당 사업이 주변 환경에 미치는 영향, 이해관계자 의견 등이 포함된다.

그림 6. 청정개발체제 사업의 타당성 확인 절차



자료: VVM Working Group(2004), p.38.



사업개요에는 제안된 사업에 대한 경제적·환경적·기술적 측면의 적정성 평가가 이루어진다. 베이스라인 방법론은 기본적으로 청정개발체제 집행위원회에서 제시된 지침의 방법론을 적용한다. 사업 및 크레딧 인정기간은 기간 갱신 없이 최대 10년까지 가능하도록 규정하고 있다. 모니터링 방법론은 크레딧 인정기간 동안 청정개발체제 사업으로 인한 감축량 결정 모니터링 계획의 적정성 평가를 의미한다. 배출원별 온실가스 배출추정량은 배출량과 누출량에 대한 투명성과 신뢰성을 평가하는 단계이다. 이 단계에서는 해당 사업이 주변 환경에 미치는 영향 파악을 위해 사업 추진 시 지역발전 및 환경영향에 대한 평가가 실시된다. 또한 이해관계자의 의견을 알아보기 위해 해당 사업에 대한 지역주민의 의견수렴 및 만족도 평가도 이루어져야 한다.

실제로 청정개발체제 사업은 2004년 브라질의 매립지활용사업이 처음으로 등록된 이래 2007년 11월 기후변화협약에서 승인된 청정개발체제 사업은 15개 분야에서 844건(2007. 11. 26 기준)이며, 인도(289건), 중국(131건), 브라질(113건) 등 3개국이 63.2%를 차지하고 있다. 한국은 16건으로 1.9%를 차지하고 있다. 등록된 청정개발체제 사업 가운데 감축실적을 모니터링하여 공인된 사업은 총 400건에 약 9,385만 CO<sub>2</sub>톤에 달한다. 청정개발체제 사업을 내용별로 보면 에너지 53.2%, 폐기물 20.7%, 농업 7.5%, 연료 탈루성 배출 7.8%, 기타 11.0% 등으로 구성되어 있다. 등록된 농축산부문의 청정개발체제 사업 분야는 축산폐수관리와 바이오가스시스템, 쌀겨 이용 발전 등을 들 수 있다.<sup>10</sup>

국내 청정개발체제 사업 현황(2007. 11. 12 기준)을 보면 주로 풍력·태양력·열병합·소수력·바이오매스 발전 등 대체에너지 개발, 아산화질소 감축 등의 분야에서 37개 사업이 등록되어 있다.

농업분야는 기본적으로 태양에너지와 같은 재생에너지를 주요 에너지원

<sup>10</sup> 일본은 인도네시아에 돼지의 축산폐수로부터 메탄가스를 포집하는 방식으로 청정개발체제를 인정받아(2006. 8. 31) 탄소배출권을 거래하고 있다. 일본은 투자국으로 인도네시아에서 감축하는 양만큼 배출거래권을 획득하고 있다.

으로 사용하고 있으므로 온실가스 배출이 적을 뿐만 아니라 식물의 광합성 작용 등을 통한 온실가스 흡수원의 역할도 하고 있어 전 세계적으로 효과적인 온실가스 감축수단이 될 수 있다. 예를 들면, 남미와 인도 같은 개도국에서는 축분처리 시설로부터 발생하는 메탄가스를 활용하여 에너지를 생산하는 청정개발체제 사업이 활발하게 이루어지고 있고, 쌀겨나 사탕수수 껍질 같은 농업 부산물을 연료로 하여 전력을 생산하는 사업도 급증하고 있다. 또한 농작물을 이용하여 바이오디젤이나 바이오에탄올을 생산함으로써 석유와 같은 기존의 수송연료를 대체하는 청정개발체제 사업에 대한 관심도 점점 높아지고 있다. 2007년 11월 청정개발체제 집행위원회에 등록된 844건의 사업 중 축분처리 시설의 메탄감축사업이 79건, 바이오매스를 이용한 에너지산업이 149건으로 전체적으로 볼 때 30% 이상의 사업들이 농업과 관련된 분야에서 이루어지고 있어 향후 농업분야 청정개발체제 사업의 전망을 밝게 해주고 있다.

우리나라의 경우에는, 아직 농업부문에서의 온실가스 감축활동은 초기 단계에 머물고 있지만 충분한 잠재력이 있다고 판단된다. 따라서 우리나라 상황에 알맞은 베이스라인 설정과 추가성 입증, 모니터링 계획 수립 같은 기본 요건들을 고려하여 본격적인 청정개발체제 사업의 형태로 발전시킨다면 효과적인 온실가스 감축수단의 하나로 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 농업부문에서 청정개발체제 사업으로 가능한 분야는 농경지의 메탄 및 아산화질소 배출량 감축분야, 휴경농경지의 초목 조성, 토양 내 유기탄소 저장, 반추가축 장내발효 개선, 가축분뇨 처리시설 개선, 바이오매스 활용 및 화석연료 사용 감축 등을 들 수 있다.

## ■ 농업부문 온실가스 저감기술의 활용

농업부문에서 온실가스 감축 및 흡수 확대를 위해 농경지 온실가스 배출 감축기술, 토양 내 유기탄소 저장기술, 반추가축 장내발효개선 기술, 가축분뇨 처리시설 개선, 바이오매스 활용 및 화석연료 사용량 감축 기술 등

여러 가지 기술이 개발되어 상당한 수준의 실용화가 이루어지고 있다<표 9>. 여러 가지 온실가스 저감기술 가운데 대표적으로 활용되는 기술은 크게 온실가스 배출량 감축 기술, 유기농축산업 기술, 토양유기탄소저장 기술, 바이오에너지 활용 기술 등 네 가지로 대별된다.

첫째, 배출량 저감기술(emissions reduction technology)은 시비관리와 물 관리 등 작물재배기술과 사료급여 개선 및 발효촉진 첨가제 투여 등 가축 사양기술을 적용함으로써 메탄과 아산화질소 배출 감축이 이루어지는 청정기술이다. 경종부문에 있어서 논·밭의 감축기술로는 질소비료 시비량 감축, 유기물 사용 확대, 간단관개로의 관개방법 전환, 건답직파로의 재배방식 변경 등을 들 수 있다. 밭의 감축기술로는 화학비료 시비량 감축과 친환경 농업의 실천 등을 들 수 있다. 축산부문의 경우는 사료의 에너지 함량 및 소화효율 향상, 가축개량, 양질 조사료 급여, 반추위 발효조정제(사료첨가제, 미생물제제 투여) 첨가 등에 의한 반추가축 장내발효 개선기술이 있다. 또한 슬러리 저장기간 중 호기처리시설 확대, 가축분뇨 저장탱크의 덮개 설치 등의 가축분뇨처리 시설개선 기술을 들 수 있다.

표 9. 농업부문의 온실가스 저감기술 목록

| 부 문                   | 저감 기술                        |
|-----------------------|------------------------------|
| 농경지 메탄 및 아산화질소 배출량 감축 | 유기농법 및 친환경농법 확대              |
|                       | 영농방법 개선을 통한 화석연료 사용량 감축      |
| 휴경 농경지 초목 조성          | 휴경지 조림, 초지 조성                |
|                       | 휴경지 피복작물 재배                  |
| 토양내 유기탄소 저장           | 보전경운(홀경, 무경운), 윤작            |
|                       | 화학비료의 유기물 대체(작물잔사, 슬러리 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 화석연료 사용 감축 | 바이오에너지 작물 재배를 통한 화석연료 대체     |
|                       | 바이오가스·바이오매스 자원화기술 확대         |
|                       | 쌀겨 이용 발전                     |

둘째, 유기농축산업 실천기술은 온실가스 저감기술의 일종으로 이산화탄소와 아산화질소 배출량을 감축하는 기술이다. 유기농업은 윤작을 하거나 부산물비료나 유기질비료의 투입 등으로 토양을 관리하며 화학비료와 농약을 전혀 사용하지 않는 농법이다. 유기농업의 핵심은 토양미생물 활성화 촉진, 두과작물과 생물학적 질소고정, 윤작 등을 통해 토양비옥도를 관리하고 경종-축산의 유기적인 연계를 통해 외부투입물을 최소화하고 자원순환농업이 이루어지도록 하는 데 있다. 이러한 자원순환형 유기농축산업은 이산화탄소와 아산화질소 배출 감축에 기여하는 것으로 제시되고 있다. 국제유기농업운동 연맹(IFOAM) 보고서에 따르면 유기농축산업은 환경친화적 농경지 이용 및 관리, 가축분뇨자원화 및 폐기물의 재활용, 친환경 가축사육관리, 자원순환적 양분관리는 물론 녹색소비자로의 행동 변화 등을 통해 직간접으로 온실가스 감축에 크게 기여하는 것으로 밝혀졌다(Kotschi and Muller-Samann, 2004). 실제적으로 유기농법 실천은 토양 및 양분관리를 통해 외부 농자재 투입을 최소화하고 또한 배합사료 등 외부 투입사료를 최소화하는 경우 화석연료 에너지가 적게 투입됨으로써 이산화탄소 배출을 줄일 수 있다<표 10>.

셋째, 토양유기탄소 저장(soil organic carbon sequestration) 기술을 들 수 있다. 토양유기탄소는 식물의 광합성작용에 의해 저장된 탄소가 생물의 잔해로 토양에 들어온 후 토양 내에서 분해되는 과정 중에 있는 물질이다.<sup>11</sup> 토양유기탄소는 토양 내에서 느린 속도로 분해되면서 장기간 토양 속에 존재하며 지표면 위 토양탄소의 저장과 대기 중 이산화탄소와의 관계를 조절하는 중요한 역할을 한다(김동엽 · 이창환, 2005, p.3). 토양유기탄소의 저장은 토양 내 탄소의 추가 축적 기능을 통해 화석연료의 연소로 인해 방출되는 탄소를 토양유기탄소의 축적으로 상쇄하는 효과를 가지고 있다. 토양유기탄소 저장을 위한 관리기술로는 토양관리, 피복작물재배, 보전경작, 종합적 양분관리, 무경운영농, 환경을 고려한 최적의 작물재배 등을 들 수 있다.

<sup>11</sup> 토양유기탄소는 농작물 생장을 위한 양분의 근원이며 농산물 생산성을 유지하는 데 중요한 수단이다. 토양유기탄소가 심하게 유실되면 토양의 질이 악화되고 바이오매스 생산이 감소한다(정원교, 2007b).

표 10. 유기농축산업의 온실가스 감축 효과 평가

| 구 분                      | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 환경친화적 농경지 이용 및 관리        |                 |                 |                  |
| - 영구 토양피복                | +++             | -               | +                |
| - 토양 경운작업 지양             | +               | -               | +                |
| - (준)불모지에 대한 휴경 제한       | +               | -               | -                |
| - 사료작물 생산을 포함한 작물 윤작 다양화 | ++              | -               | +                |
| - 악화된 토양의 생산성 제고         | ++              | +               | -                |
| 가축분뇨자원화 및 폐기물의 재활용       |                 |                 |                  |
| - 지역 내 부산물 및 퇴비 재활용      | ++              | -               | +                |
| - 슬러리의 바이오 가스 활용         | -               | ++              | -                |
| 친환경 가축사육 관리              |                 |                 |                  |
| - 가축수명 연장                | -               | ++              | +                |
| - 가축사육밀도 제한              | -               | +               | +                |
| - 사료 수입 감축               | +               | +               | -                |
| 자연순환적 양분관리               |                 |                 |                  |
| - 양분 투입 제한(양분 재활용)       | ++              | -               | ++               |
| - 콩과 식물 재배               | +               | -               | +                |
| - 경종과 축산 통합(연계)          | ++              | -               | +                |
| 녹색소비자 행동 변화              |                 |                 |                  |
| - 지역 생산물 소비              | +++             | -               | -                |
| - 채식 위주의 전환              | +               | ++              | -                |

주: +++ 매우 높음, ++높음, +낮음, - 가능성 없음.

자료: IFOAM 보고서(Kotschi and Muller-Samann, 2004, p.37)에 제시된 표를 기초로 일부 내용을 보완하여 작성한 것임.

넷째, 농업부문 바이오에너지 활용기술을 들 수 있다. 바이오에너지는 바이오매스로부터 생산된 에너지를 의미하는 것으로 바이오매스는 태양에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체·균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체를 지칭한다. 바이오매스자원은 곡물, 감자류를 포함한 전분질계의 자원과 초본, 임목과 볏짚, 왕겨 같은 농수산물물을 포함하는 셀룰로오스계의 자원과 사탕수수, 사탕무 같은 당질계의 자원은 물론 가축의 분뇨, 사체와 미생물의 균체 등 단백질계의

자원까지를 포함하는 다양한 성상을 지닌다. 따라서 바이오에너지 생산기술이란 생물 유기체를 각종 가스, 액체 혹은 고형연료로 변환하거나 이를 연소하여 열, 증기 혹은 전기를 생산하는 데 응용되는 화학, 생물, 연소공학 등을 일컫는다. 농업부문의 바이오에너지는 바이오매스 종류에 따라 가축분뇨와 식품폐기물 등을 이용하는 바이오가스, 유채와 유지작물 등을 이용하는 바이오디젤, 옥수수과 사탕수수, 감자·고구마 전분 등을 이용하는 에탄올, 왕겨와 톱밥 등을 이용하는 메탄올 등을 들 수 있다(강창용 외 5인, 2006, pp.8-9). 이 중 농업부문의 대표적인 바이오에너지 실용화기술로는 유채와 유지작물 재배를 통한 바이오디젤 생산기술과 가축분뇨의 메탄 발효를 이용하는 바이오가스 플랜트 기술 등을 들 수 있다. 바이오디젤 원료 공급을 위한 유채재배 시범사업이 2007년부터 3년간 추진되고 있다. 다음으로 가축분뇨를 활용한 바이오가스 플랜트는 최근 국내외적으로 활발하게 추진되고 있다.<sup>12</sup> 가축분뇨를 이용한 바이오가스 발전시설은 개별농가형인 독일식과 공동처리형인 덴마크식이 있다. 독일식 개별농가형은 개별농가의 가축분뇨를 혐기소화시켜 메탄가스를 발전기에 공급, 전력을 판매하고 처리가 끝난 축산폐기물은 전량 액비로 사용하는 방식이다. 공동처리형은 축산폐기물과 음식물쓰레기 등 유기성폐기물의 처리수요가 증가하면서 대두된 기술이다(박순철, 2006). 가축분뇨 바이오가스 플랜트로 에너지를 생산하게 되면 재생가능에너지 생산, 가축분뇨처리, 지구온난화 가스 저감이라는 효과를 얻게 된다.

유엔 기후변화 정부간협의체에서는 농업부문의 다양한 온실가스 감축 및 흡수 수단인 경지관리, 방목지 관리와 초지개량, 유기토양 관리, 황폐 토지 복원, 가축관리, 퇴비 및 토양관리, 바이오에너지 생산 등 다양한 수단에 대한 전문가 평가결과를 기초로 수단별 온실가스 감축효과와 순감축에 대한 신뢰도 평가결과를 제시하고 있다<표 11>. 농업부문의 온실가스 순감축과 관련하여 전문가들의 신뢰도가 높은 수단으로는 작물재배 방식의 개선, 양

<sup>12</sup> 바이오가스 플랜트는 플랜트 내에 열병합 발전기를 설치해 바이오가스를 연소시켜 발전함으로써 전기와 열을 생산하여 플랜트에서 자급하거나 판매하여 수익을 얻게 하는 발전시스템이다.

분관리, 식부제한 등 토지이용 변화, 토양 복원을 위한 유기물 투입, 사료 개선, 가축분뇨의 저장 및 처리 개선, 효과적 양분관리, 에너지작물과 농축산 부산물을 활용한 바이오에너지 생산 등으로 제시되고 있다.

표 11. 농업부문 온실가스 감축·흡수 수단에 대한 평가

| 부문            | 구체적 감축수단          | 감축효과 <sup>1)</sup> |                 |                  | 순감축(신뢰도) <sup>2)</sup> |     |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------------|-----|
|               |                   | CO <sub>2</sub>    | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | 합의                     | 근거  |
| 경지관리          | 작물 재배방식 개선        | +                  |                 | +/-              | ***                    | **  |
|               | 양분 관리             | +                  |                 | +                | ***                    | **  |
|               | 경지/부산물 관리         | +                  |                 | +/-              | **                     | **  |
|               | 물 관리(관개, 배수)      | +/-                |                 | +                | *                      | *   |
|               | 벼재배 방식 개선         | +/-                | +               | +/-              | **                     | **  |
|               | 식부 제한, 토지이용 변화    | +                  | +               | +                | ***                    | *** |
| 방목지 관리와 초지 개량 | 방목 강도             | +/-                |                 | +/-              | *                      | *   |
|               | 생산성 향상(시비)        | +                  | +/-             | +/-              | **                     | *   |
|               | 양분 관리             | +                  |                 | +/-              | **                     | **  |
|               | 두과 종 도입           | +                  |                 | +/-              | *                      | **  |
| 유기토양 관리       | 배수관리 및 습지 회피      | +                  |                 | +/-              | **                     | **  |
| 토양 복원         | 침식방지, 유기물·양분 투입   | +                  | -               | +/-              | ***                    | **  |
| 가축관리          | 사료 개선             |                    | +               | +                | ***                    | *** |
|               | 사료첨가제             |                    | +               |                  | **                     | *** |
|               | 가축 육종 개선          |                    | +               | +                | **                     | *   |
| 퇴비 및 토양관리     | 저장과 처리 개선         |                    | +               | +/-              | ***                    | **  |
|               | 혐기성 소화            |                    | +               | +/-              | ***                    | *   |
|               | 효율적 양분 이용 및 관리    | +                  |                 | +                | ***                    | **  |
| 바이오에너지 생산     | 에너지작물, 바이오가스, 부산물 | +                  | +/-             | +/-              | ***                    | **  |

자료: 1) +는 배출 감소나 강화된 감축(긍정적 경감 효과), -는 배출 증가나 억제된 감축(부정적 경감 효과), +/-는 불확실과 가변성을 나타냄.

2) 온실가스의 순 배출량 감소를 위한 수단으로서 제시된 방식은 신뢰도의 질적 추정치를 CO<sub>2</sub> 상당치로 표현하였음. 합의: 논문에서의 상대적 합의의 정도를 나타냄(별표가 많을수록 합의가 높음). 근거: 제시된 효과를 지지하는 데이터의 상대적 양을 나타냄(별표가 많을수록 근거가 높음).

자료: IPCC(2007d), OECD(2007).

## 제 4 장

### 농업부문 파급영향과 감축수단의 잠재력 분석



교토의정서 이행에 따른 온실가스 의무감축이 이루어지는 경우 농업부문에 미치는 파급영향을 분석하기 위해 우선 의무감축 이행방식을 가정하여 시나리오를 설정하였다. 제4장에서는 온실가스 의무감축 수준을 2013년부터 2000년의 배출량 대비 5%로 할 경우, 세 가지 감축 시나리오별로 동태적 CGE 모형을 이용하여 산업부문에 미치는 영향을 계측하였고, 부분균형모형을 이용하여 탄소세를 부과하는 경우 시설농업 및 축산부문에 미치는 영향을 분석하였다(2006년도 1차연도 연구결과). 또한 논벼 건답직파, 질소시비관리 개선, 농경지 토양유기탄소의 역할, 에너지 작물 재배 확대, 축산부문 장내발효 개선과 가축분뇨처리 시설개선 등 농축산부문의 핵심적인 감축수단별 온실가스 감축 잠재력 분석도 시도하였다.

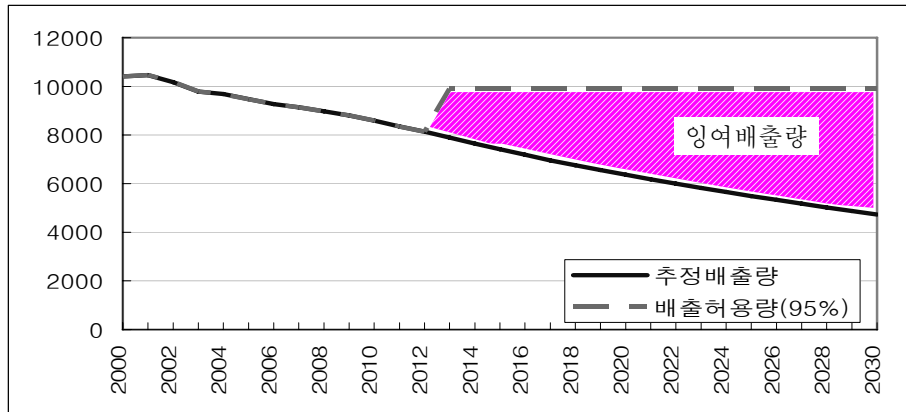
## 농업부문 온실가스 배출량 추정 및 전망

### ■ 온실가스 배출량 및 배출허용량 추정

온실가스 감축의무 부과에 따른 산업부문별 온실가스 배출허용량은 2013년부터 기준 시점(2000년 배출량 기준) 배출량의 5%를 감축하는 수준으로 적용하는 것으로 가정하였다. 이 경우 기준시점 대비 온실가스 배출량의 95% 수준인 배출허용량보다 적게 배출하는 경우는 잉여배출량이 발생하게 되고, 배출량허용량을 초과하는 경우는 의무감축량이 발생하게 된다.

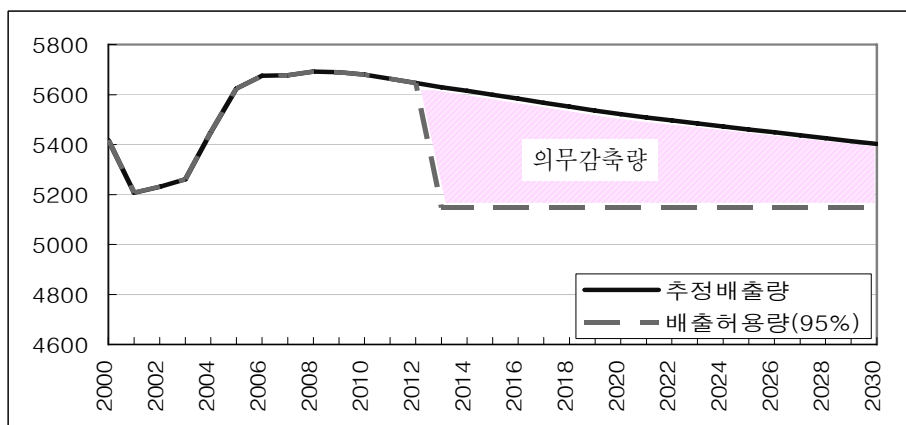
벼, 잡곡, 채소 등 경종부문의 경우 2000년 기준시점의 온실가스 배출량은 1,041만 2천 CO<sub>2</sub>톤이고, 허용 배출량은 기준 시점의 95% 수준인 989만 2천 CO<sub>2</sub>톤으로, 온실가스 감축 이행이 시작되는 2013년의 배출량은 기준 시점보다 약 14.7% 줄어든 788만 8천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정되어 약 200만 5천 CO<sub>2</sub>톤의 잉여배출량이 발생하는 것으로 추정된다. 또한 2013년 이후 경종부문의 배출량이 지속적으로 감소하면서 2020년에 352만 8천 CO<sub>2</sub>톤, 2030년에 516만 CO<sub>2</sub>톤에 달하는 잉여배출량이 발생할 것으로 추정된다<그림 7>.

그림 7. 경증부문 온실가스 배출허용량 및 잉여배출량

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤

축산부문의 경우 기준시점의 온실가스 배출량은 541만 8천 CO<sub>2</sub>톤이고, 허용 배출량은 기준 시점의 95% 수준인 514만 7천 CO<sub>2</sub>톤으로 온실가스 감축 이행이 시작되는 2013년의 배출량은 기준 시점보다 약 3.9% 증가한 563만 CO<sub>2</sub>톤으로 추정되어 약 48만 3천 CO<sub>2</sub>톤의 감축의무가 부과되는 것으로 분석된다. 또한 2013년 이후 배출량이 조금씩 감소하기는 하나 배출허용량을 여전히 초과하여 2020년에 37만 4천 CO<sub>2</sub>톤, 2030년에 25만 6천 CO<sub>2</sub>톤에 달하는 감축의무량이 존재할 것으로 보여 축산부문에 상당한 부담이 될 것으로 보인다<그림 8>.

그림 8. 축산부문의 온실가스 배출허용량 및 의무감축량

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤

배합사료, 비료, 농약 등 농업 관련 산업의 경우 경종부문의 축소로 인한 비료, 농약 산업의 축소로 온실가스 감축 이행이 시작되는 2013년 이후 온실가스 배출량이 지속적으로 감소하여 전체적으로 2013년에 18만 4천 CO<sub>2</sub>톤, 2020년 30만 3천 CO<sub>2</sub>톤, 2030년 42만 1천 CO<sub>2</sub>톤 정도의 잉여배출량이 증가할 것으로 추정된다<그림 9>.

그림 9. 농업관련 산업의 온실가스 배출허용량 및 잉여배출량

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤

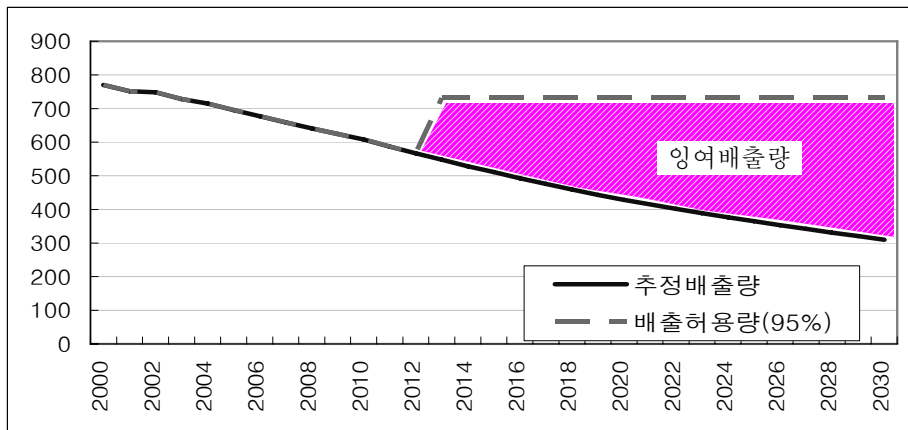
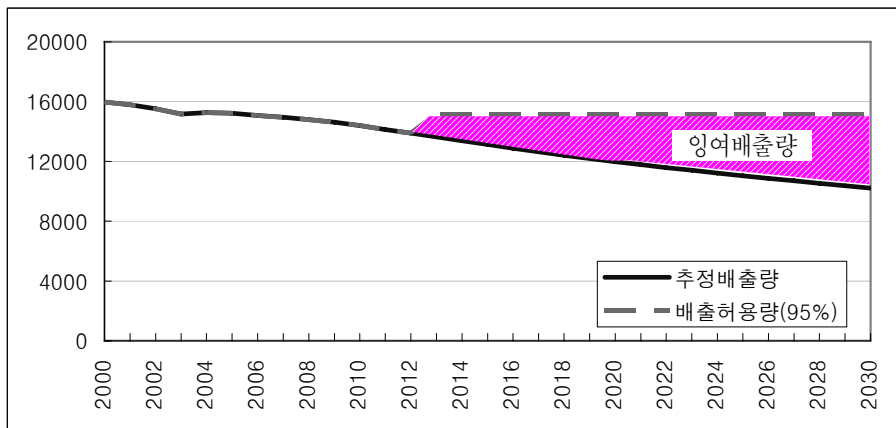


그림 10. 전체 농업부문의 온실가스 배출허용량 및 잉여배출량

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤



농업부문 전체의 온실가스 배출량 및 배출허용량에 대한 종합적인 분석 결과 경종부문의 배출량 감소로 인해 확보된 잉여배출량이 축산부문에 부과된 의무감축량을 초과함으로써 농업부문 전체의 잉여배출량은 2013년 170만 5천 CO<sub>2</sub>톤, 2020년 345만 6천 CO<sub>2</sub>톤, 2030년 532만 6천 CO<sub>2</sub>톤으로 지속적으로 증가할 것으로 추정된다<그림 10>.

## 온실가스 감축의 시나리오별 경제적 파급영향<sup>13</sup>

### ■ 배출권거래제 적용 시 파급영향

온실가스 의무감축 수준을 2013년부터 2000년 배출량 대비 5%로 할 경우, 세 가지 감축 시나리오별로 산업부문에 미치는 영향 계측을 위해 일반균형 접근 방식인 동태적 연산가능 일반균형모형을 이용하였다.<sup>14</sup>

기후변화협약 이행을 위한 시나리오는 온실가스 감축 목표량을 개별적으로 이행하는 ‘시나리오 1’, 모든 산업부문이 배출권거래제에 참여하는 경우인 ‘시나리오 2’, 비농업 부문만 배출권거래제에 참여하는 ‘시나리오 3’ 등 세 가지로 나누어 분석하였다<표 12>.

<sup>13</sup> 온실가스 의무감축 이행의 시나리오를 구성하여 농업부문의 경제적 파급영향 계측은 1년차 연구결과의 핵심적인 내용을 간략하게 요약하여 제시한 것이다. 온실가스 의무감축 이행의 농업부문 파급영향에 관한 상세한 내용은 1년차 연구보고서에 상세히 제시되어 있다(김창길, 김태영, 신용광, 2006).

<sup>14</sup> 기후변화협약에 따른 거시측면에서의 농업부문 파급영향 분석과 관련해서는 온실가스 배출 감축 시점의 정태적 효과뿐만 아니라 정책의 적용 이전과 이후에 발생하는 동태적 파급효과를 계측하기 위해 동태적 연산가능일반균형 모형(Dynamic CGE)을 적용하였다(김창길, 김태영, 신용광, 2006, pp.41-42).

표 12. 기후변화협약 이행을 위한 의무부담 시나리오 설정

| 구 분    | 시나리오 내용                                                                 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|
| 시나리오 1 | 각 산업이 주어진 목표량을 개별적으로 이행하는 경우(각 산업별 톤당 저감비용)                             |
| 시나리오 2 | 모든 산업이 배출권 거래를 통해 저감목표량을 달성하는 경우                                        |
| 시나리오 3 | 비농업 부문(음식료, 제조 및 서비스 부문, 화석연료 부문) 간에는 배출권 거래를 허용하고, 농업부문은 개별적으로 이행하는 경우 |

온실가스 감축의 저감 비용은 감축이행 방식에 따른 시나리오별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 개별 이행시인 ‘시나리오 1’에서 2013년 이후 허용 배출량 수준을 초과하는 산업부문의 CO<sub>2</sub>톤당 온실가스 저감 단가는 양돈 236만 9천 원, 양계 235만 2천 원, 축우 56만 5천 원, 음식료 45만 원, 제조 및 서비스 38만 원, 화석연료 9천 원으로 산정되었다. 전체 산업 부문간 배출권 거래를 적용한 ‘시나리오 2’에서는 산업부문 모두가 CO<sub>2</sub>톤당 3만 3천 원(2013년 기준)의 단일 거래가격으로 책정되었으며, 의무감축량이 증가함에 따라 배출권 거래가격은 지속적으로 상승하는 것으로 나타났다. 전체 산업부문이 배출권 거래에 참여함으로써 개별 이행 시 저감 단가가 매우 높았던 축산부문과 음식료, 제조 및 서비스 산업의 배출권 거래가격이 현격히 감소하여 온실가스 저감 비용의 절감효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 농업부문의 개별 이행과 비농업 부문의 배출권 거래를 적용하는 ‘시나리오 3’에서는 의무감축량이 발생하는 축산부문의 저감 단가는 ‘시나리오 1’에 비해 증가하고, 비농업 부문에서는 화석연료 부문을 제외하고는 배출권 거래가격이 약간 상승하는 것으로 나타났다. 특히 비농업 부문의 경우 농업부문이 배출권 거래에 참여하지 않으면 배출권 거래가격이 상승하기 때문에, 농업부문이 배출권 거래에 참여하는 것이 비농업 부문에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다<표 13>.

시나리오별 온실가스 감축 이행에 따른 경제적 효과를 비교해 보면, 우선 개별 이행(시나리오 1) 대비 배출권 거래제 도입(시나리오 2)에 따른 경제적 효과는 경종부문 698억 원, 축산부문 5,166억 원, 농업 관련 산업 72억 원으로 농업부문 전체의 경제적 효과는 5,936억 원으로 나타났다. 한편

비농업 분야의 경제적 효과도 제조 및 서비스 39조 1,871억 원, 화석연료 2조 6,317억 원 등 총 42조 3,996억 원에 달해 농업부문을 포함한 모든 산업부문이 배출권 거래에 참여하는 경우가 개별 이행 시보다 44조 575억 원의 추가적인 경제적 효과가 발생하는 것으로 추정되었다<표 14>.

표 13. 시나리오별 온실가스 저감 단가 및 배출권 거래가격

단위: 천 원/CO<sub>2</sub>톤

| 구 분                   |      | 경종   | 축우    | 양돈      | 기타<br>가금 | 농업<br>관련 | 음식료   | 제조<br>서비스 | 화석<br>연료 |
|-----------------------|------|------|-------|---------|----------|----------|-------|-----------|----------|
| 시<br>나<br>리<br>오<br>1 | 2013 | 0.0  | 565.5 | 2,369.5 | 2,352.0  | 0.0      | 450.1 | 380.1     | 9.2      |
|                       | 2015 | 0.0  | 561.3 | 1,904.0 | 2,035.6  | 0.0      | 422.6 | 382.8     | 7.8      |
|                       | 2020 | 0.0  | 551.4 | 1,054.4 | 1,316.1  | 0.0      | 375.2 | 392.1     | 5.1      |
|                       | 2025 | 0.0  | 543.3 | 530.8   | 799.3    | 0.0      | 282.6 | 413.2     | 3.2      |
|                       | 2030 | 0.0  | 535.6 | 183.3   | 412.6    | 0.0      | 203.7 | 433.2     | 2.1      |
| 시<br>나<br>리<br>오<br>2 | 2013 | 33.3 | 33.3  | 33.3    | 33.3     | 33.3     | 33.3  | 33.3      | 33.3     |
|                       | 2015 | 34.8 | 34.8  | 34.8    | 34.8     | 34.8     | 34.8  | 34.8      | 34.8     |
|                       | 2020 | 41.0 | 41.0  | 41.0    | 41.0     | 41.0     | 41.0  | 41.0      | 41.0     |
|                       | 2025 | 51.7 | 51.7  | 51.7    | 51.7     | 51.7     | 51.7  | 51.7      | 51.7     |
|                       | 2030 | 66.8 | 66.8  | 66.8    | 66.8     | 66.8     | 66.8  | 66.8      | 66.8     |
| 시<br>나<br>리<br>오<br>3 | 2013 | 0.0  | 610.5 | 2,512.7 | 2,405.5  | 0.0      | 45.2  | 45.2      | 45.2     |
|                       | 2015 | 0.0  | 606.0 | 2,273.3 | 2,215.1  | 0.0      | 47.5  | 47.5      | 47.5     |
|                       | 2020 | 0.0  | 595.2 | 1,781.3 | 1,763.1  | 0.0      | 55.2  | 55.2      | 55.2     |
|                       | 2025 | 0.0  | 586.5 | 1,351.5 | 1,407.9  | 0.0      | 69.1  | 69.1      | 69.1     |
|                       | 2030 | 0.0  | 578.1 | 1,008.8 | 1,140.8  | 0.0      | 88.0  | 88.0      | 88.0     |

표 14. 시나리오 1 대비 시나리오 2의 경제적 효과

단위: 억 원

| 구분   | 경종    | 축산    | 농업관련 | 농업 소계 | 임·수산   | 비농업       | 전체 편익     |
|------|-------|-------|------|-------|--------|-----------|-----------|
| 2013 | 698   | 5,166 | 72   | 5,936 | 10,643 | 423,996   | 440,575   |
| 2015 | 943   | 4,254 | 91   | 5,288 | 10,998 | 489,769   | 506,055   |
| 2020 | 1,638 | 2,317 | 148  | 4,102 | 11,773 | 676,370   | 692,246   |
| 2025 | 2,605 | 1,050 | 225  | 3,880 | 13,968 | 942,329   | 960,177   |
| 2030 | 3,953 | 176   | 331  | 4,460 | 16,979 | 1,258,362 | 1,279,802 |

한편 개별 이행(시나리오 1) 대비 비농업 부문만 배출권 거래제에 참여하는 경우(시나리오 3)의 경제적 효과는 배출량 감축의무가 없는 경종부문과 농업 관련 산업은 아무런 경제적 편익이 발생하지 않지만, 축산부문의 경우 개별 이행에 따른 346억 원의 저감 비용이 추가적으로 발생하여 농업 부문 전체의 추가 비용은 총 346억 원으로 나타났다. 또한 비농업 분야의 경우 배출권 거래제 운용으로 제조 및 서비스 38조 4,273억 원, 화석연료 4조 4,357억 원 등 총 43조 4,199억 원의 경제적 수익이 발생하는 것으로 분석되었다<표 15>.

표 15. 시나리오 1 대비 시나리오 3의 경제적 효과

단위: 억 원

| 구분   | 경종 | 축산     | 농업관련 | 농업 소계  | 임·수산 | 비농업       | 전체 편익     |
|------|----|--------|------|--------|------|-----------|-----------|
| 2013 | 0  | -346   | 0    | -346   | 0    | 434,546   | 434,199   |
| 2015 | 0  | -689   | 0    | -689   | 0    | 500,964   | 500,275   |
| 2020 | 0  | -1,236 | 0    | -1,236 | 0    | 689,124   | 687,888   |
| 2025 | 0  | -1,414 | 0    | -1,414 | 0    | 958,339   | 956,925   |
| 2030 | 0  | -1,465 | 0    | -1,465 | 0    | 1,278,933 | 1,277,468 |

농업부문의 배출권 거래 참여에 따른 주요 부문별 배출권 판매 수입 및 지출에 대한 전망치를 살펴보면, 잉여배출량이 존재하는 경종부문의 경우 개별 이행(시나리오 1, 시나리오 3)을 실시하면 배출권을 판매할 수 없기 때문에 전혀 수입이 발생하지 않지만, 배출권 거래에 참여(시나리오 2)하면 판매수입이 지속적으로 증가하여 2013년 698억 원, 2020년 1,638억 원, 2030년 3,953억 원의 배출권 판매수입이 발생할 것으로 전망된다.

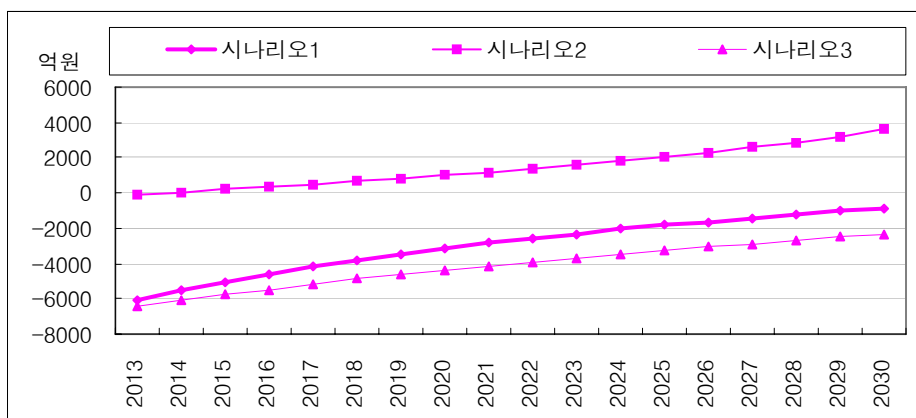
한편 온실가스 감축의무가 부과되는 축산부문의 경우 개별 이행을 실시(시나리오 1, 시나리오 3)하면 저감 단가가 매우 높아 감축비용이 2013년에 무려 6,030억~6,375억 원에 달하였다. 그러나 배출권 거래에 참여(시나리오 2)하면 온실가스 저감 비용이 864억 원으로 감소하여 85.7~86.4%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 추정된다. 비록 축산부문 배출 비중의

62.1%를 차지하는 축우산업의 저감 비용이 지속적으로 감소하여 개별 이행과 배출권 거래의 비용격차는 줄어들고 있지만, 배출권 거래에 참여하는 것이 축산부문에 더욱 유리할 것으로 판단된다.

농업관련 산업의 경우 경종부문과 마찬가지로 지속적인 생산량 감소 및 에너지 효율성 개선으로 잉여배출량이 존재하기 때문에 개별 이행을 통해 온실가스를 저감할 경우 전혀 수입이 발생하지 않는다. 그러나 배출권 거래에 참여함으로써 2013년에 72억 원, 2020년에 148억 원, 2030년에 331억 원의 판매수입을 얻을 수 있을 것으로 분석되었다.

농업부문 전체가 배출권 거래제에 참여하는 경우 2013년에는 축산부문의 배출권 구입 지출액이 경종 및 농업 관련 산업의 잉여배출권 판매수입보다 많아 94억 원 정도의 비용이 발생하였다. 그러나 2014년부터 경종 및 농업관련 산업의 잉여배출권 판매수입이 지속적으로 증가하면서 축산부문의 지출액을 초과하여 2020년에 980억 원, 2030년에 3,591억 원의 배출권 판매수입이 발생하는 것으로 분석되었다. 한편 농업부문이 배출권 거래에 참여하지 않고 개별 이행을 할 경우 경종부문과 농업관련 산업에서 발생하는 잉여배출권을 판매할 수 없고, 축산부문의 감축의무만 부과되기 때문에 배출권 구입을 위한 지출이 더 많이 발생할 것으로 분석되었다.

그림 11. 농업부문의 시나리오별 거래권 판매수입 및 지출 비교





경종과 축산부문을 통합하여 배출권 및 생산물 판매에 의한 수입 변화를 보면, 2013년의 경우 경종부문의 배출권 판매수입보다 축산부문의 배출권 구입지출이 더 많아 약 166억 원의 배출권을 구입함으로써 순수입의 감소는 실제 생산물 판매수입 감소분 3,270억 원보다 많은 3,436억 원으로 나타났다. 그러나 2015년부터는 경종부문의 배출권 판매수입이 축산부문의 구입지출을 초과하면서 실제 생산물 판매수입 감소분을 상쇄시키는 것으로 나타났다<표 16>.

표 16. 경종·축산부문의 배출권 및 생산물 판매수입 변화

단위: 억 원

| 구분   | 배출권 판매수입 변화<br>(A) |      |       | 생산물 판매수입 변화<br>(B) |         |         | 순수입 수입 변화<br>(A+B) |         |         |
|------|--------------------|------|-------|--------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|
|      | 경종                 | 축산   | 소계    | 경종                 | 축산      | 소계      | 경종                 | 축산      | 소계      |
| 2013 | 698                | -864 | -166  | -1,146             | -2,124  | -3,270  | -448               | -2,988  | -3,436  |
| 2015 | 944                | -838 | 106   | -3,427             | -3,349  | -6,776  | -2,483             | -4,187  | -6,670  |
| 2020 | 1,638              | -806 | 832   | -7,819             | -6,304  | -14,123 | -6,182             | -7,110  | -13,292 |
| 2025 | 2,604              | -788 | 1,816 | -11,535            | -9,793  | -21,328 | -8,930             | -10,581 | -19,511 |
| 2030 | 3,954              | -693 | 3,261 | -15,059            | -14,082 | -29,141 | -11,106            | -14,776 | -25,882 |

주: 배출권 판매수입 음(-)의 수는 배출권 구입지출, 양(+)의 수는 배출권 판매수입을 의미하며, 생산물 판매의 경우 음(-)의 수는 농산물 판매수입 감소를 의미함.

## ■ 탄소세 도입시 파급영향

농업용 에너지에 탄소세(30% 세율 적용)를 부과하는 경우의 시설원예, 시설화훼 및 축산부문에 미치는 영향은 부분균형 접근방법을 적용하여 계측하였다. 온실가스 감축이행을 위해 탄소세가 부과될 경우 농축산 부문별로 농기계 사용 및 난방 등을 위한 유류, 전기, 연탄 등의 광열동력비가 경영비에서 차지하는 비중에 따라 농업경영비에 영향을 미치게 된다<표 17>. 농축산부문의 주요 투입요소인 화학비료와 배합사료 생산을 위한 에너지 비용이 생산비에 상당한 비중을 차지하고 있어 탄소세 부과 시 농업경영비 상승에 직접적인 영향을 미칠 것으로 보인다.

표 17. 탄소세 부과 시(30% 가정) 농업경영비에 미치는 영향

단위: 원/단보, 원/두·수

| 품 목     | 경영비<br>(A) | 에너지<br>비용(B) | 화학비료비 <sup>1)</sup><br>농후사료비 | 광열·<br>동력비 | 비중(%)<br>A/B | 경영비<br>상승률<br>(%) |
|---------|------------|--------------|------------------------------|------------|--------------|-------------------|
| 시설배추    | 752,893    | 44,046       | 23,466                       | 20,580     | 5.9          | 1.8               |
| 시설상추    | 1,669,825  | 218,220      | 26,742                       | 191,478    | 13.1         | 3.9               |
| 시설오이    | 9,046,280  | 3,215,697    | 142,432                      | 3,073,265  | 35.5         | 10.7              |
| 시설토마토   | 5,376,119  | 1,606,771    | 116,674                      | 1,490,097  | 29.9         | 9.0               |
| 시설방울토마토 | 6,786,752  | 2,154,676    | 126,480                      | 2,028,196  | 31.7         | 9.5               |
| 시설포도    | 3,731,368  | 1,110,566    | 47,190                       | 1,063,376  | 29.8         | 8.9               |
| 시설감귤    | 10,506,596 | 6,620,243    | 75,777                       | 6,544,466  | 63.0         | 18.9              |
| 시설국화    | 4,818,732  | 1,125,023    | 55,781                       | 1,069,242  | 23.3         | 7.0               |
| 시설카네이션  | 8,224,770  | 2,558,544    | 74,338                       | 2,484,206  | 31.1         | 9.3               |
| 시설장미    | 12,488,651 | 4,655,426    | 293,124                      | 4,362,302  | 37.3         | 11.2              |
| 번식우     | 843,690    | 174,014      | 160,389                      | 13,625     | 20.6         | 6.2               |
| 비육우     | 3,742,688  | 395,037      | 375,489                      | 19,548     | 10.6         | 3.2               |
| 젖소      | 3,349,776  | 450,017      | 390,832                      | 59,185     | 13.4         | 4.0               |
| 비육돈     | 178,218    | 40,091       | 37,772                       | 2,319      | 22.5         | 6.7               |
| 산란계     | 22,709     | 4,842        | 4,675                        | 167        | 21.3         | 6.4               |

주: 1) 화학비료와 농후사료 생산비에서 에너지 비용의 비중을 40%로 가정함.

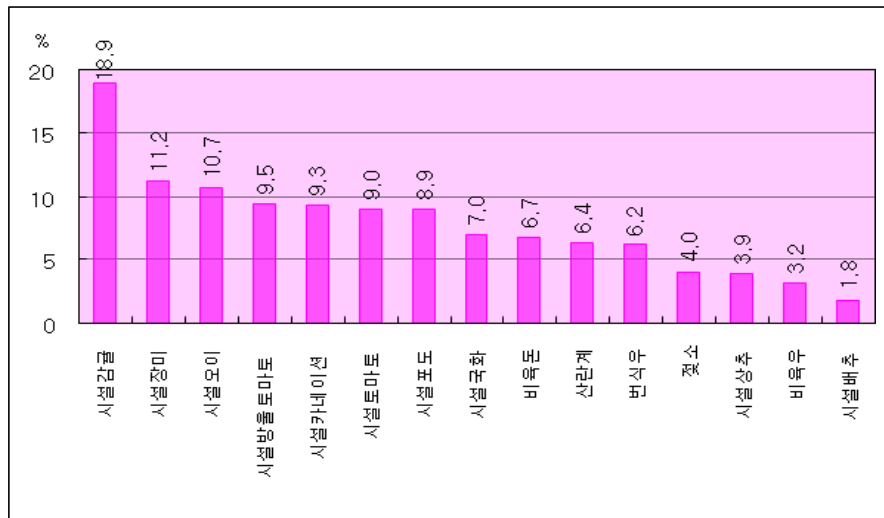
화석 에너지부문에 탄소세를 부과할 경우(30%의 탄소세율 가정) 시설농업부문의 농업경영비 상승률은 에너지 비용의 비중이 높은 시설감귤 18.9%, 시설장미 11.2%, 시설오이 10.7% 등의 순으로 나타났다. 축산부문의 경우는 비육돈 6.7%, 산란계 6.4%, 번식우 6.2%, 젖소 4.0%, 비육우 3.2% 등으로 분석되었다<그림 12>.

온실가스 감축을 위해 탄소세를 부과하는 경우 단기적으로 농축산부문에서 화석에너지 의존도가 높은 시설채소와 시설화훼부문에서 농업경영비 상승 압박이 상당히 클 것으로 분석되었다.

온실가스 감축이행이 부과되는 경우 농업부문은 배출권거래제 등 전 산

업이 함께하는 공동의 저감노력에 적극 참여하는 것이 농업부문의 경제적 부담을 최소화할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 시설농업부문과 축산부문에 화석에너지를 절약할 수 있는 기술개발이 필요하다.

그림 12. 탄소세 부과 시(30% 가정) 농업경영비 상승률



## 온실가스 감축수단의 저감 잠재력 분석

### ■ 잠재력 분석의 접근방법

온실가스 저감 잠재력에 대한 분석은 온실가스 저감에 대한 조치를 취하지 않는 경우의 추세배출량에서 온실가스 저감조치를 취하는 경우의 배출량을 차감하면 저감 가능량(저감잠재력)이 된다.<sup>15</sup> 온실가스 저감조치가

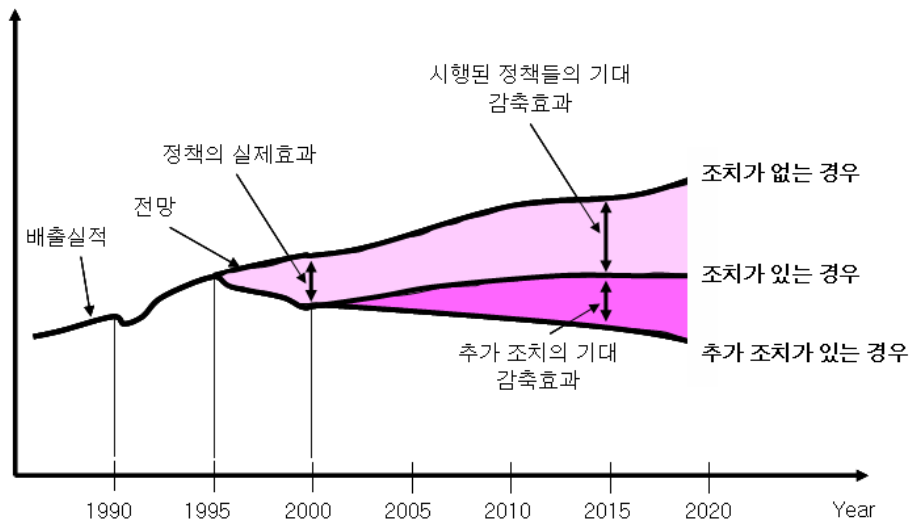
<sup>15</sup> 온실가스 저감 잠재력 추정에 관한 보다 방법론은 강희정 외 2인(2003, pp.86-89) 보고서에 상세하게 제시되어 있다.

있는 경우와 추가적으로 보다 강력한 조치를 시행할수록 배출량이 감소함에 따라 저감량은 증가하게 된다<그림 13>.

온실가스 저감 가능량과 실제의 저감량은 차이가 발생하게 되며, 저감 가능량은 온실가스 저감가능 기준에 따라 달라진다. 기술적으로 만족시키는 모든 수단에 대한 가능량을 기술적 가능량(technical potential)이라 하며, 여기에 경제성까지 충족시킬 수 있는 가능량을 경제적 가능량(economic potential)이라 한다. 경제적 가능량을 추정하기 위해서는 적용기술에 대한 경제성 평가가 이루어져야 하며 개발된 온실가스 기술 실용화를 위해 지원되는 정책적인 요인도 고려하여야 한다. 현실적으로 적용되는 기술별 경제성 평가를 위해서는 상당한 연구가 전제되어야 하므로 여기서는 기술적 가능량에 초점을 맞추어 온실가스 저감잠재력을 평가하였음을 밝혀둔다. 실제적 저감량을 경제적 저감량 수준으로 접근시키기 위해서는 시장실패 요인으로 작용하는 투자위험요소 및 제도적 장애요인 등을 제거해야 한다.

농업부문에서 개발된 온실가스 감축기술에 대한 저감잠재력을 평가하기 위해 베이스라인 설정과 기술적용 조건 등에 따라 세 가지 시나리오를 설정하였다.

그림 13. 온실가스 감축효과 분석의 기본 틀



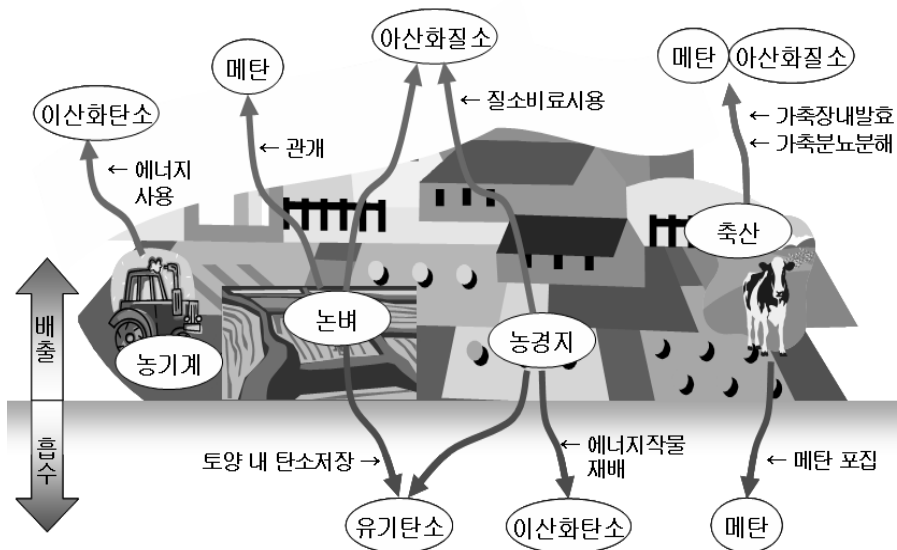
첫째로, 규제 또는 조치가 전혀 없는 경우로 다른 경우와의 비교를 위한 기준인 베이스라인을 설정하였다.

둘째로, 배출량 수준은 2000년 대비 5% 감축수준으로 안정화시키는 경우로 적절한 조치가 이루어지는 경우를 설정하였다.

셋째로, 2000년 대비 5% 감축하는 배출허용 수준보다 추가적으로 삭감하는 경우로 설정하였다.

농업부문의 온실가스는 농기계 등 시설의 화석에너지 사용으로부터 이산화탄소, 논벼 경작지와 가축의 장내발효로부터 메탄, 농경지의 질소비료 사용과 가축분뇨처리로부터 아산화질소 등이 배출된다. 한편 농업부문은 토양 유기탄소의 온실가스 흡수와 농경지의 에너지 작물재배를 통한 화석연료 대체 및 가축분뇨의 메탄가스 활용 등으로 온실가스를 저감할 수 있다<그림 14>. 농업부문의 온실가스 저감수단은 다양하게 제시되고 있으나 이 연구에서는 실제적으로 적용 가능성이 높거나 기존의 기술적 연구 결과에서 달성 가능하다고 제시한 목표치를 기준으로 온실가스 저감 잠재력을 추정하였다.

그림 14. 농축산부문의 온실가스별 감축수단 적용 메커니즘



## ■ 농축산부문의 온실가스 저감수단별 효과분석

### 논벼 건답직파의 메탄저감 잠재력

벼 재배에 의한 메탄 배출량에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 관개방법으로 벼를 건답직파할 경우 메탄 배출량은 담수직파나 이앙재배의 경우보다 40~55% 정도 감소하는 것으로 나타났다(임재규 등, 2006). 우리나라에서 직파재배가 가능한 적지면적은 1992년 기준 총 70만 4천 ha로, 이 중에서 건답직파가 가능한 면적은 최대 42.7%(건답 12.3%, 건답+담수 29.4%)로 추산하고 있다. 이 연구에서는 벼 재배면적 감소세를 반영하여 2020년까지 벼 재배면적의 30%가 직파재배를 할 경우를 상정하여 메탄 저감량을 추정하였다. 이러한 가정하에서의 추정 결과, 직파재배 면적 확대를 통한 메탄 저감량은 80만 9천 CO<sub>2</sub>톤으로 약 14.1%의 메탄 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

### 질소시비관리의 아산화질소 배출저감 잠재력

농업부문의 아산화질소는 주로 질소비료의 시용으로부터 발생하며 배출량은 질소시비량에 비례한다. 우리나라의 친환경농업 실천면적 증가로 2020년 화학비료 소비량이 예상 소요량보다 40% 정도 감소하는 것을 목표로 아산화질소 저감량을 추정하였다. 따라서 질소비료 소비량 감소로 2020년 농경지 아산화질소 배출 저감량은 약 79만 1천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정된다.

### 농경지 토양유기탄소의 온실가스 저감 잠재력

토양 유기탄소의 증가는 메탄가스의 토양 내 산화능력을 증진시켜 지구 온난화를 완화시키는 효과가 있다. 1930년 이후 지금까지 토양 유기탄소 저장량은 생산성 위주의 집약적 농업활동과 토양유실 등으로 인해 약 30%

이상 감소한 것으로 추정되고 있다(정원교, 2007b).

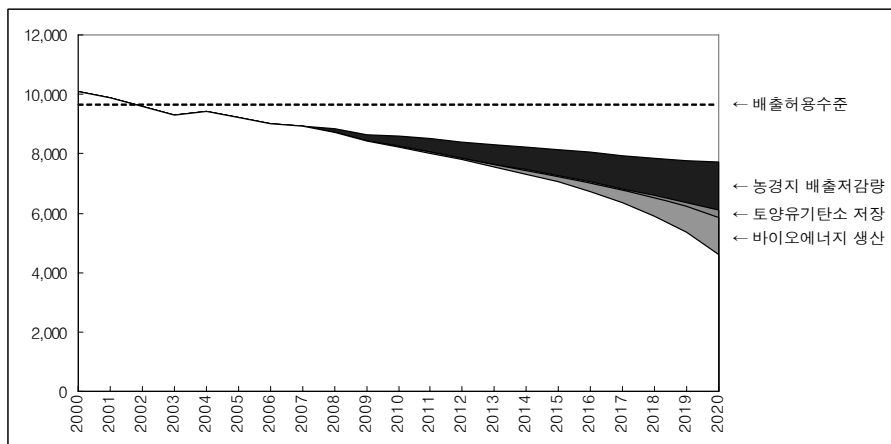
유실된 토양의 유기탄소 저장량을 높이기 위해서는 토양 경운 감축, 작물 잔사의 토양 환원, 피복작물 재배와 보전농법을 통한 토양침식 방지, 적절한 양분관리 등 다양한 방법을 들 수 있다. 유기물이 고갈된 토양이 원래 상태로 회복하는 데는 상당한 시간이 소요되는 것으로 알려져 있으나 정확히 연구된 바가 없어 2020년까지 과거 유실량의 1/10 수준인 3%를 증가시키는 것으로 목표를 설정하였다. 이 경우 2020년까지 토양유기탄소 저장을 통한 온실가스 저감량은 23만 1천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정된다.

### 에너지작물(유채) 재배를 통한 화석연료 대체 저감량

유채와 같은 에너지작물을 생산함으로써 화석연료를 대체할 수 있다. 바이오디젤용 유채생산의 효과분석 연구 결과에 의하면, 유채재배가 가능한 지역의 동계유휴지 55만 ha 중에서 실제 재배가 가능한 면적은 약 31만 9천 ha에 달하는 것으로 추정되었다(이상호 등, 2005). 이러한 연구 결과를 바탕으로 2020년까지 약 30만 ha에 유채를 재배하는 것을 목표로 할 경우 온실가스 저감량은 127만 2천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정된다<그림 15>.

그림 15. 경종부문 온실가스 배출량 및 배출저감량 전망

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤

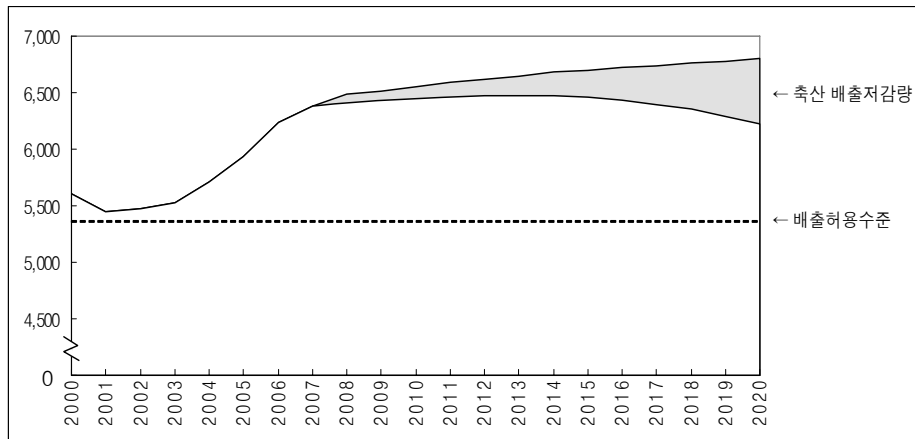


## 축산부문 장내발효 및 분뇨처리시설 개선의 배출 저감량

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, 반추위 내 미생물 생태계, 사료첨가제, 가축의 건강상태 등 유전적 요인 등을 들 수 있다. 장내발효에 의한 메탄 배출 저감기술은 양질 조사료 급여, 사료 내 첨가제 적용, 가축생산성 향상 등 직간접적 방법으로 약 35%까지 저감할 수 있는 잠재력이 있으나, 가축 사육두수 증가 및 사용한계를 고려한 현실적인 저감량은 2020년에 7.8%에 머물 것으로 추정된다. 또한 가축분뇨 분해에 의한 온실가스 배출량도 저감기술의 보급시기 및 시설개발을 고려한 시설유형별 점유율을 이용하여 산출한 결과 2020년에 12.9% 정도로 추정된다. 따라서 축산부문의 전체적인 온실가스 저감잠재력은 2020년에 8.4% 정도로 추정되고 있다(탁태영 등, 1995). 장내발효와 가축분뇨처리시설 개선 등 개발된 기술의 저감잠재력 전망치를 반영하는 경우 축산부문 온실가스 저감량은 2020년 57만 1천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정된다<그림 16>.

그림 16. 축산부문 장내발효 및 시설 개선에 따른 배출저감량 전망

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤





## 농축산부문 저감수단의 종합적 효과

농축산부문의 온실가스 관리수단으로 건답직파, 질소시비관리, 토양유기탄소 관리, 유채재배, 장내발효 및 분뇨처리시설 개선 등 핵심적인 저감 기술을 최대한 활용하는 경우 온실가스 저감총량은 2013년 91만 9천 CO<sub>2</sub>톤으로 추정된다. 또한 2020년 핵심적 저감기술을 통한 농축산부문의 온실가스 배출 저감 총량은 총 367만 5천 CO<sub>2</sub>톤으로 농업부문 전체 배출량의 약 25.3%를 저감할 수 있는 것으로 전망된다. 온실가스 저감 후 배출량은 2020년에 1,082만 8천 CO<sub>2</sub>톤으로 2000년 배출량(1,569만 3천 CO<sub>2</sub>톤) 대비 31% 정도가 줄어들 것으로 전망된다<표 18>. 따라서 개발된 온실가스 저감기술의 실용화를 통한 현장보급은 농업부문의 온실가스 관리에 있어서 상당히 중요한 비중을 차지한다고 볼 수 있다.

표 18. 온실가스 저감수단에 따른 저감량 및 저감 후 배출량 추정

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤

| 구분   | 저감 전<br>배출량 | 저감 전<br>잉여<br>배출량 <sup>1)</sup> | 온실가스 저감량 |                  |                |                  |                      |           | 저감<br>후<br>배출량 | 저감<br>후<br>잉여<br>배출량 |
|------|-------------|---------------------------------|----------|------------------|----------------|------------------|----------------------|-----------|----------------|----------------------|
|      |             |                                 | 벼논<br>메탄 | 농경지<br>아산화<br>질소 | 유기<br>탄소<br>저장 | 바이오<br>에너지<br>생산 | 축산<br>온실<br>가스<br>저감 | 저감량<br>총계 |                |                      |
| 2013 | 14,953      | -44                             | 188      | 453              | 12             | 89               | 178                  | 919       | 14,034         | 875                  |
| 2015 | 14,823      | 86                              | 302      | 562              | 27             | 190              | 248                  | 1,329     | 13,494         | 1,415                |
| 2017 | 14,687      | 221                             | 458      | 658              | 64             | 405              | 347                  | 1,932     | 12,756         | 2,153                |
| 2020 | 14,503      | 406                             | 809      | 791              | 231            | 1,272            | 571                  | 3,675     | 10,828         | 4,081                |

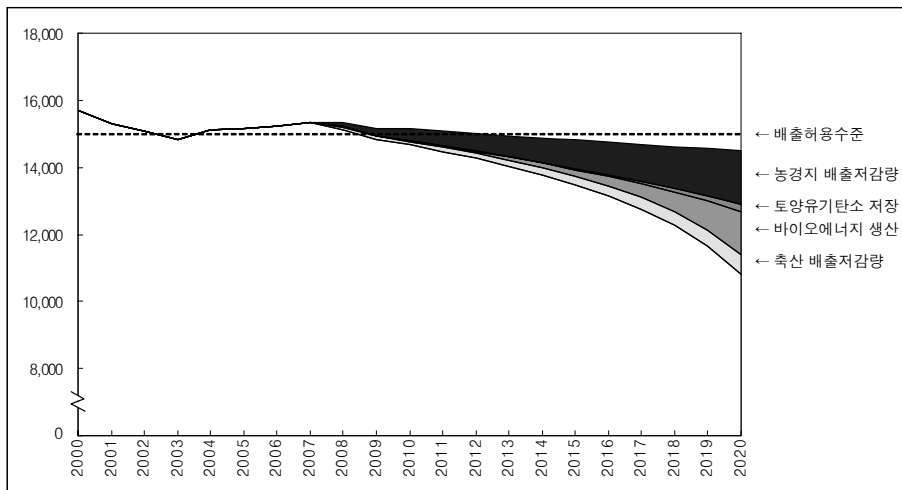
주: 1) 잉여배출량은 2000년 온실가스 배출량 대비 각 연도의 배출량 저감으로 인해 추가로 배출 가능한 양을 의미하고, 음(-)의 잉여배출량은 의무감축량을 의미함.

교토의정서 이행에 따라 2013년부터 기준 시점(2000년) 배출량의 5%를 배출허용수준으로 할 경우의 잉여배출량 수준은 온실가스 저감수단이 작동하지 않을 경우 2013년에 배출허용수준을 약 4만 4천 CO<sub>2</sub>톤 정도 초과

하여 감축의무가 부과되는 것으로 나타났다. 그러나 개발된 저감기술을 최대한 활용하는 경우 농업부문에서 약 87만 5천 CO<sub>2</sub>톤의 잉여배출량이 발생할 것으로 추정된다. 또한 2020년에는 저감전 잉여배출량이 40만 6천 CO<sub>2</sub>톤이었으나, 저감 후에는 이보다 10배 정도 증가한 408만 1천 CO<sub>2</sub>톤의 잉여배출량이 발생하여 국내 산업간 배출권 거래가 이루어질 경우 농업부문에 수익을 발생시킴으로써 중요한 기회요인으로 작용할 것으로 평가된다<그림 17>.

그림 17. 농업부문 전체 배출량 및 배출저감량 전망

단위: 천 CO<sub>2</sub>톤



온실가스 저감기술 잠재력은 앞에서 제시된 바와 같이 기술적 가능성을 기초로 하고 있으나 개발된 기술의 저감잠재력이 실제로 실현되기 위해서는 경제성이 뒷받침되고 기술보급을 위한 적절한 정책이 추진되어야 한다. 특히 질소비료 사용량을 줄여 아산화질소 발생량을 감축하는 방안과 장내발효 개선 등의 감축기술 등이 농업부문 온실가스 관리에 큰 비중을 차지하고 있어 기후변화대책과 친환경농업 육성프로그램을 연계하고 가축의 장내발효 개선 기술을 보급하는 실효성 있는 프로그램이 마련되어야 한다.

## 제 5 장

### 교토의정서 이행 관련 주요국의 농업부문 대응사례

교토의정서에 따라 「부속서 I 국가」인 선진국의 경우 2008년부터 시작되는 1차 공약기간에 국가별로 설정된 온실가스 의무감축 목표를 달성하기 위해 적절한 대책을 마련하여 추진해야 한다. 제5장에서는 온실가스 의무감축 이행을 앞두고 있는 일본과 덴마크, 독일, 영국 등 EU국가, 교토의정서에 서명하지는 않았으나 세계 온실가스 배출의 상당한 부분을 차지하고 있는 미국 등 주요 4개 국가의 농업부문 대응사례를 살펴보고자 한다. 이들 주요국의 온실가스 감축의무 대응과 관련하여, 농업부문의 온실가스 배출실태에 대한 진단과 분야별 대책은 국내 관련분야 대책 수립에 벤치마킹 자료로 활용하게 될 것이다.

## 일본

### ■ 온실가스 배출 실태와 대책

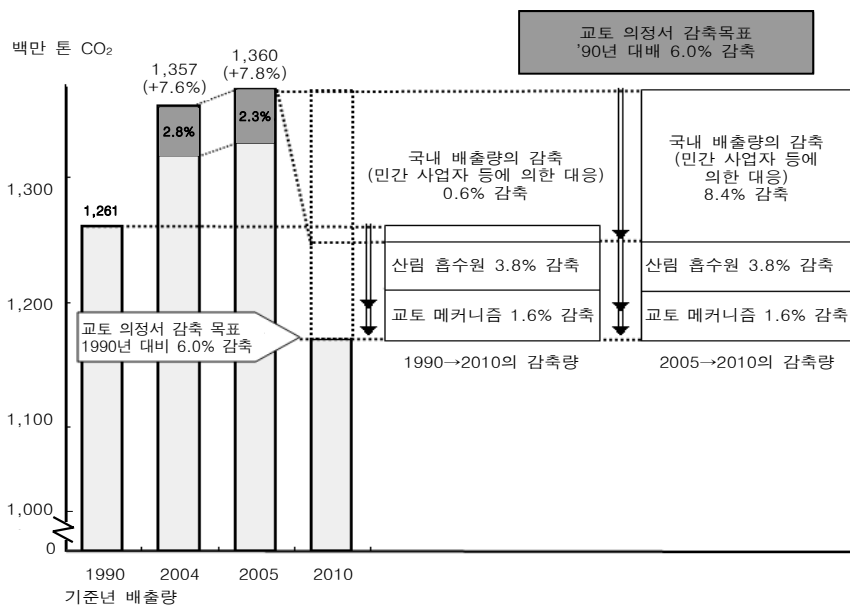
일본의 국토면적(2005년 기준)은 3,779만 ha로 산림이 2,532만 ha로 67%, 경지면적은 469만 ha로 12.4%를 차지한다. 일본경제는 2000년 이후에도 1~2%의 경제성장이 지속되고 있어 온실가스 배출량도 계속하여 증가하고 있다.

온실가스 총배출량(2005년 기준)은 13억 6,100만 CO<sub>2</sub>톤으로 이 중 농업부문 배출량은 2,980만 CO<sub>2</sub>톤으로 약 2%를 차지한다. 온실가스 총배출량은 교토의정서에 따른 의무감축 기준시점인 1990년 대비 7.8% 증가하였으나, 농업부문 배출량은 10.9% 감소한 것으로 나타났다. 온실가스 배출원별 농업부문이 차지하는 비중을 보면 메탄이 69.5%, 아산화질소가 57.2%로 비이산화탄소 배출원 가운데 농업부문이 상당한 비중을 차지하고 있다.

일본은 교토의정서에 따라 1차 공약기간에 1990년 대비 6% 온실가스 감축의무를 요구받고 있다. 그러나 2005년 온실가스 배출량은 1990년 대

비 7.8% 증가하여 이 기간에 실질적으로 8.4% 감축이 이루어져야 하므로 현실적으로 교토의정서의 6% 감축 목표치 달성이 어려운 상황에 있다<그림 18>. 이에 따라 목표치 달성 계획을 재평가하고 수정하는 작업을 진행 중에 있다. 일본 정부는 온실가스 의무감축 목표 달성을 위해 부처별 협의체인 ‘지구온난화대책 추진본부’를 설치하여 여러 가지 정책프로그램을 추진해오고 있다. 2005년부터 온실가스 배출 감축을 유도하기 위해 관련된 업체의 자발적 참가형태의 국내 배출권거래제도를 추진하고 있다. 2007년 6월에 지구온난화에 대비한 국가적인 대책으로 ‘21세기 환경입국 전략’을 발표하였고, 농림수산성은 농림수산 부문에 초점을 맞춘 ‘농림수산성 지구온난화 대책종합전략’(農林水産省, 2007)을 발표하였다. 농림수산성의 종합전략의 핵심은 산림의 흡수원(forest sink) 증진, 농축산 부문의 온실가스 감축, 지구온난화 적응 및 국제협력 등을 담고 있다.

그림 18. 일본의 온실가스 배출량 및 감축목표 설정



자료: 일본 환경성(2007).

## ■ 농업부문의 지구온난화 대응전략<sup>16</sup>

일본의 온실가스 감축을 위한 농업부문의 주요 대응책은 국가의 감축목표치 설정과 직접적으로 연계된 부문에서 ‘바이오매스 자원의 순환이용’, ‘식품산업 등의 환경 자주행동 계획의 추진’ 등이 제시되었다. 또한 감축목표치가 설정되지 않은 부문에서는 ‘시설원예 및 농업기계의 온실효과가스 배출감축대책’, ‘환경보전형 농업 추진에 의한 시비량 적정화·절감’ 등 자율적 감축대책을 수립하여 추진하고 있다. 일본 농림수산성의 지구온난화 종합대책은 경감대책, 적응대책, 국제적 협력 등 세 부문으로 나누어 부문별 전략이 제시되어 있다.

### 농업부문 온실가스 감축대책

#### 가. 감축의무 목표와 직접 연계된 농업부문 대책

교토의정서에 따른 온실가스 감축목표 달성을 위해 교토목표달성계획(Kyoto Target Achievement Plan)을 수립하여 부문별 구체적인 계획을 수립하여 추진하고 있다. 국가적인 온실가스 감축목표와 직접적으로 연계된 농업부문의 대책으로는 바이오매스 활용과 식품산업의 자발적 실행계획 등을 들 수 있다.

바이오매스 자원의 순환 이용대책은 기본적으로 바이오매스 자원 활용의 경우 대기 중 이산화탄소가 증가하지 않는 탄소 중립적(carbon neutral) 특징을 가지고 있어 농업부문의 핵심부문으로 다루고 있다.<sup>17</sup> 우선 벳짚과

<sup>16</sup> 일본의 농업부문 지구온난화 대응전략에 관한 내용은 ‘농림수산성 지구온난화 대책종합전략’(2007)에 제시된 내용을 중심으로 요약한 것임을 밝혀둔다. 종합전략의 전체 내용에 대한 번역 자료는 김창길 외 3인(2007)에 제시되어 있다.

<sup>17</sup> 바이오연료의 탄소중립성이란 바이오연료 연소 시 이산화탄소가 배출되지만 이산화탄소는 바이오연료의 원료인 바이오매스 성장 시 광합성을 통해 대기 중에서 흡수한 이산화탄소이므로 순 배출량은 0이 된다는 것을 의미한다.

목재의 섬유소와 에너지작물 재배 등을 통해 바이오에탄올 생산을 효율적으로 제조할 수 있는 기술개발을 지원하고 있다. 아울러 일본 정부는 2010년까지 농촌지역에 부존하는 다양한 바이오매스 자원을 활용하는 300개 지구의 바이오매스타운 구축을 적극적으로 지원함으로써 약 100만 CO<sub>2</sub>톤의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

국가 온실가스 감축목표 달성과 연계된 농업부문의 두 번째 대책으로 식품산업 등의 환경 자주행동 계획을 들 수 있다. 2006년 기준 에너지사용량이 많은 16개 식품업체(식품제조업 14개, 식품유통업 1개, 외식산업 1개)를 대상으로 자발적인 온실가스 감축 행동 실천을 독려하고 있고 이들 대상업체가 식품제조업 배출량의 약 50%를 차지하는 것으로 추정하고 있다. 식품산업분야의 환경 자주행동 계획을 통한 온실가스 감축목표량은 2010년 약 4,240만 CO<sub>2</sub>톤으로 설정하고 있다. 또한 ‘식품순환자원의 재생 이용 등의 촉진에 관한 법률’(약칭하여 식품재활용법, 2000년 제정, 2001년 시행)을 근거로 식품산업으로부터 대량 발생하는 식품폐기물에 대한 발생 억제를 추진하면서 사료나 비료 등으로의 재활용을 적극 추진하고 있다.

#### 나. 감축의무 목표와 연계되지 않은 농업부문 대책

교토의정서의 온실가스 감축목표와 직접적으로 연계되지 않은 자발적인 농업부문 대책으로 시설원예 및 농기계의 온실가스 배출량 저감, 친환경농법 확대를 통한 적정 시비, 축산부문의 온실가스 감축 등을 들 수 있다.

시설원예 및 농기계의 온실가스 감축 대책으로 에너지 절약 및 에너지 효율 제고를 통한 시설원예의 에너지 절약 방안을 추진하고 있다. 에너지 절약 시설원예 모델 도입과 에너지 절약 및 관리 매뉴얼 보급, 고효율 난방기 도입 등을 통해 시설원예 부문의 에너지 절약을 적극 추진하고 있다. 또한 에너지 절약형 농업기계의 보급 확대 및 바이오디젤 농기계 이용 촉진, 온실가스 배출 감축에 기여하는 농기계의 개발과 실용화 촉진을 위한 지원정책을 추진하고 있다. 이와 같이 시설원예 및 농기계의 온실가스 감축 수단을 통해 2010년까지 약 25만 CO<sub>2</sub>톤의 감축목표를 설정하고 있다.

친환경농업 실천농가(Eco-farmer)의 온실가스 감축을 유도하기 위해 적정영농규범(Good Agricultural Practices, GAP)의 보급, 퇴비를 이용한 토양 육성과 화학비료 사용절감 기술지도 등을 적극 추진하고 있다. 지역별 품목별로 적정시비량 사용 유도, 유기농업 실천농가 육성을 통한 화학비료 사용량 감축도 주요한 과제로 추진하고 있다. 특히 논농사의 메탄감축을 위해 간단관개와 벼짚의 퇴비화 추진, 완효성비료 사용, 시비 방식의 개선 등을 통해 아산화질소 감축도 적극 추진하고 있다. 이러한 벼농사의 시비 방식 개선 등을 통해 2010년까지 약 16만 7천 CO<sub>2</sub>톤의 감축목표를 설정하고 있다.

축산부문의 온실가스 감축을 위해 가축분뇨의 바이오가스화와 사료자급률 향상 대책을 추진하고 있다. 2006년에 75개소의 가축분뇨 바이오가스 플랜트가 가동되고 있다. 또한 사료자급률을 향상시키기 위해 벼짚의 사료 이용 확대와 벼짚 태우는 행위를 줄임으로써 아산화질소 및 메탄 배출 감축에 기여하고 있다. 일본은 사료자급률 제고를 위한 벼짚 수급 지도 작성과 광역유통체계 확립 등 체계적인 프로그램을 수립하여 추진하고 있다. 이 밖에도 지역자원으로 농업용수를 이용한 소규모 수력발전소(micro-hydro power)를 설치하여 농업수리시설의 관리용 전력으로 이용하고 있으며, ‘지산지소(local production for local consumption)’ 운동 확산을 통해 환경친화적인 생활방식 실천을 유도하고 있다.

## 지구온난화 대비 농업부문 적응대책

지구온난화의 농업부문 적응대책은 기후변화에 따른 불가피한 현실로 미래 기후변화 예측 결과를 토대로 품종육성 및 생산안정 기술의 개발 등 체계적인 대책을 수립하여 추진하고 있다.

우선 지구온난화 적응책으로 ‘품목별 적응책 리포트·공정표’의 지침을 작성하여 현장에 보급하고 지도하는 사업을 지속적으로 추진하고 있다. 또한 농업용수와 농업수리시설 등은 지구온난화에 따른 기상변화로 다양한 영향을 받을 것으로 예상되어 이들 분야에 대한 적응대책도 마련 중에 있다. 특



히 지구온난화가 일본의 식량수급에 미치는 영향과 관련, 식량생산 측면에 대한 직접적인 영향과 바이오연료의 세계적인 수요 증가에 의한 바이오연료 원료작물과 식량 경합을 반영한 세계 식량수급에 관한 중·장기적 예측을 기초로 일본 식량수급예측을 통해 적절한 대응방안을 강구하고 있다.

## 온실가스 관련 기술개발

농업부문의 온실가스 관련 기술개발은 크게 온실가스 감축기술, 통계의 신뢰도 제고를 위한 배출계수 개발, 온난화 적응기술 개발 등으로 나누어 이루어지고 있다.

농업부문 온실가스 감축 대책의 기술개발에 대해서는 온실가스 배출 억제에 기여하는 가축의 사육(소화기관 내 발효)기술, 가축분뇨 처리기술, 쌀 생산 재배기술(유기물 관리·물 관리) 등의 연구개발을 추진하고 있다. 또한 농지의 토양 유기탄소저장 메커니즘을 해명하기 위해 탄소순환모델 개발과 이를 이용한 새로운 배출감축기술, 탄소 흡수기능을 촉진하는 기술개발도 이루어지고 있다. 특히 일본은 온실가스 배출량을 정확하게 파악하기 위해 온실가스 배출계수 산정에 관한 연구를 지속적으로 추진하고 있다. 이 밖에도 가축분뇨 관리 및 경작지에서의 유기질 비료 사용 등에 따라 발생하는 온실가스 배출계수 설정, 식품폐기물의 사료화와 퇴비화의 온실가스 배출에 관한 전과정평가와 기여도 분석 등에 관한 연구를 추진하고 있다.

## 미국

### ■ 온실가스 배출 실태

미국의 국토면적(2005년 기준)은 9억 1,920만 ha이고, 농경지가 1억 3,760만 ha로 15%를 차지하고 있다. 미국 경제는 2000년 이후에도 2~4%

의 경제성장이 지속되고 있어 온실가스 배출량은 증가추세를 보이고 있다.

미국의 온실가스 총배출량(2005년 기준)은 72억 6,040만 CO<sub>2</sub>톤이며, 이 중 농업부문 배출량은 5억 3,630만 CO<sub>2</sub>톤으로 7.4%를 차지한다. 2005년 온실가스 총배출량은 1990년 대비 16.3% 증가하였으며, 농업부문 배출량은 이 기간 중에 1.1% 증가하였다. 농업부문에서 배출되는 온실가스는 가축 장내발효와 가축분뇨 처리, 논벼 재배와 농산부산물 소각 등으로부터 메탄이 발생하며 농경지의 비료사용과 가축분뇨처리 및 농산부산물 소각 등으로부터 아산화질소가 배출된다. 이러한 농업부문에서 발생하는 온실가스가 배출원별 비중에서 차지하는 비중은 메탄 29%, 아산화질소 78%로 나타나 비이산화탄소의 배출에서 농업부문이 상당한 비중을 차지하고 있다.

## ■ 농림업부문 온실가스 감축 접근방식<sup>18</sup>

미국은 농업부문의 온실가스 감축과 관련, 탄소저장과 바이오매스 생산에 초점을 맞추고 관련 정책프로그램을 추진하고 있다.

미국은 광활한 토지자원을 가지고 있기 때문에 탄소저장을 통한 온실가스 감축 전략에 상당한 관심을 가지고 있다. 농경지의 탄소저장에 대한 정확한 평가를 위해서는 신뢰성 있는 과학적 분석이 전제되어야 한다. 탄소저장을 통한 온실가스 저감량은 대략 총 온실가스 배출량의 10% 이상으로 추정되고 있다. 교토의정서에 제시된 미국의 온실가스 의무감축량은 약 14억 5,500만 CO<sub>2</sub>톤임을 가정할 때, 탄소저장 잠재량은 약 7억 2,000만 CO<sub>2</sub>톤이므로 탄소저장을 통해 온실가스 의무감축량의 50%를 달성할 수 있는 것으로 평가된다.

<sup>18</sup> 미국의 온실가스 감축에 대비한 농업부문의 대응전략에 관한 내용은 김만근 교수의 “미국 농림업부문의 온실가스 저감정책 전략”에 제시된 내용을 요약하여 제시한 것임을 밝혀둔다. 미국의 농업부문의 저감정책 전략을 다룬 보고서의 전체 내용은 김창길 외 3인(2007)에 제시되어 있다.

일반적으로 탄소저장 활동은 조방적 경작방식이나 보전경운과 무경운 등을 도입하거나 농경지를 탄소저장 능력이 큰 초지나 산림으로 전환하는 경우 보다 활발하게 이루어질 수 있다. 이러한 탄소저장 활동을 촉진시키기 위해서는 비용이 발생하므로 적절한 수준의 보상과 인센티브 프로그램 등 적절한 정책수단이 마련되어야 한다. 미국은 농업부문의 생산자 및 토지소유자가 매우 많기 때문에 탄소저장 프로그램 운용 시 행정상, 관리상의 어려움이 많을 수 있다는 점이 지적되고 있다. 최근에는 탄소저장에 따른 온실가스 감축분을 거래할 수 있도록 국내배출권거래제의 유형인 환경크레딧거래제(environmental credit trading system) 도입에 대한 관심이 커지고 있다. 이 제도는 농업부문의 탄소저장에 따른 온실가스 감축분을 비농업부문에서 매입하여 활용하는 방안으로 농업부문의 온실가스 감축에 대한 기여도를 적절하게 인정해주는 제도적 장치로 볼 수 있다. 실제로 탄소저장을 이용, 배출권거래의 개념을 도입하여 활발히 활동하는 그룹 중 하나가 기후신탁(Climate Trust)이다.<sup>19</sup> 기후신탁은 비영리단체로 여러 가지 온실가스 저감 프로젝트를 시범운영하고 있다. 기후신탁은 탄소 배출권이 필요한 여러 기업들이 공동출자한 자금으로 펀드를 설립하여 탄소 배출권을 획득하거나 독자적으로 확보한 탄소 크레딧을 재판매하기도 하며 시카고 기후거래소에서 획득한 탄소 크레딧을 판매할 계획도 가지고 있다.

농업부문에 탄소저장 활동을 도입하기 위한 기본적인 정책수단으로는 자발적 참여, 명령과 규제, 세금 또는 보조금, 비용분담 등을 들 수 있다. 아울러 정책실행 시 공공의 소유권을 강조해야 하는지 사유재산권을 존중해야 하는지도 중요한 이슈이다.

정책결정 시 고려해야 할 중요한 요소는 경제적 비용과 환경효과성(environmental effectiveness)이다. 탄소저장 프로그램의 비용은 톤당 탄소 가격으로 나타낼 수 있는데 지난 15년간 탄소저장과 관련된 연구는 대부분 톤당 탄소가격과 탄소저장 잠재량을 추산하고 있다. 톤당 탄소가격 외

<sup>19</sup> 기후신탁에 관한 보다 상세한 내용은 인터넷 관련 프로그램 사이트에서 제시하고 있다(<http://www.climatetrust.org/>).

에도 정부는 탄소저장 프로그램과 관련된 인프라 확충을 위한 탄소저장 프로그램 운용 서류절차, 예산, 관련활동, 관련 연구 지원, 생산자 교육 등이 이루어질 수 있도록 구체적인 프로그램을 마련해야 한다. 또한 정책결정자가 탄소저장 프로그램의 비용 최소화를 위해 고려해야 할 사항으로는 친환경성과 효과성, 합법성 등을 들 수 있다.

다음으로 바이오매스를 이용한 바이오연료 또는 바이오에너지는 화석연료의 대체재로 사용할 수 있기 때문에 온실가스 저감의 유력한 수단으로 주목을 받고 있다. 아울러 최근 원유를 중심으로 한 에너지가격의 급등은 바이오연료 생산의 또 다른 유인으로 작용하고 있다. 바이오연료가 온실가스 저감방안이 되는 이유는 바이오연료의 탄소중립성(carbon neutral)에 기인한다. 바이오연료의 연소는 대기 중의 이산화탄소 변화를 일으키지 않는다는 것이다. 물론 실제로 바이오매스를 생산하는 동안 사용한 질소비료, 농기계, 그리고 바이오매스를 수송하고 바이오연료로 변환하는 과정에서 온실가스가 발생할 수 있기 때문에 온실가스 순 배출량이 0이 될 수는 없다. 실제 경제모형에서는 대략 80~90%의 탄소 사이클 효율성, 즉 바이오연료 연소 시 배출된 이산화탄소의 80~90%는 재활용되는 것을 가정한다.

바이오연료의 성공의 열쇠는 바이오매스 생산기술과 바이오연료로의 전환 기술에 달려 있다. 기술개발을 통해 적정 수준의 비용으로 바이오매스 생산과 에너지 변환이 가능하다면 미국 총 석유소비의 30%까지 대체할 수 있을 것으로 전망된다(Perlack et al, 2005). 바이오연료는 기후변화협약의 대응전략 차원의 포트폴리오뿐만 아니라 에너지 공급의 다원화 차원에서 중요한 역할을 하고, 아울러 농업인들에게 새로운 소득원으로도 기여하고 있다.

현재 미국에서 바이오연료 중 급성장하고 있는 분야는 옥수수나 사탕수수에서의 에탄올 생산이다. 에탄올 산업은 최근 원유가격의 급등과 미국 정부의 에너지정책법(Energy Policy Act of 2005)에 힘입어 급성장하고 있다. 에탄올 생산비용은 옥수수 가격에 주로 좌우되나 자본비용을 포함하여 대략 갤런당 1.2 달러 정도이다. 중장기적으로 원유가격의 급등이 지속될 경우 에탄올은 상당한 가격경쟁력을 가질 것으로 전망된다(USDOE - EIA,

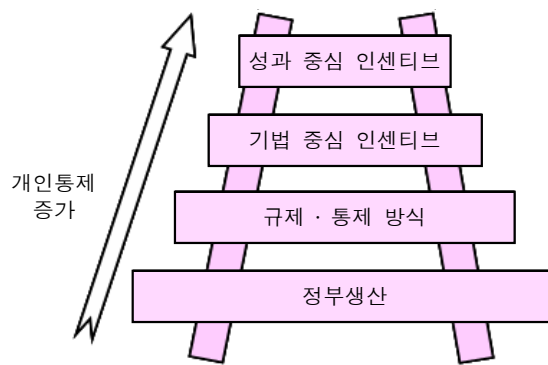
2005). 또 다른 바이오연료로 부각되고 있는 분야가 바이오디젤이다. 바이오디젤은 주로 콩기름(soybean oil)으로부터 생산된다. 최근 바이오디젤에 대한 관심이 크게 증가한 이유는 미국 농무부가 바이오디젤 생산을 위한 콩 생산자에게 세금감면 혜택을 제공했기 때문이다. 하지만 바이오디젤은 에탄올과 달리 콩기름 시장과의 경쟁 때문에 바이오디젤 생산량은 크게 늘지 않을 것으로 전망되고 있다.

### ■ 단계적 프로그램 추진을 위한 사다리 접근

정책결정자는 제도적, 법적, 정치적으로 현실성 있는 비용효과적인 탄소저장 프로그램을 선택해야 한다. 정책수단에 따라 정부 주도의 명령 및 통제 정책과 토지소유자의 자유로운 의사결정을 통한 프로그램의 운영방법도 있다. 물론 정책수단에 따라 납세자에게 탄소저장의 비용을 전가할 수도 있고 온실가스 배출주체에 비용을 전가할 수도 있다.

효과적인 정책수단 집행을 위해서는 기후변화 대응 정책의 단계별 추진 방식인 네 단계의 사다리 접근 방식을 적용할 수 있다<그림 19>.

그림 19. 미국의 온난화 대응 정책수단 사다리



첫째는 정부생산(government production) 단계로 농무부와 관련 연구기관 등 정부의 자체자원과 인력을 동원한 탄소저장 프로그램을 들 수 있다. 이 단계에서는 탄소저장 및 온실가스 저감방안에 대한 교육, 연구, 정보의 보급 등을 들 수 있다. 정부의 역할로 미국 농무부 산하의 자연자원보전처(NRCS)는 토양 및 수자원 보호구역 내에서 토지 소유자 교육을 맡고 있으며, 탄소저장과 관련된 교육 및 정보의 보급을 웹사이트를 통해 사이버 교육을 실시하고 있다.

둘째는 명령과 통제(command-and-control) 단계로 정부가 농업인 및 개별 토지소유주에게 특정한 탄소저장 활동을 채택하도록 강요하는 방식으로 탄소저장 활동으로 수반되는 비용은 토지소유주가 부담해야 한다.

셋째는 실행 인센티브(practice-based incentives) 단계로 실행을 기초로 한 유인책을 통해 정부가 탄소저장 프로그램에 대한 재정 인센티브를 제공하고 농업인 또는 토지소유자가 자발적으로 프로그램을 도입하는 방법이다. 농업인 및 토지소유자가 탄소저장 프로그램을 도입하면 정부는 적절한 재정적 보조를 제공한다.

넷째는 성과 인센티브(result-based incentives) 단계로 사적 토지소유자에게 탄소저장의 목표를 최소의 비용으로 달성할 수 있도록 융통성을 부여하는 방식이다. 정책 참여자는 자신이 처한 상황과 토지의 성격, 지역의 환경에 맞도록 적응할 수 있는 기회를 제공하며, 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 대별될 수 있다. 성과 인센티브 프로그램은 측정, 모니터링, 확인 비용이 수반되며, 실행 인센티브 프로그램은 자발적인 보고나 시각에 의한 조사만으로도 충분하게 이루어질 수 있다.

## ■ 자발적 메탄프로그램

자발적 메탄 프로그램은 미국 환경처가 중심이 되어 산업계와 주정부 등이 협력하여 메탄을 자발적으로 감축하는 프로그램이다. 특히 AgSTAR 프로그램은 바이오가스 복원시스템을 이용하여 가축분뇨처리 과정에서 발생하는 메탄을 전력생산에 이용하도록 유도하고 있다.<sup>20</sup>

## ■ 재정적 지원프로그램과 감축정책 포트폴리오

미국 농무부는 2003년부터 자발적인 온실가스 감축에 따른 재정보조금 제도를 시행해오고 있다. 집약도가 낮은 경작방식이나 무경운 방식 도입 등을 통해 탄소저장량도 증가(탄소저장)시킬 뿐만 아니라 농기계 및 비료 시비를 줄여 직접적인 온실가스 감축도 유도하고 있다.

농림업 부문에서 온실가스 저감수단으로 고려할 수 있는 프로그램인 탄소 크레딧은 탄소저장의 특성, 즉 영속성, 추가성, 누출성, 불확실성 등 때문에 직접 감축을 통해 획득한 탄소 크레딧과는 가치가 다를 수 있다. 따라서 탄소 저장으로 획득한 온실가스 감축량은 가격이나 또는 양적 할인이 필요하다.

## E U

## ■ EU의 교토의정서 이행 관련 대응책

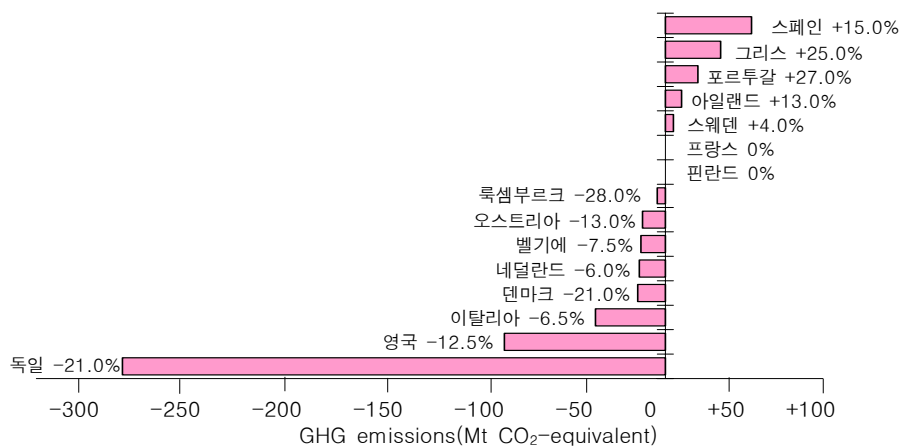
### EU의 교토의정서 이행 방식

EU는 1998년 4월 교토의정서에 서명한 후 회원국들은 1차 공약기간에 온실가스 배출량을 1990년도 수준보다 8% 감축하는 공약을 발표했다. 온실가스 의무감축을 확실하게 이행하기 위해 1998년 6월에 ‘부담 공유약정’(Burden Sharing Agreement)이 체결되어 당시 15개 회원국별 개별 배출 목표량이 설정되었다.

<sup>20</sup> AgSTAR프로그램은 미국 환경처(EPA), 농무부, 에너지부 등 세 기관이 공동으로 후원하여 이루어지는 자발적인 메탄 감축 프로그램이다. 이 프로그램은 1993년에 시작되어 집약적 가축사육에서 발생하는 액비와 슬러리를 이용하여 바이오가스를 생산하는 메탄 복원기술 활용이 핵심이다. 프로그램의 운용지침 핸드북 및 소프트웨어 등에 관해서는 미국 환경처 웹 사이트에 상세하게 제시되어 있다([www.epa.gov/agstar/index.html](http://www.epa.gov/agstar/index.html)).

덴마크, 독일, 룩셈부르크 등 일부 회원국들은 상당한 감축을 공약하였지만, 스페인, 그리스, 포르투갈 등에서는 지속적인 배출 증가에 대한 여지를 남겨 두었다. 아래 그래프는 부담 공유약정에 의거하여 기준연도의 배출량과 비교한 최초 공약기간 동안 기존 EU 15개 회원국 및 신규 회원국들의 개별 감축 목표를 보여주고 있다<그림 20>.

그림 20. EU 회원국들의 온실가스 배출량 목표(2008~2012)



부담공유약정에 따라 각 회원국은 온실가스 감축 목표를 달성할 의무를 준수해야 하고, 신규 회원국 10개국은 이 약정이 적용되지 않지만 교토의정서에서 계획된 대로 개별 목표를 이행하여야 한다.

2000년 EU는 유럽기후변화프로그램(European Climate Change Program, ECCP)을 수립하여 회원국의 온실가스 감축목표 달성을 위한 산업부문별 친환경적이고 비용효과적인 구체적 방안을 제시하였다. 핵심적인 정책수단으로 2005년 1월 제조업 및 에너지 관련 산업을 대상(EU 27개 회원국에서 약 1만 1,500개의 시설물)으로 EU 배출권거래제(Emission Trading System, ETS)의 공식적 운용을 발표하였다. EU 배출권거래제에 적용되는 시설물은 매년 온실가스 배출 허용량이 배정되고, 허용량보다 더 많은 온실가스를 배출하면 시장에서 잉여허용량을 갖는 부문으로부터 배출권을 구입해야 하며 이러한 규정을 이행하지 않는 경우 초과 배출량에 따라 벌금을 납



부하도록 하고 있다.<sup>21</sup> 이 제도는 초기에는 성과가 미흡하였지만 향후 온실가스 감축에 상당히 기여할 것으로 평가되고 있다. EU 배출권거래제에 농업부문의 포함 여부에 대해 상당한 논의가 있었으나 농업부문의 이질적 특성과 배출원의 지역적 상이성, 모니터링의 어려움 등으로 회원국 간 합의를 이루지 못했다(Defra, 2007). 온실가스 감축과 관련 EU의 공동농업정책은 경작포기 농지에서 에너지 작물을 생산하는 경우 ha당 45유로를 지원하고 있다.

2007년 1월 ‘에너지 및 기후 통합패키지(Integrated Energy and Climate Package)’를 수립하여 2020년을 목표연도로 온실가스 배출량 20% 감축과 에너지 효율성 20% 증가, 재생에너지 점유율 20% 달성 등 야심찬 실행프로그램을 제시하였다.

## 농업부문의 온실가스 배출 실태와 대응책<sup>22</sup>

2005년 EU 27개국 전체 온실가스 배출량 가운데 농업부문이 약 9%로 농업부문의 산업구조 기여도보다 상당히 높은 비중을 차지하고 있다. 특히 농업부문은 에너지 다음으로 온실가스를 많이 배출하는 부문으로 간주되고 있다. EU 농업은 1990년 이후 생산규모가 감소하고 있고, 여기에 환경문제를 중시하는 공동농업정책 개혁에 따라 가축사육두수와 화학비료 사용량도 줄어들어 온실가스 배출량은 1990년 대비 약 11%나 감소하였고 향후 지속적인 감소가 예상되고 있다.

지구온난화 대응 온실가스 감축 대책은 2000년 이후 지속가능한 농업환

<sup>21</sup> 최초 거래기간 동안 벌금은 톤당 40유로이지만 2008년부터 100유로까지 올라갈 것이다. 운영자들은 또한 다음 해에 부족분을 메우기 위해 허용량을 얻어야 한다.

<sup>22</sup> 교토의정서 이행에 따른 EU의 농업부문 대응책은 상당한 부분이 Anderson 박사에게 원고 작성을 의뢰하여 수행된 “EU 농업부문에서 교토의정서 준수 대책”을 요약한 내용임을 밝혀둔다. EU 농업부문의 온실가스 저감정책을 다룬 보고서의 전체 내용은 김창길 외 3인(2007)에 제시되어 있다.

경정책과 연계하여 비료효율 개선과 적정영농규범의 실천 및 바이오에너지 작물 생산 등으로부터 본격적으로 추진되고 있다. 농업부문의 온실가스 완화를 위한 주요 대책으로 바이오에너지작물 생산, 유기농업 육성, 교토 메커니즘 활용, 토양유기탄소 활용, 감축 기술개발 등을 들 수 있다.

바이오에너지 작물 생산은 재생가능 에너지 공급을 통해 화석연료의 사용을 대체함으로써 온실가스 감축에 기여할 수 있다. EU에서 재배되는 바이오에너지 작물로 유채씨, 목화씨, 야생겨자, 대마 및 해바라기 등 채종유 작물 등을 들 수 있다. 또한 농업부문 바이오에너지원으로 벼짚 활용과 가축분뇨의 바이오 가스 생산 등을 촉진하기 위한 프로그램이 개발되어 활용되고 있다.

온실가스 감축을 위한 농법전환 방식으로 유기농업 실천을 들 수 있다. 유기농업을 실천하는 경우 온실가스 감축이 어느 정도 이루어지는지에 관한 확실한 연구 성과는 미흡한 실정이다. 그러나 분명한 사실은 유기농을 실천하면 아산화질소 배출원인 질소비료 등 무기질비료를 사용하지 않는다는 점이며, 토양비옥도를 높이기 위해 다양한 유기질 비료원을 투입하는 경우 온실가스 배출에 기여할 수 있다는 점이 강조되고 있다.

농업부문에서 교토메커니즘을 활용하는 방안으로 청정개발체제 사업 추진을 들 수 있다. 농업분야의 청정개발체제 사업은 아직 활발하게 이루어지지 않고 있지만, 적용분야로 장내발효의 감소, 가축분뇨 관리 개선, 비료와 농약 등 농업투입재 관리, 벼 재배관리 개선, 바이오가스 생산 플랜트 등을 들 수 있다. 특히 가축분뇨(돼지분뇨) 처리시스템 개선을 통한 온실가스 감축은 기후변화협약에서 공인된 청정개발체제 방법론이 제시되고 있다. 농축산부문의 청정개발체제 사업 활성화와 관련 소규모 청정개발체제 방법론(ACM0010) 적용을 위해 각 분야별 표준화된 방법 개발을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>23</sup> 현재 EU에서 청정개발체제 사업으로 개발된

<sup>23</sup> CDM 이사회에서 승인된 베이스라인 방법론(Approved Consolidated Baseline Methodology)인 ACM0010은 가축분뇨시설의 온실가스 배출량 감축에 적용되는 단계적인 지침을 제시하고 있다(<http://cdm.unfccc.int/methodologies/aaproved>).

프로젝트는 약 2,551개가 있는데, 이 중 농업부문과 관련된 사업은 6.9%를 차지하는 177개에 달한다. 농업분야의 청정개발체제 사업은 10개의 승인된 바이어가 94개 사업을 본격적으로 추진하고 있다<표 19>.

농업부문의 온실가스 배출을 완화하기 위한 조치로 토양탄소저장(soil carbon sequestration)을 들 수 있다. 탄소흡수 장치로 토지 및 산림 이용에 관해서는 교토의정서에 온실가스 흡수원으로 인정되고 있어, 휴경농지와 경작 포기농지 및 산림을 대상으로 토지이용, 토지이용 변화 및 산림의 탄소 크레딧 거래의 적용 가능성에 대해 논의되고 있다. 아직은 토양탄소저장을 온실가스 완화수단으로 활용하기 위한 효과적인 인센티브가 미흡한 실정이다.

최근 교토의정서 이행에 대응하여 EU 농업부문의 추진 전략으로 토양의 탄소저장을 둘러싼 불확실성과 기후변화에서 국제적인 리더십 발휘에 관한 논의가 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 온실가스 흡수장치로 토지 이용, 토지이용 변화 및 산림 활용과 관련 경작지 토양의 유기탄소 누적 비율, 흡수장치의 영구성 및 측정, 자연적요소와 상호작용 등 불확실성에 대한 분석적 연구가 이루어져야 할 것이다.

표 19. EU에서 적용되고 있는 농업부문 청정개발체제 바이어와 유형

| 승인된 바이어            | 국적   | 조직 유형 | 농업 |
|--------------------|------|-------|----|
| AgCert             | 이스라엘 | 탄소 시장 | 49 |
| Alimentos Euroagro | 영국   | 농업    | 4  |
| Danish EPA         | 덴마크  | 공공    | 1  |
| EcoSecurities      | 영국   | 탄소 시장 | 8  |
| EDF Trading        | 영국   | 탄소 시장 | 15 |
| Mitsui & Co        | 일본   | 탄소 시장 | 1  |
| Noble Carbon       | 이스라엘 | 탄소 시장 | 9  |
| Rabobank           | 네덜란드 | 은행    | 1  |
| Tokyo Electric     | 일본   | 유틸리티  | 3  |
| TransAlta          | 캐나다  | 유틸리티  | 3  |
| 합 계                |      |       | 94 |

## ■ 덴마크

### 농업부문의 온실가스 배출 실태

덴마크의 국토면적(2003년 기준)은 430만 ha로 산림이 47만 ha로 11%, 농경지가 265만 ha로 62%를 차지한다. 덴마크 경제는 2000년 이후에도 2~3%의 경제성장이 지속되고 있어 온실가스 배출량은 증가추세를 보이고 있다.

2003년 덴마크의 온실가스 총배출량은 7,400만 CO<sub>2</sub>톤이고, 농업부문 배출량은 1,250백만 CO<sub>2</sub>톤으로 약 17%를 차지하며, 이 중에서 약 80%는 메탄가스와 이산화질소로 구성되며 20%는 이산화탄소가 차지하는 것으로 나타났다(Danish Ministry of the Environment, 2005). 특히 메탄가스 배출량의 대부분은 농업부문에서 발생하며, 2003년 17만 6천 톤에 달하며 이는 370만 CO<sub>2</sub>톤에 해당한다. 메탄은 축산부문의 장내발효와 가축분뇨에서 발생하는데, 주로 젖소 사육과정에서 발생한다. 또한 농업부문의 이산화질소 배출량은 2만 6천 톤이며, 이 가운데 77%인 약 2만 톤(620만 CO<sub>2</sub>톤)은 가축분뇨와 용해된 질소비료에서 발생된 것으로 추정된다.

교토의정서 이행과 관련, 덴마크는 EU 부담공유약정에 따라 1차 공약기간에 연간 평균 온실가스 배출량을 1990년 대비 21% 감축하는 것으로 공약하고 있다.

### 농업부문의 온실가스 감축 대책

덴마크는 기존의 친환경농업육성 핵심프로그램인 ‘수생환경 실행계획(Action Plans for the Aquatic Environment)’과 연계하여 온실가스 감축을 위한 다양한 정책프로그램을 추진해오고 있다.

농경지에서 발생하는 부산물의 소각을 금지하는 법(환경보호법, 1989)을 제정하여 집행해오고 있다. 기본적으로 농경지의 부산물 소각 금지의 메탄과 이산화질소 발생을 방지하기 위함이다. 덴마크는 수생환경 관리를 위한 특별 프로그램을 1980년대 후반부터 지금까지 지속적으로 추진해 오

고 있다. 1987년에 수립된 ‘수생환경 실행계획 I’은 덴마크의 수생환경 악화를 방지하기 위해 질소와 인의 총 배출량 목표를 설정한 실행프로그램이다. 특히 수질개선을 위해 가축분뇨 저장과 관련하여 최소 9개월의 저장 용량을 갖는 가축분뇨 슬러리 탱크의 설치와 농경지의 비료 살포계획 수립 등을 의무화하고 있다. 1991년에는 ‘수생환경 실행계획 I’의 실천에도 불구하고 질소 감축이 크게 이루어지지 않아 지속가능농업 실행계획이 추진되었다. 이 계획은 1994년부터 단계별로 이행될 화학비료와 가축분뇨 살포의 단위면적당 제한을 규정하였다. 이 조치는 작물의 질소 요구량을 기초로 한 질소 할당제(nitrogen quota system)와 가축분뇨의 질소 기준을 반영하여 수립되었다. 1998년에는 ‘수생환경 실행계획 II’가 수립되어 집약도 관리 요건으로 경제적 적정량보다 10% 저감한 작물 질소기준 준수, 가축분뇨에서 질소 이용요건의 강화, 유기농에서의 가축분뇨 퇴비화 촉진 및 바이오가스 활용 증대에 관한 프로그램이 추진되었다. 2004년에는 보다 효과적인 농업생태계의 관리를 위해 ‘수생환경 실행계획 III’를 발표하였다. 이 계획에는 질소와 인의 배출량 기준과 농경지 관리 목표를 포함하여, EU 수자원 관리 지침과 서식지 지침의 이행과 연계하여 향후 10년간(2005~2015)의 추진 내용이 제시되어 있다. 특히 여기서는 2003년 대비 2015년까지 최소한 13% 정도의 질소 감축과 이를 위한 지원 사업 강화와 민감 서식지 주변에 300m의 완충지대를 지정하는 내용을 포함하고 있다. 또한 유기농산물 판매를 지원하기 위해 환경세를 재원으로 활용하고 있다. 유기농업 확대를 통해 2008년부터 2012년까지 약 20만 CO<sub>2</sub>톤의 온실가스를 감축할 것으로 추정하고 있다.

이밖에도 아산화질소 감축을 위해 2001년에 암모니아 관리 실행계획(Ammonia Action Plan)이 수립되어 가축분뇨처리의 적정화, 퇴·액비의 저장시설관리 강화, 가축분뇨 살포 후 토양 덮기, 가축분뇨저장 및 슬러리 용기의 덮개 활용 의무화, 벚짚 암모니아처리 금지 등의 특별관리 프로그램이 추진되어 왔다. 이러한 암모니아 감축 조치를 통해 2010년까지 3만 4천 CO<sub>2</sub>톤에 상당하는 아산화질소를 감축할 수 있는 것으로 추정하고 있다.

농업부문의 바이오에너지를 활용한 온실가스 완화방안으로 가축분뇨 이용 바이오가스 플랜트 지원프로그램과 이를 위해 농업협동조합이 저장시설 설치와 수송 및 유통 등의 역할을 담당하도록 하고 있다. 덴마크에서는 ‘수생환경 실행계획 I’의 지원으로 1980년대 후반부터 중앙처리 바이오가스 플랜트와 농장규모의 바이오가스 플랜트가 설치되어 현재 60여 개에 달한다. 바이오가스 플랜트는 주로 돼지분뇨 등 유기폐기물을 이용하여 바이오가스를 생산하고 분해된 분뇨는 다시 농장으로 운반되어 유기질비료로 농경지에 투입된다.

## ■ 독일

### 농업부문의 온실가스 배출 실태

독일의 국토면적(2004년 기준)은 약 3,208만 ha로 농업용 토지가 약 1,700만 ha로 53%를 차지하고, 이 중 경작지는 1,190만 ha이다. 유기농 실천면적은 전체 농경지면적의 5% 정도를 차지하고 있다.

농업부문이 온실가스 총배출량의 약 6%를 차지하고, 화학비료와 축산부문으로부터 상당한 양의 메탄과 이산화질소가 배출되고 있다. 농업부문 메탄가스의 94%는 축우부문(낙농)으로부터 발생하는 것으로 나타나고 있다. 1990년부터 2003년까지 농림업 부문의 온실가스 배출량은 가축 사육두수 및 화학비료 사용량 감축 등으로 16.6% 감소하였으며, 이 기간 동안 메탄은 27%, 아산화질소는 16% 감축한 것으로 나타났다.

독일은 교토의정서 이행과 관련, 유럽의 부담공유약정에서 온실가스를 1990년 대비 2012년까지 21%의 감축목표를 설정하였다. 2003년 말에 이미 18.5%의 감축을 달성하여 독일정부는 감축목표를 상향조정하여 2012년에 30%의 온실가스 배출 감축을 공약하였다. 이와 같이 상당한 수준의 온실가스 감축에는 농업부문의 기여도가 높은 것으로 평가되고 있다.

## 농업부문의 온실가스 감축 대책

독일 정부는 2005년 국가기후변화프로그램에서 비이산화탄소 배출의 성공적인 감축을 강조하면서 이러한 추세가 지속될 것으로 기대하고 있다. 온실가스 감축에 농업부문이 상당한 역할을 담당하고 하고 있다. 농업부문의 온실가스 감축을 위한 대책으로 생태적 토지관리, 토양관리, 농업투자 지원, 유기농업 육성, 바이오에너지 분야의 정책프로그램을 들 수 있다.

연방 생태학적 토지 관리프로그램은 생태학적 토지관리 및 유기농업 육성을 위해 2002년에 착수되어, 약 70만 ha의 농경지를 대상으로 특별 관리하고 있다.

토지 관리는 ‘연방 토지보존법’에 따라 농업인들에게 적정영농규범을 준수하도록 하고 있다. 또한 ‘연방 자연보전법’에 따라 토양탄소 저장량을 확보하기 위해 목초지 경작 시 특별관리방식을 적용하고 있다.

보통 5년의 약정 체제로 환경친화적 실천조건 준수에 따라 상호준수 직불금을 지급하고 있다. 경작지 작물과 영구작물에 대해 생산방식 지원, 경작지의 목초지 전환, 유기농법 전환, 다년간 휴경지 유지 등을 포함하는 환경적 상호준수 프로그램은 자발적으로 지역마다 다양하게 운영되고 있으며 대상면적은 430만 ha에 달한다. 상호준수 프로그램 운용을 위한 예산은 연방정부와 EU의 공동농업정책을 통해 지원되고 있다.

농업투자지원프로그램(AFP)에 의해 온실가스 특별관리(예를 들어 생물가스 설비, 유기질비료의 보관 및 활용, 난방시스템 변경) 부문에 대한 재정적 지원이 확대되고 있다.

농업부문의 재생에너지 생산 확대를 위해 바이오매스를 활용한 재생에너지의 개발 및 확충이 특히 강조되고 있다. 옥수수과 가축분뇨 및 슬러리 등을 이용한 바이오에너지 생산 활성화를 위해 2006년부터 ‘바이오연료 쿼터법’을 도입하였고, 재생에너지의 생산 의무목표를 설정하여 다양한 정책프로그램을 운용하고 있다.

## ■ 영국

### 농업부문의 온실가스 배출 실태

영국의 국토면적(2004년 기준)은 2,425만 ha로 초지가 1,236만 ha로 51%, 농경지가 460만 ha로 19%, 산림이 291만 ha로 12%를 차지한다. 영국 경제는 2000년 이후에도 2~3%의 경제성장이 지속되고 있으나 온실가스 배출량 감축을 위한 적극적인 노력에 힘입어 온실가스 배출량은 감소추세를 나타나고 있다.

영국의 온실가스 총배출량(2004년 기준)은 1억 7,900만 CO<sub>2</sub>톤으로 기준시점인 1990년 2억 950만 CO<sub>2</sub>톤 대비 약 14.6% 감소한 것으로 나타났다. 농업부문의 온실가스 총배출량은 1,380만 CO<sub>2</sub>톤으로 전체 배출량의 7.7%를 차지하며, 1990년 대비 15.3% 감소한 것으로 나타났다(Defra, 2006). 온실가스 배출원별 구성에서 농업부문의 비중을 보면 메탄 배출량의 46%, 아산화질소의 66%, 이산화탄소의 1%를 차지한다. 농업부문의 온실가스 배출량이 줄어든 이유는 친환경농법의 확산과 화학비료 사용 감소 등으로 메탄 배출량이 13%, 이산화질소 배출량이 17% 감소하였기 때문이다.

영국 정부는 농업부문의 온실가스 배출량이 2010년까지 1990년 대비 약 32% 감축할 것으로 전망하고 있다(Defra, 2007). 영국은 1차 공약기간까지 온실가스 배출을 1990년 대비 12.5% 감축하기로 공약하였다. 영국 정부는 2010년까지 기준시점 대비 20% 감축하는 별도의 자국 내 목표를 설정하였으며, 2050년까지 60% 감축의 야심적 목표를 제시하였다. 2007년 1월에 공표된 2005년의 최종 산정치는 기준연도 대비 15.6%를 감축한 것으로 발표하였다.

### 농업부문의 온실가스 감축 대책

영국은 1994년부터 온실가스 감축을 위한 기후변화프로그램을 수립하여 추진해오고 있다. 국가 기후변화 대응체제의 총괄은 환경식품농촌부(Department of the Environment, Food, and Rural Affairs, Defra)에서 관장하



고 있고, 기후변화프로그램 수립 시 관련부처 및 학계·연구소, 산업계, 비정부기구(NGO) 등 다양한 의견을 수렴하고 있다.

온실가스 배출량 감축을 위한 농업 부문의 전략으로 ‘지속가능한 농식품 전략 2002(2002 Strategy for Sustainable Farming and Food)’를 발표하여 지속가능농업 발전과 연계된 온실가스를 감축할 수 있는 프로그램을 제시하였다.

특히 영국 정부는 지구환경 문제에 대한 농업인 및 국민들의 인식도를 높이는 정책프로그램을 적극적으로 추진하고 있다. 이와 관련된 프로그램의 일환으로 온난화 문제에 대한 정책담당자와 농업인 및 관계자들 간의 공감대 형성을 위해 ‘농촌기후변화포럼(Rural Climate Change Forum)’ 등 여러 가지 포럼을 설치하였다. 특히 이들 포럼에서는 온실가스 경감을 위한 실질적인 조치와 의사소통전략 개발, 기후변화 프로그램의 효과적 전달 등 정책결정에 상당한 기여를 하고 있는 것으로 제시되고 있다.

EU 공동농업정책의 개혁프로그램으로 생산과 연계된 직접지불금을 분리시킴으로써 가축 사육두수 감소를 통해 2010년까지 연간 68만 톤의 온실가스 배출량 감축을 추진하고 있다. 또한 토양의 유기탄소 저장을 촉진시키기 위해 환경친화적 상호준수(cross-compliance)를 추진해오고 있다.

아산화질소와 메탄 배출량의 감축을 위한 ‘저수민감지역농업(Catchment Sensitive Farming, CSF) 프로그램’은 EU의 용수 지침안의 목적 달성을 지원하는 사업으로 질산염 취약지구의 특별관리 프로그램으로 운용되고 있다. 특별 관리지역에서의 가축분뇨 살포와 비료 투입 등에 대한 제한사항을 엄격하게 관리함으로써 아산화질소 배출량 감축을 유도하고 있다. 유엔 기후변화 정부간협약의 규정은 대규모 양돈 및 양계농가를 대상으로 암모니아 배출량 감축을 위해 환경친화적 축사시설 유지, 적절한 가축분뇨처리 등을 철저히 유도·관리토록 하고 있다. 또한 메탄 배출량 감축을 위해 낙농부문에서도 유사한 정책 프로그램을 추진하고 있다.

적절한 토양 관리와 관련, 토양자원보전과 토양탄소 손실에 대한 취약성 문제를 해결하기 위해 토양관리 프로그램을 추진하고 있다. 2025년까지 취약한 토양에서 초래된 토양의 유기물질 감소를 중단시키도록 유도하고 있고, 토양침식 예방 및 토양유기물을 유지하기 위해서 기준설정 및 상호준

수 프로그램을 적용하고 있다.

온실가스 배출량 감축에 유기농업의 기여를 인정하고 적극적인 육성정책을 추진하고 있다. 그러나 유기농업의 온실가스 감축에 대한 기여도가 어느 정도인지에 대한 보다 과학적인 연구가 필요하다는 점이 제시되고 있다.

바이오에너지 활성화 대책으로 2004년 11월에 ‘비식용 작물 생산 및 활용 전략(Strategy for Non-Food Crops and Uses)’을 수립하여 추진하고 있으며, 지속 가능한 농업·농촌 개발과 재생에너지 생산 확대 등을 위해 2007년부터 ‘바이오자원 전략’을 수립하여 추진하고 있다. 바이오에너지 대책의 핵심 사업으로는 바이오에너지 인프라 구축, 바이오에너지 작물 생산농가 지원을 위한 5년간의 교부금 활용, 차세대 바이오연료 기술개발 지원 전략개발 등을 담고 있다. 또한 경작포기 농지에 에너지 작물 재배 시 단독직불금을 지급하고 있다. 이들 전략에 힘입어 비식용작물 재배 농장수는 2003년에 4,286개에서 2005년에 5,120개로 약 20%나 증가하였고, 비식용 작물생산 경지면적은 약 75% 급증하였다.

이 밖에도 연구개발에 대한 지원을 강화하고 있다. 온실가스를 감축할 수 있는 농경지 관리방식 개선, 토양유기탄소 흡수원 활용 등에 관한 국책과제를 발굴하여 상당한 연구비를 지원하고 있다. 또한 농업 부문에서 온실가스 배출권거래제를 가능하게 할 시장 메커니즘의 실현 가능성과 가능한 선택 대안을 모색하려는 전략적인 연구도 추진하고 있다.

## ■ 주요국의 농업부문 기후변화 대응관련 시사점

검토대상 주요 사례국은 모두 「부속서 I 국가」로 교토의정서에 따라 2008년부터 온실가스 감축의무를 이행해야 한다. 온실가스 감축목표는 일본 6%, 미국 7%, 덴마크·독일·영국 8% 등으로 설정되어 있다. 그러나 미국은 교토의정서 비준 거부로 감축의무가 부과되지 않고 있다.

국가별로 차이가 있으나 온실가스 총배출량에서 농업부문이 차지하는 비중은 일본 2.4%, 미국 6.9%, 덴마크 17%, 독일 6%, 영국 7% 등으로 덴

마크를 제외하고는 7% 미만인 것으로 나타났다. 그러나 국가별로 약간의 차이는 있으나 온실가스 가운데 비이산화탄소인 메탄과 아산화질소의 배출원으로 농업부문이 상당한 비중을 차지하는 것으로 나타났다<표 20>.

표 20. 유럽 주요 3개국의 온실가스 대응책 비교

| 구분                   | 덴마크                                                                                                                                                                                                                                                                   | 독일                                                                                                                                                                                               | 영국                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 농업부문<br>온실가스<br>배출비중 | <ul style="list-style-type: none"> <li>온실가스 17% 차지</li> <li>- 80%는 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O로 구성, 20%는 CO<sub>2</sub></li> </ul>                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>온실가스 6% 차지</li> <li>- 매탄배출의 94%는 가축 사육</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>온실가스 7% 차지</li> <li>- CH<sub>4</sub> 46%, N<sub>2</sub>O 66%</li> <li>1990 대비 22% 감소</li> </ul>                                                                            |
| 배출 감소                | <ul style="list-style-type: none"> <li>수생환경 실행계획I</li> <li>- 질소·인의 배출감소 목표와 조치 강구</li> <li>지속가능농업실행계획</li> <li>- 화학비료 사용 제한</li> <li>수생환경 실행계획II</li> <li>- 비료사용 제한, 가축 분뇨 처리 개선</li> <li>수생환경 행동계획III</li> <li>- 양분배출 감축목표 설정, 유기농 육성</li> <li>암모니아 행동 계획</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>농업구조 및 환경 친화적 생산방법 촉진</li> <li>농업투자 지원 프로그램</li> <li>자연적 과정 온실 가스감축 투자 확대 (바이오가스시스템, 유기퇴비 저장과 적용)과 방출에너지 활용(냉난방 절연체를 포함하여 열 방출 시스템의 보존) 재정적 지원</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>집수 민감지역 농법 프로그램</li> <li>수질오염 통합패키지 활용</li> <li>간접적 온실가스 배출(N<sub>2</sub>O) 감소</li> <li>영국 IPPC 규정</li> <li>돼지와 가금류 생산자의 환경 영향 통제, 간접적 온실가스 배출 감소</li> </ul>               |
| 탄소저장                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>정부 보조금</li> <li>- 민간농경지 조림지원</li> <li>정부와 자치단체 부분 조림 활동</li> </ul>                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>연방 토양보전 법</li> <li>- 토양자원 보존과 탄소 저장 촉진</li> <li>연방 자연보존법</li> <li>- 토양탄소저장 지원</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>산림지원</li> <li>- 탄소 저장을 위한 조치 포함</li> </ul>                                                                                                                                 |
| 바이오<br>에너지<br>생산지원   | <ul style="list-style-type: none"> <li>바이오매스 협정</li> <li>- 밀짚·나무 칩 등 바이오매스 최소사용량 규정</li> <li>바이오가스 행동 프로그램</li> <li>- 중앙 바이오가스 설비 투자 교부금 지원</li> <li>농업협동조합 운송, 유통 부문 역할 담당</li> <li>정부 보조금 지원</li> </ul>                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>재생가능 에너지법</li> <li>- 바이오매스 자원 활용 전력생산 목표설정 및 인센티브 제공</li> <li>재생가능 에너지를 지원하는 시장 인센티브 프로그램</li> <li>바이오연료 할당법</li> <li>- 바이오연료 형태의 연료의 특정할당 제공</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>비식량작물 사용전략</li> <li>- 에너지작물 사용 촉진</li> <li>바이오매스 지속적 개발 체제 구축</li> <li>바이오에너지 교부금 지원</li> <li>지역사회 에너지 프로그램</li> <li>차세대 바이오연료 기술 촉진 전략</li> <li>재생가능한 수송원료 의무화</li> </ul> |

교토의정서에 따라 2008년부터 온실가스 감축의무가 부과되는 일본, 덴마크, 독일, 영국 등의 경우 농업부문은 의무감축 부문에 포함시켜 관리하기보다는 자율적으로 온실가스를 조정·관리하는 방식을 취하고 있다. 일본의 경우 농업부문의 생산규모 축소로 기준연도 대비 온실가스 배출량이 줄어들고 있어 감축의무 부과에 있어서 농업부문은 자율적인 조정으로 설정하고 있다. 다만 에너지 감축의무 부과에 따라 농업유관기관에서의 전력 등 에너지 절약 운동을 통한 감축의무 이행을 추진하고 있다. 한편 미국은 1990년 대비 농업부문이 지속적으로 성장하는 추세에 있어 미약하나마 온실가스 배출량이 증가하는 것으로 나타나, 온실가스 감축의무가 부과되는 경우 농업생산의 압박요인으로 작용할 것으로 보인다. 이에 따라 미국은 농업부문의 온실가스 감축을 위한 명령과 통제의 규제정책과 탄소저장 프로그램에 대한 재정적 인센티브 제공, 자발적 메탄프로그램 등 다양한 프로그램을 추진하고 있다. 덴마크, 독일, 영국 등 EU국가는 기준연도에 비해 농업부문의 생산 활동이 줄어들어 교토의정서에 제시된 감축목표를 초과달성하여 감축목표를 상향조정하면서 자율적으로 온실가스 감축활동에 동참하고 있다.

지속적인 경제성장으로 주요국 모두에서 온실가스 의무감축이 부과되는 경우 산업생산 활동에 상당한 압박요인으로 작용하게 된다. 온실가스 배출량 비중에서 적은 비중을 차지하는 농업부문이지만 생산규모 감축과 기술 개발 등을 통해 상대적으로 온실가스 감축이 용이하여 국가전략으로 농업부문의 온실가스 감축과 흡수원의 활용방안을 적극적으로 추진하고 있는 것으로 나타났다.

주요국의 농업부문 온실가스 감축 프로그램은 경제적 수단, 규제적 수단, 자발적 협약, 연구개발·보급 및 기후변화 적응 등으로 유형화가 가능하다. 온실가스 감축관련 환경친화적 농업용 시설에 대한 자금지원, 유기농업 육성, 바이오에너지 활용, 연구개발·보급 및 기후변화에 대한 적응 프로그램 등은 제시된 모든 국가에서 시행하고 있는 대표적인 방안으로 볼 수 있다.

경제적 수단으로 직접지불제도(직불제로 약칭)는 대표적인 상호준수 프

로그그램(cross-compliance program)으로 친환경농업직불제와 온실가스 감축과 직접 연계된 메뉴방식 직불제로 나눌 수 있으며 덴마크, 독일, 영국, 미국 등 거의 대부분의 국가에서 시행하고 있는 제도이다<표 21>. 탄소세는 덴마크와 미국에서 시행되고 있고, 배출권거래제는 영국을 비롯한 유럽국가에서 활발하게 활용되고 있다.

규제적 수단으로 환경기준에 도달하기 위해 최소의무를 요구하는 강제적 수단으로 농가별 환경용량을 기초로 한 총량규제는 덴마크와 네덜란드에서 시행하고 있고, 단위면적당 화학비료 투입량 기준은 덴마크, 프랑스, 독일, 네덜란드, 영국 등에서 시행하고 있다.

자발적 협약은 설정된 기준의 이행에 자발적으로 참여하는 방식으로 모범영농준칙을 적용하는 덴마크, 독일, 영국, 일본 등을 들 수 있다. 또한 바이오타운 조성 등 자원순환형 마을관리 방식을 적용하는 덴마크, 독일, 일본 등을 들 수 있다.

표 21. 주요국의 농업부문 온실가스 저감정책 수단 비교

| 구분  | 경제적 수단 |      |     |        | 규제적 수단 |        |        | 자발적 협약 |        | 유기농업육성 | 바이오에너지 | 연구개발 | 기후변화적응 |
|-----|--------|------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|
|     | 직불제    | 자금지원 | 탄소세 | 배출권거래제 | 총량규제   | 화학비료기준 | 사육밀도규제 | 모범영농준칙 | 자원순환관리 |        |        |      |        |
| 일본  | -      | x    | -   | -      | -      | -      | -      | x      | x      | x      | x      | x    | x      |
| 미국  | x      | x    | x   | x      | -      | -      | -      | -      | -      | x      | x      | x    | x      |
| 덴마크 | x      | x    | x   | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x    | x      |
| 독일  | x      | x    | -   | -      | -      | x      | x      | x      | x      | x      | x      | x    | x      |
| 영국  | x      | x    | -   | x      | -      | x      | x      | x      | -      | x      | x      | x    | x      |

국가별 농업부문의 온실가스 저감정책 수단의 선택은 대내외적 여건변화에 대한 반응과 정책 실행능력에 따라 이루어진다. 외국에서 유력한 프로그램으로 활용되고 있다고 해도 실제로 도입하기 위해서는 국내 여건을 종합적으로 고려해야 하기 때문에 해당 프로그램의 세부 내용에 대한 검토와 정책평가 기준을 적용하여 심층적인 사전평가가 이루어져야 한다.

## 제 6 장

### 온실가스 의무감축 관련 농업부문 대응전략

지금까지 농업부문의 온실가스 배출실태 진단과 전망, 시나리오별 파급 영향 분석, 적용 가능한 정책수단에 대한 검토와 주요국의 대응전략 등을 살펴보았다. 제6장에서는 온실가스 의무감축에 대비한 농업부문의 효과적인 대응전략 수립을 위해 대외적 여건변화를 고려한 기본방향 설정과 실천 전략의 단계별 접근방법과 로드맵, 전략실천을 위한 핵심과제 등을 제시하였다. 특히 실천전략 로드맵은 2030년을 목표연도로 기반구축단계(2008~2012), 도약단계(2013~2018), 정착단계(2019~2030) 등 3단계로 나누어 단계별 온실가스 감축, 온실가스 흡수 및 온난화 적응 등과 연계하여 입체적으로 제시하였다. 전략 실천을 위한 향후 과제에서는 우선순위가 높은 핵심과제와 여건변화에 적절히 대응할 수 있는 주요과제로 나누어 제시하였다.

## 전략수립의 기본방향

교토의정서 이행에 따른 농업부문의 대응전략 수립(strategy formulation)은 국가적인 관점에서 온실가스 감축의 비전과 목표를 설정하고 목표 달성을 위한 종합적인 활동계획이라 할 수 있다. 온실가스 의무감축에 대비한 농업부문 대응전략의 비전은 환경친화적 저탄소 농업생산시스템 구축을 통해 지속가능한 농업과 국가경제 발전에 이바지하는 것으로 설정하였다. 농업부문이 자발적으로 온실가스 배출량을 감축하고 흡수능력을 제고시키는 것은 온실가스 의무감축이 시행되는 경우 농업부문 내부는 물론이고 국가경제의 대응력에 상당히 기여하게 된다.

교토의정서 이행에 대비하여 농업부문의 효과적인 대응전략 수립을 위해서는 농업부문 활동과 온실가스 간의 관계에 대한 인식의 전환이 이루어져야 한다. 이러한 맥락에서 교토의정서에 따른 온실가스 의무감축 이행을 환경친화적 저탄소 농업시스템의 구축을 위한 기회로 활용할 수 있다는 대전제하에서 전략수립을 위한 네 가지 기본방향을 설정할 수 있다.

첫째, 농업부문의 온실가스 감축을 위한 농업정책과 온실가스 감축정책의 통합 및 조정 등을 통한 최적의 정책결합을 추진해야 한다.

둘째, 온실가스 감축과 관련한 국제적 협상은 물론 국내협상 및 대응책 마련에 적극적이고 능동적으로 대처해야 한다.

셋째, 농업부문의 온실가스 감축과 관련, 저감잠재량과 온실가스 흡수 가능량은 관련 주체가 신뢰할 수 있도록 과학적인 분석을 기초로 산정해야 한다.

넷째, 중장기적으로 지구온난화에 대응하기 위해 적응 프로그램의 개발과 실제로 개발된 프로그램이 현장에 적용되도록 해야 한다.

## 실천전략의 접근방법

교토의정서 이행에 대응한 농업부문의 실천전략을 모색하기 위해서는 우선 기존의 틀에서 온실가스 감축 및 흡수와 관련된 실행 프로그램 발굴 및 주요국의 사례 검토에서 벤치마킹할 수 있는 프로그램 등을 제3장의 온실가스 감축 수단에서 제시된 내용을 기초로(<표 7> 참조) 유형별로 목록화하는 작업이 필요하다. 현실적으로 예산과 인력, 조직 및 제도적 기반 등 주어진 여건에서 다양한 정책 프로그램을 일시에 시행하는 것은 불가능하기 때문에 정책수단의 평가기준을 적용하여 실행 프로그램에 대한 우선순위를 결정해야 한다. 정책 프로그램에 대한 평가기준으로 시급성, 효과성, 시행가능성, 정치적수용성 등을 고려하였다<표 22>.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> 실행 프로그램의 우선순위 결정을 위해 평가기준을 설정하고 정책목표 간의 가중치를 계층적으로 나누어 프로그램별 중요도를 종합점수화하는 계층분석의사결정과정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 방식을 적용할 수 있다(김창길 외 7인, 2004). 이 연구에서는 아직 농업분야에서는 기술개발 분야를 제외하고 온실가스 감축이나 흡수를 위한 본격적인 실행프로그램이 추진되고 있지 않은 현실을 반영하여 관련 분야의 몇몇 전문가 의견을 종합하여 각 평가기준별 개략적인 중요도를 도출하는 방식을 적용하였음을 밝혀둔다.



표 22. 농업부문의 온실가스 감축 및 흡수 수단평가

|                 | 시급성 | 효과성 | 효율성 | 시행<br>가능성 | 정치적<br>수용성 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----------|------------|
| 경제적 수단          |     |     |     |           |            |
| · 보조금(시설지원)     | +++ | +++ | -   | +++       | +++        |
| · 청정개발체제 사업     | ++  | +++ | ++  | ++        | ++         |
| · 배출권거래제        | ++  | ++  | +++ | ++        | ++         |
| · 탄소세           | +   | +   | +++ | +         | -          |
| 규제적 수단          |     |     |     |           |            |
| · 화학비료사용기준      | +++ | +++ | -   | -         | ++         |
| · 가축사육두수 제한     | -   | +++ | -   | --        | --         |
| · 퇴비·액비 살포기준    | ++  | ++  | -   | +         | -          |
| 상호준수 프로그램       |     |     |     |           |            |
| · 에너지작물직불제      | +++ | +++ | ++  | ++        | ++         |
| · 친환경농업직불제      | +++ | +++ | ++  | +++       | +++        |
| · 메뉴방식 직접지불제도   | +++ | +++ | ++  | +++       | +++        |
| 연구 및 기술개발       |     |     |     |           |            |
| · 온실가스 감축       | +++ | +   | +   | +++       | +++        |
| · 예측모델 개발       | ++  | +   | =   | +++       | +++        |
| · 바이오에너지        | +++ | ++  | +   | +++       | +++        |
| · 탄소축적 및 흡수     | ++  | +   | =   | +++       | +++        |
| · 전과정분석(LCA) 적용 | +   | ++  | =   | +         | +          |
| · 사회경제적 영향 분석   | +++ | +++ | +   | +++       | +++        |
| 기술보급 및 교육       |     |     |     |           |            |
| · 온실가스감축기술 보급   | +++ | +++ | ++  | +++       | +++        |
| · 온실가스 대응 교육    | +++ | +++ | ++  | +++       | ++         |
| 통계 및 DB 구축      |     |     |     |           |            |
| · 배출·흡수 통계      | +++ | +   | -   | +++       | ++         |
| · 인벤토리 구축       | +++ | +++ | -   | +++       | +++        |
| 적응              |     |     |     |           |            |
| · 재배방식 및 품종개량   | ++  | ++  | -   | ++        | ++         |
| · 예측 및 조기경보시스템  | ++  | ++  | +   | ++        | +++        |
| · 온난화 모니터링      | +   | ++  | -   | ++        | +++        |

주: +++ 매우 높음, ++ 높음, + 보통, - 낮음, -- 매우 낮음, = 평가 어려움 등을 각각 나타냄.

자료: 김창길 외 7인(2004), p.41에 제시된 내용을 기초로 온실가스 관리 프로그램 중심으로 수정·보완한 것임.

시급성(urgency)은 온실가스 의무감축 이행 및 지구온난화 문제의 심각성에 대처하기 위해 시간적으로 급한 상태의 정도를 평가하는 기준이다. 효과성(effectiveness)은 온실가스 감축 또는 흡수 증가를 위한 정책목표의 달성 정도를 평가하는 기준이며, 효율성(efficiency)은 경제적 투입(비용)에 대한 산출(편익) 비율을 의미한다. 시행가능성(enforceability)은 정책목표의 정당성 여부에 대한 프로그램의 실제적인 집행 가능성 정도의 기준이며, 정치적 수용성(political acceptability)은 실행 프로그램에 대한 정치적 지지 정도의 평가 기준을 의미한다.

정책수단의 평가기준을 적용하여 유형별 각개 실행프로그램을 평가한 결과 경제적 수단의 경우 온실가스 감축시설 지원 보조금은 효율성은 낮으나 다른 기준에서 높게 평가되어 실제로 대표적인 프로그램으로 활용될 수 있다. 교토메커니즘인 청정개발체제 사업과 배출권거래제는 온실가스 의무감축에 대비하여 적용되는 핵심수단으로 모든 평가기준에서 높게 평가된 유력한 프로그램이다. 탄소세는 아직 정책여건 조성이 잘 이루어지지 않아 정치적수용성이 낮은 것으로 평가되나, 중장기적으로 도입될 수 있는 효율성이 높은 주요한 프로그램이라 할 수 있다.

규제적 수단의 경우 아산화질소 감축을 위한 단위면적당 화학비료 사용 기준은 모니터링과 실제로 집행할 수 있는 여건 조성이 잘 이루어지지 않아 시행가능성이 낮은 것으로 평가된다. 가축사육두수 제한 조치는 축산부문에서의 온실가스 감축을 위한 유력한 정책수단이나 현실적인 축산 여건을 고려할 때 시행가능성과 정치적수용성은 매우 낮은 것으로 평가된다.

상호준수 프로그램으로 유채와 자운영 등 바이오에너지 작물재배에 대한 직불제와 화학비료 투입을 줄일 수 있는 친환경농업 직불제, 농업부문의 온실가스 감축과 직접적으로 관련된 실천행위에 대한 메뉴방식 직불제 등은 모든 평가기준에서 높게 평가되어 핵심적인 프로그램으로 활용될 수 있다.

연구 및 기술개발 프로그램의 경우 투입되는 자금에 대한 효과가 대체로 불확실하나 주요국은 물론 우리나라에서도 실제로 적용되는 핵심 프로그램이다. 다만 기술개발 분야에 따라서 시급성이나 효과성은 차이가 있을

수 있다.

기술개발 및 교육 프로그램은 모든 평가기준에서 높게 평가되는 핵심 프로그램이므로 전략수립에 중요하게 다루어야 한다. 또한 통계 및 온실가스 데이터베이스 구축 프로그램은 온실가스 관련 정책수립 및 협상 등에 있어서 중요한 기초자료이므로 효율성은 낮지만 핵심 프로그램으로 다루어야 할 분야이다.

적응분야는 연구 및 기술개발과 직접적으로 연계되는 분야이긴 하나 단기적인 정책성과보다는 미래의 기후온난화에 대비하여 반드시 전략적으로 다루어야 하는 분야이다.

온실가스 의무 감축에 대비한 실천전략 로드맵 수립에 있어서 환경친화적 저탄소 농업시스템 구축에는 상당한 기간이 소요되므로 2030년을 목표 연도로 시스템구축을 위한 기반구축단계, 도약단계, 정착단계 등 3단계로 나누어 단계별 전략을 설정하였다<그림 21>.

첫째, 기반구축단계(2008~2012)는 온실가스 감축 관련 친환경농업육성 정책 추진, 신재생에너지 생산기반 구축, 교토메커니즘 활용 시범사업 등을 추진한다. 또한 온실가스 흡수 부문에서는 토양유기탄소 역할 규명, 농경지의 유기탄소 저장량을 추정하고, 적응단계에서는 농산물 생산성 및 생물상 예측 개발, 온난화 적응품종 개발 등을 추진한다.

둘째, 도약단계(2013~2018)는 온실가스 배출량 데이터베이스 구축, 개발된 온실가스 저감기술의 보급 확대, 교토메커니즘 활용 확대, 흡수기능 제고를 위한 인센티브 프로그램 적용 등이 이루어지도록 해야 한다.

셋째, 정착단계(2019~2030)는 환경친화적 저탄소 농업생산시스템 구축과 관련, 온실가스 저감, 온실가스 흡수, 온난화 적응 등 각 분야별 프로그램의 최적 정책결합이 이루어지도록 추진한다.

온실가스 배출을 최소화하는 환경친화적 저탄소 농업생산시스템 구축의 비전달성을 위해서는 우선 온실가스 방지 및 적응 인프라가 구축되어야 한다. 온실가스 감축부문에서는 농업부문 온실가스 국가 인벤토리 및 국가 고유배출계수 개발과 온실가스 배출원별 소비행태 통계시스템이 구축되어야 한다. 다음으로 온실가스 흡수부문에서는 농업부문 온실가스 발생 및

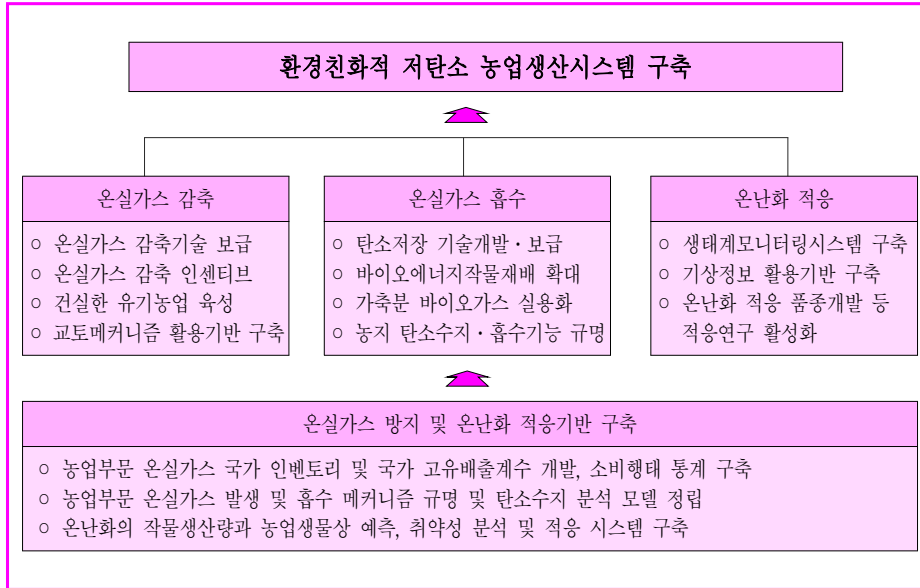
흡수 메커니즘 규명과 탄소수지 분석 모델을 정립해야 한다. 끝으로 적응 부문에서는 온난화에 따른 작물생산량과 농업생물상 예측, 취약성 분석 등 적응시스템이 구축되어야 한다.

환경친화적 저탄소 농업생산시스템 구축 관련 온실가스 감축-흡수-적응 로드맵 작성을 위해서는 우선 부문별로 단계별 실행 프로그램을 수립하여 지속적으로 추진해야 한다. 온실가스 감축부문의 경우 기반구축단계에서는 농업부문의 온실가스 저감기술의 보급을 위한 보조금과 지원사업의 확대, 에너지절약 확대, 바이오에너지작물 재배 확대, 배출권거래제와 청정개발체제시범사업 추진 등의 실행프로그램이 이루어지도록 해야 한다. 도약단계에서는 온실가스 배출·흡수 구조를 정확하고 과학적으로 점검할 수 있는 데이터베이스 구축, 지역별 맞춤형 기술개발 및 보급 확대, 바이오에너지 생산시스템 정착, 배출권거래제 정착 등이 이루어져야 한다. 정착단계에서는 온실가스 감축 정책프로그램에 대한 보완, 저탄소농업생산시스템 구축, 온실가스 감축 최적관리방식 정착, 농업용수이용 소규모 수력발전소 설치 등의 사업이 이루어져야 한다.

온실가스 흡수부문의 경우 기반구축단계에서는 토양유기탄소 역할 규명과 유기탄소 축적량 추정 및 활용기반 구축 등이 필요하다. 도약단계에서는 농경지 흡수기능 제고를 위한 직불금 등 인센티브 지급, 흡수원 활용에 대한 인식 제고를 위한 교육 프로그램 등이 이루어져야 한다. 정착단계에서는 온실가스 흡수 기능을 극대화하는 농업시스템이 구축되어야 한다.

온실가스 적응부문의 경우 기반구축단계에서는 온실가스 변화에 따른 농산물 생산성 예측과 생물상 평가모델 구축, 농업생태계 변화 모니터링 시스템 구축, 온난화 대응 재배적지 및 작물분포도 작성과 온난화 적응 품종개발 등이 이루어져야 한다. 도약단계에서는 온난화 적응 매뉴얼 작성·보급, 기상정보를 활용한 조기경보시스템 구축, 개발된 온난화 적응 품종 보급, 온난화 적응 정보제공 및 교육시스템 등이 구축되어야 한다. 정착단계에서는 온난화에 적응하는 농업생산 시스템으로의 전환과 작물형질전환에 대한 평가시스템이 구축되어야 한다.

그림 21. 교토의정서 이행에 대응한 정책추진 로드맵



## &lt; 단계별 정책추진 로드맵 &gt;

|         | 기반구축단계(2008~2012)                                                                                                                                                                 | 도약단계 (2013~2018)                                                                                                                                              | 정착단계 (2019~2030)                                                                                                                                          |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 온실가스 감축 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 보조금·지원사업 확대</li> <li>○ 농업부문 에너지절약 확대</li> <li>○ 온실가스저감 기술개발 및 보급 확대</li> <li>○ 바이오에너지작물 재배 확대</li> <li>○ 배출권거래제 및 CDM 시범사업 추진</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온실가스 배출 D/B구축</li> <li>○ 지역별 맞춤형 기술 개발 및 보급 확대</li> <li>○ 바이오에너지 생산시스템 정착</li> <li>○ 배출권거래제 정착</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온실가스 감축 정책 프로그램 보완</li> <li>○ 저탄소농업시스템 구축</li> <li>○ 온실가스 감축 BMP정착</li> <li>○ 농업용수이용 소규모수력발전소 설치</li> </ul>      |
| 온실가스 흡수 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토양유기탄소 역할 규명</li> <li>○ 유기탄소 축적량 추정 및 활용기반 구축</li> </ul>                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농경지 흡수기능 제고 인센티브 프로그램 활용</li> <li>○ 흡수원 활용 제고 교육</li> </ul>                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온실가스 흡수기능 활용</li> <li>○ 흡수기능 극대화 농업 시스템 구축</li> </ul>                                                            |
| 온난화 적응  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 생산성 예측 및 생물상 평가 모델 구축</li> <li>○ 농업생태계 모니터링 시스템 구축</li> <li>○ 온난화 대응 재배적지 및 작물분포도 작성</li> <li>○ 온난화 적응 품종개발</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온난화 적응 매뉴얼 작성 및 보급</li> <li>○ 기상정보활용 조기 경보시스템 구축</li> <li>○ 온난화 적응품종 보급</li> <li>○ 온난화 적응 정보제공 및 교육시스템 구축</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온난화적응 매뉴얼보편화</li> <li>○ 농업부문 온난화적응 시스템 구축</li> <li>○ 온난화 적응 농업생산 시스템으로 전환</li> <li>○ 작물형질전환 평가 시스템 구축</li> </ul> |

## 전략 실천을 위한 향후 추진과제

### ■ 핵심적 추진과제

#### 기후변화대응 제4차 종합대책의 적극 추진

기후변화협약 대응 제4차 종합대책은 2008년부터 2012년까지 시행되는 국가적인 과제로 2013년 이후 온실가스 감축의무 이행에 대비하여 협상대응, 온실가스 통계, 온실가스 감축, 기후변화 예측·영향·적응, 연구개발 등 5개 부문으로 나누어 분야별 과제가 선정되었다.<sup>25</sup> 농업부문 과제 추진의 기본방향으로 기후온난화 적응 및 관련분야 연구개발의 지속적 추진과 병행하여 바이오에너지 작물재배 확대와 메탄 및 아산화질소 등 온실가스 감축사업 추진 등으로 설정하였다. 농업부문의 선정과제는 협상분야의 경우 대상과제가 없고, 온실가스 통계분야 3개, 온실가스 감축분야 4개, 기후변화 예측·영향 및 적응분야 1개, 연구개발 분야 3개 등 총 10개 과제가 선정되었다<표 23>. 따라서 교토의정서 이행에 대비한 농업부문의 실천전략의 핵심과제로 우선 제4차 종합대책에서 선정된 과제에 대한 적극적인 추진과 지속적인 보완을 통해 소기의 성과가 이루어지도록 해야 한다.

온실가스 통계부문에서 「농업부문 온실가스 국가고유배출계수 개발 및 관리」 및 「농업부문 인벤토리 구축」은 계속과제로 온실가스 데이터베이스 구축에 기여토록 하고, 「농업부문 온실가스 소비행태통계 구축」은 신규과제로 소비관련 통계 구축을 위해 어떤 방법론을 적용하고 어디까지를 대상으로 할 것인지 등에 관한 심층적인 검토 후에 본격적인 과제가 착수될 수 있도록 적절한 과제 관리가 이루어져야 한다.

<sup>25</sup> 기후변화 대응 정책과제 선정은 국무조정실 기후변화종합대책 평가단의 과제별 감축효과성, 계량화 가능성, 과제의 시급성, 타부문과의 연관성 등의 평가기준에 따른 점수를 기초로 선정되었다.

표 23. 기후변화협약 제4차 종합대책 농림부문 추진사업

| 분야                                     | 사업명                                                                                                  | 추진내용                                                                                                                                                                                              | 비고                |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 온실<br>가스<br>통계<br>(3)                  | 국가 인벤토리 구축<br>- 농업부문 인벤토리 구축                                                                         | • 연도별 농축산 부문 배출량 산정 기준설정<br>• 연도별 농업부문 온실가스 배출량 통계 작성                                                                                                                                             | 농진청<br>(통합<br>과제) |
|                                        | 국가 고유 온실가스<br>배출계수 개발 및 관리<br>- 농업부문 온실가스<br>국가고유 배출계수 개발                                            | • 아산화질소 배출계수 설정을 위한 측정망 확대<br>• 벼 품종별, 밭 작물별 메탄 배출량 산출<br>• 온실가스 배출 통계 불확실성 평가<br>• 저장액비화에 따른 온실가스 배출계수 산출                                                                                        | 농진청<br>(통합<br>과제) |
|                                        | 온실가스 소비행태 통계<br>구축<br>- 농업부문 온실가스<br>수요행태 정보구축                                                       | • 기후변화협약이 농업에 미치는 과급영향 분석<br>• 온실가스 배출원의 소비행태 유형화 및 분석<br>• 원예분야 온실가스 배출원 소비행태 분석<br>• 축산분야 온실가스 배출원 소비행태 분석                                                                                      | 농진청<br>(통합<br>과제) |
| 온실<br>가스<br>감축<br>(3)                  | 질소질 비료 감축                                                                                            | • 유기질비료 지원, 겨울철 푸른들가꾸기 사업                                                                                                                                                                         | 농림부               |
|                                        | 축산분야 메탄가스 감축                                                                                         | • 액비저장조 설치 확대, 공동자원화시설 확충                                                                                                                                                                         | 농림부               |
|                                        | 신재생 에너지 생산 및<br>보급 확대<br>- 바이오디젤용 유채 생산                                                              | • 유채 재배 시범사업<br>• 시범사업 평가 후 사업확대 검토                                                                                                                                                               | 농진청<br>(통합<br>과제) |
| 기후<br>변화<br>예측<br>영향<br>·<br>적응<br>(1) | 국가차원의 종합적 영향평가<br>및 적응대책 수립<br>- 기후변화에 따른 작물<br>생산성 및 한반도 재배<br>적지 변화예측<br>- 기후변화에 따른 농업<br>생물상 영향평가 | • 곡류, 과수, 사료 작물의 지구온난화 영향 평가<br>- 작물별 생산성 및 재배적지 변화 예측<br>• 작물 재배지대별 주요 병해충·잡초 분포 조사<br>• 두류, 과수, 사료 작물의 지구온난화 영향 평가<br>• 농업생태계 장기변화 관찰시스템 구축<br>• 서류, 채소, 사료 작물의 지구온난화 영향 평가<br>• 취약 생물군의 분포도 작성 | 농진청<br>(통합<br>과제) |
| 연구<br>개발<br>(3)                        | 기후변화대응 바이오에너지<br>원료작물 생산연구                                                                           | • 바이오에탄올 원료작물 및 적합 품종 선정<br>• 바이오에너지 원료작물 특성평가 시스템 개발                                                                                                                                             | 농진청               |
|                                        | 기후변화대응 농업부문<br>바이오매스를 이용한<br>대체에너지 개발 연구                                                             | • 온실가스 발생원별 친환경 바이오 대체 에너지<br>생산에 따른 온실가스 통계량 작성<br>• 농업분야 바이오에너지 활용체계별 온실가스<br>감축 잠재량 분석<br>• 바이오에너지 CDM 사업 연계 가능성 검토                                                                            | 농진청               |
|                                        | 농업부문 탄소축적량 분석<br>및 탄소수지 연구                                                                           | • 농경지 바이오매스생산량, CO <sub>2</sub> 흡수량 산정<br>• 기후변화에 따른 탄소 축적량 변화 구명<br>• 농경지에서의 이산화탄소 플럭스 측정<br>• 농경지 탄소 배출, 축적 예측량추정 모형개발                                                                          | 농진청               |

자료: 김창길, 김태영, 이상건(2007, pp.94-148)에서 제시된 농업부문 제4차 종합대책의  
사업별 핵심내용을 발췌하여 정리한 것임.

온실가스 감축 부문에서 「축산분야 메탄 감축사업」은 양질조사료 공급 확대와 가축분뇨자원화 사업을 포괄하여 신규과제로 추진하는 것이고, 「바이오디젤용 유채재배 지원사업」은 신재생에너지 생산 및 보급 확대에 관한 부처 통합과제와 연계하여 신규과제로 추진되나 기존에 개발된 기술의 농가보급이 중요하므로 농촌현장에 쉽게 보급될 수 있는 인센티브 제공 등 지원프로그램 개발과 병행하여 추진되도록 해야 한다.

「질소비료 감축사업」은 농림부에서 기후변화종합대책과 관련하여 처음으로 추진되는 정책사업이다. 이 사업은 주로 광역친환경농업단지 조성, 유기질비료지원사업, 푸른들가꾸기사업 등 기존의 친환경농업 육성 관련 사업을 추진하는 것이나 실제적으로 온실가스 감축과 연계되어 화학비료 감축이 효과적으로 이루어질 수 있도록 관련 정책 프로그램 보완이 이루어져야 한다.

기후변화 예측, 영향, 적응 부문에서 「국가차원의 종합적 영향평가 및 적응대책 수립」 과제는 국가 차원의 종합적 영향평가 및 적응대책 수립에 관한 부처 통합과제로 추진될 예정이다. 적응대책 수립과 관련하여 농업부문의 「기후변화에 따른 농업 생물상 영향평가」는 상당한 시간을 요하는 과제이므로 지속적이고 체계적으로 이루어질 수 있도록해야 한다. 또한 국제적인 공동연구를 통해 관련 국가와의 생물상 변화에 관한 정보공유 시스템을 구축해야 한다.

연구개발 부문에서 「기후변화 대응 바이오에너지 원료작물 생산연구」는 바이오작물 품종 선발 및 육성을 다루는 신규과제로 추진되고, 「기후변화 대응 농업부산물물을 이용한 바이오에너지 개발 연구」는 가축분뇨를 이용한 메탄가스 개발, 농작물 바이오매스를 이용한 대체에너지 개발 등을 다루는 계속과제로 추진하게 된다. 바이오분야는 국가전략산업으로 상당히 중요한 비중을 차지하고 있으므로 원료 생산부문을 담당하는 농업부문에서 나름대로 적절한 기여가 이루어질 수 있도록 적절한 관리가 필요하다. 또한 「농경지내 이산화탄소 흡수/배출 수지 및 탄소저장 기술 개발」과제 중 농경지의 바이오매스 생산 및 이산화탄소 흡수수지 등 연구는 향후 농업분야의 흡수원으로 인정받을 수 있는 중요한 연구로 국제적인 연구로 공동추진될 수 있도록 해야 할 것이다.



## 교토메커니즘 프로그램 도입

### 가. 농업부문 청정개발체제 시범사업

국내 농업분야의 청정개발체제 사업 활용은 매우 초기단계에 있지만 해외 청정개발체제 사업 추진 사례를 참고로 국내 농업분야 온실가스 감축잠재력을 평가함으로써 온실가스 감축에 대한 기여와 지속가능한 농업발전에 크게 기여할 수 있다.

바이오매스 잔여물을 연료로 사용하여 전력을 생산하는 사업이나 축분처리 시설에서 메탄을 회수하여 에너지 생산에 이용하는 사업은 전 세계적으로 활발히 진행되고 있어 국내에도 이러한 성공적인 추진 사례가 발생할 가능성이 매우 높다고 볼 수 있다.

세계적으로 바이오매스를 이용한 발전사업과 축분처리시설을 활용한 메탄감축사업 등 농업분야의 청정개발체제 사업이 많이 추진되고 있으나 아직 국내에는 이러한 사업기회 발굴을 위한 노력이 부족한 상황이다. 국내 농업분야에서 청정개발체제 사업으로 추진 가능한 분야는 축분처리시설을 활용한 메탄감축사업을 들 수 있다. 이 사업을 청정개발체제 사업으로 추진할 경우 CO<sub>2</sub>보다 온실효과가 21배인 메탄을 감축함으로써 온실가스 감축효과가 매우 높고 부가적으로 전기 또는 열을 생산함으로써 추가적 온실가스 감축 달성이 가능하여 청정개발체제 사업 추진 잠재력은 매우 높은 것으로 판단된다.

국내 농업분야의 청정개발체제 사업 활성화를 위해서는 우선 축분처리시설의 메탄발생량 감축이나 바이오매스 발전, 바이오연료 활용 등의 온실가스 감축 잠재력이 높은 사업에 대한 타당성 평가 작업이 추진될 수 있는 실행프로그램이 수립되어야 한다. 타당성 평가 작업이 이루어지기 위해서는 사업단위별 온실가스 배출량 산정과 청정개발체제 사업화를 위해 현재 사용되고 있는 베이스라인 및 모니터링 방법론들의 적용조건을 심층적으로 검토해야 한다.

국내 농업부문의 청정개발체제 시범사업의 단계적 추진방안으로 우선 농업분야의 각 배출원별 온실가스 배출량 산정방법에 대한 명확한 이해가

선행되어야 한다. 특히, 농업분야는 지역적 특성과 생산방식이 많은 영향을 미치게 되므로 입지적 특성을 고려한 적절한 온실가스 배출량 산정방식이 모색되어야 한다. 다음으로 배출원으로부터 온실가스를 감축할 수 있는 기술에 대한 지식과 경험이 축적되어 있어야 한다. 청정개발체제 사업이 성공적으로 추진되기 위해서는 과거 기술개발과정을 통하여 적합하다고 입증된 기술이나 이미 선진국에서 상용화된 기술들을 적용함으로써 실제 사업 추진에 따른 위험요소들을 사전에 제거해야 할 것이다. 실행 가능한 사업아이템을 발굴하여 기초적인 배출량 산정방법, 누출량 평가 등 감축량 산정에 필요한 데이터베이스, 사업 인허가와 관련된 제도적 보완 등 청정개발체제 사업을 가능하게 하는 인프라 구축이 필요하다.

청정개발체제 사업의 가장 중요한 요건인 추가성 입증에 어려움이 없는지 확인해야 한다. 즉, 현재 보편적으로 시행되는 사업인지, 경제적·기술적 장애요인으로 인해 자연적 보급이 어려운 사업인지 등을 평가해야 한다. 적정규모의 사업 발굴이 필요하며, 청정개발체제 사업 추진에 따른 환경문제나 지역주민 민원문제 등의 발생에 대한 해결책이 모색되어야 한다. 또한 관련주체별 적절한 역할분담도 필요하다.

국내 농업분야 청정개발체제 사업 개발사례 발굴과 관련하여 현재까지 청정개발체제집행위원회의 인정을 받은 국내 청정개발체제 사업들 중 농업분야의 사업은 아직 개발되지 않고 있으나 농업부문의 청정개발체제 사업에 대한 관심이 커지고 있다. 비록 농업분야의 사업은 아니지만 이와 유사한 임업 폐기물을 이용하여 바이오매스 발전소를 건설하고 운영함으로써 온실가스 배출량을 줄인 사업의 추진사례로 충북 제천 바이오매스 발전 사업을 들 수 있다. 제천의 바이오매스 발전 사업은 임산폐기물 바이오매스를 연료로 투입하여 전력을 생산하는 사업으로 연간 4,752CO<sub>2</sub>톤의 온실가스를 줄일 수 있을 것으로 추정되고 있다. 축산부문의 바이오에너지 활용 사례로 농가형 바이오가스 플랜트를 설치하여 전력을 생산하는 충남 청양군 여양농장을 들 수 있다.<sup>26</sup>

26 충남 청양에 위치한 양돈농장인 여양농장(청양읍 장승리 458-2)에서 축산분뇨

## 나. 농업부문 배출권거래제 활용

배출권거래제는 교토의정서를 이행하기 위한 주요한 경제적 수단으로 최근 들어 EU, 영국, 캐나다, 덴마크, 미국, 일본 등에서 본격적인 사업 또는 시범사업으로 추진되고 있다. 국가마다 할당된 감축량 의무 달성을 위해 자국의 기업별, 부문별로 배출량을 할당하고 기업들은 할당된 온실가스 감축의무를 이행하지 못할 경우 다른 나라 기업으로부터 할당량을 매입하도록 유도하고 있다.

농업부문의 배출권거래제로는 미국에서 추진되고 있는 환경크레딧거래제를 도입하여 추진하는 방식을 검토할 필요가 있다. 환경크레딧거래는 규제 기업에게 오염저감서비스 크레딧을 구입함으로써 그들의 의무를 달성할 수 있도록 허용한다. 농업 자체는 대부분의 환경 규제에 해당되지는 않지만, 농민이 온실가스 저감 크레딧을 생산하고 이를 규제 기업에게 판매함으로써 신용거래 프로그램에 참여할 수 있다. 농업인은 온실가스 감축을 통해 크레딧 산출 비용이 구입자가 요청한 가격보다 낮으면 이익을 얻을 수 있으므로 적극적인 관심과 참여가 이루어지게 될 것이다.

온실가스 감축과 관련하여 크레딧거래 시장이 형성되면, 환경크레딧의 가격은 상품교환과 비슷하게 만약 판매자와 구매자의 수가 충분하다면 시장에 의해 결정될 것이다. 만약 판매자와 구매자가 적고 관리자에 의해 가격이 결정된다고 하더라도, 프로그램 참여자는 환경 규제 준수를 위한 비용이 더욱 효율적으로 배분되므로 여전히 이득을 볼 수 있다. 시장 지향적

---

를 이용한 바이오가스 플랜트가 운영되고 있다. 이 플랜트는 산업자원부 에너지관리공단에서 시행하고 (주)유니슨에서 주관한 플랜트 사업으로 ‘농가형 축산분뇨 처리를 통한 바이오가스화 처리공정 개발’ 실증 사례이다. 여양농장은 양돈 4,000두 규모이며 하루 20톤의 분뇨를 발생해 바이오가스(메탄가스)를 생산한다. 이 농장은 시간당 60kW의 가스발전기를 가동하고 연간 전력 400MWh를 만들어 농장에서 전기를 쓰고 있다. 이 전기는 관리사의 온수와 난방에 사용되며 잉여전기 일부는 한국전력에 1kW당 80원에 판매된다. 이 사업에는 총 13억 9,500만원이 투입되었다(박윤만, 2007).

방식의 새로운 정책하에서 환경크레딧 시장에 농민의 참여를 장려하기 위한 프로그램 개발이 필요하다. 이를 위해서는 농업인이 생산할 수 있는 환경크레딧을 산정하기 위한 방법론이 개발되어야 한다. 또한 환경크레딧 거래 프로그램에 참여함으로써 농업인들의 소득이 발생할 수 있는 사례를 발굴하여 대농민 홍보가 이루어져야 할 것이다. 농업부문의 환경크레딧거래제가 운용될 수 있는 제도적 기반이 이루어지는 경우 현행 기업과 농촌간 자매결연을 통해 실질적 도움을 주는 일사일촌(또는 일사다촌) 운동과 연계시킬 수 있어 유력한 도농교류 프로그램으로 활용될 수 있다. 이 경우 농촌과의 교류대상은 온실가스 감축을 위해 배출권을 구입해야 하는 기업이 된다. 실제로 온실가스 의무감축이 부과되는 경우 석유·화학 등 화석연료 의존형 기업의 경우 배출권구매에 상당한 관심을 가지게 되어 환경크레딧을 보유한 농촌지역과의 교류가 크게 활성화될 수 있을 것이다.

표 24. 주요국의 배출권거래제 현황

| 국 가 | 주요내용                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E U | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2005년 1.1부터 총 12,000사업장 대상으로 역내 배출권거래제 시행</li> <li>- EU 이산화탄소 배출량의 50%에 해당하며 CO<sub>2</sub> 배출권 가격은 2007년 인도분 기준 1유로(2008년 인도분 기준 15유로)</li> <li>- 초과배출 1톤당 40유로의 벌금을 부과하며 '08년부터는 100유로로 인상 예정</li> </ul>                                |
| 영 국 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자발적 참여에 기초하여 국가단위로 실시되는 최초의 배출권 거래제 시행</li> <li>- 2002~'03동안 총 946업체가 1,573건 450만 톤 거래(2002년 1,331건, 2003년 242건)</li> <li>- 2004년 53만 톤 거래 후 2005년 최초 3개월간 10만 톤에 불과한 제한적 거래 진행</li> <li>- 거래가격은 1.68~3.80파운드 사이에서 형성</li> </ul>          |
| 덴마크 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2001년부터 발전소 대상 CO<sub>2</sub> 총량규제 및 배출권 거래제 시행</li> <li>- 참여회사는 8개사 정도이고, 거래가 많이 발생하지 않아 정부 차원의 참여 유도 진행 중</li> </ul>                                                                                                                    |
| 미 국 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 미국 북동부 주들의 온실가스 저감 프로그램인 RGGI에서는 전력부문을 대상으로 배출권 할당 및 거래시행을 계획 중</li> <li>○ 캘리포니아주를 중심으로 서부 5개 주는 지역별 배출권 할당 및 거래제 시행에 합의 하고 계획을 추진 중</li> </ul>                                                                                           |
| 일 본 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 31개 자발적 참여자를 대상으로 배출권거래제 시범사업 실시('03~'04)</li> <li>○ JVETS(Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme) 1단계가 '06년 4월부터 '07년 3월까지 진행되었으며 100여개(최초 31개 기업 할당) 이상 기업이 참여함('07년 8월 말까지 검증작업 완료 예정)</li> <li>○ 거래가격은 평균 톤당 10달러에서 형성</li> </ul> |

## 메뉴방식 직불제 등 환경적 상호준수 프로그램 도입

농업부문에서 자발적으로 온실가스 감축이 이루어지는 경우 농업인의 적극적인 참여 유도를 위해 적절한 인센티브를 지급하도록 해야 한다. 현재 친환경농업직불제는 유기재배 및 무농약재배 등 친환경농산물 인증을 받은 경우에만 지급하고 있다. 메뉴방식 직불제는 농업부문의 온실가스 감축과 직접적으로 관련된 수단별 프로그램 메뉴를 작성하여 메뉴에 제시된 대로 실천하는 경우 적절한 직불금을 지급하는 방식이다. 특히 농업부문이 온실가스 감축에 자발적으로 참여하라는 것을 대내외적으로 알리기 위해서 교토의정서 이행에 따른 온실가스 의무감축이 이루어지기 이전에 조기감축이 이루어지는 메뉴방식의 직불제는 유력한 정책수단으로 활용될 수 있다.

앞에서 검토된 바와 같이 지금까지 개발된 논벼 건답직파, 질소시비관리, 농경지 토양유기탄소 관리, 에너지작물 재배, 축산부문 장내발효 개선 및 분뇨처리시설 개선 등은 기술이 개발되어 현장에 적용할 수 있고 또한 상당한 온실가스 저감잠재력을 가지는 것으로 평가되었다. 실제로 메탄배출 감축을 위한 논벼재배의 건답직파, 간단관개 등 벼 생력재배법과 축산부문의 발효촉진제인 이오노포아(Ionophore) 급여에 따른 장내발효 개선 등은 농업부문 온실가스 관리를 위한 메뉴방식 직불제 사업메뉴로 활용할 수 있다. 메뉴방식 직불제의 지급단가는 사업별 특성과 추가적으로 투입되는 경제적 비용과 온실가스 감축에 따른 사회적 편익 등을 종합적으로 고려하여 책정해야 한다.

## 바이오에너지 생산지원 확대

주요국의 농업부문 대응전략에서 제시된 바와 같이 검토 대상 모든 국가에서 에너지작물재배와 가축분뇨의 바이오가스 활동 등 바이오에너지 생산을 위한 적극적인 지원정책을 추진하고 있다. 기후변화대응 제4차 종합대책의 농업부문 추진사업에서 제시된 바와 같이 바이오에너지 원료작물 생산과 바이오매스를 활용한 대체에너지 개발 등 바이오에너지 분야의 연구개발 사업이 중점과제로 선정되었다. 현재 농업부문의 바이오에너지

생산지원 프로그램으로는 바이오디젤 원료생산을 목적으로 2007년부터 3년간 유채재배 시범사업을 통해 1,500 ha의 재배단지 조성이 추진되고 있다(강창용 외 5인, 2006, pp.82-84).

유채는 다른 작물에 비해 기름 함유비가 높아 일본, 미국, 유럽 등 주요국의 사례에서 핵심과제로 추진하는 바와 같이 바이오디젤 원료로 재배면적이 크게 확대되고 있다. 우리나라의 경우 유채생산의 경제성이 낮은 것으로 분석되고 있어 생산지원을 위한 메뉴방식의 직불제 도입 등 적절한 대책마련이 이루어져 한다. 또한 중장기적으로는 새만금 간척지 등 신규로 확보되는 농경지에서 에너지 작물을 재배하는 방안에 대한 기술적·정책적 측면에서 적극적인 검토가 이루어져야 한다.

축산부문의 경우 가축분뇨를 이용하여 바이오가스를 생산하는 방식에 대해서는 청정개발체제 사업의 중요한 메뉴로 제시된 바 있다. 독일과 덴마크에서 가축분뇨를 이용한 농가형 바이오가스 플랜트는 이미 국내에서도 실용화 기술이 상당한 수준에 있어 적절한 지원책이 이루어진다면 크게 활성화될 수 있는 분야이다. 바이오플랜트 시설의 과다한 초기 투자비와 대체에너지 활용을 촉진할 수 있는 제도적 장치가 잘 마련되지 않아 바이오가스 사업의 애로요인으로 작용하고 있다. 가축분뇨를 이용한 바이오가스 플랜트와 청정개발체제 사업이 연계되어 추진될 수 있는 방안이 마련된다면 축산부문의 바이오에너지 관련 사업이 활성화될 수 있을 것이다. 현재 축산분뇨를 이용하여 바이오가스 생산이 이루어지고 있는 시설물(충남 청양 여영농장, 충남 성환 축산시험장, 충남 홍성 양돈농장)에 대한 정확한 진단과 평가가 이루어지면 애로요인 해결을 위한 적절한 대책이 마련될 수 있을 것이다.

## ■ 주요 추진과제

### 기후변화협약 관련 국내외 협상 적극 참여

국제협상전략과 관련하여 기후변화협약 관련 논의인 당사국총회(COP)

와 부속서 관련회의에 효과적으로 대처하기 위해 농림부에 전담인력을 배치하는 것은 물론 전문가 풀을 구축하여 효과적인 의제검토가 이루어질 수 있도록 해야 한다.

온실가스 배출원단위에 있어서 국내농업 여건을 반영할 수 있도록 협상에 적극적으로 참여해야 한다. 온실가스 배출통계 작성 시 국가 고유의 배출계수 적용을 요구하고 있으나, 우리나라는 농축산부문의 경우 대부분 유엔 기후변화 정부간협약의 임의배출계수를 통한 온실가스 배출량을 산정하고 있다. 한편 일본의 경우 아산화질소를 산정할 때 일본에서 도출된 배출원단위를 활용함으로써 온실가스 감축 할당량 산정에 상당히 기여하고 있다. 또한 미국, 캐나다 등 선진국은 국가고유배출계수를 개발하여 적용하고 있으며 최근에는 불확실성을 최소화하는 연구에 집중하여 농업부문에서의 온실가스 배출량 저감에 기여하고 있다.

유엔 기후변화 정부간협약의 임의배출계수 사용 시 우리나라 농축산업의 여건을 제대로 반영할 수 없기 때문에 온실가스 배출 통계자료의 불확실성이 커지게 된다. 따라서 농축산업 부문의 온실가스 배출을 정확하게 반영할 수 있는 국가고유배출계수 개발 및 저감방식 적용 시 정밀한 통계산정이 가능하도록 관련분야 연구는 물론 유엔 기후변화 정부간협약의 기술적 논의 회의에 적극 참여하여 우리나라의 의견이 반영되도록 해야 할 것이다.

기후변화협약의 국내 대응체계는 국무총리가 위원장으로 범정부대책기구가 구성되어 운영되고 있다. 농림부도 관계부처로 참여하고 있으므로 농업부문이 국내 온실가스 감축에 상당히 기여하는 부분을 적극적으로 알리고 이에 상응하는 대가를 온실가스를 감축해야 하는 산업부문으로부터 농업부문에 보상할 수 있는 방안 도출에 관한 적극적인 검토가 필요하다. 교토의정서 이행으로 실제로 온실가스 의무감축이 이루어지는 경우 부문별 감축 할당량과 감축수단의 선택과 관련하여 상당한 논의가 이루어질 것으로 보인다. 국내의 온실가스 배출량은 2004년의 경우 1990년 대비 90.2% 증가하여 현실적으로 의무감축이 이루어지는 경우 화석연료 의존적인 산업부문에 경제적으로 상당한 영향이 불가피한 것으로 보인다. 그러나 제4

장에서 온실가스 의무감축의 농업부문 파급영향에서 제시된 바와 같이 농업부문은 기준시점에 대비하여 온실가스 의무감축보다는 오히려 배출허용량을 확보받을 수 있기 때문에 적극적인 협상이 필요하다.

배출권거래제도 시행과 관련하여 특정산업부문에 한정되지 않고 농업을 포함한 전체 산업부문에서 시행될 수 있도록 적절한 전략개발이 이루어져야 할 것이다.

## 체계적인 연구 및 기술개발

체계적인 연구 및 기술개발을 위해 온난화 방지책연구, 온난화 영향평가연구, 온난화 적응책 연구 등 세 분야를 나누어 추진되어야 한다<그림 22>.

우선 온난화 방지책 연구에서는 온실가스 배출감축, 흡수제고, 배출·흡수 메커니즘 규명을 위한 전과정분석모델(LCA Model) 개발 등을 다루어야 한다. 전과정분석은 농산물의 생산, 가공 및 소비 등 전 과정에서 발생하는 환경부하를 과학적으로 평가하는 방식으로 각 단계별 온실가스 발생량을 정량화하는 방법론이다.

영향평가 연구에서는 작물생산, 생태계 및 사회경제적 파급영향 분석, 정책효과 분석, 수량예측 모델 개발 등을 다루며, 적응분야에서는 고온장해 메커니즘과 유전적 요인 규명, 품종개발 등이 이루어져야 할 것이다.

연구분야의 경우도 실천전략 접근방식인 기반구축단계, 활용단계, 정착단계 등 단계별 방지책연구, 영향평가연구, 적응책연구 등 분야별로 로드맵을 작성하여 체계적인 수행과 평가시스템을 구축해야 한다. 특히 교토의 정서 이행을 지속가능한 농업 발전 기회로 활용할 수 있는 전략적 연구과제를 발굴하여 추진해야 한다.

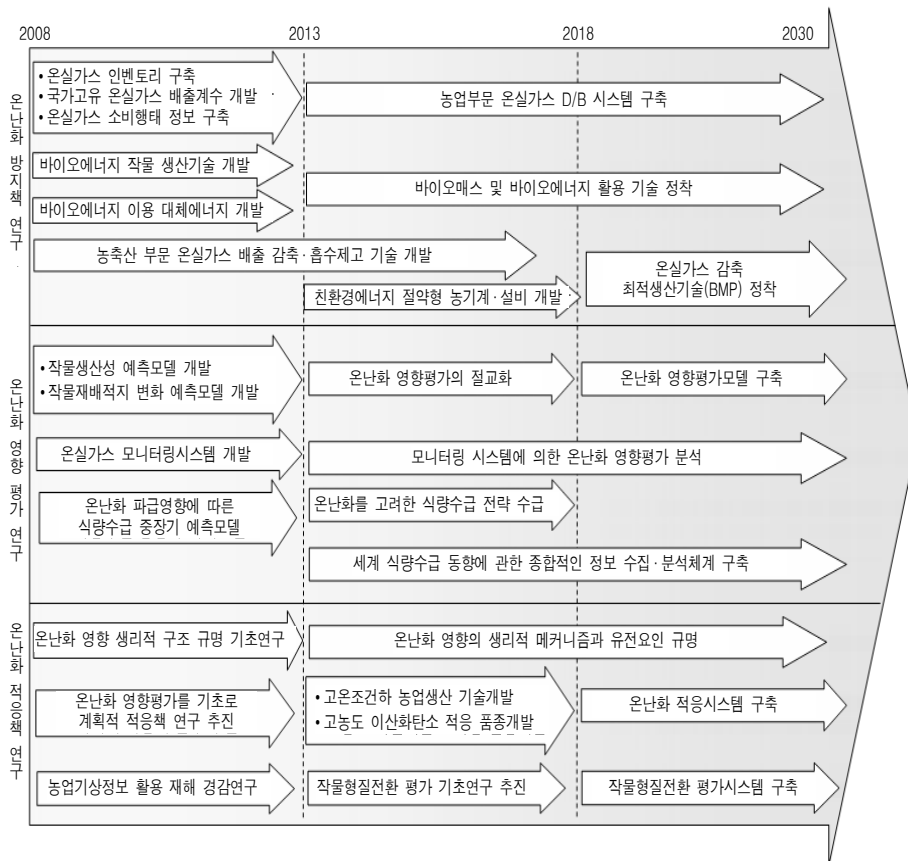
농업분야의 온실가스 감축이 이루어지는 부문에 대한 과학적 분석을 통해 크레딧을 부여하여 적절한 보상이 이루어질 수 있는 전략 연구도 추진해야 한다. 아울러 온실가스 절감농법을 실천하는 경우 메뉴방식의 친



환경직접지불제 프로그램 개발과 농경지에서 배출되는 메탄·이산화질소 감축 시비관리와 물 관리 기술개발과 보급이 필요하다. 특히 자운영 재배, 건실한 유기농법 실천, 유채 등 바이오에너지 작물 재배 등을 통한 온실가스 절감농법이 농가에 보급될 수 있는 정책프로그램도 개발되어야 할 것이다.

반추가축의 메탄 및 아산화질소 배출과 관련하여 온실가스 발생 메커니즘에 대한 규명, 개발된 억제물질(마늘 등)의 실효성에 대한 검증 연구도 추진되어야 한다. 가축분뇨 자원화와 유채재배 등의 분야에서 농업부문 청정개발체제 시범사업 추진 세부 프로그램이 개발되어야 한다.

그림 22. 온실가스 의무감축 대응 농업부문 연구추진 로드맵



## 건설한 유기농업 육성

화학비료와 농약 등 화학적 농자재를 투입하지 않는 유기농업이 아산화질소 등 온실가스 감축에 크게 기여하는 것으로 제시되고 있어 건설한 유기농업육성을 위한 프로그램 마련이 필요하다. 현재 유기농업 실천이 이루어지고 있는 지역과 지역 여건상 유기농업 실천이 유리한 지역을 대상으로 유기농업단지를 조성하는 방안에 대한 적극적인 검토가 필요하다. 유기농업단지에 투입되는 농자재에 대한 검증과 관행농업과 대비하여 온실가스 감축이 이루어지는 양에 대한 크레딧을 인정하여 현행 직불제에 추가하여 지원하는 방안에 대한 검토가 필요하다.

유기농업 실천과 관련하여 화학적 농자재를 투입하지 않는 대신에 과다한 유기질 비료나 친환경농자재를 사용하는 경우 온실가스 감축에 대한 기여도가 낮을 수 있으므로 유기농업 실천에 대한 교육과 홍보가 필요하다. 현재 유기농업육성 프로그램으로는 유기농업 실천농가에게 3년간 한시적으로 지급되는 친환경농업직불제가 전부이지만 유기농업 실천농가를 육성할 수 있는 기술지원, 교육, 판로지원 등 다양한 프로그램이 보다 더 개발되어 적극 추진되어야 할 것이다.

## 적응부문의 지속적 노력

적응대책은 온실가스 의무감축 여부와 무관하나 기후온난화가 농업생산에 미치는 영향은 불가피하고 상당하므로 농업부문 스스로 해결책 모색을 위한 노력이 필요하다. 적응대책을 수립하여 적절하게 대처하지 않으면 온난화가 심화될수록 농업부문에 부정적 영향이 가중될 수 있다. 적응부문의 실행프로그램은 온난화가 농업부문에 미치는 영향과 취약성에 대한 과학적 분석을 다루는 연구가 추진되어야 한다. 기후변화의 예측정보와 기상관련 정보를 활용한 농업부문 온난화 모니터링 및 조기경보시스템 구축과 농업분야의 부문별 취약성 지도 작성이 이루어질 수 있도록 적절한 조치가 마련되어야 할 것이다.

농업부문의 적응과 관련해서는 온난화에 대응하는 새로운 작물재배 방법(비료성분 조절, 관개방식 개선 등)의 확립과 변화된 기후에 적합한 신품종 개발이 이루어질 수 있도록 해야 한다. 또한 각 지역별 기후변화에 따른 주산단지 변화에 적절한 대응책이 마련될 수 있도록 “주산단지재편성 특별연구단”(가칭)을 구성하여 추진하는 방안을 적극 검토해야 한다.

## 농업부문 온실가스 통합관리시스템 구축

향후 온실가스 의무감축 이행에 대비하여 경종부문과 축산부문의 온실가스 저감 및 흡수 방안을 통합적으로 관리하고 운영하는 제도적인 장치 마련이 필요하다. 특히 농업부문의 온실가스 저감기술에 대한 데이터베이스 구축, 신기술 관리, 개발된 기술에 대한 모니터링 및 홍보, 개선방안 개발 등을 종합적으로 수행하는 통합관리시스템(Agri-Environmental Integrated Management System)이 구축되어야 한다. 중장기적으로는 온실가스 의무감축을 농업분야의 기회로 최대한 활용하고 온난화에 효과적으로 적응할 수 있도록 관련 업무를 총괄하는 통합관리기구로 ‘농업기후변화정보센터’(가칭)를 설치하여 운영하는 방안에 대한 검토가 필요하다. 이 센터는 정책개발, 영향평가, 기술개발, 조사통계, 홍보, 국제협력 등의 업무를 담당하는 팀으로 구성할 수 있을 것이다. 정책개발팀은 농업부문 온실가스 저감 및 적응 정책개발, 부문별 저감목표 설정, 흡수원 활용정책 등의 정책개발을 담당한다. 영향평가팀은 기후변화가 농산물 생산에 미치는 영향과 농업생태계에 미치는 영향평가에 관한 업무를 담당한다. 아울러 에너지작물 등 바이오에너지작물 재배에 따른 농산물 가격 및 농가소득에 미치는 영향 분석 등의 분석업무도 담당토록 한다. 기술개발팀은 경종 및 축산부문의 온실가스 저감기술 개발, 농경지의 온실가스 흡수원 증대 기술개발, 온난화 적응 품종개발 및 에너지작물 재배기술 개발 등에 관한 업무를 담당한다. 조사통계팀은 농업부문 온실가스 인벤토리 작성, 농업부문 온실가스 배출량 추정기법 개발, 온실가스 감축목표 달성 평가 및 적응정책 이행에 관한 종합적인 평가 등에 관한 업무를 담당한다. 홍보팀은 농업부문의 온실가스

감축 및 온실가스 흡수원 확대를 위한 기술홍보 및 교육 등의 관련 업무를 담당한다. 또한 국가 기후변화대책에 적극적으로 참여하고 온실가스 감축에 기여하는 농업부문의 가치를 홍보하는 역할을 담당한다. 국제팀은 농업부문의 기후변화협약 및 교토의정서에 대응한 협상전략 수립 및 국제회의 참가, 청정개발체제와 배출권거래제 등 교토메커니즘 활용의 국제적 동향 파악, 기후변화협약에 대응한 국제정보 수집 및 기후변화 관련 국제협력의 업무를 담당한다.

### 농업부문 기후변화협약 대응 전담인력 확보

기후변화협약 대응 관련 농업부문의 행정 및 연구 전담인력이 확보되어야 한다. 우리나라의 농업부문 기후변화협약 대응 행정업무는 농림부 친환경농업정책과 기획계(사무관 1명, 주무관 1명)에서 친환경농업 분야의 타업무 처리와 함께 포괄하여 다루어지고 있는 실정이다. 한편 일본 농림수산성은 지구온난화 문제에 적극적으로 대처하기 위해 2003년 대신관방 산하 직속기구로 농업관련 환경정책 수립과 조정 업무를 담당하는 전담조직으로 환경정책과를 설치하였다. 환경정책과는 총무반, 기획반, 환경기술반, 자연환경반, 지구환경반, 국제조정반 등으로 구성되어 있다. 2007년에는 전담부서 명칭을 ‘환경 및 바이오매스 정책과’로 변경하여 바이오매스 기획반과 지역환경반을 추가하여 환경정책과의 조직과 업무를 확대하였다. 2007년 말 현재 ‘환경·바이오매스 정책과’는 과장을 포함하여 36명의 인력이 관련 업무를 담당하고 있다.

기후변화협약에 대비한 농축산부문의 기술적 연구는 농촌진흥청 소속 농업과학기술원, 축산과학원, 영남농업연구소, 호남농업연구소, 난지농업연구소 등에서 이루어지고 있고, 정책분야의 연구는 한국농촌경제연구원 등에서 이루어지고 있다. 각 기관별 기후변화협약 및 교토의정서 이행 대비 전담 연구 인력은 매우 취약한 실정이므로 관련분야의 유능한 연구 인력이 확보되어야 한다. 또한 기후변화 관련연구의 여러 분야 전문가가 참여하는 공동연구 추진 및 정보교류를 위한 네트워크가 구축되어야 할 것이다.

## 제 7 장

### 요약 및 결론

2012년 이후 교토의정서 체제 관련 국내외 여건변화를 종합해볼 때 2차 공약기간부터 우리나라의 온실가스 의무감축 이행 가능성이 높다. 의무감축이 부과되는 경우 농업부문은 온실가스 배출량이 감소 추세이고 흡수원의 기능도 있어 대응하기에 따라서는 호기로 활용할 수 있다. 기후변화협약에 따른 농업부문 파급영향 분석에 관한 후속연구로 추진된 이 연구에서는 교토의정서 이행에 대비하여 농업부문의 실효성 있는 단계적 대응전략을 제시하였다.

온실가스 감축 수단으로 농업부문이 배출권거래제에 참여하는 경우 내부적 수익증가와 국가경제에 기여하는 것으로 분석되었다. 탄소세가 부과될 경우 단기적으로는 농축산부문에서 화석에너지 의존도가 높은 시설채소와 시설화훼부문에서 농업경영비 상승 압박이 큰 것으로 나타나 적절한 대책 마련이 필요하다.

교토의정서에 따른 온실가스 의무감축과 관련하여 주요국(일본, 미국, 덴마크, 독일, 영국)의 사례를 분석하였다. 주요국의 경우 농업부문이 온실가스 총배출량에서 차지하는 비중은 덴마크를 제외하고는 7% 미만이나, 메탄과 아산화질소 배출에서는 상당히 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 주요국은 농업부문을 의무감축 부문에 포함시켜 관리하기 보다는 자율적으로 온실가스를 조정·관리하는 방식을 취하고 있다. 농업부문의 온실가스 감축수단으로 시설지원, 유기농육성, 바이오에너지 활용, 연구개발, 적응 등은 일본, 미국 및 유럽 주요국에서 추진하고 있는 대표적인 방안으로 국내 대책수립 시 벤치마킹할 수 있다.

지금까지 국내 연구를 통해 온실가스 방지 핵심기술인 논벼 건답직파를 통한 메탄 감축, 질소시비관리의 아산화질소 감축, 농경지 토양유기탄소의 활용, 바이오에너지작물 재배, 축산부문 장내발효 및 분뇨처리시설 개선 등에 관한 온실가스 저감 잠재력 평가 결과 온실가스 감축에 상당히 기여하는 것으로 분석되었다.

교토의정서 이행에 따른 농업부문의 대응전략 수립의 기본방향으로 지속가능농업시스템 구축을 위한 기회로 활용, 농업정책과 온실가스정책의 통합·조정을 통한 정책결합, 국내외 협상에 적극적·능동적으로 대처, 온

실가스 배출량·흡수량에 관한 과학적인 분석, 온난화 적응 등을 제시하였다. 농업부문의 실천전략은 2030년을 목표연도로 기반구축단계(2008~2012), 도약단계(2013~2018), 정착단계(2019~2030) 등 3단계로 접근하였고, 온실가스 감축-흡수-적응 분야의 부문별 프로그램 추진을 통해 환경친화적 저탄소 농업생산시스템이 구축될 수 있도록 단계별 로드맵을 제시하였다.

실천전략의 핵심과제로 기후변화대응 제4차 종합대책의 적극적 추진, 교토메커니즘을 적극 활용하는 농업부문 청정개발체제 시범사업과 배출권거래제 활용, 메뉴방식 직불제 등 환경적 상호준수 프로그램 도입, 바이오에너지 생산지원 확대 등을 제시하였다. 또한 기후변화협약 등 최근의 여건 변화에 적절히 대응하기 위한 주요과제로 기후변화협약 관련 국내외 협상에 적극 참여, 체계적인 연구 및 기술개발, 건실한 유기농업 육성, 적응부문의 지속적인 노력, 온실가스 통합관리시스템 구축 등을 제시하였다.

지구온난화 문제가 국내외적으로 핫이슈로 부각되고 있는 시점에서 농업부문이 온실가스의 효과적인 관리를 위한 기간산업으로 재인식시키도록 해야 한다. 이를 위해서는 관련분야의 지속적이고 체계적인 연구·개발의 추진, 기후변화대책 수립의 국책과제 논의에 적극 참여할 수 있도록 전담인력과 조직 보강, 유관기관 간의 적절한 역할 분담과 전문가 활용 등이 유기적으로 이루어져야 한다.

특히 농업부문의 경우 온실가스 증가에 따른 지구온난화의 가속화는 직접적으로 농업생태계와 농산물 생산에 영향을 미치므로 온실가스 관리 프로그램과 더불어 적절한 적응대책을 수립하여 지속적이고 전략적으로 추진해야 한다.

이 연구에서는 농업부문의 온실가스 저감수단별 한계비용 산정과 정책수단별 우선순위 결정에 관한 체계적인 분석이 이루어지지 않았으나 향후 이 분야에 대한 심층적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 아울러 농업분야의 온실가스 저감수단에 대한 경제적 평가와 관련하여 경제성 공학의 방법론을 적용한 저감수단별 비용 추정과 온실가스 저감효과와 비용간의 비용효과성(cost effectiveness) 분석, 농가경제에 미치는 영향 등에 대한 실증적인 연구도 이루어져야 할 것이다.

## 부록: 교토의정서 조문별 주요 내용

| 조 문                 | 주요내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 전문                  | ◦ 협약의 원칙 준수, 베를린 위임사항의 추구 명시                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 제1조(정의)             | ◦ 주요 용어 정의                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 제2조<br>(정책 및 조치)    | ◦ 선진국(Annex I)은 에너지 효율 향상, 신재생에너지 개발 등 자국의 상황에 적절한 온실가스 감축 정책 및 조치를 채택함<br>◦ 온실가스 흡수원과 저장원 보호와 증진, 지속가능농업 촉진                                                                                                                                                                                                           |
| 제3조<br>(감축의무)       | ◦ 2008~2012년간 선진국(Annex I) 전체의 배출총량을 1990년 수준보다 최소 5% 감축하되, 각국별 -8%~+10%의 차별화<br>◦ CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub> 등 6개를 온실가스로 규정, 국별 사정에 따라 HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub> 등은 1995 기준연도 이용 가능<br>◦ 흡수원(Sinks)은 1990년 이후 토지이용 및 조림사업을 국별 배출량 산정 시 인정, 세부내용은 당사국 총회에서 결정 |
| 제4조<br>(감축목표의 공동달성) | ◦ 협정 당사국이 총 배출감축량을 공동으로 달성하지 못한 경우, 개별 당사국은 협정문에 명기된 개별적 배출수준에 대하여 책임져야 함                                                                                                                                                                                                                                              |
| 제5조<br>(추정방식)       | ◦ 온실가스의 배출원별 배출과 흡수원별 제거에 대한 추정 방법론은 IPCC에서 채택하고 COP에서 결정한 추정 방법론 사용                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 제6조<br>(공동이행)       | ◦ 선진국간 Credit 이전을 위한 공동이행사업 허용                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 제7조<br>(국가보고서)      | ◦ 선진국은 온실가스 배출통계 및 관련 정보 제출                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 제8조<br>(국가보고서 검토)   | ◦ 협약당사국과 국제기구에 의해 지명된 전문가들로 구성된 전문 평가팀이 국가보고서를 검토, 보고서 제출                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 제9조<br>(의정서 검토)     | ◦ 당사국총회는 기술적·사회적·경제적 정보와 함께 기후변화 영향 관련 최신정보 기초로 주기적 검토와 적절한 조치 시행                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 제10조<br>(당사국 의무)    | ◦ 당사국은 공동의 차별화된 책임에 의거, 감축조치 시행<br>- 온실가스 배출저감, 흡수원 향상, 적응조치 등 적절한 조치 추진                                                                                                                                                                                                                                               |
| 제11조<br>(재정·기술지원)   | ◦ 선진국의 개도국에 대한 재정지원 및 기술이전 의무 강화                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 제12조<br>(공동이행사업)    | ◦ 선진국과 개발도상국 간 공동이행사업 허용, 공동이행사업에 참여하는 선진국이 일정수준 기금 제공, 개도국 원조 제공                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 제13조<br>(의정서총회)     | ◦ 의정서 당사국의 의무이행 현황 평가 및 주기적 검토<br>◦ 협약상의 의사결정 규칙 준용                                                                                                                                                                                                                                                                    |



|                     |                                                                                       |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 제14조<br>(사무국)       | ◦ 협약상의 사무국 이용                                                                         |
| 제15조<br>(부속기구)      | ◦ 협약상의 부속기구 이용                                                                        |
| 제16조<br>(다자협의절차)    | ◦ 의정서 당사국 총회는 협약 제13조의 다자간 협의 절차를 이용하는 방안 강구                                          |
| 제17조<br>(배출권거래)     | ◦ 협약 당사국 총회는 배출권거래 제도의 운영방안 결정                                                        |
| 제18조<br>(의무불이행)     | ◦ 제1차 의정서 총회는 감축의무 이행위반과 관련, 대상 및 범위, 조사 및 확인방법 등 절차와 방식을 결정                          |
| 제19조<br>(분쟁해결)      | ◦ 분쟁 해결에 관한 협약 제14조의 조항은 본 의정서에 준용                                                    |
| 제20조<br>(의정서 개정)    | ◦ 개정안은 6개월 전 사무국을 통해 당사국들에게 통보<br>◦ 합의를 통해 결정이 도출되도록 노력, 실패시 3/4 다수결                  |
| 제21조<br>(부속서 제정·개정) | ◦ 제안 및 개정안은 6개월 전 사무국을 통해 당사국들에게 통보<br>◦ 부속서 B의 개정은 관련 당사국의 서면 동의 필요                  |
| 제22조<br>(투표권)       | ◦ 당사국은 하나의 투표권을 가지며, 지역경제통합기구는 의정서에 가입한 회원국 수만큼의 투표수를 가짐                              |
| 제23조<br>(의정서수탁자)    | ◦ 유엔 사무총장이 의정서의 수탁자임                                                                  |
| 제24조<br>(가입·승인·비준)  | ◦ 의정서는 '98.3.16~'99.3.15일 뉴욕 유엔본부에서 서명 개방<br>◦ 비준, 승인 및 인가된 동 법률 문서는 수탁자에게 기탁         |
| 제25조<br>(의정서 발효)    | ◦ 의정서는 55개국의 비준서가 기탁되고 동 비준국에 90년도 선진국 CO <sub>2</sub> 배출량의 55%이상 선진국이 포함된 후 90일 후 발효 |
| 제26조<br>(유보)        | ◦ 유보조항 없음                                                                             |
| 제27조<br>(의정서 탈퇴)    | ◦ 의정서 발효 3년 후 당사국은 서면통지를 통해 탈퇴<br>◦ 수탁자가 가입탈퇴 통보를 받은 후 1년 경과 후 탈퇴효력 발생                |
| 제28조<br>(의정서 정본)    | ◦ 아랍어, 중국어, 영어, 프랑스어, 러시아어, 스페인어 의정서 원본은 동등                                           |
| 부속서 A               | ◦ 감축대상가스 및 발생부문/원천 규정                                                                 |
| 부속서 B               | ◦ 각국의 감축목표 규정                                                                         |
| 배출원 범주              | ◦ 농업<br>- 장내발효, 퇴비 관리, 벼 경작, 농토<br>- 목초지의 예정된 소각, 농산 잔여물의 경지 소각, 기타                   |

자료: 유엔(1998), 유엔환경계획 한국위원회(2002).

---

## 참고 문헌

---

- 강승진. 1999. 「에너지-경제-환경시스템의 모형화 연구」. 에너지경제연구원.
- 강창용 외 5인. 2006. 「농업부문 바이오매스의 이용 활성화를 위한 정책방향과 전략」. 연구보고서 R523. 한국농촌경제연구원.
- 강희정 외 2인. 2003. 「온실가스 저감량 산정방법에 대한 평가분석 틀 연구 -최종보고서」. 에너지관리공단.
- 국무조정실. 2006. 「기후변화협약 제3차 종합대책 '06년도 부처별 추진실적 점검 보고서」.
- 기후변화협약대책위원회. 2007. 「기후변화협약 대응 제3차 종합대책」.
- 김동엽 · 이창환. 2005. 「토양탄소의 저장과 지구온난화 방지」. 한국과학기술정보연구원.
- 김정호 등. 2007. 「농업부문 비전 2030 중장기 지표 개발」. 연구보고서 C2007-4. 한국농촌경제연구원.
- 김태운 외 3인. 2007. 「기후변화협약 종합대책 평가」. 국회예산정책처.
- 김창길. 2007. “지구온난화의 농업부문 영향과 대책.” 지구온난화 농업부문 대응방안 세미나 자료집」. 농촌진흥청. pp.1-35.
- 김창길, 김태영, 신용광. 2006. 「기후변화협약에 따른 농업부문 파급영향 분석」. 연구보고서 R520. 한국농촌경제연구원.
- 김창길, 김태영, 이상건. 2007. 「제3차 기후변화협약대책 농림분야 평가 및 제4차 종합대책 추진방안」. C2007-25. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 외 7인. 2004. 「친환경농업체제로의 전환을 위한 전략과 추진방안」. 연구보고서 R469. 한국농촌경제연구원.
- 김창길 외 3인. 2007. 「주요국의 농업부문 기후변화협약 대응방안」. D229. 한국농촌경제연구원.
- 농림부. 2005. 「기후변화협약 대응 농림업분야 온실가스 배출 저감대책」 (내부자료).
- 농림부. 2007. 「기후변화대응 제4차 종합대책 농림분야 과제선정」 (내부자료).
- 농림부. 2007. 「기후변화협약 농림분야 대응방안 검토」 (내부자료).
- 농촌진흥청. 2002. 「기후변화와 농업생태계 변동 연구동향」. 연구동향분석보고서 2002-2.
- 농촌진흥청. 2005. 「농업부문 온실가스 배출 저감기술 개발」. 제5차 연도 보고서.

- 매일경제신문사. 2006. 「CO<sub>2</sub>전쟁: 온실가스 재앙인가? 돈인가?」.
- 박순철. 2006. “축산분뇨 혐기소화를 통한 바이오가스 발전기술.” 국회 환경경제연구회 41차 정책심포지엄 자료집.
- 박윤만. 2007. “축분뇨 활용 바이오가스 플랜트 준공.” 축산신문. 2007. 11. 14.
- 방기열 외 10인. 2004. 「기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구」. 산업자원부·에너지경제연구원.
- 신의순, 김호석. 2005. 「기후변화협약과 기후정책」. 아산재단 연구총서 제178집. 집문당.
- 신정식 외 7인. 1995. 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구」. 통상산업부·에너지경제연구원.
- 양승룡 외 7인. 2005. 「탄소배출권 거래제 도입과 농업부문 대응전략에 관한 연구」. 농림부.
- 양승룡 외 3인. 2006. “농업부문의 기후변화협약/교토의정서 대응방안.” 「농업경영·정책연구」 제33권 제2호: 475-494.
- 오병근. “자운영 재배를 통한 대기중 CO<sub>2</sub> 흡수효과.” 2007. 「연구와 지도」. 제48권 제3호. pp.26-29.
- 오진규 등. 2005. 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구(상·하)」. 통상산업부, 에너지경제연구원.
- 유엔환경계획 한국위원회. 2002. 「교토의정서」. 유넵프레스.
- 윤성이. 2001. “지속가능한 농업을 위한 농업자원의 유효이용 방안: 기후변화협약에 따른 영향과 대책.” 한국유기농업학회지. 9권: 23-44.
- 윤성호. 1995. “농업부문의 온실가스 배출량 추정과 저감 대응 방안.” 오진규 등. 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응 방안 연구(하)」. pp.733-798. 에너지경제연구원.
- 이상곤 외 13인. 2003. 「기후변화협약 및 교토의정서 대응전략 연구」. 산업자원부·에너지경제연구원.
- 이상호 등. 2005. 「산업용 원료(바이오에너지)로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원방안 연구」. 농림부·미래농정연구원.
- 임재규, 박근수. 2004. 「기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반 구축연구(제1차연도)」. 기본 연구보고서 05-23. 에너지경제연구원.
- 임재규 등. 2005. 「기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축 연구(제2차연도)」. 기본 연구보고서 05-12. 에너지경제연구원.

- 임재규 등. 2006. 「기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축 연구(제3차년도)」. 기본 연구보고서 06-12. 에너지경제연구원.
- 정원교. 2007a “농경지에 대한 유기탄소 지표 연구.” OECD 농업환경지표 개발 전문가 워크숍 발표자료. 농업과학기술원.
- 정원교. 2007b “토양유기탄소 지표의 개발과 활용 - 토양유기탄소의 추적.” 「OECD농업환경지표 개발 및 정책적 활용에 관한 워크숍」. 농촌진흥청. pp. 147-168.
- 정원교, 김선관. 2007. “우리나라 논토양의 토양유기탄소 변동 특성.” 「토양비료학회지」 제40권 제1호: pp.36-42.
- 조광우 외 5인. 2002. 「기후변화협약 대응체제 연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 조경엽. 2000. “온실가스 저감정책과 파급효과: Global CGE 모형에 의한 분석.” 경제학연구 48(4): 323-368.
- 조경엽, 김영덕, 김효선. 2006. “초기할당방식과 예대 가능 여부에 따른 CO<sub>2</sub>배출권 거래제의 경제적 효과.” 「자원·환경경제연구」 제15권 제4호: 591-642.
- 탁태영. 1995. “축산부문의 온실가스 배출량 추정과 저감 대응방안.” 오진규 등. 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구(하)」. pp.903-983. 통상산업부, 에너지경제연구원.
- 한승호. 2006. 「기후변화협약의 새로운 도전 - 청정개발체제(CDM)의 이해와 활용」. 한울아카데미.
- 한화진 외 11. 2005. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 I」. 연구보고서 RE-01. 한국환경정책평가연구원.
- 한화진 외 10인. 2006. 「기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 II」. 연구보고서 RE-01. 한국환경정책평가연구원.
- 日本 農林水産省. 2007. 「農林水産省地球温暖化対策総合戦略」.
- 日本 環境省. 2007. 地球温暖化國內対策. [www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html).
- Adger, N.E. and K. Brown. 1994. *Land Use and the Causes of Global Warming*. New York: John Wiley & Sons.
- Australian Greenhouse Office. 2002. *Developing a Strategic Framework for Greenhouse and Agriculture*.
- Beach, Robert H. et al. 2006. Mitigation Potential and Cost for Global Agricultural Greenhouse Gas Emissions. Contributed Paper at the IAAE Conference.

- Capoor, K. and Ambrosi, P., 2007, 'State and Trends of the Carbon Market 2007', World Bank Institute, Washington, D.C.
- Clark, Harry. et al. 2001. Potential Management Practices and Technologies to Reduce Nitrous Oxide, Methane and Carbon Dioxide Emissions from New Zealand Agriculture. Ministry of Agriculture & Forestry, New Zealand.
- Danish Ministry of the Environment. 2005. Denmark's Fourth National Communication on Climate Change under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Defra. 2006. The UK's Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Department for Environment, Food and Rural Affairs
- Defra. 2007. UK Climate Change Programme: Annual Report to Parliament. London, UK.
- Duke, Chris. 2006. Potential for Agricultural Greenhouse Gas Emission Reductions in the Temperate Region of Canada through Nutrient Management Planning. Soil Resource Group. BIOCAP Canada.
- Freibauer, Annette. et al. 2004. Carbon Sequestration in the Agricultural Soil of Europe. *Geoderma* 122: 1-23.
- Gibbons, J.M., S.J. Ramsden, and A. Blake. 2006. "Modelling Uncertainty in Greenhouse Gas Emissions from UK Agriculture at the Farm Level." *Agriculture, Ecosystem, and Environment* 11: 347-355.
- Government of Japan. 2006. Japan's Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Government of Federal Republic of Germany. 2006. Fourth National Report under the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Government of U.S.A. 2007. US Climate Action Report 2006. Fourth National Communication of the United States of America under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Gupta, J., X. Olsthoorn and E. Rotenberg. 2003. "The Role of Scientific Uncertainty in Compliance with the Kyoto Protocol to the Climate Change Convention." *Environmental Science & Policy* 6: 475-486.

- IPCC. 2007a. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 - Synthesis Report.
- IPCC. 2007b. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. 2007c. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report.
- IPCC. 2007d. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jung, Won-Kyo and Sun-Kwan Kim. 2006. "Soil Carbon Dynamics in Korean Paddy Soils." *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 40-1. pp.36-42.
- Khakbizen, M. et al. 2004. Evaluating Economics of Greenhouse Gas Emission under High and Low Input Farming System. Paper Presented at the Canadian Agricultural Economics Society.
- Konyar, K. and R.E. Howitt. 2000. "The Cost of the Kyoto Protocol to U.S. Crop Production: Measuring Crop Price, Regional Acreage, Welfare, and Input Substitution Effects." *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 25(2): 347-376.
- Kotschi, Johannes and Karl Muller-Samann. *The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change*. International Federation of Organic Agriculture Movement (IFOAM). 2004.
- Lal, R. 2007. "Soil Science and the Carbon Civilization." *Soil Science Society of American Journal* 71:1425-1437.
- Manaloor, Varghese. 2006. CO<sub>2</sub> Emissions from Central Canadian Agriculture: Meeting Kyoto Targets and Its Implication. Poster paper prepared for presentation at the International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia, August 12-18. 2006.
- Murray, Brian C. "Overview of Agricultural and Forestry GHG Offsets on the US Landscape. *CHOICES*. Fall 2004. pp.13-18.
- OECD. 2007. OECD Environmental Outlook to 2030 - Draft Chapter 14: Agriculture. ENV/EPOC/RD(2006)/REV1. 20-Jul-2007.
- Perman, Jim et al. eds., 2003. *Good Practice Guideline for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC).
- Richards, K.R., R.N. Sampson, and S. Brown. 2006. *Agricultural and Forest lands: U.S. Carbon Policy Strategies*. Pew Center on Global Climate Change,

- Arlington, VA.
- Schneider, U. and B.A. McCarl. 2002. A The Potential of U.S. Agriculture and Forestry to Mitigate Greenhouse Gas emissions: An Agricultural Sector Analysis. Working Paper 02-WP 300.
- Silayan, Alan. 2005. Equitable Distribution of CDM Projects Among Developing Countries. Hamburg Institute of International Economics.
- Sirohi, S. and Michaelowa, A., 2004, CDM Potential of Dairy Sector in India, HWWA Discussion Paper 273
- Smith, E.G. and B. M. Upadhyay. July 6-9, 2005. Greenhouse Gas Mitigation on Diversified Farms. Selected Paper at the Western Agricultural Economics Association, San Francisco, CA.
- United Nations(UN). 1998. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- UNFCCC. 2001. The Marrakesh Accords and Marrakesh Declaration, 2001
- US Department Energy. 2004. Documentation for Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2002. DOE/EIA-06-38.
- U.S. Department of Energy - Energy Information Administration (USDOE-EIA). 2005. Annual Energy Outlook 2004: with Projections to 2025, Washington, D.C., U.S. Department of Energy-Energy Information Administration. DOE/EIA-0383.
- USEPA. Greenhouse Gas Mitigation Potential in U.S. Forestry and Agriculture. EPA 430-R-05-006. November 2005.
- VVM Working Group. 2004. Validation and Verification Manual. IETA.
- Wagner, Thomas. "U.K. Report: Warming Will Damage Economy." Associated Press News, October 30, 2006.

연구보고 R541

교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응전략

---

등 록 제6-0007호(1979. 5. 25)

인 쇄 2007. 12.

발 행 2007. 12.

발행인 최정섭

발행처 한국농촌경제연구원

130-710 서울특별시 동대문구 회기동 4-102

전화 02-3299-4000 팩시밀리 02-959-6110

<http://www.krei.re.kr>

인쇄처 동양문화인쇄포럼

전화 02-2241-7120 E-mail: [dongyt@chol.com](mailto:dongyt@chol.com)

---

ISBN 978-89-6013-051-7 93520

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.  
무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.