

주요국의 농업부문 기후변화협약 대응 방안

김 창 길 연구 위원
이 상 건 위 축 연구 원
김 만 근 네바다주립대 교수
자 슨 앤 더 슨 유럽환경정책연구원

연구 담당

김 창 길	연 구 위 원	총괄 및 일본의 대응전략
이 상 건	위촉연구원	미국·유럽의 대응전략 편집 정리
김 만 근	네바다주립대 교수	미국의 대응전략
자슨 앤더슨	유럽환경정책연구원부장	유럽의 대응전략

머 리 말

선진국(부속서 I 국가)의 경우 2008년부터 교토의정서에 따라 온실가스 의무감축이 실제로 이루어져야 하기 때문에 국가별 대응전략을 마련하여 추진해 오고 있다. 선진국의 경우 경제성장과 더불어 온실가스 배출도 지속적으로 증가하는 추세에 있어 저감의무 부과는 경제활동에 상당한 압박요인으로 작용하게 된다. 농업부문은 온실가스 감축과 흡수가 적절하게 이루어지는 경우 국가적 온실가스 관리에 상당히 기여할 수 있기 때문에 선진국에서 다양한 전략을 수립하여 적극적으로 추진하고 있다.

이 자료집은 기본과제로 추진된 「교토의정서 이행에 따른 농업부문 대응전략」에 관한 연구수행의 부산물로 미국과 유럽(덴마크, 영국, 독일), 일본 등 주요국의 온실가스 감축에 대비한 농업부문 대응전략을 정리한 것이다. 미국과 유럽의 대응전략은 해당국의 전문가에게 원고작성을 의뢰하여 작성되었고, 일본은 해외 출장 시 입수된 자료를 번역하여 정리한 자료이다. 자료집은 해당 국가별 교토의정서 이행에 대비한 농업부문 종합대책의 상세 정보를 담고 있어 국내 농업부문 대응책 수립 시 유용한 기초자료로 기여하게 되기를 기대한다.

주요국의 대응전략에 관한 자료 작성에 있어서 미국의 전략을 정리한 네바다주립대의 김만근 교수, 유럽 전략을 정리한 유럽환경정책연구원의 기후변화연구부장인 Jason Anderson 박사에게 감사드린다. 아울러 일본의 농업부문 대응전략 관련 자료 제공과 핵심내용을 설명해준 일본농림수산성 환경·바이오매스정책과 마사미치 사이고 과장, 유럽국가인 덴마크·영국·독일 등의 국가 전략을 단기간 체계적인 정리가 가능토록 여러 연구진 참여를 독려한 유럽환경정책연구원의 David Baldock 원장에게도 감사드린다.

2007. 12.

한국농촌경제연구원장 최 정 섭

차 례

제1장 미국 농림업부문의 온실가스 저감정책 전략

1. 서론	1
2. 미국 농림업부문의 온실가스 발생실태	4
3. 미국 농림업부문 온실가스 저감전략	12
4. 미국 농림업부문 온실가스 저감 정책전략	33
5. 미국 농림업부문 온실가스 전략의 정책적 함의	51
6. 요약 및 결론	59
부록1. 미국 농림업부문 온실가스 배출량 산정	61
참고 문헌	75

제2장 EU 농업부문에서 교토의정서의 준수 대책

1. EU에서 교토의정서의 이행	82
2. 기후변화통제의 맥락에서 EU 농업의 역할	99
3. 국가별 사례연구	112
4. 공동 농업 정책의 역할	136
참고 문헌	140

제3장 일본 농림수산성 지구온난화대책 종합전략

1. 서론	145
2. 지구온난화 방지책	150
3. 지구온난화 적응책	172
4. 농림수산 분야의 국제협력	178

표 차 례

제1장

표 1-1. 미국 산업부문별 온실가스 배출량 추이	5
표 1-2. 미국 온실가스별 배출량 추이	7
표 1-3. 미국 농업부문 온실가스 배출량 추이	7
표 1-4. LULUCF 활동에 따른 순 이산화탄소의 흐름	11
표 1-5. LULUCF 활동에 따른 Non-CO ₂ 배출량	12
표 1-6. 미국 탄소고정 비용과 잠재력	15
표 1-7. 탄소고정과 관련된 의회 법안	37
표 1-8. 2002년 미국 농업법에 추가 또는 도입된 탄소고정 관련 프로그램	43

부록

부표 1-1. 축종별, 지역별 메탄변환율, Ym(%)	62
부표 1-2. 축종별, 지역별 소화율, DE(%)	65
부표 1-3. 소를 제외한 축종별 메탄배출계수	66
부표 1-4. 축종별 축산배설물 계산에 필요한 수치들	67

제2장

표 2-1. ECCP의 첫 번째 단계 이행관련 위원회 대책	85
표 2-2. 주요국의 등록된 CDM 프로젝트 수	110
표 2-3. 농업부문의 승인된 CDM 바이어	110
표 2-4. 유럽 주요 3개국의 온실가스 대응책 비교	135

제3장

표 3-1. 책정단체 수 추이	156
------------------------	-----

그 립 차 례

제1장

그림 1- 1.	탄소고정 활동의 도입과 탄소저장량의 변화	13
그림 1- 2.	탄소고정 공급곡선	16
그림 1- 3.	경제적 온실가스배출 저감 잠재량	19
그림 1- 4.	탄소가격에 따른 벼논재배부문 메탄 감축량	28
그림 1- 5.	탄소가격에 따른 축산부문 메탄 감축량	30
그림 1- 6.	탄소가격에 따른 아산화질소 감축량	31
그림 1- 7.	탄소가격에 따른 이산화탄소 감축량	32
그림 1- 8.	미국의 온난화 대응 정책수단 사다리	36
그림 1- 9.	농림업 관련 온실가스 저감량과 포트폴리오	52
그림 1-10.	탄소가격과 시간에 따른 누적 온실가스 감축량	54
그림 1-11.	기술적 잠재량, 경제적 잠재량 그리고 경쟁적 잠재량	56

부록

부도 1- 1.	조림에 따른 탄소고정량과 시간에 따른 변화	72
부도 1- 2.	조림 및 수확후 재조림에 따른 탄소저장량 변화	73
부도 1- 3.	보존형 경운 경작방식을 무경운으로 전환할 경우 탄소고정량 변화	74

제2장

그림 2- 1.	EU 회원국들의 온실가스 배출량 목표(2008~2012)	83
그림 2- 2.	신규 EU 회원국의 온실가스 배출량 목표(2008~2012)	84
그림 2- 3.	EU-15 회원국들의 목표까지의 거리(2004)	98

제 1 장

미국 농림업부문의 온실가스 저감정책 전략¹

1. 서론

인간 경제활동과 화석연료 사용 증가에 따른 온실가스 배출과 농축산 부문의 생산 활동이 지구온난화로 대표되는 기후변화의 주요 원인임은 주지의 사실이다. 1997년 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택한 교토의정서(Kyoto Protocol)와 후속협약에 따라 선진국들은 1차 공약기간인 2008년부터 2012년까지 교토의정서에 규정된 온실가스의 연간배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 줄여야 한다(UNFCCC, 1998).

미국은 전세계에서 가장 많은 온실가스를 배출하는데 대략 전세계 온실가스 배출량의 약 25%에 해당한다.² 따라서 미국의 온실가스 배출량을 효과적으로 제어하지 않고서는 기후변화 문제를 해결할 수 있는 방법이 없다고 할 수 있다. 교토의정서에 정해진 미국의 1차 공약기간 의무감축량은 1990년 배출량의 7%이다.

1 온실가스 저감을 위한 미국 농림업부문의 대응전략에 관해서는 미국 네바다주립대학교 자원경제학과 김만근 교수가 작성한 자료이다.

2 중국의 온실가스 배출량은 1994년부터 2004년까지 매년 4%씩 증가했으며 2007년 말 미국을 제치고 세계에서 가장 많은 온실가스를 배출할 것으로 예상하고 있다(International Herald Tribune, 2007).

그러나 미국은 지구온난화의 과학적 증거가 불충분하고 중국, 인도 등 온실가스 배출량이 빠르게 증가하는 국가들이 개도국 지위를 받아 의무감축량이 없음을 지적하면서 교토의정서를 비준하지 않고 있다(White House, 2001). 대신 부시 행정부는 2012년까지 온실가스 강도를 18% 감축하는 계획을 발표하였다(White House, 2002). 온실가스 강도란 국내총생산(GDP)과 온실가스 배출량의 비율로 상대적 온실가스 배출량을 말하는데 온실가스 강도를 18% 줄인다 하더라도 실제 절대적 온실가스 배출량이 증가할 수도 있다. 만약 미국 경제가 향후 연간 3%씩 성장한다고 가정할 경우 온실가스 강도를 18% 낮춘다 하더라도 2012년 총배출량은 현재보다 약 10% 증가하게 된다.

국제사회의 거세지는 요구에 따라 미국도 가까운 미래에 교토의정서를 비준하고 정부 주도의 온실가스 감축전략을 마련할 것으로 보이는데 이와 관련하여 최근 부시 행정부는 온실가스 배출량이 높은 세계 15개국(한국, 중국, 인도 등 포함)이 모여 새로운 온실가스 감축계획을 세울 것을 제시하였다(Washington Post, 2007). 물론 이는 향후 온실가스 감축 분야에서 주도권을 잡기 위한 미국의 전략이라 폄하되기도 하지만 미국정부도 기후변화협약에 따른 온실가스 감축 프로그램을 마련하고 있음을 의미한다.

미국 농림업부문도 상당량의 온실가스를 배출하므로 이러한 온실가스 감축 프로그램에 영향을 받는다. 기후변화협약과 온실가스 감축정책에 따른 농림업부문의 직간접 영향은 네 가지로 대별할 수 있다(McCarl and Schneider, 1999, 2000).

- 1) 농림업부문은 상당량의 온실가스(주로 메탄과 아산화질소)를 배출하므로 온실가스 감축의무가 있다.
- 2) 농림업부문은 탄소고정(carbon sequestration)을 이용하여 토양과 바이오매스의 탄소저장량(carbon stock)을 증가시켜 온실가스의 순 배출량을 줄일 수 있다.
- 3) 농림업부문은 온실가스의 주 배출원인 화석연료의 대체재를 생산, 공급하여 온실가스 순 배출량을 줄일 수 있다(바이오에너지 또는 바이오연료).
- 4) 온실가스 감축정책에 따른 농림업 투입재 등의 가격변화에 따라 생산의사결정이 영향을 받는다.

위 4가지 영향 중 특히 탄소고정과 바이오에너지의 공급은 미국정부가 많은 관심을 가지고 있는 부분이다.

탄소고정은 2001년 제7차 당사국총회인 마라케시 합의문을 통해 온실가스 저감방법으로 인정받았다. 교토의정서에서는 신규조림, 재조림, 산림전용을 포함한 토지이용, 토지이용변화, 임업(LULUCF) 활동과 토지이용변화를 수반하지는 않지만 개선된 산림관리, 경작방식의 변경 등 탄소저장량을 변화시키는 활동을 온실가스 저감방법으로 인정하고 있다.³ 이와 관련하여 기후변화 정부간 협의회(IPCC)는 특별보고서 “토지이용, 토지이용변화, 임업” (IPCC, 2000b)과 “토지이용, 토지이용변화, 임업 우수실행 지침서” (IPCC, 2000a)를 발행하였다. 광활한 토지를 소유하고 있는 미국은 탄소고정을 통해 상당 부분의 온실가스 감축분을 해결할 수 있을 것으로 기대하고 있으며 이에 따른 여러 가지 관련 연구가 진행되고 있다.

바이오에너지 또는 바이오연료의 생산도 온실가스 저감방안으로 연구되고 있다. 농림업부문에서 공급된 바이오매스로부터 액체연료(에탄올이나 바이오디젤)를 생산하여 화석연료를 대체하거나 전력생산에 석탄과 바이오매스를 함께 연소하여 온실가스 순 배출량을 줄이는 방법이 제시되었다. 바이오연료 역시 연소 시 이산화탄소를 배출하지만 이 이산화탄소는 바이오매스 성장 과정 중 대기로부터 흡수한 것이므로 순 배출량은 0이 된다.⁴ 따라서 바이오연료를 사용할 경우 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있다. 또한 최근의 원유가격 급등은 바이오연료의 생산과 이용에 대한 관심을 증대시키는 또 다른 이유가 되었다.

본 연구는 최근 발표된 연구와 미국 정부 보고서를 중심으로 미국 농림업부문의 기후변화협약 대응관련 정책전략에 대해 알아보고 그 정책적 함의를 찾는 데 목적이 있다. 이 연구는 기후변화협약에 따른 한국 농업부문의 대응책

3 자국 내 산림활동과 공동이행제도(Joint Implementation, JI)에서는 두 가지 활동을 모두 인정하지만 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)하에서는 신규조림과 재조림만을 인정한다.

4 바이오연료 생산과정 및 수송과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 고려하면 정확히 0이 되지 않는다.

수립의 해외 벤치마킹 자료로 그 의의가 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 미국 농림업부문의 온실가스 발생실태를 살펴본다. 미국 온실가스 배출현황은 미국 환경부(US EPA)에서 발간한 Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks를 기초로 농림업부문에 초점을 맞춰 서술한다. 3절에서는 농림업부문의 온실가스 감축전략에 대해 요약한다. 미국은 탄소고정과 바이오에너지에 관심이 많으므로 3절은 탄소고정과 바이오에너지의 경제적 타당성과 온실가스 저감 잠재량 그리고 관련 연구에 대해 서술한다. 4절에서는 농림업부문의 온실가스 감축전략에 대한 정책적 접근에 대해 서술하며, 5절에서는 농림업부문의 온실가스 감축전략에 대한 정책적 함의에 대해 논의한다.

2. 미국 농림업부문의 온실가스 발생실태

이 절에서는 미국 농림업부문의 온실가스 발생실태에 대해 요약한다. 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)의 세부규정에 따라 미국 환경부는 온실가스의 배출, 흡수량에 대한 국가 통계를 작성하여 발표한다. 최근 발간된 미국 온실가스 배출 및 저장 목록(U.S. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990~2005)을 중심으로 미국 농림업부문의 온실가스 발생실태를 정리하였다.

2.1. 미국 온실가스 배출량

2005년 기준 미국의 온실가스 배출량은 72억 CO₂톤이고 순 배출량⁵은 64억

⁵ 순 배출량은 온실가스 흡수를 고려한 수치이다.

CO₂톤으로 1990년 이후 2005년까지 약 16.3%(연평균 1.1%) 증가하였다. 2004년과 비교하여 2005년 온실가스 배출은 0.8% 증가하였다. 경제성장과 더불어 2005년 무더운 날씨에 따른 전력수요의 증가로 온실가스 배출은 늘었으나, 원유가격 상승에 따른 전체 에너지 수요 감소에 따라 전체 증가율은 완만하였다(US EPA, 2007).

1990년 이후 미국 온실가스 배출추이를 보면 에너지 부문의 온실가스 배출량은 전체배출량의 85%를 차지하며 주로 전력생산에 필요한 화석연료의 연소에 기인하는 것으로 나타났다.

표 1-1. 미국 산업부문별 온실가스 배출량 추이

단위: 백만 CO₂톤

구 분	1990	1995	2000	2005
에너지	5,202.2 (83.3)	5,525.8 (84.1)	6,069.2 (84.9)	6,201.9 (85.4)
산업공정	304.4 (4.9)	319.3 (4.9)	343.5 (4.8)	337.9 (4.7)
농업,축산	530.3 (8.5)	526.8 (8.0)	547.4 (7.7)	536.3 (7.4)
토지이용 및 임업 (non-CO ₂ 배출)	13.0 (0.2)	10.1 (0.2)	21.3 (0.3)	18.9 (0.3)
폐기물	192.2 (3.1)	189.1 (2.9)	165.9 (2.3)	165.4 (2.3)
총배출량	6,242.0 (100.0)	6,571.0 (100.0)	7,147.2 (100.0)	7,260.4 (100.0)
토지이용 및 임업(흡수원)	-712.8	-828.8	-756.7	-828.5
순 배출량	5,529.2	5,742.2	6,390.5	6,431.9
1인당 배출량(CO ₂ 톤)	23.8	23.7	24.4	24.5

주: 괄호 안의 수는 총배출량에 대한 퍼센트를 나타냄.

한편 농축산부문의 온실가스 배출량은 전체 배출량의 약 7.4%를 차지한다.⁶ 농업관련 활동에 따른 온실가스 배출은 축산부문의 가축장내발효, 축산분뇨분해, 벼논재배, 농경지관리(질소질 비료 등), 농업잔여물(예를 들어 볏짚 등) 소

⁶ 농기계 이용 등의 화석연료 연소에 따른 온실가스 배출량은 에너지 부문에 기록되며 CO₂ 흡수량은 토지이용 및 임업 부문에 기록된다.

각 등에 의해 발생하며 메탄과 아산화질소를 주로 배출한다.

토지이용과 임업 부문은 메탄과 아산화질소 배출과 더불어 이산화탄소의 배출 및 흡수와 관련되어 있다. 산림관리, 도시지역의 조림(tree planting), 농경지 관리 및 경작방식 등은 탄소고정(carbon sequestration)을 통해 이산화탄소를 흡수한다. 2005년 기준 토지이용과 임업 부문은 대략 8억 3,000만 CO₂톤을 탄소고정을 통해 흡수하였다.

온실가스별 구성비(2005년 기준)를 살펴보면 이산화탄소가 전체배출량의 84%이고 농업부문과 관련이 깊은 메탄과 아산화질소의 배출량은 전체의 14%를 차지하였다. 이산화탄소는 1990년 대비 20.3%가량(연평균 1.3%) 증가한 반면 메탄 배출량은 11.5%(연평균 0.7%), 아산화질소 배출량은 2.8%(연평균 0.2%) 감소하였다<표 2-2>. 같은 기간 동안 HFCs, PFCs, SF₆의 배출량은 82.5%(연평균 5.2%)가 증가하였다.

2.2. 미국 농업부문 온실가스 배출량

농업부문은 다양한 과정을 통해 온실가스 배출과 직접 관련되어 있다. 이산화탄소의 흡수와 화석연료 소비에 따른 이산화탄소의 배출은 이 절에서 다루지 않는다. 그 이유는 농업부문의 이산화탄소 흡수는 토지이용과 임업부문에 기록되고 화석연료 소비에 따른 이산화탄소의 배출은 에너지부문으로 기록되기 때문이다. 농업부문의 이산화탄소 흡수는 다음 절에서 다시 언급한다.

2005년 미국 농업부문은 약 5억 3,630만 CO₂톤의 온실가스를 배출하였는데 이는 미국 총 온실가스 배출량의 7.4%에 해당한다<표 1-1>. 농업부문에서 배출되는 주요 온실가스는 메탄과 아산화질소이다. 메탄은 가축장내발효와 가축분뇨관리, 벼논재배와 농업잔여물을 소각할 때 발생하며 아산화질소는 농경지 관리(비료시비 및 경작방식), 가축분뇨관리, 농업잔여물 소각 시 발생한다.

2005년 가축장내발효로부터 발생하는 메탄 배출량은 전체 메탄 배출량의 약 21%, 축산분뇨분해에 따른 메탄 배출량은 전체 배출량의 약 8%에 해당하였다.

아산화질소는 농업부문 농경지관리에서 대부분 배출되는데 2005년의 경우 미국 전체 아산화질소 배출량의 78%가 농업부문에서 배출되었다.

표 1-2. 미국 온실가스별 배출량 추이

단위: 백만 CO₂톤

구 분	1990	1995	2000	2005
이산화탄소(CO ₂)	5,061.6 (81.1)	5,384.6 (81.9)	5,940.0 (83.1)	6,089.5 (83.9)
메탄가스(CH ₄)	609.1 (9.5)	598.7 (9.1)	563.7 (7.9)	539.3 (7.4)
아산화질소(N ₂ O)	482.0 (7.7)	484.2 (7.4)	499.8 (7.0)	468.6 (6.5)
기타(HFCs, PFCs, SF ₆)	89.3 (1.4)	103.5 (1.6)	143.8 (2.0)	163.0 (2.2)
총배출량	6,242.0 (100.0)	6,571.0 (100.0)	7,147.2 (100.0)	7,260.4 (100.0)

주: 괄호 안의 수는 총배출량에 대한 백분율

미국 농업부문 온실가스 배출은 2001년을 정점으로 2004년까지 감소하였으나 2005년에 약간 증가하였다. 메탄 배출량은 큰 변화가 없는 반면 아산화질소의 배출량은 감소추세에 있으나 등락을 거듭하고 있음을 알 수 있다.

표 1-3. 미국 농업부문 온실가스 배출량 추이

단위: 백만 CO₂톤

구분	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
메탄 (CH ₄)	154.4	164.0	160.0	160.5	161.0	161.2	158.7	161.2
가축장내발효	115.7	120.6	113.5	112.5	112.6	113.0	110.5	112.1
가축분뇨분해	30.9	35.1	38.7	40.1	41.1	40.5	39.7	41.3
벼논	7.1	7.6	7.5	7.6	6.8	6.9	7.6	6.9
논두렁 태우기	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9
아산화질소(N ₂ O)	375.9	362.7	386.9	399.2	376.2	359.9	348.7	375.1
농경지관리	366.9	353.4	376.8	389.0	366.1	350.2	338.8	365.1
가축분뇨분해	8.6	9.0	9.6	9.8	9.7	9.3	9.4	9.5
밭둑 태우기	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5
총배출량	530.3	526.8	547.4	560.3	537.4	521.1	507.4	536.3

2.2.1. 축산부문

가. 가축장내발효

가축장내발효와 메탄 생성과 배출과정은 US EPA(1998) 또는 Gibbs and Leng(1993)에 상술되어 있다. 가축장내발효에 따른 메탄 배출량 추정방법은 소(cattle)의 경우는 IPCC Tier 2의 방법을, 그 외 가축들(말, 양 등)은 IPCC Tier 1의 방법을 이용한다(US EPA, 2007). IPCC Tier 1 방법은 메탄 배출량 추정 시 사육두수에 평균 배출계수(메탄)를 곱하여 구하는 방법이다(IPCC, 1997). 이 방법은 가축의 무게, 나이, 성별, 사료관리, 지역적 차이 등을 고려하지 않아 제한적이다. IPCC Tier 2 방법은 이러한 것들을 고려한 개선된 메탄 배출량 추정 방법으로 메탄 배출량 추정의 불확실성을 줄일 수 있다(IPCC, 2000a). 가축장내발효에 따른 메탄 배출량 계산은 부록에 따로 설명하였다.

2005년 가축장내발효에 따른 총 메탄발생량은 1억 1,210만 CO₂톤으로 2004년과 비교하여 약간 증가하였다. 가축장내발효에 따른 메탄 배출량은 주로 육우(71%)와 젖소(25%)에서 발생한다. 1995년 이후 가축장내발효에 따른 메탄 배출량이 줄어들어 1990년 대비 메탄 발생량은 3% 정도 감소하였다. US EPA(2007)에 따르면 메탄 배출량의 감소는 주로 육우와 젖소의 사육두수 감소와 사료품질의 향상에 기인한다고 지적하였다.

나. 가축분뇨처리

가축분뇨처리 과정에서는 메탄과 아산화질소가 배출되는데 메탄은 분뇨의 분해 과정에서 발생하며 아산화질소는 분뇨 속에 있는 유기질소의 질소고정과 탈질소작용(denitrification)을 통해 생성된다(Groffman et al, 2000). 가축분뇨처리 과정에서 발생하는 메탄과 아산화질소는 IPCC(2006)에서 제시한 방법인 가축사육두수, 질소발생량, 분뇨발생량, 분뇨처리 시스템 등의 정보를 기초로 추산한다. 가축분뇨처리과정에서 발생하는 메탄 및 아산화질소는 축종별, 처리방식에 따라 다르며 발생량은 연간 배출계수에 사육두수를 곱해 산출한다<부록 1>.

2005년 가축분뇨 처리과정에서 발생한 메탄은 약 4,000만 CO₂톤으로 1990년 대비 34%(연평균 2%) 증가하였다. 전반적인 사육두수는 감소했지만 돼지와 젓소의 분뇨처리가 액체시스템(flush or scrape)방법으로 전환됨으로써 메탄 발생량이 증가하였다. 한편 2005년 가축분뇨 처리과정에서 발생한 아산화질소는 약 950만 CO₂톤으로 추정되었다. 1990~2005년 아산화질소는 연평균 0.7%의 증가를 보였는데 주로 육우의 분뇨처리에 기인하며, 가금류 부문의 액체분뇨관리 시스템 전환과 가금류, 돼지의 사육두수 증가도 부분적인 원인으로 보인다(US EPA 2007).

2.2.2. 벼논재배

미국 내 쌀은 모두 담수된 논에서 생산되며 벼논 재배 시 담수된 논에서 메탄이 발생한다. 산소가 거의 없는 담수 상태의 토양에서 메탄 생산균이 유기물을 분해, 이산화탄소가 환원되는 과정에서 메탄이 발생한다. 벼논재배와 메탄 배출량의 계산은 IPCC(1997)에서 권고한 것처럼 수확면적과 면적당 배출계수를 이용하여 구한다<부록 1>.

미국의 경우 모두 8개 주(알칸소, 캘리포니아, 플로리다, 루이지애나, 미시시피, 미주리, 오클라호마, 텍사스)에서 벼논을 재배하나 재배면적이 많지 않아 실제 메탄 발생량은 미미하다. 2005년 기준 벼논재배 메탄 배출량은 약 700만 CO₂톤으로 미국 전체 메탄 배출량의 1.3%를 차지하였다. 다소 등락이 있긴 하지만 1990~2005년 동안 벼논재배에 따른 메탄 배출량은 전반적인 벼논재배 면적의 감소로 인하여 연평균 3% 정도씩 감소하였다<표 1-3>.

2.2.3. 농경지관리

아산화질소는 미생물에 의한 질화작용(nitrification)과 탈질소작용(denitrification) 과정을 통해 토양으로부터 자연적으로 발생하는데 농업경작에 따른 토양 내 질소의 증가(질소비료의 시비 등)는 아산화질소 배출을 증가시킨다. 이외에도 경작방식, 관개방법 등에 따라 아산화질소의 배출량이 결정된다.

아산화질소 발생량의 계산은 IPCC 권고에 따라 비료 종류별 아산화질소 배출비율과 배출계수를 이용하여 구한다. 미국의 경우 IPCC의 Tier 1과 3방법을 사용한다. 주 농작물의 경우 Tier 3방법을 사용하는데 이 방법은 환경요인과 토양관리방법까지 고려할 수 있는 생물지구화학(biogeochemical) 시뮬레이션 모형(DAYCENT)을 이용하여 아산화질소 배출량을 추산하는 것으로 Tier 1과 비교하여 좀 더 정교한 계산을 할 수 있는 장점이 있다. 주 농작물이 아닌 경우는 Tier 1의 방법을 이용하여 아산화질소 배출량을 계산한다<부록 1>.

토양관리에 따른 전반적인 아산화질소 배출량은 1990년 3억 6,690만 CO₂톤에서 2005년 3억 6,510만 CO₂톤으로 약간 감소하였으나 연간 배출량은 등락을 거듭하였다<표 1-3>. 배출량이 등락하는 주요 원인은 아산화질소 발생이 해당 연도의 날씨, 비료사용량, 수확량 등에 따라 달라지기 때문이다. 참고로 아산화질소는 농경지에서 75% 정도 배출되며, 나머지 25%는 초지에서 발생한다.

2.3. 미국 토지이용 및 임업 온실가스 배출과 흡수

토지이용 변화와 임업부문의 온실가스 배출 및 흡수에 관한 내용은 IPCC(1997), IPCC(2000b)에 자세히 기술되어 있다. 아울러 토지이용, 토지이용 변화 및 임업의 온실가스 배출과 흡수는 IPCC의 LULUCF 분야의 우수실행 지침서(Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry: GPG-LULUCF)에 따라 구축한다. 우수실행 지침서는 투명성, 완전성, 일관성 있는 온실가스 배출 및 흡수 측정방법을 제시하고 있다.

2005년 토지이용, 토지이용변화 그리고 임업활동에 따른 탄소저장량은 8억 2,850만 CO₂톤으로 미국 총 온실가스 배출량의 약 11.4%에 해당한다. 탄소저장량은 임업부문이 총 저장량의 84%, 도시지역 조림이 11%, 농경지가 2%를 차지하였다. 탄소저장량은 1990~2005년 사이 약 16%가 증가했는데 임업부문의 바이오매스 증가에 따른 탄소축적물의 증가와 산림면적의 증가에 기인한다.

LULUCF 활동에 따른 Non-CO₂ 배출은 합성비료 시비에 따른 아산화질소 배

출량이 620만 CO₂톤으로 1990년 대비 19% 정도 증가하였다. 산림 화재로 인한 메탄 배출은 1,160만 CO₂톤, 아산화질소 배출은 120만 CO₂톤을 기록하였다.

2.4. 소결

농업부문은 가축장내발효, 가축분뇨처리, 벼논재배, 토양관리 등을 통해 주로 메탄과 아산화질소를 배출한다. 2005년 기준 농업부문의 온실가스 배출은 미국 전체 온실가스 배출량의 약 7.4%를 차지하며, 아산화질소 배출량만을 고려하면 전체 아산화질소 배출량의 78%를 차지한다. 아울러 토지이용, 토지이용변화, 임업 부문은 메탄과 아산화질소를 배출하며 이산화탄소를 공기 중으로부터 제거한다. 산림부문이 2005년 기준 총 탄소고정량의 약 84%를 차지하며 도지지역 조림이 약 11%를 차지한다. 2005년 순 탄소고정량은 8억 2,850만 CO₂톤으로 2005년 전체 온실가스 배출량의 11.4%에 해당한다.

표 1-4. LULUCF 활동에 따른 순 이산화탄소의 흐름

단위: 백만 CO₂톤

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Forestland Forestland	(598.5)	(717.5)	(638.7)	(645.7)	(688.1)	(687.0)	(697.3)	(698.7)
Cropland Cropland	(28.1)	(37.4)	(36.5)	(38.0)	(37.8)	(38.3)	(39.4)	(39.4)
Grassland Grassland	0.1	16.4	16.3	16.2	16.2	16.2	16.1	16.1
Land Cropland	8.7	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
Land Grassland	(14.6)	(16.3)	(16.3)	(16.3)	(16.3)	(16.3)	(16.3)	(16.3)
Settlements Settlementsl	(57.5)	(67.8)	(78.2)	(80.2)	(82.3)	(84.4)	(86.4)	(88.5)
Other	(22.8)	(13.3)	(10.5)	(10.6)	(10.8)	(9.3)	(8.7)	(8.8)
Total	(712.8)	(828.8)	(756.7)	(767.5)	(811.9)	(811.9)	(824.8)	(828.5)

주: Urban trees; Land → Settlements 포함

표 1-5. LULUCF 활동에 따른 Non-CO₂ 배출량단위: 백만 CO₂톤

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Forestland Forestland	7.8	4.5	15.7	6.9	11.8	9.2	8.0	13.1
CH ₄ from forest fire	7.1	4.0	14.0	6.0	10.4	8.1	6.9	11.6
N ₂ O from forest fire	0.7	0.4	1.4	0.6	1.1	0.8	0.7	1.2
N ₂ O from soils ¹	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Settlements Settlements	5.1	5.5	5.6	5.5	5.6	5.8	6.0	5.8
N ₂ O from soils	5.1	5.5	5.6	5.5	5.6	5.8	6.0	5.8
Total	13.0	10.1	21.3	12.4	17.4	15.0	13.9	18.9

주: 합성비료의 시비

3. 미국 농림업부문 온실가스 저감전략

농림업부문의 온실가스 저감전략은 크게 탄소고정과 바이오연료의 원료인 바이오매스의 생산과 공급 그리고 직접감축으로 요약할 수 있다. 미국은 광활한 토지자원과 잘 정비된 농업기반 및 정부출연 연구기관을 가지고 있어서 농림업부문의 온실가스 저감전략을 즉시 시행할 수 있다. 이 절에서는 미국 농림업 부문의 온실가스 저감전략인 탄소고정과 바이오연료에 대해 살펴본 후 선행연구를 중심으로 각 연구들의 결론을 취합하여 요약하였다.

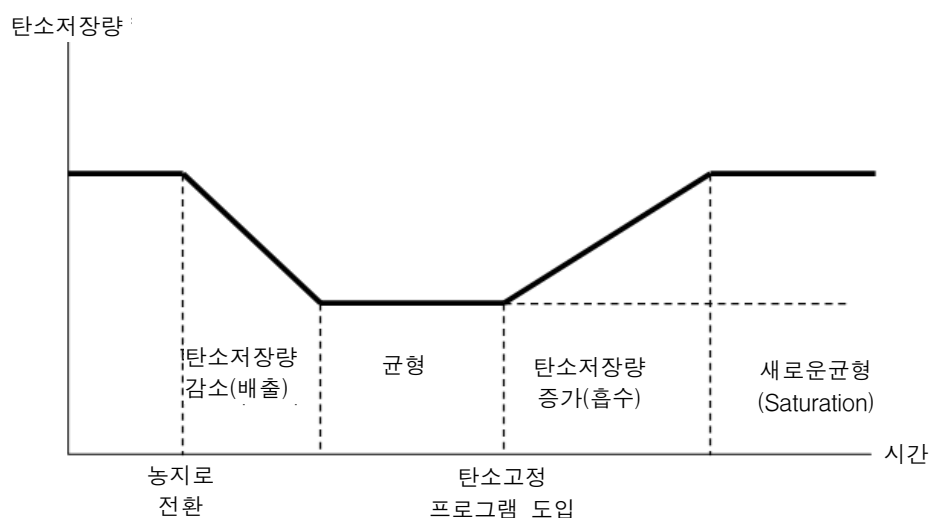
3.1. 탄소고정

토지가 산림 또는 초지상태에서 농경지로 전환되면 많은 양의 토양유기물(soil organic matter, SOM)과 함께 이산화탄소가 배출되며 역으로 농경지가 더

많은 SOM을 포함할 수 있는 관리방식, 즉 토지이용이 다시 초지나 산림으로 전환되면 대기 중의 이산화탄소가 토양 내로 흡수된다. 이 과정을 탄소고정이라 한다(Lal et al, 1998; McConkey and Lindwall, 1999). <그림 1-1>은 토양 내 탄소저장량의 변화와 탄소고정의 과정을 그림으로 나타낸 것으로 현재 균형 상태에 있는 탄소저장량은 탄소고정을 촉진하는 방식을 도입하면 대기 중으로부터 이산화탄소를 흡수하기 시작한다. 주의할 것은 탄소저장량의 변화가 선형으로 나타나 있는데 보통 탄소저장량의 변화는 비선형이다.

기존 연구에 따르면 탄소저장량을 증가시키는 방법은 크게 두 가지가 있다. 첫째는 토지의 경작, 관리방식을 바꾸는 것이고 둘째는 토지이용을 전환하는 것이다. 토지 경작, 관리방식의 변화는 집약적인 경작방식에서 덜 집약적인 또는 보존 농업이나 무경운 농업으로의 전환, 유기질 비료의 사용, 휴경(land retirement) 등이 있다. 토지이용을 전환하는 것은 농경지를 초지로 전환, 농경지나 초지를 산림으로 전환, 손상된 또는 방치된 토지에 재조림하는 것 등이 있다. 주의할 것은 토양에 저장되는 탄소의 양은 정해져 있다는 것(<그림 1-1>에서 새로운 균형)과 경작방식이 이전으로 되돌아가거나 산림을 수확하는 경우 짧은 시간(2~3년)안에 고정된 탄소가 대기 중으로 방출될 수 있다는 점이다.

그림 1-1. 탄소고정 활동의 도입과 탄소저장량의 변화



서론에서 언급한 것과 같이 미국은 광활한 토지자원을 가지고 있기 때문에 탄소고정을 이용한 온실가스 감축전략에 많은 관심을 가지고 있다. 탄소고정이 온실가스 순 배출량을 줄이는데 얼마만큼 기여할 수 있는가 그리고 그 비용은 얼마나 될 것인지에 대한 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 탄소고정을 촉진하는 이러한 방법들은 기존의 경작방식이나 토지이용보다 이윤수준이 낮기 때문에 탄소고정 프로그램 도입을 위해서는 적정 수준의 보조금이나 손실보전이 필요하다. 또는 탄소고정을 통해 획득한 탄소고정량을 탄소크레딧으로 인정, 배출권 거래시장에서 판매가 가능하도록 할 수도 있다. 이러한 일련의 정책전략은 4절에서 논의하기로 한다.

아무튼 탄소고정과 관련된 기존연구들의 일관된 주장은 탄소고정이 다른 온실가스 감축 방법과 비교하여 비용 효율적이라는 것이다. 선행된 연구에 의하면 미국의 경우 탄소고정을 정책대안으로 고려할 경우 온실가스 감축비용을 80%나 줄일 수 있다고 주장하였다(Richard, Moulton and Birdsey, 1993).

3.1.1. 탄소고정의 경제적 타당성

현재까지 진행된 탄소고정 관련연구에 따르면 농경지 및 산림지역의 탄소저장량 증가를 통해 온실가스 배출량을 줄이는 방법이 비용 효율적임이 증명되었다. 경제적으로 획득 가능한 탄소고정량은 경제적 유인, 개별 지역의 조건, 토지이용 및 경작방식, 농업생산자의 사회경제적 특성에 달려 있다.

합리적인 농업 생산자들은 이윤극대화를 통해 작목과 경작방식을 선택한다. 탄소저장량을 증가시키는 작목이나 경작방식, 토지이용의 전환 등은 기존 경작방식이나 토지이용과 비교하여 더 많은 이윤을 가져오는 경우에만 도입될 것이다. 일반적으로 탄소저장량을 증가시키기 위해서는 덜 집약적인 경작방식을 도입하거나 농경지(특히 한계지)를 탄소저장 능력이 큰 초지나 산림으로 전환해야 하므로 탄소고정 활동은 기존 경작방식 또는 토지이용보다 이윤수준이 낮을 수밖에 없다.

따라서 탄소고정 활동을 도입할 때 발생하는 손실을 보전하거나 그 수준의

보조금 등이 지급될 때 농림업 생산자들이 탄소고정 프로그램을 도입할 것이다. 아울러 유인수준이 높아지면 탄소고정 활동과 함께 탄소고정량도 증가할 것이다. 해당 지역의 모든 토지가 탄소고정 활동을 수용할 경우 달성할 수 있는 탄소고정량을 기술적 잠재량이라 부른다(McCarl and Schneider, 2001).

<표 1-6>은 경제모형이나 계량경제학적 방법을 이용한 탄소고정의 경제적 타당성에 관한 주요 연구를 요약한 것으로 탄소고정은 낮은 비용으로 (약 \$50/MTC) 상당한 양의 이산화탄소를 흡수할 수 있음을 알 수 있다. 탄소고정 잠재력은 달성 가능한 최대 탄소고정량을 의미하며 각 연구들의 가정, 데이터, 모형 등이 상이해 각 연구결과를 직접 비교할 수 없다. Richard and Stokes (2004) 연구는 다양한 탄소고정 선행연구들의 방법론과 자료 등의 차이에 대해 토의하였다. Manley et al(2005) 연구는 메타분석(Meta Analysis)을 이용하여 탄소고정과 각 요소들의 상관관계에 대해 분석하였다.

표 1-6. 미국 탄소고정 비용과 잠재력

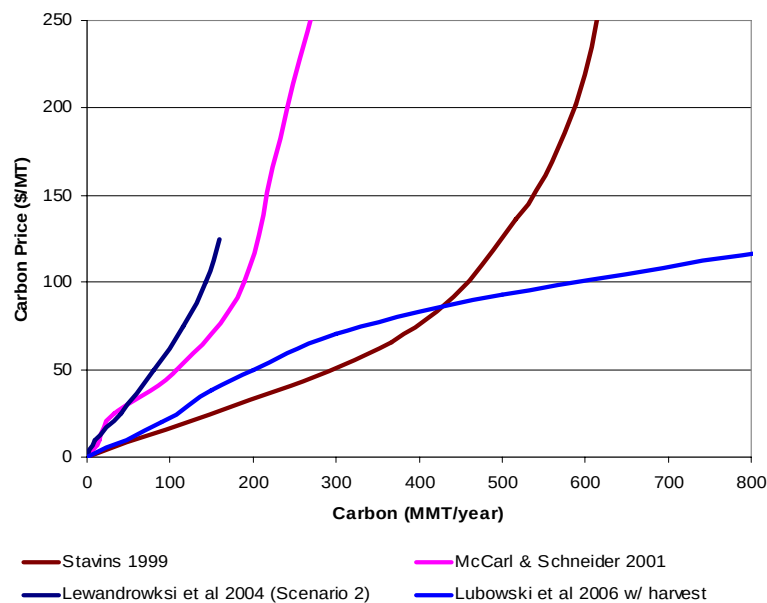
연구	탄소고정비용(\$/MTC)	탄소고정 잠재력 ¹⁾
Moulton and Richards (1990)	9-41	630 MMTC/yr
Dudek and LeBlanc (1990)	23.9-38.4	-
Adams et al. (1993)	20-61	640 MMTC/yr
Richards, Moulton and Birdsey (1993)	9-66	49,000 MMTC
Parks and Hardie (1995)	0-120	120 MMTC/yr
Callaway and McCarl (1996)	17-36	280 MMTC/yr
Alig et al. (1997)	24-141	40 MMTC/yr
Richards (1997)	10-150	450 MMTC/yr
Adams et al. (1999)	15-21	43-73 MMTC/yr
Stavins (1999) ²⁾	0-136	518 MMTC/yr
McCarl and Schneider (2001)	10-500	395 MMTC/yr
Lewandrowski et al. (2004)	10-125	133 MMTC/yr
Lubowski, Plantinga and Stavins (2006)	7-275	1,700 MMTC/yr

주: 1) 경제적으로 달성 가능한 최대 탄소고정량 단위는 백만 C톤임. CO₂톤으로 전환하려면 3.67(=44/12)을 곱하면 됨.

2) 이 연구는 미국 Delta지역을 분석대상으로 한 후 미국 전체 지역으로 비례 계산함.

탄소공급곡선(Carbon Supply Curve)은 각 탄소가격별로 가능한 탄소고정량을 그래프로 나타낸 것으로 탄소고정의 잠재력과 탄소고정 비용을 한눈에 볼 수 있어 유용하다. 탄소공급곡선은 <표 1-6>에 기록한 연구들 중 Stavins(1999), McCarl and Schneider(2001), Lewandrowski et al(2004) 그리고 Lubowski, Plantinga and Stavins(2006)의 연구결과를 이용하여 구성하였다. 이 연구들을 선택한 이유는 첫째, 비교적 최근의 연구결과이고, 둘째, 방법론이 서로 다르며, 셋째, 우수한 학술지에 발표되었기 때문이다.

그림 1-2. 탄소고정 공급곡선



<그림 1-2>에서 나타난 것과 같이 톤당 탄소가격이 \$50일 경우 탄소고정 가능량은 약 8천 900만 C톤에서 2억 5,000만 C톤으로 추정된다(3억 2,633만~9억 1,750만 CO₂톤). 이는 미국 전체 온실가스 배출량의 4~12%에 해당한다. 일반적인 공급곡선과 마찬가지로 탄소가격(또는 톤당 보조금)이 상승할수록 탄소고정량이 증가함을 알 수 있다. 또한 탄소공급곡선의 기울기가 점점 급해지는데 그 이유는 탄소고정 활동을 할 토지가 점점 제한되기 때문이며 다른 경제활동과 경쟁이 심해지기 때문으로 볼 수 있다.

3.1.2. Stavins(1999)

Stavins(1999) 연구는 토지소유자의 장기간 의사결정을 동태최적화(dynamic optimization) 모형으로 설명하고 동태최적화 모형으로부터 토지이용 의사결정 방정식을 도출하였다. 연구결과에 따르면 토지이용은 농업과 임업으로 양분하고 위험중립적인 토지소유자는 자신의 토지이용으로부터 발생하는 수익의 현재가치 총합을 극대화한다(할인율은 5%). 농업이용에서 임업이용으로 토지를 전환할 경우는 임업으로부터 발생하는 수익이 전환비용보다 더 클 경우 발생하는데 만약 탄소고정의 유인이 생기면 임업으로의 토지이용 전환이 이루어질 가능성이 커지며 이때 탄소고정이 발생한다.

토지이용 의사결정 방정식은 동태최적화 모형의 1계 조건으로 구성되며 설명변수로 각 토지이용의 지대, 생산비용, 농지전환비용 등이 설정되었다. 탄소고정 활동은 농업이용 토지를 임업으로 전환하는 신규조림을 도입하였으며 정책설정자(여기서 정부)는 탄소고정량에 따라 보조금을 지급한다. 산지전용(deforestation) 또는 수확에 따른 임업부문의 탄소배출은 세금 등의 벌금이 따른다(탄소세의 부과).

이 연구는 미국 Delta 지역(Louisiana, Arkansas, Mississippi)의 1935~1984년 카운티별 자료를 이용하여 토지이용 방정식을 추정하고 향후 90년간 정책실험을 하였다. 그리고 미국 Delta 지역과 미국 전체의 농경지 크기를 이용하여 정책실험 결과를 미국 전체로 재추정하였다.

정책실험 결과 경제적 탄소고정 잠재량은 대략 5억 1,800만 C톤으로 나타났으며 탄소가격이 \$50~60까지는 탄소고정량이 비례적으로 증가하나 더 높은 탄소가격에서는 탄소공급곡선의 기울기가 커짐을 알 수 있다. 즉 \$50 이상의 탄소가격에서는 가격탄력성이 작아짐을 의미한다.

아울러 이 연구에서는 탄소고정 비용과 다른 온실가스 감축 비용 비교를 시도하였다. 다른 온실가스 감축비용으로 EMF(1995) 연구에 보고된 4가지 미국 연구를 인용하였다. 그 결과 낮은 수준의 온실가스 저감에서는 탄소고정 비용과 온실가스 감축비용은 큰 차이를 보이지 않으나 온실가스 저감 수준이 커지

는 경우 토지자원이 한정되어 있기 때문에 탄소고정 비용이 훨씬 커지는 것으로 나타났다. 물론 탄소고정 비용의 신뢰구간 안에 온실가스 감축 비용이 있으므로 탄소고정 비용이 크다고 결론지을 수는 없다고 지적하였다.

이 연구의 장점은 기존 데이터를 이용, 현시된 선호(revealed preference)로부터 직접 탄소고정의 한계비용을 구한다는 점과 다른 온실가스 감축방법의 한계비용과 비교를 시도했다는 점이다. 이 연구의 단점은 토지이용 방정식이 단순하고 많은 변수 값들(특히 농업생산물과 임업생산물의 가격)이 외생적으로 주어져 있다는 점이다. 아울러 다른 온실가스 저감 방법(예를 들어 바이오연료의 생산, 토지관리 방법 등)과의 포트폴리오를 구성할 수 없다는 점도 단점으로 지적할 수 있다.

3.1.3. McCarl and Schneider(2001)

Science에 발표된 McCarl and Schneider(2001) 연구는 ASM온실가스(미국 농업부문 모형에 온실가스 배출과 흡수를 더한 수리계획 모형, US Agricultural Sector Model with Greenhouse Gas)를 이용하여 미국 농지, 초지를 대상으로 농림업부문의 온실가스 감축과 탄소고정, 바이오연료의 생산 등을 시뮬레이션 하였다.

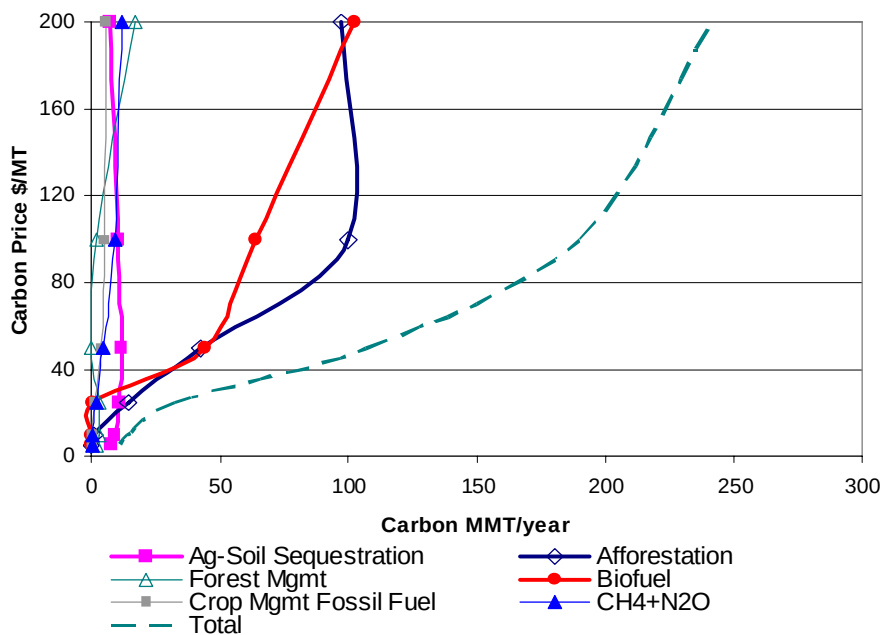
ASM온실가스모형은 미국을 63개의 세부지역으로 나누고 22가지 농작물, 3가지 바이오매스(바이오연료 또는 바이오에너지로 전환 가능한 작물), 29가지 축산, 축산관련 생산물, 그리고 60여 가지의 농산물 가공품으로 구성되며 사회 후생(소비자잉여+생산자잉여)을 극대화하는 시장 청산가격을 찾아내도록 구성되어있다. 이모형 내에서 미국은 28개 지역으로 구분된 세계와 무역을 통해 연결된다.

온실가스와 관련된 유인은 모형의 외부에서 결정된 탄소가격을 부과하며 탄소가격은 톤당 \$10, \$50, \$100 그리고 \$500로 주어졌다(실제 모의실험을 할 경우 탄소가격은 \$100 이전은 \$10단위로 \$100 이후는 \$25단위로 증가). 탄소 고정 활동이나 바이오매스 생산 등을 통해 획득한 탄소저감량만큼 보조금을

받으며 온실가스를 배출하는 경우는 탄소가격만큼 탄소세를 내도록 디자인되었다.

모형의 결과는 <그림 1-3>으로 요약할 수 있다. 참고로 <그림 1-3>의 점선으로 나타난 총합은 <그림 1-2>의 McCarl and Schneider(2001) 탄소공급곡선과 동일하다. <그림 1-3>에서 나타나듯 서로 다른 탄소가격하에서 주도적인 온실가스 저감방법이 다르게 나타남을 알 수 있다. 가축장내발효 및 가축분뇨관리로부터 메탄과 아산화질소의 감축은 큰 비중을 차지하지 못하며 신규조림을 통한 탄소고정과 바이오연료를 통한 순온실가스 배출저감의 잠재력이 크게 나타남을 알 수 있다. 낮은 탄소가격(약 \$30/MTC)에서는 ag-soil sequestration 방법이 주도적인 온실가스 저감전략이며 탄소가격이 상승할수록 신규조림과 바이오연료의 저감방법이 주도적으로 바뀌게 된다. 농업부문 화석연료 사용감소에 따른 온실가스 감축량 비중은 크지 않으나 무시할 수 없는 양이 저감된다.

그림 1-3. 경제적 온실가스배출 저감 잠재량



자료: McCarl, Kim and others (2007)에서 재인용.

이 연구는 미국의 농림업을 자세하게 설명할 수 있는 모형을 설정하고 정책 실험을 했다는 점에서 그 장점을 찾을 수 있으며 다양한 온실가스 저감정책을 종합적으로 고려하여 포트폴리오를 구성했다는 점이 특기할 만하다. 특히 다양한 온실가스 저감전략이 서로 경쟁적인 관계에 있음을 밝힌 것이 큰 공헌이라 할 수 있다.

이 연구에서 사용한 ASM온실가스 모형은 후속 연구로 연결되어 현재까지 지속되고 있는데 후속 연구에 사용한 모형은 ASM온실가스 모형에 임업부문의 의사결정을 좀 더 구체적으로 표현한 모형으로 보통 FASOM(The Forest and Agricultural Sector Optimization Model)이라 칭한다. ASM 온실가스의 단점인 정태모형이 FASOM에서 완화되는데 FASOM은 동태최적화 모형을 바탕으로 한 농림업 부문모형이다. FASOM을 이용한 연구로 Lee(2002), Lee, McCarl, and Gillig(2005) 등을 들 수 있다.

FASOM을 이용한 후속 연구결과는 McCarl and Schneider(2001)와 세부적으로 다르나 전반적으로 유사한 결과를 도출하였다.

3.1.4. Lewandrowski et al.(2004)

Lewandrowski et al.(2004) 연구는 미국 농무부(USDA)에서 주관한 연구라는 점에서 의미를 갖는다. Lewandrowski et al.(2004) 연구는 미국 정부의 공식보고서로 향후 미국 농림업부문의 온실가스 저감전략의 정책실행의 기본이 될 것으로 짐작한다.

이 연구에서는 U.S. Agricultural Sector Model(USMP)으로 불리는 미국 농업 부문과 관련된 경제, 환경, 정책적 이슈를 시뮬레이션할 수 있는 수리계획모형을 이용하였다. 이 모형은 전반적으로 ASM 온실가스와 유사하다. USMP 역시 사회후생, 즉 소비자잉여와 생산자잉여의 합을 극대화하는 시장청산가격을 찾아낸다. 이 모형은 미국을 45개 지역으로 나누고 10개의 농작물, 17개의 축산 부문, 26개의 가공식품 부문으로 구성된다.

이 연구에서는 토지이용의 변화와 경작방식 전환에 따른 탄소고정에 초점을

맞추고 있으며 낮은 가격으로 상당한 양의 온실가스를 저감할 수 있음을 보이고 있다. McCarl and Schneider(2001)의 결론과 유사하게 탄소가격에 따라 다른 탄소고정 활동이 주도적임을 밝혔는데 낮은 탄소가격에서는 경작방식 전환을 통한 탄소고정 활동이, 높은 탄소가격에서는 재조림 및 신규조림을 통한 탄소고정이 주도적 전략임을 보였다.

이 연구의 결과는 <그림 1-2>에 요약되었는데 그림에서 나타나듯 탄소고정의 잠재력이 다른 연구들과 비교하여 상대적으로 낮게 추산되었음을 알 수 있다. 대략 \$10/톤의 가격으로 연간 0.4~10 MMT의 탄소를 대기 중으로부터 흡수할 수 있으며 \$125/톤의 가격에서는 탄소고정량이 72~160MMT로 증가하는데 이 양은 2001년 미국 전체 온실가스 배출량의 4~8%에 해당한다.

이 연구의 중요성은 탄소고정의 영속성(permanence)을 고려하고 있다는 점이다. 탄소고정의 영속성이란 탄소고정을 통해 토양에 고정된 탄소는 새로운 균형에 도달하면 추가적인 탄소고정량이 0이 되며(saturation) 탄소고정 활동을 중단하거나 산림을 전용할 경우 토양에 고정된 탄소가 짧은 시간(2~3년) 안에 공기 중으로 다시 배출되는 것을 말한다.

West and Post(2002)에 따르면 농업부문 탄소고정의 경우 대략 15~20년 후면 탄소고정 능력을 상실하며 Birdsey(1996)는 신규조림활동에 의한 탄소고정은 약 80년 후에 멈추게 된다고 주장한다(<그림 1-1>의 새로운 균형 참고).

이 연구에서는 탄소고정이 온실가스 감축과 같은 가치를 갖기 위해서는 토양이나 바이오매스에 저장된 탄소가 영속성을 가지고 있어야 하는데 실제 그렇지 못하므로 그 가치가 실제 지급된 보조금의 가치보다 낮을 수 있다고 주장하였다. 즉 탄소고정에 대해 톤당 보조금 지급은 탄소고정이 영속성을 가진다는 가정을 수반하므로 토지이용이 바뀌거나 탄소고정 활동을 중단할 경우 발생하는 탄소유출에 대한 적절한 제재가 없다면 실제 탄소고정 가치보다 높게 보조금이 지불될 수 있음을 지적하였다.

이 문제를 해결하기 위해 이 연구에서는 렌털 지급방법(rental payment)을 도입하였는데 이는 탄소고정량이 0이라 하더라도 그 탄소를 계속해서 저장하기 위해서 지속적으로 탄소고정 활동을 위한 보조금을 지불하는 방법이다(즉 고정

된 탄소를 유지하는 비용). 또한 여러 가지 이유로 탄소를 방출하는 경우 렌털 지불금만큼 농업생산자나 토지 이용자에게 탄소세를 물리거나 배출량만큼의 탄소 크레디트를 다른 곳에서 구입하도록 강제한다. 이와 관련한 탄소고정 프로그램과 할인율에 대한 논의는 Kim, McCarl and Murray(2007)에서 찾아볼 수 있다. 이 연구에서 톤당 보조금 지급방법과 렌털 지급방법을 비교한 결과 렌털 지급방법이 톤당 보조금 지급방법보다 비용효율적임을 보였다.

3.1.5. Lubowski, Plantinga and Stavins(2006)

Journal of Environmental Economics and Management에 발표된 Lubowski, Plantinga and Stavins(2006) 연구는 마이크로 레벨의 자료를 이용하여 nested multinomial logit 토지이용 방정식을 추정하였다. Logit형의 토지이용 방정식의 이론적 체계화는 Lichtenberg(1989), Stavins and Jaffe(1990), Hardie and Parks(1997), Miller and Plantinga(1999) 등에서 찾을 수 있다. 토지 소유주의 지대 극대화를 가정하며 토지이용을 결정하는 중요한 인자는 경쟁관계에 있는 토지이용의 상대적 지대와 토지의 비옥도 등이다.

미국 National Resource Inventory(NRI)의 방대한 데이터를 이용하여 임업, 농업, 초지, 방목장, 도시, CRP 등 6가지 토지이용의 비중을 계산하여 logit 모형을 추정하였다. 토지이용의 비중은 1982~1987년, 1987~1992년, 1992~1997년 사이의 토지이용 변화의 마르코프 변환행렬(Markov transition matrix)을 이용하여 구성하였다. 종속변수는 토지이용비중(또는 확률)이고 설명변수는 각 토지이용의 수익, 토질(더미변수), 다른 토지이용의 상대적 수익 등이다.

온실가스 저감전략은 토지이용을 산림으로 전환하여 탄소저장량을 늘리는 경우 면적당 보조금(\$0~350/acre)을 받으며 산림전용 또는 수확의 경우 탄소배출량에 대해 탄소세를 부과한다. 보조금이 지급되면 임업이용의 토지 수익이 증가하고 각 상대적 수익과 추정된 토지변환 확률에 따라 토지이용이 재조정된다.

탄소고정에 대한 보조금이 도입되면 신규조림을 통한 산림이 증가하며 Urban 토지 이용을 제외한 모든 토지이용이 감소하였다. Urban 토지 이용이 증

가하는 이유는 인구증가 때문인 것으로 짐작된다. 특기할 것은 목초지와 농경지의 감소가 두드러지게 나타났다. 정책실험 결과 추산한 탄소고정의 비용과 탄소고정 잠재량은 <그림 1-2>에 나타나 있다.

아울러 이 연구는 에너지 기반의 탄소 저감전략 비용과 탄소고정 비용을 비교하였는데 추정된 탄소고정 공급함수와 탄소저감 공급함수가 대체로 비슷했으며 교토의정서에 의한 미국의 온실가스 의무감축량의 약 30%를 비용효율적인 탄소고정을 통해 달성할 수 있음을 보였다. 따라서 신규조립을 통한 탄소고정 전략은 미국 온실가스 저감대책의 비용효율적인 포트폴리오의 하나로 고려할 수 있음을 주장하였다.

3.2. 바이오연료

바이오연료 또는 바이오에너지는 화석연료의 대체재로 사용할 수 있기 때문에 온실가스 저감방안의 하나로 주목받고 있다. 아울러 최근 원유를 중심으로 에너지 가격의 상승은 바이오연료 생산의 또 다른 유인으로 작용하고 있다.

바이오연료가 온실가스 저감방안이 되는 이유는 바이오연료의 탄소중립성(carbon neutral)⁷에 기인한다. 즉 바이오연료의 연소는 대기 중의 이산화탄소를 늘이지도 줄이지도 않는다는 것이다. 물론 실제로 바이오매스를 생산하는 동안 사용한 질소비료, 농기계 그리고 바이오매스를 수송하고 바이오연료로 변환하는 과정에서 온실가스가 발생할 수 있기 때문에 온실가스 순 배출량은 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.

농림업부문에서 생산한 바이오매스를 에너지로 전환하는 몇 가지 방법은 다음과 같다.

7 탄소중립성이란 바이오연료 연소 시 이산화탄소를 배출하지만 이 이산화탄소는 바이오연료의 원료인 바이오매스 성장 시 광합성을 통해 대기 중에서 흡수한 이산화탄소이므로 순배출량은 0이 된다는 것을 의미한다.

- 1) 전력생산, 난방 등에 직접 연소하여 사용하는 방법
- 2) 바이오매스를 기화(가스화)하여 합성가스(syngas)를 생산하여 전력생산이나 난방 등에 사용하는 방법
- 3) 축산분뇨의 생물학적 전환과정 중 발생하는 메탄을 이용하여 난방, 전력생산 등에 이용하는 방법
- 4) 열화학반응(thermochemical) 변환을 통해 합성가스를 생산하여 교통수단의 연료로 대체하는 방법
- 5) 화학 변환을 통해 액체연료를 생산(에탄올, 바이오디젤 등)하는 방법

바이오연료의 성공의 열쇠는 바이오매스 생산기술과 바이오연료의 변환기술에 달려 있다. 기술개발을 통해 적정수준의 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 할 것으로 기대한다. 아울러 바이오매스의 생산은 농업생산자에게 다른 소득원이 될 수 있다.

3.2.1. 바이오연료의 화석연료 대체 가능성

미국에서 바이오연료 부문은 이미 빠르게 성장하고 있는 분야이다. 2000년 기준 바이오연료를 통한 에너지 공급은 미국 전체 에너지 소비량의 4%가량을 차지하고 있다. 그중 펄프, 종이 산업부문이 총 바이오에너지의 53%를 사용하며 전력생산에 18% 그리고 난방에 13%가량이 쓰인다(Chum and Overend, 2001).

여러 가지 바이오연료 중 현재 급성장하고 있는 분야는 옥수수나 사탕수수에서 에탄올을 생산하는 것이다. 미국 에탄올 산업은 최근 원유가격의 급등과 미국 정부의 에너지 정책시행법(EPACT: Energy Policy Act of 2005)⁸에 힘입어 급성장하고 있다. Perlack et al(2005) 연구에 따르면 경제적으로 가능한 연

간 에탄올 공급량은 대략 100억 갤런이며 이는 2003년 생산과 비교해 대략 3~4배 정도 증가한 수치이다. 에탄올 생산비용은 옥수수 가격에 주로 좌우되나 자본비용을 포함하여 대략 갤런당 \$1.20 정도이다(McAloon et al, 2000). 장기적으로 원유가격이 급등이 지속될 경우 에탄올은 상당한 가격경쟁력을 가질 것으로 전망된다(USDOE-EIA, 2005).⁹

또 다른 바이오연료로 주목받는 것은 바이오디젤로 주로 콩기름(soybean oil)로부터 생산된다. 2006년 미국의 바이오디젤 생산은 4억 갤런이다(NBB, 2006). 미국의 바이오디젤에 대한 관심은 최근 급격히 증가하였는데 그 이유는 USDA가 바이오디젤 생산을 위한 콩 생산자에게 세금감면 혜택을 제공했기 때문이다. 하지만 바이오디젤은 에탄올과 달리 콩기름(soybean oil)시장과 경쟁 때문에 바이오디젤 생산량은 크게 늘지 않을 것으로 전망된다(NRC, 1999). 현재 바이오디젤의 생산비용은 갤런당 \$1.60~2.00 정도이다.¹⁰

3.2.2. 바이오연료의 생산 가능성

US DOE와 USDA의 합작연구(Perlack et al, 2005)와 또 다른 USDA의 연구(De La Torre Ugarte et al, 2003)는 미국의 바이오연료 생산 가능성에 대해 언급하였다. 물론 이 두 연구는 기후변화협약 및 온실가스 저감대책에 대한 논의는 없지만 온실가스 저감 정책 대안으로 바이오연료가 상정될 경우 경제적으로 달성 가능한 잠재량을 가늠해 볼 수 있다.

바이오연료의 생산은 기존 농업생산물 시장의 교란을 최소화하기 위해 보통 현재 보전휴경프로그램(Conservation Reserve Program, CRP)에 묶여 있는 토지자원을 이용하는 방법이 제안되었다. Perlack et al(2005)에 의하면 CRP 토지로부터

8 에탄올 생산촉진에 관련된 법안

9 가솔린과 비교를 위해서는 갤런당 가격을 에너지당 가격으로 바꿔야 한다. 왜냐하면 에탄올과 가솔린의 갤런당 에너지 함유량이 다르기 때문이다. 에너지 단위로 보통 GJ = 109 joules을 사용하는데 가솔린의 경우 현재 약 \$13/GJ 수준이며 에탄올은 \$15/GJ이다.

10 디젤의 에너지당 가격은 대략 \$8.50/GJ이고 바이오디젤은 \$13-\$15/GJ이다.

생산된 바이오매스는 연간 2,500만 톤 정도로 이는 미국 전체 에너지 소비의 0.44%에 해당한다.

온실가스 저감방안으로 탄소가격이 제시되면 현재 다른 농산물을 재배하고 있던 농경지가 바이오매스를 생산으로 전환하게 되는데 만약 15% 정도의 농지가 바이오매스 생산에 참여할 경우 미국 총 에너지 소비의 6~12%에 해당하는 바이오연료를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 이 경우에 선택 가능한 에너지 작물로는 성장이 빠른 나무(poplar, willow 등)나 스위치그래스(switchgrass) 등이 제안되었다. 특히 스위치그래스의 경우는 생산 단수가 ha당 10톤 정도이고 에너지량도 200GJ/ha/yr로 매우 높기 때문에 주목받고 있다(Walshi et al 2003).

농업잔여물은 특별한 토지이용 변화를 가져오지 않고서도 바이오에너지를 생산할 수 있다. Walsh et al(2000)에 따르면 옥수수, 밀 등의 잔여물 등은 대략 연간 1억 5,000만 톤 정도이고 이를 이용해 에너지를 생산할 경우 대략 미국 총 에너지 소비의 2% 정도에 해당하는 에너지를 생산할 수 있는 것으로 나타났다.

3.2.3. 바이오연료와 온실가스 저감

바이오매스에서 생산된 바이오연료 및 바이오매스의 공동 발화(co-firing)는 이산화탄소 배출이 0에 가깝기 때문에 바이오연료를 이용한 온실가스 저감량은 바이오연료에 의해 대체된 화석연료의 양과 그 화석연료의 온실가스 배출 계수를 곱해 구할 수 있다. 특히 난방 및 전력생산에 사용되는 바이오매스는 효율적으로 온실가스 배출을 감축할 수 있다(Schneider and McCarl, 2003). 탄소고정과 결합하여 농림업 부문은 바이오매스 생산으로 많은 양의 이산화탄소를 제거할 수 있는데 Schneider and McCarl(2003) 연구는 ASM 온실가스모형을 이용하여 화석연료의 대체로 인한 연간 온실가스 저감 잠재량 약 8억 4,500만 CO₂톤으로 전망하였다. 이는 2005년 미국 총 온실가스 배출량의 10% 정도에 해당한다.

Schneider and McCarl(2003) 연구를 좀 더 살펴보면 옥수수를 이용한 에탄올을 생산하는 경우 온실가스 배출량은 0.39kg C/gallon으로 계산되었다. 이 숫자

는 옥수수를 생산할 때 사용하는 화석연료 및 에탄올 생산과정, 수송 등 시장활동과 관련된 온실가스 배출량이다. 이를 계산하는 방법을 완전한 전과정평가(LCA)라 하는데 대표적인 연구로 Quin et al(2007) 등을 들 수 있다. 한편 화석연료를 가솔린으로 사용할 경우 온실가스 배출량은 약 3.13kg C/gallon이므로 에탄올이 가솔린을 대체할 경우 약 2.74kg/gallon의 온실가스를 저감할 수 있다. 총 온실가스 저감량은 2.74kg/gallon에 생산된 에탄올 양을 곱해 산정한다. ASM 온실가스 모형에서는 운송부문이 내생화되어 있지 않기 때문에 생산된 에탄올이 모두 가솔린을 대체한다고 가정한다.

화력발전의 공동 발화는 스위치그래스와 버드나무 등을 연료로 사용하며 각각의 온실가스 저감량의 경우 스위치그래스는 369.6kg C/톤, 버드나무는 424.2kg C/톤으로 추정되었다. 이들 수치는 완전한 전과정평가 방법을 적용하여 추산되었다. 이러한 바이오매스 생산과 관련된 비용과 단수, 온실가스 저감량의 도출은 Oakridge National Laboratory 자료를 이용하였다. Hong(2007) 연구에도 화력발전 공동 발화와 관련된 온실가스 저감량이 상술되어 있다.

또 다른 바이오매스 연구인 Sheehan et al (2002)에서는 바이오연료의 대체가능성을 언급하면서 현재 바이오작물의 생산단수를 유지할 경우(기술변화에 따른 기타 작물의 단수는 향상) 석탄대체에 따른 이산화탄소 감축은 8억 8,000만 CO₂톤, 석유대체에 따른 이산화탄소 감축은 6억 8,000만 CO₂톤, 천연가스 대체에 따른 이산화탄소 감축은 5억 1,000만 CO₂톤이 될 것으로 전망했다.

문제는 위에서 언급한 것과 같이 바이오연료의 생산비용이 기존의 화석연료보다 비싸서 경쟁력이 약하기 때문에 화석연료의 대체효과가 크게 나타나지 않는다는 것이다. 게다가 미국은 전력생산에 주로 석탄을 사용하는데 석탄의 가격은 바이오연료와 비교하여 경쟁이 불가능할 정도로 매우 저렴하다.

3.3. 농업부문의 온실가스 직접 감축

앞에서는 탄소고정과 바이오연료의 공급을 통한 온실가스 저감방안에 대해

서술하였다. 탄소고정과 바이오연료를 중점으로 서술한 이유는 광활한 토지자원을 가진 미국은 탄소고정이 비용효과적인 정책대안이고 이를 위한 과학적, 경제적 토대를 마련하고 있기 때문이다. 아울러 바이오연료의 경우는 기후변화에 대한 온실가스 저감방안이면서 에너지 보안 측면에서 매우 유용한 정책대안으로 현재 활발히 연구되고 있기 때문이다.

그러나 기후변화 협약과 관련 온실가스 감축활동은 농업부문의 온실가스 배출활동에도 직접적인 영향을 미친다. 즉 온실가스 저감정책이 시행되면 농림업의 각 부문도 이에 따라 조정되며 부과된 탄소가격에 따라 온실가스 배출량을 조절하게 된다. 미국 전체 온실가스 배출량에 비해 농림업부문의 배출량은 7.4% 수준이고 농림업 부문의 온실가스 직접 감축량은 미미한 수준일 것으로 전망된다.

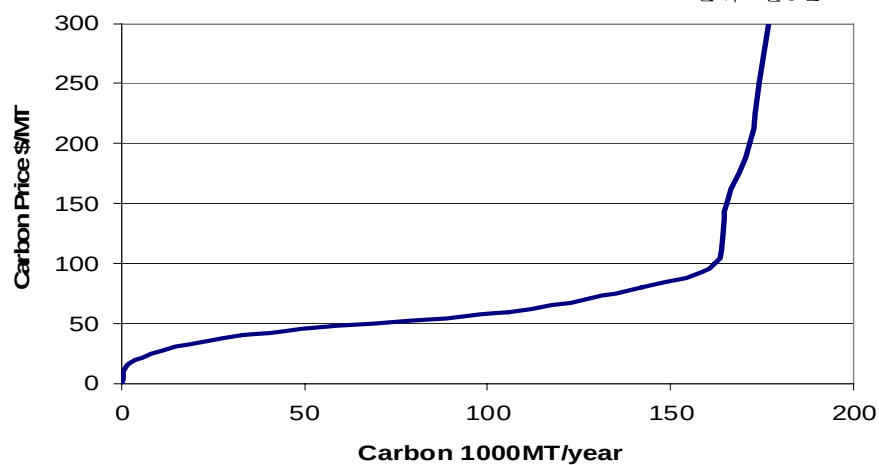
3.3.1. 메탄 배출량 감축

가. 벼논재배와 메탄 배출량 감축

ASM 온실가스 모형에서는 EPA(2007)에서 제공한 메탄배출계수와 벼논 재배면적을 기초로 메탄 배출량을 계산한다. 메탄 배출량을 줄이는 방법은 재배

그림 1-4. 탄소가격에 따른 벼논재배부문 메탄 감축량

단위: 천C톤



면적을 줄이는 방법만이 모형화되었다. <그림 1-4>는 탄소가격에 따른 벼논재배와 메탄감축량을 나타낸 것으로 탄소세가 없을 경우와 비교하여 탄소가격이 톤당 \$40일 때 벼논재배로 발생하는 메탄은 12% 정도 감소하며 \$60일 때 37% 그리고 \$100일 때 무려 57%나 감소한다. \$100 이후에는 메탄 감축량이 크게 늘지 않는데 그 이유는 재배면적 감소로 인한 쌀 가격의 상승으로 탄소세 효과를 상쇄하기 때문이다.

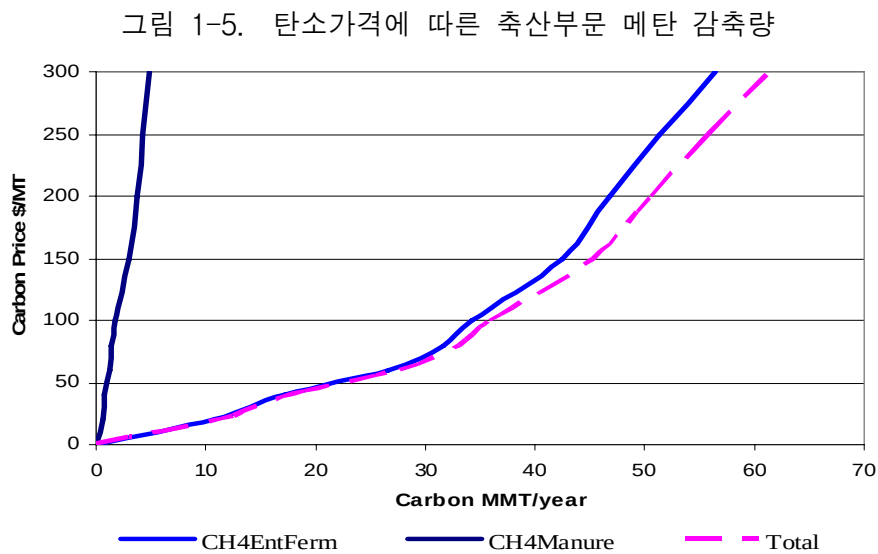
나. 축산부분의 메탄 배출량 감축

메탄은 축산부분의 가축장내발효와 분뇨관리에서 발생한다. 벼논재배의 경우와 같이 IPCC나 EPA에서 제시한 메탄배출계수를 이용하여 연간 축산물 생산량(사육두수)과 메탄배출량의 관계, 그리고 분뇨관리방법에 따른 메탄배출계수와 분뇨관리방법의 선택에 따른 메탄배출량을 수식으로 표현하여 모형에 삽입하고 탄소세에 따라 축산부분이 어떻게 메탄배출량을 감축하는지 모의실험을 하였다. 축산부분은 가축 사육두수를 줄이거나 효율적인(그러나 비용이 높은) 축산분뇨관리를 통해 메탄배출량을 감소할 수 있다. 특히 가축분뇨 관리는 밀폐된 호기소화, 완전결합 소화, 플러그 흐름 소화(EPA, 2007) 등 세 가지 개선된 분뇨관리가 모형에 내재화되어 있다.

<그림 1-5>는 탄소가격에 따른 축산부분의 메탄배출량 감소를 그린 것으로 가축의 장내발효에 따른 메탄 감축량은 'CH₄EntFerm'으로 표시하였다. 장내발효에 따른 메탄 배출량은 탄소가격이 톤당 \$20일 경우 10% 정도 감소하며 탄소가격이 상승함에 따라 감소량도 증가한다. 탄소가격이 \$100일 경우 장내발효에 따른 메탄배출량은 27% 정도 감소한다.

'CH₄Manure'는 개선된 분뇨관리에 따른 메탄 감축량으로 탄소가격이 \$100일 경우 6% 정도 감소를 보여 개선된 분뇨관리에 따른 메탄 배출량은 크게 줄어들지 않는다. 이는 새로운 분뇨관리 시스템 설치비용이 많이 들기 때문인 것으로 설명할 수 있다. 탄소가격이 높아지면 감축량이 늘어나기 시작하며 톤당 탄소가격이 \$200인 경우에는 메탄 발생량이 16%, \$300 수준에서는 20% 정도 감소한다. <그림 1-5>에서 점선('Total')은 장내발효에 따른 메탄배출량 감소와

분뇨관리를 통한 메탄배출량 감소를 합한 것으로 축산부문 전체의 메탄배출량 감축량을 의미한다.



3.3.2. 아산화질소 배출량 감축

아산화질소는 주로 농경지관리, 즉 질소질 비료의 사용에 의해 주로 발생하고 축산분뇨분해와 경작지에서의 소각에 의해서 소량의 아산화질소가 발생한다.

농경지관리에 따른 아산화질소 배출량 감소는 크게 질소질 비료의 사용량과 경작방식에 따라 결정된다. 경작방식, 즉 덜 집약적인 경작방식이나 무경운 방식의 도입에 따른 아산화질소 감축은 EPIC¹¹에서 계산된 계수와 경작면적을 곱해 산출한다. 아울러 새롭게 도입하는 경작방식에 따른 작물의 단수도 EPIC 시뮬레이션을 통해 계산한다.

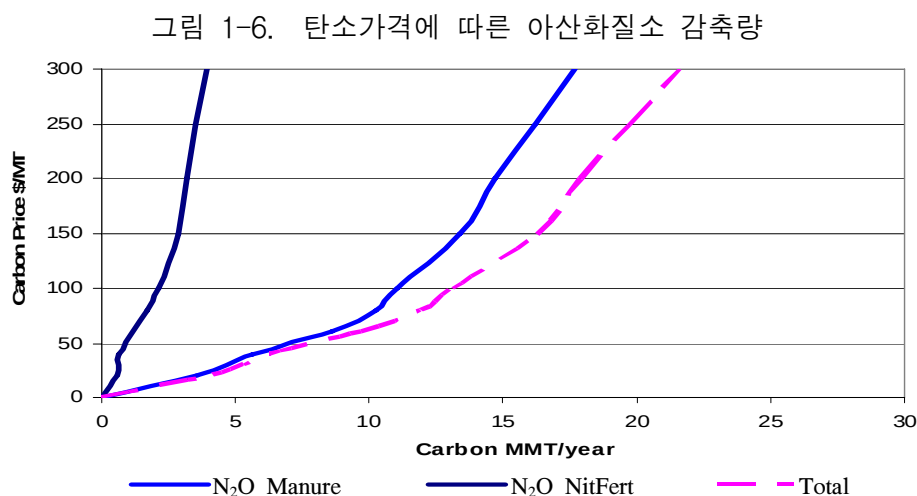
한편 가축분뇨분해는 분뇨관리방법, 호기소화, 완전결합 소화, 플러그 흐름 소화(EPA, 2007) 등에 따라 아산화질소 배출계수를 설정하고 배출량을 계산한다.

11 EPIC - Erosion Productivity Impact Calculator의 약자로 경작방식과 토양의 종류에 따른 작물의 단수, 토양유기물, 탄소고정량, 아산화질소 배출량 등을 모의 실험하는 모형이다 (Williams et al. 1989).

ASM 온실가스 모형에서 경작지에서의 소각에 따른 아산화질소 배출량은 무시하는데 그 이유는 모형화가 어렵고 실제 배출량이 미미하기 때문이다.

<그림 1-6>은 아산화질소 감축량을 나타낸 것으로 농경지관리에 따른 아산화질소 감축량은 ‘N₂ONitFert’로 표시하였다. 농경지 관리에 따른 아산화질소 배출량은 톤당 탄소가격에 \$20일 때 약 4%, \$40일 때 5%, \$60일 때 약 9%로 감축량이 많지 않으나 탄소가격이 \$100일 때 16%, \$200일 때는 24%로 증가한다.

‘N₂OManure’는 개선된 축산분뇨관리에 따른 아산화질소 감축량으로 분뇨관리에 따른 아산화질소 배출량은 톤당 탄소가격이 \$20일 때 10%, \$40일 때 약 15%, 그리고 \$100일 경우는 29%가량 감축된다.



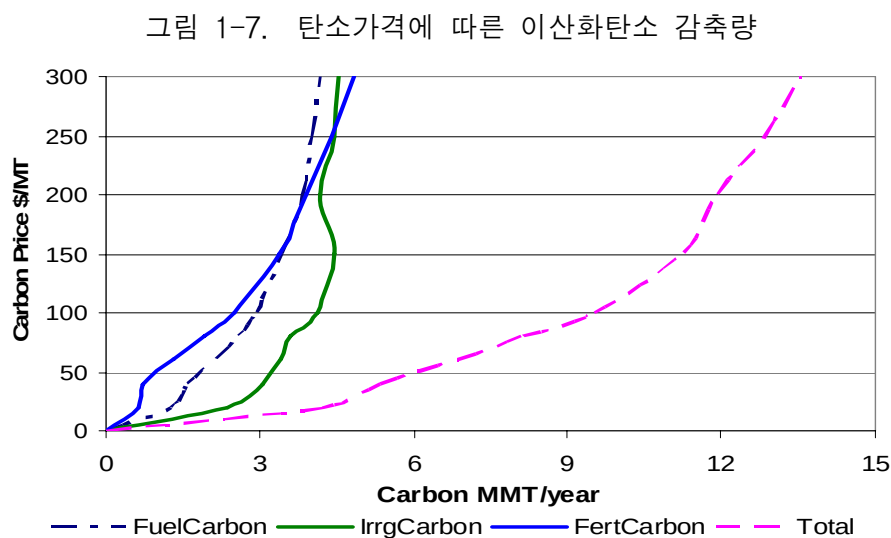
3.3.3. 이산화탄소 배출량 감축

농기계사용에 따른 화석연료(디젤, 가솔린, 전기, 천연가스, LPG 등)의 연소는 이산화탄소를 직접 배출한다. 탄소세가 적용되면 농기계 사용을 줄이거나 대체연료 등을 사용함으로써 이산화탄소 배출량을 줄여야 한다. 화석연료의 사용량 및 연료비 지출 정보는 미 농무부가 제공하는 농기업회계자료를 이용하여 모형화할 수 있다.

또한 농경지 관개와 관련된 펌프의 사용, 수송수단 등도 상당량의 에너지를 소모하므로 관련된 활동에 의한 이산화탄소 배출량도 고려 대상이 되어야 한다. 농업센서스 자료를 통해 일정량의 관개를 위해 지출되는 화석연료 소모를 계산하여 이산화탄소 배출량을 모형화한다. 탄소세가 적용되면 관개를 이용하는 농경지의 면적이 줄어들며 줄어드는 양만큼 이산화탄소의 배출을 줄일 수 있다.

한편 농림업 부문에서 사용하는 비료 역시 이산화탄소를 간접적으로 배출한다. 비료의 생산은 에너지를 많이 사용하는데 비료 사용 증가는 간접적으로 비료증산을 통해 이산화탄소 배출을 늘리게 된다. 탄소세에 따른 비료 사용량 감소를 통해 간접적으로 이산화탄소 배출을 줄일 수 있다. ASM 온실가스 모형에서는 이 부분도 모형화하였다.

<그림 1-7>은 탄소가격에 따른 이산화탄소 감축량을 나타낸 것으로 농기계 사용감소에 따른 이산화탄소 감축량은 ‘FuelCarbon’, 관개감소를 통한 이산화탄소 감축량은 ‘IrrgCarbon’, 그리고 비료사용 감소에 따른 간접적인 이산화탄소 감축량은 ‘FertCarbon’으로 표시하였다. 톤당 탄소가격이 \$20일 경우 농림업 전체 이산화탄소 배출량이 10% 정도 줄어들며 \$40일 때는 약 13%, \$100일 때는 22% 정도 감소한다.



3.4. 소결

3절에서 살펴본 것처럼 많은 연구가 탄소고정 및 기타 온실가스 감축을 통한 농림업 부문의 온실가스 저감 잠재량은 상당하며 비용효율적임을 주장하고 있다. 종합적으로 탄소고정 및 기타 온실가스 감축을 통한 농림업 부문의 온실가스 저감 잠재량은 미국 전체 온실가스 배출량의 5~14% 정도에 해당한다.

기술진보에 따른 에너지작물 단수의 증가는 화석연료의 대체효과를 가져와 미국 온실가스 배출량의 9~24% 정도를 줄일 수 있다. 아울러 바이오연료의 사용은 미국의 에너지 안정성에 기여한다.

탄소정책에 따라 농업부문은 농경지관리, 가축사육두수의 감소, 분뇨관리 시스템의 도입 등을 통해 직접 온실가스 배출량을 감축할 수 있다. 그 잠재력은 탄소가격이 \$100 정도일 때 농업부문 전체 온실가스 배출량의 35% 정도를 줄일 수 있을 것으로 보인다.

농업생산자가 탄소고정을 증진하거나 바이오작물을 생산하는 것, 그리고 여러 가지 전략을 통해 직접 온실가스 배출량을 줄이는 것은 정부의 온실가스 저감 정책전략에 달려 있다. 농림업부문 온실가스 저감대책 전략은 다음 절에서 상술한다.

4. 미국 농림업부문 온실가스 저감 정책전략

4.1. 서론

3절에서는 미국 농림업부문이 탄소고정과 바이오매스 생산을 통해 온실가스 저감노력에 중요한 역할을 할 수 있음을 밝혔다. 이미 위에서 여러 번 강조했듯이 미국은 광활한 토지자원과 잘 정비된 농업기반, 정부출연 연구기관을 가지고 있기 때문에 탄소고정의 잠재력이 크며 정책 시행에 상당히 유리하다. 여러

연구에 따르면 탄소고정을 통한 온실가스 저감량은 현재 총 온실가스 배출량의 10% 이상으로 추정되었다.¹²

일반적으로 탄소고정 활동은 덜 집약적인 경작방식이나 무경운 등을 도입하거나 농경지를 탄소저장 능력이 큰 초지나 산림으로 전환해야 하므로 탄소고정 활동은 기존 경작방식 또는 토지이용보다 이윤수준이 낮다. 따라서 탄소고정 활동을 도입할 때 발생하는 손실을 보전하거나 그 수준의 보조금 등이 지급되어야 하며 탄소고정 활동을 위한 적절한 정책수단이 필요하다.

또한 탄소고정 프로그램을 운용하기 위해서는 정부와 농림업 생산자, 토지소유자가 유기적으로 연결되어야 하는데 현재 미국의 농림업부문의 생산자 및 토지소유자가 매우 많기 때문에 탄소고정 프로그램 운용 시 행정상, 관리상의 어려움이 많을 수도 있다.

이 절에서는 Richard, Sampson and Brown(2006)을 중심으로 농림업부문의 온실가스 저감활동 중 탄소고정을 중심으로 정책전략에 대해 기술한다. 즉 농림업생산자 또는 토지소유자가 탄소고정 활동을 도입하도록 유인하는 정책이 무엇인지 그리고 어떻게 운영되어야 하는지 서술하고 현재 미국정부가 고려하고 있는 정책전략에 대해 기술한다.

4.2. 탄소고정 정책과 이슈

탄소고정 활동을 도입하기 위한 기본적인 정책수단으로 자발적 참여, 명령과 규제, 세금 또는 보조금, 비용분담 등이 있을 수 있다. 아울러 정책 실행 시 공공의 소유권을 강조해야 하는지 사유재산권을 존중해야 하는지도 중요한 이슈이다.

정책을 선택할 때 고려해야 하는 중요한 요소는 비용과 환경적인 효과

12 교토의정서에 정해진 미국의 온실가스 의무감축량은 약 14억 5,500만 CO₂톤이다. 탄소고정 잠재량은 톤당 탄소가격이 \$50일 때 약 7억 2,000만 CO₂톤이므로 탄소고정을 통해 온실가스 의무감축량의 50%를 달성할 수 있다. 물론 이 수치는 다분히 이론적이며 탄소고정의 영속성(permanence) 때문에 실제 잠재량은 훨씬 낮을 수 있다.

(environmental effectiveness)이다. 탄소고정 프로그램의 비용은 톤당 탄소가격으로 나타낼 수 있으며 지난 15년간 탄소고정과 관련 연구는 대부분 톤당 탄소가격과 탄소고정 잠재량을 추산하고 있다. 톤당 탄소가격 외에도 정부는 탄소고정 프로그램 운용을 위한 서류절차, 예산, 관련활동, 관련 연구 지원, 생산자 교육 등의 인프라를 확충해야 한다. 아울러 탄소고정 활동에 대한 감독, 평가 등과 관련된 비용도 발생하므로 이 비용을 정부재정으로 충당한다면 세금조달과 관련한 추가적인 비용이 발생할 수도 있다.

정책결정자로서 탄소고정 프로그램의 비용을 최소화하기 위해 몇 가지 고려해야 할 사항은 첫째, 탄소고정 프로그램은 기후변화 정책 목적을 달성할 수 있어야 하는 동시에 친환경적이며 효과적이어야 한다는 점이다. 아울러 정책 목적(예를 들면 정해진 추가 탄소고정량) 달성을 위해 자금지원이나 제재(당근과 채찍)가 병용되어야 한다는 것이다.

둘째, 정책수단은 합법적이어야 한다. 합법적이라는 말은 탄소고정 프로그램이나 정책이 개인의 사유재산을 침해해서는 안 된다는 의미이다. 미국 제5차 수정조항에 따르면 연방정부의 정책은 개인 재산의 가치를 감소시켜서는 안 되도록 규정하고 있다. 이론적으로 비용 효과적이고 정책목표를 달성할 수 있는 정책이라 하더라도 사유재산을 침해한다면 정책 이행에 문제가 생길 수 있다. 이 점은 특히 배출총량거래제도(cap-and-trade)의 중요한 정책적 함의가 된다.

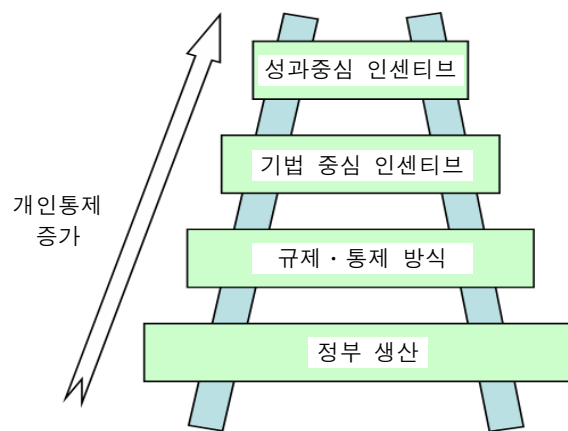
4.3. 정책수단의 범위

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

<그림 1-8>은 환경보호와 관련된 토지이용 및 관리방식에 대한 일련의 정책

들의 범위를 나타낸 것으로 각 정책수단들은 토지를 사유하는 소유주의 통제(control)가 높아지는 방향으로 나열되어 있다. 개인 토지 소유주의 의사결정이 자유로운 경우 최소비용이 달성됨은 널리 알려져 있다.

그림 1-8. 미국의 온난화 대응 정책수단 사다리



자료: : Richard, Sampson and Brown (2006)

정부생산은 정부가 정부 자체의 자원(미국 농무부와 관련 연구기관 등)과 인력을 동원한 탄소고정 프로그램이다. 예를 들면 정부가 관리하는 산림이나 국립공원 등에 재조림 또는 산림관리방식의 변경 등을 통해 탄소고정 활동을 도입하는 것이다. 이 경우 탄소고정 비용은 정부재정으로 충당되며 궁극적으로 그 부담은 납세자에게 귀착된다.

명령과 통제 방식은 정부가 농림업 생산자 또는 사적 토지소유주에게 특정한 탄소고정 활동을 채택하도록 강제하는 것이다. 이때 탄소고정 활동으로 수반되는 비용은 토지소유주에게 귀속된다. 예를 들어 정부가 목재수확 후 재조림을 의무화하거나 한계농지에 신규조림을 강제하는 방법이다. 명령과 통제의 비용은 대부분 사적부문에 귀속되어 추가 재원조달을 최소화할 수 있고, 감독 및 평가가 쉽고 정책 시행이 단순하기 때문에 행정비용도 낮다. 그러나 과거 명령과 통제를 이용한 정책 시행결과를 볼 때 정책효과가 좋지 않았다. 연방정부의 사적소유의 산림을 규제하는 정책은 이미 1920년대에서 1950년대 사이에

실시되었는데 크게 성공하지 못했으며 오히려 정치적인 논쟁거리만 되었다 (Ellefson, 2000).

106, 107회 미 의회(2000년부터 2004년까지)는 50차례 이상 탄소고정과 직접적으로 관련된 규제와 법안에 대해 심의하였다. 최근 제출된 법안 중 탄소고정과 관련된 것들은 명령과 통제 방법보다는 정부가 정보와 유인을 제공하여 사적토지 소유자의 자발적인 참여를 유도하도록 하고 있다. 따라서 정책수단 사다리의 맨 위쪽 두 가지 정책수단이 탄소고정 프로그램의 정책수단이 될 가능성이 높다<표 1-7>.

표 1-7. 탄소고정과 관련된 의회 법안

법안 명칭	Citation	법안 발의자	프로그램 타입
The Energy and Climate Policy Act	106S.882	Murkowski	GPI*
Carbon Cycle and Agricultural Best Practices Act	106S.1066	Roberts	GPI and PBI**
Climate Change Tax Amendments of 1999	106S.1777	Craig	PBI
Credit for Voluntary Action Act	106H.R.2520	Lazio	RBI***
Carbon Sequestration Tax Credit Act	107S.765	Brownback	RBI
Carbon Sequestration and Reporting Act	107S.1255	Wyden	PBI
National Greenhouse Gas Emissions Inventory Act	107.H.R.4611	Olver	Regulatory, private parties supply information
Climate Stewardship Act of 2003	108S.139	Leiberman	RBI
Healthy Forest Restoration Act	108H.R.1904	McInnis	Gov't undertakes carbon sequestration activities directly

주) * GPI = Government produces and disseminates information

** PBI = Practice based incentive

***RBI =Result based incentive

정책수단 사다리의 위쪽 두 가지는 탄소고정 프로그램을 받아들이는 재정 인센티브를 토지 소유자에게 제공하는 대신 프로그램의 참여 결정은 자발적이

다. 탄소고정 활동에 대한 유인은 토지소유자들의 참여를 장려하기 위한 수단으로 기법중심이나 성과중심으로 지급한다. 유인수단으로는 단위면적당 또는 톤당 보조금(세금), 비용보조, 토지 렌탈 또는 세금감면 등을 이용할 수 있다. 유인수단에 필요한 재정부담은 국고로 충당하므로 그 부담은 궁극적으로 납세자에게 귀착된다.

기법중심 인센티브 중 가장 오래된 미국 농무부 비용보조 프로그램은 농업보전프로그램(Agricultural Conservation Program, ACP)으로 초지조성, 신규조림, 야생보호지 조성 등의 비용을 보전하였다. 기법중심 인센티브 정책은 정부가 유인수단을 설정, 관리하고 농림업 생산자 또는 토지소유자는 탄소고정 프로그램에 참여할 것인지를 결정한다. 유인수준이 프로그램에 참여할 때 수반하는 비용보다 최소한 같거나 크다면 탄소고정 프로그램에 참여할 것임은 자명하다. 탄소고정을 증진하기 위한 정부정책의 예로 한계지 신규조림사업에 면적당 보조금을 지급하는 것 등을 들 수 있다. 기법중심 인센티브 정책의 단점으로는 탄소고정 활동의 선택범위가 제한되기 때문에 비용효율적인 탄소고정 활동을 기대하기 어렵다.

농림업 생산자나 토지소유주가 비용효율적인 탄소고정 활동을 찾도록 하려면 추가적인 융통성 및 인센티브를 제공해야 한다. 이 방법이 성과중심 인센티브 정책으로 실제 탄소고정량만큼 보조금 등을 지불하는 것이다. 이 방법은 톤당 탄소고정량에 대해 보조금을 지불하므로 지역적 특성에 맞는 탄소고정 활동을 찾아 적용할 수 있어 비용효율적인 탄소고정 활동을 찾을 수 있다. 또한 농림업 생산자나 토지소유주는 지역적 특성을 잘 이해하며 자신의 토질 등을 잘 알고 있기 때문에 가장 적합한 탄소고정 활동을 찾아낼 수 있다. 그러나 이 정책방법은 탄소고정량을 일일이 감독하고 평가해야 하기 때문에 많은 행정비용과 관리감독 비용을 수반한다.

정부가 정책 사다리 위쪽으로 움직이면 사적 토지소유주에게 좀 더 비용효율적인 탄소고정 대안을 탐색하게 할 수 있는 반면 관리·감독비용을 증가시키며, 정부가 토지소유주에게 명령과 통제를 이용한 정책을 사용할 경우 효율적인 탄소고정 프로그램을 운용하기 어려우며 추가적인 정부재정이 요구된다.

4.3.1. 첫 번째 정책사다리

첫 번째 정책사다리는 정부생산(government production)이다. 미국 연방정부는 많은 토지를 소유하고 있지만 탄소저장량을 증가시킬 여지는 제한적이며 탄소고정 프로그램에 이용할 새로운 토지를 획득하는 것 역시 정치적인 문제로 어렵다. 그러나 정부소유의 토지에 직접 탄소축적을 증가시키는 방법은 제한적이긴 하지만 많은 관련 정보와 서비스를 제공할 수 있다.

미국 연방정부는 미국 전체 토지의 대략 29%를 소유하고 있으며 9%는 다른 정부 주체가 소유하고 있다. 연방정부가 연방정부 소유의 토지에 탄소저장량을 증가시키기 어려운 이유는 연방정부 소유 토지는 생산성이 매우 낮기 때문에 관리방식의 변화로는 탄소고정의 증가를 기대하기 어렵기 때문이다. 또한 대부분의 연방정부 소유 토지가 연방법과 다른 우선순위에 의해 다양한 용도로 이용되고 있어서 탄소고정 프로그램을 운용하는데 법적, 제도적 장애가 있기 때문이다. 아울러 탄소고정을 위한 토지용도의 변경은 공공의 반대 및 정치적 장애도 있을 수 있다.

현재 정부 직접생산 정책으로는 환경·경제를 위한 임산지원법[Forest Resources for the Environment and Economy Act(107 S. 820)]을 들 수 있다. 이는 미국 농무부가 미국 국립 산림지역의 탄소저장량을 조사, 평가하고 산림 관리 증진이 하천유역과 어류, 야생동물 서식지에 미치는 영향을 알아보도록 하고 있다.

연방정부 소유의 토지자원에 대한 데이터가 사적소유의 토지 데이터보다 정확하지 않기 때문에 연방정부 소유 토지의 탄소고정을 증가시키는 기회를 평가하는 것은 어렵다. 미국 농무부는 크게 두 가지 자료 조사 수집을 하는데 하나는 산림청이 조사하는 산림정보분석처(Forest Information and Analysis, FIA)이고 또 하나는 자연자원보전청(Natural Resources Conservation Service)이 주관하는 국가자원관리처(National Resources Inventory, NRI)이다. 아쉽게도 두 조사 모두 연방정부 소유 토지에 대한 자료를 효과적으로 수집하지는 못하고 있다.

연방정부 소유의 토지는 대부분 산림이기 때문에 탄소고정 노력은 산림에

국한되어 있으며, 대부분의 연방정부 소유의 산림은 목재생산 이외의 다른 용도로 정해져 있어 이를 제외할 경우 탄소고정 프로그램을 운용할 산림은 대략 1억 에이커 정도로 추산된다.

정부의 탄소고정 생산은 상대적으로 운용하기 쉽고 모니터링 및 이행비용이 낮으며 프로그램의 운용비용은 납세자에게 귀착된다. 탄소저장량을 유지 및 증가시키기 위해서 탄소고정 타격을 도입하거나 주어진 재정하에서 가능한 한 많은 탄소고정을 생산할 수 있도록 프로그램이 운용되어야 할 것이다. 위에서 지적했듯 정부 소유의 토지는 생산성이 매우 낮아 탄소고정을 통한 탄소저장량을 늘리는 것보다는 현재 저장된 탄소를 보존하는 것이 더 현실적인 정책이 될 것이다. 특히 산불방지를 통해 저장된 탄소를 보존하는 것이 큰 정책적 목표이며 동시에 지역사회를 산불피해로부터 보호하는 양의 외부효과도 누릴 수 있다.¹³ 아울러 탄소고정 프로그램은 산림을 좀 더 건강하게 하고 야생동물의 서식지를 보호하며 생물다양성을 늘리는 등 다른 외부효과도 있다.

첫 번째 정책수단 사다리에 해당하는 다른 정책으로는 탄소고정 및 온실가스 저감방안에 대한 교육, 연구, 정보의 보급 등이 있다. 실제로 정부의 교육, 연구 및 정보의 보급은 중요하고 효과적이면서 정치적인 문제를 최소화할 수 있는 실현 가능한 정책방안이다. 교육은 기술보급 및 지원, 교육자료의 발간, 학회 개최, 워크숍 등을 들 수 있다. 아울러 미 농무부 연구, 지도, 교육 프로그램, 주립대학 및 대학 내 지도소 등을 통한 연구와 교육도 중요한 선택대안이 될 수 있다. 자원자원보전처는 토양 및 수자원 보호구역 내에서 토지 소유자 교육을 맡고 있다. 최근 미 농무부는 탄소고정과 관련된 교육 및 정보의 보급을 웹을 통해 실시하고 있기도 하다. 국립연구기관과 오크리지 국립시험소(Oak Ridge National Laboratory) 등에서는 탄소고정과 관련된 많은 연구를 진행하고 있으며 미국 환경부(US EPA)도 탄소고정과 관련된 많은 정보를 웹에 올려놓고 학회 등을 통한 학자들의 정보교류에 노력하고 있다.

13 실제로 미국 서부지역(캘리포니아, 네바다, 아이다호 등)은 산불로 인한 피해가 엄청나며 산불방지 및 산불진화에 많은 주정부 예산이 사용된다.

4.3.2. 두 번째 정책사다리

두 번째 정책 사다리는 명령과 통제(command-and-control)이다. 주정부와 지역정부는 이미 탄소고정 및 온실가스 저감을 위해 이전부터 이미 산림관리에 대한 규제 정책을 실시하고 있다. 명령과 통제를 통한 규제의 주목적은 목재생산 이후 재조림 여부이며 1970년대 이후 환경에 대한 관심이 증가하면서 환경보호와 관련된 정부규제가 많아지고 다양해졌다.

Ellefson, Cheng, and Moulton(1995) 연구에 따르면 1995년 현재 38개 주에서는 적어도 하나의 사유 산림지에 대한 규제 프로그램을 가지고 있다. Ellefson(2000) 연구에 따르면 사유 산림지의 약 40%가 주정부 규제를 받고 있는데 그 면적은 대략 1억 3,500만 에이커에 이른다. 참여자 수가 가장 많은 규제 프로그램은 지속가능한 산림 운동(Sustainable Forestry Initiative, SFI)으로 가장 적합한 산림 관리방법을 도입하도록 규제하는 프로그램이다. 이 프로그램은 수질보호, 토양침식 방지, 재조림 등을 규제하는데 2005년 현재 약 90%의 상업용 산림지가 등록되어 있다.

명령과 통제, 규제를 이용한 탄소고정정책의 비용효율성을 측정하는 것은 어렵는데 그 이유는 탄소저장량의 절대적인 양의 변화를 측정하는 것은 상대적으로 쉬우나 그 탄소저장량의 변화를 야기한 결정요소가 무엇인지 결정하기 어렵기 때문이다.

탄소저장량의 변화는 토지이용의 추세, 시장의 변화, 기술의 변화, 정부 관련 규제의 변화, 탄소고정 프로그램의 변화 등에 기인하는데 이 변화들이 상호작용하므로 탄소저장량의 증가가 어느 요인에 의해 발생했는지 구분하기 어렵다. 산림규제의 효과를 구분하기 위해 탄소고정의 베이스라인을 설정할 필요가 있는데 이를 위해서는 매우 복잡한 경제-산림 모형이 필요하다. 현재 베이스라인을 설정하는 방법론에 관한 많은 연구가 진행되고 있는데 만약 베이스라인이 설정된다면 산림규제로부터 발생하는 탄소고정 증가량을 구해낼 수 있으며 탄소고정의 프로그램의 효율성을 평가할 수 있다.

명령 및 규제를 통한 탄소고정의 비용효율성에 대한 연구는 아직 소수이며

그 결과 역시 확정적이지 않으나 토지 소유주가 정부 규제를 이행하는 비용은 클 것으로 보인다.

4.3.3. 세 번째 정책사다리

세 번째 정책사다리는 기법중심 인센티브(practice-base incentives)이다. 정부는 탄소고정 프로그램에 대한 재정 인센티브를 제공하고 농림업 생산자 또는 토지소유자가 그 프로그램을 자발적으로 도입하는 방법이다. 기법중심 인센티브는 농림업 생산자나 토지소유자가 탄소고정 프로그램을 도입하면 재정정보조를 제공한다.

탄소고정과 관련하여 2002년 농업법에서는 탄소고정이라는 단어를 법안에 포함하도록 하였다. 물론 많은 법안들이 탄소고정을 주목적으로 하지는 않는다. 아울러 이 법안들은 탄소고정을 증진시키는 것보다는 현재 저장된 탄소를 보존하는 것에 초점이 맞춰져 있다<표 1-8>.

토지소유자에 대한 직접적인 재정정보조는 1930년대 이후 미국 농무부의 중요한 정책수단으로서 미 농무부의 비용보전과 보조금은 사적 토지소유자의 의사결정에 많은 영향을 미쳤다. 현재 약 70%의 사적 소유의 토지가 직접 재정정보조와 관련된 정책에 참여하고 있다.

가장 오래된 미국 농무부의 비용보전 프로그램인 농업보전프로그램은 초지 및 조림, 산림관리, 야생동물 서식지 개선 등에 대한 비용보전을 하였다. 비용보전율은 일반적으로 50%정도로 토지소유자들이 조림을 하거나 개선된 산림관리를 유인하는 데 효과적이었다. 농업보전프로그램의 역할 감소에 따라 1973년 새롭게 제정된 것이 산림 인센티브 프로그램(Forestry Incentives Program, FIP)이며 이 정책은 목재생산에 직접 관련되어 있다. 최근에 실시된 위탁관리유인프로그램(Stewardship Incentives Program, SIP)의 초점은 생태계보전과 관련된 산림관리에 맞춰져 있다. 이 법안은 2002년 산림지 강화프로그램(Forest Land Enhancement Program, FLEP)으로 대체되었으며 탄소고정을 포함한 다양한 목적을 가지게 되었다.

표 1-8. 2002년 미국 농업법에 추가 또는 도입된 탄소고정 관련 프로그램

프로그램	기능	기관	2002년 변화
환경개선 장려제도 (EQIP)	비용부담, 기술지도	NRCS FSA	상품신용공사(CCC) 자금에서 58억 달러 자금지원 건에 대해 2007년 재인가, 비산업적 임산지 대상
EQIP 혁신자금	탄소고정과 시장연계의 혁신적 접근에 대한 자금지원	NRCS	2002년 EQIP에 추가된 신규프로그램 요소
보전유보 강화프로그램 (CRP)	비용부담, 토지임차	FSA	2007년에 확대, 3920만 에이커로 상한면적 설정
보전유보강화 프로그램 (CREP)	비용부담, 토지임차 (주별로 다양한 프로그램)	FSA	지속적 사업, 미미한 변화
산림지 강화프로그램 (FLEP)	1,000ha 이하의 산림을 소유한 독립가를 대상으로 재정지원, 기술지원, 교육지원	FS	신규사업으로 2007년까지 CCC 자금으로 1억 달러의 자금지원
야생서식지 인센티브 프로그램(WHIP)	비용지원, 기술지원	NRCS	2007년 재인가
습지보전 프로그램	비용부담, 장기임대권 제공	NRCS	대상면적 최대 2,275천 에이커로 2007년에 재인가
보전안보 프로그램	보전기법에 대한 비용지원	NRCS	수계(유역)대상 신규 프로그램
지속가능한 산림 교육촉진사업(SFOI)	교육	CSREES	신규프로그램

* CCC = 상품신용공사(Commodity Credit Corporation), NRCS = 자연자원보전청(Natural Resources Conservation Service), FSA = 농가관리청(Farm Services Agency), FS = 산림청(Forst Service), CSREES = 주협동연구교육기술지도소(Cooperative State Research, Extension, and Education Services)

1950년대에서 1960년대에 실시된 토지보호 프로그램은 토양은행 프로그램(Soil Bank Program)과 1980년대부터 현재까지 시행되는 보전유보프로그램(Conservation Reserve Program, CRP)이다. 두 법안은 토지소유주에게 농경지의 휴경을 유도하여 초지나 산림으로 재복구되도록 하는 것으로 초기 이행비용과 10~15년간의 토지 임차비를 보전한다. CRP는 한계농지나 초지의 은퇴를 유도하여 토양침식 및 유실을 방지하는 데 그 직접적인 목적이 있다. 1997년 NRI 자료에 의하면 3,269만 7,000 에이커가 CRP에 등록되어 있는데 CRP

프로그램은 탄소고정을 증가시키는 프로그램으로 바로 사용할 수 있다.

경제적 요인의 변화 및 개발에 따른 산림전용을 막기 위한 산림유산프로그램(Forest Legacy Program, FLP)은 1990년 농업법에 도입되었는데 주정부가 사유 산림을 구입하여 영구 보존하도록 하는 프로그램이다. 2004년 이 프로그램을 통해 보존된 산림은 100만 에이커 정도로 대략 3억 6,100만 달러의 토지가치가 있으며 약 1억 8,300만 달러가 투자되었다.

위에 언급한 모든 프로그램은 특정 기법에 대한 보조금을 지급하는 방법인데 이러한 보조금 정책은 탄소고정의 측정(환경효율성)이 쉽지 않다는 것이 단점으로 지적된다. 즉 기법중심으로 보조금이 지급되기 때문에 실제 기법의 효과를 알기 어렵다는 것이다.¹⁴

<표 1-8>에 정리된 친환경 농업정책들은 국제적으로 탄소고정이 온실가스 저감방법으로 인정될 경우 아주 쉽게 탄소고정 프로그램으로 전환될 수 있다. 현재 미 농무부에서 추진하는 대부분의 친환경 농업정책들은 탄소고정 및 탄소보존이라는 용어를 법안에 삽입하고 언제든지 보조금을 지급할 수 있도록 법안을 마련 중이다. 참고로 현재는 탄소고정에 대한 보조금을 명시적으로 지급하지 않는다.

4.3.4. 네 번째 정책사다리

네 번째 정책사다리는 성과중심 인센티브(result-based incentives)이다. 성과중심 접근방법의 장점은 사적 토지소유자에게 탄소고정의 목표를 최소의 비용으로 달성할 수 있도록 융통성을 주는 데 있다. 이 프로그램은 참여자에게 자기 자신이 처한 상황과 토지의 성격, 지역의 환경에 맞도록 적응할 수 있는 기회를 준다. 크게 직·간접적인 방법으로 나눌 수 있다.

직접적인 접근방법은 정부가 토지소유주와 정해진 탄소고정량을 계약하거나

14 토지소유자가 탄소고정 프로그램에 참여하면 면적당 보조금을 지급하기 때문에 실제 탄소고정량이 얼마나 될지 알기 어렵다.

해당 보조금을 지급하는 방법으로 방출된 탄소에 대해서는 탄소세(별금)를 부과하는데 보조금은 탄소고정 증가의 인센티브가 될 것이고 탄소세는 바람직하지 못한 변화(즉 온실가스 배출)를 방지하는 인센티브가 될 것이다. 또한 온실가스 배출 통제와 관련이 없어 화석연료 사용에 따른 배출정책과 독립적으로 사용할 수 있다.

간접적인 접근방법은 배출총량거래제도(cap-and-trade) 시스템으로 운영하는 것으로 온실가스 배출량(cap)을 미리 대량 배출처에 나누고 온실가스 배출량을 직접 줄여 부여받은 온실가스 배출량을 달성하거나 다른 곳에서 온실가스 크레딧을 구입하여 간접적으로 배출량을 줄이도록 하는 것이다. 배출총량거래제도 시스템에서는 토지소유자가 달성한 탄소고정량을 크레딧으로 인정하고 그 크레딧을 거래할 수 있도록 한다. 예를 들어 100톤의 탄소저장량을 증가시킨 토지소유주에게 100톤의 온실가스 크레딧을 부여하며 토지소유주는 100톤의 온실가스 크레딧을 배출권 거래시장에서 거래할 수 있게 된다.¹⁵ 물론 탄소고정의 특수한 성질, 예를 들어 영속성(permanence), 누출성(leakage) 등 때문에 100톤의 탄소고정량을 100톤의 크레딧으로 인정할 것인가에 대한 논란이 있을 수 있다(Kim, 2004). 어쨌든 온실가스 크레딧 매매는 토지소유주가 직접 참여할 수도 있고 중간상인이나 대리인이 개입할 수도 있다. 이때 새로 생성된 배출권 시장에서 크레딧의 가격이 결정되며 토지소유주는 해당 크레딧만큼의 이윤을 얻게 된다.

직접적인 접근방법과 간접적인 접근방법은 상호배타적이지 않아 혼합하여 사용할 수도 있는데 정부는 기법중심 또는 성과중심 지불 프로그램을 통해 탄소고정 활동을 유도하고 배출권 거래제가 확립된 후 탄소고정 프로그램을 배출권 거래제로 전환하면 된다. 한 가지 논란은 다른 목적을 가진 연방정부 프로그램, 예를 들면 CRP에 의한 탄소고정 증가량은 크레딧으로 판매하지 못하도록 해야 한다는 점이다. 그 이유는 다른 목적으로 보조금을 지급받고 추가로 탄소고정 증가량을 크레딧을 인정받으면 이중수혜가 되기 때문이다. 그러나 현

15 탄소고정양에 따라 보조금, 즉 톤당 보조금을 지급한다.

재 미국 농무부의 정책 방향은 다른 목적하의 연방정부 프로그램에 의해 달성된 온실가스 크레딧도 자유롭게 거래할 수 있도록 하고 있다.

성과중심 프로그램은 당연히 탄소고정량에 대한 측정, 모니터링, 확인비용이 수반된다. 기법중심 프로그램은 자발적인 보고나 시각에 의한 조사만으로도 충분하지만 성과중심 프로그램은 정확한 크레딧 계산을 위해 탄소고정량을 측정하고, 보고하고, 확인하는 공식적인 메커니즘을 마련해야 하기 때문이다. 탄소고정량의 크기는 실제 필드조사에 의해 파악할 수 있으나 많은 측정비용이 요구된다. 또한 탄소고정량의 크기는 동일 지역, 동일 탄소고정 활동이라 하더라도 그 고정량은 다르기 때문에 샘플링 조사를 이용해야 하며 이를 통계적으로 처리할 방법도 마련해야 한다. 막대한 측정, 모니터링, 확인비용은 성과중심 프로그램을 시행하는 가장 큰 걸림돌로 예상하고 있다.

4.4. 탄소고정과 배출권 거래의 실제 사용 예

탄소고정을 이용, 배출권 거래의 개념을 도입하여 적극적으로 활동하는 그룹 중 하나가 기후신탁(Climatetrust)이다.¹⁶ 기후신탁은 비영리 단체로 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(현재 시카고 기후거래소와의 실제 거래는 일어나지 않음).

기후신탁에 참여하는 기업들은 실제로 온실가스 의무감축량을 가지고 있지 않으나 기업의 인지도 향상과 이미지 개선을 위해 기후신탁 프로그램에 자발적으로 참여하고 있다. 이러한 자발적 참여를 통해 각 기업들은 멀지 않은 미래에 부과될 온실가스 의무감축에 효과적으로 대응할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

16 <http://www.climatetrust.org/>

4.4.1. Deschutes Riparian Reforestation

기후신탁은 미국 오레곤주 데슈츠(Deschutes)강 유역에 신규조림을 통한 탄소고정 프로젝트를 운영하고 있다. 2003년 2월에 시작된 이 프로젝트는 향후 약 50년간 지속되며 약 23만 4,000 CO₂톤을 저감할 것으로 기대하고 있다. 기후신탁은 데슈츠강 유역 토지소유자에게 탄소고정 프로그램에 참여하도록 인센티브를 제공한다. 즉 데슈츠강 유역 토지소유자들이 해당 지역에 신규조림을 하는 경우 탄소고정량만큼의 인센티브를 지급한다. 연방정부와 오레곤주 정부도 해당 토지가 보전유보프로그램이나 보전유보강화 프로그램(Conservation Reserve Enhancement Program, CREP)에 가입한 경우 보조금을 지급한다. 다시 말하면 토지소유자가 신규조림을 하는 경우 정부로부터 친환경정책 참여에 따른 보조금을 받으며 기후신탁에게 신규조림에 따른 고정된 탄소를 크레딧으로 판매하는 것이다. 2008년까지 1,500~1,800에이커가 신규조림될 것으로 기대하고 있다.

거래에 책정된 톤당 탄소가격은 약 \$12이며 전체 예산은 대략 \$78만 규모이다. 기후신탁은 첨단기술을 이용하여 고정되는 탄소량을 측정, 검증하며 측정된 탄소고정량은 크레딧으로 인정, 기후신탁의 소유가 된다. 기후신탁은 이 크레딧을 투자한 기업들에게 재분배하거나 다른 곳, 예를 들어 시카고 기후거래소에 판매할 계획이다.

4.4.2. 원주민 북서부 산림 보전

기후신탁이 운영하고 있는 또 다른 탄소고정 프로젝트는 미국 워싱턴주 루미니 인디언족(Lummi Indian Tribe)과 맺은 신규조림 계약이다. 이 프로젝트는 인디언족이 구매, 거주하고 있는 Arlecho Creek 산림지역에 신규조림을 하는 것이다. Arlecho Creek지역은 이미 상용목재 수확으로 많은 지역이 벌채되어 있는 곳이다.

기후신탁은 이 지역의 신규조림을 통해 약 35만 CO₂톤의 탄소를 고정할 수

있을 것으로 기대하고 있다. 계약은 2002년부터 100년간이며 거래된 탄소가격은 역시 톤당 \$12였다. 해당 면적은 대략 1,654에이커이며 신규조립된 지역은 영구적 산림으로 지속 관리하게 된다. 아울러 이 지역은 탄소고정 측정, 토양 및 초목의 실험 대상으로 주변 대학에 제공될 예정이어서 탄소고정 관련 연구에 도움을 줄 것으로 기대하고 있다.

4.5. 탄소고정 이외의 기타 정책 및 규제

4.5.1. AgSTAR

서론에서 언급한 것처럼 현재 미국은 2002년부터 2012년까지 10년 동안 온실가스강도를 18% 줄이는 계획을 세우고 중장기계획을 세워 실천하고 있다. 이 계획은 주로 에너지부문, 운송부문, 신기술 개발 등에 치중하고 있는데 그중 농업부문과 관련된 정책이 자발적 메탄 프로그램(Methane Voluntary Program)이다. 이는 US EPA를 중심으로 미국 산업체 및 주정부 등이 협력하여 메탄 발생량을 감축하는 자발적 프로그램으로 그중 AgSTAR 프로그램은 바이오가스 복원 시스템(biogas recovery system)을 이용, 축산분뇨처리 과정에서 발생하는 메탄을 전력생산에 이용하도록 유도하고 있다.

AgSTAR는 EPA, 농무부, 에너지부가 공동으로 후원하고 있으며, 퇴비관리를 통한 메탄 배출 감축을 위한 비용효과적인 방법을 장려하는 자발적 프로그램이다. 이 프로그램은 1993년 시작되었고, 기후변화 행동계획(Climatic Change Action Plan, CCAP)의 일환으로 흡수되면서 확대되었다. AgSTAR는 농업 부문 메탄의 에너지 가치를 포착하고 이를 활용하는 기술을 채택하여 보급하는 것을 목적으로 설립되었다.

메탄은 양돈 및 낙농 농장의 현대식 대규모 슬러리 저장 시스템에서 많은 양이 발생하는데 바이오가스 복원 시스템 등은 이 메탄을 포집하여 에너지로 사용한다. 아울러 메탄 회수에 따라 악취 감소는 물론 수질 개선에도 도움이 된다.

AgSTAR 프로그램은 산업연합 프로그램(Industry Ally Program)과 파트너 프로그램(Partner Program)이라는 두 개의 주요 부분으로 나누어져 있다. 산업연합 프로그램에는 28개 업체가 참가하고 있으며, 메탄 배출을 줄이기 위한 비용효과적인 방법을 장려하고 메탄 회수 제품의 수급을 평가하는 것을 지원하고 있다. 이 제품에는 전기회로장비, 발전기, 엔진 등이 포함되며, 소화기 설계, 전기회로, 퇴비관리 같은 서비스도 제공된다. 파트너 프로그램에는 62개의 가축시설을 대표하는 13개 기업이 참여하고 있다. 이 프로그램에 참여하는 기업들의 시설에 대한 조사가 이루어진 후 수익성 있는 곳에 메탄회수 시설을 설치하게 된다. AgSTAR Program에 참여하고 있는 비영리 기관은 프로그램의 발전과 이윤 획득을 위해 도움을 주고 있다.

2007년 기준 약 8만 톤의 메탄이 AgSTAR 프로그램을 통해 감축되었으며 약 2억 7,500만 kWh의 전력이 생산되었다. 최근 AgSTAR 프로그램을 통한 메탄 감축량이 빠르게 증가하고 있는데 2003년과 비교하여 대략 4배가 성장하였다.

미국정부는 다양한 뉴스레터 발송 및 워크숍과 학회 등을 통해 기술 보급에 노력하고 있다. US EPA에 따르면 이 프로그램은 특히 돼지나 젖소 사육에 유용하게 이용되고 있다.

4.5.2. 1605b

1605b는 1992년 에너지정책법(Energy Policy Act)에서 입안된 자발적인 온실가스 보고 및 감축 프로그램으로 2006년 새로운 권고안이 제정된 후 농업생산자에게도 영향을 미치고 있다. 1605b는 말 그대로 자발적으로 자신이 운영 또는 관리하는 경작지나 축산 등에서 발생하는 온실가스 배출량과 감축량을 신고하는 것을 권고하는 프로그램이다.

온실가스 배출 및 감축량 보고를 위해 농업생산자나 토지관리자, 축산업자가 온실가스 발생량 및 감축량을 손쉽게 계산할 수 있도록 미국정부는 시뮬레이션 프로그램(Voluntary Reporting of Greenhouse Gases - Carbon Management Evaluation Tool, COMET-VR)을 제공한다. COMET-VR은 동태적 시뮬레이션

모형을 온라인으로 접속할 수 있도록 디자인한 것으로 농업생산자 또는 토지 관리자가 자신의 토지의 연간 탄소 흐름(flux)을 계산할 수 있도록 한 것이다. COMET-VR 사용자가 토지이용에 관한 정보, 예를 들면 위치, 작목, 경작방식 등을 입력하면 탄소배출 또는 흡수에 대한 수치가 계산되어 출력된다.

4.5.3. 기타 보호법에 따른 인센티브의 제공

2003년부터 미 농무부는 자발적인 온실가스 감축에 따른 재정보조를 시행하고 있다. 기본적으로 덜 집약적인 경작방식이나 무경운 방식의 도입을 통해 탄소저장량도 증가(탄소고정)시킬 뿐만 아니라 농기계 및 비료시비를 줄여 직접적인 온실가스 감축도 유도하고 있다.

4.6. 소결

미국 농림업부문은 탄소고정을 중심으로 기타 온실가스 감축정책을 통해 막대한 양의 온실가스를 저감할 수 있다. 선행연구에 따르면 톤당 \$50 정도의 가격으로 현재 총 온실가스 배출량의 10%를 감축할 수 있다. 그러나 농림업부문의 탄소고정 및 기타 온실가스 감축정책을 실현하기 위해서는 다양한 정책이 도입되어야 하며 이러한 정책이 실제로 운용되기 위해서는 여러 가지 문제점을 극복해야 한다. 이 절에서는 Richards, Sampson, and Brown(2006)을 중심으로 단계별 정책종류와 운용방법 그리고 잠재적인 문제점에 대해 논의하였다. 중요한 논점은 탄소고정이 연방법(현존 또는 미래의 농업법) 테두리 안에서 정의되어야 하며 탄소고정 프로그램을 개발 보급해야 한다는 점이다.

5. 미국 농림업부문 온실가스 전략의 정책적 함의

5.1. 서론

지금까지 우리는 탄소고정 관련 연구와 정책전략에 대해 살펴보았다. 이 절에서는 농업부문의 기후변화협약 관련 연구로부터 도출된 정책적 함의를 서술한다. 이 절은 McCarl, Kim and others(2007)를 바탕으로 요약, 재구성한 것임을 밝혀둔다.

5.2. 정책적 함의

5.2.1. 온실가스 감축정책의 포트폴리오

첫 번째 정책적 함의는 온실가스 감축정책의 포트폴리오이다. 농림업부문에서 온실가스 저감과 관련한 경제모형에서는 크게 6가지의 온실가스 감축 전략을 사용한다. 비교를 위해 각 방법별 평균 온실가스 저감량을 부록에 정리하였다.

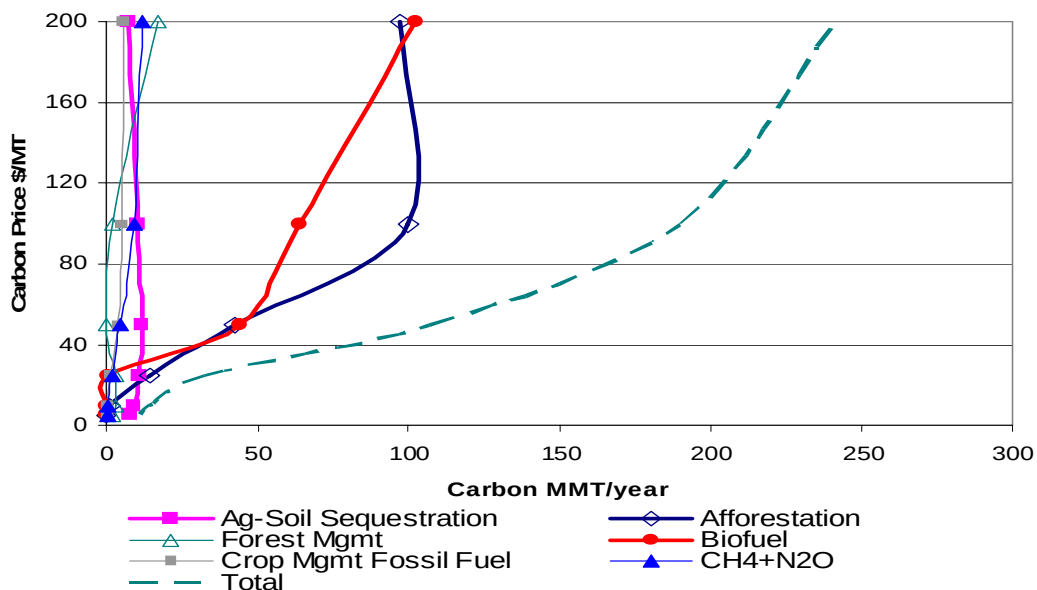
- 1) 조림: 농경지나 초지(주로 한계지)에 조림하여 탄소저장량을 늘리는 방법
- 2) 바이오연료: 농림업부문에서 생산한 바이오매스(주로 목재, 스위치그래스, 옥수수 등)를 통해 화석연료를 대체하여 순 배출량을 줄이는 방법으로 Schneider and McCarl(2003) 연구에 따르면 전력생산에서 석탄을 대체하는 효과가 크게 나타남.
- 3) 메탄과 아산화질소: 메탄과 아산화질소는 농업관리방법을 개선하여 배출량을 줄일 수 있음. 농업관리방법은 가축분뇨처리, 가축장내발효, 벼논생산, 질소비료 시비 등을 포함함.
- 4) 산림관리: 기존 산림의 관리방식 전환을 통해 탄소저장량을 늘림. 산림관

리는 주로 산림의 로테이션을 늘리거나 탄소저장량을 늘릴 수 있는 경작 방식을 선택하는 것을 포함.

- 5) 작물관리: 농기계 사용감소 등에 따른 화석연료 사용 감소에 따른 온실가스 저감
- 6) 탄소고정: 집약적인 경작방식을 무경운 방식이나 덜 집약적인 방식으로 전환하여 탄소고정량을 늘림.

위의 6가지 온실가스 저감방법은 서로 다른 한계비용과 잠재 저감량을 가지고 있으며 포트폴리오를 구성할 수 있다. 포트폴리오별 잠재 저감량은 <그림 1-9>와 같이 각 저감방법별 잠재 저감량을 그래프로 나타낼 수 있다.

그림 1-9. 농림업 관련 온실가스 저감량과 포트폴리오



자료: McCarl, Kim and others(2007)에서 재인용.

<그림 1-9>가 보여주듯 서로 다른 탄소가격하에서 주도적 온실가스 저감방법이 다를 수 있으며 메탄과 아산화질소의 감축은 큰 비중을 차지하지 못함도 알 수 있다. 낮은 탄소가격(약 \$30/톤)에서는 탄소고정 방법이 주도적 정

책전략이며 탄소가격이 상승할수록 신규조림과 바이오연료의 저감방법이 주도적 정책전략으로 바뀔 수 있다. 농림업부문 화석연료와 관련된 온실가스 감축량 비중은 크지 않으나 무시할 수 없는 양이다. 따라서 최선 전략의 혼합은 탄소가격에 의존한다.

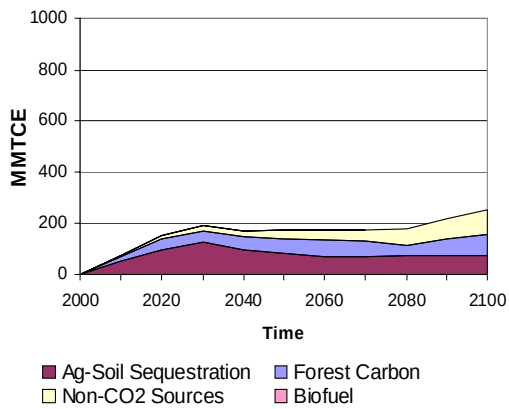
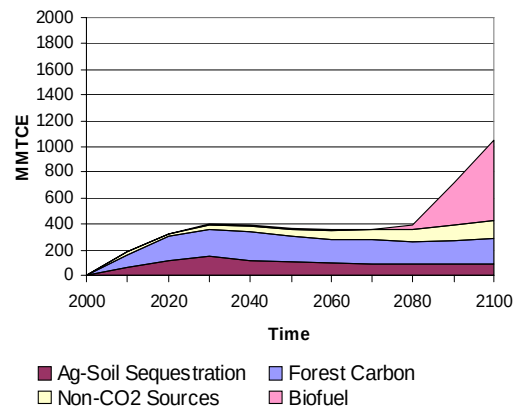
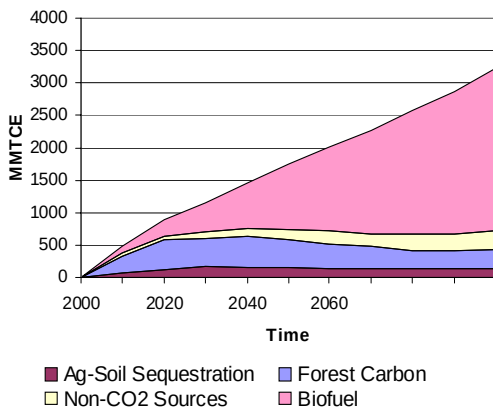
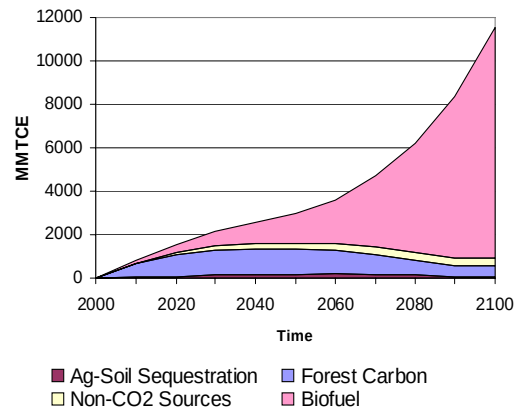
5.2.2. 시간에 따른 온실가스 감축전략의 포트폴리오

위에 언급한 온실가스 감축전략의 포트폴리오는 정태적인 분석 또는 순 현재가치 측면에서 도출된 것이다. 그러나 온실가스 감축은 시간에 따른 변화를 고려해야 한다. 특히 탄소고정의 경우 영속성을 고려해야 한다는 것을 여러 연구에서 지적하였다. 탄소고정의 영속성 문제는 탄소고정량은 시간에 따라 변하며 궁극적으로 탄소저장량이 새로운 균형에 도달하면 추가적인 탄소고정량의 0이 된다는 것이다. West and Post(2002)에 따르면 농업부문 탄소고정의 경우 대략 15~20년 후면 탄소고정 능력을 상실하며 Birdsey(1998)에 따르면 신규조림활동에 의한 탄소고정량은 약 80년 후에 멈추게 된다. 아울러 탄소고정 관련 활동을 중단하거나 나무를 수확할 경우 토양에 고정된 탄소는 짧은 시간(2~3년) 안에 공기 중으로 배출(volatility)되는데 이 경우 탄소고정의 온실가스 저감 효과는 0이 될 수도 있다. 탄소고정의 영속성 문제는 Kim, McCarl and Murray (2007)에 상술되어 있다.

탄소고정의 영속성 문제를 고려할 경우 온실가스 감축전략의 포트폴리오는 시간에 따라 변하게 된다. 탄소가격이 낮다 하더라도 시간이 흐른 후 탄소고정 활동에 따른 추가 탄소고정량이 줄어들면 바이오연료가 새로운 포트폴리오로 등장할 수 있다<그림 1-10>.

일반적으로 탄소고정에 의한 온실가스 저감은 30~40년 정도 증가하지만 그 이후에는 큰 변화가 없거나 감소(온실가스 배출)하기도 한다. Non-CO₂ 경우는 비중이 작지만 크게 변함이 없으며 바이오연료의 경우 시간이 경과할수록 그 비중이 점점 커지며 중점전략이 된다.

그림 1-10. 탄소가격과 시간에 따른 누적 온실가스 감축량

탄소가격이 \$10/MT일 때 시간에 따른
누적온실가스감축량탄소가격이 \$25/MT일 때 시간에 따른
누적온실가스감축량탄소가격이 \$50/MT일 때 시간에 따른
누적온실가스감축량탄소가격이 \$100/MT일 때 시간에 따른
누적온실가스감축량

자료: Lee, McCarl and Gillig(2005)에서 재인용.

5.2.3. 탄소고정과 양적할인

위의 결과는 시장에서 거래되는 탄소의 가격이 모두 같다는 가정을 하고 있다. 그러나 탄소고정으로 획득한 탄소 크레딧은 탄소고정의 특성, 즉 영속성, 추가성, 누출성, 불확실성 등 때문에 직접 감축을 통해 획득한 탄소 크레딧과는 가치가 다를 수 있다(Kim, 2004). 영속성에 관한 연구는 Kim, McCarl, and Murray(2007), 불확실성에 관한 연구는 Kurkalova(2005)와 Kim and McCarl (2007)에 상술되어 있다. Murray, McCarl and Lee(2004)는 누출성에 대해 자세하게 다루었으며 Chomitz(2002)는 추가성에 대해 언급하고 있다.

위에서 언급한 네 가지 특성 때문에 실제로 탄소고정으로 획득한 온실가스 감축량은 가격이나 또는 양적 할인이 필요하다. Kim(2004)에 따르면 농림업부문의 탄소고정으로 획득한 크레딧의 할인율은 상당히 큰 것으로 나타났는데 탄소고정 활동에 따라 다르지만 약 25~50% 수준의 할인이 필요한 것으로 추정되었다. 바꾸어 말하면 1톤의 탄소를 탄소고정을 통해 흡수한 경우 보조금을 받거나 또는 배출권 거래 시장에서 크레딧으로 인정받는 양은 0.75~0.5톤 정도라는 것이다.

5.2.4. 농림업 온실가스 저감전략의 지역적 분포

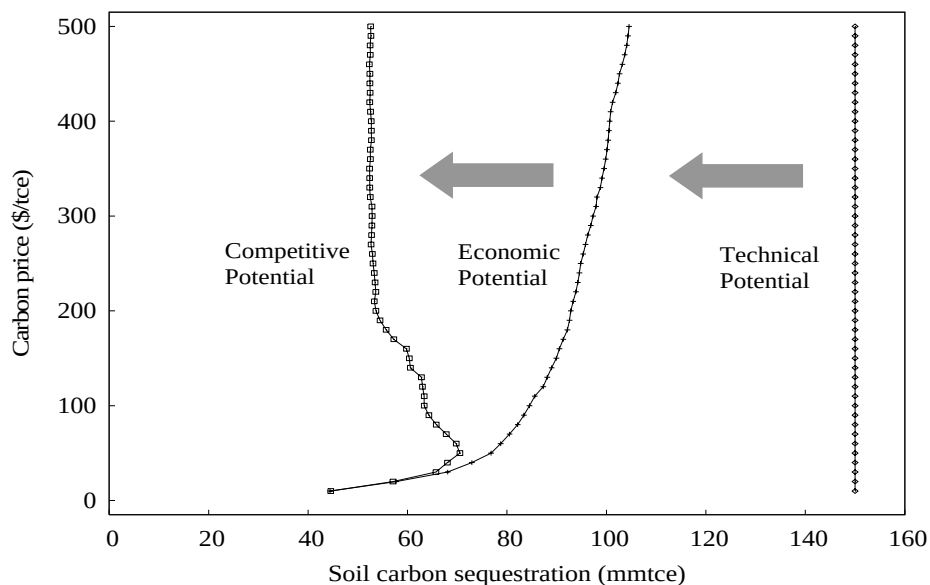
콘벨트를 중심으로 한 주요 농업지역은 농업부문 온실가스 감축 정책이 주를 이루고 산림지역(미국 서부지역 및 동북부지역)은 임업부문 온실가스 감축 정책의 공헌이 클 것으로 모형이 시뮬레이트되었다. 이는 각 지역별 최선의 온실가스 저감 전략은 그 지역의 특성 및 자원분포와 밀접하게 연관됨을 암시한다. 아울러 이는 경제모형을 이용한 농림업온실가스 저감전략을 시뮬레이트 할 때는 적절한 지역구분이 필요함을 예시한다.

5.2.5. 단일 온실가스 저감정책과 포트폴리오의 역할

기존의 몇몇 농림업 관련 온실가스 저감정책 분석 연구에서는 단일 온실가

스 저감정책만을 상정하여 분석하였다[대부분의 IPCC(2001) 추정치]. 이는 포트폴리오 측면에서 잘못된 추정치를 제공할 수 있는데 하나는 단일 온실가스 저감정책만을 고려할 경우 제한된 자원의 경쟁을 고려하지 않아 추정치가 과대평가될 수 있다. <그림 1-11>은 이를 잘 보여준다. 오른쪽 끝의 수직선은 미국의 모든 농지가 탄소고정 활동을 도입할 경우의 기술적 탄소고정 잠재량을 보여준다.

그림 1-11. 기술적 잠재량, 경제적 잠재량 그리고 경쟁적 잠재량



자료: McCarl and Schneider(2001)에서 재인용

가운데 위치한 우상향하는 곡선은 농업부문에서 탄소고정만을 유일한 정책 대안으로 한 경제모형의 결과로서 이를 경제적 잠재량이라 부를 수 있다. 탄소 가격이 상승할수록 더 많은 농경지가 탄소고정 활동을 도입하게 되고 탄소고정량은 상승하게 된다. 하지만 탄소고정 활동을 도입한 농경지의 농업생산량은 감소하기 때문에 농업생산과 탄소고정 수입은 서로 경쟁하게 된다. 따라서 기술적 잠재량은 탄소가격이 아무리 높더라도 달성할 수 없다. 따라서 기술적 잠재량을 탄소고정의 추정치로 제시하는 것은 옳지 않다.

아울러 여러 가지 온실가스 저감전략 포트폴리오를 고려할 경우는 가장 왼쪽에 있는 곡선이다. 낮은 탄소가격에서는 경제적 잠재량 곡선을 따라 움직이거나 탄소가격이 상승하는 경우 그 탄소고정량은 줄어든다. 그 이유는 다른 탄소고정 활동(조림 등)이나 바이오연료의 선택이 이윤극대화 측면에서 유리하기 때문이다. 주목할 것은 조림이나 바이오연료의 생산은 농경지 탄소고정 활동과 같은 토지자원을 사용하기 때문에 농경지탄소고정 활동과 다른 온실가스 저감 전략은 경쟁관계에 놓이게 된다. 이를 경쟁적 잠재량이라 할 수 있으며 현실적으로 달성 가능한 잠재량이 된다.

5.2.6. 온실가스 저감 대책과 다른 경제 분야와의 상호관계

농림업 부문의 여러 가지 온실가스 저감 대책을 동시에 고려할 경우 경쟁적 관계에 있음을 위에서 언급하였다. 마찬가지로 농림업 이외의 부문, 예를 들어 에너지 부문의 온실가스 저감전략은 농림업 부문의 온실가스 저감대책에 많은 영향을 미칠 것이다. 따라서 농림업 부문의 온실가스 저감대책 역시 전체 경제적 틀 안에서 분석해야 할 것이다.

다른 경제분야의 저감전략을 고려할 때 위에서 언급한 영속성 때문에 온실가스 저감 활동은 실제로 아무 가치가 없을 수 있다는 주장도 있다 (Greenpeace, 2003). 그러나 농림업부문의 온실가스 저감활동을 옹호하는 학자들은 다른 경제분야의 저감전략은 매우 높은 비용을 수반하여 현재 시행이 어려운 반면 농림업부문의 온실가스 저감활동은 현재 시행 가능한 비용 효율적 방법임을 강조하고 온실가스 저감을 낮은 비용으로 달성할 수 있는 신기술이 개발될 동안 단기간(향후 약 30~50여 년) 동안 온실가스 배출을 저감할 수 있는 대안이라 주장한다. 이를 미래를 향한 다리(bridge to the future)라 부른다 (Richards and Andersson, 2001; Richard and Stoke, 2004; McCarl and Sands, 2007).

5.2.7. 농림업 온실가스 저감활동과 농업생산

농림업 온실가스 저감활동과 관련한 또 다른 중요한 요소는 온실가스 저감활동과 농업생산과의 상호관계이다. 일반적으로 온실가스 저감활동의 도입으로 농업생산은 감소하고 전반적인 농산물 가격은 상승한다. 이는 조림 및 바이오연료 생산에 따른 일반 농산물을 생산할 농경지의 감소와 덜 집약적인 경작 방식에 따른 단수의 감소 등에 기인한다.

임업측면에서는 단기적으로 목재공급이 감소하고 가격이 상승하지만 장기적으로는 목재공급이 증가하고 가격은 하락한다. 단기적으로 로테이션의 증가로 목재공급이 감소하지만 장기적으로는 조림지역의 증가와 로테이션 증가로 인한 단수증가로 목재 공급은 증가한다.

5.2.8. 농림업 온실가스 저감활동과 양의 외부성

Plantinga and Wu(2003), Feng, Kling and Gassman(2004), Pattanayak et al (2005) 등의 연구에 따르면 여러 가지 농림업 온실가스 저감활동은 자연환경에 양의 외부성을 가지고 있다. 이 양의 외부성을 공동 편익(co-benefits)이라 부른다.¹⁷ 이러한 양의 외부효과로는 수질개선, 토양침식 방지, 질소유출 방지 등을 들 수 있다.

5.3. 소결

5절에서는 그동안의 선행연구들에서 도출된 농림업 온실가스 저감활동의 정책적 함의에 대해 서술하였다. 중요한 정책적 함의로는 첫째, 온실가스 감축활동의 포트폴리오, 둘째, 시간에 따른 포트폴리오, 셋째, 탄소고정과 할인, 넷째,

17 부의 외부효과도 고려하여 공동효과라고도 한다.

탄소고정의 지역적 차이, 분포, 다섯째, 다른 경제 분야와의 상호관계, 여섯째, 온실가스 저감활동과 농업생산, 일곱째, 온실가스 저감활동과 양의 외부성 등이다. 각각의 정책적 함의는 실제 농림업 관련 온실가스 저감정책을 입안할 때 고려해야 할 사항들이다.

6. 요약 및 결론

지구온난화로 대표되는 기후변화 방지를 위해 교토의정서와 후속 협약에 따라 선진국들은 제1차 공약기간인 2008년부터 2012년까지 교토의정서에 규정된 온실가스의 연간배출량을 1990년의 배출량 대비 평균 5.2% 줄여야 한다. 미국 역시 1990년 온실가스 배출량의 7%를 제1차 공약기간에 감축해야 한다.

미국은 농림업부문의 탄소고정과 바이오연료의 공급을 통한 온실가스 저감 대책에 많은 관심을 가지고 있다. 탄소고정은 2001년 마라케시 합의문을 통해 온실가스 저감방법으로 인정받았는데 토지자원이 많은 미국은 탄소고정을 통해 상당 부분의 온실가스 감축분을 해결할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 바이오연료의 생산도 또 다른 온실가스 저감방안으로 연구되고 있는데 바이오연료의 탄소중립성으로 인해 온실가스 저감 효과가 클 것으로 보인다. 아울러 최근의 에너지가격 급등은 바이오연료의 생산과 이용에 대한 관심을 증대시키는 또 다른 이유가 되고 있다.

3절에서 살펴본 것처럼 많은 선행연구들은 탄소고정이 비용효율적이며 그 잠재력도 크다고 주장하고 있다. 선행연구에 따르면 톤당 \$50 정도의 가격으로 현재 총 온실가스 배출량의 10%를 감축할 수 있다. 물론 탄소고정의 특성, 특히 영속성 때문에 그 가치가 실제 잠재력보다는 낮을 수 있으나 온실가스 배출을 낮은 비용으로 줄일 수 있는 신기술을 탐색할 수 있는 시간을 벌어줄 수 있다. 바이오연료의 경우 화석연료의 대체효과를 가져오므로 온실가스 저감은 물론 에너지 안보 측면에서도 중요한데 선행연구들에 따르면 기술진보에 따른

에너지작물 단수의 증가는 미국 온실가스 배출량의 9~24% 정도를 줄일 수 있을 것으로 보고 있다.

농업생산자가 탄소고정을 증진하거나 바이오작물을 생산하는 것은 정부의 온실가스 저감 정책전략에 달려 있다. 이러한 정책이 실제로 운용되기 위해서는 여러 가지 문제점을 극복해야 하는데 4절에서는 Richards, Sampson, and Brown(2006)을 중심으로 단계별 정책종류와 운용방법 그리고 잠재적인 문제점에 대해 논의하였다. 중요한 논점은 탄소고정이 연방법(현존 또는 미래의 농업법) 테두리 안에서 정의되어야 하며 탄소고정 프로그램을 개발 보급해야 한다는 점이다.

5절에서는 그동안의 선행연구들에서 도출된 농림업 온실가스 저감활동의 정책적 함의에 대해 서술하였다. 중요한 정책적 함의로는 첫째, 온실가스 감축활동의 포트폴리오, 둘째, 시간에 따른 포트폴리오, 셋째, 탄소고정과 할인, 넷째, 탄소고정의 지역적 차이, 분포, 다섯째, 다른 경제분야와의 상호관계, 여섯째, 온실가스 저감활동과 농업생산, 일곱째, 온실가스 저감활동과 양의 외부성 등이다. 각각의 정책적 함의는 실제 농림업 관련 온실가스 저감정책을 입안할 때 고려해야 할 사항들이다.

현재 기후변화협약에 대한 미국의 태도는 다분히 비협조적이다. 그러나 국내외 압력이 커지고 있고 미래 기후변화협약의 주도권을 위해서 가까운 미래에 미국도 기후변화협약에 참여하게 될 것으로 보인다. 지적하고 싶은 것은 현재 국제협약에 비협조적이며 기후변화협약 참여를 거절하는 미국은 이미 15년여 전부터 기후변화와 관련한 상당한 연구를 진행하고 정책적 검토를 하고 있다는 점이다. 농림업부문뿐만 아니라 에너지신기술, 탄소포집고정기술(Carbon Capture and Sequestration Technology, CCST) 등의 연구가 상당히 진척되어 있다. 만약 미국이 기후변화협약에 참여할 경우 어렵지 않게 기후변화 협약의 주도권을 쥌 수도 있다는 점을 강조한다.

부록 1

미국 농림업부문 온실가스 배출량 산정

1. 가축장내발효와 메탄 배출량

가축장내발효에 따른 메탄 배출은 소, 말, 양, 돼지, 염소를 대상으로 산정한다. 대부분의 메탄은 소 부문에서 배출되므로 정교한 IPCC Tier 2 방법은 소의 메탄 배출량을 계산할 때 사용하고 나머지 가축의 메탄 배출량은 IPCC Tier 1 방법을 사용한다. IPCC Tier 1 방법은 메탄 배출량 추정 시 사육두수에 평균(메탄) 배출계수를 곱하여 구하는 방법이다(IPCC, 1997). 이 방법은 가축의 무게, 나이, 성별, 사료관리, 지역적 차이 등을 고려하지 않는데 IPCC Tier 2 방법은 이러한 차이들을 고려한 메탄 배출량 추정 방법이다(IPCC, 2000).

1.1. 소 사육에 따른 메탄 배출량 계산

소 사육에 따른 메탄 배출량은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$\text{Emission} = \text{DayEmit} \times \text{Days/Month} \times \text{SubPop}$$

여기서 DayEmit은 메탄배출계수(kg CH₄/head/day), Days/Month는 날짜 수이며 SubPop은 해당 시기(월)의 소 사육두수이다. 메탄 배출량은 매월 계산하며 연간 배출량은 월 배출량의 합계로 구한다. 메탄배출계수는 총에너지섭취량과 메탄변환율에 따라 결정되는데 다음 식으로 요약할 수 있다.

$$\text{DayEmit} = [\text{GE} \times \text{Ym}]/[55.65 \text{ MJ/kg CH}_4]$$

여기서 GE는 총에너지섭취량(MJ/head/day)이며 Ym은 메탄변환율(%)이다. GE와 Ym은 가축타입, 가축의 무게, 나이, 성별, 사료관리, 지역 등에 따라 달라진다. <부표 1-1>은 메탄변환율을 지역별, 가축타입별로 정리한 것이다.

부표 1-1. 축종별, 지역별 메탄변환율, Ym(%)

축종	CA	W	N.G.P	SC	NE	MD	SE
Beef repl. heifer	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Dairy repl. heifer	5.9	5.9	5.6	6.4	6.3	5.6	6.9
Steer & heifer stockers	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Steer & heifer feedlot	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Beef cows	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Dairy cows	4.8	5.8	5.8	5.7	5.8	5.8	5.6
Steer step-up	74	74	74	74	74	74	74
Heifer step-up	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8

주: CA= California; W = West; NGP = Northern Great Plains; SC = Southcentral;

NE = Northeast; MW = Midwest; and SE = Southeast

West = AK,WA,OR,NV,UT,AZ,HI,NM; Northern Great Plains = MT,WY,ND,SD,NE,KS,CO;

Southcentral = AR,LA,OK,TX; Northeast = PA,NY,MD,DE,NJ,CT,RI,MA,VT,NH,ME,WV;

Midwest = MO,IL,IN,OH,MN,WI,MI,IA; and Southeast = VA,NC,KY,TN,MS,AL,GA,SC,FL

총에너지섭취량(GE)은 기본적으로 순에너지 요구량과 사료종류, 소화율(%) 등을 이용하여 계산하는데 IPCC(2000)에 자세하게 기술되어 있다. 총에너지섭취량은 다음과 같이 계산한다.

$$GE = [((NEm + NEmobilized + NEa + NEl + NEp) \{NEma/DE\}) + (NEg / \{NEga/DE\})] / (DE/100)$$

여기서 NEm은 사육 중인 소의 유지(즉 체중이 줄거나 늘지 않는 상태)를 위한 에너지 요구량이며 다음과 같이 계산한다.

$$NEm = Cfi \times (Weight)^{0.75}$$

여기서 Cfi는 가축타입에 따른 계수이고 Weight는 가축의 생체중(live-weight,

kg)이다. 새끼에게 젖을 먹이는 소의 Cfi는 0.335, 그렇지 않는 경우는 0.322의 계수값을 갖는다.¹⁸

NEa는 가축활동을 위한 에너지 요구량인데 NEm에 가축 사육방법에 따른 계수를 곱해 구한다.

$$NEa = Ca \times NEm$$

Ca 값은 축사(stall)에서 소를 비육할 때는 0, 소를 초지에 방목할 경우 0.17, 아주 넓은 방목장에 방목할 경우는 0.36으로 주어진다.

NEg는 성장(즉 체중증가)에 따른 에너지 요구량이다. 만약 사육기간 중 체중이 증가하지 않고 감소할 때는 NEmobilized를 계산, 사용한다. NEg는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$NEg = 4.18 \times \{0.0635 \times [0.891 \times (BW \times 0.96) \times (478 / (C \times MW))] \times 0.75 \times (WG \times 0.92) \times 1.097\}$$

여기서 BW는 가축 생체중(live body weight, kg), C는 암소일 때 0.8, 거세한 소일 때 1.0, 수소일 때 1.2를 사용한다. MW는 다 자란 소의 체중(kg)이며 WG는 체중증가량(kg/day)이다.

보통의 경우 사육 중인 소의 체중감소는 발생하지 않지만 다 자란 소의 경우 간혹 나타나기도 한다. 특히 dairy cow는 새끼에게 젖을 먹이는 경우 체중감소를 가져올 수 있다. 체중감소에 따른 에너지요구량은 다음과 같이 계산한다.

$$NEmobilized = 19.7 \times \text{Wight Loss (Dairy cow)}$$

$$NEmobilized = NEg \times (-0.8) \text{ (Other cow)}$$

NEl은 젖먹이기(lactation)에 따른 에너지 요구량이며 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$NEl = \text{kg of milk per day} \times (1.47 + 0.40 \times \text{Fat})$$

여기서 Fat은 우유의 fat 함유율(%)을 의미한다.

18 총에너지 섭취량(GE)을 계산할 때 사용하는 계수들은 NRC(1989, 1996) 참조.

NEw는 소가 일을 할 때 필요로 하는 에너지 요구량이다. Bamualim and Kartiarso(1985)에 따르면 시간당 NEm의 10% 정도의 에너지를 요구하는 것으로 나타났다. 따라서 NEw는 다음과 같이 계산한다.

$$NEw = 0.1 \times NEm \times \text{hours of work per day}$$

NEp는 임신에 따른 에너지 요구량을 의미한다. 소의 경우 281일간의 임신기간에 필요한 에너지량은 대략 NEm의 10% 정도이다. 따라서 NEp는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NEp = 0.1 \times NEm$$

NEma/DE 는 가축유지를 위한 에너지 가용량과 소화율의 비율로 실제 가축이 섭취한 에너지 소비량을 나타낸다. DE는 소화가능 에너지를 총에너지의 퍼센트로 나타낸 값이다.

$$NEma/DE = 1.123 - (4.092 \times 10^{-3} \times DE) + [1.126 \times 10^{-5} \times DE^2] - (25.4/DE)$$

같은 맥락으로 NEga/DE는 가축성장을 위한 에너지 가용량과 소화율의 비율로 실제 가축이 섭취한 에너지 소비량을 의미한다.

$$NEga/DE = 1.164 - (5.16 \times 10^{-3} \times DE) + [1.308 \times 10^{-5} \times DE^2] - (37.4/DE)$$

마지막으로 DE는 지역별, 가축타입별로 부표 1-2와 같이 주어진다.

부표 1-2. 축종별, 지역별 소화율, DE(%)

축종	CA	W	N.G.P	SC	NE	MD	SE
Beef repl. heifer	65	59	66	64	65	65	64
Dairy repl. heifer	66	66	66	64	68	66	66
Steer & heifer stockers	65	59	66	64	65	65	64
Steer & heifer feedlot	85	85	85	85	85	85	85
Beef cows	63	57	64	62	63	63	62
Dairy cows	69	66	69	68	69	69	68
Steer step-up	59	60	54	51	51	52	44
Heifer step-up	74	74	74	74	74	74	74

CA = California; W = West; NGP = Northern Great Plains; SC = Southcentral;

NE = Northeast; MW = Midwest; and SE = Southeast

West = AK,WA,OR,NV,UT,AZ,HI,NM; Northern Great Plains = MT,WY,ND,SD,NE,KS,CO;

Southcentral = AR,LA,OK,TX; Northeast = PA,NY,MD,DE,NJ,CT,RI,MA,VT,NH,ME,WV;

Midwest = MO,IL,IN,OH,MN,WI,MI,IA; and Southeast = VA,NC,KY,TN,MS,AL,GA,SC,FL

지금까지 제시한 모든 에너지 요구량을 가축타입, 지역별, 나이별, 성별로 계산한 후 각 메탄배출계수(DayEmit)를 찾을 수 있으며 이를 바탕으로 가축장내발효에 의한 메탄 배출량을 계산할 수 있다. 2005년 기준 가축장내발효에 따른 소(dairy+beef)부문 메탄배출량은 1억 6,900만 CO₂톤이었다.

1.2. 기타 가축의 메탄배출량

소를 제외한 나머지, 양, 염소, 말, 돼지 등의 메탄배출량은 IPCC Tier 1의 방법을 사용한다. IPCC Tier 1의 방법은 축종별 메탄 배출계수에 사육두수를 곱하여 산출한다. <부표 1-3>은 메탄배출계수를 요약한다.

기타 가축의 2005년 메탄배출량은 520만 CO₂톤으로 소 부문 메탄배출량과 비교하여 매우 작은 편이다.

부표 1-3. 소를 제외한 축종별 메탄배출계수

축종	메탄배출계수(kg/head/year)
양	8.0
염소	5.0
말	18.0
돼지	1.5

2. 축산분뇨처리와 메탄, 아산화질소 배출량

다음은 축산분뇨처리에서 발생하는 메탄과 아산화질소 배출량을 계산하는 과정을 요약한 것이다. 기본적으로 축산분뇨처리에 따른 메탄 및 아산화질소 발생량은 분뇨분해계수에 사육두수를 곱하여 산출한다.

2.1. 축산분뇨의 계산

메탄과 아산화질소 배출 계산을 위해 필요한 배설물 정보는 다음과 같다.

- 1) 가축분뇨 고형물 비율(volatile solids excretion rate, VS)
- 2) 미국 가축의 최대 메탄 발생 용량(maximum methane producing capacity, Bo)
- 3) 질소 배설물 비율(nitrogen excretion rate, Nex)
- 4) 가축(평균) 무게(typical animal mass, TAM)

<부표 1-4>는 위 네 가지 정보를 축종별로 정리하였다. 표에 나타난 정보는 USDA Agricultural Waste Management Field Handbook(USDA, 1996)이 기본 데이터 원천이며 다양한 선행연구로부터 도출되었다.

부표 1-4. 축종별 축산배설물 계산에 필요한 수치들

축종	평균 TAM kg	Nex kg/day/1000kg	Bo m3 CH4/kg VS	VS ¹ kg/day/1000 kg
Dairy cow	604	0.44	0.24	9.21
Dairy heifer	476	0.31	0.17	6.71
Beef NOF ² cow	533	0.33	0.17	6.97
Beef NOF heifer	420	0.31	0.17	7.51
Beef NOF steer	318	0.31	0.17	8.05
Beef OF heifer	420	0.30	0.33	3.91
Beef OF steer	420	0.30	0.33	3.78
Swine < 60 lbs.	16	0.60	0.48	8.80
Swine 60-119 lbs.	41	0.42	0.48	5.40
Swine 120-179 lbs.	68	0.42	0.48	5.40
Swine > 180 lbs.	91	0.42	0.48	5.40
Breeding Swine	198	0.24	0.48	2.60
Goats	64	0.45	0.17	9.50
Horses	450	0.30	0.33	10.0
Broilers	0.9	1.10	0.36	15.0
Pullets	1.8	0.62	0.39	9.7
Other chickens	1.8	0.83	0.39	10.8
Turkes	6.8	0.74	0.36	9.7

1 주(state) 평균, 실제 메탄과 아산화질소 배출량을 계산할 때는 지역별로 따로 계산함.

2 Non of feed

배설물의 양은 다음과 같은 식으로 계산하는데 식에 나타난 GE와 DE는 각각 총에너지 섭취량(MJ), 소화가능한 에너지 섭취량을 의미하며 앞 절의 가축 장내발효와 메탄 배출량에서 도입한 것과 동일하다.

$$\text{VS production (kg)} = [\text{GE} - \text{DE} + (0.02 \times \text{GE})]/20.1 \text{ (MJ/kg)}$$

여기서 20.1은 배설물의 양을 dry organic matter로 전환하는 전환계수 값이다. <부표 1-4>를 설명할 때 언급한 것처럼 소의 경우는 주(state)별로 다른 VS 값을 갖는다. 기타 가축은 지역 구분 없이 배설물의 양을 계산한다.

축사(feedlot)에서 사육하지 않는 비육우, 양, 말, 염소 등은 배설물을 solids storage systems¹⁹을 사용하며 그 외에는 lagoon과 liquid systems를 사용한다.

어떤 축산분뇨 처리방법을 사용하느냐에 따라 메탄과 아산화질소 발생량이 크게 달라지므로 축종별로 어떤 처리방법을 사용하는지 정확한 자료를 조사한다.

2.2. 메탄배출량의 계산

과정 1과 과정 2에서 얻어진 정보를 이용하여 배출계수를 계산한다. 우선 dry systems 분뇨처리방법은 메탄전환계수(methane conversion factors, MCF)로 IPCC(2006)의 기본 값을 사용한다. Lagoon과 liquid systems를 사용하는 경우는 국가별 메탄전환계수를 따로 계산한다. 최근 개정된 IPCC 권고안에 따르면 메탄전환계수를 추정하기 위해 개발된 van't Hoff-Arrhenus 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f = \exp[E(T2 - T1)/RT1T2]$$

여기서 $T1 = 303.15K$, $T2 =$ 주변 온도(K), 각 주(state)의 가중평균, $E =$ activation energy 상수($15,175 \text{ cal/mol}$) 그리고 R 은 이상기체(ideal gas) 상수(1.987 cal/K mol)이다. f 값은 각 분뇨처리 방법과 온도에 따른 메탄전환 가능 비율을 나타낸다.

해당 월의 가중평균 온도를 이용하여 f 값을 산정하는데 uncovered anaerobic lagoon 방법은 섭씨 5도, liquid/slurry와 deep pit system은 섭씨 7.5도를 최소값으로 설정한다. 당월에 발생한 배설물의 양은 해당 월의 사육두수와 발생한 배설물의 양을 관리방식과 처리방법에 따라 조정(adjust)을 하여 계산한다. 이

19 미국에서 사용하는 축산분뇨 처리 방법은 크게 dry system과 liquid system으로 구분할 수 있으며 대략 9가지 방법이 현재 사용 중이다. (1) pasture - 분뇨를 방목지에 그대로 놔두는 방법, 즉 관리하지 않음, (2) Daily spread - 분뇨를 농경지나 목초지에 살포하는 방법, 이 경우 아산화질소 배출량은 0인데 그 이유는 여기서 발생한 아산화질소가 토양관리항목으로 계상되기 때문, (3) Solid storage - 분뇨를 수거하여 넓은 부지에 쌓아 몇개월 보관하는 방법, (4) Dry lot - 일정한 장소에 보관한 후 주기적으로 처리하는 방법, solid storage와 달리 짚같은 것으로 덮거나 하지 않음 (5) Liquid/Slurry - 액체 비료 이용, (6) Anaerobic lagoon - 생물학적 탈취법, 혐기성 박테리아를 이용하는 방법, (7) Deep Pit - 퇴비 이용, (8) Poultry with litter (9) poultry without litter(EPA, 2007, p A-189 표 A-165)

는 메탄으로 전환되기 전에 각 분뇨관리 및 처리방법에 따라 처리되는 분뇨의 양을 차감하기 위해서이다. Anaerobic lagoon system의 경우 0.8로 조정한다. 메탄으로 전환되는 배설물의 양은 위에서 조정된 배설물의 양에 지난달에서 이월된 분뇨, 즉 시스템 안에 남아 있는 배설물을 더해서 구하며 이 배설물 양에 f값을 곱해 최종 메탄으로 전환 가능한 배설물을 계산해 낸다.

월간 메탄 발생량은 위에서 계산한 배설물의 양에 최대 메탄 발생치(Bo)를 곱하여 구한다.

$$\text{CH}_4 \text{ generated (monthly)} = \text{VS produced (monthly)} \times \text{Bo}$$

연간 배출량은 월간 배출량의 합이며 이를 바탕으로 (연간) 메탄배출계수(MCF)를 구할 수 있다.

$$\text{MCF (annual)} = \text{CH}_4 \text{ generated (annual)} / [\text{VS produced (annual)} \times \text{Bo}]$$

따라서 축종별 지역별 메탄배출계수(MCF_{animal,state})는 위의 식을 바탕으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{MCF}_{\text{animal,state}} = \text{system (MCF}_{\text{system,state}} \times \text{Manure}_{\text{animal,system,state}})$$

여기서 MCF_{system,state}는 시스템별, 지역별 메탄 전환율이며 Manure는 해당 시스템 내에서 처리되는 분뇨의 양(%)을 의미한다. MCF_{system,state}를 가중 메탄배출계수라고도 한다.

따라서 최종 메탄배출량은 다음과 같이 구한다.

$$\text{Methane}_{\text{animal group}} = \text{state (Pop} \times \text{VS} \times \text{Bo} \times \text{MCF}_{\text{animal,state}} \times 0.662)$$

여기서 Methane animal group 은 축종별 메탄 발생량(kg CH₄/yr)이고 Pop은 축종별 연간 평균 사육두수, VS는 축종별 분뇨 발생량(kg/yr/head), Bo는 분뇨 kg당 메탄 발생 최대치, MCF는 축종별, 지역별 메탄전환율, 0.662는 m³ CH₄를 kg CH₄로 바꾸기 위한 계수이다.

2.3. 아산화질소 배출량 계산

아산화질소 배출량 계산은 최근 보고된 IPCC 2006 권고안의 기본 값을 사용한다. 축종별 지역별 그리고 분뇨관리방식별로 아산화질소 배출계수를 구분하기 위해 다음 식을 이용하여 가중 아산화질소배출계수(EF_{animal,state})를 구한다.

$$EF_{animal,state} = state (EF_{system} \times Manure_{animal,system,state})$$

여기서 Manure는 해당 시스템 내에서 처리되는 분뇨의 양(%)을 의미한다. 이를 이용 다음식과 같이 축종별, 지역별 아산화질소 발생량을 계산할 수 있다.

$$N_2O_{animal,state} = state (Pop \times Nex \times EF_{animal,state} \times 44/28)$$

여기서 44/28 은 N₂O-N을 N₂O로 전환하기 위한 (분자식에 따른) 계수이다.

3. 벼논재배와 메탄 배출량

벼논재배에 따른 메탄 배출량 계산은 IPCC의 권고안을 따른다. 즉 수확면적과 계절 변동요인을 고려한 연간 메탄배출계수를 곱해 메탄 배출량을 산정한다. 물 관리 방법과 유기질 비료, 토양성질에 따라 국가별로 메탄배출계수가 다를 수 있기 때문에 물 관리 방법 등에 따라 배출계수를 다르게 적용한다. 다음 식은 벼논재배에 따른 메탄 배출량을 계산하는 식이다.

$$CH_4 = i j k (EF_{ijk} \times A_{ijk})$$

여기서EF_{ijk} 는 생태시스템(i), 물관리방법(j), 토양 등(k)에 따른 계절요인을 감안한 메탄배출계수이고 A_{ijk}는 i, j, k하의 수확면적이다.

미국의 경우 메탄배출계수는 여러 가지 실험결과(예를 들어 Lindau and Bollich, 1993; Lindau et al, 1995)를 이용하여 결정하는데 primary crop일 경우 210kg CH₄/hectare, ratoon crop(이모작)일 경우 780kg CH₄/hectare이다.

4. 농경지 아산화질소 배출량 계산

농경지로부터 발생하는 아산화질소는 보통 질소질 비료 시비와 관련되어 있다. 미국의 주요 작물은 Tier 3의 방법으로 나머지는 Tier 1의 방법으로 직간접 아산화질소 배출량을 계산한다. Tier 3의 방법은 생물지구화학(biogeochemical) 시뮬레이션모형인 DAYCENT를 이용하여 주요작물을 생산하는 농경지로부터의 아산화질소 배출량을 추정하는 것이고 Tier 1방법은 IPCC의 권고안을 이용하여 아산화질소의 발생량을 계산하는 것이다. 초지(grassland)에서 발생하는 아산화질소와 관리된 농경지에서 발생하는 간접적인 아산화질소는 Tier 3의 방법과 Tier 1의 방법을 병용하여 구한다.

DAYCENT(Del Grosso et al, 2001; Parton et al, 1998)은 생물지구화학 시뮬레이션 모델로 질소와 대기, 식물생장, 토양 등의 정보와 토양관리방법, 경작방법 등을 기초로 아산화질소 생성량을 시뮬레이션한다. IPCC의 Tier 1의 방법과 비교할 때 질소 사이클에 영향을 미치는 환경요인, 토양특성 등을 고려할 수 있는 장점이 있다. 아울러 Tier 3방법의 경우 특정 아산화질소 배출계수는 지역별로 매우 다르게 나타난다($2\text{kg N/Ha/Yr} \sim 10\text{kg N/Ha/Yr}$).

5. 온실가스 감축전략과 저감계수

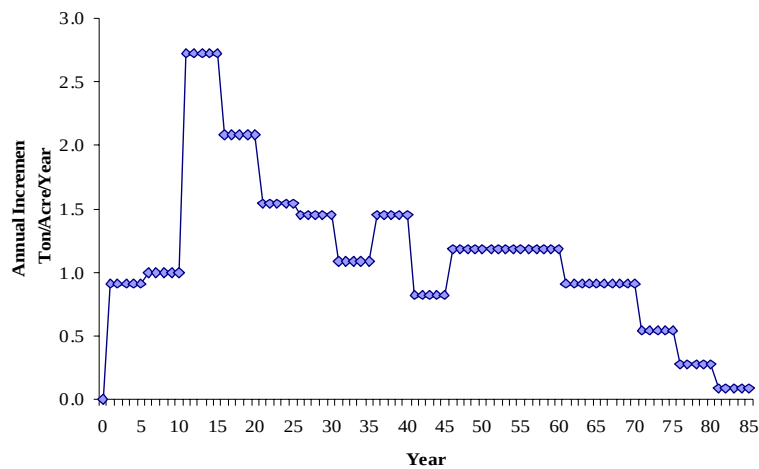
여기에서는 농림업과 관련된 온실가스 감축전략별로 온실가스 저감 잠재추정량을 서술한다.

5.1. 조림

조림과 관련된 탄소고정량은 Birdsey(1996) 연구에 요약되어 있다. 조림에 의한 탄소고정량은 나무종류, 조림 후 기간, 수확시기 그리고 수확 후 재조림 여부에 따라 크게 다르다. 보통 조림 후 10~15년 후에 가장 많은 탄소를 고정

하는데 약 2.7 ton/acre/year이다. 그 후에는 탄소고정 능력이 줄어들어 대략 80년쯤 후면 0에 가깝게 된다. <부도 1-1>은 조림 후 탄소고정량의 변화를 나타낸다.

부도 1-1. 조림에 따른 탄소고정량과 시간에 따른 변화



자료: Kim, McCarl and Murray(2007) 재인용

5.2. 바이오연료

에탄올이 가솔린을 대체할 경우 약 2.74kg/gallon의 온실가스를 저감할 수 있으며 화력발전의 co-firing의 경우 switchgrass는 369.6kg C/ton, hybrid poplar의 경우 420.6kg C/ton, willow의 경우 424.2kg C/ton의 온실가스를 저감할 수 있다.

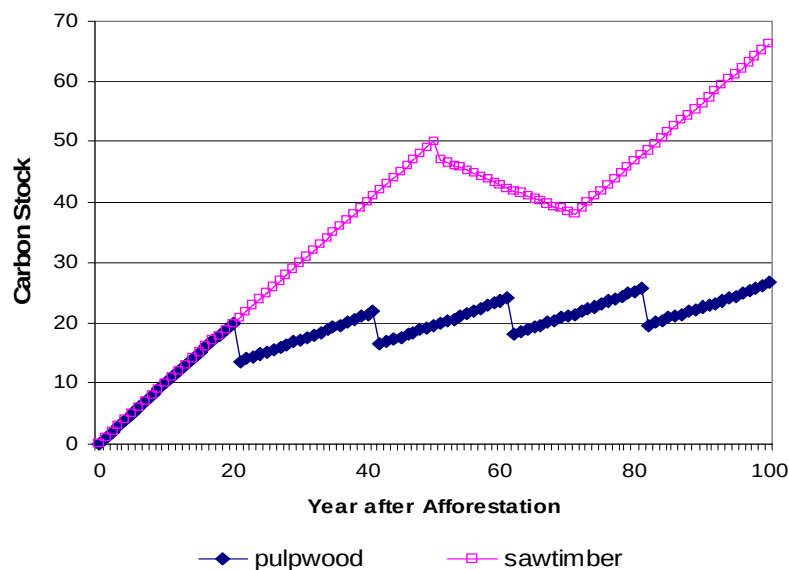
5.3. 메탄과 아산화질소

메탄과 아산화질소는 농업관리방법을 개선하여 배출량을 줄일 수 있는데 가축분뇨처리, 가축장내발효, 벼논생산, 경작지 아산화질소 배출 등과 관련된 배출계수가 온실가스 저감 잠재 추정계수가 된다.

5.4. 산림관리

산림관리란 주로 산림의 로테이션(조림과 수확 사이의 기간)을 늘리는 것으로 탄소고정량을 늘리는 방법이다. 산림관리에 따른 탄소저장량은 <부도 1-1>에 따라 결정되며 수확 후 조림 여부에 따라 달라진다. <부도 1-2>는 수확 후 재조림을 할 경우 탄소저장량의 변화를 나타내는데 2가지 산림 로테이션을 보여주고 있다. 짧은 로테이션은 조림 후 20년 후에 수확(pulp wood)하며 긴 로테이션은 조림 후 50년 후에 수확(saw timber)한다. 이 경우 더 많은 탄소를 저장할 수 있다.

부도 1-2. 조림 및 수확후 재조림에 따른 탄소저장량 변화



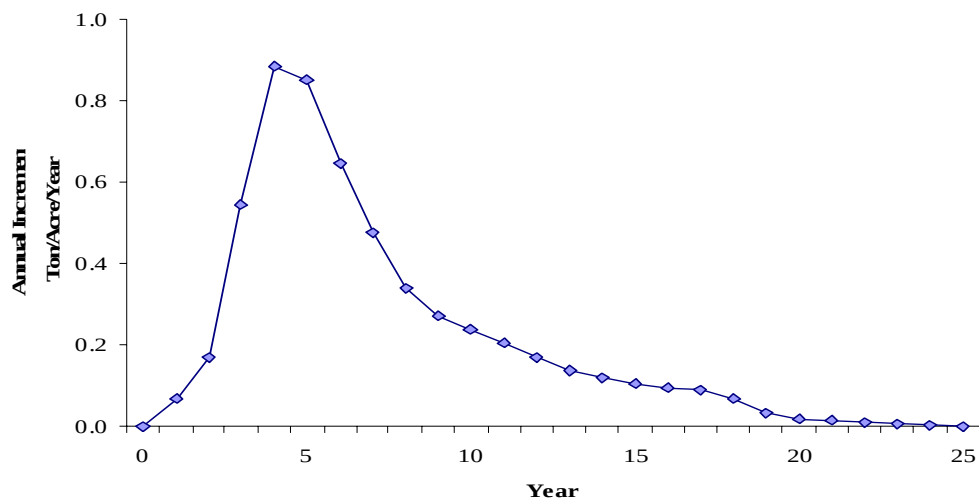
5.5. 작물관리

농기계 사용감소 등에 따른 화석연료 사용 감소에 따른 온실가스 저감량은 화석연료의 탄소함유량 및 온실가스 발생량 정보를 이용하여 배출계수를 추산할 수 있다.

5.6. 탄소고정

농경지에 탄소저장량을 늘리는 방법은 집약적인 경작방식이나 보존형 경운으로 전환하는 것이다. 이 경우 탄소고정량은 4~5년 후에 최대(약 0.9톤/acre/year)가 되며 그 이후 감소하여 25년쯤 후에 0에 가깝게 된다. <부도 1-3>은 경작방식을 보존형 경운에서 무경운으로 전환할 경우 탄소고정량을 나타낸다.

부도 1-3. 보존형 경운 경작방식을 무경운으로 전환할 경우 탄소고정량 변화



자료: Kim, McCarl and Murray(2007) 재인용

참고 문헌

- Adams, R., D. Adams, J. Callaway, C. Chang, and B.A. McCarl (1993) "Sequestering Carbon on Agricultural Land: Social Cost and Impacts on Timber Markets" *Contemporary Policy Issues* 11:76-87.
- Adams, D.M., R.J. Alig, B.A. McCarl, J.M. Callaway, and S.M. Winnett (1999) "Minimum Cost Strategies for Sequestering Carbon in Forests" *Land Economics*, 75(3):360-374.
- Alig, R.J., D.M. Adams, J.M. Callaway, S.M. Winnett, and B.A. McCarl (1997) "Assessing Effects of Mitigation Strategies for Global Climate Change with an Intertemporal Model of the US Forest and Agriculture Sectors" *Environmental and Resource Economics* 9:259-274.
- Birdsey, R.A. (1998) "Carbon Storage for Major Forest Types and Regions in the Conterminous United States" Edited by Sampson, R. Neil and Dwight Hair, *Forests and Global Change, Vol. 2: Forest Management Opportunities for Mitigating Carbon Emissions*, Washington D.C., American Forests.
- Callaway, J.M., and B.A. McCarl (1996) "The Economic Consequences of Substituting Carbon Payments for Crop Subsidies in US Agriculture" *Environmental and Resource Economics* 7:15-43
- Climate Trust (2007), "About the Climate Trust." Available at http://www.climatetrust.org/about_us.php
- Chomitz, K.M. (2002) "Baseline, Leakage and Measurement Issues: How Do Forestry and Energy Projects Compare?" *Climate Policy* 2:35 - 49.
- Chum, H.L., and R. Overend (2001) "Biomass and Renewable Fuels" *Fuel Processing Technology* 71:187 - 195.
- De La Torre Ugarte, D.G., M.E. Walsh, H. Shapouri, and S.P. Slinsky (2003) The Economic Impacts of Bioenergy Crop Production on U.S. Agriculture., U.S. Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses., Agricultural Economic Report No. 816.
- Dudek, D., and A. LeBlanc (1990) "Offsetting New CO₂ Emissions: A Rational First Greenhouse Policy Step" *Contemporary Policy Issues* 8:29-42.
- Ellefson, P.V. (2000) "The Safety of Our Forests and the Prosperity of Out People - Has

- Gifford Pinchot's Regulatory Vision Been Realized?" *Journal of Forestry* 98(5):14-22
- Ellefson, P.V., A.S. Cheng, and R.J. Moulton (1995) Regulation of Private Forestry by State Governments Bulletin SB-605-1995, Minnesota Agricultural Experiment Station, University of Minnesota.
- Energy Modeling Forum (EMF) (1995) *Reducing Global Carbon Emissions: Cost and Policy Options*, Stanford University, Stanford, CA
- Feng, H., C.L. Kling and P.W. Gassman (2004) "Carbon Sequestration, Co-Benefits, and Conservation Program" *Choices* 19(3):19-24.
- Gibbs, M.J. and R. A. Leng (1993) "Methane Emissions From Livestock", *Methane And Nitrous Oxide, Proceedings of The International IPCC Workshop*, Amersfoort, The Netherlands, pp. 73-79.
- Greenpeace (2003) "Sinks in the CDM: After the climate, biodiversity goes down the drain." Available at http://elonmerkki.net/GP_CDMSinks_analysi.pdf
- Groffman, P.M., R. Brumme, K. Butterbach-Bahl, K.E. Dobbie, A.R. Mosier, D. Ojima, H. Papen, W.J. Parton, K.A. Smith, and C. Wagner-Riddle (2000) "Evaluating Annual Nitrous Oxide Fluxes at the Ecosystem Scale" *Global Biogeochemical Cycles*, 14(4):1061-1070.
- Hardie, I.W., and P.J. Parks (1997) "Land Use with Heterogeneous Quality: An Application of an Area Base Model" *American Journal of Agricultural Economics* 77:299-310
- Holzapel-Pschorn, A., R. Conrad, and W. Seiler (1985) "Production, Oxidation, and Emissions of Methane in Rice Paddies" *FEMS Microbiology Ecology* 31:343-351.
- Hong, S. (2007) The Usability of Switchgrass, Rice Straw, and Logging Residue as Feedstocks for Power Generation in East Texas. Unpublished Master Thesis, Texas A&M University.
- International Herald Tribune (2007) "China Overtakes U.S. in Greenhouse Gas Emissions." Available at <http://www.ihl.com/articles/2007/06/20/business/emit.php>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2000a) IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Organization for Economic Cooperation and Development, and International Energy Agency,

- IPCC/OECD/IEA, Tokyo.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2000b) *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. SR-LULUCF Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Kanagawa, Japan.
- Kurkalova, L.A. (2005) "Carbon Sequestration in Agricultural Soils: Discounting for Uncertainty." *Canadian Journal of Agricultural Economics* 53(4):375 - 384.
- Kim, M. (2004) Economic Investigation of Discounting Factors for Agricultural Greenhouse Gas Emission Offset Unpublished Dissertation, Texas A&M University.
- Kim, M., and B.A. McCarl (2007) "Uncertainty Discounting for Land-Based Carbon Sequestration" Working Paper 1121, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University
- Kim, M., B.A. McCarl, and B.C. Murray (2007) "Permanence Discounting for Land-Based Carbon Sequestration." *Ecological Economics*, forthcoming.
- Lal, R., L.M. Kimble, R.F. Follett, and C.V. Cole (1998) *The Potential of U.S. Cropland to Sequester C and Mitigate the Greenhouse Effect*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Lee, H. (2002) *An Economic Investigation of the Dynamic Role for Greenhouse Gas Emission Mitigation by the U.S. Agricultural and Forest Sectors* Unpublished Dissertation, Texas A&M University.
- Lee, H., B.A. McCarl, and D. Gillig (2005) "U.S. Agriculture and Forestry based Greenhouse Gas Emission Mitigation: An Economic Exploration of Time Dependent Effects." Eds F. Brouwer, B.A. McCarl, *Rural Lands, Agriculture and Climate Beyond 2015 : Usage and Management Responses*. Kluwer.
- Lewandowski, J., M. Sperow, M. Peters, M. Eve, C. Jones, K. Paustian, R. House (2004) *Economics of Sequestering Carbon in the U.S. Agricultural Sector Technical Bulletin Number 1909*, Economic Research Service (ERS), USDA, Washington, DC.
- Lichtenberg, E. (1989) "Land Quality, Irrigation Development, and Cropping Patterns in the Northern High Plains" *American Journal of Agricultural Economics* 71:187-194
- Lubowski, R.N., A.J. Plantinga, R.N. Stavins (2006) "Land-Use Change and Carbon Sinks: Econometric Estimation of the Carbon Sequestration Supply Function." *Journal of Environmental Economics and Management* 51(2):135-152

- Manley, J., G.C. van Kooten, K. Moeltner and D.W. Johnson (2005) "Creating Carbon Offsets in Agriculture through Zero Tillage: A Meta-Analysis of Costs and Carbon Benefits." *Climatic Change* 68:41-65.
- McAloon, A., T.F., W. Lee, K. Ibsen, and R. Wooley (2000) *Determining the Cost of Producing Ethanol from Cornstarch and Lignocellulosic Feedstocks*, NREL/TP-580-28893. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- McCarl, B.A., M. Kim, H. Lee, B.C. Murray, R.D. Sands, and U.A. Schneider (2007) "Insight from Agricultural and Forestry 온실가스 Offset Studies that Might Influence IAM Modeling" edited by M. Schlesinger, H. Khesghi, J. Smith, F. de la Chesnaye, J. Reilly, T. Wilson, and C. Kolstad., *Integrated Assessment of Human Induced Climate Change*, Cambridge University Press, forthcoming.
- McCarl, B.A., and U.A. Schneider (1999) "Curbing Greenhouse Gases: Agriculture's Role" *Choices*, First Quarter, 9-12, 1999.
- McCarl, B.A., and U.A. Schneider (2000) "US Agriculture's Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective," *Review of Agricultural Economics* 22(1):134-159.
- McCarl, B.A. and U.A. Schneider (2001) "The Cost of Greenhouse Gas Mitigation in U.S. Agriculture and Forestry" *Science* 294(21):2481 - 2482.
- McCarl, B.A. and R.D. Sands (2007) "Competitiveness of Terrestrial Greenhouse Gas Offsets: Are They a Bridge to the Future?" *Climatic Change* 80:109-126.
- McConkey, B., and C.W. Lindwall (1999) "Measuring Soil Carbon Stocks - A system for Quantifying and Verifying Change in Soil Carbon Stocks due to Changes in Management Practices on Agricultural Land." Presentation prepared for special seminar, UNFCCC, SBSTA, Bonn, Germany.
- Miller, D.J., and A.J. Plantinga (1999) "Modeling Land Use Decisions with Aggregated Data" *American Journal of Agricultural Economics* 81:180-194.
- Moulton, R., and K. Richards (1990) *Cost of Sequestering Carbon Through Tree Planting and Forest Management in the United States* General Technical Report WO-58, USDA, Washington,DC.
- Murray, B.C., B.A. McCarl and H. Lee (2004) "Estimating Leakage from Forest Carbon Sequestration Programs" *Land Economics* 80:109-124.
- National Biodiesel Board (NBB) (2006) "U.S. Biodiesel Production." Available at http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelsheets/Productin_Capacity.pdf

- National Research Council (NRC) (1999) Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportation Fuels. Washington, DC: National Academy Press.
- Parks, P., and I. Hardie (1995) "Least-Cost Forest Carbon Reserves: Cost-Effective Subsidies to Convert Marginal Agricultural land to Forest" *Land Economics* 71(1):122-136.
- Pattanayak, S.K., B.A. McCarl, A.J. Sommer, B.C. Murray, T. Bondelid, D. Gillig, B. de Angelo (2005) "Water Quality Co-Effects of Greenhouse Gas Mitigation in US Agriculture." *Climatic Change* 71:341 - 372.
- Perlack, R.D., A.F. Turhollow, R.L. Graham, B.J. Stokes, and D.C. Erbach (2005) Biomass As Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply. Oak Ridge National Laboratory, A Joint Study Sponsered by US Department of Energy and US Department of Agriculture, ORNL-TM-2005-66.
- Plantinga, A.J., and J. Wu (2003) "Co-Benefits from Carbon Sequestration in Forests" *Land Economics* 79:74-85.
- Qin, X., T. Mohan, M.M. El-Halwagi, G.C. Cornforth, and B.A. McCarl (2007) "Switchgrass as an Alternate Feedstock for Power Generation: An Environmental, Energy, and Economic Life-Cycle Analysis," *Clean Technologies and Environmental Policy*, forthcoming.
- Richard, K.R. (1997) Estimating Costs of Carbon Sequestration for a United States Greenhouse Gas Policy Charles Rive Associates, Boston, MA.
- Richard, K.R., R. Moulton and R. Birdsey (1993) "Costs of Creating Carbon Sinks in the U.S." *Energy Conservation and Management* 34:905-912.
- Richard, K.R., and C. Stokes (2004) "A Review of Forest Carbon Sequestration Cost Studies: A Dozen Years of Research" *Climatic Change* 63(1-2):1-48.
- Richards, K.R. and K. Andersson (2001) "The Leaky Sink: Persistent Obstacles to a Forest Carbon Sequestration System Based on Individual Projects." *Climate Policy* 1:41 - 54.
- Richards, K.R., R.N. Sampson, and S. Brown (2006) Agricultural and Forestlands: U.S. Carbon Policy Strategies Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA.
- Schneider, U.A. (2000) Agricultural Sector Analysis of Greenhouse Gas Emission Mitigation in the United States. Unpublished Dissertation, Texas A&M University.
- Schneider, U.A., and B.A. McCarl (2003) "Economic Potential of Biomass Based Fuels for

- Greenhouse Gas Emission Mitigation.” *Environmental and Resource Economics* 24(4):291-312.
- Sheehan, J., A. Aden, C. Riley, K. Paustian, K. Killian, J. Brenner, D. Lightle, M. Walsh, J. Cushman, and R. Nelson (2002) Is biomass from corn stover sustainable? Draft Report. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Stavins, R.N. (1999) “The Cost of Carbon Sequestration: A Revealed-Preference Approach.” *American Economic Review* 89(4):994-1009.
- Stavins, R.N., and A. Jaffe (1990) “Unintended Impacts of Public Investment on Private Decisions: The Depletion of Forest Wetlands” *American Economic Review* 80:337-352.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1998), Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC Secretariat, Bonn.
- 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.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) (1998) “Chapter 14. Greenhouse Gas Biogenic Sources” Emission Factors & AP 42, Available at <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) (2007), Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2005. EPA 430-R-07-002.
- Walsh, M., D. de la Torre Ugarte, H. Shapouri, and S. Slinksy (2003) “Bioenergy Crop Production in the United States: Potential Quantities, land Use Changes, and Economic Impacts on the Agricultural Sector” *Environmental Resource Economics* 24(4):313-330.
- Walsh, M., R. Perlack, A. Turhollow, D. de la Torre Ugarte, D. Becker, R. Graham, S. Slinksy, and D. Ray. (2000). Biomass Feedstock Availability in the United States: 1999 State Level Analysis. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
- Washington Post (2007) Bush Proposes Talks on Warming, Available at <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/05/31/AR2007053100934.html>
- West, T.O. and W.M. Post (2002) “Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis.” *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1930 - 1946.

- White House (2001) Press Briefing by Ari Fleischer, Office of the Press Secretary, March 28, 2001. Available at <http://www.whitehouse.gov/new/briefings/20010328.html>
- White House (2002) "Global Climate Change Policy Book." Available at <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2002/02/climatechange.html>
- Williams, J.R., C.A. Jones, J.R. Kiniry, and D.A. Spaniel (1989) "The EPIC Crop Growth Model." Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 32:497-511.

제 2 장

EU 농업부문에서 교토의정서 준수 대책²⁰

1. EU에서 교토의정서의 이행

EC²¹가 1998년 4월 교토의정서에 서명한 후 회원국들은 1차 공약기간(2008~2012)에 온실가스 배출량을 1990년 수준보다 8% 감축하는 공약을 발표하였다.²² 교토의정서는 여러 국가의 이러한 접근방법을 명확히 고려하고 있다.

법적 구속력이 있는 ‘부담 공유약정’(Burden Sharing Agreement)은 1998년 6월에 체결되었으며, 2002년 5월 UNFCCC로 안착된 의정서에 대한 EC의 비

20 EU의 농업부문 교토의정서 대응 전략은 유럽환경정책연구원(Institute for European Environmental Policy, IEEP)의 기후변화연구부 Jason Anderson 박사가 책임자이고 Kathryn Arblaster, Joana Chiavari, David Baldock, Sirini Withana, Kaley Hart 등의 연구자가 참여하여 작성된 자료이다. 원문인, “Measures to Comply with the Tokyo Protocol in the European Union Agricultural Sector”로 영어로 작성된 자료의 전문을 번역한 자료임을 밝혀둔다.

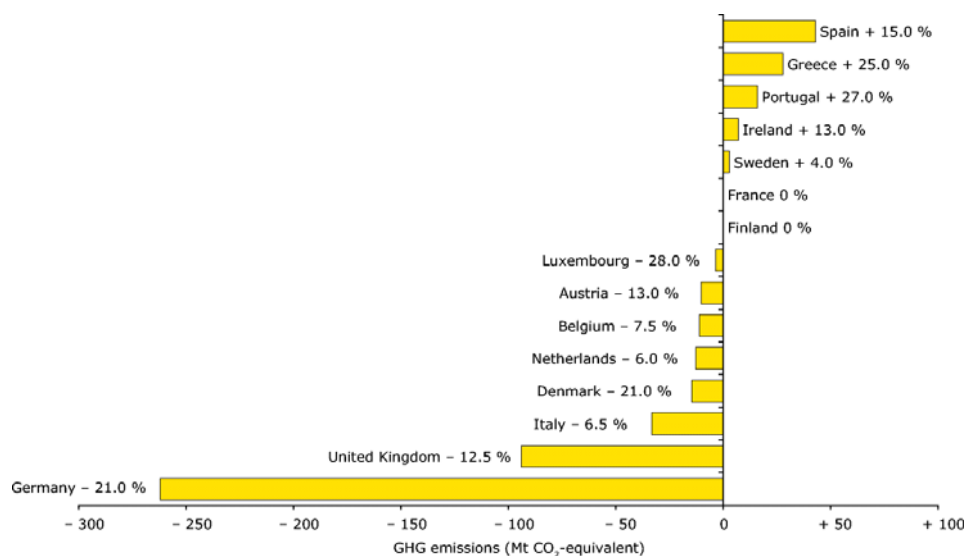
21 1957년 3월 EEC(유럽경제공동체) 혹은 ‘공동시장’을 수립한 로마조약이 체결되었다. ‘경제’란 용어는 삭제되었으며, 1993년 11월 마스트리히 조약의 세력권에 들어서면서 EU가 존재하게 되었다. 이 날짜 전에 ‘유럽공동체’ 또는 그 전신인 ‘유럽경제공동체’라는 용어가 더 정확할 것이다.

22 1998년 4월 교토의정서에 서명함으로써, EC 전체뿐만 아니라 회원국 모두 개별적으로 1990년 배출량 수준에 대해 2008~2012년까지 온실가스 배출량의 8% 감축에 합의한 바 있다. 그 결과, EU와 회원국들은 교토조약의 서명국들이 되었다.

준 수단은 ‘후속약정(*posteriori*)’을 포함하고 있다(위원회 결정2002/358/EC). 이 약정에 의거하여, 2004년 5월 증보판이 나오기 전에 당시 15개국 EU 회원국에 대한 개별 배출목표량이 정해졌다.

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 비교하여 최초 공약기간 동안 기존 EU 15회원국 및 신규 회원국들의 개별 감축 목표를 보여주고 있다<그림 2-1>.

그림 2-1. EU 회원국들의 온실가스 배출량 목표(2008~2012)

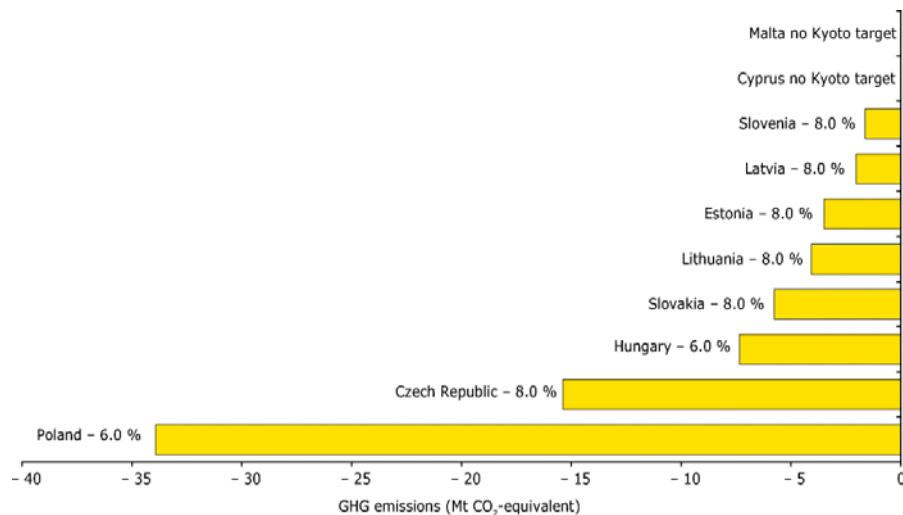


부담 공유약정의 결과, EU 15회원국들에게 교토의정서 준수절차는²³ EU 전체가 8% 감축 목표를 이행하지 못하는 경우에 적용된다. 감축 목표를 달성하지 못하는 경우, 각 회원국은 부담 공유약정에 의거, 각 목표를 개별적으로 달

23 교토의정서 준수 메커니즘은 의정서에 의거하여 공약의 준수를 촉진, 후원하고 이행하는 것을 목적으로 한다. 배출목표를 준수하지 않는 경우에, 집행 사무소는 당사국에 두 번째 공약 기간 동안 배출량과 할당량 사이의 차이에다 추가 30% 감축량을 달성하도록 요구할 것이다.

성할 의무가 있으며, EU 전체로서는 -8% 감축 목표를 이행할 의무를 준수하지 못하는 상태에 이를 것이다. 한편, 신규 회원국 10개국들은, EU 부담 공유약정이 적용되지는 않지만, 교토의정서의 비준수 절차와 EU 법령에 의거하여 교토의정서에서 계획된 대로 개별 목표를 이행하여야 한다.

그림 2-2. 신규 EU 회원국의 온실가스 배출량 목표(2008~2012)



합의된 목표를 충족시키기 위해서는 국가적인 조치 외에도 공동체 수준에서 기후변화전략들을 강화시킬 필요가 있는 것으로 인식되었다. 따라서 1998년에 위원회는 의정서에 의거하여 EU가 공약을 충족시킬 수 있도록 전략의 첫 번째 단계를 착수하는 협의위원회[COM(1998)353]를 발족시켰는데, 이는 회원국들이 자체 국가 계획들을 제출하는 경우에 공동체 수준에서 더욱 구체적이고 조정된 전략을 개발하는 전조가 되었다. 1999년 발족된 후속 협의위원회[COM(1999)230]는 정책 및 대책에 별다른 내용이 없어서 실망스러운 것이었으나, 다음 해 유럽기후 변화프로그램[COM(2000)88]의 공표로 진전이 이루어졌다.

1.1. 유럽기후변화프로그램(European Climate Change Program, ECCP)

최초의 유럽기후변화프로그램은 2000년 3월에 산업, 국가공무원, NGO 그리고 자영업전문가들로 구성된 복수의 제3자 자문과정을 통해서 착수되었다.²⁴ ECCP의 과업은 온실가스 배출 목표를 달성할 수 있도록 친환경적이고 비용효과적인 EU 수준의 대책을 확인시켜 준 2001년 6월자 한 보고서에서 절정을 이루었다. 이 보고서는 20유로/CO₂톤 이하의 비용에서 약 664~765 Mt CO₂ 배출량 감축을 초래할 수 있는 42가지 가능한 대책을 제시해 주고 있다. 이는 1990년 교토의정서 첫 번째 공약기간에 EU에 요구된 배출량 감축의 약 두 배가 된다. 그러나 실질적인 이득은 실제 이행 정도와 다양한 대책의 상호작용에 좌우된다.

2001년 발간된 ECCP의 첫 번째 단계의 이행에 대한 위원회 문서 [COM(2001)580]는 ECCP의 권장사항을 위원회에서 제시한 명확한 정치적인 공약으로 변모시킨 것이다. 이 문서는 입법안에 대한 많은 제안을 포함하고 있으며, 그 대부분은 6월 ECCP 보고서에 기술되었다. 이 문서는 EU의 교토 목표량을 달성하는 데 더 많은 대책이 필요함을 지적하고 있다.

표 2-1. ECCP의 첫 번째 단계 이행관련 위원회 대책

제기된 대책	목적 및 상황
수평적 대책	
JI 및 CDM을 포함하여 프로젝트에 기초한 메커니즘을 EU 배출 거래제와 연결하는 지침에 대한 제안 ²⁵	지침 2004/101/EC(2004. 10. 27)는 교토의정서에 기초한 CDM과 JI가 EU 배출거래제에 의거하여 준수에 이용할 수 있도록 EU ETS를 수정한 것임. 회원국들의 이행은 2005년 11월 13일까지 예정임.

24 온실가스 배출량을 감축시키기 위한 정책 및 대책에 대한 문서[COM(2000)88].

25 공동이행안(JI), CDM과 배출거래제는 온실가스 배출감축의 가변성 있고 비용 효과적인 수단을 제공하기 위해서 교토의정서에 포함된 소위 3개 ‘가변적 체제’이다. 배출거래제는 일정 수준으로 배출감축에 실패한 기업들이 다른 기업에 부과된 배출감축요건을 초과한 기업으로부터 신용을 살 수 있도록 하고 있다. JI와 CDM은 EU 국가 및 기업들인 제3국에서 배출감축을 위한 크레딧을 얻을 수 있도록 하고 있는데, 전자는 선진국의 프로젝트를 위한 것이고, 후자는 개발국의 프로젝트를 위한 것이다.

제기된 대책	목적 및 상황
메커니즘을 감시하는 검토서에 대한 제안	결정 280/2004/EC는 UNFCCC 및 교토의정서에 의거한 요건을 준수할 목적으로 메커니즘을 계속 감시, 보고하기 위해서 2004년 3월에 발효됨.
에너지	
최종 사용자 장비의 최저효율요건에 대한 기초 지침의 제안	지침 2005/32/EC는 에너지를 사용하는 제품에 대한 생태적 계획을 착수하기 위한 기본체제를 수립. 이 지침은 구속력이 있는 대책 및 자발적 약정을 포함. 위원회는 상당한 에너지 절약을 야기할 수 있는 잠재력을 가진 제품군을 조사. 이 지침은 2007년 8월까지 회원국에서 이행할 필요가 있음.
에너지 수요 관리에 대한 제안	에너지 패키지의 일환으로 2003년 12월에 발간된 이 제안은 에너지 효율성과 에너지활동의 증진을 강조. 이는 2008~2017년의 9년 기간에 통상적인 사업에 대한 에너지 소비에서 9% 감소가 예상됨.
열과 전력 통합 증진을 위한 지침의 제안(CHP)	지침 2004/8/EC는 2004년 초 발효되었는데, CHP의 개발을 증진, 격려할 체제를 수립함.
수송 부문	
수송부문	철도 자유화 패키지가 제안되었지만 이는 직접적으로 기후 대책이 아님.
인프라시설 사용 및 요금 부과 개선에 대한 제안	위원회에서 최종적으로 제기한, 훨씬 약화된 제안은 회원국, 의회 및 NGO를 충족시켜 주지 못함. 이 제안은 많은 논의의 대상이 되었지만, 진전된 내용은 없음. 타협안이 현재 논의 중임.
바이오연료 사용 증진 제안	지침 2003/30/EC는 2003년5월에 채택되었는데 바이오연료시장 점유율을 증대시키기 위한 5.75%의 지시적 목표량을 2010년까지 달성하도록 정함으로써 수송에서 바이오연료의 사용 권장을 목표함. 이 목표를 달성하기 위해서 EC는 바이오연료에 대한 EU 전략을 채택함. 더욱이 2007년 1월에, 재생가능에너지 로드맵의 일환으로 위원회는 2020년의 바이오연료의 최저 목표를 10%까지 올릴 것을 제안함. 2007년 재생가능 입법안은 바이오연료의 시장 침투를 촉진시킬 것으로 예상됨.
산업 부문	
불화처리 가스에 대한 지침의 제안	2003년8월에 상정된, 불화처리 기체에 대한 입법안(F-가스)은 오랜 논쟁 과정 끝에 최종 합의됨. 이 규정은 주로 고정 장비에서 봉쇄작용을 개선하기 위한 관행을 강조한 것이며, 별도 지침은 승용차 공기조화에 주로 사용되는 수소불화탄소(HFCs)를 금지함. 이 지침의 이행을 위한 시간 척도는 2017년까지임.

1.2. 유럽기후변화프로그램의 경과

ECCP의 두 번째 단계(2002~2003)는 2003년 4월 ECCP 진행 보고서의 발간으로 마무리되었다. 최초 ECCP 보고서에 제시되었던 많은 제안이 공표되었거나 개발 중에 있기 때문에 이 보고서는 대체로 진행사항이 좋다고 결론지었다. 주목할 만한 예외사항은 수송부문으로, 이에 대한 대책을 이행하는 일은 ‘어렵고 더딘 진행’을 보이고 있다. 이 보고서는 또한 재생가능에너지에 대하여 유지연합(coalition of the willing)을 제시하는 것을 포함하여 ‘새로운 도전’을 반영하였는데, 이는 ‘지속 가능한 개발에 대한 요하네스버그 세계 정상회의’에서 비롯된 것으로, ‘2006년 구조 및 결속 기금’에 기후변화 고려사항의 통합가능성, 그리고 수송부문의 배출량 감축 등을 포함하고 있다. 이 보고서는 회원국들이 이행하는 방식이 몇 가지 대책에 의해 효과가 좌우되기 때문에 어떤 대책에서 잠재적 배출량 감축의 평가는 반드시 실제 감축과 일치하지 않음을 강조하였다.

2005년 2월, 브뤼셀에서 열린 제3차 회의에서 EU 위원회는 2005년 10월에 발족된 제2차 유럽기후변화프로그램(ECCP II)의 창설을 암시하면서 비용효과적 온실가스 배출감축방안을 위한 새로운 조치를 모색할 것이라 발표하였다.

ECCP II에 의거, 새 실무단체가 구성되어 탄소고정, 경차의 CO₂ 배출가스, 비행기 배출가스, 기후변화의 영향에 대한 적응 등을 다루었다. 그 외, 한 실무단체는 회원국에서 이루어지는 ECCP I 정책 및 대책의 이행 및 배출량 감축 영향을 평가하였다.

ECCP의 검토에 의거하여 작성된 보고서는 회원국들 사이 기후정책의 차이를 지적하며, 보고된 데이터의 단점을 강조하고 있지만, 완전한 평가를 위해 필요한 상세한 정보는 제공하지 않고 있다. 이러한 상황을 개선하기 위해서, 위원회는 2007년에 시작할 추가 방법론적인 작업을 계획하고 있다. 진행 중에 있는 ECCP의 검토는 ECCP II의 형태로 기후변화체제를 개선할 것으로 예상된다.

1.3. EU 배출거래제

ECCP에서 연유한 가장 중요한 정책 대책은 온실가스 배출권거래제 수립에 관한 것이다. 유럽 배출권거래제(EU ETS)는 2005년 1월 공식적으로 운용 되었으며, 제조 및 에너지 공급 산업 전반에 걸쳐 적용되는 것으로(EU 27개 회원국에서 약 11,500개의 시설물), EU 전체의 CO₂ 배출가스의 약 절반을 차지하고 있다. 유럽 배출권거래제는 농업부문에는 적용되지 않는다.

EU ETS에 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 납부하도록 하고 있다.²⁶ EU ETS는 두 단계로 구성되는데, 첫 단계는 2005~2007년까지 시범적으로 운용되며, 두 번째 기간인 2008~2012년 사이는 효과 면에서 시험단계로, EU가 배출감축목표를 달성할 수 있도록 하는데 있어서 중요한 역할을 할 것이다.

각 거래기간 동안 배출허용량은 위원회의 승인을 조건으로 국가배당계획(National Allocation Plan, NAP)을 통해서 국가 수준에서 회원국들에 의해 할당된다. 각 회원국에 의해 할당된 허용량은 교토 목표뿐만 아니라 이를 달성하는 방향으로 실제로 예상된 진행상황을 반영하여야 한다. 그러나 2004년 8월에 착수되었던, 최초 거래기간 동안(2005~2008) 제출된 NAP 중 18개를 독립적으로 분석한 것은(Alyssa, 2004) 회원국들이 통상의 사업 배출량과 병행하여 산업 배출권을 과다 배당하였으며, 어떠한 경우에는 더 많아서, 이는 직관에 반한 결과임을 지적하였다. 과다 허용량의 배당은 온실가스 배출량 감축을 위한 더 많은 노력이 거래제보다 잠재적으로 더 못한 비용 효과적인 방법으로 거래제로 포괄되지 않는 경제 부문에 필요함을 의미한다. 과다 할당의 결과는 2005년에서 입증된 배출량 수준이 2006년에 공표되었을 때 드러나게 되었으며, 허용량

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

가격을 무시할 수 있는 수준으로 떨어뜨리면서 할당 중에 배출량이 예상보다 더 낮았음을 확연히 보여 주었다.²⁷

EC는 허용량의 배당, 보유, 이전 및 취소 등을 추적하기 위해서 ‘표준화된, 확고한 등록제’에 대한 구체적인 입법안(EC No.2216/2004)을 착수하였다. 각 국가의 등록부에 있는 시설물 공개 거래 계좌는 Europe-wide transaction log와 연결되어 있으며, 웹에서 이용 가능하다.²⁸ 전산화 시스템은 모든 거래를 추적하고 비정상적인 내용이 발견되면 거래가 이루어지지 못하게 하고 있다.

EU ETS의 최초 거래기간에서 얻은 결과는 환경적인 측면에서 실망스러운 것으로 인식되었다(CAN-Europe, 2005). 그러나 2005~2007 기간이 시험기간인 것을 고려하면, 2008~2012 공약기간 동안에는 EU ETS를 통한 감축이 EU의 목표를 달성하는 데 상당히 기여하게 될 것이다. 2006년 여름과 가을 기간 동안, 대부분의 회원국들은 두 번째 거래기간에 대한 NAP 초안을 제출하였으며, 위원회는 그 결정을 공표하였다. Schleich(2007) 등이 착수한 평가는 제출된 최초 14 NAP에 대하여 위원회에서 요구한 배출량 예산감축이 더욱 효과적이고 효율적인 EU ETS에 대하여 유의하고 중요한 단계임을 나타내 주고 있다. 그러나 국내 감축량은 교토 메커니즘에서 프로젝트 기반 크레딧(project-based credits)을 여러 회원국들이 과다 사용한 것을 고려하면 제한될 수 있다.

2006년 11월, 위원회는 ETS의 최초 평가를 요약하고 거래제의 향후 수정에 대한 의제를 정하는 보고서를 제시하였다.²⁹ 문서[COM(2006)276 최종]에서 위원회는 거래제의 시장 유동성을 개선하기 위해서는 단순화와 향후 예측가능성이 필요함을 인정하고 있다. 그 외, 이 보고서는 검토할 주요 전략적인 문제에 대해 합의가 증가하고 있지만 이 문제를 언급하는 데는 더 많은 경험과 평가가 필요함을 강조하고 있다. 따라서 변경내용은 세 번째 거래 기간 전(2013년 이

27 2007년 9월 18일에 첫 단계 EUA는 톤당 0.05유로로 매겨졌다(www.pointcarbon.com).

28 <http://europa.eu.int/comm/environment/ets/>

29 EU ETS를 이행하는 지침의 30조는 EU 배출거래제의 적용을 검토하고 유럽 의회와 평의회에 보고할 것을 요구하고 있다. 이 보고서는 거래제에 대한 수정안의 제안을 동반할 수 있다.

후)에는 이행되지 않으며 입법안은 다음 단계에서 제시될 가능성이 있다. 그동안, 위원회는 자문과정을 강화하여 제3자들과 긴밀한 협력 속에 EU ETS의 개정에 대한 권고사항을 마련하였으며, 아마도 2007년 12월에 권장사항을 기초로 새 입법안이 제시될 것이다.

1.4. EU 배출 거래제와 농업부문

검토 과정에서 위원회는 EU ETS의 범위를 다른 부문 및 기체에 확대시킬 것을 고려하고 있다. 그러나 이 계획의 환경적 충실성을 유지할 수 있도록 하기 위해서, 예상 부문은 다음 기준을 충족시킬 필요가 있다.

- 1) 배출량 수준의 낮은 불확실성
- 2) 합리적인 수준으로 한정된 감시 비용

EU ETS에 농업부문의 포함 여부에 대해 상당한 논의가 있었으나 농업부문의 이질적 특성과 배출원의 지역적 상이성, 모니터링의 어려움 등으로 회원국 간 합의를 이루지 못했다(Defra, 2007).

EU ETS에 추가 활동 및 기체를 포함시키는 일에 대한 보고서는 거래제의 검토를 진전시키는 데 있어 EC를 지지하기 위해 작성된 것으로, CO₂ 및 비 CO₂ 온실가스 배출량을 포함한 농업부문의 배출량을 다루었다. 이 보고서에서는 농업부문의 배출량은 EU ETS의 검토에 포함되지 않아야 한다고 결론을 내렸다(Ecofys, 2006). 이 보고서에 언급된, 농업의 이산화탄소 배출량이 더 이상 고려되지 않은 주요 이유는 작은 배출자들(small emitters)을 고려하고 있기 때문이다. 비 CO₂ 배출량에 대해서 보고서 자료에 포함된 내용은 농업의 분뇨관리에서 연유한 CH₄ 배출, 토양 속의 광물 질소비료 및 유기비료의 사용과 분뇨관리에서 발생하는 N₂O 배출이다. 이 보고서에는 메탄가스 배출의 불확실성이 높다고 나오는데, 이는 설비(농장)의 규모 다양화와 배출자의 수가 많기 때문이다. N₂O 배출에 대해서는 배출량 측정의 높은 불확실성으로 인해 농경지와 분

노 관리는 감시가능성이 낮음을 강조하고 있다.

EC의 DG 환경과 관련, 제3자들에게 EU ETS에 대한 자문을 얻기 위해서 2005년 6월부터 2006년 6월까지 매킨지(McKinsey & Company) 회사에서 실시한 웹 조사에서는 농업의 경우 EU ETS를 확대하는 대신에 국내의 상쇄 프로젝트와 같은 대안을 고려할 수 있음을 지적하였다(McKinsey & Company, 2006).

배출량 감축 프로젝트에 대한 공동체 수준의 승인과정은 이러한 활동에서 직접 비롯되는 배출량은 배출량 상한을 갖는 체제에 적합하지 않다는 사실에 기초하여 농업부문에 적용할 수 있을 것이다.

이 프로젝트의 카테고리는 국내 상쇄 프로젝트로 알려져 있는데 교토의정서에 의거한 프로젝트 메커니즘과 유사하며 국내에서 비거래 부문의 배출량을 감축하는 것을 목표로 하고 있다. 현재, 국내 상쇄조치의 유도를 고려한 많은 프로그램이 존재하고 있거나 개발 중에 있다(예를 들어 US RGGI, 뉴사우스 웨일스 GGAS, 캐나다 국내 상쇄 프로그램, 배출량 감축을 위한 뉴질랜드 프로젝트).

IETA(국제 배출량거래협회)의 EU ETS에 대한 보고서는 EU ETS의 세 번째 단계에 국내 상쇄 프로젝트를 통합시킬 것을 권장하고 있는데, 이는 상쇄조치와 EU 허용량 사이에 배출량 감축을 중복 계산하지 않고, 국가 목록에서 이들 프로젝트를 일관적으로 기록하는 것을 조건으로 한다. IETA는 국내 상쇄 프로젝트의 내재적인 복잡성을 인정하지만 융통성 있는 교토 메커니즘의 이행을 통해 얻은 경험으로 프로젝트의 이행이 촉진된다는 점을 고려하고 있다. 그러나 ‘지침의 범위에 관한 EU ETS의 검토(ECCP)’에 대한 배출권거래와 관련하여, ECCP 실무 단체의 1차 회의의 최종 보고서에서 강조한 대로 공동체 내 배출량 감축프로젝트(혹은 국내 상쇄 프로젝트)에 대한 인식은 혼합되어 있다(ECCP, 2007). 이 보고서는 이러한 방법에서 여러 결점을 보여주고 있다. 즉 ① 배출량 감축 프로젝트는 행정적으로 다루기에 복잡하며, ② 이들 프로젝트는 시장에서 가격의 역효과를 초래할 수 있으며, ③ 추가성의 요건을 보장하기 어렵고, ④ 이들 프로젝트는 기존의 국내 정책 및 대책과 상호 작용할 수 있다.

ECCP의 최종 보고서는 국내 상쇄 프로젝트의 장점 및 단점을 수립하기 위

해 제한된 목록의 프로젝트로 시험 계획을 구상할 수 있다고 결론을 내린다. 그러나 수송부문에 초점을 두고 나중에 농업, 폐기물 및 주택 등 다른 부문에 확장될 것 같다.

제3국에서의 거래제와 EU ETS의 관계에 대해서, 진행 중에 있는 검토 작업은 EU ETS를 제3국에서 운용하거나 계획된 다른 배출권거래제와 연결 짓기 위한 조정안을 확대시키고, 2012년 이후 교토의정서의 프로젝트에 기초한 메커니즘에서 크레딧을 계속 승인할 것을 고려하였다.

현재 EU ETS는 CDM과 관련이 있지만 임업 프로젝트와 관련된 크레딧의 수입을 금지하고 있다. 그러나 바이어들이 이용 가능한 크레딧을 수출하고 금지된 크레딧을 매수함으로써 이론상 단순히 ‘수요를 이전’할 수 있기 때문에 EU ETS가 이들 프로젝트를 허용하는 계획과 관련된다면 그러한 금지는 효과가 제한될 수 있다.

적격성 규칙은 여러 배출권거래제 사이에 상당히 다양하다. 예를 들어 미국에서 지금까지 수립된 모든 상쇄 프로그램은 임업 프로젝트에 대한 의정서를 개발하였거나 개발하고 있다(RGGI, CCAR, Climate Leaders, 그리고 시카고 기후교류 등을 포함). RGGI는 현재 산림 관리뿐만 아니라 재조림을 포함시키기 위해서 적합한 종류의 프로젝트를 확장시킬 것을 고려하고 있다.³⁰ 시카고 기후교류의 상쇄 포트폴리오 최대 구성요소 중 하나는 중서부 주에 있는 농장에서의 토양 탄소고정으로 향후 의무 프로그램에 의거하여 이 지역에서 토양 탄소 상쇄조치를 포함시키기 위한 강력한 정치적 지원이 있다. 고정활동을 지원하기 위해 연방 정책 논의에서 다양한 메커니즘이 제기되었을지라도 상쇄조치로 이들 메커니즘을 통합하는 것 외에 관행상 미국의 배출거래제는 이들 활동에서 감축을 포함시키는 것 같다.

이 문제는 정치적 관용의 문제로 볼 수 있다. 현재 EU는 특정한 종류의 프로젝트에 자원이 유출되는 것을 - 심지어 간접적으로나마 - 원하지 않으며, EU의 적합성 기준에서 큰 격차를 갖는 거래제와 ETS를 연계하는 것도 허용되지 않

30 “산림 탄소 신용 프로젝트가 미국의 관심을 끌다,” PointCarbon, 2007년 7월 26일.

을 것 같다. 그러나 검토가 진행되면서, 2012년 이후 기후변화를 다루기 위한 국제 협상에서 개발을 고려할 것이며, 간접적이든 직접적이든 거래제에 수용될 농업부문의 여러 유형의 프로젝트에 계기를 부여할 것이다.

1.5. 농업: 에너지작물대책

온실가스 감축과 관련 EU의 공동농업정책(규정795/2004/EC)은 에너지 작물에 대한 지원계획을 포함하며, 경작포기 농지에서 에너지 작물을 생산하는 경우 ha당 45유로 지원을 규정하고 있다. 2006년 9월, 위원회는 회원국들이 에너지 작물에 대하여 교부금을 지급할 수 있도록 계획의 범위를 확장시킬 것을 제안하였다. 이에 따라, 2006년 12월 EU의 농무장관들은 2004년 이후 EU에 가입했던 신규 12회원국들에게 에너지작물 프리미엄을 증대시키기로 결정하였으며, 더 나아가 교부금을 받을 수 있는 에너지 작물의 최대 면적을 증가시켰다(150~200만 ha). 또한 이 결정으로 회원국들은 지원 신청을 한 토지에서 영구 에너지 작물을 확보하는 비용을 50%까지 국가 보조금을 지급할 수 있게 된다.

1.6. 승용차 및 밴의 배출가스

승용차의 CO₂ 배출가스에 대한 EC의 전략[COM(95)689]은 2010년까지 승용차의 CO₂ 배출을 적어도 25%까지 감축하기로 목표를 설정하였다. 이 전략은 크게 네 가지로 구성된다.

1) 자동차 제조업체와의 자발적 약정

- 이는 유럽, 일본 및 한국 제조업체 및 협회와 함께 서명한 것으로, 협회 구성원들이 2008~2009년까지 신규 승용차의 CO₂ 배출량을 140g/km까지 감축시킬 것을 공약함.
- 위원회는 제조업체들이 목표량을 달성하는 과정에 있지 않는 것으로 보

이면 입법안의 상정을 고려함.

2) 연료 경제 라벨표시 계획

- 연료 경제 라벨표시 계획은 지침 1999/94/EC에³¹ 의해 결정된 것으로 모든 신규 승용차의 책자 및 전시실의 포스터상에 연료 소비 및 CO₂ 배출량에 대한 라벨의 표시를 의무화함.

3) 신규 차량에 대한 CO₂ 감시 메커니즘³²

- 회원국들이 자국 내에서 판매되는 모든 신규차량의 CO₂ 배출량에 대한 데이터를 수집하여, 자동차 제조업체의 배출량 감축의 진행상황이 개별적으로 검증될 수 있도록 위원회에게 보고함.

4) 향후 교통세의 목적으로서 CO₂ 배출량의 통합

경차량의 이산화탄소 감축을 위한 유럽공동체의 전략 제안[COM(2007)19]은 2007년 2월 위원회에서 채택되었다. 2007년 1월에 제기된 EU의 연료 자질 표준 수정안과 함께, 새로운 전략은 2012년까지 EU에서 판매되는 신규 차량의 평균 이산화탄소 배출량을 1km당 120g까지 제한하는 것을 목표로 설정하였다. 위원회는 이 전략의 이행에 대한 공적인 자문을 착수하였고 공청회는 2007년 7월 브뤼셀에서 개최되었다.

1.7. 기타 기후대책

ECCP에 의거한 입법안 외에도, 오염 예방 및 관리 종합지침, 폐기물 매립 지침, 재생가능 에너지 지침, 건물의 에너지 관리 지침 등의 기후관련 대책이 공동체 수준에서 채택되었다.

1) 오염 예방 및 관리에 대한 종합지침

31 Official Journal L 012 , 18/01/2000 P. 0016-0023

32 공식저널 L 202 , 10/08/2000 P. 0001-0013의 “1753/2000/EC”.

- 산업 시설물 및 일부 대규모 농업 시설에 대해 허가 제도를 정하고 있으며, 에너지 효율성 및 에너지 감축 요건을 포함함.
- 이 지침의 범위에 해당되는 시설물에 허가증을 발급하는 관계당국은 온실가스 배출한계를 결정할 수 있으나 EU ETS에 포함된 시설물은 제외함.
- 그 외, 에너지 효율성에 대한 ‘수평적’인 BAT³³ 참고 문서들이 현재 준비 중에 있음.

2) 폐기물 매립에 대한 지침

- 회원국들이 매립지로 보내는 폐기물의 양을 감축시킬 것을 요구
- 회원국에서 채택한 국가 전략의 최초 검토서는, 2005년 위원회에서 공표된 것으로 ‘목표를 달성하기 위해서 추가 노력이 필요할 것 같다’고 결론을 내리고 있음.
- 폐기물 방지 및 재생에 대한 ‘테마 전략’은 2005년 12월에 착수된 것으로, 위원회는 매립 지침을 포함하여 기존 입법안의 이행을 증진시키는데 초점을 맞춤.
- 이는 EU 온실가스 배출량의 약 8%를 차지하는 메탄가스 배출량에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상됨.

3) 재생 가능한 에너지원에서 생성된 전력에 대한 지침

- 회원국의 전력공급 중 재생 가능한 에너지원의 향후 점유율에 대한 지정목표를 설정함(2010년까지 전력 생산 중 재생 가능한 에너지의 비율을 21%까지 높임).
- 2004년 5월의 발표된 문서에서³⁴ 독일, 스페인, 덴마크와 핀란드 등 4개 회원국들만이 국가 목표를 달성함.
- 위원회는 조치의 갱신을 요구하였고, 그 결과 2007년 1월에 재생 가능한 에너지 로드맵이 채택하게 됨.

4) 건물의 에너지 수행에 대한 지침

³³ IPPC 체제에 의거, 허가증은 BAT(최상의 이용 가능한 기법)의 개념에 기초하여 발급한다. BAT 참고 문서는 제3자와 관련되고 위원회에서 추후 채택한 과정에서 합의된 것이다.

³⁴ “EU에서 재생가능에너지의 점유율”(COM/2004/0366)

- 기준을 정하지는 않고 있으나 회원국들이 공통 방법론을 적용하고 더욱 효율적인 건물을 신축하는 입법안을 공포할 것을 요함.
- 5) ‘유럽을 위한 현명한 에너지’ 프로그램
 - 에너지 사용 및 재생가능자원을 증진하기 위해서 2003~2006년 동안 2억 5,000만 유로의 예산으로 기금계획을 수립함.
 - 위원회는 2007~2013년 동안 프로그램을 지속시킬 것을 제안하였으며, 예산을 7억 8,000만 유로까지 두 배로 책정함.
- 6) 에너지 효율성에 대한 실행계획
 - 이 계획은 2006년 10월 위원회에서 발표된 것으로, 2020년까지 에너지 절약 가능성(20%)을 달성하기 위해 우선순위 패키지 대책을 포함함.
- 7) EU 배출거래제에서 항공부문을 포함
 - EU 내 공항 사이에 운행되는 국내 및 국제 비행편의 배출량을 규정
 - 2012년부터 EU 공항에서 이륙·착륙하는 모든 국제 비행편의 배출량을 포함시키도록 확대할 계획임.

1.8. 다음 단계

2007년 1월 위원회에서 제시한 ‘에너지 및 기후 통합패키지는 유럽의 새 에너지 정책을 수립하는 것을 목적으로 한다. 이는 EU의 온실가스 배출량 감축(지구 기후 변화를 섭씨 2도로 제한; 2020년 이후를 위한 방도), 재생가능에너지(재생가능에너지 로드맵)와 ‘에너지 관련 진정한 내적 시장’(‘에너지 부문 경쟁 조화’)에 대한 계획이 포함된다. 이 패키지의 내용은 ① 2020년까지 온실가스 배출량을 최소한 20%까지 감축한다는 EU의 공약, ② 에너지 효율성 에너지 계획에 따라서 2020년까지 전체 EU 에너지 효율성을 20% 증진, ③ 재생가능에너지 점유율의 증가를 2020년까지 공급량의 20%에 이르게 하며, ④ 재생가능에너지 목표는 2020년까지 바이오연료에 대해 최저 10%로 설정하는 것으로 구성되어 있다.

1.9. EU의 온실가스배출량 감축의 진행

매해 유럽 공동체는 회원국들이 온실가스 배출량을 감축하고 교토 목표를 달성하는 방향으로 추진하고 있는 상황을 평가할 목적으로, 온실가스 배출량에 대한 보고서를 발간하고 있다.

유럽환경위원회(EEA)에서 2007년 6월에 발간한 가장 최근의 평가서는 EU-27에서 LULUCF를 제외한 총 온실가스 배출량은 1990년과 2005년 사이에 7.9%나 감소함을 보고하였다. 그러나 EU-15에서 LULUCF를 제외한 총 온실가스 배출량은 1990년보다 낮은 1.5%로 온실가스 배출량 추세의 전망은 밝지 않았다. 2010년까지 진행상황에 선형외삽법을 적용하여, EEA는 2005년에 총 EU-15 온실가스 배출량은 이 목표 궤도보다 지수가 4.1 더 높은 것으로 결론을 짓고 있다³⁵. 그러나 진전은 있었다. 2004년과 비교하여 EU-15 온실가스 배출량은 0.8%나 감소되었다. 절대적인 의미에서, EU-15에서 2004년과 2005년 사이 배출량에 기여하는 주요 부문은 공공 전력 및 열 생성, 주택 및 서비스, 그리고 도로 수송부문 등이다. 2004~2005년에서 최대 배출량 감축은 독일(-2,350만 톤 CO₂ 상당량), 핀란드(-1,190만 톤 CO₂ 상당량), 그리고 네덜란드(-630만 톤 CO₂ 상당량)에서 나타난 반면, 스페인은 절대적인 의미에서 최대 배출량 증가를 보였다(+ 1,540만 톤 CO₂ 상당량). 스페인에서 입증된 3.6%의 증가는 화석 열발전소의 전력 생산의 증가와 수력발전소의 전력 생산의 감소로 인하여 주로 공공 전력 및 열 생산에서 기인하였다. 2004년과 2005년 사이 배출량 증가를 보인 EU-15 국가는 오스트리아, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 그리고 포르투갈 등이다.

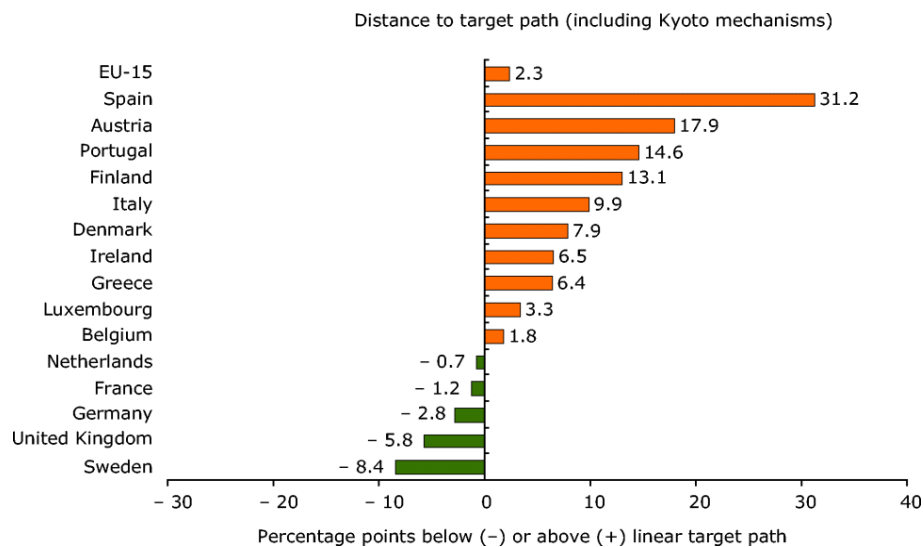
2007년 2월에 발간된 EEA의 평가서, ‘온실가스 배출량의 확산 및 제거 구상(CSI 011)’은 2010년까지 온실가스 배출량을 감축하기 위해 교토의정서에 부합하는 방향으로 예상된 진행상황에 초점을 맞추었다. EU-15의 경우 추가 국

35 선형 목표 궤도는 국내 대책만을 사용하는 것을 가정하여 2005년에 EU-15 배출량이 1990년부터 2008~2012년 동안의 교토 목표까지 배출량 감축의 선형 경로에 얼마나 근접한가에 대한 대책을 제공하고 있다.

내 정책 및 대책, 융통성 있는 교토메커니즘과 탄소 흡수 등의 혼합된 효과를 이용하여 교토의정서 목표인 8%를 달성할 수 있다. 2006년 10월에 발표된, ‘교토 목표의 달성을 향한 진행상황’에 대한 위원회의 보고서는 같은 결론에 이르고 있다.

이 평가서는 2006년 6월 이전에 제공된 EU-15 회원국 온실가스 목록 및 계획에 기초하여 작성된 것이며, 향후 계획은 약간 더 유리할 수 있다. 그러나 몇몇 회원국들은 개별 부담을 공유하는 공약을 달성하는 데 어려움을 가질 수 있다는 명확한 징후가 있다. 다음 그림은 2004년에 EU-15의 목표 궤도까지의 거리(2010년의 부담 공유 목표)를 보여주고 있으며, 교토 메커니즘과 탄소 흡수 장치의 사용을 포함한다.

그림 2-3. EU-15 회원국들의 목표까지의 거리(2004)



1.10. 결론

유럽에서 기후변화 정책은 EU 수준에서 개입할 것을 강조하였다. 이는 여러 요소에 기인한다. 첫째, 공동체는 교토의정서에 의거하여 각국들의 목표에 개

별적인 의무를 갖고 있는 회원국인 동시에 정치적 실체로서 교토의정서의 서명자라는 점이다. 둘째, 국경에 걸친 환경 문제와 국내 시장은 EU 정책을 강력하게 추진시키는 요소들이며, 두 카테고리에 온실가스를 배출하는 과정이 관련되어 있다는 점이다. 마지막으로 유럽의 대표부들이 국제기후협상을 하게끔 인도함으로써 위원회와 의회 주재국들은 이 문제에서 지도자로서 EU의 역할을 강화하였다.

유럽기후변화프로그램은 경감 대안의 논의를 위해서 중요한 포럼을 구성하였으며, 현재 이행 단계에 있는 많은 정책의 개발을 촉진시켰다. 그러나 교토의정서 공약이 달성될 수 있도록 하는 일은 기후 변화에 대한 리더로서 유럽의 신뢰성에 대한 기본 요건이 된다. 구축 중인 봉쇄수단들은 목표를 달성하기 위해 적절하지만, 많은 부분은 새로운 정책이 실제로 어떻게 이행되는가에 좌우된다. 따라서 필요한 것은 현재 개발 중인 입법안이 채택될 수 있도록, 공동체의 입법안이 국가법으로 적절하게 자리 잡게 하는 일이다.

2. 기후변화통제의 맥락에서 EU 농업의 역할

EU의 자연환경에 관련한 농업의 중요성은 유럽연합 경관(landscape)의 절반 이상이 농경지라는 사실로 강조된다. 2006년 EEA의 산정에 따르면, 토지의 47%는 농업 활동으로 활용되고 있다.

농업의 온실가스 배출의 주요 원천은 토양 및 비료사용으로 인한 아산화질소 배출, 장 발효에 의한 메탄 배출, 가축 분뇨에 의한 아산화질소와 메탄 배출이다. 메탄과 아산화질소는 이산화탄소에 비해 지구온난화 가능성이 각각 21배와 296배 더 높아 이산화탄소보다 지구온난화에 악영향을 미친다.

2005년 EU-27개국 전체 온실가스 배출량 가운데 농업부문이 약 9%(EEA, 2007)로 농업부문의 산업구조 기여도보다 상당히 높은 비중을 차지하고 있다. 특히 농업부문은 에너지부문 다음으로 큰 온실가스 배출원으로, 아산화질소와

메탄은 각각 총 온실가스 배출량의 5%와 4%를 차지한다(EEA, 2007).

1990년 이후 EU-15에서 농업부문의 온실가스 배출량은 11% 감소하였으며, 향후 더 감소할 것으로 예상된다. 실제로, US-EPA(2006)에 따르면, 서유럽은 농업의 온실가스 배출량이 2020년까지 감소할 것으로 예상되는 세계에서 유일한 지역이다. 그 외 최근의 EEA 조사기록(2007)은 2005년 EU-15에서 농업부문의 배출량은 1.4%나 감소하였음을 보고하였다. 이러한 감소추세는 환경문제를 중시하는 CAP개혁에 따라 가축사육두수와 농경지에서의 비료와 분뇨 사용의 감소로 인해 메탄과 아산화질소 발생이 감소했기 때문이다.

2.1. 완화 대책

농업부문은 온실가스 배출의 중요한 원천인 동시에 기후변화를 완화시키는데 중요한 역할을 할 수 있다. 온실가스 배출량을 완화시키기 위해서, 대기에서 온실가스를 격리하고 토지의 탄소 흡수장치에 이를 저장하기 위해서 취할 수 있는 다양한 조치가 있다.

향후 농업부문이 온실가스 배출을 경감시킬 가능성이 크다고 예상한 연구도 있다. 그러나 최근의 보고서는 농업에서 달성할 수 있는 실제 온실가스 경감 수준은 이행 및 비용 고려사항의 장애로 인하여 이들 조치에 예상되는 기술적인 잠재가능성보다 훨씬 낮음을 강조하였다(Smith 등, 2007).

농업부문에서 이행할 수 있는 경감 활동은 가축관리, 토지 사용변화관리, 질소 관리, 그리고 토지의 탄소 흡수장치 사용을 통해 대기에서 온실가스를 격리시키는 것을 포함한다.³⁶ 이들의 영향을 예측하는 것은 강수량의 변화 등 예측 불가능한 자연환경과 농업생산의 불확실성 때문에 어렵다.

36 이들 경감 활동의 종합적인 설명 및 검토는 Weiske과 Michel(2007), Smith(2007) 등을 참조하였다.

2.2. 토양 탄소고정

산림 및 다른 형태의 토지 사용은 탄소흡수장치 역할을 하면서 대기의 탄소를 격리시킬 수 있다. 식물에 의한 대기 이산화탄소의 제거와 토양유기물로서 고정 탄소의 저장은 보통 토양탄소고정과 관련이 있다. 지난 세기 서유럽의 중요한 탄소 흡수장치인 토탄토지의 극적인 감소에서 입증된 대로, EU에서 토양 탄소의 상당한 손실을 보았다. 예를 들어 영국 및 아일랜드에서는 인공 수령의 90% 이상이 손실되었으며, 최초 토탄토지자원의 50%가 러시아, 라트비아, 리히텐슈타인, 노르웨이, 스웨덴과 우크라이나 등 6국에서 잔존할 뿐이다. 탄소고정을 통한 경감 활동은 주로 휴경지의 보전, 경작지감소 및 작물 생산성 대책 증가 등을 포함한다. 탄소고정은 배출량 감축 정책에 주로 초점을 둔 EU에서 상대적으로 약화되었다. 유럽기후정책의 전략은 이산화탄소 배출량을 제한하고 에너지효율성을 증대하는 것인 반면, 제한 및 전략들은 농업 및 산림 활동에서 목표로 한 게 아니어서 이러한 부문들은 기후노력에 제한적으로 개입하게 되었다.

교토의정서는 기후변화를 완화시키는 데 농업과 산림 부문의 중요성을 강조하고 있으며(10조) 토지 사용, 토지사용변화, 그리고 임업활동에 대한 탄소 크레딧을 얻기 위한 가능성을 포함하고 있다. 교토 조약의 3.3조항은 생물자원과 흡수장치(1990년 이후에 일어나는 조림, 재조림, 벌채 등에 제한됨)는 부속서 I 국가들이 배출량 목표를 달성하는 데 고려할 수 있음을 명시하고 있다. 그 외에, 교토의정서의 3.4조는 임야, 농경지 및 목초지 등의 관리 개선과 관련된 인간에 의한 활동을 포함시킬 것을 고려하고 있다. 그러나 유럽에서는 흡수장치가 배출 인벤토리에 미치는 영향이 비교적 제한되어 있으며, 따라서 이를 추구하려는 열의는 비교적 낮은 편이었다.

마라케시 협정에 의거하여 제1차 공약기간 중 부속서 I 국가들은 1990년 이후의 재초목, 산림 관리, 농경지 관리 및 목초지 관리 활동 등을 부록에 언급된 최대량까지 고려하는 것을 선택할 수 있다(3.4조).³⁷ 부속서 I 국가들은 5년

37 LULUCF - 원칙, 규정과 가이드라인(FCCC/KP/CMP/2005/3/Add.1)

의 공약기간 동안 기준연도에 당사국 배출량의 1%에 이르는 조림 및 재조림 계획의 CDM 크레딧을 이용할 수 있다. 최초 공약기간 동안 CDM에 의거한 적합한 활동으로 농업을 포함시키기 위한 여러 정의 및 절차가 개발되었다.

탄소고정 촉진책이 EU의 탄소 시장에서 제외되었는데, EU는 농경지와 산림의 배출 감축 크레딧을 EU ETS 범위 내 거래하거나 판매하는 것을 허용하지 않기 때문이다. 일부 회원국들과 산업은 이를 포함시킬 것을 주장하였으며, 향후 산림 크레딧을 고려하기 위한 논의가 진행 중에 있다.³⁸

Young 등(2007)에 따르면 EU의 전략은 토양고정을 둘러싼 불확실성과 기후 변화에서 국제적인 리더십의 중요성으로 설명할 수 있다. 국제기후협상의 맥락에서 배출량 목표를 달성하는 합법적인 방법으로 일반적인 흡수장치 및 LULUCF의 역할은 탄소저장의 영구성 및 측정, 누적 비율이 불확실성 때문에 과학적이고 정치적인 열띤 논쟁을 불러일으켰다.

더욱이 토양은 탄소의 원천 혹은 흡수원이 될 수 있다. 토양이 순수 흡수원이 되기 위해서는 토양에서 탄소 고갈 비율은 감소될 필요가 있으며, 그 흡수 능력을 유지하거나 높일 필요가 있다. 토양의 탄소함량은 교란과 부식 등 유기물의 분해, 용해 및 다른 토양 과정을 통한 탄소 제거율에 대해서 식물 성장으로 인한 탄소(순수 주요 생산성)의 추가율에 좌우된다. 따라서 흡수 가능성은 작물 수확량이 높고, 토양 교란이 최저 수준이고, 토양유기물이 낮은 비율인 경우에 가장 높다. 그러나 이 요소들은 토지 사용, 이력 및 현재 관리, 기후조건 및 다른 변수 등의 변화에 민감하다(Freibauer 등 2004, Cooper 등, 2007). 그 외 토양의 총 유기탄소 및 토양의 격리 가능성을 증가시키는 ‘관리규범 권장사항’(RMPs)이 있다.³⁹

38 EcoSecurities Consult에서 탄소 구매자들을 대상으로 실시한 조사(2006)에서, 응답자의 약 40%는 EU ETS에 의거하여 신용이 인정을 받게 된다면 CDM 산림 프로젝트에서 사울 수 있을 것으로 대답하였다. 이는 이들 프로젝트가 ‘연관 지침’에 포함되어 있다면 LULUCF 부문의 신용에 대한 수요가 실질적으로 증가할 것임을 보여 주고 있다.

39 가장 유망한 접근방법은 Cooper 등, 2007을 참조.

유럽에서 토양탄소고정 가능성을 평가하기 위해 수행한 초기 연구에서는 고정 비율에 대한 비영구성과 불확실성과 관련된 위험으로 인해 농경지가 실행 가능한 경감대안을 제시하지 못한다고 결론을 내렸다(유럽 위원회 2001). 이후의 평가는 약간 모순된 결과를 가져왔다. 2003년 ECCP 보고서는 농경지의 흡수장치는 EU에서 교토의정서에 의거하여 2008~2012년까지 EU가 공약한 총 배출량 감축 의무의 19~21%, 즉 연간 60~70톤의 이산화탄소의 감축에 기여할 수 있음을 언급하였다. 유럽위원회 관리국의 농업평가서(2004)는 비용 효과성에 대한 분석을 포함하지는 않고 있지만 비슷한 결과를 보고하였다.

그러나 최근에는 영국의 토양으로부터 상당한 탄소 유실을 보고한 연구도 있다(Bellamy 등, 2005). 이들 결과가 EU 전체에서 확인된다면, 이는 심각한 우려가 될 것이다.

탄소고정과 관련하여, EU에서 이산화탄소만을 순수하게 제거하는 긍정적인 추세는 회원국들의 보고서 분석에서 확인할 수 있다. 이는 대부분의 회원국들에게 공통적인 패턴인 농경지 감소와 임야 토지 증가에 기인한다. ECCP I는 경제적인 실현가능성 문제가 이러한 가능성을 어렵게 할 수 있지만 EU 전체에 농경지 조림화의 여지가 있는 것으로 보고되었다. ECCP는 또한 EU에서 주요 토지 사용으로서의 경작지가 온실가스 경감에 상당한 역할을 할 수 있다고 보고한다.

대부분의 회원국에서는 토양탄소고정을 장려시키는 효과적인 인센티브가 부족한 실정이다. 그 결과, 토양 대책에서 탄소고정에 대한 ECCP I에서 확인된 대책은 제1차 공약기간 동안 실현되지 못할 것이며, 탄소고정의 의미에서 LULUCF 부문이 ECCP 목적에 기여하는지는 확인할 수 없다.⁴⁰ 이 부문에서 2010년까지 격리 가능성이 일어날 가능성을 조사한 ECCP II 심사에 따르면 향후 탄소고정에 대한 인센티브가 없다면, 교토의정서의 3.4조에 의거한 경작지 탄소고정은 하나의 대안이 되지 못할 것이다.

40 유럽의 기후변화프로그램은 93~103톤의 이산화탄소(EU 감축의 약 30%에 해당)가 잠재적으로 농업 및 산림 부문에서 격리될 수 있을 것으로 추정하고 있다(European Commission, 2003b).

향후 ‘유럽 토양의 테마전략 및 토양기본지침’은 회원국들을 위해 토양을 더 잘 감시하고 보호하는 체제를 제공할 것이며, 이는 탄소흡수 효과 및 유기물 함량에 대해 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

그 외 토양탄소고정에 대해 EU의 입장이 약화될 수 있다는 몇몇 징후가 있다. 첫째로 흡수 활동을 포함시키면 온실가스 배출량 감축을 달성하는 비용을 줄일 수 있게 된다는 점이다. 둘째로 다른 격리방법(재조림 및 지리적인 격리를 포함)은 기후정책 분야에서 지난 몇 년 동안 힘을 받아왔다. 더욱이 토양탄소고정 프로젝트가 CDM에서는 합법적이지는 않지만 몇몇 부상하고 있는 자발적인 계획은 이 카테고리에서 상쇄 거래를 지원해 주고 있다. ‘시카고 기후거래소’(CCX)가 그 예로 자가 통제적이고, 자발적이며, 법적 구속력이 있는, 거래 가능한 탄소 교환 프로그램으로 농업 및 산림 상쇄 프로젝트에 대한 배출량 감축 크레딧을 할당하고 있다(Rice 등, 2007).

교토의정서의 몇몇 당사국들은 기후변화를 완화시키는 데 있어서 토지사용, 토지사용변화 및 산림의 역할을 재평가하기 위해 교토 조약의⁴¹ 향후 검토에 대해 논쟁을 하였다. EU, 노르웨이, 뉴질랜드 등은 교토의정서 검토에 ① 유연성이 있는 교토메커니즘에 의거한 토지사용변화의 역할을 재조명, ② 대기에서 이산화탄소를 제거하는 흡수장치 혹은 토지사용변화와 관련된 방법론 재평가 등을 포함해야 한다고 강조하였다(Buchner 등, 2007).

토양의 탄소고정은 무한하고 이는 흡수 포화와 관련된다(Watson 등, 2000). 흡수 포화에 필요한 시간이 매우 다양하지만 유럽의 경우 토지 사용 후 토양이 새로운 평형상태에 이르기 위한 기간은 약 100년으로 추정되었다(Smith, 2000). 더욱이 탄소고정 활동은 흡수가 포화에 이른 후에도 유지될 필요가 있다. 그렇지 않으면 축적된 탄소는 누적된 비율보다 더 급속한 비율로 상실된다. 이와 같이 탄소고정 정책은 장기간의 노력, 적절한 영구적인 관리체제를 요구한다.

41 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 9조는 교토의정서의 정기적인 검토를 요구한다.

2.3. 농업의 바이오에너지

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 같은 채종유 작물 등을 들 수 있다. 또한 농업부문 바이오에너지원으로 볏짚 활용과 가축분뇨의 바이오가스 생산 등을 촉진하기 위한 프로그램이 개발되어 활용되고 있다. 바이오에너지의 생성에 기여한, 단기 윤작 관목숲(SRC)과 유칼립투스(Eucalyptus)와 같은 비식용작물의 재배는, 최근에 더욱 활성화되었다. 2005년, EU-25내 약 360만 ha의 농지는 열, 전력, 그리고 액체 바이오연료의 생성을 위한 공급 원료의 생산에 배정되었다.⁴² 토지의 대부분은 생물디젤유(83%)를 얻기 위한 채종유 작물의 생산에 사용되었으며, 생물에탄올 생산을 위한 밀과 사탕비트의 경우 11%, 바이오가스 생산을 위한 옥수수에는 4%, 단기 윤작 산림의 경우 2%를 차지하고 있다(Cooper 등, 2007).

유럽은 생물디젤유의 주요 생산지로 세계 생산량의 90%를 차지한다(JNCC, 2007). 생물디젤유 생산량은 1994~2005년 사이 20배 이상 증가하였으며, 2005년 총 재생가능에너지 생산의 3.1%를 차지하였다(EEA, 2006). 2006년 약 1,700만 톤의 유채씨는 EU에서 생산되었는데, 그 대부분은 독일, 영국, 프랑스, 폴란드와 체코공화국 등 5개 회원국에서 재배되었다(Ollier, 2006). 이 중 60~70%는 액체 바이오연료에 유채씨 오일 메틸에스테르(RME)를 제공하는 원료로 사용되었다. 생물디젤유는 향후 지속적으로 수요가 증가할 것으로 예상됨에 따라 생산량은 2010~2015년에 2,000만 톤으로 증가할 것으로 예상된다.

2007년 3월, 유럽평의회는 에너지 패키지를 승인하였는데, 총 에너지 혼합량 중 재생가능자원에 대해 의무적 목표량(20%)을 도입하는 것을 포함하였다. 그 외, 수송부문에서는 바이오연료 이용에 대한 최저 의무목표량⁴³을 설정하였다.

2007년 7월, 브뤼셀에서 개최된 국제바이오연료 회의에서, EU 환경감독관

42 에너지작물을 재배하는 농민에 대한 지원은 EAFRD 규정1698/2005(2007-2013)에 의거하여 제공된다. 정착 교부금의 50%까지 영구작물에 이용할 수 있고, ha당 45유로를 지원한다.

43 2020년까지 바이오연료의 비율을 석유 및 디젤유 총 소비량의 10%로 설정함.

Dimas)은 바이오연료에 대한 EU목표(10%)를 달성하기 위해서는 ① 지속가능성, ② 차세대 바이오연료의 이용가능성을 강조하였다. Dimas 감독관에 따르면, 이들 두 조건을 염두에 두지 않고서는 구속력 있는 목표는 적용되지 않으며, 달성되지도 않을 것이다.

바이오연료 목표에 부합하기 위해 EU 수준에서 두 가지 상이한 접근방법이 부상하고 있다. 하나는 현재 이용 가능한 기술로 충족되고 있는 바이오연료(식품 안전 및 환경보호관례가 적용되는 것을 조건으로 개발국의 수입에 의존함⁴⁴)에 대한 EU 수요의 가능성과 관련되고, 다른 하나는 이 목표를 달성시킬 지속 가능성 체제와 함께 차세대 바이오연료를 위한 추진력이 필수적임을 주장하고 있다.

두 번째 방법의 지지자들은 1세대 바이오연료의 경우 작물 생산과 전환 과정에서 화석연료에너지의 투입요소가 높으며, 바이오연료 공급 원료의 생산이 토지(바이오자원 및 토양)의 탄소 흡수의 고갈과 비옥화된 토양에서 아산화질소의 방출을 초래한다고 주장하고 있다. 따라서 온실가스 감축은 오히려 제한될 것이다. 그 외, 바이오에너지 작물의 생산 증가는 지구의 생물다양성과 서식지를 파괴할 수 있다.⁴⁵

2세대 바이오연료의 온실가스 저감 잠재량은 기존의 가솔린과 비교하여 70~90% 감축을 제시한 점이 특징적이다(IEA, 2004; JNCC, 2007). 대조적으로 EU에서 재배된 유채씨와 해바라기씨에서 생물디젤유의 전통적인 생산은 화석 디젤과 비교하면 약 50%의 온실가스 배출을 감축시킨다(Schroder와 Weiske, 2006). 그러나 최근의 연구결과에 따르면, 공급 원료와 재배관행, 생산과정, 에너지 생산에서 작물의 사용 여부의 상이한 결합에 따라 기존에 생산된 바이오연료의 온실가스 절감에 상당한 변화가 있다(Cooper 등, 2007).

44 EU가 수입 없이 단독으로 목표에 이를 수 있는지에 대한 모순된 의견을 찾을 수 있다. Dimas 감독관과 스웨덴 왕국의 무역장관인 Sten Tolfors에 따르면 이는 그렇지 않다. 행정관 Piebalgs는 한편 생물자원을 위한 사용 중지되고 방치된 토지를 국내에서 활용하여 10% 목표를 달성하는 것이 EU의 접근방법은 아니지만 기술적으로 가능할 것으로 생각한다(농산물의 경우 가격의 몇 %가 약간 상승함). 이 점에서, 유럽바이오에탄올협회장인 Ramon de Miguel는 유럽이 자족할 수 있으며 식품 안전성을 위태롭게 하지 않고 10% 목표량에 이를 수 있다고 확인한다.

45 참조: Rosenthal(2007), BirdLife International(2006) and Wetlands International(2006)

2.4. 온실가스 감축을 위한 유기농업

유기농업에서 화석연료의 사용이 ha당, 그리고 작물단위당 전통 농업에서보다 더 낮음을 보여준 연구도 있다. 그러나 전통농업과 유기농업 사이에 온실가스 배출량을 비교한 연구가 발표된 것은 별로 없다. 기존의 연구는 낙농, 곡류, 과일 및 채소 등의 부문 혹은 국가에 한정되는 경향이 있으므로 이 분야에서 향후 과업에 대한 필요성을 강조하고 있다.

기후변화에 대비한 유기농업의 장점은 비료제조 및 사용의 결과로 인해 발생하는 질소 산화물 등 온실가스 배출 주요 원천인 무기 비료를 사용하지 않는다는 점이다. 스위스에서 실시된 한 연구는 ha 기준으로 유기 체제에서 온실가스 배출량은 광물비료체제에서보다 32% 낮으며, 전통 분뇨에 기초한 체제에서보다 35~37% 낮음을 보여 주었다. 또한 평균적으로 토양 비옥화 및 부식토함량에 제공하는 촉진제를 통해서 유기농업은 광물비료체제보다 토양에 12~15% 더 많은 이산화탄소를 환원시키는 것으로 드러났다.⁴⁶ 그러나 기계, 연료 및 전력 사용 등 농장에 투입되는 요소에 있어서는 유기 생산체제와 무기생산체제 사이에 유의한 차이는 없다. 유기 작물이 ha당 더 낮은 수확량을 가져오는 경우에 이들 작물들은 생산량 톤당 더 많은 온실가스 배출을 초래할 것이다. 장수하는 점 외에도 더디게 성장하는 가축들은 에너지를 더 많이 소비할 것이고 메탄가스를 더 많이 생성할 것이다. 이는 곡류가 메탄을 더 많이 발생시킨다기보다는 가축이 초목으로 사육되기 때문에 급식(장내발효과정 중 메탄 발생)과 관계가 있다.

유기식품 및 농업에 대한 유럽 실행계획[COM(2004)415]은 온실가스 혹은 기후변화를 언급하지는 않으며, 위원회 참모들은 이에 동반되는 문서 작업을 하지 않고 있다.

46 Fliessbach A, 2007, 설명회 요약 ‘기후변화에서 유기농업의 역할’ 출처: Biofach Congress, 2007, 기후변화 및 유기농업 워크숍.

2.5. 청정개발체제에 의거한 농업프로젝트 활동의 EU 개입

2002~2006년 CDM 거래 물량은 920 MtCO₂e으로 거래규모는 약 80억 달러로 추정되었다(Capoor 등, 2007). HFC-23 감축과 N₂O 파괴는 시장 규모의 절반 이상을 차지한 반면, 재생가능에너지 및 에너지 효율성거래는 같은 기간에 걸쳐서 CDM의 약 21%를 차지하였다.

2006년 CDM 시장에서 유럽의 바이어들에 의해 거래된 규모는 전체 물량의 86% 수준으로 2005년 50% 수준에서 큰 폭으로 상승하였다. 이는 2006년 일본의 CDM 구매(시장점유율의 7%)가 현격하게 감소하였기 때문이다.

지금까지 CDM 프로젝트는 대개 공업 부문에 한정되었던 반면, 농업분야의 CDM 사업은 아직 활발하게 이루어지지 않고 있다. 농업분야의 CDM 적용 분야로는 장내발효의 감소⁴⁷, 가축 분뇨 관리 개선, 농약 투입요소 사용의 개선/감소(예: 비료, 살충제, 제초제), 벼 재배에서 관리 개선, 바이오가스 생산 플랜트 등을 들 수 있다.

가축의 온실가스 배출의 두 가지 주요 원천은 ① 소화과정에서, ② 가축의 분뇨로 반추가축의 소화계에서 식품의 장내발효로 메탄이 생성되고, 가축분뇨로부터 메탄가스와 아산화질소가 발생한다. 장내발효를 줄이기 위한 대안은 주로 가축수의 감축(혹은 생산성 혹은 가축의 개선), 반추위가축 발효 효율성 개선 등이 있다. 첫 번째 안이 CDM의 범위 밖에 있는 반면, 반추위가축 발효 효율성의 개선은 CDM에 의거한 적법한 활동이며 급식 및 기타 영양물질을 통해 이를 수 있다(예를 들어 섭취수준, 급식전략 등). 장내 메탄 감소 전략을 이행하는 데는 많은 장애요소가 있다. 첫째, 이 프로젝트 활동을 이행하고 온실가스 배출량 감축을 감시하기 위한 소규모 농민들을 평가하는 일은 어려운 과업이다. 둘째로 현장 시험 및 기술의 적절한 사용은 R&D 노력을 요할 수 있고, 이는 거래 비용을 증가시킨다. 또한 농민들은 보통 특정한 급식 유형에 투자할

47 장내발효는 가축의 장에서 다당류와 기타 공급원료의 무기 발효를 말한다. 메탄은 이 발효과정의 폐기물로서 생성된다(Sirohi 등, 2004).

재정적인 입장에 있지 않다(Sirohi 등, 2004). 더욱이 전체적인 가축 생산 체제에서 온실가스 기체의 균형을 결정하고, 장내발효에 의한 가스 감소를 측정하기 위한 표준화된 방법론을 수립하는 일은 상당한 불확실성을 포함한다.

최근 가축분뇨(돼지분뇨) 처리시스템 개선 프로젝트가 관심을 끌고 있다. 분뇨 처리 시스템을 통해서 탄소크레딧이 발생될 수 있으며, 이는 ① 메탄 회수/활용으로 혐기성 처리, ② 분뇨의 소각, ③ 가축 분뇨의 호기성 처리(부식 퇴비로 만드는 일) 등을 포함한다. 이 프로젝트 활동은 일반적인 관행과 비교하여 메탄가스와 아산화질소를 감축시키므로, CDM에 의거하여 적합하다. 농축산부문의 CDM 사업 활성화와 관련 소규모 CDM 방법론(ACM0010) 적용을 위해 각 분야별 표준화된 방법 개발을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁴⁸

위에 언급한 분뇨처리시스템 중에서, 특히 농, 산업의 폐기물(가축)관리 및 재생가능에너지(바이오가스)로의 전환을 위한 무기 소화과정에 강조를 두었다. 이 카테고리에 속하는 프로젝트에 대해서, 대규모 바이오가스 공장의 실현 가능성을 평가할 때 경제적인 요소를 고려하여야 한다. 예를 들어, 프로젝트 개발자들은 바이오가스의 경제적 가치(예를 들어, 바이오가스 혹은 연료 비용절약에서 야기된 전력에 대한 관세와 그리드에 대한 접근), 유기 비료로서 바이오가스 잔존물의 시장가치, 바이오가스 집중화공장의 경우 수송거리, 분뇨의 장기 공급의 안전성 등을 고려하여야 한다(Azizova 등, 2007). 지금까지 이 카테고리에 속해 승인된 CDM 프로젝트는 주로 남미, 필리핀, 인도 등에서 찾아볼 수 있다.

현재 EU에서 CDM 사업으로 개발된 프로젝트는 약 2,551개가 있는데, 이 중 농업부문과 관련된 사업은 6.9%를 차지하는 177개에 달한다. 이들 프로젝트는 2012년까지 44,294,000 CER를 산출할 것으로 추산되는데, 이는 총 프로젝트 크레딧의 2%에 해당한다(Fenhann, 2007).

48 CDM 이사회에서 승인된 베이스라인 방법론(Approved consolidated baseline methodology)인 ACM 0010은 가축분뇨시설의 온실가스 배출량 감축에 적용되는 단계적인 지침을 제시하고 있다.

표 2-2. 주요국의 등록된 CDM 프로젝트 수

주관국	프로젝트 수	2012 kCERs
브라질	40	13146
칠레	7	9519
에콰도르	3	239
멕시코	107	19340
인도	1	96
인도네시아	1	1065
필리핀	16	456
아르메니아	1	377
이스라엘	1	56
전 세계	177	44294

농업분야의 CDM 사업은 10개의 승인된 바이어가 94개 사업을 본격적으로 추진하고 있다. 그러나 CDM 프로젝트를 통한 온실가스 탄소 배출 감축에 있어서 농업부문의 역할은 전체 배출에서의 역할과 비교하여 아주 작은 것으로 결론지을 수 있다.

표 2-3. 농업부문의 승인된 CDM 바이어

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

2.6. 결론

EU 농업부문의 온실가스 배출량은 1990년 이후 꾸준히 감소하였으며, 서유럽은 2020년까지 농업부문의 배출량이 감소할 것으로 예상되는 세계에서 유일한 지역이다. 이러한 감소세는 기술과 정책 조치의 결합에 기인한 것으로, 일부는 공동농업정책(CAP)에 수록되어 있다. 더욱이 채택된 몇몇 기후정책 및 비기후 정책(예를 들어 공기 및 수질 수준의 개선)은 농업에서 온실가스 배출량을 경감시키는 데 직·간접적인 영향을 미치는 것으로 생각된다.

농업부문은 온실가스 배출량의 중요한 원천인 동시에 기후변화를 완화시키는 데 중요한 역할을 수행할 수 있다. 여기서는 토양 탄소고정 및 바이오에너지 생산에 초점을 맞추었으며, 유기농업과 CDM의 역할을 언급하였다. 주로 온실가스 배출 감축정책에 초점을 두었던 토양 흡수장치의 개발은 EU에서 아직 진전되지는 않았다. 토양 탄소고정정책은 장기간의 노력과 적절한 관리체제를 요하며, 그 적용은 토지 관리 및 사용에서 향후 추세에 대한 함축적인 의미를 지닌다. 대신 바이오에너지 생산은 최근 많은 관심을 얻고 있으며, 바이오연료에 대한 구속력이 있는 최저의무목표량 설정은 위원회의 최근 에너지 패키지의 승인으로 인하여 EU에서 논쟁의 최전선에 있다. 여기서 강조한 대로, 1세대 바이오연료의 사용은 온실가스 배출 감축을 위한 만병통치약이 아니며, 지구 생물 다양성과 토지 사용에 대하여 악영향을 미칠 수도 있다.⁴⁹

유기농업은 여러 이유로 EU에서 증진되었는데, 유럽에서 기후에 제한된 정책의 대상은 아니다. 온실가스 배출량 감축에 장점들을 보여주는 연구도 있지만, 이들은 범위에 있어 다소 제한적이다. 농업부문 CDM 프로젝트에서 유럽이 개입한 것에 대한 조사를 보면 다른 바이어들보다 더욱 적극적이지만 이 부문은 여전히 전체 포트폴리오의 작은 부분을 구성한다. 개발과정에서 2,500개 이상의 CDM 프로젝트 중에서 유일한 농업 프로젝트는 유럽 정부(덴마크)의 직접적인 후원을 받고 있다.

49 ‘바이오연료 진행보고서’ 참조(European Commission, 2006).

3. 국가별 사례연구

3.1. 덴마크 사례연구

3.1.1. 머리말

교토의정서와 EU 부담공유약정에 의거, 덴마크는 2008~2012년 기간에 연간 평균 온실가스 배출량을 기준연도인 1990년 대비 21%나 감축하기로 공약하였다.

덴마크의 교토의정서 이행은 기후에 대한 덴마크의 향후 노력에 대한 틀을 수립한 국가적인 ‘기후전략’(2003)을 통해 실시되고 있다. ‘UNFCCC에 대한 덴마크의 제4 국가 문서’는 국가의 온실가스 배출량을 감축하기 위해서 지금까지 이행되었던 대책을 요약한 것이다.

가. 덴마크 농업의 배경

덴마크의 농업은 가축 생산, 특히 돼지와 가금류 중심으로 곡류 생산의 대부분은 가축의 사료와 관련된다. 지난 40년에 걸쳐서, 덴마크에서 농업 면적은 1960년 총면적의 72%(30,900km²)에서 2003년 62.5%(26,578km²)로 감소되었다(EPA, 2005). 농경지 비율은 1970~1990년 동안 상당히 감소되었지만, 1990년대에는 낙농업을 위한 목초지 증가와 EU 교부금 체제의⁵⁰ 변화로 인하여 상당히 상승하였다. 1980년부터 2003년까지 농장의 수는 11만 9,115개에서 4만 8,613개로 감소한 반면, 같은 기간 농장의 평균 경작규모는 24ha에서 54ha로 증가하였다. 이러한 현상은 주요 고용원으로서 농업의 중요성을 저하시켰다. 그러나 같은 기간에 농업생산량은 양과 가치에 있어서 증가하였으며, 농업 수출은 여전히 덴마크 총 수출량의 큰 비율(11%)을 차지한다.

50 초목 혹은 산업종자가 사용 중지된 토지에서 재배되어야 함.

나. 농업의 온실가스 배출량의 기여도

2003년 온실가스 총배출량 가운데 농업부문이 약 17%를 차지하며, 이 중에서 약 80%는 메탄가스와 아산화질소로 구성되며 20%는 이산화탄소로 구성되어 있다(EPA, 2005). 메탄가스 배출량의 대부분은 농업부문에서 발생하며 2003년 17만 6,000톤에 달하며 이는 3.7 MtCO₂eq에 해당한다. 메탄은 농장 동물에서 장내 발효와 가축분뇨에서 탄수화물의 전환을 통해 발생하는데 주로 젖소 사육과정에서 발생한다. 또한 농업은 아산화질소의 최대 배출원으로 2003년 아산화질소 총 배출량(2만 6,000톤)의 77%를 차지하며, 이는 분뇨와 용해된 질소에서 발생하였다.

3.1.2. 온실가스 배출 감축을 위한 농업부문의 대책

농업부문에서 온실가스 배출에 영향을 미쳤거나 미칠 것으로 생각되는 대책은 다음과 같다.

- 1) 농경지 부산물 소각 금지
- 2) 수생환경에 대한 실행계획 I과 II 및 지속 가능한 농업에 대한 실행계획
- 3) 수생환경에 대한 실행계획 III
- 4) 합동 바이오가스 공장과 후속 추적 프로그램에 대한 실행계획을 포함한 재생가능에너지 정책

이들 대책은 기원이 다양하며, 온실가스 배출량과 직접 관련이 없는 우선순위 목적을 갖고 있지만, 배출량에 간접적인 영향을 미친다. 다른 유럽 국가와 비교하여, 덴마크 정부는 이례적으로 환경오염, 특히 강의 부영양화와 해안 오염으로 인한 여러 문제를 경험하였기 때문에 수질 오염에 주의를 기울여왔다.

가. 농경지 부산물의 소각 금지(1989)

농경지 부산물의 소각 금지는 1989년에 환경보호법에 의거하여 법령의 형태

로 농경지에서의 밀짚 등 농산 부산물의 소각을 금지하고 있는데, 이는 메탄과 아산화질소 발생을 방지하기 위해서 도입되었고 그 준수성은 지역 당국에서 감시하고 있다. 이 조치는 토양에 더 큰 탄소 환원 및 연료로서 부산물의 사용을 증가시켜 이산화탄소 배출량의 순 감소를 가져왔다. 그러나 아산화질소는 부산물을 갈 때 토양에 질소의 환원과 관련하여 생성된다(EPA, 2005).

나. 수생환경에 대한 실행계획 I (1987)

이 계획은 덴마크 수생환경 악화를 방지하기 위해 의회에서 도입한 것으로 1993년까지 질소(50% 감축)와 인(80% 감축)의 총 배출량을 설정하였다. 이들 목표를 달성하기 위해 이행한 대책은 개별 농가 중심으로, 최소 9개월의 저장 용량을 갖는 가축분뇨 슬러리 탱크의 설치와 비료 살포계획 수립 등을 의무화 하였다.

다. 지속 가능한 농업에 대한 실행계획(1991)

지속 가능한 농업에 대한 실행계획은 수생환경 실행계획 I 에도 불구하고 질소 감축을 위한 농업의 관행이 변화하지 않음에 따라 의회가 주도한 것으로 수생환경의 질소 감축을 위한 목표는 유지하고 목표의 준수성을 2000년까지 연장하였다. 이 계획은 1994년부터 단계별로 이행될 비료 및 분뇨의 실제 사용에 대한 제한을 규정하였으며, 질소 할당량 체제와 유기분뇨의 질소 사용에 대한 요건을 포함하였다.

라. 수생환경에 대한 조치 계획 II(1998)

1998년 실행계획의 평가서는 질소 용해의 감축이 연간 10톤의 질소 목표량을 달성하지 못해 1998년 의회는 수생환경에 두 번째 조치 계획을 채택하였다. 이 계획의 목표는 2003년까지 감축 목표를 달성하는 것으로 세가지 정책 수단, 즉 비료와 유기분뇨의 사용에 대한 제한, 가축 사료 사용의 개선, 그리고 농경지의 대안적인 활용 등을 포함하였다. 이들 대책은 아래 입법안과 함께 도입되었다.

- 가축밀도 강화 요건
- 작물의 질소 기준을 경제적 적정량보다 10% 아래로 설정
- 가축 분뇨에서 질소 이용요건의 강화
- 추가 어획작물의 이용

이들 실행계획의 결과로, 덴마크에서 무기 비료 사용의 꾸준한 감소가 있었다. 예를 들어 1985~200년의 기간 동안 비료의 사용은 37%나 감소하였고 (Grant와 Blicher-Mathiesen, 2004), 연간 10만 톤까지 질소 용해를 감축시키려는 목표가 달성되었다(EPA, 2005).

온실가스 배출에 있어서 이들 실행계획은 특히 아산화질소 배출을 상당히 감축시켰는데, 연간 220만 톤 CO₂eq으로 산정된다(EPA, 2005). 또한 바이오가스 공장에서 메탄 배출량 감소하였으며, 어획물의 사용 증가, 유기농업의 면적 확대, 습지의 재정착 등의 영향이 산정된 적은 없었지만 토양에서 탄소고정의 증가를 초래할 것으로 예상된다.

질소 배출량의 감축 목표를 달성하였지만 그 과정은 느리고 어려웠으며, 목표 달성 기간은 1993년에서 2003년까지 연장되어야 했다. 수생환경에 대한 실행계획 I 과 지속 가능한 농업에 대한 실행계획의 제한적인 성공은 부적합한 대책, 농민들의 더딘 이행, 그리고 정치적 의지의 부족 등으로 인해 발생한 것이었다(Grant와 Blicher-Mathiesen, 2004).

마. 수생환경에 대한 실행계획 III(2004)

수생환경의 실행계획 III은 이전 계획의 결과를 바탕으로 진행된 것으로 이 계획은 질소 및 인 배출량과 토지에 대한 관리 목표를 포함한다. EU 수자원 체제 지침과 EU 서식지 지침의 이행과 밀접하게 관련되었으며, 10년간 (2005~2015) 약정되어 있다. 이 계획의 관련 요소는 다음과 같다.

- 2003년과 비교하여 2015년까지 질소 용해를 최저 13%까지 감축
- 취약한 자연 토지의 보호
- 유기농업의 강화

이 조치 계획의 영향은 2008~2012년까지 20만 톤의 CO₂ 상당량을 감축시킬 것으로 추산된다.

바. 암모니아 실행계획(2001)

축산업은 암모니아 배출의 주요 원천으로, 암모니아가 발산되면 아산화질소를 생성한다. 암모니아 실행계획은 2001년 채택되었으며, 수생 환경에 대한 실행계획과 함께, 암모니아 배출량을 연간 1.5~2만 톤을 감축시키는 것으로 목표를 설정하였다. 암모니아 실행계획에 포함된 대책은 다음과 같다.

- 축산분뇨 처리의 적정화
- 퇴비·액비 저장시설 관리
- 슬러지 용기의 덮개 활용의무화
- 액비 살포 후 토양 덮기
- 밧짚 암모니아 처리 금지

이러한 조치들은 2010년까지 34,000톤의 이산화탄소 상당량에 해당하는 아산화질소 감축을 가져올 것으로 추산된다.

사. 방풍림

경지 사이에 방풍림을 심는 것은 방풍림을 식수하고 생물생활권을 개선하는 조치에 대한 교부금 법령에 의해 지지된다(법령 번호 1101 of 12/12/2002). 방풍림 지원은 EU 농업 지역 프로그램에 의거하여 부분적인 EU 기금지원으로 농민들에게 제공된다. 1960년대 말 이후, 정부의 보조금으로 인하여 방풍림이 조성되었으며, 방풍림 중 30% 이상은 보조금 없이 이루어진 것이다. 이러한 조림은 연간 약 13,000 CO₂톤의 이산화탄소를 격리할 수 있을 것이라 추정된다.

아. 유기농업

수생환경을 위한 실행계획 III에 의거, 유기농업의 강화 및 비료 감축에 대한 정책이 정착되었다. 이 계획은 기후변화목표와 직접 연결되지 않았지만 이 계

획의 전반적인 영향은 2008~2012년까지 약 20만 CO₂톤을 감축할 수 있을 것이라 예상된다.

3.1.3. 덴마크 에너지 정책

덴마크 정부는 2007년 1월 19일 에너지 정책 제안 ‘2025년의 덴마크 에너지 정책의 구상’에서 에너지의 공급 안정, 환경적인 영향 및 경쟁력의 확보를 위한 비용 효과적 달성 제안을 제시하였다. 재생가능에너지원의 장려는 이러한 비전의 중요한 부분으로 현재 덴마크에서 사용되고 있는 재생가능에너지의 주요 원천은 풍력과 바이오자원이다. 정부는 다음과 같이 2025년까지의 목표를 설정하였다.

- 1) 2007년과 비교하여 화석연료의 사용에 있어 최저 15% 감축
- 2) 재생가능에너지의 점유율을 2025년까지 에너지 소비량의 30%까지 증가
- 3) 2010년부터 연간 에너지기술의 R&D 공공기금 확보(DKK 10억)

덴마크는 EU에서 가장 에너지 효율적인 국가로서 1972년 이후 GDP가 두 배 이상 증가함에도 불구하고 에너지 소비는 같은 기간에 일정하였다(덴마크 에너지당국, 2007). 정부는 이를 유지하기 위해 2025년까지 에너지 소비증가제로 목표를 설정하였다. ‘에너지정책 구상’에서 제기된 대책 가운데, 관련된 사항은 다음과 같다.

- 1) 화석연료소비와 메탄가스 배출량 감축을 위한 바이오가스 사용 확대
- 2) 통합 전력 및 열 생산에서 바이오연료의 사용 확대
- 3) 2020년까지 수송부문에 사용되는 바이오연료의 비율을 10%까지 확대

가. 바이오에너지

1980년 이후 에너지공급의 바이오자원 점유율은 세 배 이상 증가하여 2005년 재생가능에너지는 덴마크의 총 에너지공급 중 16%를 공급하였다. 이 중 태양열, 풍력, 유기폐기물이 각각 3%, 바이오자원이 7%를 공급하였다. 2005년

전체 전력공급 중 29%는 재생가능자원에서 비롯된 것으로 풍력이 19%, 바이오자원이 6%, 유기폐기물이 4%를 공급하였다(Hasselager, 2007). 덴마크에너지 당국의 비전에 따르면 2025년도 전력공급에 대한 재생가능자원의 기여도는 36% 이상에 이를 것이다(덴마크 수송부문 및 에너지부서, 2007).

바이오자원은 현재 재생에너지 소비의 약 70%를 차지하는데, 대부분 짚, 목재 및 폐기물 등의 형태이다. 이는 폐열발전소, 지역 열 발전소, 가정 난방, 기업과 기관을 위한 작은 규모의 시설에서 활용되고 있다.

정부는 보조금을 통하여 에너지원으로서 바이오자원 이용을 지원하고 있다. 예를 들어 중앙처리 발전소에서 바이오자원의 이용 시 보조금을 지원하고 있으며, 시장가격과 결합하여, 10년의 기간 동안 40 øre/kWh⁵¹의 관세를 확보해 준다. 보조금은 또한 분권화된 통합 열발전소(CHP)에서 발생된 전력에 이용 가능하다. 이 보조금은 연료형태 및 발전소의 규모 및 연령에 좌우되며, 다음과 같다.

- 풍력과는 별도로 재생에너지를 사용하는 발전소 기금
- 전력공급시설에서 재정지원을 받은 바이오자원소각로
- 다른 연료와 결합하여 재생에너지를 사용하는 발전소 보조금

덴마크에서 에너지공급 중 바이오자원의 비중이 높은 이유는 1993년 바이오자원협정으로 통합 열 발전소에서 짚 혹은 목재 칩의 형태로 최소량의 바이오자원을 활용할 것을 요구하고 있기 때문이다. 2000년 3월 바이오자원 약정의 향후 개발을 위한 새로운 안건이 작성되었는데 그 결과, 에너지 공급을 위한 짚의 사용은 1990년 72만 톤에서 2002년에 120만 톤으로 증가하였다.

나. 바이오가스

덴마크에서의 분뇨 및 유기 폐기물처리를 위한 바이오가스 공장 활용도는 비교적 높은 편으로 2002년 중앙처리 바이오가스 공장 20개, 농장규모 공장 35

51 100 øre = 1 krone

개에서 약 2.6PJ 재생에너지를 생산하고 있으며, 전체 분뇨의 3%를 처리하고 있다.

1980년대 최초의 지방 바이오가스 공장이 덴마크에서 설립되었다. 이들 공장에 대한 기본 개념은 중심부에 위치한 바이오가스 공장으로서, 많은 농민들이 여기에서 생산한 유기퇴비를 이용하고, 발생된 바이오가스는 지역 사회의 건물에 열과 전력을 공급하기 위해 통합 열 전력 시설에서 전환되고 분해된 분뇨는 다시 농장으로 운반되어 비료로 사용된다.

1980년대 중반 덴마크 정부는 분권화된 CHP 공장의 건설을 촉구하기 시작하였으며, 천연 가스를 이용할 수 없는 경우에 바이오자원에 의한 공급을 선호하였다. 원유(Oil)는 세금을 징수하고 재생에너지와 천연가스는 감면시키기 위한 새로운 세제가 제정된 것은 바이오가스 에너지가 많은 다른 유럽 각국에서 더욱 경쟁적이 되었음을 의미한 것이다.

중앙처리 바이오가스 공장 조직구성에 농민들의 참여는 농업의 질소 용해를 감축하는 주요 목표를 포함하고 ha당 최대 질소 투입량을 규정하였던 1987년의 수생환경을 위한 실행계획으로 촉진되었다. 이는 덴마크 여러 지역에서 농민들이 잉여 분뇨에 직면하였고 바이오가스 공장이 이 잉여분을 제거하기 위한 수단을 제공하였음을 의미한 것이다.

1988년 덴마크 에너지 당국, EPA, 농무부는 바이오가스 공장의 건설 및 감시, 정보활동 및 연구 개발에 초점을 두기 위해 바이오가스 조치 프로그램을 착수하였다. 이 프로그램에 의거, 중앙처리 바이오가스 공장의 경우 최고 40%의 투자 교부금이 지원되었다. 이 프로그램은 1988~2002년 동안 실행되어 매년 1~2개의 중앙처리 공장이 설치되었고 2000년까지 20개가 설치되었다. Raven과 Gregersen(2007)는 1980~1990년대 덴마크에서 중앙처리 바이오가스 공장의 성공적인 개발의 세 가지 이유를 지적하고 있다.

- 1) 농민, 연구원, 바이오가스 공장기업 및 공공 당국 사이의 상호작용을 촉진
 - 바이오가스 공장 개발에 관련된 광범위한 사회 네트워크 수립
 - 바이오가스 공장 사이에 혁신조치가 쉽게 이전될 수 있음을 의미
- 2) 모든 바이오가스 공장은 분뇨의 분해를 유기폐기물의 분해와 결합

- 대부분의 공장에서 유기폐기물은 최고 20%까지 첨가되는데, 이는 바이오가스 생산량을 증가시킴.
- 그 외 바이오가스공장은 폐기물을 처리하고 경제적 실용성을 향상하기 위한 수수료를 받음.

3) 농업 협동조합의 발전

- 조합은 농민들을 위한 수송부문 및 유통을 담당하고, 정부 융자금의 지원을 받았으며 산업폐기물을 받기 위한 수수료뿐만 아니라 에너지판매액에서 소득을 얻음.
- 이로써 농민들은 돈을 지불하지 않고도 분뇨를 처리할 수 있게 되었으며, 바이오가스 공장에 원료를 공급하는 데 소규모농민들이 참여하는 것이 가능하게 됨.

그러나 이러한 최초의 성공에도 불구하고, 덴마크에서 중앙처리 바이오가스 공장의 설치는 1998년 이후 중단되었는데 이는 에너지 정책에 대한 불확실성과 유기폐기물의 이용가능성 감소와 에너지 및 환경 정책의 변화에 기인한 것으로, 바이오가스 조차프로그램은 2002년에 종료되었다. 따라서 현재의 상황은 지난 1980년대 말과 1990년 초반보다 훨씬 덜 유리하게 되었다. 그러나 1990년대, 농장규모의 바이오가스 공장의 개념이 나타났다. 이는 1998년의 수생환경에 대한 실행계획의 지원을 받은 것으로, 정부는 농장규모 바이오가스 공장에 투자 목적으로 교부금을 이용할 수 있게 되었다.

요약하면, 덴마크에서 바이오가스 공장의 개발은 바이오가스에 대한 시장이 공급되었다는 사실로 유리하게 되었다. 예를 들어 지역난방은 덴마크에서 보편적이고 바이오가스의 열은 에너지 세금이 적용되지 않기 때문에 바이오가스에서 발생하는 열은 소비자들에게 매력적인 가격으로 팔릴 수 있다.

다. 열 공급

덴마크 모든 건물의 60%는 지역난방에 의해 열을 공급받는다. 지역난방은 열 발전소 혹은 통합 열전력 발전소(CHP)에서 생산되며, 둘 다 바이오자원(혹

은 천연 가스)을 이용한다. 덴마크의 250만 가구에서 약 54%는 CHP에서 열을 얻는다. 2005년에 지역 열 난방 공급에 대한 연료공급의 44.6%는 바이오자원에서 비롯되었다(17.8% 재생 폐기물을 포함).

덴마크는 EU에서 가장 비싼 폐열 발전열 및 전력 시스템을 갖추고 있다. CHP 발전소는 열과 전력을 생산하는데 열과 전력의 별도 생산과 비교할 때 사용되는 원료의 약 30%를 줄일 수 있다. 덴마크전력의 50% 이상이 열로 발전되며 덴마크에는 약 665개의 CHP 발전소가 있다. 16개의 중앙 발전소와 약 415개의 지역 발전소는 덴마크에서 공공 난방열을 공급한다. 지역의 열 발전소의 약 33%와 지방 CHP 발전소의 약 14%는 짚, 나무칩, 목재 펠릿, 바이오가스 혹은 폐기물 등을 사용하고 나머지는 천연 가스를 이용한다. 이들 CHP 발전소는 지역 당국이나 조합의 소유로 지역의 가정, 기관 및 기업의 대부분에 열을 공급한다.

3.1.4. 탄소고정 정책

산림과 관련된 지속 가능한 관리 정책의 목적은 100년 이내 덴마크 산림지역을 두 배로 증가시키는 것으로 이는 산림 탄소고정을 증가시킬 가능성이 있다. 이를 위해 농경지에 사유 조림을 지원하는 정부 보조금 계획이 수립되어, 정부와 지방도시 수준에서 조림활동이 활발하게 일어나고 있다. 또한 몇몇 조림 안건은 보조금이 없이 착수되고 있다.

2004년 산림법은 탄소고정 전략을 포함하고 있으며, 산림과 임업 개발의 필요성 및 목적에 대한 전반적인 설명을 포함하고 있다. 또한 산림의 생물학적 다양성, 목재 생산의 필요성, 임업 기업의 설명 및 임업으로 파생되는 고용 기회를 증대하기 위한 권장사항들이 포함되어 있다. 이 프로그램은 경제적 혹은 규제적 수단을 직접적으로 활용하지 않는 일반적인 지원 정책으로 2010년까지 26만 2,000 CO₂톤 감축을 달성하려는 목표를 갖고 있다. 또한 탄소 흡수 증진을 목표로 한 자발적 프로그램인 공공 조림 정책은 2010년까지 26만 2,000 CO₂톤의 감축목표를 설정하였다. 더욱이 2002년 12월 12일의 덴마크의 법령

1101은 EU의 농업지역 프로그램에서 보조금을 제공함으로써 방풍림의 조림을 지지하여 2010년까지 14만 CO₂톤을 감축할 수 있을 것으로 예상된다.

UNFCCC에 제출된 덴마크의 국가 목록 보고서(2007)에 따르면 산림지에서 연간 이산화탄소고정은 1990년 이후 점차 증가하였으며 2005년에 151Gg CO₂에 이르렀다. 연간 이산화탄소고정은 코호트와 조림 지역이 최대 증가분의 단계에 진입할 때 다음 수십 년간에 걸쳐 증가할 것으로 예상된다. 교토의정서의 제1차 공약기간(2008~2012) 동안 덴마크의 조림 활동은 1,375Gg CO₂의 고정을 가져올 것으로 예상되고, 보조금지급 외 다른 수단을 이행한다면 이산화탄소의 고정 수준은 더욱 증가할 수 있을 것이다.⁵²

3.2. 독일 사례연구

3.2.1. 머리말

EU-27 가운데 독일은 절대적인 의미에서 온실가스 최다 배출량 국가로 2003년 총 온실가스 배출량은 EU-25의 총 온실가스 배출량의 20.7%를 차지하였다. 교토의정서에 대한 유럽 부담 공유약정에 따라 독일은 2012년까지 21%에 해당하는 온실가스 감축목표를 공약하였다. 2003년 말, 약 18.5%의 감축을 달성하였는데, 이는 목표를 달성하는 데 비교적 근접하고 있음을 나타낸다. 그 외, 독일 정부는 1990년 대비 2005년까지 25%, 2012년까지 30%의 온실가스 배출량 감축을 공약하였다. 독일에서의 온실가스 배출 수준은 다음과 같은 국가적 상황에 의해 영향을 받아왔다.

- 1990년 이후 동독의 제조 부문에서 근본적인 재조정 및 근대화 발생
- 독일은 석탄 가동 전력발전소의 비중이 높은 국가로 무연탄과 갈탄의 사용

⁵² 2006에 덴마크는 특히 LULUCF 부문에서 UNFCCC에 대한 목록의 몇몇 개선작업을 실시하였으며, 처음으로 경작지, 목초지 및 습지의 광물성 토양에 대한 정보를 수록하였다.

에 대한 에너지 및 환경정책 규정은 매우 민감한 정치적인 문제임

2005년 8월 독일은 2000년 국가기후변화프로그램에서 착수된 전략의 연장으로서 2005 국가기후변화프로그램을 공표하여 EU의 배출거래제에서 적용되지 않는 부문 및 영역, 예를 들어 농업 부문의 온실가스 배출 감축대책을 강조하고 있다.

가. 독일 농업의 개요

독일의 국토면적(2004년 기준)은 약 3,208만 ha로 농업용 토지가 1,700만 ha로 53%를 차지하고, 이 중 경작지는 1,190만 ha이다. 1999년에 2ha 이상의 UAA(Utilised Agricultural Area)를 가지고 있는 농기업은 약 42만 9,000개로, 독일전체 경제활동 인구 중 농업 및 관련 부문에 종사하는 비율은 약 11% 수준이다. 농업 생산의 가장 중요한 부문은 낙농업으로 전업 농장의 약 60%는 우유 생산에서 수입을 얻고 있다.

나. 온실가스 배출량에 대한 농업의 기여

농업부문이 온실가스 총배출량의 약 6%를 차지하고, 화학비료와 축산부문으로부터 상당한 양의 메탄과 아산화질소가 배출되고 있다. 농업부문 메탄가스의 94%는 축우부문(낙농)으로부터 발생하는 것으로 나타나고 있다.

1990~2003년 농림업 부문의 온실가스 배출량은 가축사육두수 및 화학비료 사용량 감축 등으로 16.6% 감소하였으며, 이 기간 동안 메탄은 27%, 아산화질소는 16% 감축한 것으로 나타났다.

3.2.2. 농업과 관련된 기후정책 및 대책

2005년 국가기후변화프로그램에서 독일 정부는 비이산화탄소 배출의 성공적인 감축을 강조하고 있는데, 이러한 추세가 지속될 것이라는 기대를 갖고 있다. 아래 상술된 대로 독일에서 온실가스 배출량의 경감에 기여하는 농업 관련 대책들이 자리를 잡아가고 있다.

가. 생태적 토지 관리

연방 생태학적 토지 관리프로그램(Federal Ecological Land Management Programme)은 생태학적 토지 관리 및 유기농업 육성을 위해 2002년 착수되어 2003년 약 70만 ha의 농경지에서 1만 6,500개의 소작지가 이 프로그램에 의거하여 관리되고 있다.

나. 토양 관리

토양관리는 ‘연방토지보존법(Federal Soil Conservation Act)’에 따라 농업인들이 모범영농지침을 준수토록 하고 있다. 또한 ‘연방자연보존법’에 따라 토양 탄소 저장량을 확보하기 위해 목초지 경작 시 특별 관리를 적용하고 있다.

다. 농업환경 대책

독일은 광범위한 농업환경 계획을 통해 보통 5년 약정체제로 환경친화적 실천조건 준수에 따라 상호준수 직불금을 제공한다. 이 프로그램은 자발적이며 지역마다 다양하게 운영되는데 연방정부와 지역농무부의 기부금과 함께 CAP 예산을 통해 EU로부터 기금 일부를 지원받고 있다. 국가 수준에서 농업환경 계획의 기본 틀은 ‘농업 구조 개선과 해안 보호의 공동 과업’으로 연방 정부와 지역들을 결속시키고 있다. 몇 년간 정부와 지역은 농업환경계획의 재정을 지원하였는데, 그중 일부는 농업 및 대체 화석연료에서 발생한 온실가스 배출량의 감축을 초래하였다. 농업환경관리 프로그램으로 경작지 작물과 영구 작물에 대한 광범위한 생산방법 지원, 경작지의 목초지 전환, 유기농법 전환, 그리고 다년간 휴경지 유지 등을 포함한다. 2003년 연방당국 및 지방당국은 약 430만 ha 면적의 농경지를 대상으로 농업환경대책 지원을 제공하였다.

라. 농업 투자 지원

농업 투자지원 프로그램(Agricultural Investment Support Programme, AFP)은 온실가스 특별관리(예를 들어 바이오가스 설비, 유기질 비료의 보관 및 활용, 난방시

스텝 변경) 부문에 대한 재정적인 지원을 제공하고 있다.

마. 유기농업

유기농업이 독일 정부의 후원과 지지를 받지만 기후변화 완화 사이에는 특정한 연관성은 없다.

바. 농업의 재생에너지

독일에서의 재생에너지 개발 및 확충은 강조되고 있다. 2003년 바이오자원, 풍력자원, 태양자원 및 지열자원은 주요 에너지 사용 비율의 3.1%와 전력의 8%를 차지하였다. 독일은 2010년까지 재생에너지 비중을 전력 공급의 12.5%, 2020년에는 20%의 목표를 설정하고 재생에너지 활용을 위한 ‘재생에너지법’ 제정 등 적극적인 정책을 추진하고 있다. 그 외, 주요 에너지 사용에 대한 재생에너지의 기여도는 2010년까지 최소한 4.2%까지 증가할 것으로 예상되며, 향후 재생에너지의 기여도는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

2004년의 재생에너지법의 개정은 소규모 공장에서 바이오자원에서부터 전력을 발생시키기 위해 인센티브체계를 개선하여 2004년에 작동하기 시작한 발전소의 경우 11.5센트/kWh의 높은 기본 효율을, 농업 및 임업 부문, 예를 들어 농작물과 분뇨에서 바이오자원을 이용하는 전력의 생산을 위해서 2.5~6센트/kWh의 ‘작물 에너지 보너스’를 적용하였다.

그 외, 환경부에서 운영하는 재생에너지지원 시장 인센티브 프로그램(Market Incentives Programme, MAP)은 태양 집열기(solar collectors) 및 바이오자원 시설물에 대한 투자 교부금, 저이율 융자금 혹은 일부 부채상환금 등을 제공하고 있다. 이 프로그램은 생태학적 세제 개혁(ecological tax reform)⁵³ 수입에서 재정지원을 받으며 재생에너지에 투자를 증진시키기 위한 가장 중요한 수단 중 하나로서 고려되고 있다. 이 프로그램은 연간 1억 8,000만 유로의 기금지원을 받고 있다.

⁵³ 독일의 생태세 개혁은 1999년에 도입되었다. 이는 연료세의 증가분과 에너지세의 신설로 구성되었다. 생태세 개혁은 독일 산업에서 구조적 변화를 가속화시키는 것을 돕고 에너지 보존을 목적으로 계획된 것이다.

사. 바이오연료

독일에서 재생에너지에 대한 강조는 대부분 바이오연료의 사용에 집중되었다. 독일은 연료 소비에서 바이오연료의 비율에 대한 EU의 2005년도 지정목표를 달성한 유일한 국가로, 2005년에 연료 소비에서 바이오연료가 3.66%를 차지하였다. 생물디젤유의 생산은 2000년 25만 톤에서 2005년 170만 톤으로 증가하였으며, 2005년 20만 톤의 생물에탄올이 처음으로 연료 부문에서 사용되었다.

2006년 독일은 ‘바이오연료 쿼터법’을 도입하여 생물디젤유 형태의 디젤 판매에 대한 수입의 4.4%를 광물유 산업이 제공하도록 규정하였다. 가솔린에서 생물에탄올의 할당량은 1.2%인데, 2010년에 3.6%까지 증가할 것이다. 2009년부터 광물유 산업은 연료의 총 쿼터 6.25%를 바이오연료의 형태로 제공해야 하며, 2010년에는 6.75%, 2015년에는 8%까지 증대시켜야 한다.

독일은 생물디젤유에서 유럽 시장의 선도자로, 2005년에 약 195만 톤의 생물디젤을 생산하여 유럽 총 생산량(375만 톤)의 절반이 넘는다(Lededur 등, 2007). 독일에서 바이오연료 소비의 약 92%는 생물디젤유이며, 전국적으로 약 1,900개 가스기지에서 사용이 가능하다. 판매는 약 1,500만 톤에 이르기 때문에, 생물디젤유는 현재 디젤유 수요의 40% 이상을 공급한다. 독일은 75만ha의 토지에서 생물디젤 원료 작물을 생산하고 있지만 절대적으로 양이 부족해 생물디젤 생산원료 50%는 수입에 의존하고 있다.

2006년 이후 독일 정부는 공공 펌프(public pump)에서 판매되는 생물디젤유에 대해 리터당 0.09유로의 세금을 적용하였지만 농업부문의 생물디젤유는 면제된다. 이는 2012년까지 연간 0.06유로씩 증가할 것이다. 이러한 세액 증가는 판매 감소에 따른 유채씨의 수요 감소를 예상하는 농장 및 생물 디젤유협회의 반대를 받아왔다(Ledebur 등, 2007).

아. 바이오가스

재생에너지법으로 인해 독일에서 바이오가스의 사용은 상당히 증가하였다. 특

히 ‘작물에너지 보너스’는 바이오가스 생산의 상승을 초래하여 바이오가스 시설물은 1998년 600개에서 2005년 말 2,700개로 증가하였다. 바이오가스 시설의 대부분은 소규모 농장수준으로 가축 생산에서 나오는 슬러리를 이용한다.

바이오가스 공장은 분뇨의 저에너지 함량 때문에 분뇨 이외에 추가 에너지인 생물폐기물이나 재생에너지작물 등을 사용한다. 독일에서 옥수수는 대체로 바이오가스 공장에서 추가 공급 원료로 사용된다. 이는 옥수수를 재배하는 데 활용된 집약생산방법뿐만 아니라 토지 활용에 있어서 식품과 바이오에너지 작물 생산 사이의 갈등에 대한 환경적인 우려를 제기하였다.

바이오가스 생산에 사용된 공급 원료의 분석에서 Weiske(2006)는 바이오가스 공급 원료로서 약 60~70% 비율의 분뇨를 사용하면 슬러리 보관으로 인한 메탄가스 배출을 피할 수 있기 때문에 최선의 온실가스 경감 가능성을 갖고 있음을 보여 주었다. 따라서 독일에서의 ‘작물 에너지 보너스’ 같은 인센티브는 바이오가스 생산에 낮은 비율의 퇴비사용을 촉구하고 있어 비효율적일 수 있다.

3.3. 영국의 사례 연구

3.3.1. 머리말

영국은 유럽 부담공유약정에 의거하여 제1차 공약기간까지 온실가스 배출가스 배출량을 1990년 대비 12.5% 감축할 것을 공약하였다. 국제적인 공약 외에, 영국 정부는 2010년까지 기준시점 대비 20% 감축하는 별도의 자국 내 목표를 설정하였으며, 2020년까지 60% 감축의 야심적 목표를 제시하였다. 2007년 1월에 공표된 2005년의 최종 산정치는 기준연도 대비 15.6%를 감축한 것으로 발표하였다(UKCCP 연례보고서 2007).

영국의 온실가스 배출량 계획은 2010년까지 이산화탄소 배출량을 상당히 줄일 수 있음을 보여준다. 그러나 이산화탄소 배출량을 2010년까지 1990년 수준의 20% 이하로 감축하고자 하는 국내 목표를 달성하는 데 충분하지 않을 것이

다. 영국은 대내외적인 조치를 통해서 1990년 대비 2020년까지 26~32%, 2050년까지 최소한 60%의 이산화탄소 배출량 감축에 대한 법적 틀을 구성하고 있다. 이는 2020년에 402~438 MtCO₂ 사이의 배출량목표에 해당한다.

2006년 3월, 영국의 기후변화프로그램 개정안이 착수되어 국내 목표 달성을 위한 대책들이 제시되었고, 2006년 5월 UNFCCC에 4번째 국가 문서를 제출하였는데, 교토의정서에 의거하여 진행상황을 종합적으로 평가하였다. 이 보고서에서 농업부문은 저탄소 경제수단을 확보하는 데 있어서 중요한 요소로 확인되었다.

가. 영국 농업의 개요

영국의 국토면적(2004년 기준)은 2,425만 ha로 초지가 1,236만 ha로 51%, 농경지가 460만 ha로 19%, 산림이 291만 ha로 12%를 차지한다. 농업부문 관련 경제활동 인구는 전체 경제활동 인구 중 2.2%인 약 20만 명 수준으로 지난 10년간 15% 감소하였다. 영국의 주요 농업생산물은 가축(주로 양과 축우), 곡류, 낙농품 등이다.

나. 온실가스 배출량에 대한 농업의 기여

영국의 온실가스 총배출량(2004년 기준)은 1억 7,900만 CO₂톤으로 기준시점인 1990년 2억 950만 CO₂톤 대비 약 14.6% 감소한 것으로 나타났다. 농업부문의 온실가스 총배출량은 1,380만 CO₂톤으로 전체 배출량의 7.7%를 차지하며, 1990년 대비 15.3% 감소한 것으로 나타났다(Defra, 2006). 온실가스 배출원별 구성에서 농업부문의 비중을 보면 메탄 배출량의 46%, 아산화질소 66%, 이산화탄소 1%를 차지한다. 농업부문의 배출량이 줄어든 이유는 친환경농법의 확산과 화학비료 사용 감소 등으로 메탄 배출량이 13%, 아산화질소 배출량이 17% 감소하였기 때문이다.

영국정부는 농업부문의 온실가스 배출량이 2010년까지 1990년 대비 약 32% 감축할 것으로 전망하고 있다(Defra, 2006).

3.3.2. 온실가스 배출 감축을 위한 농업부문의 전략

가. 연구 지원

영국 정부는 토지 관리방법이 온실가스 배출에 기여하는 것을 조사하는 연구의 지속적인 프로그램에 기금지원을 하고 있다. 이 연구는 2006년부터 농업 부문 배출량의 목록과 농업체제의 전반적인 환경적 수행을 개선하고, 기후변화 목적에 기여할 수 있는 능력에 대한 이해를 높이기 위해 3년에 걸쳐서 100만 파운드가 지원될 것이다(Defra, 2006).

나. 지구환경문제 인식 고취

영국정부는 지구환경문제에 대한 농업인 및 국민들의 인식도를 높이는 정책 프로그램을 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 의사소통 전략 개발, 기후변화 프로그램의 효과적 전달 등 정책 결정에 상당한 기여를 하고 있는 것으로 제시되고 있다.

다. CAP 개혁의 추진

생산연계직접지불금을 분리시킴으로써 가축 사육두수의 감소로 2001년까지 연간 0.68MtC로 추산되는 메탄가스 배출량을 감축할 수 있을 것이다. 가축수의 감소는 특히 축우와 양에서 발생하는데, 축우의 경우 2005년 대비 2006년 1.2% 감소하였으며, 양의 경우 2005년 대비 2006년 2% 감소하였다.

라. 아산화질소와 매탄 배출량의 감축

아산화질소와 메탄의 감축을 위한 ‘저수지 민감성농업(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 아산화 질소 감축을 유도하고 있다. 영국 IPCC 규정은 대규모 양돈 및 양계 농가를 대상으로 암모니아 감축을 위해 환경친화적 축사시설 유지, 절직한 가축 분뇨처리 등을 철저하게 유도·관리토록 하고 있다.

영국의 환경, 농업 및 농촌 업무성(Defra)은 농업의 메탄 배출을 감축할 수 있는 조치들을 조사하기 위한 포트폴리오를 갖고 있다(예를 들어 온실가스 배출량을 감축하기 위해 가축 사료 변화의 영향 등). 2005~2006년 사이 낙농 젖소의 메탄 배출량을 줄이기 위한 연구 포트폴리오에 550만 파운드가 지출되었다.

마. 적절한 토양 관리 유도

적절한 토양 관리와 관련 토양자원 보전과 토양탄소 손실에 대한 취약성 문제를 해결하기 위해 토양관리 프로그램을 추진하고 있다. 2025년까지 취약한 토양에서 초래된 토양유기물질 감소를 중단시키도록 유도하고 있고, 토양침식 예방 및 토양유기물을 유지하기 위해서 기준설정 및 상호준수 프로그램을 적용하고 있다.

바. 적극적인 유기농업 육성

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

사. 바이오에너지 대책

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 사업으

로는 바이오에너지 인프라 구축, 바이오에너지 작물 생산농가 지원을 위한 5년간 교부금 활용, 차세대 바이오연료 기술개발 지원 등을 담고 있다. ‘영국의 바이오자원 전담반’은 지속가능한 농업, 임업 및 농촌의 목적과 재생에너지 목표들을 지원하여 바이오자원 에너지의 개발을 정부와 산업이 적정화시키는 것을 돕기 위해서 구성되었다. 또한 경작포기 농지에 에너지 작물 재배 시 단독지불금을 지급하고 있다. 이들 전략에 힘입어 비식용작물 재배 농장수는 2003년 약 4,286개에서 2005년 5,120개로 약 20% 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 배출권 거래제를 가능하게 할 시장 메커니즘의 실현가능성과 가능한 선택 대안을 모색하려는 전략적인 연구도 추진하고 있다.

아. 바이오연료

바이오연료 부문의 성장은 ‘재생 수송부문 연료 채권(Renewable Transport Fuel Obligation, RTFO)’의 발표와 세제 특혜로 촉진되었다. 생물디젤유의 소비는 2004년 1,900만 리터에서 2005년 3,300만 리터로 상승한 반면, 영국의 생물디젤연료의 생산량은 2005년 약 6,000만 리터로 증가하였다. 생물에탄올 소비는 2005년 8,500만 리터였지만 생물에탄올 생산은 제한되어 있어, 해외 수입에 의존하고 있다. 2005년 전체 바이오연료는 총 도로 연료 소비의 약 0.24%를 차지하였다(Defra & DTI, 2006).

3.3.3. 농업 이외의 부문에서 대책과 토지 관리

가. 에너지 부문

2006년 도입된 ‘재생자원의무’는 재생자원에서 전력생산량을 증대시키기 위

해 영국 및 웨일스의 전력 공급업체에 대한 특정 의무를 부과하고 있다. 시간당 발생하는 메가와트별 재생 전력에 대해서 이 계획의 관리자인 정부당국은 거래 가능한 재생자원채권 증명서(Renewables Obligation Certificate, ROC)를 발급하고 있다. 공급업체들은 ROC를 획득하거나 또는 인플레이션 지수를 감안한 수매가 지급, 또는 이 두 가지를 결합하여 자신들의 의무를 충족시킬 수 있다. 의무기간(1년)이 끝날 때 수매 기금에 지급한 금액은 ROC 소지자들에게 돌아간다. 영국, 웨일스, 스코틀랜드에서 의무의 수준은 2006~2007년의 경우 6.7%이고, 2015~2016년까지 15.4%로 상승할 것으로 예상된다.

재생에너지 사용을 위해서는 송전 혹은 배전 시스템 업그레이드 등 재생자원에 대한 네트워크 인프라 개선이 필요하다. 정부는 전력 조정기관(Ofgem)과 공동으로 이러한 업그레이드가 적절한 방법으로 일어날 수 있도록 하고 있다. 2004년 12월에 Ofgem은 스코틀랜드와 영국 북부의 전력 송전 네트워크를 강화하기 위해 추가적으로 5억 6,000만 파운드의 투자기금을 승인하였다.

‘바이오에너지 자본교부금 계획’은 바이오자원 공급 원료에 의해서 발생하는 열 및 발전 프로젝트에 투자하는 개발업자와 단체에 교부금을 배당하고 있다. 2006년 12월 추진된 새로운 계획은 5년간 시행될 예정으로 2008년 3월까지 2년의 회계연도에 걸쳐서 1,000~1,500만 파운드가 투입될 것이다. 이 계획은 2010년까지 0.1MtC를 감축할 것으로 예상된다.

‘지역사회에너지 프로그램 2000~2006’은 새로운 계획을 수립하고 주로 CHP 기술을 이용하여 낙후된 인프라 및 장비를 폐기할 목적으로 교부금을 통해 지역사회의 열 공급을 후원하기 위해서 5,000만 파운드를 제공하였다.

나. 수송부문

2005년 11월에 공표된 재생 수송부문 연료의무(RTFO)는 2008년부터 발효될 것이다. RTFO는 수송부문 연료(휘발유와 디젤유) 공급업체들에게 특정한 비율의 판매는 재생자원에서 기인할 수 있도록 요구하고 있다. 2008~2009년에 2.5%를 시작하여, 2010~2011년에 5%까지 재생자원의 비율을 높일 것이다. RTFO는 또한 바이오연료 생산 향상기법의 개발을 진작시키는 데 사용될 것이

다. 바이오연료 생산 공장은 2007년부터 ‘자본 수당 확충’을 받을 자격이 있고, 추가 비용은 공공부문 보조금보다는 연료 소비자들에 의해 충족될 것이다.

다. 탄소저장정책

1998년 채택된 영국 임업표준은 2006~2020년 동안에 350만 CO₂톤 감축을 목표로 탄소저장에 대한 일련의 대책을 포함하였다. 2007년 1~4월까지 영국은 자국의 소비자들에게 탄소 상쇄조치를 제공하기 위해서 ‘최상의 자발적 실천 규범(voluntary Code of Best Practices)’을 수립하는 것에 대한 자문 과정을 착수하였다. 자문 과정의 결과, 최상의 자발적 실천규범은 2007년 말까지는 착수될 것으로 예상된다(Defra, 2007).

또한 농업, 임업 및 토지 관리 부문의 온실가스 배출거래를 가능하게 할 시장 메커니즘의 실현가능성과 가능한 대안을 모색하려는 연구가 2007년 8월까지 완결될 것으로 예상된다(Defra, 2007).

3.3.4. 결론

영국은 기후변화 완화를 위한 야심찬 국가 목표를 설정하였으며, 대부분의 EU 국가들보다 온실가스 목표를 달성하는 데 더욱 진보된 전략을 갖추고 있다. 영국정부는 지구환경문제에 대한 농업인 및 국민들의 인식도를 높이기 위해 2005년 3월의 ‘농촌기후변화포럼’을 설치하였다. 그 외, 2005년 9월 ‘EU 농업 및 환경위원회의의 공동 정보 회의’를 개최하여 지속가능한 농업 및 토지 사용은 농촌 지역에 필요한 경제적 사회적 특혜제공 및 기후 변화를 평가하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 강조하였다. 토지관리 부문에서 기후변화문제를 다룰 조치들은 지속가능한 농업 및 식품에 대한 전략의 주요 부분을 구성하였다.

영국과 EU의 재생에너지 목표는 에너지 작물계획, 바이오에너지 인프라 계획 및 비식용 작물 및 용도에 대한 지배적인 전략의 채택에서 입증된 대로 농업을 통해서 기후변화 완화에 대한 영국의 전략에 영향을 미치는 데 있어서 명확한 역할을 한다. 그러나 다른 국가들에 비해 영국은 배출량 감축 특혜를 제공

하는 데 있어서 1세대 바이오연료의 효과성에 대해 더욱 회의적이라 더 많은 에너지 효율성이 있는 것으로 간주되는 차세대바이오연료의 개발에 대한 더 많은 연구를 요구하고 있다.

3.4. 국가별 사례 연구 요약

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.

국가별로 차이가 있으나 온실가스 총배출량에서 농업부문이 차지하는 비중은 덴마크 17%, 독일 6%, 영국 7% 등으로 덴마크를 제외하고는 7% 미만인 것으로 나타났다. 그러나 국가별로 약간의 차이는 있으나 온실가스 가운데 비이산화탄소인 메탄과 아산화질소의 배출원으로 농업부문이 상당한 비중을 차지하는 것으로 나타났다<표 2-4>.

교토의정서에 따라 2008년부터 온실가스 감축의무가 부과되는 덴마크, 서독, 영국 등의 경우 농업부문은 의무감축 부문에 포함시켜 관리하기보다는 자율적으로 온실가스를 조정·관리하는 방식을 취하고 있다. 덴마크는 수질오염을 줄이기 위해(질소와 인 배출 감축) 수생환경 실행계획 I, II, III, 암모니아 행동계획 등의 실행계획을 도입하여 아산화질소의 배출량을 상당히 감축시켰다. 또한 바이오자원의 활용을 증진시키기 위해 최선을 다한 EU 국가로 중앙처리 바이오가스 공장을 가장 많이 보유하고 있다. 덴마크는 비교적 특정한 온실가스 감축 대책은 없지만, 환경보호대책과 에너지 공급에서 바이오에너지 활용은 상당한 온실가스 감축을 가져왔다. 독일은 온실가스 배출량 경감에 기여하는 광범위한 환경 목적을 가진 정책을 도입하였다. 독일은 재생에너지 목표를 설정하였으며 ‘시장 인센티브 프로그램’과 비용 할당을 통해서 재생에너지 사용을 장려하고 있다. 또한 적극적인 바이오연료 사용 정책을 시행한 결과 EU의 바이오연료 목표를 달성하는 유일한 회원국이 되었다. 독일의 재생에너지에 대한 강력

한 정책과 가축수의 감축 및 비료사용을 개선하려는 대책은 온실가스 배출량 감축에 간접적으로 기여하였다. 영국은 다양한 지원 대책을 통해서 비식용 작물의 생산을 증진하였고, 또한 온난화 문제에 대한 정책담당자와 농업인 및 관계자들 간의 공감대 형성을 위해 ‘농촌기후변화포럼’ 등 여러 가지 포럼을 설치하였다.

표 2-4. 유럽 주요 3개국의 온실가스 대응책 비교

구분	덴마크	독일	영국
농업부문 온실가스 배출비중	- 온실가스 17% 차지 - 80%는 CH₄와 N₂O로 구성, 20%는 CO₂	- 온실가스 6% 차지 - 매탄배출의 94%는 가축사육	- 온실가스 7% 차지 - CH₄ 46%, N₂O 66% 1990 대비 22% 감소
배출 감소	- 수생환경 실행계획I - 질소·인의 배출감소 목표와 조치 강구 - 지속가능농업실행계획 - 화학비료 사용 제한 - 수생환경 실행계획II - 비료사용제한, 가축 분뇨 처리 개선 - 수생환경 행동계획III - 양분배출 감축목표 설정, 유기농 육성 - 암모니아 행동 계획	- 농업구조 및 환경 친화적 생산방법 촉진 - 농업투자 지원 프로그램 - 자연적 과정 온실 가스감축 투자 확대(바이오가스시스템, 유기 퇴비 저장과 적용)과 방출에너지 활용(냉난방 절연체를 포함하여 열 방출 시스템의 보존) 재정적 지원	- 집수 민감지역 농업 프로그램 - 수질오염 통합패키지 활용 - 간접적 온실가스 배출(N₂O) 감소 - 영국 IPPC 규정 - 돼지와 가금류 생산자의 환경 영향 통제, 간접적 온실가스 배출 감소
탄소 저장	- 정부 보조금 - 민간농경지 조림지원 - 정부와 자치단체 부문 조림 활동	- 연방 토양보전 법 - 토양자원 보존과 탄소저장 촉진 - 연방 자연보존법 - 토양탄소저장 지원	- 산림지원 - 탄소 저장을 위한 조치 포함
바이오 에너지 생산지원	- 바이오매스 협정 - 밀짚·나무 칩 등 바이오매스 최소사용량 규정 - 바이오가스 행동 프로그램 - 중앙 바이오가스 설비투자 교부금 지원 - 농업협동조합 운송, 유통부문 역할 담당 - 정부 보조금 지원	- 재생가능 에너지법 - 바이오매스 자원활용 전력생산 목표설정 및 인센티브 제공 - 재생가능 에너지를 지원하는 시장 인센티브 프로그램 - 바이오연료 할당법 - 바이오연료 형태의 연료의 특정할당 제공	- 비식량작물 사용전략 - 에너지작물 사용 촉진 - 바이오매스 지속적 개발 체제 구축 - 바이오에너지 교부금 지원 - 지역사회 에너지 프로그램 - 차세대 바이오연료 기술 촉진 전략 - 재생가능한 수송원료 의무화

4. 공동 농업 정책의 역할

4.1. 머리말

공동 농업 정책(Common Agricultural Policy, CAP)은 최근에 많은 개혁을 거쳐 지원금을 분리시키고 여러 단계로 농촌을 개발하는 방향으로 나아갔다.

이러한 변화는 2003년도 중간 검토에서 가장 명백하였다. 환경 문제는 2005년 1월부터 적용된 상호 준수성 표준의 형태로 더욱 두각을 나타내게 되었다. 기후 변화는 정책의 주요 초점은 아니었지만, 채택된 대책의 일부는 온실가스 배출량의 경감에 도움이 되었으며, 일부는 바이오에너지 생산을 장려하였다.

4.2. CAP의 제 I 축

2013년까지, 유럽위원회는 제 I 축 직불금의 약 91%가 가격보조 관련 농산물 중개 구매 같은 시장 대책보다는 생산 관련 직불금에서 발생할 것으로 예상한다. 이러한 직접지불금은 현재 생산에서 분리되지만, 회원국들은 EU의 행정 체제 안에서 어느 정도까지는 생산과 관련된 직접지불금을 유지할 수 있다. 영국과 독일 같은 일부 국가들은 직접지불금을 생산과 완전히 분리시켜 온 반면, 프랑스와 스페인 등 다른 국가들은 생산과 관련된 직접지불금제도를 유지하여 왔다. 생산과 관련된 직접지불금을 생산과 분리시키는 일은 향후 몇 년에 걸쳐서 진행될 것으로 예상된다.

생산과 분리된 지불금은 기후변화의 관점에서 이점을 가진다. 농민들은 더 이상 보조금에서 수입을 증대시키기 위해서 농산물을 생산하려는 인센티브를 갖고 있지 않기 때문에 경제적인 의미에서 시장의 요구조건과 생산량을 결합시킬 수 있을 것으로 예상된다. 원칙적으로 농산물 가격이 생산과 연결된 보조금보다 훨씬 더 낮다면, 농민들에게 가장 유리한 수준의 생산량 또한 더 낮을

것이다. 농산물 생산의 감소는 비료 및 농약 사용을 이전보다 낮은 수준으로 하고 이는 아산화질소 배출량을 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 곡류 가격이 낮은 해에는, 휴경지의 면적은 상당히 커질 수 있는데, 지원이 생산과 관련되어 있는 경우 이 현상은 아마 일어나지 않을 것이다.

가축부문에서 CAP에 의거하여 소고기, 양고기 및 염소고기 생산에 대한 지원은 몇 년 동안 두수당 지불금의 형태로 제공되어 왔다. 2003년 이후 이는 실질적으로 농민들에게 결부된 직접지원금으로 대체되어 왔지만, 회원국들 사이에 변화가 있었다. 몇몇 회원국들은 소고기부문, 특히 젖소의 경우 직불제를 유지하고 있는데, 젖소의 대부분은 옥외에서 주로 사육되고 있고, 영구적인 목초지를 이용한다. 생산과 지원금의 분리는 가축 수에서 전반적인 감소를 가져올 것으로 예상되는데 이는 농장에서 보유한 가축 1마리당 연간 보조금을 청구하는 것이 더 이상 가능하지 않기 때문이다. 분뇨 생산이 가축 사육 수의 감소와 함께 줄어든다고 가정하면, 적은 가축 두수는 메탄과 아산화질소의 낮은 배출량과 장내발효에서 나오는 메탄의 배출 감소를 암시한다.

결국, EU에서 농산물 생산의 수준은 27개국에서 생산된 필수품의 가격과 세계시장에서 유럽 농민들의 경쟁력에 좌우된다. 시간이 지나면서 가격이 상승하면, 몇몇 농산물의 생산은 직불금이 분리된다 할지라도 상승될 수 있다. 분리된 지급수준은 다음과 같은 이유로 다음 몇 년에 걸쳐서 떨어질 것으로 생각된다.

- 1) 기존의 CAP 한계 내에서 불가리아와 루마니아에서 농업에 더 많은 지출을 제공할 필요성
- 2) ‘조정’의 적용, 일정 비율의 농민 직접교부금을 금하고(대부분의 경우에 5%나 상승함) CAP의 제2축에 의거, 농촌개발대책에 수익금을 양도하기 위한 예산장치
- 3) 제1축에 대한 예산이 2013년 이후 삭감될 것이라는 일반적인 기대

직접지불금의 감소는 농장 수입과 투자에 이용 가능한 자원을 감소시키며 따라서 생산 수준을 저하시킬 수 있다.

요약하면, CAP의 제1축에서 변화의 방향은 수년 동안 정책의 특성을 구성한

생산업자 모델에서 동떨어지게 된다. 이는 다음 10년간에 걸쳐 농업의 배출량이 감소할 것으로 예상되는 주요 이유이다. 시장 조건과 도하 라운드의 체결 등 다른 요소에 의하여 미래 생산 수준 혹은 배출량 수준을 예측하기가 어려웠지만 향후 정책의 방향은 생산과 관련된 직접지불금의 분리 및 생산 인센티브를 축소시키는 방향으로 진행될 것이다.

4.3. CAP의 제 II 축

CAP II 축에는 회원국들이 CAP 예산, FEOGA에서 부분적인 기금조달을 위한 자격을 갖추면서 회원국들이 이행할 수 있는 많은 허용된 대책이 있다. 이 대책은 농민들을 위한 투자원조, 교육 지원, 조림 및 산림지 관리의 지원, ‘덜 선호되는 지역’에서 농업의 보상, 농업환경 대책, 특정한 자연보존 지역에서 농민과 임업 생산자들을 위한 지원금, 농촌의 생산능력 구축, 마을 재정비와 기타 계획들을 포함한다. 회원국들은 7년의 기간 동안 할당된 EU 예산 한계 및 일정한 규칙을 조건으로 하여 이들 중 하나를 선택할 수 있다. 이들 대책의 다수는 기후변화 완화 혹은 적응을 지원하기 위해 생물다양성 생산을 향상시키는 것으로 오로지 기후변화와 관련된 대책은 없다. 아마도 가장 많이 관련된 것들은 다음과 같다.

- 1) 농업환경대책은 유기농업을 진작시키고 경작을 하기보다는 목초지 상태로 놔두고, 가축밀도를 줄이는 데 이용
- 2) 농지에 산림지를 정착시키기 위한 인센티브
- 3) 농가 투자, 예를 들어 에너지 효율성, 재생에너지 생산에 대한 인센티브와 투자, 교육 및 생산능력 구축을 위한 인센티브 제공
- 4) 농업 제품의 처리과정에 대한 지원

4.4. 농업 및 에너지 정책

최근까지 EU의 농업 생산은 주로 EU체제의 지배를 받는다기보다는 회원국의 에너지 정책의 영향을 받았다. 이러한 입장은 재생에너지 생산의 중요성이 증가하면서 변화하고 있다. 통합 에너지 및 기후 패키지는 에너지효율성을 증대시키는 공약과 재생에너지가 2020년까지 차량의 액체 연료의 20%를 구성해야 하는 목표를 포함한다. 따라서 회원국들은 바이오연료에 대한 세제 혜택과 재생에너지 자원을 구매하기 위해 전력 공급회사들을 위한 인센티브 등 여러 대책을 도입할 것이다.

이러한 에너지정책은 바이오에너지 작물에 대한 수요를 증가시킬 것이다. 몇몇 평가서에서는 바이오연료 전용작물이 2020년까지 EU 경작지의 15%를 차지할 수 있다고 지적하였다. 생산업자들이 일관된 전략에 대응하고 식품가격, 환경적 지속가능성 및 다른 요소들과 관련하여 공적 이해관계를 보호해야 할 경우, 농업 및 에너지 정책은 상호 조정될 필요가 있을 것이다.

참고 문헌

- Alyssa, G., Bode, J-W., Phylipsen, D., 2004. Analysis of the National Allocation Plans for the EU Emissions Trading Scheme, Ecofys.
- APCAEM (Asian and Pacific Centre for Agricultural Engineering and Machinery), undated, 'Agricultural Engineering in Support of the Kyoto Protocol - The Clean Development Mechanism for Biogas Technology', United Nations - Nations Unies
- Azizova, Z. and Aiello, R., 2007, 'Financing Opportunities for Projects in Agriculture Sector', World Bank Carbon Finance Unit, 14 May 2007, Buenos Aires
- Bellamy, P. H., Loveland, P. J., Bradley, R. I., Lark, R.M. and Kirk, G. J. D., 2005, Carbon Losses from All Soils Across England and Wales 1978-2003, *Nature*, 437, 245-248.
- BirdLife International, 2006, Bioenergy: Dream or Nightmare for Biodiversity?, BirdLife International news feature June 2006 available at: <http://www.birdlife.org/news/features/2006/06/biofuels.html>.
- Birkmose, T., 2007. Digested manure is a valuable fertilizer. Paper for The Future of Biogas in Europe III, 14th-16th June 2007, Esbjerg, Denmark.
- Danish Energy Authority, 2006. Energy Policy Statement 2006.
- Buchner, B., 2007, The Implementation of the KyotoProtocol: Current State and Implications for Agriculture and Forestry, MEACAP WP2 D17.
- CAN-Europe, 2005, Quo Vadis, EU ETSIs the EU's key climate policy tool headed in the right direction?, CAN-Europe position paper on EU ETS Phase 2 (2008-12).
- Capoor, K. and Ambrosi, P., 2007, 'State and Trends of the Carbon Market 2007', World Bank Institute, Washington, D.C.
- Cooper, T. and Arblaster, K., 2007. Climate Change and the Rural Environment in a European Context: Implications for Land Use and Land Use Policy, Institute for European Environmental Policy (IEEP). Background paper for the LUPG & BfN conference, "Future Policies for Rural Europe 2013 and Beyond - Delivering Sustainable Rural Land Management in a Changing Europe", 19th - 20th September 2007, Brussels.
- Danish Energy Authority, 2007. Energy Policy Statement 2007.
- Danish Ministry of Transport and Energy, 2007. Energy Strategy 2025.

- Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs), 2006. UK Climate Change Programme. London, UK.
- Defra, 2006a. Agriculture in the UK 2006. London, UK
- Defra, 2007. UK Climate Change Programme: Annual Report to Parliament. London, UK.
- Defra, 2007a. UK Biomass Strategy. Defra, Department of Trade and Industry and Department for Transport. London, UK.
- Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs) and DTI (Department for Trade and Industry), 2006. Creating value from renewable materials, a strategy for non-food crops and uses two year progress report. London, UK.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2005. Denmark's Fourth National Communication on Climate Change under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment.
- EcoSecurities Consult, 2006. Should Temporary CERs be Included in the EU ETS Linking Directive? And Other Questions Concerning the Potential Demand for CDM Forestry CERs.
- European Climate Change Programme (ECCP), 2003. Second ECCP Progress Report: Can We Meet Our Kyoto Targets?
- European Climate Change Programme (ECCP), 2005. Working Group II Impacts and Adaptation, Agriculture and Forestry Sector Report.
- European Climate Change Programme (ECCP), 2006. Draft Report, Working Group ECCP Review - Topic Group Agriculture and Forestry, Second European Climate Change Programme.
- European Commission, 1995. A Community Strategy to reduce CO₂ emissions from passenger cars and improve fuel economy, COM(95)689final.
- European Commission, 2000. EU Policies and Measures to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Towards a European Climate Change Programme (ECCP), COM(2000) 88 final of 8.3.2000.
- European Commission, 2001. European Climate Change Programme Report.
- European Commission, 2004. Working Group on Sinks Related to Agricultural Soils. European Climate Change Programme (ECCP).
- European Commission, 2005. Winning the battle against global climate change, COM(2005)35 final of 09.02.2005.
- European Commission, 2006. Biofuels Progress Report, COM(2006) 845 final, SEC(2006)

1721/2.

European Commission, 2006, Progress towards achieving the Kyoto objectives, COM(2006) 658 final of 27.10.2006.

European Commission, 2006. Thematic Strategy for Soil Protection, COM(2006) 231 final, SEC(2006)620, SEC(2006) 1165 of 22.9.2006.

European Commission, 2007. An energy policy for Europe, COM(2007) 1 final of 10.1.2007.

European Environmental Agency (EEA), 2006. How Much Bioenergy Can Europe Produce without Harming the Environment, EEA Report No. 7/2006, Copenhagen.

European Environmental Agency (EEA), 2007. Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2005 and inventory report 2007, Copenhagen.

European Environmental Agency (EEA), 2007. Projections of greenhouse gas emissions and removals (CSI 011), Copenhagen.

Freibauer, A., Rounsevell, M., Smith, P. and Verhagen, A., 2004. Carbon Sequestration in the Agricultural Soils of Europe, *Geoderma*, 122, 1-23.

German 4th National Communication to the UNFCCC.

Grant, R. and Blicher-Mathiesen, G., 2004. Danish policy measures to reduce diffuse nitrogen emissions from agriculture to the aquatic environment. *Water Science and Technology*, 49, 91-100.

Hasselager, A., 2007 Presentation on energy policy in Denmark: recent developments and challenges for the future. Danish Energy Authority.

International Energy Agency (IEA), 2004. Biofuels for Transport. An International Perspective, IEA, Paris.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Joint Nature Conservation Committee (JNCC), 2007. Working Paper on Biofuels.

Ledeber, O., Elmahdi, K., Wagner, S., 2007. Market impact analysis of biofuel policy implementation. Work package report for DG Research MEACAP project.

Lindner, M. and Karjalainen, T., 2007. Carbon Inventory Methods and Carbon Mitigation Potentials of Forests in Europe: A Short Review of Recent Progress, *European Journal of Forest Research* 126, 149.

- Ollier, C., 2006. Harvest in EU-25 - Early Estimates, Statistic in Focus, Agriculture and Fisheries 9/2006, Eurostat, Luxembourg.
- Porsche, G., 2007. The impact of national policies and economic frames for the development of biogas in Germany. Paper from The Future of Biogas in Europe III, 14th -16th June 2007, Esbjerg, Denmark.
- Raven, R.P.J.M and Gregersen, K.H., 2007. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 116-132.
- RDP: Draft Rural Development Programmes 2007-13 for England, Scotland, Wales and final RDP 2007-13 for NI.
- Rice, C. W. and Reed, D., 2007. Instead of Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Gas Mitigation: A Role for American Agriculture.
- Rosenthal, E., 2007. Scientists are Taking Second Look at Biofuels, *International Herald Tribune*, 31st January 2007.
- Schleich, J., Betz, R. and Rogge, K., 2007. EU Emission Trading - Better Job Second time Around?, Working Paper Sustainability and Innovation, Nr. S 2/2007.
- Schroder, G. and Weiske, A., 2006. Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Costs of Selected Bioenergy Production Costs, MEACAP Working Package report D15b
- TNO, IEEP and LAT, 2006, 'Review and Analysis of the Reduction Potential and Costs of technological and Other Measures to Reduce Carbon Dioxide Emissions from Passenger Cars', Report for the European Commission.
- Silcock, P. and Lovegrove, C., 2007, Retaining the Environmental Benefits of Set Aside: A Policy Options Paper, Report prepared for LUPG, Cumulus Consultants Ltd, Worcestershire, UK.
- Sirohi, S. and Michaelowa, A., 2004, 'CDM Potential of Dairy Sector in India', HWWA Discussion Paper 273
- Smith, P., Powlson, D. S., Smith, J. U., Falloon, P. D. and Coleman, K., 2000. Meeting Europe's Climate Change Commitments: Quantitative Estimates of the Potential for Carbon Mitigation by Agriculture, *Global Change Biol.* 6, 525-539.
- Smith, J. U., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, M., Hiederer, R., Jones, R. J. A., Montanarella, L., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I. and Ewert, F., 2005. Projected Changes in Mineral Soil Carbon of European Croplands and Grasslands, 1990-2080, *Global Change Biology*, 11, 2153-2163.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S.,

- O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T, Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U. and Towprayoon, S., 2007. Policy and Technological Constraints to Implementation of Greenhouse Gas Mitigation Options in Agriculture, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, 6-28.
- Tuck, G., Glendining, M. J., Smith, P., House, J.I. and Wattenbach, M., 2006. The Potential Distribution of Bioenergy Crops in Europe under Present and Future Climate, *Biomass and Bioenergy*, 30, 183-197.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2006. Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020, Washington DC, EPA 430-R-06-003.
- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D. J. and Dokken, D. J. (Eds.), 2000. *Land Use, Land Use Change, and Forestry*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Weiske, A., 2006. Greenhouse gas emissions and mitigation costs of selected bioenergy production chains. Work package report for DG Research MEACAP project.
- Weiske, A. and Michel, J., 2007. Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Costs of Selected Mitigation Measures in Agricultural Production, MEACAP WP3 D15a.
- Wetlands International, 2007. Palmoil and Tropical Peatlands, Factsheet 8 March 2007, available at <http://www.wetlands.org/publication.aspx?id=40938c7b-d689-4b17-87dc-9f65def5bfaa>.
- Young, L. M., Weersink, A., Fulton, M. and Deaton, B. J., 2007. Carbon sequestration in Agriculture: EU and US perspectives, *Eurochoices*, 6.
- Zeddies, J. 2006. The availability of raw materials for the production of bio-fuels in Germany and the EU-25. University of Hohenheim.

제 3 장

일본 농림수산업성 지구온난화대책 종합전략⁵⁴

1. 서론

최근 공개된 기후변동에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 보고서에 의하면, 기후 시스템에 온난화 현상이 일어나고 있는 사실이 단정되었으며 그 원인으로 인간의 인위적 활동에 기원하는 온실가스 증가를 들었다. 또한 지구온난화는 가속적으로 진행되고 있으며 농림수산업에도 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

교토의정서에는 이러한 지구온난화 문제에 대처하기 위해 제1차 공약기간(2008~2012)에 각 국가별 온실가스 배출감축 비율이 할당되었으며 일본의 경우 6%의 감축의무가 부과되었다.

일본에서는 온실가스 배출 감소를 위해 교토의정서 목표 달성계획을 2005년 4월에 책정하였으며, 목표달성에 필요한 대책·시책의 추가·강화에 대해 검토하고 올해 안에 교토의정서 목표 달성계획을 재검토하기로 하였다. 또한 올해 6월에는 「21세기 환경 입국 전략」이 책정되면서 세계 전체 온실가스배출 감

54 일본의 교토의정서 이행에 따른 농업부문의 대응전략은 2007년 6년 일본 농림수산업성에서 발표한 「農林水産省地球温暖化対策総合戦略」의 전문을 번역한 자료임을 밝혀둔다.

축을 위한 장기전략 및 국제시스템 구축에 대한 일본의 제안을 보였다. 아울러 6%의 온실가스 감축공약 달성을 위해 배출감축대책을 충실히 수행하고 있고, 산림흡수량 목표 달성을 위한 대책을 추진하고 있으며, 지구온난화에 관한 모니터링, 예측 등을 수행하고 있다.

지금까지 농림수산성에서는 교토의정서 목표달성계획을 바탕으로 산림흡수원 대책 및 바이오매스의 이용·활용 등을 시행하였으나 제1차 공약기간을 앞둔 지금도 온실가스 총 배출량은 증가하고 있다. 따라서 교토의정서의 목표달성계획을 재검토·평가하고 있으며, 특히 농림수산 분야에서의 지구온난화방지책 개발이 검토되고 있다. 아울러 지구온난화 적응책에 대해서도 지금까지 고온 장애 등의 농작물 피해 발생 현황, 지구온난화 진행이 농림수산업에 미치는 영향에 관한 예측연구를 통해서 쌓아온 과학적 지식을 바탕으로 향후의 추진계획의 방향성에 대해 검토하고 있다.

『농림수산성 지구온난화대책 종합전략』은 지금까지의 검토결과를 정리하고 앞으로의 추진방향을 나타낸 것이다. 종합전략은 교토의정서 6% 감축공약 달성을 위한 산림흡수원 대책 및 농림수산 분야의 배출감축대책 개발과 지구온난화가 농림수산업에 미치는 영향에 대응하기 위한 적응책, 농림수산기술을 활용한 국제협력계획의 종합적 추진 등 지구환경보전에 공헌하는 농림수산업을 육성하도록 하였다. 단, 종합전략에 포함시킨 새로운 시책 등에 관해서는 예산 조치가 필요한 것도 있으며 현시점에서 확정된 것은 아니다.

1.1. 기본자세

1.1.1. 지구환경문제에 관한 기본인식

가. 지구환경문제 현황

인류는 지구생태계의 일부로서 식량·목재 및 에너지 등의 자원을 이용하여 다

양한 활동을 행하고 있다. 그러나 현재 자원·에너지 대량사용에 의존한 인간 활동으로 인한 환경부하 확대는 지구환경의 허용범위를 넘어가고 있는 상황이다.

향후, 세계적인 인구증가와 경제성장으로 인하여 환경부하가 더욱 증대할 것으로 예상되며, 화석 연료의 사용으로 인해 발생하는 온실가스는 홍수, 가뭄 등의 기상재해와 식량문제, 빈곤문제 등을 야기시켜 인류의 생존기반 자체가 위협받을 우려가 있다. 또한, 지구온난화의 원인인 대기 중의 이산화탄소를 흡수·저장하여 지구온난화 방지에서 중요한 역할을 하고 있는 산림의 경우 2000~2005년 기간 동안 연평균 일본 국토면적의 20%에 해당되는 730만ha의 산림면적이 감소해 지구온난화를 비롯한 환경문제를 더욱 심각하게 할 위험성이 있다.

한편, 농림수산 분야에서는 최근 온실가스 발생 메커니즘 해명 및 감축대책 기술 개발이 진전되고 있으며, 바이오매스 자원에서의 에너지 및 제품생산 기술이 확립·도입단계에 있다.

이러한 상황을 배경으로 농림수산업을 환경의 관점에서 다시 평가하고 식량·목재의 안정공급을 꾀하면서 지구온난화 방지도도 공헌하기 위해 농림수산물을 식량, 에너지, 제품으로서 최대한 유효하게 이용하거나 국내외에서 지속가능한 산림경영을 추진하는 등 지구환경문제 해결을 위해 적극적으로 대응할 필요가 있다.

나. 지구환경문제의 관점에서 본 현대사회의 경제발전과 농림수산업의 현황

현대사회의 경제발전은 화석연료 등의 자원 소비를 기반으로 성립되어 환경부하의 확대를 피할 수 없는 구조다. 이러한 경제발전은 화석연료의 고갈(枯渴)에 따른 가격 급등에 의한 리스크에도 직면하고 있다. 또한 현재의 경제사회 시스템하에서는 경제적으로 부유한 나라 일부에서는 식량 및 목재의 많은 부분을 수입에 의존하고 있어 수송에너지 소비에 따른 온실가스 배출량의 증대를 일으키고 있다. 한편, 수출국의 일부에서는 자원 수탈적인 생산 활동을 하고 환경 파괴 및 빈곤 확대가 진행되는 등 지구환경문제의 악순환이 발생하고 있다.

이러한 상황을 배경으로 환경과 경제가 양립되는 지속가능한 농림수산업 구축을 위해 현재의 경제사회시스템이나 세계와 일본과의 관계를 고려하면서 일본의 농림수산업 및 국제협력의 방향성을 검토해야 한다.

1.1.2. 농림수산 분야의 지구온난화 대책의 기본자세

가. 지구온난화방지책 필요성

기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC) 보고서에 의하면, 기후 시스템에 온난화 현상이 일어나고 있는 것이 단정되었으며 그 원인으로 인간의 인위적 활동에 기원하는 온실가스 증가를 들었다. 또한 지구온난화 진행으로 인해 이상기후의 빈발, 생태계에 대한 악영향, 농업에 대한 타격, 감염증 증가, 자연재해의 격화(激化) 등이 우려되고 있다. 이러한 지구온난화 문제에 대처하기 위해서는 궁극적으로는 기후계가 인위적 간섭을 받지 않은 수준으로 대기 중의 온실가스 농도를 안정시키는 것이 필요하다. 그것을 위한 첫걸음으로서 1997년 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 교토의정서가 채택되었다.

교토의정서에서는 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소)의 배출량을 2008년부터 2012년까지의 제1차 공약기간에 선진국 전체에서 1990년과 비교해 적어도 5%를 감축하는 것을 목표로 나라마다 법적 구속력이 있는 수량(數量)화된 공약이 정해졌으며, 일본의 경우 6% 감축이 정해졌다.

일본에서는 6% 온실가스 감축공약 달성을 위해 2005년 4월 「교토의정서 목표달성계획」을 각의(閣議)에서 결정하였고 이 계획에 따라 정부가 온실가스 배출감축대책이나 산림흡수원대책 등을 추진해왔다. 그러나 2005년의 온실가스 총 배출량은 기준연도(1990)와 비교해서 약 7.8% 증가하여 6% 감축공약 달성은 매우 어려운 상황이다. 따라서 교토의정서 목표달성계획은 올해 안에 재검토하기로 결정되었고, 5월 말에 열린 지구온난화대책추진본부(본부장: 내각총리)에서도 대책을 더욱 강화해야 할 상황임을 확인하였다. 이러한 가운데 농림수산성도 제1차 공약기간의 개시를 앞두고 교토의정서의 6% 감축공약 달성을 위해 산림흡수원 대책이나 농림수산 분야의 배출감축대책을 개발하고 있다.

아울러 농림수산 분야의 지구온난화 방지책을 통해서 원유가격 급등리스크에도 대응할 수 있는 산업 육성을 추진하고 환경과 경제가 양립되는 지속가능한 농림수산업을 구축하는 것이 필요하다.

나. 지구온난화 적응책 시책의 필요성

기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC)의 보고서에 의하면 관측데이터 분석 결과 과거 100년간에 세계 평균기온이 0.74°C 상승했고 지구온난화는 가속적으로 진행되어 있는 것이 밝혀졌다.

지구온난화의 영향으로 인해 빙하와 영구동토(凍土)의 용해(融解), 동식물의 춘계(春季)현상 조기(早期)화, 서식지역의 이동 등 자연과 사회가 영향을 받은 것이 이미 확인되었고 앞으로 더욱 지구온난화가 진행되면 수자원, 생태계, 식량생산 등에 심각한 영향을 줄 것으로 예상되고 있다.

일본의 연 평균기온은 100년당 1.07°C 의 속도로 상승하고 있으며 특히 1990년 이후, 고온이 되는 해가 많이 관측된 것이 밝혀졌다. 또한, 일본주변 해역의 해면수온의 장기적 경향에 대해서는 일부의 해역에서 세계 전체 해역의 수온 상승보다 2배 이상의 비율로 상승하고 있다고 언급하고 있다.

한편, 일본의 농림수산업에 대한 영향은 전국조사 결과, 수도의 고온 장해, 과실의 착색불량, 병·해충의 다발 등이 확인되어 있으며 이 요인은 직접적으로는 단기적 기상변동에 의한 고온영향에 인한 것이지만, 그 배경에는 장기적인 기후변동(지구온난화)이 영향을 미치고 있는 가능성이 높다고 생각된다. 또한, 기후변동에 따라 집중호우 빈발, 홍수 위험성 증가, 해면 상승이나 이용 가능한 수자원의 감소, 가뭄 증가 등이 지적되어 있고 이들로 인한 재해 발생 등이 우려된다. 지금까지 연구된 결과에 의하면 지구온난화가 진행될 경우, 일본의 농림수산업에 대한 악영향이 불가피하므로 지구온난화에 대한 적응책 시행을 추진하는 것이 필요하다.

다. 농림수산 분야의 국제협력

지구온난화는 원인과 영향이 지구규모에 이르기 때문에 지구온난화문제를 해결하기 위해서는 세계 전체가 온실가스를 감축하도록 노력해야 되고 교토의 정서에 참가하지 않았던 미국, 중국, 인도 등의 주요 배출국이 교토의정서 후의 국제 시스템에 참가하도록 일본이 그들을 연결시키는 다리가 되어 최대한의

노력을 기울이는 것이 중요하다.

한편, 기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC) 보고서에 의하면 지구온난화의 악영향·피해는 위도가 낮은 일부 지역 등에서 조기에 발생할 것으로 예측되고 있다. 따라서 농림수산 분야의 온실가스 배출감축기술의 활용이나 지구환경을 지키기 위한 불법 벌채대책 등의 산림보전 정책이 필요하며 이를 위해 모든 국가가 참가할 수 있는 공통규칙 구축 마련이 필요하다.

이상의 현황 인식 아래 본 종합전략에서는 제2절에서는 제1차 공약기간 시작을 앞두고 올해 안에 교토의정서 목표달성계획이 재검토될 것을 염두에 두고 6% 감축공약 달성을 위해 필요한 대책의 가속화에 대해 그 추진방향을 밝히고자 한다. 제3절에서는 향후 불가피한 지구온난화의 영향에 대한 적응책에 관한 추진방향을 밝힌다. 또한 제4절에서는 일본의 기술을 활용한 국제협력의 추진방향을 밝힌다.

2. 지구온난화 방지책

교토의정서 목표달성계획에서 감축목표치가 설정되어 있는 「산림흡수원 대책」, 「바이오매스 자원의 순환이용」, 「식품산업 등의 환경 자주(自主)행동 계획의 추진」 등에 대해서는 지금까지의 진전 현황을 확인하고 확실한 감축목표치 달성을 위해 시책 시행을 가속화한다. 또한 감축목표치가 설정되어 있지 않은 「시설원예·농업기계의 온실가스 배출감축대책」, 「환경보전형 농업 추진에 의한 시비(施肥)량 적정화·절감」, 「어선의 에너지 절약 대책」에 대해서는 새로운 감축목표치를 설정하여 목표 달성을 위한 시책을 추진한다. 기타 시책에 대해서도 온실가스 배출을 감축하기 위해 시책을 추진한다.

2.1. 산림흡수원 대책

가. 교토의정서 목표달성 계획에서의 정의와 추진 방향

교토의정서 목표달성 계획에서의 산림흡수량은 기후변화협약 제7차 당사국 총회(COP7)에서 합의된 1,300만 탄소 톤(4,767만 CO₂톤, 기준년 총 배출량 대비 3.8%)정도의 흡수량 확보를 목표로 하였다. 교토의정서의 6% 온실가스 감축공약을 달성하기 위해서는 산림흡수량의 목표 달성이 불가결한 사항이다.

일본의 산림은 국토면적의 70%에 해당되는 약 2,500만ha이며, 이 중 45%가 육성림(育成林)이지만 흡수원으로서 인정되는 산림은 적절한 산림경영이 이루어진 산림 등에 한정된다. 따라서 적합한 시기에 적절한 식재, 간벌 등의 산림정비를 행함으로써 흡수원으로 인정되는 산림을 증가시켜야 한다.

그러나 최신데이터를 이용해서 추정한 결과, 현 수준의 산림정비 등의 추세로는 산림흡수량 목표인 1,300만 탄소 톤을 확보하기 위해서는 110만 탄소 톤이 부족한 상태이다. 이 부족분을 확보하기 위해서는 2007년부터 제1차 공약기간이 종료하는 2012년까지 매년 20만ha, 총 120만ha의 추가적인 정비가 필요한 상황이다.

나. 추진현황 및 향후 추진방향

이러한 상황에서 대책 첫 연도인 2007년도에 대해서는 2006년도 보정예산을 합한 총액 765억 엔, 산림정비면적으로 환산해서 23만ha(추가 정비 필요량 120만ha의 약 1/6)의 추가적인 정비가 가능한 추가예산이 배정되었다.

2008년도 이후의 나머지 5년 동안에 대해서도 계속해서 추가정비를 위한 재원이 필요하기 때문에 앞으로도 국민의 이해를 얻으면서 폭 넓고 안정적인 재원을 확보해 가는 것이 필요하다.

또한 현재, 아베 총리의 지시로 국도의 3분의 2를 차지하는 산림이 「아름다운 나라, 일본」의 밑받침이 될 수 있도록 「아름다운 산림 육성 추진 국민운동」을 전개하고 있다. 2007년부터 6년 동안 간벌 330만ha 실시를 목표로 관계 부

처와의 연계 및 정부와 민간이 일체가 된 운동을 통해서 ① 국산목재 이용을 통해 적절한 산림정비를 추진하는 산림자원이 풍부한 순환형 사회 구축, ② 산림을 유지하는 활발한 후계자·지역 육성, ③ 도시주민, 기업 등 폭 넓은 사람들이 산림 육성에 참가하도록 각종 계획을 종합적으로 추진하고 있다. 이 운동에 대해서는 지금까지 2월의 관계 각료(閣僚) 회합을 개최해서 운동의 기본방침에 대해 승낙을 받았고 3월에는 관계부처 간 회의 등을 통해서 구체적인 추진내용에 대해 정리하는 등 정부가 중심이 되어 적극적으로 추진하고 있다. 또한 6월에는 민간이 주도하는 「아름다운 산림 육성 전국추진회의」가 개최되고, 「아름다운 산림 육성을 위한 행동 선언」이 채택되는 등 정부와 민간이 일체가 된 운동도 전개하고 있다. 앞으로도 산림흡수량의 목표 달성을 비롯하여 산림의 다원적 기능을 지속적으로 발휘할 수 있도록 운동을 통한 종합적인 시책을 추진해 가는 것이 중요하다.

따라서 교토의정서 후의 국제 시스템을 고려한 대응으로서는 일본의 산림흡수원 대책의 역할이나 그 이용의 방향성을 바탕으로 농림수산성으로서도 지속 가능한 사회 구축에 기여하는 국제규칙 구축에 적극적으로 참가·공헌한다.

2.2. 바이오매스 자원의 순환 이용

가. 교토의정서 목표달성 계획에서의 정의와 그 추진 방향

바이오매스자원은 태워도 실질적으로는 대기 중의 이산화탄소가 증가하지 않은 Carbon Neutral의 특성을 가지고 있으며 바이오매스자원을 에너지·제품으로서 적극적으로 이용하는 것은 온실가스 배출감축 대책의 하나로서 교토의정서 목표 달성계획에서 정의되어 있다.

2010년까지 태양열이나 풍력, 바이오매스 등을 활용한 새로운 에너지의 목표치는 1,910만kl로 설정하였다. 그중 바이오매스 발전에 대해서는 폐기물발전과 합쳐서 586만kl, 바이오매스 열 이용에 대해서는 308만kl(그중 수송용 연료

에 있어서의 바이오매스 유래 연료는 50만kl)가 목표치로서 설정되었다.

바이오매스 발전·폐기물 발전 및 바이오매스 열 이용에 의한 온실가스 배출감축 예상량은 약 2,091만 CO₂톤이며 교토의정서의 6% 감축공약 중 약 1.7%에 해당된다. 또한 지역에 부존(賦存)하는 다양한 바이오매스자원을 열·전기, 연료, 소재 등에 효율적이고 종합적으로 이용·활용하는 시스템을 보유하는 바이오매스 타운(town) 구축을 추진하기로 하였다. 2010년까지 300지구 바이오매스 타운 구축, 약 10만 톤의 바이오매스 플라스틱 이용을 목표치로 설정하였다. 바이오매스 타운 구축에 의한 온실가스 배출감축 예상량은 약 100만 CO₂톤이며 교토의정서의 6% 감축공약 중 약 0.1%에 해당된다.

나. 지금까지의 추진현황

바이오매스자원을 둘러싼 정세 변화에 대응해서 2006년 3월에 「바이오매스·일본 종합전략」을 재검토하고 바이오매스 수송용 연료의 이용 촉진, 아직 이용되지 않고 있는 바이오매스의 활용 등을 통한 바이오매스 타운 구축 가속화를 꾀하기로 하였다. 또한, 2007년 2월에 총리에게 보고된 「국산 바이오 연료의 생산 확대」를 위한 공정표를 바탕으로 관계부처와 연계해서 국산 바이오 연료의 생산 확대를 도모하기로 하였다.

지금까지 바이오 연료에 대해서는 전국 7개소에서 바이오 연료의 실증 시험을 실시하고 있으며, 향후 홋카이도, 니가타의 3개소에서 본격적인 도입을 위한 대규모 실증을 행하기로 하였다. 또한, 국산 바이오 연료의 생산 확대를 위해 벳짚·목재 등의 셀룰로오스(섬유소, 셀룰로즈) 계열이나 자원 작물에서 바이오에탄올(bio-ethanol)을 효율적으로 제조할 수 있는 기술개발을 추진하기로 하였다.

바이오매스 타운에 대해서는 바이오매스 발전·열 이용시설 등의 정비나 바이오매스 타운 구성의 책정을 지원하면서 모델계획 작성, 바이오매스 타운 상담가 육성 등을 추진하고 있으며 현재, 전국 97지구(2007년 4월 말 현재)에서 바이오매스 타운 구성이 공개되어 있다.

바이오매스 플라스틱에 대해서는 제조비용 감소를 위한 기술개발 등을 실시

하였으며, 바이오매스 제품을 소비자가 쉽게 식별할 수 있도록 2006년 8월 바이오매스 제품 식별표시제도(바이오매스 마크)를 운용하기 시작하였다.

향후 모델계획이나 바이오매스 타운 상담가의 적극적인 활용을 꾀하면서 LCA의 관점에서 바이오매스 타운이나 바이오매스 플라스틱의 온실가스 배출 감축효과 평가를 행하는 등 바이오매스 자원의 보급·계발(啓發)을 추진하기로 하였다.

다. 향후 추진방향

지구온난화문제와 식량문제 등에 대응하기 위해서는 농림수산업을 환경의 관점에서 재평가하고 식량·목재의 안정공급과 지구온난화 방지의 관점에서 농림수산물을 식량, 에너지, 제품으로서 최대한 유용하게 이용하는 것이 중요하다. 또한 환경과 경제가 양립되는 지속가능한 사회의 구축을 꾀하고 산림, 농업 등의 다원적 기능을 유지 및 발전시키는 것이 중요하다.

한편, 국외에서는 바이오매스 자원의 세계적인 수요 증가에 따라 식량과 바이오연료 원료작물의 경합(競合)으로 인하여 빈곤층에게 악영향을 줄 우려가 있으며 이러한 새로운 문제들이 발생하지 않도록 충분히 유의해야 한다.

이러한 현황을 배경으로, 바이오 연료에 관해서는 「국산 바이오 연료의 대폭 생산 확대」를 위한 공정표를 바탕으로 관계부처와 연계해서 식량생산과 경합하지 않은 볏짚·목재 등의 셀룰로오스 계열이나 자원 작물에서 바이오에탄올(bio-ethanol)을 효율적으로 제조하는 기술 개발을 추진하여 국산 바이오연료의 생산 확대를 도모해야 한다.

또한 2011년에는 연간 5만kl 이상의 국산 바이오 연료를 생산하기 위해 식량 생산과정의 부산물, 규격(規格) 외 농산물 등을 활용해서 원료공급에서 제조, 판매까지를 일관적으로 처리해야 한다.

바이오매스 타운에 대해서는 바이오매스의 변환·이용 시설 등의 통합적인 정비 등 지역의 창의노력에 의한 주체적인 계획추진을 지원하고 현장조사 및 세미나 등을 통해 생산자, 소비자, 산업계의 폭넓은 참여를 유도하여 전국적으로 바이오매스 타운 300지구를 구축하고 약 100만 CO₂톤의 온실가스 배출감축

량 확보를 꾀한다. 또한 LCA의 관점에서 바이오매스 타운이나 바이오매스 플라스틱의 온실가스 배출감축 효과를 평가하고 그 효과의 증대·가속화를 위해 노력해야 한다.

목질 바이오매스에 대해서는 민간기업 등에서 제안받은 새로운 계획을 실천하고 목질 바이오매스를 종합적으로 이용하는 모델을 구축하기로 하였으며 산림지에 남아 있는 재목 등을 이용·활용하는 지역 시스템의 모델 구축을 위한 시책 등을 실시한다.

수산 바이오매스에 대해서는 수산폐기물 등을 활용한 자원화 기술 추진계획을 실시한다.

2.3. 식품산업 등의 환경 자주행동 계획의 추진 등

2.3.1. 환경 자주행동 계획

가. 교토의정서 목표달성 계획에서의 정의와 그 추진 방향

1997년에 일본 경제단체연합회는 2010년도의 이산화탄소 배출량을 1990년도 대비 $\pm 0\%$ 이하로 억제하는 것을 목표로 환경 자주행동 계획을 책정하였다. 이러한 사업자에 의한 자주행동 계획의 추진을 「산업·에너지 전환 부문에서의 중심적 역할을 하는 것」이라고 평가하고 투명성, 신뢰성, 목표달성의 개연성(蓋然性)이 향상되도록 관계심의회 등에서의 정기적 사후 점검(follow-up)이 요구되고 있다. 또한 자주행동 계획을 아직 책정하지 못한 사업자에 대해서는 자주행동계획을 책정하여 특성에 맞는 유효한 CO₂ 절약 대책을 강구하도록 권장하고 있다. 게다가 사무실·점포 등의 업무 시설에 대해서도 자주행동 계획의 책정과 관계심의회 등에서의 정기적인 사후 점검이 필요하다.

환경자주행동 계획을 착실히 수행한다면 2010년에 약 4,240만 CO₂톤(식품제조업을 포함하는 주요 산업의 수치)의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 예상된다.

나. 추진현황 및 과제

농림수산성에서는 에너지 사용량이 많다고 생각되는 단체를 중심으로 자주행동계획 책정을 권장해 온 결과, 책정단체 수는 지속적으로 증가하였으며 현재, 16단체(식품제조업 14단체, 식품유통업 1단체, 외식산업 1단체)가 자주행동계획을 책정한 상태이다.

표 3-1. 책정단체 수 추이

연 도	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년
단체수	10	12	12	13	14	16

또한 전문가로 구성된 사후점검팀을 설치해서 매년 진보현황 등에 대하여 사후점검을 실시하여 그 결과를 공개하고 식량·농업·농촌정책 심의회종합식량분과회에 보고하고 있다. 2006년 사후점검 결과에서 향후 대책을 추진해야 할 필요가 있는 과제는 다음과 같다.

- 1) 단체별 과제(매년 실적보고, 사후점검 참가기업의 확대, 목표 설정에 대한 검토)에 대한 대응
- 2) 목표를 달성한 단체의 목표 인상 촉진
- 3) 목표달성 여부에 관한 엄격한 자체평가 실시(목표달성이 가능하다고 판단되는 정량적·구체적 근거 제시, 목표달성이 어려운 경우에는 향후의 대책 등에 대한 검토)
- 4) 미책정 업체에 대한 자주행동책정 등의 촉진
- 5) 자주행동계획 등의 공개의 촉진
- 6) 식량의 안정공급, 식생활의 다양화·고급화 요구에 대한 대응 등. 식품산업의 특성을 고려한 식품산업의 배출감축대책에 대한 대국민 홍보 및 소비자와 연계한 시책 추진

5월 말에 개최된 지구온난화 대책추진본부(본부장: 내각총리)에서는 「자주행

동계획에 대해 서비스업을 중심으로 한 미책정 업종에 대한 책정 권장, 대상 범위를 확대, 목표 미달성 업종의 목표달성 개연성의 향상, CO₂ 배출량의 감축을 위한 대책 추진」이 과제가 되었다.

다. 향후대책

현재 자주행동계획을 책정하고 있는 14개 식품제조업체의 이산화탄소 배출량은 식품제조업 전체의 배출량 1,526만 CO₂톤 중 50% 수준인 759만 CO₂톤이다. 자주행동계획을 책정하는 있는 단체의 비율을 높이기 위해 에너지 사용량이 많을 것으로 생각되는 단체를 중심으로 자주행동계획 책정을 권장한다. 또한 이미 책정한 단체에 대해서는 2006년도 사후점검 결과 등에서 나타난 과제에 대한 단체로서의 대응을 조사한다.

아울러 식품산업만이 가지고 있는 배출구조의 문제점을 고려한 효과적인 배출 억제방법 등에 대해 조사·연구를 수행하여 그 결과를 바탕으로 대책을 추진한다.

2.3.2. 에너지 절약 대책

가. 교토의정서 목표달성 계획에서의 정의와 그 추진 방향

「에너지 사용 합리화에 관한 법률(1979년 법률 제49호)」(이하 「에너지절약법」이라고 함.)를 개정하고 이하의 대책을 도입하기로 하였다.

- 1) 공장, 사업장에서의 철저한 에너지 관리를 위해 열과 전기를 변용한 종합적인 에너지 절약 대책 추진
- 2) 수송부문에서의 대책을 강화하기 위해 일정 규모 이상의 화주(貨主)에 대해 에너지 절약계획 책정, 에너지 사용량 보고 의무화 등

새로운 에너지 절약법의 대상이 되는 공장, 사업장에서의 에너지 절약 대책으로 인해 감축될 것으로 추정되는 온실가스 배출감축 예상량은 약 470만 CO₂톤

[식품산업을 포함하는 산업, 민생(民生)업무 부문 업종의 전체의 수치]으로 교토의정서의 6% 감축공약 중 약 0.4%에 해당된다.

아울러 사업자의 자발적인 온실가스 배출감축의 참여를 확대하기 위해 「지구온난화 대책의 추진에 관한 법률(1998년 법률 제117호)」(이하 「지구온난화 대책추진법」이라고 함.)를 개정하고, 온실가스를 일정량 이상 배출하는 사업자가 스스로 배출량을 산정(算定)해서 정부에 보고하는 것을 의무화하고 정부는 보고 받은 정보를 집계해서 공개하는 「온실가스 배출량의 산정·보고·공표제도」를 도입하기로 하였다.

나. 지금까지의 추진대책

2005년 8월 에너지 절약법이 개정된 후, 에너지 관리지정 공장에 대해 열과 전기의 구분을 폐지하고 열과 전기를 합산한 사용량이 일정량 이상인 공장을 지정하는 제도가 도입(2006년 4월)됨으로써 에너지 절약 대책의 의무를 지는 공장, 사업장이 확대되고 농림수산성 관할의 약 1,300개 공장이 제1종 혹은 제2종 에너지 지정관리 공장으로 지정받았다. 또한 일정규모 이상의 화주(貨主)를 특정 화주로 지정하고 식품상업 등의 사업자에 대해서도 차차 지정될 예정이다.

에너지절약법 개정에 아울러 자원 에너지청과 사업관할 부처 사이에서 현지 점검 등 에너지 절약법의 엄정한 시행에 대해 합의를 보았다. 그리고 지구온난화대책추진법이 2005년 6월에 개정되고 「온실가스 배출량의 산정·보고·공표제도」가 도입(2007년 4월)됨으로써 에너지 절약법의 에너지관리지정 공장 및 특정 화주 등에 대해서는 온실가스 배출량의 보고 의무가 부과되었다.

다. 앞으로의 추진대책

에너지절약법의 시행에 있어서는 자원에너지청과 공동으로 ① 공장현지조사, ② 정기보고서의 내용을 자세히 조사하고 문제가 있을 경우 지도, 현장검사 ③ 신고서, 보고서의 제출이 지연된 경우의 지도, 보고 징수 등을 엄정히 시행하고 에너지 절약 대책을 철저히 행하도록 한다.

또한, 「온실가스 배출량의 산정·보고·공표제도」에 의해 보고된 온실가스 배출량의 분석 등을 실시하여 필요에 따라 현장지도 등을 수행하여 사업자의 자발적인 배출감축대책을 촉진한다.

2.3.3. 식품 재활용

가. 지금까지의 추진대책·과제

「식품순환자원의 재생이용 등의 촉진에 관한 법률」(2000년 법률 제116호, 2001년 5월 시행. 이하 「식품재활용법」이라고 함.)을 근거로 하여 식품산업으로부터 대량 발생하는 식품폐기물에 대해 발생억제를 추진하면서 사료나 비료 등으로 재생 이용을 추진하고 있다. 이러한 자원순환 대책 추진을 통해서 환경 부하가 적은 자원순환형 사회 구축을 꾀한다.

식품제조업에서 식품폐기물의 재활용 정책이 시행되어 식품순환자원 재활용은 2001년 37% 수준에서 2005년 52%로 향상되었으나, 여전히 식품소매업이나 외식산업의 대책 추진 수준은 낮은 상태이다. 또한, 「식품순환자원의 재생이용 등의 촉진 및 외식산업에 관한 기본방침」에 정해진 목표(식품순환자원의 재생 이용 등의 실시율 20%)를 달성한 사업자는 20~30%정도이며 업종 간, 사업 간에 격차가 발생하고 있다.

나. 앞으로의 추진대책

식품순환자원의 재생 이용을 더욱 촉진하기 위해 다음과 같은 내용의 식품재활용법의 일부를 개정하는 법률안을 제166회 통상국회에 제출하고, 2007년 6월에 성립하였다.

- 대량 식품폐기물 발생사업자에 대해 식품폐기물의 발생량 등을 정부에 정기적으로 보고하는 의무를 부과하는 등의 지도감독 강화
- 식품순환자원 유래의 비료·사료 등을 사용해서 생산된 농축산물을 식품 관련사업자가 인수하는 계획이 주무장관의 인정을 받았을 경우, 일반폐기

물에 관한 수집운반의 허가를 불필요로 하는 원활화조치 등

식품순환자원의 재생 이용 등의 목표에 대해서는 개정법이 시행되는 2007년 말까지 업종마다의 특성 등을 고려해서 재검토하기로 하였으며 향후 각각의 사업자에 대한 권장을 강화하는 외에 계획이 추진되지 않았던 식품소매업이나 외식산업의 재생 이용 등의 향상을 도모한다.

또한, 식품순환자원을 사료나 비료로서 재생 이용을 한 경우의 온실가스 배출에 관한 LCA평가를 행하고 온실가스 배출감축에 대한 기여도를 파악하는 등 정량적인 평가를 위한 대책을 추진한다.

2.3.4. 용기 포장 재활용

가. 지금까지의 추진대책 · 과제

「용기포장에 관한 분별수집 및 재상품화의 촉진 등에 관한 법률」(1995년 법률 제112호)이 시행된 후 10년이 지난 지금 용기포장폐기물의 분별수거 및 재상품화는 착실히 이루어지고 있으며, 일반폐기물의 재활용률 상승, 일반폐기물의 최종처리량이 매년 감소하는 등의 효과가 나타났다.

향후는 재자원화(recycle)보다 우선되는 폐기물의 폐출억제(reduce), 재사용(reuse)을 더욱 추진하는 것 등이 과제다.

나. 앞으로의 추진대책

사업자를 대상으로 한 세미나 개최, 팜플릿 등을 통한 용기포장 재활용 제도의 홍보활동을 강화하고, 용기포장폐기물의 폐출억제 대책 촉진 등을 실시한다.

2.4. 농업분야의 온실가스 배출감축대책

2.4.1. 시설원예의 에너지 절약 대책

가. 지금까지의 추진대책 · 과제

지구온난화방지 및 원유가격 급등에 의한 농업경영의 영향을 줄이기 위해 시설원예에서는 다음과 같은 대책추진을 통해서 에너지 절약 대책 등을 적극적으로 추진해왔다.

- 「시설원예 등의 생산현장에서의 에너지 절약을 위한 대책추진 강화」(2006년 5월 생산국장 통지)를 발표하고 연비 향상을 위한 난방기기의 점검 정비를 철저히 하고 시설 내의 보온대책도 실시하는 등 생산현장에 대한 기술지도 실시
- 태양열, 지열수(地熱水) 등 석유대체 에너지를 이용하는 에너지 절약모델 온실 도입을 보조
- 원유가격 급등에 대한 긴급대책으로서 2005년에 한하여 농업 육성 교부금에서 다단식 thermo장치, 순환선(循環扇) 등 온실의 에너지 이용 효율을 높이고 연료 사용량을 줄이기 위한 기기·설비 도입을 보조
- 신 에너지·산업기술 종합개발기구가 실시하는 에너지 사용합리화 사업자 지원사업을 활용 2005년부터 고효율 난방기 도입을 보조
- 2007년에 시설원예 탈(脫) 석유 이노베이션(innovation) 추진사업을 창설하여 석유에 의존하지 않은 시설원예를 실현하기 위해 에너지의 이용 효율을 대폭 향상시키는 tri-generation system이나 농업용수를 이용한 소형 수력발전을 이용한 온실, 집·출하 시설 등의 도입을 추진

나. 앞으로의 추진대책

시설원예에 있어서 온실가스 배출량 감축과 원유가격 급등 리스크에 강한 농업경영을 실현하기 위해 시설원예 탈(脫) 석유 이노베이션 추진사업에 의한

탈(脫) 석유 원예시설 생산·유통 모델의 조기 확립·보급 등을 계속 추진하면서, 관련업체와의 연계를 통해 아래와 같은 대책을 추진하여 온실가스의 배출을 감축시키는 에너지 절약형 시설 원예 확립을 꾀한다.

- 1) 시설원예환경 자주행동 계획의 작성: 지구온난화 방지 대책 추진이나 그 목표를 정하는 「환경자주행동계획」을 시설원예부문으로서 작성하도록 관계단체에 요청한다.
- 2) 에너지 절약 관리 매뉴얼 작성·보급: 농업생산현장에서 에너지 절약 활동을 촉진하기 위해 에너지 절약에 효과적인 관리방법 및 기술을 정리하여 감축량을 파악할 수 있는 체크리스트를 포함시킨 「에너지 절약 관리 매뉴얼」 작성·보급
- 3) 에너지 절약효과가 높은 설비, 기기, 자재의 등급인정제도 창설을 검토하는 것 외에 하이브리드(hybrid) 난방설비, 목질 바이오매스 이용 난방설비 등 에너지 절약 효과가 높은 설비 등의 도입을 추진
- 4) 에너지 절약형 재배에 대한 전환 촉진: 식물 생육에 필요한 온도가 비교적 낮은 품종으로의 전환이나 설정온도의 재검토·적정화, 무가온(無加溫) 재배 검토 등 에너지 절약형 시설원예로의 전환을 촉진하기 위해 기술지도 강화

2.4.2. 농업기계의 온실가스 배출감축대책

가. 지금까지의 추진대책·과제

농업기계에 관한 온실가스 배출감축 대책은 에너지 절약형의 농업기계로서 곡물 원적외선 건조기(등유소비량을 최대 10% 감축, 소비전력량을 최대 30% 감축) 및 고속 써레질기(등유 소비량을 최대 15% 감축)를 개발하고 보급을 촉진해 왔다. 향후, 농업기계에 관한 온실가스 배출량을 더욱 감축시키기 위해서는 농업기계 이용과 공급 양쪽에서 대책을 추진하는 것이 필요하다.

나. 앞으로의 추진대책

온실가스 배출감축을 더욱 가속화하기 위해 산·학·관이 연계하면서 다음과 같은 대책을 종합적으로 추진한다.

- 1) 에너지 절약형 농업기계의 보급촉진
 - 곡물 원적외선(遠赤外線) 건조기, 고속 씨레질기 등 에너지 절약형 농업 기계에 대해 팜플릿 배포나 인터넷에 의한 정보제공 등을 통해서 보급을 촉진
 - 또한 농업인이 에너지 절약형 농업기계를 적절하게 선택할 수 있도록 농업기계의 에너지 절약 성능에 관한 시험방법, 기준, 표시해야 할 정보 등을 제공
- 2) 농업기계의 에너지 절약 매뉴얼 보급·계발(啓發)
 - 주요한 농업기계의 종류마다 연료 소비량을 감축시키기 위해 생산자가 주의해야 할 사항을 간단하게 정리한 「농업기계의 에너지 절약 이용 매뉴얼」의 작성 및 보급 등을 통해서 농업기계의 에너지 절약 이용을 추진
- 3) 농업기계의 BDF이용 촉진
 - 경유를 대체하는 연료로 폐식용유 등에서 제조된 바이오디젤의 이용 촉진
 - 이를 위해서는 BDF를 원료로 한 농업기계의 장기적, 안정적 사용을 위해 농업인, 농업기계나 바이오연료의 제조자 등이 유의해야 할 사항을 정리한 가이드라인의 작성 및 보급이 필요
- 4) 온실가스 배출감축에 도움이 되는 농업기계의 개발·실용화
 - 트랙터가 작업하는 상태에 맞추어서 연비가 좋은 운전조건(속도 조절, 기 관회전 수)을 조작 부위에 표시해주는 기기나 작업공정 단순화를 가능하게 하는 기계 등 온실가스 배출감축에 기여하는 농업기계의 개발을 가속화

이러한 대책 추진을 통해서 시설원예·농업기계에 관한 온실가스 배출량에 대해 2005년도를 기준으로 해서 2010년도까지 연간 배출량을 약 25만 CO₂톤을 감축시킬 것을 목표로 한다.

2.4.3. 환경보전형 농업의 추진에 의한 시비량 적정화·감축

가. 지금까지의 추진대책·과제

환경보전형 농업 추진에 의한 시비량의 적정화·감축에 대해서는 모든 농업인이 환경보전을 위해 최소한 노력해야 할 농업환경규범의 보급·추진, 퇴비 등을 이용한 토양 육성과 화학비료 등의 사용절감기술 도입을 종합적으로 추진하는 eco-farmer의 인정을 통해서 온실가스의 배출감축을 추진하고 있다. 도·도부현(시·도 단위 지방 지자체)별 시비기준(질소량)으로는, 예를 들어, 녹차 생산 주요지역(시즈오카현)에서는 2005년도에 54kg에서 40kg으로 감소시키는 등 각 지역에서도 추진 노력을 하고 있다. 그러나 2005년의 수도 10a당 질소(窒素)질 비료 시비량(전국 평균)을 보면 1990년과 비교해서 30% 정도 감소하였으나 최근에는 같은 수준에서 머무르고 있다.

따라서 계속 환경보전형 농업 추진에 의한 시비량 적정화·감축을 실현하기 위해 대책 추진을 계속하면서 2007년도부터 시작한 농지·물·환경보전향상 대책(영농활동 지원부분)의 추진이나 유기농업 추진법을 근거로 한 유기농업 추진 등 새로운 온실가스 배출감축 대책에 대한 노력이 필요하다.

나. 향후 추진대책

농지(수도작 이나 시비)에서 발생하는 온실가스에 대해 배출감축 대책을 더욱 촉진시키는 관점에서 제1차 공약기간인 2008~2012년을 중점추진기간으로 서 다음과 같은 시책을 추진한다.

1) 「환경보전형 농업추진의 기본적 생각」의 재검토

- 온실가스 배출억제에 도움이 되는 시비·토양 관리를 반영한 환경보전형 농업을 추진하기 위해 향후의 전개방향에 대해 검토하고, 올해 10월까지는 「환경보전형 농업추진의 기본적 생각」(1994년 4월, 농림수산성 환경보전형 농업추진본부 결정)의 재검토(안)를 공개·결정
- 그 후, 새로운 「환경보전형 농업추진의 기본적 생각」을 바탕으로 환경

보전형농업의 보급·계발을 추진

2) 쌀 생산(수도)에 따라서 발생하는 메탄의 배출감축대책 추진

- 쌀 생산(수도)에 따라서 발생하는 메탄(CH_4)에 대해서는 유기물 관리의 방법을 벧짚을 논에 섞는 방법에서 퇴비 시용으로 전환하고 간단(間斷) 관개(灌漑)논의 물 관리 방법을 개선함으로써 배출량을 억제
- 유기물 관리에 대해서는 축산지대 주변에서는 사료 증산 운동(국산 벧짚 이용 확대)과 연동해서 경종(耕種)농가와 축산농가의 연계를 통해서 벧짚과 가축 폐설물퇴비의 교환을 촉진
- 주변에 축산농가가 없는 수도 단작지대에서는 벧짚의 퇴비화 등을 촉진
- 환경보전형 농업이나 쌀 생산 관련회의 개최 등을 통해서 쌀 생산 농가에 대한 지도 강화
- 논·밭의 물 관리에 대해서는 현재의 배출량 산정방법은 일본의 일반적인 간단 관개를 할 경우에만 설정되어 있는데 간단 관개하기 전에 물을 빼는 시기를 앞당기거나 기간을 연장함으로써 배출억제효과를 기대할 수 있는 기술이 개발 중이기 때문에 2009년까지 이 기술을 확립하는 것을 목표로 가능한 한 배출량 산정방법에 반영

3) 시비에 따라 발생하는 아산화질소의 배출감축대책의 추진

- 시비에 따라 농지에서 발생하는 아산화질소(N_2O)에 대해서는 시비량의 감축, 분시(分施), 난효성(緩効性) 비료 이용을 통해 배출량 억제
- 지방자치단체의 시비기준의 재검토와 아울러 농업환경규범의 보급·추진 등의 시책을 추진해서 시비량의 적정화 및 감축

이러한 대책 추진으로 쌀 생산(수도)이나 시비에 따라서 발생하는 온실가스 배출량에 대해 2005년도를 기준으로 해서 2010년도까지 연간 배출량을 약 16만 7,000 CO_2 톤(※조정 중)을 감축하는 것을 목표로 하고 있다.⁵⁵

⁵⁵ 교토의정서 목표달성계획의 평가·재검토작업으로서 검토 중인 온실가스 배출량의 장래 추정에 따라 변동하기 때문에 예상 수치임.

2.4.4. 폐기업자재의 재활용 등

가. 지금까지의 추진대책

농업에 사용된 플라스틱에 대해서는 산업폐기물로서 배출자의 책임으로 적절하게 처리하는 것을 의무화하고 있으며 「원예용 사용필(畢) 플라스틱의 적정 처리에 관한 기본 방침」(1995년 10월 식품유통국장 통달)을 근거로 시설원예 등에서 배출된 플라스틱에 대해 배출억제 및 재활용 처리를 기본적으로 하도록 지도하고 있다.

또한 각 지역에서의 조직적 회수처리체제를 정비하기 위해 전국 7개소에 설치한 지역블록협의회, 도도부현(시·도 단위 지방자치단체) 단계(47협의회), 시읍명 단계[2,271협의회(2005년)]에서 조직된 협의회를 통해서 원예용 플라스틱의 효율적인 처리를 추진해 왔다.

이러한 노력의 결과 원예용 플라스틱의 재활용 비율은 매년 증가해서 2005년에는 배출량의 약 60%가 재활용으로 처리되고 있다.

나. 앞으로의 추진대책

폐기농업자재의 재활용 등을 통한 온실가스 배출감축을 추진하기 위해 지역블록 협의회 등에 대한 재활용처리를 기본으로 한 회수·처리를 더욱 추진하도록 지도하면서 폴리에틸렌 필름(polyethylene film)의 재활용 비율 향상이나 마니페스트(독: manifest)제도 활용을 통해서 보다 효과적이고 효율적인 대책 추진을 촉진한다.

2.4.5. 축산분야에서의 온실가스 배출감축

가. 지금까지의 추진대책

가축분뇨를 활용한 바이오가스는 화석연료 사용량 감축에 기여하고 있다. 2006년 10월 현재 전국 75개소에서 가축분뇨를 원료로 하는 메탄발효시설이

가동하고 있다. 또한 사료자급률을 향상시키기 위해 볏짚의 사료이용 확대를 추진하는 중이며 관행적으로 볏짚을 논에 췌거나 논에서 태우는 행위를 줄임으로써 아산화질소(N_2O), 메탄(CH_4) 배출감축에 기여하고 있다.⁵⁶

나. 앞으로의 추진대책

가축분뇨 퇴비화 이용을 추진하기가 어려운 축산집중지대 등에서는 지역의 실정에 따라서 탄화·메탄 발효에 의한 지역 순환형 축산[고도(高度) 이용]을 추진한다. 또한 사료용 국산 볏짚 확보에 대해서는 축산농가와 쌀농가를 연결하는 볏짚 수급 맵(map)을 작성하고 볏짚이 부족한 지역에 원활하게 볏짚을 공급하는 집하장(stock point) 설치 등 모델적인 광역유통체제 확립을 추진함으로써 사료용 볏짚의 자급률 100% 실현을 꾀한다.

2.5. 어선의 에너지 절약 대책

가. 지금까지의 추진대책·과제

원유가격의 급등이 어업경영에 미치는 영향을 줄이기 위해 어선어업에 대해 지방자치단체 등에서 어업자가 에너지 절약 등을 추진하는 데에 있어서 지표가 되는 공정표를 작성하여 어선의 적절한 보수 관리, 경제속도로의 주행 등 에너지 절약 대책을 추진해왔다. 또한 낚치어업 등에 사용되는 발광 다이오드(diode) 집어등(集魚燈) 사용, 고강도 신소재를 사용한 지인망 어구의 경량화 등 신기술의 실증 및 도입을 촉진해왔다.

지금까지의 추진결과를 바탕으로 어선어업의 에너지 절약대책의 가속화를 꾀하는 것이 필요하다.

⁵⁶ 현재의 온실효과가스 산정방법으로는 얼마만큼의 농산물 찌꺼기를 논에 췌거나 태우고 있는지를 정확하게 파악할 수 없기 때문에 농산물 찌꺼기의 10%는 소각하고, 90%는 논에 췌는다고 가정해서 산정되어 있다. 그래서 사료용의 국산 볏짚 확보 대책에 대해서는 교토의정서 상으로는 반영되지 않지만 실질적으로 온실가스 배출감축에 기여한다.

나. 앞으로의 추진대책

수산부문 기본 계획에서 설정된 해산물의 생산목표 달성을 위해 지속가능 어업 생산 활동 활성화 정책을 추진한다. 또한 온실가스 배출량의 대폭 감축과 연료가격 급등에 대응해서 어업자에 의한 어선의 적절한 운항관리와 어선어업 구조개혁 등을 통해서 에너지 절약형 어선의 개발·실용화·보급 등을 일괄적으로 추진한다. 이들 정책을 종합적이고 지속적으로 추진함으로써 어선어업의 건전한 에너지 소비구조의 전환을 유도하도록 한다.

이러한 대책 추진을 통해서 2005~2010년에 걸쳐 전 어선의 7%를 에너지 절약형 어선으로 교체하는 목표를 달성하면 2005년 배출량을 기준으로 했을 때 2010년까지 약 4만 7,000 CO₂톤의 온실가스 감축효과를 기대할 수 있다.

2.6. 농업농촌 정비사업에 의한 온실가스 배출감축대책

가. 지금까지의 추진대책·과제

농업용수의 효율적인 활용을 위해 현재까지 전국 25개소에서 농업수리시설 정비와 아울러 소규모 수력발전시설을 정비하여 농업수리시설의 관리용 전력으로서 이용하고 있다[연간 발전가능 전기량은 102백만kWh, 연간 약 5만 7,000 CO₂톤의 감축에 기여(2005년 시점)].

자연에너지의 이용 확대에 의한 온실가스 배출감축 추진, 기존 사회자본의 유효활용 관점에서 농업용수를 활용한 소규모 발전시설의 도입촉진이 필요하다. 또한, 태양열 등을 활용한 농업생산의 보완 등을 행하는 시설정비에 대해서도 도입 촉진이 필요하다.

또한 농업농촌 정비사업의 시공·공용·폐기의 각 단계에서 온실가스 배출 감축 등의 환경을 배려한 대책을 더욱 촉진하기 위해 LCA수법을 이용한 온실가스 배출량의 산정방법 검토를 시작하였다.

나. 앞으로의 추진대책

소규모 수력발전, 태양열발전 등은 발전 과정에서 배출되는 CO₂량이 화석연료에 의한 발전에 비해 적으며, 건설 시에도 환경부하가 적고 단기간에 설치할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있다. 따라서 소규모 수력발전시설, 태양열발전 시설 등에 대한 지원이 필요하며 소규모 발전 도입의 적합한 지역 등에 관한 정보 및 매뉴얼 정비가 필요하다.

2.7. 지산지소 추진

가. 지금까지의 추진대책

지산지소에 관해서는 생산(소비자 요구 파악)과 소비(농산물 판매) 측면에서 양면에서 다양한 활동을 행하고 있다. 이러한 활동을 통해서 지역 활성화, 음식 문화의 계승, 식량자급률 향상 등의 효과가 기대되고 식품 수송에 따른 연료소비 억제에도 기여한다.

지산지소 추진대책으로서는 각 지역에서 지산지소추진계획 책정을 촉진하는 등 지산지소의 전국 전개를 위한 대책을 추진해 왔다.

나. 앞으로의 추진대책

일본과 세계 각국의 푸드 마일리지(food mileage)에 대한 추정결과에 의하면 일본의 국민 1인당의 푸드 마일리지는 영국의 2배, 독일, 프랑스의 3~4배, 미국의 7배이며 일본의 식품공급구조는 장거리 수송을 거친 대량의 수입식품에 의존하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 상황도 고려해서 지산지소 대책을 추진하는 것이 중요하다. 또한 지구온난화 방지의 관점에서는 농산품뿐만 아니라 바이오연료 등의 이용에 대해서도 지산지소의 마인드가 중요하다. 지산지소의 보급·계발(啓發)을 통해서 국민의 이해와 관계자의 협력으로 환경부하가 적은 생활양식으로의 변화를 촉진해야 한다.⁵⁷

2.8. 지구온난화방지책에 관한 기술개발 등

2.8.1. 온실가스 배출감축대책의 기술개발

가. 지금까지의 추진대책

농업분야에서의 온실가스 배출감축 대책은 온실가스 배출억제에 기여하는 가축의 사육(소화기관 내 발효)기술, 가축분뇨 처리기술, 쌀 생산(수도)의 재배 기술(유기물 관리·물 관리) 등의 연구개발을 실시하고 있다.

나. 앞으로의 추진대책

지금까지 연구개발을 실시해온 온실가스 배출억제기술에 대해 생산현장에 대한 빠른 시기에 보급할 수 있도록 실증시험 등 지속적인 연구개발을 추진한다. 그중 쌀 생산(수도)의 재배기술(유기물 관리·물 관리)에 대해서는 지금까지의 연구결과를 바탕으로 제1차 공약기간 내에 보급할 수 있도록 추진한다.

또한 산림, 농지 등의 농림생태계에서의 탄소 등의 축적·방출 메커니즘의 해명해서 탄소순환모델을 개발하면서 탄소순환모델을 이용한 새로운 배출감축 기술, 탄소 흡수기능을 향상시키는 생산기술이나 농지 토양에 탄소를 저장하는 탄소 조류(貯留)기술 등의 개발을 추진한다.

그리고 가축분뇨에서 발생하는 메탄가스의 에너지 이용이나 유용물질의 추출·신뢰비화 등 가축분뇨의 종합적·효율적인 이용기술 개발 등 축산업에서의 온실가스 감축을 위한 기술개발을 추진한다. 마지막으로 어획물(漁獲物)에서 추출하는 어유(魚油) 에너지를 이용하는 연료자급형 어선의 개발 및 BDF를 어선에 도입하기 위한 조사연구 등을 실시한다.

57 「푸드 마일리지」란 수입식품의 총중량과 수송거리를 곱한 것이며 수송에 관한 이산화탄소 배출량 등의 경향을 대체적으로 파악할 수가 있다. 푸드 마일리지가 높은 나라일수록 환경에 큰 부하를 주고 있다고 추정된다.

2.8.2. 온실가스 배출계수 등에 관한 조사

온실가스 배출감축 대책을 효과적·효율적으로 추진하기 위해서는 각종 활동에 따른 배출량을 정확하게 파악하는 것이 필요하다. 농업분야에서의 배출량 산정방법에 대해서는 최근 개선되고 있지만 일부의 활동에 대해서는 지식 부족으로 일본의 기후조건 등에 적합한 산정방법을 설정하지 못하고 있다. 또한, 바이오매스 자원의 퇴비화, 사료화 등에 의한 온실가스 배출감축 효과에 대해서는 LCA의 관점에서 충분한 평가가 이루어지지 않고 있다.

그래서 다음과 같은 조사를 실시하여 정밀한 평가를 행함으로써 실효성 높은 온실가스 배출감축대책을 전개한다.

가축분뇨의 관리 및 경작지에서의 유기질 비료 사용 등에 따라 발생하는 온실가스 배출량에 대해 조사·분석하고 배출량의 산정방법에 사용되는 새로운 배출계수를 설정한다. 가축분뇨 등의 퇴비화, 식품폐기물의 사료화, 퇴비화에 대해 온실가스 배출에 관한 LCA평가를 행하고 온실가스 배출감축 기여도를 파악하는 등 정량적인 평가를 실시한다.

2.9. 농림수산성의 솔선 추진 대책

가. 지금까지의 추진대책

농림수산성은 일상적인 사무 및 사업에서의 에너지 절약 대책을 솔선 실시해서 사회 전체에 대한 보급을 견인하는 역할을 하기 위해 「농림수산성이 그 사무 및 사업에 관해서 온실가스의 배출 억제 등을 위해 실행해야 할 조치에 대해 정하는 실시계획」(2005년 7월 농림수산성 결정. 이하 「농림수산성의 실시계획」라고 함.)을 결정하였다. 이 계획을 근거로 2001년 대비 2006년까지 온실가스 총 배출량을 7% 감축할 것을 목표로 하여 농림수산성의 환경관리 시스템의 도입(2006년 3월에 ISO14001의 인증을 취득), 저(低)공해 자동차, 에너지 절

약형 기기·설비의 도입, 냉난방의 적정한 온도관리 등을 추진해 왔다. 그 결과, 2006년에는 2001년 대비 10% 감축을 달성하였다.

나. 앞으로의 추진대책

2007~2012년을 계획기간으로 하는 「정부의 실행계획」이 새롭게 책정되고 정부 전체의 온실가스 총 배출량의 2010~2012년 평균을 2001년에 비해 8% 감축하는 것을 목표로 설정하였다.

농림수산업에서는 지금까지의 활동을 바탕으로 위의 배출량을 10% 감축하는 것을 목표로 하는 새로운 「농림수산업 실시계획」을 책정해서 계속 일상적인 사무 및 사업에서 에너지 절약 등의 대책을 숙련해서 추진하기로 하였다.

3. 지구온난화 적응책

3.1. 농림수산업 지구온난화 적응책 추진

3.1.1. 농업생산

가. 지금까지의 추진대책

2002년 발생한 고온장해에 의한 쌀 품질저하 문제로 농림수산업 내부에 「수도 고온대책 연락회의」를 설치(2003년 4월), 연구개발의 추진 및 기술대책의 실시현황 등을 「고온 장채대책 리포트」(2006년 8월 공개)로 정해서 지방자치단체 단위로 대책 실시를 추진해왔다.

또한 수도 이외의 농축산물에 대해서는 2007년 2월에 실시한 「지구온난화로 생각되는 현상 및 당분간의 적응책에 관한 전국조사」의 결과를 정리해서 4월에 공개하였다.

그리고 주요품목에 대해서는 지금까지 추진해온 대책을 바탕으로 적응책에 관한 연구 성과 등을 포함하여 적응책이나 향후의 대응방침을 「품목별 적응책 리포트·공정표」로서 6월에 정리하였다.

나. 앞으로의 추진대책

「품목별 적응책 리포트·공정표」에 정리된 적응책을 생산현장에 보급·지도하도록 추진하면서 빠른 시기에 보급해야 할 새로운 적응책 기술의 도입 실증을 추진한다.

또한, 「품목별 적응책 리포트·공정표」에서 정해진 향후의 대응방침에 따라서 새로운 적응책에 관한 연구개발 성과의 실증·보급을 착실하게 실시한다. 그리고 생산현장에서의 피해 현황 및 적응책의 효과 등을 정확하게 파악한다.

3.1.2. 수도 평년작 수확량의 검토

수도는 최근 홋카이도에서 풍작이 계속되는 한편, 구주를 중심으로 한 일본 서부에서는 흉작이 계속되어 있으며 온난화가 수도생산에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 현황을 배경으로 온난화가 수도생산에 미치는 영향을 고려한 평년작 수확량의 산정방법을 검토하기 위해 「수도 평년(平年) 수량(收量)에 관한 검토회」를 설치(2006년 12월)해서 최근의 기상변화, 홋카이도와 구주의 생산현장에서의 수도생산 현황, 기온변화가 수도 생육에 미치는 영향에 관한 연구 성과 등에 대해 의논·검토를 행해왔다.

검토회는 「온난화에 따른 최근의 기상변화와 쌀 생산에 대한 영향」 및 「향후의 평년 수량에 대한 반영 방법(온난화의 영향)(안)」을 정리해서 중간정리를 할 예정이고 향후 2007년의 작황을 보고 검토한 다음 2008년 이후의 평년작 수확량에 어떻게 반영할 것인지를 결정해서 쌀 정책의 적절한 추진에 이바지한다.

3.1.3. 농지 · 농업용수 · 농업수리시설 등

국내농업의 생산성 향상과 식량공급 확보를 위해서는 농업생산의 가장 기초적인 자원인 농지 · 농업용수 확보와 농업용수를 공급하기 위한 농업수리시설의 용수 공급기능 · 폐수조건을 확보할 필요가 있다.

이러한 농지 · 농업용수 · 농업수리시설 등은 지구온난화에 따른 기상 등의 변화로 인해 다양한 영향을 받을 것으로 예상된다. 기후변동에 따른 해수면 상승에 대해서는 간접적으로 연안농지 등의 안전성 저하, 연안 평지의 배수기(排水機)장의 능력부족, 연안지역의 수자원에 대한 영향 등이 우려된다. 또한, 눈과 비가 적게 내릴 경우 봄의 눈석임물 등을 용수원으로 하는 쌀 생산 지대에 게 심각한 문제가 발생할 수 있으며, 기온 상승이 용수관리에 미치는 영향도 우려된다. 게다가 무강우일수(無降雨日數) 증가로 토양 건조나 생육불량 등 밭에 미치는 영향도 걱정된다. 한편, 집중호우의 빈발, 강우강도 증가의 영향은 농지토양의 침식(浸蝕), 농업수리시설의 피해, 농촌지역의 산사태, 침수 등 취약성 확대를 초래할 것으로 우려된다.

따라서 기상(氣象) · 수상(水象) 등의 변화가 일본의 농지, 농업용수, 농업수리시설 등에 미치는 영향의 사례를 파악하고 정리하여 향후 예상되는 영향의 범위 · 규모를 평가해서 필요한 적응책을 검토한다.

3.1.4. 산림 · 임업

기온 상승 등의 기상변화가 산림에 미치는 영향에 대해서는 장기적으로는 식생(植生) 변화, 산림에서의 동식물의 생태 및 활동에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 호우의 빈발, 홍수 위험성의 증대, 해면상승 등에 의해 대규모 산지재해 발생, 지역적 홍수, 해안림 상실 등이 발생할 것으로 우려된다. 따라서 향후 기상변화 및 세계 현황 등을 고려하여 관계기관과의 의견교환 · 의논 등을 통해서 지구온난화가 일본의 산림에 미치는 영향에 관한 정보수집에 노력하고 정량적인 영향평가를 한다. 또한 산지재해 등의 방재대책에 대해서는 최

근 산지재해의 발생형태 변화에 대응한 위험성이 높은 장소를 파악하면서 하드(hard)면, 소프트(soft)면에서 토석류(土石流) 등에 의한 대규모 산지 재해에도 대응할 수 있는 종합적인 치산(治山)대책을 추진한다. 지역적인 홍수에 대한 대책으로서 수원지역에서 치산시설을 정비하면서 황폐한 산림을 정비하고 그 밖에 해안림의 보전을 꾀한다. 아울러 재해방비(防備) 등의 공익적 기능을 특히 발휘해야 하는 산림에 대해서는 보안림으로서의 지정을 계획적으로 추진해서 적절한 관리를 하도록 한다. 그리고 지구온난화에 의한 기후영향평가의 진정 상황을 고려하면서 산지 재해 위험지구 예측기술의 정밀도 향상을 꾀한다.

3.1.5. 수산자원 · 어업 · 어항 등

지금까지 실시해온 조사·연구로부터 지구온난화가 진행된 경우, 수산생물의 분포나 어기(漁期), 증·양식 대상 종(種)의 적지 등이 변하면서 식물 플랑크톤 등의 기초생산을 포함한 해역의 생태계에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 게다가 기후변동에 따른 해면상승이 일어날 경우, 어항이나 어촌취락의 침수가 우려되고 어항시설 등의 안정성이나 기능성이 저하할 것으로 생각된다.

따라서 지금까지 실시해온 앞 바다를 중심으로 하는 거시적인 영향평가에 더해 지구온난화가 연안과 만 안쪽에 미치는 영향을 정확하게 파악·평가하는 수법의 개발 및 적응책의 검토 등을 행하고 그 결과를 바탕으로 필요한 대책을 계획적으로 추진한다. 또한 증·양식장, 해초 서식지, 간석지 등의 정비에 있어도 지속적인 모니터링 조사를 행하고 정비 실시 방법이나 정비 후의 관리 방법에 대해 재검토를 한다. 그리고 해면 상승 등이 어항이나 어촌에 미치는 영향에 대해 파악하도록 노력하고 그 결과에 따라 필요한 대책을 추진한다.

3.2. 지구온난화 적응책에 관한 기술개발 등

3.2.1. 지구온난화가 일본 농림수산업에 미치는 영향에 관한 예측 연구

가. 지금까지의 추진대책

앞으로의 지구온난화 진행이 일본의 농림수산업에 미치는 영향에 대해서는 지금까지의 연구결과에서 일부 지역에서의 수도의 잠재적 수량 감소, 과수의 재배적지 이동, 너도밤나무 분포적지 면적 축소, 수산자원의 분포·생산량의 변동 등의 결과가 나와 있고 이대로 지구온난화가 진행되면 일본의 농림수산업에도 심각한 영향을 미칠 것이 우려된다.

이러한 상황을 고려해서 불가피한 지구온난화 진행에 적절하게 대응하기 위해 미래의 지구온난화 진행이 농림수산업에 미치는 영향의 내용·정도 및 그 시기 등에 대해 지금까지의 연구 성과를 바탕으로 보다 정밀도가 높은 영향 평가(장래 예측)를 실시하여 이 영향평가를 기본으로 지구온난화 적응책의 연구를 계획적으로 추진해야 한다.

나. 앞으로의 추진대책

주요한 농림수산물의 수량·자원동향, 품질, 병해충 피해 등에 대해 기온, CO₂농도, 수자원량, 해수 온도 등의 지구온난화 인자를 종합적으로 고려한 예측모델을 구축하고 예상되는 영향의 내용, 정도 및 그 시기 등에 대해 종합적인 평가를 한다.

지구온난화 예측연구의 실시에 있어서는 관계부처와 연계해서 일본 근처에서의 상세한 기후변화의 미래예측을 바탕으로 보다 정밀도 높은 예측연구를 실시하면서 지역연구기관이나 생산현장이 연계한 지구온난화 영향의 모니터링에 의해 지속적인 영향분석을 실시한다.

3.2.2. 지구온난화 등의 영향을 고려한 세계 식량수급 예측 등

가. 지금까지의 추진대책

지구온난화가 식량수급에 미치는 영향에 대해서는 식량생산 측면에 대한 직접적인 영향과 바이오연료의 세계적인 수요 증가에 의한 바이오연료 원료작물과 식량의 경합에 의한 영향이 있다.

따라서 2007년 3월에 농림수산성 내부에 설치한 국제식량문제 연구회에서 지구온난화의 영향을 고려한 세계의 식량수급 예상 등에 대해 파악·분석을 진행하고 있다.

그러나 현 시점에서는 세계적으로 널리 이용되어 있는 식량수급예측모델로는 지구온난화에 의한 영향을 정량화하기가 어렵다. 또한 바이오연료의 세계적인 수요 증가에 의한 영향의 모델화 등의 연구도 진행되어 있으나 그 대상국은 특정 국가(미국, 중국)에 한정되어 있어 연구를 더 진정시킬 것이 필요한 상황이다.

나. 앞으로의 추진대책

중·장기적인 식량안정공급의 확보를 위한 전략을 구축하기 위해 지구온난화와 세계의 바이오연료 정책의 영향을 고려하면서 세계의 식량수급에 관한 중·장기적 예측을 실시한다.

또한 지구온난화에 따라 빈발할 것으로 예상되는 한발이나 집중호우 등의 기상피해 등 식량 공급에 혼란을 일으키는 사태에 대해 기동(機動)적으로 대응하기 위해 각국의 식량시책, 수급동향 등을 신속히 파악하는 정보수집·분석대책을 구축한다.

3.2.3. 지구온난화 적응책의 기술개발

가. 지금까지의 추진대책

농업관계 공립시험연구기관의 조사결과 등을 바탕으로 쌀, 보리, 대두, 채소,

과수 등의 작물별로 고온 장애 등에 의한 품질·생산성의 저하 및 병해충 피해 등에 적응하는 품종 및 재배관리기술을 개발했고 고온(高溫) 내성(耐性) 수도 품종인 「니코마루」, 「텐타카쿠」에 대해서는 생산현장에 대한 보급이 진행되고 있다.

나. 앞으로의 추진대책

지금까지 연구개발을 실시해온 지구온난화 적응책에 대해 생산현장에 조기 보급 실현을 위해 실증시험 등 계속해서 연구개발을 추진한다.

또한 현재 지구온난화에 의해 기온상승 등이 진행되어 있는 것도 고려해서 생산현장의 요구에 맞는 지구온난화에 적응한 품질 육성이나 재배관리기술의 개선 등 생산안정 기술의 개발을 빠른 시기에 개발한다. 아울러 새로운 영향 평가(미래 예측) 결과를 토대로 지구온난화 적응책의 연구계획을 책정해서 이에 따른 품종육성 및 생산안정 기술의 개발을 계획적으로 추진한다.

그리고 품질이나 수량의 저하 등 지구온난화영향에 관한 생리적 메커니즘과 유전요인의 해명을 시작하고 그 결과를 이용해서 생산안정 기술 개발이나 유전자 정보 등을 이용한 품종을 개발하고 지구온난화의 영향, 작물별 수급 예측, 적응책 도입비용 등을 요소로 하는 작물전환평가 시스템을 개발한다.

4. 농림수산 분야의 국제협력

4.1. 일본의 기술을 활용한 국제협력

지구온난화 문제를 해결하기 위해서는 세계 전체에서 온실가스의 배출감축 등에 노력하는 것이 필요하다. 따라서 일본의 기술을 활용한 국제협력을 더욱 추진하는 것이 중요하다.

기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC)에 의하면, 기후변동의 완화책에 대해

농림업 부문에서는 농업시스템에 있어서 메탄, 아산화질소의 배출감축 대책 추진, 산림감소를 억제함으로써 달성되는 배출감축이나 바이오매스 에너지에 의한 화석연료 대체 등을 통해서 크게 공헌할 수 있다고 평가받고 있다.

일본에서는 산림흡수원 대책이나 바이오매스 자원의 순환이용 등을 비롯한 대책을 적극적으로 추진하고 있고, 또한 본 종합전략에 의해 쌀 생산(수도)에 따라 발생하는 메탄의 배출감축대책 등 농업분야에서 새로운 배출감축대책을 보급시키면서 더욱 효과적·효율적인 배출감축대책의 기술개발을 추진하고 있다.

이러한 노력을 통해 얻어진 일본의 기술·경험을 활용하여 세계의 농림수산 분야의 배출감축대책 등이 촉진되도록 국제협력을 추진한다.

또한 지구온난화 적응책에 대해서도 본 종합전략을 바탕으로 지구온난화 진행으로 인해 농작물이나 농지·농업용수가 얼마나 피해를 입을지를 예측, 더위에 강한 품종 개발 등 지구온난화 적응책의 연구개발·도입을 종합적으로 추진하기로 하였다. 지금까지 추진해온 지속가능한 농업·농촌의 개발 등을 위한 국제협력도 포함해서 일본의 기술이나 과학적 지식을 활용, 지구온난화 진행으로 인해 우려되는 세계의 식량문제, 사막화 등의 토양 악화, 수자원의 문제 등을 해결하기 위해 국제협력을 추진한다.

4.2. 불법 벌채 대책 등의 지속가능한 산림경영을 위한 국제적 대책 추진

세계의 산림면적은 약 39억 5,000만 ha로 전 육지 면적의 약 30%를 차지하고 있다. 개발도상지역을 중심으로 여전히 산림 감소·악화가 계속 진행되고 있으며 지구온난화, 생물다양성의 감소, 사막화 진행 등 지구 규모로 환경문제가 더욱 심각해질 우려가 있다.

산림 감소에 의한 온실가스 배출량은 전 세계의 온실가스 배출량의 약 20~25%에 해당된다고 추정되고 있다.

개발도상지역을 중심으로 한 산림의 감소·악화의 원인으로서 농지·플랜테이션으로의 전용, 장작·숯용 목재의 과잉 채취 등 외에도 각각의 나라의 법

를을 어기고 행하고 있는 산림벌채(불법 벌채)가 있다.

이들의 문제에 대처하기 위해 국제사회에서도 의논이 진행되어 있으며 2005년에 열린 G8정상 회담에서는 불법 벌채 대책의 국제적인 추진 강화에 대해 의논되었고, 같은 해에 열린 기후변화협약 당사국총회(COP11) 이후, 개발도상국의 산림감소에 따른 온실가스 배출을 감축하는 방법에 대한 검토를 하고 있다. 또한 2007년의 국제연합 산림포럼에서는 세계의 지속가능한 산림경영을 추진하기 위한 시스템에 대해 국제사회가 합의하였다.

일본은 여태까지 국제적인 대책과 연계하면서 2개국 간의 국제협력이나 국제기관을 통한 많은 국가와의 국제협력을 통해서 불법 벌채 대책이나 개도국에서의 지속가능한 산림경영을 추진할 수 있도록 지원해 왔다. 또한 그린 구입법을 근거로 정부조달의 대상을 합법성, 지속가능성이 증명된 목재·목재제품으로 하는 조치를 2006년 4월부터 도입하였다.

앞으로도 불법 벌채문제 해결을 위한 대책 등을 추진하면서 지속가능한 산림경영을 위한 기술협력이나 목재 생산국에서의 산림관리체제 강화 등으로 연결되는 국제규칙을 구축하고, 산림 감소 대책에 적극적으로 참가·공헌한다.

연구자료 D229

주요국의 농업부문 기후변화협약 대응 방안

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
02-3299-4000 <http://www.krei.re.kr>
인 쇄 (주)문원사
02-739-3911~5 <http://www.munwonsa@chol.com>

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