

최 종  
연구보고서  
(수 정 본)

## 탄소배출권 거래제 도입과 농업부문 대응 전략

### A Strategic Framework for The Korean Agriculture under The Kyoto Mechanism

고려대학교 생명환경과학대학

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “탄소배출권 거래제 도입과 농업부문 대응 전략에 관한 연구” 교제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년 7 월 일

주관연구기관명 : 고려대학교

총괄연구책임자 : 양 승 룡

세부연구책임자 : 김 정 규

책임 연구원 : 손 요 환

책임 연구원 : 조 용 성

연구 원 : 임 성 수

연구 원 : 김 대 연

연구 원 : 모 정 윤

연구 원 : 서 금 영

# 요 약 문

## I. 제 목

탄소배출권 거래제 도입과 농업부문 대응 전략

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 지구 도처에서 발생하고 있는 기후변화는 과거 200여 년간 자본주의 경제발전의 주동력이 되어온 화석연료의 사용으로 인한 지구온난화에 기인한다. 1997년 체결된 교토의정서는 지구온난화의 주범으로 인식되고 있는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 메탄(CH<sub>4</sub>) 등 온실가스의 배출을 의무적으로 저감시키는 국제적인 합의이다. 그러나 이러한 범지구적인 노력은 세계 최대 온실가스 배출국인 미국의 참여 거부로 많은 진통을 겪었지만 2004년 11월 러시아의 전격적인 비준으로 인해 교토의정서는 2005년 2월 16일 극적으로 출범하였다.

교토의정서의 공식적인 출범으로 국제 탄소배출권 시장이 전 지구적인 관심으로 부상하였고, 이 새로운 시장을 통하여 다양한 산업과 지역에서 새로운 경제적 기회를 추구하고 있다. 교토의정서 하에서 일국에 할당된 배출권은 과거 배출실적에 따라 산업과 각 산업에 속한 기업에 배분되고, 이는 기업의 생산과 경쟁력에 영향을 미치게 된다. 만약 저감비용이 막대하거나 경제성장 등으로 물리적인 저감이 어려울 경우 국내의 타 산업이나 외국으로부터 배출권을 구입하여야 한다. 이에 따라 탄소배출권은 이미 영국, EU, 미국 등의 여러 거래소에서 활발하게 거래되고 있을 뿐만 아니라, 온실가스 다배출 업계와 온실가스 흡수원, 그리고 국제금융자본의 관심을 끌고 있다.

2002년 11월 교토의정서를 비준한 한국 역시 세계에서 9번째로 많은 이산화탄소를 배출하는 국가로서 제1차 공약기간인 2008~2012년에는 배출권 저감의무를 지지 않는 개발도상국으로 인정받았으나, 제2차 공약기간(2013~2017년)부터는 의무감축 규제를 받을 것으로 예상된다. 이에 따라 제2차 공약기간의 온실가스 저감 목표설정 및 할당방법과 각 부문별, 산업별 온실가스 저감 잠재량 파악 및 목표설정에 대한 국가종합계획을 준비하고 있다. 이

러한 과정에서 농업 또한 도시산업화, 산림 파괴, 임지 임목의 대규모 벌채 및 농업의 산업화 등과 같은 인위적인 요인에 의한 토지이용(land use)의 변화가 생태계의 균형과 기능을 변화시키고 지구온난화를 가속화하는 주요인이 되어 왔다.

교토의정서는 대기 중에 방출되는 온실가스의 양을 줄이거나, 또는 흡수원(sink)을 통해 대기로부터 격리 고정되는 온실가스 양을 늘리는 두 가지 방법을 통해 순배출량을 줄이는 것을 제안한다. 특히 탄소고정(carbon sequestration)은 다양한 사업(project)을 통해 배출량을 저감할 수 있는 중요한 수단으로 인식되고 있다. 농업부문은 영농활동을 통해 온실가스를 배출시키는 배출원(source)인 동시에 온실가스를 줄이거나 제거하는 흡수원이 되며, 그 구체적인 내용과 규모는 영농활동의 종류와 방법, 토양, 지리적 형태 등에 따라 달라진다 따라서 농업의 입장에서는 농가경제에 미치는 효과를 정확하게 이해하는 것이 우선적으로 필요하다. 이와 함께 우리보다 먼저 이 시장에 진입한 타 국가들의 탄소배출권 시장 동향을 분석하고, 이를 우리 농업은 어떻게 활용하여 새로운 방향을 모색할 것인지에 대한 종합적인 연구가 필요하다.

특히 농업경제의 측면에서는 배출권거래제와 연계한 농업정책을 디자인하여 배출권거래제를 보다 적극적인 수익원으로 활용하는 노력이 요구된다. 최근 쌀의 과잉생산이 지속되어 증산 위주의 농업정책 대신 품질과 소득위주의 농업정책으로 전환되고, 이러한 정책구조의 변화에 따라 쌀 재배면적이 감소하고 전작과 휴경 등 다양한 형태의 농경지 이용변화가 예상된다. 이러한 농경지 이용의 변화 속에서 기후변화협약과 교토의정서 상에 명시된 탄소배출권 거래제는 농업부문에 새로운 가능성을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 교토의정서가 발효됨에 따라 본격적으로 가동되기 시작한 탄소배출권 거래제를 한국 농업의 새로운 기회로서 활용할 수 있는 방안을 모색하는 데 있다. 이를 위해 교토의정서의 의미와 전개 과정을 이해하고, 교토메카니즘을 통한 탄소배출권 시장의 동향을 분석한다. 또한 외국의 사례를 분석하고 한국적 상황에 적합한 활용방안을 모색하는데 있다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 내용은 크게 농경지의 이용 변화를 통한 탄소저장량 추정과 탄소배출권 가

측정과 농업 대응전략의 개발로 구성되어 있다. 세부 1 과제에서는 농경지 이용변화에 따른 토양 내 작부체계, 토지이용별 탄소저장량 추정 및 식생의 종류별 바이오매스 추정을 수행하였다. 토양 내 유기탄소의 함량을 예측하기 위하여 현재 개발되어 있는 모형 중 우리나라 농경지 적용에 적합한 모형인 Century 4.0 및 RothC 모형을 채택하였고, 우리나라 농경지에 위의 모형을 적용할 수 있는지를 검토하였다. 이를 위해 작부체계와 토지이용 기록이 확실한 시험토장, 즉 경기도 덕소에 위치한 고려대학교 부속농장을 선정하여 상기 모형에 필요한 매개변수를 분석 수집하였고, 기상정보, 토양 유기탄소 함량, 토양 물리성, 수분함량 등의 자료집합(dataset)을 작성하여 모수화(parameterization) 과정을 수행하였다.

산림 부문에서는 주요 조림 수종별 임령 증가에 따른 이산화탄소 흡수량을 추정하기 위하여, 잣나무와 낙엽송 임분의 임령 증가별 이산화탄소 흡수량을 임목의 바이오매스 추정을 통하여 산출하였다. 한국의 산림은 대부분이 인공조림된 것으로 이 중 잣나무는 유실수종으로 농가소득에 중요한 수종이며, 낙엽송은 속성수로 재적 생장이 다른 수종에 비해 빨라 탄소 축적에 유리한 장점이 있어 생산조정제와 연계한 조림사업의 경제적 가치를 평가하는데 이용되었다.

세부 2 과제는 농업부문의 가능한 사업에 따른 탄소배출권의 가치측정과 이의 활용전략 개발에 있다. 이를 위해 기후변화협상의 동향 분석과 한국의 국제협상 대응전략을 제시하고, 농업부문과 연계한 배출권거래제 도입방안을 해외사례 연구와 향후 농업정책에 적용하기 위한 연계 방향을 모색하였다.

기후변화협상의 동향 분석은 기후변화협상과 교토의정서의 개요, 관련 주요국의 입장과 주요 이슈를 중심으로 분석하였다. 배출권거래제와 관련해서는 독자들의 이해를 제고하기 위해 거래제의 이론적 설명과 함께 외국(EU, 영국, 캐나다, 미국, 호주)의 배출권거래 동향을 소개하였다. 또한 교토의정서의 효율적인 이행을 위해 도입되어 개도국의 참여를 유도하는데 유용한 청정개발체제(CDM) 프로젝트의 운용실태를 분석하였다. 마지막으로 농업부문의 대응전략 개발을 위해 다양한 직접지불제 사업과의 연계방안을 강구하였다.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 교토의정서의 발효와 함께 새롭게 등장한 탄소배출권시장을 활용하여 한국농업의 어려운 여건을 개선하고 새로운 기회로 활용할 수 있는 방안을 모색해 보았다. 특히 CDM 사업의 농업정책과의 연계는 향후 다가올 교토의정서 상의 국가의무분담에 기여하고,

친환경사업을 통하여 새로운 가치를 창출함으로써 농업과 농업정책에 대한 대내외적 비난과 압력을 해소시킬 수 있으며, 추가적인 경제적 가치를 창출하여 농업소득 증대에 기여할 수 있다는 점에서 중요하다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 생태계 탄소순환 모델인 CENTURY 모형을 이용하여 작부체계별 토양유기탄소 저장량을 추정하고, 온실가스의 배출원으로서만 인식되고 있는 논외 온실가스 고정량과 배출량을 추정하여 순배출량을 계산하였다. 그 결과 논외 연간 온실가스 배출량이  $-13.744 \text{ tCO}_2$ 로서 배출원이 아니라 흡수원임을 보였다. 이는 향후 논과 관련한 직불사업의 명분이거나 단가 산정 등에 있어 중요한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

둘째, LULUCF의 일환인 조림사업을 통한 탄소고정량의 경제성 평가를 위해 주요 수종을 대상으로 탄소고정량을 추정하였고 이를 바탕으로 조림사업의 가치를 평가하였다. 이 결과는 특히 농업직불정책인 조건불리지역직불제나 생산조정제와 연계할 경우 추가적으로 지원할 수 있는 소득규모를 산정하는데 활용할 수 있다.

셋째, 조건불리지역직불제와 연계한 조림 및 재조림사업의 경우 총 349천 ha의 한계농지와 무림목지에서 연간 34만9,000톤의 탄소배출권을 확보할 수 있는 것으로 추정되었다. 이는  $\text{CO}_2$  톤당 \$10의 경우 35억원, \$20의 경우 약 70억원의 경제적 가치를 의미한다.

넷째, CDM 사업을 생산조정제와 연계할 수 있는 방안으로 휴경지에 잣나무 조림과 바이오디젤 생산을 위한 유채생산의 경우를 가정하여 경제적 가치를 추정하였다. 잣나무 조림의 경우 여러 시나리오 하에서 50년에 걸쳐 최소 27,540백만 원에서 최대 294,642백만 원의 순익이 발생하는 것으로 추정되었다. 탄소배출권 가격을 보수적으로 가정한 것과 향후 시장의 활성화로 배출권가격이 상승할 것을 고려한다면 이 사업의 중요성은 여전히 큰 것으로 판단된다. 유채생산의 경우 휴경면적이 3만 ha일 경우 90,000톤의 유채 생산을 할 수 있으며, 톤당 290달러의 국제 유채가격을 적용할 경우 약 260억 원에서 430억원의 조수입을 매년 창출할 수 있을 것이다. 이와 함께 32,460톤의 바이오디젤 생산을 통해 연간 97,380톤( $=32,460 \times 3$ )의 탄소배출권을 획득할 수 있고, 이는 배출권의 시장가격에 따라 9.7억 원에서 19.5억 원의 가치가 되는 것으로 추정되었다.

마지막으로 현재 진행 중인 CDM 사업에 대한 분석을 바탕으로 농업정책과 연계시킬 수 있는 방법론과 실행과제를 제시하였고, 정책과의 연계 시 시행방안을 모색하였다. 이에 대한 보다 세부적인 내용은 연계시킬 정책의 목표와 사업내용, 사업대상 등에 따라 구체화될 수 있을 것이다.

## SUMMARY

The substantial climate changes recently observed at all over the world result mainly from the excessive use of fossil fuels, such as oil and coal, in the process of industrialization during the last 250 years. The Kyoto Protocol launched in 1997 is an international agreement to reduce the greenhouse gases (GHGs) that is the main driver of global warming. After a long hassle since its inception, the Kyoto Protocol became into effect in February 2005 with the Russia's ratification and emissions reduction became a real concern for the 38 Annex I countries. They are supposed to reduce GHG emissions by an average on 5.2% from the 1990 level or purchase allowances from other Annex I countries who can emit less than the permitted amounts by the NAPs (national allocation plans).

In addition to the emissions trade, the Kyoto Mechanisms also allows a supplementary means for compliance, CDM (clean development mechanism) and JI(joint implementation) projects. A CDM project is hosted by a developing country, while a JI project is hosted and funded by different Annex I countries. Since the credits from CDM or JI projects are equally valid for compliance, trades of credits from these projects have great potentials as it is projected that the demand exceeds the supply of allowances at the end of the first commitment period, 2008-2012. Especially, investment in CDM projects is expected to explode because of the limited opportunity for JI projects and unlimited potentials for project credits in the developing countries.

Agriculture is not only sources, but also sinks of GHGs through removal or sequestration of carbon and methane. There have been many efforts around the world to improve agriculture's ability to sequester GHGs and to seek ways for economic benefits through the Kyoto Mechanism.

The purpose of this study is to develop a strategic framework for Korea's agriculture under the Kyoto mechanism. To this end, the evolvement of international efforts to cope with the climate changes is first reviewed. Then, the

international markets and trade situations are analyzed, An extensive review of the efforts to deal with the Kyoto Protocol in Korea will follow. Finally, strategies and procedures are suggested to link agricultural policies to the CDM projects to create economics opportunities for the Korean agriculture.

# CONTENTS

<b>Chapter I. Introduction</b> .....	17
1. Background and Problem Statement .....	17
2. Research Objectives .....	19
3. Implications .....	20
<b>Chapter II. International Negotiations on Climate Change and Kyoto     Mechanisms</b> .....	21
1. Overview of Negotiations on Climate Change .....	21
2. Kyoto Mechanisms for Emission Reduction .....	32
<b>Chapter III. Kyoto Protocol and Responses in Korea</b> .....	58
1. Current Situations of GHGs Emissions .....	58
2. Efforts by the Korean Government .....	59
3. Situations of Emission Trade Scheme .....	68
<b>Chapter IV. Kyoto Mechanisms and Agriculture</b> .....	83
1. Agriculture in the World .....	83
2. Agriculture in Korea .....	89
<b>Chapter V. Kyoto Mechanisms and Situations Framework for Korea's     Agriculture</b> .....	98
1. Valuing Carbon Credits in Agriculture .....	98
2. Linking Methods between Kyoto Mechanisms and Agriculture .....	131
3. Procedures for CDM Projects Linked to Agricultural Policies .....	162
<b>Chapter VI. Conclusions</b> .....	169

Reference .....	172
Appendix I. Estimation Models for Organic Matter Storage in Soil .....	181
Appendix II. CDM Projects That Can Be Linked to Direct Payment Policies for Unfavorable Regions .....	187
Appendix III. The Summary of CDM PDD That Can be Linked to Produce Biodiesel .....	196

# 목 차

제1장 서론	17
제1절 연구의 배경과 필요성	17
제2절 연구의 목적과 내용	19
제3절 기대효과	20
제2장 기후변화협상 동향 분석과 교토메카니즘	21
제1절 기후변화협상 동향 분석	21
제2절 온실가스 저감을 위한 교토메카니즘	32
제3장 기후변화협약과 한국의 대응 현황	58
제1절 한국의 온실가스 배출현황	58
제2절 정부의 대응 현황	59
제3절 국내 배출권거래제 도입 현황	68
제4장 교토메카니즘과 농업부문의 대응 동향	83
제1절 외국의 사례	83
제2절 한국 농업부문의 대응 현황	89
제5장 탄소배출권거래제 도입과 한국 농업의 대응 전략	98
제1절 농업부문의 탄소배출권 가치 측정	98
제2절 탄소배출권 거래제와 농업정책의 연계 방향	131
제3절 농업정책과 연계된 CDM 사업의 시행 절차	162
제6장 결론	169
참 고 문 헌	172

부록 1. 토양 유기물 저장량 추정 모형 .....	181
부록 2. 조건불리지역직불제와 연계 가능한 CDM 사업 .....	187
부록 3. 바이오디젤 생산과 연계된 CDM 사업계획서 요약 .....	196

## 표 목 차

<표 1> 기후변화협약의 의무사항 및 주요 내용	23
<표 2> 국가별 온실가스 감축비율	26
<표 3> 교토메카니즘 정의	28
<표 4> 국제배출권거래제 주요 이슈 및 각국의 입장 비교	36
<표 5> 거래참가자 및 참가 자격	38
<표 6> 거래특성별 거래량 동향	50
<표 7> EU ETS의 6가지 기본 원칙	54
<표 8> 기타 유럽의 배출권거래소	55
<표 9> 온실가스 부문별 배출 현황	58
<표 10> 기후변화협약 범정부대책기구 체계도	62
<표 11> 에너지·산업부문의 주요 시책	63
<표 12> 1999년 정부부처별 기후변화협약 관련 실적 평가	67
<표 13> 국내 온실가스 배출권거래 시범사업(환경부 안)	73
<표 14> 국내 온실가스 배출권거래제 시범사업운영(산업자원부 안)	77
<표 15> NCGAVS의 탄소 변화량 및 N <sub>2</sub> O 발생량에 영향을 주는 세부요인	80
<표 16> 한국 산림의 탄소 순흡수량과 경제적 가치	90
<표 17> 2000년 산림의 탄소 순흡수량과 경제적 가치	90
<표 18> 2020년 산림의 탄소 순흡수량과 경제적 가치(추정)	91
<표 19> 주요 제품을 가공할 때 배출되는 온실가스량 비교	94
<표 20> 세계은행의 Carbon Finance Business 중 산림부문 사업	96
<표 21> 전 세계에 분포하는 토양 목별 토양유기탄소 저장량	99
<표 22> 대기 중 CO <sub>2</sub> 수준을 증가시키는 영농활동	100
<표 23> 국내 경작지 토양 벼에서 흡수 및 방출되는 CO <sub>2</sub> 와 O <sub>2</sub> 의 양	101
<표 24> GCTE SOMNET이 공유하는 7개 지역에서 수집한 12개 자료집합	104
<표 25> GCTE SOMNET이 공유하는 자료집합에 대한 9개 모형의 적용여부	105
<표 26> 모형의 각 자료집합 적용 시 나타나는 통계적 빈도	106

<표 27> 고려대학교 부속농장의 토지이용 현황	108
<표 28> 시료채취 지점별 작부체계 및 토양분석 결과	109
<표 29> CENTURY 4.0 모형의 최적 파라미터	111
<표 30> 논미의 탄소저장량 변화	114
<표 31> 품종별 조곡의 탄소 함량	116
<표 32> 유기물원의 탄소 함량	117
<표 33> 논미의 종류별 온실가스 저장량과 경제적 가치 추정	118
<표 34> 잣나무 인공림의 임령별 생체량, 탄소 축적량, 이산화탄소 흡수량	121
<표 35> 낙엽송 인공림의 임령별 생체량, 탄소 축적량, 이산화탄소 흡수량	122
<표 36> 남부지방 주요 조림 수종의 탄소 축적량	123
<표 37> 국가별 주요 조림 수종의 연간 이산화탄소 흡수량과 경제적 가치	124
<표 38> 단위면적당 간벌 및 벌채 수익 산출	125
<표 39> 산림 관리 작업별 비용	126
<표 40> 조림지의 임령별 작업비용과 수익	127
<표 41> 마라케쉬 합의문에서 토지이용, 토지이용변화, 임업의 정의	129
<표 42> 1990년과 2000년도 토지이용변화 및 임업부문 온실가스 경제적 가치	130
<표 43> 이전수입 및 공적보조 변화 추이	131
<표 44> 정부의 직접지불제 확충 계획안	132
<표 45> 정부의 농업직불제 사업운영 현황	133
<표 46> 농업·농촌 정책의 지원방법간 장단점	134
<표 47> 조건불리지역직불제의 2005년도 사업계획안	136
<표 48> CDM 사업 분류	137
<표 49> CDM 사업에 대한 UNFCCC 공인 방법론(2005년 7월 현재)	138
<표 50> UNFCCC에 등록된 CDM 사업(2005년 7월 현재)	139
<표 51> 소규모 CDM 사업에 대한 UNFCCC 공인 방법론(2005년 7월 현재)	140
<표 52> 임상별·행정구역별 산림면적(2003)	141
<표 53> 100만석 당 쌀 처리비용 비교	144
<표 54> 잣나무 조림에 따른 총비용(3,000본/ha)	145
<표 55> 숲 가꾸기 및 간벌·주벌에 따른 비용	146

<표 56> 나무 종류별 이산화탄소 흡수량	147
<표 57> 잣나무 수령에 따른 탄소 축적량	148
<표 58> 연도별 탄소배출권 판매 수익(대상면적 3만ha 기준)	150
<표 59> 연도별 탄소배출권 판매 수익(대상면적 5만ha 기준)	151
<표 60> 연도별 잣 생산량 및 가격	152
<표 61> 단위면적(ha)당 간벌 수익 산출	153
<표 62> 비용편익분석(할인율4%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10)	153
<표 63> 비용편익분석(할인율4%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20)	154
<표 64> 비용편익분석(할인율4%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10)	154
<표 65> 비용편익분석(할인율4%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20)	154
<표 66> 비용편익분석(할인율5%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10)	154
<표 67> 비용편익분석(할인율5%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20)	155
<표 68> 비용편익분석(할인율5%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10)	155
<표 69> 비용편익분석(할인율5%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20)	155
<표 70> 비용편익분석(할인율6%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10)	155
<표 71> 비용편익분석(할인율6%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20)	156
<표 72> 비용편익분석(할인율6%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10)	156
<표 73> 비용편익분석(할인율6%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20)	156
<표 74> 유럽의 바이오디젤 보급 현황 및 정책	158
<표 75> 각국의 연도별 바이오디젤 판매 추이	159
<표 76> 작물별 바이오에너지 생산 추정량	160
<표 77> 세계 주요국가의 유채 및 대두 단수 비교	161
<표 78> 국내 CDM 사업 주요 컨설팅 3사 소개	168
<부표 1> 공개의견 수렴과정에 있는 타당성 단계의 CDM 사업(2005년 7월 현재)	196

## 그림 목 차

<그림 1> 기후변화협약 이행을 위한 조직 구성도 .....	25
<그림 2> CDM 프로젝트의 주최국 분포 .....	33
<그림 3> CDM 프로젝트 종류 .....	33
<그림 4> CDM 프로젝트별 CER 창출 물량 .....	34
<그림 5> 연간 프로젝트 기준 배출저감 거래량(2012년산까지) .....	49
<그림 6> 구매국의 배출저감 거래물량 비중 .....	51
<그림 7> 판매국의 배출저감 거래물량 비중 .....	51
<그림 8> 2005년산 Nord Poll과 EU ETS의 탄소배출권 가격추이 .....	56
<그림 9> 농업부문의 온실가스 배출 현황(2001년) .....	59
<그림 10> NCGAVS를 이용한 온실가스 발생량 추정 과정 .....	79
<그림 11> Web 기반 NCGAVS의 표지화면 .....	81
<그림 12> 온실가스 발생량 예측 방법 .....	81
<그림 13> 인위적으로 발생한 이산화탄소의 저감방법 모식도 .....	102
<그림 14> Century와 RothC 모델의 user interface .....	107
<그림 15> 공시포장의 작부체계 .....	109
<그림 16> 시험포장의 전경 .....	110
<그림 17> 작부체계 변화에 따른 토양탄소 저장량 변화 예측 .....	112
<그림 18> 인위적인 유기물(퇴비) 투여가 없을 경우의 SOC 변화량 .....	112
<그림 19> 논 면적의 변화와 SOC 변화 추이 .....	115
<그림 20> 논 종류별 온실가스 순 저감량 비교 .....	119
<그림 21> 임령에 따른 잣나무와 낙엽송 인공림의 탄소 축적량 변화 .....	122
<그림 22> 임령별 산림의 이산화탄소 축적의 경제적 가치 .....	124
<그림 23> 임령별 연간 이산화탄소 흡수량의 경제적 가치 .....	125
<그림 24> 산림경영 시나리오 순수익과 이산화탄소 흡수 수익의 총합 .....	128
<그림 25> 잣나무 수령별 총 탄소 축적량 .....	148

<그림 26> 잣나무 수령에 따른 연도별 추가적인 탄소 축적량.....	149
<그림 27> CDM 등록체계 운영 절차.....	164
<부도 1> CENTURY 모델의 논리 및 흐름도.....	182
<부도 2> SOM 함량 예측 시 관측치와 예측치의 비교 정량 흐름도.....	186
<부도 3> 메탄가스 포집 사업의 모니터링 계획.....	190
<부도 4> 바이오디젤 생산 계통도.....	197

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경과 필요성

최근 지구 곳곳에서 발생하는 급격한 기상 변화는 지구 생태계뿐만 아니라 경제적, 정치적, 사회적인 문제로 부상하고 있다. 이러한 기후변화는 과거 200여 년간 자본주의 경제발전의 주동력이 되어온 화석연료의 사용으로 인한 지구온난화에 기인한다. 1997년 체결된 교토의정서는 지구온난화의 주범으로 인식되고 있는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 메탄(CH<sub>4</sub>) 등 온실가스의 배출을 의무적으로 저감시키는 국제적인 합의이다. 그러나 이러한 범지구적인 노력은 각국의 이해관계가 상충함에 따라 오랜 기간 진통을 겪어왔다. 특히 전 세계 온실가스의 1/4을 배출하는 것으로 알려진 미국이 자국 산업과 경제에 미치는 영향을 우려하여 교토의정서 비준을 거부함에 따라 출범 자체가 비판적이었다. 그러나 2004년 11월 러시아의 전격적인 비준으로 인하여 교토의정서는 2005년 2월 16일 극적인 출발을 시작하였다.

교토의정서의 공식적인 출범은 그간 불안과 우려, 그리고 가늠다란 희망으로 이어가던 국제 탄소배출권 시장이 전 지구적인 관심으로 부상하였고, 이 새로운 시장을 통하여 다양한 산업과 지역에서 새로운 경제적 기회를 추구하고 있다. 교토의정서 하에서 일국에 할당된 배출권은 과거 배출실적에 따라 산업과 각 산업에 속한 기업에 배분되고, 이는 기업의 생산과 경쟁력에 영향을 미치게 된다. 만약 저감비용이 막대하거나 경제성장 등으로 물리적인 저감이 어려울 경우 국내의 타 산업이나 외국으로부터 배출권을 구입하여야 한다.

이에 따라 탄소배출권은 이미 국제시장에서 거래할 수 있는 상품으로 가치를 얻고 있으며, 이의 거래를 위한 제도적, 산업적 인프라는 이미 구축되어 있다. 2002년에 이미 UK ETS(Emission Trading Scheme)를 통하여 이 시장의 선두자리를 차지한 영국 외에도, 2005년 1월 전 유럽을 대상으로 거래를 시작한 EU의 ETS(EU Emission Trading Scheme)를 비롯하여 유럽 각국에서 7개의 거래소가 출범하거나 출범할 예정에 있다. 배출권거래제를 포함하여 교토의정서의 저렴하고 효과적인 이행을 위해 도입된 교토메카니즘(Kyoto Mechanism)의 청정개발체제(Clean Development Mechanism:

CDM)와 공동이행제도(Joint Implementation: JI) 등의 사업도 매우 활발하게 진행되고 있다. 이미 국내에서도 CDM 사업의 일환으로 울산화학(2004년)과 강원풍력단지(2005년), 시화호조력발전(2005년) 등의 사업이 진행되거나 추진 중에 있다.

2002년 11월 교토의정서를 비준한 한국 역시 세계에서 9번째로 많은 이산화탄소를 배출하는 국가로서 제1차 공약기간인 2008~2012년에는 배출권 저감의무를 지지 않는 개발도상국이지만, 제2차 공약기간(2013~2017년)부터는 의무감축 규제를 받을 것으로 예상된다. 이에 따라 제2차 공약기간의 온실가스 저감 목표설정 및 할당방법과 각 부문별, 산업별 온실가스 저감 잠재량 파악 및 목표설정 등에 대한 국가종합계획을 준비하고 있다.

이러한 과정에서 농업 또한 도시산업화, 산림 파괴, 임지 임목의 대규모 벌채 및 농업의 산업화 등과 같은 인위적인 요인에 의한 토지이용(land use)의 변화가 생태계의 균형과 기능을 변화시키고 지구온난화를 가속화하는 주요인이 되어왔다. 지구온난화를 통한 기후변화는 또한 농업생산과 농업경제에 막대한 영향을 미치고 있다. 그러나 현실적으로 농정당국을 비롯하여 농업계와 농업관련 학계의 배출권거래제에 대한 인식과 이해가 높지 않다. 따라서 교토의정서와 배출권거래제가 농업에 미치는 경제적, 사회적, 물리적 영향에 대한 이해를 바탕으로 농업의 입장에서 의정서에서 요구하는 의무감축의 영향을 대비하고, 배출권거래제를 활용할 수 있는 방안이 조속히 모색되어야 한다.

교토의정서는 대기 중에 방출되는 온실가스의 양을 줄이거나, 또는 흡수원(sink)을 통해 대기로부터 격리 또는 고정되는 온실가스 양을 늘리는 두 가지 방법을 통해 순배출량을 줄이는 것을 제안한다. 특히 탄소고정(carbon sequestration)은 다양한 사업(project)을 통해 배출량을 저감할 수 있는 중요한 수단으로 인식되고 있다. 농업부문은 영농활동을 통해 온실가스를 배출시키는 배출원(source)인 동시에 온실가스를 줄이거나 제거하는 흡수원이 되며, 그 구체적인 내용과 규모는 영농활동의 종류와 방법, 토양, 지리적 형태 등에 따라 달라진다. 따라서 농업의 입장에서는 교토의정서 하에서 지게 될 의무부담이 무엇이며, 이것이 농업생산과 농가경제에 미치는 효과를 정확하게 이해하는 것이 우선적으로 필요하다. 이와 함께, 단일 상품시장으로는 석유에 버금가는 규모가 될 것으로 예상되는 탄소배출권 시장이 어떻게 움직이고 있으며, 이를 우리 농업은 어떻게 활용하여 새로운 방향을 모색할 것인지에 대한 종합적인 연구가 필요하다.

특히 농업경제의 측면에서는 배출권거래제와 연계한 농업정책을 디자인하여 배출

권거래제를 보다 적극적인 수익원으로 활용하는 노력이 요구된다. 최근 쌀의 과잉생산이 지속되어 증산위주의 농업정책 대신 품질과 소득위주의 농업정책으로 전환되고, 이러한 정책기조의 변화에 따라 쌀 재배면적이 감소하고 전작과 휴경 등 다양한 형태의 농경지 이용변화가 예상된다. 예를 들면 경제성, 생산성이 낮은 밭은 한계농지로 용도 변경되고, 논도 일부는 한계농지가 될 가능성이 많다. 이러한 농경지 이용의 변화 속에서 기후변화협약과 교토의정서 상에 명시된 탄소배출권 거래제도는 농업부문에 새로운 가능성으로서 활용될 수 있을 것이다.

## 제2절 연구의 목적과 내용

본 연구의 목적은 교토의정서가 발효됨에 따라 본격적으로 가동되기 시작한 탄소배출권 거래제를 한국 농업의 새로운 수익원으로서 활용할 수 있는 방안을 모색하는데 있다. 이를 위해 교토의정서의 의미와 전개 과정을 이해하고, 교토메카니즘을 통한 탄소배출권 시장의 동향을 분석한다. 또한 외국의 사례를 분석하고 한국적 상황에 적합한 활용방안을 모색하는데 있다.

본 연구의 내용은 크게 농경지의 이용 변화를 통한 탄소저장량 추정과 탄소배출권 가치 측정과 농업 대응전략의 개발로 구성되어 있다. 토양환경 및 산림생태전공 연구진들이 수행한 세부 1 과제에서는 농경지 이용변화에 따른 토양 내 작부체계, 토지이용별 탄소저장량 추정 및 식생의 종류별 바이오매스 추정을 수행하였다(3장). 토양 내 유기탄소의 함량을 예측하기 위하여 현재 개발되어 있는 모형 중 우리나라 농경지 적용에 적합한 모형인 Century 4.0 및 RothC 모형을 채택하였고, 우리나라 농경지에 위의 모형을 적용할 수 있는지를 검토하기 위하여 실측 데이터집합(dataset)을 작성하여 모형의 적합성을 검토하였다. 이러한 적합성 검토 작업에는 작부체계와 토지이용 기록이 확실한 시험토장의 선정(site-specific)이 중요하다. 따라서 상기 모형에 필요한 매개변수를 분석, 수집하기 위하여 기상정보, 토양 유기탄소 함량, 토양 물리성, 수분함량 등의 자료집합(dataset)을 작성하여 모수화(parameterization) 과정을 수행하였다.

산림생태 부문에서는 주요 조림 수종별 임령 증가에 따른 이산화탄소 흡수량을 추정하기 위하여, 잣나무와 낙엽송 임분의 임령 증가별 이산화탄소 흡수량을 임목의 바이오매스 추정을 통하여 산출하였다(3장). 한국의 산림은 대부분이 인공조림된 것으로, 주요 수종은 소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 등을 들 수 있다. 이 중 잣나무

는 유실수종으로 농가소득에 중요한 수종이며, 낙엽송은 속성수로 재적 생장이 다른 수종에 비해 빨라 탄소 축적에 유리한 장점이 있어 생산조정제와 연계한 조림사업의 경제적 가치를 평가하는데 이용되었다.

농업경제학 전공 연구진들이 수행한 세부 2 과제는 농업부문의 가능한 사업에 따른 탄소배출권의 가치측정과 이의 활용전략 개발에 있다. 이를 위해 기후변화협상의 동향 분석과 한국의 국제협상 대응전략을 제시하고(2장), 농업부문과 연계한 배출권거래제 도입방안을 해외사례 연구(4장)와 향후 농업정책에 적용하기 위한 연계 방향(5장)을 모색하였다.

기후변화협상의 동향 분석은 기후변화협상과 교토의정서의 개요, 관련 주요국의 입장과 주요 이슈를 중심으로 분석하였다. 배출권거래제와 관련해서는 독자들의 이해를 제고하기 위해 거래제의 이론적 설명과 함께 외국(EU, 영국, 캐나다, 미국, 호주)의 배출권거래 동향을 소개하였다. 또한 교토의정서의 효율적인 이행을 위해 도입되어 개도국의 참여를 유도하는데 유용한 청정개발체제(CDM) 프로젝트의 운용실태를 분석하였다. 마지막으로 농업부문의 대응전략 개발을 위해 다양한 직접지불제 사업과의 연계방안을 강구하였다.

### 제3절 기대효과

본 연구 결과의 기대효과는 기술적 측면과 경제·산업적 측면으로 구분할 수 있다. 기술적 측면으로는 첫째, 농지의 이용변화 조사 및 예측으로 합리적인 토지 이용의 기초자료 제공; 둘째, 작물과 식생의 종류별 탄소량 조사로 농업생태계의 물질순환에 대한 이해 제고; 셋째, 토양 내 탄소량 변화 조사로 토양의 상태별 적절한 이용정책 수립에 기여; 넷째, 최적의 경작방식 및 휴경 등 합리적인 농경지 이용 정책에 필요한 기초자료 제공; 다섯째, 온실가스 저장 확대를 위한 농업부문의 정책 수립에 근거를 제공한다. 경제·산업적 측면으로는 첫째, 농업경영의 대안을 제시함으로써 농가소득증대 기회 제공; 둘째, 다양한 직불제 사업을 시장지향적인 배출권거래제와 연계하여 보다 합리적이고 명분 있는 농업정책을 운용할 수 있는 기회 제공; 셋째, 이를 통해 보다 유연한 농업예산 운용의 가능성을 제공할 것이다. 또한 이 연구는 기후변화협약에 대한 농업부문의 이해와 효과적인 대응을 위한 자료를 제공할 것이다.

## 제2장 기후변화협상 동향 분석과 교토메카니즘

### 제1절 기후변화협상 동향 분석

#### 1. 국제 기후변화협약과 교토의정서 개요

##### 가. 기후변화협약

기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)은 지구온난화에 따른 기후변화현상 발생을 막기 위하여 1992년 6월 브라질 리우환경회의에서 채택된 협약이다. 한국을 포함한 154개국이 서명하였으며, 1994년 3월 21일 공식적으로 발효되었다. 한국은 1993년 12월에 47번째로 가입하였고, 2004년 2월 현재 188개국이 비준한 상태다. 동 협약은 온실가스 배출의 역사적 책임에 근거하여, 공동의 차별화된 책임 및 능력에 입각한 저감의무부담을 원칙(협약 제 3조)으로 하고 있으며, 이 원칙에 근거하여 협약당사국을 부속서 I 국가군, 부속서 II 국가군 및 비부속서 I 국가군으로 구분하여 차별화된 의무부담을 규정하고 있다(협약 제 4조).<sup>1)</sup> 이 중 부속서 I 국가들은 온실가스 배출량을 1990년 수준으로 감축하도록 규정하고 있다. 이러한 감축의무 규정은 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서상의 구체적인 저감목표 설정의 근거가 되었다.

##### 1) 기후변화협약의 원칙

기후변화협약은 형평성, 비용효율성, 기후변화의 방지를 위한 예방적 조치의 시행, 그리고 지속가능한 성장의 보장 등을 원칙으로 하고 있다. 형평성은 현세대와 미래세대 간의 형평과 현세대에서도 지역간 또는 경제개발의 차이에 따른 균형을 포괄적으로 포함한다. 협약 3조 1항에 각국은 온실가스 배출의 역사적 책임에 근거하여, ‘공동의 차별화된

1) 부속서 I 국가군은 주로 EU와 동구권으로 구성되어 있으며, 협약 당시 35개국에서 제3차 당사국총회 이후 40개국으로 증가했다. 부속서 II 국가군은 동구권을 제외한 EU와 OECD 국가들로 이루어져 있으며, 개도국에 온실가스 감축 노력을 위한 재정지원 및 기술이전의 의무를 갖는다. 비부속서 I 국가군은 주로 개도국들(한국 포함)로 구성되어 있으며, 국가보고서 제출 등 협약 상 일반적 의무를 수행하도록 하고 있음

(common but differentiated)' 책임 및 능력에 입각한 온실가스 저감의무가 있음을 명시하고 있다. 이는 기후변화에 대해 모든 국가가 공동으로 책임을 지지만 의무부담에 있어서는 차별적인 책임이 적용됨을 의미하는 것으로, 온실가스 배출에 역사적인 책임이 있고 기술과 재정적 능력이 있는 선진국의 선도적 역할을 강조한 것이다. 이러한 형평성 원칙에 근거하여 협약 제4조에는 협약당사국을 부속서 I 국가군, 부속서 II 국가군 및 비부속서 I 국가군으로 구분하여 차별화된 의무부담을 규정하고 있다.

선진국들로 구성된 부속서 I 국가들은 온실가스 배출량을 1990년 수준으로 감축하기 위해 노력하도록 규정하고 있으며, 이러한 감축노력규정은 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서 상의 구체적인 저감목표 설정의 근거가 되었다. 한편 협약 3조 3항에는 기후변화 방지를 위한 정책수단들이 비용효율적이어야 한다는 원칙이 명시되어 있다. 즉, 협약당사국들은 비용효과적인 온실가스 배출저감을 위한 예방조치를 취해야 하며, 그러한 조치는 모든 온실가스의 흡수원과 배출원 그리고 모든 경제부문을 포함하는 포괄적인 정책 및 조치가 되어야 함을 의미한다. 이외에 기후변화협약은 기후변화에 대한 어느 정도의 과학적인 불확실성이 있더라도 국제사회는 대응조치를 지연시켜서는 안 된다는 점과 동시에 각국이 지속가능한 개발을 촉진시켜야 하고 또 촉진시킬 권리를 가진다고 정하고 있다.

## 2) 기후변화협약의 의무사항 및 주요 내용

기후변화협약은 전문과 26개 조항으로 구성되어 있으며, 기본원칙, 의무사항, 재정지원 사항, 기술이전, 조직사항 등으로 대별된다. 이 중 제4조에는 기후변화협약의 핵심사항인 각국의 의무사항이 규정되어 있다(표 1). 협약가입국의 의무사항은 개도국과 선진국을 불문하고 모든 협약 가입국에게 공통적으로 적용되는 일반의무사항과 선진국만을 대상으로 하는 특별의무사항으로 구분된다. 일반의무사항으로는 첫째, 각국은 이산화탄소를 비롯한 온실가스 배출량과 흡수량을 조사·보고하여야 한다. 이와 관련하여 현재 협약당사국총회에서는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제안한 방법을 토대로 모든 배출원과 흡수원에 대해 6가지 온실가스물질의 배출통계를 작성·보고하도록 정하고 있다.

둘째, 기후변화의 방지와 적응능력의 향상을 위한 국가전략을 수립하여 시행하여야 한다. 이는 기후가 변할 경우를 대비하여 각 부문에 대한 적응방안을 수립하는 것으로, 온실가스 배출을 저감시키며 흡수원을 확대하는 정책을 수립하는 것을 의미한다. 보다 구체적

<표 1> 기후변화협약의 의무사항 및 주요 내용

항 목	주요 내용
협약의 목적 (제2조)	- 온실가스(CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O 등)로 인한 기후체계의 변화를 최소화하기 위해 온실가스의 농도를 안정화
협약의 구성	- 전문과 26개 조항으로 구성되어 있으며 각국의 의무사항, 재정지원, 기술이전, 조직사항 등으로 구성 - 온실가스 배출억제를 위해 각국이 취해야 할 의무사항을 규정하고 있으며, 일반의무사항과 특별의무사항으로 구분
일반의무사항 (선진·개도국 공통)	- 각국은 모든 온실가스의 배출량 및 흡수량에 대한 국가통계와 정책 이행에 관한 국가보고서를 작성, 당사국총회에 보고 - 기후변화 방지에 기여하는 국가전략을 수립·시행하고, 공식적으로 공표 - 온실가스 통계와 국가정책에 관해 보고할 의무 (선진국: 협약 발효 후 6개월, 개도국은 3년 이내에 최초의 국가보고서 제출, 그 후에는 주기적으로 제출)
특별의무사항 (선진국·시장경제 전환국)	- 온실가스저감 및 흡수원 보호를 위한 국가정책 채택과 구체적 조치의 이행(2000년경까지 '90년 수준으로 온실가스배출의 안정화를 목표) - 개도국에 대한 재정지원 및 기술이전의 의무 - 보고의무와 관련하여 국가정책의 구체적 이행실적 및 온실가스 저감 효과의 추정·보고 의무
재정지원	- 선진국은 개도국, 특히 기후변화에 취약한 국가의 의무수행에 필요한 비용을 충당할 수 있도록 새롭고 추가적인 재정지원을 해야 함
기술이전	- 선진국은 환경적으로 건전한 기술과 전문지식의 이전 및 접근을 증진시킬 수 있는 단계적 조치를 취해야 함
특별고려사항	- 협약이행을 위해 재정 및 기술이전에 있어서 군소도서국가 및 자연적 취약국가들에 대한 특별고려 - 화석연료에 과다하게 의존하거나 에너지 집약형 상품의 수출에 크게 의존하는 국가에 대한 특별고려

으로 온실가스 흡수원인 산림과 해양의 지속가능한 관리 및 기후변화문제를 각 부문의 정책에 반영하기 위한 영향평가제의 제도화 등을 촉구하고 있다. 이외 일반의무사항으로 과학과 경제 분야의 연구개발 및 협력, 각국간 정보의 교류와 대국민 교육·홍보의 확대 등을 규정하고 있다. 특별의무는 부속서 I 국가에만 적용되는 의무사항으로 2000년까지 1990년 수준으로 온실가스 배출량을 동결하도록 노력하며, 이를 위해 국가정책을 채택하고 구체적인 조치를 시행하도록 규정하고 있다. 그러나 동 의무사항은 구속력 혹은 강제력이 부여된 것은 아니다.

한편 부속서 I 국가 중 동구권 국가를 제외한 OECD 24개국과 유럽연합으로 구성된 부

속서II 국가에 대해서는 개도국에 대한 재정지원 및 기술이전에 대한 의무를 규정하고 있다. 對개도국 재정지원과 기술이전 관련 의무사항은 선진국과 개도국간의 입장이 첨예하게 대립되고 있는 중요한 사안으로 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 개도국이 당사국총회에 제출해야 하는 국가보고서(National Communication) 작성을 위해 필요한 연구비를 선진국이 지원해야 한다는 것이다. 다른 하나는 협약 4조 1항의 공동의무를 개도국이 이행하는데 수반되는 비용을 선진국이 부담해야 한다는 것이다. 이 부분은 개도국의 의무이행과 관련 되기 때문에 매우 포괄적이며 지원의 규모 역시 경우에 따라서 매우 클 소지가 있다. 이러한 재정지원 규모에 대해서는 선진국과 개도국간에 합의가 아직 이뤄지지 못하고 있다.

### 3) 기후변화협약 조직 및 이행기구

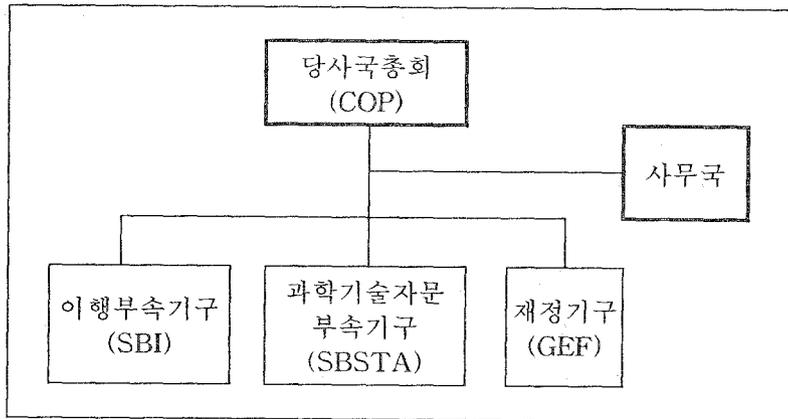
기후변화협약의 이행을 위한 조직은 당사국총회, 사무국, 이행부속기구, 과학기술자문부속기구, 재정기구 등으로 구성되어 있다(그림 1). 당사국총회(Conference of the Parties: COP)는 협약관련 최종의사결정기구로서 대체로 협약의 진행을 전반적으로 검토하기 위해 일년에 1회의 모임을 갖는다. 임시총회는 6개월 이전 사전통보와 1/3 동의로 개최할 수 있다. COP의 주요기능은 협약당사국의 의무이행여부 및 조직운영의 검토, 협약당사국이 채택한 대책과 관련된 정보의 교환, 배출통계작성 및 각 정책에 대한 평가, 정규보고서 작성 및 부속기구 보고서 검토, 재정자금의 조성, 국제기구와 NGO 등과의 협력 도모 등이다.<sup>2)</sup>

협약 상에는 COP를 보조하기 위해 2개의 영구적 부속기구(Subsidiary Body)인 이행부속기구와 과학기술자문기구의 설치를 규정하고 있다. 이행부속기구(Subsidiary Body for Implementation: SBI)는 국가보고서 제출, 재정·기술지원 방안 등 협약의 이행과 관련된 문제에 관한 권고안을 만들어 COP에 제출하는 역할을 수행하고 있다. 반면, 각국의 정부대표로 구성되는 과학기술자문부속기구(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice; SBSTA)는 기후변화와 관련된 과학적 연구를 평가하며 관련 프로그램의 확충을 위한 다양한 기능을 수행한다. 특히, 온실가스 배출통계방법론, 국가보고서 작성지침 등 협약의 과학기술적 측면에 대한 권고안을 만들어 COP에 제출하는 역할을 수행하고 있다. 이외에 협약 제11조에는 선진국의 개도국에 대한 재정지

2) 보다 상세한 사항은 UNFCCC의 홈페이지인 <http://www.unfccc.de> 내용 참조하기 바람

원과 기술이전문제를 담당하는 별도의 재정지원기구를 규정하고 있는데, 이와 관련하여 제4차 당사국총회에서는 GEF(Global Environment Facility)를 공식적인 재정지원 담당기구로 결정하였다.

<그림 1> 기후변화협약 이행을 위한 조직 구성도



나. 교토의정서(Kyoto Protocol)와 교토메카니즘(Kyoto Mechanism)

1) 선진국 온실가스 감축목표 설정

기후변화협약은 모든 국가들이 '환경적으로 건전하고 지속가능한 성장'을 위해 공동노력을 하여야 한다는 점을 천명한 원칙적인 성격의 협약이나 법적 구속력이 약한 협약이었다. 협약의 채택 당시 현실적으로 지구온난화 현상의 주범인 온실가스의 규제는 경제적인 파급효과가 상당히 클 뿐만 아니라, 국가간에 커다란 차이가 있기 때문에 즉각적이고 구체적인 규제는 어려울 수밖에 없었으며, 이에 따라 협약 상에는 기본적인 사항만을 규정하게 되었다.

그러나 기후변화협약의 채택이후 구체적인 규제기준의 설정과 정책의 강화를 위해 협약의 개정 및 후속의정서 제정을 위한 협상을 지속적으로 진행함에 따라 COP3에서는 협약보다 한층 구체적이며 진일보한 교토의정서를 채택하게 되었다. 즉 기후변화협약을 기초로 하여 진행되어온 국제적인 온실가스 감축 노력은 1997년 12월 교토의정서를 채택함으로써,

<표 2> 국가별 온실가스 감축비율

국 명	감축목표율
EU, 스위스, 체코, 불가리아 등	-8%
미국	-7%
일본, 캐나다, 헝가리, 폴란드	-6%
크로아티아	-5%
러시아, 우크라이나, 뉴질랜드	0%
노르웨이	+1%
오스트레일리아	+8%
아이슬란드	+10%

부속서B 국가들의 구체적인 감축목표를 설정하는 성과를 거두게 되었다. 이로써 부속서B 국가들은 제1차 공약기간(2008~2012년)동안 1990년 배출량을 기준으로 평균 5.2%를 감축하여야 할 의무를 지게 되었다.<sup>3)</sup> 교토의정서에서 합의된 부속서B 국가의 온실가스 감축목표는 표 2와 같다.

## 2) 온실가스 종류 및 배출원 결정

교토의정서에는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub> 등 6개 가스를 감축대상가스로 규정하고 있다. 온실가스 종류에 대한 논의 당시, EU와 일본 등은 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O만을 감축대상으로 규정할 것을 주장하였으나 미국이 HFC, PFC, SF<sub>6</sub> 등 3개 가스의 추가를 강력히 주장하여 규제대상 온실가스는 총 6종류로 결정되었다. 온실가스 감축에 대한 기준연도는 1990년이나 각국의 사정에 따라 HFC, PFC, SF<sub>6</sub> 등 3개 가스의 기준연도는 1995년도를 이용할 수 있도록 정하고 있다.<sup>4)</sup> 감축대상 온실가스 발생분야

- 3) 제3차 당사국총회에서 부속서 I 국가군에 대한 구체적 의무부담을 설정하고 이 국가군을 의정서 상에서 부속서B에 명시함. 부속서B국가들(기후변화협약 부속서 I 국가 40개국 중 협약을 아직 비준하지 않고 있는 미버준국, 터키와 벨라루스를 제외한 38개국을 지칭) 전체의 평균 감축량 비율은 1990년 배출량 기준으로 5.2%이나, 각국별 감축비율은 각국의 경제적 여건을 반영하여 -8%에서 +10%까지 차별화된 감축량을 규정함
- 4) 화석에너지의 연소과정에서 주로 발생하는 CO<sub>2</sub>는 에너지부문과 산업공정에서 배출되고 있으며, CH<sub>4</sub>는 폐기물과 축산부문, N<sub>2</sub>O는 비료사용에서 주로 발생하고 있다. 한편, 과불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs), 육불화탄소(SF<sub>6</sub>)와 같은 염화불화탄소(CFCs)는 냉매 및 세척용 등으로 사용되고 있다. 이들 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도는 차이가 나며, IPCC가 제시한 지구온난화지수(Global Warming Potential)에 따르면 CO<sub>2</sub>를 1로 보았을 때 CH<sub>4</sub>는 21, N<sub>2</sub>O는 310, PFCs는 7,000, HFCs는 1,300 그리고 SF<sub>6</sub>는 23,900임

는 에너지부문, 산업공정부문, 용제 및 기타 제품, 농업부문, 폐기물부문 등으로 합의 되었으며, 산림 등에서의 온실가스 흡수도 함께 고려하기로 하였다. 특히, 흡수원과 관련하여 1990년 이후의 토지이용 및 조림 사업분을 국별 배출량 산정 시 인정하되 상세한 내용은 차후 의정서 당사국총회에서 결정하기로 하였다.

### 3) 교토메카니즘(Kyoto Mechanism)

교토의정서에 의해 선진국들은 자국의 온실가스 감축목표가 설정됨에 따라 온실가스 감축에 따른 비용과 과급효과를 최소화하기 위한 일환으로써 교토메카니즘을 도입하였다. 교토메카니즘에는 국제배출권거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제 및 공동삭감제(bubble) 등 4개의 제도가 포함되어 있다(표 3).<sup>5)</sup> 국제배출권거래제도(International Emission Trading; IET)는 교토의정서 제17조에 규정된 것으로 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼타를 부여한 후, 이들 국가간에 배출쿼타의 거래를 허용하는 제도이다. 즉, IET는 설정된 감축 할당량을 부족서 I 국가간에 거래할 수 있도록 한 조치로서 할당량을 초과 배출한 국가는 타국의 잉여분을 배출권으로 구매하여 자국의 할당목표를 달성할 수 있다.

공동이행제도(Joint Implementation; JI)는 의정서 제6조에 규정된 것으로 온실가스 배출감축을 위한 선진국간의 공동 사업으로 국제배출권거래제의 보완수단으로 인식되고 있다. 선진국인 A국이 선진국인 B국의 온실가스 배출저감 노력을 지원한 후 저감된 B국의 배출량 일부를 A국의 배출저감량(credit)으로 인정해 주는 제도이다. 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM)은 의정서 제12조에 규정된 것으로 선진국으로 하여금 감축비용이 낮은 개도국에 투자하여 배출저감량(Certified Emission Reduction)을 창출하여 이를 획득할 수 있도록 한 제도이다.

## 2. 주요국의 입장과 동향

### 가. 기후변화협약 당사국총회 논의 경과

---

5) 이들 메카니즘은 도입 초기에는 신축성체제 또는 유연성체제(flexible mechanism) 등으로 불리었으나 현재는 교토메카니즘(Kyoto Mechanism)으로 통일되어 지칭되고 있음

<표 3> 교토메카니즘 정의

**공동이행제도(Joint Implementation)**

교토의정서 제6조에 규정된 것으로 선진국인 A국이 선진국인 B국에 투자하여 발생한 온실가스 감축분의 일정분을 A국의 배출저감실적으로 인정하는 제도

**청정개발체제(Clean Development Mechanism)**

교토의정서 제12조에 규정된 것으로 선진국인 A국이 개도국인 B국에 투자하여 발생한 온실가스 배출 감축분을 자국의 감축 실적에 반영할 수 있도록 하는 제도

**배출권거래제(Emission Trading)**

교토의정서 제17조에 규정된 것으로 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후, 동 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도

1992년 리우회의 이후, 5회의 정부간 협상위원회를 거쳐 1995년 4월 독일 베를린에서 제1차 당사국총회(COP1)가 개최되었다. COP1에서는 기존 의무사항이 협약목적 달성에 부적합하다는데 합의를 보고, 2000년 이후의 선진국 온실가스 감축의무 강화를 위한 협상의 시작을 결의하였다. 그 후 COP2까지 베를린결의(Berlin Mandate)에 따른 실무그룹회의가 4회 열렸으며 선진국 의무사항의 차별화가 주요 쟁점사항으로 떠올랐다. 1996년 7월 스위스 제네바에서 열린 COP2에서는 베를린결의에 따른 협상의 진전 상황에 대한 보고와 검토가 있었으며, 강력한 온실가스 감축을 위한 COP3까지의 새로운 의정서 도출을 주요 내용으로 하는 각료선언이 채택되었다. 그러나 당시 각료선언에 대한 참가국들의 호응을 얻지 못하였으며 특히 개도국의 강력한 반발로 이에 서명한 국가는 없었다. 1997년 12월 일본 교토에서 열린 COP3에서는 교토의정서를 채택하였으며, 이에 따라 선진국들은 제1차 공약기간(2008~2012년) 중의 온실가스 배출을 '90년도 배출수준 대비 평균 5.2% 감축하기로 합의하였다. 아울러 새로운 온실가스 감축 이행수단으로서 공동이행, 청정개발체제, 배출권거래제도 등 유연성체제(flexible mechanism)가 도입되었다.

1998년 11월 아르헨티나 부에노스아이레스에서 개최된 COP4에서는 교토메카니즘, 재정지원, 기술이전 등의 6개 쟁점사항에 대한 구체적인 시행방안을 마련하기 위한

부에노스아이레스 행동계획을 채택하였으며, COP6까지 모든 의제에 대한 의사결정을 하기로 합의하였다. 특히, COP4에서는 非부속서 I 국가에 속한 카자흐스탄과 아르헨티나가 자발적인 온실가스 감축을 공표하였고, 이와 함께 개도국의 자발적 의무부담방안 및 참여문제에 대한 선진국과 개도국간의 열띤 논쟁이 있었다. 그 후 1999년 독일 본에서 개최된 COP5는 COP4에서 채택된 6개 의제에 대해 COP6까지 협상을 완료하는 과정의 중간 총회로서, 총 32개의 결정문이 채택되었다. 또한 국가보고서 작성지침, COP6 개최일정 등 방법론적, 절차적, 행정적 사안 등에 대한 합의가 도출되었다. 그러나 교토메카니즘의 구성 및 운영방안과 개도국보상 문제(기술지원과 재정지원) 등 실질적 사안에 대해서는 향후의 작업계획과 관련 전문가 토론 계획 등만을 확정하는 선에서 마무리되었다. 한편 COP5에서는 교토의정서의 비준문제와 관련하여 리우 회의가 있었던 1992년으로부터 10년이 지난 시점인 2002년까지는 교토의정서가 발효될 수 있도록 전 세계가 노력해야 한다는 주장이 강력히 제기되었다.

#### 나. 교토의정서 논의 동향

기후변화협약 제3차 당사국총회(1997.2)에서 동구권을 포함한 38개국의 구체적 온실가스 배출감축의무를 규정한 교토의정서를 채택하였고, 기후변화협약 제6차 당사국총회(2000.11)에서 교토의정서의 구체적 운영방안에 대한 협상을 진행하였으나, 협상 타결이 실패하였다. 이후 미국의 교토의정서 비준거부(2001.3)로 교토의정서가 사장될 수 있다는 우려 속에 개도국, EU의 양보로 기후변화협약 제6차 당사국총회(2001.6) 속개회의에서 교토의정서 운영방안에 대해 합의를 이루었다. 기후변화협약 제7차 당사국총회(2001.11)에서는 마침내 교토의정서 운영방안에 대한 최종 합의(Marrakesh Accords)를 도출하였다.

교토의정서 발효와 관련하여 중요한 위치에 있는 미국의 경우, 1997년 7월 개도국이 불참한 가운데 미국 경제에 심각한 피해를 주는 국제협약에 미국 행정부가 서명하지 말 것을 미 상원이 결의(Hagel-Byrd Resolution) 하였음에도 불구하고, 동년 12월 미국 클린턴 행정부는 교토의정서에 서명하고 한국, 아르헨티나 등 개도국에 제1차 공약기간(2008~2012년) 중 온실가스 배출감축 의무를 부담할 것을 요구하였다.<sup>6)</sup> 그러나 2001년 3월 새롭게 구성된 부시행정부는 자국경제에 심각한 피해를 주고 개도국이

같이 참여하지 않는다는 이유로 교토의정서를 거부하고, 체니 부통령을 팀장으로 하는 기후변화협약대책팀을 구성하였다.<sup>7)</sup> 또한 부시행정부는 2002년 3월 교토의정서의 감축목표 대신 GNP 연동방식의 자발적 감축목표를 설정(2012년까지 2002년 기준으로 탄소집약도를 18% 감축)하고, 온실가스 배출을 감축하기 위한 정책을 추진하고 있다.

미국의 교토의정서 거부로 교토의정서가 사장될 수도 있다는 우려 속에 일본, 캐나다, 러시아 등은 캐스팅보트(casting vote)의 이점을 최대한 활용하여 산업과 교토 메카니즘 범위 확대 등 유리한 협상 결과를 이끌어 내었다. 특히, 캐나다와 일본은 교토의정서 상 제1차 공약이행기간(2008~2012년) 중 연평균 1990년 대비 각각 6% 감축해야 하나, 협상결과에 따라 각각 11.2%, 4.9% 증가가 가능하게 되며, 교토의정서 상 의무부담 국가 전체평균 5.2% 감축해야 하나, 협상결과에 따르면 3.6%의 배출량 증가가 가능하게 된다. 이러한 가운데 캐나다의 알버타 등 주요 에너지생산 지자체에서는 강력하게 교토의정서 비준을 반대하였으나, Chretien 총리의 강력한 의지로 2002년 12월 교토의정서를 비준하였다. 일본 역시 자국내 산업계의 심한 반대에도 불구하고 교토에서 합의된 교토의정서에 대한 애착으로 비준을 단행하였다.

2003년 3월 105개 회원국이 교토의정서를 비준하였다. 교토의정서는 기후변화협약 회원국 55개국 이상 비준하고, 의무부담국가의 1990년 배출량기준 55% 이상 비준 후 90일 발효하도록 되어 있는데, 당시 의무부담 국가의 43.9%가 비준을 완료한 상태이며, 17.2%를 차지하고 있는 러시아가 비준을 할 경우 교토의정서는 발효될 것으로 전망되었다. 결국 푸틴 러시아 대통령이 2004년 11월 5일 온실가스 감축을 위한 교토의정서에 서명함으로써 교토의정서는 2005년 2월 16일 발효되었다.

또한, 교토의정서 체제를 발효시키려는 유럽과 이를 막으려는 미국의 대립은 기후변화협약 관련 예산과 미국의 지위 문제에서 증폭되었다. COP9 회의에서 미국과 호주 등 교토의정서 비(非)비준국들은 기후변화협약 관련 예산과 교토의정서 협약이행 관련 예산을 분리, 교토의정서 예산은 납부하지 않겠다고 선언했다. 반면 EU 국가들은 향후 교토의정서 상 참관인 자격인 미국의 회의 참가를 제한하겠다고 반발하는 등

---

6) 이와 관련하여 아르헨티나는 미국 EPA의 지원으로 수행한 연구결과를 토대로 기후변화협약 제5차 당사국총회(1998년)에서 GNP연동 방식의 자발적 감축목표를 제시하였으나, 현재 이에 대한 후속조치는 진무한 상태임

7) 2000년 미국의 온실가스 배출량은 1990년 대비 21.2% 증가하여, 현실적으로 교토의정서상 감축목표인  $\Delta 7\%$  이행이 불가능한 것으로 전망된다. 한편, 체니 부통령을 단장으로 하는 연료전지(fuel-cell) 기술개발단이 구성·운영되어 2020년까지 중장기 기술개발 계획을 수립할 계획임

팽팽한 대립각을 세웠다. 교토메카니즘의 구체적인 도입 및 운영방법 등에 대해서는 선진국의 개도국에 대한 기술이전, 재정지원, 개도국보상 문제 등과 병행하여 계속 논의 중에 있다. 그러나 교토메카니즘의 운영방안 및 디자인과 관련된 몇몇 사안들에 대해서는 국가들 간에 상당한 이견이 존재하고 있어 합의점을 찾는 데 많은 어려움이 있다.

청정개발체제와 관련하여 제기되고 있는 주요 이슈로는 CDM으로부터 창출되는 '인증된 배출저감량(Certified Emission Reductions: CERs)'의 거래제한 여부, 베이스라인 설정 및 추가성에 대한 정의 그리고 운영주체(Operational Entities), 프로젝트의 승인·감사·입증·인증 등이 있다. 이외에도 CDM 사업투자를 시장기능에만 맡겨둘 경우 투자가 일정지역에 편중되는데 따른 형평성 문제, 그리고 토지이용변경 및 산림 등 흡수원(sinks)의 포함여부 문제 등이 있다.<sup>8)</sup> 국제배출권거래제도와 관련하여 제기되고 있는 주요 이슈로는 거래참가자의 대상 및 자격, 거래책임, 거래에 대한 보고와 기록, 거래의 한계설정 및 자연발생 잉여배출권(Hot Air) 거래허용문제 등 IET의 원칙, 규칙 및 지침 등과 관련된 사안들이다.<sup>9)</sup>

이러한 교토메카니즘 관련 쟁점이슈들은 전문적, 기술적 검토와 동시에 정치적인 고려가 병행되어야 해결될 수 있는 사안들이다. 일부 사안들에 대해서는 당사국들 간에 공감대가 형성되었으나, 대부분의 주요 이슈에 대해서는 상당한 진통이 예상되고 있다.<sup>10)</sup> 따라서 향후 교토메카니즘의 시행여부 및 구체적인 모습은 교토메카니즘에

8) CDM과 관련된 보다 자세한 내용은 한기주(1999)의 “청정개발체제(CDM)를 둘러싼 이슈 분석”, 현대환경연구원 현대환경리포트 제10호, 한기주(1999)의 “청정개발체제(CDM)의 발전배경과 연구동향”, 한국자원경제학회 정기학술대회 논문집, 및 대한상공회의소(1999)에서 발간된 “청정개발체제(CDM) 논의 동향과 이슈 분석”을 참조

9) 가장 논란이 되고 있는 거래의 한계설정 및 자연발생 잉여배출권 거래허용문제는 배출권 매매량의 한도 설정과 관련된 것임. 거래의 한계설정은 당사국의 매입가능량을 제한하는 것으로 배출권시장의 수요측면의 제약이며, Hot Air의 거래허용여부는 의정서상 부담의무를 아무런 노력 없이도 초과 달성할 경우 이러한 부분의 판매를 허용할 것인가 하는 것으로 배출권의 공급측면과 관련되어 있음. 이러한 IET 관련 이슈들에 대해 미국을 중심으로 한 Umbrella 그룹은 단순성을 유지하면서, 시장의 자율적 기능을 최대한 보장하여 국제배출권거래시장을 활성화시키고자 하는 입장에서 거래량의 한도설정에 반대, 자연발생 잉여배출권 거래의 허용 및 거래비용 최소화를 통한 경제적 효율성 제고를 주장하고 있는 반면 유럽연합은 IET는 국내조치의 보조적 수단으로 사용되어야 한다는 원칙 하에 배출권거래량에 한도를 설정해야 하며, Hot Air의 거래는 허용치 말아야 한다는 입장을 표명하고 있음. 보다 자세한 내용은 조용성·김용건(1999)의 “국제온실가스 배출권거래제 도입에 대한 논의 동향”과 국제배출권거래제(IET)정책연구팀에서 발간한 “온실가스 배출권거래제도 정책연구: 주요 이슈 및 외국 도입사례” 참조

10) CDM관련 사업승인 및 감축 credit 인증(validation과 certification)을 구분하는 2단계 접근, CDM 유치국의 허가권한 보유, 실제저감된 양을 기준으로 감축 credit 부여 및 배출권거래 관련 국내 및 국제등록소의 필요성, 거래단위(CO<sub>2</sub> 환산톤 1톤) 등에 대해서는 공감대가 형성되었으나 보조성 문제, 3개 메카니즘별 배출권의 호환성, 기준선(기준배출량(baseline)) 설정, 사업참여자, CDM 사업시 부과 수수료,

대한 선진국과 개도국들 간의 이견 및 교토메카니즘 디자인과 관련된 주요 이슈들에 대한 선진국들 간의 견해 차이를 어떻게 조정할 것인가에 따라 결정될 것으로 전망된다.

## 제2절 온실가스 저감을 위한 교토메카니즘

### 1. 청정개발체제(Clean Development Mechanism)

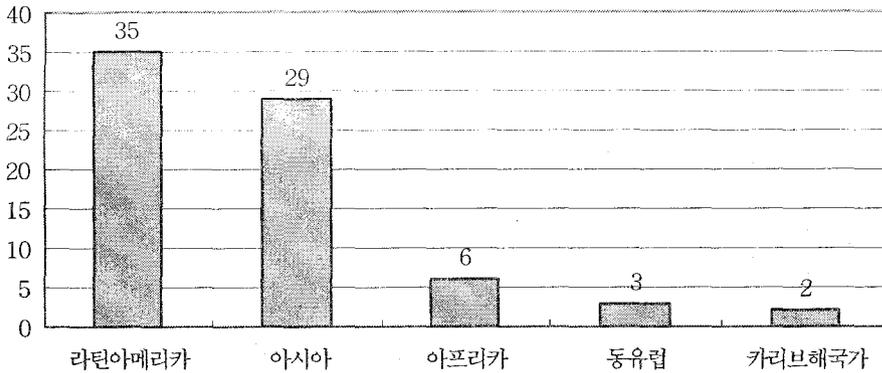
2004년 현재 총 75개의 프로젝트가 5개 지역 26개의 서로 다른 국가에서 진행 중에 있다. 그림 2의 지역별 프로젝트 비중을 살펴보면, 라틴아메리카가 35개(46.7%)로 가장 활발히 사업을 진행하고 있으며, 다음으로 아시아 29개(38.7%), 아프리카 6개(8.0%), 동유럽 3개(4.0%), 그리고 카리브연안국가가 2개(2.7%)의 프로젝트를 진행시키고 있다. CDM 프로젝트의 경우 브라질과 중국, 인도 등을 중심으로 한 개도국에서 주도적으로 사업을 진행시키고 있다. 총 75개의 프로젝트 중에서 27개가 브라질과 인도에서 진행되고 있으며, 이 프로젝트를 통해 생성되는 CER의 물량 또한 전체의 56%를 차지하고 있다. 아직까지 중국은 소규모 CDM 프로젝트 2개를 진행하는데 불과하지만 향후 CDM 프로젝트의 개발이 크게 증가할 것으로 예상된다.

CDM 프로젝트의 종류별 분포는 그림 3과 같다. 재생에너지 프로젝트가 34개로 전체 프로젝트 수의 38.2%를 점하고 있으며, CO<sub>2</sub>를 제외한 여타 온실가스 감축 프로젝트가 23개(25.8%), 효율성 증진 프로젝트가 13개(14.6%), 수력발전 프로젝트 10개(11.2%), 연료전환 프로젝트 6개(6.7%), 흡수관련 프로젝트 2개 및 연소 프로젝트가 뒤를 잇고 있는 실정이다.

---

CDM 집행위원회 구성, CDM사업의 추가성(additionality), 자연발생 잉여배출권 거래허용 여부 등 주요 이슈에 대해서는 상당한 이견이 존재하고 있음

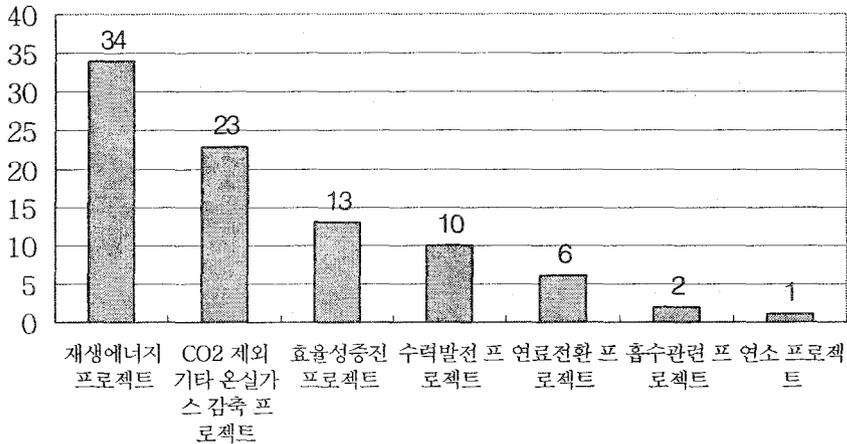
<그림 2> CDM 프로젝트의 주최국 분포



자료: www.cdmwatch.org

최근 동향을 보면 매립지가스과 같은 Non-CO<sub>2</sub> 프로젝트가 증가하는 특색이 있다. 또한 2003년 11월부터 CDM 사업에서 흡수원(sink) 관련 프로젝트가 인정이 되면서 이 부분의 프로젝트 증가가 예상되고 있다.

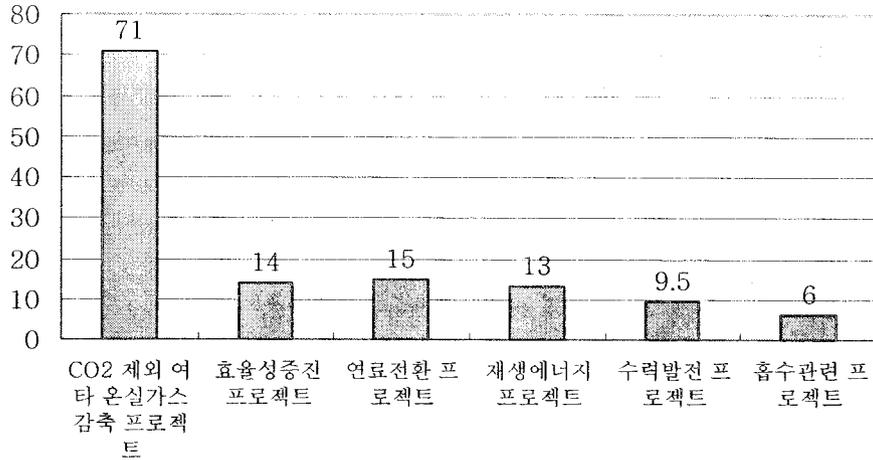
<그림 3> CDM 프로젝트 종류



자료: www.cdmwatch.org

<그림 4> CDM 프로젝트별 CER 창출 물량

(단위: 백만 달러)



자료: www.cdmwatch.org

한편 각 프로젝트별로 생성되는 CER의 비중은 그림 4와 같다. 현재까지는 CO<sub>2</sub>를 제외한 여타 온실가스 감축 프로젝트에서의 CER 물량이 71백만(55.3%)달러로 가장 많은 거래를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그 뒤를 이어 연료전환 프로젝트에서의 CER 물량이 15백만 달러, 효율성증진 프로젝트 물량이 14백만 달러, 그리고 재생에너지 프로젝트 물량이 13백만 달러로 비슷한 양상을 보이고 있다. 본 연구와 관련된 흡수관련 프로젝트의 CER 규모는 전체 4.7%선인 6백만 달러를 기록하고 있는데, 이는 상대적으로 동 부문의 승인이 늦었기 때문이다.<sup>11)</sup>

## 2. 국제배출권거래제도(International Emissions Trading)

국제배출권거래제도는 교토의정서 부속서B 국가에 대해 이산화탄소를 비롯한 6개 온실가스에 대한 배출한도를 부여하고, 실제 배출량을 배출한도 이하로 낮춘 국가는 그 잉여분을 팔 수 있게 하고, 반대의 경우는 실 배출량이 목표배출량을 초과하는 만큼을 다른 곳으로부터 매입하여 목표량을 달성하도록 하는 제도이다. 이 제도는 1997

11) II는 한국과 직접적인 연관이 없기 때문에 상세한 설명은 생략하기로 함

년에 채택된 교토의정서에서 온실가스 감축의무를 진 부속서 B 국가들이 2008~2012년 사이의 제1차 의무이행기간 중 선진국 전체의 배출총량을 1990년 수준보다 최소 5.2% 감축하기로 결정됨에 따라 선진국들의 온실가스 저감비용을 최소화하고 장기적으로는 개도국의 참여를 유도하기 위한 목적으로 도입되었다. 현재 同제도와 관련된 보다 구체적인 사항들은 기후변화협약 당사국들 간에 협상이 진행 중에 있다.

국제배출권거래제도는 한국에 대해서 감축의무가 부과되는 경우, 이 제도의 활용을 통해 온실가스 감축비용을 최소화할 수 있을 것으로 전망되며, 우리가 의무부담을 갖기 전에도 국제시장에서 배출권거래를 통한 선진국의 비용절감이 화석연료의 가격을 낮추게 하는 효과를 가져와 우리 경제에 긍정적인 영향을 초래할 것으로 기대된다.

일반적으로 배출권거래제도는 오염문제의 근본적인 원인이 환경에 대한 재산권의 부재 혹은 불완전성에 있다는 인식 하에서, 환경(오염행위)에 대한 재산적 권리를 설계하고 경제주체 간에 배분하여 거래토록 함으로써 효율적인 의사결정을 촉진하고자 하는 정책수단이다. 배출권거래제도의 장점은 거래비용이 없을 경우 배출권의 초기배분에 상관없이 정해진 환경의 질 개선을 최소비용으로 달성할 수 있다는 점이다. 또한 경제적 효율성을 저해하지 않으면서 초기배분의 자유로운 조정을 통해 경제주체간의 이익배분을 조절하며 배출업소의 경제적 부담을 적정수준으로 유지하여 당사자의 이해관계를 조정할 수 있다. 이 밖에도 명확한 목표관리를 통해 정책의 효과성 확보가 용이하고 정책시행의 사후평가가 용이하도록 해주며 기술개발을 촉진할 수 있다. 그러나 同제도는 감시 및 행정비용과 거래비용, 시장의 불확실성에 따른 위험비용이 크며 독·과점, 불완전 정보 등에 따른 배출권가격의 불안정성, 정산에 따른 시장의 불안정성이 등이 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있다.

#### 가. 국제 배출권거래제 관련 주요 이슈 분석

국제배출권거래제와 관련된 사안들은 크게 IET의 목적, 원칙, 보완성, 참여자 및 참여자격 등과 같이 제도의 성격 및 범위와 관련된 사안, 확증(verification), 의무이행, 등기소(registries), 당사국에 의한 보고 등과 같이 방법론적이면서도 IET의 운영과 관련된 사안(methodological & operational issues), 그리고 COP/MOP 및 당사국의 역할

<표 4> 국제배출권거래제 주요 이슈 및 각국의 입장 비교

	JUSSCANZ그룹	EU 및 일부 동구권	우리나라
원칙	-시장원리를 통한 비용최소화를 원칙으로 단순성, 투명성, 정보공개 강조	-실질적, 비용효율적, 입증가능한 환경적 편익의 달성 -이를 위한 보조성, 환경효과성 보장 및 투명성과 정보의 공개	투명성, 효율성 형평성, 정보공개
거래참가자격조건	-의정서 5조(회계)와 7조(보고) 이행 -국내등록시스템 설치·운영	-의정서 5조와 7조 이행 -국내등록시스템 설치·운영 -의정서 18조의 의무이행체계에 대한 비준, 거래규칙준수	-의정서 5조와 7조 이행 및 국내등록시스템 설치·운영
거래의 한계설정	-거래한계 설정에 반대 (한계설정이 배출권거래제의 효율성을 저하시킴)	-신축성체제는 국내조치의 보조적 수단이어야 한다는 입장 (전체의 5%이내에서만 거래 허용)	-Hot Air 거래남용의 예방을 위해 제1차 공약기간에는 한계설정
자연발생 잉여배출권	-거래허용 찬성(Hot Air에 대한 규제는 기술적·행정적으로 어렵고, 차기 공약기간용으로 저축가능)	국내적 노력에 의한 것이 아니므로 거래불허	2차 공약기간부터 Hot Air 발생 예방
거래단위	AAU(원산지, 공약기간이 구분되는 일련번호 부여)	PAA(원산지, 공약기간이 구분되는 일련번호 부여)	1CO <sub>2</sub> 환산 톤 단위 거래
법인참여	-법인(개인, 회사, NGO, 산업체, 중개인)의 참여 찬성 -법인의 범위, 거래참가자격 부여 등은 당사국이 결정	-법인참여 찬성 및 법인의 범위는 당사국 결정 -법인에 대한 PAA의 할당시기후변화협약 제3조 5항("자의적 또는 정당화될 수 없는 차별수단의 배제")준수 강조	-법인참여 찬성(법인의 참가자격, 범위는 당사국 결정, 단, 시장왜곡 방지를 위한 국제적 지침 설정이 필요)
거래방식 정보공개	거래가격 비공개	-거래의 투명성, 정보공유의 형평성 제고 위해 경매 및 거래의사에 대한 사전통고방식 활용	거래주체, 거래량, 가격 및 거래조건 공개. 경매 및 거래의사 사전통고방식 활용
이행강제 및 책임	-해당당사국/법인의 AAU 이전금지 또는 제한 -의무이행을 위한 AAU 획득은 인정 -유예기간(예, 3개월) 부여 -유예기간 이후에는 교토의정서 제18조에 의거 조치	-의무불이행국에서 이전된 배출권의 일부/전부의 무효화 -구매국에 대해서는 덜 엄격한 penalty 부과(공동책임) -문제의 배출권은 문제 해결시까지 사용 불가 -이행준비예치제 도입 -위반문제가 제기된 국가가 판매한 배출권 무효화	-의무불이행국(법인포함)의 배출권 이전금지/제한. 단, 배출권 구입 허용 -공동책임 -유예기간의 부여 -유예기간 이후는 의정서 18조에 의거 조치

등과 관련된 제도적(institutional) 사안 등 3가지로 대별될 수 있다. 또한 국제배출권 거래제와 관련하여 제기되고 있는 주요 이슈로는 표 4에 나타나 있듯이 거래참가자의 대상 및 자격, 거래책임, 거래에 대한 보고와 기록, 거래의 한계설정 및 자연발생잉여 배출권(Hot Air) 거래허용문제 등 IET의 원칙, 규칙 및 지침 등과 관련된 사안들이다.

### 1) 거래 참가자 및 참가 자격

교토의정서 상에 명시된 일차적인 거래 참가자는 부속서B 국가의 정부(parties)이다. 의정서는 해당국의 정부가 의무이행을 위해 배출권거래에 참여할 수 있도록 규정하고 있다. 한편 당사국총회는 의정서 제5조(회계) 및 제7조(보고체계) 등을 고려하여 거래 참가국의 자격 요건을 규정할 수 있도록 되어 있다.<sup>12)</sup> 총회 당사국 중 JUSSCANNZ그룹(또는 Umbrella Group)과 영국, 프랑스 등 EC/동구권그룹은 구체적인 당사국들의 참여 자격조건과 관련하여 약간 상이한 조건을 내세우고 있다. 표 5에 나타나 있듯이, 두 그룹 모두 공히 교토의정서 제5조(회계)와 제7조(보고)의 이행 및 국내등록시스템의 설치·운용을 거래에 참여하기 위한 자격조건(eligibility requirements) 또는 전제 조건으로 삼고 있다. 그러나 EC/동구권그룹은 이외에도 교토의정서 제18조(compliance regime)에 대한 비준과 국제 온실가스 배출권거래제 관련 제반 규칙을 추가적으로 요구하고 있다. 당사국 외에 거래참가자로는 해당 당사국의 법인(legal entities)이 있다. 교토의정서 17조에는 거래 참여에 대하여 허가된 법인의 참여를 포함하고 있지는 않으나 명시적으로 이를 배제하고 있지도 않다. 따라서 해당국 정부가 공인하는 정부외 참여자의 거래 참여가 가능하다.

일반적으로 법인은 크게 민간기업, 지방정부와 같이 감축의무를 갖고 있는 경우와 비정부기구(NGO), 중개인, 개인처럼 감축의무를 갖고 있지 않는 경우로 구분할 수 있다. 전자의 경우에는 법인의 배출권거래는 해당국가의 할당량에 영향을 미치는 반면 후자의 경우에는 해당국가의 할당량(national assignment amount)에 변화를 주지 않으며, 경우에 따라서 해당법인은 배출권을 구입한 후 배출권을 재판매 또는 보유 및

12) 여기서 당사국이란 Annex I 국가이면서 UNFCCC와 Kyoto Protocol을 비준한 국가를 지칭. 한편 '87년 오존층파괴물질(Ozone Depleting Substances: ODS)의 생산소비감소를 목적으로 체결된 몬트리올의정서의 경우 거래 참가자는 선진국(의정서 협약국)의 대규모 ODS 생산기업들로 구성되어 있음. 반면, '94년 유럽지역내의 대규모 연소공장으로부터의 아황산가스 배출감소를 위해 채택된 오슬로의정서에는 의정서 당사국만이 거래에 참여할 수 있도록 제한되어 있음

<표 5> 거래참가자 및 참가 자격

	JUSSCANNZ 그룹	EC/동구권 그룹
참가 자격	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 교토의정서 5조(회계)와 7조(보고)의 이행</li> <li>- 국내등록시스템의 설치 및 운용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 교토의정서 제5조(회계)와 제7조(보고)의 이행</li> <li>- 국내등록시스템의 설치 및 운용</li> <li>- 교토의정서 제18조 (compliance regime)의 준수</li> <li>- 거래규칙 준수</li> </ul>
거래 참가자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 당사국</li> <li>- 법인(개인, 회사, NGO, 중개인)</li> <li>- 법인의 참가자격 및 범위는 당사국 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 당사국</li> <li>- 법인(legal entities)</li> <li>- 법인의 참가자격 및 범위는 당사국 결정</li> <li>- 배출권 할당 시 임의적, 차별적, 제약성 배제</li> </ul>

사장(retire)시킬 수 있다. 법인에 대한 참여자격(eligibility) 및 참여법인의 선정은 각 당사국에 위임하고 있다. 그러나 법인의 선별은 법적인 감축의무가 주어진 법인을 일차적인 대상으로 하며, 해당국가의 배출원에 대한 모니터링능력에 의해 좌우된다. 즉, 정부 외 참여자의 거래참여에 대한 인가(authorization to participate in international trading)는 해당국 정부의 고유 권한이지만, 최소한의 국제적 기준은 마련되어야 할 것이다. 해당 법인은 국내적으로 감축의무를 갖고 있으며 해당 국가는 이에 대한 모니터링이 가능해야 할 것이다.

이러한 법인의 참여에 따른 장점으로는 배출권 거래량의 증가, 유동성 증가로 인한 시장효율성 증대, 대량 판매자 또는 구매자의 배출권 가격에 대한 영향력 축소, 기업의 잉여배출권(spare emission permit) 판매를 통한 이윤 제고, 그리고 목표 또는 할당된 온실가스 감축을 최소비용으로 달성할 수 있다는 점이다. 반면 법인 참여에 의한 문제점으로는 지나친 소규모 배출원의 참여는 배출한계(emission limits)설정 및 배출에 대한 모니터링 비용을 증가시키는 것을 들 수 있다. 따라서 소규모 법인들에 대해서는 에너지세나 탄소세, 에너지 효율기준, 자발적 협약 등과 같은 국내의 다른 제반 정책들을 통해 조정하는 것이 바람직하다.

## 2) 거래의 한계설정 문제

쿄토의정서 제17조에는 “배출저감의 획득과 거래는 의정서 제3조에 의한 배출량 제한 및 저감의무를 충족시키기 위한 국내 활동에 보충적(supplementary)이어야 한다”고 규정하고 있다.<sup>13)</sup> 이와 관련하여 IET 사용에 대하여 일정한 한도(ceiling 또는 cap)를 설정할 것인가 하는 문제가 각 국가그룹 간에 커다란 쟁점이 되고 있다. 즉, 선진국들이 자국의 감축목표 달성을 위해 배출권거래제를 통해 거래할 수 있는 온실가스량에 일정한 한도를 설정하는지 여부를 지칭하는 것으로 동 거래에는 구매뿐만 아니라 판매의 경우도 포함된다.

거래의 한도설정문제가 주요 쟁점 사안으로 등장하게 된 이유는 배출권 거래에 대한 한도설정 여부가 가져오는 경제적 과급효과가 매우 크기 때문이다. IET를 통해 거래할 수 있는 온실가스량에 일정한 한계를 설정하는 경우, 국내조치를 통해 보다 높은 비용으로 감축목표를 달성하게 되어 더 큰 경제적 비용을 감수할 수밖에 없게 된다. 따라서 미국을 비롯하여 IET를 활용하여 최소의 비용으로 자국의 감축목표를 달성하고자 하는 국가들(JUSSCANNZ그룹)은 거래에 대한 한도설정이 관리 및 감독비용을 크게 상승시켜 비용효율적인 감축수단으로서 도입한 IET의 근본 취지에 어긋나며, 현실적으로도 적절한 한도를 규정하기가 어려움을 강조하면서 반대하고 있다. 또한 거래에 대한 제한이 다음에서 언급될 자연발생 잉여배출권(Hot Air) 문제를 근본적으로 해결할 수 없으며, 오히려 초과배출권의 예탁을 통해 미래 배출권 공급의 증가를 통해 가격을 하락시켜 장기적인 기술개발과 감축노력을 저해하는 요소로 작용할 수 있다고 주장하고 있다.

특히, 미국은 배출권거래제가 의정서상의 여타 규정들과 더불어 각국의 이해를 모두 반영하여 도입된 것이므로, 거래에 한도를 설정하는 것은 교토의정서를 다시 만들자고 하는 것과 마찬가지로 반대하였다. 그러나 중국, 인도 등의 개도국들은 지구온

---

(13) 의정서상에 보충성 제약을 두게 된 이유는 당사국들의 Flexible Mechanism에 대한 참여가 지속가능한 발전이라는 목표 달성을 어렵게 할지도 모른다는 개도국들의 우려를 반영한 것이다. 개도국들은 Flexible Mechanism은 국제간에 이루어지는 거래이기 때문에 이에 참여할 경우, 국내 정책의 범위와 엄격성이 제약을 받게 되어 지속가능한 발전에 필요한 장기적인 기술발전과 에너지 효율개선이 지연될 가능성이 있다고 보고 있다(대한상공회의소, “청정개발체제(CDM) 논의 동향과 이슈 분석”, 1999, p.31).

난화 방지라는 근본적인 목적을 달성하기 위해서는 배출권거래제를 통한 온실가스 거래량에 일정한 한도를 설정해야 한다고 주장하고 있다. 이들 국가들은 선진국들이 2000년까지 1990년도 수준으로 온실가스배출량을 안정화시킨다고 약속하였으나 대부분의 국가들이 이러한 약속을 지키지 못할 것으로 전망되고, 교토의정서상의 감축목표가 매우 낮음을 지적하고 지구온난화 방지를 위해서는 국내정책이 우선시 되어야 함을 주장하고 있다.

한편, EU 및 동구권 국가들 역시 개도국들과 같이 국내조치가 기후변화협약상의 감축의무달성을 위한 주된 수단이 되어야 한다는 원칙에 의거하여 배출권 사용에 명시적인 한도(concrete ceiling)를 정해야 한다는 입장을 표명하고 있다.<sup>14)</sup> 특히, EU 국가들은 배출권거래제를 통한 거래량에 일정한 한도를 설정할 것을 주장하고 있다. 이들 국가들은 개도국들과 마찬가지로 지구온난화 방지라는 목적을 달성하기 위해서는 국내정책이 우선시 되어야 함을 강조하고, 한도설정에 대한 구체적인 방안을 제시하고 있다.

### 3) 자연발생 잉여배출권(Hot Air)

자연발생 잉여배출권은 어느 한 당사국이 실제 배출량보다 많은 온실가스 배출권 리(혹은 배출권 할당량)를 받을 경우 발생하는 것으로, 그 규모는 해당 당사국에 설정된 배출권 할당량의 크기에 의해 결정된다. 즉, 배출권 할당량이 많을수록 또는 해당 당사국의 배출저감 목표가 약할수록 Hot Air의 규모는 커지게 된다. Hot Air는 러시아, 우크라이나 등 구소련 연방국들이 1990년도 이후 경기가 침체되어 실제 온실가스 배출량이 줄어들고 있는 상황임에도 불구하고 제1차 의무이행기간 동안 온실가스 배출감축목표를 1990년 대비 0%로 설정 받아, 온실가스저감을 위한 아무런 노력 없이도 실제배출량이 감축목표상의 배출량보다 오히려 적어지게 됨에 따라, 동 국가들은 이러한 잉여배출권을 배출권거래시장을 통해 싼 가격으로 판매할 수 있게 된다.<sup>15)</sup>

14) EU가 한도설정을 강하게 제기하고 있는 이유 중 하나는 EU국가간에는 이미 EU Bubble을 통해 배출권거래를 자유롭게 할 수 있는 수단을 확보하고 있으며, 거래한도를 설정하는 경우 미국에 비해 상대적으로 무역경쟁력에서 우위에 있을 수 있다고 판단하고 있기 때문이다.

15) "경제전환국들(EIT)의 배출은 1980년대 말 이후 경제 위기로 인해 급속히 감소했다. 2008~2012년 기간 중에는 이 지역의 경제가 회복되어 배출이 현저히 증가할 것이라는 예측도 일부 있지만, 이 나라들의

최근 그린피스(Greenpeace) 보고서에 따르면 전체 의무대상 국가들의 온실가스 배출량은 1990년 대비 2010년에 108% 증가할 것으로 전망되었으나, 러시아, 우크라이나 등의 온실가스 배출량은 '90년 대비 2010년에 12% 감소할 것으로 전망되고 있다. 따라서 러시아, 우크라이나 등의 국가들은 아무런 노력 없이 발생한 이러한 잉여배출량을 배출권거래시장을 통해 유통시킬 수 있다.

Hot Air 문제가 협상의 주된 쟁점사안 중 하나로 등장하게 된 이유는 미국 등 非 EU 국가들은 Hot Air를 자국의 감축목표 달성을 위한 값싼 온실가스로서 인식하고 있으며, 특히 미국은 제3차 당사국총회에서 종전의 1990년 수준 동결주장에서 양보하여 1990년 대비 7% 감축이라는 목표에 합의하였는바, 그 이면에는 러시아, 우크라이나 등의 국가들로부터 값싼 온실가스를 구입할 수 있을 것이라는 계산이 있었다.

반면, EU는 의정서 제4조(bubble)를 통해 EU 국가간 자유로운 배출권거래를 할 수 있는 유리한 조건의 이용과 함께 Hot Air라는 값싼 잉여배출권의 거래를 금지함으로써 무역상대국인 미국 및 일본과의 산업경쟁력에 있어 상대적 우위를 차지하고자 하는 계산 하에 Hot Air의 거래를 적극 반대하고 있다.

이러한 미국과 EU국가들 간의 정치적 측면의 근본적인 문제와 달리 외견상으로는 기후변화협약 당사국이 저렴한 가격으로 Hot Air를 구입하여 감축목표를 달성할 경우 당사국의 국내저감 노력을 저하시키고, 지구온난화를 더욱 유발시킬 우려가 있으므로 Hot Air의 유통을 금지해야 한다고 EU국가들은 주장하고 있다. 반면 미국과 일본 등으로 대표되는 JUSSCANNZ그룹은 교토의정서가 정치적으로 타결된 사항이므로 Hot Air의 거래를 인정할 수밖에 없다고 주장하고 있으며, 또한 현실적으로도 국내저감 노력을 통한 온실가스 저감량과 경기침체 등에 의해 발생한 온실가스 저감량을 구분하는 것은 불가능함을 지적하고 있다.

한편, 당사자인 러시아, 우크라이나 등은 Hot Air가 의정서상의 공식용어가 아니며, 자국도 꾸준히 온실가스 저감을 위한 노력을 하고 있음을 강조하고 동 사안을 논의하지 말 것을 주장하고 있다. 개도국들은 Hot Air의 인정여부에 대해 현재까지 어떠한 특별한 입장을 밝히고 있지 않다.

---

BAU 배출수준은 교토의정서에 약속된 수준을 계속해서 밑돌 것이라는 전망이 일반적이다. 따라서 이들 부속서 B국가들은 별도의 배출저감조치를 취하지 않고서도 부속서 B OECD 국가들에 대해 판매할 수 있는 잉여의 할당량을 갖게 될 것으로 예상되고 있다. 이 잉여가 이른바 'Hot Air'로 불리우는 것이다."(대한상공회의소, "청정개발체제(CDM) 논의 동향과 이슈 분석", 1999. p.48)

#### 4) 거래의 단위, 방식 및 정보의 제공

##### 가) 거래의 단위

대부분의 국가들이 CO<sub>2</sub> 등가톤(tCO<sub>2e</sub>)으로 거래하는 것에 동의하고 있으며 교토의 정서에서도 tCO<sub>2e</sub>으로 배출량을 산정토록 규정하고 있다. 단, 거래단위의 명칭에 있어서 JUSSCANNZ그룹과 EC/동구권그룹은 거래의 한계설정 문제와 관련하여 각기 다른 표현을 사용하고 있다. JUSSCANNZ그룹은 “AAU(assigned amount unit)”를 사용하는 반면 EC/동구권그룹은 배출권 거래의 단위를 “PAA(parts of assigned amount unit)”로 표현하고 있다. 거래대상 가스는 의정서에 규정된 6개 온실가스를 모두 대상으로 하며, IPCC에서 제시한 지구온난화지수(global warming potential value)에 의거 “탄소등가 배출허용량(tons of carbon equivalent emission allowed)”으로 환산하도록 되어 있다.<sup>16)</sup>

##### 나) 거래방식 및 정보의 제공

JUSSCANNZ그룹은 배출권거래시장과 관련하여 기존의 시장 메카니즘을 활용하고 배출권의 획득과 이전 및 배출권거래량 등에 관한 기록·기능만을 추가하자는 입장이다. 그리고 배출권 거래가격 등 상업적으로 민감한 사항들에 대해서는 공개하지 말아야 한다는 점과, 평균거래가격과 같은 최소한의 거래정보는 중개소 등을 통해 공개가 가능하다고 주장하고 있다. 반면, EC/동구권그룹은 기존의 시장 메카니즘뿐 아니라 경쟁적인 입찰방식 및 거래의사의 사전통보방식을 활용하자고 주장하고 있다. 경쟁입찰(경매)방식은 거래의 투명성을 제고시키며 배출권의 매점매석을 방지할 수 있다는 장점이 있다. 스위스는 최근 투기적 거래와 과다판매를 예방하기 위해 연도별로 초과 감축분이 입증될 경우에만 이를 거래할 수 있도록 하는 “입증 후 거래방식”의 도입과 함께, 판매 가능한 배출권을 국내 법인에 할당할 경우 산업경쟁력의 왜곡을 방지하기

---

16) 지구온난화지수는 CO<sub>2</sub>를 1로 보았을 때 CH<sub>4</sub>가 21, N<sub>2</sub>O가 310임

위해 경매를 통할 것을 주장하고 있다.

#### 5) 거래의 보고, 감시 및 입증

당사국의 배출량과 배출권 거래상황에 대한 보고와 감시 및 입증은 배출권거래제의 정상적인 작동은 물론 기후변화협약 및 교토의정서의 이행상황을 점검하기 위해 필수적이다. 교토의정서 제5조와 제7조에는 부속서I 국가의 배출량 추정과 보고에 대한 의무를 규정하고 있으며, 제8조에는 이에 대한 전문가 검토절차를 명시하고 있다. 이와 같은 배출량의 추정, 보고 및 검토과정은 배출권거래제의 시행을 위한 최소한의 조건으로 받아들여지고 있다.

미국을 비롯한 Umbrella 그룹과 유럽연합 및 동구권 등 대부분의 당사국은 제5조의 배출량 추정 국가시스템 구축과 제7조의 배출량의 연례보고 및 관련자료 보고의 무화 규정을 배출권거래에 참여하기 위한 전제조건으로서 주장하고 있으며, 이와 함께 배출권 거래정보관리를 위한 국가시스템의 구축을 강조하고 있다. 또한 EU국가들은 전제조건 준수여부에 대한 평가를 제8조에 명시된 전문가팀에 맡기자는 주장을 하고 있는데, 전문가팀은 제7조에 따라 당사국이 제출하는 배출량에 대한 검토와 이를 토대로 할당량과의 관계를 종합, 정리하는 역할을 부여받고 있다.

배출권거래를 위한 전제조건 중 하나인 배출권 거래자료 관리를 위한 국가체계는 몇 가지 유형이 검토되고 있다. 그 중 하나는 전자식 계정관리(electronic accounts)방식으로서, 미국의 산성비 프로그램 하의 아황산가스(SO<sub>2</sub>) 거래시스템과 같이 모든 거래자의 거래계정을 전산화된 시스템으로 실시간으로 관리하는 방법이다. 이 방법은 배출량에 해당하는 배출권을 보유할 의무를 갖는 법인에 대한 의무준수계정(compliance account)과 이외의 일반계정(general account)으로 나누어 관리할 수 있는 장점이 있다. 이와 달리 배출량 감축의무가 있는 특정 법인들의 거래만 관리하는 체계와 배출권 지폐를 발행하고 정산 시에 법인들로부터 배출량만큼 회수하여 폐기하는 형식이 논의되고 있다.

국가관리시스템은 거래의 주체, 거래량, 거래되는 배출권의 일련번호에 대한 정보를 포함하여 당사국이 승인한 거래자격체(법인)별로 계정을 실시간(real-time)으로 관리하는 것이 바람직하다. 관리방식은 UNFCCC에서 인정하는(COP/MOP가 채택하는)

표준화된 전자 DB의 이용을 포함하도록 하고, 배출권 증서의 발행이나 교환은 가급적 피하여 행정비용을 줄일 필요가 있다. 또한 거래발생 즉시(예: 종료시점으로부터 3일 이내) 거래량과 가격, 거래주체 등에 관한 자료를 UNFCCC가 지정하는 국제관리기구에 보고하도록 하고, DB의 관련 자료를 수정하도록 함으로써 신속한 조기정보체제가 작동할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 각 당사국은 인터넷 사이트를 개설하여 법인별 연락처, 배출권 보유량, 거래량, 거래의사 등에 대한 자료를 공개함으로써 투명성을 극대화할 수 있을 것이다.

당사국들의 배출량 및 거래량을 종합 관리하는 국제관리기구는 국가별 관리체계의 허가, 당사국이 제출한 보고서의 취합 및 검토, 의무부담 준수여부에 대한 정기적 조사 등의 역할을 수행함으로써 배출권거래제도의 정상적인 운영을 지원하여야 한다. 기후변화협약 및 의정서 당사국총회(COP/MOP)는 제1차 공약기간(2008~2012년) 전에 국제관리기구를 지정하고, 국제관리기구는 당사국이 제출하여야 하는 연차보고서, 최종보고서 및 거래사실통보양식에 대한 표준화된 형식과 절차를 수립하여야 한다.

국제관리기구는 당사국 및 당사국에서 인정하는 법인에 대한 계정을 실시간으로 관리하여 인터넷을 통해 공개하고, 거래자격체간의 모든 거래에 대한 가격, 거래량, 거래주체 등의 정보를 당사국으로부터 보고받는 즉시 인터넷을 통해 이를 공개하도록 함으로써 투명성과 정보접근의 형평성을 제고할 필요가 있다. 가격정보의 공개는 미국 등 일부 국가에서 반대하고 있지만 정보접근의 형평성이나 시장조작의 방지를 위해 필요하다는 견해가 지배적이다. 유럽연합에서는 거래의사를 사전 통고하는 방식까지 제안하고 있다. 국제관리기구의 인터넷 사이트는 각 당사국의 인터넷 사이트와 연결되는 것이 바람직하다.

또한 국제관리기구는 매년 모든 당사국 및 당사국이 인정하는 법인에 대한 배출량, 배출권 거래 및 보유량, 초기 할당량 등에 관한 자료를 취합·정리하고, 의정서 제8조의 전문가팀과 공동으로 각 당사국의 의무부담 준수상태에 대한 평가를 수행하여 보고서로 작성하여 COP/MOP에 제출하고 모든 당사국에 회람시킨다. 즉, 연 1회 이상 당사국별 준수상태에 대한 평가를 통해 잠재적 위반가능성을 파악할 수 있도록 한다.

국제관리기구는 의무이행 준수여부에 대한 평가를 위해 당사국 및 거래자격체(법인)에 대한 실사 및 자료요청 권한을 갖도록 하고, 매 공약기간 종료시점으로부터 일

정기간 이내에 준수여부에 대한 평가보고서를 작성하여 COP에 제출한다. 또한 전문가팀과 공동으로 유예기간(grace period)동안의 거래결과를 정리하여 최종 준수여부에 대한 평가보고서를 COP/MOP에 제출한다. 준수상태에 대한 평가를 유예기간을 전후로 두 차례에 걸쳐 수행토록 함으로써 고의성이 없는 위반국가의 발생을 예방할 수 있다.

## 6) 거래의 책임(liability)

판매된 배출권의 유효성에 대한 책임소재는 크게 판매자책임(seller liability 또는 issuer liability)과 구매자책임(buyer liability)으로 구분된다. 전자는 판매자의 의무이행상태(compliance status)와 무관하게 구매된 PAA(parts of assigned amounts)의 일부 혹은 전부는 구매자에게 귀속되는 것을 말한다. 반면 구매자책임 하에서는 판매자가 의무불이행상태인 경우 거래된 PAA(parts of assigned amounts)는 무효화된다. 따라서 의무불이행 상태일 가능성이 높은 당사국으로부터의 배출권 구매에 대한 유인동기(incentive)가 작게 된다. 즉, 이들 당사국의 PAA에 대한 가치는 인도위험(delivery risk)으로 인해 평가 절하된다. 그러나 판매자책임 하에서는 한 국가 혹은 당사국의 의무불이행이 다른 국가의 의무불이행을 유발시켜 연쇄 의무불이행 발생가능성을 높인다.

현재 배출권거래의 책임소재를 놓고 개도국들은 구매자책임 원칙을, 선진국들은 신용(credit)을 창출한 측이 책임을 지는 판매자책임 원칙을 선호하고 있다. 구매자책임 원칙은 구매자의 수요를 위축시킬 수 있는 우려가 있는 반면, 강력한 준수 시스템 하에서의 판매자책임 원칙은 위험성을 줄이고 거래물량을 늘릴 수 있다. 그러나 기후 변화협약은 공약기간이 길고, 다음 공약기간도 정해져 있지 않기 때문에 판매자책임 원칙의 적용에는 어려움이 따를 것으로 보인다.

위의 두 가지 원칙의 절충형으로 공동책임(Shared/double Liability) 원칙이 있다. 이는 의무불이행 당사국에 의해 판매된 배출권 거래량을 할인(discount)하는 것이다. 일례로 총 거래량의 60%만 구매자에게 인정하고, 나머지 40%는 판매자에게 되돌려줌으로써 판매자 당사국의 의무이행상태를 유지하도록 도와주는 것이다. 그러나 이러한 원칙에도 해당 의무불이행국으로부터 거래된 전체 PAA를 대상으로 할 것인지 아

다면 최근에 이전(transfer)된 배출권 거래량에만 국한할 것인지에 대한 결정의 어려움이 남아 있다.

이외에도 “Greenhouse Watch List” 혹은 교통신호모델(traffic light model)이 거론되고 있다. 각국의 준수정도나 거래 위험도에 따라 위험이 없을 경우에는 녹색(green), 위험성이 있을 경우에는 황색(yellow) 신호를 발하여 구매자에게 경각심과 책임을 일부 부과하며, 적색(red) 신호를 받은 나라와는 거래를 금지하거나 구매자책임 하에 거래토록 하는 방안이 있다.

### 7) 의무불이행(Non-compliance) 문제

다른 제도와 마찬가지로 의무이행의 확인 및 불이행 시의 효과적인 제재는 배출권 거래제 운영에 필수적인 요소이다. 교토의정서 제18조는 당사국총회로 하여금 해당 당사국의 의무불이행(non-compliance)의 원인, 형태, 정도, 빈도 등을 고려하여 의무불이행 발생시 이를 처리하고 결정을 내릴 수 있는 효과적인 절차 및 메카니즘을 수립하도록 명시하고 있다. 그러나 구체적인 절차와 제재의 형태 및 강도 등에 대해서는 구체적인 언급이 없으며 현재 각국이 이와 관련하여 논의 중이다. 논의되고 있는 제재방안으로는 벌금부과, 배출한도의 삭감, 거래 참가권의 박탈, 투표권의 박탈, 블랙리스트 게재, 개발기금 신청자격 박탈, 배출권 평가절하 및 WTO에서의 무역제재 등이 거론되고 있다.

현실적으로는 고의적 위반의 경우보다 이행 역량의 부족에 따른 불가피한 위반가능성이 높기 때문에 위반 시 벌칙의 부여보다는 재정지원과 같이 준수상태로의 복귀를 촉진하는 지원수단이 보다 강조되고 있다. 국제환경법연구소(Center for International Environmental Law)에서 주장하고 있는 청정개발기금(Clean Development Fund)에의 기금 납부와 같이 위반에 따른 책임을 기금의 제공을 통해 대신하고 이를 재원으로 CDM과 같은 온실가스 저감사업을 추진함으로써 위반에 따른 온실가스 증가분을 상쇄하도록 할 수도 있다.<sup>17)</sup>

---

17) 이와 관련하여 의무불이행국이 유예기간(true-up)이 지나고 난 후, 추가적인 배출권(혹은 credits)구입이 어렵거나 혹은 자체 감축이 어려울 경우, 해당당사국으로 하여금 일정 금액을 지불하도록 하고, 동자금을 이용하여 의무불이행국이 참여야 하는 만큼의 온실가스 감축이 가능한 새로운 project를 추진하도록 하자는 Compliance Fund(CF) 설립안이 제기되고 있음. 이때 의무불이행국에 대한 fee는 해당국

EU국가들은 의무규정을 위반한 당사국이 이전한 배출권의 부분 혹은 전부에 대해 무효화(invalidation)하도록 규정함으로써 다른 당사국이 규정위반 예상국가로부터 배출권을 구매하는 것을 예방해야 한다고 주장한다. 또한 무효화된 배출권에 대한 책임은 판매국과 구매국이 함께 부담하되 판매국에 더 큰 책임을 물어야 한다고 주장한다. 부정거래에 대한 책임은 구매자의 책임이 클수록 부정거래의 예방효과는 크지만 구매자의 정보수집비용 등 거래비용이 커지고 결과적으로 비용효율적인 거래를 저해한다는 역효과를 가져오므로 이들 간의 상반관계를 잘 고려하여야 할 것이다.

구매자책임의 경우에 위반국가가 판매한 배출권 중 위반의 정도에 따라 일부분을 선택하여 무효화하거나 벌금을 부과하여야 하는데, 일부분을 선택하는 기준도 신중히 고려되어야 한다. 수확모형(Vintage Model)은 가장 최근에 판매된 배출권부터 무효화하는 것을 제시하는 것으로 위반의 가능성이 높아짐에 따라 구매자로 하여금 보다 주의하도록 유인한다는 측면에서 장점이 있다.

EU는 또한 스위스와 함께 이행예치제(compliance reserve)를 제안하고 있다. 이행예치제란 배출권 거래 시 일정량을 예치해 놓았다가 공약기간 말에 의무이행을 완료하였을 경우 반환받으며, 만일 그렇지 않은 것으로 평가받으면 이를 통해 배상하는 방법이다. 이 방법은 위반상태가 발생하여 책임의 분담에 따라 거래된 배출권의 일부를 무효화하는 경우, 무효화되는 배출권 양의 크기에 따라 연쇄적인 위반상태가 발생할 수 있는 단점을 예방할 수 있다. 미국은 의무이행 위반국가에 대하여 일정기간의 유예기간을 두고 배출권의 추가구입 등을 통해 준수할 수 있는 기회를 보장하되, 위반 당사국의 추가적인 배출권 이전은 제한하자고 주장하고 있다. 즉 위반국가라 할지라도 배출권 구입을 제한할 필요는 없으며 오히려 이행상태로 복귀할 수 있도록 배출권의 매입을 지원해야 한다는 입장을 표명하고 있다.

한편 의무부담국의 의정서(혹은 협약) 탈퇴 시의 책임 문제도 이행체계와 관련하여 논의되고 있다. 의정서 제27조에는 당사국이 의정서가 해당 국가에 대해 정식으로 발효한지 3년이 경과한 이후에는 언제든지 탈퇴(withdrawal)를 신청할 수 있으며, 신청한 지 1년이 경과하면 탈퇴의 효력이 나타나는 것으로 규정되어 있다. 그러나 배출

---

의 실제로 추정된 감축비용(actual estimated reduction costs)에 project 관련 행정비용 및 사업실패에 대한 insurance 등에 해당하는 금액의 추정금(surcharge)을 추가적으로 부과하며, 이러한 추정금은 당사국들이 compliance fund를 악용하는 것을 방지하기 위한 역할을 담당하게 될

권의 과다판매 등 불성실한 거래행위를 행한 당사국이 탈퇴를 신청할 경우 이를 어떻게 처리할 것인가가 쟁점 사항으로 부각되고 있다.

## 나. 국제 배출권거래시장 동향

### 1) 탄소배출권의 거래 형태

탄소배출권 거래에는 두 가지 종류가 거래된다. 하나는 allowance-based transactions이고, 다른 하나는 project-based transactions이다. Allowance-based transactions는 구매자가 AAUs나 EU ETS에서 거래되는 EUA처럼 cap-and-trade 방식에서 시장규정자에 의해 생성되거나 할당된 배출권을 구입하는 것을 말한다. 반면에 project-based transactions는 구매자가 온실가스 배출저감 프로젝트로부터 발생하는 배출권을 구입하는 것을 의미한다.

Cap-and-trade 방식에서, project-based transactions는 초기 배출권을 공급하기 이전과 이후 모두에 대응수단으로 사용할 수 있도록 신규 자산으로 인정된다. 예를 들어, JI 프로젝트를 통해 발생하는 ERUs와 CDM 프로젝트로 인해 발생하는 CERs는 모두 AAUs와 더불어 교토의정서 상의 의무이행 수단이 될 수 있다.

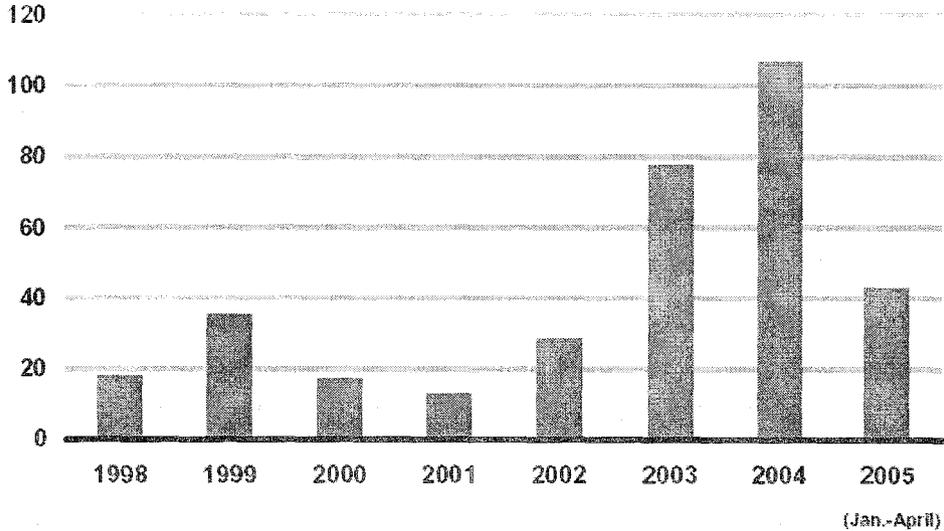
### 2) 국제 배출권 시장의 최근 동향

2004년 project-based transactions를 통해서 교환된 총거래량은 107 MtCO<sub>2</sub>e<sup>18)</sup>로 2003년 대비 38% 증가했고, 2005년 1~4월 거래물량 역시 약 43 MtCO<sub>2</sub>e를 기록하고 있다. 그러나 2001~2003년 기간의 가파른 증가세보다는 다소 완만한 성장을 보이고 있다(그림 5). 이 시장의 특징은 다음과 같다. 첫째, 수요증가를 공급이 따라가지 못한다는 점, 둘째, 교토의정서 하에서 배출권 구매희망자가 아직까지 불분명하고, 셋째, 지금까지 주요 구매자가 민간부문이 아닌 정부였다는 점, 그리고 마지막으로 일부 시장 참여자들의 거래 관망성향이 여전히 상존하고 있다는 점을 들 수 있다.

18) million ton CO<sub>2</sub> equivalent의 약식 단위표기

<그림 5> 연간 프로젝트 기준 배출저감 거래량 (2012년산까지)

(단위: 백만 이산화탄소 등가톤)



자료: State and Trends of the Carbon Market 2005, IETA, 2005.5.9.

표 6에 의하면, 아직까지 project-based transactions의 주요 거래자는 교토의정서 상에서의 의무이행물량 용도인 것을 볼 수 있다. 또한 미국 내 상존하고 있는 자발적 프로그램에서도 소수 물량이 거래되고 있다.

2004년 1월부터 2005년 4월 기간 구매국의 거래현황을 보면, 전체 배출저감 거래량의 60%를 EU가 구입하고 있는 것으로 나타났다. 네덜란드 정부가 단일구매자로 가장 많은 16%의 거래량을 보이고 있으며, 영국의 민간기업들이 12%로 그 뒤를 따르고 있다. 일본의 구매비중은 29%(2003.1~2004.12)에서 21%(2004.1~2005.4)로 감소하고 있음을 알 수 있다(그림 6). 흥미 있는 점은 유럽국가 구매량의 2/3가 민간부문에 서 거래되고 있는 반면, 네덜란드, 덴마크, 스웨덴, 그리고 오스트리아 등으로 대표되는 정부 구매물량은 1/3에 불과하다는 점이다. 실제 전체 배출저감 거래물량의 69%는 민간 기업들에 의해 취급되고 있다.

<표 6> 거래특성별 거래량 동향

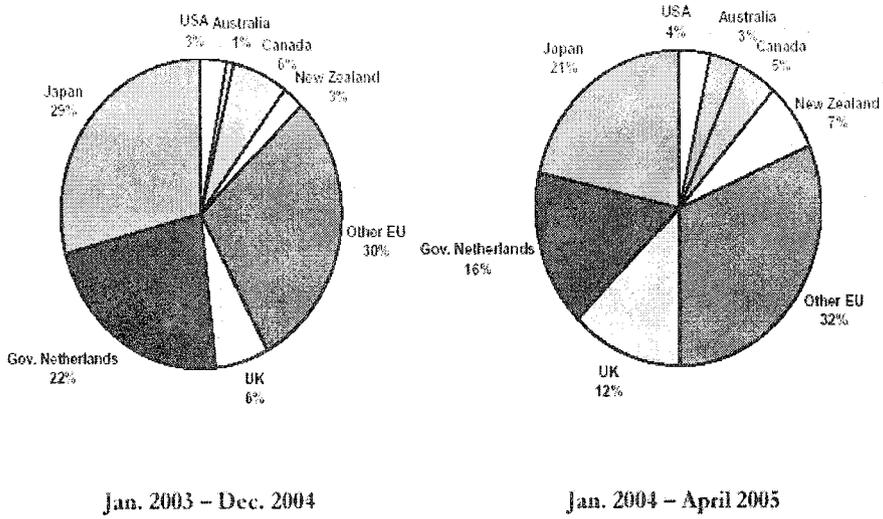
	프로젝트 기준 총거래량	의무이행물량	자발적 거래물량	소매(Retail)
1998	17,976,538	0	17,907,448	69,090
1999	35,423,491	0	35,265,724	157,767
2000	17,094,425	387,933	16,507,407	199,085
2001	13,004,103	4,724,591	8,161,652	117,860
2002	28,776,967	14,676,748	13,893,209	207,010
2003	77,641,815	70,429,780	6,773,367	438,669
2004	107,010,089	104,600,758	2,299,050	110,281
2005(1-4월)	42,863,095	39,823,182	2,995,000	44,913
합계	339,790,524	234,642,992	103,802,856	1,344,675

자료: State and Trends of the Carbon Market 2005, IETA, 2005.5.9.

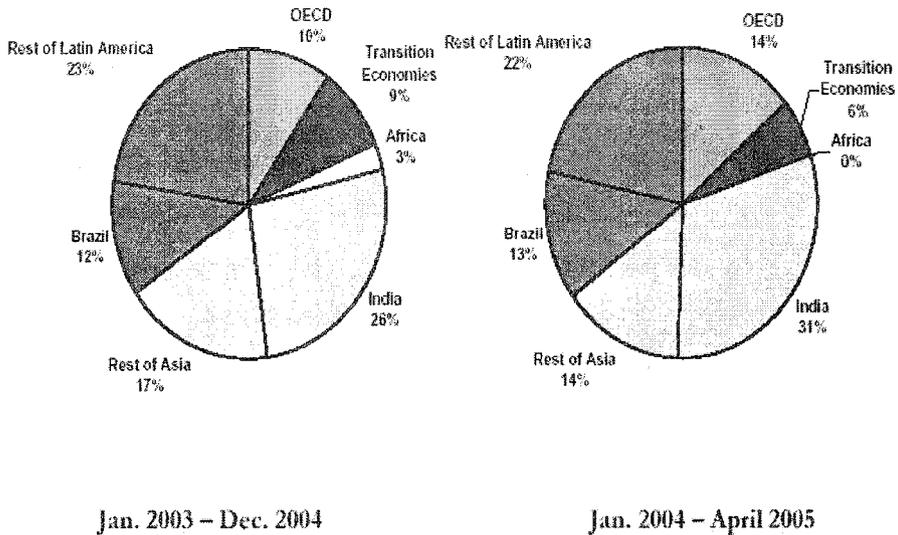
최근 배출권 시장에서의 판매국 동향도 많은 변화를 보이고 있다. 초기(1996~2000년)에는 탄소 배출권의 주요 판매국이 선진국이었으나, 근래 들어 개발도상국과 시장경제전환국가의 판매량이 급격히 증가했다. 그림 7에 의하면, 배출저감물량(ERs)의 최대 판매지역은 아시아로 전체 거래량의 45%를 그 다음으로 라틴아메리카가 35%를 점하고 있다. 뉴질랜드의 JI 프로젝트와 미국 내 자발적 저감행위를 포함한 OECD의 프로젝트 판매량이 14%, 시장경제전환국이 6%의 배출권 판매비중을 나타내고 있다. 이는 지구온난화지수가 CO<sub>2</sub>의 11,700배인 불소화합물(HFC<sub>23</sub>) 열분해 프로젝트가 인도를 위주로 한 아시아와 브라질 중심의 라틴아메리카에서 역동적으로 진행하고 있는 점과 무관하지 않는 결과이다.<sup>19)</sup>

19) 한국의 울산화학교 UNFCCC에 CER 사업으로 불소화합물(HFC<sub>23</sub>) 열분해 처리시설을 운영하고 있다

<그림 6> 구매국의 배출저감 거래물량 비중



<그림 7> 판매국의 배출저감 거래물량 비중



자료: State and Trends of the Carbon Market 2005, IETA, 2005.5.9.

### 3) 주요 탄소배출권 거래소

현재 탄소배출권 시장은 국가간 거래 뿐 아니라, 국내, 기업 내 시장 등 다양한 형태로 이루어져 있다. 대표적인 거래소로는 세계 최초의 배출권거래소인 UK ETS, 북미지역의 기업과 공공기관 등이 모여 자발적으로 거래하는 시카고기후거래소(Chicago Climate Exchange, CCX)와 CCX의 자회사인 유럽기후거래소(European Climate Exchange, ECX), EU 국가에 할당된 배출권의 국가간 거래를 허용하는 EU ETS, 노르웨이의 Nord Pool 등이 있다.

#### 가) UK Emission Trading Scheme(UK ETS)의 현황

UK Emission Trading Scheme(UK ETS)은 2002년 3월에 생긴 세계 최초의 온실가스 배출권 거래시장이다. 이 거래소는 5년간 자발적인 참여 시장이지만, 만약 계약 불이행시 penalty가 부과된다.<sup>20)</sup> 또한 온실가스 배출권의 절대적인 기준을 준수하는 기업들은 정부로부터 혜택을 받게 된다. 2002년 3월 배출권의 초기 배분을 위해 영국 정부는 경매(auction)를 통해 각 시장 참가자들에게 배당하였다. 이를 통해 영국에서는 2006년까지 12백만 톤의 이산화탄소 등가톤을 저감할 것으로 예상된다. 이는 기준년도 대비 약 11%의 온실가스를 저감하게 되는 것이다.

UK ETS의 시장 참가자는 크게 Absolute Sector와 Relative Sector라는 두 그룹으로 분류된다. Absolute Sector는 1998년부터 2000년도의 배출량을 베이스라인으로 정하고 자발적으로 자신의 온실가스 배출량을 감축하는 참가자들을 말한다. 현재 31개의 직접 참가자들은 2002년부터 2006년 동안 약 11.88백만 톤의 이산화탄소 등가톤을 저감할 것으로 예상된다. Relative Sector는 Climate Change Agreements(CCA) 참여자를 지칭한다. CCA란 산업계와 정부간 에너지 절약에 관한 자발적인 협상으로 이들 기업들은 이에 대한 보상으로 세급 감면의 혜택을 받게 된다. CCA들은 자신들의 주어진 목표를 달성하기 위해 UK ETS에서 배출권을 구입할 수도 있고 판매할 수도 있다. 그러나 Relative Sector에서 Absolute Sector로의 배출권 판매는 제한되어 있다.

---

20) EU ETS는 40유로의 penalty가 부과됨

UK ETS는 정부로부터 승인 받은 프로젝트에 한해서 프로젝트를 통한 배출량 감소분을 시장에서 거래할 수 있는 시스템이다. 그러나 전력산업 부문과 탄소고정 프로젝트 등의 프로젝트를 통해서 획득한 배출권은 거래를 금하고 있다. 2004년 UK 배출권시장의 거래량은 약 53만4,000 tCO<sub>2</sub>e에 그쳤으며, 2005년 최초 3개월간의 거래물량 역시 약 10만7,000 tCO<sub>2</sub>e에 불과할 정도로 매우 제한적이다. 이 거래소의 배출권 가격은 tCO<sub>2</sub>e 당 1.68~3.80파운드 사이에서 변동하고 있다.

#### 나) EU Emission Trading Scheme(EU ETS)의 현황

2005년 1월부터 거래가 시작된 EU ETS는 온실가스 배출권의 가장 큰 시장이다. 현재 온실가스 다배출 기업들 간 GHG emission allowance(EUA)를 2005년부터 2007년까지 거래하고 있다. EU ETS는 European Commission의 법안에 따라 운영되며, EU의 회원국 및 EU 의회의 승인을 받는다. 현재 EU ETS는 온실가스 중 CO<sub>2</sub>만 거래하고 있다(표 7). 그러나 2008년 이후에는 모든 온실가스를 대상으로 거래가 확대될 것이다. EU ETS의 참가자들은 발전산업, 석유정제산업, 철강산업, 시멘트산업, 유리·벽돌·도자기산업, 그리고 제지산업 등 CO<sub>2</sub> 다배출 기업들로 한정되어 있다.<sup>21)</sup>

2003년 초부터 일부 기업들은 EU ETS의 신규참가자 조건으로 EUAs에 대한 시범거래를 시작하였고, 모든 거래는 선도(forward)거래이다. 이 시범거래를 통해서 거래량은 안정적으로 증가했고, 그 결과 2003년 65만 tCO<sub>2</sub>e이던 물량이 2004년 약 9백만 tCO<sub>2</sub>e 선까지 늘어났다. 2005년 1월 정식거래를 시작한 이래 거래물량은 급증하기 시작하여 최초 3개월간의 거래량이 3,400백만 tCO<sub>2</sub>e에 달한 것으로 추정되고 있다. 거래물량의 90%는 2005년산 배출권(allowances)에 집중되고 있으며, 2006년산 배출권이 약 6%, 그리고 2007년산 배출권이 약 4% 정도를 차지하고 있다. EU 배출권(allowances)의 가격은 2004년 약 7~9유로에서 최근에는 20~30유로까지 폭등하였다. 이는 2005년산 배출권의 인수도일이 다가옴에 따라 부족한 수급상황을 반영하는 것이다(그림 8).

21) 프로젝트 중 핵에너지 시설과 토양 사용의 변경 및 산림 활동으로부터의 배출권은 인정하지 않고 있음

<표 7> EU ETS의 6가지 기본 원칙

항목	주요 내용
시스템의 형태	cap-and-trade system
시장 참가자	대규모의 CO <sub>2</sub> 다배출 업종 종사자
이행 기간	시장의 작동은 연도별(phase1: 2005~2007년, Phase2: 2008~2012년)로 진행되고, phase1이 끝난 후 이에 대한 검토 및 대상 온실가스의 확장, 참가자의 확대가 논의될 것임
감축 기간	감축계획은 이행 기간에 따라 결정
시장 구조	강력한 규제 존재
CDM 및 JI 포함	ETS는 CDM 및 JI로부터의 배출권 거래 허용

자료: EU emissions trading, EUROPEAN Communities, 2005

EU ETS의 가장 큰 특징 중 하나는 CDM 및 JI로부터의 배출권도 인수도 대상으로 허용하는 것이다. EU ETS는 EUA와 CER 및 ERU를 등가로 취급하여(즉, 1 EUA = 1 CER = 1 ERU) 거래하도록 허용한다. 이에 따라 CDM 및 JI 프로젝트에 대한 투자가 활발하게 이루어질 것으로 전망된다.

#### 다) 기타 EU 배출권거래소

표 8은 EU ETS와 UK ETS 외 2005년에 설립되었거나 설립 예정인 유럽 내 배출권거래소를 소개하고 있다. 각 거래소는 현물과 선물, 거래방식, 거래상품 등에 있어 약간의 차이점을 보이고 있다. 그러나 궁극적으로 유럽의 거래소들은 지리적 인접성, 탄소배출권이라는 거래 대상의 동질성, 전자거래방식, 그리고 무엇보다도 공동의 시장거래자를 대상으로 한다는 측면에서 조만간 2~3개의 거래소로 통합될 것으로 예상된다.

실제로 EU ETS와 Nord Pool간의 EUA 가격은 일물일가를 형성하는 것으로 분석되었다(모정운 외, 2005). 이는 두 시장이 거래를 시작한지 불과 수개월 밖에 지나지 않았지만 동일한 시장을 형성함을 의미한다.

<표 8> 기타 유럽의 배출권거래소

거래소 (국가)	계약형태	여타 거래상품	장의 청산소	시장조성자	개장일
Nord Pool (노르웨이)	선물계약 (차후 현물계약)	Swedish Green Certificates, Power	있음	있음	2005.2.11
Climax (네덜란드)	현물계약 (선도계약 지속)	CERs	없음	없음	2005.6.22
Powernext (프랑스)	현물계약 (차후 선물계약)	Power, Weather index	없음	있음	2005.6.24
EEX (독일)	옥션에 의한 현물계약	Power	없음 (차후 가능)	없음	2005.3.9
ECX (네덜란드)	선물계약 <sup>1)</sup>	CERs 가능, 차후 EUA options, SO <sub>2</sub> 및 NO <sub>x</sub>	있음	있음	2005.4.22
Exaa (오스트리아)	옥션에 의한 현물계약(주간)	Recs, Power	없음	있음	2005.6.28
Sendco2 (스페인)	현물계약 지속	차후 CERs 가능	없음	가능	2005.8 (예정)

자료: www.argusonline.com

주: 1) ECX는 2008년 3월까지 분기별 계약, 이후로는 연간 계약

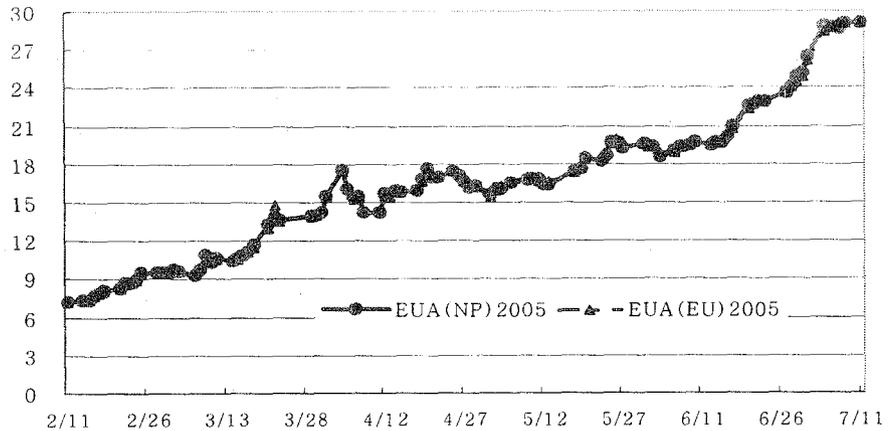
두 시장의 장기균형 관계는 옥션으로 손쉽게 확인할 수 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 Nord Pool과 EU ETS의 탄소 배출권가격은 모두 2월에 CO<sub>2</sub> 톤당 7유로에서 7월 11일 30유로 선까지 비슷한 추세로 동반 상승하고 있다. 이러한 현상은 유럽의 여러 거래소에서도 유사하게 나타난다. 이는 유럽의 탄소배출권시장이 아직 완전히 정착되지 않았으며, 또한 거래규모가 크지 않음에도 불구하고 비교적 효율적인 시장을 형성하고 있음을 의미한다.

#### 라) CCX(Chicago Climate Exchange)의 현황

시카고에 위치한 CCX는 기후상품 거래소로서, 미국 캐나다 및 멕시코에서의 탄소 배출권 및 Offset 프로젝트를 통해 획득한 크레딧을 거래하고 있다. 이 시장은 CCX 회원들이 자발적으로 시장을 형성하여 규칙을 정하고 거래한다는 점에서 다른 배출권거래소와 차이

<그림 8> 2005년산 Nord Pool과 EU ETS의 탄소배출권 가격추이

(단위: €/tCO<sub>2</sub>)



가 있다.

CCX 회원들은 민간 기업뿐 아니라, 시민단체, 대학 등 다양한 주체들로 구성되어 있다. 이들은 크게 세 종류로 분류된다. 우선 현재 온실가스를 배출하고 있는 기업으로서 CCX의 규정에 의해 온실가스를 감축해야 하는 회원들이다. CCX 참가회원은 오프셋(offset) 공급자와 유동성(Liquidity) 공급자들이다. Offset 공급자들은 금융투자회사나 농민단체 등으로 CCX에 등록되어 있는 Offset 프로젝트를 통해 획득된 배출권을 파는 사람들이다. CCX 준회원은 브로커 서비스를 담당하는 회사, 컨설팅 회사, 그리고 금융 서비스 제공 리스크 관리 회사 등을 포함한다.

배출량 감축의무를 지는 회원들은 1998년도부터 2001년도까지의 탄소 배출량을 베이스라인으로 하여 2003년부터 2006년까지 4단계에 걸쳐 온실가스 배출을 감축해야 한다.<sup>22)</sup> CCX에서는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, HFC, SF<sub>6</sub> 6가지 종류의 온실가스를 거래한다. 이들은 모두 IPCC에서 제시한 지구온난화 잠재력(Global Warming Potential: GWP)<sup>23)</sup>을 통해 이

22) 회원들은 2003년도까지 베이스라인의 1%, 2004년도까지 베이스라인의 2%, 2005년도까지 베이스라인의 3%, 2006년도까지 베이스라인의 4%를 감축해야 함

23) 온실가스들은 지구 온난화에 기여하는 정도에 따라 GWP(지구 온난화지수)를 가지고 있다. CO<sub>2</sub>를 1로 보았을 때 CH<sub>4</sub>는 21, N<sub>2</sub>O가 310, PFC가 7000, HFC가 1300, SF<sub>6</sub>가 23900임

산화탄소 등가톤(tCO<sub>2e</sub>)으로 환산한다.

CCX의 경우 2003년도에서 2006년까지의 오프셋(offset)을 통한 온실가스 감축량을 배출권으로 인정하고 있다. 프로젝트의 기준선 및 모니터링 및 온실가스 감축량의 인증이 CCX의 지침서대로 이행될 경우, 프로젝트가 끝난 후 온실가스 감축분을 CCX에서 거래할 수 있다. 오프셋(offset) 프로젝트의 종류는 크게 매립지의 메탄 감축, 산림 프로젝트를 통한 탄소 고정(Carbon sequestration), 농토에서의 탄소 고정, 연료전환 재생에너지 등이 있다.

2004년도 CCX는 241계약을 통해 240만 CO<sub>2e</sub>의 배출권이 거래된 것으로 추정된다. 가격은 거래 초 잠시 2달러/tCO<sub>2e</sub>를 넘으며 급격히 상승하다 주춤하며 2004년 상반기 내내 1달러를 소폭 하회하는 수준을 기록했다. 하반기 들어서는 약 1.7달러 선에 정착한 경향을 보였다. 그러나 최근 EU ETS의 가격급등에 따라 강세를 보이고 있다.

#### 4) 국제 탄소배출권 가격 동향

탄소배출권의 가격은 여러 가지 요인에 의해서 영향을 받는다. 배출권 가격에 영향을 주는 가장 큰 요인으로는 경제성장률, 기후 그리고 배출권 저감사업에 대한 기회비용(이자율) 등이다. 경제가 성장함에 따라 기업의 활동이 활발해지게 되고, 이로 인해 경제활동의 부산물인 온실가스 배출량도 증가하게 된다. 이는 더 많은 탄소배출권을 필요로 하게 되고, 결과적으로 배출권의 가격을 상승시킨다.

모정윤 외(2005)는 시카고기후거래소(CCX)의 탄소배출권 가격 결정요인을 분석한 결과, 미국의 경제성장을 나타내는 경기동행지수, 미국의 기온을 나타내는 난방지수(HDD)와 냉방지수(CDD), 그리고 탄소저감 프로젝트의 실행에 따른 기회비용을 나타내는 미 재무성 채권이자율 모두 예상한 바와 같이 탄소 배출권 가격과 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 특히 경기동행지수와 난방지수는 통계적으로 유의미한 결과를 보였다. 또한 흥미 있는 결과는 교토의정서의 공식적인 발효가 CCX 시장에서의 탄소 배출권 가격을 하락시키는 유의한 효과를 가져 온 것으로 분석되었다. 이는 최근 EU ETS의 가격폭등이 CCX 가격상승을 유인한 것과 더불어 두 대륙의 서로 다른 거래자를 대상으로 하는 시장들도 전혀 독립적인 시장이 아님을 시사하는 것이다.

### 제3장 기후변화협약과 한국의 대응 현황

#### 제1절 한국의 온실가스 배출현황

한국은 세계 9위의 온실가스 배출국가로서 1인당 탄소배출량은 가장 높은 수치를 기록하고 있다. 한국은 개발도상국의 자격으로 교토의정서에 가입하여 2008-2012년에 적용되는 제1차 공약기간 중에는 배출권 저감의무를 면제 받았다. 그러나 교토의정서 비준을 거부하고 있는 세계 최대배출국인 미국은 중국과 인도, 한국 등 탄소의 다배출 개도국에게도 선진국과 같은 의무저감을 요구하고 있어 2013년부터 시작하는 제2차 공약기간에는 우리의 의무부담 가능성이 매우 높다. 표 9는 한국의 온실가스 배출 현황을 나타내고 있다. 온실가스 전체 배출규모는 2002년 기준으로 154,724천 tCO<sub>2</sub>에 달하며, 이 중 토지이용 및 임업부문의 흡수량인 9,793천 tCO<sub>2</sub>을 제외한 순배출량은 144,930천 tCO<sub>2</sub>이다. 산업별로는 에너지부문이 129,013천 tCO<sub>2</sub>로 전체 배출량의 83.4%를 차지하고 있으며, 그 뒤를 산업공정(10.9%)과 농축산(2.9%), 폐기물부문(2.8%)이 따르고 있다.

<표 9> 온실가스 부문별 배출 현황

(단위: tCO<sub>2</sub>)

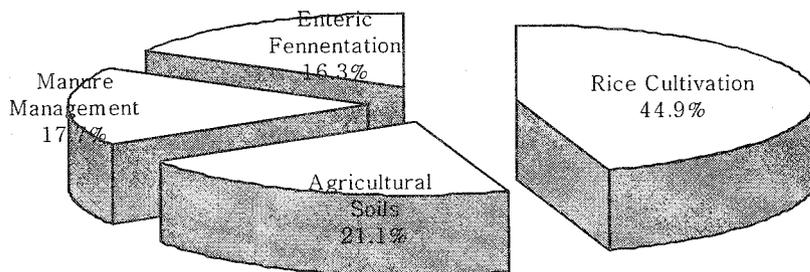
구 분	1990	1995	2000	2001	2002	1990-2002 증감율(%)
전체 배출량	84,738 (100.0)	123,445 (100.0)	144,252 (100.0)	148,028 (100.0)	154,724 (100.0)	5.1
에너지	67,657 (79.7)	101,490 (82.2)	119,594 (82.9)	123,537 (83.5)	129,013 (83.4)	5.5
산업공정	5,428 (6.4)	12,747 (10.3)	15,886 (11.0)	15,748 (10.6)	16,929 (10.9)	9.9
농업·축산	4,798 (5.7)	4,917 (4.0)	4,519 (3.1)	4,405 (3.0)	4,414 (2.9)	-0.7
토지이용 및 임업	-6,476	-5,793	-10,156	-9,448	-9,793	3.5
폐기물	6,945 (8.2)	4,291 (3.5)	4,254 (2.9)	4,337 (2.9)	4,367 (2.8)	-3.8
순 배출량	78,262	117,651	134,096	138,530	144,930	5.3

자료: 기후변화협약대책위원회(2005)

1990년에 전체 배출량의 5.7%를 기록했던 농축산부문은 이후 감소추세를 보이고 있다. 이는 벼를 재배하는 논 면적의 감소, 친환경농산물의 생산 확대에 의한 화학비료 사용량의 감소, 그리고 1990년대 후반 축산업 시장개방 여파에서 야기된 가축사육두수 감소 등에서 원인을 찾을 수 있을 것이다.

농업부문에서 배출원인별로 구분한 온실가스 배출량은 그림 9와 같다. 쌀 경작과 농경지 토양에서 66%, 그리고 축산업의 분뇨 및 장내발효에서 34%의 비중을 차지하고 있다.

<그림 9> 농업부문의 온실가스 배출 현황(2001년)



자료: Shin yong-kwang, "Prospective Mitigation Option and Research Progress of Greenhouse Gases in Korean Agriculture", International Symposium on Corresponding strategies to the United Nations Framework Convention on Climate Change, RDA Proceeding, 2005.2.21

## 제2절 정부의 대응 현황

한국의 기후변화협약과 교토의정서에 대한 공식 입장, 특히 온실가스 감축의무부담에 관한 입장은 1998년 6월 기후변화관련 관계장관회의에서 확정되었다. 향후 기준년도 및 배출목표의 자발적인 선택이 가능하고(자발성), 선진국 공약과 달리 한국을 포함한 개도국들의 지속가능한 성장이 보장되며(차별성), 우리의 경제성장 목표에 부합한 배출목표가 허용될 경우(실현가능성), 2018~2022년 기간에 온실가스 감축의무를

부담하는 것을 긍정적으로 검토한다는 것이다.

국내적으로는 환경부, 외교통상부, 산업자원부 등 관련 부처가 별도의 기후변화협약 대책을 추진하던 것을 1998년 4월 국무총리를 위원장으로 관계부처, 학계, 산업계가 참여할 수 있도록 하는 「기후변화협약 범정부대책기구 및 산하 실무대책기구」를 구성하여 동 기구를 중심으로 관련부처들이 유기적으로 연결되어 기후변화협약에 대응하고 있다. 범정부대책기구는 1998년 6월 제1차 관계장관회의를 개최하고, 매월 1회씩 작업반별 회의 및 실무대책회의를 개최하여 대외협상전략 및 국내온실가스 저감방안을 논의하고 있다.

1998년 10월에는 에너지·산업, 폐기물, 농업 등 분야별 온실가스저감계획 및 향후 대외협상전략이 포함된 『기후변화협약종합대책』을 마련하였다. 이에 따라 정부는 1999년 2월 대외적인 의무부담 완화노력과 더불어, 국내의 온실가스 배출현황을 분석하고 장기전망을 수립하여 8개 과제 36개 세부시책을 마련하였다. 특히, 국내 온실가스배출의 90% 이상을 차지하는 에너지·산업부문에 대해서는 에너지의 수급관리와 관련기술개발에 중점을 두고, 에너지의 절약 및 이용효율의 향상, LNG 및 원자력 등 저탄소연료로의 대체, 에너지기술개발 등의 시책을 추진하고 있다. 이외 분야별 전문가를 중심으로 전문가 풀(pool)을 구성하여 기후변화협약관련 정책수립 시 자문역할을 수행하도록 하기 위해 4개 정책연구팀(국제배출권거래제정책연구팀, 청정개발체제정책연구팀, 탄소세 정책연구팀, 배출통계정책연구팀)이 구성·운영되고 있다.

## 1. 정부종합대책 추진기구 구성 및 역할

1992년 기후변화협약이 채택된 이래 한국 정부는 기후변화협약에 효율적 대응을 위하여 1992년 8월 「지구환경관계장관대책회의」를 설치하였다. 이 회의는 1992년 리우회의의 의제 21」에서 규정한 기후변화협약은 물론 교육, 여성, 빈곤, 보건 등 전반적인 국가정책과 연관되고, 장기적으로는 무역규제와 에너지 이용, 생산 공정 등 국내 산업정책에 대한 규제로 발전될 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 합동 대책의 수립·추진 및 지구환경관련 주요 시책의 협의·조정을 위하여 1992년 8월, 국무총리 훈령 제 216호로 설치되었다. 그러나 「지구환경관계장관대책회의」는 1995년 6월 그 기능이 중단되었으며, 1996년 6월 정부의 위원회 축소 방침에 따라 동 대책회의가 폐지되

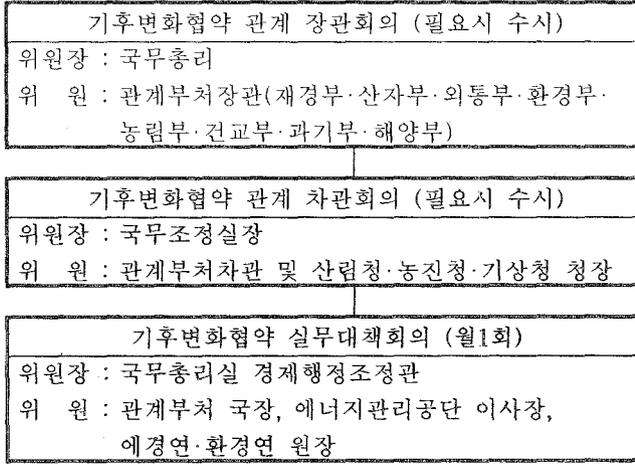
었다. 그 이후 기후변화협약 대응을 위한 국가의 지속적인 대책 수립 및 추진에 상당한 지장을 초래하였다.

이에 따라 국내대책의 체계적인 조정 및 실천을 위한 국가차원 조정체계의 필요성이 대두되었다. 대외적으로는 1997년 12월 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국 총회에서 선진 38개국의 온실가스 감축의무 부담을 결정한 교토의정서가 채택되고, 한국을 포함한 선발개도국에 대한 선진국들의 자발적인 온실가스 감축 참여 압력이 가중되기 시작하였다. 이에 따라 1998년 1월 19일 대외경제조정위원회는 기후변화협약에 대한 범정부 차원의 적극적인 대응방안 마련을 위하여 관계부처, 학계·산업계·연구기관 등이 참여하는 범정부대책기구의 구성을 결정하였고, 관계부처의 조율을 거쳐 1998. 4. 국무총리 훈령으로 「기후변화협약범정부대책기구」가 설치되었다.

동 기구의 주요 기능은 i) 이산화탄소, 메탄 등 온실가스 배출저감 종합대책 수립, ii) 당사국총회, 부속기구회의 등 관련 대외협상전략 수립, iii) 기후변화협약관련 각종대책 강구 및 주요정책 심의 등이다. 범정부 대책기구의 구성은 관계장관회의, 관계차관회의, 실무대책회의의 3단계 체제로 되어있으며, 실무대책회의 산하에는 과제 성격에 따라 협상대책반, 에너지·산업대책반, 환경대책반, 농림대책반, 연구개발반 등 5개 실무작업반이 있다. 협상대책반은 외교통상부, 에너지·산업대책반은 산업자원부, 환경대책반은 환경부, 농림대책반은 농림부, 연구개발반은 과학기술부에서 책임·운영하고 있으며, 각 주관부처 책임 하에 관계부처, 학계, 연구소, 산업계의 민간전문가로 운영되고 있다. 이외에 분야별 전문가를 중심으로 전문가 풀을 구성하여 기후변화협약관련 정책수립 시 자문역할을 수행토록 하고 있다(표 10).

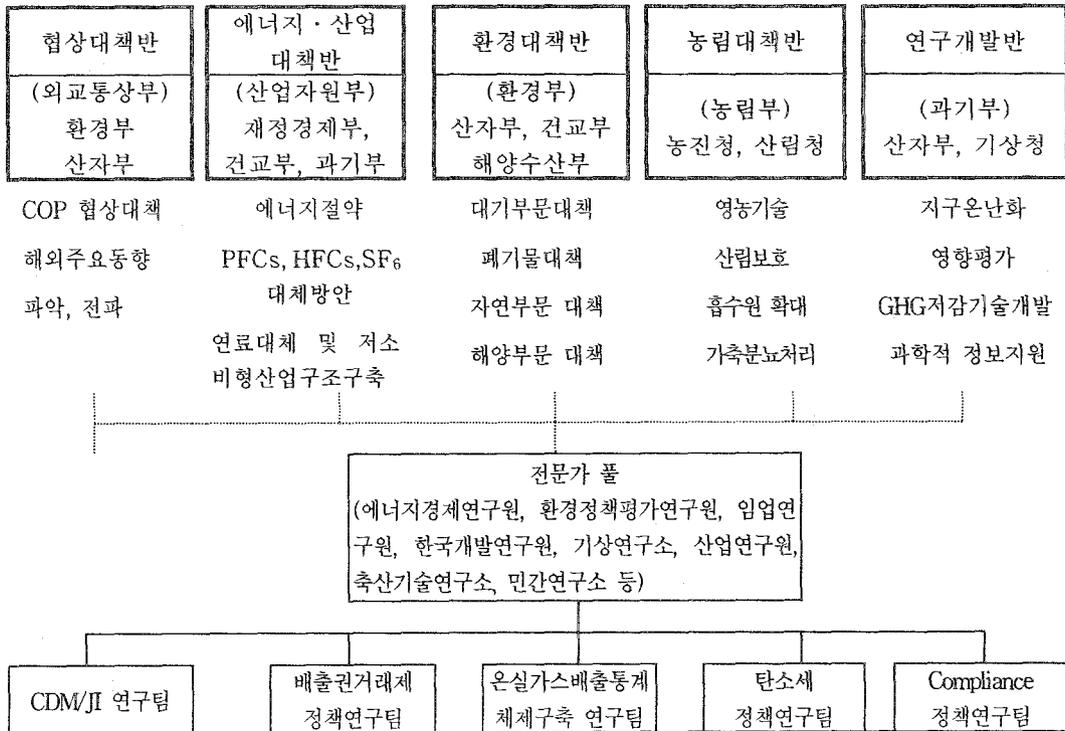
범정부 대책기구는 1998년 6월 제1차 관계장관회의를 개최하고, 매월 1회씩 작업반별 회의 및 실무대책회의를 개최하여 대외협상전략 및 국내온실가스저감방안을 논의·수립하고 있다. 1998년 10월에는 에너지·산업, 폐기물, 농업 등 분야별 온실가스 저감계획 및 향후 대외협상전략이 포함된 『기후변화협약종합대책(안)』을 마련하였다. 또한 국무총리 훈령으로 설치된 범정부대책기구는 1999년 제1차 기후변화협약 대응 종합대책을 발표하고 지난 3년간 1차 계획에 따른 세부계획을 수립 시행해 왔으며 2002년에는 제2차 계획을 수립 발표하였다.

<표 10> 기후변화협약 범정부대책기구 체계도



**분야별 실무작업반**

(간사: 국무조정실 산업심의관)



자료: 국무조정실, 기후변화협약 대응 종합대책, 1999. 2.

## 2. 온실가스저감계획의 수립 및 시행

정부는 대외적인 의무부담 완화노력과 더불어 그동안 부문별로 국내 온실가스저감을 위한 다양한 시책을 수립하였다. 국내 온실가스배출의 90% 이상을 차지하는 에너지·산업부문에서는 에너지 절약 및 이용효율 향상, LNG 및 원자력 등 저탄소연료로의 대체, 에너지기술개발 등의 시책을 추진하고 있고, 기타 부문에서도 폐기물 감량화, 흡수원 보전 등의 대책을 추진하고 있다. 특히, 이러한 시책을 중장기적인 시각에서 보다 효율적이고 체계적으로 수립하기 위해 2020년까지의 중장기계획인 「온실가스저감종합계획」을 수립하였다. 동 계획 중 가장 중요한 부문을 차지하는 에너지·산업부문은 표 11에서 보는 바와 같이 수요, 공급, 기술개발 3대 부문별로 구체적 저감 시책을 추진하고 있다.

<표 11> 에너지·산업부문의 주요 시책

구 분	
수요부문: 에너지절약 및 이용효율향상	
가정·상업부문	고효율에너지기기의 보급 확대
	단열·기밀강화
	지역난방, 소형 열병합발전
수송부문	연비개선 자동차보급 확대
	경차보급 확대
산업부문	자발적 협약제도 추진
	기타 제조업
공급부문: 저탄소 연료로의 대체	
발전부문	원자력·가스(LNG)발전 확대
도시가스 보급 확대 및 천연가스의 안정적 공급	
공통부문: 신기술 개발·보급 등	
대체에너지기술 개발	
에너지이용합리화 관련법 개정	
온실가스 배출통계 작성체제 구축	

### 3. 한국 기후변화협약 대응체제의 특징과 문제점

기후변화협약 대응을 위하여 구성된 정부의 대응체제, 즉 1992년의 지구환경관계 장관회의와 1998년의 기후변화협약범정부대책기구는 모두 부서간 협의체의 성격을 갖는 대응체제로서 구성되었다. 이는 기후변화협약 대응을 위한 구체적인 대책을 수립하는 체제라기보다는 조정 및 협의의 기능만을 담당하는 체제라고 할 수 있다. 이러한 느슨한 대응 체제는 기후변화협약이라는 복잡하고 국내외적으로 이해가 첨예하게 대립될 수 있는 문제에 효과적으로 대처하기 어려울 수밖에 없다.

#### 가. 범정부대책기구 기능 및 역할의 한계

정부내 부처(외교통상부, 산업자원부, 환경부, 농림부)간 이견을 조정하고 종합적인 기후변화협약 관련 대책을 추진하기 위해 구성된 범정부대책기구는 여러 가지 문제점을 지니고 있다. 특히 범정부대책기구는 i) 비상설 회의체로 책임이행의 주체가 불분명하며, ii) 담당자의 잦은 이동으로 전문성이 결여되어 있으며, iii) 관계부처 간 업무혼선 및 정책조율을 위한 조정능력이 결여되어 있고 단순히 부처별 업무의 무비판적인 종합을 수행하고 있으며, iv) 기상재해 및 기후변화 그 자체에 대한 대응기능이 결여되어 있다는 평가를 받고 있다.

#### 나. 온실가스 배출통계의 부실 및 저감잠재력 파악의 한계

어떤 국가가 현재 온실가스별로 얼마만큼을 배출하고 있고, 또 향후 그 배출량의 변화가 어떻게 될 것인가, 그리고 다양한 온실가스 저감대책을 통한 저감가능량을 정확히 파악하기 위해서는 먼저 신뢰할 수 있는 배출통계 체제를 구축하여야 한다. UN 기후변화협약에 따르면 가입국들은 기후변화정부간협의체(IPCC)에서 정한 일정한 기준 및 절차에 따라 자국의 온실가스배출 및 흡수량을 포함한 국가보고서를 제출하도록 되어 있다. 현재 우리나라의 온실가스 배출통계는 에너지부문, 산업공정, 임업부문, 농업부문, 폐기물부문으로 구분하여 5개 관련 연구기관이<sup>24)</sup> 분담하여 통계를 작성하고 있으며, 에너지경제연구원이 총괄기관으로서 배출통계를 취합하고 있다.

그러나 아직까지 온실가스 배출통계 작성관련 법적 근거가 없어 총괄기관이 기초 통계자료 작성에 어려움이 많으며, 온실가스 배출통계 작성체제가 체계적이지 못하고 효율적인 지원제도가 마련되어 있지 않은 실정이다. 특히, 배출통계작성과 관련하여 IPCC는 통계추정의 난이도를 고려한 Tier 1/2/3의 3가지 방법론을 제시하고 있으나<sup>25)</sup>, 우리의 경우 상세한 추정 근거자료의 부족으로 가장 기본적인 방법론인 Tier 1을 적용하고 있어 정밀도가 매우 낮다. 또한 한국 고유의 배출계수가 없는 관계로 IPCC가 제시하고 있는 외국의 배출계수를 적용하고 있어 현실 반영도도 매우 낮다.

이러한 배출통계의 미흡 및 배출전망에 대한 불확실성은 필연적으로 한국의 저감 잠재력을 추정하는데 많은 제약요인으로 작용하고 있다. 어떤 한 저감대책을 수립하여 실시할 경우 예상되는 저감효과를 파악하기 위해서는 우선적으로 동 대책이 실시되지 않을 경우 발생하게 되는 온실가스 배출량과 전망치를 알아야 정확한 저감효과를 파악할 수 있다. 그러나 배출통계가 미흡한 상태에서는 저감잠재력 역시 많은 불확실성을 갖게 된다. 이러한 현실은 결국 정부로 하여금 적극적으로 기후변화협약에 참여하여 독자적인 온실가스 저감 목표치를 발표하는 것에 대해 부담스럽게 만드는 주요 원인이 된다.

코토메카니즘의 실제 운영을 위해서는 온실가스 배출저감량의 계측과 검증이 필요하며, 이러한 온실가스 저감량의 계측과 검증은 정확한 온실가스 배출통계를 기반으로 가능하다. 따라서 기존의 온실가스 배출통계가 국가 전체의 입장에서 추계되던 것에서 향후에는 기업단위 혹은 기초 배출원 단위(기술종류, 공정종류 등)의 배출통계가 필요하다. 이와 함께 보다 정밀한 방법(Tier 2/3)을 통한 배출통계추정 및 우리 고유의 배출계수에 기초한 정확한 배출통계 작성이 필요하다.

따라서 신뢰할 수 있는 배출통계를 정기적으로 작성하기 위해서는 법률적 기반이 요구되며, 이를 토대로 배출통계 총괄기관이 지정되어 통계를 통합·관리하는 것이 필요하다. 한편 기업단위 미시적 통계를 위해서는 정부와 사업자단체간의 온실가스 배출통계 및 근거자료 제출에 대한 협약을 체결하는 것도 유용할 것이다. 또한 구축된

24) 온실가스배출통계는 5개 연구기관이 각 기관별 전문분야에 대해 작성하고 있음. 에너지경제연구원은 에너지·산업부문을, 국립환경연구원은 폐기물부문을, 임업연구원은 흡수원을, 그리고 농업과학기술원과 축산기술연구소는 농업·축산분야의 온실가스 배출통계를 작성하고 있음

25) Tier 1은 가장 기본적인 방법으로 연소기술을 고려하지 않고 에너지 소비에 대한 배출계수를 적용하는 방법이며, Tier 2는 연료연소 기술별 배출계수를 적용하는 방법이고, Tier 3은 연료소비 기준이 아닌 Activity 한 단위에 대한 배출계수를 적용하는 방식으로 가장 정확한 방법임

배출통계는 네트워크를 구축하여 일반인의 자료접근을 용이하게 해야 한다. 우리의 고유배출계수 설정을 위해서는 지속적인 연구, 조사 및 측정이 필요하며 이를 위한 지속적인 재원확보와 지원체제의 강구가 필요하다.

#### 다. 기후변화관련 연구지원 부족 및 전문인력 부족

기초연구에 대한 관심과 투자 부족으로 구체적인 정책우선순위 선정의 어려움이 가중되고 있으며, 기후변화협약에 대한 이해부족으로 연구비 지원규모가 외국과 비교할 때 매우 적다. 호주의 경우 국립농업자원연구소(ABARE)가 기후변화협약 관련 연구를 위한 모형개발에만 1990년대 초부터 매년 100만 달러씩 투자하고 있고, 일본은 온실가스 배출통계 작성을 위해 정부 연구소인 IGES에 연간 100만 달러씩 지원하고 있다. 미국은 연간 총예산 중 약 10억 달러를 1999년부터 기술개발과 기후변화관련 연구에 투입하고 있다.

정부부처 내에 지구온난화문제와 기후변화협약만을 담당하는 전담부서와 전담인력이 적은 것도 심각한 문제이다. 외교통상부는 환경과학심의관실에서 담당하고 있으나 이 부서에서는 적은 인원이 기후변화협약을 포함하여 총 18개의 국제환경조약을 담당하고 있으며, 산업자원부의 자원정책과도 기후변화협약을 업무의 일부로만 담당하고 있다. 농림부에서는 국제협약의 일환으로만 이 문제를 다루고 있는 실정이다.

이러한 현실은 해당 업무체계의 통합화를 시현하고 있는 선진국과 비교할 때 거의 무관심에 가깝다. 미국의 경우 국무성의 Office of Global Affairs, Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs, Office of the Under Secretary for Global Affairs, 환경청(Environmental Protection Agency)의 Climate Policy and Programs Division, 에너지부의 Office of Global Environment 등이 기후변화협약 관련 업무를 특화하고 있으며, USAID, Department of Treasury, 국방성 등이 실무기구로써 전문 인력을 확보하고 있다. 일본의 경우도 통산성의 Global Environmental Affairs Office, 환경청의 Global Environment Department, 외무부의 Global Issues Division과 다수의 환경대사들이 관련 업무를 전담하고 있다.

<표 12> 1999년 정부부처별 기후변화협약 관련 실적 평가

	잘된 점	미흡한 점	향후 필요한 점
외 교 통상부	-교토메카니즘 및 의무준수체 제에 대한 입장안 작성·제출 -공공기술이전 관련 논의에 적극 참여하여 기술이전문제 에 대한 국제협상의 주도권 확보 -우리나라의 온실가스 감축참 여문제에 대한 협상대책수립 을 위해 '개도국의 의무부담 방안'에 관한 연구용역사업 실시	-개도국 의무부담 문제의 중 요성에도 불구하고, 예산상의 제 약으로 인해 체계적이고 심 도 있는 연구수행의 미흡(개 도국 의무부담문제에 대한 연구용역사업비는 450만원에 불과)	-기후변화 관련 연구사업들 간의 유기성 및 일관성 확보 -온실가스 배출전망 및 온실 가스 감축가능량 산정작업 -개도국의 경제성장을 보장할 수 있는 감축방식 연구 -공공기술이전 촉진을 위한 사례연구사업
산 업 자원부	-에너지·산업대책반의 지속적 운영 -4대 정책연구팀 구성·운영 -기후변화협약 대응 실천계획 수립 3차년도 연구사업 시행 -청정개발체제(CDM) 관련 국 제협력 사업 추진	-홍보노력의 미흡	-예산지원의 확대 -홍보노력의 강화
환경부	-기후변화협약 홍보 강화로 산업계 및 국민의 기후변화 협약에 대한 관심 제고	-기후변화협약대응종합대책의 구체성 부족, 세부추진계획 마련 미흡 및 대책 추진에 필요한 예산과의 연계성 부 족 -연구·조사과제 선정과 기술 개발 방향에 대한 범정부 차 원에서의 조정이 미흡 -실무대책회의가 온실가스감 축을 위한 구체적인 정책결 정보다는 추진중인 관련 정 책들의 설명차원에서 운영	-기후변화협약 전담 상설 정 부대책기구의 설치 및 기후 변화협약 전담 연구기관 설 립내용을 포함한 '지구온난 화방지대책법'의 조속한 제 정
건 설 교통부	-연구용역을 통해 기후변화협 약에 대응하는 교통부문의 종합대책수립을 준비 -교통계획단계에서 과학적이 고 친환경적인 계획을 수립 할 수 있는 D/B구축 등 정 보기반의 형성	-건설교통분야의 기후변화 관 련 기본 통계자료 혹은 관련 정보축적 등의 어려움으로 인해 대책수립에 따른 정확 한 효과분석이 미흡 -대다수 수립 계획의 실제적 추진체인 지자체의 재정여건, 지역실정 등의 이유로 계획 추진 혹은 집행이 미흡 -관련업계 혹은 일반 국민의 인식부족으로 호응도가 낮아 계획의 효과적 추진이 어려 움	-온실가스 배출통계의 정확성 과 일관성 유지 -기후변화관련 기초자료의 수 집 및 분석에 필요한 예산을 범정부대책기구에서 일관 반 영하여 필요한 분야에 할당 -건교부, 산자부, 환경부에서 추진하는 대책들 중 유사한 대책에 대한 관련부처간의 협조 하에 연계·통합 추진

주: 기후변화협약실무대책회의(2000)의 "기후변화협약 1999실적 및 2000계획" 내용을 발췌, 정리함.

### 제3절 국내 배출권거래제 도입 현황

2002년 6월 「기후변화협약 대응 제2차 종합대책(2002-2004)」에서 한국 여건에 맞는 배출권거래제를 도입하기 위한 시범사업을 추진키로 하고, 2002년 9월 환경부와 산자부의 배출권거래제 시범사업안을 토대로 국무조정실에서 Task Force Team을 구성하여 최종시범사업방안을 마련하였다. 2004년 1월에는 발전·철강·시멘트 업체를 대상으로 배출량조사 및 컴퓨터 모의거래를 실시하였다. 현재 정부는 산자부와 환경부 별도로 본격적인 온실가스 배출권거래제도 실시에 대비하여 배출권거래제 시범사업을 2005년경에 실시할 계획이며, 이를 위한 시범사업 운영 안을 준비하고 있다.

#### 1. 환경부의 배출권거래제 시범사업 운영 안 개요

##### 가. 적용시기(사업기간)

2004년부터 2005년까지 2년간의 준비기간을 거쳐 2006년부터 시행한다. 사업기간은 3년으로 하되 3차에 걸쳐 추진하며, 사업기간은 상호 1년씩 중첩시킨다. 사업기간 간 중복기간을 둬으로써 자원배분의 효율성을 향상시키고, 사업기간 시작·종료 시점에 발생할 수 있는 배출권 시장의 불안을 방지한다. 사업기간이 장기일 경우 기간간 자원배분의 유연성이 증가하는 장점이 있으나, 불이행 위험의 증가 및 기업 진입·퇴출에 따른 문제점 발생 등의 단점이 있다.

##### 나. 대상 온실가스

제1차 기간에는 비교적 감시·확인이 용이하고 배출량 비중이 높은 CO<sub>2</sub>를 대상으로 사업을 시행하고, 제2차 사업기간부터는 교토의정서에서 규정하고 있는 6개 온실가스로 대상을 확대하여 기업체의 감축역량을 확충하고, 국제 거래규정에 대한 적용역량 확대 및 경험축적을 도모한다.

#### 다. 대상 사업장

시범사업에의 참여는 자발적으로 하되, 시행직전 2년간(2004~2005년) 입증 가능한 CO<sub>2</sub> 배출실적이 연평균 3만 톤 이상인 사업장(2001년 기준 약 600개)으로 참여자격을 제한한다. 제2차 사업기간이 시작되는 2008년부터는 CO<sub>2</sub> 2만톤 이상 사업장으로 대상을 확대한다. 시범사업은 자발적인 참여에 따른 것이고, 참여시 인센티브 재원을 통해 이익을 취할 수 있으므로 참여업체에 대해 제한을 두는 것은 불공정한 차별이 될 수 있다. 그러나 확인 가능한 과거 배출실적이 부재한 업체(신생기업 포함)의 경우 기준 배출량(기준배출량(baseline)) 산정이 불가능하거나 매우 불확실하므로 이에 대한 조건을 설정한다.

#### 라. 대상 배출시설

참여 사업장이 직접 또는 간접으로 배출하는 배출량과 해당 시설을 모두 포함시키되, 자동차에서 배출되는 배출량은 확인이 어려우므로 제외한다. 판매용 전력생산시설은 2중 계산을 방지하기 위해 제외하며, 자동차에 대해서는 2차 사업기간 이후부터 제작·판매업체를 대상으로 하는 원단위(배출계수단위= CO<sub>2</sub>/km) 방식의 관리를 검토한다. 또한 2차 사업기간부터는 신재생에너지 보급사업의 프로젝트 참여를 허용한다.

한편 감시나 확인이 어렵고 관리의 실익이 없는 소규모 배출시설의 경우, 사업장 전체 배출량에서 차지하는 비중이 10% 미만인 경우 제외한다. 전력·열 등 2차 에너지를 구입하여 사용하는 경우, 전년도 발전부문의 평균 배출원단위를 적용하여 배출량을 산정한다. 전력을 구입하여 사용하는 경우 직접 배출시설이 없으므로 배출량이 산정되지 않는데, 이러한 간접배출량을 제외할 경우 전력의 과도한 소비를 촉진하는 누출효과(leakage effect)를 초래할 수 있음을 감안한다.

#### 마. 인센티브 경매

단계식 하향경매(dynamic descending clock auction)를 적용하며, 경매인이 매 시마다 이산화탄소 등가톤(tCO<sub>2</sub>e)당 시작가격과 종료가격을 설정하여 공시한다. 입찰

자는 시작가격과 종료가격 사이에서 최대 다섯 개의 배출삭감목표를 일괄 입찰(가격 수준별 기준배출량 대비 배출삭감목표 제시)한다. 이때 기준배출량(baseline)은 과거 2년간 평균배출량의 98% 수준(향후 배출량 등록프로그램에 참여하는 업체의 경우에는 100%)으로 설정한다. 효율향상 등에 기인하는 자연적 배출감소 및 경제성이 높은 No-regret option의 이행으로 2%의 절감이 가능하다는 가정 하에, 추가적인 감축량에 대해서만 인센티브를 부여하기 위하여 과거 배출량의 98%를 기준배출량으로 설정하는 것이다.

제2차 사업기간 이후 계속 참여업체의 경우 배출권 할당량의 100%를 기준배출량(baseline)으로 설정하며, 경매인은 입찰참가자가 제시한 총 배출저감량을 공시한다. 인센티브에 배출저감량을 곱한 값이 총 인센티브 재원보다 적을 경우에 경매를 종료하고, 그 보다 많을 경우에는 재입찰을 실시한다. 한편 입찰참가자는 각 시범사업기간의 배출저감량 전체에 대해 입찰 참가가 가능하며, 입찰한 배출저감목표량의 tCO<sub>2</sub>e당 인센티브를 제공받고 해당 시범사업 종료까지 목표달성의무를 갖는다.

입찰시 제시하는 배출저감목표량은 해당 시범사업기간 동안의 누적 배출삭감 총량이다. 입찰자는 낙찰 후 각 시범사업연도마다 배출저감량을 제시하여야 한다. 각 연도마다 제시하는 배출저감량을 기준배출량(baseline)에서 제외한 값이 당해연도의 배출권 할당량이 되며, 실제 온실가스 배출량 및 거래량에 대한 모니터링 및 검증과정이 진행된 후에 배출권 할당량과 비교하여 목표달성 시 매년 조정 작업을 거쳐 인센티브를 제공하는 것으로 한다. 조정 작업 과정에서는 사업기간 중 경제활동수준(발전량, 생산량 등)이 과거 2년간 평균의 98% 수준보다 하락하는 경우, 기준 배출집약도(경제활동 단위당 배출량)를 하회하는 배출저감량에 대해서만 인센티브를 지급한다.

#### 바. 인센티브 재원

환경개선특별회계에서 3차에 걸친 시범사업 인센티브 경매재원(350억원)을 확보하여 배분하되, 1차 경매 시 50억원에서 시작하여 점진적으로 확대한다. 최근 국제배출권 시장가격이 tCO<sub>2</sub>당 25달러 수준에서 형성되고 있기 때문에, 이러한 국제상황을 고려하여 톤당 균형가격이 이와 유사한 수준에서 형성될 있도록 재원을 조성한다.

## 사. 배출권 할당

각 시범사업기간 중 할당량은 기준배출량(baseline)에서 배출삭감목표 확정량(인센티브 경매 시 낙찰된 수량)을 제외한 양을 배출권으로 거래할 수 있도록 한다. 연도별 할당량은 인센티브 경매 낙찰업체가 제출하는 사업기간 중 연도별 배출량 할당계획에 따라 매년 할당한다(기준배출량 감증을 완료한 업체에 한함). 또한 연도별 할당량은 매년 기준배출량을 초과하지 않는 한도 내에서 업체가 자율적으로 결정할 수 있게 한다.

## 아. 거래 관리

거래당사자(판매업체 및 구매업체)는 거래량, 거래주체, 대상 배출권 일련번호 등 거래내용(가격 제외)을 배출권거래소(정부 지정)에 제출하고, 거래소는 결격사유가 없는 한 이를 승인한다. 배출권거래소는 배출권의 보유·거래현황을 관리하기 위한 등록시스템(등록소)을 구축·운영한다.

## 자. 배출권거래 등록소(registry)

배출권의 이동 및 보유현황 등을 관리감독하기 위한 등록소 운영이 필요하며, 배출량 목록(inventory)과 연계하여 운영한다. 등록소의 요건으로는 참가자의 배출권 할당량 소유현황 및 변동사항에 대한 추적이 가능해야 하며, 참가자는 등록소 내에서 고유 계정(account)을 보유해야 한다. 등록 세부항목으로는 계정의 소유자에 대한 기초 정보, 정부에 의한 초기 할당량, 배출량 정보, 프로젝트 또는 국제거래를 통해 획득한 크레딧, 거래결과에 따른 할당량 변화, 할당량 폐기 및 취소량, 할당량 예치분 등이다. 등록소와 배출량 목록에 등록된 정보는 기밀을 요하는 타당한 이유가 있는 경우를 제외하고 투명한 공개를 추진한다.

## 차. 거래제한

거래 참가자는 할당받은 배출권의 90%와 전년도까지의 미달성분(배출량이 배출삭감 목표량을 초과한 양)을 사업기간예치(commitment period reserve: CPR)로서 거래 가능량에서 제외하고 나머지 배출권을 거래할 수 있게 하여, 할당된 배출권을 과도하게 판매함으로써 발생하는 미이행 사태를 방지한다. 한편 원단위목표와 절대량목표를 동시에 적용할 경우, 원단위목표를 설정한 부문에서 절대량목표를 설정한 부문으로의 배출권 판매 시 거래를 제한할 수 있다. 원단위부문에서 절대량부문으로 거래가 자유롭게 이루어진다면 시장 내에 배출권이 과다하게 존재할 수 있다.

#### 카. 의무 미준수 벌칙

금전적인 벌칙과 차기 배출할당량 삭감은 이중처벌이므로 국내 시범사업에서는 사업기간별 총 배출량이 배출삭감목표량을 초과하는 경우 미달성분에 인센티브 경매 낙찰가의 2~3배를 곱한 벌금을 징수하고, 추후에 미달성분에 해당하는 배출량을 달성할 경우 벌금의 50%를 환급한다. 한편, 참여업체는 연도별 배출량에 해당하는 배출권을 익년도 정산기간(reconciliation period)중 거래소에 제출하여야 한다. 또한 교토의정서 및 마라케쉬 합의문에 따른 4종의 국제배출권(AAU/RMU/CER/ERU)은 시범사업 의무이행에 이용할 수 있도록 한다.

#### 타. 감시 및 확인

업체별 배출량 산정은 세계자원연구소(WRI)/세계지속발전기업위원회(WBCSD)의 온실가스 의정서(GHG Protocol), IPCC 지침 등 국제적으로 통용되고 있는 방식을 기준으로 정한다. 기준배출량(baseline) 및 실제 배출량에 대한 업체별 보고에 대하여 제3의 인증기관(정부가 정해진 조건에 따라 지정)에서 확인(verification)한다. 배출량 산정의 근거가 되는 각종 입·출입전표, 현장 유량계 및 배출량 산정 자료의 유지·관리를 위한 품질관리 상황 등을 확인한다. 한편, 국가 대기정책과 연계하여 운영되고 있는 대기배출원 관리프로그램을 활용한 검증과정에 적용시켜 투명성을 확보한다.

<표 13> 국내 온실가스 배출권거래 시범사업(환경부 안)

구 분	시범사업 세부내용 요약
사업기간	- 1차(2006~2008); 2차(2008~2010); 3차(2010~2012)
대상 온실가스	- CO <sub>2</sub> (1차 사업기간)를 시작으로 교토의정서상 6개 가스로 확대(2차 사업기간 이후) * 온실가스 간에는 IPCC 지구온난화기여도(GWP)에 따라 CO <sub>2</sub> 등가톤으로 환산
참여 대상업체	- 자발적인 참여 기조 하에 2006~2008년간 연평균 CO <sub>2</sub> 배출량 3만톤 이상 배출 사업장(1차)을 시작으로 점차 확대
대상 배출시설	- 직접(자동차 제외) 및 간접(전기/열 등 2차 에너지 구매 등) 배출량 포함 * 2차 사업기간부터는 자동차 제작·판매업체에 대한 원단위(집약도) 목표방식의 거래제도 방식적용 및 신재생에너지 보급사업의 프로젝트 단위 참여허용 검토
인센티브 경매	- 업체별 삭감목표량 입찰에 대해 정해진 인센티브 재원을 배분 - 신규 참여업체는 과거 2년간 평균 배출량의 98% 수준을 기준(기준배출량)으로 인센티브 경매 시 배출삭감 목표량을 입찰 - 단계식 하향 경매(Dynamic Descending Clock Auction) 적용 - 매년 말 해당연도 배출량 입증 후 인센티브 재원(벌금 제외) 지급
인센티브 재원	- 인센티브 경매재원의 단계적 확대: 50억(1차) ⇒ 100억(2차) ⇒ 200억(3차)
배출권 할당	- 사업기간 할당량: 기준(기준배출량(baseline)) 배출량에서 배출삭감 목표확정량(인센티브 경매 시 낙찰된 수량)을 공제한 양임 - 연도별 할당량: 인센티브 경매 낙찰업체가 제출하는 이행기간(3년) 중 연도별 배출권 할당량에 해당하는 양을 매년(기준배출량(baseline) 검증 완료 시) 할당
거래한도	- 연도별 할당량의 90%(이행기간 예치)을 초과하는 배출권은 판매 가능
거래관리	- 거래당사자(판매업체 및 구매업체)는 거래량, 거래주체, 대상 배출권 일련번호 등 거래내용(가격 제외)을 배출권 거래소(정부지정)에 제출하고, 거래소는 결격사유가 없는 한 이를 승인(배출량을 포함한 모든 정보는 공개를 원칙으로 함)
이월 및 차입	- 차기 사업기간으로 이월(banking)은 무제한 허용; 차입(borrowing)은 금지
미준수시 벌칙	- 연도별 목표 미달성분은 인센티브 경매 낙찰가의 2배를 곱한 금액(벌금)을 징수 * 교토의정서에 따른 국제배출권(AAU/RMU/CER/ERU)은 제출 가능하고, CDM CER 획득업체는 해당량 만큼 추가 제출
감시 및 확인	- 기준배출량(기준배출량(baseline)) 및 실제 배출량에 대한 업체별 보고에 대하여 제3의 인증기관(정부가 정해진 조건에 따라 인증)에서 확인(verification) - 업체별 배출량 산정은 WRI/WBCSD의 GHG Protocol을 기준으로 산정하되, 대기 배출원관리프로그램(SODAM)을 활용한 CO <sub>2</sub> 배출량 분석을 겸용
법적 근거	- 기후변화 관련 신규 입법 시 관련조항 삽입 추진

## 2. 산업자원부의 배출권거래제 시범사업 운영 안 개요

산업자원부는 2004~2005년의 준비기간을 거쳐 2006년부터 시행을 고려하고 있다. 이와 관련하여 온실가스 등기거래 전산시스템은 이미 2000년에 구축되었고, 업종별 배출량 산출기준(guideline)과 양식도 개발 완료된 상태이다. 또한 기업단위 온실가스 배출량의 수집·기록 및 분석 체계를 구축 중에 있다. 산자부에서 제안하고 있는 배출권거래제 시범사업의 시행기간은 3년으로 하되, 두 단계 (1단계: 2006~2008, 2단계: 2009~2011)에 걸쳐 추진하는 것을 제안하고 있다.

### 가. 참가자

자발적 참여를 원칙으로 하되, 기반구축 정도가 우수하고 배출량 자료의 신뢰성이 상대적으로 높은 부문을 일차 대상으로 한다. 참가자는 배출량 관리가 가능한 사업장 단위로 하고, 참가자 수가 많아 관리비용이 증가할 경우 기업 단위로의 전환을 검토한다. 1단계에서는 발전 5개사 중 자발적 참여 사업장(28개)을 대상으로 한다. 2단계에서는 철강·시멘트·석유화학 등 주요 에너지다소비업종의 자발적 참여 기업의 사업장을 추가한다(약 30개사 추정).

### 나. 대상 온실가스

1단계에서는 배출량의 산정 및 검증이 용이한 CO<sub>2</sub>를 대상으로 하고, 2단계에서 교토의정서 상의 6개 온실가스로 확대한다. 기준단위는 1단계에서는 tCO<sub>2</sub>, 2단계에서는 IPCC의 지구온난화잠재력을 기준으로 환산한 이산화탄소 등가톤(tCO<sub>2</sub>e)을 활용한다. 1단계에서는 직접배출 만을 대상으로 하고, 2단계에서 기반구축 정도를 고려하여 간접배출 등으로 확대한다.

### 다. 배출권 할당방식

거래참가자는 기준배출량(baseline)을 토대로 인센티브 경매에 의해 이행기간의 자발적 배출 감축목표량을 설정한다. 기준배출량은 시범사업의 취지를 고려하여 배출실적에 각 산업의 성장 전망을 반영하여 설정한다. 1단계 기준배출량은 2002~2005년간 연평균배출량의  $(100+a)\%$ 로 결정하며, 2단계 기준배출량은 2006~2008년(1단계 사업기간)간 연평균배출량의  $(100+a)\%$ 로 결정한다. 이때,  $a$ 값은 전력수요 전망, 주요산업 전망 등을 고려하여 결정한다. 기준배출량에서 이행기간 감축목표량을 뺀 값이 이행기간 배출권 할당량(allowance)이 되며, 연도별 배출권 할당량은 기준배출량을 초과하지 않는 한도 내에서 참가자가 자율적으로 결정한다.

#### 라. 인센티브 재원

1단계 사업을 위해 일반회계에서 100억원을 조달한다. 이는 2002년 기준 발전부문 배출량의 1% 감축을 목표로 하는 경우 96.8억원의 예산이 필요함을 반영한 것이다( $tCO_2$ 당 7,740원 기준). 2단계 사업의 예산규모는 1단계 사업시행 실적을 고려하여 2단계에 참여 가능한 업종 및 업체 수 등을 예상하여 다시 추정한다. 인센티브재원은 감축목표에 따른 의무이행 확인 후 매년 지급한다.

#### 마. 거래 제한

배출권의 과잉판매 방지를 위해 연도별 배출권 할당량의 90%는 의무적으로 보유토록 제한하고 10%만을 거래할 수 있도록 허용한다.

#### 바. 저감배출권(emission credit)의 활용

참가자의 자체 감축노력을 유도하기 위해, 참가자가 비참가자의 온실가스감축사업에 투자하여 획득한 실적(emission credit)을 자사의 의무이행에 활용하는 것을 제한한다. 그러나 2단계부터는 이를 허용하되, 배출권 할당량의 일정 범위로 제한한다.

#### 사. 이월 및 벌칙(penalty)

배출권 할당량의 전부에 대해 연도별 이월(banking)을 허용하되, 차입(borrowing)은 금지한다. 저감배출권(emission credit)의 이월은 배출권 할당량의 일정범위(마라케시 합의문은 2.5%)로 제한한다. 배출권 할당량 중 미이행분에 대해서는 차기 이행기간 할당량 발행 시 마라케시 합의문에 의해 전기 미이행분의 1.3배 차감 후 발행한다.

<표 14> 국내 온실가스 배출권거래제 시범사업운영(산업자원부 안)

항 목	주 요 내 용
시범사업 기 간	준비기간(2004~2005)을 거쳐 2006년부터 3년 단위로 단계별 접근 (1단계: 2006년~2008년, 2단계: 2009년~2011년)
참 가 자	발전 5개사 사업장(28개)을 시작(1단계)으로 에너지다소비 업종으로 점차 확대(자발적 참여)
대 상 온실가스	CO <sub>2</sub> 부터 시작(1단계)하여 교토의정서상 6개 온실가스로 확대 - 1단계: 직접배출(단위: tCO <sub>2</sub> ) - 2단계: 기반구축 정도를 고려하여 간접배출 포함여부 결정 (단위 : tCO <sub>2</sub> e - IPCC의 지구온난화지수를 반영한 CO <sub>2</sub> 환산톤)
배 출 권 할당방식	< 인센티브 경매(동적내림경매) > - 기준배출량을 토대로 인센티브경매에 의해 자발적 감축목표량을 설정 · 1단계기준배출량: 2002~2005 연평균배출량의 (100+a%) · 2단계기준배출량: 2006~2008 연평균배출량의 (100+a%)  < 배출권 할당 > - 이행기간 총할당량: 기준배출량(기준배출량(baseline))에서 감축목표량을 공제한 값 - 연도별 할당용량: 이행기간 할당량 중 매년 기준배출량을 초과하지 않는 한도 내에서 참가자가 자율적으로 결정
인센티브 재 원	일반회계 재원 활용(1단계: 100억원, 2단계: 1단계 시행 후 재추정) 감축목표량에 따른 의무준수 확인 후 인센티브 재원 매년 지급
거래 제한	배출권 할당량의 90%는 의무적으로 보유하고 10%에 해당하는 양만을 거 래 허용(마라케쉬 합의문)
책임원칙	판매자 책임원칙
emission credit 활용	2단계부터 emission credit 활용 허용
이월 및 차입	- 배출권의 이월(banking)은 100%, emission credit은 배출권 할당량의 일정범위로 제한(마라케쉬 합의문은 2.5%로 제한) - 차입(borrowing)은 금지
미이행 벌칙	실제 배출량이 배출권을 초과한 양에 대해서는 차기(2단계) 배출권 할당 시 부족분에 1.3배를 곱하여 차감 후 발행
배출량 검 증	기준배출량 등 배출량 검증은 정부가 제3의 검증기관을 지정운영 배출량 산정은 국가 온실가스배출량 산정기준 및 해외 기업단위의 온실가 스 산정 안을 토대로 국내 실정에 맞게 제작성

### 3. 농업부문의 참여를 위한 배출권거래제 고려 사항

환경부와 산업자원부의 배출권거래제 시범사업안을 살펴보면 농업부문의 참여에 대한 고려사항이 존재하지 않고 있다. 배출권거래제에서 농업부문이 불리한 여건에 처하거나 참여를 제약하지 않도록 미리 준비되어야 할 사항들이 있다.

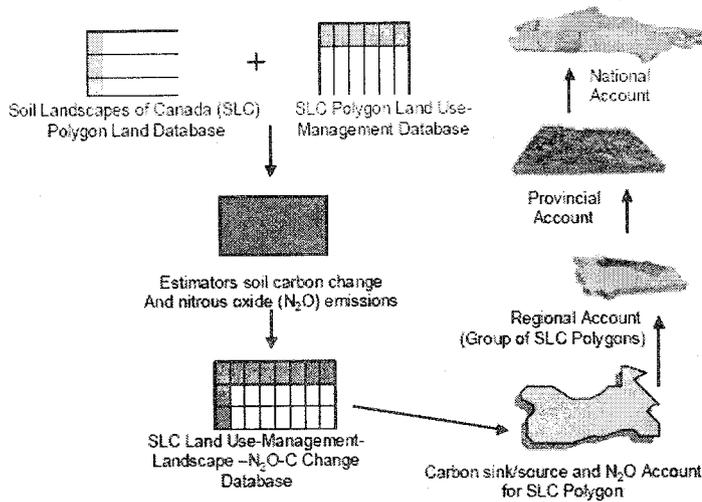
#### 가. 기준배출량(baseline) 설정

현재의 IPCC 기준으로 보면, 농업 부문은 CO<sub>2</sub>의 배출원(source)으로만 규정되어 있지, 흡수원(sink)으로는 규정되어 있지 않다. 이러한 상황에서 농업 부문이 저감할 수 있는 CO<sub>2</sub>를 탄소배출권으로 인정받으려면 농업부문의 실질적인 저감능력을 인정받아야 한다. 즉, 저감 프로젝트가 진행되지 않았을 때(현재와 같은 상황이 미래에도 계속 진행되었을 경우) 발생할 CO<sub>2</sub>의 양을 계측한 후, 탄소저감 프로젝트가 농업 부문에서 진행되었을 경우 발생하게 될 CO<sub>2</sub>를 추정하여 그 차이만큼을 프로젝트로 인해 저감할 수 있는 양으로 인정받게 되면 농업부문 역시 흡수원으로서 인정받아 탄소배출권 생성이 가능하다. 이를 위해서는 먼저 농업부문에서의 온실가스 배출에 대한 기준배출량이 먼저 설정되어야 한다.

농업 부문에서의 기준배출량 설정은 타 부문보다 상당히 어렵고 복잡하다. 탄소배출권 획득을 위해 진행되고 있는 여타 산업의 CDM 사업을 살펴보면, 이미 현재 및 과거의 CO<sub>2</sub> 배출을 쉽게 알 수 있다. 예를 들어 전력이나 철강산업 등 CO<sub>2</sub> 배출이 큰 산업군의 경우 과거 배출실적이 파악되어 있으므로 이를 이용해 기준배출량을 설정하고, 특정 온실가스 감축 프로젝트 진행시의 감축 가능한 양을 추정할 수 있다.

그러나 농업 부문은 여타 산업들과 달리 온실가스 배출에 영향을 주는 요소들이 매우 다양하다. 작물의 종류나 토질, 기후, 영농방법 등에 따라 온실가스 배출량이 달라진다. 따라서 농업부문에서의 기준선 설정을 위해서는 농업 부문의 CO<sub>2</sub> 배출에 영향을 주는 여러 가지 요소들을 현장 실험을 통해 계측하고 이를 토대로 기준선을 계측하는 복잡하고 정교한 접근방법이 필요하다.

<그림 10> NCGAVS를 이용한 온실가스 발생량 추정 과정



자료: NCGAVS, B.G. McConkey et al.

호주의 NCGAVS(National Carbon and Greenhouse Gas Emission Accounting and Verification system for Agriculture)은 농업부문의 기준선 설정을 위한 유용한 도구로 인식되고 있다. 이 시스템은 호주에서 농업부문의 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O의 발생량을 추정하고 이의 등록 및 검증을 위해 개발한 프로그램이다. NCGAVS는 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O 발생 추정량이 Soil Landscape of Canada(SLC) polygons의 단위로 계측된다. 즉, 농지의 지역적 특성을 고려하여 SLC polygons의 데이터베이스를 구축한 후 여기에 주어진 기본단위의 토양의 농토 사용 및 관리에 관한 특성을 추가하여 각각의 특성에 따라 구획되어진 토양에 대한 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O의 발생량을 추정한 후 이를 프로그램화하여 기본단위의 토양에서의 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O의 발생량을 전체 농토로 확장시키는 시스템이다.

NCGAVS에서는 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O의 발생량에 영향을 주는 요인으로 토양, 기후, 농지이용방법, 농업경영형태 등 4가지를 고려한다. 각각의 요소들은 토양에서의 온실가스 발생에 큰 영향을 주므로, 이 요소들에 의한 온실가스 발생량을 계측하여 이를 DB화하고, 이를 이용해 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O 발생량의 모델을 추정한다. 이러한 방법에 따라 농업 부문의 기준선을 설정하고, 특정 온실가스 저감 프로젝트로 인한

<표 15> NCGAVS의 탄소 변화량 및 N<sub>2</sub>O의 발생량에 영향을 주는 세부요인

NCGAVS 인자	내 용
토양	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양의 주어진 경사도</li> <li>• 토양의 종류</li> <li>• 표면의 형태 등에 따라 구분됨</li> </ul>
기후	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온도</li> <li>• 강수량 등 기후에 따라 구분됨</li> </ul>
농토의 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 농토에서 조림, 재조림, 간벌 등으로의 토지 용도의 전환 등 토양의 사용에 따라 구분됨</li> </ul>
농토의 경영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초지</li> <li>• 목지</li> <li>• 경운/ 무경운 등 경작 방식</li> <li>• 비료의 사용량 등 농토의 경영에 따라 구분됨</li> </ul>

자료: <http://www.greenhouse.gov.au/>

온실가스의 발생량을 계측하면 온실가스 저감량을 추정할 수 있다.

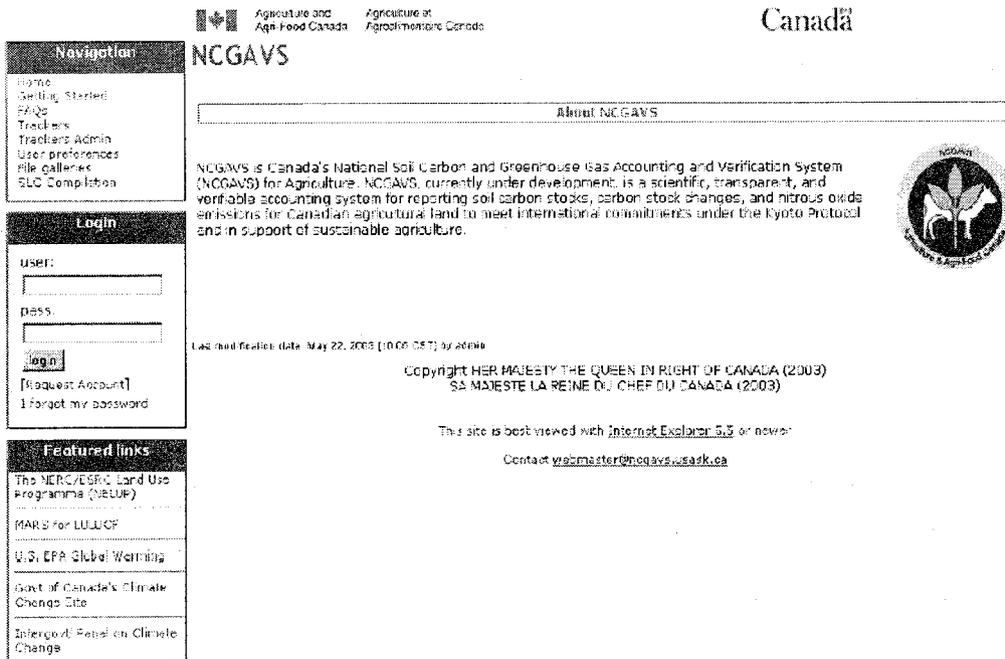
이 모델을 web 기반 프로그램으로 구축하게 되면, 탄소 배출권 창출을 희망하는 농업부문에 직접 자신의 농토에서 발생하는 온실가스 양을 계측할 수 있고, 이를 이용해 온실가스 저감 프로젝트의 도입에 따른 탄소 배출권을 창출할 수 있다. 호주에서는 현재 NCGAVS을 이용한 실험사업(pilot project)이 진행 중에 있으며, 충분한 수정/보완 작업을 거쳐 2005년에 동 시스템을 완성할 계획이다.

#### 나. 배출권거래제 대상 업체의 확대

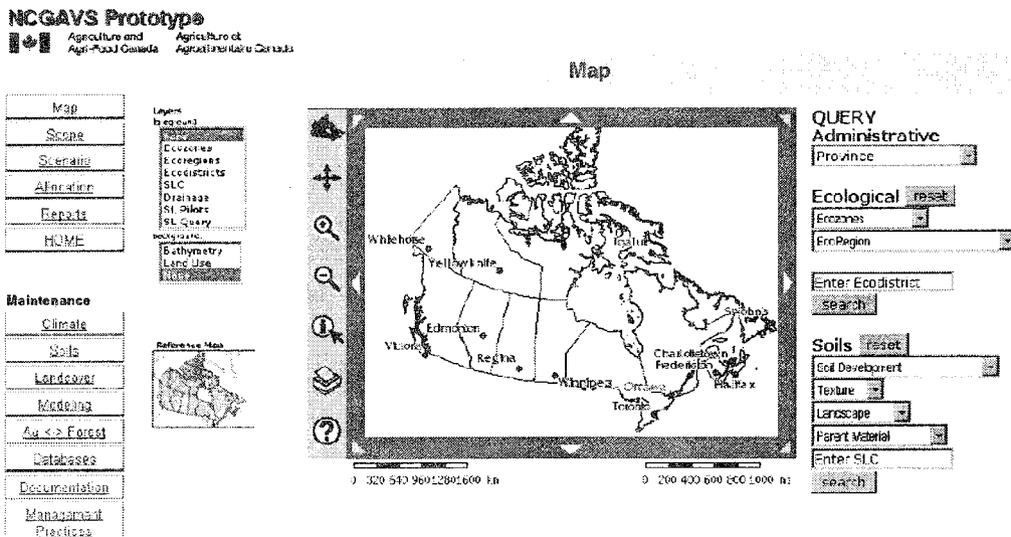
현행 배출권거래제 1차 시범사업안에는 배출권거래제의 참여 대상 업체가 환경부 안의 경우 연평균 CO<sub>2</sub> 배출량 3만 톤 이상인 배출사업장으로, 산업자원부의 안은 발전 5개사 사업장으로 제한되어 있다. 즉, 현재 온실가스를 배출하고 있는 사업장으로만 배출권 거래제의 참여 대상이 제한되어 있다고 볼 수 있다.

농업 부문이 배출권거래제 사업에 참여하려면 그 참여 대상의 범위가 기존의 온실가스 배출 사업장에서 탄소 배출권을 공급할 수 있는 능력이 있는 업체까지로 확장되어야 할 것이다. 그러나 현재 한국의 평균 영농규모를 보면 개별농가단위로서는 참여

<그림 11> Web 기반 NCGAVS의 표지화면



<그림 12> 온실가스 발생량 예측 방법



자료: NCGAVS, Carbon Measurement and Monitoring Forum, October 15-17, 2003

하기 어려울 것이다. 따라서 캐나다나 미국과 같이 공동사업의 형태로 참여할 수 있도록 대상 업체 기준이 유연하게 결정되어야 할 것이다.

다. 농업부문에서 생성한 탄소 배출권에 대한 검증과 확증 과정

농업 부문에서 생성한 탄소 배출권이 실제로 탄소 배출권 시장에서 판매가 되기 위해서는 배출권의 양과 실제로 프로젝트 등을 통해서 저감한 온실가스의 양이 일치함을 증명할 수 있어야 한다. 기본적으로 농업 부문에서 창출된 탄소 배출권은 기준선 및 프로젝트를 통해서 발생하는 온실가스 계측의 정확도에 따라 그 신뢰성이 결정된다고 할 수 있다. 따라서 농업 부문에서 탄소 배출권의 신뢰성을 높이려면 지속적으로 농지에서 저감 가능한 온실가스를 실제로 측정하고, 이를 모델을 통해서 도출된 온실가스 양과 비교분석하는 과정이 필요하다.

5년마다 한번씩 실제 농지에서의 온실가스 발생량을 측정하고 이를 온실가스 발생량을 추정하기 위해 구축되어 있는 시스템과 비교한다면 농업 부문에서의 탄소 배출권의 신뢰성을 제고할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 무엇보다도 농학 분야의 다양한 기초연구가 선행되어야 하며, 전문가 양성이 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

## 제4장 교토메카니즘과 농업부문의 대응 동향

기후변화와 관련하여 전 세계 농업부문은 대체로 지구온난화의 부정적 영향이나 온실가스의 감축의무에 대한 대비보다는 온실가스 저감을 통한 경제적 이익창출의 기회를 추구하고 있다. 농업부문에서 발생하는 배출량은 전체 온실가스 배출량의 12~40%로 추정될 만큼 상당하다. IPCC는 농업과 임업부문이 전체 메탄 발생량의 50%, 질산의 70% 그리고 이산화탄소의 20% 가량을 배출한다고 추정하고 있다.

과학자들은 전 세계 탄소저장량의 약 80%가 토양 내지는 산림에 축적되어 있고, 토양 및 산림에 내재된 탄소의 상당량이 농업과 임업, 특히 산림벌채의 결과로써 방출되고 있다고 추정한다. 따라서 적절한 토지이용관리나 산림경영을 통해 토양과 식물 내의 탄소저장을 증가시킬 수 있다. 산림벌채 규모의 축소나 신규 산림 조성, 토양 침식과 양분고갈 등과 같은 토질악화(soil degradation)의 감소, 그리고 퇴화된 산림의 원상태로의 복원 등은 도처에서 발생하는 탄소배출의 효과를 상쇄(offset)하고 잠재적으로 탄소저장을 가능케 하는 지구온난화의 보다 적극적인 대처방안이다.

탄소흡수원의 역할을 담당할 농림업 부문에 대한 크레딧(credit) 도입은 국제 기후변화협상 내내 중요 쟁점 중의 하나였다. 농업생산 활동 전반에 걸쳐 저장된 탄소의 총량을 규명하는 것은 쉽지 않은 작업이다. 그럼에도 불구하고 탄소저장에 대한 가이드라인은 토지이용(land use), 토지이용변화(land-use change) 그리고 산림(forestry)에 대한 규정(LULUCF)을 통해 2001년 마라케쉬 협정에서 결정되었다. 식물생장과 농경지 및 목초지에 대한 경영효율성 제고는 탄소흡수원의 역할로 인식되고 있고, 각 부속국들은 1990년 수준을 초과하는 저감량에 대해 탄소 크레딧을 부여받을 수 있게 된다. 이에 따라 전 세계 주요 농업국들은 교토메카니즘을 활용하여 농림업 부문을 통한 탄소배출권 크레딧을 얻기 위해 다양한 노력을 기울이고 있다.

### 제1절 외국의 사례

#### 1. 미국

미국은 교토의정서 비준국가가 아니지만 연방정부뿐 아니라 지방정부와 민간부문에서도 온실가스 저감을 위한 활동이 활발하게 이루어지고 있다(Braine and Francis, 2003). 최근 미국의 농업생산자들은 중장기에 걸쳐 개별시장이나 정부프로그램에 탄소 고정서비스(carbon sequestration services)를 제공함으로써 경제적 이익을 창출하는 노력을 하고 있다. 최근 온실가스배출권 거래시장인 시카고기후거래소(Chicago Climate Exchange)가 설립되어 미국과 멕시코에서 획득된 탄소저감 크레딧을 판매할 수 있는 기회가 생겼고, 이에 따라 농업생산자들이 탄소고정서비스의 판매를 추진하고 있다.

그러나 현재 미국 농업저감서비스(Agriculture sequestration services)의 거래는 여타 부문에 비해 그리 많지 않다. 환경보호청(EPA)에서 추진하는 전체 369개의 탄소고정(sequestration) 프로젝트 중 임업부문이 포함된 프로젝트가 362개인데 반해 농업부문이 포함된 프로젝트는 단 2개에 불과하다(U.S. Department of Energy, 2002b). 이는 미국의 교토의정서 불참으로 인해 구속력 있는 배출저감 목표치와 일정표(timetables), 명확한 온실가스 정책의 부재 등으로 시장수요 자체가 적은 원인도 있지만, 농업부문 배출권사업의 기술적 방법론이 아직 공식적으로 인정받지 못한 원인도 있다.

그럼에도 불구하고 부시 행정부는 농업생산자들에게 농업부문의 탄소고정에 드는 비용을 지불함으로써 자발적인 프로그램의 확산을 유도하고 있다. 부시 대통령은 기후변화 이니셔티브(Climate Change Initiatives)에서 향후 농업부문 온실가스 저감량에 대한 인센티브 지침을 규정할 것을 농업장관에게 지시하였다(White House, 2002). 실제로 미국의 2002년 농업법은 전체 프로그램의 유지에 드는 예산의 확대와 더불어, 특히 탄소고정에 대한 연구개발, 그리고 실험프로젝트에 신규 예산을 책정한 바 있다(U.S. Public Law 107-171).

또한 부시 대통령은 에너지부의 온실가스보고프로그램(Greenhouse Reporting Program)을 개선시킬 노력의 일환으로 농업장관에게 탄소고정프로그램의 시행규칙과 가이드라인을 개발하도록 지시하였다. 이전부터 농업부문의 탄소저감프로그램의 도입을 지지했던 미국 의회는 농업과 임업부문 프로그램의 예산지원을 위해 약 25개의 법안을 통과시켰다. 농업부문 탄소저감프로그램은 부시 행정부가 거부하고 있는 강제적인 기후변화 프로그램과 달리 자발적인 프로그램이다. 이러한 특성과 함께 환경프로그램에 대한 대중적지지, 그리고 농가소득정책에 대한 국제적 압력이 이 프로그램의

도입과 확대를 이끌고 있다.

그러나 미국 내 농업부문의 탄소고정서비스 시장규모는 연방정부의 기후변화관련 정책이 바뀌지 않는 한 지속적인 성장에는 한계가 있을 것으로 전망된다. 부시 행정부가 지향하는 기후변화정책은 기술개발을 통해 그들이 과거 20년간 방출시켰던 것과 비슷한 속도로 탄소량의 저감을 유지하는 것에 있다. 따라서 국내의 탄소 크레딧 수요는 크지 않을 것이며, 또한 교토의정서 비준국가들에게 탄소 크레딧을 수출할 수 없기 때문에 탄소시장의 규모 확대 역시 쉽지 않을 것으로 전망된다.

## 2. 캐나다

2002년 12월 교토의정서를 비준한 캐나다는 1차 공약기간동안 1990년 자국 온실가스 배출량 대비 6%를 감축해야 한다.<sup>26)</sup> 이를 위해 캐나다 정부는 다음과 같은 3가지 방법을 통해 온실가스를 감축하는 캐나다기후변화계획(The climate change plan for canada)을 수립하였다. 첫째, 에너지 감축을 위한 투자를 통하여 현재의 온실가스 배출량의 1/3을 감축하는 방법(8천만 tCO<sub>2</sub>e), 둘째, 신축적인 여러 전략들을 통해 1억 tCO<sub>2</sub>e를 줄이는 방법, 마지막 6천만 tCO<sub>2</sub>e은 기타 여러 방법들을 통해 줄이기로 계획하였다. 캐나다 정부의 계획안에 명시된 전략은 다음의 5가지 정책조합(policy-mix)을 포함한다:

- i. 기술혁신과 캐나다 정부의 투자
- ii. 캐나다 정부의 기반시설에 대한 투자
- iii. 캐나다 정부와 지역 정부, 지자체와 지역주민 그리고 토착 주민과 비정부기구 간 자금조달(funding) 협력
- iv. 인센티브, 규제, 세제를 이용한 온실가스 감축
- v. 대규모배출자(large industrial emitters: LIEs)를 대상으로 하는 계약

캐나다의 LIE<sup>27)</sup>들은 여러 가지 방법을 통해 온실가스를 감축할 수 있다. 기업 내

---

26) 240Mt carbon dioxide equivalent(CO<sub>2</sub>e)에 해당

27) 전력산업, 석유·가스 산업, 석탄 산업과 제조업 분야가 이에 해당

부적으로 발생하는 온실가스를 생산 감축이나 기술혁신들을 이용하여 감축하는 방법, 다른 LIE로부터 잉여 배출권을 구입하는 방법, 교토메카니즘을 통한 크레딧을 구입하는 방법, 오프셋시스템(offset system)으로부터 크레딧을 구입하는 방법 등이 있다.

오프셋시스템이란 일정기간 동안 offset program에 등록되어 있는 부문에서의 순 온실가스 감축 또는 제거량에 대해 credits를 부여하는 제도이다. 이렇게 획득된 offset credit은 기업들이 자신들의 온실가스 감축량을 준수하는데 사용되거나 다른 목적으로 사용될 수 있다. 오프셋시스템은 비용효율적인 온실가스 감축 방법이다. 보다 저감 비용이 낮은 참여자들이 온실가스 감축을 통해서 offset credit을 제공함으로써 LIEs의 감축 비용을 줄일 수 있다. 이는 또한 온실가스 저감기술의 혁신을 유발하는 동기가 되기도 한다.

농업, 산림 그리고 매립지가스 등이 오프셋 크레딧의 잠재적인 생성 부문이라고 할 수 있다. 1996년 캐나다 농업부문에서의 온실가스 배출량은 캐나다 전체 온실가스 배출의 약 10%를 차지하였다. 이는 농업부문이 온실가스 감축과 제거를 통해 오프셋 크레딧을 제공할 여지가 있음을 시사한다. 만약 국가 등록소(registry)에 목초지와 경작지가 포함된다면 농업부문 역시 흡수원(sink)으로서 크레딧을 제공할 수 있을 것이다. 이에 관련된 결정은 2006년 하순경에 이루어 질 전망이다. 농업 부문의 경우 약 1천만 tCO<sub>2</sub>e, 산림 부문의 경우 약 2천만 tCO<sub>2</sub>e의 오프셋을 창출할 수 있을 것으로 추정된다. 매립지의 경우 8~10천만 tCO<sub>2</sub>e를 저감할 것으로 추정된다.

캐나다에서는 이미 농업부문에서 토양의 탄소고정 능력을 강화할 수 있는 방안에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 농지의 탄소고정 능력은 작물의 종류, 날씨, 영농형태 등 여러 요인에 의해 영향을 받게 된다. 토양이 저장할 수 있는 탄소의 양은 제한되어 있다. 이는 토양의 관리 상태와 이미 저장되어 있는 탄소의 양 등과 관련되어 있다. 토양의 연간 탄소고정량은 약 20년이 지나게 되면 점차 감소하게 된다. 현재 무경운 상태에서의 토양의 탄소고정량은 연간 약 0.54~1.34 tCO<sub>2</sub>/ha로 추정된다.

이와 함께 농민들이 공동으로 프로젝트를 진행하여 오프셋 크레딧을 공동으로 획득하고, 이를 통한 경제적 수익을 각 농민들이 탄소고정량을 창출하기 위해 노력한 정도(이는 각 농민들이 제공한 토양의 양과 그 기간에 의존함)에 따라 분배하는 공동접근방법(common approach)을 고려하고 있다. 이 제도를 도입하게 되면, 관리비용과 거래비용을 감축할 수 있고, 농민들은 탄소배출권의 시장위험에 좀 더 유연하게 대처할

수 있다는 장점이 있다. 캐나다의 옹셋시스템은 우리에게도 좋은 벤치마킹의 대상이 된다.

### 3. 일본

일본은 「지구온난화대책 추진대강」에서 제시한 산림의 흡수량 1,300만 톤을 확보하기 위하여 건전한 산림의 정비, 보안림 등의 적절한 관리 및 보전 추진, 목재 및 목질바이오매스 이용 추진, 국민 참여에 의한 산림조성, 산림흡수량의 보고 및 검증체계의 강화 등 5개의 축을 중심으로 하는 '지구온난화방지 산림흡수원 10개년 대책'을 수립하여 추진하고 있다. 건전한 산림 정비를 위해 간벌 실시, 높은 임령의 인공림에 대한 적절한 밀도 관리, 보안림 등에 대한 복층림사업, 장별기사업 등을 통한 이산화탄소의 장기 고정 산림의 조성 등을 추진하고 있다. 또한 장기 육성이 필요한 활엽수의 적절한 정비 및 침활혼효림화를 추진하고 있다. 이 외에도 산림정비 등을 통한 미립목지의 해소, 황폐한 마을숲 등의 재생과 한계농지에 대한 조림, 보육 등을 수행하고 있다. 또한 이들 작업을 위해 필요한 임도망 정비에 대해서는 간벌 등의 실행예정지를 고려하여 설계하며, 효과적인 임도망 구축에 의한 비용 절감을 달성하려고 한다.

산림흡수원 데이터의 기초가 되는 산림 정보의 정밀조사를 바탕으로 통계학적인 정확성 검증과 정확도 향상을 도모하고, 데이터를 일괄하여 관리하는 시스템의 정비를 실시하고 있다. 1989년 하반기에 산림현황도 작성과 함께, 산림토양 중 탄소량의 추정을 포함한 산림생태계 전체의 흡수량 산정에 필요한 데이터 축적에 착수하였다(한국산림과학기술단체연합회, 2004). 전반적으로 일본은 우리와 유사한 교토메카니즘 대응 정책을 펼치고 있으므로, 앞서 진행되고 있는 일본 정책사업은 향후 우리에게 좋은 시사점을 줄 것이다.

### 4. 호주

호주는 1992년 유엔 기후변화협약에 가입하여 교토의정서 부속서B 국가에 포함되어 있다. 제1차 공약기간(2008~2012년)동안 1990년도 배출량 대비 108%를 할당받았다. 이 수치는 호주의 통상적인 경제성장률을 감안하면 동 목표기간 중에 예상되는

배출량의 70%에 해당하는 것으로 동기간의 정상적인 배출량의 30%를 삭감하여야 한다. 호주정부는 배출권거래제를 적극 활용하여 기후변화 협약에 대응하고 있다. 호주의 기후변화 전략은 비용효율적인 감축방안에 초점을 두고 있으며, 가정, 지역사회, 기업 그리고 정부를 대상으로 호주의 온실가스감축에 기여할 모든 정책을 수립하고 있다.

1998년 기후변화협약 대비 프로그램을 수행하기 위해 연방기구와는 별도로 설립된 호주온실가스사무국(Australia Greenhouse Office: AGO)은 온실가스와 농업부문에 대한 국가차원의 계획을 수립하기 위해 정부와 산업간 공동연구를 진행하고 있다. 이 연구의 목표는 다음의 다섯 가지로 요약 된다 : i) 농업부문의 온실가스 배출량에 대한 연구 개발, ii) 온실가스회계제도(greenhouse gas accounting system)를 통한 비용효율적인 감축과 경제적 기회의 구체화, iii) 온실가스 배출행위와 자연자원관리의 상호보완적이고 지속가능한 통합관리, iv) 농업부문의 기후변화효과에 대한 지식축적과 대안의 구체화, v) 온실가스 경감활동에 대한 산업과 이해당사자의 조화로운 참여 구체화 등이다.

## 5. 뉴질랜드

뉴질랜드는 2002년 12월 교토의정서에 가입한 후 배출권의 할당 및 거래를 포함한 다양한 사업을 추진하고 있다. '영구산림 탄소고정 발의권'은 토지소유자가 영구 숲을 조성하고, 온실가스 배출권을 확보할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이런 발의권 하에서의 권리와 의무는 토지소유주와 정부간의 계약서에 명시된다.

발의권에 가입하기 위해서는 대상지가 산림이라는 정의에 부합해야 함은 물론, 신규조림과 재조림의 정의와도 부합되어야 한다. 한국은 아직 국내 산림에서 흡수한 탄소배출권의 소유자가 지정되지 않은 상태이고, 현재 1차 공약기간에 참여하는 국가도 권리소유자를 명확히 지정하지 않고 있다(국립산림과학원, 2005). 따라서 의무이행자와 권리소유자를 정하는데 있어 뉴질랜드의 사업 과정을 분석하는 것은 문제점 파악과 보완책 수립에 도움이 될 것이다.

## 제2절 한국 농업부문의 대응 현황

### 1. 농림부

현재 농업부문에 있어서 기후변화협약 및 교토메카니즘에 대하여 정책담당자, 연구기관 및 학계 전문가, 농업관련산업 및 농업인 등 관련주체의 관심과 이해는 매우 적다. 기후변화협약 및 기후온난화와 관련해서 농촌진흥청 산하 관련 연구소를 중심으로 기술적인 연구가 이루어지고 있으나, 아직 정책적인 측면에서 체계적인 대응은 이루어지지 않고 있다. 또한 기후변화협약과 관련한 경제적 분석과 대응정책 개발 등도 아직 초보적인 수준에 그치고 있다. 이는 농업부문이 지구온난화에 미치는 영향이 적고, 기후변화협약이 실제적으로 농업부문에 미치는 영향이 크지 않을 것이라는 판단과 교토의정서의 내용과 메카니즘의 복잡한 절차, 그리고 새로운 시장에 대한 이해와 정보의 부족 등에 기인한다.

그러나 기후변화협약이 농업부문에 미치는 영향은 활용하기에 따라서 유용한 경제적 기회가 될 수 있다. 특히 한국은 교토의정서 비준국가로서 2차 공약기간에 국가전체로서 온실가스 감축의무를 지게 될 가능성이 매우 크기 때문에 탄소 크레딧에 대한 국내의 수요와 함께 CMD 사업을 통한 크레딧의 해외수출도 가능하다. 따라서 탄소배출권 시장을 활용하기 위한 정책차원에서의 기본계획을 수립하고 세부적인 실천방안을 모색해야 할 것이다. 이는 농정당국인 농림부의 주요 업무가 되어야 한다.

### 2. 산림청

#### 가. 산림부문 탄소배출 현황

2001년부터 2003년까지 산림의 연간 이산화탄소 순흡수량이 약 3,800만 tCO<sub>2</sub>이며, 이를 CO<sub>2</sub>톤당 \$10을 가정하여 경제적 가치로 환산할 경우 약 3억8천만 달러가 된다(표 16). 그러나 산림의 이산화탄소 순흡수량 중 일부만이 교토의정서상에서 인정받을 수 있다. 2000년의 경우 연간 이산화탄소 순흡수량은 약 4,143만 CO<sub>2</sub>톤이나 실질적으로 교토의정서상 인정받을 수 있는 흡수량은 순흡수량 전체의 1.8%인 약 73만CO<sub>2</sub>톤

<표 16> 한국 산림의 탄소 순흡수량과 경제적 가치

연도	순흡수량 (천C톤)	이산화탄소 환산 (천CO <sub>2</sub> 톤)	경제적 가치(천\$)	
			CO <sub>2</sub> 톤당 \$10	CO <sub>2</sub> 톤당 \$20
2001	10,610	38,903	389,033	778,066
2002	10,293	37,741	377,410	754,820
2003	10,401	38,137	381,370	762,740
평균	10,435	38,260	382,604	765,208

자료: 국립산림과학원(2005)

주: 탄소량을 CO<sub>2</sub> 흡수량으로 전환할 때 CO<sub>2</sub>와 탄소간의 질량비인 44/12를 탄소량에 곱하여 CO<sub>2</sub> 흡수량 계상

에 불과하다(표 17). 산림청은 탄소흡수원 확충사업을 수행하여 2020년에는 당해년도 전체 순흡수량의 93.1% 수준인 2,970만 CO<sub>2</sub>톤을 교토의정서 상 인정받을 수 있도록 목표를 설정하고 있다(표 18). 이를 위해 산림청은 두 가지 정책사업을 계획하고 있다. 첫째, 산림경영사업을 통해 전체 산림 625만ha를 2022년까지 온실가스 흡수원으로 인정받을 수 있도록 추진하는 것이다. 둘째, 해외공동협력사업에 의한 해외조림을 통해 15만ha의 탄소흡수기반을 2017년까지 확보하는 것이다. 이들 사업을 통한 순흡수량 목표는 첫 번째 사업이 3,208만 CO<sub>2</sub>톤이고, 두 번째 사업은 550만 CO<sub>2</sub>톤이다. 두 정책을 합한 순흡수량은 3,758만CO<sub>2</sub>톤으로 경제적 가치를 환산하면(톤당 \$10 가정) 약 3억7600만 달러로 추정된다(국립산림과학원, 2005).

<표 17> 2000년 산림의 탄소 순흡수량과 경제적 가치

연도	2000년			
	탄소 (천C톤)	이산화탄소 (천CO <sub>2</sub> 톤)	경제적 가치(천\$)	
			CO <sub>2</sub> 톤당 10\$	CO <sub>2</sub> 톤당 20\$
연간 탄소 순흡수량	11,300	41,433	414,333	828,666
연간 인정 탄소흡수량	200	733	7,333	14,666

자료: 국립산림과학원(2005)

<표 18> 2020년 산림의 탄소 순흡수량과 경제적 가치(추정)

연도	2020년			
	탄소 (천C톤)	이산화탄소 (천CO <sub>2</sub> 톤)	경제적 가치(천\$)	
			CO <sub>2</sub> 톤당 10\$	CO <sub>2</sub> 톤당 20\$
연간 탄소 순흡수량	8,700	31,900	319,000	638,000
연간 인정 탄소흡수량	8,100	29,700	297,000	594,000

자료: 국립산림과학원(2005)

주: 2020년도의 탄소흡수량은 탄소흡수원 확충사업을 수행할 때의 추정치

#### 나. 탄소흡수원 확충 기본계획

산림청의 탄소흡수원 확충 기본계획은 기후변화협약 대응 제3차 종합대책의 구체적인 실행 계획으로, 주요 내용은 숲가꾸기, 한계농지 조립 및 도시림 확대, 산림재해 방지, 산림전용 억제 등이 있다. 또한 목제품 및 바이오매스 활용사업과 청정개발체제 조립사업을 대비하기 위한 해외조립사업 부문도 포함되어 있다(국립산림과학원, 2005). 탄소흡수원 확충 계획의 구체적인 사업 내용은 다음과 같다.

##### 1) 숲가꾸기

숲가꾸기는 지속가능한 산림경영의 기본원칙에 따라 생태적으로 건전한 산림을 육성하고 우리 사회의 지속가능한 발전을 위하여 산림의 공익적, 사회·경제적 이익이 최적으로 발휘되도록 산림을 보전하고 관리하는 것을 의미한다. 이러한 숲가꾸기 사업에 따른 탄소배출권은 교토의정서 상 온실가스 감축을 위한 산림경영활동으로 인정될 수 있다. 산림경영에 제약이 없는 일반산림경영지 490만 ha에 대한 숲가꾸기 사업을 2022년까지 완료하여 온실가스 흡수원으로 인정받을 수 있도록 계획하고 있다. 또한 공원구역, 문화재보호구역, 상수원보호구역 등 숲가꾸기 사업에 제한을 받는 시업 제한지 135만 ha에 대해서는 산림경영을 위한 기반구축사업을 계획하고 있다. 현재 국토의 64%를 차지하고 있는 산림의 대부분이 30년생 이하로 지속적으로 관리해야 할 상태이며, 임목 축적증가에 따른 탄소흡수량 증가 외에 대기 정화, 수원함양 증진

등 공익적 편익을 높이기 위해 숲가꾸기의 확대가 필요하다(산림청, 2005b).

## 2) 한계 농지 조림 및 도시 숲 확대

탄소흡수원을 확보하기 위해 생산성이 낮은 한계농지를 대상으로 신규조림을 추진하고, 도시 숲 및 가로수 조성을 확대한다. 한계농지는 206천 ha로 추정하고 있으며 기준은 경사도 15% 이상인 지역으로 토지적성등급이 답전 4~5등급, 과수 3~4등급인 지역으로 설정하고 있다. 산림청은 한계농지 조림에 대해 농림부와 협의하여 자발적인 조림을 저해하는 법적, 제도적 장애요인을 제거하는 방안을 계획하고 있다. 한편 도시 숲 및 가로수 조성 확대는 관련부처, 민간단체와의 연계를 통하여 수행하는 것을 계획하고 있다. 특히 가로수의 신규 조성 시 복층식재, 병렬식재 등을 통해 녹색량을 확대할 계획이다(산림청, 2005b).

## 3) 산림재해 방지 및 훼손 억제

산림재해 및 산림의 타용도 전용은 흡수원 누출의 요인이 되므로 산림재해 방지 및 산림훼손 억제를 위한 대책을 계획하고 있다. 이를 위해 과학적인 산불예방 및 초동진화로 산림소실 면적을 최소화하고, 산림 병해충 예찰기능 강화 및 적기방제로 피해면적의 확산을 억제한다. 또한 사방사업을 확대하여 산사태 예방 및 수해피해를 최소화하고, 산지전용을 제도적으로 억제하고, 훼손 시 신속한 복구를 추진한다. 전 국토의 65%가 산림인 국토여건상 일부 산지의 개발은 불가피하므로, 개발에 따른 환경피해 최소화를 위해 자연친화적인 산지개발에 대한 기준을 설정한다(산림청, 2005b).

## 4) 해외조림

해외공동협력사업의 조림사업에서 2017년까지 150만 톤의 탄소흡수 기반을 확보하는 목표를 정하고 있으며, 이를 달성하기 위해 해외조림 15만 ha를 개도국 조림사업(CDM)과 선진국 조림사업(JI)으로 실시할 계획이다. 신규조림/재조림에 의한 청정개발체제 사업은 환경적, 사회경제적으로 부정적인 영향이 없어야 하는 등 자격요건과

인증요건이 엄격해 지금까지의 우리의 해외조림사업과 같이 목재생산 등 상업적인 목적의 프로젝트는 상대적으로 불리하다.

한편 북한 황폐지복구는 이러한 자격요건을 대부분 충족하고 약 160만 ha로 그 면적이 방대하며 통일을 대비한 북한 인프라 구축사업으로서의 성격도 가지고 있기 때문에 CDM 사업으로 적합하다(산림청, 2005b).

#### 5) 목제품 사용 확대와 산림바이오에너지 활용

현재 기후변화협약에서 목제품은 탄소계정에 포함되지 않는다. 그러나 2013년부터 2017년까지의 기후변화협약 2차 공약기간 이후를 대비하는 협상에서 목제품에 포함된 탄소를 계산하는 방법에 대한 논의가 진행되고 있다. 앞으로 벌어질 협상 결과에 따라 목제품 및 목재연료 사용이 산림분야의 탄소배출권 저감능력에 중요한 영향을 미칠 것이다. 목제품이 저장하고 있는 탄소의 계산 방법에서 목재 수확지역, 생산 국가, 이용 국가 및 용도 등의 정보가 포함되어 있어야 하며, 후속 협상에 대응하기 위해 탄소를 계정할 수 있는 목제품 수출과 수입, 목제품의 이용 등에 대한 자료가 확보되어야 할 것이다(국립산림과학원, 2005).

목제품은 사용방법에 따라 건축재, 포장재, 가구재와 같이 수명기간이 긴 내구성 재화와 종이와 같이 수명이 짧은 비내구성 재화로 분류된다. 목제품의 수명은 종이 등의 경우 5년 내 폐기되는 반면, 건축재는 100년 이상 사용될 수 있다(국립산림과학원, 2005). 목제품을 오랫동안 많이 사용하면 대기로 탄소를 방출하는 속도를 늦출 수 있다. 또한 제조과정에서 목제품은 알루미늄, 철 등에 비해 적은 양의 이산화탄소를 배출한다. 목제품을 생산할 때 배출되는 이산화탄소에 비하여 알루미늄은 786배, 철은 190배, 콘크리트는 4배나 많은 이산화탄소를 배출한다(표 19).

한편 목재 연료는 온실가스를 배출하는 화석연료를 대신하여 사용할 수 있다. 목재 연료 사용은 배출된 이산화탄소가 다시 광합성을 통해 식생에 고정되는 순환 속에 있는 활동으로 대기 중 탄소의 순증가를 억제할 수 있다. 따라서 목재연료를 사용하면 온실가스 배출량 저감을 기대할 수 있다(국립산림과학원, 2005).

<표 19> 주요 제품을 가공할 때 배출되는 온실가스량 비교

자재종류	탄소배출량(kg/m <sup>3</sup> )
천연건조 제재목	15
인공건조 제재목	28
철강재	5,320
알루미늄	22,000
콘크리트	120

자료: 국립산림과학원(2005)

#### 6) 온실가스 통계 관련 데이터베이스 구축

산림청은 2차 공약기간 의무부담 시 온실가스 통계시스템 제출 시한인 2011년까지 국제적 기준인 IPCC 우수실행지침에 준하는 교토의정서 대응 온실가스 통계를 보고하고 검증 체계를 구축할 예정이다. 우선 산림경영을 실시한 사업지에 대한 각종 통계자료를 구축하고, 산림지리정보시스템과 연계한 정보관리 및 검색이 가능하도록 계획하고 있다. 또한 임목축적 및 토양관련 자료와 연계한 데이터베이스를 구축하고 정확한 탄소 축적량 산정을 위한 온실가스 추정시스템을 구축한다. 이에 따라 2006년에 시작되는 제5차 전국 산림자원 조사 체계를 기반으로 한 임목축적 및 토양탄소량 변화 모니터링시스템을 구축하고 줄기재적의 전체 수목에 대한 탄소 변환계수의 개발을 실시할 계획이다.

이와 함께 위성영상 자료를 이용한 원격탐사기법으로 전국 산림자원량 및 변화에 대한 정보를 분석하여 검증할 수 있는 정보 검증시스템의 구축을 계획하고 있다. 또한 목제품의 탄소계정시스템을 구축하여 목제품의 유형별 수출입 및 국내 유통정보를 파악하기 위한 계획을 수립하였다(산림청, 2005b).

#### 다. 해외 산림부문 탄소고정사업

교토의정서에서는 선진국들이 부여받은 목표를 자체적으로 달성하는 방법 이외에 여러 나라가 공동으로 협력하여 달성할 수 있도록 허용하였다. 이를 위해 의정서 비

준국가들은 온실가스 배출권거래제(ETS), 공동이행(JI), 청정개발체제(CDM) 등 교토 메카니즘 제도를 통하여 의무이행을 추진하고 있다. 이와 함께 United Nations Framework Convention on Climate Change(UNFCCC)와 World Bank에서는 개발도상국에 청정개발체제 이행을 위한 재정적, 기술적 지원을 하고 있다.

산림부분의 국제적 지원은 World Bank의 Carbon Finance Business에서 주로 담당하고 있으며, 특히 BioCarbon Fund Projects를 통해 지원하고 있다. Carbon Finance Business 사업의 목표는 첫째, 청정개발체제와 공동이행제도를 바탕으로 형성된 탄소거래시장의 활성화, 둘째, 개발도상국의 사회적 이익과 선진국의 탄소재정 확대, 셋째, 탄소 저감을 위한 탄소재정의 시범운영, 넷째, 발의권 수립 능력 강화 및 확대 등이다. Carbon Finance Business에서 산림부문 사업은 신규조림, 식생복구와 서식지 복원, 수원함양을 위한 재조림, 집약적 조림사업 등으로 이행되며, 관련 사업 목록과 내용은 표 20과 같다.

### 3. 농업관련업계

교토메카니즘과 관련하여 현재 농업관련업계의 움직임은 거의 없다. 향후 CDM 사업이나 옴셋 사업에 농산업계의 참여를 유도하기 위해서는 정부와 전문가들의 체계적인 교육과 홍보가 필요하다.

### 4. 연구

#### 가. 농업

현재 기후변화협약과 관련한 농업부문의 연구는 일부 학계를 중심으로 한 국제 협상동향에 관한 분석과 농촌진흥청에서 수행하는 농업분야 온실가스 배출량 측정 등의 수준에 머물고 있다. 이미 여타 산업분야에서 교토의정서의 대응전략과 교토메카니즘을 활용하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있는 것과 비교하면 연구주체의 다양성이나 연구과제의 수, 연구의 질적인 수준 등에서 매우 뒤떨어져 있다. 이는 외국 농업부문의 연구 성과에 비해서도 매우 미흡한 수준이다. 농업분야의 활발한 연구를 유도하기 위해서는 정책당국의

<표 20> 세계은행의 Carbon Finance Business 중 산림부문 사업

PCF Projects: Emission Reductions Purchase Agreements (ERPAs) Signed				
국가/ 프로젝트 명	Project Description	PCF Contracts in million US\$	PCF ERPA Emission Reductions tCO <sub>2</sub> e	Total Project Emission Reductions Generation tCO <sub>2</sub> e
루마니아/ Afforestation	Afforestation of 6,852 hectares of public land	3.08	854,985	1,360,183
Bio-Carbon Fund Projects Under Development				
국가/프로젝트 명		BioCF ERPA Emission Reductions tCO <sub>2</sub> e (Kyoto Protocol-compatible ERs)	Total Project Emission Reductions tCO <sub>2</sub> e up to 2017 (Kyoto Protocol-compatible ERs)	
알바니아/ Assisted Natural Regeneration		350,000	390,000	
브라질/ Reforestation Around Hydro Reservoirs		300,000	1,870,000	
중국/ Pearl River Watershed Management		500,000	670,000	
콜롬비아/ San Nicolás Agroforestry		1,000,000	1,030,000	
콜롬비아/ Silvopastoral Rehabilitation		380,000	380,000	
코스타리카/ Coopeagri Forestry		690,000	690,000	
도미니카공화국/ Rio Blanco Watershed		260,000	285,000	
온두라스/ Pico Bonito Forest Restoration		630,000	630,000	
마다가스카르/ Andasibe-Mantadia Biodiversity Corridor		400,000	400,000	
멕시코/ Seawater Agroforestry		720,000	720,000	
니카라과/ Precious Woods		280,000	280,000	
나이지리아/ Acacia Community Plantations		330,000	695,000	
필리핀/ Watershed Rehabilitation		90,000	90,000	
탄자니아/ Small Group and Tree Planting		1,000,000	1,000,000	
트리니다드토바고/ Nariva Wetland Restoration		220,000	220,000	
우간다/ Nile Basin Reforestation		250,000	250,000	
우크라이나/ Chernobyl Reforestation		1,000,000	1,345,000	

자료: Carbon finance(2005)

관심과 이해, 지원이 필요하며, 학계의 자발적인 연구노력도 요구된다.

#### 나. 산림

현재 진행 중인 주요 연구는 교토메카니즘의 대응 전략 수립을 위한 정보수집 및 통계 기반구축 등의 기초연구로, 온실가스 통계시스템 구축, 온실가스 흡수 기술 평가, 해외부문 탄소배출권 확보 전략 구상, 배출권거래제 등의 이행체계에 대한 대응방안 수립, 기후 변화 영향 평가 등이 있다. 이 문제와 관련된 연구는 국립산림과학원을 중심으로 다른 관련 기관과 연계하여 이루어지고 있다. 첫째, 2002년부터 2005년까지의 1단계 기간 동안 온실가스 통계시스템 구축과 2006년부터 2011년까지의 2단계 기간 동안 교토의정서에 따른 탄소 계정 작성, 보고, 검증 시스템 구축을 위한 연구들이 현재 진행되고 있다. 국립산림과학원에서는 기본적으로 수종별 목재 밀도 및 부위별 바이오매스 비율, 토양탄소 농도 등 탄소 계정 추정 시 필요한 각 계수를 산출하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 토지이용면적, 수종별, 영급별 분포면적 등에 대한 조사도 진행되고 있다. 현재 진행 중인 연구 결과로 데이터베이스를 구축하고 구축된 데이터베이스로 교토의정서에 따른 탄소계정 작성을 계획하고 있다.

둘째, 온실가스 저감능력 증대를 위한 기술이 탄소 축적에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구 계획을 추진하고 있다. 산림청에서 제시한 주요 정책은 숲가꾸기, 산림보호, 신규 조림, 산림전용, 목제품 등의 임산물 이용 증대 등이 있으며, 주요 정책에 대한 평가는 투자와 기술 적용 시 나타나는 결과, 경제성 등 필요한 정보를 제공한다.

셋째, 해외부문 탄소배출권 확보를 위해 전략을 구상하고 평가를 진행하고 있다. 개도국 및 선진국 조림에 대한 시나리오를 분석하고 소규모 시험 프로젝트를 실시하여 전략의 적합성과 경제성을 평가한다. 넷째, 배출권거래제, 탄소세 등 국내 이행체계에 대한 대응방안을 수립하기 위한 연구가 진행되고 있다. 주요국의 사례 분석 및 우리나라의 관련 환경 분석을 실시하고, 탄소 흡수원 재투자 재원 확보를 위한 대응방안을 제시할 계획이다.

마지막으로 기후변화 영향을 평가하고 대응방안을 수립하고 있다. 또한 산림생태계의 이산화탄소 수지에 대한 연구가 수행되고 있으며, 이에 따라 기후변화가 산림생태계에 미치는 영향을 평가한다. 이러한 연구 및 평가에 대한 결과를 바탕으로 임업과 임산업에 대한 앞으로의 대응 방안을 마련하여야 할 것이다(이경학·임재규, 2004).

## 제5장 탄소배출권거래제 도입과 한국 농업의 대응 전략

### 제1절 농업부문의 탄소배출권 가치 측정

#### 1. 농경지 이용변화에 따른 탄소저장량 추정

가. 선행연구 검토 : 토지와 탄소배출

토양 탄소는 유기탄소(SOC, Soil Organic Carbon)와 무기탄소(SIC, Soil Inorganic Carbon)로 구성되어 있고, 이는 이산화탄소를 포함한 대기 중 미량 기체의 농도와 토양의 생산성에 영향을 미친다. 일반적으로 토양의 깊이를 1m로 가정했을 경우, 전 세계의 총 유기탄소함량과 무기탄소함량은 각각 1,462~1,576 PgC와 695~946 PgC 정도로 추정된다(Lal, 2002). 표 21은 Kimble 등(1990)과 Rosell and Galantini(1998)가 제시한 전 세계와 대륙의 토양 목(soil order)에 따른 유기탄소의 저장량을 보여준다.

대기 중의 이산화탄소 농도는 지난 수십 년간 꾸준히 증가하는 추세에 있으며(Idso, 1982), 이는 곧 지구온난화를 일으키는 주 원인이 되고 있다. 일반적으로 정상적인 조건 하에서 토양유기물에 의해 발생하는 대기 중 이산화탄소는 극히 일부를 차지한다. Bolin(1977)은 19세기 초반 이후 토양이 저장하고 있는 탄소 중 약 10~40 PgC 정도의 탄소가 대기 중으로 배출되었다고 분석하였다. 비록 농업활동에서도 적지 않은 양의 이산화탄소가 배출되지만 대부분의 이산화탄소는 석탄과 석유 등 화석연료의 연소에 의해 발생하고 있다. 대기 중으로 이산화탄소를 배출하는 주요 원인이 되는 농업 활동은 표 22와 같다(Stevenson, 1999). 특히 경작에 의해 발생하는 이산화탄소의 양이 매우 높으며 경작 전후 약 80%의 유기물이 분해된다(Jenny and Raychaudhuri, 1960).

토지이용 형태의 변화과정에서 토양 유기탄소는 토양 침식과 양분고갈 등과 같은 토양 분해(Soil Degradation) 과정에 의해 고갈된다. 즉, 토양침식 과정에서 유거수와 바람의 작용에 의하여 미세한 토양입자와 함께 토양 표면에 존재하는 유기물도 같이 제거된다. 결과적으로 침식토양은 비침식 토양에 비해 탄소용량이 매우 낮다. 따라서

<표 21> 전 세계에 분포하는 토양 목별 토양유기탄소 저장량

(단위: Pg C)

	아프리카	아메리카	아시아	전체
Alfisols	42.4	11.6	7.7	61.7
Andisols	1.6	23.6	1.1	26.3
Aridisols	37.2	2.2	0.04	39.4
Entisols	20.7	6.9	0.7	28.3
Inceptisols	11.1	49.1	49.2	109.4
Mollisols	0.1	6.6	0.1	6.8
Oxisols	74.8	74.8	7.4	157.0
Ultisols	11.3	22.6	28.3	62.2
Vertisols	2.1	0.1	2.5	4.7
Total	201.3	197.5	97.0	495.8

자료: Lal(2002)

토양 침식의 방지만으로도 상당량의 이산화탄소 배출을 저감시킬 수 있다. 세계적으로 토양 유기탄소의 손실분을 66~90 PgC로 볼 때 경작 활동에 의해 산화되어 없어지는 이산화탄소의 양은 약 47~58 PgC로 추정되며, 이는 아시아 지역의 토양 중 인셉티졸(inceptisol)<sup>28)</sup>로 분류되는 전체 지역의 토양 내 총 유기물 함량과 동일하다.

토양의 침식과정에서 토양으로부터 대기로 이산화탄소가 누출되는 메카니즘은 다음의 네 가지 원인으로 고려할 수 있다(Lal, 2002). 첫째, 침식으로 인해 입단화 된 토양 구조가 붕괴되면서 가려진 탄소분자가 미생물의 공격을 받아 재분해 된다. 둘째, 침식에 의해 이동된 토양이 환경 중 무기화되기 용이한 위치에 재분배 되어 이산화탄소로 전환된다. 셋째, 수생태계로 이동한 용해성 유기물(Dissolved Organic Carbon)이 산화되어 이산화탄소가 배출된다. 넷째, 혐기성 조건에서 침전된 탄소로부터 메탄가스가 발생(Methanogenesis)된다.

28) 눈에 떨 만큼 현저한 토층의 분화가 이루어지지 않은 토양으로서, 생성적 층위가 막 발달하기 시작한 젊은 토양

<표 22> 대기 중 CO<sub>2</sub> 수준을 증가시키는 영농활동

영농활동	주요 내용
Harvest of forest	Deforestation
Oxidation of humus on forest floor	Occurred by harvesting
Residue removal	-
Slash-and-burn agriculture	In the tropics
Utilization of peat	For agricultural purpose
Plowing	-
Modification in vegetation types	Clearing of land for agriculture
Changes in growth season	Duration of active photosynthetic season
Drainage of wetlands	-

지구상의 탄소순환 과정을 볼 때, 대기 중 이산화탄소의 양은 동적 평형을 이루면서 순환하므로 재배작물은 광합성을 통해 이산화탄소를 탄수화물로 전환하여 대기 중 이산화탄소의 저장고(sink)가 된다. 한편 호흡을 통해 이산화탄소를 발생하거나 낙엽과 뿌리의 분해과정에서 미생물이 탄수화물을 분해함으로써 이산화탄소의 공급처(source)가 된다. 그러나 석탄과 석유 등 화석연료의 사용은 자연 상태의 이산화탄소 순환과정을 파괴하고 연간 300만 톤 이상의 이산화탄소를 대기 중으로 방출하고 있다.

한국에서 벼와 보리 등 9종의 대표적인 작물 생산과정에서 흡수되는 이산화탄소와 방출되는 산소의 양을 생산량과 곡식의 당 함량을 기준으로 계산하면 표 23과 같다. 농경지에서 생산되는 농산물 중 곡물 종류에 따른 생산량은 쌀(정곡)이 가장 많고, 평균 당 함량 역시 78.1%로 여타 재배작물에 비하여 매우 높은 편이다. 이를 기준으로 벼가 대기 중에서 흡수하는 이산화탄소의 양을 계산하면 쌀만으로 환산하여도 연간 약 616만5,000 톤에 이른다(김동수 외, 1994). 만일 벼 재배를 대체하여 화학적인 방법(117달러/tC)에 의해 이산화탄소를 제거하는 경우, 이는 전체 논 면적 당 연간 약 678,9억원의 비용을 필요로 한다. 또한 벼가 생육하는 동안 방출하는 산소를 시중의 산소가격(430원/kgC)으로 환산하면 무려 5조 2,800억원에 달한다(김동수 외, 1994).

<표 23> 국내 경작지 토양 벼에서 흡수 및 방출되는 CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 양

(단위: 톤)

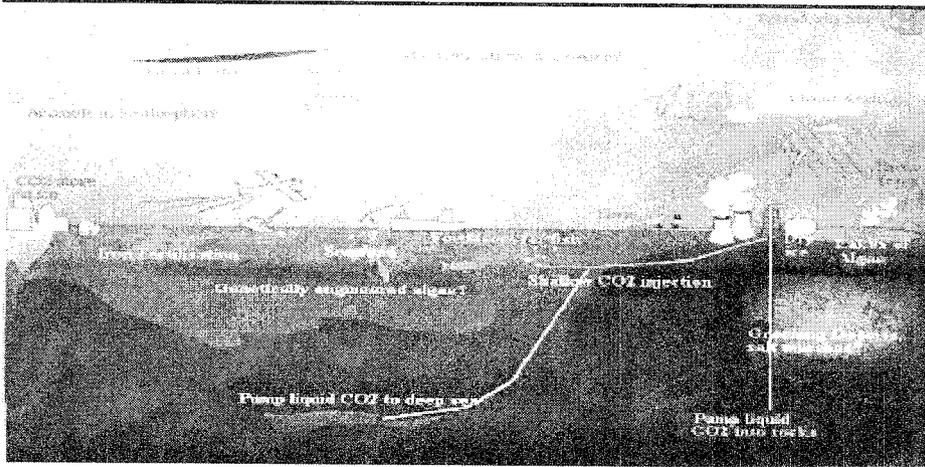
분류	생산량	CO <sub>2</sub> 흡수량	O <sub>2</sub> 방출량
쌀	5,384,000	6,165,000	4,873,000
벼집	7,099,000	10,186,000	7,405,000
소계	12,483,000	16,351,000	12,278,000
9개 작물(보리 제외)	9,566,000	2,624,000	1,908,000
합계	22,049,000	18,975,000	14,186,000

국내 토양의 경우, 일반적으로 토양의 양이온치환용량(CFC)과 유기물함량 및 유효수분함량 등이 낮은 편이며 이와 같은 토양 인자들은 작물의 생산을 제한하고 있다. 이외에 작물생산성을 제한하는 토양 인자로는 알루미늄 독성, 토양 산성화, 철산화물과 무정형산화물에 의한 인산고정 및 낮은 양·수분보유용량 등을 들 수 있다.

생태계에서 토양 분해의 최소화와 분해된 토양의 복원은 작물 생산과 환경의 질이라는 측면에서 최우선 과제가 된다. Lal(2002)이 제시한 일반적인 토양 분해의 과정은 i) 토양 침식으로 인한 표토 유실과 유효 토심의 감소; ii) 토양 경작과 침식으로 인한 토양 유기탄소 저장고의 감축; iii) 토양유기탄소 저장고의 감축과 토양구조 악화로 인한 식물 유효수분함량의 감소; iv) 필수 영양분과 미량요소의 손실; v) 용탈과 산성화 혹은 저수지 용수의 과다한 관개로 인한 염 농도의 증가이다. 이와 같이 그릇된 경작형태와 토양관리로 인해 토양의 탄소저장능력은 지속적으로 감소하게 되며, 이에 대한 적절한 대책이 없이는 이산화탄소를 포함한 온실가스의 대기방출은 가속화될 수밖에 없다.

화석연료에 의한 지구온난화는 이미 많은 국가에서 정부차원의 환경문제로 다루어지고 있다. 그림 13은 범국가적인 차원의 환경문제인 기후변화 방지에 대한 몇 가지 제안된 방법을 소개하고 있다(Johnston et al., 2002). 이는 기본적으로 인위적으로 발생한 이산화탄소를 저장하기 위하여 해양과 토양을 탄소의 저장고로 이용하는 것이다. Herzog(2001)는 대기의 탄소저장량을 750 Gt으로 가정할 때 육지 생태계는 약 2,200 Gt의 탄소저장능력이 있고, 이 중 육지 생태계에서의 이산화탄소 저장 가능성(sequestration potential)을 대략 10 Gt으로 추정하고 있다.

<그림 13> 인위적으로 발생한 이산화탄소의 저감방법 모식도



자료: Matthews(1996)

일반적으로 대기 중에 존재하는 탄소, 즉 이산화탄소의 토양 내 저장소(sink)는 휴경지의 천연조림과 보전형 경작기술 등을 통해 이루어지며, 이러한 경작지의 탄소 축적량의 증가는 교토의정서에 규정된 화석연료로부터 비롯되는 이산화탄소의 발생량을 상쇄시키게 된다. 비록 토양에는 방대한 양의 탄소저장고가 존재하지만, 현재 IPCC는 인위적 요인에 의해 수반되는 토양 유기물 함량의 변동사항에 대해서는 고려하지 않고 있다. 이에 대해 농학자들은 토양비옥도, 유효수분함량 및 작물생산에 있어 토양 내 유기물 함량 관리의 중요성을 지속적으로 강조해왔으며, 최근 토양학자들 역시 교토의정서에 화석연료로 인한 이산화탄소의 토양 저감을 인정할 것을 요구하고 있다(Bruce et al., 1999).

이러한 상황 하에서 최근 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 관한 IPCC 패널(LULUCF)은 토양 내 유기탄소 함량의 변동을 국가적인 차원의 탄소배출권에 포함시킬 것을 고려하고 있다(Schlesinger, 2000). 일례로 미국의 경우, 과거 수십 년을 기준으로 볼 때 연간  $110\text{g}/\text{m}^2$  혹은  $17 \times 10^{12}\text{g C}$  ( $17\text{Tg C}$ )의 비율로 대기 중 탄소를 고정하여 왔으며, 무경간농법(no-tillage)과 같은 보전형 농법을 도입하여 농경지 토양의 탄소를 저장하고 있다. Kern과 Johnson(1993)은 향후 30년간 무경간농법을 도입하는 경우, 모든

농업활동으로 인해 발생하는 이산화탄소는 물론, 미국 전체 연간 이산화탄소 발생량의 1% 정도를 저감시킬 수 있다고 주장하고 있다. 또한 Smith 등(1997)도 유럽지역의 경작방식 개선과 농경지 이용형태 변화를 통해 전 세계 총 화석연료 발생량의 0.8%에 해당하는 탄소량을 토양에 저장할 수 있음을 보이고 있다.

## 나. 탄소저장량 예측 모델을 이용한 탄소저장량 추정

### 1) 탄소저장량 추정 방법

#### 가) 토양 유기물 저장량 예측모델을 이용한 추정

농경지 이용변화에 따른 탄소저장량을 추정하기 위해서는 지역 규모 및 전국 규모의 토양 유기물 저장량의 추정과 예측이 필요하다. 이를 통해 농경지의 이용변화와 탄소저장량 사이의 관계를 규명할 수 있다. 본 연구에서는 토양 유기탄소 저장량 예측모델을 선정하기 위하여 기존에 사용되고 있는 모델 중 가장 많이 사용되는 9개 모형을 선발하여 각 모델의 특성을 파악하고 적용 가능성에 대해서 분석하였다.<sup>29)</sup>

#### 나) 모형의 선정

현재 우리나라의 육지 생태계에서 토양유기물형태로 저장 가능한 탄소함량 변화를 예측하려는 시도는 일부 삼림에 국한되어 이루어져 있고, 농경지에서의 시도는 전무한 실정이다. 우리나라의 기후여건, 작부체계 및 토지이용조건에 맞는 토양유기탄소 추정 모형을 선정하기 위해서는 기존 모형의 매개변수를 분석하여 우리 여건에 맞는 매개변수를 수집하는 것이 필요하다. 따라서 외국의 사례를 바탕으로 우리나라 농경지에 적용 가능한 토양 유기물함량 변화 예측모형을 선정하였다.

---

29) 각 모형에 대한 설명은 부록 1을 참조 바람

<표 24> GCTE SOMNET이 공유하는 7개 지역에서 수집한 12개 자료집합

시험 지역	국가	토지이용	기간	Crop/plant cover and treatments
Bad Lauchstädt Static Fertilizer Experimental (Bad Lauchstädt)	Germany	Arable	93년	Sugar beet-spring barley-potatoes-winter wheat with: (1)organic manure-plus NPK fertilizer, (2)no fertilizer
Calhoun Experimental Forest (Calhoun)	USA	Forestry	38년	Planted loblolly pine with no fertilizer
Rothamsted Park Grass (Park Grass)	UK	Grassland	139년	Permanent grassland with: (1)no fertilizer (2)organic manure (1905 onwards)
Prague-Ruzyně Plant Nutrition and Fertilization Management Experiment (Prague)	Czech Republic	Arable	40년	Sugar beet, spring wheat since 1966 with: (1)organic manure plus inorganic fertilizer, (2)no fertilizer
Tamworth Legume Cereal Rotation on Black Earth (Tamworth)	Australia	Arable	29년	(1)Lucerne/clover and cereal with urea or superphosphate, (2) fallow/cereal with urea or superphosphate
Rothamsted Geescroft Wilderness (Geescroft)	UK	Woodland	112년	Naturally regenerated woodland with no fertilization
Waite Permanent Rotation Trial (Waite)	Australia	Arable	70년	(1)Wheat-fallow with superphosphate (2)wheat-oats-pasture-fallow with superphosphate

1995년 영국 로담스테드에서 개최된 IACR(International Arable Crop and Research)에서 NATO 회원국이 중심이 되어 진행되는 Advanced Research Workshop을 통해 토양 유기물함량 변화 예측에 관한 논의가 시작되었다. 유럽에서는 GCTE SOMNET(Global Change and Terrestrial Ecosystem Soil Organic Matter Network)을 구성하여 9개의 SOM 모형과 7개 지역에서 수집한 12개의 dataset을 회원국 간에 서로 공유하며 토양 유기물함량 변화를 예측하는 프로젝트를 진행시킨 바 있다(표 24).

본 연구에서 고려한 9개 모형은 위의 GCTE SOMNET 회원 간에 공유하는 모형이다. 1996년 NATO ASI series에 보고된 9개 모형의 적용성(performance)과 자료집합(dataset)은 각각 표 24, 25와 같다. 한편 표 26은 모형에 각각의 DB를 적용할 때 나타나는 각 인자들의 통계적 빈도를 나타낸 것이다.

<표 25> GCTE SOMNET이 공유하는 자료집합에 대한 9개 모형의 적용여부

Datasets	RothC	CANDY	DNDC	CENTURY	DAISY	SOMM	ITE	Verberne	NC SOIL
Bad Lauchstädt - no fertilization	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Bad Lauchstädt - high fertilization	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Calhoun Exp. Forest	✓	✓		✓		✓	✓		✓
Park Grass - no fertilization	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Park Grass - organic manure	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prague-Ruzyně - no fertilization	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prague-Ruzyně - high fertilization	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Tamworth - fallow	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Tamworth - lucerne/clover	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Geescroft Widemess	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓
Waite - Wheat/Fallow	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Waite- wheat/oats /pasture/fallow(blind)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

<표 26> 모형의 각 자료집합 적용 시 나타나는 통계적 빈도

Statistics of good model fit	RothC	CANDY	DNDC	CENTURY	DAISY	SOMM	ITE	Verberne	NCISOIL
Number of datasets	11	10	10	11	10	10	6	6	7
Number of datasets where $RMSE < RMSE_{25\%}$	2/4	3/4	3/4	3/4	4/4	1/4	0/0	0/0	2/2
Percentage of those datasets simulated where $RMSE < RMSE_{25\%}$	50	75	75	75	100	25	-	-	100
Number of datasets where EF is positive	2/11	3/10	3/10	5/11	6/10	1/10	1/6	1/6	3/7
Percentage of those datasets simulated where EF is positive	18	30	30	45	60	10	16	16	43
Number of datasets where $CD > 1$	8/11	8/10	5/10	7/11	8/10	3/10	0/6	3/6	5/7
Percentage of those datasets simulated where $CD > 1$	73	80	50	64	80	30	0	50	71
Number of datasets where $E < E_{25\%}$	3/4	4/4	4/4	4/4	4/4	1/4	0/0	0/0	2/2
Percentage of those datasets simulated where $E < E_{25\%}$	75	100	100	100	100	25	-	-	100
Number of datasets where M was not significant	9/11	8/10	5/10	11/11	8/10	3/10	3/6	4/6	5/7
Percentage of those datasets simulated where M was not significant	82	80	50	100	80	30	50	67	71

자료: Smith et. al., Geoderma 81(1997), p.153-225

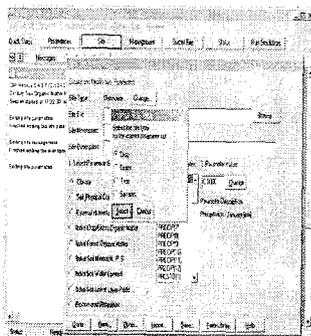
- 주: 1) RMSE: the root mean square error  
 2) EF: the modeling efficiency  
 3) CD: the coefficient of determination  
 4) E: the relative error  
 5) M: the mean difference between measured and simulated values

다음으로 고려되어야 할 사항은 사용자 이용방법(user interface)의 편의성과 한국과 같이 다양한 작부체계를 갖는 대상지를 얼마나 잘 모사하여 시뮬레이션 할 수 있는지의 여부이다. CENTURY 모형과 RothC 모형의 사용자 이용방법에 대한 특징은 다음과 같다. 우선 CENTURY 모형은 장기간(10~100년)에 걸친 토양 유기물 변동 및 식물 성장, 그에 따른 N, P, S의 변동을 예측하는 모델이다. 본 모델은 초지를 대상으로 개발된 모델로, 확장 모델이 계속 개발되어 농경지, 삼림, 열대대초원(savanna)까지

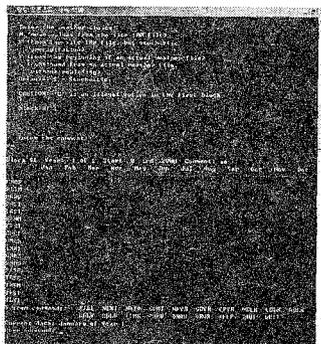
적용 가능한 sub-model이 개발되어 있으며, 월 단위의 기상자료를 바탕으로 토양 유기물 함량을 예측한다. 현재 DOS O/S 기반 Century Ver.4.0 모형을 이용하여 토양유기탄소 함량을 성공적으로 예측한 관련 논문이 끊임없이 발표되고 있으나, 최근 출시된 윈도우 O/S 기반 Ver.5.0 모형의 경우 모형의 타당성(validation)에 대한 검증이 미흡하다.

RothC 모형은 일반적으로 경작지 토양에서 점토함량과 유기물 함량 간에는 고도의 상관관계가 존재하며, 주된 매개변수로서 토성 자료(점토함량)와 토양 유기물 함량, 탄소의 방사성 동위원소 측정 자료 및 기온, 강우, 증발산량의 기후 자료 등을 이용하여 토양 유기물 함량 변화를 예측한다. 연간 토양으로 다시 환원되는 유기탄소의 양은 실험 기간 전체를 통해서 나온 데이터에 대하여 모형을 이용하여 계산된 값과 실측값 간의 fitting을 반복하여 최적화시킨다. 그림 14는 Century Ver. 4.0, Century Ver. 5.2.2.3 및 RothC 모형의 user interface이다.

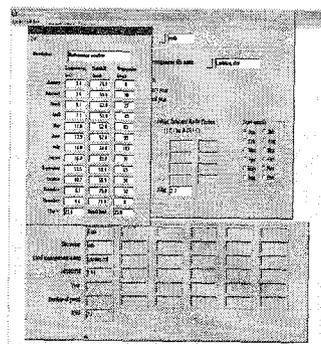
<그림 14> Century와 RothC 모형의 user interface



[Century 5.3.2.3]



[Century 4.0]



[RothC]

User interface의 편리성은 Century의 경우, CENTURY 5.3.2.3. 윈도우 버전을 이용한 논문이 발표되지 않아 버전의 검증이 이루어지지 않은 상태이며, 자체 테스트 결과 CENTURY 5.3.2.3. 버전은 프로그램 운영상의 문제가 발생하여 본 연구에서는 DOS O/S 기반인 CENTURY 4.0을 선정하여 이용하였다.

RothC가 윈도우 기반인 GUI interface로 데이터의 입력과 수정이 용이하지만, 지역별 증발산량 확보의 불확실성, 매개변수 중의 하나인 IOC(불활성 유기탄소)<sup>30</sup>의 불확실성 및 담수되어 있는 혐기성 논토양에는 적용이 어려운 점 등이 한계로 지적되었다.

자체 테스트 결과 CENTURY 모형이 다양한 작부체계를 가지고 있는 우리나라의 현실을 보다 잘 반영할 수 있고, 작부체계에 따라 더 정밀한 예측 값을 보여줄 수 있다고 판단하여 선정하였다.<sup>31)</sup>

다) Century 모형을 이용한 작부체계별 탄소저장량 추정 : site-specific approach

토지이용 및 작부체계별 탄소 저장량 구명은 현장 특성(site parameter)과 작부체계(management scheme)를 바탕으로 토양유기물 변화 예측 모델을 분석하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 모델의 적합성을 평가하기 위해서는 이들 자료가 수년간 수집되어 있는 포장을 선정할 필요가 있다. 따라서 고려대학교 부속농장(경기도 남양주시 와부읍 도곡 1리 산 84번지 소재)을 공시 포장으로 선정하였다. 본 공시 포장은 1963년 이후 40년간의 지역 자료와 작부체계 자료를 보유하고 있으며, 6종의 작목과 윤작을 포함한 다양한 토지이용 체계가 존재하고 있다. 표 27은 공시 포장 전체의 토지면적 및 현황을 나타내고 있다.

<표 27> 고려대학교 부속농장의 토지이용 현황

	논토양	밭토양 <sup>1)</sup>	목초지	축산
재배면적 <sup>2)</sup>	65,000m <sup>2</sup> (6.5ha)	180,000m <sup>2</sup> (18ha)	45,000m <sup>2</sup> (4.5ha)	3,000m <sup>2</sup> (1ha)
재배현황	-	콩, 옥수수, 밀 등: 1.8ha 과수: 0.8ha 시설재배: 0.2ha	옥수수, 연맥, 수단그라스 등	사육두수 : 56 두(젖소)

주: 1) orchard 포함  
2) 1960년대 초부터 경작된 면적

30) 방사성 동위원소를 이용한 측정치이며, 탄소의 방사성 동위원소 측정치가 없을 경우 총토양 유기탄소 값을 이용하여  $IOC=0.049 \times TOC^{1.139}$  식의 대입값을 default value로 사용함

31) 그러나 CENTURY 모형 역시 토양 유기탄소 변형, 다시 말해 토양 중 C, N cycle에 관여하는 수분, 산소의 순환이 제한되는 담수, 혐기성 논토양에는 적용이 불가능한 문제점이 존재

<그림 15> 공시포장의 작부체계

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Site 2		P	옥수수 (중만생)				연맥				L
			PL				H	F		H	
Site 1		P	옥수수 (중만생)								L
									L		

(P: 경작, F: 시비, O: 비료 첨가, PL: 파종, H: 수확, L: 작물 재배의 최종 월)

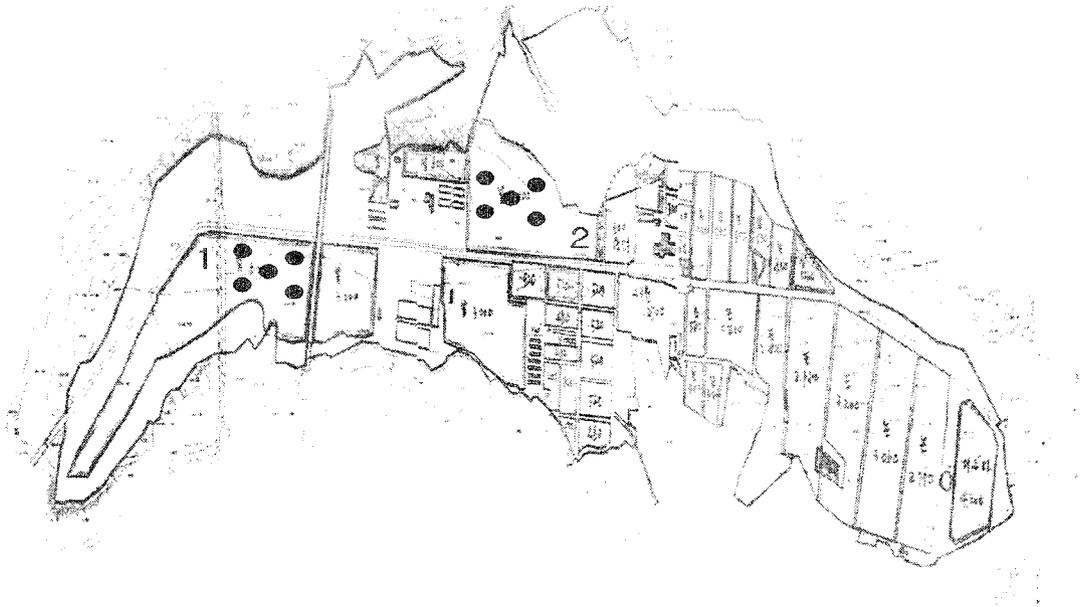
(1) 토양 및 식물체의 분석(observed data)

공시 포장인 고려대학교 부속농장에서 작부체계가 다른 두 초지에서 각 다섯 지점을 공시 토양으로 선정하여 표층토(O horizon; surface organic carbon, 0~20cm), 심층토(A1 horizon; mineral organic carbon, 20~60cm)의 시료 및 litter, 그리고 standing dead material을 채취 분석하였다. 공시 포장의 작부체계 및 시료채취 지점은 그림 15, 16과 같고, 각 작부체계별 채취시료의 토양 분석결과는 표 28과 같다.

<표 28> 시료채취 지점별 작부체계 및 토양분석 결과

Site	Land use & cropping system	Bulk density	Clay content	Litter	SOC	
					surface soil	deep soil
		g cm <sup>-3</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	%	
1	corn	1.28	15	72	0.95	0.38
2	corn-wheat	1.26	14	74	1.22	0.55

<그림 16> 시험 포장의 전경(● 시료채취지점, 1: 옥수수 1작, 2: 옥수수-연맥 2작)



## (2) 매개변수의 분석 및 수집(Parameterization)

Century 4.0 모형은 수많은 submodel로 이루어져 있으며, 대표적으로 본 연구에서 사용하는 submodel은 crop/grass submodel 및 soil organic matter submodel이다. 또한, file100, event100, list100이라는 세 가지의 모듈 프로그램으로 구성되어 있어서 file100.exe 프로그램을 통해 다음의 parameterization이 이루어진다.

- ① Climate parameters
- ② Site and control parameters
- ③ External nutrient input parameters
- ④ Organic matter initial parameters
- ⑤ Mineral initial parameters

기후자료의 경우 공시 포장이 속하여 있는 경기도 남양주시의 기상청 통계 자료를 이용하였고, 화학비료와 유기물로서의 퇴비 첨가 시용량 자료는 고려대학교 부속농장

<표 29> CENTURY 4.0 모형의 최적 파라미터

파라미터	최적치
Active SOC <sup>1)</sup>	50 (g/m <sup>2</sup> )
Slow SOC <sup>2)</sup>	2,112 (g/m <sup>2</sup> )
Passive SOC <sup>3)</sup>	2,544 (g/m <sup>2</sup> )
Organic matter addition	150 (g/m <sup>2</sup> )

- 주: 1) Active = litter × 0.03  
 2) Intermediate = litter × 0.40  
 3) Passive = litter × 0.02

의 시용량 지침 자료를 확보하여 사용하였다. 또한 토양 및 식물체 분석에서 얻은 데이터 및 본 모형에서 제공하는 최적의 default값과 문헌조사를 통하여 얻는 값을 통하여 parameterization 모듈 프로그램을 이용, 최적의 파라미터를 도출하였다. 그 값은 표 29에 제시되었다.

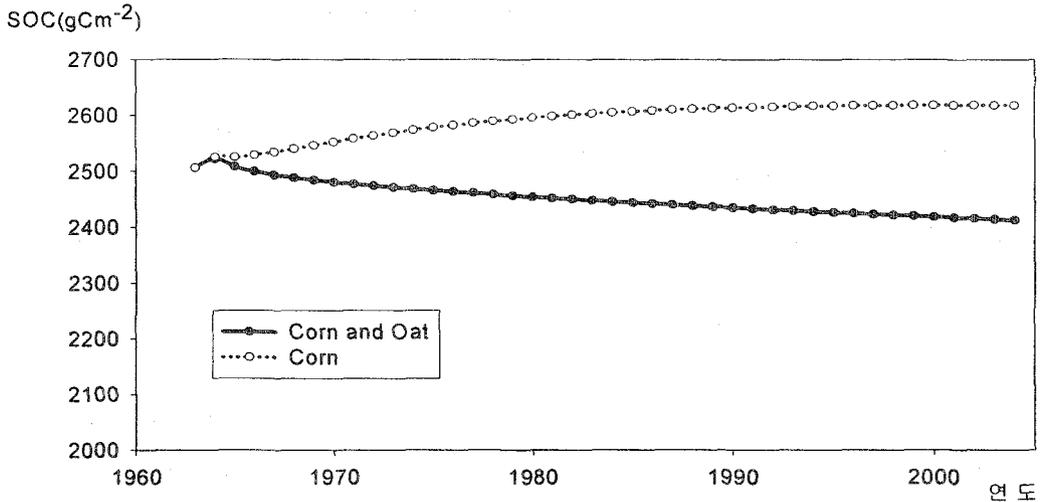
Active, Slow, Passive의 구분은 Century 모형에서 사용되는 SOC의 분해 속도에 따른 분류체계로 Active가 가장 빠른 분해를 보이는 SOC를 말하고, Slow는 중간정도의 SOC를, 그리고 Passive는 가장 느린 분해 속도를 나타내는 SOC를 뜻한다. Adjusted value는 각각의 성분비이다. Organic matter addition은 경작지에 인위적으로 공급되는 유기물(퇴비)의 탄소 함량을 의미한다.

### (3) 시뮬레이션에 의한 토양 유기탄소 저장량의 변화

Century model을 이용하여 상기 작부체계로 경작이 이루어진 1963년부터 2004년까지의 상황을 시뮬레이션 하였다. 분석 결과, 옥수수과 연맥을 이모작 했을 경우의 SOC가 2,618 gC/m<sup>2</sup>로 옥수수 단작 시의 SOC(2,412 gC/m<sup>2</sup>)보다 함량이 높아지는 사실을 알 수 있었다(그림 17).

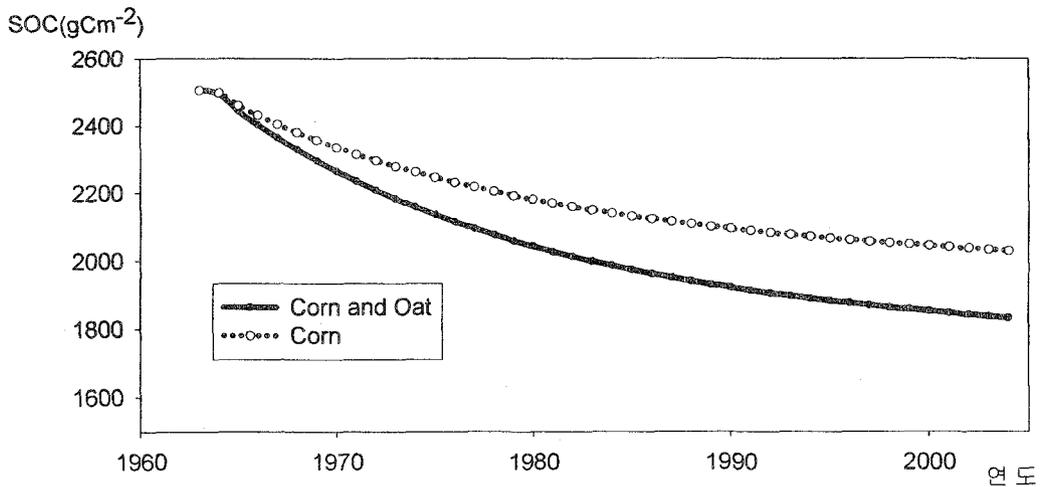
그림 18은 유기물 투입에 따른 SOC 증가 효과를 배제하고, 이모작과의 토양탄소 저장량 차이를 살펴보기 위해 연간 유기물 투입을 0으로 놓고 시뮬레이션 분석한 결과이다. 1963~2004년 동안 유기물 투입이 없다는 가정 하에서 시뮬레이션을 실시한

<그림 17> 작부체계 변화에 따른 토양탄소 저장량 변화 예측



결과, 옥수수 단작 시의 SOC(1,833 gC/m<sup>2</sup>)와 옥수수/연맥 이모작의 SOC(2,029 gC/m<sup>2</sup>) 간에는 단위면적당 196 gC의 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이 결과는 유기물 투입을 하였을 경우와 유사한 차이이다. 따라서 유기물 투입에 따른 효과를 배제하였을 경우에도 옥수수 단작의 토양유기물 함량보다는 옥수수/연맥의 유기물함량이 큰 것으로 결론지을 수 있다.

<그림 18> 인위적인 유기물(퇴비) 투입이 없을 경우의 SOC 변화량



## 다. 논·논의 온실가스 순배출량 추정

논은 메탄과 아산화질소 등의 온실가스를 방출하는 배출원인 동시에 광합성을 통해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하는 흡수원의 역할을 동시에 수행한다. 담수된 논은 혐기성 조건 하에서, 토양 중 탄소 성분이 메탄의 형태로 대기로 방출되거나 이산화탄소로 산화되어 배출된다. IPCC는 논에서 발생하는 메탄이 산업과 농업 전체에서 차지하는 비율은 미미하지만(연간 전체 메탄 발생량 540 TgC의 약 10%정도인 60 TgC), 전 세계적으로 경지면적에서 논이 차지하는 비율이 꾸준한 증가세를 보이고 있어 온실가스의 주 발생원으로서 주목하고 있다. 아산화질소 역시 질소질 화비료와 가축분뇨, 그리고 퇴비 등에서 대기 중으로 배출되는데, 이들은 이산화탄소에 비해 지구온난화 잠재력이 21~210배 크다. 그러나 우리나라 경지면적의 절대 비중을 차지하는 논에서 생산되는 바이오매스는 공중 이산화탄소의 흡수원으로서 배출가스를 상쇄하는데 있어 중요한 역할을 한다.

본 절에서는 농업의 토지이용이 온실가스 배출량에 미치는 영향에 대한 기초 연구로서 논에서 생산되는 바이오매스의 양과 토양 탄소함량을 이용하여 논·논의 온실가스 순배출량을 추정한다. 이를 위해 미곡과 벼짚의 생산에 따른 바이오매스 생산량을 통해 논경지의 전체 탄소고정량을 계산하고, 경작 시 배출되는 온실가스의 양을 조사하여 ha당 온실가스 순배출량을 추정하였다.<sup>32)</sup>

### 1) 논·논의 토양 탄소저장량

1999년도 제주도를 제외한 전국 논·논의 토양유기물 함량은 평균 2.2%이다(농업과학기술원). 이를 아래의 식에 대입하여 토양유기탄소의 저장량을 추정하였다.

---

32) 이는 농업분야, 특히 논경지가 탄소의 배출원이 아니라 저장고의 역할을 수행한다는 가설을 검증하고, 기후변화협약 하에서 농업부문이 지구온난화의 공범이 아니라 제어하는 역할을 수행할 수 있는 분야임을 보이기 위한 기초 자료가 될 것임

토양유기탄소 저장량 계산식

※ 토양유기탄소의 함량 환산단위

- 면적단위 = ha (1 ha = 10,000 m<sup>2</sup>)

- 면적을 부피단위로 전환: 10,000m<sup>2</sup> × 0.15m = 1500m<sup>3</sup>

표층토(작토) 깊이: 0.15m

- 부피를 무게단위로 전환: 1500m<sup>3</sup> × 1.2Mg/m<sup>3</sup> = 1.8 × 10<sup>9</sup> g

작토층 토양의 용적밀도 1.2Mg<sup>1</sup>/m<sup>3</sup>

☞ 1 ha = 1.8 × 10<sup>9</sup> g

☞ 토양유기탄소 저장량

= SOC(%) × (1.8 × 10<sup>9</sup>) (g/ha) × 경지면적(ha) × 1/100

(SOC: 토양유기탄소, 토양유기물함량 × 0.58<sup>2)</sup>)

주: 1) MgC: mEGA(10<sup>6</sup>) gram carbon

2) Methods of Soil Analysis( II) 참조

표 30에서처럼 연도별 논 토양 탄소저장량은 1980년대를 정점으로 점차 감소하는 것으로 추정되었다. 이런 감소세는 논 면적의 절대적 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

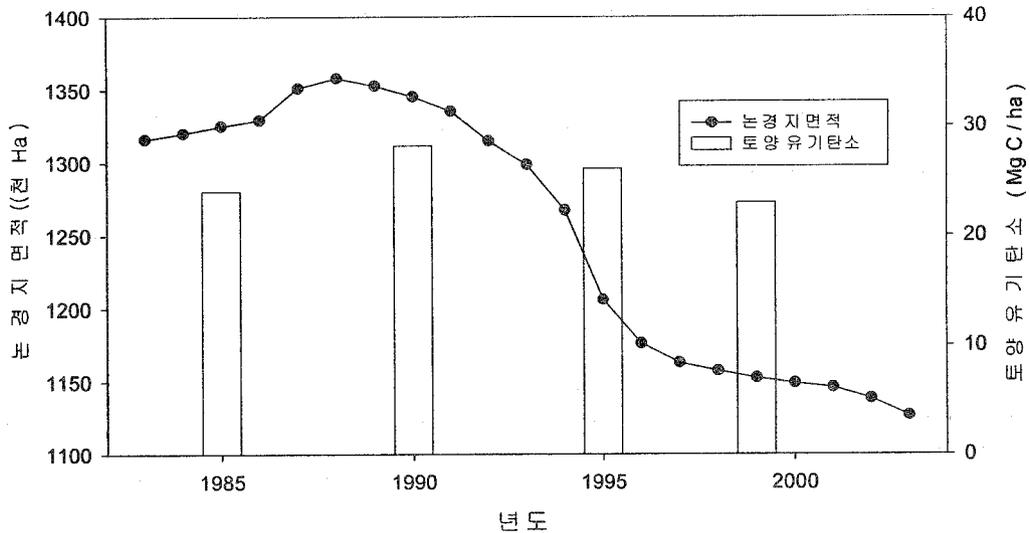
<표 30> 논 토양 탄소저장량 변화

연도	OM(%)	면적(ha)	토양탄소(TgC) <sup>1)</sup>
1964-1968	2.6	-	-
1976-1979	2.4	-	-
1980-1989	2.3	1,335,942	32.1
1990	2.7	1,345,280	37.9
1995	2.5	1,205,867	31.5
1999	2.2	1,095,827	25.2

주: 1) 토양 유기탄소 저장량 = SOC(%) × (1.8 × 10<sup>9</sup>)(g/ha) × 경지면적(ha) × 1/100

그림 19에 의하면, 논 면적은 지속적인 감소 추이를 보이고 있다. 그러나 단위면적당 토양 유기탄소량은 큰 변화가 없다. 연도별 단위 면적당 토양의 탄소고정량 변화가 거의 없기 때문에, 전체 토양유기탄소의 양이 감소하는 것은 논 면적의 감소에 기인하고 있음을 시사한다.

<그림 19> 논 면적의 변화와 SOC 변화 추이



2) 논 바이오매스 생산량을 이용한 탄소저장량 추정

논에서 생산되는 바이오매스는 크게 조곡과 벗짚 등의 부산물로 구분할 수 있다. 논에서 생산되는 농업부산물의 대부분을 차지하는 벗짚이 논에서 생산되는 바이오매스라는 측면에서 논의 전체 바이오매스를 계산하는데 중요하다. 이는 벗짚 역시 알곡과 마찬가지로 탄소고정의 역할을 하기 때문이다.<sup>33)</sup>

벼와 벗짚의 생산을 통해 논에서 방출되는 바이오매스는 연간 1,230만 톤에 달한다. 이 중 논 1ha당 바이오매스 생산량을 조곡 생산량과 벗짚 생산량으로 계산하면 아래와 같다.

33) 벗짚은 생짚 상태로 또는 부숙 과정을 거쳐 퇴비나 구비의 형태로 토양에 사용된다. 또 자연환경에서도 식물의 유체나 수확의 잔류물로서 자연분해 및 변형과정을 거치면서 자연계에서 물질순환의 한 부분을 이루게 된다.

$$\text{논의 바이오매스} = \text{ha당 조곡 생산량 (6.39톤<sup>34</sup>)} + \text{ha당 벃짚생산량 (4.5톤<sup>35</sup>)}$$

상기 식을 통해 산출한 논 1ha의 바이오매스를 총 탄소량(tC)으로 변환하기 위해 조곡의 탄소 함량에 대한 실험을 수행하였다. 표 31은 고려대학교 덕소농장에서 2004년에 수확한 조곡을 대상으로 원소자동분석기(Auto-analyzer)를 이용하여 분석한 조곡의 탄소(C)와 질소(N)의 함량이다. 조곡의 탄소 함량은 41%로 분석되었다.

<표 31> 품종별 조곡의 탄소 함량

품종	질소(%)	탄소(%)
일품벼	1.176	41.684
오대벼	1.138	40.886
평균	1.156	41.285

또한 벃짚의 탄소 함량을 문헌조사를 통해 추정된 결과 45%로 분석되었다(표 32). 이를 이용하여 ha당 논에 총 탄소량(tC)을 계산한 결과, 모두 ha당 4.85 tC(조곡 ha당 2.6 tC, 벃짚 2.25 tC)의 탄소를 고정하는 것으로 추정되었다.

### 3) 논에 온실가스 순배출량 추정

논은 온실가스 배출원의 역할과 탄소의 저장고의 역할을 동시에 수행하기 때문에 이를 정확히 계산하기 위해서는 배출되는 온실가스와 저장되는 탄소의 단위를 일원화시켜 비교할 필요성이 있다. 논에서 배출되는 온실가스의 종류는 크게 메탄과 아산화질소이다. 메탄은 양적인 측면에서 더 많으나, 지구온난화잠재력(GWP)은 메탄이 이산

<표 32> 유기물원의 탄소 함량

유기물	탄소함량(%)	질소함량(%)
벼짚	40-45	0.7-0.9
보릿짚	45.2	0.46
대패밥(톱밥)	53.4	0.10
왕겨	36.3	0.48
우분	35-40	1.5-2.0
돈분	40-45	4.0-4.5
계분	35-36	5.0-5.5

화탄소의 21배, 아산화질소는 이산화탄소의 210배에 달한다.<sup>36)37)</sup>

따라서 논 의 온실가스 순기여도를 측정하기 위해서는 탄소의 축적량 이외에 메탄(CH<sub>4</sub>)과 아산화질소(N<sub>2</sub>O)와 같은 온실가스의 배출에 대한 추정도 필수적이다. 아래 식을 이용하여 논이 ha당 저감할 수 있는 GWP를 추정하면 17.873 tCO<sub>2</sub>가 된다.<sup>38)</sup>

$$\begin{aligned}
 (C \text{ 축적량}) &= (TC) \times 44/12 \quad (3.67) \\
 (CH_4 \text{ 배출량}) &= (\text{배출량}) \times (GWP) \\
 (N_2O \text{ 배출량}) &= (\text{배출량}) \times (GWP)
 \end{aligned}$$

표 33은 논 의 상시답수 시 메탄과 아산화질소의 온실화 기여도를 반영한 값들로써 온실가스 배출량을 GWP로 계산하면 ha당 4.129 tCO<sub>2</sub>이다. 따라서 논 의 온실가스 순

- 36) 온실가스는 화합물이 가지고 있는 구조상 종류별로 열 축적 능력에 차이가 있고, 이로 인해 온실효과를 일으키는 잠재력이 달라진다. 이를 지구온난화지수(global warming potential: GWP)라 하며 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 1로 기준할 때 메탄(CH<sub>4</sub>) 21, 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 310, 수소불화탄소(HFCs) 1,300, 과불화탄소(PFCs) 7,000, 육불화황(SF<sub>6</sub>) 23,900으로 산출된다. 이는 온실효과를 일으키는 잠재능력이 메탄이 이산화탄소보다 21배 크며, 육불화황은 무려 23,900배나 크다는 의미이다. 그러나 이산화탄소를 제외한 다른 온실가스들은 아직까지 대기 중 농도가 낮아 전체적으로 지구온난화에 기여하는 정도는 이산화탄소보다 작기 때문에 이산화탄소가 지구온난화 논의의 가장 주요대상이 되고 있음
- 37) 농업부문에서 경작에 의해 배출되는 온실가스 가운데 지구온난화 잠재력이 가장 큰 아산화질소는 농경지에 사용된 질소질 화학비료와 퇴비에서 배출되어 대기 중으로 휘산된다. 하지만 논에서 온실가스의 배출은 물 관리와 화학비료, 유기물 비료의 사용량 조절 등의 영농방식에 따라 저감될 수 있음
- 38) 조곡 생산량은 ha당 6.39톤을 그리고 벼짚 생산량은 한국축산연감의 평균 데이터인 ha당 4.5톤을 사용

<표 33> 논외 종류별 온실가스 저감량과 경제적 가치 추정

종류	온실가스 배출량	온실가스 저감량	순 저감량	배출권 가격 (10\$/MgC)	배출권 가격 (20\$/MgC)
논(우량농지)	4,129 kgCO <sub>2</sub>	17,873 kgCO <sub>2</sub>	13,744 kgCO <sub>2</sub>	137 \$/ha	275 \$/ha
보통 논	4,129 kgCO <sub>2</sub>	14,955 kgCO <sub>2</sub>	10,826 kgCO <sub>2</sub>	108 \$/ha	217 \$/ha
사질논, 습논, 미숙논	4,129 kgCO <sub>2</sub>	14,203 kgCO <sub>2</sub>	10,074 kgCO <sub>2</sub>	100 \$/ha	201 \$/ha
산개간논, 염해논	4,129 kgCO <sub>2</sub>	12,849 kgCO <sub>2</sub>	8,720 kgCO <sub>2</sub>	87 \$/ha	174 \$/ha

기여도는 ha당 13.744 tCO<sub>2</sub>으로 추정되었다.<sup>39)</sup> 이는 논이 단순히 온실가스의 배출원에 그치는 것이 아니라 흡수원임을 의미하는 중요한 결과이다.

#### 라. 논외 토질별 온실가스 순저감량과 경제적 가치 추정

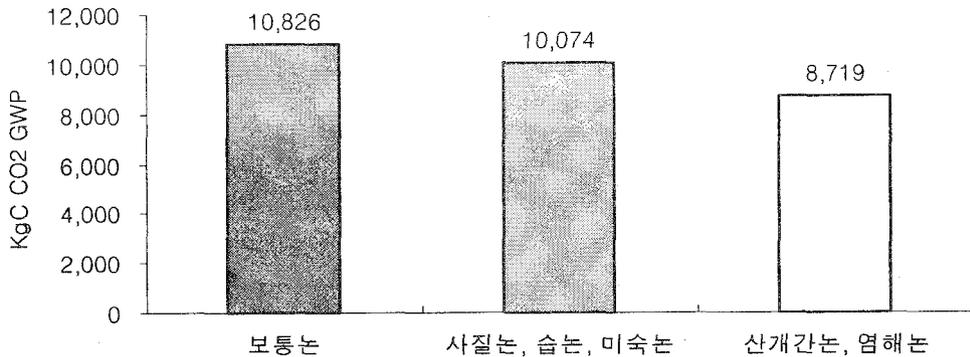
논외 토질 및 기후 시비의 영향으로 수확량의 차이가 크다. 논외 종류별 온실가스 저장량 추정에서 가장 많은 영향을 주는 인자는 바이오매스 생산량으로 우량 농지를 제외한 나머지 농지에 대해 기대수량에 따라 보통논, 사질논, 습논, 미숙논, 산개간논, 염해논으로 나눌 수 있다.<sup>40)</sup> 그림 20에 따르면, 바이오매스 생산량이 가장 많은 보통논이 산개간논, 염해논 보다 온실가스 저감량이 많음을 알 수 있다.

논외 온실가스 저감에 따른 경제적 가치는 국제 탄소배출권의 시장가격을 보수적으로 평가하여 각각 10달러와 20달러로 책정하여 분석하였다. 온실가스 배출량은 논외 종류에 관계없이 ha당 4,129kg CO<sub>2</sub>로 가정하였다. 표 33에서 보는 바와 같이 우량 농지의 경우 온실가스 순저감량은 13.744 tCO<sub>2</sub>로, 이에 대한 경제적 가치는 배출권 가격을 톤당 10달러로 가정할 경우 137달러, 톤당 20달러를 가정할 경우 275달러이다. 이 가치는 논외 토질과 생산성에 따라 차이가 날 수 있다.

39) 상기 계산식은 온실가스 저감량(17,873) - GWP 환산 온실가스 배출량(4,129)

40) 한국토양비료학회, 토양과 비료, 제21호 2005.3, p.5

<그림 20> 논외 종류별 온실가스 순 저감량 비교



## 2. 임목의 바이오매스 추정을 통한 산림 탄소축적(고정)량 추정

### 가. 산림 탄소축적량 추정 방법

산림생태계의 탄소축적은 식물이 광합성을 통해 대기 중 이산화탄소를 식물체 내로 고정하면서 나타나는 결과이다. 식물체 내에 고정된 탄소는 우선 바이오매스 증가로 나타나며, 산림의 주요 식생인 임목 바이오매스를 측정함으로써 탄소 축적량을 추정할 수 있다. 또한 임분 성장과정에서 발생하는 낙엽낙지, 고사목, 세균 등 유기물의 토양 내 유입도 토양 탄소축적의 주 원인이다. 따라서 산림 탄소축적량은 임목의 바이오매스와 토양 탄소량을 측정함으로써 추정할 수 있다.

임목의 바이오매스 측정은 단목을 대상으로 실시하며, 측정 결과는 산림 바이오매스를 측정할 때 이용된다. 단목 바이오매스 측정방법은 재적과 목재비중을 이용하는 방법, 생중량과 건중량 비율을 이용하는 방법, 흉고직경 등 측정인자에 대한 바이오매스 추정식을 이용하는 방법 등이 있다. 이 중 생중량과 건중량의 비율을 이용하는 방법은 재적과 비중을 구할 필요 없이 비교적 측정이 용이하여 널리 이용된다.

생중량과 건중량의 비율을 이용하는 방법은 벌채를 통해 생중량을 측정하고 일부 시료를 채취하여 생중량과 건중량의 비율을 측정한 다음, 이를 이용하여 건중량, 즉 바이오매스를 구하는 방법이다. 이 방법은 먼저 측정하고자 하는 임목을 벌채하고 줄

기, 잎, 가지를 분리하여 현장에서 각각의 생중량을 측정한다. 그런 다음 줄기에서 1~2m 간격으로 10cm 두께의 원판을 채취하여 생중량을 측정한 후, 실험실로 운반하여 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨다. 건조된 원판의 건조량을 측정하고 생중량과 건조량의 비율을 구하고, 이것을 현장에서 측정한 생중량 값에 적용시켜 건조량을 구한다. 가지와 잎도 전체를 대표하는 일부를 채취하여 줄기 바이오매스 측정과 같은 방법으로 구한다. 국내 산림 바이오매스 연구는 대부분 이 방법에 의해 수행되었다(김갑덕·김철민, 1988).

한편 IPCC는 산림 탄소축적량을 계산하기 위해 적용되는 기본적인 방법으로 재적과 목재비중을 이용하고 있다. 이 방법은 재적을 먼저 구하고 그 수종에 대한 목재의 전건비중을 알아내어 건조량을 얻는다. 전건비중은 목재를 건조기에서 건조하여 항량이 되었을 때의 무게와 부피의 비율로 나타낸다. 한 수종 내에서도 지역, 지위, 목재부위, 춘하재의 비 등에 따라 비중이 달라지므로 적용의 어려움이 있다. 또 가지와 잎의 경우는 정확한 재적을 구하기도 쉽지 않다. 그러나 임목을 직접 벌채하여 측정할 수 없거나 이미 재적을 구한 경우 목재비중을 이용하여 바이오매스를 측정하는데 적합하다(김갑덕·김철민, 1988). 우리나라의 매년 산림조사에서 산림 생산량을 나타내는 단위는 재적이기 때문에 산림조사가 시작된 시기부터 현재까지의 탄소축적 변화를 추정하기 위해서는 목재비중 이용 방법이 적합하다.

#### 나. 주요 조림 수종별 임령 증가에 따른 이산화탄소 흡수량 추정

우리나라 산림은 대부분이 인공조림된 것으로, 주요 조림 수종은 소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 등이다. 이 중 잣나무는 유실수종으로 농가소득에 중요한 수종이며, 낙엽송은 속성수로 재적 생장이 다른 수종에 비해 빨라 탄소 축적에 유리하다. 본 연구에서는 잣나무와 낙엽송 임분의 임령 증가별 이산화탄소 흡수량을 임목의 바이오매스 추정을 통하여 산출하였다(표 34, 표 35).

표 34와 표 35를 근거로 잣나무와 낙엽송의 임령별 이산화탄소 흡수량 회귀식을 추정하였다. 잣나무는 조림 후 60년에 약 300 tCO<sub>2</sub>/ha의 탄소축적량을 보이며, 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 한편 낙엽송은 조림 후 60년에 약 430 tCO<sub>2</sub>/ha의 탄소축적량을 보이고, 이후 지속적인 증가가 이어질 것으로 추정된다(그림 21). 분석 결과, 낙엽송이 잣나무보다

<표 34> 잣나무 인공림의 임령별 생체량(ton/ha), 탄소 축적량(tC/ha), 이산화탄소 흡수량(tCO<sub>2</sub>/ha)

임령	지상부 생체량	지하부 생체량	지상부/전체	전체 생체량	탄소 축적량	이산화탄소 흡수량	참고문헌
1	0.1	0.0	0.78	0.1	0.05	0.2	김용택(1987)
2	0.5	0.1	0.78	0.6	0.3	1.0	김용택(1988)
3	0.6	0.1	0.78	0.7	0.4	1.3	김용택(1989)
6	13.6	3.0	0.78	16.6	8.3	30.4	김용택(1989)
7	5.5	1.1	0.83	6.6	3.3	12.1	김갑덕·김철민(1988)
9	9.6	2.4	0.80	12.0	6.0	22.0	김갑덕·김철민(1988)
9	32.9	7.2	0.78	40.1	20.1	73.6	김용택(1989)
9	20.6	4.5	0.78	25.1	12.5	46.0	이명중(1998)
11	48.7	10.7	0.78	59.4	29.7	108.9	김용택(1989)
13	40.4	9.3	0.81	49.8	24.9	91.2	김갑덕·김철민(1988)
13	30.1	9.6	0.76	39.7	19.9	72.8	손요환, 미발표 자료
18	81.4	22.3	0.79	103.7	51.8	190.0	김갑덕·김철민(1988)
22	122.9	27.2	0.82	150.0	75.0	275.0	김갑덕·김철민(1988)
22	92.8	20.4	0.78	113.2	56.6	207.5	이명중(1998)
27	67.9	18.3	0.79	86.1	43.1	157.9	이돈구 외(1987)
28	75.3	16.6	0.78	91.9	45.9	168.4	이돈구·김갑덕(1997)
30	140.0	30.8	0.78	170.8	85.4	313.1	Son <i>et al.</i> ,(2001)
30	75.1	22.1	0.77	97.1	48.6	178.0	손요환, 미발표 자료
34	95.7	21.1	0.78	116.8	58.4	214.0	이명중(1998)
46	127.8	28.1	0.78	155.9	77.9	285.8	이명중(1998)
50	104.8	60.7	0.63	165.5	82.8	303.4	손요환, 미발표 자료
55	191.0	42.0	0.78	233.1	116.5	427.3	이경재(1983)
66	130.8	28.8	0.78	159.5	79.8	292.5	이명중(1998)

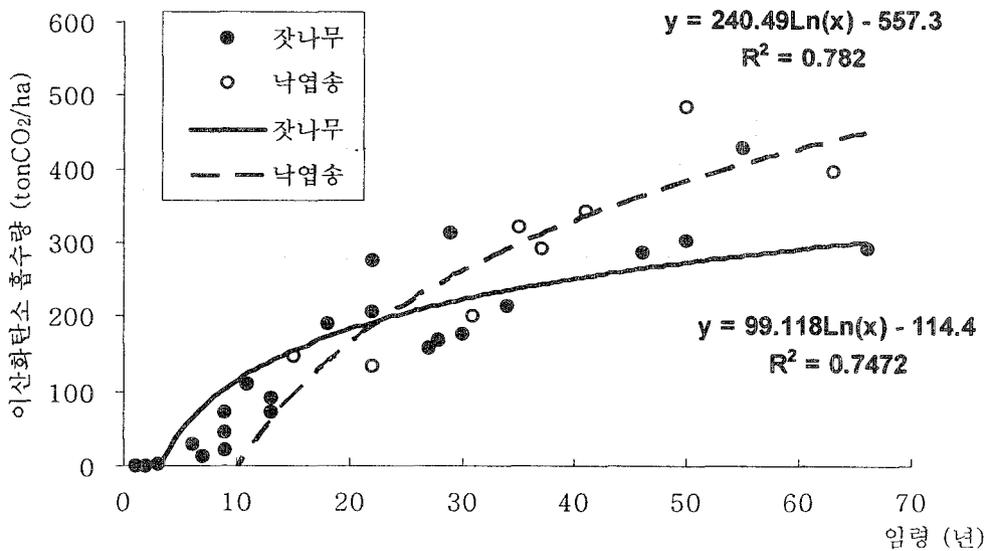
주: 지상부생체량만 제시된 자료는 다른 자료의 지상부와 전체 비율의 평균치를 적용하여 전체 생체량을 산출하였음. 탄소축적량 전환계수는 0.5를 적용(IPCC, 1996)

<표 35> 낙엽송 인공림의 임령별 생체량(ton/ha), 탄소 축적량(tC/ha), 이산화탄소 흡수량(tCO<sub>2</sub>/ha)

임령	지상부 생체량	지하부 생체량	지상부/전체	전체 생체량	탄소축적량	이산화탄소 흡수량	참고문헌
15	63.7	16.0	0.75	79.7	39.8	146.1	임경빈 외(1981)
22	54.6	18.1	0.75	72.7	36.4	133.3	손요환, 미발표 자료
31	87.2	21.9	0.75	109.1	54.5	200.0	김춘식(1999)
35	140.0	35.1	0.75	175.1	87.6	321.1	손요환 외(1995)
37	127.2	31.9	0.75	159.1	79.6	291.7	김중성 외(1996)
41	149.0	37.4	0.75	186.4	93.2	341.7	이임균(2000)
49	209.2	55.3	0.79	264.5	132.3	484.9	손요환, 미발표 자료
63	173.1	43.5	0.75	216.6	108.3	397.1	김갑덕·김철민(1988)

연간 성장속도가 빨라서 탄소저장량이 높으며, 탄소축적량을 높이기 위한 수종 선택 시 잣나무보다 낙엽송이 유리할 것으로 판단된다.

<그림 21> 임령에 따른 잣나무와 낙엽송 인공림의 탄소 축적량 변화



<표 36> 남부지방 주요 조림 수종의 탄소 축적량

수 종	임령(년)	탄소 축적량 (tC/ha)	이산화탄소 흡수량 (tCO <sub>2</sub> /ha)	출 처
삼나무	20	69.6	255.2	김춘식 외(1987)
편 백	25	72.0	264.0	김춘식 외(1987)

남부지방에 주로 식재된 삼나무와 편백의 국내 바이오매스 연구에서 추정된 이산화탄소 흡수량은 20년생 삼나무가 255 tCO<sub>2</sub>/ha, 25년생 편백은 264 tCO<sub>2</sub>/ha로 유사한 임령인 22년생 낙엽송과 잣나무의 추정치(약 200 tCO<sub>2</sub>/ha)보다 높은 이산화탄소 흡수량을 나타냈다. 이는 연간 생장일수, 광조건 등의 지역적인 환경요소 차이로 남부지방 조림 수종이 중부지방의 수종보다 생장 속도가 빠르기 때문인 것으로 사료된다(표 36).

#### 다. 외국 주요 조림 수종과의 탄소 축적량 비교

한국의 주요 조림 수종인 잣나무와 낙엽송의 연간 탄소 저장량을 그림 21의 추정식을 이용하여 분석하였다. 벌기령은 40년으로 설정하였으며, 40년간 생장한 임분의 이산화탄소 흡수량을 벌기령으로 나누어 연간 이산화탄소 흡수량을 산출하였다. 산출된 값을 바탕으로 외국 주요 조림 수종의 연간 이산화탄소 흡수량과 경제적 가치를 비교하였다(표 37). 브라질, 호주, 뉴질랜드 유칼리나무의 연간 이산화탄소 흡수량은 약 35 tCO<sub>2</sub>/ha로, 우리나라 주요 조림 수종보다 약 4.2~5.5배가량 높았다. 또한 침엽수 간 비교에서 브라질의 소나무는 우리나라 낙엽송보다 1.5배, 잣나무보다 2배가 높은 이산화탄소 흡수량을 나타냈다.

#### 라. 주요 조림 수종에 대한 조림 투자 수익성 및 탄소배출권 경제성 분석

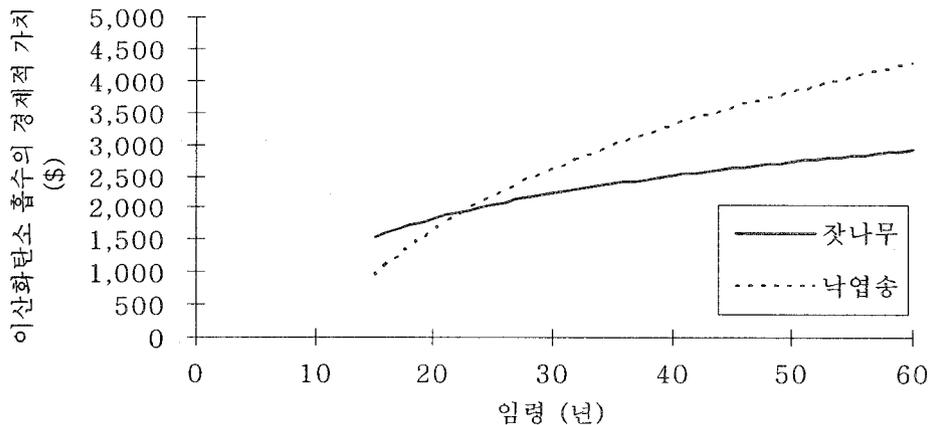
잣나무와 낙엽송의 조림 및 산림 경영에서 탄소배출권의 가치를 분석하기 위해, 그림 21에서 제시된 잣나무와 낙엽송의 임령별 이산화탄소 흡수량 추정식을 이용하여 조림 및 숲가꾸기 사업의 시나리오에 따른 수익성 분석을 실시하였다. 우선 잣나무와

<표 37> 국가별 주요 조림 수종의 연간 이산화탄소 흡수량과 경제적 가치

국가	주요 조림 수종	별기령 (년)	연간 이산화탄소 흡수량 (tCO <sub>2</sub> /ha)	연간 경제적 가치 (\$/ha)	
				배출권가격 \$10 가정	배출권가격 \$20 가정
브라질	소나무	31	12.2	122	244
	유칼리나무	7	34.2	342	684
호주/뉴질랜드	유칼리나무	-	36.7	367	734
한국	잣나무	40	6.3	63	126
	낙엽송	40	8.3	83	166

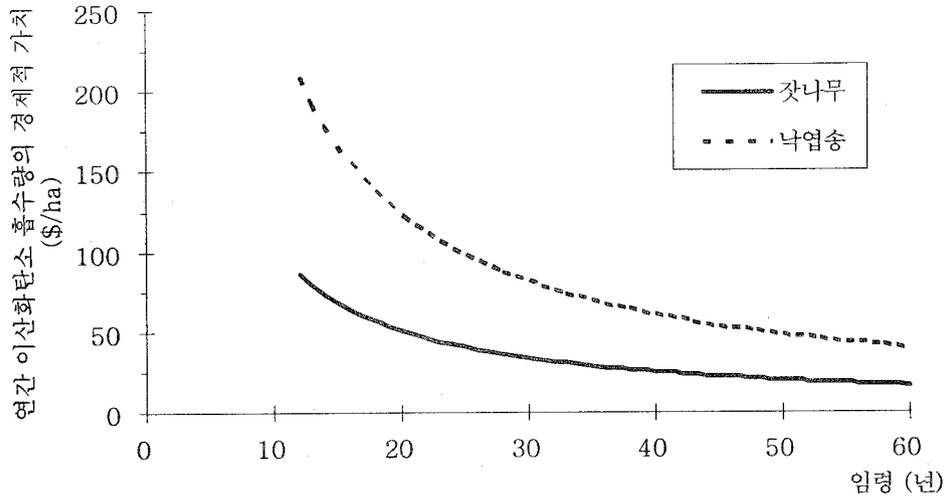
낙엽송의 임령 증가에 따른 이산화탄소 흡수의 경제적 가치를 산출하였다. 그 결과 임령 증가에 따라 산림의 바이오매스 축적량이 증가하면서 이산화탄소 축적의 경제적 가치도 증가하는 것을 보여주고 있다. 그러나 낮은 임령의 임분 성장 속도가 빠른 반면 임령이 증가할수록 성장 속도가 감소하면서 경제적 가치의 증가율도 감소한다(그림 23).

<그림 22> 임령별 산림의 이산화탄소 축적의 경제적 가치



주: 이산화탄소 톤당 가격은 10달러로 책정

<그림 23> 임령별 연간 이산화탄소 흡수량의 경제적 가치



주: 이산화탄소 톤당 가격은 10달러로 책정

탄소 고정의 경제적 이익이 조림 및 산림 경영에 미치는 영향을 추정하기 위해 조림 및 산림 경영에 대한 수익성을 분석하였다. 우선 간벌 면적과 간벌 재적, 원목 가격을 기초로 임령이 20년, 30년, 40년, 50년 시점이 되었을 경우의 ha당 간벌 및 벌채 수익을 살펴보았다(표 38).

<표 38> 단위면적당 간벌 및 벌채 수익 산출

임령	ha당 간벌목 재적 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> 당 원목 가격		ha당 간벌목 수익 (\$)
		원화	미화(\$)	
20	12.6	111,000	106	1,336
30	15.0	111,000	106	1,590
40	14.6	111,000	106	1,548
50	276.1	117,000	111	30,647

자료: 1) 산림청, 2000a

2) 산림청, 2000b

주: 환율은 1,050원/\$ 적용

<표 39> 산림 관리 작업별 비용

작업 구분	비용(원/ha)	자료 출처
조림	2,844,816	산림청, 2004a
풀베기	288,470	산림청, 2001
어린나무가꾸기	659,772	산림청, 2001
간벌	685,743	산림청, 2001
주벌	20,559,510	산림청, 2005

주: 1) 지대와 이자비용은 포함되지 않았으며, 주벌을 제외한 모든 작업은 국가보조금 지원  
 2) 주벌비용은 국유림 매각시 산정한 비용에 벌채 후 가공 및 운반비로 20%를 추가 계산

조림과 효율적 산림경영의 경제성을 분석하기 위한 대안으로 조림 후 무육작업을 실시하는 것으로 하였다. 무육작업은 풀베기, 덩굴제거, 어린나무가꾸기, 간벌, 주벌 등의 작업으로 이루어지며, 산림청(2000)의 산림과 임업기술 교본을 기초로 하여 시나리오를 작성하였다. 풀베기는 식재한 후 5년간 실시되는 것으로 하였다. 1차 어린나무가꾸기는 풀베기 작업 후 5년이 지난 시기에 실시하고, 2차 어린나무가꾸기는 1차 작업 시기에서 5년이 지난 후 실시한다. 간벌은 2차 어린나무가꾸기 작업 시기에서 5년이 지난 후 10년 간격으로 실시되는 것으로 하였다.

표 39의 산림관리비용을 이용하여 조림과 산림경영 시나리오에 따른 투자수익 흐름을 산출하였다(표 40). 분석 결과, 벌기령에 이르러 마지막 간벌 시점인 40년차에 손익분기점에 주벌 수익으로 인하여 총수익이 증가함을 알 수 있다.

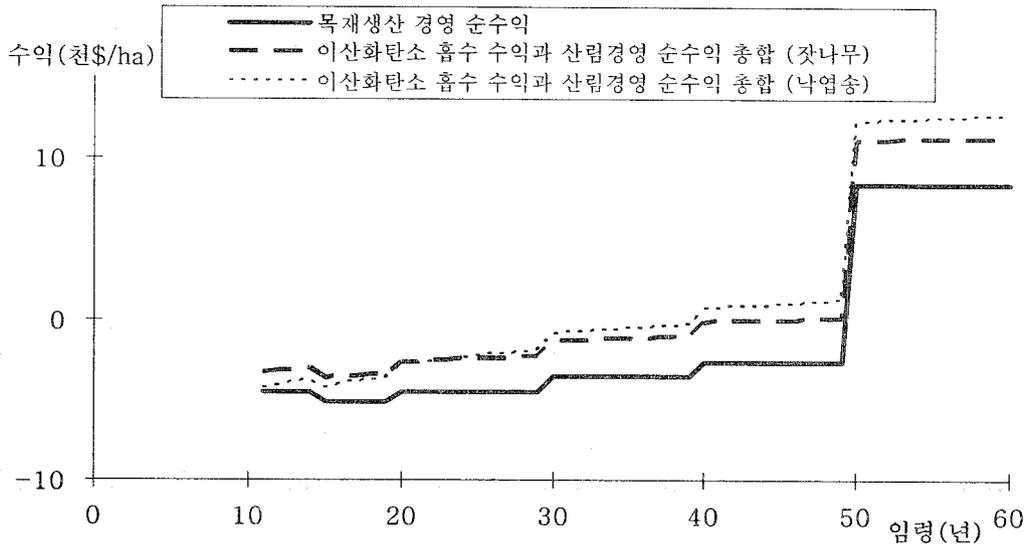
그림 24는 표 40의 산림경영 시나리오의 순수익과 그림 22의 탄소고정으로 인한 수익을 합쳐 산림경영에 대한 총수익을 그린 것으로, 이산화탄소 흡수 수익이 산림경영 순수익보다 약 2,900\$/ha 많은 것으로 나타났다.

<표 40> 조림지의 임령별 작업비용과 수익

임령	작업구분	비용(원/ha)	비용(\$/ha)	수익(\$)	순수익(\$)
0	정리작업, 조림	2,844,816	2,709	0	-2,709
1	풀베기, 덩굴제거	387,642	369	0	-3,078
2	풀베기	288,470	275	0	-3,353
3	풀베기	288,470	275	0	-3,628
4	풀베기	288,470	275	0	-3,903
9	어린나무가꾸기	659,772	628	0	-4,531
15	어린나무가꾸기	659,772	628	0	-5,159
20	간벌	685,743	653	1,336	-4,477
30	간벌	685,743	653	1,590	-3,540
40	간벌	685,743	653	1,548	-2,645
50	주벌	20,559,510	19,580	30,647	8,422

결론적으로 현재 실시되고 있는 산림경영에서 탄소배출권이 인정되고 이산화탄소 흡수 수익이 발생되면 추가적인 수익이 창출되는 것이므로, 산림을 경영하는 기관이나 산림경영자에게 기본적으로 긍정적인 기회가 된다. 현 시장가치로 환산한 탄소고정 가치, 즉 ha당 200달러는 간벌수익의 1/3정도이다. 그러나 산림경영에서 탄소고정을 위한 추가적인 투자 없이 흡수원을 확보할 수 있는 관계로 이 가치를 무시할 수는 없을 것이다. 향후 탄소시장의 여건이 변화하여 배출권 가치가 증대될 경우 보다 유용한 수익원이 될 수 있다. 또한 개별 산림경영체가 아닌 산림정책의 측면에서 볼 때 전체로서의 탄소배출권 가치는 유용한 재원이 될 수 있다. 특히 산림정책은 LULUCF에 의한 적극적인 탄소배출권 창출을 통하여 산림부문의 경제적 가치를 증가시킬 수 있을 것이다.

<그림 24> 산림경영 시나리오 순수익과 이산화탄소 흡수 수익의 총합



마. 토지이용변화에 따른 임업부분 온실가스 흡수 및 배출량 추정

온실가스 흡수 및 배출량 산출은 IPCC 우수실행지침에 따라 추정된다. 이 추정법은 토지 이용별 흡수 및 배출량을 각각 실측하고 이를 통합하는 형식을 따른다. 추정 과정에서 식생의 탄소축적량은 바이오매스 추정법을 이용하고, 토양의 탄소축적량은 토양시료분석 등을 통해 산출한다. 각 토지이용별로 탄소축적량은 원인별 흡수량과 배출량을 추정하고 합산하여 구한다. 산림의 경우, 임목 성장과 벌채의 바이오매스 변화, 토지이용변화 시 발생하는 바이오매스 변화를 탄소축적량으로 환산하여 산출한다.

토지이용변화를 수반하는 임업활동에는 신규조림(afforestation), 재조림(reforestation), 산림전용(deforestation)이 있으며, 이와 함께 토지용도는 유지한 채 대상토지의 탄소축적 변화를 가져오는 산림경영도 이에 해당된다. 이 네 가지 활동에 대한 세부이행지침인 마라케쉬 합의문 상의 정의는 다음과 같다(표 41).

<표 41> 마라케쉬 합의문에서 토지이용, 토지이용변화, 임업의 정의

산림	최소면적 (0.05-1.0ha), 수관울폐도 (10-30%) 및 성숙시의 최고수고 (2-5m)를 기준으로 정의
신규조림	50년 이상 산림이외의 용도로 사용된 토지에 산림을 조성하는 행위
재조림	본래 산림이었으나 타용도로 전환되어 이용해 온 토지에 산림을 조성하는 행위
산림전용	산림을 산림이외의 용도로 전환하는 행위
식생복구	신규조림이나 재조림 정의에 부합되지 않지만, 최소 0.05ha 면적에 식생을 조성하는 행위
산림경영	임업의 생태, 경제, 사회적 기능 발휘를 목적으로 산림의 관리, 이용을 위한 행위

자료: 안소은 · 한기주(2004)

이 정의에 따르면 신규 조림과 재조림의 경우, 산림이 아니었던 기간의 차이만 있을 뿐 실제 탄소계정 산출 시에는 차이가 없다. 탄소배출권은 1차 이행기간(2008~2012년) 동안 대상 산림의 탄소축적 변화량을 계산의 기초로 한다. 그런데 토지이용변화를 가져오는 신규조림, 재조림 및 산림전용 활동에 따른 것은 변화량의 100%로 인정하는 반면, 기존 산림의 경영활동에 따른 것은 변화량의 15%만 인정하고 있다(국립산림과학원, 2005).

IPCC 실행지침은 토지이용변경 및 임업부분 온실가스 흡수 및 배출량 산출 방법에서 모든 당사국이 공통으로 적용할 수 있는 기본계수 값을 제시하고 있다. 예를 들면 임목축적에서 탄소전환인자 기본값으로 0.5를 제시하고 있으며, 산화되는 바이오매스 량의 비율은 0.9를 제시하고 있다. 그러나 지침서에서는 기본값 사용 시 산출값의 정확도가 높지 않음을 밝히고, 각국의 특수성을 고려한 기본값과 고유값을 같이 고려하는 방식을 권장한다(국립산림과학원, 2005).

한국에서 1990년과 2000년에 추정된 토지이용변화 및 임업부분 온실가스 흡수 및 배출량, 경제적 가치를 환산하면 표 42와 같다. 1990년에 비해 2000년도의 이산화탄소 연간 흡수량이 13,494천 tCO<sub>2</sub> 증가했는데, 이는 배출권가격을 이산화탄소 톤당 10달러로 가정할 경우 약 1억35백만 달러가 증가된 것이다. 이산화탄소 순흡수량 증가의 주요 원인은 산림 내 임목의 생장에 의한 흡수량이 증가된 것으로 여기에는 16,799천 tCO<sub>2</sub>이 해당한다. 결과적으로 탄소배출권 가치를 증가시키기 위한 적극적인 산림정책은 임업분야에 새로운 기회를 창출할 수 있을 것이다.

<표 42> 1990년과 2000년도 토지이용변화 및 임업부문 온실가스 경제적 가치

연 도	1990				2000			
	탄소 (천tC)	이산화탄소 (천tCO <sub>2</sub> )	경제적 가치(천\$)		탄소 (천tC)	이산화탄소 (천tCO <sub>2</sub> )	경제적 가치(천\$)	
단 위			10	20			10	20
CO <sub>2</sub> 톤당 가격(\$)								
산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화	-7,155	-26,235	-262,350	-524,700	-11,299	-41,430	-414,297	-828,594
· 생장에 의한 총흡수량	-7,958	-29,179	-291,793	-583,586	-12,534	-45,958	-459,580	-919,160
· 벌채에 의한 배출량	803	2,944	29,443	58,886	1,054	3,865	38,647	77,294
산림 및 초지 전용	46	169	1,687	3,374	84	308	3,080	6,160
토양의 CO <sub>2</sub> 흡수 /배출량	633	2,321	23,210	46,420	1,059	3,883	38,830	77,660
· 토지이용변경 에 따른 토양탄소 변화	607	2,226	22,257	44,514	1,029	3,773	37,730	75,460
· 석회비료사용 에 따른 배출	26	95	953	1,906	30	110	1,100	2,200
계	-6,476	-23,745	-237,453	-474,906	-10,156	-37,239	-372,387	-744,774

자료: 안소은·한기주(2004)

## 제2절 탄소배출권 거래제와 농업정책의 연계 방향

### 1. 배경

국내 실질농업소득은 시장개방의 확대와 수요정체 등으로 인한 가격하락으로 지속적으로 감소하고 있다(양승룡 2003). 농산물가격이 하락할 경우 농지가격도 동반 하락하여 자산 가치를 감소시키고, 이에 따라 농가부채 문제도 심화될 것으로 우려된다.

농가소득안정을 위한 농산물 가격정책은 소득지지효과도 적을 뿐만 아니라 WTO 및 DDA 협상에서의 AMS, de-minimis 추가 감축논의 등을 감안할 때 대폭적인 축소가 불가피하다. 대부분 농업선진국의 주요 농가소득이 되고 있는 농외소득은 한국 농가의 농촌인구 및 산업구조로 볼 때 단시간에 증가하기에는 한계가 있다. 2002년 기준 농외소득 비중(이전수입 포함)은 54%로, 일본(2002) 87%, 미국(2001) 91.3%, 대만(2001) 82%에 한참 뒤쳐져있다. 이와 함께 우리의 공적보조는 최근 호당 평균 139만원(2003년 기준)으로 증가하였으나, 농가소득에서 차지하는 비중은 5.2%에 그치고 있으며, 특히 공적보조 중 농업관련 공적보조금 비중은 2.1%에 불과한 실정이다(표 43). 따라서 시장개방의 영향이 나타나는 당분간은 선진국과 같이 농업소득 감소분을 직접 지불제에 의해 보전하여 주는 소득보전정책이 강화되어야 할 것이다.

<표 43> 이전수입 및 공적보조 변화 추이

(단위: 천원(%))

	2000	2001	2002	2003
농가소득	23,072(100.0)	23,907(100.0)	24,474(100.0)	26,878(100.0)
이전수입	4,743(20.6)	4,811(20.1)	5,060(20.7)	7,179(26.7)
공적보조	205(0.9)	475(2.0)	565(2.3)	1,394(5.2)

자료: 농업전망2005, 한국농촌경제연구원 재인용

이에 따라 정부는 「농업농촌종합대책」을 통해 직접지불제를 대폭 확충하려는 계획에 있다. 이는 개방화의 진전으로 인한 농가소득 감소 문제에 적극 대응하여 농업

<표 44> 정부의 직접지불제 확충 계획안

(단위: 억원)

	2004년	2008년	2013년	주요국사례
직불 투융자금액	9,534	24,718	34,112	-
총투융자금액	88,154	109,201	148,907	-
직불금 비율	10.8%	22.6%	22.9%	미국 36%, EU 70%, 일본 13%
농가소득대비	2.8%	6.9%	10.0%	미국 17%, 일본 2.4%

자료: 직접지불제 중장기 확충방안에 관한 정책토론회 자료, 한국농촌경제연구원, 2004.12.8

주: 미국, 일본, EU의 직불금 비율은 공히 2001년 기준

인의 소득 및 경영안정을 도모하고자 함이다. 119조 투융자 계획 중 직불예산을 24조 원 수준으로 반영하고, 2013년 투융자 대비 직불예산을 23%, 농가소득 중 직불금을 10% 수준(2002년 1.4%)으로 확대하는 것을 골자로 한다(표 44). 그러나 농업직불제에 대한 비농업계나 납세자의 반발이 적지 않을 뿐만 아니라, 수혜자인 농민들도 직불제의 지원효과에 대해 불만과 불신을 가지고 있다.

본 연구에서는 정부에서 현재 운영 중에 있는 조건불리지역직불제나 생산조정제 등 다양한 직불사업을 보다 시장 지향적이고 친환경적으로 보완하여 정책명분을 갖추면서, 정부의 재정부담을 경감시키고 농민들의 수혜를 증가시킬 수 있는 방안으로 탄소배출권 거래제와 연계한 직접지불정책을 모색하였다.

## 2. 직접지불제 사업 및 친환경농업정책 현황

정부가 제시하고 있는 직불제 사업의 현황은 표 45와 같다. 정부의 직불제 사업 추진 방향은 다음과 같다. 첫째, 개방 확대에 대응하여 소득안정을 위한 직불제의 확대이다. 둘째, 중장기 목표 달성을 위한 효율적 추진시스템의 구축이다. 실·국별로 분산 추진 중인 다양한 직불제의 총괄·조정 체계화를 실현하고 직불제 시행비용을 최소화하여 목표와 수단의 효율성을 추구한다. 셋째, 농업의 공익적 기능 홍보 등으로 직접지불제 확충에 대한 국민적 합의를 획득한다. 환경보전, 지역사회 및 전통문화 유

<표 45> 정부의 농업직불제 사업운영 현황

	사업목적	지원대상	지원조건	지원단가
논농업 직불제	-논의 공익적기능 도모 -비료·농약의 적정한 사용유도로 환경보전 및 안전한 농산물생산	-대상농지에서 논농업을 경영하며, 지원요건을 준수하고자 하는 농업인 또는 농업법인	-논의 형상과 기능유지의무 이행 -친환경농업 실천의무 이행	-진흥532천원/ha, 비진흥 432/ha(유기·전환기 270, 무농약 150) -지급규모: 0.1~4ha -2004예산: 4,810억원
친환경농업 직불제	-친환경농업육성 및 안전농산물 생산 장려	-친환경농산물 인증농가	-친환경농업 실천의무 이행	-794~524천원/ha -지급상한: 5ha -2004예산: 55억원
경영이양 직불제	-고령농업인 조기은퇴 촉진 -영농규모화를 통한 쌀 산업의 구조개선 및 경쟁력 강화	-63~69세의 고령농업인 (70~72세 농업인의 경우 1회 일시지급 조건으로 2006년까지 시행)	-소유농지를 농업기반 공사나 쌀 전업농에게 매도하거나 5년 이상 장기 임대하는 경우	-매도: 2,317만원/ha, 최장 8년간 분할지급 -임대: 298만원, 일시불 (70~72세 농업인의 경우 매도·임대시 310만원/ha 1회 지급) -2004예산: 141억원
생산조정제	-효과적인 생산 감축을 통해 쌀 수급균형 도모 -쌀재협상에 대비한 입지 강화	-농업직불제 사업대상 농지 중 2002년에 논벼를 재배한 농지를 실제 경작한 농업인	-2002년도 논벼 재배농지를 향후 3년간 벼나 다른 상업적 작물재배 중단	-3년간 매년 300만원/ha -2004예산: 810억원
쌀소득보전 직불제	-수확기 쌀값이 기준 가격보다 하락한 경우 하락액의 일정수준을 보상하여 쌀생산농가의 소득안정 도모	-농업직불제 대상농가로 농업인 납부금을 납부한 농가	-기준가격 대비 당해연도 쌀 값 하락시	-기준가격과 당해연도 가격 차액의 80% -2004예산: 247억원
친환경축산 직불제	-지속가능한 축산 유지 -환경친화적인 축산 기반 구축	-친환경축산 프로그램에 참여하고 프로그램을 이행하는 축산농가	-조사료포 확보, 축분 발생량 감축, 발생분뇨 토양환원 등	-농가소득 감소분의 50% 보전 -호당 1,500만원 한도 -2004예산: 58억원
조건불리 지역직불제	-농업의 다원적 기능 유지 -지역사회 공동화 방지	-대상법정리 내에 거주하는 실경작자	-마을협약 작성 및 마을 공동기금 조성 -농지관리 의무 이행	-밭 40만원/ha, 초지 20만원/ha -2004예산: 100억원

자료: 직접지불제 증장기 확충방안에 관한 정책토론회 자료, 한국농촌경제연구원, 2004.12.8

지 등 국민이 공감할 수 있는 명분과 효과를 적극적으로 제시하여 지원 타당성을 설득한다. 마지막으로 국제 규범에 합치시켜 정책의 지속성을 확보 하는 것이다.

한편 정부는 친환경농업육성 5개년 계획(2001~2005) 사업을 진행 중에 있다. 추진 과제는 친환경농업 실천기반 조성, 친환경농업기술 개발, 친환경농업 실천기술 보급, 종합적인 농토배양 추진 및 축산분뇨자원화, 친환경농업 육성지원, 친환경농산물의 유

<표 46> 농업·농촌 정책의 지원방법간 장단점

	장 점	단 점
지역개발정책 (a)	- 효과가 지속적임	- 투자비용이 많이 소요됨 - 단기간에 효과를 거두기 어려움 - 소프트측면 등 여타요소의 지원 없이는 효과를 기대하기 어려움
직접소득보조 (b)	- 휴경억제효과가 바로 나타남 - 농가소득지지 효과가 큼	- 일회성 효과라는 한계 - 수혜/비수혜자 간 갈등 우려
농업투자지원 (c)	- 농업투자확대와 연계 가능 - 전업농 육성에 유리	- 수혜가 일부 계층에 한정됨
배출권거래제 (a+b+c)	- 정책효과의 지속성 - 휴경보상 문제의 자연스런 해결 - 농업투자확대로의 연계 가능성 - 시장지향정책으로 국민적 공감 확보 - 새로운 소득창출원 마련으로 지역 활성화에 기여	- 초기 모니터링시스템 정착 등 거래비용의 과다 소요 - 정부의 행정관리 복잡

자료: 오내원 외(2002) 재구성, 한국농촌경제연구원

통합성화, 국제협력 강화, 산림환경의 개선(친환경임업 육성) 등 8개 과제로 이루어져 있다.

특히 국제협력 강화를 위한 과제는 OECD 관련 13개 농업환경지표 개발, 농림업분야 온실가스 배출 저감대책 추진, Codex 유기농산물 지침 관련 대응방안 마련의 3가지가 핵심이다. 따라서 향후 농림업분야의 온실가스 배출량 저감사업에 보다 많은 준비와 역량을 강화할 필요가 있다. 특히 이미 환경부와 산업자원부에서는 2006년부터 시행할 계획으로 배출권거래제 시범사업 운영 안을 추진 중에 있기 때문에 농업분야의 대책과 활용 전략을 수립하는 것이 시급한 과제이다. 또한 농업부문 역시 국내 실정을 고려한 배출권거래제 사업 참여방안에 대한 구체적인 계획을 시급히 마련해야 할 것이다.

표 46은 농업·농촌정책의 지원방법간 장단점을 분석한 표이다. 배출권거래제를 도입하였을 경우와 그렇지 않았을 때를 비교하면 시스템 정착에 따른 초기 거래비용이 많이 소요되고 정부의 행정관리가 복잡하다는 문제점이 있을 것이다. 그러나 거래제도가 정착되고 나면 추가비용이 많지 않을 것이며, 행정적인 문제는 부처 내 전담

반을 구성하여 운영 전문가를 육성할 경우 그다지 큰 문제가 되지 않을 것이다. 무엇보다도 배출권거래제를 활용한 직접지불정책은 친환경정책의 이미지로 농업지원에 대한 비농업계의 반발을 축소하고 농업예산의 명분을 얻을 수 있다. 또한 새로운 소득원을 창출할 수 있으며, 농업정책의 유연성과 다양성을 제고시킬 수 있을 것이다.

### 3. 배출권거래제와 조건불리지역직불제

#### 가. 조건불리지역직불제의 개요

농림부가 2004년부터 시행하고 있는 조건불리지역직불제 사업은 WTO 농업협정문의 허용정책(Green box)인 “지역원조계획하의직접지불제도”를 조건불리지역 농업에 적용하여 지역농업인의 소득안정은 물론 마을활성화를 통한 농촌지역사회 유지 도모를 목적으로 하고 있다. 대상지역은 조건불리지역 내 농지 또는 초지<sup>41)</sup> 중 경지율 및 경지경사도 등을 적용하여 선정한 법정리이다.

시행대상은 경작지 소재 면에 거주하는 실질적인 농업경영자(실경작자)로서 지급요건을 이행하는 자에게 보조금이 지급된다. 마을활성화 실천 및 공익적 기능 제고를 위한 활동 등을 의무로 부과하고 이행여부를 점검하여 보조금을 지급하며, 장기적으로 보조금 지급조건 이행이 우수한 마을을 선정하여 마을공동기금을 10% 가산하는 인센티브를 제공한다. 또한 마을(행정리)별로 마을대표를 선정, 「마을협약」을 작성하고 ‘마을공동기금’을 조성하여 마을활성화 실천, 공익적 기능 증진 활동에 활용한다.

2005년 사업계획안에서 제안하고 있는 구체적인 시행방법은 다음과 같다.

○ 밭·과수 ha당 400천원, 초지 ha당 200천원(국고 70%, 지방비 30%)

- 조건불리지역과 일반지역의 ha당 3개년 평균소득격차의 1/3수준을 지원
- 지급하한 면적을 0.1ha로 하고, 지급 상한액은 호당 200만원
- 호당 상한액 200만원에는 마을공동기금 배정액 포함

---

41) 이하 “초지”는 생략하고 농지에 포함

<표 47> 조건불리지역직불제의 2005년도 사업계획안

구 분	사업량	사업비(백만원)			비 고
		계	국고	지방비	
합 계	31천ha	15,984	12,264	3,720	
직불제보조금	31천ha	12,400	8,680	3,720	밭 400천원/ha
전산관리 등 행정비	-	300	300	-	초지 200천원/ha
경지경사도조사	821읍면	3,284	3,284	-	

자료: 조건불리지역 직불제 시범사업, 농림부

○ 사업주관기관 : 시장·군수

- 사업계획 수립 및 예산 확보 : 농림부
- 사업대상 지역·농지 선정 기준 마련 및 지침 시달
- 사업시행 및 예산집행 : 시·군
- 사업대상지역 선정 : 도
- 마을별 자율추진체계 구축 : 리(마을대표)
- 대상자 적격여부 확인 및 대상자 관리 : 면
- 대상자 확정, 지급요건 이행점검 및 보조금 지급 : 시·군

나. 조건불리지역직불제와 배출권거래제의 연계 방향

기본적으로 조건불리지역직불제와 배출권거래제의 연계는 토지생산성이 떨어지는 조건 불리지역에 지역여건에 맞는 다양한 CDM 사업을 통하여 배출권을 창출하여 소득원으로 활용하는 것이다. 예를 들면, 바이오매스를 활용한 전력생산, 축산오폐수에서 발생하는 메탄의 에너지자원화, 풍력이나 조력발전, 매립지 가스 활용, 신규조림 등 다양한 사업을 고려할 수 있다.

현재 UNFCCC는 CDM 사업을 산업별로 15개로 분류하고 있으며(표 48), CDM 사업으로 타당하다고 공인한 방법론은 다음과 같다(표 49). 이러한 방법론을 이용하여 현재 여러 나라에서 다양한 CDM 사업이 추진되고 있다(표 50). CDM 방법론은 이러한 사업을 통해 추가적으로 탄소배출을 감축시킬 수 있다는 공인을 받은 것으로 이러한 방법론을 이용할 경우 확실한 사업성을 보장받을 수 있다. 그러나 이러한 방법론 이외에도 추가성(additionality)

<표 48> CDM 사업 분류

사업번호	분 류	사업번호	분 류
1	에너지산업	9	금속광업
2	에너지공급	10	연료로부터의 탈루성 배출
3	에너지수요	11	할로젠화탄소, 육불화황 생산/소비
4	제조업	12	용제사용
5	화학산업	13	폐기물 취급 및 처리
6	건설	14	조림과 재조림
7	수송	15	농업
8	광업/광물		

자료: UNFCCC CDM Executive Board

을 인정받을 수 있는 방법론들이 지속적으로 개발되고 있다.<sup>42)</sup>

42) CDM 사업과 관련한 자세한 내용은 부록 2,3참조

<표 49> CDM 사업에 대한 UNFCCC 공인 방법론 (2005년 7월 현재)

일련번호	베이스라인 및 모니터링 방법론 명	CDM사업 분류
AM0001	HFC23 함유 폐가스 소각	11(할로겐화탄화수소 및 육불화황 생산/소비)
AM0002	정부 허가 베이스라인 설정 지역 내 매립지 가스 포집과 연소를 통한 온실가스 배출 감축	13(폐기물처리)
AM0003	매립지 가스 포집 사업에 대한 단순 재무분석	13(폐기물처리)
AM0004	방치상태로 연소되던 바이오매스를 이용한 계통연계 발전	1(에너지산업)
AM0005	온실가스 배출이 없는 소규모 계통연계 신재생에너지 발전	1(에너지산업)
AM0006	분뇨관리시스템 하의 온실가스 배출 감축	13(폐기물처리),15(농업)
AM0007	계절 간 운전을 위한 최소비용 연료 대안 분석	1(에너지산업),4(제조업)
AM0008	시설의 수명연장 및 확대, 생산능력의 확대 없이 석탄과 석유에서 천연가스로의 연료전환 산업	4(제조업)
AM0009	다른 방법으로 연소되는 유정(油井)에서 생산되는 가스의 재생 및 활용	10(연료의 탈루성 배출)
AM00010	매립지 가스 포집이 법적으로 용납되지 않는 지역에서의 전력생산 사업	1(에너지산업) 13(폐기물처리)
AM00011	전력생산을 위한 매립지 가스 재생과 베이스라인 시나리오 내 메탄의 분해 또는 포집 금지	13(폐기물처리)
AM00012	MSW 규정 준수를 통한 인도 도시고형폐기물 메탄가스 사업	13(폐기물처리)
AM00013	유기성 폐수처리시설의 메탄 강제추출을 통한 계통연계 발전	13(폐기물처리)
AM00014	천연가스 기준 패키지 열병합 발전	1(에너지산업),4(제조업)
AM00015*	사탕수수부산물(Bagasse) 기준 계통연계 열병합 발전	1(에너지산업)
AM00016	가축사육시설의 축분관리시스템 개선을 통한 온실가스 감축	13(폐기물처리),15(농업)
AM00017	수증기 트랩개체와 응축물 순환을 통한 수증기시스템 효율 개선	3(에너지수요)
AM00018*	수증기 최적화 시스템	3(에너지수요)
AM00019*	바이오매스를 제외한 단일 화석연료 발전소의 발전량 중 일부를 대체하는 신재생에너지 사업	1(에너지산업)
AM00020*	지하수 효율성 개선을 위한 베이스라인 방법론	3(에너지수요)
AM00021	실제 아다핀산 생산 공장에서 발생하는 N <sub>2</sub> O 분해 방법론	5(화학산업)
AM00022	산업부문 내 현장 에너지 사용량 저감 및 수자원낭비 방지	13(폐기물처리)

자료: UNFCCC CDM Executive Board

주: (\*)표시가 된 방법론은 사업 활동의 추가성 입증

<표 50> UNFCCC에 등록된 CDM 사업 (2005년 7월 현재)

등록일	사업 명	주관국가	참여국가	방법론 <sup>1)</sup>	저감량 (tCO <sub>2</sub> /연간)
2004.11.18	브라질 NovaGerar 매립지가스 에너지 사업	브라질	네덜란드	AM0003	670,133
2005.01.11	Rio Blanco 소수력 사업	온두라스	핀란드	AMS- I.D.	17,800
2005.03.08	인도 Gujarat 내 HFC 23 산화에 의한 온실가스 배출 저감 사업	인도	일본 네덜란드 영국 북아일랜드	AM0001	3,000,000
2005.03.24	울산 HFC 열분해 사업	한국	일본	AM0001	1,400,000
2005.04.23	Cuyamapa 수력발전 사업	온두라스	-	AMS- I.D.	35,660
2005.05.23	부탄 e7 마이크로 소수력 CDM 사업	부탄	일본	AMS- I.A.	524
2005.05.23	Rajasthan 바이오매스 - 평지작물 부산물의 전력 생산	인도	네덜란드	AMS- I.D.	31,374
2005.06.03	Cortecito 및 San Carlos 수력발전 사업	온두라스	-	AMS- I.D.	37,466
2005.06.03	Santa Cruz 매립지가스 연소 사업	볼리비아	-	AM0003	82,680
2005.06.26	Huitengxile 풍력발전 사업	중국	네덜란드	AM0005	51,429
2005.07.18	Graneros 토양연료 전환 프로젝트	칠레	일본	AM0008	19,438
2005.07.18	인도 Himachal Pradesh 주의 5MW Dehar 계통연계형 SHP	인도	-	AMS- I.D.	16,374

자료: UNFCCC CDM Executive Board

주: 1) AM: 대규모 사업, AMS: 소규모 사업

현재 가용한 방법론 중 조건불리지역적불제와 연계할 수 있는 방법론은 농업관련 부문 외에도 폐기물, 에너지 등의 분야가 유망하다. 예를 들면 분뇨관리시스템을 이용하는 AM0006과 축분관리시스템을 이용하는 AM00016 외에 바이오매스를 이용한 발전을 활용한 AM0004, 지하수 효율성 개선을 통한 AM00020 등이 가능하다.

그러나 마을단위를 대상으로 조건불리지역적불제와 연계하기 위해서는 소규모(small scale) CDM 사업이 더욱 적합할 것이다(표 51). 소규모 CDM 사업은 주거환경이나 경제적 여건이 열악한 상황의 마을단위를 위해 일반 사업에 비해 보다 간편하고 신속한 인증절차를 허용하는 방법론을 이용한 사업이다. 소규모 사업은 배출권거래를 통한 온실가스 저감

<표 51> 소규모 CDM 사업에 대한 UNFCCC 공인 방법론 (2005년 7월 현재)

사업기준	베이스라인 및 모니터링 방법론 명	CDM사업 분류
AMS-I.A.	특정이용자에 의해 생기는 전력 생성	1(에너지산업)
AMS-I.B.	특정이용자를 위한 역학에너지	1(에너지산업)
AMS-I.C.	특정이용자를 위한 열에너지	1(에너지산업)
AMS-I.D.	계통연계시스템을 위한 신재생 전력 생성	1(에너지산업)
AMS-II.A.	송배전을 위한 공급측면 에너지 효율 개선	2(에너지공급)
AMS-II.B.	전력 생성을 위한 공급측면 에너지 효율 개선	1(에너지산업)
AMS-II.C.	특정기술을 위한 수요측면 에너지 효율 개선 프로그램	3(에너지수요)
AMS-II.D.	산업시설을 위한 에너지 효율 개선 및 연료 전환 조치	4(제조업)
AMS-II.E.	건축물을 위한 에너지 효율 개선 및 연료 전환 조치	3(에너지수요)
AMS-II.F.	농업설비와 농경활동을 위한 에너지 효율 개선 및 연료 전환 조치	3(에너지수요)
AMS-III.A.	농업	
AMS-III.B.	화석연료 전환	1(에너지산업)
AMS-III.C.	저위 온실가스 배출시설에 의한 배출량 저감	7(수송)
AMS-III.D.	메탄 회수 자원화	10(연료의 탈루성 배출), 13(폐기물처리)
AMS-III.E.	제어 연소를 통한 바이오매스 소실에서 비롯되는 메탄 생산 억제	13(폐기물처리), 15(농업)

자료: UNFCCC CDM Executive Board

이라는 교토합의를 이행하기 위해 보다 효과적이라고 간주되어 전략적으로 추진되고 있다.

공식적으로 인정된 CDM 방법론을 이용한 사업은 현재 전 세계 여러 나라에서 활발하게 진행되고 있다(표 49). 여기에는 울산화학의 HFC 열분해 사업이 대규모사업으로, 이미 모니터링과 검증 절차를 거쳐 세계 최초로 CER을 발급받은 사업으로 주목받고 있다. 이외에도 강원풍력발전과 시화호조력발전 등 다양한 사업들이 추진되고 있다.<sup>43)</sup>

탄소배출권거래를 조건불리지역적불제와 연계하는 방법은 직불제 수혜의 조건으로 CDM 사업의 참여를 요구하거나, CDM 사업을 할 경우 얻는 배출권의 일부를 인센티브로 환원하는 방법이 있을 것이다. 특정 지역이 어떤 CDM 사업을 유치하는가는 그 지역의 인적, 물적, 자연적 여건에 의해 결정되어야 한다. 또한 각 지역에 맞는 적절한 사업(들)을 개

43) 조건불리지역적불제와 연계하여 추진할 수 있는 CDM 사업의 사례들은 부록2에 요약되어 있음

<표 52> 임상별·행정구역별 산림면적(2003)

(단위: ha)

행정구역	합계	침엽수	활엽수	혼효림	죽림	무림목지
서울특별시	15,784	1,569	6,127	5,632	0	2,456
부산광역시	36,799	15,134	6,824	13,465	5	1,371
대구광역시	49,598	20,948	5,850	22,562	0	238
인천광역시	40,863	10,921	14,414	12,124	0	3,404
광주광역시	20,121	13,081	2,933	3,664	134	309
대전광역시	30,559	15,229	8,692	6,201	0	437
울산광역시	69,605	25,595	20,488	22,065	18	1,439
경기도	539,361	197,250	188,970	138,734	0	14,407
강원도	1,371,826	476,465	467,515	405,601	0	22,245
충청북도	498,988	181,820	152,361	152,167	1	12,639
충청남도	442,354	204,972	114,453	111,999	255	10,675
전라북도	450,298	206,068	142,617	91,496	684	9,433
전라남도	696,916	398,769	127,195	150,682	2,973	17,297
경상북도	1,347,627	565,010	242,924	527,055	30	12,608
경상남도	709,333	316,573	144,679	237,292	1,996	8,793
제주도	91,861	24,599	37,284	4,278	0	25,700
계	6,411,893	2,674,003	1,683,326	1,905,017	6,096	143,451

자료: 산림청 정보통계과

발하기 위한 전문가 육성과 인력체계가 조속히 구성되어야 할 것이다.

나. 예제 : 조림 및 재조림<sup>44)</sup>

산림면적 중 무림목지(un-stocked woodland)에는 조건불리지역직불제와 연계한 조림 및 재조림 사업을 통해 배출권 크레딧을 생성할 수 있을 것이다. 표 52를 보면, 전국의 무림목지 비중이 제주 25,700ha(17.9%), 강원 22,245ha(15.5%), 전남 17,297ha(12.1%), 그리고

44) 2005년 7월 현재 조림 및 재조림과 관련하여 승인된 방법론은 가용하지 않지만, 6개의 방법론이 승인을 얻기 위해 신청되어 검토 중에 있음

경기도 14,407ha(10.0%)의 순으로 나타나고 있다. 따라서 이들 지역에 시범조림사업 단지(belt)를 전략적으로 육성하는 방안으로 조건불리지역직불제를 활용할 수 있다.

국내 206천ha의 한계농지와 143천ha의 무림목지, 즉 전체 349천ha의 조건불리지역에 조림사업을 할 경우 탄소 흡수원의 증가량은 연간 34만9천 톤이 되며, 탄소가격을 톤당 20불로 가정할 경우 해마다 약 700만 달러(70억 원)의 소득을 추가로 창출할 수 있을 것으로 추정된다.<sup>45)</sup>

#### 4. 배출권거래제와 생산조정제

##### 가. 생산조정제 현황과 연계의 필요성

쌀 생산조정제는 2002년 쌀 수급안정대책의 하나로 도입되었다. 생산조정제는 2004년 쌀협상에서 관세화유예 조건의 충족과 쌀 생산을 감축시키기 위해 2002년도에 논벼를 재배한 농지에 3년간 벼나 상업적 작물을 재배하지 않을 경우 3년간 매년 300만원/ha을 지급하는 직접직불제이다.<sup>46)</sup> 생산조정제의 사업계획면적은 27,500 ha이며, 이에 따른 소요 예산은 연간 810억원으로 쌀 생산조정제를 통해 연간 90만석의 생산량 감소 효과를 발생시킨 것으로 평가되었다. 사업신청 농가는 전체 76천 호이고, 사업신청 필지는 168천 필지였으며, 농가당 평균 신청면적은 1,100평(2.2필지)이다.

쌀 생산조정제의 대상 농지로는 논농업직불제 사업 대상농지 중 2002년도에 논벼를 재배한 농지로서, 국가 또는 지방자치단체, 법인(농업회사법인, 영농조합법인은 제외)이 소유 또는 관리하고 있는 농지는 그 대상에서 제외된다. 또한 농지법에 의한 농지이용 실태조사 결과, 처분대상인 농지 및 각종 개발사업 예정지로 약정기간(3년) 충족이 어려운 농지 역시 대상에서 제외되었다. 사업신청자격은 2002년 12월 30일 이전부터 사업신청 시까지 생산조정제 사업대상농지 소재지와 동일 시군구에 거주하는 사람으로서, 300평 이상 농지를 짓는 농지 소유자이어야 한다. 생산조정제에 참여하기 위해서는 약정기간 및 보조금 지급 조건을 만족하여야 한다. 약정 기간은 약정일로부

45) 계산식은 (206천ha+143천ha)× 1톤/ha× 20달러× 1,000= 6,980,000,000원이다. 바이오매스 연간증가량 계수인 2톤/ha 중 탄소증가량은 50%인 1톤/ha으로 산정했고, 환율은 달러 당 1,000원을 기준으로 계산

46) 보조금 단가는 임차료가 낮은 저위생산농지 위주로 참여하도록 저위생산지 평균 임차료 수준(300천원/10ha)으로 결정

터 3년간 연속이며 농지매매 등 불가피한 경우에는 사업 대상자가 매년 1월초에 신고하여야 한다. 보조금 지급조건은 3년간 벼 및 기타 상업적 작물 재배를 중단하는 것을 원칙으로 한다.<sup>47)</sup>

생산조정제 사업의 결과 매년 25~26천ha에 벼 또는 상업적 작물을 재배하지 않음으로써 약 90만석의 쌀 생산이 감소되어 수급상황의 악화를 완화시킬 수 있었다. 또한 부수적으로 농가에 800여억 원의 보조금을 지급하여 농가소득을 지지하는 효과도 얻을 수 있었다. 이는 쌀생산 감축을 위한 다른 대안들에 비해 경제적인 방법으로 평가되고 있다(표 53).

쌀 생산조정제로 인한 부정적 측면으로는 생산성이 낮은 중산간지나 경지 정리가 제대로 되지 않은 비진흥지역의 저위생산 논이 사업에 주로 참여하여 생산 감축의 효과가 낮다는 점과 함께, 사업 참여대상자가 자연탈락이 예상되는 고령자 및 영세농으로 정부의 보조금 지원으로 인해 구조조정이 지연될 수 있다는 점을 들 수 있다.

그러나 무엇보다도 쌀 생산조정제는 납세자를 설득하기 어려운 정책이다. 생산조정제의 개념은 기본적으로 휴경을 전제로 한 직불정책이다. 정책 수혜자인 농민 입장에서는 영농을 하지 않더라도 휴경을 통해 일정 수입을 얻을 수 있게 된다. 이러한 측면에서 납세자들은 세금 납부에 반발할 소지가 있고, 이는 정책의 연속성 및 실효성 측면에서 큰 문제가 된다.

생산조정제는 이러한 문제점에도 불구하고 생산 감축이라는 목표 달성을 위한 비용효율적인 정책으로 분석된다. 따라서 보다 명분 있는 방향으로의 정책 개선이 이루어진다면 수급조절이 어려운 상황에서 유용한 정책수단이 될 수 있을 것이다. 이를 위해 일방적인 휴경을 통한 직접보조 대신 대상 농지에 LULUCF에 의한 신규조림을 통한 탄소 배출권 획득이나 유채 재배를 통한 바이오디젤 생산과 배출권 획득 방안 등은 생산조정제의 합리적인 개선방안이 될 수 있다.

---

47) 자운영, 호미 등의 녹비 작물이나 단순 경관을 유지하기 위한 유채, 코스모스 등의 경관작물, 자기소비 목적의 사료작물 재배 등은 상업적 작물에서 제외됨

<표 53> 100만석 당 쌀 처리비용 비교

	휴경	콩 전작	주정용 공급	대북지원	사료용 공급
보전가격	300만원/ha (360)	361만원/ha (421)	10,880원/80kg (수입산 타피오카 대체)	27,600원/80kg	11,780원/80kg (옥수수수입가×80%)
보전액	880억원 (1,056)		2,732억원 (‘03산지가격 기준)	2,431억원 (‘03산지가격 기준)	2,715억원 (‘03산지가격 기준)
보관료 및 금융비용 등			1,230억원 (연간 410억원)	1,230억원 (연간 410억원)	1,230억원 (연간 410억원)
총비용	880억원 (1,056)	1,059억원 (1,235)	3,962억원	3,661억원	3,945억원

자료: 쌀생산조정제 현황 및 향후 추진계획, 농림부

- 주: 1) 쌀 100만석(144,000톤)을 생산하는데 29,328ha 논면적이 필요하다고 가정(단수 491kg/10a)  
 2) 주정용, 사료용 대북지원은 3년간 보관 후 처분을 전제  
 3) 휴경 시: 생산조정300만원/ha + 고정직불금60만원/ha, 전작 시: 전작보상 361만원/ha + 고정직불금 60만원/ha  
 4) 대북지원단가(‘04): 300\$/톤, 주정용공급가(‘05): 10,880원/80kg, 사료용옥수수(‘03): 160\$/톤×80%(적용환율(‘05): 1,150원/\$), 산지쌀 값(‘03): 162,640원/80kg, 국산콩 수매가 평균(‘04): 4,042원/kg, 수입콩 가격(‘03): 330원/kg

#### 나. 사례 : LULUCF에 의한 신규조립

본 연구에서는 휴경 대상면적이 3만 ha, 5만 ha일 경우와 탄소 배출권가격이 이산화탄소 톤당 \$10, \$20일 경우 등 4가지의 시나리오를 바탕으로 신규조립사업을 할 경우의 경제성 분석을 실시한다.

##### 1) 비용 추정

쌀 생산 조정제 대상 지역의 LULUCF 프로젝트 도입에 따른 비용은 크게 조립에 따른 비용과 탄소 배출권 획득을 위한 모니터링 및 행정 비용, 잣 수확 비용, 그리고 간벌과 프로젝트 만료 후의 주벌 비용으로 나눌 수 있다.

##### 가) 조립비용

<표 54> 잣나무 조림에 따른 총비용(3,000본/ha)

(단위: 원)

구분	공정	단가	계	산출근거
1. 노무비	41.6		1,714,659	
- 간접노무비(명)	20	41,218	82,426	
- 직접노무비(명)	39.6		1,632,233	
* 정리작업	22.6	41,218	931,527	
* 식재작업	17.0	41,218	700,706	
2. 자재대			905,470	2003년산 잣나무1-1-2 단가 적용
* 묘목(본)	3,000	299	897,000	
* 표주(개)	0.2	42,350	8,470	5ha당 1개
3. 운반비			36,674	
- 대운반				119,680원*3,000본*1차/30곤포
* 묘목(본)	3,000	119,680/대	11,968	*1곤포/500본*1/2회
- 소운반				123,528원*3,000본*1차/10곤포
* 묘목(본)	3,000	123,528/조	24,706	*1곤포/500본*1/3회
4. 경비			163,746	
- 산재보험료			41,152	노무비* 24/1,000
- 수수료			122,594	(노무비+운반비)*7/100
5. 부대비			24,267	사업비의 0.85%
합 계 (1+2+3+4+5)			2,844,816	

잣나무 조림 비용은 잣나무 묘목 구입비 및 인건비 그리고 운송비 등으로 구성되어 있다. 각 항목별 소요 비용은 표 54에 정리되어 있다.

#### 나) 산림경영 및 간벌 비용

휴경지에 잣나무를 조림한 후에는 LULUCF 프로젝트의 최초 계획과 같은 탄소 배출권을 얻기 위해 산림을 가꾸고 경영하여야 한다. 이를 위해서는 풀베기, 가지치기, 어린나무가꾸기 및 간벌과 같은 숲 가꾸기 사업을 잘 계획하여 실시하여야 한다. 소

<표 55> 숲 가꾸기 및 간벌·주벌에 따른 비용

작업 구분	비용(원/ha)	자료출처
풀베기	288,470	산림청, 2001
어린나무가꾸기	659,772	산림청, 2001
간벌	685,743	산림청, 2001
주벌	20,559,510	산림청, 2005

주: 1) 지대와 이자비용은 포함되지 않았으며, 주벌을 제외한 모든 작업은 국가보조금 지원  
 2) 주벌비용은 국유림 매각시 산정한 비용에 벌채 후 가공 및 운반비로 20%를 추가 계산

요 비용은 산림과 임업기술(2000)을 기초로 하여 시나리오를 작성한 후 산출하였다.

풀베기는 식재한 후 5년간 실시되는 것으로 가정하였고, 1차 어린나무가꾸기는 풀베기 작업 후 5년이 지난 시기에 실시하며, 2차 어린나무가꾸기는 1차 작업시기에서 5년이 지난 후 실시한다. 간벌은 2차 어린나무가꾸기 작업 시기에서 5년이 지난 후 10년 간격으로 실시되는 것으로 하였다. 마지막으로 50년 차에는 주벌이 이루어진다. 표 55는 소요 비용을 정리한 내용이다.

#### 다) 잣 수확비용

잣나무 조림 후 15년이 지나면 잣을 생산할 수 있다. 잣을 생산하려면 인건비 및 기계장비 사용에 따른 비용을 지출해야 한다. 잣 생산비는 인건비 12,440원/kg, 기계장비 사용료 7,854원/kg을 가정할 경우 총 20,294원/kg으로 추정된다.<sup>48)</sup>

LULUCF 프로젝트를 시행하기 위해서는 잣나무 조림비용과 함께 탄소 배출권의 획득을 위한 사업비용 및 거래 비용이 소요된다.

48) 잣 생산에 따른 비용은 “LULUCF 프로젝트를 통한 탄소저감방안- 북한 황폐산림 지원사업을 중심으로”, 김태근(2003)을 참조

<표 56> 나무 종류별 이산화탄소 흡수량

(단위: ton C/ha)

	20년	30년	40년	50년	60년	70년
강원지방소나무	1.3	1.5	1.5	1.6	1.5	1.5
중부지방소나무	1.6	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6
잣나무	2.4	2.6	2.7	2.6	2.5	2.4
낙엽송	3.1	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3
리기다소나무	2.2	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6
편백	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9
상수리나무	3.1	3.3	3.2	3.0	2.7	2.5
신갈나무	4.2	3.7	3.3	3.0	2.7	2.5

자료: 수종별 임분수확표, 2003, 국립산림과학원

## 2) 편익 추정

### 가) 탄소배출권 편익

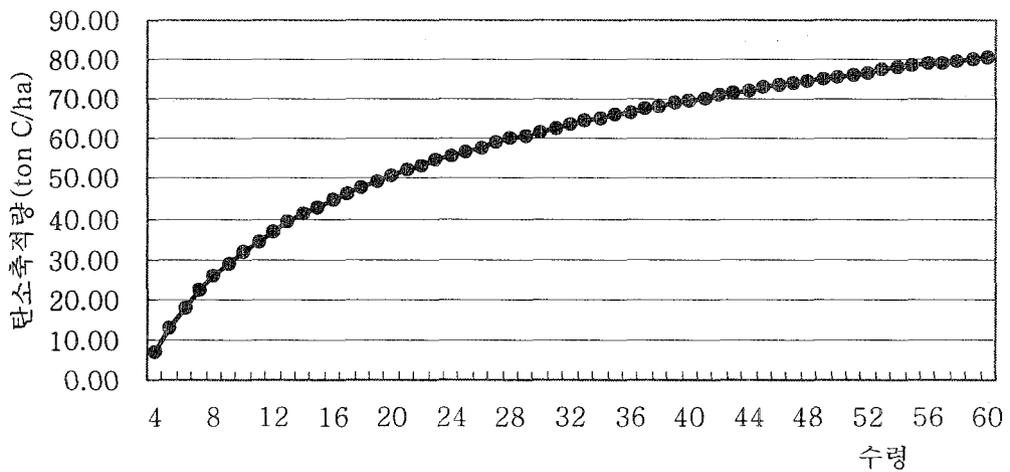
쌀 생산조정제를 시행할 경우 발생하는 휴경지에 잣나무 1-1-2 묘목을 인공 조림하는 것으로 가정하였다. 잣나무는 입지에 대한 적응성이 강하고 경사지에서도 잘 자라는 특성이 있다. 또한 우리나라의 주요 수종 중 이산화탄소 흡수량이 많고 유실수로서 경제적 가치도 뛰어나기 때문에 조림대상으로 선정하였다. 2006년도에 ha당 3000본의 잣나무를 심는다고 가정하고 연도별 잣나무 조림을 통한 탄소 축적량을 구하면 표 57과 같다.

<표 57> 잣나무 수령에 따른 탄소 축적량

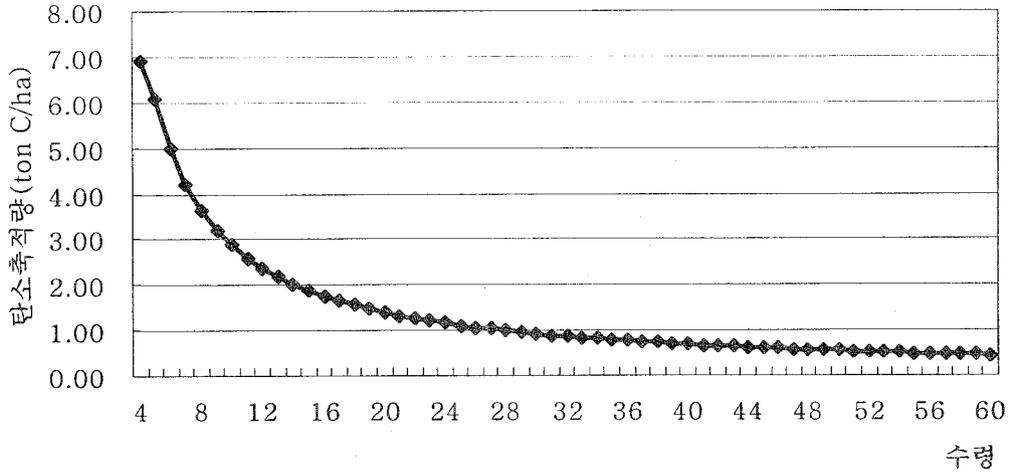
연도	수령	총 탄소축적량	추가적인 탄소 축적량 <sup>1)</sup>
2006	4	6.92	6.92
2010	8	25.81	3.64
2014	12	36.86	2.37
2018	16	44.69	1.76
2022	20	50.77	1.40
2026	24	55.74	1.16
2030	28	59.94	0.99
2034	32	63.58	0.87
2038	36	66.79	0.77
2042	40	69.66	0.69
2046	44	72.26	0.63
2050	48	74.63	0.57
2054	52	76.81	0.53
2058	56	78.83	0.49
2062	60	80.71	0.46

주: 1) 추가적인 탄소 축적량은 기준년도에서 전년도의 총 탄소 축적량을 제한 탄소 축적량임

<그림 25> 잣나무 수령별 총 탄소 축적량



<그림 26> 잣나무 수령에 따른 연도별 추가적인 탄소 축적량



잣나무의 수령에 따른 탄소 축적량 함수를 이용해 연도별 잣나무의 탄소 저장량을 구할 수 있기 때문에, ha당 탄소저감량에 사업면적을 곱한 후 이를 CO<sub>2</sub>단위로 환산<sup>49)</sup>하면 전체 탄소배출권 획득량을 추정할 수 있다. 또한 전체 탄소배출권 획득량에 이산화탄소 톤당 탄소배출권 가격을 곱하면 연도별 LULUCF 사업을 통한 탄소배출권 판매 수익을 구할 수 있다.<sup>50)</sup>

49) C를 CO<sub>2</sub>로 환산하려면 질량의 차이가 발생하므로 44/12를 곱해주어야 함

50) 탄소 배출권을 거래하는 시장은 북미지역 기업들이 자발적으로 거래하는 CCX와 지역 내에서 거래되고 있는 유럽의 EU ETS, 그리고 영국의 UK ETS 등이 있다. 본 논문에서는 현재 존재하는 탄소 배출권 시장 중 거래량이 가장 활발하고 그 영향력이 가장 크다고 할 수 있는 EU ETS의 탄소배출권 시장가격의 예측치를 사용하여 LULUCF 프로젝트로 인한 탄소배출권 판매 수익을 추정하였다. 현재 EU ETS의 탄소 배출권 가격을 기초로 탄소 배출권의 가격을 톤당 \$10과 \$20 두 가지 가격을 가정하였음

<표 58> 연도별 탄소배출권 판매 수익 (대상면적 3만ha 기준)

연도	잣나무수령	총 이산화탄소 저감량 <sup>1)</sup>	판매 수익 (톤당 10\$ 가정)	판매 수익 (톤당 20\$ 가정)
2006	4	761,527	7,615,274	15,230,548
2007	5	668,775	6,687,746	13,375,492
2008	6	546,429	5,464,286	10,928,573
2009	7	461,999	4,619,988	9,239,977
2010	8	400,202	4,002,016	8,004,032
2011	9	353,003	3,530,028	7,060,056
2012	10	315,772	3,157,718	6,315,436
2013	11	285,650	2,856,503	5,713,007
2014	12	260,778	2,607,783	5,215,566
2015	13	239,893	2,398,928	4,797,856
2016	14	222,106	2,221,060	4,442,121
2017	15	206,776	2,067,758	4,135,516
2018	16	193,426	1,934,258	3,868,516
2019	17	181,696	1,816,956	3,633,913
2020	18	171,307	1,713,072	3,426,144
2021	19	162,043	1,620,427	3,240,854
2022	20	153,729	1,537,291	3,074,582
2023	21	146,227	1,462,270	2,924,541
2024	22	139,423	1,394,233	2,788,466
2025	23	133,225	1,332,246	2,664,492
2026	24	127,554	1,275,537	2,551,074
2027	25	122,346	1,223,460	2,446,919
2028	26	117,547	1,175,468	2,350,937
2029	27	113,110	1,131,100	2,262,201
2030	28	108,996	1,089,960	2,179,920
2031	29	105,171	1,051,708	2,103,416
2032	30	101,605	1,016,050	2,032,100
2033	31	98,273	982,731	1,965,461
2034	32	95,153	951,528	1,903,055
2035	33	92,225	922,245	1,844,490
합계		7,085,963	70,859,630	141,719,259

주: 1) ha당 추가적으로 발생하는 탄소 고정량 × 대상사업면적 3만ha × 44/12

<표 59> 연도별 탄소배출권 판매 수익 (대상면적 5만ha 기준)

연도	잣나무수령	총 이산화탄소 저감량 <sup>1)</sup>	판매 수익 (톤당 10\$ 가정)	판매 수익 (톤당 20\$ 가정)
2006	4	1,269,212	12,692,123	25,384,246
2007	5	1,114,624	11,146,244	22,292,487
2008	6	910,714	9,107,144	18,214,288
2009	7	769,998	7,699,981	15,399,961
2010	8	667,003	6,670,027	13,340,053
2011	9	588,338	5,883,380	11,766,761
2012	10	526,286	5,262,863	10,525,726
2013	11	476,084	4,760,839	9,521,678
2014	12	434,631	4,346,305	8,692,611
2015	13	399,821	3,998,213	7,996,427
2016	14	370,177	3,701,767	7,403,535
2017	15	344,626	3,446,263	6,892,526
2018	16	322,376	3,223,764	6,447,527
2019	17	302,826	3,028,260	6,056,521
2020	18	285,512	2,855,120	5,710,240
2021	19	270,071	2,700,712	5,401,424
2022	20	256,215	2,562,151	5,124,303
2023	21	243,712	2,437,117	4,874,235
2024	22	232,372	2,323,721	4,647,443
2025	23	222,041	2,220,410	4,440,820
2026	24	212,590	2,125,895	4,251,791
2027	25	203,910	2,039,099	4,078,199
2028	26	195,911	1,959,114	3,918,228
2029	27	188,517	1,885,167	3,770,334
2030	28	181,660	1,816,600	3,633,200
2031	29	175,285	1,752,847	3,505,693
2032	30	169,342	1,693,416	3,386,833
2033	31	163,788	1,637,884	3,275,769
2034	32	158,588	1,585,879	3,171,758
2035	33	153,708	1,537,075	3,074,150
합계		11,809,938	118,099,383	236,198,765

주: 1) ha당 추가적으로 발생하는 탄소 고정량 × 대상사업면적 5만ha × 44/12

## 나) 잣 판매 편익

전국 잣(피잣) 생산량은 748,000kg이며 그 중 가평균의 생산량은 330,000kg으로 약 45%를 차지하고 있다. 따라서 본 연구에 필요한 잣 판매 편익은 가평균을 기준으로 산출하였다. 가평균의 잣나무 임분 면적은 25,000ha인데 이 가운데 잣 생산이 가능한 III영급 이상의 면적은 약 50% 정도 된다(임업연구원, 1997). 이 중 실제 잣을 수확하는 면적을 약 50%로 추산한 결과 잣 생산면적은 6,250ha로 나타났다. 가평균의 잣(피잣) 생산량은 330,000kg이지만 실제 판매되는 잣(간잣)은 수확된 잣(피잣)으로부터의 수율이 약 25% 정도로 가평균의 잣(간잣) 생산량은 13.2kg/ha로 추산된다.

잣(간잣) 판매가격은 최근 5년간 평균가격인 52,556원을 적용하였다(산림청, 2005). 잣 수확은 보통 잣나무 수령이 15년생 이상일 경우에만 수확이 가능하므로, 본 연구에서는 식재 후 15년 후부터 매년 잣 판매 수익이 발생한다고 가정하였다. 그 결과 농가의 잣 판매 수익은 잣나무 식재 후 15년 뒤 매년 693,739원/ha으로 추산되었다. 따라서 생산조정제 시행 대상 전역에서의 총 수익은 프로젝트 진행 15년 후 대상 사업면적이 3만 ha일 경우 매년 약 208억원, 그리고 5만 ha일 경우 약 347억원이 발생할 것으로 추정된다.<sup>51)</sup>

<표 60> 가평균의 잣 생산량 및 가격

지역	잣(피잣)		잣(간잣)	
	생산량(kg/ha)	가격(원/kg)	생산량(kg/ha)	가격(원/kg)
가평균	52.8	6,820	13.2	52,556

자료: 1) 산림업자원조사보고서, 임업통계연보, 2002

2) 임업통계연보, 산림청, 2005

## 다) 목재판매 수익

LULUCF 프로젝트를 진행하는 기간동안 산림경영의 일환으로 식재한 잣나무 중

51) 계산식은 693,739원/ha×3만 ha = 20,812백만 원, 693,739원×5만 ha = 34,687백만 원

<표 61> 단위면적(ha)당 간벌 수익 산출

임령	ha당 간벌목 재적(m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> 당 원목가격(원)	ha당 간,벌목 수익(원)
20	12.6	111,000	1,398,600
30	15.0	111,000	1,665,000
40	14.6	111,000	1,620,600
50	276.1	117,000	32,303,700
평균	-	-	9,246,975

자료: 산림청, 2000b

일부를 계획에 의거하여 간벌 및 벌채할 수 있으며, 이때 목재 판매수익이 발생한다. 앞 장에서 설명한 바와 같이 일반적으로 산림경영 계획을 통해 조림 후 20년, 30년 그리고 40년 후 3차례에 걸쳐 간벌을 하고 50년에 주벌을 실시할 경우, 목재판매에 따른 수익은 표 61에 제시된 바와 같다. 이때 조림 후 벌채하기까지의 매년 ha당 목재 수익은 9,246,975원으로 나타났다.

### 3) 비용/편익 분석

생산조정제로 인한 휴경지에 LULUCF 프로젝트를 시행할 경우, 비용 및 편익은 30년에 걸쳐 발생하게 되므로 각 비용 편익들은 2005년도를 기준으로 현재가치화 하는 작업이 필요하다. 이를 통해 프로젝트의 타당성을 검토해 볼 수 있다. 비용/편익 분석에는 4%, 5% 및 6%의 3가지 할인율을 가정하여 현재가치로 환산하였다. 대상면적이 각각 3만 ha와 5만 ha의 경우의 사업가치를 표 62부터 표73까지 정리하였다.

<표 62> 비용편익분석(할인율 4%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10 가정)

비용		편익	
조립비용	82,062백만 원	배출권 편익	53,002백만 원
잣 생산비용	87,750백만 원	잣 판매 편익	227,249백만 원
산림경영 및 간벌비용	167,699백만 원	목재판매편익	181,042백만 원
총 비용	337,511백만 원	총 편익	461,293백만 원

<표 63> 비용편익분석(할인을 4%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20 가정)

비용		편익	
조립비용	82,062백만 원	배출권 편익	106,004백만 원
잣 생산비용	87,750백만 원	잣 판매 편익	227,249백만 원
산림경영 및 간벌비용	167,699백만 원	목재판매편익	181,042백만 원
총 비용	337,511백만 원	총 편익	514,295백만 원

<표 64> 비용편익분석(할인을 4%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10 가정)

비용		편익	
조립비용	136,770백만 원	배출권 편익	88,337백만 원
잣 생산비용	146,250백만 원	잣 판매 편익	378,749백만 원
산림경영 및 간벌비용	279,498백만 원	목재판매편익	301,737백만 원
총 비용	562,518백만 원	총 편익	768,823백만 원

<표 65> 비용편익분석(할인을 4%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20 가정)

비용		편익	
조립비용	136,770백만 원	배출권 편익	176,674백만 원
잣 생산비용	146,250백만 원	잣 판매 편익	378,749백만 원
산림경영 및 간벌비용	279,498백만 원	목재판매편익	301,737백만 원
총 비용	562,518백만 원	총 편익	857,160백만 원

<표 66> 비용편익분석(할인을 5%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10 가정)

비용		편익	
조립비용	81,280백만 원	배출권 편익	48,561백만 원
잣 생산비용	67,163백만 원	잣 판매 편익	173,933백만 원
산림경영 및 간벌비용	125,999백만 원	목재판매편익	118,787백만 원
총 비용	274,442백만 원	총 편익	341,281백만 원

<표 67> 비용편익분석(할인율 5%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20 가정)

비용		편익	
조립비용	81,280백만 원	배출권 편익	97,122백만 원
잣 생산비용	67,163백만 원	잣 판매 편익	173,933백만 원
산림경영 및 간벌비용	125,999백만 원	목재판매편익	118,787백만 원
총 비용	274,442백만 원	총 편익	389,842백만 원

<표 68> 비용편익분석(할인율 5%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10 가정)

비용		편익	
조립비용	135,467백만 원	배출권 편익	80,935백만 원
잣 생산비용	111,938백만 원	잣 판매 편익	289,889백만 원
산림경영 및 간벌비용	209,998백만 원	목재판매편익	197,978백만 원
총 비용	457,403백만 원	총 편익	568,802백만 원

<표 69> 비용편익분석(할인율 5%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20 가정)

비용		편익	
조립비용	135,467백만 원	배출권 편익	161,870백만 원
잣 생산비용	111,938백만 원	잣 판매 편익	289,889백만 원
산림경영 및 간벌비용	209,998백만 원	목재판매편익	197,978백만 원
총 비용	457,403백만 원	총 편익	649,737백만 원

<표 70> 비용편익분석(할인율 6%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10 가정)

비용		편익	
조립비용	80,514백만 원	배출권 편익	44,874백만 원
잣 생산비용	51,971백만 원	잣 판매 편익	134,590백만 원
산림경영 및 간벌비용	98,557백만 원	목재판매편익	79,118백만 원
총 비용	231,042백만 원	총 편익	258,582백만 원

<표 71> 비용편익분석(할인율 6%, 대상면적 3만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20 가정)

비용		편익	
조립비용	80,514백만 원	배출권 편익	89,747백만 원
잣 생산비용	51,971백만 원	잣 판매 편익	134,590백만 원
산림경영 및 간벌비용	98,557백만 원	목재판매편익	79,118백만 원
총 비용	231,042백만 원	총 편익	303,455백만 원

<표 72> 비용편익분석(할인율 6%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$10 가정)

비용		편익	
조립비용	134,189백만 원	배출권 편익	74,789백만 원
잣 생산비용	86,618백만 원	잣 판매 편익	224,316백만 원
산림경영 및 간벌비용	164,262백만 원	목재판매편익	131,863백만 원
총 비용	385,069백만 원	총 편익	430,968백만 원

<표 73> 비용편익분석(할인율 6%, 대상면적 5만ha, 탄소배출권 가격 톤당 \$20 가정)

비용		편익	
조립비용	134,189백만 원	배출권 편익	149,578백만 원
잣 생산비용	86,618백만 원	잣 판매 편익	224,316백만 원
산림경영 및 간벌비용	164,262백만 원	목재판매편익	131,863백만 원
총 비용	385,069백만 원	총 편익	505,757백만 원

분석결과 모든 경우에 있어서 현재가치로 환산된 순익은 여러 시나리오 하에서 50년에 걸쳐 최소 27,540백만 원에서 최대 294,642백만 원이 발생하는 것으로 추정되었다. 따라서 LULUCF 프로젝트를 통한 휴경지 이용은 타당한 사업이라고 평가할 수 있으며, 이를 통해 생산조정제의 예산을 절감하거나 대상 농가의 소득을 증가시킬 수 있다. 그러나 휴경지에 LULUCF 프로젝트를 도입하여 잣나무를 식재할 경우 프로젝트의 대상 농토는 사업 진행기간 동안 농업 활동에 사용할 수 없게 된다. 따라서 이 사업은 생산과잉 기조를 장기적으로 해소하는 측면에서 보다 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

#### 다. 유채 재배를 통한 휴경지 이용

본 절에서는 국내외 바이오디젤 생산 현황을 살펴보고, 생산조정제의 실시에 따른 휴경지에 바이오디젤 생산을 위한 유채를 재배할 경우의 수익성을 분석한다. 특히 바이오디젤의 사용은 이산화탄소 배출을 하는 화석연료를 대체함으로써 탄소저감에 따른 크레딧을 확보할 수 있다. 따라서 휴경지에 유채를 재배할 경우 유채를 이용하여 바이오디젤을 생산함과 동시에 탄소배출권 수익 또한 창출할 수 있다. 유채 재배는 사회적 필요에 따라 해당 농토를 언제든지 다시 농지로 사용할 수 있으므로 LULUCF 프로젝트 보다 좀 더 유연한 휴경지 이용 대책이라 할 수 있다.

##### 1) 해외 바이오디젤 현황 및 정책

바이오에너지란 곡물자원을 원료로 에탄올이나 바이오디젤을 제조하여 휘발유나 경유 대신 사용할 수 있는 식물성 에너지로 정의된다. 특히 바이오디젤의 경우 연료생산 원료로 대두유, 유채유, 야자유, 미강유, 해바라기유, 폐식용유 등의 식물성 유지가 사용된다. 바이오디젤은 환경친화적 에너지로서 이산화탄소 배출 비중이 낮아 친환경적 에너지로 일컬어진다. 또한 경유와 물리화학적 성질이 비슷하므로, 기존의 경유 차량을 개조하지 않고 그대로 사용할 수 있다. 실제 유럽을 비롯한 여러 국가에서 바이오디젤과 경유를 혼합하여 사용하고 있다.

바이오디젤의 차량용 연료보급 현황을 보면, 유럽에서는 1990년대 초 프랑스에서 처음 버스 및 트럭용 연료로써 바이오디젤을 사용한 이래로 독일, 스웨덴, 벨기에, 이탈리아 등지에서 바이오디젤에 적합하도록 개조한 차량에 100% 바이오디젤을 사용하였고, 일반 경유차량의 경우 30% 이내의 바이오디젤을 경유와 혼합하여 사용하고 있다(표 74).<sup>52)</sup>

바이오디젤 사업은 표면적으로 친환경 에너지를 생산하는 사업이지만 농업보조정책으로도 중요한 의미를 가진다. EU의 경우 휴경지에 디젤용 유채꽃을 재배하여 유채 판매수입과 별도로 CAP(공동농업정책) 보조금 276~429유로/ha을 지불하고 있다. 미국은 바이오디젤에 갠런 당 \$0.35의 수입세를 부과함으로써 국내 바이오디젤 원료농산물 생산자를 보호

52) 유럽에서 바이오디젤이 활발하게 이용되는 가장 큰 원인은 정부의 면세 지원 때문이다

<표 74> 유럽의 바이오디젤 보급 현황 및 정책

국가	사용방식	사용차량	정책적 지원	기타
프랑스	BD30	도심버스, 관용차량, 대형트럭	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바이오디젤 면세</li> <li>· 공공기관 및 시내버스 항산소 연료사용 의무화</li> <li>· 도시지역 30% 바이오디젤 사용 의무화</li> </ul>	면세액 (414원/리터)
	BD30 (+ULSD)	대도시버스		
	BD3	도심주변 일반차량		
독일	BD100	도심버스	· 바이오디젤 면세	면세액 (432원/리터)
	BD5	도심주변 일반차량		
스웨덴	BD5~BD30	도심버스, 대형트럭	· 바이오디젤 면세	
벨기에	BD20	도심버스	· 바이오디젤 면세	
이탈리아	BD100	도심버스, 대형트럭	· 바이오디젤 면세	면세액 (420원/리터)
	BD30	도심버스		
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2005년까지 총에너지의 5%, 2010년까지 12%를 바이오에너지로 대체</li> <li>· 2010년까지 액체 바이오연료(바이오디젤 70-80%, 바이오알콜 20-30%) 1억8천만 톤 보급 계획</li> </ul>			

자료: 바이오디젤의 대기환경 개선효과 및 국내의 보급현황, 한국에너지기술연구원, 2005

하고 있다. 바이오디젤을 전략 에너지원으로 중시하는 많은 나라들은 바이오디젤 무역에 여러 가지 형태의 제약을 부과함으로써 국내 원료농산물 생산자를 보호하거나 보조를 하고 있다.

유럽국가 중 독일은 바이오디젤을 가장 적극적으로 활용하고 있는 나라이다. 독일 정부는 바이오디젤에 대해 화석연료세 또는 환경세를 면세함으로써 바이오디젤 가격이 경유에 비해 상대적인 가격경쟁력을 확보하게 한다. 1993년 독일에서의 바이오디젤 판매량은 1만 톤에 불과했으나, 2002년에는 55만 톤까지 증가하였고 2010년에는 179만 톤까지 확대될 전망이다. 프랑스와 이탈리아에서도 연간 50만 톤과 40만 톤의 바이오디젤이 판매되고 있다. 미국의 경우에도 바이오디젤 판매량이 1999년 189만 리터에서 2001년 1,893만 리터, 2003년에 9,463만 리터로 급증하고 있다(표 75).

<표 75> 각국의 연도별 바이오디젤 판매 추이

(단위: 천 톤)

	독일	프랑스	이탈리아	오스트리아	덴마크	영국	스웨덴
2002	450	366	210	25	10	3	1
2003	1,025	500	420	50	40	5	2
2004	1,088	502	419	100	44	15	8

자료: www.neoenergy.co.kr

앞에서 살펴본 바와 같이, 세계 각국은 화석연료의 대체 연료로 바이오에너지를 적극 개발하여 사용하고 있다. 한국에서는 바이오에너지 활용에 있어서 바이오디젤의 차량용 연료를 시범 보급하는 초기 단계에 있다. 바이오디젤은 정유사업과 달리 대규모 자본과 고도의 기술이 필요하지 않기 때문에 유채를 원료로 농가 및 마을 단위로 손쉽게 생산할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 유향 농지를 활용하여 유채를 재배하고 이를 이용하여 바이오디젤을 생산할 경우 농가소득 증대 및 사회후생 증대를 도모할 수 있을 것이다. 그러나 외국의 사례에서 보는 바와 같이 바이오디젤 사업이 성공적으로 정착하기 위해서는 세제감면과 보조금 지원, 바이오디젤 사용의 의무화 등 정부의 제도적, 재정적 지원이 필수적이다.

## 2) 국내 유채 재배현황 및 바이오에너지 관련 정책

국내 유채 생산은 제주도를 중심으로 경관용으로 재배되고 있으며, 2004년에는 1,148ha의 면적에서 1,392톤이 생산된 것으로 추정되고 있다. 유채 재배면적 확대를 저해하는 문제점으로는 i) 다수확성 F1 종자 보급 체계 미비확대의 문제; ii) 생산비 절감을 위한 생력화 기술 및 기계 개발의 부진; iii) 표준 재배법 등의 연구 미비; iv) 유채의 저장 유통시스템이 미비한 점을 들 수 있다.

현재 국무조정실의 기후변화협약대책위원회에서는 바이오에너지 사업을 핵심 정책으로 추진하고 있으며, 각 행정부처의 참여와 지원을 독려하고 있다. 산업자원부는 바이오에너지의 개발과 보급 정책을 추진하고 있으며, 바이오디젤 제조기술을 신기술로 인정하고 시범 보급사업을 확대할 계획에 있다. 농림부도 과기부 등과 함께 농·임산물 및 부산물을 이용

<표 76> 작물별 바이오에너지 생산 추정량 (단위: 톤/ha)

작물	단수	바이오에너지	비고
유채	4	1.6	겨울작물
참깨	0.34	0.2	
땅콩	1.7	0.8	
콩	1.3	0.3	
옥수수	4.1	2	바이오알콜
돼지감자	20	2	

자료: 바이오디젤용 유채 관련 기술 및 정책개발 계획, 농림부(2005)

하는 바이오에너지 기술개발을 추진하고 있다.<sup>53)</sup> 또한 원료유로 공급 가능한 국내 유채종자 개량과 기계화를 위한 기초연구를 추진하고 있다.

### 3) 유채 재배를 통한 경제적 편익 추정

휴경지에 바이오디젤용으로 유채를 재배할 경우, 새로운 농가소득원 개발은 물론 안정적인 연료공급 기반구축, 교토의정서에 따른 온실가스 감축의무 이행, 신산업 육성을 통한 국가경제 활성화, 고용창출 등의 긍정적 효과를 기대할 수 있다. 본 절에서는 유채재배를 통해 얻을 수 있는 바이오디젤 생산과 탄소배출권 크레딧을 통한 소득을 추정하였다.

#### 가) 유채 생산을 통한 편익

표 76에서 보는 바와 같이 농림부는 ha 당 4톤의 유채생산을 계획하고 있다. 그러나 이는 여타 주요 생산국에 비해 매우 높은 수준이다. 외국의 유채 단수는 국가에 따라 매우 다르다. 캐나다와 같이 조방적인 농업을 위주로 하는 국가에서는 15톤 정도로 대두의 2.5~2.8톤에 비해 낮지만, EU 지역은 기후와 기술, 영농형태 등의 요인으로 3톤 정도를 생산하고 있다(표 77). 이는 현재 1.2톤 정도에 머물고 있는 제주지역의 단수에 비해 매우 높은 수준으로, 향후 종자개량과 기계화 등 집중적인 투자가 이루어진다면 우리의 단수도 EU의

53) 바이오에너지 개발에 대한 연구(2005, 농진청)

<표 77> 세계 주요국가의 유채 및 대두 단수 비교 (단위: 톤/ha)

	1999/00-2003/04 평균	2004/05 (잠정치)	2005/06 (추정치)
유 채			
유럽연합	2.83	3.40	3.07
인도	0.86	1.01	0.94
캐나다	1.45	1.56	1.50
기타	1.13	1.22	1.13
전체 평균	1.54	1.79	1.62
대 두			
아르헨티나	2.66	2.71	2.65
브라질	2.72	2.23	2.70
유럽연합	3.17	2.89	2.52
파라과이	2.61	1.90	2.40
미국	2.56	2.86	2.60
기타	1.10	1.21	1.26
전체 평균	2.28	2.31	2.34

자료: Counselor and Attache Reports Official Statistics, USDA FAS

수준으로 높일 수 있을 것으로 전망된다. 이 경우 국제 유채가격이 대체재인 대두에 비해 약 5~10%의 프리미엄을 보이는 것을 감안하면 경제성이 높다고 할 수 있다.

따라서 휴경지에 유채를 재배할 경우, 휴경면적이 3만 ha 일 때 90,000톤(= 3톤 × 3만 ha), 5만 ha일 경우에는 연간 150,000톤의 유채를 생산할 수 있을 것으로 추정된다. 톤당 290달러<sup>54)</sup>의 국제시장가격을 적용하면 전체 휴경면적으로부터 2천 6백만 달러(260억 원)에서 4천 3백만 달러(430억 원)의 조수입을 매년 창출할 수 있을 것으로 추정된다.<sup>55)</sup>

#### 나) 탄소배출권 획득을 통한 편익

54) 유채 국제가격은 2003-4년 평균이 317달러, 2004-5년 평균이 262달러이다. 여기에서는 2년 평균가격인 290달러를 적용하였음

55) 780억 원의 재정이 소요된 실제 생산조정제 대상면적 26천 ha를 기준으로 하면, 유채 78천 톤 x 290불 = 2천 3백만 불 규모로서 적지 않은 금액임

유채를 재배하여 바이오디젤을 생산할 경우에는 판매 수익 뿐 아니라 탄소배출권 또한 획득할 수 있게 된다. 바이오디젤은 1톤을 사용할 경우 3톤의 CO<sub>2</sub>를 저감하는 효과를 얻을 수 있으며<sup>56)</sup>, 바이오디젤 1톤 생산을 위해 0.924ha의 경작지가 필요하다. 따라서 휴경지가 3만 ha일 경우 매년 생산할 수 있는 바이오디젤 양은 32,460톤이며, 바이오디젤 프로젝트를 통해 연간 97,380 tCO<sub>2</sub>(= 32,460 톤 × 3 tCO<sub>2</sub>/톤)의 탄소배출권을 획득할 수 있게 된다. 휴경면적이 5만 ha로 증대될 경우 탄소배출권 획득 물량은 162,300톤으로 증가한다. 이는 국제배출권 가격 톤당 10달러와 20달러를 가정할 경우, 탄소배출권 획득으로 인한 수익은 9만 달러(약 10억 원)에서 325만 달러(약 33억 원)의 추가 소득을 얻을 수 있다.

### 제3절 농업정책과 연계된 CDM 사업의 시행 절차

#### 1. CDM 사업의 등록 체계

에너지관리공단은 CDM 사업을 통해 얻어지는 배출저감량, 즉 크레딧(credit)을 관리하는 국가등록시스템(Registration system)을 구축하기 위해 「온실가스 감축실적 등록체계」 사업을 추진하고 있다. 온실가스 감축사업을 통한 크레딧을 인증받기 위해서는 등록체계에 따라 사업을 시행하여야 한다. 그림 27에서 보는 바와 같이, 사업 시작단계에서부터 타당성확인, 등록, 모니터링, 검증 및 인증까지 정해진 절차와 기준을 따라야 한다.

##### 가. 온실가스 감축사업 계획서 작성 및 사업신청

사업자는 온실가스 감축사업을 시행하기 위하여 우선 사업계획서(project design document: PDD)를 작성해야 한다. 사업계획서에는 사업 개요를 포함하여 온실가스 배출저감량에 대해 분명하고 실현가능한 방향으로 설명되어야 한다. 즉 사업이 시행되지 않았을 경우의 베이스라인(Baseline) 배출량, 사업 시행으로 인한 온실가스 배출

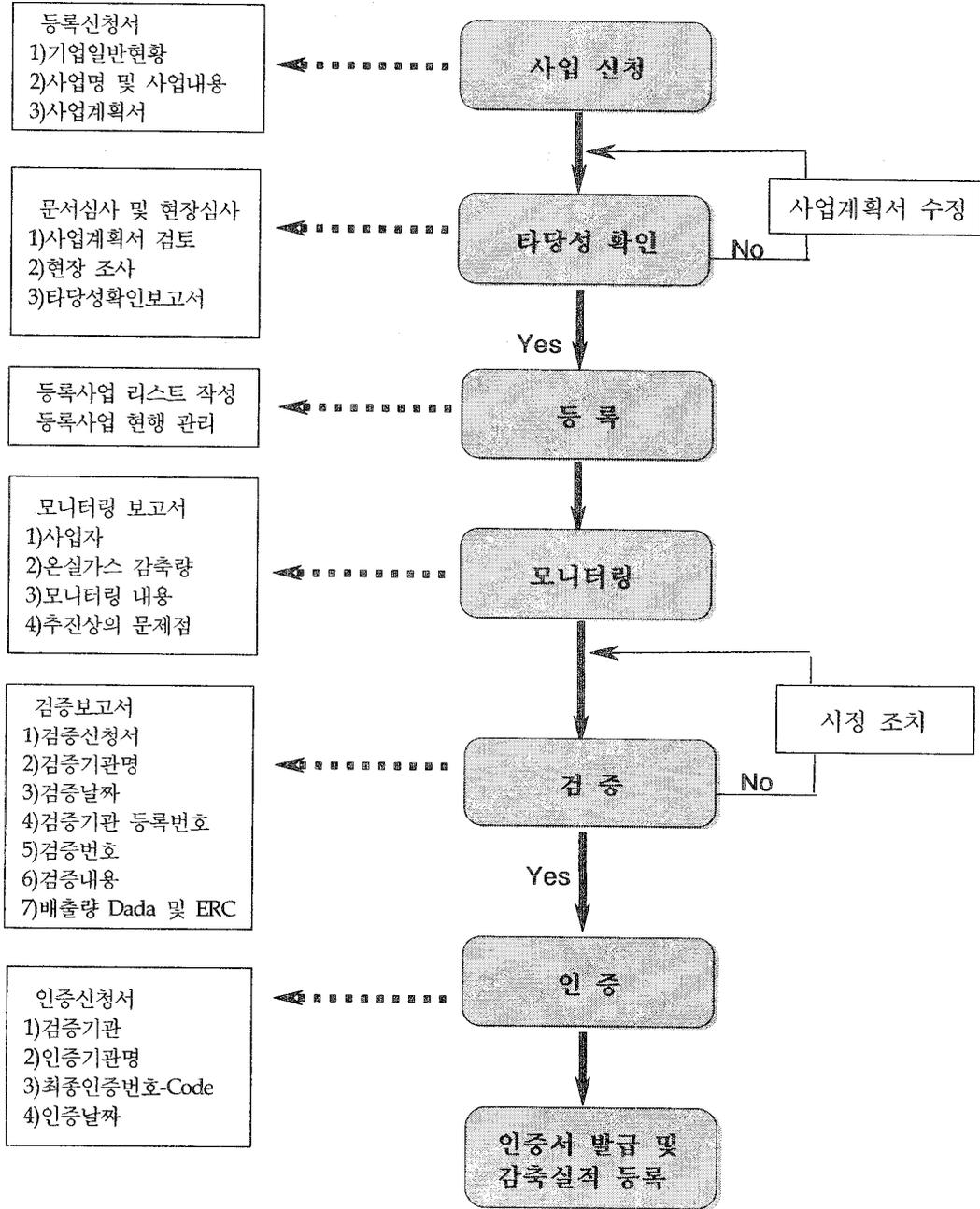
56) CDM EB에서 검토 중인 NM0108 방법론에 따르면 바이오디젤 프로젝트는 연간 8,910톤의 바이오디젤을 생산하며, 이로부터 연간 26,792톤의 CO<sub>2</sub> 배출량을 저감시키는 효과를 창출한다고 제시하고 있다. 이 방법론에 대한 PDD는 부록 3에 요약되어 있음

량 및 감축량 산출, 그리고 이 배출량에 대한 모니터링 계획 등을 상세하게 설명하여야 한다. PDD는 실사업자가 CDM 전문 컨설턴트인 사업개발자(Project Developer)에 의뢰하여 작성한다. 작성된 PDD는 각국의 DOE(Designated Operational Entity)를 거쳐 UNFCCC의 CDM 전담기구인 EB(Executive Board: EB)에 제출된다.

#### 나. 사업타당성(validation) 및 등록(registration)

작성된 사업계획서는 DOE(또는 한국의 경우 에너지관리공단)에 제출하면 DOE는 사업계획서를 토대로 사업의 타당성을 확인하여 사업을 승인 또는 반려한다. 승인된 사업에 대하여는 고유번호가 부여되며, 이후 사업종료까지 사업에 대한 지속적인 관리 및 보고체계가 유지되도록 등록하여 관리한다. 타당성 확인단계에서는 사업계획서 뿐만 아니라 필요시 사업이 시행될 해당 사업장 방문 및 관련 당사자와의 인터뷰를 통해 사업이 온실가스 감축사업 요건을 충족하는지 즉 온실가스 감축효과가 있는지, 배출량 산출근거와 사용된 방법론은 적절한지, 그리고 배출량에 대한 모니터링 계획은 해당 사업에 적합한지 등을 평가한다.

<그림 27> CDM 등록체계 운영 절차



자료: 온실가스 감축량 인증 신청을 위한 사업계획서 작성 지침서, 에너지관리공단

#### 다. 사업추진 및 모니터링(monitoring)

사업장에서는 승인된 사업계획서에 따라 사업을 추진하고 미리 정해진 모니터링 계획에 따라 온실가스 배출량을 모니터링하고, 정해진 서식을 이용하여 정기적으로 모니터링 보고서를 결정된 제3자 검증기관에 제출하여야 한다. 이 모니터링 보고서에는 온실가스 감축활동 이행 현장의 데이터를 근거로 하여 산출된 온실가스 감축량이 포함되어야 한다.

#### 라. 검증(verification) 및 인증(certification)

모니터링 보고서를 통해 사업자가 주장하는 감축량은 그 정확성에 대하여 제3자 검증기관으로부터 검증을 받아야 한다. 정부(또는 공단)는 검증받은 실적을 최종적인 감축량으로 인증하고 소유권에 대한 내용과 함께 국가 온실가스 인증실적을 관리하는 등기부(register)에 등록한다. 그리고 각 인증실적에 대한 소유권의 변동내역(log)이 추적될 수 있도록 등기부를 관리한다.

CDM 사업을 통해 인증된 배출저감량을 CER(certified emission reduction)이라고 하며, 이것이 궁극적으로 거래대상이 된다. CER은 매년 사업의 모니터링과 검증과정을 거쳐 발부된다.

## 2. 사업주체 선정

농업정책과 연계된 CDM 사업을 수신하기 위해서는 다양한 주체들이 관련되어 있다. 전체 사업을 총괄할 수 있는 정책부서, 실제 사업을 실행하는 주체, 그리고 실사업자를 대신하여 사업을 기획하고 배출권 등록절차를 대행하는 사업개발자(project developer)가 필요하다.

#### 가. 정책 주관부서

정책 주관부서의 역할은 정책의 목표에 부합하는 사업을 선정하여 사업내용을 조율하며, 생성된 탄소배출권을 실사업자에게 분배하는 등 전체 사업을 총괄하여야 한다. 농업과 연계된 사업은 그 규모나 사업의 성격 상 개별 경제주체 단위로 시행하기 보다는 마을이나 소규모 생산자집단, 또는 조합 등 여러 개별주체들을 통합한 형태로 운영되어야 할 것이다.<sup>57)</sup> 따라서 이들 개별주체들의 이해관계나 갈등을 조율하고 정책 목표를 달성하는 것이 중요한 역할이 될 것이다. 또한 주관부서는 정부 내 여러 관련 부서로부터의 행정적, 제도적 지원을 이끌어내고, 대외 홍보 및 교육 등의 역할도 수행할 수 있어야 하며, 이해 당사자간 분쟁이 발생했을 경우 이를 조정하는 역할도 중요할 것이다.

배출권거래제를 활용한 CDM 사업과 조건불리지역직불제의 연계는 농림부가 총괄 주관하고 각 지방자치단체 또는 농협이 관리하는 방식을 고려할 수 있을 것이다. 이는 조건불리지역직불제의 예산과 총괄을 농림부가 책임지고, 시행주체는 기초지방자치단체가 되기 때문이다. 그러나 사업의 성격이나 구성원에 따라서는 지역농협이나 농협지역본부가 관리하는 것도 가능할 것이다.

한편 CDM 사업과 생산조정제와의 연계는 농림부의 소득정책을 총괄하는 「농가소득안정추진단」이 관리하는 것이 적절할 것이다. 이는 생산조정제가 쌀의 수급문제를 접근하기 위한 정책이지만 CDM 사업과 연계될 경우 수급조절과 함께 WTO 규정과 합치할 수 있는 소득지원사업이 된다. 따라서 농가소득안정 정책을 총괄하는 부서에서 여타 소득안정 정책과의 보완과 조화를 이룰 수 있도록 운영하는 것이 필요하다.

#### 나. 실사업자

조건불리지역직불제와 연계된 CDM 사업의 실사업자는 직불제 대상지역(주민)이 될 것이다. 생산조정제와 연계된 사업의 실사업자는 정책대상 농가가 된다. 이들 실사업자들은 사업을 통한 각자의 권리와 책임을 부여받아 실행해야 한다. 이 경우 권리는 해당 정책의 수혜와 생성된 배출권에 대한 법률적 권한을 의미한다. 책임은 직불

---

57) 예를 들면 미국의 아이오아농업사무소(Iowa Farm Bureau)는 농민과 지역주민 가족으로 이루어진 15만여 회원을 거느린 민간단체로 CCX에 오프셋을 공급(offset aggregator)하는 참여회원(participant member)으로 등록되어 있음 (<http://www.iowafarmbureau.com>)

사업에서 요구하는 의무와 CDM 사업이 계획한 대로 실행될 수 있도록 하는 책임을 의미한다.

#### 다. 사업개발자

사업개발자(PD)는 실사업자를 대신하여 CDM 사업이 실제로 배출권을 생성할 수 있도록 기획하고 제안서를 작성하여 인증을 받고, 실제 사업에 대한 모니터링과 크레딧을 확보하여 시장에서 현금화하는 일을 한다. 현재 국내에서는 (주)에코아이, (주)엑서지엔지니어링, (주)에코시안 등의 컨설팅 회사가 있다(표 77). 이 중 (주)에코아이가 담당하고 있는 강원풍력발전단지과 영덕풍력발전단지는 타당성(validation) 확인 단계에 있으며, 시화조력발전과 음식물폐기물처리 등의 사업은 사업계획서 작성 중에 있는 실적을 가지고 있다. 정책과 연계된 CDM 사업에는 특히 규모가 크고, 여러 주체를 통합한 사업을 추진한 경험을 가진 사업개발자가 필요할 것이다.

### 3. 사업추진 방식

농업정책과 CDM 사업의 연계는 권리와 의무의 적절한 조화가 있을 때 성공적으로 추진될 수 있다. 실사업자에 대해 책임을 지우는 방식으로는 조건불리지역직불의 경우 각 지역에 맞는 CDM 사업을 의무화하거나 사업을 통해 얻는 배출권을 인센티브로 제공하는 방안이 있을 것이다. CDM 사업의 의무화는 연계된 정책의 명분이나 대외 이미지를 높일 수 있는 장점이 있지만, 각 지역에 적합한 사업을 찾기 어려운 경우에는 적용하기 어렵고, 정책 수혜대상의 반발도 예상할 수 있다. 따라서 사업을 통해 얻는 배출권을 수혜대상에게 인센티브로 제공하면 정책 예산을 절감하거나, 정책 수혜금액을 확대하는데 사용할 수 있을 것이다.

생산조정제와 연계된 사업의 경우는 휴경 대신 해당 품목의 생산을 의무화하거나 휴경과 해당 품목의 생산 중 선택하게 할 수 있을 것이다. 그러나 정책의 효과를 높이고 CDM 사업성을 제고시키기 위해서는 의무화하는 방안이 바람직 할 것이다. 특히 LULUCF를 통한 조림의 경우 장기에 걸친 수익구조로 인하여 휴경을 선호하는 경우가 더 많을 수 있다. 이 경우 전체 사업의 효과가 감소하고 대외 명분도 적어질 수 있기 때문에 의

<표 78> 국내 CDM 사업 주요 컨설팅 3사 소개

	(주)에코아이	(주)엑서지엔지니어링	(주)에코시안
주소	경기도 성남시 구미동 153 로드랜드빌딩 607호	경기도 안양시 동안구 관양동 1454-7 대하빌딩 4층	서울시 구로구 구로3동 184-1 우림e-biz 센터II 613호
Homepage	www.ecoeye.com	www.exergy.co.kr	www.ecosian.com
연락처	전화 031-716-2108 팩스 031-716-1848	전화 031-425-7815 팩스 031-425-4818	전화 02-890-7560 팩스 02-890-7562
대표자	정재수	박명호	은종환
사업분야	CDM사업, 온실가스배출량 검증 통합환경경영시스템, 통합VE, 그린마케팅	에너지 진단사업, 기후변화협약 대응 ESCO 사업	clean technology, information technology, 환경경영 컨설팅
조직구성	CDM 사업팀 통합환경경영팀 LCC/VE팀 그린마케팅팀 LCA전과정평가연구소	기술연구소 에너지사업본부 기획실	개발1팀 개발2팀 환경경영지원팀
관련실적	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2005년, 강원풍력발전 CDM 사업(유니슨)</li> <li>· 2005년, 영덕풍력발전 CDM 사업(유니슨)</li> <li>· 2005년, 음식폐기물 처리시설 CDM 사업 (서희건설)</li> <li>· 2004년, 온실가스배출 원별 배출량 산정 및 등록시스템 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2005년, 온실가스감축 사업 등록체계 개발 과제(산업자원부)</li> <li>· 2004년, 베이스라인 설정지침서(안)마련 (에너지관리공단)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2005년, 온실가스감축 사업 등록체계 개발 과제(산업자원부)</li> <li>· 2003년, 지구온난화 가스배출량 산정 프로그램 개발</li> </ul>
담당자 및 연락처	임송택 017-280-4516	박명호 031-425-7815	황태연 011-9138-4840

자료: 각 컨설팅 사 내부자료

무화가 필요할 것이다.

주어진 책임을 회피하는 경우 이에 대한 제재 방안과 사업으로 인해 얻어진 배출권의 배분과 처리에 대한 방안도 사전에 다양한 각도에서 검토되어야 한다. 구체적인 시행방식은 정책의 목표와 사업내용, 참가대상 등에 따라 달라질 수 있다. 향후 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요하다.

## 제6장 결 론

2005년 2월 교토의정서가 공식적으로 발효되면서 국제배출권시장이 본격적으로 가동되기 시작하였다. 이는 탄소배출의 저감의무를 지는 부속서 I 국가에 속한 온실가스의 대규모 배출산업(large emission industry)은 기술개발을 통해 배출량을 저감하거나 그것이 여의치 않은 경우 국내 여타 기업이나 외국에서 확보된 저감량을 구매하여 의무를 이행하여야 한다. 만약 그렇지 못할 경우 이산화탄소 톤당 40유로(2008~2012년에는 100유로)의 벌금을 납부해야 한다. 그러나 작금의 여건은 배출권에 대한 수요에 비해 공급이 매우 부족하여 배출저감의무를 지는 업계의 경제적 부담이 매우 클 것을 우려한다. 이에 대한 대책으로 허용된 것이 프로젝트를 통한 배출저감량(project-based credit)의 거래이다. 즉 해외 CDM/JI 사업에 투자하여 크레딧을 확보하거나, 또는 국제시장에서 크레딧을 구매할 수 있다. 이에 따라 전 세계적으로 개도국의 CDM 사업에 대한 투자가 급증하고 있다.

교토의정서에 개발도상국 자격으로 가입한 한국은 2008년부터 시작하는 1차 의무기간 동안 온실가스 저감의무를 면제받았지만, 2013년부터 시작되는 2차 의무기간에는 온실가스를 상당 폭 감축해야 하는 부담을 지고 있다. 이에 따라 정부에서는 해당 주요업계의 기술개발 등을 통한 적극적인 대처를 유도하는 한편, 배출권거래제의 도입을 통하여 보다 비용효율적으로 의무를 질 수 있는 방안을 추진하고 있다.

온실가스의 배출원이자 흡수원인 농업은 교토의정서 하에서 여타 산업과 함께 저감에 대한 책임과 함께 경제적 기회로 활용할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 한국 농업도 이러한 기회를 활용하여 대내외적으로 어려운 여건에 있는 상황을 타파해가는 전략을 적극적으로 추진하여야 한다.

본 연구에서는 교토의정서의 발효와 함께 새롭게 등장한 탄소배출권시장을 활용하여 한국농업의 어려운 여건을 개선하고 새로운 기회로 활용할 수 있는 방안을 모색해 보았다. 특히 CDM 사업의 농업정책과의 연계는 향후 다가올 교토의정서 상의 국가의 부분담에 기여하고, 친환경사업을 통하여 새로운 가치를 창출함으로써 농업과 농업정책에 대한 대내외적 비난과 압력을 해소시킬 수 있으며, 추가적인 경제적 가치를 창

출하여 농업소득 증대에 기여할 수 있다는 점에서 중요하다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

i. 생태계 탄소순환 모델인 CENTURY 모형을 이용하여 작부체계별 토양유기탄소 저장량을 추정하고, 온실가스의 배출원으로서만 인식되고 있는 논외 온실가스 고정량과 배출량을 추정하여 순배출량을 계산하였다. 그 결과 논은 연간 온실가스 배출량이 -13,744 tCO<sub>2e</sub>로서 온실가스의 배출원이 아니라 흡수원임을 보였다. 이는 향후 논과 관련한 직불사업의 명분으로 이용될 수 있으며, 직불제 단가 산정 등에 있어 중요한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

ii. LULUCF의 일환인 조림사업을 통한 탄소고정량의 경제성 평가를 위해 주요 수종을 대상으로 탄소고정량을 추정하였고 이를 바탕으로 조림사업의 가치를 평가하였다. 이 결과는 특히 농업직불정책인 조건불리지역직불제나 생산조정제와 연계할 경우 추가적으로 지원할 수 있는 소득규모를 산정하는데 활용할 수 있다.

iii. 조건불리지역직불제와 연계한 조림 및 재조림사업의 경우 총 349천 ha의 한계농지와 무렵목지에서 연간 34만9천 톤의 탄소배출권을 확보할 수 있는 것으로 추정되었다. 이는 CO<sub>2</sub> 톤당 \$10의 경우 35억원, \$20의 경우 약 70억원의 경제적 가치를 의미한다.

iv. CDM 사업을 생산조정제와 연계할 수 있는 방안으로 휴경지에 잣나무 조림과 바이오디젤 생산을 위한 유채생산의 경우를 가정하여 경제적 가치를 추정하였다. 잣나무 조림의 경우 여러 시나리오 하에서 50년에 걸쳐 27,540~294,642백만 원의 순익이 발생하는 것으로 추정되었다. 탄소배출권 가격을 보수적으로 가정한 것과 향후 시장의 활성화로 배출권가격이 상승할 것을 고려한다면 이 사업의 중요성은 여전히 큰 것으로 판단된다. 유채생산의 경우 휴경면적에 따라 연간 90,000톤에서 150,000톤의 유채 생산을 할 수 있으며, 톤당 290달러의 유채 시장가격을 적용할 경우 대략 260억 원에서 430억원의 조수입을 매년 창출할 수 있다. 이와 함께 바이오디젤 생산을 통해 획득한 탄소배출권은 배출권의 시장가격에 따라 약 10억 원에서 33억 원의 가치가 되는 것으로 추정되었다.

v. 현재 진행 중인 CDM 사업에 대한 분석을 바탕으로 농업정책과 연계시킬 수 있는 방법론과 실행과제를 제시하였고, 정책과의 연계 시 시행방안을 모색하였다. 이에 대한 보다 세부적인 내용은 연계시킬 정책의 목표와 사업내용, 사업대상 등에 따라 구체화될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과는 향후 엄청난 규모로 성장할 것으로 예상되는 국제배출권거래시장을 활용하여 농업부문에 새로운 기회를 제공하는데 중요한 정보를 제공하며, 정책 기획에 필요한 자료로서도 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서 제안하는 사업 중 특히 바이오디젤과 관련된 사업은 한국 농업의 장래를 바꿀 수 있는 중요한 계기가 될 수 있다. 현재 지속적인 과잉생산 기조를 보이고 있는 쌀 산업의 문제는 곧 한국 농업의 문제가 되고, 농업정책의 효율성과 일관성을 심각하게 저해하고 있다. 생산조정제와 연계된 바이오디젤 사업은 이러한 과잉생산 기조를 보다 긍정적인 모습으로 해결할 수 있는 방안이 된다.

더 나아가 유채생산을 통한 바이오디젤 사업은 비단 생산조정제 대상 면적에 국한할 필요는 없을 것이다. 오히려 보다 적극적인 CDM 사업은 농업생산의 경직성을 해소하고 효율성을 제고시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이에 대한 다각도의 접근과 관련 분야간의 연계된 종합적인 연구가 조속히 필요하다.

## 참 고 문 헌

- 경제사회연구회, 2005.6. 「교토의정서 발효에 따른 한국의 경제전략」, 2005년 경제사회연구회 소관연구기관 공동 Workshop 결과보고서
- 구교상·원형규·김춘식·이운영·정진현·이천용, 2004. "간벌과 시비처리에 따른 리기다소 나무와 잣나무 임분의 탄소저장량 변화", 한국임학회 학술연구 발표논문집(2): p.191-194
- 국립산림과학원, 2005. 「지구온난화, 기후변화협약, 산림; 기후변화협약에 대응한 산림의 역할」, 국립산림과학원 연구보고서 05-04: p.111
- \_\_\_\_\_, 2003. 수종별 임분수확표
- 국무조정실, 1999.2. 「기후변화협약 대응 종합대책」
- 국제온실가스배출권거래제(IET) 정책연구팀, 1999. 「온실가스 배출권거래제도 정책 연구: 주요 이슈 및 외국도입 사례」, 에너지경제연구원·환경정책평가연구원 99-12
- 권기철·김홍은·이중희, 1998. "낙엽송 인공조림 임분의 생산구조와 생산성", 임산에너지 17: p.1-7
- 기후변화협약대책위원회, 2000. 「기후변화협약 1999실적 및 2000계획」
- \_\_\_\_\_, 2005. 「기후변화협약 대응 제3차 종합대책」
- 김갑덕·김철민, 1998. "국내 삼림 Biomass의 생산에 관한 연구와 동향", 임산에너지 8: p.94-107
- 김동수·엄기철·윤성호·윤순강·황선웅, 1994. "논 왜 지켜야 하는가 - 벼농사와 논외의 공익 기능", 도서출판 따님, p.67-87
- 김석권·배상원·이경재·강영호·김희채, 2001. "간벌강도에 따른 잣나무림의 성장변화", 2001년도 한국임학회 학술대회 발표논문집(1), p.119-120
- 김용건, 2003.12. 「온실가스 배출권 거래제 추진동향 및 전망」, 환경정책평가연구원
- \_\_\_\_\_, 2001.3. 「온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안」, 환경정책평가연구원
- \_\_\_\_\_, 2005. 「교토의정서 발효의 의미와 전망」, 환경정책평가연구원.
- 김용택, 1987. "잣나무 순림의 수령에 따른 일차생산성 비교", 서울대학교 석사학위논문
- 김종성·손요환·임주훈·김진수, 1986. "리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구", 한국임학회지 85: p.416-425
- 김창길, 2000. 「농업부문 환경문제 동향과 전망」, 농업전망 2000, 농촌경제연구원, p.101-123
- 김춘식, 1999. "리기다소나무와 낙엽송조림지의 지상부 양분분포 특성", 한국임학회지 88: p.266-272

- 김춘식·이정석·조경진, 1987. “전남 장성지역 삼나무와 편백 인공림의 물질 생산량에 관하여”,  
임산에너지 7(1): p.1-10
- 농림부, 2005. 바이오디젤용 유채 관련 기술 및 정책개발 계획
- \_\_\_\_\_, 2005. 생산조정제 현황 및 향후 추진계획
- \_\_\_\_\_, 2005. 조건불리지역 직불제 시범사업
- 농촌경제연구원, 2004.12.8. 직접지불제 중장기 확충방안에 대한 정책토론회 논문 자료
- \_\_\_\_\_, 2005.2. 「농업전망 2005」
- 농촌진흥청, 2002. 「기후변화와 농업생태계 변동 연구동향」, 연구동향분석보고서 2002-2
- 대한민국정부, 2002. 「기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서」
- 대한상공회의소, 1999, “청정개발체제(CDM) 논의 동향과 이슈 분석”
- 모정운·양승룡·조용성, 2005.6.17. “국제 탄소배출권 가격의 일몰일가 감정 및 가격결정 요인  
분석, 2005년도 환경경제학회·환경정책평가연구원 공동학술세미나 발표논문
- 박동규·김창길·임송수·송미령·김배성·박경철, 2004. “중장기 직접지불제 확충 방안 연구”,  
농촌경제연구원 연구보고서
- 배출권거래제연구회, 1998, “배출권 거래제도 논의 동향 및 향후 정책 방향”, 환경정책평가연구원
- 산림청, 2000a, 산림과 임업기술Ⅱ 산림조성, p.510
- \_\_\_\_\_, 2000b, 산림과 임업기술Ⅲ 산림경영, p.702-703
- \_\_\_\_\_, 2004a, 2004년 조림 비용 고시
- \_\_\_\_\_, 2005, 임업통계연보
- \_\_\_\_\_, 2005a, 2005년 숲가꾸기 설계·감리 시범실시 및 품셈 차등적용 계획
- \_\_\_\_\_, 2005b, 탄소흡수원 확충 기본계획(안), p.26
- 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. “기후변화협약과 교토의정서”
- 서동균, 2005.6. “울산화학(주) CDM 사업 추진사례”, 기후변화대응 국제세미나 발표자료, 환경부
- 손요환·이숙희, 2001.6. “토지이용형태의 변화와 토양 내 탄소와 질소의 관계”, 한국임학회지 90:  
p.242-248
- 손요환·황재홍·이임균·김현우·김진수·임주훈, 1995. “양평연습림 기초생태연구Ⅱ, 낙엽송 인공  
조림지의 생체량 추정 및 하층식생 구조분석”, 고려대학교 자연자원논집 35(1): p.15-20
- 안소은·한기주, 2004. 「탄소고정을 위한 토지이용모델 활용 방안에 관한 연구」, 환경정책  
평가연구원 연구보고서

- 양승룡. 2003.3.26. "WTO 체제하의 한국 농업과 DDA 대응 방향", 농어촌사회연구소 창립 17주년 기념 심포지엄 발표논문
- 양승룡·조용성·임성수·모정윤, 2005.6.23. "기후변화협약 동향분석과 농업부문의 대응전략, 2005년 농업경제학회 하계학술대회 발표논문
- 오내원·김태곤·박시현·장우환·이을경, 2002, "조건불리지역 발농업 직접지불제 세부 시행방안", 농촌경제연구원 수탁연구보고서
- 에너지경제연구원, 1999.12. 「코토메카니즘 활용방안 연구: 국제배출권거래제도를 중심으로」, 연구보고서
- \_\_\_\_\_, 2004. 「기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구」, 1차년도 보고서, 산업자원부
- \_\_\_\_\_, 2003.7. 「미국의 탄소처리 프로그램 계획」, CEO Energy Briefs 제2003-14호
- 에너지관리공단, 2005. 「온실가스 감축량 인증 신청을 위한 사업계획서 작성 지침서」
- \_\_\_\_\_, 2003.5. 「온실가스 배출권거래제 시범사업 연구」
- \_\_\_\_\_, 2004.8. 「우리나라의 CDM 사업 승인기관 및 절차」
- 에너지기술연구원, 2005. 「바이오디젤의 대기환경 개선효과 및 국내외 보급현황」
- 옥용식·임수길·김정규, 2003. "농경지 탄소저장을 통한 온실가스 저감기술", 고려대학교 생명자원연구 11, p.1-14
- 유승직, 2002. "기후변화협상에 관한 경제이론적 고찰", 에너지경제연구 제1권 제1호, p.127-146
- 윤성이, 2001. "지속가능한 농업을 위한 농업자원의 유효이용 방안: 기후변화협약에 따른 영향과 대책." 한국유기농업학회지(9), p.23-44
- 이경재, 1983. "잣나무인공림에서 밀도조절에 따른 생장 및 물질생산의 비교연구", 서울대학교 박사학위논문
- 이경재·박인협, 1987. "경기도 광주지방 22년생 잣나무와 신갈나무림의 물질생산량과 무기영양물 분포", 임산에너지 7(1): p.11-21
- 이경학·임재규, 2004. 「기후변화협약 제3차 대한민국 국가보고서 작성을 위한 기반구축 연구(제1차년도); 임업부문 온실가스 통계작성에서의 IPCC 우수실행지침 적용성 분석」, 에너지경제연구원 연구보고서 04-23(3)
- 이경학·주린원·손영모, 1996. "수종갱신과 휴폐경지 조립을 통한 CO<sub>2</sub> 흡수기술 및 정책 대안 평가", 1996년도 한국임학회 하계총회 학술발표회 자료집, p.78-79
- 이돈구·김갑덕, 1997. "경기도 광주지방에서 자라는 참나무류, 낙엽송 및 잣나무의 수형

- 특성과 물질분배”, 한국임학회지 86(2): p.208-213
- 이돈구·박인협, 1987. “경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산량과 무기 영양물분포”, 임산에너지 7(1): p.11-21
- 이돈구·이경제·신준환·이경학, 1987. “중부지방 삼림생태계의 물질 생산 및 양료 순환”, 임산에너지 7(2): p.15-32
- 이명중, 1998. “강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적”, 한국임학회지 87: p.276-285
- 이임균, 2000. “질소 및 인 시비가 리가다소나무와 낙엽송 인공조림지의 양분순환에 미치는 영향”, 고려대학교 박사학위논문
- 임경빈·김갑덕·이경제·김용식·박인협·김갑태·이승호·박효섭, 1981. “15년생 낙엽송 임분의 성장 및 생산구조”, 임산에너지 1(1): p.4-12
- 임업연구원, 1997. 「산림업자원조사보고서」
- 정재수, 2005.6. “강원풍력발전 CDM 사업 추진사례”, 기후변화대응 국제세미나 발표자료, 환경부
- 조경엽·조용성·장현준, 2001. “온실가스 배출권거래제도 국내도입의 경제적 효과분석”, 자원·환경경제연구 제10권 제2호, p.173-216
- 조광우, 2003. 「기후변화협약 대응체제 연구」, 환경정책평가연구원
- 조용성, 2000. “기후변화협약에 대한 우리나라의 대응 동향 및 향후 과제”, 자연자원연구 8, 고려대학교 자연자원연구소
- \_\_\_\_\_, 2001. “우리나라의 기후변화협약 대응에 대한 시민 및 전문가 인식 분석”, 환경정책 제9권 제2호, p.29-58
- 조용성·김용건, 1999. “국제 온실가스 배출권거래제 도입에 대한 논의 동향”, 자원경제학회지 제9권 제1호, 한국자원경제학회
- 한국산림과학기술단체연합회, 2004. 「일본의 해외조림 투자 및 임업분야 온실가스 저감동향 분석」, 산림청
- 한국임정연구회, 2000. 「해외조림 수익성 분석에 관한 연구」, 산림청
- 한국토양비료학회, 2005.3, 「토양과 비료」 제21호
- 한기주, 1999. “청정개발체제(CDM)를 둘러싼 이슈 분석”, 현대환경연구원 현대환경리포트 제10호
- \_\_\_\_\_, 1999. “청정개발체제(CDM)의 발전배경과 연구동향”, 한국자원경제학회 정기학술대회논문집
- 환경부, 2001.3. 「온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안」

- Australia Agriculture and Land Management Working Group, 2003. 「Implications of Climate Change and Greenhouse Policy for Rural and Regional Australia」, Government-Business Climate Dialogue
- Australian Greenhouse Office, 2002. 「Developing a Strategy Framework for Greenhouse and Agriculture」, AGO Issues paper
- Bolin, B. 1977. *Science* 196:613-21
- Brian Guzzone, 2005.5. "Opportunities for Landfill Methane Use and the Methane to Markets Partnership", Carbon Expo 2005 Proceeding Paper
- Bruce, J. P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R., and Paustial, K. 1999. "Carbon sequestration in soils", *J. Soil Conserv.* 54: p.382-389
- Bruce Braine and D. Francis, 2003. 「Status of Greenhouse Gas Emission Policy and Markets in the U.S.」, Greenhouse Gas Market 2003, International Emission Trading Association
- Buen, Jorund, Kristian Tangen, Anders Skogen, Ann Eik, Ian Roche and Atle Chr. Christiansen, 2003. 「Global Carbon Markets: Driving Forces and Future Prospects, Greenhouse Gas Market 2003: emerging but fragmented」, International Emissions Trading Association(IETA)
- CBO, 2001. 「An Evaluation of Cap-and-Trade Programs for Reducing U.S. Carbon Emissions」
- Chertov, O. G., Komarov, A. S., Crocker, G., Grace, P., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P. R., and Richter, D. 1997. "Simulating trends of soil organic carbon in seven long-term experiments using SOMM model of the humus type", *Geoderma* 81: p.121-135
- David J. Hayes and Nicholas Gertler, 2002.11. "The Role of Carbon Sequestration in the U.S. Responses to Climate Change- Challenges and Opportunities", ELR news & analysis, Environmental Law Institute
- Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC
- EcoSecurities, 2004.2. 「NovaGerar Landfill Gas to Energy Project Design Document」, Prepared for the World Bank Carbon Finance Unit
- Edward Vine, Jayant Sathaye, and Willy Makundi, 1999.3, 「Guidelines for the Monitoring,

- Evaluation, Reporting, Verification, and Certification of Forestry Projects for Climate Change Mitigation」, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Law Institute, 2002. 「Emission Reduction Credit Trading System: An Overview of Recent Results and Assessment of Best Practice」
- Hamilton, C. and Hurton, H. 1999. "Business Tax and Environment: Emissions Trading as a Tax Reform Option. Australia Institute", Discussion paper #22
- EUROPEAN Communities, 2005. 「EU emissions trading」
- Heath, L. S. and J. E. Smith, 2003. 「Indicator 26. total forest ecosystem biomass and carbon pool, and, if appropriate, by forest type, age class, and successional changes, United states 2003 report on sustainable forests; data report IPCC, 1996」, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, Geneva, Switzerland
- IETA, 2005.5.9. 「State and Trends of the Carbon Market 2005」
- IPCC, 1995. 「IPCC Second Assessment - Climate Change 1995」
- \_\_\_\_\_, 1996. 「Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual(2)」
- \_\_\_\_\_, 1996. 「Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual(3)」
- \_\_\_\_\_, 2000. 「Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories」
- Jenny, H., and Raychaudhuri, S. P. 1960. "Effect of climate and cultivation on nitrogen and organic matter reserves in Indian soils", ICAR, New Delhi, India
- Johnston, P., and Santillo, D. 2002. "Carbon capture and sequestration: Potential environmental impacts", Proceedings of Workshop on Carbon Dioxide Capture and Storage. Regina, Canada. IPCC, p.95-110
- Kimble, J. M., Eswaran, H., and Cook, T., 1990. "Organic carbon on a volume basis in tropical and temperate soils". Trans. 14th ICSS, Kyoto vol.248-253
- Lal, R., 2002. "The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate greenhouse effect", Advances in Agronomy 76: p.1-30

- Linda M. Young, 2003. "Carbon Sequestration in Agriculture: The U.S. Policy Context", *American Journal of Agriculture Economics*(5), p.1164-1170
- McConkey, B. G., Liang, B. C., Campbell, C. A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S. A., Lafond, G. P. 2003. "Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soil". *Soil & Tillage Research* (in press)
- Mattews, R, W. Landis, and G. Mattews, 1996. "Community conditioning: an ecological approach", *Environ. Toxicol. & Chem.* 15: p.597-603
- NCGAVS, 2003.10. 「Carbon Measurement and Monitoring Forum」
- OECD/IEA, 2000. 「Emission Baselines: Estimating the Unknown」
- OECD/IEA, 2001. 「Framework for Baseline Guidelines」
- Paul J. Thomassin, 2003. "Canadian Agriculture and The Development of A Carbon Trading and Offset System", *American Journal of Agriculture Economics*(5): p.1171-1177
- Point Carbon, 2002.11. 「Key Indicators」
- \_\_\_\_\_, 2003.3. 「Point Carbon's What Price for EU Allowances?」, Carbon Market Analyst issue paper
- \_\_\_\_\_, 2003.2. 「The Size of the EU Carbon Market」
- R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and C.V. Cole, 1988. "The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect", Chelsea, MI, USA, Ann Arbor Press
- R. Tipper, 1997, 「Mitigation of greenhouse gas emissions by forestry: a review of technical, economic and policy concepts」, Working paper, Institute of Ecology and Resource Management, University of Edinburgh, Scotland
- R.K. Dixon, J.K. Winjum, K.j. Andrasko, J.J. Lee and P.E. Schroeder, 1994. "Integrated systems: assessment of promising agroforest and alternative land-use practices to enhance carbon conservation and sequestration", *Climate Change*, 27: p.71-79
- Roger Swift and Jan Skjemstad, 2002. 「Agricultural Land Use and Management Information」, Australian Greenhouse Office, National Accounting System Technology Report no.13
- Rosell, R. A., and Galantini, J. A., 1988. "Soil organic carbon dynamics in native and cultivated ecosystems of south america", In *Management of carbon sequestration in soils*, CRC/Lewis, Boca Raton, FL, p.11-33

- Shin yong-kwang, 2005.2.21. "Prospective Mitigation Option and Research Progress of Greenhouse Gases in Korean Agriculture", International Symposium on Corresponding strategies to the United Nations Framework Convention on Climate Change, RDA Proceeding Paper
- Smith, P., Smith, J. U., Powlson, D. S., McGill, W. B., Arah, J.R.M., Chertov, O. G., Coleman, K., Franko, U., Frolking, S., Jenkinson, D. S., Jensen, L. S., Kelly, R. H., Klein-Gunnewiek, H., Komarov, A. S., Li, C., Molina, J. A. E., Mueller, T., Parton, W. J., Thornley, J. H. M., and Whitmore, A. P. 1997. "A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments", *Geoderma* 81: p.153-225
- Son, Y., J. W. Hwang, Z. S. Kim, W. K. Lee, and J. S. Kim, 2001, "Allometry and biomass of Korea pine(*Pinus Koraiensis*) in central Korea", *Bioresource Technology* 78: p.251-255
- Stevenson, F. J., and Cole, M. A. 1999. "Cycles of soil : Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients", John Wiley & Sons, Inc, p.132-133
- The State of Food and Agriculture 2002, 2003.4. 「Harvesting carbon sequestration through land-use change: a way out of rural poverty?」
- U. Franko, B. OelschlZigel, S. Schenk, 1995. "Simulation of temperature-, water, and nitrogen dynamics using the model CANDY", *Ecological Modeling* 81: p.213-222
- UK DEFRA. 2001. 「Framework for the UK Emission Trading Scheme」
- Verberne, E. L. J. 1992. 「Simulation of the nitrogen and water balance in a system of glassland and soil」, *Nota* 258, IB-DLO, Haren, 56 pp.
- Verberne, E. L. J., Hassink, J., De Willigen, P., Groot, J. J. R., Van Veen, J. A. 1990. "Modelling organic matter dynamics in different soils". *Neth. J. Agric. Sci.* 38: p.221-238
- Waewick J. McKibbin and Peter J. Wilcoxon, 2002. "The Role of Economics in Climate Change Policy", *Journal of Economic Perspectives* 16(2): p.107-129
- WRI/WBCSD, 2001.9. 「The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard」

<http://carbonfinance.org/router.cfm?Page=Projects>

[http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/AM0003\\_v2.pdf](http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/AM0003_v2.pdf)

[http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/ssc\\_iii\\_d.pdf](http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/ssc_iii_d.pdf)  
[http://europa.eu.int/comm/environment/climat/com/01579\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/climat/com/01579_en.pdf)  
<http://yosemite.epa.gov/globalwarming/ghg.nsf/actions/LegislativeInitiatives>  
<http://www.aph.gov.au/house/committee/enviro/index.htm>  
<http://www.argusonline.com>  
<http://www.cdmwatch.org>  
<http://www.chicagoclimatex.com>  
[http://www.cleanaircanada.org/upld\\_doc/cac\\_doc/PERTPresentation.ppt](http://www.cleanaircanada.org/upld_doc/cac_doc/PERTPresentation.ppt)  
<http://www.climatechange.gc.ca/english/publications/offsets>  
<http://co2e.com/default.asp>  
<http://www.defra.gov.uk/enviornment/climatechange/trading/uk>  
<http://www.defra.gov.uk/enviornment/climatechange/trading/eu/index.htm>  
<http://www.ec.go.ca/PERRL>  
<http://www.ene.gov.on.ca/envision/air/etr>  
<http://www.gert.org>  
<http://www.greenhouse.gov.au>  
<http://www.iowafarmbureau.com>  
<http://www.legis.state.il.us>  
<http://www.neoenergy.co.kr>  
[http://www.pponline.org/ppi\\_ci.cfm?knlgAreaID=116&subseiID=149&contentID=644](http://www.pponline.org/ppi_ci.cfm?knlgAreaID=116&subseiID=149&contentID=644)  
<http://www.unfccc.de> (UNFCCC CDM Executive Board)  
<http://www.fas.usda.gov>  
[http://www3.gov.ab.ca/env/air/emissions\\_trading/](http://www3.gov.ab.ca/env/air/emissions_trading/)

## 부록 1. 토양 유기물 저장량 추정 모형

### 가. CENTURY MODEL

본 모형(Version 4.0)은 다양한 시스템 하에서 토양 관리체계의 변화에 따른 토양 탄소량의 변화를 예측하기 위하여 개발되었다. 이는 기존의 다른 모형과는 달리 비교적 짧은 월별 주기로 탄소 변화량을 모사하고, 장기간의 기상자료와 토양 이화학적 등을 이용하여 각각의 토양관리사례와 통합관리사례 모두를 예측할 수 있는 장점이 있다.<sup>58)</sup> CENTURY 모형에서 토양 유기탄소는 토양 내 전환률에 따라 ACTIVE, SLOW, PASSIVE의 세 단계로 분류한다. 여기서 ACTIVE는 빠른 전환율을 SLOW는 중간 정도의 전환율을 그리고 PASSIVE는 느린 전환율을 의미한다(Hill, 2003).

모형은 수십 년에서 수백 년간의 장기적인 토양 유기물의 변동 양상을 예측할 수 있으며, 식물생장과 질소, 인 및 황 대사와의 밀접한 상관관계를 갖고 있다. 이 모형은 초기에는 목초용 농지에 대한 적용에 주로 이용되었으나 이후 농업 작물, 산림 및 대초원 지역까지도 적용 가능하도록 확장되었다. 앞서 언급하였듯, 모형은 월 평균 최대온도, 최소온도 및 강수량 자료를 필요로 하며 세 가지 유기물의 종류 외에도 METABOLIC, STRUCTURAL, LITTER로 이루어진다. 모형에서 ACTIVE한 조성을 갖는 토양 유기물은 이 영역을 벗어나는 경우 토성에 따라 CO<sub>2</sub> 형태로 방출되거나 SLOW한 형태의 유기물 형태로 재분배되며 토성은 SLOW와 PASSIVE 사이의 탄소 전달을 통제한다. 모형은 토양 생성과정에서 탄소의 축적을 모사하며 기후 변화 시나리오에 대한 토양 내 탄소 저장용량의 변화를 예측한다(Smith et al., 1997). 부도 1은 CENTURY 모형의 기본적인 알고리즘과 모형의 주 매개변수를 나타낸다.

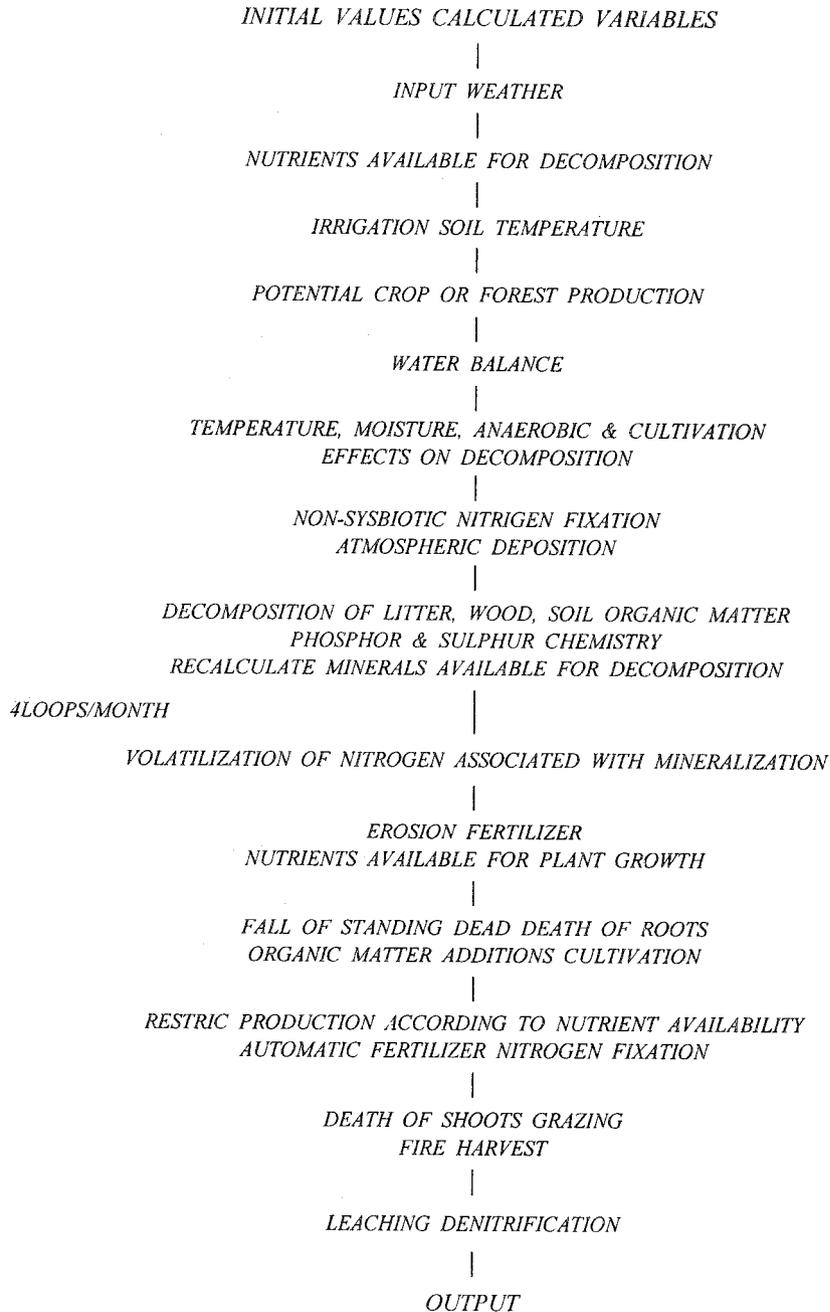
### 나. CANDY(Carbon-Nitrogen-Dynamics) MODEL

본 모형은 농경지의 탄소와 질소 변동에 관여하는 대부분의 토양 과정을 모사하며, 가장 중요한 변수는 토성 및 토양수분함량을 비롯한 토양의 물리성, 기상학 자료와 토

---

58) 동 모형의 구체적인 연구사례, 파라미터 선별 및 이론적 배경은 Parton et al.(1988, 1994)의 논문 참조

<부도 1> CENTURY 모델의 논리 및 흐름도



양관리 체계이다. 또한 주로 특정지역의 장기간에 걸친 유기물의 전환율과 질소의 변동 자료에 그 기반을 두며, 최근 들어 주로 단기간의 질소 변동 예측과 경작지 토양의 장기간에 걸친 탄소 축적 과정을 모사하는 연구에 사용된다(Franko et al., 1997).<sup>59)</sup>

#### 다. DAISY MODEL

본 모델은 일반적으로 작물 생산을 모사하며, 다양한 농업 환경 하에서 토양수와 질소의 동적 변화량을 추정하기 위하여 개발되었다. 초기에는 지역행정과 현장관리를 위한 도구로 개발되었으며 집수지, 농경지 및 특이지역에 적용되었다. 모델은 크게 수문학 모델, 토양질소모델 및 작물모델로 구성되며, 이는 각각 부 모델로서 토양수, 토양유기물 및 질소흡수 모델을 포함한다. 각 모델의 반응상수는 토양의 점토 함량에 의해 수정되며 낙엽의 분해역시 고려된다. 또한 토양미생물의 생중량을 독립변수로 취급하고 있다(Smith et al., 1997).

#### 라. Verberne / Van Veen MODEL

본 모델은 초지 토양에서의 작물 수확량, 질소 흡수, 질소 용탈, 질소 무기화 및 토양 유기질소의 축적량을 예측하기 위하여 질소와 수분의 균형을 모사하며 또한 장기간의 현장 시험결과에 따른 토양 내 유기물 함량의 변화와 전환율을 예측할 수 있다(Whitmore et al., 1997).

토양 유기물의 변형은 점토 함량에 따라 식물 생중량과 유기물의 분해가 달라지는 것을 고려하여 일차반응 속도식으로 표현한다. 분해속도는 토양수분과 온도의 상태에 따라 다르며 미생물의 양은 분해에 영향을 미치지 않는 것으로 가정한다. 이상에 모델의 세부 프로세스와 각 상수들은 Verberne et al.(1990)과 Verberne(1992)의 논문에서 자세하게 다루고 있다. 식물잔사는 그 특징에 따라 Decomposable, Structural, Resistent의 세 종류로 분류되며 토양 유기물은 Protected, Nonprotected, Stabilized로 분류하고 있다. 이 모델은 특징적으로 점토의 미생물에 대한 보호기작을 중요하게 고려하며 다른

---

59) 동 모델과 관련된 수학적 개념과 이론적 배경은 Franko(1995)의 논문 참조

모델에 비하여 토양 유기물을 세분화하여 다룬다(Verberne, 1990; Smith et al., 1997).

#### 마. Hurley Pasture & ITE Forestry MODEL

두 모델은 서로 공통되는 부 모델을 공유하고 있으므로 본 절에서 함께 다루기로 한다. 목초지역 모델은 토양-식물 시스템에서 질소의 순환과정을 모사하기 위하여 개발되었으며 다음 세 개의 부 모델로 구성된다 :

- ① 목초지역에 서식하는 동물의 배설물과 소변에 대한 탄소 유동과 질소 함량을 모사하는 목초지 동물의 흡수 모델이 있으며 이는 주위 식물의 질소 함량에 크게 의존
- ② 빛, 온도 및 질소의 함수로 표현 가능한 식생의 성장 모델
- ③ 배설물, 소변 및 식물분해 잔사의 함수로 표현되는 토양유기물 부 모델

이 모델에서 식물의 경우 생리적인 이론에 기반을 두며 토양 유기물의 경우 그 기능에 따라 분류한다. 또한 탄소의 분해율은 미생물의 총량을 기준으로 하여 추정한다. 이 과정에서 비록 일부는 이산화탄소와 암모니아의 형태로 손실되나 이 또한 미생물의 총량에 기반 한다. 모델은 수송모델과 결합되어 토양 내 산림 조립에서 탄소와 질소의 분배를 모사한다(Thornley and Cannell, 1992).

#### 바. NCSOIL MODEL

본 모델은 토양 미생물상과 유기 구성 요소를 통한 탄소와 질소의 흐름을 모사한다. 모델은 크게 식물잔사(Pool I), 미생물 바이오매스(Pool I), humads (Pool II) 및 안정한 유기물(Pool III)의 4가지 형태로 유기물을 분류하고 있으며, 이 중 안정성 유기물은 초기의 모델에는 없었던 것으로 분류체계를 보완하기 위하여 추가되었다. 모델은 탄소와 질소가 서로 깊이 연결되어 있는 것으로 보며 물질대사 작용에 의하여 유기물의 안정성은 증가한다. 비록 분해과정은 미생물의 바이오매스와 독립적으로 작용하는 인자이지만 미생물 상의 천이과정은 잔사에 대하여 모사되며 작물 생육, 토양수와 질소, 탄소의 동적 변화를 모사하는 NCSWAP 모델에 삽입되어 초기 변수와 파라미터를 최대한 단순화하였다(Smith et al., 1997).

#### 사. ROTHC(Rothamsted C) MODEL

본 모델은 호기적인 토양 조건하에서 유기탄소의 전환은 토양 유형, 온도, 수분과 식피에 따라 변화함을 기본 전제로 하며 탄소와 질소의 변동을 연동하는 함수로는 고려하지 않는다. IOM은 탄소 자료를 통해 정량화되며 초기값은 모델에서 정상상태를 가정하여 연동한다. 모델은 주로 토양 유기물 함량과 탄소의 방사성 동위원소 측정 자료를 이용하여 토양에 대한 유기물의 유입량과 순 생산량을 예측하기 위하여 사용된다. 한 달 간격의 관측치를 필요로 하며 CENTURY와 유사한 기본 개념을 갖고 있다.

#### 아. SOMM MODEL

토양 유기물의 변동을 모사하는 SOMM 모델은 1950년 대 이후 산림에 존재하는 'humus type' 개념의 부류에 사용되었다. 초기의 SOMM 모델은 이론 분석을 위한 도구로 개발되었으며 산림생태 모델 중 토양부분을 담당하였다. 모델은 통제된 조건 하에서 유기물의 분해에 미치는 온도, 수분 및 물질의 화학적 조성 등 고전적인 실험에 기반을 두고 있다. 모델은 L(undecomposed litter), F(partially humified litter), H(humus of mineral topsoil)의 세 요소로 구성되며, 낙엽 중 질소 함량, 회분 함량, 토양 탄질율, 온도 및 수분에 의한 세 그룹의 개체-분해자에 의한 무기화와 부식화 과정(총 6종류의 무기화 및 부식화 과정)을 고려한다. SOMM<sup>60)</sup>은 다음의 세 가지 특징을 갖는다 :

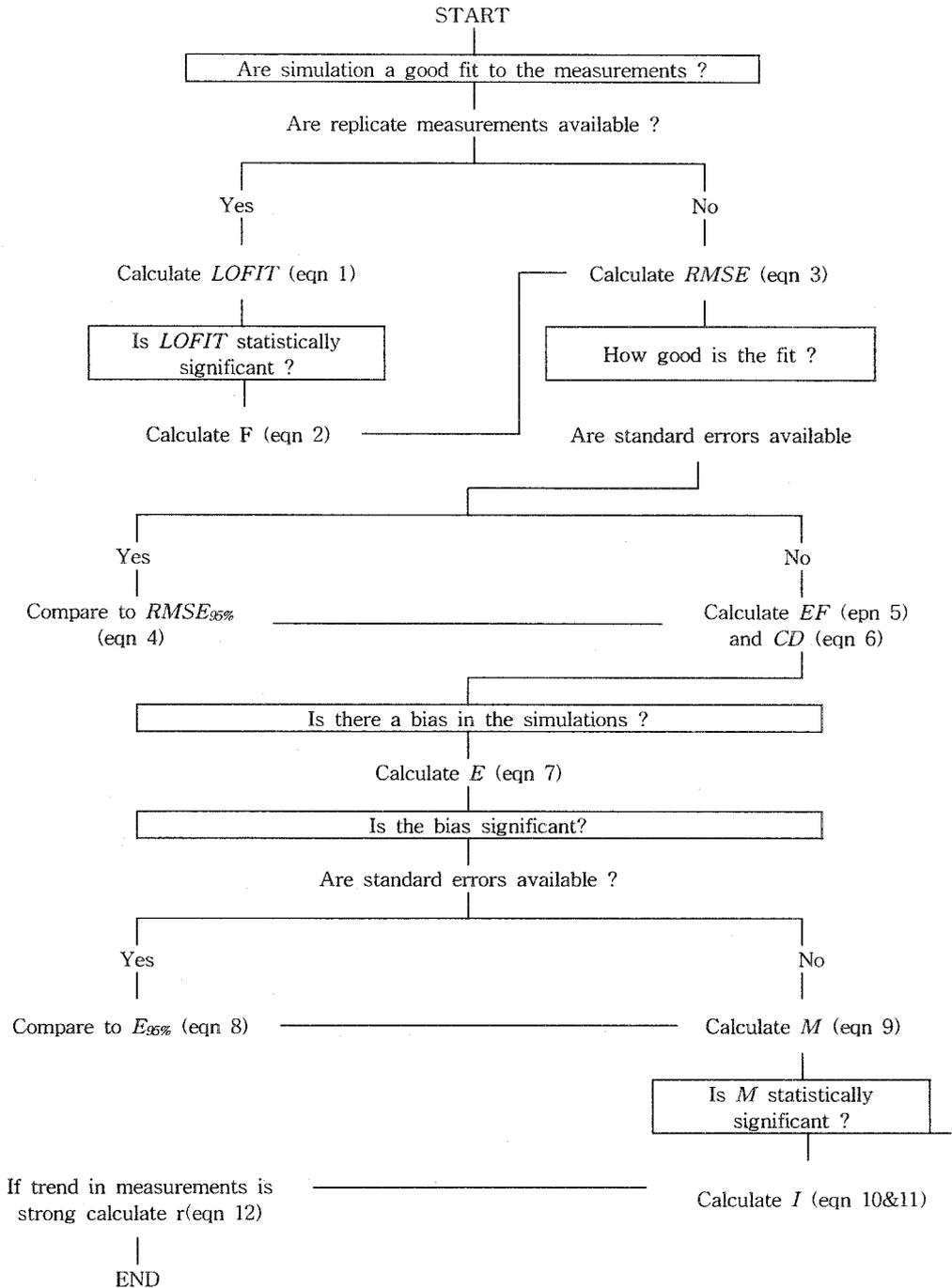
- ① 모델은 실험 자료에 기반 한다.
- ② 토양유기물의 변형에 토양 미생물과 동물상 모두를 고려한다.
- ③ 토양 유기물을 유기태(L과 F)와 무기태(H)로 구분하여 고려한다.

<부도 2>는 각 모델에서 예측한 토양 유기탄소 함량과 실제 측정한 자료간의 정량적인 비교를 위해 사용되는 통계적인 방법을 도시화하였다.

---

60) 동 모델의 구체적인 인자와 실행과정 등은 Chertov와 Komarov(1997)의 논문을 참조

<부도 2> SOM 합량 예측 시 관측치와 예측치의 비교 정량 흐름도



자료: Smith et al.,(1997) 재인용

## 부록 2. 조건불리지역직불제와 연계 가능한 CDM 사업

조건불리지역직불제와 연계할 수 있는 CDM 사업은 기본적으로 마을단위로 이루어질 것을 고려하여 각 마을별로 지역적·물리적 특성에 맞는 사업을 선택하도록 하는 것이 타당한 방법이 될 것이다. 부록 2에서는 국내 조건불리지역에 적용할 수 있는 CDM 사업의 방법론과 이를 실제 활용한 사업들을 소개한다.

### 1. CDM 사업 방법론

#### 가. AM0003 : Simplified Financial Analysis for Landfill Gas Capture Projects

##### 1) Applicability(적용가능성)

이 방법은 다음 두 가지의 매립가스 포집 사업에 적용가능하다.

- ; 회수된 가스를 소각하는 사업
- ; 회수된 가스를 전력생산에 이용하는 사업

##### 2) Emission Reduction(배출저감)

$ER_y$ 는 일년 동안의 사업 활동에 의해 온실가스 배출이 저감된 양으로  $CO_2e$ 톤으로 측정되며, 실제 방출되는 메탄 양( $MD_{project_y}$ )에서 프로젝트 활동 없이 방출되는 메탄의 양과 메탄에 의한 지구온난화지수의 곱을 차감한 값이다. EAF는 효율조정계수(Effectiveness Adjustment Factor)라 불리며 기본값은 20%이다.

$$ER_y = (MD_{project_y} - MD_{baseline_y}) * GWP_{CH_4}$$

$$MD_{baseline_y} = MD_{project_y} * EAF$$

$$\therefore ER_y = MD_{project_y} (1-EAF) * GWP_{CH_4}$$

상기 식은 주어진 일정 기간 내의 사업 활동에 의한 온실가스 배출 저감량을 표현한

식이며, 사업 활동에 의해 배출된 메탄 양(MDproject<sub>y</sub>)은 실제로 연소된 메탄과 전력생산에 이용된 메탄의 양을 관찰함으로써 알 수 있다.

$$MD_{project_y} = MD_{flared_y} + MDelectricity_y$$

$$MD_{flared_y} = LFG_y * F_{CH_4_y} * FE * D_{CH_4}$$

LFG<sub>y</sub>는 일년 동안 연소된 매립가스 양에 대한 입방미터 환산치, F<sub>CH<sub>4</sub></sub><sub>y</sub>는 일년 간 주기적으로 측정된 매립가스 내 메탄비율, FE는 연소 효율(메탄 방출비율)을 나타낸 것이며 D<sub>CH<sub>4</sub></sub>는 입방미터 당 메탄의 밀도를 톤으로 환산한 수치를 설명한 것이다.

$$MDelectricity_y = EG_y * HR / EC_{CH_4}$$

전력생산에 의해 방출되는 메탄의 양은 MWh로 측정되는 일년 동안의 전력 생산량(EG<sub>y</sub>)이 된다. HR은 GJ/MWh 단위로 측정된 열량비(the heat rate)이고, EC<sub>CH<sub>4</sub></sub>는 GJ/tCH<sub>4</sub>로 측정된 메탄의 에너지 산출량이 된다.

### 3) Baseline(기준배출량)

Baseline 내에서 포집되고 방출되는 메탄의 비율은 효율조정계수(EAF)로 지칭된다. 이 EAF는 법적규제를 받는 온실가스수집시스템의 효율성을 반영하게 된다. default value는 0.20이나, 프로젝트 발의자는 동 프로그램이 없을 때보다 많은 비중의 메탄 배출량을 요구할 것이라는 기타 요구사항이나 계약조건 또는 법적규제가 없음을 입증해야만 한다. 한편 EAF는 각각의 신규 배출권 기간이 시작될 시점에서 개정되어질 것이다.

### 4) Additionality(추가성)

추가성은 기본적으로 등록된 CDM 사업이 발생하지 않았을 경우와 비교해 인위적인 온실가스 배출저감이 있는 경우 경제적·기술적·환경적으로 적격한지를 판단하는 절

차이다. 기준배출량 시나리오와 추가성은 각각의 사업 진행 단계에서 결정된다.

1단계는 baseline의 정당성을 입증하는 단계이다. 프로젝트 개요와 BAU 시나리오가 없는 기준배출량 시나리오는 정당성을 증명할 근거가 없다. 만일 또 다른 그럴듯한 기준배출량 시나리오가 존재할 경우, 이 방법론은 기존에 제안된 프로젝트 활동에 이용될 수 없게 된다.

2단계는 CERs 판매로 얻게 되는 기대수익은 제외하고 제안된 프로젝트 활동을 통한 보수적인 내부수익률(IRR)을 계산해야 하는 단계이다. 이 계산에는 투자비용의 증가분, 운영 및 유지비용 그리고 사업계획서에 제안된 프로젝트 활동에 소요되는 여타 모든 BAU 시나리오 개선비용이 포함되어야 한다.

3단계는 보수적으로 받아들일 수 있는 IRR에 대한 선택을 입증해야 하는 단계이다. 만약 동 사업의 IRR이 보수적으로 수락 가능한 IRR보다 확실히 작다면 이는 경제적 유인이 없음을 의미하는 것이 된다. 따라서 이럴 경우에는 BAU 시나리오가 경제적으로 최선의 대안이 된다고 가정할 수 있다.

마지막 4단계는 가장 타당한 기준배출량 시나리오에서 예상되는 사업개발 내용과 제출된 사업 개요를 분석하는 단계이다.

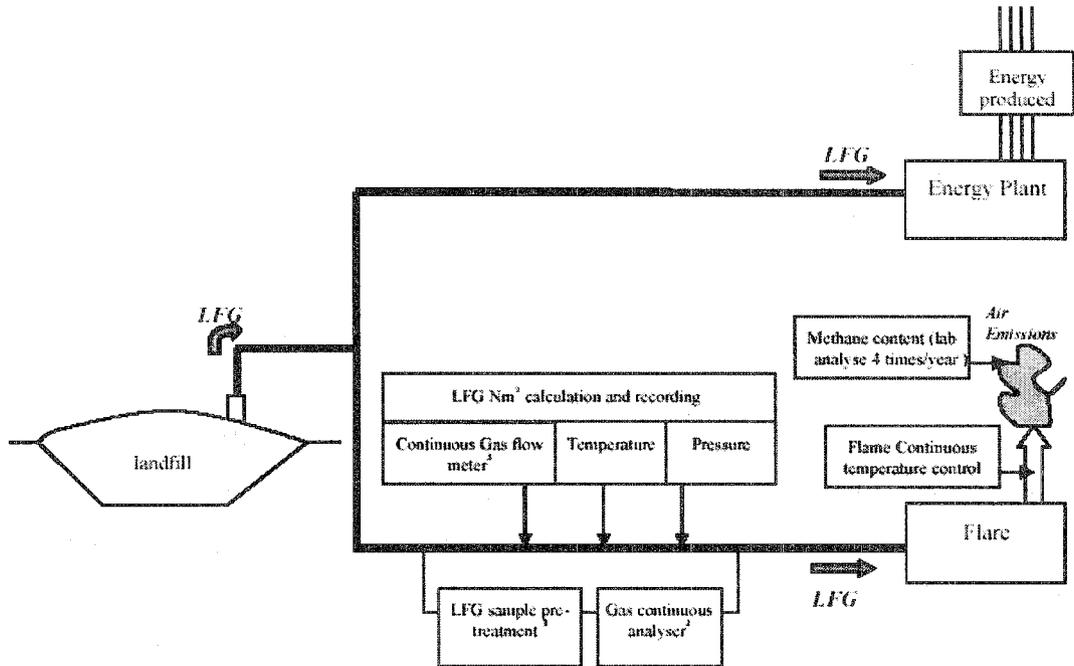
#### 5) Leakage(누출)

유일한 누출 가능성은 부차적인 수집시설 내에서 매립가스 추출을 위해 사용되는 전력 생성으로부터 비롯되는 배출량이 된다. 만일 매립가스로부터 포집시스템을 작동할 만큼의 충분한 전력이 생산된다면 누출은 없다고 봐도 무방하다.

#### 6) Monitoring(모니터링)

가스 포집 네트워크 상태(공기에 의한 희석, 파이프에서의 유실 등)에 따라 포집된 매립가스 내 메탄 수치가 하루에도 20% 이상 변화하기 때문에 지속적인 메탄 분석이 필요하다.

<부도 3> 메탄가스 포집 사업의 모니터링 계획



자료: [http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/AM0003\\_v2.pdf](http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/AM0003_v2.pdf)

나. AMSIII.D. : Methane recovery

1) Technology/measure(기술/측정)

동 사업은 광산업, 농산업, 매립지, 하수처리시설 및 여타 온실가스 배출원으로부터의 메탄 회수 자원화 분야를 의미한다. 메탄 배출의 측정은 인간 활동에 의한 배출량을 저감하는 동시에 보다 직접적으로는 연간 배출량이 15킬로 탄소톤 이하로 줄어드는 효과를 유발할 것이다. 한편 비생물(non-biogenic) 메탄의 연소에서 비롯되는 CO<sub>2</sub> 배출량이 어느 정도인지는 이번 사업을 통해 밝혀질 것이다.

2) Boundary(사업 영역)

동 사업의 영역은 메탄 회수 시설이 존재하는 물리적, 지리적 포장(site)이다.

### 3) Baseline(기준배출량)

배출 기준선은 사업 활동이 없었던 배출권 기간 동안 대기에 배출되었던 메탄의 총량이 된다. 매립지가스, 폐기물가스, 하수처리 및 농산업 프로젝트의 경우, 만일 회수된 메탄이 전력 생성에 이용되었을 때의 사업 활동은 AMS I.D. 범주 하에서도 적합하다. 또한 회수된 메탄이 열 생성에 이용되었을 때의 사업은 AMS I.C. 범주 하에서도 적용될 수 있다. 이와 같은 경우 사업 참여자는 사업 활동에 필요한 모든 구성자료로서 단일 사업계획서(PDD)만을 제출할 수도 있다.

### 4) Leakage(누출)

동 사업에는 누출량 계산이 요구되지 않는다.

### 5) Monitoring(모니터링)

메탄 회수량과 실제 연료로 사용되었거나 연소된 메탄의 총량은 유량측정기를 이용하여 모니터링 될 것이며, 최소 분기마다 연소된 가스의 메탄 성분 에 대한 온라인 또는 샘플 분석을 실시하게 된다. 만약 분석 결과치가 이전 결과와 많은 차이를 보일 경우 분석 횟수는 보다 잦아질 것이다. 정기적인 유지보수 작업은 연소시설에 대한 최적 운영을 가능하게 해준다. 샘플링 장치이자 가스성분 분석기인 유량측정기는 정기 유지, 검사 그리고 정확성을 담보로 한 계산기의 역할을 책임질 것이다.

## 2. 해외 CDM 프로젝트 사례

해외 사례로는 온두라스의 소수력발전 사업, 인도의 평지작물 부산물로부터의 전력 생산 사업, 그리고 볼리비아의 Santa Cruz 매립가스 연소 사업을 소개한다.

가. Rio Blanco Small Hydroelectric Project

[요약]

동 프로젝트는 15MW 이하의 전력 생산을 가능하게 하는 재생에너지 수력발전 사업이다. 소수력발전에는 이산화탄소와 이산화황 등의 온실가스가 배출되지 않는다. 동 프로젝트는 개방하천에 재생 가능한 수력발전소를 Tyrol 유형의 전환 댐에 233m 터널을 이용하여 발전을 한다. 터널에 유입된 물은 1,500m의 수압관을 통과하는 힘으로 발전을 한다.

동 프로젝트를 약 50년간 수행할 경우 최소 881,000톤의 CO<sub>2</sub> 저감 효과가 발생한다. 이는 연간 약 17,800톤을 저감한다는 수치다. 이외 사업의 장점으로서는 해당지역이 독자적으로 에너지수급을 할 수 있다는 점을 들 수 있다. 또한 이와 유사한 소규모 프로젝트가 시행되는데 도움이 된다.

[프로젝트 운영주체]

제안자: Sociedad Hidroeléctrica Río Blanca S.A. de C.V (SHRB)

후원자: Asociación de Pequeños Productores de Energía Renovable (AHPPER)

[프로젝트 실행지역]

Host country party: Honduras

Region/State/Province etc: Department of Cortés

City/Town/Community etc: Municipality of San Francisco de Yojoa

[기대효과]

- 지역의 에너지 자급이 가능하므로 국가전체적인 유류 지출 감소 효과
- 교토의정서에 부합한 이산화탄소의 저감 효과
- 소규모의 시범적인 청정재생에너지 발전 사업에 공헌
- Rio Blanco 강 유역의 환경보호 효과
- 사업 지역에 직·간접적인 고용창출 효과
- 동 사업을 통해서 자치적으로 지역의 영속성에 기여

## 나. Biomass in Rajasthan - Electricity generation from mustard crop residues

### [요 약]

동 프로젝트는 바이오매스를 기반으로 한 직접 연소기술을 사용하는 발전 방식을 이용한다. 발전소의 용량은 약 7.8MW이며, 주된 연료로는 인근 지역에서 다량 생산되고 있는 평지작물 부산물(mustard crop residue)이다. 생산된 전기는 제3차(LIEs)에 판매되고 남은 양은 국가가 사는 방식으로 거래된다. 전기 생산량은 혼합 석탄과 가스에 기초한 발전을 대체하게 될 것이다. CO<sub>2</sub> 저감량은 연간 31,374톤이며, 이를 금액으로 환산할 경우 약 31만 달러(배출권가격 톤당 10달러 가정)의 신규소득이 발생할 것으로 예상된다. 또한 해당 지역의 고용창출에도 기여할 것으로 본다(연간 약 15만 개의 일자리 창출).

발전소는 다양한 농업 생물자원 부산물이 활용되도록 고안될 것이며, 그 종류는 mustard crop residue, Juli Flora, cotton stalk and rice husks 등이 된다. 이 부산물들은 연소가 쉽기 때문에 대개는 잘 점화된다. 이 프로젝트에서는 발전을 위해서 농업부산물의 33% 이하를 사용하라고 권고한다. 가정의 연료소모와 타 용도로 사용할 정도의 충분한 농업부산물이 있다면 이를 통해 자원의 연소로 발생하는 환경피해를 줄일 수 있을 것이다.

### [프로젝트 운영주체]

Project owner: Kalpataru Power Transmission Limited (KPTL)

Host country: The Government of India

Purchaser of Carbon credits: Dutch Government/SenterNovem

### [프로젝트 실행지역]

Host country party: India

State: Rajasthan

City/Town/Community etc: Padampur in the Ganganagar District

다. Santa Cruz landfill gas combustion project

[요 약]

동 프로젝트의 주요 목적은 Santa Cruz 매립지에서 신규 매립지의 메탄을 회수하여 연료로 사용하는 발전시설을 건설하고, 기존 매립지에서 발생하는 메탄을 회수하는 것이다. 매립지 내 대부분의 매립가스는 도시에서의 무분별한 자원의 소비와 낭비에 의해 생성되는 폐기물에 의한 것이다. 매립지 쓰레기 처리에서 생성된 가스는 지구온난화에 기여하는 온실가스인 메탄이 약 50% 포함되어 있다. 더구나 메탄은 가연성 가스로, 메탄의 배출은 매립지 주변의 화재위험을 증대시킨다.

동 프로젝트는 매립지 쓰레기 처리 가스를 회수하여 소각함으로써 매립지 주변의 화재 위험을 줄일 수 있고, 또한 온실가스 배출량도 저감시킬 수 있는 방안이 된다. 연간 CO<sub>2</sub> 저감량은 82,680톤으로 예상된다.

[프로젝트 운영주체]

Grontmij Climate & Energy, project developer, contact for CDM project  
SUMA, operator of landfill

[프로젝트 실행지역]

Host country party: Bolivia  
Region/State/Province etc: Santa Cruz  
City/Town/Community etc: Santa Cruz de la Sierra

한편, 현재 CDM 사업의 타당성을 검토 받고 있는 프로젝트도 20개나 된다. 이 사업들은 모두 UNFCCC에 사업계획서(PDD)가 제출되어 등록(Registration)을 위해 거쳐야 하는 온라인상의 Public Comments(공개의견) 수렴 절차를 밟고 있는 중이다. 국가별로는 멕시코가 6개로 가장 많고 인도 5개, 브라질 3개, 중국 2개, 그리고 베트남·엘살바도르·말레이시아·인도네시아가 각 1개씩이다(부표 1).

<부표 1> 공개의견 수렴과정에 있는 타당성 단계의 CDM 사업 (2005년 7월 현재)

사업 명	주최국	방법론	공개 기간
Rithwik 6MW renewable sources biomass power project	인도	AMS- I.D.	2005.6.28-2005.7.27
Anaerobic wastewater treatment and energy recovery project at rubber producing company in Vietnam	베트남	AMS- I.A. AMS-III.D.	2005.6.29-2005.7.28
8MW Biomass based power project at Hassan, India	인도	AMS- I.D.	2005.7.5-2005.8.3
Mahatma Gandhi hydro electric tail race hydro power project of APPL, India	인도	ACM0002	2005.7.5-2005.8.3
Fuel substitution project at Usha Martin, Jamshedpur	인도	AMS-III.B.	2005.7.5-2005.8.3
JCT Phagwara small scale biomass project	인도	AMS- I.A.	2005.7.6-2005.8.4
Sahabat empty fruit bunch biomass project	말레이시아	AMS- I.C.	2005.7.6-2005.8.4
CDM solar cooker project Aceh 1	인도네시아	AMS- I.C.	2005.7.9-2005.8.7
Meizhou landfills gas recovery and utilization as energy	중국	AM0003	2005.7.10-2005.8.8
AWMS GHG mitigation project, MX05-B-01, Mexico	멕시코	AM0016	2005.7.12-2005.8.10
AWMS GHG mitigation project, BR05-B-02, Minas gerais and Sao paulo, Brazil	브라질	AM0016	2005.7.12-2005.8.10
AWMS GHG mitigation project, BR05-B-03, Brazil	브라질	AM0016	2005.7.12-2005.8.10
AWMS GHG mitigation project, MX05-B-02, Sonora, Mexico	멕시코	AM0016	2005.7.12-2005.8.10
Landfill gas to energy facility at the Nejapa landfill site, El salvador	엘살바도르	ACM0001	2005.7.16-2005.8.14
Quimobásicos HFC recovery and decomposition project	멕시코	AM0001	2005.7.21-2005.8.19
N <sub>2</sub> O emission reduction in Paulínia, SP, Brazil	브라질	AM0021	2005.7.21-2005.8.19
AWMS GHG mitigation project, MX05-B-05, Jalisco, Mexico	멕시코	AM0016	2005.7.23-2005.8.21
AWMS GHG mitigation project, MX05-B-03, Sonora, Mexico	멕시코	AM0016	2005.7.23-2005.8.21
AWMS GHG mitigation project, MX05-B-07, Sonora, Mexico	멕시코	AM0016	2005.7.23-2005.8.21
China Xiaogushan hydropower project	중국	AM0002	2005.7.23-2005.8.21

자료: UNFCCC Executive Board

### 부록 3. 바이오디젤 생산과 연계된 CDM 사업계획서 요약

5장에서 생산조정제와 배출권거래제를 연계시키기 위한 방안으로 생산조정제의 실시  
에 따른 국내 휴경지에 바이오디젤 생산을 위한 유채를 재배할 경우의 수익성을 검토하  
였다. 이와 관련하여 UNFCCC에 제출된 바이오디젤 생산과 연계된 CDM 사업계획서  
(PDD)를 요약한다.

1. 사업 명: 바이오디젤 생산 및 경유에서 바이오디젤로의 화석연료 전환 사업

(Biodiesel production and switching fossil fuels from petro-diesel to biodiesel in  
transport sector - 30 TPD Biodiesel CDM project in Andhra Pradesh, India)

2. 사업 목적: 동 프로젝트의 목적은 유지종자열매, 지방산, 그리고 가축지방질 등에서  
파생한 식용/비식용 유지작물로부터 바이오디젤을 제조하는 것에 있다. 이 프로  
젝트는 운송수단의 연료가 되는 경유(petro-diesel)를 부분적 또는 전체적으로 대  
체함으로써 온실가스 배출저감을 촉진한다. 바이오디젤은 재생산이 가능한 에너  
지 배출원이자 해당지역의 지속가능한 개발에 공헌한다.

3. 사업 참여자의 관점에서 본 지속가능한 개발에 대한 공헌

가. 사회적 측면: 동 CDM 사업은 추가적인 고용창출, 도농간의 소득격차를 유발하는  
사회적 불평등의 제거, 농촌거주자의 삶의 질 개선을 이끄는 기초적인 어메니티  
를 확충함으로써 빈곤 완화에 도움을 준다.

나. 경제적 측면: 동 CDM 사업은 인간의 욕망과 일치하는 추가적인 소득창출을 유발  
한다.

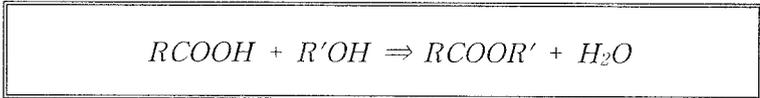
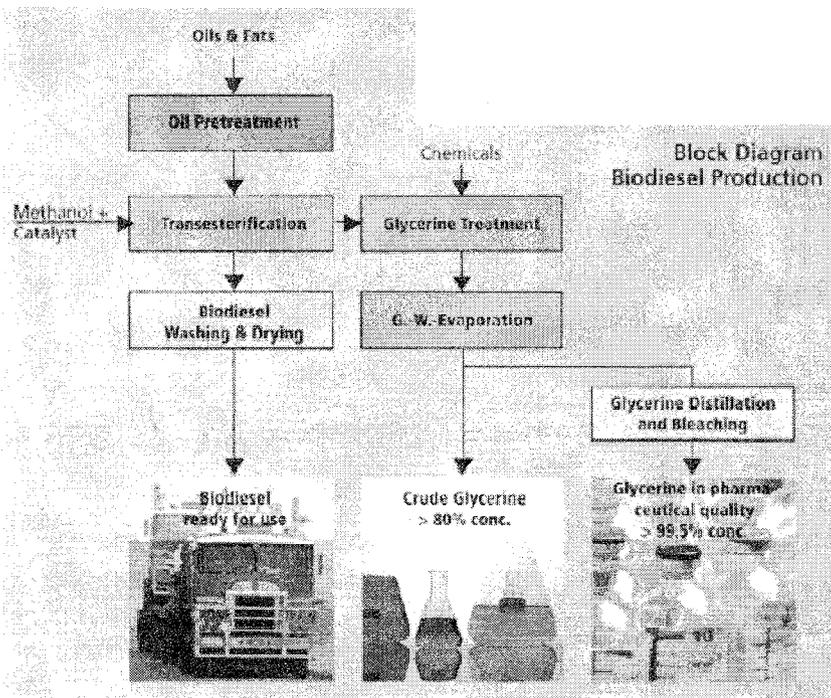
다. 환경적 측면: 동 CDM 사업이 생명다양성과 밀접한 관련을 갖고 인간의 건강 증  
진 기능을 가지며 아울러 대체로 오염수준의 저감을 초래할 경우, 동 사업은 자  
원의 지속가능성 및 자원의 감손에 어떠한 영향을 주는지에 대한 설명을 포함해  
야 한다.

라. 기술적 측면: 동 CDM 사업은 기술적 근거의 향상을 보조하기 위해 상대적으로 최선을 다하고 있는 재생산에너지 분야 및 에너지 효율 프로젝트보다 앞서 풍부한 기술력과 환경친화적인 안전성 이점이 선행되어야만 한다.

#### 4. 관련기술에 대한 설명

동 바이오디젤 제조 기술에는 원료기름, 산화기름/지방산, 메탄올/에탄올을 이용한 에스테르화/에스테르화 전환, 그리고 화학촉매제의 사전 처리작업이 포함되며 그런 다음 마지막으로 세척 및 건조작업을 통해 바이오디젤을 생성하게 된다. <부도 4>는 바이오디젤 생산 공정에 대한 계통도로 아래의 화학식을 나타낸 것이다.

<부도 4> 바이오디젤 생산 계통도



동 사업은 메틸 에스테르(methyl esters) 100% 등급, 소위 B100 Biodiesel로 일컬어지는 Pongamia와 Jatropha 종자로부터의 바이오디젤(methyl esters of fatty acids) 제조를 포함한다. 바이오디젤 등급의 분류는 'B'와 혼합율을 함께 표기한다. 예를 들어 'B100'은 100% 바이오디젤을, 'B20'은 20%가 혼합된 경우를 말한다. 일반적으로, B100 Biodiesel 1톤 생산을 위해서는 1톤의 야채유가 필요하다. 또한 야채유와는 별개로 메탄올/에탄올, 촉매제 등과 같은 여타 투입물이 요구된다.

#### 5. 배출저감량 추정치

동 사업 활동을 위해 선택되는 배출권 기간은 매번 7년의 간격을 두고 2번 신규연장할 수 있도록 하여 총 21년이다. 연간 배출저감량 추정치는 다음과 같다.

연도	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
배출저감량	20,842	26,792	26,792	26,792	26,792	26,792	26,792

#### 6. 프로젝트 주체/실행지역

가. 운영주체: Southern Online Bio Technologies Ltd.

나. 실행지역: Host country party: India

Region/State/Province etc: Andhra Pradesh

City/Town/Community etc: Samsthan Narayanapur Village, near Hyderabad