

탄소고정을 위한 토지이용모델 활용방안에 관한 연구

안소은 한기주



연구진

연구책임자 안소은 (한국환경정책·평가연구원 책임연구원)

참여연구원 한기주 (한국환경정책·평가연구원 연구원)

산·학·연·정 연구자문위원

김준순 (강원대학교 산림과학대학 조교수)

김형섭 (환경부 지구환경담당관)

이경학 (국립산림과학원 산림경영과 과장)

이명헌 (계명대학교 경제학과 부교수)

주린원 (국립산림과학원 임업경제과 과장)

조용성 (고려대학교 식품자원경제학과 부교수)

© 2004 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원

서울시 은평구 불광동 613-2

우편번호 122-706

전화 380-7777 팩스 380-7799

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

인쇄 2004년 12월

발행 2004년 12월

출판등록 제17-254호

ISBN 89-8464-119-7 93530

서 언

1997년 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서는 지구 온난화 현상의 역사적 책임이 있는 선진국들에 대한 온실가스 저감의무를 규정하고 있습니다. 이와 같은 선진국에 대한 온실가스 저감 의무조항은 법적 구속력을 가지며 의정서 이행 시 산업혁명 이후 지속되어 온 온실가스 배출량의 증가추세를 되돌리는 효과를 가져 올 것으로 기대 됩니다.

우리나라는 기후변화협약에서 개도국의 지위를 인정받아 아직 온실가스 배출량 저감의무는 지고 있지 않지만, 2000년 현재 온실가스 배출량이 세계 9위라는 점을 감안할 때 앞으로 개도국 중 가장 먼저 온실가스 저감의무에 대한 압력을 받을 것으로 예상됩니다. 또한 최근 러시아의 비준으로 교토의정서의 발효가 2005년도 2월 16일로 예정되어 있어 교토체제 이후의 대응책 마련이 시급한 상황입니다.

본 연구는 최근 교토 메커니즘과 함께 온실가스 저감수단으로 국제적 관심이 높은 탄소흡수원(carbon sink)에 관한 연구로써, 계량경제학적 토지이용모델 실증분석을 통해 탄소고정 프로그램의 비용추정에 관한 방법론을 제시하고 방법론의 국내적용 타당성을 검토하는 데 그 목적을 두고 있습니다.

지금까지 산림에 대한 기후변화협약 관련연구가 국가보고서 작성을 위한 기술적인 통계구축에 치중되어 왔다면, 본 연구는 그 동안 축적되어온 데이터를 이용하여 기후 변화, 토지이용변화와 탄소고정, 계량경제학적 토지이용모델, 탄소고정을 위한 프로그램 디자인과 비용추정 시뮬레이션을 연계함으로써 연구의 영역을 확대하고 정책적 활용방안을 제시하는 데 그 의의가 있다 할 수 있습니다. 더불어 본 연구가 그동안 국내에서 미진했던 탄소흡수원 활용에 대한 관심을 높이고 관련연구 활성화의 계기가 되었으면 하는 바램입니다.

본 연구는 본 원의 안소은 박사가 책임을 맡아 수행하였고 한기주 연구원이 참여하여 자료정리와 편집을 도와주었습니다. 두 분의 노고에 감사를 표합니다. 그리고 바쁘신 일정 중에 본 연구의 자문위원을 맡아 귀중한 조언을 주시고 보고서의 초안을

김도해 주신 환경부 지구환경 담당관 김형섭 과장, 국립산림과학원 이경학, 주린원 박사, 강원대학교 김준순 교수, 계명대학교 이명헌 교수, 고려대학교의 조용성 교수께 지면을 빌어 진심으로 감사의 말씀을 전합니다. 또한 내부 지문위원으로 수고하신 김용건 박사에게도 감사의 말씀을 드립니다.

2004년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 윤 서 성

국 문 요 약

1997년 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서에 의하면 지구 온난화 현상의 역사적 책임이 있는 선진국들은 제1차 공약기간인 2008년부터 2012년까지의 기간동안 의정서에 규정된 6가지 온실가스의 연간배출량을 1990년의 배출량 수준에 대비하여 평균 5.2% 줄이기로 되어있다.

교토의정서는 또한 선진국의 비용효과적인 온실가스 저감의무 달성을 돕기 위해 배출권 거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제를 포함하는 이른바 교토 메커니즘이라는 신축성 있는 이행체제를 도입하는 것은 물론, 추가적인 저감수단도 명시하고 있는데 그 중 대표적인 것이 산림을 비롯한 탄소흡수원(carbon sink)의 활용이다. 즉, 산림은 광합성을 통해 이산화탄소를 탄소로 전환하여 토양이나 바이오매스에 저장하는 능력이 농작물보다 우수하기 때문에 농지의 산지로의 용도변경이나 또는 신규조림이나 재조림을 통한 산지조성을 모두 온실가스 저감대책으로 활용할 수 있다는 것이다.

이와 같은 배경아래 국제사회에서는 탄소고정을 위한 토지이용·토지이용변화·임업(Land Use, Land-Use Change, and Forestry: LULUCF) 관련활동에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되었으며, 그 구체적인 예로서는 탄소고정을 목표로 한 정책의 시뮬레이션 연구나 또는 계량경제학적 토지이용모델을 활용한 탄소고정 비용추정에 관한 연구 등을 들 수 있다. 그러나 국내에서의 LULUCF 관련연구는 기후변화협약에 명시된 국가보고서 작성을 위한 기술적인 통계구축에 치중되어 온 경향이 있으며, 산림을 이용한 탄소고정에 대한 인식의 부족은 물론 온실가스 저감을 위한 토지이용모델 활용에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 계량경제학적 토지이용모델 실증분석을 통한 탄소고정 프로그램의 비용추정에 관한 방법론을 제시하고 그 국내적용 타당성을 검토하는 데 있다. 즉, 그동안 국내에 축적되어온 LULUCF 관련데이터를 검토하고, 기후변화, 토지이용변

화와 탄소고정, 계량경제학적 토지이용모델을 활용한 실증분석, 탄소고정을 위한 프로그램 디자인과 시뮬레이션을 통한 비용추정 간의 연계 가능성을 제시함으로써 관련 연구의 영역을 확대하고 정책적 활용방안을 제시하는 데 그 의의가 있다.

따라서 본 연구는 주로 관련문헌 및 선행연구의 검토와 모델추정에 활용 가능한 데이터의 확인을 통하여 이루어지며, 토지이용모델의 추정을 포함한 실증분석과 실증분석에 기반을 둔 탄소고정프로그램의 비용추정 시뮬레이션은 향후 연구사업과 연계하여 진행 될 예정이다. 본 연구 결과를 부분별로 요약하고 연구수행 중 도출된 이슈들에 대한 논의와 향후 연구계획 등을 정리하면 다음과 같다.

산림부문 온실가스 흡수/배출량 통계산출

산림부문의 온실가스 흡수/배출량 산정방식은 단위산림면적당 탄소고정량의 산출에 직접적인 영향을 미치고, 따라서 탄소고정 프로그램 시나리오 작성에 매우 중요하다. 현재 기후변화협약 당사국은 1996 IPCC 지침서(수정판)에 의거하여 온실가스 흡수/배출량 통계를 작성하도록 되어 있는데, 각국의 통계구축 정도에 따라 통계산정에 유연성을 부여하고 있다. 예를 들면 1996 IPCC 지침서는 목질의 바이오매스 탄소 저장량 산정 시 필요한 탄소전환인자의 기본값으로 0.5를 권고하고 있는데, 자국의 산림에 적용할 수 있는 고유값이 존재할 경우에는 국가별 고유값을 사용할 것을 권장하고 있다.

이와 같은 통계산정에 있어서의 유연성 부과는 LULUCF 부문의 온실가스 흡수/배출량 측정 시 어떠한 기본가정들이 사용되는지 면밀히 살펴볼 필요성을 부각시킨다. 우리나라와 같이 산림부문의 기본통계가 비교적 잘 구축되어 있고 바이오매스 관련 연구가 축적되어 있는 국가에서는 국가별 고유값 산출이 가능한 경우가 많고, 고유값 산출의 기본가정 예를 들면 산림경영목적, 경영형태, 수종에 따라 탄소고정량에 많은 차이를 가져올 수 있기 때문이다. 따라서 산림부문의 온실가스 흡수/배출량 국가보고서 작성을 수행하고 있는 국립산림과학원과의 유기적인 협조를 통해 우리나라 산림의 특수성을 반영한 고유값 산출에 대한 이해가 중요하다고 할 수 있다.

토지이용모델 추정을 위한 국내가용 통계현황

토지이용모델 추정에 필요한 각 변수별 국내통계 구축현황 검토결과를 종합하면, 예상했던 것 보다 기초자료가 상당부분 축적되어 있는 것으로 판단된다. 따라서 추정결과와 통계적 유의성을 논외로 한다면, 본 연구에서 소개된 토지이용모델의 국내적용에는 큰 무리가 없을 것으로 생각된다. 그러나 이와 같은 결론이 현재의 통계 구축정도가 자료의 가공 없이 바로 모델에 투입 될 수 있을 만큼의 완전성을 갖추고 있다는 의미는 아니다.

문제는 가용자료를 기본으로 하여 데이터를 모델추정에 가장 적합한 형태로 가공하는 것이라 볼 수 있는데, 토지이용모델 추정의 경우에는 통상적으로 패널데이터가 사용되어 왔다. 패널데이터는 시계열자료와 횡단면자료를 포함함으로써 토지이용에 있어서 시간적, 공간적 변화를 모두 반영할 수 있는 장점이 있다.

패널데이터 구축은 이용가능한 데이터의 범위 안에서 시간적, 공간적인 기본단위의 설정이 선행되어야 한다. 먼저 본 연구에서 검토한 자료들을 중심으로 시간적 측면에서 살펴보면, 대부분의 관련 자료들이 연도별로 통계가 구축되어 있어 모델추정에 필요한 변수들을 연도별로 정리하는 데는 큰 어려움이 없을 것으로 보인다. 반면에 지역적 측면에서는 대부분의 자료가 광역자치단체(1특별시, 6광역시, 9도) 수준까지는 구축되어 있는 것으로 확인 되었으나, 기초자치단체(77시, 88군, 69자치구) 별로는 통계수집에 한계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구는 정부공식통계만을 대상으로 가용통계 현황을 검토하였다는 점을 감안할 때, 정부 관련기관과의 협조체계가 구축된다면 횡단면 자료의 기본단위가 기초자치단체 수준으로 확대될 가능성도 있다 하겠다.

연구의 정책적 활용방안

본 연구는 위에서도 언급했듯이 탄소고정을 위한 계량경제학적 토지이용모델의 국내적용 타당성 검토에 연구의 범위가 한정되기 때문에 실증분석 결과 없이 구체적인 정책적 활용방안을 제시하는 데 한계가 있으나, 본 연구를 통해 예상해 볼 수 있는 정책적 활용방안을 생각해 보면 다음과 같다.

첫째, 온실가스 저감대책에 관한 연구의 영역확대를 통한 기후변화 협상의 기초자료 제공을 들 수 있다. 우리나라에서 기후변화 관련연구는 온실가스 저감방안 연구에 치우쳐 온 경향이 있으나, 본 연구를 통해 최근 국제적으로 이슈화되고 있는 탄소흡수원을 이용한 온실가스 저감대책에 대한 관심과 관련연구의 국내 활성화를 기대할 수 있다.

둘째, 탄소고정 프로그램을 통한 산림증가는 탄소고정의 효과뿐만 아니라 부수적으로 산림의 공익적 기능증대를 가져올 수 있다. 탄소고정 프로그램의 주목적은 산림면적의 증가를 통해 대기 중의 탄소를 산림에 저장함으로써 온실가스 저감에 기여한다는 것인데, 동시에 산림의 다양한 공익적 혜택을 기대할 수 있다.

셋째, 탄소고정 프로그램의 또 다른 부수적인 효과로서 최근 증가추세에 있는 한계농지에 대한 시기적절한 대응방안을 들 수 있다. 우리나라는 지속적인 농업생산성의 증가로 인한 쌀 재배면적의 감소와 농산물 무역자유화에 대한 압력으로 인해 농지이용형태의 변화가 예상되고 있는 상황이어서 적절한 대책 마련이 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 효율적인 한계농지/휴폐경지 대응방안으로서의 효과도 기대할 수 있다.

향후 연구계획

향후 연구는 본 연구의 타당성 검토결과를 기본으로 모델추정을 포함한 실증분석과 탄소고정 프로그램의 비용추정 시뮬레이션을 중심으로 이루어질 것이며 주요 연구내용은 다음과 같다. 먼저 토지이용모델 추정에 이용될 일관성 있는 패널데이터를 구축하고 pilot 모델 추정을 통해 모델과 데이터를 보완한다. 특히 토지이용모델은 지금까지 우리나라의 토지이용이 시장원리보다는 법적, 제도적 계획에 의존해 왔던 사실을 감안할 때, 토지이용 정책변화나 제도의 변화를 모델에 반영할 수 있도록 수정되어야 할 것으로 예상된다.

일단 모델추정이 완료되면, 모델 추정치를 이용한 탄소고정 비용추정 시뮬레이션을 진행하게 된다. 시뮬레이션에 앞서 탄소고정 프로그램의 목표를 설정하고 프로그램의 이행 시 전제되는 조건들을 체계화하여 2-3개의 시나리오로 작성하는 일이 선행

되어야 한다. 다음은 작성된 각 시나리오에 기반을 둔 탄소고정 프로그램을 디자인하고 모델 추정치를 이용하여 프로그램 이행 시 수반되는 비용을 산출한다. 끝으로 시나리오별로 비용추정결과를 비교분석하고 각 프로그램이 갖는 정책적 시사점을 도출한다.

차 례

서 언 국문요약

제1장 서론	1
1. 연구의 배경과 목적	1
2. 연구의 범위와 방법	3
제2장 토지이용변화와 온실가스	5
1. 기후변화와 기후변화협약	5
가. 기후변화	5
나. 기후변화협약	6
2. 교토의정서와 교토 메커니즘	9
가. 교토의정서	9
나. 교토 메커니즘	11
3. 토지이용변화 및 임업과 온실가스	15
가. 교토의정서상의 토지이용·토지이용변화·임업	15
나. 마라케쉬 합의문상의 토지이용·토지이용변화·임업	16
다. 1996 IPCC 지침서와 우수실행 지침서	18
라. 1996 IPCC 지침서상의 온실가스 흡수/배출량 통계작성	20
4. 토지이용변화와 온실가스 흡수/배출량 산출	29
가. 제2차 국가보고서 개요	29
나. 토지이용·토지이용변화·임업분야 온실가스 흡수/배출량 현황	30
다. 산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량의 변화	33
라. 산림 및 초지전용에 의한 온실가스 배출	35
마. 토양의 이산화탄소 흡수 및 배출	36

제3장 토지이용모델을 활용한 탄소고정비용 추정방법	37
1. 토지이용모델	37
가. 토지이용모델의 이론적 배경	37
나. 토지이용모델	39
2. 토지이용모델 추정을 위한 데이터	45
가. 토지면적비율	45
나. 지대	46
다. 인구	47
라. 토질	47
마. 도시 중심지까지의 거리	48
3. 탄소고정 비용추정 시뮬레이션	48
제4장 탄소고정비용 추정방법의 국내적용 가능성	51
1. 국토이용현황 개요	51
2. 토지이용모델 추정을 위한 국내가용 통계현황	54
가. 토지면적비율	54
나. 지대	66
다. 인구	73
라. 토질	75
마. 소결	75
3. 탄소고정 비용추정 결과의 정책적 활용방안	81
제5장 요약 및 결론	82
참고문헌	86
Abstract	90

표 차례

<표 2-1> 20세기 동안 관측된 기후변화 관련 지표	6
<표 2-2> 제1차 세계기후대회에서 기후변화협약까지의 주요일정	8
<표 2-3> 주요 국가별 온실가스 저감목표비율	10
<표 2-4> 러시아의 교토의정서 비준과정	11
<표 2-5> 당사국총회 주요결과	13
<표 2-6> 교토의정서상에서의 산림관련활동 인정범위	16
<표 2-7> 마라케쉬 합의문에서의 LULUCF 관련용어 정의	17
<표 2-8> 입목의 탄소흡수량 추정	21
<표 2-9> 별채로 인한 탄소배출량 산정	22
<표 2-10> 산림전용시 소각에 따른 탄소배출량 산출	23
<표 2-11> 산림전용시 바이오매스 부후에 따른 탄소배출량 산출	24
<표 2-12> CO ₂ 이외의 온실가스의 전환계수	25
<표 2-13> 방치된 토지에서의 바이오매스 연간 증가량	26
<표 2-14> IPCC 기후구분 및 토양구분	27
<표 2-15> 자연식생에서의 유기탄소 추정량	27
<표 2-16> 유기토양의 조건별 연간 탄소배출량	28
<표 2-17> 국내 온실가스 배출량 지표	29
<표 2-18> 국내 부문별 온실가스 배출량 추이	30
<표 2-19> 흡수/배출원별 온실가스 통계 현황 (2001)	32
<표 2-20> 토지이용변경 및 임업부문 온실가스 흡수/배출량 추이	32
<표 2-21> 산림 및 기타 목질 바이오매스 순흡수량 (2001)	34
<표 2-22> 별채로 인한 탄소 총배출량 (2001)	34
<표 2-23> 산림의 타용도 전용시 바이오매스 부후에 따른 탄소배출량	35
<표 2-24> 무기토양내의 토양탄소변화	36
<표 4-1> 지방자치단체 현황	51

<표 4-2> 국토이용 현황	52
<표 4-3> 농지 전용면적 추이	52
<표 4-4> 경지이용율 및 휴경 농지면적 추이	53
<표 4-5> 산림의 타용도 전용현황	54
<표 4-6> 토지피복지도 분류체계	55
<표 4-7> 토지피복지도 대분류 항목별 면적 및 비율	56
<표 4-8> 행정구역별 지목별 토지이용 현황	58
<표 4-8> 행정구역별 지목별 토지이용 현황(계속)	59
<표 4-9> 전국 산림자원조사 연혁과 주요내용	60
<표 4-10> 전국 산림자원조사에 의한 행정구역별 임야면적	61
<표 4-11> 연도별·임상별 산림면적	62
<표 4-12> 2002 ~ 2003년도 행정구역별 경지면적	63
<표 4-13> 연도별 경지면적 추세	64
<표 4-14> 토지용도별 면적통계 요약	65
<표 4-15> 연도별 행정구역별 임산물 생산현황	67
<표 4-16> 조림·육림사업의 금융지원	68
<표 4-17> 작업종별 임업노동 취업자 현황	69
<표 4-18> 연도별 행정구역별 주요작물 재배면적과 생산량	70
<표 4-19> 주요 농산물 농가 판매가격	71
<표 4-20> 논벼 10a당 생산비	72
<표 4-21> 연도별 광역자치단체별 인구변화 추이	74
<표 4-22> 논토양의 적성등급 기준	76
<표 4-23> 임지토양의 적성등급 기준	77
<표 4-24> 작물생산 저해요인	78

그림 차례

<그림 1-1> 연구방법의 흐름도	4
<그림 2-1> 신규조림, 재조림, 산림전용의 정의	18
<그림 2-2> IPCC 온실가스 국가통계작성 지침서 발전과정	20
<그림 3-1> Barlowe의 지대개념과 토지이용배분결정	38
<그림 4-1> 연도별 경지면적 변화 추세	65
<그림 4-2> 연도별 행정구역별 인구변화	73
<그림 4-3> 경기도 임지토양 적성등급별 면적	79
<그림 4-4> 경기도 논토양 적성등급별 면적	79

제1장 서론

1. 연구의 배경과 목적

1997년 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서에 의하면 지구 온난화 현상의 역사적 책임이 있는 선진국들은 제1차 공약기간인 2008년부터 2012년까지의 기간동안 의정서에 규정된 6가지 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆)의 연간배출량을 1990년의 배출량 수준에 대비하여 평균 5.2% 줄이기로 되어있다. 이와 같은 선진국에 대한 온실가스 저감 의무조항은 법적 구속력을 가지며, 따라서 의정서 발효 시 산업혁명 이후 지속되어 온 온실가스 배출량의 증가추세를 되돌리는 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

교토의정서는 또한 선진국의 비용효과적인 온실가스 저감의무 달성을 돕기 위해 배출권 거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제를 포함하는 교토 메커니즘이라는 신축성 있는 이행체계를 도입하는 것은 물론, 추가적인 저감수단 예를 들면 에너지 효율증대, 대체 에너지 개발, 산림을 비롯한 탄소흡수원(carbon sink)의 관리 등을 구체적인 온실가스 저감수단으로 명시하고 있다.

특히 총 배출량에서 탄소흡수량을 차감하여 계산되는 순배출량 산출방식이 복잡하여 논란이 많았던 토지이용·토지이용변화·임업(Land Use, Land-Use Change, and Forestry: LULUCF)분야를 교토의정서 상의 온실가스 저감수단으로 인정한 것은 주목할 만한 사실이다. 신규조림(afforestation), 재조림(reforestation), 그리고 산림전용(deforestation)으로 대변되는 LULUCF 관련 활동의 구체적 세부이행·운영규칙에 대한 합의는 2001년 제7차 당사국총회에서 이루어졌다(마라케쉬 합의문).

이와 같은 배경 아래 국제사회에서는 탄소고정을 위한 LULUCF 관련활동에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 기후변화 정부간 협의회(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)는 특별보고서 「토지이용·토지이용변화·임업」(IPCC, 2000)과 「토지이용·토지이용변화·임업 우수실행 지침서」(IPCC, 2003)를

발간하기도 했다.

한편으로는 일부 연구자를 중심으로 탄소고정 프로그램의 시뮬레이션(Moulton and Richard(1990); Adams *et al.*(1993); Parks and Hardie(1995))이나 또는 미래의 토지이용변화 예측을 위한 실증분석에 주로 이용되어 왔던 계량경제학적 토지이용모델(Lichtenberg(1989); Stavins and Jaffe(1990); Ahn, Plantinga, and Alig(2000))을 활용한 탄소고정 비용추정(Stavins(1999); Plantinga, Mauldin, and Miller(1999))에 관한 연구가 병행하여 진행되었다.

탄소고정 프로그램의 시뮬레이션을 이용한 비용추정 연구는 사례지역 안에서 산림으로 전환이 가능한 농지면적의 확인과 농지로부터의 단위면적당 순수입 산출로부터 시작한다. 농지로부터의 순수입은 토지경영자가 현재 소유하고 있는 농지를 탄소고정 프로그램에 등록하여 산림으로 전환함으로써 수반되는 기회비용으로 가정되며 또한 농지 소유자는 농업순수입이 보장되기만 하면 원칙적으로 자신이 소유한 토지를 탄소고정 프로그램에 투입한다는 것을 기본 가정으로 하고 있다. 따라서 시뮬레이션에 의한 탄소고정 비용추정은 프로그램에 참여한 토지면적을 탄소저장단위로 전환하고 이에 따른 기회비용과 조립비용의 지급총액을 총비용으로 계산한다.

계량경제학적 토지이용모델은 19세기의 Ricardo와 von Thünen의 지대이론을 기본으로 발전된 모델로써, 이윤극대화 가정 하에 토지경영자 개개인이 소유하고 있는 토지의 최적배분 문제를 설명한다. 토지이용모델의 추정은 소유자의 토지이용배분의사결정과정을 반영한 실제 관측치에 기본을 둔 실증분석이기 때문에 시뮬레이션보다는 좀 더 현실에 가깝다고 볼 수 있다. 같은 이유로 탄소고정 프로그램 이행에 수반되는 비용의 추정 역시 시뮬레이션보다는 정확도가 높다 할 수 있다.

이와 같이 최근 국제적으로는 온실가스 저감을 위한 탄소흡수원 활용에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내에서는 이 분야에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다. 또한 우리나라에서는 지속적인 농업생산성의 증가로 인한 쌀 재배면적의 감소와 농산물 무역 자유화에 대한 압력으로 인해 농지이용형태의 변화가 예상되고 있는 상황이어서 이에 대한 정부의 적절한 대책 마련이 필요한 시점이다. 따라서 최근의 국내외 여건을 고려 할 때 우리나라에서도 탄소흡수원 활용에 대한 연구의 활성화

화가 요청된다.

본 연구의 목적은 계량경제학적 토지이용모델 실증분석을 통한 탄소고정 프로그램의 비용추정에 관한 방법론을 제시하고 그 국내적용 타당성을 검토하는 데 있다. 또한 지금까지 LULUCF 관련 국내 연구가 기후변화협약에 명시된 국가보고서 작성을 위한 기술적인 통계구축에 치중되어 왔다면, 본 연구는 그 동안 축적되어온 데이터를 이용하여 기후변화, 토지이용변화와 탄소고정, 계량경제학적 토지이용모델, 탄소고정을 위한 프로그램 디자인과 비용추정 시뮬레이션을 연계함으로써 연구의 영역을 확대하고 정책적 활용방안을 제시하는 데 그 의의가 있다.

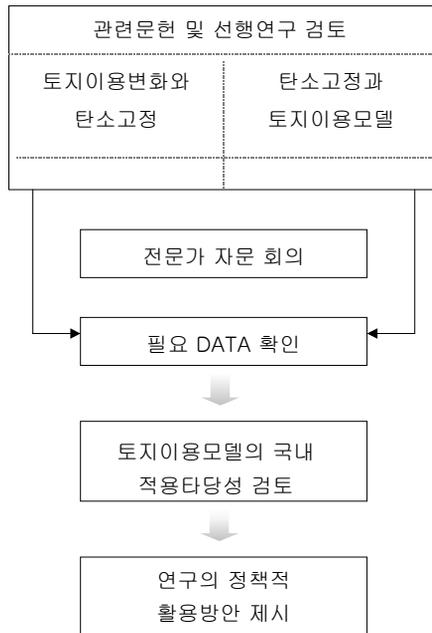
2. 연구의 범위와 방법

본 연구는 주로 문헌 및 선행연구의 검토와 활용 가능한 데이터의 확인을 통하여 이루어지며, 토지이용모델 추정을 포함한 실증분석은 연구의 범위에 포함되지 않음을 미리 밝혀둔다. 따라서 본 연구는 탄소고정을 위한 계량경제학적 토지이용모델의 국내 적용가능성 검토에 한정되며, 실증분석과 실증분석에 기반을 둔 탄소고정 프로그램의 비용추정 시뮬레이션은 향후 연구사업과 연계하여 진행 될 예정이다.

관련문헌과 선행연구의 검토는 다시 토지이용변화와 탄소고정을 묶는 기술적인 측면과 탄소고정과 토지이용모델을 묶는 모델링 측면으로 나누어진다. 토지이용변화와 탄소고정 부분의 문헌검토는 그 동안 국내에 축적된 데이터와 연구보고서를 중심으로 진행되며, 탄소고정과 토지이용모델 부분의 문헌검토는 해외연구사례를 중심으로 검토하되 특히 모델추정에 필요한 데이터를 중점적으로 살펴본다. 이는 모델에서 요구하는 데이터의 국내 존재유무가 토지이용모델의 국내적용 가능성 검토 시 가장 중요한 부분이기 때문이다. <그림 1-1>은 본 연구의 방법과 절차를 설명하고 있다.

본 보고서는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장은 연구의 배경에 해당하는 부분으로서, 지구온난화현상과 기후변화협약, 교토의정서와 교토 메커니즘, LULUCF와 온실가스, 그리고 국내 토지이용변화와 온실가스 흡수/배출량 통계 등을 알아본다.

3장에서는 지난 10여년 동안 해외연구사례에서 널리 사용되어 왔던 토지이용모델을 이용한 탄소고정 비용추정방법을 서술한다. 지대의 개념과 토지이용모델의 이론적 배경, 이윤극대화를 가정한 토지경영자의 최적토지이용배분모델, 소개된 모델추정에 통상적으로 사용되는 변수들과 그 측정방법, 예시를 위한 탄소고정 프로그램의 설계와 비용추정 시뮬레이션 절차 등을 포함한다. 4장에서는 3장에서 소개된 방법론의 국내적용 타당성을 검토한다. 먼저 최근 국내토지이용현황, 특히 농지와 산지의 전용실태를 중심으로 한 토지이용현황을 살펴보고, 토지이용모델 추정 시 필요한 변수를 구축하기 위한 데이터의 존재여부를 정부 공식통계를 중심으로 검토한다. 또한 제안된 방법론의 국내적용 타당성 검토 결과를 토대로 본 연구의 정책적 활용방안을 제시한다. 5장에서는 연구의 결론 및 향후 연계 연구사업의 계획을 서술한다.



<그림 1-1> 연구방법의 흐름도

제2장 토지이용변화와 온실가스

1. 기후변화와 기후변화협약

가. 기후변화

지구의 기후는 태양으로부터의 에너지 흐름에 의존하며, 대기 중의 온실가스는 적외선이 지표면에서 대기권 밖으로 곧바로 방출되는 것을 막고 적외선을 흡수함으로써 대기온도를 상승시키는 온실효과를 발생시킨다. 주요 온실가스로는 수증기, 이산화탄소(CO₂), 오존(O₃), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFC), 과불화탄소(PFC), 육불화황(SF₆) 등이 있다. 이들 온실가스의 대기 중 농도는 산업혁명 이후 지속적으로 상승해 1990년대에 이르러서는 그 최고치에 달하였으며, 지구온난화와 세계 각 지역에서 기상이변을 초래하고 있다. 현재까지 온실가스 방출의 주요 원인은 화석연료의 사용과 농지확보를 위한 산림파괴로 대변되는 토지이용변화로 확인되었다.

1970년대 후반부터 국제사회에서는 대기 중 온실가스 농도의 급상승으로 예상되는 지구온난화에 대한 염려가 확산되었고, 이러한 배경 하에 1988년 기후변화에 관한 정부간 협의회(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)가 세계기상기구(World Meteorological Organization: WMO)와 유엔환경기구(United Nations Environment Program: UNEP)에 의해 설립되었다. IPCC는 기후변화의 과학적 근거, 다양한 분야에 있어서 기후변화의 영향, 기후변화로 인한 사회·경제적 파급효과 등에 대한 정보를 종합하고 분석·평가하여 기후변화의 저감 및 적응대책 마련에 기초가 되는 정보제공에 그 목표를 두고 설립이후 3차례에 걸쳐 종합평가보고서(1990, 1995, 2001)를 발간하였으며, 현재 제4차 보고서를 2007년 발간 예정으로 준비 중에 있다.

IPCC 제3차 보고서(Third Assessment Report: TAR)에 의하면 20세기를 통하여 지구대기평균기온은 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 상승하였고, 북반구의 강수량은 5-10% 상승한 것으로 보고되었다. IPCC 제3차보고서에 나타난 각종 기후변화 관련지표의 관측치는 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 20세기 동안 관측된 기후변화 관련 지표

지표	관측내용
대기 중 CO ₂ 농도	280ppm(1000-1750년)에서 368ppm (2000년)으로 31±4% 증가
대기 중 CH ₄ 농도	700ppb(1000-1750년)에서 1750ppb (2000년)으로 151±25% 증가
대기 중 N ₂ O 농도	270ppb(1000-1750년)에서 316ppb (2000년)으로 17±5% 증가
지구대기 평균기온	20세기에 걸쳐 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 상승
북반구 강수량	20세기에 걸쳐 5-10% 증가
지구평균 해수면	20세기에 걸쳐 연간평균 1-2mm 속도로 상승
극지방 빙하	1950년 이후 늦여름과 초가을 사이의 극지방 빙하의 두께는 40% 얇아졌으며 면적은 10-15% 감소함
작물재배기간	지난 40여년 동안 북반구에서는 매10년마다 약 1.4일 길어짐

자료: 「Climate Change 2001: Synthesis Report」 (IPCC, 2001)

나. 기후변화협약

1988년 IPCC의 설립과 기후온난화에 대한 국제사회의 염려는 여러 차례에 걸친 기후변화 관련 국제회의 개최의 결과를 낳았고, 지구온난화는 국제사회가 공동으로 대처해야 할 지구차원의 문제임을 인식함에 따라 국제협약의 필요성이 대두되었다. 이러한 국제적 요청에 부응하여 유엔총회는 1990년 기후변화협약을 위한 정부간 협상 위원회(Intergovernmental Negotiating Committee: INC)를 구성하여 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)의 초안을

작성하였으며, 마련된 협약초안은 1992년 5월 9일 뉴욕의 유엔본부에서 확정되어 같은 해 6월 리우지구정상회의(Rio de Janeiro Earth Summit)에서 채택되었다. 리우지구정상회의 기간 동안 154개국과 유럽공동체가 협약에 서명하였고, 기후변화협약은 1994년 3월 21일 발효되었다. 2004년 2월 26일 현재 협약에는 188개국이 가입한 상태이다. 우리나라는 1993년 12월 기후변화협약에 가입하여 온실가스 저감을 위한 국제적 노력에 동참하였다(<http://unfccc.int/resource/convkp.html>). <표 2-2>는 제1차 세계기후대회에서 기후변화협약에 이르기까지의 주요일정을 보여준다.

기후변화협약은 사전예방원칙(precautionary principle)과 공동의 그러나 차별적 책임원칙(common but differentiated responsibility)이라는 두 가지 기본원칙 하에 작성되었는데 사전예방원칙이란 과학적 확실성의 결여가 지구온난화와 같은 심각하고 돌이킬 수 없는 재난에 대한 행동을 취하는 것에 걸림돌이 될 수 없다는 원칙이고, 공동의 그러나 차별적 책임원칙이란 모든 당사국이 협약이행에 있어 공동으로 책임이 있지만, 온실가스 배출의 역사적 책임을 물어 선진국들에게 차별화된 의무를 부여하는 것을 내용으로 한다.

따라서 기후변화협약의 주요내용은 모든 당사국에게 적용되는 공통 의무사항과 선진국에게 차별적으로 적용되는 특정 의무사항으로 구성되어 있다. 먼저 공통 의무사항에는 온실가스 배출통계를 주 골자로 하는 국가보고서를 작성·제출하는 것과 온실가스 저감대책을 자국내 사회·경제·환경정책수립에 적극 반영하는 것이 포함된다. 협약의 특정 의무사항은 선진국에 대한 추가적인 의무조항이라 볼 수 있는데, 우선 기후변화협약은 선진국을 부속서 I 국가(Annex I countries)와 부속서 II 국가(Annex II countries)로 구분한다.

부속서 I 국가에는 기후변화협약 채택 당시의 24개 OECD 국가와 중앙·동유럽 국가들을 포함한 총 40개국과 유럽공동체로 구성되어 있으며, 이들 부속서 I 국가들은 2000년까지 온실가스 배출량을 1990년 수준으로 안정화하는 것을 목표로 하는 정책(policies)과 조치(measures)를 채택하는 것에 합의하였다. 부속서 II 국가는 24개 OECD 국가와 유럽공동체로 구성되어 있으며 부속서 I 국가에 부여된 의무조항 이외에 추가적으로 개도국에 대한 재정지원과 기술이전의 의무를 갖는다. 그러나 이러한

기후변화협약상의 온실가스 감축의무에는 법적 강제성은 없다. 우리나라를 포함한 대부분의 개도국들은 협약 상 온실가스 감축의무를 갖지 않는 비부속서 I 국가 (Non-Annex I countries)로 분류되었다.

<표 2-2> 제1차 세계기후대회에서 기후변화협약까지의 주요일정

구분	일시	주요내용
제1차 세계기후대회	1979	기후변화가 인류에게 미치는 잠재적인 부정적 영향에 대한 경고와 함께 이 문제에 대한 각국 정부의 관심과 대응마련을 요청하는 선언문이 기후학자들에 의해 채택됨
각종 기후변화 관련 국제회의	1980년대 후반-1990년대 전반	일련의 기후변화 관련 국제회의가 개최되었으며 기후변화에 대한 과학적 증거와 대응정책 논의, 그리고 국제협약을 포함한 지구차원의 대응책등이 요청됨. 이 기간동안 개최된 주요 국제회의는 아래와 같음 <ul style="list-style-type: none"> - Villach Conference (1985.10) - Toronto Conference (1988.6) - Hague Conference and Declaration (1989.3) - Noordwijk Ministerial Conference (1989.11) - Cairo Compact (1989.12) - Bergen Conference (1990.5) - 제2차 세계기후대회 (1990.11)
기후변화에 관한 정부간 협의회 (IPCC) 설립	1988	IPCC가 세계기상기구(WMO)와 유엔환경기구(UNEP) 공동으로 설립되면서 기후변화에 대한 과학적 근거와 기후변화의 영향에 대한 정보를 종합하고 분석·평가하는 역할을 담당하게 됨
IPCC 제1차 보고서 발간	1990	기후변화에 대한 과학적 증거를 공식적으로 확인함으로써 정책결정자와 일반대중에게 기후변화에 대한 기초정보를 제공하고 국제협약의 필요성에 근거로 작용
협약을 위한 정부간 협상위원회 (INC) 발족	1990	유엔 이사회에 의해 150여 개국의 정부협상대표로 구성되었으며, 기후변화협약의 초안을 작성함
기후변화협약 (UNFCCC) 채택과 발효	1992(채택) 1994(발효)	기후변화협약은 1992년 6월 리우지구정상회의에서 채택되었으며 1994년 3월 21일 발효됨 (2004년 2월 26일 현재 188 개국이 협약에 가입한 상태임)

자료: 「Climate Change Information Kit」 (UNEP and UNFCCC, updated in July 2002)

2. 교토의정서와 교토 메커니즘

가. 교토의정서

1994년 3월 기후변화협약의 발효 후 INC는 협약의 공약사항(commitments), 협약의 재정구조, 개도국에 대한 기술적·재정적 지원, 협약의 이행절차와 운영기구 설립 등에 대한 논의를 지속적으로 수행하였으며, 1995년 2월 당사국총회(Conference of the Parties: COP)의 출범과 함께 해산하였다. 이후 당사국총회는 기후변화협약의 최고 의사결정기구의 역할을 담당하기 시작하였고, 제1차 당사국총회(COP-1)가 독일 베를린에서 117개 당사국 정부대표와 53개 옵저버 국가를 포함한 2,000여명이 참여한 가운데 개최되었다.

제1차 당사국총회에서는 2개의 협약 부속기구가 함께 설립되었는데, 하나는 과학 기술자문부속기구(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice: SBSTA)로서 당사국총회에 기후변화에 대한 최신정보 제공과 협약의 과학적·기술적 자문을 담당하고 있으며, 다른 하나는 이행부속기구(Subsidiary Body for Implementation: SBI)로서 협약의 원만한 이행을 담당하고 있다.

또한 제1차 당사국총회에서 당사국들은 협약에 명시된 선진국의 공약사항(2000년까지 온실가스 배출량을 1990년 수준으로 줄이는 것을 목표로 하는)이 충분하지 못하다는 데 의견을 같이하고, 2000년 이후 선진국에 법적 구속력을 갖는 추가적인 의무 부여를 주요내용으로 하는 "Berlin Mandate"를 채택하였다. "Berlin Mandate"에 기초한 선진국에 대한 추가의무조항은 제1차 당사국총회 이후 논의가 지속되었으며, 그 결과물이 1997년 12월 일본 교토에서 개최된 제3차 당사국총회(COP-3)에서 채택된 교토의정서(Kyoto Protocol)이다.

교토의정서의 주요내용은 감축대상 온실gas와 배출원을 명시하고 있는 부속서류 A(Annex A)와 감축대상 국가와 감축목표비율을 규정하고 있는 부속서류 B(Annex B)로 구성되어 있다. 먼저 부속서류 A는 6가지 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC,

SF₆)를 감축대상으로 정하고 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 등을 온실가스 배출원으로 규정하였다. 부속서류 B는 협약상의 부속서 I 국가(총 40개국과 유럽공동체) 중에서 교토의정서 채택 시 협약 미가입국이었던 터키와 벨라루스를 제외한 국가(총 38개국과 유럽공동체)를 부속서 B 국가로 재조정하고 2008년부터 2012년까지의 1차 공약기간동안 각 국가가 감축해야할 온실가스 감축목표 비율을 명시하고 있다.

따라서 교토의정서 내용을 요약하면, 1차 공약기간 동안 선진국들은 의정서에 규정된 6가지 온실가스의 연간배출량을 1990년의 배출량에 대비하여 평균 5.2% 줄이는 것이며, 주요국의 온실가스 저감목표비율은 <표 2-3>과 같다. 이와 같은 법적 구속력을 갖는 선진국에 대한 온실가스 감축 의무조항은 산업혁명 이후 지속되어 온 온실가스 배출의 증가추세를 되돌리는 효과를 가져 올 것으로 예상된다.

<표 2-3> 주요 국가별 온실가스 저감목표비율

국가	감축목표율
스위스, EC*, 대부분의 중앙·동유럽국가	- 8%
미국	- 7%
캐나다, 헝가리, 일본, 폴란드	- 6%
러시아, 뉴질랜드, 우크라이나	0%
노르웨이	+ 1%
오스트레일리아	+ 8%
아이슬랜드	+ 10%

* EC는 그룹전체로서의 감축목표를 달성하는 것으로 하며 그룹 내 국가의 개별 감축목표는 차별화하여 적용한다.

자료: 「Climate Change Information Kit」 (UNEP and UNFCCC, updated in July 2002)

교토의정서는 협약 당사국 중 55개국이 비준(ratification) 하고 비준한 당사국 중 선진국 그룹의 1990년 대비 이산화탄소 배출량 비율이 전체 배출량의 55% 이상을 차

지한다는 조건이 만족되면 90일 이후 발효가 된다. 2004년 11월 2일 기준으로 현재 127 당사국이 의정서에 비준하거나 동의(accession)한 상태이다. 교토의정서는 2001년 미국이 의정서에서 탈퇴함으로써 존폐의 위기에 처하였으나, 최근 러시아가 비준함으로써 의정서의 발효가 2005년 2월 16일으로 예정되어있다(<표 2-4>). 우리나라는 2002년 11월 8일 교토의정서에 비준하였다.

<표 2-4> 러시아의 교토의정서 비준과정

사전협의 단계 (2004.5.21)	푸틴 러시아 대통령, EU와의 정상회담 시 교토의정서 가입을 위한 국내 비준절차의 조속 추진의사를 표명
1단계 (2004.9.30)	러시아 행정부가 의정서를 승인, 비준을 위해 의회에 제출함으로써 의정서는 내년 상반기 중 발효가 가시화
2단계 (2004.10.22)	러시아 하원(State Duma), 교토의정서 비준안 의결 (찬성 334, 반대 73, 기권 2)
3단계 (2004.10.27)	상원(Federal Council)의 심의·승인
4단계* (2004.11.18))	행정부의 비준서 기탁(UNFCCC 사무국)

자료: 「기후변화 관련 국제동향 및 우리의 대응」 (유엔철, 2004.10.28); 기후변화 국제세미나 및 민관포럼 발표자료

* http://unfccc.int/press/interviews_and_statements/items/3290.php

나. 교토 메커니즘

교토의정서는 선진국의 자국내 온실가스 저감 이외에 비용효과적인 감축의무 수행의 보조수단으로 교토 메커니즘이라는 신축성 있는 이행체계를 도입하였다. 교토 메커니즘은 배출권 거래제도(International Emission Trading: IET), 공동 이행제도(Joint

Implementation: JI), 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM)로 구분된다.

배출권 거래제도란 온실가스 감축의무가 있는 선진국에게 배출쿼터를 부여한 후 그 한도 안에서 배출권을 자유로이 사고 팔수 있도록 허용하는 제도이고, 공동이행제도란 온실가스 감축의무가 있는 선진국 A가 다른 선진국 B의 일정 사업에 투자함으로써 발생한 배출량 감축분의 일정부분을 선진국 A의 감축실적으로 인정해주는 제도이며, 청정개발체제는 선진국 A가 개도국인 B에서 진행되고 있는 일정 사업에 투자함으로써 발생하는 온실가스 배출량 감축분의 일부를 선진국 A의 저감실적으로 인정해 주는 제도이다.

교토의정서에는 또한 교토 메커니즘 이외에 다른 저감수단 예를 들면, 에너지 효율 증대, 대체 에너지 개발, 산림을 비롯한 탄소흡수원(carbon sink)의 관리 등을 구체적인 온실가스 저감수단으로 명시하고 있다. 특히 총 배출량에서 탄소흡수량을 차감하여 계산되는 순배출량 산출과정이 복잡하여 논란이 많았던 LULUCF 관련 탄소흡수원을 구체적 의무이행수단으로 인정한 것은 주목할 사항이다.

제4차 당사국총회(COP-4)는 교토의정서가 발효될 경우에 대비하여 교토 메커니즘을 포함한 다양한 이행수단에 대한 구체적 세부운영규칙을 마련하기로 합의하였으며, 교토의정서의 구체적 세부이행·운영규칙은 제5차, 제6차 당사국총회에서의 토론과 협상과정을 거쳐 2001년 모로코 마라케쉬에서 개최된 제7차 당사국총회(COP-7)에서 최종적인 합의문을 통해 구체화 되었다. 마라케쉬 합의문은 교토 메커니즘의 구체적 이행규칙과 사업절차는 물론 개도국에 대한 선진국의 재정지원과 기술이전에 대한 가이드라인과 탄소흡수원으로 인한 배출감축분의 산출방법에 대한 원칙 등을 포함하고 있다.

우리나라는 기후변화협약에서 개도국의 지위를 인정받아 아직 온실가스 배출량 저감의무는 지고 있지 않지만, 2000년 현재 온실가스 배출량이 세계 9위라는 점을 감안할 때 앞으로 개도국 중 가장 먼저 온실가스 저감의무에 대한 압력을 받을 것으로 예상된다. 당사국총회별 주요결정사항은 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5> 당사국총회 주요결과

구분	일시·장소	주요 회의결과
COP-1	베를린, 독일 1995.3.28-4.7	<ul style="list-style-type: none"> - 온실가스 감축을 위해 선진국들에게 부과된 공약 (commitments)들이 협약의 목표달성에 적절한지를 검토 - 2000년 이후 선진국에 법적 구속력을 가진 추가적 의무부여 방안 마련을 골자로 하는 "Berlin Mandate" 채택 - 특별작업반(Ad hoc Group on the Berlin Mandate)을 구성하여 2000년 이후 선진국의 온실가스 저감목표 설정을 주요내용으로 하는 의정서 초안을 작성하기로 함 - 2개의 협약 부속기구(과학기술자문부속기구(SBSTA), 이행부속기구(SBI)) 설립
COP-2	제네바, 스위스 1996.7.8-7.19	<ul style="list-style-type: none"> - 제네바 선언(Geneva Declaration)을 통하여 제2차 IPCC 보고서 기후변화에 관한 가장 종합적이고 권위 있는 평가보고서로 공식적으로 인증 - 개도국의 국가보고서에 포함될 내용과 보고서 작성절차에 대한 토론과 검토
COP-3	교토, 일본 1997.12.1-12.11	<ul style="list-style-type: none"> - 교토의정서 채택 - 교토의정서는 법적 구속력을 가지며 2008년부터 2012년까지로 정해진 1차 공약기간 동안 선진국들의 주요 온실가스의 배출량의 총합을 1990년 대비 평균 5.2% 줄이는 것을 주요 내용으로 함 - 비용효과적인 온실가스 저감을 위해 신축성 있는 이행수단인 교토 메커니즘(배출권 거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제) 도입
COP-4	부에노스 아이레스, 아르헨티나 1998.11.2-11.13	<ul style="list-style-type: none"> - 교토의정서 발효를 대비하여 교토 메커니즘의 구체적 이행·운영규칙을 COP-6 까지 마련하기로 하는 2년간의 행동계획(Action Plan) 수립 - 협약관련 쟁점인 개도국으로의 기술이전, 정책과 조치, 재정지원 문제논의
COP-5	본, 독일 1999.10.25-11.5	<ul style="list-style-type: none"> - 교토 메커니즘, 개도국에 대한 재정지원 및 기술지원 등 주요 쟁점사안에 대한 합의를 도출하지 못하고 COP-6에서 논의를 계속하기로 함
COP-6	헤이그, 네덜란드 2000.11.13-11.25	<ul style="list-style-type: none"> - 개도국에 대한 재정지원 및 기술지원 사안에 대한 협상에는 많은 진전이 있었으나, 중요 정치적 쟁점사안인 배출권 거래제도, 청정개발체제, 탄소흡수원으로 인한 배출량 감축분 계정법등의 사안에 대해서는 합의에 도달하지 못함

<표 2-5> 당사국총회 주요결과(계속)

구분	일시·장소	주요 회의결과
COP-6 (속개회의)	본, 독일 2001.7.16-7.27	- COP-6에서 합의에 이르지 못한 4가지 중점사안(개도국에 대한 능력형성, 재정지원 및 기술이전, 교토 메커니즘 운영규칙, 토지이용·토지용도변화 및 입업, 정책 및 조치·의무준수체계·배출량 통계작성)을 타결 (본 합의서:Bonn Agreement) - 2001년 미국은 의정서에서 탈퇴
COP-7	마라케쉬, 모로코 2001.10.29-11.9	- 본 합의서에 대한 추가협상을 통해 교토의정서의 세부운영규칙이라 할 수 있는 마라케쉬 합의문(Marrakesh Accords) 채택
COP-8	뉴델리, 인도 2002.10.23-11.1	- 델리 각료선언문 채택 - 개도국에 대한 재정 및 기술지원과 온실가스 통계산정방법 등 세부 방법론적 이슈가 논의 됨
COP-9	밀라노, 이탈리아 2003.12.1-12.12	- COP-8과 마찬가지로 개도국에 대한 지원과 능력형성문제와 통계산정 등 세부 방법론적 이슈가 지속적으로 논의됨 - 당사국들의 2-3차 국가보고서 제출 시기에 대한 논의 - 교토의정서 발효 후를 대비하는 논의가 진행됨 - SBSTA에 새로이 논제로 추가된 기후변화에 대한 “적응”과 기후변화의 “완화”가 향후 협약의 발전방향을 가능하는 주요 의제로 부상

- 자료: 1) Climate Change Information Kit (UNEP and UNFCCC, updated in July 2002)
 2) 「기후변화협약 대응 제2차 종합대책」 (환경부, 2002)
 3) <http://www.unfccc.int>

3. 토지이용변화 및 임업과 온실가스

가. 교토의정서상의 토지이용·토지이용변화·임업

교토의정서에서는 신규조림(afforestation), 재조림(reforestation), 산림전용(deforestation)을 포함한 토지이용·토지이용변화·임업(Land Use, Land-Use Change and Forestry; LULUCF) 활동을 부속서 I 국가들이 온실가스 저감의무를 달성하는 데 이용할 수 있는 이행수단으로 명시하고 있으며, 그 구체적 내용은 의정서 3조 3항에서 찾아볼 수 있다.

의정서 3조 3항

직접적인 인간 활동에 기인한 토지이용변화 및 임업(1990년 이후 신규조림, 재조림, 산림전용에 국한하는)의 결과로 나타난 온실가스 배출과 흡수의 순 변화(각 의무기간에 확인 가능한 방법으로 측정된 탄소량에서의 변화)는 부속서 I 국가들이 의무감축량을 준수하는데 활용될 수 있다. 위의 활동과 관련된 배출 및 흡수는 의정서 7조(부속서 I 국가들의 매년 배출량 보고 관련)와 8조(부속서 I 국가들의 배출량 보고에 따른 검토 관련)에 명시된 것과 같이 투명하고 확인 가능한 방법으로 보고·검토 될 것이다.

Article 3.3

The net changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks resulting from direct human-induced land-use change and forestry activities, limited to afforestation, reforestation and deforestation since 1990, measured as verifiable changes in carbon stocks in each commitment period, shall be used to meet the commitments under this Article of each Party included in Annex I. The greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks associated with those activities shall be reported in a transparent and verifiable manner and reviewed in accordance with Article 7 and 8.

교토의정서상의 LULUCF 활동은 신규조림, 재조림, 산림전용(보통 각 활동의 영어 표기 앞 글자를 따서 ARD 라 묶어서 칭함)과 같이 토지이용변화를 수반하는 활동과 토지이용변화를 수반하는 것은 아니지만 개선된 산림관리를 통해 탄소 저장량을 변화시키는 산림경영활동으로 크게 구분할 수 있다. 제1차 공약기간 동안 교토의정서상에서의 산림관련 활동 인정범위를 살펴보면, 자국내 산림활동과 공동이행제도에서는 위의 두 가지 활동을 모두 인정하고 있으나, 청정개발체제에 있어서는 신규조림/재조림만을 인정하고 있다. 의정서는 또한 LULUCF 활동을 통한 온실가스 감축 인정분을 1990년 배출량 대비 일정부분으로 제한하고 있다(<표 2-6>).

<표 2-6> 교토의정서상에서의 산림관련활동 인정범위

구분	신규조림/재조림	산림경영
자국내 산림활동	양적 제한 없음	제1차 공약기간에 있어서는 자국내 산림활동과 공동이행제도를 합한 흡수분이 기준년도 배출량의 3%를 넘지 않도록 함
공동이행제도	양적 제한 없음	
청정개발체제	제1차 공약기간에 있어서는 기준년도 총 배출량의 1%를 상한선으로 함	제1차 공약기간에 있어서는 인정되지 않음

자료: 「국내외 산림부문에서의 탄소 배출권」 (이경학, 2004)

나. 마라케쉬 합의문상의 토지이용 · 토지이용변화 · 임업

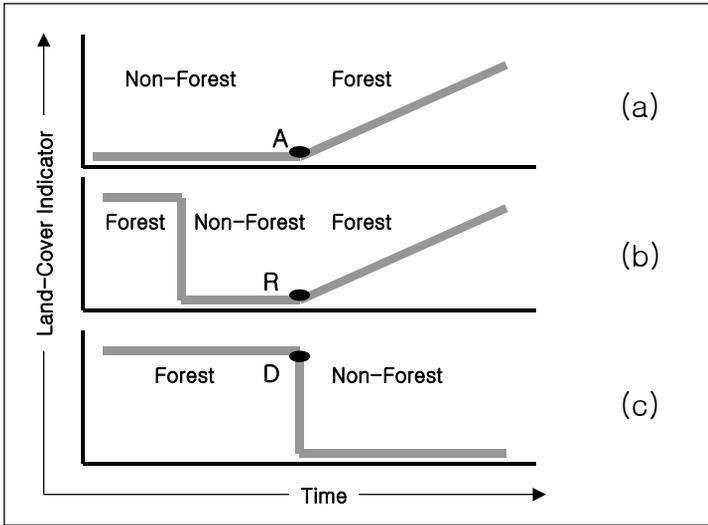
위에서 언급한 바와 같이 제7차 당사국총회(COP-7)에서 채택된 마라케쉬 합의문은 교토의정서상의 LULUCF 활동에 대한 구체적인 이행규칙과 사업절차에 대한 내용을 포함하고 있다. 우선 마라케쉬 합의문상에 명시된 LULUCF 활동별 정의를 살펴보면 <표 2-7>과 같다.

<표 2-7> 마라케쉬 합의문에서의 LULUCF 관련용어 정의

용어	정의
산림 forest	최소면적(0.05-1.0ha), 수관율폐도(10-30%) 및 성숙시의 최소수고(2-5m)를 기준으로 정의한다. 수확 등 인위적인 간섭의 결과 형성되어 본 기준에 미치지 못하는 어린 자연 임분(young natural stands)과 모든 식재림(plantation)도 앞으로 산림의 정의에 포함될 것으로 기대되는 경우 “산림”으로 정의
신규조림 afforestation	50년 이상 산림이외의 용도로 이용해 온 토지에 식재, 파종, 인위적 천연갱신촉진 등을 통해 새로이 산림을 조성하는 것
재조림 reforestation	본래 산림이었다가 산림이외의 용도로 전환되어 이용해 온 토지에 식재, 파종, 인위적 천연갱신 촉진 등을 통해 다시 산림을 조성하는 것이다. 제1차 공약기간의 재조림 활동은 1989년 12월31일 당시 산림이 아니었던 토지에 재조림하는 것으로 제한
산림전용 deforestation	산림을 산림이외의 용도로 전환하는 것
식생복구 revegetation	신규조림이나 재조림의 정의에 부합하지 않지만 최소 0.05ha 면적을 포함하는 식생의 조성을 통해 그 입지에서의 탄소축적량을 증가시키는 직접적인 인위적 활동을 의미
산림 경영 forest management	임업의 생태, 경제, 사회적 기능 발휘를 목적으로 산림을 관리·이용하기 위한 시업 시스템
경작지 경영 cropland management	작물 생산을 목적으로 농작물이 자라고 있거나 잠시 휴경하고 있는 토지에서의 시업 시스템
목초지 경영 grazingland management	축산물 생산을 위해 식생과 가축의 양과 형태를 조절하는 토지에서의 시업 시스템

자료: UNFCCC Decision 11/CP.7 국문 번역

<표 2-7>중에서 신규조림, 재조림, 산림전용의 정의를 시각화하면 <그림 2-1>과 같다.



<그림 2-1> 신규조림, 재조림, 산림전용의 정의

(a)는 신규조림으로서 A시점을 기준으로 최소한 50년 동안 산림이 아니었던 지역에 새로이 산림을 조성하는 것이고 (b)는 재조림으로써 원래 산림이었던 지역이 일정 기간 다른 용도로 전용되었다가 R시점에서 산림이 재조성되는 것으로 마라케쉬 합의 문에서는 1989년 12월 31일을 기준으로 한다. (c)는 산림이었던 지역이 산림이외의 다른 용도로 바뀌는 산림전용을 보여준다.

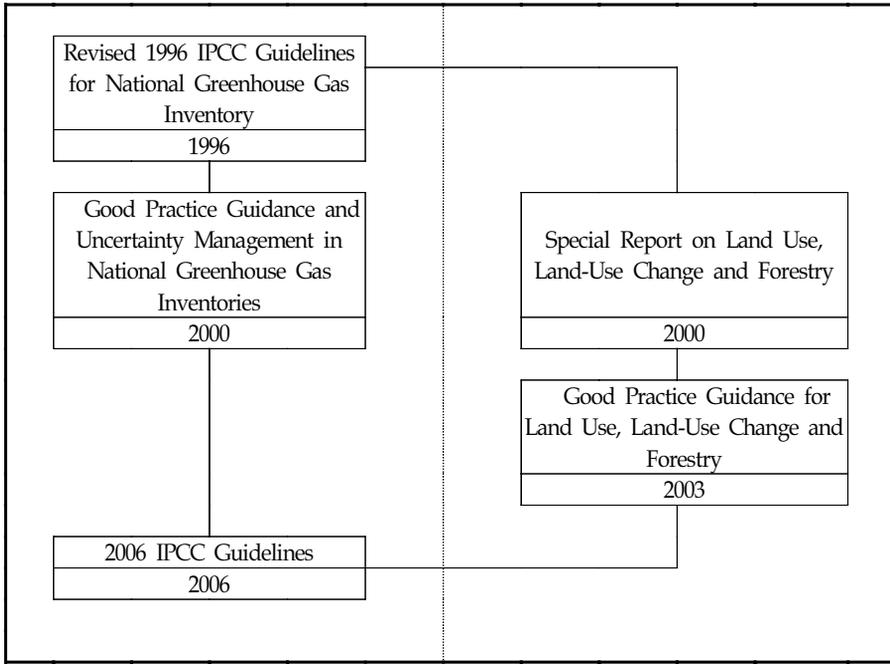
다. 1996 IPCC 지침서와 우수실행 지침서

기후변화협약은 당사국으로 하여금 자국내의 온실가스 통계에 관한 국가보고서 제출을 의무화하고 있으며 현재 국가보고서 작성은 1996년에 발간된 IPCC 지침서(수정판)(Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)를 기준으로 한다. 이후 협약 당사국들은 국가통계를 작성하는데 있어 1996 지침서보다 상세한 내용을 담은 우수실행 지침서 작성을 IPCC에 요청하였다. 이에 IPCC는 2000년에

국가통계작성을 위한 우수실행 지침서(Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories: GPG-2000)를 완성하였다. 우수실행 지침서는 1996년 지침서 상에 나타난 여러 가지 이슈들, 특히 통계산출과 관련된 불확실성의 관리방법과 함께 각국의 특수성과 통계구축정도에 따른 맞춤형 온실가스 통계 작성방법을 제시하고 있다. 따라서 우수실행 지침서는 기존의 IPCC 지침서를 대체하는 개념이 아니라 보완해 주는 역할을 한다고 볼 수 있다.

GPG-2000에는 LULUCF 부문이 제외되었는데, 그 이유는 IPCC가 과학기술자문부속기구의 요청으로 LULUCF 관련 특별보고서 「토지이용·토지이용변화·임업」(IPCC, 2000)을 동시에 준비하고 있었기 때문이었다. 이 특별보고서는 교토의정서상의 LULUCF 활동과 연계된 탄소고정 전략의 과학적·기술적 이행에 대한 정보제공을 주 목표로 삼고 있다. 보고서에서 다루어진 주요내용으로는 a) 지구탄소 순환기작의 이해, b) 탄소축적량 변화의 평가를 위한 측정법과 모니터링에 대한 정보제공, c) 탄소 계정법에 대한 다양한 시나리오를 도입해 미래에 예상되는 LULUCF 활동별 탄소 흡수량의 잠재력 평가 등을 들 수 있다. 또한 이 특별보고서를 기본으로 LULUCF 분야의 우수실행 지침서(Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry: GPG-LULUCF)가 마련되었으며, 그 결과물은 2003년에 발간되었다. <그림 2-2>는 IPCC 온실가스 국가통계 작성 지침서의 발전과정을 보여준다.

우수실행 지침서는 투명성, 완전성, 일관성 있는 측정방법 제시를 목표로 하고 있으며, 새로운 정보가 이용가능해지면 관련된 불확실성이 제거될 수 있도록 하였다. 또한 1996 지침서와 일관성을 유지할 수 있도록 배출원, 흡수원의 범주를 동일하게 함은 물론, 같은 산출식을 사용하고 있다. 참고로 발간 예정인 2006 IPCC 지침서는 1996 지침서에서 별개의 분야로 다루고 있는 LULUCF와 농업분야를 통합하여 온실가스 흡수/배출량 통계를 작성하는 것을 원칙으로 하고, 두 부분의 통합 시 발생할 수 있는 문제점에 대한 해결책 마련과 함께 통계의 일관성을 유지할 수 있도록 하는 방법론을 만드는 데 노력을 기울이고 있다.



<그림 2-2> IPCC 온실가스 국가통계작성 지침서 발전과정

라. 1996 IPCC 지침서상의 온실가스 흡수/배출량 통계작성

IPCC 지침서는 온실가스 흡수/배출량 통계산출 방법과 함께 방법론의 적용에 있어서의 기본원칙을 다음과 같이 제시하고 있다. IPCC 지침서는 통계작성 시 모든 당사국이 공통으로 적용할 수 있는 기본 계수값(default values)을 제시하고 있는 데, 기본값 사용의 경우 산출값의 정확도가 높지 않음을 분명히 하고 각국의 특수성을 고려한 고유값(country-specific values) 또는 기본값과 고유값의 결합형태의 사용을 권장하고 있다. 이러한 기본원칙은 IPCC가 국가별 특수상황과 통계 구축정도를 고려하여 통계산출에 유연성을 부과 했다고 볼 수 있다.

1996 IPCC 지침서는 LULUCF 분야의 온실가스 흡수/배출량 통계를 a) 산림 및 기

타 목질 바이오매스 저장량 변화, b) 산림 및 초지전용, c) 산림 내 소각에 따른 non-CO₂ 가스 배출, d) 방치된 경영 토지, e) 토양의 CO₂ 흡수 및 배출의 5개 범주로 구분하고 있으며 각각의 통계산정 방법은 다음과 같다.

산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화

산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화의 계산은 수목생장의 결과인 입목축적 증가로 인한 탄소 흡수량과 벌채에 따른 탄소 배출량 산출을 중심으로 한다. 먼저 수목생장으로 인한 입목축적 증가로 인한 탄소 흡수량 계산은 연간 입목축적의 변화, 즉, 줄기재적의 순 증가량 측정으로부터 시작된다. 측정된 줄기재적의 순 증가량을 최종적으로 수목전체의 탄소 증가량으로 전환되어야 하는 데 전환과정에는 성장량을 건조질량으로 바꿔주는 전건비중, 지상 바이오매스 대 줄기바이오매스 비율, 전체 바이오매스 대 지상 바이오매스 비율, 탄소전환 인자가 필요하며 산출 방식은 <표 2-8> 와 같다. IPCC는 입목축적 값 계산 시 3년 이동평균값의 사용을 권장하고 있으며, 탄소전환인자 기본값으로 0.5를 제시하고 있다. 우리나라의 경우 입목축적 통계치는 「임업통계연보」를 통해 임상별(침엽수, 활엽수)로 구할 수 있다.

<표 2-8> 임목의 탄소흡수량 추정

줄기재적의 순증가 (km ³)	전건 비중 (tdm/m ³)	줄기바이오매스의 순증가 (ktdm)	지상 바이오매스 대 줄기바이오매스 비율	전체바이오매스 대 지상바이오매스 비율	전체 바이오매스 순증가 (ktdm)	탄소 전환 인자	탄소 순 흡수량 (kTC)
A	B	C=A*B	D	E	F=C*D*E	G	H=F*G

주) dm: 전건중량(dry matter); tC: 탄소톤; t:톤

자료: 「산림의 온실가스 저감방안」 (임업연구원, 1998); pp 25

다음으로 벌채를 통한 탄소의 배출은 상업적 벌채와 기타 용도의 벌채를 모두 포함한다. 벌채에 의한 탄소 배출량 산정법은 <표 2-9>와 같다. <표 2-9>에서 지상바이오매스 확대요인이란 상업적 벌채 자료가 원목단위로 되어 있으므로 이 값을 전체 입목 바이오매스로 환산하기 위해 필요한 인자이다.

<표 2-9> 벌채로 인한 탄소 배출량 산정

상업적 벌채 (km ²)	지상바이오매스 확대요인 (tdm/m ³)	상업적 벌채로 감소된 지상 바이오매스 (ktdm)	연료재 소비량 (ktdm)	지상바이오매스 소비량 (ktdm)	지상 바이오매스에 대한 전체 바이오매스의 비율	전체바이오매스 소비량 (ktdm)	탄소 전환 인자	총 탄소 배출량 (ktC)
A	B	C=A*B	D	E=C+D	F	G=E*F	H	I=G*H

주) dm: 전건중량(dry matter); tC: 탄소톤; t:톤
 자료: 「산림의 온실가스 저감방안」 (임업연구원, 1998); pp 26

산림 및 초지전용

산림에서 타 용도로의 토지이용변화에 따른 CO₂의 방출량은 첫째, 전용 시에 발생하는 바이오매스 소각으로 인한 배출량 둘째, 전용 후 남은 잔재 바이오매스의 부후(전환이후 10년간) 셋째, 전용에 따른 토양탄소의 변화(토양의 CO₂ 흡수 및 배출부분 참조)등 세가지 부분을 포함한다.

우선 전용 시에 발생하는 바이오매스 소각으로 인한 배출량이란 전용과정에서 발생하는 상업적 벌채는 제외하고 소각에 의한 배출량만을 포함한다. 예를 들어 화전의 경우 입목이 벌채가 아닌 소각에 의해 제거되면 제거된 입목전체가 배출량으로 계산된다. IPCC 지침서상의 소각에 의한 배출량 산출과정은 <표 2-10>과 같다. <표 2-10>에서와 같이 1단계에서는 연간 바이오매스 소실량을 산출하는 데 전용 전 바이오매

스량에서 전용 후 바이오매스량을 차감한 후 연간 총 전용면적을 곱하여 산출한다. IPCC는 바이오매스 기준량의 국가별 고유값이 존재하지 않는 경우를 위하여 기후별, 식생별 바이오매스 기준량을 제공하고 있다. 2단계에서는 연간 바이오매스 소실량에 소각으로 사라지는 바이오매스 비율을 적용하여 소각되는 바이오매스량을 산출하고 산화되는 바이오매스 비율과 탄소전환인자를 이용하여 최종적으로 소각에 따른 총탄소 배출량을 계산한다. 산화되는 바이오매스 비율은 소각과정에서 숲으로 되지 않고 산화되는 바이오매스량 비율을 나타내는 것으로 IPCC는 기본값으로 0.9를 제공하고 있으며 탄소전환인자는 기본값인 0.5를 적용할 수 있다.

<표 2-10> 산림전용시 소각에 따른 탄소 배출량 산출

1단계					
식생	연간전용면적 (kha)	전용전 바이오매스량 (tdm/ha)	전용후 바이오매스량 (tdm/ha)	바이오매스 순변화량 (tdm/ha)	연간 바이오매스 소실(ktdm)
	A	B	C	D=(B-C)	E=(A×D)
2단계					
소각되는 바이오매스 비율	소각되는 바이오매스량 (ktdm)	산화되는 바이오매스 비율	산화되는 바이오매스량 (ktdm)	탄소전환 인자	소각에 따른 탄소배출량 (ktC)
F	G=(E×F)	H	I=(G×H)	J	K=(I×J)

주) dm: 전건중량(dry matter); tC: 탄소톤; t:톤

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」 (IPCC, 1996)

다음으로 전용 후 남은 잔재 바이오매스의 부후에 따른 탄소 배출량 산출을 살펴보면, IPCC는 전용 후 남은 잔재량이 총량의 10분의 1씩 10년에 걸쳐 부후되면서 이산

화탄소를 방출하는 것을 가정하여 배출량을 산출하도록 권장하고 있으며, 산출과정은 <표 2-11>과 같다. 우리나라의 경우 전용 후 산림전용에 있어서 소각을 통한 전용의 경우가 희박하고 초지의 전용은 무시할 정도이므로 잔재물 부후에 따른 이산화탄소 배출만을 생각해도 무리가 없을 것이다.

<표 2-11> 산림전용시 바이오매스 부후에 따른 탄소배출량 산출

평균전용 면적 (10년평균) (kha)	전용전 바이오 매스량 (tdm/ha)	전용후 바이오 매스량 (tdm/ha)	순바이오 매스변화 (tdm/ha)	연간평균 바이오 매스 손실 (ktdm)	부후 되는 잔존 비율	부후되는 바이오 매스량 (ktdm)	탄소 전환 인자	바이오매스 부후에 의한 탄소배출량 (ktC)
A	B	C	D=(B-C)	E=(A×D)	F	G=(E×F)	H	I=(G×H)

주) dm: 전건중량(dry matter); tC: 탄소톤; t:톤

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」(IPCC, 1996)

산림 내 소각에 따른 non-CO₂ 가스 배출

산림 내 소각에 있어 이산화탄소 이외에 CH₄, N₂O, CO, NO_x와 같은 온실가스의 배출에 대한 추정도 중요하다. CH₄와 CO의 경우는 배출되는 총 탄소량의 비로 산출할 수 있으며 질소계통 온실가스는 바이오매스내의 탄소와 질소의 비를 통해 산출이 가능하다. <표 2-12>는 IPCC 지침서에 의한 non-CO₂ 온실가스 배출량 산출에 필요한 비율의 기본값을 보여준다. 따라서 주어진 범위 내에서 우리나라 실정을 가장 잘 반영하는 값을 선택할 필요가 있다. <표 2-12>에서 주어진 전환계수를 통해 기타 온실가스의 배출량을 구하는 식은 아래와 같다.

$$(CH_4 \text{ 배출량}) = (\text{탄소배출량}) \times (\text{전환계수}) \times 16/12$$

$$(CO \text{ 배출량}) = (\text{탄소배출량}) \times (\text{전환계수}) \times 28/12$$

$$(\text{N}_2\text{O 배출량}) = (\text{탄소배출량}) \times (\text{탄소 대 질소비율}) \times (\text{전환계수}) \times 44/28$$

$$(\text{NO}_x \text{ 배출량}) = (\text{탄소배출량}) \times (\text{탄소 대 질소비율}) \times (\text{전환계수}) \times 46/14$$

<표 2-12> CO₂ 이외의 온실가스 전환계수

온실가스	전환계수
CH ₄	0.012 (0.009 ~ 0.015)
CO	0.060 (0.040 ~ 0.080)
N ₂ O	0.007 (0.005 ~ 0.009)
NO _x	0.121 (0.094 ~ 0.148)

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」 (IPCC, 1996)

방치된 경영 토지

농지나 초지의 경우와 같이 경영이 이루어지던 토지가 방치되면 지상부와 토양에 탄소가 재축적 된다. 비록 토양 침식에 의해 그 지역의 탄소가 유실되지만 탄소의 경우 강이나 다른 지역에 다시 축적되어 탄소 배출로 보기는 힘들다. 방치된 경영토지의 지상부 바이오매스의 증가는 기후별, 지역별로 다르게 나타나며 바이오매스 증가에 영향을 미치는 주요 요인으로는 토양의 종류, 토지경영 기간, 경영이전의 생태환경 등이 있다. IPCC에서는 비교적 빠른 탄소축적을 보이는 방치이후 20년까지와 그 이후의 기간을 구분하여 통계를 산출할 것을 권장한다. <표 2-13>에서는 IPCC에서 제시한 지역별 기후별 연간 평균 바이오매스 증가량의 기본값을 보여주고 있다.

<표 2-13> 방치된 토지에서의 바이오매스 연간 증가량

지역	산림유형(단위: dm/ha/yr)					
	Moist Forest		Seasonal Forest		Dry Forest	
	0-20년	20-100년	0-20년	20-100년	0-20년	20-100년
아메리카	8.0	0.9	5.0	0.5	4.0	0.25
아프리카	11	1.0	7.0	0.7	4.0	0.25
아시아	11	1.0	7.0	0.7	4.0	0.25
온대림	0-20년			20-100년		
	침엽수	3.0		3.0		
	활엽수	2.0		2.0		
한대림	1.0			1.0		

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」 (IPCC, 1996)

토양의 CO₂ 흡수 및 배출

토양의 CO₂ 흡수 및 배출은 a) 무기토양에서의 배출 b) 유기토양에서의 배출 c) 석회 시비에 따른 토양탄소의 변화 세가지로 구분하여 측정하게 된다. 먼저 무기토양의 CO₂ 배출에 있어서는 토양의 상층부 30cm만을 대상으로 하고 그 이하의 토양은 토지이용 변화에 따라 CO₂ 변화량이 적어 산정에는 포함시키지 않는다. 토양 CO₂의 변화를 측정하는 방법에는 다양한 모델이 있으나 IPCC는 적용이 간단한 계정접근법(account approach)을 도입하였다. 이는 기후환경과 토양의 종류에 따라 기본값을 부여하고 그 값을 기준으로 CO₂ 변화량을 측정하는 것으로 20년 단위의 축적조사 기간이 필요하다. 기본값 산정을 위해 기후와 토양을 중심으로 IPCC가 제시한 분류체계는 <표 2-14>와 같으며, <표 2-14>의 분류체계를 이용한 각 토양유형에 따른 탄소보유량은 <표 2-15>와 같다. <표 2-15>의 값은 자연식생에 해당하는 값으로 농지의 경우에는 농지유형, 경작정도, 잔여물의 처리정도에 따라 차별화된 변환계수를 적용하게 된다.

<표 2-14> IPCC 기후구분 및 토양구분

기후구분	토양구분		
	IPCC구분	FAO 구분	USDA 구분
- Cold temperate, dry - Cold temperate, moist - Warm temperate, dry - Warm temperate, moist	High clay activity mineral soils	Vertisols, Chernozems, Phaeozems	Vertisols, Mollisols, high-base status Alfisols
- Tropical, dry - Tropical, moist (with long, dry season)	Low clay activity mineral soils Sandy soils	Acrisols, Nitisols, Ferralsols Arenosols, sandy Regosols	Ultisols, Oxisols, acidic Alfisols Psamments
- Tropical, moist (with short, dry season) - Tropical, wet	Volcanic soils Aquic soils (wet soils) Organic soils	Andosols Gleysols Histosols	Andisols Aquic suborders Histosols

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」 (IPCC, 1996)

<표 2-15> 자연식생에서의 유기탄소 추정량

단위: tC/ha

Region	High activity soils	Low activity soil	Sandy Soil	Volcanic soils (Andisols)	Wetland soils (Aquic)
Cold temperate, dry	50	40	10	20	70
Cold temperate, moist	80	80	20	70	180
Warm temperate, dry	70	60	15	70	120
Warm temperate, moist	110	70	25	130	230
Tropical, dry	60	40	4	50	60
Tropical, moist(with long, dry season)	100	50	5	70	100
Tropical, moist(with short, dry season)	140	60	7	100	140
Tropical, wet	180	70	8	130	180

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」 (IPCC, 1996)

다음으로 유기토양에서의 탄소 배출은 기후, 유기물질의 양, 토양의 배수정도, 시비와 같은 인간활동에 따라 그 수준에 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 같은 조건의 토양이라 할지라도 특수한 성분의 포함여부에 따라 배출량에서 차이가 난다. IPCC는 과거 연구결과를 기준으로 기본값을 정하여 유기물 토양의 배출량을 측정하는 것을 권장하고 있으며, <표 2-16>은 조건별 기준 배출량을 보여준다.

<표 2-16> 유기토양의 조건별 연간 탄소배출량

유기토양의 농업적 활용	연간 탄소 배출량 (MgC/ha/yr)
Cool temperate	
Upland crops	1.00
Pasture/Forest	0.25
Warm temperate	
Upland crops	10.00
Pasture/Forest	2.50
Tropical	
Upland crops	20.00
Pasture/Forest	5.00

자료: 「Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories」 (IPCC, 1996)

마지막으로 석회사용에 따른 토양탄소의 변화는 농업용 석회비료 시용에 따른 온실가스 배출량이라 할 수 있다. 석회는 토양의 산성화를 개선하는데 사용되며 산성토양과 만나면 반응하여 이산화탄소를 배출하게 된다. 따라서 이 과정을 통해 배출되는 탄소의 양은 측정 이전 년도에 판매된 석회비료의 양을 적용하여 추정할 수 있다. 만약 다양한 석회비료의 자료가 없을 때에는 CaCO_3 를 대표값으로 하여 산출한다.

4. 토지이용변화와 온실가스 흡수/배출량 산출

가. 제2차 국가보고서 개요

기후변화협약 당사국은 협약 의무사항으로 온실가스 배출량에 대한 국가보고서를 제출해야 한다. 우리나라의 경우 1998년 1차보고서를 제출하였고 2003년에 2차보고서를 제출한 상태이다. 국가보고서에는 온실가스 배출 현황 및 전망, 온실가스 저감을 위한 정책 및 조치 등의 내용이 포함된다. 제2차 국가보고서에 의하면 2001년 기준 우리나라 전체 온실가스 배출량은 148,038천tC으로 1990년 이후 연평균 5.2%씩 증가해 왔다. <표 2-17>에서는 1990년 이후 온실가스 배출 추이와 일인당 온실가스 배출량, 국내총생산 대비 온실가스 배출량(GHG/GDP) 값을 보여준다.

<표 2-17> 국내 온실가스 배출량 지표

구분	1990	1995	1998	1999	2000	2001	1990~2003 연평균증가량(%)
온실가스배출량 (천tC)	84,738	123,445	123,974	135,542	144,259	148,038	5.2
일인당 온실가스 배출량 (tC per capita)	1.98	2.74	2.68	2.91	3.07	3.13	4.3
GHG/GDP (tC per million won, '95)	0.322	0.327	0.314	0.310	0.301	0.300	-0.6

자료: 「Second National Communication of the Republic of Korea Under the United Nations Framework Convention on Climate Change」 (The Government of the Republic of Korea, 2003)

<표 2-18>의 분야별 온실가스 배출량을 보면 2001년 기준으로 에너지 분야가 전체 배출량 중 83.5%를 차지하여 가장 높게 나타났고, 그 뒤를 이어 산업공정, 농업·축산,

폐기물의 순이었으며 LULUCF 분야는 9,448천tC의 순흡수를 보였다. 에너지 부문 온실가스 배출량은 1990년 이후 꾸준한 증가를 기록하고 있는 반면, 농업·축산, 폐기물 분야는 1998년을 기준으로 증가에서 감소로 전환되었다.

<표 2-18> 국내 부문별 온실가스 배출량 추이

구분	1990	1995	1998	1999	2000	2001	1990~2003 연평균 증가량(%)
전체 배출량	84,738 (100.0)	123,445 (100.0)	123,974 (100.0)	135,542 (100.0)	144,259 (100.0)	148,038 (100.0)	5.2
에너지	67,567 (79.7)	101,490 (82.2)	102,335 (82.5)	111,528 (82.3)	119,601 (82.9)	123,540 (83.5)	5.6
산업공정	5,428 (6.4)	12,747 (10.3)	12,393 (10.0)	14,933 (11.0)	15,886 (11.0)	15,755 (10.6)	10.2
농업·축산	4,798 (5.7)	4,917 (4.0)	4,821 (3.9)	4,656 (3.4)	4,519 (3.1)	4,405 (3.0)	-0.8
토지이용 및 임업	-6,476	-5,793	-9,949	-10,422	-10,156	-9,448	3.5
폐기물	6,945 (8.2)	4,291 (3.5)	4,425 (3.6)	4,425 (3.3)	4,254 (2.9)	4,337 (2.9)	-4.2
순 배출량	78,262	117,651	114,025	125,120	134,102	138,590	5.3

주) 단위: 천tC; ()은 % 비율임; (-)표시는 흡수를 말함

자료: 「Second National Communication of the Republic of Korea Under the United Nations Framework Convention on Climate Change」 (The Government of the Republic of Korea, 2003)

나. 토지이용·토지이용변화·임업분야 온실가스 흡수/배출량 현황

제2차 국가보고서 작성을 위하여 1996 IPCC 지침서(수정판)를 기준으로 토지이용

변화 및 임업부문의 온실가스 흡수/배출량 통계가 2001년 자료를 중심으로 작성되었다. 임업부문의 국가보고서에는 우리나라의 산림 및 임업의 환경, 온실가스 흡수/배출량 통계현황 및 전망, 흡수/배출량 관련 임업부문 정책 및 조치에 대한 내용이 포함되어 있다. 또한 국가보고서에는 기후변화 영향, 취약성 평가, 적응수단, 재정지원 및 기술이전 등의 내용도 함께 다루어지고 있다.

3절 라 항에서 기술한 바와 같이 IPCC 지침서는 LULUCF 분야의 온실가스 통계산출을 a) 산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화, b) 산림 및 초지전용, c) 산림 내 소각에 따른 non-CO₂ 가스 배출, d) 방치된 경영 토지, e) 토양의 CO₂ 흡수 및 배출의 5개 범주로 구분하고 있으나, 우리나라와 같이 토지용도 경쟁이 심한 나라에서는 버려진 땅이 거의 없으므로 방치된 토지는 없다고 가정하고 국가보고서 작성 시 산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화, 산림 및 초지전용, 토양의 CO₂ 배출 및 흡수에 대해서만 산출이 되었다.

우리나라의 2001년도 LULUCF 분야의 온실가스 흡수/배출량 통계는 <표 2-19>와 같다. 국가 전체로 볼 때 LULUCF 분야에는 9,448천tC의 순흡수를 보이고 있다. 부분별로는 '산림 및 기타 목질 바이오매스의 저장량 변화'에서 10,610천tC의 흡수를 보였고, '산림 및 초지전용' 부분에서는 88천tC의 배출을 기록했으며 '토양에서의 CO₂ 배출 및 흡수' 부분에서는 1,074천tC를 배출한 것으로 산출되었다. 1990년 이후 LULUCF 분야의 부분별 온실가스 흡수/배출량 추이는 <표 2-20>과 같다.

<표 2-19> 흡수/배출원별 온실가스 통계현황 (2001)

흡수/배출원	순흡수량/배출량(천tC)*
계	(-)9,448**
산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화	(-)10,610
산림 및 초지전용(잔존 바이오매스 부후)	88
토양의 CO ₂ 흡수 및 배출	1,074

주: * tC는 탄소톤(tonnes of carbon)을 뜻함. 이를 이산화탄소톤(tCO₂)로 바꾸려면 44/12를 곱하면 됨; ** (-)부호는 순흡수를 의미함

자료: 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」 (임업연구원, 2003); pp 22

<표 2-20> 토지이용변경 및 임업부문 온실가스 흡수/배출량 추이

단위: 천tC

흡수원/배출원	1990	1995	1998	1999	2000	2001	연평균(%)
계	-6,476	-5,793	-9,949	-10,422	-10,156	-9,448	3.5
산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화	-7,155	-6,867	-11,087	-11,552	-11,299	-10,610	3.6
- 생장에 의한 총흡수량	-7,958	-7,493	-11,911	-12,516	-12,354	-11,589	3.5
- 벌채에 의한 배출량	803	626	824	965	1,054	979	1.8
산림 및 초지 전용	46	71	82	84	84	88	6.0
토양의 CO ₂ 흡수/배출량	633	1,002	1,057	1,046	1,059	1,074	4.9
- 토지이용변경에 따른 무기토양탄소 변화	607	979	1,025	1,016	1,029	1,039	5.0
- 석회비료사용에 따른 배출	26	23	32	30	30	35	2.7

주: (-)값은 흡수를 나타냄.

자료: 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」 (임업연구원, 2003); pp 30

다. 산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량의 변화

산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량의 변화는 우리나라 전체 산림을 대상으로 수목생장에 따른 바이오매스 증가량과 벌채에 따른 바이오매스 감소량을 고려하여 산출한다. <표 2-21>은 임목축적 증가에 따른 바이오매스 증가에 의한 탄소흡수량을 보여주며 IPCC 지침서 상의 산출방법 (<표 2-8>)을 적용한 것이다. <표 2-21>의 줄기 재적에 대한 자료는 「임업통계연보」의 침엽수 및 활엽수림 재적 증가량을 사용하였으며 3년 이동평균값이다. 이는 임목의 성장량에서 벌채에 의한 감소량을 제외한 값으로 우리나라 산림 및 기타 목질 바이오매스의 순증가량을 나타내게 된다.

따라서 <표 2-21>의 탄소 순흡수량 10,610천tC는 <표 2-22>의 탄소 배출량 976천tC를 제외한 값이며 결과적으로 2001년은 우리나라 산림생장으로 인한 총 탄소 흡수량은 탄소 순흡수량과 벌채로 인한 탄소 배출량을 합한 11,589천tC (<표 2-20>)가 된다. 전건비중의 경우 대표 수종값을 택하여 침엽수림의 경우 소나무류(0.47), 활엽수림의 경우 참나무류(0.8)의 값을 선택하였다. D와 E항목으로 나타난 지상바이오매스 대 줄기 바이오매스 비율, 지상바이오매스 대 전체바이오매스 비율은 기존 연구²⁾를 참고로 채택한 계수이다.

<표 2-22>는 산림 및 기타 목질 바이오매스 저장량 변화에 있어 벌채에 따른 탄소 배출량 계산을 보여주며, IPCC 제안 방법(<표 2-9>)을 통해 산출된 것이다. <표 2-22>의 상업적 벌채량은 「임업통계연보」의 자료를 활용하였으며 지상 바이오매스 확대 요인은 원목재적에 대한 임목재적비(일반적으로 0.85)와 <표 2-21>에서 활용한 전건비중, 줄기바이오매스 대 지상바이오매스 비를 통해 도출된 값이다. 연료재 소비량은 「임업통계연보」상의 장작 생산량을 이용하였는데, 장작은 모두 활엽수로 가정하였으며 또한 생산량 단위가 기건중량으로 되어 있어 이를 전건중량으로 환산하여 계산하였다. 지상바이오매스 대 전체바이오매스 비율과 탄소전환인자는 <표 2-21>의 값과 동일한 수치를 적용하였다.

1) 「우리나라산 주요 목재의 성질과 용도」(임업연구원, 1994)

2) 「국내 산림 Biomass의 생산에 관한 연구와 동향」(김갑덕·김철민, 1988)

<표 2-21> 산림 및 기타 목질 바이오매스 순흡수량 (2001)

산림 유형	줄기 재적의 순증가 (km ³)	전건 비중 (tdm/m ³)	줄기바이오매스의 순증가 (ktdm)	지상 바이오매스 대 줄기 바이오매스 비율	전체 바이오매스 대 지상 바이오매스 비율	전체 바이오매스 순증가 (ktdm)	탄소 전환 인자	탄소 순 흡수량 (ktC)
	A	B	C=A*B	D	E	F=C*D*E	G	H=F*G
침엽수림	11,036	0.47	5,187	1.29	1.28	8,565	0.5	4,282
활엽수림	9,197	0.8	7,357	1.22	1.41	12,656	0.5	6,328
전체	20,233	-	12,544	-	-	21,221	0.5	10,610

자료: 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」 (임업연구원, 2003); pp 24

<표 2-22> 벌채로 인한 탄소 총배출량 (2001)

산림 유형	상업적 벌채 (km ³)	지상 바이오매스 확대 요인 (tdm/m ³)	상업적 벌채로 감소된 지상 바이오매스 (ktdm)	연료 채소 비량 (ktdm)	지상바이오매스 소비량 (ktdm)	지상 바이오매스 대 전체 바이오매스 비율	전체 바이오매스 소비량 (ktdm)	탄소 전환 인자	전체 탄소 배출 (ktC)
	A	B	C=A*B	D	E=C+D	F	G=E*F	H	I=G*H
침엽수림	1,091	0.71	775	-	775	1.28	992	0.5	496
활엽수림	442	1.15	508	177	685	1.41	966	0.5	483
전체	1,533	-	1,283	-	1,460	-	1,985	-	979

자료: 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」 (임업연구원, 2003); p.25

라. 산림 및 초지전용에 의한 온실가스 배출

산림 및 초지의 타용도 전용에 따른 온실가스 배출량 산출에 있어서는 전용 후 잔존 바이오매스가 방치되어 서서히 썩으면서 방출되는 이산화탄소만을 대상으로 하였으며, 2001년 기준으로 산림용도 변경에 따른 배출량은 약 88천tC인 것으로 나타났다(<표 2-23>). 전용 전 바이오매스량은 평균전용면적에 임상의 평균 축적량을 곱하여 계산하였는데 평균전용면적은 「임업통계연보」의 임상별 산림의 타용도 이용표를 사용하였다. 전용 후 단위면적당 바이오매스량은 기존의 국내 연구결과(임업연구원, 1998)를 이용하여 산출하였다.

<표 2-23> 산림의 타용도 전용시 바이오매스 부후에 따른 탄소배출량

임상	전용후 토지 이용	평균 전용 면적 ('92~'01) (kha)	전용전 바이오 매스량 ('92~'01년 도평균) (tdm/ha)	전용후 바이오 매스량 (tdm/ha)	바이오 매스밀도 변화 (tdm/ha)	연간평균 바이오 매스 손실 (ktdm)	부후 되는 잔존 비율	부후 되는 바이오 매스량 (ktdm)	탄소 전환 인자	바이오 매스부 후에 의한 탄소배 출량 (ktC)
		A	B	C	D=(B-C)	E=(A×D)	F	G=(E×F)	H	I=(G×H)
침엽 수림	농지	0.269	42	15	27	7	0.6	4	0.5	2
	초지	0.107	42	10	32	3	0.6	2	0.5	1
	기타	2.569	42	0	42	108	0.6	65	0.5	32
활엽 수림	농지	0.113	78	10	63	7	0.6	4	0.5	2
	초지	0.045	78	10	68	3	0.6	2	0.5	1
	기타	1.082	78	0	78	84	0.6	51	0.5	25
혼효 림	농지	0.127	58	15	43	5	0.6	3	0.5	2
	초지	0.051	58	10	48	2	0.6	1	0.5	1
	기타	1.217	58	0	58	71	0.6	42	0.5	21
무입 목지	농지	0.191	3	15	-12	-2	0.6	-1	0.5	-1
	초지	0.076	3	10	-7	-1	0.6	0	0.5	0
	기타	1.825	3	0	3	5	0.6	3	0.5	2
총계						294		177		88

자료: 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」(임업연구원, 2003); pp 27

마. 토양의 이산화탄소 흡수 및 배출

토지이용 변화에 따른 토양의 이산화탄소 흡수/배출량은 무기토양내의 탄소저장량 변화와 석회시비에 따른 이산화탄소 배출량을 대상으로 하였다. 먼저 무기토양내의 탄소 저장량 산출을 위하여 토양유형에 따른 탄소 보유량을 결정하여야 하는 데 <표 2-24>의 값은 기존의 국내연구를 토대로 도출한 값이다. 토양 안정화 기간은 IPCC가 권장한 대로 20년을 적용하였으며, 1981년과 2001년도 토지면적을 사용하여 산출한 연간 탄소 배출량은 1,039천tC이다. 다음으로 석회시비에 따른 탄소 배출량 추정은 IPCC에서 제안한 대로 사용된 석회시비량에 전환인자 값을 적용해 약 35천tC로 산출되었다. 따라서 2001년도 기준 토양의 총 탄소 배출량은 무기토양과 석회시비로 인한 탄소배출량을 합한 1,074천tC 이다.

<표 2-24> 무기토양내의 토양탄소변화

토지 이용 유형	토양 유형	토양 탄소 (2001) (tC/ha)	토지 면적 (1981) (Mha)	토지 면적 (2001) (Mha)	토양 탄소 (1981) (MtC)	토양 탄소 (2001) (MtC)	20년간 토양탄소 순변화 (MtC)	연간탄소 배출량 (tC)
		A	B	C	D=A×B	E=A×C	F=E-D	G=-F/20 ×1,000
논	고활성토양	60.5	1.308	1.146	79.1	69.3	-9.8	490
밭	고활성토양	45.9	0.880	0.730	4.04	33.5	-6.9	344
산림*	고활성토양	67.9	6.563	6.416	445.6	435.6	-10.0	499
기타**		11.5	1.150	1.662	13.2	19.1	5.9	-294
계			9.901	9.954	578.4	557.6	-20.8	1,039

* 낙엽층의 유기물 내 탄소까지 포함

** 도로, 택지 등 대부분 도시적 용도임

자료: 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」(임업연구원, 2003); pp 28

제3장 토지이용모형을 활용한 탄소고정비용 추정방법

본장에서는 탄소고정과 토지이용모형 부분의 문헌조사와 해외사례연구 검토결과를 중심으로 토지이용모형의 이론적 배경과 토지이용모형을 서술하고, 모델 추정에 필요한 데이터와 탄소고정 비용추정을 가정한 시뮬레이션 절차를 소개한다.

1. 토지이용모형

가. 토지이용모형의 이론적 배경

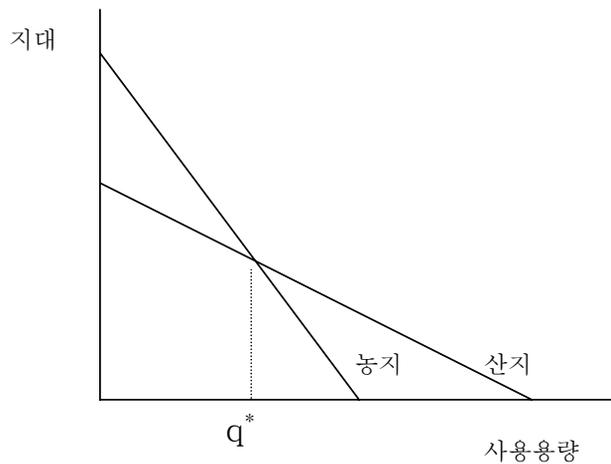
현대 토지이용모형의 이론적 틀은 19세기 경제학자 Ricardo와 지리학자 von Thünen의 학설에 기초하여 발전되어 왔다. Ricardo는 동일한 크기의 토지A와 B에 같은 양의 생산요소를 투입한 경우라 할지라도 생산량은 다를 수 있음에 주목하고, 그 원인을 각 토지가 가진 비옥도(soil fertility)의 차이라고 설명하였다. Ricardo는 이와 같은 토지 비옥도의 차이에서 발생하는 생산물 가치의 차 또는 잉여를 지대(rent)라 정의하고 처음으로 지대의 개념을 도입하였다.

Ricardo가 지대를 토지의 비옥도 또는 생산성의 함수라고 설명한 데 반해, 이후 등장한 von Thünen은 지대를 위치 또는 운반비용의 함수라고 주장하였다. von Thünen에 의하면 동일한 크기의 토지A와 B에 같은 양의 생산요소의 투입은 물론 각 토지의 비옥도 또한 같다 할지라도 시장까지의 거리나 운반비용에 따라 지대에는 차이가 발생할 수 있다는 것이다.³⁾

19세기의 Ricardo와 von Thünen의 지대이론은 20세기 중반에 Barlowe에 의해 현대 토지이용 이론으로서 재정립 되었는데, Barlowe(1958)는 지대를 비옥도와 위치 두

3) Ricardo와 von Thünen의 이론을 포함한 지대이론의 발전에 관심 있는 독자는, van Kooten(1993)의 2장을 참조하기 바람

가지 요소 모두를 반영한 지수(index)의 개념인 사용용량(use-capacity)의 감소함수라고 정의하였다. 사용용량은 토지의 생산성이 높을수록 거리가 도시중심에서 가까울수록 그 수치가 작게 계산되며, 그 결과 지대의 감소함수가 된다. 따라서 Barlowe는 Ricardo와 von Thünen의 지대이론을 통합·확장시켰다고 볼 수 있다. Barlowe의 지대개념과 토지이용배분결정은 <그림 3-1>에 의해 설명될 수 있다.



<그림 3-1> Barlowe의 지대개념과 토지이용배분결정

<그림 3-1>은 예시를 위하여 경쟁관계에 있는 농지와 산지의 지대를 사용용량의 함수로 나타낸 것으로 농지와 산지 모두 사용용량이 증가할수록 지대는 감소함을 알 수 있다. 그러나 각각의 경우 경작이 가능한 사용용량의 범위가 다르고(x축 절편의 차이) 또한 사용용량의 최소치(0의 근사치: 생산성이 가장 높고 시장까지의 거리가 가장 가까운)에서 생산물의 가치는 농지가 산지보다 높으므로(y축 절편의 차이) 지대 함수의 기울기는 달라진다. 일반적으로 생산성이 높고 시장까지의 거리가 가까운 토지는 농지에 반대인 경우에는 산지에 투입되는 경향이 있다.

만약 토지소유자의 경영목표를 지대 극대화(rent maximization)라 한다면 <그림 3-1>에서 농지와 산지간의 토지배분을 결정하는 점은 q^* 이다. 즉, 토지소유자는 사용용량이 q^* 이하일 경우에는 농지로부터 기대되는 지대가 산지로부터의 지대를 초과하기 때문에 소유하고 있는 토지를 농지에 투입하고, 사용용량이 q^* 이상일 경우에는 산지에 투입함으로써 총 지대를 최대화 한다는 것이다. 따라서 농지와 산지의 지대가 같아지는 q^* 점에서 토지이용의 전환이 일어난다.

Barlowe 이후 지대이론에 기본을 둔 토지이용배분 결정모형의 이론적 체계화는 Lichtenberg(1989); Stavins and Jaffe(1990); Wu and Segerson(1995); Plantinga(1996); Hardie and Parks(1997); Miller and Plantinga(1999) 등에서 찾을 수 있다. 열거한 토지이용배분 결정에 관한 이론적 분석연구들은 다양한 범위의 토질을 소유하고 있는 개개의 토지경영자의 지대 극대화를 기본가정으로 하며, 토지이용배분 또는 토지이용패턴을 결정하는 가장 중요한 인자로서 경쟁관계에 있는 토지용도의 상대적 지대와 토지 비옥도나 위치와 같은 토지자체가 가지고 있는 고유특성을 꼽고 있다.

나. 토지이용모형

본 절에서는 탄소고정비용 추정을 위해 본 연구에서 활용하게 될 토지이용모형을 기술한다. 모형은 위험중립 가정 하에 토지경영자 또는 토지소유자의 정태(static) 이윤극대화로부터 출발한다.⁴⁾ 먼저 토지가 여러 가지 물리적 특성에 의해 계산된 연속 토질지수(continuous quality index)에 기반을 둔 이산토지등급 $j(j = 1, \dots, J)$ 로 구분된다고 가정하자. 그렇다면 이윤극대화 가정아래 어떤 지역 $i(i = 1, \dots, I)$ 의 토지경영자 $n_i(n_i = 1, \dots, N_i)$ 가 소유하고 있는 등급 j 의 토지에 대한 최적 토지이용배분 문제는 (식3-1)과 같다.

4) 본 절에서 소개된 모형의 설명은 Lichtenberg(1989); Stavins and Jaffe(1990); Plantinga(1996); Wu and Segerson(1995); Hardie and Parks(1997); Miller and Plantinga(1999)를 기본으로 종합·정리하여 재구성 한 것임.

$$\max_{a_{jk}} \sum_k \pi_{jk} [x(t, n_i), a_{jk}(t, n_i), n_i] \tag{식3-1}$$

$$\text{subject to } \sum_k a_{jk}(t, n_i) = A_j(t, n_i) \tag{식3-2}$$

여기서, $i(i = 1, \dots, I)$: 지역

$j(j = 1, \dots, J)$: 토질등급

$k(k = 1, \dots, K)$: 토지용도

$n_i(n_i = 1, \dots, N_i)$: 지역 i 의 토지소유자

t : 시간

$x(t, n_i)$: 독립변수 벡터(일반적으로 토지소유자의 개인적 특성에 관한 변수, 각 토지이용으로부터 기대되는 지대를 반영하는 변수, 토지의 물리적 특성을 고려한 변수 등을 포함)

$a_{jk}(t, n_i)$: t 시점에서 토지경영자 n_i 에 의해 용도 k 에 투입된 등급 j 의 토지면적

$A_j(t, n_i)$: t 시점에서 n_i 가 소유한 등급 j 의 총 토지면적

즉, 토지경영자는 소유하고 있는 j 등급의 토지를 각각의 용도에 배분함으로써 기대되는 이윤의 합이 최대가 되는 방향으로 토지를 할당한다는 것이다. (식3-1)에 대한 쿤-터커해답인 최적토지배분은 $a_{jk}^*(x(t, n_i), A_j(t, n_i), n_i)$ ⁵⁾으로 표현되며, n_i 가

5) (식3-1)로부터의 최적토지배분 a_{jk}^* 의 도출과정을 토지용도가 산지($k=1$)와 농지($k=2$)로 제한되는 경우를 예로 들어 설명하면 다음과 같다. 우선 (식3-1)의 최적화 해답의 필요조건 (necessary conditions)은 a) $\pi^1 > \pi^2$ for $q < q^*$; b) $\pi^1 < \pi^2$ for $q > q^*$; c) $\pi^1 = \pi^2$ for $q = q^*$ 으로 요약할 수 있다. 풀어서 설명하면, a)와 같이 토질이 q^* 보다 낮을 경우에는 산지로부터의 순수입(π^1)이 농지로부터의 순수입(π^2) 보다 많으므로 이 경우의 최적토지용도는 산지이며 반대로 b)와 같이

소유하고 있는 토지의 총면적인 $A(t, n_i) = \sum_j A_j(t, n_i)$ 중에서 용도 k 에 할당되는 최적비율은 (식3-3)과 같이 결정된다.

$$f_k(X(t, n_i), t, n_i) = \frac{1}{A(t, n_i)} \sum_j a_{jk}^*(x(t, n_i), A_j(t, n_i), n_i) \quad (\text{식3-3})$$

(식3-1)과 (식3-2)에 의해 정의되는 정태모델은 농업에서 작물선택 결정과 같이 일정기간의 끝에서 수확으로 인한 이윤이 발생하고, 이후 동일한 토지이용배분 결정문제가 반복되는 경우 가장 적절히 활용될 수 있는 모델이다. 그러나 토지이용배분이 결정된 후 수확까지 오랜 기간이 필요한 경우(예: 산림사업)나 또는 현재의 토지이용 결정이 inter-temporal한 연계성을 가지고 있는 경우(예: 특정작물의 재배패턴이 미래의 토양 생산성에 영향을 미치는 경우)에는 위에서 기술한 정태모델은 동적모델(dynamic model)의 틀 속에서 수정되어야 한다.

따라서 동태모델을 활용한 연구에서는 토지경영자의 최적토지배분 의사결정에 있어서 단순한 기대이윤의 극대화가 아닌 기대이윤의 할인된 현재가(expected discounted present value of profits)를 극대화 하는 것을 가정하고 있다. 동태모델의 경우 토지경영자의 최적토지이용 면적비율 f_k 는 (식3-3)과 유사한 형태로 결정되나 단지 독립변수 벡터 $X(t, n_i)$ 에 포함되는 각 토지이용으로부터 예상되는 지대가 할인된 순현재가의 형태로 계산된다.⁶⁾

토질이 q^* 보다 높을 경우에는 산지로부터의 순수입(π^s)이 농지로부터의 순수입(π^c) 보다 적으므로 이 때의 최적토지용도는 농지이다. c)는 산지로부터의 순수입과 농지로부터의 순수입이 같아지는 경우로 최적토지용도는 산지일 수도 또는 농지일 수도 있는 경계선이라 할 수 있다. 참고로 여기서 q^* 는 <그림 3-1>의 q^* 와 개념적으로 같다. 정리하면, 다양한 토질등급을 소유하고 있는 토지경영자 입장에서 동일한 토질등급을 갖고 있는 필지(plot)의 최적배분은 해당필지 전체가 산지 아니면 농지로 투입되는 것으로써, corner-solution 이 된다는 해석이 된다. 구체적인 수학적 유도과정은 Lichtenberg(1989)를 참조하기 바람.

6) Plantinga(1996)는 산지와 농지의 동태 최적배분모델을 예를 들어 적절한 조건 아래에서 토지경영자는 소유하고 있는 토지를 산지와 농지 중 기대이윤의 할인된 현재가가 높은 곳으로 투입한다는 것을 증명하였음

여기서 토지경영자 n_i 에 의해 용도 k 에 할당되는 실제 토지면적비율은 최적배분 비율((식3-3))과 다를 수 있는 데, 그 이유는 토지이용결정 후 발생할 수 있는 외생충격의 존재가능성 때문이다. 예를 들어 토지경영자가 (식3-3)에 의거하여 각 토지이용에 할당할 면적비율을 결정한 후에도 그 이후 발생한 기상재해로 인해(특히 농지의 경우), 실제상의 면적비율은 최적비율과 다를 수 있다는 것이다.

따라서 용도 k 에 할당된 실제 토지이용 면적비율은 (식3-4)에 의해 표현된다.

$$s_k(t, n_i) = f_k(X(t, n_i), t, n_i) + u_k(t, n_i) \quad (\text{식3-4})$$

오차항 $u_k(t, n_i)$ 은 평균이 0인 확률변수(random variable)로 가정하고 그 값은 단위구간(-1과 1 사이)에 한정되며 K-차원의 확률벡터 $\mathbf{u}(t, n_i)$ 로도 나타낼 수 있다. 또한 실제면적비율과 최적면적비율은 모두 합이 1임을 감안할 때, 오차항의 총합은 0이 된다($\sum_k u_k(t, n_i) = 0$). 오차항 $u_k(t, n_i)$ 는 토지용도 k 간의 동시대적 상관관계(contemporaneous correlation)가 존재함은 물론 시간 t 와 지역 i 간에 있어서도 상관관계가 존재할 수 있다. 그러나 오차항은 잠재적 충격의 외생적 성격 때문에 (식 3-5)에서와 같이 각각의 독립변수와는 상관관계가 존재하지 않는 것으로 가정한다.

$$Exp[X_h(t, n_i)u_k(t, n_i)] = 0 \quad \text{for all } t, i, h, k \quad (\text{식3-5})$$

지금까지 기술한 모델은 토지경영자 개개인의 최적토지배분 결정과정을 설명한 것으로써, 개별 토지경영자에 대한 데이터가 존재하면 이상적이나 이러한 데이터는 현실적으로 구하기 어려운 경우가 대부분이거나, 있다고 할지라도 데이터 구입에 비용이 크고 개인정보에 대한 누출문제의 소지를 가지므로 어려움이 많다. 일반적으로 얻을 수 있는 토지이용에 관한 통계는 정부산하 관련부처에 의해 행정구역별로 발행되는 것이 통상적이다. 이러한 개개인의 정보를 통합하여 구축된 행정구역별 집합토지

이용통계(aggregated land use statistics)는 센서스나 토지소유자를 대상으로 한 표본 조사를 통하여 얻은 정보를 기본으로 구축된다. 따라서 실제 이용가능한 통계가 행정 구역 별로 존재한다면 (식3-4)는 집합토지이용통계를 활용할 수 있도록 수정되어야 한다. 따라서 실제관측 가능한 토지배분 면적비율 $y_k(t, i)$ 는 (식3-6)과 같다.

$$\begin{aligned} y_k(t, i) &= \sum_{n_i=1}^{N_i} w(t, n_i)[s_k(t, n_i) + \nu_k(t, n_i)] + \bar{\nu}_k(t) \\ &= p_k(t, i) + \epsilon_k(t, i) \end{aligned} \quad (\text{식3-6})$$

여기서 활용 가능한 집합토지이용통계가 모집단의 전수조사를 기본으로 작성된 것이라면, (식3-6)의 가중치 $w(t, n_i)$ 는 지역 i 에서 토지경영자 n_i 가 차지하고 있는 토지면적의 상대비율에 해당하고 $\nu_k(t, n_i)$ 는 토지소유자 개개인의 관측치에서 발생할 수 있는 오차에 해당한다. 만약 통계가 표본조사에 기초하여 구축되었다면 $w(t, n_i)$ 는 지역 i 에서 토지경영자 n_i 에 부과하는 표본가중치에 해당하고, $\nu_k(t, n_i)$ 는 토지소유자 개개의 관측치에서 발생할 수 있는 관측오차에 해당한다. 마지막 항인 $\bar{\nu}_k(t)$ 는 지역 i 의 토지소유자 n_i 에 대한 정보를 통합하는 데서 발생할 수 있는 집합표본오차(aggregate sampling error)에 해당한다.

각 오차항 $\nu_k(t, n_i)$ 와 $\bar{\nu}_k(t)$ 는 모두 평균이 0이고 유한분산(finite variance)을 가진 확률변수로 가정하며, 시간 t , 지역 i , 토지소유자 n_i 와는 상관관계가 없는 것으로, 토지용도 k 와는 상관관계가 있는 것으로 가정한다.⁷⁾ 또한 두 오차항 모두 독립 변수와는 상관관계가 없는 것으로 가정한다. 따라서 개별 오차항 $\nu_k(t, n_i)$ 와 $\bar{\nu}_k(t)$ 의 통합이라 볼 수 있는 복합 오차항 벡터 $\epsilon(t, i)$ 는 K-차원의 확률벡터로서

7) $\sum_k y_k(t, i) = 1$ 의 조건에 기인함

평균과 분산의 구조가 (식3-4)의 $\mathbf{u}(t, n_i)$ 와 유사하다고 볼 수 있다.

정리하면, (식3-6)에서의 $p_k(t, i)$ 는 t 시점을 기준으로 지역 i 에서 토지용도 k 에 투입되는 기대면적비율이라 해석될 수 있다. 여기서 (식3-4)를 (식3-6)에 대입함으로써 알 수 있듯이 이제 $p_k(t, i)$ 는 토지소유자 개인의 정보에 해당하는 독립변수 벡터 $X(t, n_i)$ 의 함수가 아니라 주어진 시점에서 지역별 단위의 평균치인 $X(t, i)$ 의 함수가 된다. 또한 복합 오차항 벡터 $\boldsymbol{\epsilon}(t, i)$ 는 표본오차와 측정오차를 모두 포함하고 있다고 볼 수 있으며, 독립변수 벡터 $X(t, i)$ 와는 상관관계가 없는 것으로 가정한다 ((식3-7)).

$$Exp[X_h(t, i)\epsilon_k(t, i)] = 0 \quad \text{for all } t, i, h, k \quad (\text{식3-7})$$

(식3-6)의 추정을 위해서는 기대면적비율 $p_k(t, i)$ 와 독립변수 $X(t, i)$ 간의 함수 관계를 지정해주어야 하는 데, 실증분석에서 가장 통상적으로 이용되는 기대면적비율과 독립변수간의 함수관계는 (식3-8)과 같은 multinomial logit 이다.

$$p_k(t, i) = \frac{\exp[\beta_k X(t, i)]}{\sum_k \exp[\beta_k X(t, i)]} \quad (\text{식3-8})$$

여기서 multinomial logit 함수의 선택은 이론적이라기보다는 multinomial logit 함수가 함수자체의 특성에 따라 기대면적비율의 예측치를 단위구간에 한정해주는 장점 때문이다.⁸⁾ (식3-8)을 (식3-6)에 대입하고 좌변을 $k=1$ 을 기준으로 한 상대면적비율로 변환한 후 양변에 로그를 취하면 (식3-9)이 된다.⁹⁾

8) 기대면적비율과 독립변수간의 함수관계로써 multinomial logit의 선택이 너무 임의적(ad-hoc)이라는 주장이 몇몇 연구자들에 의해 제기되지만, multinomial logit 함수가 갖고 있는 실질적인 추정에 있어서의 장점이 개념적인 단점을 충분히 보충해 주고 있는 듯이 보인다.

9) Judge et al.(1988)의 11장 참조

$$\ln(y_k(t, i)/y_1(t, i)) = \beta_k X(t, i) - \beta_1 X(t, i) + \tilde{\epsilon}_k \quad (\text{식3-9})$$

위와 같은 변환을 통하여 (식3-9)의 좌변인 상대면적비율은 추정될 모수(β_k)와 선형(linear)관계가 되며, $\beta_1 = 0$ 의 제약조건이 부여되면 (식3-9)는 식별(identified)되어 모델추정이 가능해진다.¹⁰⁾ 따라서 최종 모델추정식은 (식3-9)이며 (식3-9)은 $k - 1$ 개의 식으로 구성된 연립방정식이다.

2. 토지이용모델 추정을 위한 데이터

본 절에서는 1절에서 소개된 토지이용모델의 추정 시 통상적으로 사용되어온 데이터를 해외 선행연구를 중심으로 알아보고, 각 변수의 산출방법을 기술한다.

가. 토지면적비율

우선 t 시점에서 지역 i 의 용도별 토지면적비율은 지역 i 의 총 토지면적에서 용도 k 가 차지하는 면적비율로 계산된다. 일반적으로 모델추정 시 총 토지면적은 공유지를 제외한 사유지만을 포함하는 데, 그 이유는 공유지의 경우 이윤극대화 보다는 그 외적인 다른 요인에 의해 그 용도가 결정되는 경향이 있기 때문이다. 같은 이유로 산지비율과 농지비율을 산출할 때도 공유지는 제외된다. 일반적으로 농지(agricultural land)는 농경지(cropland)와 초지(pasture land)의 합으로 측정된다. 개발지(urban

10) 정규화(normalization; $\beta_1 = 0$) 없이 k 개의 식으로 구성된 (식3-9)를 추정하면, $\sum_k y_k(t, i) = 1$ 조건 때문에 오차항의 분산-공분산 행렬(variance-covariance matrix)이 singular가 되어 추정이 불가능하다. 그러나 정규화 과정에서 반드시 $k=1$ 을 선택해야 하는 것은 아니다.

land) 면적비율은 도시지역의 정의와 범위에 따라 결정되며 도시지역은 인구의 크기에 의해 구분되는 경우가 많다.

나. 지대

토지용도 k 에서 기대되는 단위면적당 이윤 또는 순수입으로 정의 될 수 있는 지대는 추정모델이 정태모델이나 또는 동태모델이나에 따라 실증분석에 사용되는 변수가 정해진다. 정태모델의 경우 지대를 반영하는 대리변수로는 일반적으로 생산물의 가격이나 임금 등이며¹¹⁾ 동태모델의 경우에는 통상적으로 단위면적당 할인된 순수입의 현재가(discounted net present value of revenue per unit area)가 사용된다.¹²⁾

여기서는 토지이용모델의 실증분석에서 일반적으로 사용되고 있는 변수인 각 토지용도별 단위면적당 할인된 순수입의 현재가 산출방법을 기술한다. 먼저 산지의 경우, t 시점에서 지역 i 의 산림에서 기대되는 할인된 순수입의 현재가의 산출은 a) 총수입 계산, b) 총비용 계산, c) 순수입 할인의 3단계로 구분하여 생각 할 수 있다.

총수입은 지역 i 의 주요수종에 대하여 개별적으로 산출한 후, 각 수종이 지역 i 의 산림면적에서 차지하는 비율을 가중치로 하여 계산된 평균값으로 한다. 따라서 수입 산출에 필요한 데이터로는 각 수종에 대한 입목가격(stumpage prices), 각 수종이 지역 i 의 총 산림면적에서 차지하는 비율, 목재수확곡선(timber yield curve), 윤벌기(rotation length) 등이다. 그러나 경우에 따라서는 가격자료와 생산량자료가 독립적인 시리즈보다는 생산액(가격*수량)의 형태로 발간되는 경우가 있다. 이러한 경우에는 주요수종별 면적비율을 가중치로 하여 구한 생산액의 가중평균값을 이용할 수 있다.

총 생산비용은 지역 i 의 주요수종에 대한 단위면적당 조림비용, 무육·관리비용, 벌채비용을 모두 고려하면 이상적이며, 총수입의 계산과 같이 각 수종의 면적비율을

11) 실증분석 예로는 Wu and Segerson(1995); Hardie와 Parks(1997)를 참조

12) 실증분석 예로는 Stavins and Jaffe(1990); Plantinga, Mauldin, and Miller(1999); Ahn, Plantinga, and Alig(2000)를 참조

가중치로 한 평균값으로 산출된다. 그러나 현재까지의 실증분석 사례에 의하면 생산 비용에 대한 통계가 매우 제한적이어서 위에서 언급한 3가지 비용을 모두 반영한 연구는 찾기 힘들다.

마지막 단계인 순수입의 할인가는 적정 할인율의 선택이 중요하며, 총수입에서 총 비용을 차감한 후 선택된 할인율을 적용하여 산출한다.

농지로부터 기대되는 할인된 순수입의 현재가 역시 산지의 경우와 유사한 절차를 통해 산출되나, 다른 점이 있다면 가중치가 주요수종의 구성비율에서 주요작물의 구성비율로 대체된다는 점과 농업은 생산기간이 연간(annual)이므로 순수입의 할인 시 적용되는 공식이 다르다는 것이다. 시점 t 에서 지역 i 의 농지로부터 기대되는 할인된 순수입의 현재가 산출시 필요한 데이터로는 각 작물별 생산자 가격, 생산량, 농지 총면적 대비 면적비율, 가변생산비용 등이다.

다. 인구

인구는 개발지의 지대를 반영하는 대리변수로 통상적으로 사용되어왔다. 즉, 인구의 증가는 개발지의 증가를 가져온다는 전제하에 대부분의 실증분석에 활용되어 왔으며, t 시점에서 지역 i 의 인구밀도나 또는 인구증가가 개발지 수요에 미치는 영향에 시차가 있음을 고려하여 시점 t 와 $t-1$ 사이의 총인구의 차이의 형태로 가장 많이 이용되어 왔다.

라. 토질

토질(land quality)은 Ricardo의 지대이론을 반영한 변수로 생각할 수 있으며, 생산성이 높은 토지일수록 농업에, 반대로 생산성이 낮은 토지일수록 산림에 투입되는 경향이 있다. 토질을 결정하는 물리적 특성에는 경사(slope), 투과성(permeability) 등 다양한 인자들이 포함되며, 이러한 인자들이 복합적으로 작용하여 토질 즉, 토양의 생산성을 결정한다. 일반적으로 토지이용모델의 실증분석에서 토질변수는 다양한 토

양특성을 반영하여 작성된 통합지수(index)나 등급(class)의 형태로 이용된다.

마. 도시 중심지까지의 거리

von Thünen의 지대이론을 반영한 변수라 볼 수 있으며 주로 지역 i 의 중심점에서 가장 가까운 대도시까지의 거리로 측정된다. 도시에 가까운 토지일수록 개발지로의 용도이전의 잠재력이 많으며 또한 산지보다는 농지로 투입될 가능성이 높다 할 수 있다. 일반적으로 도시 중심까지의 거리는 컴퓨터 소프트웨어의 도움을 얻어 측정된다.

3. 탄소고정비용추정 시뮬레이션

본 절에서는 탄소고정을 위한 비용추정 시뮬레이션에 토지이용모델을 활용함에 있어 적용되는 기본원칙, 탄소고정을 위한 프로그램 디자인, 그리고 수립된 프로그램의 이행절차 등을 서술한다. 여기에 소개된 탄소고정 프로그램의 디자인과 비용추정 시뮬레이션은 해외 선행연구에서 일반적으로 사용되고 있는 방법론을 종합·수정·정리한 것으로써, 국내적용을 가정한 예시를 위한 것이며, 1절에서 소개된 토지이용모델의 추정이 선행되어야 함은 물론이다.

기본원칙

탄소고정 프로그램의 시뮬레이션은 (식3-9)의 추정치(estimate)를 기본으로 한다. 기본접근법은 산림으로부터 기대되는 지대를 증가시킴으로써 산지면적을 늘리는 것인데, 지대증가를 위해 사용되는 가장 일반적인 수단은 보조금이다. 즉, 산림지대를 증가시키면 추정된 모델을 통해 산림면적 증가분의 예측치가 계산되고, 산림 단위 면적당 탄소고정량을 감안해주면 그에 따른 탄소흡수량의 예측치 또한 산출이 가능하

다. 따라서 위와 같은 시물레이션의 반복을 통하여 각각의 보조금 액수에 해당하는 산림면적 증가분과 탄소흡수량 산출이 가능하다. 이때 유의할 점은 농지가 산지로 전환될 때 토양의 탄소저장량 변화를 감안해 주어야 한다는 것이다.

탄소고정 프로그램의 설계와 비용추정

탄소고정 프로그램의 설계 시 선행되어야 할 결정사항으로는 프로그램의 적용대상 토지의 범위와 프로그램에서 수용할 수 있는 최대 토지면적을 들 수 있다. 먼저 우리나라와 같이 토지경합이 심한 나라에서는 공한지는 거의 찾아 볼 수 없으므로, 탄소고정 프로그램의 적용대상은 현재 경작되고 있는 농지(농경지와 초지의 합), 특히 휴경지나 한계농지¹³⁾를 우선대상으로 하는 것이 타당할 것이다. 다음으로 프로그램에서 수용할 수 있는 최대토지면적은 예상되는 농지의 감소로 인해 작물가격이 영향을 받지 않는 한도 안에서 결정하는 것이 바람직하나 다소 인위적일 수 있다. 해외 선행 연구의 경우 프로그램 적용대상의 총면적(총 농지면적)의 20-25% 사이에서 주로 결정된다. 이와 같은 선행 결정사항들이 정해지면 탄소고정 비용추정을 위한 시물레이션은 다음과 같은 순서로 진행된다.

- * 프로그램은 2005년에 시작하여 이후 50년간 계속된다.
- * 토지소유자는 자신이 소유한 토지를 향후 10년 동안 산림으로 전환하는 대신 조림비용과 연간고정지급액(fixed annual payment)을 지급받는다. 토지소유자는 매10년마다 프로그램에 남을 것인가 아니면 프로그램에서 탈퇴해 소유한 토지를 다른 용도로 전환 할 것인가를 결정한다.
- * 10년 동안의 할인된 지불액의 흐름은 산림으로부터 기대되는 지대를 증가시키고 따라서 토지소유자는 산지에 투입하는 토지의 면적을 증가시킨다. (여기서 토

13) 한계농지는 농업진흥지역 밖의 농지 중에서 영농조건이 불리하여 생산성이 낮은 농지에 해당함

지소유자에 지급되는 지급액은 프로그램 가입에 대한 기회비용이라 할 수 있다.)

- * 시뮬레이션의 반복을 통해 다양한 지급액 수준을 기준으로 각각에 해당하는 산림면적의 증가와 그에 따른 총 탄소고정비용(조림비용의 현재가와 연간고정지급액의 현재가를 합한 금액)을 프로그램 기간동안 계산한다.

위에서 설명한 절차를 통해 토지가 프로그램에 투입되고 빠져나갈 시의 탄소흐름의 계산은 물론 각 지급액 수준에 따라 고정된 탄소 1톤당 총 비용(비용의 현재가 대 탄소 순 흡수량의 현재가의 비율)이 산출된다. 마지막으로 탄소고정을 위한 한계비용은 총비용의 변화를 단위 탄소고정량의 변화와 대비시킴으로써 구할 수 있다.

제4장 탄소고정비용 추정방법의 국내적용 가능성

본장에서는 우리나라 국토이용 현황과 토지이용모델 추정을 위한 국내가용 데이터의 범위를 정부부처에서 발행하는 공식통계중심으로 확인하고 정리함으로써 모델 실증분석의 가능성을 알아보고, 예상되는 정책적 활용방안을 제시하고자 한다.

1. 국토이용현황 개요

우리나라는 남북길이가 약 1,000km, 동서 평균 폭이 약 300km인 반도와 그 부근에 산재하는 3,200여개의 섬으로 구성되어 있다. 남북한을 합한 총 육지면적은 약 222천 km²이며, 군사분계선을 경계로 남한의 면적은 전체의 약 45%에 해당하는 99.8천km²이다. 최남단은 남제주군 마라도로서 북위 33° 06' 40", 북단은 함북 온성군 유포면으로 북위 43° 00' 35", 서단은 평북 용천군 마안도로서 동경 124° 11' 45", 동단은 경북 울릉군 독도로서 동경 131° 52' 20"이다.

우리나라 행정구역 현황은 <표 4-1>에서와 같이 2004년 1월 1일 현재 광역자치단체가 1특별시·6광역시·9도, 기초자치단체가 77시·88군·69자치구로 구성되어 있으며 하부 행정기관으로는 22일반구·209읍·1,211면·2,151동이 있다. 먼저 과거 10여년간의 국토이용현황을 정리하면 <표 4-2>와 같다.

<표 4-1> 지방자치단체 현황

광역자치단체				기초자치단체			
계	특별시	광역시	도	계	시	군	자치구
16	1	6	9	234	77	88	69

자료: 「2004년 지방자치단체의 행정구역 및 인구현황」(행정자치부, 2004)

<표 4-2> 국토이용 현황

(국토총면적: 9,989천ha)

	농지		산지		기타	
	면적(천ha)	%	면적(천ha)	%	면적(천ha)	%
1992	2,069	20.8	6,464	65.1	1,378	14.1
1993	2,054	20.7	6,459	65.0	1,424	14.3
1994	2,033	20.5	6,456	64.9	1,451	14.6
1995	1,985	20.0	6,451	65.0	1,489	15.0
1996	1,945	19.6	6,448	64.9	1,538	15.5
1997	1,923	19.4	6,441	64.8	1,572	15.8
1998	1,910	19.2	6,436	64.7	1,594	16.0
1999	1,898	19.0	6,430	64.4	1,614	16.2
2000	1,889	18.9	6,422	64.3	1,670	16.7
2001	1,876	18.8	6,415	64.3	1,693	16.9
2002	1,862	18.6	6,411	64.2	1,715	17.2

자료: 행정자치부, 국립농산물품질관리원, 산림청

<표 4-2>와 같이 최근 10여년 동안 우리나라는 농지와 산지가 지속적으로 감소하고 있는 추세인 반면, 개발지를 포함하는 기타 면적은 지속적인 증가 추세에 있다. 최근 5년 동안의 농지전용 면적과 건수를 살펴보면 <표 4-3>과 같다.

<표 4-3> 농지 전용면적 추이

구분	1999	2000	2001	2002	2003
면적(ha)	12,017	9,883	10,209	13,275	12,996
논	6,745	5,143	5,346	7,016	6,951
밭	5,272	4,740	4,863	6,259	6,045
건수(건)	55,395	56,499	57,524	70,557	65,937

자료: 농업정책국 농지와 내부자료

또한 과거 20여년간의 휴경농지 면적통계는 <표 4-4>와 같다. 휴경 농지면적은 1990년부터 1995년 사이 급증하였고 1992년에는 최대치인 68,935ha에 이르렀다. 1995년 이후 휴경면적은 다소 감소추세의 경향을 보이다 2003년 다시 대폭 증가하였다.

<표 4-4> 경지이용율 및 휴경 농지면적 추이

	경지이용율(%)			휴경 농지면적(ha)		
	계	논	밭	계	논	밭
1983	123.8	119.0	130.9	-	-	-
1984	124.9	119.7	133.1	-	-	-
1985	120.4	114.9	129.2	20,244	4,111	16,133
1986	119.9	113.0	131.0	17,427	3,643	13,784
1987	121.3	113.7	133.8	19,809	4,151	15,658
1988	118.0	111.1	129.8	19,295	4,501	14,794
1989	116.2	109.8	127.4	26,156	7,239	18,917
1990	113.3	107.7	123.1	40,437	12,377	28,060
1991	110.6	105.4	119.7	67,455	23,992	43,463
1992	108.1	103.4	116.4	68,935	30,985	37,950
1993	110.4	105.5	118.9	66,467	30,241	36,226
1994	107.3	102.5	115.7	62,468	31,427	31,041
1995	108.1	104.1	114.7	64,582	33,464	31,118
1996	107.9	106.1	110.7	34,262	14,463	19,799
1997	107.8	104.8	112.4	29,517	10,279	19,238
1998	110.1	107.0	114.9	22,252	6,214	16,038
1999	110.8	107.2	116.3	17,028	4,609	12,419
2000	110.5	106.3	116.9	16,834	4,294	12,540
2001	110.6	107.9	114.9	16,554	3,756	12,798
2002	107.6	105.9	110.4	19,957	5,604	14,353
2003	103.9	101.8	107.3	46,352	25,741	20,611

자료: 「2003년 경지면적 통계」(농림부 국립농산물품질관리원, 2003); pp 33

농지와 마찬가지로 산림의 경우도 감소추세가 계속되고 있는데 최근 산림의 타용도 전용현황은 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 산림의 타용도 전용현황

구분	1997	1998	1999	2000	2001
합계(ha)	10,100	7,700	7,968	7,170	7,386
농업용	1,215	1,370	1,679	1,345	925
- 농지	816	790	1,310	1,217	810
- 초지	399	580	369	128	115
비농업용	8,885	6,330	6,289	5,825	6,461

* 비농업용은 택지, 공장, 광업, 도로, 골프장, 스키장, 묘지, 기타를 포함
 자료: 「간추린 입업통계」(산림청, 2001); pp 77

2. 토지이용모델 추정을 위한 국내가용 통계현황

본절에서는 해외연구사례의 검토결과를 중심으로 토지이용모델 추정 시 일반적으로 사용되는 변수(3장 3절 참조)를 나열하고, 각각의 변수를 구축하기 위한 데이터의 국내가용 현황을 정부공식통계를 중심으로 점검하여 모델추정의 가능성을 생각해 본다.

가. 토지면적비율

국내 토지용도별 면적비율에 관한 통계는 자료 출처와 통계수집방법에 따라 3가지 정도로 구분된다. 첫 번째는 지리정보 시스템에 의해 구축된 통계로써 환경부에서 제작한 토지피복지도(land cover map)가 있다. 환경부는 국가지리정보체계(National Geographic Information System: NGIS)사업의 일환으로 1998년도부터 연차적으로 토지피복지도를 제작하여 왔으며, 7개 항목으로 구분되는 대분류, 23개 항목으로 구

분되는 중분류 그리고 48개 항목으로 구분되는 세분류가 있다.

대분류(1:50,000)의 경우 남북한 전역에 대하여 80년대와 90년대 위성자료를 기본으로 하여 2회에 걸쳐 제작을 완료하였으며, 중분류(1:25,000)의 경우는 수도권 지역, 한강, 금강, 낙동강 권역에 대하여 제작을 완료한 상태이고 나머지 지역은 2004년까지 완료할 예정이다(환경백서, 2004). 토지피복지도의 대분류, 중분류 분류체계는 <표 4-6>과 같고, 1990년대 위성자료를 기본으로 작성된 행정구역별 대분류 항목별 면적 자료는 <표 4-7>과 같다.

<표 4-6> 토지피복지도 분류체계

대분류(7항목)	분류기호	중분류(23항목)	분류기호
시가화/ 건조지역	100	주거지역	110
		공업지역	120
		상업지역	130
		위락시설지역	140
		교통지역	150
		공공시설지역	160
농업지역	200	논	210
		밭	220
		하우스재배지	230
		과수원	240
		기타재배지	250
산림지역	300	활엽수림	310
		침엽수림	320
		혼효림	330
초지	400	자연초지	410
		골프장	420
		기타초지	430
습지	500	내륙습지	510
		연안습지	520
나지	600	채광지역	610
		기타 나지	620
수역	700	내륙수	710
		해양수	720

자료: 「환경백서」(환경부, 2004); pp 114

<표 4-7> 토지피복지도 대분류 항목별 면적 및 비율

면적: km², 비율: %

		수역	시가화/ 건조지역	나지	습지	초지	산림 지역	농업 지역	기타	전체
서울	면적	27.1	312.3	24.3	0.5	56.3	169.7	15.4	-	605.6
	비율	4.5	51.6	4.0	0.1	9.3	28.0	2.5		100.0
부산	면적	23.0	155.3	33.8	10.1	64.0	362.8	125.8	-	774.9
	비율	3.0	20.1	4.4	1.3	8.3	46.8	16.2		100.0
대구	면적	30.4	145.8	22.7	0.3	29.3	539.3	111.6	-	879.4
	비율	3.5	16.6	2.6	0.0	3.3	61.3	12.7		100.0
인천	면적	11.4	152.3	71.6	88.4	52.8	346.5	289.9	-	1,012.9
	비율	1.1	15.0	7.1	8.7	5.2	34.2	28.6		100.0
광주	면적	9.7	79.2	27.6	0.0	17.7	201.7	160.2	-	496.0
	비율	2.0	16.0	5.6	0.0	3.6	40.7	32.3		100.0
대전	면적	24.2	83.6	19.8	0.1	31.8	335.1	43.8	-	538.3
	비율	4.5	15.5	3.7	0.0	5.9	62.3	8.1		100.0
울산	면적	8.1	80.3	26.2	2.0	95.1	669.8	173.0	-	1,054.4
	비율	0.8	7.6	2.5	0.2	9.0	63.5	16.4		100.0
경기	면적	146.4	547.0	338.2	155.4	630.1	5,530.0	2,766.0	1.0	10,114.1
	비율	1.5	5.4	3.3	1.5	6.2	54.7	27.4	0.0	100.0
강원	면적	126.6	180.5	200.6	0.2	345.4	14,608.9	1,458.0	0.5	16,920.6
	비율	0.8	1.1	1.2	0.0	2.0	86.3	8.6	0.0	100.0
충남	면적	191.1	267.4	219.5	105.7	491.8	4,100.5	3,347.6	-	8,723.6
	비율	2.2	3.1	2.5	1.2	5.6	47.0	38.4		100.0
충북	면적	150.3	133.0	81.0	1.6	313.0	5,546.2	1,208.1	-	7,433.1
	비율	2.0	1.8	1.1	0.0	4.2	74.6	16.3		100.0
전남	면적	219.9	351.9	212.4	291.2	618.3	7,105.6	3,672.5	-	12,471.7
	비율	1.8	2.8	1.7	2.3	5.0	57.0	29.5		100.0
전북	면적	104.4	338.9	130.0	134.4	358.2	4,546.9	2,479.7	-	8,092.6
	비율	1.3	4.2	1.6	1.7	4.4	56.2	30.6		100.0
경남	면적	219.3	260.4	165.1	32.6	630.9	7,519.8	1,751.8	-	10,580.0
	비율	2.1	2.5	1.6	0.3	6.0	71.1	16.6		100.0
경북	면적	232.8	354.0	197.8	9.8	941.3	14,424.3	2,799.0	-	18,958.9
	비율	1.2	1.9	1.0	0.1	5.0	76.1	14.8		100.0
전체	면적	1,524.7	3,517.5	1,770.5	832.2	4,675.9	66,006.9	20,402.2	1.5	98,654.4
	비율	1.5	3.6	1.8	0.8	4.8	66.8	20.7	0.0	100.0

주: Landsat TM 30-m 해상도의 위성사진을 통해 추정; 제주도는 분석에서 제외
 자료: 윤정호(2003)

두 번째 토지용도별 면적자료는 지적에 의한 행정통계로써 행정자치부가 매년 발간하는 「지적통계연보」를 들 수 있다. 2002년 9월 기준으로 행정자치부는 국내적용 지목을 행정구역과 소유유형에 따라 총 28개로 구분하였으며 지목의 종류는 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 광천지, 염전, 공장용지, 학교용지, 주차장, 주유소용지, 창고용지, 도로, 철도용지, 제방, 하천, 구거, 유지, 양어장, 수도용지, 공원, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지로 구분되며, 소유유형은 민유지, 국유지, 외국인, 도유지, 군유지, 법인, 중중, 종교단체, 기타단체가 있다. 2002년 12월 31일 기준으로 행정구역별, 지목별 면적통계는 <표 4-8>과 같다.

<표 4-8> 행정구역별 지목별 토지이용 현황

(2002.12.31기준; 단위: 천㎡)

	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
합계	99,585,201	605,521	762,922	885,702	986,447	501,425	539,709	1,056,383
전	8,047,978	14,944	24,209	51,534	86,974	40,272	35,548	39,029
답	12,302,950	17,832	97,883	97,883	198,444	106,758	46,871	116,296
과수원	542,786	114	1,719	2,248	1,175	340	2,484	10,913
목장용지	560,568	1	2,283	1,181	2,360	2,071	222	7,868
임야	65,018,487	153,294	366,597	485,543	418,865	199,851	291,265	693,025
광천지	3	0	0	0	0	0	0	0
염전	115,004	0	178	-	8,550	0	0	0
대	2,425,662	215,099	95,951	75,197	75,048	47,839	55,765	38,260
공장용지	560,697	3,276	17,340	18,491	20,452	112,806	6,357	41,479
학교용지	249,149	22,432	9,910	8,718	6,768	8,031	7,695	2,993
주차장	3,211	421	16	92	104	59	36	42
주유소용지	5,327	332	205	196	187	44	41	74
창고용지	14,469	9	176	197	265	39	25	70
도로	2,336,576	73,437	41,203	45,126	51,645	28,175	29,450	31,551
철도용지	118,242	6,891	3,258	1,768	1,350	2,208	3,463	1,857
제방	174,463	3,893	2,371	3,339	4,173	1,167	1,018	1,865
하천	2,800,417	52,067	43,045	44,661	5,686	19,259	19,170	30,602
구거	1,769,512	4,378	14,597	21,720	21,720	12,620	8,044	13,098
유지	1,108,282	1,468	1,421	16,729	16,729	4,748	20,757	8,018
양어장	4,519	0	7	38	38	0	0	4
수도용지	36,647	1,645	2,842	615	615	734	516	1,047
공원	72,968	9,243	5,564	3,564	3,564	3,840	3,299	811
체육용지	131,397	745	2,322	1,979	1,494	365	1,491	1,382
유원지	16,861	282	1,649	192	13,187	1	23	0
종교용지	30,027	1,346	1,255	892	717	502	462	356
사적지	10,059	1,318	161	21	339	86	60	30
묘지	277,260	2,738	2,708	4,628	3,065	1,512	1,238	4,517
잡종지	788,897	18,316	24,052	12,748	54,802	9,622	4,411	11,197

자료: 행정자치부 지적담당관실; <http://www.lic.mogaha.go.kr>

<표 4-8> 행정구역별 지목별 토지이용 현황 (계속)

(2002.12.31기준; 단위: 천㎡)

	경기도	강원도	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주도
합계	10,127,395	16,612,525	7,431,601	8,597,937	8,050,941	12,036,945	19,024,811	10,517,742	1,847,195
전	1,000,276	1,068,566	696,456	826,274	667,939	1,202,016	1,307,683	640,518	345,739
답	1,498,665	627,527	708,435	1,840,151	1,610,808	2,075,729	1,863,714	1,387,684	8,158
과수원	15,369	9,197	42,771	57,478	7,485	25,505	138,034	40,246	187,707
목장용지	59,204	72,923	25,985	40,321	30,985	64,848	43,862	28,897	177,557
임야	5,656,275	13,700,164	5,055,342	4,497,289	4,587,555	7,119,998	13,754,883	7,119,932	918,610
광천지	0	0	0	2	0	0	0	0	0
염전	19,387	0	0	22,226	8,741	55,659	0	264	0
대	370,253	133,687	131,034	215,437	183,078	253,565	266,244	222,009	47,195
공장용지	110,443	15,754	40,781	65,132	31,516	50,789	66,080	59,144	2,382
학교용지	32,015	16,537	16,737	20,091	20,414	24,088	27,436	19,858	5,425
주차장	745	213	425	286	86	153	131	266	137
주유소용지	1,101	586	916	416	706	317	349	380	76
창고용지	3,757	1,322	1,468	1,233	1,354	933	1,251	2,133	237
도로	299,421	193,587	165,208	222,764	234,367	334,039	311,342	264,981	72,288
철도용지	17,493	15,715	12,153	7,819	7,846	9,966	18,653	8,068	0
제방	16,656	11,068	11,529	23,365	17,606	23,588	25,741	26,865	218
하천	398,783	373,603	209,163	233,644	279,206	207,173	575,658	285,426	23,271
구거	190,767	141,822	122,227	227,115	191,321	265,091	351,632	187,365	3,150
유지	72,014	118,899	134,095	180,152	105,184	183,996	146,985	104,523	3,020
양어장	267	225	426	664	504	1,485	278	434	182
수도용지	5,860	951	1,416	2,608	1,846	7,336	1,880	4,681	794
공원	21,230	1,702	3,463	2,240	2,306	2,947	2,376	3,542	603
체육용지	68,827	10,225	4,734	4,688	3,143	5,474	7,497	9,204	7,829
유원지	4,037	2,093	933	929	1,262	335	1,094	1,604	1,112
종교용지	5,548	2,322	2,415	2,605	2,293	2,598	3,268	2,759	689
사적지	304	312	409	4,256	390	370	1,014	897	64
묘지	31,744	7,833	18,507	28,899	20,703	32,383	57,339	42,768	16,678
잡종지	226,953	85,694	24,570	69,851	32,299	86,542	50,384	53,382	24,073

자료: 행정자치부 지적담당관실; <http://www.lic.mogaha.go.kr>

세 번째 토지용도별 면적자료는 관련부처에서 정기적인 표본조사를 통해 구축해 온 통계로서 대표적인 예로 산림청이 우리나라 산림자원의 현황과 실태를 파악하기 위해서 실시하고 있는 산림조사사업이 있다. 산림조사사업은 전국의 산림에 대하여 산림기본 계획구별로 연차적 순환조사로 실시되는 데, 우리나라는 1970년 이후 현재 까지 3차례에 걸쳐서 산림자원 조사가 완성되었고, 현재 1996년부터 2005년까지 10년 계획으로 제4차 산림조사사업이 진행 중에 있다. 제1차~제4차 산림조사 사업의 주요 내용을 정리하면 <표 4-9>와 같고, 산림조사 사업에 의한 행정구역별 임야면적을 요약하면 <표 4-10>과 같다.

<표 4-9> 전국 산림자원조사 연혁과 주요내용

내용	조사기관	조사기간	조사내용 및 특징
제1차 산림조사	산림자원 조사연구소	1971~1975	<ul style="list-style-type: none"> - 최초의 항공사진 촬영(1:50,000) - 최초의 임상도 작성 - 기본계획구 단위로 조사
제2차 산림조사	임업연구원	1978~1981	<ul style="list-style-type: none"> - 항공사진 및 임상도 작성 - 산림실태조사 심의회 개최 - 표본점수: 4,839개 - 조사항목: 지중, 임중, 임상, 수중, 영급별 면적과 축적 - 기본계획구 단위로 조사
제3차 산림조사	임업연구원 자원관리과	1986~1992	<ul style="list-style-type: none"> - 항공사진 및 임상도 작성 - 산림기본계획구별 연차별 조사 - 표본점수: 4,850개 - 조사항목: 지중, 임중, 임상, 수중, 영급별 면적과 축적 - 시, 군, 구를 최소단위로 조사
제4차 산림조사	임업연구원 산림조사과	1996~2005	<ul style="list-style-type: none"> - 항공사진 및 임상도 작성 - 1996년부터 기본계획구별 연차별 조사 - 조사항목: 지중, 임중, 임상, 수중, 영급별 면적과 축적 - 표본점수: 8,748 - 시, 군, 구를 최소단위로 조사

자료: 「한국의 산림과 임업」(동북아 산림포럼, 2000); pp 88

<표 4-10> 전국 산림자원조사에 의한 행정구역별 임야면적

구분	제1차	제2차	제3차
총계	6,640,839	6,567,772	6,463,764
서울	18,151	16,893	15,973
부산	21,477	19,006	22,283
대구	-	-	23,715
인천	-	-	9,981
광주	-	-	20,448
대전	-	-	30,918
경기	596,634	578,384	524,290
강원	754,376	752,680	667,341
충북	523,520	511,571	440,466
충남	498,001	483,186	431,161
전북	445,585	438,351	393,581
전남	739,352	732,876	666,699
경북	1,286,878	1,268,851	1,155,102
경남	792,334	788,491	746,555
제주	108,653	104,412	94,406

자료: 「한국의 산림과 임업 2000」(동북아 산림포럼, 2000); pp 90

한편 산림청은 산림관련 주요 통계를 매년 「임업통계연보」라는 책자로 공식 발표하고 있는데, 「임업통계연보」상의 연도별, 임상별 산림면적은 <표 4-11>과 같다.

<표 4-11> 연도별·임상별 산림면적

연도	산림면적(ha)				
	계	침엽수	활엽수	혼효림	기타
1974	5,925,782	3,211,226	1,038,030	1,676,526	715,057
1975	5,916,081	3,200,841	1,038,653	1,676,587	659,271
1976	6,012,500	3,185,545	1,146,717	1,680,238	600,955
1977	6,052,924	3,177,778	1,181,918	1,693,228	540,145
1978	6,087,445	3,178,049	1,228,823	1,680,573	490,877
1979	6,112,474	3,193,388	1,252,469	1,666,617	458,189
1980	6,296,356	3,249,122	1,148,282	1,898,952	271,416
1981	6,287,007	3,256,058	1,150,277	1,880,672	275,878
1982	6,278,457	3,259,928	1,158,454	1,860,075	275,256
1983	6,277,188	3,273,636	1,156,737	1,846,815	269,591
1984	6,273,204	3,280,049	1,160,729	1,832,426	266,354
1985	6,262,202	3,280,676	1,158,499	1,823,027	268,900
1986	6,282,387	3,270,056	1,181,704	1,830,627	241,579
1987	6,290,201	3,269,038	1,186,634	1,834,529	208,881
1988	6,282,467	3,233,674	1,265,145	1,783,648	209,027
1989	6,273,202	3,191,026	1,292,010	1,790,166	211,502
1990	6,277,759	3,078,827	1,389,215	1,809,717	198,271
1991	6,275,651	2,984,177	1,551,451	1,740,023	192,014
1992	6,289,392	2,893,624	1,673,275	1,722,493	174,372
1993	6,281,057	2,889,911	1,672,839	1,718,307	178,777
1994	6,266,010	2,882,721	1,668,884	1,714,405	189,540
1995	6,255,397	2,876,829	1,668,200	1,710,368	196,488
1996	6,247,120	2,845,806	1,673,782	1,727,532	200,836
1997	6,252,129	2,787,750	1,685,730	1,778,649	189,175
1998	6,255,503	2,741,514	1,675,229	1,838,760	180,801
1999	6,254,553	2,727,122	1,676,359	1,851,072	175,448
2000	6,262,218	2,711,421	1,665,550	1,885,247	159,910
2001	6,259,794	2,691,562	1,671,827	1,896,405	156,126
2002	6,262,346	2,674,003	1,683,326	1,905,017	149,547
2003	6,255,824	2,719,725	1,659,949	1,876,150	150,508

* 기타항목은 죽림, 무림목지, 미조사지를 포함

자료: 「2004 임업통계연보」(산림청, 2004)

농지면적에 대한 유사한 표본조사로서는 농림부 국립농산물품질관리원에서 실시하는 현지실측 표본조사가 있는데 법적 지목여부에 관계없이 농작물의 재배가 가능한 경지를 논, 밭으로 구분하여 표본단위구를 중심으로 시행한다. 표본단위구는 전국의 경지를 약 2ha 크기로 묶은 1,015천개의 모집단을 논비율과 작물재배형태에 따라 10개 층으로 층화하고, 층별 표본 추출율에 의하여 추출한다(국립농산물품질관리원, 2003). 2002년, 2003년도 행정구역별 경지면적은 <표 4-12>와 같고 연도별 경지면적 추세는 <표 4-13>과 같다.

<표 4-12> 2002 - 2003년도 행정구역별 경지면적

(단위: ha)

	2002 (A)			2003 (B)			증-감 (B-A)		
	계	논	밭	계	논	밭	계	논	밭
전국	1,862,622	1,138,408	724,214	1,845,994	1,126,723	719,271	-16,628	-11,685	-4,943
서울	2,018	709	1,309	1,983	655	1,328	-35	-54	19
부산	9,704	6,575	3,129	9,132	6,070	3,062	-572	-505	-67
대구	11,538	6,567	4,971	11,454	6,484	4,970	-84	-83	-1
인천	24,435	17,814	6,621	23,990	17,512	6,478	-445	-302	-143
광주	13,689	10,231	3,458	13,509	10,102	3,407	-180	-129	-51
대전	6,094	3,186	2,908	5,827	2,824	3,003	-267	-362	95
울산	14,041	9,452	4,589	13,663	9,067	4,596	-378	-385	7
경기	205,299	124,364	80,935	202,290	121,627	80,663	-3,009	-2,737	-272
강원	116,288	49,938	66,350	115,359	49,383	65,976	-929	-555	-374
충북	132,187	64,084	68,103	130,680	63,264	67,416	-1,507	-820	-687
충남	253,516	186,249	67,267	251,534	184,640	66,894	-1,982	-1,609	-373
전북	215,179	162,926	52,253	214,091	161,825	52,266	-1,088	-1,101	13
전남	328,599	220,771	107,828	326,989	219,849	107,140	-1,610	-922	-688
경북	293,740	157,598	136,142	291,751	156,777	134,974	-1,989	-821	-1,168
경남	177,128	117,750	59,378	175,239	116,450	58,789	-1,889	-1,300	-589
제주	59,167	194	58,973	58,503	194	58,309	-664	0	-664

자료: 「2003년 경지면적 통계」 (농림부 국립농산물품질관리원, 2003); pp 8

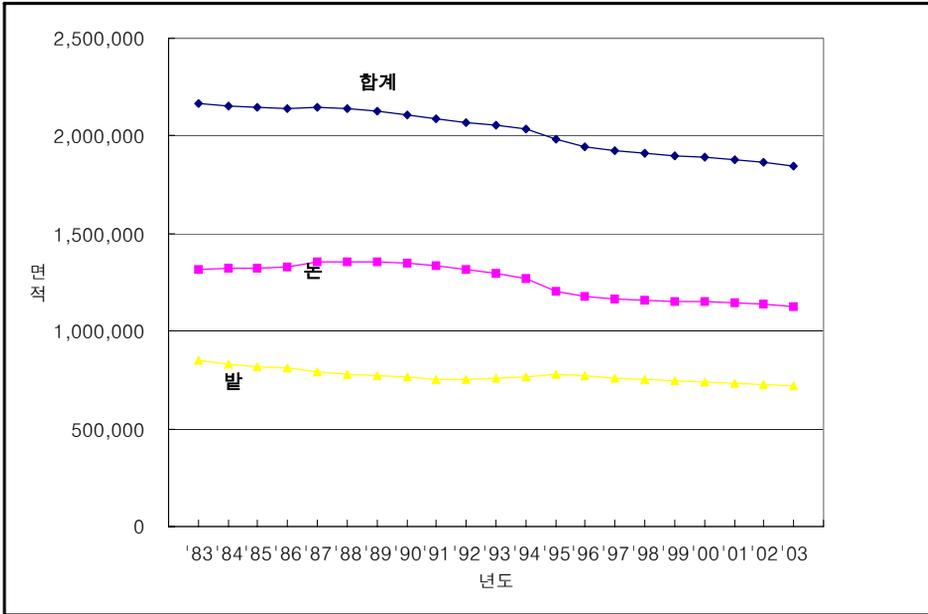
<표 4-13> 연도별 경지면적 추세

(단위: ha)

	계		논		밭	
	면적	증감	면적	증감	면적	증감
1983	2,166,636	-13,448	1,315,933	4,421	850,703	-17,869
1984	2,152,357	-14,279	1,319,903	3,970	832,454	-18,249
1985	2,144,415	-7,942	1,324,932	5,029	819,483	-12,971
1986	2,140,995	-3,420	1,328,529	3,597	812,466	-7,017
1987	2,143,430	2,435	1,351,657	23,128	791,773	-20,693
1988	2,137,947	-5,483	1,357,857	6,200	780,090	-11,683
1989	2,126,721	-11,226	1,352,741	-5,116	773,980	-6,110
1990	2,108,812	-17,909	1,345,280	-7,461	763,532	-10,448
1991	2,090,877	-17,935	1,335,204	-10,076	755,673	-7,859
1992	2,069,933	-20,944	1,314,727	-20,477	755,206	-467
1993	2,054,814	-15,119	1,298,323	-16,404	756,491	1,285
1994	2,032,706	-22,108	1,267,112	-31,211	765,594	9,103
1995	1,985,257	-47,449	1,205,867	-61,245	779,390	13,796
1996	1,945,480	-39,777	1,176,148	-29,719	769,332	-10,058
1997	1,923,522	-21,958	1,162,852	-13,296	760,670	-8,662
1998	1,910,081	-13,441	1,157,306	-5,546	752,775	-7,895
1999	1,898,925	-11,156	1,152,579	-4,727	746,346	-6429
2000	1,888,765	-10,160	1,149,041	-3,538	739,724	-6,622
2001	1,876,142	-12,623	1,146,082	-2,959	730,060	-9,664
2002	1,862,622	-13,520	1,138,408	-7,674	724,214	-5,846
2003	1,845,994	-16,628	1,126,723	-11,685	719,271	-4,943

자료: 「2003년 경지면적 통계」(농림부 국립농산물품질관리원, 2003); pp 25

그림 <4-1>은 <표 4-13>의 연도별 경지면적 변화를 그림으로 나타낸 것이다. 또한 이상에서 살펴본 국내 이용가능한 토지이용도별 면적관련 통계를 정리하면 <표 4-14>와 같다.



<그림 4-1> 연도별 경지면적 변화 추세

<표 4-14> 토지용도별 면적통계 요약

구분	통계수집부처	수집항목	비고
토지피복지도	환경부	대분류(7개항목) 중분류(23개항목) 세분류(48개항목)	GIS 자료 실제이용현황 반영
지적 통계	행정자치부	행정구역과 소유유형별로 28개 지목으로 구분	법적 지목
표본조사	산지	산림청	항공사진분석 + 산림자원 표본조사
	농지	농림부 국립농산물관리원	경지면적 경지이용(작물재배면적)

나. 지대

3장의 2절에서 설명한 바와 같이 지대는 각 토지이용에서 기대되는 단위면적당 순수입으로 정의될 수 있으며 동태모델의 경우 단위면적당 할인된 순수입의 현재가로 계산된다. 비교적 간단명료한 지대의 정의와는 달리 지대의 측정은 다양한 자료를 요구하는데, 통계수집에 있어 항상 3가지 측면이 고려되어야 한다. 즉, 어떠한 자료이든 지역 i , 시간 t , 그리고 주요수종(산림의 경우) 또는 주요작물(농지의 경우)별로 통계가 수집되어야 한다. 기본적으로 지대의 계산에는 단위면적당 총수입 산출에 필요한 생산량, 가격, 주요수종, 주요작물의 재배면적과 총비용 산출에 필요한 생산비용 등의 자료가 요구된다.

먼저 산지로부터의 지대 측정을 위한 국내가용 통계현황은 산림청이 매년 발간하는 「임업통계연보」를 출발점으로 하여 살펴볼 수 있다. 「임업통계연보」에는 매년 16개 광역자치 단체(1특별시, 6광역시, 9도)별로 임산물 생산량 현황을 집계하고 있는데, 임산물에는 용재(침엽수, 활엽수 구분), 수실(nuts and fruits), 산나물, 수액(sap), 약용식물, 농용자재, 버섯 등이 포함되며 각 임산물별로 수량(quantity)과 금액(value)에 대한 자료를 실고 있다.

용재와 수실의 최근 생산량 현황은 <표 4-15>와 같다. <표 4-15>의 “금액”은 생산물 가치로서 수량과 가격의 곱으로 볼 수 있으며, 따라서 생산물 가치를 수량으로 나누어 주면 해당 임산물의 단위당 묵시적 가격(implicit price)도 구할 수 있다. 따라서 <표 4-15>의 “금액”은 각 임산물이 t 시점에서 i 지역의 총 산림면적에서 차지하는 비율이 주어지면 단위면적당 총수입의 가중평균값으로 전환된다. 이와 같은 총수입의 가중평균값 계산은 독립적인 가격 자료가 이용되지 않았다는 점에서 간접적인 총수입 도출방법이라 할 수 있다. 물론 개별적인 수량, 가격자료가 존재하면 생산액 대신 수량과 가격을 직접 곱해서 총 수입을 산출할 수 있다. 「임업통계연보」는 주요 임산물의 연도별 평균가격 또한 집계하여 발표하고 있다.

<표 4-15> 연도별 행정구역별 임산물 생산현황

수량: m³ 금액: 천원

구분	용재(m³)								수실	
	합계		침엽수		활엽수		포플러			
	수량(m³)	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액
1999	1,018,869	109,198,022	698,210	76,470,915	318,387	32,570,319	2,272	156,789	145,520,597	349,248,154
2000	1,038,812	107,287,684	744,669	80,546,148	291,182	26,563,136	2,961	178,400	161,340,590	391,257,709
2001	995,891	70,858,848	706,592	50,180,421	288,062	20,618,888	1,237	59,539	159,422,409	417,755,680
2002	1,244,407	128,179,316	764,182	85,025,519	477,136	42,914,525	3,089	239,272	139,286,839	403,897,991
2003	1,163,196	103,203,693	826,528	71,355,638	331,616	31,611,183	5,052	236,872	109,560,719	365,826,921
서울특별시	-	-	-	-	-	-	-	-	2,399	14,791
부산광역시	9	1,080	9	1,080	-	-	-	-	300	1,200
대구광역시	105	4,605	55	555	50	4,050	-	-	578,958	4,136,625
인천광역시	638	55,460	-	-	638	55,460	-	-	214,228	2,850,375
광주광역시	450	53,175	384	48,459	66	4,716	-	-	26,479	104,687
대전광역시	12,742	884,928	9,232	597,670	3,496	286,419	14	840	258,505	617,252
울산광역시	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
경기도	122,420	9,712,884	78,996	6,402,661	43,036	3,285,639	388	24,583	3,372,953	19,310,395
강원도	185,570	18,903,413	144,086	15,626,754	41,115	3,260,211	369	16,448	2,653,532	12,057,110
충청북도	105,091	11,437,170	51,142	5,303,881	51,150	6,006,622	2,799	126,668	8,161,572	33,781,380
충청남도	211,448	22,370,385	151,589	15,732,428	59,731	6,628,477	128	9,480	22,996,480	91,554,725
전라북도	185,897	11,602,854	167,424	10,589,576	18,327	1,011,965	146	1,314	7,110,699	24,946,663
전라남도	121,788	11,599,825	97,534	7,942,379	24,254	3,657,446	-	-	16,514,788	35,832,874
경상북도	106,410	10,059,939	32,888	3,383,857	72,601	6,628,369	921	47,714	18,004,455	65,356,682
경상남도	17,745	2,069,985	14,511	1,675,998	3,234	393,988	-	-	29,557,591	74,741,443
제주도	4,901	373,290	3,737	267,310	1,164	105,980	-	-	571	9,306

자료: 「2004 임업통계연보」(산림청, 2004)

임업에 투입되는 생산비용은 크게 조림비용, 무육·관리비용, 벌채비용으로 나누어 생각할 수 있는데, 우리나라의 경우 조림사업과 육림사업에 대해서는 정부가 장기 또는 저리의 유리한 금융조건으로 지원하고 있다. 육자업무 취급기관은 산림조합 중앙회 및 시·군 산림조합으로서 조림사업과 육림사업 경우의 융자조건은 <표 4-16>과 같으며, 따라서 임업 생산비용 계산 시에는 이와 같은 정부 금융지원의 내용이 반영되어야 한다.

<표 4-16> 조림·육림사업의 금융지원

사업명		금리	융자기간			융자한도	융자비용
			계	거치	상환		
조림	장기수	3%	35년	20년	15년	융자단비의 실소요액	소요자금의 100%까지
	속성수	3%	15년	10년	5년		
	기타	3%	10년	5년	5년		
육림	장기수종	3%	35년	20년	15년	융자단비의 실소요액	보조금이외 소요금100%
	기타수종	3%	25년	15년	5년		
	유실수종	3%	15년	10년	5년		

자료: 「산주를 위한 임업교육 교재」(고려대학교 자연환경보전연구소, 2003); pp 149~150

일반적으로 임업 생산비용에 대한 정보는 매우 제한적인 경우가 많으며, 조림비용, 무육·관리비용, 벌채비용에 대한 통계는 「임업통계연보」에 발표되지 않는다. 임업 생산비용에 가장 근접한 자료¹⁴⁾로서는 국립산림과학원이 계간으로 1년에 4회 발간하는 「임업경제동향」에서 찾을 수 있다. 「임업경제동향」은 임업사업별 노동 취업자 현황을 발표하고 있으며 최근 동향은 <표 4-17>과 같다. <표 4-17>은 직접적인 사업별 생산비용을 포함하고 있지는 않지만, 생산비용에서 노동비가 차지하는 비율이 높

14) 현재까지 저자의 자료검토 범위 내에서 한정되는 것으로 통계가 존재하지 않는다는 의미는 아님

다는 가정 하에 집계된 각 사업별 고용자수와 사업별 평균 임금수준을 고려하여 사업별로 간접적인 생산비용을 도출할 수 있을 것으로 보인다.

<표 4-17> 작업종별 임업노동 취업자 현황

(2001년 기준; 단위: 천명, %)

구분				일용	총계	비율
	영림단원	비영림단원	소계			
조림	40	15	55	17	72	5.9
육림	145	40	185	216	401	33.0
간벌	93	9	102	37	139	11.4
벌채	3	22	25	184	209	17.2
병충해방지	44	13	57	66	123	10.1
임도	25	19	44	94	138	11.3
사방	5	4	9	12	21	1.8
기타	24	20	44	69	113	9.3
총계	379	142	521	695	1,216	100
비율	31.2	11.7	42.9	57.2	100.0	-

자료: 「임업경제동향 2002/봄」(임업연구원, 2002)

산림청과 마찬가지로 농림부는 농업관련 통계를 수집하여 「농림통계연보」를 매년 발간하고 있다. 농지로부터의 지대측정은 기본적으로 산지지대 측정시와 동일한 통계가 요구된다고 볼 수 있다. 「농림통계연보」를 중심으로 알아본 t 시점에서 지역 i 의 주요작물에 대한 재배면적, 생산량 통계는 <표 4-18>과 같고 주요작물별 생산자 가격 통계는 <표 4-19>와 같다. 작물별 생산비용의 통계는 주요작물별로 비목별 전국 평균통계가 통계청에서 집계되고 있으며 10a당 논벼의 경우 비목별 생산비용은 <표 4-20>과 같다.

<표 4-18> 연도별 행정구역별 주요작물 재배면적과 생산량

단위: 재배면적(ha), 생산량(t)

연도	미곡(조곡)*		맥류(조곡)**		서류***		잡곡****		두류*****	
	재배면적	생산량	재배면적	생산량	재배면적	생산량(생서)	재배면적	생산량	재배면적	생산량
1997	1,052,395	7,314,885	69,536	266,158	40,771	930,685	30,260	97,402	122,403	181,738
1998	1,058,927	6,790,125	83,406	256,524	39,385	901,038	30,099	91,334	120,115	164,518
1999	1,066,203	7,065,900	76,594	336,275	47,766	1,106,390	28,514	89,348	108,032	138,930
2000	1,072,363	7,196,582	68,435	228,927	45,564	1,049,504	24,680	75,186	107,150	134,224
2001	1,083,125	7,406,517	91,564	385,668	37,409	876,725	23,415	68,156	98,514	139,616
2002	1,053,186	6,687,225	80,911	304,628	39,400	982,876	27,654	85,243	99,214	134,792
서울	655	4,141	-	-	9	214	9	35	38	48
부산	5,299	30,621	69	258	38	941	97	222	143	130
대구	5,739	33,765	591	2,666	157	3,028	177	323	405	420
인천	16,813	117,170	116	475	498	11,568	128	353	786	971
관주	8,855	52,936	1,265	4,946	76	1,860	80	181	495	606
대전	2,636	17,391	-	-	111	2,560	63	101	280	310
울산	8,552	53,130	48	165	127	2,804	172	292	428	514
경기	118,496	767,500	178	643	4,349	101,779	1,805	6,258	8,541	10,751
강원	46,687	282,245	395	1,690	7,404	265,269	8,429	36,393	9,396	13,725
충북	58,913	389,152	211	828	1,865	40,742	4,749	15,926	9,676	12,895
충남	172,977	1,187,897	836	3,154	2,913	63,774	858	1,034	7,982	10,642
전북	152,384	1,006,379	12,477	50,515	4,248	88,787	1,793	3,154	6,065	8,590
전남	212,967	1,251,805	45,866	166,183	5,335	131,654	3,165	7,345	24,771	36,425
경북	139,269	895,834	2,883	12,464	3,407	75,837	3,455	8,276	14,558	20,508
경남	102,286	595,014	12,034	42,392	4,260	92,947	1,864	4,672	8,936	11,355
제주	658	2,245	3,942	18,249	4,603	99,112	810	678	6,714	6,902

* 논벼, 밭벼 포함; ** 겉보리, 쌀보리, 맥주보리, 밀, 호밀 포함; *** 감자, 고구마 포함; **** 조, 수수, 옥수수, 메밀, 기타 포함; ***** 콩, 팥, 녹두, 기타 포함

자료: 「2003 농림통계연보」(농림부, 2003); pp 98~101

<표 4-19> 주요 농산물 농가 판매가격

(단위: 원)

연도	미곡	맥류		서류		잡곡		두류		
	일반미	보리	쌀보리	감자	고구마	조	옥수수	콩	팥	녹두
	정곡중품	정부수매 1등조곡	정부수매 1등조곡	중품	중품	정곡중품	중품	백태중품	적두중품	중품
	40kg	40kg	40kg	20kg	20kg	40kg	40kg	40kg	40kg	40kg
1993	50,977	23,670	27,080	1,331	1,229	23,636	10,321	53,760	74,850	127,814
1994	52,428	24,850	28,430	1,630	1,538	22,535	11,840	57,812	102,873	128,001
1995	58,734	24,850	28,430	1,818	1,533	21,955	17,701	66,885	119,559	121,664
1996	67,079	24,850	28,430	10,844	10,266	22,761	18,759	70,737	108,808	164,047
1997	67,864	24,850	28,430	8,820	13,629	27,977	19,323	70,447	103,605	159,334
1998	72,694	27,730	31,430	8,691	9,985	22,130	19,666	78,395	111,275	153,163
1999	76,937	29,120	33,000	8,848	7,126	21,097	20,740	107,992	118,516	198,168
2000	79,908	30,280	34,320	5,494	7,741	21,466	21,988	99,597	131,466	203,010
2001	77,672	31,490	35,690	6,902	8,474	26,165	22,671	91,515	109,202	169,252
2002	76,826	31,490	35,690	4,728	8,542	37,295	23,200	94,443	102,245	136,529

주: 각 품목의 연평균 가격은 월별 가중치로 가중평균한 것임; 서류의 경우 1995년까지는 3.75kg 가격임
 자료: 「2003 농림통계연보」(농림부, 2003)

<표 4-20> 논벼 10a당 생산비

(단위: 원)

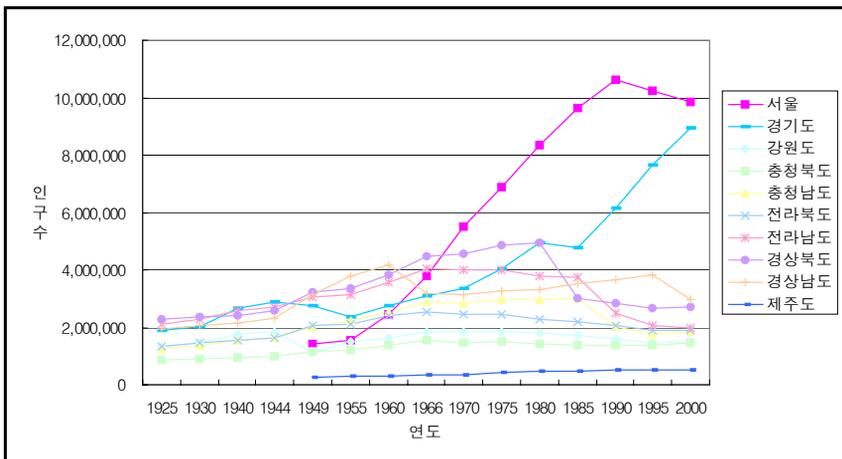
시점	종묘비	비료비	농약비	기타재료비	영농광열비	수리비	농구비	영농시설비	축력비	위탁영농비	노동비
1990	5,539	15,531	12,394	1,788	1,014	2,380	40,994	1,089	1,007	-	94,159
1991	5,885	15,387	13,076	1,869	1,069	2,689	48,815	1,124	786	780	105,150
1992	6,055	15,602	12,459	1,871	1,169	2,820	53,035	1,139	631	1,058	110,837
1993	6,337	16,563	15,828	1,599	1,269	2,977	56,432	1,241	532	1,385	114,196
1994	6,947	16,282	14,277	1,673	1,489	3,306	58,638	1,251	391	1,607	110,893
1995	6,826	16,436	14,971	1,930	1,423	3,536	59,949	1,270	318	1,838	110,216
1996	7,879	16,328	16,931	2,106	1,566	3,516	63,813	1,232	243	2,180	113,338
1997	8,016	17,017	19,680	2,229	1,732	3,624	65,852	1,199	147	2,069	115,022
1998	8,205	22,406	29,511	2,245	2,142	3,255	72,896	1,275	109	3,276	124,043
1999	8,704	23,159	27,759	2,309	2,046	3,412	74,030	1,292	109	4,643	119,262
2000	9,438	22,814	27,887	2,642	2,642	583	78,993	1,335	55	5,381	115,238
2001	10,065	23,567	26,024	3,006	3,129	661	80,128	1,372	29	4,962	115,774
2002	9,763	24,842	22,549	4,341	2,546	667	80,368	1,371	15	5,054	112,738
2003	10,529	25,025	29,161	5,409	3,255	419	97,773	1,468	22	10,412	126,125

자료: 통계청 농림업 통계; <http://kosis.nso.go.kr/>

다. 인구

우리나라의 인구 총 조사는 1925년에 처음으로 실시된 후, 매 5년 간격으로 15차례에 걸쳐 통계청에서 실시하고 있다. 매 0자, 5자연도의 11월 1일 0시 현재 (본 기준은 '80년 제 12차 조사부터 적용) 대한민국 영토 중 행정권이 미치는 전 지역에 상주하는 내·외국인을 대상으로 한다.

조사구역은 조사대상의 중복과 누락을 방지하기 위해 전국의 모든 지역을 대상으로 도로, 하천 등 준 항구적인 지형지물을 이용하여 지도상에 일정가구수가 포함되도록 조사구를 설정하였다. 2000년 총 조사의 경우 한 조사구당 평균 60가구로 구성된 약 25만개의 조사구가 설정되었으며, 조사대상자에 대한 접근성에 따라 일반 조사구와 특별 조사구로 분류된다. 전수조사는 아파트조사구, 보통조사구, 섬조사구의 90%에 해당되는 지역에, 표본조사는 아파트조사구, 보통조사구, 섬조사구의 10%와 모든 기숙시설 조사구와 특수사회시설 조사구를 대상으로 실시되었다(통계청 홈페이지 <http://www.nso.go.kr/>). 우리나라 인구 총 조사 결과를 중심으로 총 조사 연도별 광역자치단체별 인구변화를 보면 <그림 4-2>와 <표 4-21>과 같다.



<그림 4-2> 연도별 행정구역별 인구변화

<표 4-21> 연도별 광역자치단체별 인구변화

시점	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기도	강원도	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
1925	19,020,030								1,889,899	1,322,331	839,422	1,259,024	1,340,430	2,123,539	2,293,285	1,938,001	
1930	20,438,108								2,004,012	1,473,972	890,877	1,356,942	1,467,604	2,288,429	2,373,856	2,045,113	
1940	23,547,465								2,668,119	1,742,928	935,111	1,548,032	1,564,041	2,593,176	2,428,177	2,147,602	
1944	25,120,174								2,886,643	1,836,661	970,623	1,647,044	1,639,213	2,705,736	2,561,251	2,318,146	
1949	20,166,756	1,437,670							2,733,944	1,138,435	1,145,964	2,026,837	2,048,951	3,041,491	3,205,240	3,133,697	254,527
1955	21,502,386	1,568,746							2,359,558	1,495,755	1,191,268	2,220,895	2,124,521	3,126,377	3,361,346	3,765,119	288,801
1960	24,989,241	2,445,402							2,748,765	1,636,767	1,369,780	2,528,133	2,395,224	3,553,041	3,848,424	4,182,042	281,663
1966	29,159,640	3,793,280	1,426,019						3,102,325	1,831,185	1,548,821	2,902,941	2,521,207	4,048,769	4,472,895	3,175,146	337,052
1970	31,435,252	5,525,262	1,876,391						3,353,272	1,865,426	1,480,338	2,858,202	2,431,892	4,004,832	4,555,866	3,118,634	365,137
1975	34,678,972	6,879,464	2,450,125						4,034,707	1,860,768	1,521,348	2,947,023	2,455,093	3,982,752	4,855,852	3,278,718	411,486
1980	37,406,815	8,350,616	3,156,931						4,930,335	1,790,226	1,423,381	2,954,662	2,286,720	3,778,777	4,952,012	3,320,546	462,609
1985	40,419,652	9,625,755	3,512,113	2,028,370	1,384,916				4,792,617	1,724,146	1,390,326	2,999,837	2,201,265	3,747,506	3,010,001	3,514,500	488,300
1990	43,390,374	10,603,250	3,795,892	2,227,979	1,816,328	1,138,717	1,049,122		6,154,359	1,579,859	1,389,222	2,013,270	2,069,378	2,506,944	2,860,109	3,671,509	514,436
1995	44,553,710	10,217,177	3,809,618	2,445,288	2,304,176	1,257,063	1,270,873		7,637,942	1,465,279	1,395,460	1,765,021	1,900,558	2,066,109	2,672,498	3,841,553	505,095
2000	45,985,289	9,853,972	3,655,437	2,473,990	2,466,338	1,350,948	1,365,961	1,012,110	8,937,752	1,484,536	1,462,621	1,840,410	1,887,239	1,994,287	2,716,218	2,970,929	512,541

자료: 통계청 농림업 통계; <http://kosis.nso.go.kr/>

라. 토질

토질에 대한 정보는 농업토양정보시스템(ASIS; <http://asis.rda.go.kr/>)의 지목별 적성구분 항목을 활용할 수 있다. 농업토양정보시스템은 농업과학기술원에서 구축하고 있는 토양정보시스템으로서 각종 토양 정보를 인터넷을 통하여 제공함으로써 토양에 대한 정보를 농업 종사자를 비롯한 일반인이 쉽게 활용할 수 있도록 보급하는데 그 목적을 두고 있다. 자료로는 토양도, 수치지형도, 편집지적도, 토양검정자료 등이 있으며 1998년도에 구축사업이 시작되어 2006년에 완료예정에 있다.

농업토양정보시스템 내용 중 지목별 적성등급 구분은 토양특성에 따라 토지의 잠재생산력과 생산저해의 정도를 표시한 것이다. 지목 또는 작목의 최종결정은 토지소유자에게 있으므로 동일한 종류의 토양이라도 소유자에 따라 논, 밭 또는 초지로 이용할 수 있으며 때에 따라서는 지목 또는 작목을 변경할 필요도 있다. 지목별 적성등급은 토양조사 결과 밝혀진 각 토양의 고유성질, 지형적 특성 및 토지이용을 제한하는 환경인자 등을 기반으로 하여 토양을 해설적으로 구분한 것이다. 작물의 생산성은 토양특성과 환경요인에 지배되어 고위생산성인 것과 저위생산성인 토양으로서 구분된다. 일반적으로 토양에 동일한 재배방법으로 작물을 재배하였을 때 환경 및 토양조건이 양호한 토양은 생산량이 높은 반면에 불량한 토양은 생산량이 낮다.

세계 각국에서는 환경 및 토양조건을 고려하여 토양의 적성등급 구분기준을 설정하여 토양자체의 등급을 나누고 있다. 미국 농무성 토양보전국에서는 지목별로 토지이용을 구분하지 않고 I-VIII급지로 구분하여 I-IV급지는 작물재배가 가능하고 V-VIII급지는 농업적 이용가치가 없고 다만 목초지, 임야지, 휴양지, 오락지 등으로 활용이 가능하다는 것을 표시하고 있다. 한편 우리나라의 농업과학기술원에서는 토지의 적성등급 구분을 토양조건, 적응성, 생산력의 우열, 관리의 난이 등에 따라 각 지목별로 1급지에서 5급지까지로 분류하였으며, 1급지에서 4급지까지는 해당 지목에 대하여 이용이 가능하고 5급지는 해당지목으로 이용이 부적당한 토양이다. 우리나라의 경우 육지부 토양과 제주도 토양은 특성상 많은 차이가 있으므로 구분한다. 제주도(추자군도는 육지부에 포함)를 제외한 우리나라의 지목별(논과 임지의 경우) 토지이용

적성등급기준은 <표 4-22>와 <표 4-23>과 같다.

<표 4-22> 논토양의 적성등급 기준

구 분	1 급 지	2 급 지	3 급 지	4 급 지
1. 정 의	1)논으로 생산력이 높음 2)수도 재배의 집약적 경영이 용이하며 토양을 관리하는데 제한을 받지 않음	1)논으로 생산력이 보통임 2)수도 재배의 집약적 경영이 가능 하나 토양을 관리하는데 다소의 제한을 받음	1)논으로 생산력이 낮음 2)수도재배에 심한 제한을 받고 있어 특수 관리 및 재배기술을 필요로 함	1)논으로 생산력이 매우 낮음 2)수도 재배에 매우 심한 제한을 받고 있어 경제적 이용이 어려울 경우가 있음
2. 토양조건				
-토양배수	약간 불량, 약간 양호 (단, 지표에서 25cm 이상이 회색화 된 것에 한함)	약간 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량	양호, 약간 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량	양호, 약간 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량
- 토 성	식질, 식양질, 미사식양질	식질, 식양질, 미사식양질	식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질	식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질, 사질(단, 배수 양호 및 매우 양호한 사질 제외)
- 유효토심(cm) - 암석층, 경반층	> 100	100~50	50~20	50~20
- 석력층,모래층	> 100	100~50	50~20	20~10
- 표토의 석력함량	없음 ~ 약간 있음	없음 ~ 약간 있음	있음	많음
- 표층의 암석노출	없 음	없 음	없 음	없 음
- 염농도 (dS/m at 25℃)	< 4	4~8	8~16	16 <
- 유산철의 집적층(cm)	> 100	100~50	50~20	50~20
- 침식정도	없음 ~ 약간 있음	없음 ~ 약간 있음	있음	있음
- 경사(%)	< 2	2~7	7~15	15~30

* 비화산회 토양

자료: http://asis.rda.go.kr/info/ASIS_Korea/AK3_1.htm

<표 4-23> 임지토양의 적성등급 기준

구 분	1 급 지	2 급 지	3 급 지	4 급 지
1. 정 의	1) 임야지로 생산력이 높음 2) 심근성 임목조림지로 적합함	1) 임야지로 생산력이 보통임 2) 심근성 임목조림이 가능하며 수종의 선택 및 증기계 도입에 다소의 제한을 받음	1) 임야지로 생산력이 낮음 2) 심근성 임목조림이 어렵고 자연 조림이 가능하며 수종의 선택 및 증기계 도입에 심한 제한을 받음	1) 임야지로 생산력이 매우 낮음 2) 자연조림만이 가능한 지역으로 경사 및 암반의 노출이 매우 심하여 수종의 선택 및 증기계 도입에 매우 심한 제한을 받음 3) 침식을 매우 심하게 받은 지역은 사방사업 및 사방용 임목식재를 필요로 함
2. 토양조건				
- 토양배수	양호	매우 양호, 양호, 약간 양호	매우 양호, 양호, 약간 양호	매우 양호, 양호, 약간 양호, 약간 불량
- 토 성	식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질	식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질	식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질, 사질	식질, 식양질, 미사식양질, 사양질, 미사사양질, 사질
- 유효토심(cm) - 암석층, 경반층	> 100	100~50	50~25	50~25
- 석력층, 모래층	> 50	50~25	25~10	25~10
- 표토의 석력함량	없음 ~ 있음	있음	많음	많음
- 표층의 암석 노출	없음	돌이 있음	바위가 있음	바위가 많음
- 침식정도	없음 ~ 약간 있음	있음	심 함	매우 심함
- 심토의 점토집적	없음	없음 ~ 있음	있음	-
- 경사(%)	< 30	30~60	30~60	60~100

* 비화산회 토양

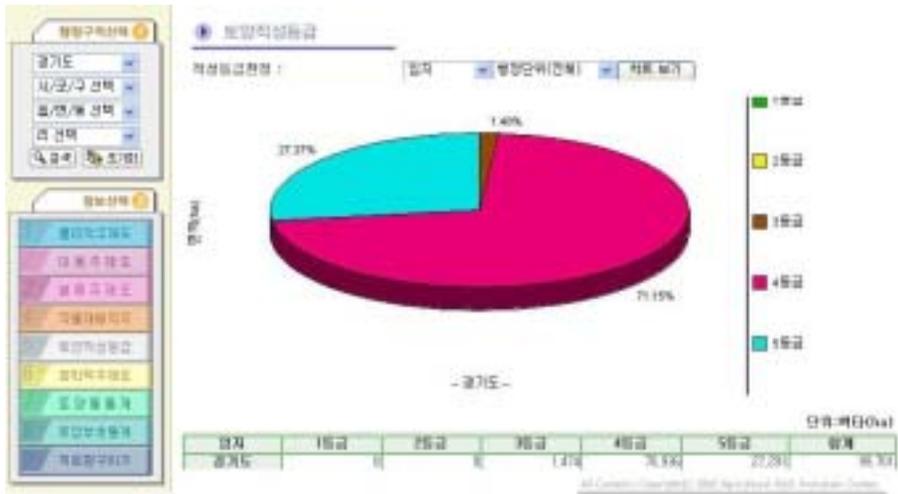
자료: http://asis.rda.go.kr/info/ASIS_Korea/AK3_1.htm

<표 4-22>와 <표 4-23>과 같이 토양특성에 따라 지목별로 토지이용 적성등급 구분 기준을 설정하여 사용하며, 또한 지목별로 1급지를 제외한 2, 3, 4급지에 대해서는 작물생육에 저해요인이 되는 인자를 각 급지에 병기하여 사용함으로써 쉽게 저해요인(<표 4-24>)이 무엇인지 알 수 있도록 하였다. 시스템 이용의 예시를 위하여 경기도 지역 임지, 논지역의 등급별 면적을 출력한 결과는 <그림 4-3>과 <그림 4-4>와 같다.

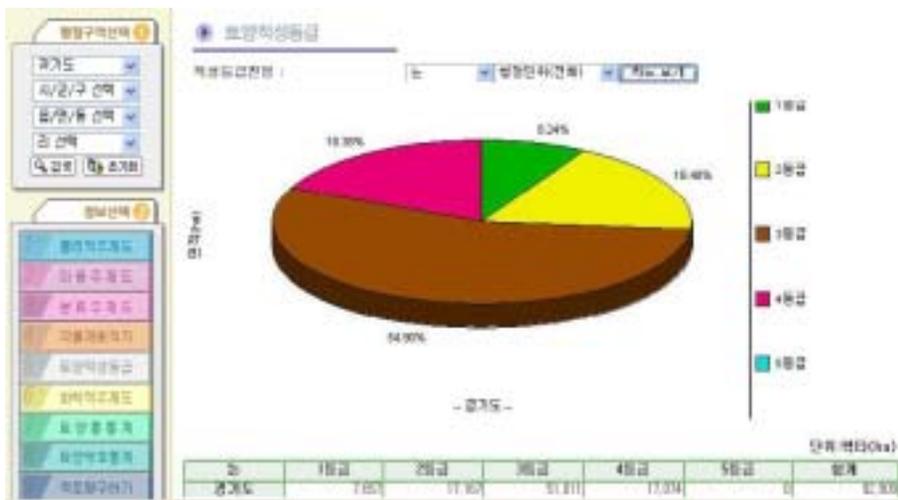
<표 4-24> 작물생산 저해요인

구분	설명
경사	토양침식을 받거나 받을 우려가 있는 토양
저습	지하수위가 높거나 용출지로서 습해가 우려되는 토양
사질	점토함량이 적어서 수분 및 양분의 보존능력이 적으며 한발이 우려되는 토양
석력	석력을 많이 함유하거나 암반 등으로 인하여 뿌리의 발육과 경중관리에 제한을 주는 토양
염해	전기전도도에 의한 염농도가 4ds/m 이상으로 염해가 우려되는 토양
특이산성	유산염 집적층이 100cm 이내에 있어 매우 강한 산성 또는 강한 산성을 띄우는 토양
미숙	토양생성작용에 의한 토층의 숙화가 되지 않은 토양
중점	점토함량의 과다 및 점토 집적층 또는 불투수층의 형성으로 뿌리 발육에 저해되며 통기 및 통수가 불량한 토양
경반	심토에 딱딱한 경반층이 있어 뿌리 발육이 어려운 토양
암반	암반이 50cm 이내에 존재하여 유효토심이 얇은 토양
침식	매우 심한 침식을 받는 토양으로 산지사방이 필요한 토양
회산화	인산흡수계수가 높아 자연비옥도가 낮은 토양
분석	분석(자갈)이 표토 및 심토에 많이 산재하여 작물의 재배 관리에 제한을 주는 토양

자료: http://asis.rda.go.kr/info/ASIS_Korea/AK3_1.htm



<그림 4-3> 경기도 임지토양 적성등급별 면적



<그림 4-4> 경기도 논토양 적성등급별 면적

마. 소결

이상에서 살펴 본 각 변수별 국내통계 구축현황을 종합해 보면, 모델추정에 필요한 기초 자료가 예상한 것보다는 상당히 많은 부분 축적되어 있는 것으로 판단된다. 따라서 추정결과의 통계적 유의성을 논외로 한다면 3장 2절에서 소개된 토지이용모델 추정에는 별 무리가 없을 것으로 생각된다. 그러나 이와 같은 결론이 현재의 통계 구축정도가 자료의 가공 없이 바로 모델에 투입 될 수 있을 만큼의 완전성을 갖고 있다는 의미는 아니며 또한 각 데이터가 갖는 고유의 문제점이 있을 수도 있다.

예를 들면 토지용도별 면적자료의 경우 법적 지목에 의한 자료와 지리정보 시스템에 의한 자료가 모두 이용 가능하나 각각 그 장단점이 있다. 지적별 면적자료는 연도별 시계열 자료와 기초자치단체 수준까지의 횡단면 자료를 확보하고 있는 장점이 있으나, 법적 지적에 의한 자료로써 실제 토지이용 현황과는 차이가 있을 수 있다. 반면에 지리정보 시스템에 의한 자료는 실제 토지이용 현황을 반영하고 있다고 볼 수 있으나 연도별 시계열 자료의 구축이 어렵다는 단점이 있다.

결국 문제는 가용자료를 기본으로 데이터를 모델추정에 가장 적합한 형태로 가공하는 것이라 볼 수 있는 데, 토지이용모델 추정의 경우에는 통상적으로 패널데이터(panel data)가 사용되어 왔다. 패널데이터는 시계열자료(time-series data)와 횡단면자료(cross-sectional data)를 모두 포함함으로써 토지이용에 있어서 시간적, 공간적 변화를 모두 반영할 수 있는 장점이 있다.

패널데이터 구축은 이용가능한 데이터의 범위 안에서 시간적, 공간적인 기본단위의 설정이 선행되어야 한다. 먼저 본 연구에서 검토한 자료들을 중심으로 시간적 측면에서 살펴보면, 대부분의 관련 자료들이 연도별로 통계가 구축되어 있어 모델추정에 필요한 변수들을 연도별로 정리하는 데는 큰 어려움이 없을 것으로 보인다. 반면에 지역적 측면에서는 대부분의 자료가 광역자치단체(1특별시, 6광역시, 9도) 수준까지는 구축되어 있는 것으로 확인 되었으나 기초자치단체(77시, 88군, 69자치구) 별로는 통계수집에 한계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구는 정부공식통계만을 대상으로 가용통계 현황을 검토하였다는 점을 감안할 때, 정부 관련기관과의 협조체계

가 구축된다면 횡단면 자료의 기본단위가 기초자치단체 수준으로 확대될 가능성이 있다 하겠다.

3. 탄소고정 비용추정 결과의 정책적 활용방안

본 연구는 서론에서 밝혔듯이 탄소고정을 위한 계량경제학적 토지이용모델의 국내 적용 타당성 검토에 연구의 범위가 한정된다. 따라서 실증분석과 탄소고정 비용추정 시뮬레이션 결과 없이 구체적인 정책적 활용방안을 제시하는 데 한계가 있으나, 본 연구를 통해 예상해 볼 수 있는 정책적 활용방안을 생각해 보면 다음과 같다.

첫째, 온실가스 저감대책에 관한 연구의 영역확대를 통한 기후변화 협상의 기초자료 제공을 들 수 있다. 우리나라에서 기후변화 관련연구는 온실가스 저감방안 연구에 치우쳐 온 경향이 있으며, 특히 그 중에서도 산업부문과 에너지 부문에 집중, 진행되어 왔다. 물론 에너지부문이 기후변화 협상에서 높은 비중을 차지하고 있는 것이 사실이지만, 본 연구를 통해 최근 국제적으로 이슈화되고 있는 탄소흡수원을 이용한 온실가스 저감대책에 대한 관심과 관련연구의 국내 활성화를 기대해 볼 수 있다.

둘째, 탄소고정 프로그램을 통한 산림증가는 탄소고정의 효과뿐만 아니라 부수적으로 산림의 공익적 기능증대를 가져올 수 있다. 탄소고정 프로그램의 주목적은 산림면적의 증가를 통해 대기 중의 탄소를 산림에 저장함으로써 온실가스 저감에 기여한다는 것인데, 동시에 산림의 공익적 기능증대라는 부차적인 이익을 가져온다. 이러한 점에서 탄소고정 프로그램은 추가적인 정책 활용도가 크다 할 수 있다.

셋째, 탄소고정 프로그램의 또 다른 부수적인 효과로서 최근 증가추세에 있는 한계농지에 대한 시기적절한 대응방안을 들 수 있다. 우리나라에서는 지속적인 농업생산성의 증가로 인한 쌀 재배면적의 감소와 농산물 무역자유화에 대한 압력으로 인해 농지이용형태의 변화가 예상되고 있는 상황이어서 적절한 대책 마련이 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 효율적인 한계농지/휴폐경지 대응방안으로서의 효과도 기대할 수 있다.

제5장 요약 및 결론

본 장에서는 연구의 결과를 부분별로 요약하고 연구수행 중 도출된 이슈들에 대한 논의와 향후 연구계획 등을 정리한다.

산림부문 온실가스 흡수/배출량 통계산출

산림부문의 온실가스 흡수/배출량 산정방식은 단위산림면적당 탄소고정량의 산출에 직접적인 영향을 미치고, 따라서 탄소고정 프로그램 시나리오 작성에 매우 중요하다. 현재 기후변화협약 당사국은 1996 IPCC 지침서(수정판)에 의거하여 온실가스 흡수/배출량 통계를 작성하도록 되어 있는 데, 각국의 통계구축 정도에 따라 통계산정에 유연성을 부여하고 있다. 예를 들면 1996 IPCC 지침서는 목질의 바이오매스 탄소 저장량 산정 시 필요한 탄소전환인자의 기본값으로 0.5를 권고하고 있는 데, 자국의 산림에 적용할 수 있는 고유값이 존재할 경우에는 국가별 고유값을 사용할 것을 권장하고 있다. 2003년에 발간된 LULUCF 우수실행 지침서는 각국의 통계구축 정도에 따른 온실가스 흡수/배출량 산정방법에 대해 상세히 다루고 있다.

이와 같은 통계산정에 있어서의 유연성 부과는 LULUCF 부문의 온실가스 흡수/배출량 측정 시 어떠한 기본가정들이 사용되는지 면밀히 살펴볼 필요성을 부각시킨다. 즉, 우리나라와 같이 산림부문의 기본통계가 비교적 잘 구축되어 있고 바이오매스 관련연구가 오랜 기간동안 축적되어 있는 국가에서는 국가별 고유값 산출이 가능한 경우가 많고 따라서, 고유값 산출의 기본가정 예를 들면 산림경영목적, 경영형태, 수종에 따라 탄소고정량에 많은 차이를 가져올 수 있기 때문이다. 따라서 산림부문의 온실가스 흡수/배출량 국가보고서 작성을 수행하고 있는 국립산림과학원과의 유기적인 협조를 통해 우리나라 산림의 특수성을 반영한 고유값 산출에 대한 이해가 중요하다고 할 수 있다.

토지이용모델 추정을 위한 국내가용 통계현황

토지이용모델 추정에 필요한 각 변수별 국내통계 구축현황 검토결과를 종합하면, 일단 예상했던 것보다는 기초자료가 상당부분 축적되어 있는 것으로 판단된다. 따라서 추정결과와 통계적 유의성을 논외로 한다면, 본 연구에서 소개된 토지이용모델의 국내적용에는 큰 무리가 없을 것으로 생각된다. 그러나 이와 같은 결론이 현재의 통계 구축정도가 자료의 가공 없이 바로 모델에 투입 될 수 있을 만큼의 완전성을 갖추고 있다는 의미는 아니며 또한 각 데이터가 갖는 고유의 문제점이 있을 수도 있다.

예를 들면 토지용도별 면적자료의 경우 법적 지목에 의한 자료와 지리정보시스템에 의한 자료가 모두 이용 가능하나 각각 그 장단점이 있다. 지적별 면적자료는 연도별, 시계열 자료와 기초자치단체 수준까지의 횡단면 자료를 확보하고 있는 장점이 있으나, 법적 지적에 의한 자료로써 실제 토지이용 현황과는 차이가 있을 수 있다. 반면에 지리정보시스템에 의한 자료는 실제 토지이용 현황을 반영하고 있다고 볼 수 있으나 연도별 시계열 자료의 구축이 어렵다는 단점이 있다.

결국 문제는 가용데이터를 모델추정에 가장 적합한 형태로 가공하는 것이라 볼 수 있는데, 토지이용모델 추정의 경우에는 통상적으로 패널데이터가 사용되어 왔다. 패널데이터는 시계열자료와 횡단면자료를 포함함으로써 토지이용에 있어서 시간적, 공간적 변화를 모두 반영할 수 있는 장점이 있다.

패널데이터 구축은 이용가능한 데이터의 범위 안에서 시간적, 공간적인 기본단위의 설정이 선행되어야 한다. 먼저 본 연구에서 검토한 자료들을 중심으로 시간적 측면에서 살펴보면, 대부분의 관련 자료들이 연도별로 통계가 구축되어 있어 모델추정에 필요한 변수들을 연도별로 정리하는 데는 큰 어려움이 없을 것으로 보인다. 반면에 지역적 측면에서는 대부분의 자료가 광역자치단체(1특별시, 6광역시, 9도) 수준까지는 구축되어 있는 것으로 확인 되었으나 기초자치단체(77시, 88군, 69자치구) 별로는 통계수집에 한계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구는 정부공식통계만을 대상으로 가용통계 현황을 검토하였다라는 점을 감안할 때, 정부 관련기관과의 협조체계가 구축된다면 횡단면 자료의 기본단위가 기초자치단체 수준으로 확대될 가능성도

있다 하겠다.

다시 한번 강조하지만 토지이용모델 추정에 사용될 데이터 구축 시 가장 중점을 두어야 할 부분은 데이터의 일관성 유지 문제이다. 각 변수마다 시간적, 공간적 기본 단위를 유지해야 하는 데 현실적으로 모든 자료가 연구자가 원하는 기본단위별로 존재하기란 어렵기 때문이다. 따라서 이용 가능한 통계를 충분히 활용하는 한편, 원하는 변수에 대한 통계가 미비할 경우 그 변수를 잘 반영할 수 있는 대체변수의 활용도 중요하다 할 수 있다.

연구의 정책적 활용방안과 기대효과

본 연구는 서론에서 밝혔듯이 탄소고정을 위한 계량경제학적 토지이용모델의 국내 적용 타당성 검토에 연구의 범위가 한정된다. 따라서 실증분석과 탄소고정 비용추정 시뮬레이션 결과 없이 구체적인 정책적 활용방안을 제시하는 데 한계가 있으나, 본 연구를 통해 예상해 볼 수 있는 정책적 활용방안을 생각해 보면 다음과 같다.

첫째, 온실가스 저감대책에 관한 연구의 영역확대를 통한 기후변화 협상의 기초자료 제공을 들 수 있다. 우리나라에서 기후변화 관련연구는 온실가스 저감방안 연구에 치우쳐 온 경향이 있으며, 특히 그 중에서도 산업부문과 에너지 부문에 집중, 진행되어 왔다. 물론 에너지부문이 기후변화 협상에서 높은 비중을 차지하고 있는 것이 사실이지만, 본 연구를 통해 최근 국제적으로 이슈화되고 있는 산림흡수원을 이용한 온실가스 저감대책에 대한 관심과 관련연구의 국내 활성화를 기대해 볼 수 있다.

둘째, 탄소고정 프로그램을 통한 산림증가는 탄소고정의 효과뿐만 아니라 부수적으로 산림의 공익적 기능증대를 가져올 수 있다. 탄소고정 프로그램의 주목적은 산림면적의 증가를 통해 대기 중의 탄소를 산림에 저장함으로써 온실가스 저감에 기여한다는 것인데, 동시에 산림의 공익적 기능증대라는 부차적인 이익을 가져온다. 이러한 점에서 탄소고정 프로그램은 추가적인 정책 활용도가 크다 할 수 있다.

셋째, 탄소고정 프로그램의 또 다른 부수적인 효과로서 최근 증가추세에 있는 한계농지에 대한 시기적절한 대응방안을 들 수 있다. 우리나라에서는 지속적인 농업생산

성의 증가로 인한 쌀 재배면적의 감소와 농산물 무역자유화에 대한 압력으로 인해 농지이용형태의 변화가 예상되고 있는 상황이어서 적절한 대책 마련이 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 효율적인 한계농지/휴폐경지 대응방안으로서의 효과도 기대할 수 있다.

향후 연구계획

향후 연구는 본 연구의 타당성 검토결과를 기본으로 모델추정을 포함한 실증분석과 탄소고정 프로그램의 비용추정 시뮬레이션을 중심으로 이루어질 것이며 주요 연구내용은 다음과 같다.

먼저 토지이용모델 추정에 이용될 일관성 있는 패널데이터를 구축하고 pilot 모델 추정을 통해 모델과 데이터를 보완한다. 특히 토지이용모델은 지금까지 우리나라의 토지이용이 시장원리보다는 법적, 제도적 계획에 의존해 왔던 사실을 감안할 때, 토지이용 정책변화나 제도의 변화를 모델에 반영할 수 있도록 수정되어야 할 것으로 예상된다.

일단 모델추정이 완료되면, 모델 추정치를 이용한 탄소고정 비용추정 시뮬레이션을 진행하게 된다. 시뮬레이션에 앞서 탄소고정 프로그램의 목표를 설정하고 프로그램의 이행 시 전제되는 조건들을 체계화하여 2-3개의 시나리오로 작성하는 일이 선행되어야 한다. 이때 현실을 잘 반영할 수 있도록 여러 가지 측면에서의 고려가 필요하다. 다음은 작성된 각 시나리오에 기반을 둔 탄소고정 프로그램을 디자인하고 모델추정치를 이용하여 프로그램 이행 시 수반되는 비용을 산출한다. 끝으로 시나리오별로 비용추정결과를 비교분석하고 각 프로그램이 갖는 정책적 시사점을 제시한다.

참 고 문 헌

국내문헌

- 고려대학교. 자원환경보전연구소. 2003. 「산주를 위한 임업교육 교재」. 고려대학교. 자원환경보전연구소.
- 김갑덕, 김철민. 1988. “국내 산림 Biomass의 생산에 관한 연구와 동향.” 「임산에너지」 8(2):94-107.
- 농림부. 2003. 「2003 농림통계연보」. 농림부.
- 농림부. 국립농산물품질관리원. 2003. 「2003년 경지면적 통계」. 농림부.
- 동북아산림포럼. 2000. 「한국의 산림과 임업」. 동북아산림포럼.
- 산림청. 2001. 「간추린 임업통계」. 산림청.
- 산림청. 2004. 「2004 임업통계연보」. 산림청.
- 유연철. 2004. 10. 28. “기후변화 관련 국제동향 및 우리의 대응.” 「기후변화 국제 세미나 및 민관포럼」 발표자료.
- 윤정호. 2003. 「Characteristics and Change Prediction of Spatial Distribution of *pinus densiflora* Stands in Korea」. 49p. 고려대학교. 박사학위 논문.
- 이경학. 2004. “국내외 산림부문에서의 탄소배출권.” 한국 임학회 하계학술대회 발표자료
- 임업연구원. 1994. 「우리나라산 주요 목재의 성질과 용도」. 임업연구원 연구자료 95호. 임업연구원.
- 임업연구원. 1998. 「산림의 온실가스 저감방안」. 임업연구원 연구자료 143호. 임업연구원.
- 임업연구원. 2002. 「임업경제동향 2002/봄」. 임업연구원.

- 임업연구원. 2003. 「임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성」. 임업연구원 연
구자료 211호. 임업연구원.
- 행정자치부. 2004. 「2004년 지방자치단체의 행정구역 및 인구현황」. 행정자치부.
- 환경부. 2002. 「기후변화협약대응 제2차 종합대책」. 환경부.
- 환경부. 2004. 「환경백서」. 환경부.

외국문헌

- Adams, R.M., D.M. Adams, J.M. Callaway, C.C. Chang, and B.A. McCarl. 1993.
"Sequestering Carbon on Agricultural Land: Social Cost and Impacts on
Timber Markets." *Contemporary Policy Issues* 11(1):76-87.
- Ahn, S., A.J. Plantinga, and R.J. Alig. 2000. "Predicting Future Forest Land Area:
A Comparison of Econometric Approaches" *Forest Science* 46(3):363-376.
- Barlowe, R. 1958. *Land Resource Economics*. Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall.
- Hardie, I.W., and P.J. Parks. 1997. "Land Use with Heterogeneous Land Quality:
An Application of an Area Base Model." *American Journal of Agricultural
Economics* 79(May):299-310.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996. *Revised IPCC Guidelines for
National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC/IGES.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. *Good Practice Guidance and
Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.
IPCC/OECD/IEA/IGES.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. *Land Use, Land-Use Change,
and Forestry*. SR-LULUCF Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis
Report*. IPCC.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. IPCC/IGES.
- Judge, G.G., R.C. Hill, W.E. Griffiths, H. Lutkepohl, and T.C. Lee. 1988. *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*. Wiley, New York.
- Lichtenberg, E. 1989. "Land Quality, Irrigation Development, and Cropping Patterns in the Northern High Plains." *American Journal of Agricultural Economics* 71(February):187-194.
- Miller, D.J. and A.J. Plantinga. 1999. "Modeling Land Use Decisions with Aggregate Data." *American Journal of Agricultural Economics* 81(February):180-194.
- Moulton, R.J. and K.R. Richards. 1990. *Costs of Sequestering Carbon Through Tree Planting and Forest Management in the United States*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service General Technical Report WO-58. Washington D.C.
- Parks, P.J. and I.W. Hardie. 1995. "Least-cost Forest Carbon Reserves: Cost-Effective Subsidies to Convert Marginal Agricultural Land to Forests." *Land Economics* 71(1):122-136.
- Plantinga, A.J. 1996. "The Effect of Agricultural Policies on Land Use and Environmental Quality." *American Journal of Agricultural Economics* 78(November):1082-1091.
- Plantinga, A.J., T. Mauldin, and D.J. Miller. 1999. "An Econometric Analysis of the Costs of Sequestering Carbon in Forests." *American Journal of Agricultural Economics* 81(November):812-824.
- Stavins, R. 1999. "The Cost of Carbon Sequestration: A Revealed Preference Approach." *American Journal of Agricultural Economics* 89(September):994-1009.
- Stavins, R.N., and A. Jaffe. 1990. "Unintended Impacts of Public Investment on Private Decisions: The Depletion of Forest Wetlands." *American Economic Review* 80(June):337-352.

- The Government of the Republic of Korea. 2003. *Second National Communication of the Republic of Korea Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. The Government of the Republic of Korea.
- United Nations Environment Program and United Nations Framework Convention on Climate Change. 2002. *Climate Change Information Kit*. updated in July 2002. UNEP and UNFCCC.
- van Kooten, C.C. 1993. *Land Resource Economics and Sustainable Development: Economic Policies and the Common Good*. University of British Columbia Press.
- Wu, J., and K. Segerson. 1995. "The Impact of Policies and Land Characteristics on Potential Groundwater Pollution in Wisconsin." *American Journal of Agricultural Economics* 77(November):1033-1047.

인터넷자료 및 기타

- 농업토양정보시스템(ASIS). <http://asis.rda.go.kr/>
- 유엔기후변화협약. 교토의정서 비준자료. <http://unfccc.int/resource/convkp.html>
- 유엔기후변화협약. 러시아 비준 관련 자료.
http://unfccc.int/press/interviews_and_statements/items/3290.php
- 유엔기후변화협약. <http://unfccc.int/>
- 통계청 농림업 통계. <http://kosis.nso.go.kr/>
- 행정자치부 지적담당관실. <http://www.lic.mogaha.go.kr>
- UNFCCC. Decision 11/CP.7. <http://www.unfccc.int/>

Abstract

Feasibility Study for Estimating the Cost of Carbon Sink in Korea

The Kyoto Protocol and the Marrakesh Accords to the Framework Convention on Climate Change recognize Land Use, Land-Use Change, and Forest (LULUCF) activities - mainly afforestation and reforestation - as a potential means to reduce greenhouse gases in atmosphere, and, thus, to meet the emission reduction targets allocated to the developed countries. In recent years, LULUCF activity, commonly referred to as carbon sink management, has received a great deal of attention internationally, and many researches have been conducted in this area.

Despite the increasing attention to carbon-sink management under climate change negotiation process and research arena, not much consideration is given to carbon-sink management in Korea except for the construction of necessary statistics on the greenhouse gas emissions and removals by LULUCF in National Communication under the Convention.

The purpose of this study is to evaluate the feasibility of utilizing an econometric land use model to estimate the costs of carbon-sink programs in Korea. In literature, most of the economic studies of carbon-sink management evaluates the government policy which is designed to encourage the conversion of agricultural and/or marginal land to forest. A similar approach will be employed in this study.

Note that, however, this study aims to investigate the potential use of empirical land use model to assess the carbon-sink program, and, therefore, the scope of the

study is limited to literature review on subjects and to examination of the data availability to estimate the model. Actual model estimation and simulation on calculating the costs of carbon-sink programs are planned to be proceeded in the subsequent study in next year.

The literature review in this study is divided into two parts. The one is the literature survey on the researches that connect land use changes with carbon fixation capabilities, and the other part is on the economic studies which link the econometric land use model to carbon fixation and to policy assessment. The inspection on the data availability is carried out in two steps, too. We, first, identify the variables required for the estimation of model based on the literature review on the economic studies. Once the variables are identified, the next step is to check if the data are available to construct each variable. We concentrate on the databases published by the various government sectors.

The results of this study are summarized as follows. We find out that, in Korea, the researches on land use change and carbon-fixation capability are relatively well documented and the related data are well accumulated. The main source of information for this part is Korea Forest Research Institute (KFRI). KFRI prepares LULUCF section of National Communication and provides the statistics on greenhouse gas emissions and removals associated with LULUCF activities according to Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The information on this part is important because it determines the quantity of carbon stored in unit area which will be, in turn, put into the simulation to compute the cost of carbon sink program. Therefore, a special care should be given to the assumptions made in computing the statistics on greenhouse gas emissions and removals associated with LULUCF activities.

An econometric land use model, typically, employs the panel data to reflect the temporal and spatial changes in land use patterns and recognizes relative rents

among competing uses, land quality, population, distance to the city as the key factors that affect land use change. Constructing the key variables mentioned above in panel data format requires pre-determination on the units of time-series and cross-sectional data series. Based on the results of data review, we find that most data are collected in yearly basis, thus, it is reasonable to arrange the time-series observations annually. For the spatial unit, however, we realize that the coverages of available data vary. For instance, some data scale down only to broad administrative regions, and some data scale down further in detail. Important task in assembling panel data is maintaining the consistency of time-series and cross-sectional observation unit, and determining the appropriate cross-sectional unit needs a further consideration.

In conclusion, if we put aside the statistical significance of the model estimates, application of an econometric land use model to estimate the cost of carbon-sink program is feasible in Korea. The success of the subsequent study will depend on the quality of data and the flexibility and robustness of the model.