임산에너지 20(1) : 53-61. 2001
J. Kor. For. En. 20(1) : 53-61. 2001

임업 및 토지이용부문의 온실가스 흡수 및 배출 현황[1]

이경학[2] · 손영모[2] · 김영수[3]

Greenhouse Gas Inventory in Land-Use Change and Forestry in Korea[1]

Kyeong Hak Lee[2] · Yeong Mo Son[2] · Young Soo Kim[3]

요 약

본 논문에서는 토지이용 및 임업부문에서의 온실가스 배출통계에 있어 국제기준이 되는 수정된 IPCC 가이드라인을 토대로 우리에게 적합한 산출방법을 개발하고, 이에 의해 1998년도 기준 온실가스 흡수/배출 현황을 제시하였다. 먼저 산림 및 목질계 바이오매스 변화 범주에 있어 생장에 의한 이산화탄소 흡수량은 11,911x10^3탄소톤이고 벌채에 의한 배출량은 824x10^3탄소톤으로서 순흡수량은 11,087x10^3탄소톤었다. 두 번째로 산림의 타용도 전용시 목재를 반출하고 현지에 남아 썩게되는 바이오매스에 의한 온실가스 순배출은 82x10^3탄소톤으로 미미한 수준이다. 마지막으로 토지이용변화 및 토지관리에 따른 토양에서의 총 순배출량은 1,057x10^3탄소톤이며, 그 중 토지이용체계변화에 따른 무기토양의 순탄소량 변화가 1,025x10^3탄소톤으로 대부분을 차지하고, 나머지 32x10^3탄소톤만이 농경지에서의 석회시용에 따른 배출이었다. 결과적으로 1998년도 토지이용변화 및 임업부문의 온실가스 수지는 흡수 11,911x10^3탄소톤, 배출 1,963x10^3탄소톤로서 순흡수 9,948x10^3탄소톤이었으며, 이는 같은 해 우리나라의 에너지 연소에 따른 배출량 103,601x10^3탄소톤의 9.6%에 해당한다.

ABSTRACTS

An approach method for the greenhouse gas inventory in land-use change and forestry in Korea based on the 1996 revised IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) guideline was developed and carbon budget of the year 1998 in this sector was estimated using the developed method as follows. For the category of changes in forests and other woody

1. 접수 2001년 6월 20일 Received June 20, 2001
2. 임업연구원 Forest Research Institute, Seoul 130-017, Korea
3. 서울대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Seoul Nat'l. Univ., Suwon 440-744, Korea

biomass stocks, carbon removal from the atmosphere by growth was 11,911 thousands TC (tons of carbon), carbon emissions to the atmosphere by harvests was 824 thousands TC, and net carbon removals was, therefore, 11,087 thousands TC. Emissions from decay of biomass remained after conversion of forest land to other land uses was estimated to 82 thousands TC. For the category of land-use change and management, carbon emissions in mineral soils from land-use change was 1,025 thousands TC, that from liming of agricultural soils was 32 thousands TC, and total emissions was, therefore, 1,057 thousands TC. In summary, the carbon budget of land-use change and forestry of the year 1988 was as follows; the removal of 11,911 thousands TC, the emissions of 1,963 thousands TC, and the net removal of 9,948 thousands TC which was 9.6% of the emissions of 103,601 thousands TC from energy sector of the same year.

Key words : greenhouse gas, inventory, forestry, carbon emissions, carbon removals

서 론

이산화탄소 등 주요 온실가스의 대기중 농도 증가로 인한 지구 기후변화를 인류생존에 위협을 줄 수도 있다는 공통된 인식아래 1994년에 유엔기후변화협약(United Nations Frame work Convention on Climate Change, UNFCCC)이 발효되면서, 산림의 탄소흡수 및 저장 능력에 대한 연구도 전세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 이 협약의 당사국인 우리나라는 국가 온실가스조사통계를 포함한 국가보고서 제출의무을 지고 있으며, 온실가스 흡수 및 배출에 관한 조사 및 보고는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 마련한 가이드라인(IPCC, 1995)과 일관성이 있도록 이루어져야 한다. 현재 개도국으로 분류되어 있는 우리나라는 이에 따라 1차 국가보고서를 제출한 바 있다(대한민국정부, 1998). 이 IPCC 가이드라인은 배출 감축 의무를 지고있는 선진국의 보다 구체화된 조사통계를 위해 1996년도에 개정되었다(IPCC, 1996). 우리나라는 현재 OECD국가로서 배출감축 의무부담 압력을 받고 있으며, 이에 대비하기 위해 온실가스 조사 통계도 수정된 1996년도 가이드라인과 일관성을 유지해야 할 필요성이 있다.

수정된 IPCC 가이드라인에서 임업부문은 토지이용변화 및 임업 (LUCF, Land Use Change and Forestry)에서 다루어지고 있다. 이 부문에서의 온실가스 통계 산출과 연관하여 알아두어야 할 것은 자연환경이 지역마다 다르며, 대상이 살아있는 생물체와 직접적인 관련이 있고, 또한 장기간에 걸쳐 반응하며, 인위적인 원인과 자연적인 원인이 복합되는 경우가 종종 있어 본질적으로 커다란 불확실성과 오차가 있다는 점이다. 이러한 상황에서 각국이 온실가스 통계조사를 위해 전혀 새로운 체계를 갖추는 것은 현실적으로 불가능하거나 극히 어려운 일이다. 현실적인 대안으로서 각국이 정책적 경제적 필요성에 따라 갖추어 놓은 기존의 산림과 토지이용분야 통계조사체계와 이로부터 얻어진 자료를 이용하면서 부족한 것은 보완하는 방법이 있을 수가 있다. 이에 본 논문에서는 토지이용 및 임업부문에서의 수정된 IPCC 가이드라인과 우리나라의 자료현황을 검토하여 우리에게 적합한 산출방법을 개발하고, 이를 토대로 이 부문에서의 온실가스 흡수/배출 현황을 제시하고자 한다.

자료 및 방법

수정된 IPCC 가이드라인에서는 전지구적으로 볼 때 이산화탄소 배출과 흡수로 귀결되는 바이오매스 및 토양탄소의 변화를 가져오는 활동을 ① 산림 및 기타 목질계 바이오매스 저장량의 변화, ② 산림 및 초지의 타용도 전환에 따른 CO_2 배출, ③ 산림의 현지내 연소에 따른 Non-CO_2 온실가스의 배출, ④ 경작지의 폐경 방치(폐경지), ⑤ 토지이용변화 및 토지이용 관리에 의한 토양의 CO_2 배출/흡수 등 다섯 가지에 초점을 두고 있다. 우리나라에서는 산림내 연소가 법적으로 금지되어 있어 ③의 경우는 드물고, 가용토지에 비해 토지이용 수요가 월등히 높아 토지이용경합이 심한 상태이기 때문에 ④의 경우도 거의 일어나지 않으며, 따라서 ①, ②, ⑤의 범주 활동이 주된 통계조사의 대상이 된다. 이에 따라 본 논문도 이 세 가지 범주의 활동을 대상 범주로 한다.

수정된 IPCC가이드라인에 따른 통계량 산출을 위한 기초통계자료로는 임업통계연보상의 임목축적통계, 벌채량 통계, 산림전용통계, 국토이용현황통계 등 각종 관련 통계를 사용하였다. 그리고 이러한 통계를 온실가스와 관련있는 탄소량으로 전환하기 위한 각종 전환인자는 바이오매스 및 토양탄소 등과 관련된 기존의 연구결과들을 활용하였다. 현 단계에서 가용할 수 있는 이러한 통계자료와 연구 결과를 토대로 수정된 IPCC가이드라인과 일관성있는 산출방법을 도출하였으며, 자세한 산출방법과 사용된 자료는 결과 및 고찰에서 자세히 다루었다.

결과 및 고찰

3.1 산림 및 기타 목질계 바이오매스 저장량의 변화

3.1.1 온실가스 통계 산출 접근 방법

IPCC가이드라인에서는 인간활동에 영향 받아 일어나는 산림과 기타 바이오매스의 저장량 변화에 따른 탄소의 배출과 흡수에 대해 다루며, 대상산림 선정시 현존하는 모든 산림은 다음의 세 가지 범주에 포함된다는 것을 기본적인 개념으로 삼고 있다. 첫째는 교란되지 않은 천연림으로서, 이 산림은 평형상태에 도달해 있으며 인위적인 온실가스 흡수나 배출원이 아니므로 통계 산출시 제외된다. 둘째는 폐경지에서 자연적으로 재생장하는 산림으로서, 이 산림은 토지이용변화를 수반하므로 '토지이용변화 및 토지이용 관리에 의한 토양의 CO_2 배출/흡수' 부분에서 다룬다. 셋째는 상기 두 범주를 제외한 모든 산림으로 여기에 속하는 산림이 '산림과 기타목질계 바이오매스의 변화' 범주에 포함되며, 인위적 간섭을 받았거나 받고 있는 산림, 도시림, 마을림, 가로수 등이 이에 해당된다(IPCC, 1996).

우리나라의 경우 조선시대 말부터 시작된 산림의 황폐는 일제시대를 거치면서 가속화되어 1945년 광복당시의 ha당 평균 축적이 약 9.0㎥에 불과하였다. 더욱이 광복 후 한국전쟁과 그 이후 사회혼란기의 도남벌 등에 의해 황폐정도는 극도로 심화되었다. 따라서 현실적으로 우리나라에서 역사적으로 교란되지 않은 천연림은 거의 없다고 볼 수 있으며, 이에 본 연구에서는 전체산림을 대상지로 하였다. 그리고 마을림이나 도시림의 경우 대부분 성숙시 임목밀도 30%이상으로 정의되는 산림에 포함되어 있다. 한편 가로수 등 산재된 수목에 의한 흡수/배출에 대해서는 전국적인 통계가 미비되어 있어 여기서는 추정하지 못하였으나 서울시의 가로수 현황을 보았을 때 그 양이 전체적으로 큰 변화가 없어 여기서의 바이오매스 변화량은 미미할 것으로 판단된다.

수정된 IPCC가이드라인에서는 각 지역별 산림유형별 생장량 등 통계 산출에 필요한 많은 자료에 대한 기본값을 제시하고는 있지만, 각 국가가 그 국가의 바이오매스를 추정할 수 있는 산림자원 조사체제를 가지고 있다면 이를

적극 활용할 것을 권장하고 있다(IPCC, 1996). 우리나라는 잘 갖추어진 산림자원조사 및 임업활동조사 체계를 갖추고 있으며, 여기서 얻어진 결과를 토대로 임업통계를 작성하고 있다. 우리나라는 산림기본계획구가 8개 있고 각 계획구를 10년마다 한번씩 조사하여 임상별, 영급별 임목축적과 생장률을 얻는다. 이를 토대로 다음 조사시점까지의 임목축적에 관한 통계치를 매년 갱신하게 되며, 이 과정에서 임업기본통계조사에서 얻어진 연간 벌채 및 조림, 그리고 타용도 전용 및 산림편입에 따른 축적변화량도 반영된다.

따라서 임업통계연보상에 나타나 있는 특정 연도와 그 전년도의 임목축적 차이는 임목의 순생장량을 나타내며, 이는 탄소저장 순변화량을 산출하는 데 직접적으로 이용할 수 있다. 상업적 벌채량 또한 매년 조사되어 임업통계연보에 나타나 있으며, 탄소배출량을 추정하는 데 이용한다. 그리고 총탄소흡수량은 이 탄소배출량에 앞서 구한 탄소순흡수량을 더하여 얻게된다.

3.1.2 온실가스 흡수/배출 현황

3.1.2.1 이산화탄소 순흡수량

이산화탄소 흡수량을 평가하기 위한 산림의 바이오매스 (forest biomass) 연간 순증가량은 임업통계연보의 임목축적 통계치와 우리나라의 산림바이오매스에 관한 몇몇 연구 결과를 기초로 산출하였다. 임목축적은 IPCC가이드라인에서 추천한대로 3년 이동평균(three-year average)을 이용하였다. 그 결과 1998년 우리나라 전체 산림의 이산화탄소 순흡수량(carbon dioxide removals)은 11,087x10^{3}탄소톤이었다 (Table 1). 이것은 지하부(뿌리)를 포함한 나무 전체의 바이오매스를 대상으로 한 것이다.

3.1.2.2 이산화탄소 총배출량

상업적 벌채 및 연료용 벌채로 인한 이산화탄소의 배출량은 임업통계연보상의 용재생산량 및 임산연료 생산량을 기초로 산출하며 1998년 배출량은 824x10^{3}탄소톤이었다(Table 2).

3.1.2.3 이산화탄소 수지

산림 및 목질계 바이오매스 변화에 따른 이산화탄소 총흡수량은 순흡수량(11,087x10^{3}탄소톤)과 총배출량(824x10^{3}탄소톤)을 더하여 산출한 11,911x10^{3}탄소톤이며, 이에 따라 작성된 우리나라의 산림 및 기타 목질계 바이오매스 변화에 따른 이산화탄소 수지는 Table 3과 같다.

3.2 산림 및 초지의 타용도 전용에 의한 CO_2 배출

3.2.1 온실가스 통계 산출 접근 방법

개도국의 경우의 전용과정에서 벌채되는 산림 바이오매스의 일부는 현지 연소되고 나머지는 천천히 썩게 되는 경우가 대부분이지만, 우리나라의 경우는 목재로서의 가치가 있는 것은 반출되고, 그렇지 못한 것은 대부분 현지나 인근에 방치되어 서서히 썩게 된다. 여기에서 목재로서 반출되는 바이오매스의 양은 앞의 '산림 및 기타 목질계 바이오매스의 전환'에서 배출량 계산시 상업적 벌채량에 반영된다. 그리고 우리나라의 경우 엄격한 의미에서 야생초지는 일부 고산지대를 제외하고는 거의 찾기 어렵다. 따라서 이 범주의 경우 우리나라는 산림이 타용도로 전용될 때 방치되어 서서히 썩으면서 이산화탄소를 배출하게 되는 바이오매스에 대해서만 기술하게 된다. 한편 산림과 같이 유기물이 비교적 많은 토양이 타용도로 전환될 경우 토양 교란이 일어나 탄소손실이 일어나는데 이는 다음의 '토지이용변화 및 토지이용 관리에 의한 토양의 CO_2 배출/흡수' 범주에서 다룬다.

벌채 후 방치된 산림 바이오매스는 대부분의 경우 10년 정도의 기간에 걸쳐 거의 부후

Table 1. Net carbon removals in changes in forest and other woody biomass stocks

Forest Type	Net[1] increment of stem volume (,000m³)	Oven[2] dried specific gravity (tdm/m³)	Net increment of stem biomass (,000tdm)	Ratio[3] of above ground biomass to stem biomass	Ratio[3] of total biomass to above-ground biomass	Net increment of total biomass (,000tdm)	Carbon[4] conver-sion factor	Net carbon removal (,000TC)
	A	B	C=A×B	D	E	F=C×D×E	G	H=F×G
Coniferous	11,952	0.47	5,617	1.29	1.28	9,276	0.5	4,638
Braodleaf	9,373	0.80	7,499	1.22	1.41	12,899	0.5	6,450
Total	21,325		13,116			22,175		**11,087**

[1] Statistical Yearbook on Forestry, FA, 1997~1999
[2] Wood properties and uses of major tree species growing in Korea, Forestry Research Institute, 1994
[3] Analysis of studies on production of forest biomass in Korea, Journal of Korea Forestry Energy 8(2), 1988
[4] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, IPCC, 1996

Table 2. Carbon emission in changes in forest and other woody biomass stocks

Forest type	Com-[1] mercial harvest (km³)	Above-[2] ground biomass expansion factor (tdm/m³)	Above-ground biomass removed in commercial harvest (,000tdm)	Fuelwood[1] consumed (,000tdm)	Above-ground biomass consump-tion (,000tdm)	Ratio[3] of total biomass to above-ground biomass	Total biomass consump-tion (,000tdm)	Carbon[4] conver-sion factor	Total carbon emission (,000TC)
	A	B	C=A×B	D	E=C+D	F	G=E×F	H	I=G×H
Coniferous	1,110	0.71	788		788	1.28	1,009	0.5	504
Broadleaf	318	1.15	366	87	453	1.41	639	0.5	319
Total	1,428		1,154		1,241		1,648		824

[1] Statistical Yearbook on Forestry. FA, 1998
[2] B = Conversion factor of log to stem volume (1/0.85) x Oven dried specific gravity
x Ratio of aboveground biomass to stem biomass
[3] Analysis of studies on production of forest biomass in Korea, Journal of Korea Forestry Energy 8(2), 1988
[4] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, IPCC, 1996

Table 3. CO_2 budget in changes in forest and other woody biomass stocks

Source and Sink Categories	Emission/Uptake (,000TC)	Emission/Removals (,000TCO_2)
	A	B=A×44/12
Total annual increment	11,911	43,674
Total annual harvest	824	3,021
Net removal(-) or emission(+)	(-)11,087	(-)40,654

된다. 따라서 산림에서 논, 밭, 목초지 및 기타 도시적 용도 등 전용 유형에 따라 과거 10년간의 전용면적을 토대로 추정하게 된다. 여기서는 사용된 자료는 산림청 산림토목과에서 집계한 산림의 유형별 형질변경허가 실적을 이용하였다. 방법은 기본적으로 1996 수정된 IPCC가이드라인에 기초하였으며 전용전과 전용 후의 바이오매스량은 이제까지의 국내 연구결과를 근거로 분석하였다.

3.2.2 온실가스 흡수/배출 현황

우리나라의 경우 산림의 타용도 전용을 논, 밭, 목초지 및 기타 도시적 용도로 크게 구분하였으며, 전용시의 바이오매스 축적변화를 산출하기 위해 먼저 토지 이용유형별 단위면적당 바이오매스를 구하였다(Table 4).

전체적으로 산림의 타용도 전용시 목재를 반출하고 현지에 남아 썩게되는 바이오매스에 의한 1998년도 온실가스 순배출은 $82x10^3$탄소톤으로 기존 산림의 목질계 바이오매스 변화에 의한 순흡수량 ($11,087x10^3$탄소톤)의 약 1%에도 미치지 못한다 (Table 5). 식생형별로 보면 단위면적당 바이오매스 손실은 활엽수가 가장 많고 혼효림, 침엽수 순이었으며, 무립목지에서 농지/초지로 전환될 때 오히려 밀도가 증가하는 것으로 나타났다.

전체 배출량에 있어서는 전용면적이 월등히 많은 침엽수가 $29x10^3$탄소톤으로 가장 많고, 다음이 활엽수($24x10^3$탄소톤), 혼효림($20x10^3$탄소톤) 순이었으며, 무입목지 전용은 $2x10^3$탄소톤의 순증가를 나타냈다.

3.3 토지이용변화 및 토지이용 관리에 의한 토양의 CO_2 배출/흡수

3.3.1 온실가스 통계 산출 접근 방법

이 범주에서는 토지이용활동 변화에 따른 토양 내와 무기토양의 낙엽의 탄소 저장량 변화, 농지나 조림지로 바뀐 유기토양에서의 이산화탄소 배출, 경작지 토양에의 석회시비에 따른 이산화탄소 배출 등 세 가지 과정에서의 순 이산화탄소 배출 (흡수원과 발생원)을 추정한다.

토지이용체계변화에 따른 무기토양 흡수/배출 추정에 필요한 기초자료는 한 국가 내에서의 토양형과 토지이용활동의 분포 정보이다. 다양한 토지 이용활동이 토양탄소 저장량에 미치는 영향을 추정하기 위한 정보는 토양조사, 국가토지자원조사, 토지이용전략, 농업생산전략, 장기간 야외실험의 요약 등에서 얻어질 수 있다. 본 보고서에서는 임업통계연보의 연도별 국토이용 현황자료를 사용하였으며 토지유형을 크게 논, 밭, 산림 및 기타로 구분하였다(산림청, 각년판). 논, 밭, 산림의 토양 유형은 고활성토양으로 가정하였다.

무기토양에서의 이산화탄소 배출 계산의 근거는 토지이용전략과 농업경영활동의 변화를 함수로 한 토양내 (그리고 낙엽)의 탄소축적 변화의 파악이다. 탄소저장량의 변화를 산출하기 위하여 20년 단위의 축적조사 기간이 이용되었다. 이는 토양형에 따른 토지이용 체계분포의 추정에는 당년과 20년전의 자료가 필요함을 말한다. 토양탄소의 추정은 토양단면 상부 30cm만을 근거로 하고 있다. 심토층은 일반적으로 토지이용/경영의 변화에 따른 영향을 덜 받기 때문이다.

한편 농업용 석회 시용에서의 배출의 계산은 비료연감에 나타나 있는 석회공급량을 근거로 여기에 IPCC가이드라인에 나와있는 탄소 발생량 전환인자를 곱하여 산출하였다.

3.3.2 온실가스 흡수/배출 현황

3.3.2.1 토지이용/경영 체계 변화에 따른 무기토양에서의 흡수/배출

토지이용체계 변화에 따른 무기토양내 탄소변화에 의한 총 순탄소배출량은 1998년에 $1,025x10^3$탄소톤이었다 (Table 6). 최근 20년간 산업화, 도시화에 따른 토지의 도시적 용도 수

Table 4. Average biomass stocks by forest type and land use

Land use		Biomass(tdm/ha)	Sources
Forest[1]	Broadleaved	35	산림청 (각년판)
	Coniferous	69	
	Mixed	50	
	Un-stocked	3	임업연구원(1996)
Cropland[2]		15	안수용(1995)
Grassland[2]		10	축산시험장(1993)

[1] Average in 1989 to 1998 [2] Located in mountaineous area

Table 5. Emissions from conversion of forest land to other land uses

Forest type before conversion	Land use after conversion	Annual conversion area ('89-'98 average) (,000ha)	Biomass density before conversion ('89-'98 average) (tdm/ha)	Biomass density after conversion (tdm/ha)	Change in biomass density (tdm/ha)	Annual biomass loss (,000tdm)	Portion of biomass for decaying on site	Biomass decayed (,000tdm)	Carbon conversion factor	Total carbon emissions (,000TC)
Coniferous	Cropland	0.239	35	15	20	5	0.6	3	0.5	1
	Grassland	0.180	35	10	25	5	0.6	3	0.5	1
	Others	2.791	35	0	35	98	0.6	59	0.5	29
Broadleaved	Cropland	0.101	69	15	54	5	0.6	3	0.5	2
	Grassland	0.076	69	10	59	4	0.6	3	0.5	1
	Others	1.175	69	0	69	81	0.6	49	0.5	24
Mixed	Cropland	0.113	50	15	35	4	0.6	2	0.5	1
	Grassland	0.085	50	10	40	3	0.6	2	0.5	1
	Others	1.322	50	0	50	66	0.6	40	0.5	20
Un-stocked	Cropland	0.170	3	15	-12	-2	0.6	-1	0.5	-1
	Grassland	0.128	3	10	-7	-1	0.6	-1	0.5	0
	Others	1.983	3	0	3	6	0.6	4	0.5	2
Total		8.363				275		165		82

Table 6. Change in soil carbon for mineral soils

Land-use system	Soil type	Soil carbon (1998) (TC/ha)	Land area (M ha)		Soil carbon (M TC)		Net change for last 20 years (M TC)	Annual net emission (,000TC)
			1978	1998	1978	1998		
Paddy field	High activity soil	60.5	1.312	1.157	79.4	70.0	-9.4	469
Cropland	High activity soil	45.9	0.910	0.753	41.8	34.6	-7.2	360
Forest[1]	High activity soil	69.7	6.578	6.436	446.6	437.0	-9.6	482
Others[2]		11.5	1.096	1.594	12.6	18.3	5.7	-286
계			9.880	9.927	577.7	552.5	-25.1	1,025

[1] including organic carbon in litter

[2] mainly urban use like housing, roads, *etc.*

요가 급증하여 논, 밭, 산림 모두 면적이 감소하여 순 배출원으로 작용하였다. 토지유형별로 보면 산림면적 감소에 따른 배출이 $482x10^3$ 탄소톤으로 전체 배출량 $1,311x10^3$탄소톤의 37%를 차지하였으며, 논($469x10^3$탄소톤, 36%), 밭($360x10^3$탄소톤, 27%) 순이었다. 그리고 도시적 용도 면적의 증가로 인한 이 토지유형에서의 탄소증가량은 $282x10^3$탄소톤으로 나타났다.

3.3.2.2 농경지 토양 석회 시용에 의한 연간 배출량 산출

1998년 우리나라의 농용 석회(석회석)의 공급량은 26만톤이었으며 가이드라인에서 제시한 백운석은 시용되고 있지 않은 것으로 나타났다. 농용석회 공급량을 농경지에서의 석회석 시용량으로 본다면 이에 따른 탄소배출량은 여기에 탄소전화인자인 0.120을 곱한 $32x10^3$탄소톤이었다 (Table 7).

Table 7. Carbon emissions from liming of agriculture soils

Type of lime	Total amount of lime (,000T)	Carbon conversion factor	Carbon emissions from liming (,000TC)
Limestone	264	0.120	32
Dolomite	0	0.122	0
Total			32

Table 8. Net emissions from land-use change and management

Category	Total annual carbon emissions (,000TC)	Converted to total Annual CO_2 emission (,000TCO_2)
Change in soil carbon for mineral soil	1,025	3,758
Carbon emissions from intensively-managed organic soils	NE	NE
Carbon emissions from liming of agricultural soils	32	117
Total	1,057	3,875

Table 9. Greenhouse gas emissions and uptake in land-use change and forestry in 1988(unit; ,000TC)

Categories	Total	Emissions	Uptake
Change in forest and other woody biomass stocks	(-)11,087	(+)824	(-)11,911
Forest and grassland conversion	(+)82	(+)82	-
CO_2 Emissions and uptake by soil from land-use change and management	(+)1,057	(+)1,057	-
Total	(-)9,948	(+)1,963	(-)11,911

3.3.2.3 토양에서의 총 순배출량 추정

이상에서 계산된 우리나라의 토지이용변화 및 토지관리에 따른 토양에서의 총 순배출량은 1,057x10^3탄소톤이며 그중 대부분이 토지이용체계변화에 따른 무기토양의 순탄소량 변화(97.0%)에 기인한 것이며, 나머지 3%만이 농경지에서의 석회시용에 따른 배출이었다. (Table 8).

3.4 임업 및 토지이용에서의 온실가스 흡수/배출 요약

1998년도 토지이용변화 및 임업부문의 이산화탄소 배출량은 1,963x10^3탄소톤으로 그중 토양에서의 배출이 54%로 가장 많은 부분을 차지하였고, 산림벌채에 의한 배출이 42%, 산림의 타용도 전환시 잔존 바이오매스의 부후에 의한 배출이 나머지 4%를 차지하였다(Table 9). 전체적으로 보았을 때 토지이용 및 임업부문의 온실가스 수지는 흡수 11,911x10^3탄소톤, 배출 1,963x10^3탄소톤이므로 순흡수 9,948x10^3탄소톤이었다.

한편 산림 및 기타 목질계 바이오매스에 의한 순흡수량 11,087x10^3탄소톤은 같은 해 우리나라의 에너지 연소에 따른 배출량 103,601x10^3탄소톤의 10.7%에 해당하며, 토지이용 및 산림 부문 전체의 순흡수량 9,948x10^3탄소톤은 9.6%에 해당한다. 선진국에 배출감축의무를 지우고 있는 교또의정서 제3.4조에 따르면 경영림에서의 생장에 따른 바이오매스 즉 탄소 순증가량을 의무이행량으로 인정할 여지를 남겨놓고 있다(UNFCCC, 1998). 이 인정의 전제는 국제적으로 인정할 만한 객관적인 온실가스 흡수/배출 통계 작성 및 보고이다. 전체적으로 보았을 때 수정된 IPCC 가이드라인은 우리의 기존통계체계를 바탕으로 받아들일 수 있는 것으로 판단되었다. 그러나 다른 목적으로 구축된 기존의 통계체계와 다른 목적으로 수행된 연구결과에만 의존하였기 때문에 좀 더 체계적이고 세밀한 접근을 하기 어려웠으며 따라서 그 정확성에는 한계가 있다. 따라서 현재 선발개도국으로 온실가스감축의무 압력을 거세게 받고 있는 우리나라로서는 의무이행에 중요한 역할을 할 잠재력이 있는 임업부문에 있어 온실가스 통계를 목적으로 한 종합적인 기존통계체계 정비 및 바이오매스에 관한 연구가 이루어질 필요가 있다.

참고문헌

1. 김갑덕, 김철민. 1988. 국내 산림 Biomass의 생산에 관한 연구, 임산에너지, 1988, 8(2): 94-107.
2. 대한민국정부. 1998. UN 기후변화협약에 근거한 대한민국 국가보고서. 158pp.
3. 산림청. 각년판. 임업통계연보.
4. 안수용. 1995. 한국, 덴마크, 미주지역 감자품종의 생육, 수량 및 품질 특성 비교. 고려대학교 석사학위 논문.
5. 임업연구원. 1998. 산림의 온실가스 저감방안, 임업연구원 연구자료 143호
6. 임업연구원. 1996. 한국산림과 온실가스, 임업연구원 연구자료 126호
7. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도, 임업연구원 연구자료 95호
8. 정진현, 김춘식, 이원규. 1998. 지역별, 임분별 산림토양내 탄소량 추정. 산림과학논문집 57:178-183.
9. 축산시험장. 1993. 초지조성 및 갱신방법 연구 - 산지초지 조성시 지표낙엽처리 생력화 단계별 조성효과 구명. 시험연구보고서: 709-713
10. IPCC. 1995. IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
11. IPCC. 1996. Revised IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
12. UNFCCC. 1998. Kyoto Protocol. http://www.unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf.