

ISSN 1226-8186

한국산림측정학회지

제11권 2008년 12월



사단법인 한국산림자원측정학회

한국산림측정학회지

제11권 <기후변화와 산림> 총설

2008년 12월

叢說

기후변화와 산림 바이오매스.....	손영모.....1
기후변화협약과 산림.....	이경학...12
범 지구차원 탄소순환과 일본의 중장기적 흡수원 대책.....	최정기...25
韓國山林資源測定學會 會則.....	39
韓國山林資源測定學會 原稿投稿規定.....	40

한국산림자원측정학회

기후변화와 산림 바이오매스¹

손 영 모²

우리나라 숲과 탄소흡수원 효과

국민의 삶의 질이 높아짐에 따라 우리 숲은 숲이 가진 휴양, 맑은 물과 깨끗한 공기 공급 등에 대한 공익기능이 증시되고, 여가 활동을 위해 도시지역에 대한 숲의 수요가 증대되어 「국민과 숲의 공존」이라는 개념은 이미 국민의 합의점을 가진 상황이다. 그러나 1970-80년대 녹화를 위해 집중적으로 조립된 침엽수 단순림은 제때에 가꾸어 주지 못해 각종 재해에 취약하고 종다양성이 떨어져 건강성이 악화되고 있다는 지적이 있으며, 건기 시 강풍, 우기 시 국지적 집중호우 등 근래의 기상 이변으로 인해 국가적으로 산불 대형화와 대규모 산사태 발생 확률이 높아지고 있다. 또한 녹화는 되었지만 아직 40년생 이하의 임상이 대부분이어서 이용할 수 있는 자원으로서의 가치는 아직 낮은 수준이라 볼 수 있다. 숲의 축적면이 일본 149m², 독일 270m², 스위스 337m²인 것에 비해 우리는 2005년 말 현재 79.2m²에 불과하다. 따라서 우리 숲은 성장이 왕성한 청년기 나무가 60% 이상으로 지

속적으로 가꾸어 주어야 할 시기이며, 이면적은 약 200만ha로 추정되고 있다.

한편, 국제적으로 UNFF, UNFCCC, 몬트리올프로세스 등 지속가능한 숲 관리(SFM)의 국가적 실천체계 구축에 대한 국제적 압력이 증가하고 있으며, 기후변화협약에 따른 탄소흡수원으로서 숲 바이오매스의 경영·관리 필요성에 대한 국제적 관심이 고조되고 있다. 이에 선진국에서는 2000년 이후 특히 재해와 공익적 측면에서 숲가꾸기를 중심으로 하는 정책을 추진하고 있다. 우리도 이제 숲의 기능을 최대한 발휘하고 투자효율성을 제고하기 위하여 숲을 기능별로 적정하게 관리해야 할 시기이며, 지방분권화 시대를 맞이하여 지역별 특성과 여건에 맞는 숲을 가꾸기 위해 시·군별 숲가꾸기 정책의 차별화가 필요한 시점이다.

또한 이러한 숲가꾸기에 의한 산물(바이오매스)의 효율적인 이용은 새롭게 도래한 고유가시대의 화석연료대체 및 기후변화협약에 대응하기 위한 온실가스 저감 효과까지 있어 온실가스 정책입안에 있어 중요한 수단으로 부상하고 있다. 이에 기후변화협약에 대응하기 위한 가장 현안사안으로 추진해야 할 일이 숲가꾸기 사업이다. 이 사업을 추진함으로써 우리가 얻는 효능은 우량 대경재 생산의 경제적 가치 제고, 그



그림 1. 숲가꾸기 작업 전(좌)과 후(우)

1 接受 2008年 12月 1日 Received on December 1, 2008.

2 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

리고 온실가스 흡수원 확충이라는 환경적 가치 모두를 얻을 수 있을 것이다.

한편, 2005년 말 현재 우리나라 연간 이산화탄소 순흡수량은 약 3천3백만톤으로서, ha당으로 환산하면 약 6톤의 이산화탄소를 흡수하는 것이며, 이 과정에서 약 4톤 정도의 산소를 생산한다. 우리나라의 가구당 연간 이산화탄소 배출에 있어, 자동차를 보유한 1 가구 전체가 약 9.5톤 정도를 배출한다고 하는데, 이는 숲을 1ha(100m × 100m 면적) 보다 더 많이 조성하여 가꾸어 줘야 이산화탄소 배출(가구) 및 흡수(숲)를 서로 상쇄 시킬 수 있는 양임을 알 수 있다<그림 2>.

바이오매스란?

바이오매스(Biomass)는 원래 생물·생태학 용어로 bio(생물) + mass(물질, 양)이 합성된 용어로 생물량 또는 생체량으로 표현되고 있다. 이것은 살아 있는 동물·식물·미생물의 건조중량 또는 탄소량으로 표시하며, 산림부문에서는 나무의 줄기 뿌리, 잎 등이 대표적인 바이오매스이다. 지구상에는 태양으로부터 에너지를 공급받아 매년 약 1,700억 톤의 식물자원이 자라는 것으로 보고되고 있다. 이 중 현재 인류가 식량, 사료, 산업용 자재 등으로 이용하는 규모는 약 60억톤 정도에 불과하다. 따라서 사용되

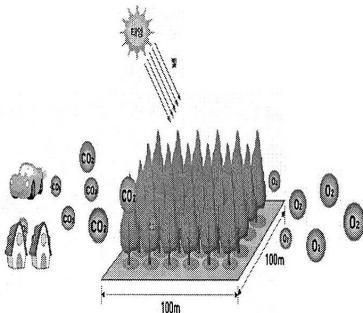


그림 2. 숲의 CO₂ 배출 및 O₂ 생성

지 않는 바이오매스를 활용가능한 에너지 및 화석연료를 대체할 수 있는 기술을 개발한다면 인류는 석유에 버금가는 또 하나의 자원을 갖게 되는 셈이다. 이것이 최근 신재생 에너지 자원으로서 바이오매스가 각광을 받는 이유이다.

미국은 지난 2000년 바이오매스 육성법을 제정하여 해마다 약 4억만달러에 달하는 자금을 투자하고 있으며, 브라질은 사탕수수를 활용한 바이오에탄올 생산에 사회적 관심이 증폭되고 있다. 또한 스웨덴의 ‘아그로 브렌슬레’라는 회사는 나무를 연료로 이용하기 위하여 속성으로 자라는 버드나무를 개발한 바 있는데, 이 나무는 3년이면 연료용으로 쓸 수 있는 6~7m 높이로 자란다. 우리나라도 대두나 유채꽃, 자트로파(Jatropha curcas) 등을 이용해 바이오디젤을 만들고 있으며, 화석연료 대체를 위해 숲가꾸기 사업 등에서 발생하는 목질계 산물을 수집, 이용단계에 있다.

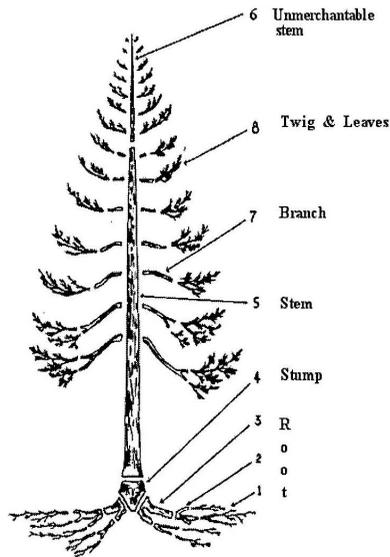


그림 3. 입목 부위별 바이오매스

바이오매스 연구의 역사

산림 바이오매스에 대한 연구의 시작의 정설은 19세기초 독일 학자인 Hartig가 그의 연구저서 “Dox Holz der Rotbuche”에서 여러 가지 도해를 이용하면서 바이오매스, 즉 건중량에 대한 중요성을 역설한 것이 시초라 할 수 있다. 그러나 당시 학계에서는 이에 대한 연구와 관심은 거의 없었으며, 이후 바이오매스 연구는 이 분야에 관한 실질적인 개척자로 알려진 Jensen(1932)과 Bü rger(1929-1953)에 의해 활성화 되었다고 볼 수 있다. 그리고 20세기 중반에 들어 바이오매스에 관한 연구는 Senda(1952)와 Ovington(1957) 등에 의해 활기를 띠게 되었으며, 국가차원으로는 미국, 일본, 벨기에, 캐나다 등을 중심으로 급속히 진행되었다. 학술단체 활동에 있어서는 IUFRO가 산림 바이오매스 연구(1971), IUFRO 바이오매스 연구(1973), Oslo 바이오매스 연구(1976) 등의 심포지엄을 개최한 것이 시발점이 되어 이후 많은 학술활동이 진행되었다. 특히 캐나다 임산에너지 프로젝트(ENFOR)에서는 산림 바이오매스 조사 표준화(1988)를 위하여 일련의 활동과 이에 관련된 많은 문헌을 발표한 바 있으며(Alemdag and Bonner, 1985), 미국 서부 Virginia대학의 Biomass an

d Bioenergy학회 역시 현재까지 많은 관련 연구를 수행해 오고 있다. 연구의 최고조는 ‘70년대 석유파동이 일어나면서 재생가능한 에너지인 목질계 바이오매스에 관심이 급증하면서부터 이며, 아마 수천의 논문들이 양산되었으리라 생각된다. 기본적인 바이오매스 연구의 지침서가 된 문헌으로서는 미국 Lieth(1978)의 “생태계의 일차생산”에 관한 논문과 일본의 Shidei and Kira(1977), Kira, Ono and Hosokawa(1978)에 의한 “산림생산성에 대한 연구” 등이 있다. 또 프랑스에서는 IBP위원회는 후원 하에 “생태학의 문제 : 육상생태계의 구조와 기능”이라는 텍스트북이 발간되어 여러 분야에 영향을 미쳤다.

20세기 말에 들어 바이오매스 연구는 다소 주춤하게 되었으며, 연구의 입지가 축소된 것은 사실이다. 그러나 기후변화협약이 이루어지고 이에 따라 각국은 온실가스 저감 및 흡수기능을 갖는 산림 바이오매스에 대해 다시 지대한 관심을 갖기 시작하였으며, 새로운 바이오매스 연구 전환점의 계기가 마련되었다고 볼 수 있다.

본 고(稿)는 국내 산림의 바이오매스에 대하여 기본계획구는 물론 시군구 단위까지의 공급가능 바이오매스량을 추정해 보았으며, 특히 산림에서 일어나는 숲가꾸기 사업지에

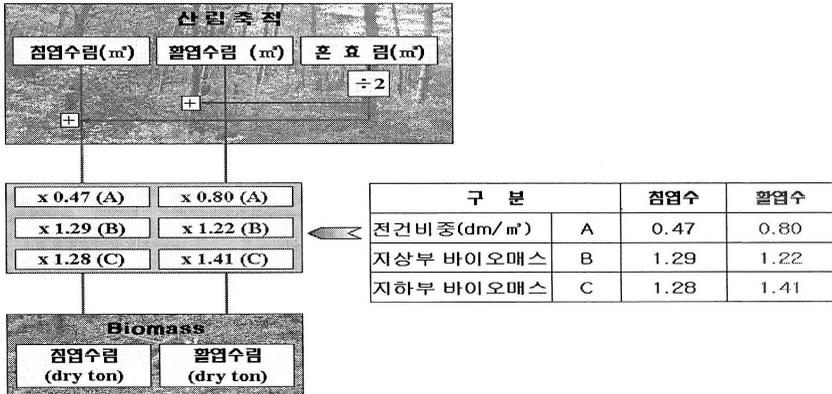


그림 4. 축적의 바이오매스 전화체계

서의 바이오매스 및 상업적 벌채지의 잔존 바이오매스 등을 추정하여 이가 온실가스 저감에 어느 정도 효과가 있는 지 알아 보 고자 한다.

우리나라 산림 바이오매스 추정

가. 바이오매스 추정 절차

산림 바이오매스 추정을 위하여 현재 이 용되는 방법은 다음 절차를 갖는다. 즉, 산 립축적을 바이오매스로 전환하기 위하여 임 상별로 축적량에 전건비중(목재기본밀도, basic wood density, 침엽수 0.47, 활엽수 0.80)¹⁾을 곱하며, 다시 가지, 줄기, 잎 및 뿌 리 등에 대한 바이오매스를 모두 포함하기 위하여 바이오매스 확장계수를 곱하는 과정 을 거친다. 이러한 절차는 IPCC 우수실행지

표 1. 기본 계획구별 산림 바이오매스 총량

구분	총 축적 (천m ³)	침엽수축적 (천m ³)	활엽수축적 (천m ³)	총 바이오매스 (천톤)	침엽수바이오매스 (천톤)	활엽수바이오매스 (천톤)
계	506,377	293,293	213,084	520,852	227,614	293,238
서울특별시	1,111	281	830	1,360	218	1,142
부산광역시	3,040	1,888	1,152	3,050	1,466	1,585
대구광역시	3,680	2,325	1,355	3,669	1,804	1,864
인천광역시	2,570	1,117	1,453	2,867	867	2,000
광주광역시	2,023	1,573	450	1,840	1,221	619
대전광역시	1,974	1,282	692	1,947	995	952
울산광역시	4,643	2,408	2,235	4,944	1,869	3,076
경기도	41,751	20,888	20,863	44,921	16,210	28,711
강원도	132,698	66,963	65,734	142,429	51,968	90,461
충청북도	36,573	22,340	14,233	36,924	17,337	19,587
충청남도	29,860	18,608	11,251	29,925	14,441	15,484
전라북도	37,235	21,503	15,732	38,337	16,687	21,650
전라남도	45,733	32,506	13,227	43,429	25,226	18,203
경상북도	104,057	64,873	39,183	104,268	50,346	53,923
경상남도	50,919	31,424	19,496	51,216	24,387	26,829
제주도	8,512	3,314	5,198	9,725	2,572	7,153

¹ 전건비중은 목재내부의 공극과 수분을 포함한 단위부피당 무게에 대한 개념으로 목재 재질을 판단하는 주요한 요소로 전건중량/생체부피 (kg/m³)를 의미하며, 국내에서는 아직 다양한 수종에 대해 정보가 없으므로, 임상별 즉 침엽수, 활엽수로 구분하여 전건비중을 도출하여 이용하고 있음.
 활엽수 목재기본밀도 "0.80"은 당시 문헌 자료에 의해 도출된 값으로, 국립산림과학원 예비조사 분석(2005년)에 의하면, 약 "0.65"정도인 것으로 나타나고 있어, 현재 이용계수가 다소 높은 것으로 판단됨. 이는 국가보고서 작성 제출 시 탄소흡수량 통계의 신뢰성을 확보할 수 없음.
 본 계수는 국립산림과학원 「교토의정서 대응 산림탄소계정 기반구축 연구(2007-2010)」 연구 수행 후 나오는 계수 값으로 필히 대체하여 이용하여야 할 것임

침에서 권장하는 방법 중의 하나이며, 우리나라 국가 온실가스통계 국가보고서 작성시 이용하고 있다. 단, 활엽수에 대한 전건비중이 다소 높게 책정(0.8)되어 있는데, 이는 국립산림과학원에서 연구되고 있는 “산림탄소계정 기반 구축 연구(2007-2010)”가 수행되면 수종별로 전건비중 뿐 만 아니라 바이오매스 확장계수에 대한 국가 기준이 구축될 것으로 보인다.

나. 산림 바이오매스 통계

1) 총 산림 바이오매스

우리나라 산림 전체 축적(2005년말 현재)을 바이오매스로 전환한 결과 다음과 같다. 현재 전체 산림에 대한 총축적은 506,337천m³이며, 이를 바이오매스로 전환하였을 시,

520,852천톤으로 산정되었고, 임상별로는 활엽수가 침엽수 보다 다소 많은 바이오매스량을 보여 주었다.

2) 시업 가능한 산림의 바이오매스

상기의 결과가 우리나라 전체 산림이라 면, <표 2>는 산림면적 중 간벌, 천연림보육, 가지치기 등 시업이 가능한 즉, 실제 바이오매스가 생산 가능한 시업지(5,069천ha)를 대상으로 바이오매스량을 산정한 결과이다. 시업제한지가 제외된 결과로 바이오매스량은 402,795천톤이며, 기본계획구 중 강원도가 가장 많은 물량을 생산가능 할 것으로 계산되었다.

3) 경제립단지 바이오매스

우리나라 산림 중 목재이용 가치가 가장

표 2. 기본 계획구별 시업지 산림바이오매스 총량

구분	총축적 (천m ³)	침엽수축적 (천m ³)	활엽수축적 (천m ³)	총바이오매스 (천톤)	침엽수바이오매스 (천톤)	활엽수바이오매스 (천톤)
계	396,483	238,012	158,472	402,795	184,712	218,082
서울특별시	-	-	-	-	-	-
부산광역시	238	159	79	232	123	109
대구광역시	422	307	115	396	238	158
인천광역시	15	5	10	17	4	13
광주광역시	149	134	15	125	104	21
대전광역시	521	283	238	547	219	327
울산광역시	2,375	1,220	1,155	2,537	947	1,590
경기도	30,141	16,232	13,910	31,739	12,597	19,142
강원도	101,836	53,074	48,762	108,293	41,189	67,104
충청북도	29,406	18,326	11,080	29,470	14,222	15,248
충청남도	26,028	16,149	9,879	26,127	12,533	13,595
전라북도	29,665	17,472	12,193	30,339	13,559	16,780
전라남도	41,876	30,274	11,602	39,460	23,495	15,966
경상북도	88,414	55,979	32,436	88,080	43,443	44,637
경상남도	39,558	25,549	14,009	39,106	19,827	19,279
제주도	5,839	2,850	2,990	6,326	2,212	4,114

높은 지역을 산림청은 ‘경제림단지(2,904천 ha)’로 지정한 바가 있는데, 본 단지는 어느 산림보다 목재유통이 활발할 수 있는 지역이므로, 이 지역에 대한 바이오매스량을 산정해 보았다. 총 바이오매스량은 200,768천 톤임을 알 수 있었고, 광역시 등 주변은 경제림으로서의 가치보다 휴양공간의 개념이 강하므로 이 지역에서 제외되었다<표 3>.

4) 연간 바이오매스 생산량

전체적 또는 일부 한정된 지역의 산림 바이오매스 산정의 의미도 중요하지만, 궁극적으로는 연간 어느 정도의 바이오매스를 생산할 수 있는 지도 중요한 문제이다. 따라서 이 정보를 제공할 수 있는 것이 연간 생산량을 바이오매스로 전환한 량이다. 계산은 2000 ~ 2005년까지의 연간 축적생산량을 임상별로 나누어서 바이오매스로 전환하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

< 표 4 >에서 연간 총바이오매스 생산가능량은 20,340천톤으로 나타났고, 서울시 같은 경우는 산림의 도시화 등으로 산림면적 및 축적의 감소를 가져와 바이오매스 역시 감소하는 것으로 나타났다.

5) 산림 바이오매스 변화량 추이

산림 바이오매스의 주기별 변화를 구명하

결과, ‘75년말 현재 116백만톤에서 30년이 지난 현재 521백만톤으로 5배 정도 증가하였으며, 10년 주기별 연간변화율은 ‘85년 4.95%, ‘95년 5.30%, ‘05년 4.46%로 ‘95년을 정점으로 바이오매스 생산율이 감소추세에 있음을 알 수 있었다. 이는 우리나라 산림의 영급구조가 점차 유령림에서 장령림으로 옮겨 감에 따라 생장의 둔화에서 오는 결과라고 할 수 있겠다.

다음은 기본계획구별 주기별 변화를 구명한 결과로서 강원도가 가장 많은 바이오매스 보유량을 갖고 있으며, 경상북도가 그 다음을 차지하고 있다. 다소 특이한 점은 경상남도의 경우 ‘85년까지 가장 낮은 전국 대비 바이오매스 점유비가 가장 낮았으나, ‘95년, ‘05년을 거치면서 가파른 상승곡선을 긋고 있어 이의 원인을 구명해 볼 일이다. 추측컨대 6. 25전쟁 이후 지리산 공비토벌, 빈번한 산불, 화전, 연료재 등으로 인하여 황폐화 되었던 산림이 ‘70년 이후 막대한 조림 등을 통한 결과가 아닌 가 사료된다.

산림 바이오매스의 생산가능량

가. 숲가꾸기를 통한 바이오매스 생산

2005년 우리나라 숲가꾸기 사업지면적은 총 294,115ha이며, 이 사업지에서 이루어지

표 3. 경제림 단지 산림 바이오매스 총량

구분	총축적 (천m ³)	침엽수축적 (천m ³)	활엽수축적 (천m ³)	총바이오매스 (천톤)	침엽수바이오매스 (천톤)	활엽수바이오매스 (천톤)
계	193,543	109,279	84,263	200,768	84,808	115,960
강원도	50,206	28,573	21,633	51,945	22,174	29,771
경기도	17,209	8,126	9,084	18,807	6,306	12,500
충청북도	15,377	6,939	8,438	16,997	5,385	11,612
충청남도	11,552	6,625	4,927	11,922	5,141	6,780
전라북도	17,825	9,800	8,025	18,649	7,605	11,044
전라남도	14,480	10,551	3,929	13,595	8,188	5,407
경상북도	47,849	26,736	21,113	49,803	20,749	29,055
경상남도	19,045	11,931	7,114	19,050	9,259	9,790

는 풀베기, 덩굴제거, 어린나무가꾸기, 숲아베기, 천연림보육 등의 작업에 의해 발생되는 물량 <표 5>에 나타나 있듯이 145천 m3이고, 이를 바이오매스 및 발열량¹으로 전환하면, 115천톤, 533,199Gcal 이다(산림청, 2006). 이를 다시 실내등유가²로 환산하면 513억원으로 나타났다. 박경석 등(2003)에 의하면 2004년부터 5년간의 숲가꾸기 사업 시 숲아베기에 의한 연료재 생산 총 수집가능량을 12.3천m3, 약 10천톤 정도 될 것을 예상한 바 있는데, 이는 숲아베기 후 용재로 이용되고 남은 양 만을 계산하여 전망한 결과이므로 다소 낮은 수치라 보여 진

다.

숲가꾸기 사업에 의해 실제 수집되는 물량(현재 산림청 추정으로는 숲가꾸기사업 산물의 약 11%정도 수집) 뿐만아니라 숲가꾸기 후 일부 산물이 수집되고 남은 가지, 잎, 뿌리 및 용재로 이용되지 못하는 작은 줄기 등 숲 내 많은 바이오매스가 방치되는데, 이를 모두 수집한다고 가정하고 잠재공급가능한 양까지를 계산한 것이 <표 6>이다. 공급잠재량은 2,483천톤이며, 등유 환산가는 약 11,133억원에 이른다. 이는 숲가꾸기에 의해 수집되는 산물의 약 20배에 달하는 화석연료 대체효과를 갖는 양이다.

표 4. 연간 산림 바이오매스 생산량

구 분	연간 바이오매스 생산량(천ton)		
	총바이오매스	침엽수	활엽수
계	20,340	8,862	11,478
서울특별시	76	-2	78
부산광역시	95	42	53
대구광역시	140	73	67
인천광역시	168	21	147
광주광역시	68	47	21
대전광역시	83	58	25
울산광역시	196	78	118
경기도	2,458	740	1,718
강원도	3,734	1,383	2,351
충청북도	1,686	1,250	436
충청남도	1,567	472	1,096
전라북도	2,413	732	1,680
전라남도	1,688	980	708
경상북도	3,723	1,884	1,839
경상남도	1,913	968	945
제주도	332	136	196

¹ 발열량은 수종별로 중량 1kg의 바이오매스가 완전 연소할 시 나타내는 열량으로, 연료로서의 바이오매스 성능을 측정할 수 있으며, 일반적으로 발열량이 클수록 효율이 좋다. 또한 발열량은 목질계 바이오매스를 화석연료와 대체할 수 있는 잠재가능성을 분석할 수 있는 자료이므로 중요한 위치를 갖는다. 목질계 바이오매스 원소분석자료를 이용한 발열량의 이론적 계산식은 다음과 같다.

$$\text{발열량(Kcal)} = (0.34) \times \text{탄소}(\%) + (1.44) \times [\text{수소}(\%) - \text{산소}(\%)/8] + (0.0094) \times \text{황}(\%)$$

² 1,000Kcal(=1Mcal) 발열량 발생 시의 단가 : 실내등유 96.3원, 도시가스 51.6원 (2005년말)

숲가꾸기 사업에 의해 실제 수집되는 산물과 잔존하여 남아있는 산물과는 현격한 차이가 있다. 따라서 숲가꾸기 후 숲에 방치되는 바이오매스 산물 수집체계 구축 및 이용방안 등에 대하여 정부 뿐 만 아니라 국민들도 적극적인 관심을 가져야 할 때이다. 이에 산림청은 산림내 방치되는 숲가꾸기 부산물을 바이오에너지용 원료로 공급하고 신재생에너지보급 확대를 위해 「바이오매스 수집단」을 신규 운영하기로 하고 2007년 3월부터 수집 작업에 착수하고 있고, 수집된 산물은 해당 지자체에서 바이오에너지용 연료 또는 각종 목질보드와 펄프·칩의 원료 등 산업용 원자재로 매각하게 되며, 그 재원은 산림환경개선사업 또는 국산재 이용촉진사업에 재투자 된다고 밝힌 바 있어 다행스러운 일이라 생각된다(산림청, 2003).

실제적으로 숲에서 생산되는 바이오매스

자원을 에너지원으로 활용하게 되면 지역단위의 소규모 터빈에 의한 전력생산 및 열 공급뿐만 아니라, 농촌지역의 고용을 증대시켜 지역경제 활성화에 기여, 국내 재생가능한 자원을 사용함으로써 에너지 확보, 지속적인 바이오매스 생산과 에너지 이용으로 대기 중의 CO2농도 억제, 유향을 포함하지 않는 바이오매스 이용에 의해 대기오염을 완화 등 여러 가지 친환경적인 부수적 효과를 얻을 수 있을 것이다.

나. 상업적 벌채지의 바이오매스 생산

우리나라 숲에서 연간 상업적으로 이용하기 위하여 상당량의 임목이 벌채되고 있다. 이는 주로 건축재, 가구재, 표고 골목 등으로 이용되는데, 주로 흉고직경이 20cm 이상 되는 것만을 이용하므로, 이 이외의 부분은 그냥 숲 내에 방치되고 있다. 2005년 한해 우리나라 숲에서 상업용으로 벌채 이용되고

표 5. 숲 가꾸기에 의한 실제 바이오매스 수집량 (2005년)

시도	숲가꾸기 면적 (ha)	산물수집량 (m³)	바이오매스 (ton)	발열량 (Gcal)
계	294,115	143,747	114,556	533,199
서울특별시	1,639	54	43	200
부산광역시	2,183	870	693	3,227
대구광역시	1,382	140	112	519
인천광역시	677	547	436	2,029
광주광역시	170	120	96	445
대전광역시	2,811	3,449	2,749	12,793
울산광역시	3,260	1,786	1,423	6,625
경기도	23,219	25,952	20,682	96,264
강원도	51,524	34,731	27,678	128,827
충청북도	24,951	10,400	8,288	38,577
충청남도	30,581	18,256	14,549	67,717
전라북도	18,993	12,106	9,648	44,905
전라남도	52,757	12,533	9,988	46,489
경상북도	42,931	13,481	10,743	50,005
경상남도	35,821	8,842	7,046	32,798
제주도	1,216	480	383	1,780

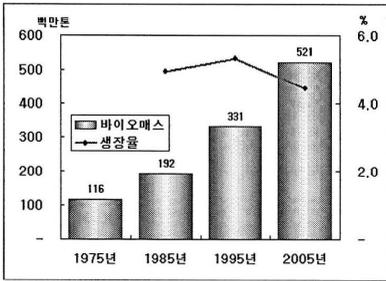


그림 5. 연도별 바이오매스변화량 추이

남은 잔존물에 대한 바이오매스 양 및 발열량을 계산한 값은 <표 7>과 같다.

2005년 한 해 동안 목재를 상업적인 용도로 이용하기 위하여 벌채되는 임목의 재적은 1,731천m³이었으며, 이용되는 목재 외에 초두부, 가지, 잎 등 산림 내에 잔존하는 바이오매스 양을 계산하기 위해서 다음의 절차를 거쳤다(대한민국정부, 2003).

- 상업적 이용재적 외 잔존 바이오매스 (ton) = 벌채재적(천 m³) × 이용계수¹ (1-0.85) × 목재기본밀도 × 지상부 바이오매스 확장계수 (여기에서, (1-0.85) ; 임내 잔존물 재적, 확장계수 ; 지상부의 확장계수, 그리고 뿌리는 이용하지 않음을 가정)

이런 절차를 거쳐 계산된 상업적 벌채지 잔존 바이오매스량은 474천톤이었고, 발열량으로 전환시키면 2,210,889Gcal가 된다.

표 6. 상업적 벌채로 인한 바이오매스 및 발열량

구분	상업벌채 (천m ³)	이용계수	목재밀도	확장계수	수집 가능 바이오매스 (천ton)	발열량 (Gcal)
침엽수	1,223	0.85	0.47	1.29	298	1,387,042
활엽수	508	0.85	0.80	1.22	177	823,847
계	1,731				475	2,210,889

¹ 이용계수(Coefficient of utilization) ; 이용계수라 함은 임목수간 중 이용가능한 재적의 구성비를 말하며, 0.85는 수간재적 중 85%는 이용되고 나머지 15%는 임내에 폐잔재로 버려짐을 의미함

이를 실내등유가로 환산하면, 2,211억원으로, 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원이 된다.

산림 바이오매스의 효과적 이용과 관리

가. 숲가꾸기 산물의 이용

우리나라의 숲가꾸기 사업은 앞서 언급한 바 있듯이 대규모적으로 추진된 것은 IMF 사태 발생 이후 실업자 구제 차원에서 시작되었다고 볼 수 있다. 그러나 당시는 정밀한 계획의 수립을 통한 사업이 이루어 졌다고 볼 수 없으며, 이의 구체적인 사업 설계는 2003년 수립된 “숲가꾸기 5개년 계획”이 그 Master plan 이라 볼 수 있을 것이다. 이 계획기간은 2004~2008년 까지이며, 주요 기본 방향으로서는 먼저 사업의 시급성을 반영하여 연간 약 20만ha씩 5년간 100만ha의 물량을 배정하였으며, 이중 공익기능효과 증진 6만ha, 재해에 강한 숲가꾸기 4만ha. 경제적 가치 증진 10만ha씩을 배정하고 있다. 또한 선택과 집중을 통해 소유자, 산림규모, 기능성 등을 감안하여 지원을 차별화 하였으며, 사업의 질적 수준향상 제고, 규제와 지원을 동시에 고려하는 정책 추진, 기존법령 등을 정비하여 계획의 실효성을 제고하는 정책 등을 추진하고 있다. 그러나 현재 숲가꾸기 사업지에서의 산물 수집량은 사업량의 약 10% 정도에 불과해 이에 대한 체계적인 수집시스템이 도입되어야 할 것이

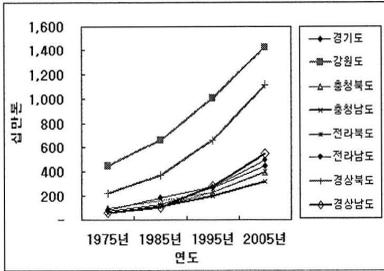


그림 6. 기본계획구별 바이오매스 변화량 추이

다. 다행히 산림청은 산림내 방치되는 숲가꾸기 부산물을 바이오에너지용 원료로 공급하고 신재생에너지보급 확대를 위해 「바이오매스 수집단」을 신규 운영하기로 하고 '07. 3월부터 수집 작업에 착수한다고 하였

표 7. 숲가꾸기에 의한 바이오매스 생산 잠재량 추정 (2005년)

시도	숲가꾸기 면적 (ha)	산물공급가능량 (생중량, ton)	바이오매스 (ton)	발열량 (Gcal)
계	294,115	5,089,626	2,483,737	11,560,567
서울특별시	1,639	22,274	10,870	50,593
부산광역시	2,183	8,038	3,923	18,257
대구광역시	1,382	21,913	10,694	49,773
인천광역시	677	9,545	4,658	21,681
광주광역시	170	3,201	1,562	7,272
대전광역시	2,811	61,639	30,080	140,006
울산광역시	3,260	45,756	22,329	103,931
경기도	23,219	396,743	193,611	901,162
강원도	51,524	939,619	458,534	2,134,249
충청북도	24,951	450,928	220,053	1,024,237
충청남도	30,581	499,770	243,888	1,135,176
전라북도	18,993	315,612	154,018	716,880
전라남도	52,757	963,383	470,131	2,188,227
경상북도	42,931	748,210	365,126	1,699,482
경상남도	35,821	572,854	279,553	1,301,179
제주도	1,216	30,141	14,709	68,462

으며, 수집된 산물은 해당 지자체에서 바이오에너지용 연료 또는 각종 목질보드와 펄프·칩의 원료 등 산업용 원자재로 매각하게 되며, 그 재원은 산림환경개선사업 또는 국산재 이용촉진사업에 재투자 된다고 밝힌 바 있다.

나. 숲가꾸기에 따른 효과

실제적으로 숲에서 생산되는 바이오매스 자원을 에너지원으로 활용하게 되면 지역단위의 소규모 터빈에 의한 전력생산 및 열공급뿐만 아니라, 농촌지역의 고용을 증대시켜 지역경제 활성화에 기여, 국내 재생가능한 자원을 사용함으로써 에너지 확보, 지속적인 바이오매스 생산과 에너지 이용으로 대기중의 CO2농도 억제, 유향을 포함하지 않는 바이오매스 이용에 의해 대기오염을

완화 등 여러 가지 친환경적인 부수적 효과를 얻을 수 있다.

앞으로 숲이 온실가스 흡수원으로서 역할을 충분히 할 수 있도록 하는 데에는 정부와 관련 부처의 노력도 필요하지만, 사회구성원의 인식전환이 필요할 때라 생각된다. 우리 주변에 소리없이 존재하는 ‘숲’이라 해서 무관심으로 간과할 시점은 아니라는 것이다. 기후변화협약이라는 세계적 이슈의 중심에서 온실가스 흡수원으로서 숲의 중요한 역할 뿐만아니라, 지구상에 공존하는 생명체로서 의미를 부여함으로써 상호공존의 길을 갈 수 있을 것이다.

참고문헌

국립산림과학원. 2005. 산림 바이오매스 연구설명회 및 현장세미나 자료. 국립산림과학원 산림경영과 내부자료(12. 8 일).

국립산림과학원. 2006. 기후변화협약 발효와 신고유가 시대 대비 목질바이오에너지 이용 및 보급촉진. 국립산림과학원 2006 목질계 바이오에너지 학술심포지엄. 118p.

박경석, 최돈하, 이성연, 손영모. 2003. 산림사업의 공적관리 시스템 강화 및 임산

바이오매스를 활용한 대체에너지 보급. 임업연구원 연구보고 03-13. 169p.

산림청. 2003. 숲가꾸기 5개년 추진계획. 51p.

산림청. 2003. 숲가꾸기 산물의 경제적 활용방안에 관한 연구. 228p.

손영모 등. 2006. 산림 바이오매스 지도구축을 위한 연구. 한국에너지기술연구원 위탁과제 최종보고서. 55p.

손영모, 이경학, 김래현. 2007. 우리나라 산림 바이오매스 추정. 한국임학회지 96(4):477-482.

손영모, 이경학, 서정호. 2007. 숲가꾸기 사업에 따른 산물의 화석연료 대체효과. 한국임학회지 96(6) 인쇄편집 중.



그림 7. 숲가꾸기 사업에 따른 다양한 효과

기후변화협약과 산림

이 경 학

1. 기후변화협약

가. 기후변화협약이란 ?

유엔기후변화협약 (UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)은 '92년 6월 브라질의 리우환경회의에서 인류의 활동에 의해 발생하는 위험하고 인위적인 영향이 기후 시스템에 미치지 않도록 대기 중 온실가스의 농도를 안정화시키는 것이 궁극적인 목적이다. 이를 위하여 협약 제3조에서는 기후변화의 예측·방지를 위한 예방적 조치의 시행 및 모든 국가의 지속가능한 성장의 보장 등을 기본 원칙으로 하고 있으며, 제4조에서는 선진국은 과거로부터 발전을 이루어 오면서 대기 중으로 온실가스를 배출한 역사적 책임이 있으므로 선도적 역할을 수행하여야 하며, 개발도상국에는 현재의 개발상황에 대한 특수 사정을 배려하되 공동의 차별화된 책임과 능력에 입각한 의무부담이 부여되고 있다.

나. 기후변화협약 경과

- 제3차 당사국총회(1997. 12. 일본 교토)
: 부속서 I 국가들의 온실가스 배출량 감축의 의무화, 공동이행제도(JI)¹, 청정개발체제(CDM)², 배출권거래제(ET)³ 등 시장 원리에 입각한 유연성있는 온실가스 감축 수단인 교토메커니즘의 도입, 그리고 산림 등 온실가스 흡수원의 의무이행수단 인정

등을 주요 내용으로 하는 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택하였다. 산림과 관련된 주요 내용은 다음과 같다.

- 산림 관련 토지이용변화를 수반하는 신규조림, 재조림, 산림전용(제3.3조) 활동과 기존의 산림을 경영하는 산림경영 활동(제3.4조)에 따른 온실가스 흡수/배출을 감축의 무이행을 하는 데 사용 할 수 있게 함

- 흡수, 배출량의 계정은 의무이행기간 동안의 대상 활동지의 탄소축적 변화량으로 평가하도록 함

- 제 7차 당사국총회 (2001. 11. 모로코 마라케쉬) : 교토의정서의 세부운영규격인 마라케쉬 합의문(Marrakesh Accord)이 채택됨으로써 교토메커니즘 관련 사업 및 흡수원 사업의 추진과 당사국들의 의정서 비준을 위한 기반을 마련하였다. 마라케쉬 합의문에 나타난 산림과 관련된 주요 내용은 다음과 같다.

- 산림 등 흡수원 활동과 관련된 용어를 정의하고 산림에서의 온실가스 흡수/배출 통계 조사 및 보고 규칙

- 신규조림, 재조림, 산림전용 활동의 적정 방식, 규칙 및 지침을 정하고, 산림경영 활동의 인정범위, 계정방법 및 국가별 상한선

- 탄소배출권 확보를 위한 개도국과의 공동프로젝트(CDM) 인정활동 범위(신규조림 및 재조림) 및 인정 상한선

- 제 9차 당사국총회 (2003. 12. 이탈리아 밀라노) : 교토의정서의 발표를 전제로 한 이행체제 보완에 대한 논의가 진행되었다. 산림관련 주요 결정사항으로는 신규조림

¹ 온실가스를 의무적으로 감축해야 하는 부속서 I 국가들 사이에서 온실가스 감축 사업을 공동으로 수행하는 것을 인정하는 것으로, 한 국가가 다른 국가에 투자하여 감축한 온실가스 감축량의 일부분을 투자국의 감축 실적으로 인정하는 제도

² 온실가스 의무감축국(선진국)이 개도국에 공동사업을 수행하여 얻어진 탄소배출권을 국내 의무감축량에 포함할 수 있도록 한 제도

³ 교토의정서상 온실가스 감축 의무국가(부속서 B국가)가 의무감축량을 초과하여 달성하였을 경우 이 초과분을 다른 감축의무국가와 거래할 수 있도록 정한 제도. 이와 반대로 의무달성을 못하는 경우 다른 부속서 B국가로부터 구입할 수 있도록 허용한 것. 이것은 온실가스도 일반 상품과 같이 사고 팔 수 있는 시장성을 가지게 하는 것임.

및 제조업 부문 CDM사업을 위한 형식 및 절차 등에 관한 합의를 도출하였으며, 교토의정서에 따른 온실가스통계 보고, 검증에 있어 기본적으로 IPCC의 우수실행지침을 따르기로 합의하였다.

- 제 10차 당사국총회 (2004. 12. 아르헨티나 부에노스아이레스): 2005년 2월 교토의정서의 발효를 앞두고 이행과 관련된 방법적 이슈를 모두 마무리 하였으며, 산림부문에 있어서는 온실가스통계 작성·보고 지침인 IPCC우수실행지침의 구체적 적용 방법 및 개도국과의 소규모 신규조림/제조업 청정개발체제(CDM) 기준과 절차 등 방법론 이슈에 대하여 최종 합의가 이루어졌다.

- 2005. 2. 16 교토의정서 발효

- 제 11차 당사국총회(2005. 11. 캐나다 몬트리올) : 2005년 2월 발표한 교토의정서 이행절차보고 방안을 담은 19개의 마라케쉬 결정문을 제1차 교토의정서 당사국회의에서 승인함. 2012년 이후 기후변화체제 협의회 구성에 합의.

- 제 12차 당사국총회(2006. 11. 케냐 나

이로비) : 2006년 11월 6일 부터 11월 17일 까지 케냐 나이로비에서 열릴 예정.

- 기후변화협약의 주요 전개과정을 보면 다음과 같다.

2. 교토의정서

가. 의미 및 구속력

교토의정서(Kyoto Protocol)란 제3차 당사국회의에서 기후변화협약의 기본원칙에 입각하여 선진국에게 구속력 있는 온실가스 감축 목표를 부여한 의정서로서, 온실가스 감축에 대한 법적 구속력이 있는 국제협약이다.

나. 경과

1995년 3월 독일 베를린에서 개최된 기후변화협약 제1차 당사국총회에서 협약의 구체적 이행을 위한 방안으로서, 2000년 이후의 온실가스 감축 목표에 관한 의정서를 1997년 제3차 당사국총회에서 채택키로 하는 베를린 위임사항(Berlin Mandate)을 채

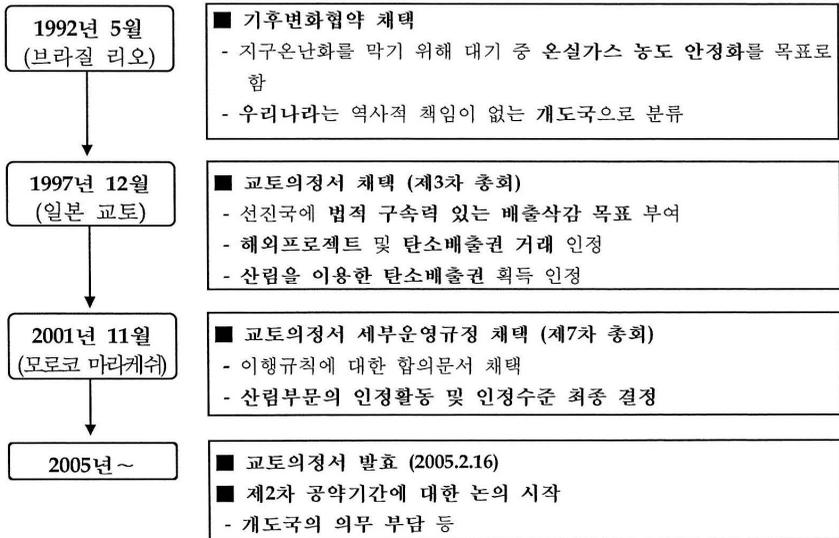


그림 1. 기후변화협약의 주요 전개과정

택함에 따라 1997년 12월 제3차 당사국총회에서 최종적으로 채택되었다. 의정서가 채택되기까지는 온실가스의 감축 목표와 감축 일정, 개발도상국의 참여 문제로 선진국간, 선진국·개발도상국간의 의견 차이로 심한 대립을 겪기도 했지만, 2005년 2월 16일 공식 발표되었다.

다. 의무대상국 및 의무부담

의무이행 대상국은 오스트레일리아, 캐나다, 미국, 일본, 유럽연합(EU) 회원국 등 총 38개국이며 각국은 2008~2012년 사이에 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축하여야 한다. 각국의 감축 목표량은 -8~+10%로 차별화하였고 1990년 이후의 토지 이용변화와 산림에 의한 온실가스 제거를 의무이행 당사국의 감축량에 포함하도록 하였다. 그 예로 유럽연합 -8%, 일본 -6%의 온실가스를 2012년까지 줄여야 한다.

감축 대상가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄

(CH₄), 아산화질소(N₂O), 불화탄소(PFC), 수소화불화탄소(HFC), 불화유황(SF₆) 등의 여섯 가지이다. 당사국은 온실가스 감축을 위한 정책과 조치를 취해야 하며, 그 분야는 에너지효율향상, 온실가스의 흡수원 및 저장원 보호, 신·재생에너지 개발·연구 등도 포함된다.

의무이행 당사국의 감축 이행시 신축성을 허용하기 위하여 배출권거래(Emission Trading), 공동이행(Joint Implementation), 청정개발체제(Clean Development Mechanism) 등의 제도를 도입하였으며, 1998년 11월 부에노스아이레스에서 개최된 제4차 당사국총회에서는 신축적인 제도운용과 관련한 작업을 2000년까지 완료한다는 부에노스아이레스 행동계획(Buenos Aires Plan of Action)이 채택된 바 있다.

라. 우리나라의 입장

한국은 제3차 당사국총회에서 기후변화협약상 개발도상국으로 분류되어 의무대상국에서 제외되었으나, 몇몇 선진국들은 감축 목표 합의를 명분으로 한국·멕시코 등이 선진국과 같이 2008년부터 자발적인 의무부담을 할 것을 요구하였고, 제4차 당사국총회 기간에 아르헨티나, 카자흐스탄 등의 일부 개발도상국은 자발적으로 의무를 부담할 것을 선언하였다.

2013년~17년 의무대상국이 개발도상국에 집중되기 때문에 5월부터 개최되는 대상국 확대협약에서 한국도 동참을 요구받을 것으로 예상된다. 2002년 IEA(국제에너지기구)의 통계에 따르면 한국의 연간 이산화탄소 배출량은 2000년을 기준으로 했을 때 4억 3400만톤으로 세계 9위이며, 세계 전체 배출량의 1.8%를 차지한 것으로 나타났다. 더욱이 1990년 이후 배출량 증가가 85.4%로 나타나 세계 최고의 증가세를 기록하고 있기 때문에 의무대상국으로 분류될 가능성이 높다.

미국은 전세계 이산화탄소 배출량의 28%

■ 교토의정서 관련 일지	
1992년	리우 지구정상회의에서 체결된 유엔기후변화협약(UNFCCC), 자발적 온실가스 배출 감축 촉구
1997년	UNFCCC 참가국을 교토의정서 서명국, 선진국 2012년까지 6가지 온실가스 5.2% 감축요구
2001년 3월	조지 W 부시 미국 대통령, 교토의정서 탈퇴선언
2001년 11월	미국 제외한 교토의정서 서명국을 의정서 이행방안 합의
2002년 4월	기후변화 경고를 주도한 과학자 로버트 왓슨 유엔 기후변화 정부간회의(IPCC) 의장, 미국 입력으로 축출
2004년 11월	러시아 교토의정서 비준, 의정서 발효요건 충족됨
2005년 2월 16일	교토의정서 발표
2005년 11월	2012년 교토의정서 1차 공약 기간 만료 후속 대책 논의할 협상시작 예정

그림 2. 교토의정서 관련 일지

를 차지하고 있지만, 자국의 산업보호를 위해 2001년 3월 탈퇴하였다.

3. 온실가스와 산림

가. 온실가스와 산림 생태계

- 식물은 광합성을 통하여 온난화의 주요 원인인 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출하는 과정에서 나무와 토양에 탄소를 저장한다. 이렇게 저장된 탄소는 다시 식물의 호흡이나 유기물의 분해를 통하여 대기 중으로 방출되며, 또한 식물은 에너지 흐름과 관련이 있는 물의 이동에도 중요한 역할을 한다.

- 숲 속의 식물은 잎으로 햇빛과 빗물이 지표면에 직접 도달하지 않도록 걸러 주며, 식물은 광합성 작용과 증산작용을 통해 토양의 물을 대기 중으로 내보내기도 한다. 이러한 작용으로 식물은 한낮의 높은 기온을 낮추는 등 미세기후를 조절하고 급격한 기상 변화를 완화시키는 역할을 하게 된다. 결국 식물은 지구의 전체적인 기후시스템에 영향을 끼치게 된다.

- 지구의 산림 면적은 육지 면적의 약 1/3 정도이다. 하지만, 산림은 지구 전체 광합성의 2/3 가량을 담당하며, 육상생태계 탄소의 80%와 토양 내에 있는 탄소의 40%를 보유하고 있다. 한편, 나무에 저장된 탄소량은 해양과 대륙에 비하면 많은 양은 아니다. 그렇지만, 대기와의 교환량이 매우 크고 기후변화와 인간 활동에 대해 민감하게 반응하기 때문에 매우 중요하게 받아들여지고 있다.

- 1990년대에 전 세계는 화석연료 사용으로 매년 63억톤의 탄소를 배출하였고, 산림 훼손으로 16억톤의 탄소를 배출하였다. 반면에, 산림에서의 생장으로 30억톤의 탄소를 흡수하였다. 현재 산림생태계에 저장되어 있는 탄소량은 5,500억톤 정도이다. 매년 대기와 교환되는 광합성 량은 1,200억 탄소톤으로, 저장량의 22% 정도가 교환되고 있

는 것이다. 이러한 사실로도 산림생태계가 지구탄소순환에 있어 매우 중요하고 민감한 작용을 한다는 것을 알 수 있다. 한편, 광합성 량의 50% 정도는 호흡으로 배출되며, 나머지는 유기물 분해 및 산불 등으로 다시 공기 중으로 배출되거나 산림에 축적된다. 이러한 탄소의 양은 약 20-30억톤이며, 이는 조립지에서의 수목 생장이나 과거에 훼손된 산림의 복원 그리고 대기 중 이산화탄소의 농도와 질소 유입량의 증가 등이 원인이 된다.

- 이렇듯 산림은 온실가스를 흡수·저장하고 다시 배출하는 과정으로 지구 기후시스템에 영향을 준다. 동시에 산림은 지구의 물순환 과정도 조절함으로써 에너지 분배에 영향을 미치고, 결국 지구의 기후상태에 영향을 미치게 되는 것이다. 더욱 중요한 것은 변화하는 지구의 기후에 의해 산림생태계가 영향을 받음으로써, 이와 같은 과정이 달라진다는 것이다.

나. 지구온난화와 산림의 역할

- 산림생태계의 주요 탄소저장고는 산림 내 나무와 토양이다. 따라서 산림을 어떻게 관리하고 가꾸고 보전하느냐에 따라 지구온난화의 진행 정도가 달라질 수도 있다. 즉, 숲을 잘 가꾸고 보전하면 나무와 토양에 더 많은 탄소를 저장할 수 있으라, 숲이 훼손되거나 온난화로 온도가 높아지면 나무와 토양에 있는 탄소가 대기 중으로 배출이 된다.

- 결국, 지구온난화에 대응하기 위해서는 우선 산림의 훼손 및 타 용도로의 변경을 억제하여야 한다. 또한 훼손된 산림생태계는 복원하거나 복구하도록 하고, 산불이나 산사태와 같은 산림재해는 예방하도록 해야 할 것이다. 더불어 산림경영을 통한 현존 산림의 보전이나 이산화탄소의 흡수·저장 능력의 향상을 위한 조치도 필요하다.

다. 지구온난화가 산림생태계에 미치는

영향

- 지구환경변화에는 지구온난화현상뿐만 아니라 대기 중의 대기 성분의 변화와 토지 이용의 변화도 포함된다. 이러한 결과로, 산림식생대의 분포가 달라지고 생물다양성이 변화하며 산불과 산사태 및 병해충 발생도 달라질 것으로 예상된다. 아울러 숲의 생산성과 토양유기물의 분해 속도도 변화하게 될 것이다. 결국 대기와 산림 사이의 이산화탄소 교환량이 달라지고, 다시 이것은 기후시스템에 영향을 미치게 될 것이다.

- 기온이 상승하게 되면, 북반구의 식생대는 남에서 북으로, 그리고 저지대에서 고지대로 이동하게 된다. 우리나라의 경우 남부 해안지역에 분포하고 있는 동백나무가 연평균기온 2℃만 상승하여도 서울을 포함한 중부 내륙지역까지 생육이 가능할 수 있을 것이 예측된 바 있다. 과거 수십, 수백만 년 전의 지질학적 시대에 수종의 이동 속도는 100년 동안에 약 4~200km이었다. 그런데 평균 기온이 1℃ 상승하면 중위도지역의 경우, 현재의 기후대는 북극 쪽으로 약 150km, 고도는 위쪽으로 150m정도 이동하게 된다. 따라서 미세한 크기의 종자를 가진 식물을 제외하고는 현재 예상하는 기후변화 속도를 따라잡기 쉽지 않을 것이다. 더욱이 오늘날에는 산림을 농지, 주택지 등으로 전환하는 토지이용변화에 따른 서식지 분할, 환경오염과 같은 다른 환경적 압력이 함께 작용하고 있는 상황에 처해 있다. 따라서 식생의 이동과 적응에 어려움이 많을 것으로 예상되며, 고산지대에만 서식하는 식물종들은 그 분포범위가 축소되거나 소멸될 위험성도 높아지게 될 것이다.

- 향후 기후변화 시나리오에 따르면, 한반도의 경우 기온이 상승하면서 강수량과 대기 중의 이산화탄소 농도가 늘어날 전망이다. 그 결과 식물의 생장기간이 늘어나고 수분이용 효율도 증가하여 산림의 생산성도 증가하게 될 것이다. 따라서 산림생태계에 저장하는 탄소량도 증가하게 될 것이다. 그

러나 지구온난화가 지속되면 오히려 호흡량이 증가하고 토양과 산림유기물의 분해 속도가 빨라져 탄소의 배출량이 많아질 것으로 예측된다. 즉, 산림생산성이 증가한다고 할지라도 산림생태계 차원의 탄소배출량이 증가할 가능성이 있는 것이다.

- 어느 한 산림생태계를 대상으로 보았을 때, 기후가 달라지면 수종별로 다른 생리적 반응을 나타내게 된다. 따라서 수종간의 경쟁력이 달라지고 천이의 진행방향도 바뀌게 될 것이며, 결과적으로 현재의 식물 군집구조와는 다른 구조로 변하게 될 것이다. 이런 이유로 기후가 변하면 수종의 구성이 바뀌게 될 것으로 예상하는데, 그렇다고 해서 곧바로 상층에서 우세하던 종까지 바뀌지는 않을 것이다. 왜냐하면 상층을 구성하는 수종들은 대부분 수령이 길고, 점진적인 기후변화에 대해서는 적응해 나갈 수 있는 능력이 있기 때문이다. 그래서 이미 중상층을 점유하고 있는 수목들은 살아남을 수 있을 것이다. 군집구조의 변화를 위해서는 우선 번식능력과 경쟁력의 차이가 달라져서 하층에서 새롭게 자라나는 어린 나무들의 종조성이 변화되어야 한다. 그리고 중상층의 수목이 고사한 다음 이들이 우점하게 되어야 식생대의 변화가 두드러지게 될 것이다. 이때, 이미 정착해 있던 나무는 기온이 부적합하더라도 어느 정도 적응이 가능하다. 또한 침입종보다 햇빛과의 경쟁에서 우위에 있기 때문에 견디어 내면서 살아남을 수는 있지만, 이런 경우 그 숲의 생산성은 저하될 가능성이 다분하다.

- 기후가 변화하면 나무에서 잎이 나오는 시기가 빨라지고 꽃이 피는 시기도 앞당겨진다. 현재 우리나라를 포함한 온대지역을 관찰해 보면, 대체로 평균기온 1℃가 상승할 때, 개화시기가 약 5~7일정도 빨라지고 있다. 나비류와 같은 곤충류의 발생시기가 앞당겨지고, 1년 동안 발생하는 횟수도 달라질 것으로 예상된다. 최근에는 양서류, 조류 및 포유류에 해당하는 야생동물들의 생

물학적인 행동 시기가 어떻게 변하는 지에 대해서도 관찰하고 있다. 영국에서의 예로, 양서류가 17년 동안 연평균기온이 1°C 상승함에 따라 연못에 출현한 시기가 9일 내지 10일 정도 빨라졌다는 연구결과가 있다 (Beebee, 1995). 그리고 조류의 부화일수가 25년 사이에 9일 가량 줄어든 경우(Crick et al., 1997) 등에 대해서도 보고되고 있다. 야생동물의 경우, 기상조건보다는 서식지의 변동과 먹이사슬이 되는 다른 식물과 곤충 등의 변화에 크게 영향을 받는다. 생태계는 생산자와 소비자 및 분해자가 상호 관련되어 먹이사슬을 이루고 있다. 따라서 식생대가 달라지고 식물과 곤충 등의 계절적 특성이 변화하면 야생동물의 행동 특성에도 영향을 미치게 된다. 게다가 생물 종별로 기후에 대한 반응이 다르고 있어 나오고 곤충이 변태하는 것과 같은 현상에 영향을 미치는 요인이 기온 이외의 것도 있을 수 있다. 따라서 이러한 다양한 차이들로 인하여 먹이사슬과 생물다양성이 훼손될 수 있다.

- 지구온난화로 기온이나 강수량이 단순히 증가하는 것이 아니라, 변동의 폭이 커지면서 예전에 없던 폭우 등의 이상기후가 나타날 확률이 높아지고 있다. 최근 우리나라에서도 다음과 같은 심각한 사건들이 자주 발생하고 있다. 1998년 겨울철의 이상

고온과 여름철 지리산과 중부지방에서 참사를 만들어 낸 아열대 게릴라성 폭우, 2000년 동해안에서의 대형 산불, 2001년도 봄철 가뭄, 2002년 태풍 루사에 의한 폭우 후의 막대한 산사태 피해, 2003년 순간 최대풍속이 초속 60m인 강풍을 동반한 태풍 매미, 2004년 3월의 폭설 그리고 갈수록 심해지는 황사. 이 중에 2002년 산사태는 2000년도의 산불피해지에서 큰 피해를 일으킴으로써, 산사태 발생 면적이 더욱 늘어났다. 이러한 결과들은 재해가 연달아 일어남으로써, 피해가 기하급수적으로 늘어날 수도 있음을 보여주는 예라고 볼 수 있다. 또한 지구온난화로 인하여 아열대성 병해충이 유입되고 만연할 확률이 높아질 것이다. 예로 수목병원균의 하나인 푸사리움가자마름병은 대체로 1월 평균기온이 0°C 이상인 지역에 발병하는 병원균이다. 이 병원균은 원래 미국의 남부지역과 멕시코, 아이티 그리고 일본 큐슈 남부 및 오키나와 등지에 분포하였다. 그런데 1996년에 이 병원균이 우리나라에서 최초로 발견되었고, 현재 전국적으로 확산하는 중에 있다. 수목해충으로 국내에서 피해를 일으키는 우리대벌레와 대벌레는 원래 우리나라에 있던 토착종들이다. 하지만, 대벌레류의 원산지가 열대지역이기 때문에 온도의 상승은 대벌레류 생존에 보다 유리하

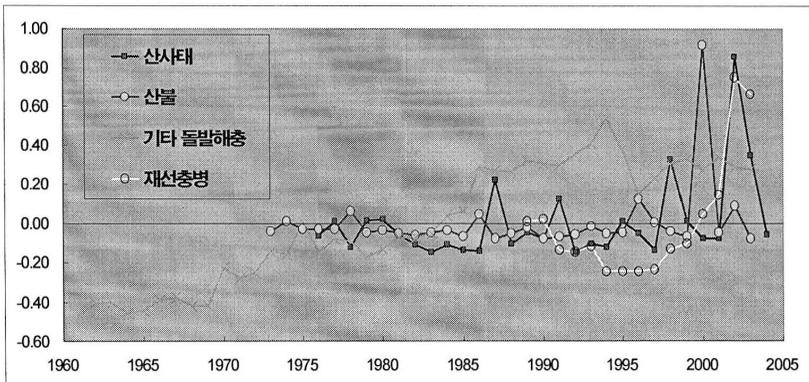


그림 3. 우리나라의 주요 산림교란 발생면적의 비정규성

게 작용할 가능성이 높다. 따라서 향후 이들에 대한 지속적인 조사와 함께 외국에서 들어오는 생물에 대한 검역 강화 등과 같은 조치가 필요하다.

4. 탄소배출권과 산림

가. 탄소배출권

“탄소배출권”이란 지구온난화를 막기 위해 이를 발생시키는 온실가스를 대량 배출하는 교토의정서상 의무당사국 혹은 기업에게 배출량의 한도를 책정하여 그 한도까지만 배출할 수 있게 하는 권리이다. 할당받은 배출량의 규제한도를 지키기 힘든 국가 혹은 기업은 상대적으로 여유가 있는 국가 혹은 기업으로부터 탄소배출권을 구입할 수 있으며(탄소배출권 거래제) 이 때 가격은 거래시장에서의 수요와 공급에 의해 결정될 것이다. 이 배출권거래제도(IET)를 통하여 의무부담 주체는 비용 효율적으로 감축의무를 이행할 수 있을 것이다.

나. 탄소배출권 확보를 위한 산림경영

1) 온실가스 감축활동으로 인정하는 산림 활동

- 교토의정서에서는 기본적으로 직접적이고 인위적인 활동 결과에 따른 탄소배출감축량 혹은 흡수증가량에 대해서만 탄소배출

권을 인정하고 있다.

· 1차 이행기간(2008.1.1.-2012.12.31.) 동안 신규조림, 재조림, 산림전용(3.3조) 토지 및 산림경영(3.4조) 토지에서의 탄소축적변화량

· 탄소축적변화량이 (+)일 경우는 순흡수로서 해당국가의 배출할당량에 더하고, (-)일 경우는 순배출로서 배출할당량에서 제함
- 신규조림과 재조림의 경우 나무가 없었던 곳에 새로이 나무를 심는 활동이기 때문에 여기서 흡수 저장한 이산화탄소량은 100% 인정한다. 그리고 산림전용의 경우에도 이로 인한 탄소손실량을 100% 배출로 간주한다.

· 신규조림, 재조림 및 산림전용(3.3조) 활동으로 인한 것이 순배출로 나타날 경우가 배출량을 산림경영지에서의 흡수량에서 상쇄한다.

- 반면 산림경영의 경우에는 기존에 산림이 있는 곳에 인위적인 활동을 가한 것이기 때문에 이 활동의 결과를 전체 축적증가량의 15%만 인정한다. 마라케쉬합의문에서는 이와 같은 원칙 아래, FAO와 각국이 제출한 자료를 토대로 1차 이행기간 동안 경영림의 탄소축적증가량을 계산하고 여기서 85%를 할인한 것을 산림경영에 따른 탄소배출권 인정상한선으로 규정하고 있다. 그러나 의정서 발효에 캐스팅보트를 쥐고 있

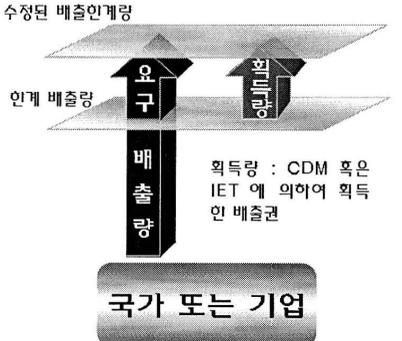


그림 4. 탄소배출권 거래제도

던 일본과 캐나다, 러시아는 이 할인 지침을 적용받지 않는다.

- 이와 함께 흡수원은 기본적으로 의무이행 보조수단으로 도입이 되었고 산림이 많은 일부 국가의 경우 막대한 잠재력을 가지고 있기 때문에, 산림의 활동에 의한 탄소 배출권을 무한히 인정하는 것이 아니라 다음과 같이 경우에 따라 그 총량에 인정한 선을 두어 제한하고 있다.

2) 우리나라 산림에서의 이산화탄소 흡수량

- 2004년 기준으로 우리나라 산림에서 순흡수한 이산화탄소량은 약 1천만 탄소톤

- 배출량은 목재로 이용하기 위해 잘라냈을 때 배출되는 탄소량이며, 총흡수량은 나무의 생장에 따라 탄소를 흡수하는 양에서 계산

※ 별채한 목재에 탄소가 저장되지만 기후변화협약에서는 별채를 배출로 간주

- 산림 1 ha 는 자동차 1대가 내뿜는 이산화탄소를 흡수

· 우리나라 산림의 연간 ha당 탄소 순흡수

표 1. 교토의정서에서의 산림활동 유형별 국내의 인정여부와 양적 제한

연도	순흡수량	총흡수량	배출량
2000	11,299	12,333	1,034
2001	10,610	11,569	959
2002	10,293	11,286	993
2003	10,281	11,401	1,120
2004	10,266	11,503	1,237

표 2. 우리나라 이산화탄소 흡수량 및 배출량

구 분	신규조림/재조림	산림경영
국내활동	양적 제한 없음	제1차 공약기간(2008-2012)에 있어서는, 국내흡수분과 공동이행제도 함께에 기준년도 총배출량의 3% 상한을 인정
공동이행제도	양적 제한 없음	
청정개발체제	제1차 공약기간에는 기준년도 총배출량의 1% 상한	제1차 공약기간에는 인정되지 않음

량은 약 1.9탄소톤이다.. 그리고 자동차 1대당 연간 온실가스 배출량은 약 2.2탄소톤으로 알려져 있다(2000년 기준). 따라서 자동차 1대를 보유하고 있는 사람은 산림 1ha 이상을 조성하여 잘 가꾸어야 할 것이다.

- 산림 1 ha 는 매년 5.1톤의 산소를 생산

· 나무는 이산화탄소 흡수기능 이외에 산소를 생산하는 기능도 갖고 있다. 산소 생산량은 이산화탄소와 산소의 분자구조로부터 계산할 수 있는데, 현재 우리나라 1ha의 산림에서는 매년 약 5.1톤의 산소를 생산하고 있다.

3) 수종별 이산화탄소 흡수량

- 나무 종류별로 연간 이산화탄소 흡수량을 계산하기 위하여 우리나라 대표 나무라 볼 수 있는 잣나무, 낙엽송, 강원지방소나무, 중부지방소나무, 리기다소나무, 편백나무, 상수리나무, 신갈나무 임분수확표 자료를 이용하여 이산화탄소 흡수량을 계산한 결과 다음과 같다.

· 우리나라 산림의 연간 ha당 탄소 순흡수

- 나무가 1ha에 심겨져 50년까지 자랄 때의 부피를 토대로 몇 가지 전환인자를 적용시켜 연간 이산화탄소 흡수량으로 바꾼 결과, 탄소흡수량이 가장 많은 나무로 활엽수인 신갈나무, 상수리나무이며, 침엽수는 강원지방소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 등으로 나타났다.

4) 숲가꾸기와 탄소배출권

- 숲가꾸기란 지속가능한 산림경영의 기본 원칙에 따라 생태적으로 건전한 산림을 육성하고 우리 사회의 지속가능한 발전을 위하여 산림의 공익적, 사회·경제적 이익의 최적으로 발휘되도록 산림을 보전하고 관리하는 것을 의미한다. 이를 위한 산림 작업으로는 어린나무 가꾸기, 덩굴치기, 가지치기, 간벌, 병해충방제 등의 작업이 있

다.

- 이러한 숲가꾸기는 건전한 산림 육성을 통한 산림의 환경적 경제적 기능 향상을 목적으로 하는 공공적 국가사업으로 인정받아 현재까지 예산이 책정되어 왔으며, 숲가꾸기 사업에 따른 탄소배출권은 교토의정서상 온실가스 감축을 위한 산림경영활동으로 인정되어 있다. 따라서 숲가꾸기 사업은 산림의 공익기능 향상 및 탄소배출 감축 의무 부담을 감소시키는 국가사업으로서 그 당위성이 확대되고 있다.

- 숲가꾸기는 탄소감축 효과 이외에 경제적, 사회적 그리고 환경적인 효과를 제공하고 있다.

5. 대한민국의 기후변화협약 대응

표 3. 수종별 연간 이산화탄소 흡수량 (자료 : 임분수확표, 2003, 국립산림과학원 산림평가과 내부자료)

수종 \ 임령	20	30	40	50
강원지방소나무	2.4	2.5	2.6	2.6
중부지방소나무	1.6	2.3	2.3	2.1
잣나무	2.4	2.6	2.7	2.6
낙엽송	3.1	3.0	2.8	2.6
리기다소나무	2.2	2.4	2.6	2.6
편백	2.1	2.0	1.9	1.9
상수리나무	3.1	3.3	3.2	3.0
신갈나무	4.2	3.7	3.3	3.0

표 4. 숲가꾸기 사업을 통한 탄소감축 효과

활동/효과		과정	탄소 효과
산물 이용	바이오에너지	석탄, 석유 사용 감축	탄소배출 감축
	목제품	저가공 에너지, 원자재	탄소배출 감축
산림 건강성 향상		병충해/산불에 강해짐	탄소배출 감축
대경제 생산 가능		내구성 목제품 가공	탄소저장량 증가

가. 정부차원 기후변화협약 대응 종합대책
 - 정부는 1998년 기후변화협약에 효과적으로 대처하고자 국무총리를 위원장으로, 산업자원부, 환경부, 농림부 등 각 관련 부처의 장관 및 에너지, 환경 등 전문가 집단으로 구성된 「기후변화협약 범정부대책기구」를 설치한 바 있다. 정부는 같은 해 12월 「기후변화협약 대응 제1차 종합대책」을 수립, 실행한 이후 교토의정서가 발효된 2005년부터 2007년까지 수행할 「기후변화협약 대응 제3차 종합대책」을 수립, 발표하였다.

- 기후변화협약 대응 제3차 종합대책은 크게 의무부담을 대비한 협상기반 구축, 온실가스 통계·분석시스템 개발, 온실가스 감축관련 연구개발, 기후변화협약에 대응한 교육·홍보, 향후 교토메커니즘을 활용하기 위한 기반을 구축하는 29개 「기반구축사업」이 있다. 다음으로 온실가스를 배출 또는 흡수하는 부문별 45개 「감축사업, 마지막으로 기후변화 모니터링 및 방재기반을 확충하는 사업 및 생태계 및 건강 영향평가로 구성된 16개 「적응기반사업」이 마련되

어 있다.

- 다음 체계도는 정부차원에서 기후변화협약과 관련된 부처의 유기적인 연계와 대책을 수립하기 위하여 구축된 대책기구이다.

나. 산림부문 기후변화협약 대응 대책

1) 탄소흡수원 확충기본계획

- 산림청은 「기후변화협약 대응 제3차 종합대책」을 보다 효과적으로 대처하기 위하여 다음 내용을 주로 하는 「탄소흡수원 확충 기본계획」을 수립하였다.

· 숲가꾸기

산림경영에 제약이 없는 일반 잠재적 산림경영지 490만ha에 대한 숲가꾸기 사업을 2022년까지 완료하여 온실가스 흡수원으로 인정받을 수 있도록 추진할 예정

☞ 1단계 : 2012년까지 240만ha

☞ 2단계 : 2017년까지 365만ha

☞ 3단계 : 2022년까지 490만ha

· 유희지 조림 및 도시림 확대

☞ 영농조건이 불리하여 생산성이 낮은 계농지를 대상으로 신규조림을 추진하여 탄소흡수원으로 확충하는 계획

표 5. 숲가꾸기의 경제적, 사회적 및 환경적 효과

구분	구체적 효과	근거
경제적 효과	목재의 경제적 가치 향상	용이 없는 대경재(大徑材) 생산
사회적 효과	사회적일자리 창출	노동집약적인 사업 (예산의 90%가 인건비)
	낙후지역 균형발전	사업지가 농산촌지역
환경적 효과	탄소흡수 증대 (배출권 확보)	교토의정서상 인정 활동
	수원함양기능 증대	다층림(多層林)의 발달
	산불 확산 억제	산불 연료의 감소
	산사태 및 토사유출 방지	뿌리 발달에 의한 억제
	생물다양성 증진	하층에 식생이 발달
	산림 휴양 경관 증진	탐방객들 가꾼 숲 선호

- ☞ 도시 숲 및 가로수 조성 확대를 통한 탄소흡수원의 확충
 - 산림재해 방지
- ☞ 과학적인 산불예방 및 초동진화로 산림소실 면적을 최소화
- ☞ 산림병해충 예찰기능 강화 및 적기방제로 피해면적의 확산을 억제
- ☞ 사방산업을 확대하여 산사태예방 및 수해피해를 최소화
 - 산림전용 억제
- ☞ 타용도로 전용되는 산림면적을 7천 ha 미만으로 유도
- ☞ 불가피한 경우 산지개발을 허용하되, 훼손을 최소화하는 등 자연친화적 개발 도모
 - 이 외에도 목제품 및 목질바이오매스 활용사업과 향후 CDM 조립사업을 대비하기 위한 해외조립사업 부문도 포함되어 있음

- 2) 기후변화협약 대응 산림부문 연구
 - 국립산림과학원은 온실가스 흡수원인 산림을 통해, 지구 온난화 방지에 기여하고, 우리나라 온실가스 감축의무 부담을 완화시키기 위한 정책 및 기술 개발을 위하여 “산림부문 기후변화협약 및 교토의정서 대응 연구” Master Plan을 작성하였다. 이는 과학기술부 “기후변화협약 대응 연구개발 종합대책”에 반영되어 부처간 상호 유기적인 연구체계를 갖추게 되었다.
 - 세부 연구추진 방향
 - 온실가스 통계시스템 구축 : 산림경영 등 산림활동 결과에 의한 탄소흡수량 증대를 탄소배출권으로 인정받기 위한 산림부문 온실가스통계 조사, 보고, 검증 시스템의 구축
 - 국내 탄소흡수원 확충 : 국내 산림의 효율적 탄소 흡수 확충을 위한 국내 산림정책, 산림경영 및 시업 기술, 수종 등의 개

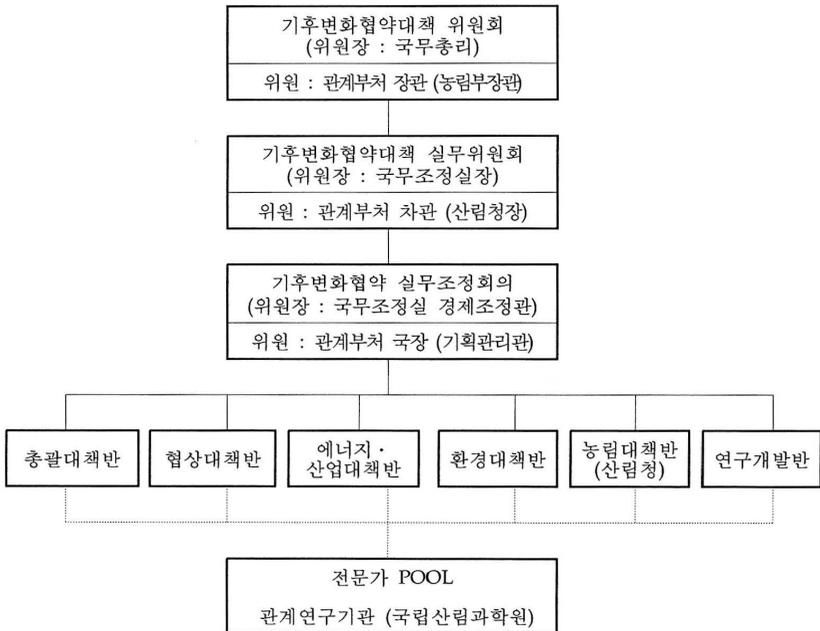


그림 5. 기후변화협약 대응 정부 대책 기구

발 및 평가

· 해외 공동조림 사업 : 교토의정서하에 서 선진국 간, 선진국 및 개도국 간 공동조림사업을 통한 탄소배출권 획득 지원을 위한 계획서 작성, 정보 축적·분석 등 기반 구축

· 목재 및 목질계 바이오에너지 : 화석연료의 대체에너지인 목질계 바이오에너지 생산 기술 확립과 화석자원의 대체재로써 목재의 장기적 이용을 위한 목재 및 목제품 활용 기술 개발

· 기후변화 영향적용 및 평가 : 장기적인 생태계변화를 모니터링하고 생태계변화 예측 모델링 등을 통해 기후변화가 산림생태계, 산림재해 및 임업에 미치는 영향을 평가하고, 이를 토대로 효율적 적용 전략을 수립

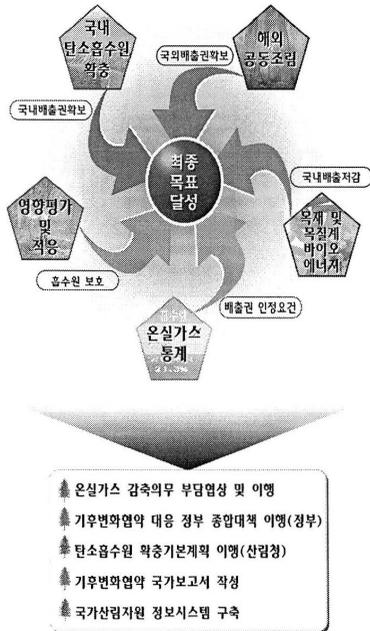


그림 6. 산림의 탄소배출권 확대기반 구축 연구 체계도

※ 기후변화협약, 교토의정서, 산림의 역할 등에 대한 더욱 자세한 내용은 다음 웹사이트 자료 참고

1. 기후변화협약 공식 홈페이지 : UNFCCC <http://www.unfccc.org/>
2. 지속가능한 개발(기후변화협약 포함) 관련 최근 동향 : IISD_Linkages <http://www.iisd.ca/Linkages/>
3. 지구온난화 관련 최근 뉴스 : Climate Change http://dailynews.yahoo.com/full_coverage/world/global_warming/
4. 세계자원연구소 산림의 탄소흡수저장 : Carbon sinks and sequestration <http://www.wri.org/climate/sinks.html>
5. 산림과 임업의 탄소저감 역할 : COST E21 <http://www.bib.fsagx.ac.be/coste21/>
6. 호주 뉴사우스웨일즈주 탄소권 관련 조림투자 : NSW Carbon http://www.forest.nsw.gov.au/Frames/f_carbon.htm
7. 일본 지구온난화 관련 활동 : 全地球暖化防止活動推進センタ <http://www.jccca.org/index.html>
8. 기후변화관련 훈련 : CCTrain - Climate Change Training and Capacity Building <http://www.unitar.org/cctrain/>
9. 탄소배출권 교역 : Carbon Trading Exchange Global Market Place <http://www.carbontradingexchange.com/>
10. 탄소배출권 교역 : Carbon Trading <http://www.carbontrading.com/>

11. 탄소배출 계산기 : Climate Change Calculator http://www.climcalc.net/eng/Learn_More/climatechange.html
12. 공동이행제도 네트워크 : JI Online Climate Change Information Network <http://www.ji.org/>

참고문헌

1. 강승진. 2006. 기후변화협약의 전개과정 및 최근 논의동향. 국립산림과학원 전문가 초청세미나 자료집(1).
2. 국립산림과학원. 2005. 산림부문 기후변화협약 및 교토의정서 대응 연구 Master Plan.
3. 국립산림과학원. 2006. 기후변화협약 대응 산림부문 연구방향. 교토의정서 발효 1주년 학술심포지움 자료집.
4. 국립산림과학원. 2006. 온실가스 통계시스템 구축방향 및 기반현황. 산림부문 온실가스통계 Workshop 자료집.
5. 산림청. 2005. 탄소흡수원 확충 기본계획.
6. 손영모. 2005. 탄소흡수원으로서의 산림. “환경정책평가연구원” 세미나 자료
7. 손영모. 2006. 기후변화협약 하에서의 숲의 역할. “생명의 숲” 특강자료
8. 에너지경제연구원. 2005. 기후변화협약과 우리의 대응정책. 세미나 자료집
9. 이경학 외. 2005. 지구온난화, 기후변화협약, 산림. 국립산림과학원 연구보고 05-04.
10. 이경학. 2005. 기후변화협약 산림분야 국제워크샵 참가 자료
11. 임재규. 2006. Post-2012 온실가스 의무 감축부담 협상의 쟁점 및 우리의 대응방향. 국립산림과학원 전문가 초청세미나 자료집(4).

범 지구 차원 탄소순환과 일본의 증장기적 흡수원 대책¹

- 교토의정서 및 Post-2012 체제 -

최 정 기

1. 범 지구 차원 탄소순환과 육상 탄소 흡수원

범 지구 차원 탄소순환이 인위적인 탄소 배출에 의해 변동하고 있다. 이제까지 육상 생태계는 지구상에서 대규모 탄소흡수원으로서 대기 중에 탄소 축적을 완화하는 역할을 해왔다. 그러나 지구온난화 영향에 따라 금세기 중에도 육상생태계 흡수원 기능이 감소될 것이 예상되고, 결국 소멸해 버릴 가능성이 각종 모델 예측에 의해 지적되고 있다. 이런 이유로 21세기에 장기적인 온난화 대책 (산림 등의 흡수원 대책을 포함한다)을 검토해 가기 위해서는 범 지구 차원 토지이용 변동과 기후변화 양쪽이 육상생태계 탄소흡수원 기능에 주는 영향을 정확하게 평가하는 것이 매우 중요시 되고 있다.

그림 1.1은 과거 40만년의 대기 중 CO₂ 농도의 변동을 표시한다. 이것을 보면 대기 CO₂ 농도는 빙하기와 간빙기의 사이클에 따라 180ppm에서 280ppm의 간격으로 변동하고 있고, 인류가 호모사피엔스로 진화한

이후 (20-30만 년 전) 현재에 이르기까지 기간에 대해서는 이 범위를 초과할 만한 큰 탄소 변동은 없는 것을 알 수 있다. 그것은 산업혁명 이후부터 현재 (370ppm)까지 이미 100ppm 상승했고, 이후 다시 증가해 온난화 대책이 잘 되어도 600~700ppm, 본격적인 온난화 대책이 되지 않고 현재대로 CO₂ 배출이 계속되면 이미 1000ppm에 이를 것으로 예상되고 있다. 이것은 매우 중대한 지역시스템의 변화이고 기후시스템 변동과 이에 동반하는 대규모적 지구생태계의 영향이 염려되는 점이다.

그림 1.2는 1990년대 범 지구 차원 탄소순환의 모습을 모식적으로 그린 그림이다. 약 4000Gt의 화석연료 (석유와 석탄)가 존재하고 있고 매년 6Gt씩 배출되고 있다. 어떻게 보면 이 화석연료를 모두 불태워서 대기 중의 CO₂를 증가시키지 않고 해결하는 것을 검토하는 것이 지구온난화 문제 해결의 핵심이다. 이 탄소순환 중에서 해양과 대기와 탄소 교환 (쌍방향의 탄소 수출입량)이 가장 크고, 연간 약 90Gt 정도의 출입이 있지만 연간 약 2Gt의 흡수원으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 한편 육상생태계 (식물 및 토양의 생태계)와 대기 사이에도 약 60Gt의 탄소 교환이 있지만 흡수량 쪽이 3Gt 많은 점에서 육상생태계도 흡수원으로 되고 있다. 또 대기 중에는 약 750Gt의 탄소가 존재하고 인위 추출된 탄소 중 바다에서도 육지에서 흡수되지 않은 탄소가 매년 대기 중에 계속 축적되고 있다. 인간 활동에 의해 배출된 탄소의 이후 향방에 초점

표 1. 범 지구 차원 탄소수지 내역

+6.3Gt	화석연료에서 배출
+1.6Gt	산림 벌채에 의한 배출
-1.7Gt	해양에 의한 흡수
-3.0Gt	육상에 의한 흡수
3.2Gt	대기로 축적 증가

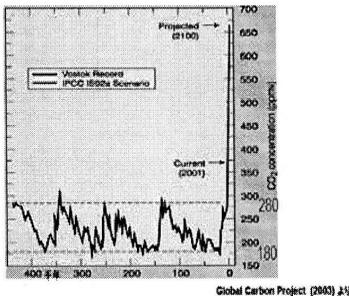


그림 1. 대기 중 탄소농도의 변천

¹ 일본 “육상생태계의 탄소흡수원 기능평가-교토의정서의 제2차 공약기간 이후 검토를 위해-”. 2006. 일본 국립 환경연구소 지구환경연구센터 자료집에서 발췌

을 맞춰 수치를 생각하면, 1990년대 범 지구 차원 탄소수치는 표 1과 같다.

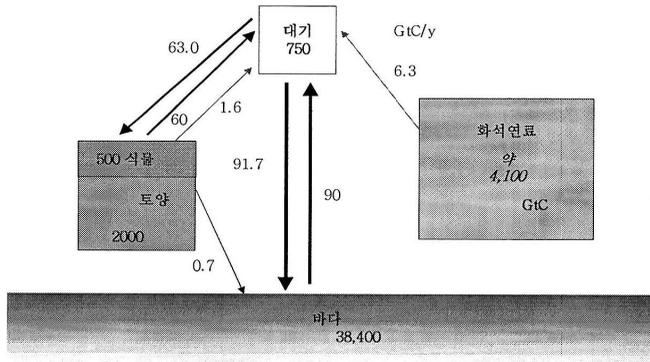
인간에 의한 배출이 6.3Gt 증가이고, 산림 벌채 등의 토지이용 변화에 따른 탄소 배출은 IPCC 보고서에서 1.6Gt로 추정되고 있다. 이것을 더한 인위적인 탄소 배출 총량의 7.9Gt에서 해양 및 육상생태계에 의한 탄소 흡수분 4.7Gt를 뺀 나머지 3.2Gt가 대기 중에 축적되어 있고, 이것이 온난화를 일으키는 요인이 되고 있다. 즉, 현 상태에서는 인위적으로 배출된 탄소의 60%가 바다와 육지 생태계에 의해 흡수되고 있다. 범 지구 차원 탄소순환의 변동을 생각할 때 탄소흡수원의 역할을 생각하는 것이 매우 중요한 것은 이 숫자에서도 알 수 있다.

미세한 육상생태계에서 탄소수치 내역을 그림 1.3에 나타낸다. 우선 처음에 모든 지구상의 생명활동의 원천인 산림 등의 식물 광합성에 의해 120Gt의 탄소가 흡수되고 있다. 이것은 인간에 의한 배출량과 비교하면

20배의 수치이고, 그 규모의 정도를 알 수 있다. 그러나 광합성에 의한 탄소흡수 내의 부분은 다시 호흡에 의해 배출되어 버린다. 다음에 식물이 말라서 토양이 분해되는 정도에서 약 50Gt가 토양미생물의 분해 등으로 배출된다. 덧붙여 도쿄의정서에서 배출로 계산되는 인간에 의한 벌채와 화재 등의 교란 (Disturbance)에 의한 배출이 약 9Gt이고, 최종적으로는 약 1Gt 정도의 흡수량이 남는 계산이 된다. 장기적으로는 이 육상생태계의 탄소수치를 보면, 산림을 증가시키는 것, 배출과 계산되어 있는 교란 (산림감소)을 줄이는 것, 그리고 이용되지 않고 분해해 버리고 있는 바이오매스의 이용 (그중 3할 정도의 약 14Gt 정도는 장기적으로 이용가능 할 것으로 생각된다)이 육상생태계와 관련된 온난화 대책으로 가능성이 있는 것이 이해된다.

범 지구 차원 육상생태계의 탄소흡수원 기능 전체의 탄소수지에 대해서는 과거와 비교해 현재 증가하고 있는 것으로 생각되지

1990년대의 글로벌 탄소순환



IPCC TAR에서 ??

그림 2. 1990년대의 범 지구 차원 탄소순환

만, 실제로는 과학적인 해명이 충분하게 되어 있지 않은 것이 현실이다. 육상생태계에서 탄소흡수량 변동의 주요 영향 인자는 아래와 같은 것이 고려된다.

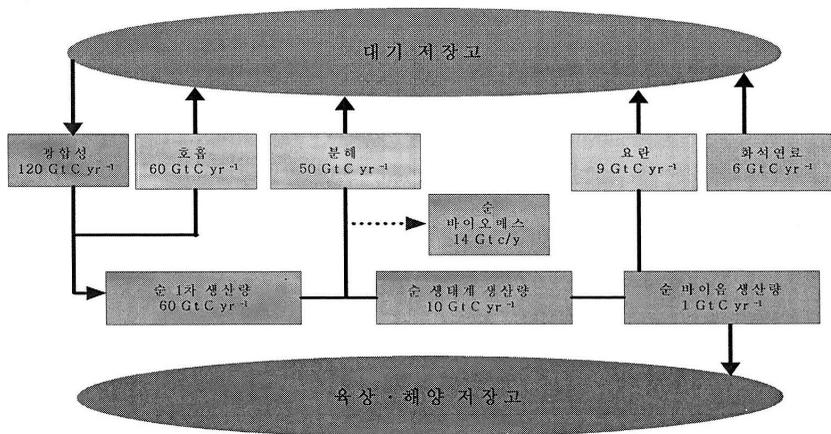
- 기온 상승에 의한 식물 성장
- CO₂의 시비 효과 (비료로서 CO₂가 작용하여 식물 성장 촉진)
- 토지이용 변화
- 기온 상승에 의한 토양 호흡량 증가
- 질소 시비 효과에 의한 식물 성장 촉진
- 산림화재 발생

이것을 전부 서로 합친 육상생태계 흡수원 기능의 과학적 해명이 중요한 연구과제가 되어 있고, 세계 각국에서 실험과 모델을 통해 연구가 되고 있다. 또 장래 변동을 예측하는 것을 목적으로 범 지구 차원 기후 모델을 사용한 연구도 본격적으로 개시되고 있다.

그림 1.4는 모델에 의한 육상 탄소흡수량 변동 예측의 예를 나타낸다. 이와 같은 기후 모델과 육상생태계 모델을 결부시킨 예측 모델에 의한 연구는 근래 들어 구미 등에서 다양한 모델 분석이 실시되고 그 결과

가 보고되고 있다. 이 모델 예측의 결과 사이에는 큰 차이가 있지만 일치해서 말하는 결론은 금후 50년 정도는 육상생태계 흡수는 증가할 것이고, 21세기 후반에도 흡수량이 한계점에 달해 그 후 감소로 바뀌어서 빠르면 2100년 늦어도 22세기 후반에는 흡수원 기능이 정지해 버린다는 예측을 하고 있다.

각각 지역에 있는 인위적으로 관리된 성장을 계속하는 산림에 대해서는 화재 등으로 타버리거나 적응 한계를 넘는 급속한 온난화에 의해 말라버리지 않는 한, 토양에서의 배출 증대를 뺀 지상부에서의 산림 성장이 계속되는 것이 기대되어 흡수가 멈춰서 배출될 가능성은 그만큼 크지 않다고 생각된다. 그러나 인위적으로 관리된 산림 등은 범 지구 차원으로 보면 일부이고, 육상생태계 전체로 보면 온난화 영향을 받고 있어 배출원 으로 돼버릴 가능성이 크게 된다. 즉 인위적으로 조림된 산림 등에서는 수목의 성장이 계속되는 것과 비교해 시베리아, 캐나다 호랑이, 현재 생태적인 평형상태에 있는 자연림에서는 CO₂ 시비효과 등에 의한 지상부 성장의 증대 효과가 한계점에 달한 것에 대해서는 온난화 영향에 의한



IPCC TAR에서 변경

그림 3. 범 지구 차원 탄소순환에서 흡수원 활동의 가능성

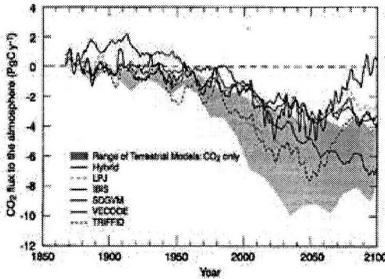


그림 4. 모델에 의한 육상 탄소흡수량의 변동 예측
 토양에서의 배출이 증대하고 전체로는 배출원 으로 흘러버릴 것이 염려된다. 또 일부 모델에서는 아마존 외의 열대림이 온난화 영향으로 건조해져 대규모적 화재를 일으켜 감소될 예측도 하고 있다.

급후 장기적인 지구온난화 문제를 생각하는데 있어 이런 탄소순환의 변동을 알고 이 변동을 어떻게 관리해 가는가에 대해 생각하는 것이 중요한 문제가 된다. 그림 5는 탄소순환 시스템의 변천과 관리를 나타낸다.

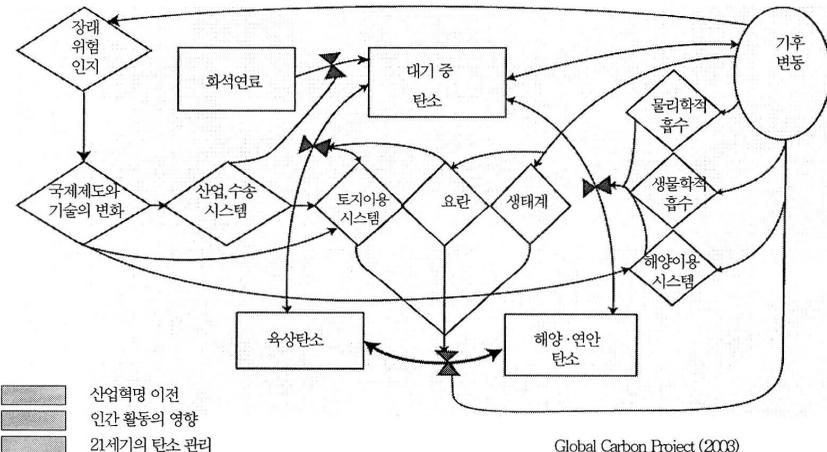
산업혁명 이전, 인간 활동이 지구환경에 그다지 영향을 미치지 않은 시대에는 육상, 해양 · 연안생태계와 대기 중에 있는 탄소

순환이 평형상태에 있었다. 그에 반해 산업혁명이 일어나고 토지이용이 변화하고 게다가 새로운 수송 시스템이 생겨 화석연료가 대규모로 불태워짐에 따라 지구환경으로의 부하가 증가해 온 상태가 현재 상황이다. 대규모적인 기후변화는 실제로는 다시 일어나고 있지 않지만, 21세기 시간의 척도를 생각하면 기후변화는 피할 수 없는 현실적인 위협이다.

교토의정서를 시작으로 하는 국제제도과 기술혁신에 따라 탄소순환을 컨트롤하여 인간 자신의 활동이 지구환경에 끼치는 영향을 줄여가지 않으면 탄소순환이 크게 변동하고 우리의 생존을 유지하는 기반이 되는 기후 시스템을 위협할 사태가 될 수 있다. 그중에서도 특히 육상생태계 변동이 어떻게 될 것인가에 대해 설명을 하는 것과 그 탄소수지를 관리 (완화 대책만은 아니고 적응 대책을 포함한다)하기 위한 유효수단을 생각해 보는 것이 중요한 과제가 되고 있다.

탄소순환 시스템의 변천과 관리

2. 교토의정서에서 흡수원 평가와 장기적인 흡수원 대책의 과제



Global Carbon Project (2003)

그림 5. 탄소순환 시스템의 변천과 관리

교토의정서에서 우선 도입된 흡수원을 사용한 온난화 대책은 조림 (Forestation)과 산림관리 (Forest Management)이다. 수목이 없어져 버린 곳에 나무를 한 번 더 심는 조림활동과 기존 산림에 적절한 관리를 추가적으로 실시하여 산림을 다시 성장시키는 산림관리 활동이 우선 교토의정서 제 1차 공약기간의 온난화 대책으로 평가되게 되었다.

그러나 조림과 산림관리만으로는 인간이 관여할 수 있는 부분은 한정되어 있고, 긴 안목으로 보면 흡수량은 한계에 달해 버린다. 이것을 온난화 대책으로 장기적으로 이어가기 위해서는 바이오매스, 바이오매스 활용 에너지와 바이오매스 연료, 주택, 목제품, 숯 등의 이용까지 흡수원 이용의 네트워크를 넓힐 필요가 있다. 최종적인 온난화 대책으로는 「탈탄소사회」를 화석연료가 고갈하기 전에 만드는 것이 중요하고, 그 구조 속에서 흡수원이 어디까지 사용되는가를 평가하고 최종적인 목표로 삼아서 어떤 루트로 흡수원을 활용해 가는 것이 좋은가에 대해 연구를 진행하는 것이 현재 중요한 과제인 것을 알 수 있다. 그림 1.6은 흡수원 활동에서 장기적인 온난화 대책으로의 연계를 나타낸다.

3. 교토의정서 제 1차 공약기간의 육상 탄소흡수원 처리

교토의정서 3조 3항, 3조 4항에서 인위적인 활동에 의한 산림 등의 탄소흡수원을 확대하는 활동이 각 나라에 할당된 탄소감축 수치 목표달성에 기여하는 온난화 대책의 일부로서 인정되었다. 구체적으로는 3조 3항에서 신규조림 (Afforestation), 재조림 (Reforestation), 산림감소(Deforestation)의 3개 활동 (ARD활동)이 계산되게 되었다. ARD 활동 중에는 입업 실시에 따른 재조림은 들어가지 않는 것으로 합의가 되었다. 한편 3조 4항에서 산림관리, 농지 · 목초지 관리가 나라마다 정해진 계산 가능한 흡수량의 상한치(CAP) 범위에서 계산되게 되었다. 그러나 산림감소 방지 (산림감소가 예측되는 점에서 그것을 방지하는 활동)는 인정되지 않는다. 이런 제 1차 공약기간에 들어가지 않는 활동은 제 2차 공약을 위한 과제가 되고 있다.

또 산림생태계의 지상부와 지하부 양쪽 탄소저장품의 증대를 흡수량으로 계산하는 것이 결정되었다. 이것에 의해 수목뿐만 아니라 토양에 대해서도 고려할 필요가 있지만, 이것은 매우 어려운 계측을 필요로 하므로

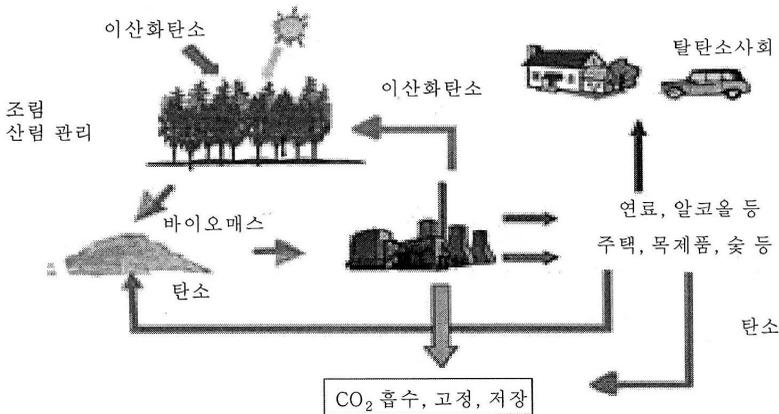


그림 6. 흡수원 활동에서 장기적인 온난화 대책으로의 연계

어디까지 정확히 평가할 필요가 있는가가 의논되고 있고 다양한 연구가 실시되고 있다.

흡수원 활동 계정 (의정서에서 계산하는 규칙)의 제 1차 공약기간에서 규칙은 공약기간이 2008년에 갑자기 나타나 복잡하게 되어 있다. 예를 들면 1990년 이후 조림활동에 의해 산림은 점차 성장해 오고 있음에도 불구하고 2008년부터 갑자기 흡수가 계산되기 시작했다. 반대로 1990년 이전부터 조림하던 부분에 대해서는 일절 계산하지 않는 등 균형 없는 규칙이 문제가 있다. 또 조림을 해도 벌채분에 대해서는 배출로서 계산되므로 성장이 이른 나무를 조림해서 공약기간에 벌채하게 되는 경우에는 그림 1.7의 5년 사이에서 생각하면 전체로는 배출로서 계산되어 버리게 된다. 활동 연도와 수치목표의 공약기간이 한정되는 것에 의한 치우친 계정 방식을 어떻게 변경해서 문제점을 줄일 수 있을지가 급후 과제로 남겨져 있다.

이런 규칙 하에 일본에서는 3조 4항에 의해 90년의 온실효과가스 배출량비로서 3.9%(13MtC)를 상한으로 산림관리에 따르는 탄소흡수량이 계산될 수 있게 되었다. 그림 1.8은 NIES에서 개발된 TsuBiMo (츠쿠바 생물원 모델, 자세한 것은 제 2장 참조)를 이용한 시뮬레이션에 의해 일본 산림

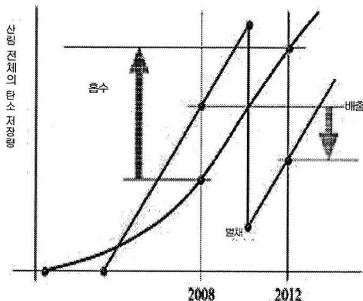


그림 7. 조림 활동에 의한 공약기간의 탄소흡수량

(인공림)의 탄소흡수량을 평가한 결과이다. 본 모델에서는 국내 인공림의 지역별 (1km 메시 每) 흡수량이 계산되고 있고, 2000년에는 전체 18MtC 정도의 흡수가 있는 것으로 추정되었다. 시뮬레이션에서는 산림 벌채간격 (벌기)을 70년으로 가정하고 있지만, 급후 전후에 조림된 산림이 일제히 벌기를 맞게 되고, 2015년에는 벌채에 따른 배출이 증가해 전체 흡수량이 감소할 것으로 예상되었다. 실제로는 임업 수요의 침체에서 벌기가 장기화 될 경향이 있지만, 벌채 즉 배출로서 계산되어 있는 현행 도쿄의정서 규칙에서는 한번 3조 4항에 등록된 산림 (FM림이라고 부른다)에서 벌채와 화재는 모두 배출로 계산되게 되었다. 이것은 실제로는 벌채 후에도 목재로서 장기적으로 사용되고 있는 경우에도 배출로 계산되는 등의 문제가 있고, 벌채 목재 활용에도 동기가 주어지도록 급후 어떻게 규칙을 변경하는가는 제 2차 공약기간 이후 의논에서 매우 중요한 문제가 되고 있다.

4. 2013년 이후 육상 탄소흡수원 (LULUCF) 옵션에 대해

4.1 흡수원 옵션 검토에서 기본 원칙

제 2차 공약기간 이후 교토의정서에서 흡수원을 어떻게 다루는가에 관해 급후에도 계속 국제적 검토 (교섭과 워크숍)가 실시될 예정이다. 본 장에서는 흡수원 옵션의 참고 예로서 IPCC의 LULUCF 특별보고서

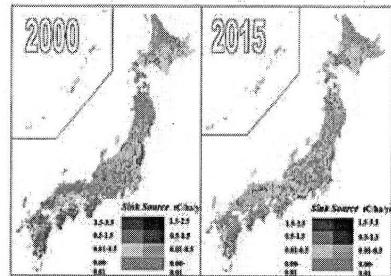


그림 8. 생태학적 모델에 의한 일본의 산림 CO₂ 흡수량 산정

(2001) 저자 논문 “Options for including LULUCF activities in a post-2012 international climate agreement (2006)” 의 내용에 기초해 어떤 옵션이 있는가를 검토한다.

우선 2013년 이후 교섭에서 기본적인 과제로 두개의 포인트가 있다. 첫 번째는 제 1차 기간에 수치 목표를 우선 설정하고 나서 흡수원 계산방식에 따라 규칙을 교섭한다는 문제이다. 이런 이유 때문에 그 후 흡수원 처리에 관한 교섭 (COP3-7)을 매우 정치색 강한 것으로 해 버린 점이 지적된다. 이런 반성에서 제 2차 공약기간에는 이제까지의 과학적인 검토를 밟아 중장기적 시점에서 흡수원 활동을 평가하는 원칙을 확립하고, 과학적이면서도 단순한 계정 규칙을 정하는 것이 중요하다고 생각된다.

두 번째는 흡수량 상한 (Cap) 설정에는 불확실성의 할인 등에 기본적인 문제 (과학적인 검토에 기초하지 않는 일률 감축률 설정, 추가적 활동 실시 동기 상실 등)가 있고, 재고가 필요하다고 생각된다.

실제 제 1차 공약기간에서 흡수원 계정방식 결정에 관해서도 세 개의 큰 문제점이 지적

되어 의논되어 왔다. 첫 번째는 「포화 (Saturation)」 문제이다. 전술한 대로 육상 생태계는 범 지구 차원 흡수원으로 얼마 안 있어 흡수량이 한계점에 도달하는 것도 문제이지만, 여기서의 「포화」는 과거에 대규모로 산림을 감소시킨 나라가 그 후 산림을 재생한 경우 산림이 성숙해 가면서 성장량 (탄소흡수량)이 감소한다는 것이다. 이것은 일본에서도 같고, 현재 50~60년생 나무가 대개는 흡수량이 크지만 노령화에 의한 성장이 한계점에 다다르고 있다. 두 번째는 「비영속성」이다. 이것은 조림 등 흡수원 대책의 경우 배출 감축 대책의 경우와 달리 한번 흡수된 탄소가 화재와 벌채 등에 의해 다시 한번 방출되어 버린다는 문제이다. 실제 CDM에서의 조림에서는 이 위험이 증시되어 탄소배출권에 유효기한이 설정되었다. 세 번째는 산림 재생과 관련해 조림활동 등의 인위활동에 의해 재생되고 있는 부분과 자연적으로 재생하고 있는 부분의 분리가 어려우므로 3조 4항 등에 규정되고 있는 추가적이고 인위적인 관리를 어떻게 정의하는가의 문제이다. 교토의정서의 기본 정신인 인위적 영향에 의한 흡수의 증가를 충실하

ARD

- 1990년 이후 활동을 대상
- Gross-net 계정
- 필수 보고

FM

- 1990년 이후 관리가 대상
- FM-Cap에 의한 상한치 설정
- gross-net에서 계정
- 임의보고

CM, GM, RV

- Net-net 계정
- 임의보고

Cap의규칙

그 자체는 완성하고 있으므로 산정 규칙에 관 교섭할 필요는 없지만 각 공약기간에 FM cap은 재교섭을 하게 된다.

교토의정서 비가맹국의 참가 촉진의 필요성

현행 시스템에서는 제1차 공약기간에 교토의정서에 가맹하지 않은 나라의 산림감소에 관한 목표 설정이 없다. 이들 나라의 참가를 재촉하는 flexibility 확보에 대해 검토할 필요가 있다.

Factoring out 문제 계속

삼림 분야에 gross-net 방식을 사용하기 위해 포화의 영향은 피하는 것이 가능하지만, 비직접 인위적 영향, 자연 영향에 의한 변화는 기준년이전의 수목 구성의 영향 분리라는 Factoringout 문제는 계속된다.

모니터링

보고 대상지가 차차 증가해 가는 것과 토지형상이 다시 미세한 배치 모양으로 되는 것에 따라 모니터링 비용 증대와 난이도 향상의 가능성이 지적되고 있다.

그림 9. 현행 시스템 계속 개요

게 검토하면 이것을 분리할 필요가 나오지만 과학적으로도 대단히 복잡한 문제이므로 현 시점에서는 분리는 실시하지 않고 공약 기간에 모든 탄소축적량 변화를 보고하는 것으로 되어 있다.

흡수원 문제에 대해서 Post 교토의 구조를 포함해 증장기적인 시점에서 근본적인 문제에서 다시 한번 정리하는 것도 중요해지고 있다. 온난화 대책 평가 중에서 흡수원 확대를 배출 감소와 함께 평가하는 의미는 온난화에 관한 문제와 온난화 이외의 문제 양쪽으로 정리해서 생각할 수 있다. 우선 온난화 문제로는 열대림 감소 등의 토지이용 변화에 따른 탄소 배출 (연간 약 2GtC 정도)을 감축시키는 것이 가능하다면 가장 큰 의미가 있다. 다음으로 산림 흡수의 가능성을 늘려가는 산림관리 활동을 촉진하고, 화석연료의 사용을 대체하기 위해 별책 목재를 활용함과 동시에 바이오매스를 재생가능 에너지와 대규모로 도입하기 위한 공급을 확보하는 것이 중요하다고 생각된다. 또 흡수와 배출 양쪽을 생각해 온난화 대책의 일

관성을 갖게 할 수 있는 것과 지속가능한 토지이용 활동에 대해 동기를 주는 것이 가능한 것 등의 의미가 있다고 생각된다.

다음으로 기후변화 이외의 의미에 관해서는 각종 기후변화 이외의 산림에 관한 국제조약에서는 국제합의가 진전하지 않고 발효하지 않는다는 현실이 있고, 오히려 온난화 대책 구조와의 시너지 효과를 생각해서 산림보전 · 관리를 도모하는 것이 중요하지 않은가의 의견이 있다. 즉 사막화 방지, 토양노화 방지, 생물 다양성의 상실 방지, 먹이의 안정성 향상시키기, 기후변화에 대한 적응책 지원하기, 물 공급 증가하기, 농업생산성 · 산림생산성 발전시키기, 빈곤 완화 문제를 흡수원 대책과의 연관에서 검토하는 것이 가능하다는 점에서 흡수원을 온난화 대책 속에서 평가하는 것이 주요인 시점이다. 단 이런 다면적인 시너지를 너무 복잡하게 생각하는 것은 한편으로 온난화 대책 그 자체를 곤란하게 하는 면도 있어 신중하게 고려할 필요가 있다.

현재 개도국 (중국 외)이 Post 교토의 구조

<p>ARD RV</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 1990년 이후 활동을 대상, 임의보고 · Grossnet 계정 	<p>현행 시스템에서 수정점</p> <ul style="list-style-type: none"> · RV를 AR과 같은 방식으로 다룬다. · D debit은 net-net 계산 · FM에 cap을 설정하지 않는다. net-net 계산 <p>제1차 공약기간과의 제휴</p> <p>보고대상에 대해 D(및 AR)를 필수보고, AR, FM, CM, GM, RV는 임의 보고를 계속한다. 단 제1차 공약기간에서 보고한 활동은 제2차 공약기간에서도 보고한다.</p> <p>Factoring out</p> <p>FM 활동에 대해서 인공적인 Cap은 설정하지 않고, 1990년의 단락을 AR에만 한정하기 위해 산림의 1990년 이전 구조에 의한 영향의 Factoring out 문제는 해결한다.</p> <p>비 직접적 인위적 영향, 자연 영향에 의한 변화는 Net-net 계정을 이용하는 것이고, 기준기간과 새로운 공약기간의 비교가 되어 영향 정도가 크게 감소한다.</p> <p>복잡성의 증가</p> <p>대상지가 보다 세밀한 배치 모양으로 실향 되는 것에 따라 모니터링의 비용증대, 난이도 상승이 예상된다.</p> <p>표면상은 거의 바뀌지 않고 다소 임행이 다른 이웃한 산림에서 한쪽은 AR 크레딧 획득 가능. 다른 한쪽은 아무것도 생기지 않는다는 상황도 생각되어 시장가격을 비뚤어지게 할 가능성 지적</p>
<p>D</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 필수보고 · Net-net 계정 	
<p>FM</p>	<ul style="list-style-type: none"> · FM Cap은 설정하지 않고 포화 효과를 예측한 목표 설정에 의한 net-net 계정. 임의 보고 · 흡수량 강화에 관계된 특정 활동에 한정해서 보고, 단 배출을 증가시키는 관리 활동에 관해서는 필수 보고. AR과 같게 배출 증가와 관련된 활동은 net-net이고, 흡수와 관련된 활동은 gross-net으로 계정 · CDM 방식 적용 	
<p>CM GM</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Net-net계정을 기초로 하는 임의보고 · FM sub option 방식 적용도 가능 	

그림 10. 현행 산정 시스템 수정

에 참가할 때에도, 대 산림국인 캐나다, 미국, 오스트레일리아 등과 리시아가 새로운 구조에 참가할 때에도 배출 감축 노력의 일부로 흡수원 계산을 주장할 가능성은 높다고 생각된다. 새로운 구조 속에서 교섭을 복잡화 시키지 않고 정치적으로 허용할 수 있는 단순한 흡수원 대책 평가방식을 이것에서 생각해야 한다. 또 그 때 각국의 토지 소유제도는 크게 차이가 있으므로 그 차이를 잘 다루도록 국제 규칙을 설정 설계해야 한다고 생각된다.

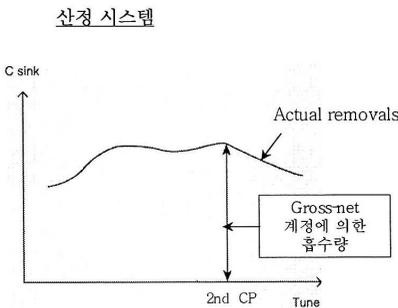
또한 산정 시스템에 대해서는 제 1차 공약 기간에서 운용이 개시되는 3조 3항, 3조 4항, 또 CDM에서 활동을 개시한 나라와 기업의 동기가 손상되지 않도록 교토의정서의 신용과 관련한 문제이다. 그리고 배출과 흡수가 일관된 방법으로 계산되어 치우침을 산출하지 않는 것, 비인위적인 영향 혹은 자연 영향에 대해서도 고려하게 되면 1990년 이전부터 있던 산림의 영향을 정확히 생각하는 것 등에 대해 검토할 필요가 있다. 또 전술한 비영속성, 누출, 추가성 등의 문제에 대해 정확히 처리하는 구조를 검토하는 것이 중요하다.

또 경제적인 동기에 대해서는 CO2 배출량 거래가 국제적 (EU와 US의 일부 주 등)으로 움직이기 시작하는 것이 결정되었으므로 금후 이런 시장과 교토의정서에서 탄소배출권과의 관계, 그리고 현재는 분리되어 있는 흡수원 활동에 의한 탄소배출권 (RMU, CER)과의 대체성을 어떻게 하는가 등에 대한 검토도 중요한 논점이다.

4.2. 2013년 이후 육상 탄소흡수원 (LULUCF) 옵션

제 2차 공약기간에서 옵션으로 크게 분류하면 이하 9개가 생각된다.

1. 현행 시스템 계속
2. 현행 시스템 수정
3. 전 관리지를 대상으로 하는 Net-Net 계정
4. 전 관리지를 대상으로 하는 Gross-Net 계정
5. 토지이용 카테고리별 평균 탄소축적량을 사용한 계정
6. LULUCF 분야와 다른 비 LULUCF 분야의 분리교섭방식
7. 특정 LULUCF 카테고리를 대상으로 한



· 모든 관리 대상지에 일괄해서 net-net 계정 적용, 대상지는 활동마다 분리하지 않는다.
 · 계정 대상은 공약기간만 기준 년의 수치를 공개 하지 않기 위해 기준 년은 필요로 하지 않는다.

흡수량 크기
 기준 년(기간)의 수치를 공약기간에서 끌어내지 않기 위해 각 나라가 산정하는 흡수량은 net-net 방식 산정 때와 비교해 증대되는 일이 많다.

목표 조정
 각 나라가 흡수량 목표를 포함한 배출 제한과 소멸 약속을 고려할 때는 비직접적 인위적 영향 등에 의한 효과도 포함한 흡수량의 크기를 추정할 필요가 생긴다.

Factoring out
 약속에 대한 실행의 효과가 실제 계측결과에서는 없고, 추계치를 기초로 한 산정으로 되므로 factoring out 문제는 net-net계정을 적용할 때 만큼 능숙하게 처리할 수 없다.

다른 분야와의 일관성
 다른 분야에서는 기준 년을 사용한 net-net계정을 하고 있으므로 LULUCF 분야에서도 net-net 계정이 적당한 것은 없다는 류의 의문이 생길 가능성이 있다.

그림 11. 전 관리지를 대상으로 하는 gross-net 계정 개요

나라 레벨의 계정에 의한 임의 보고

8. 배출을 일으키는 활동의 필수 계정과 흡수원 강화 활동의 임의 계정
9. 프로젝트 기초 계정

(1) 현행 시스템 계속

이것은 현행 교토의정서에서 시스템의 계속이다. 그림 1.9에 개요를 표시한다.

(2) 현행 시스템 수정

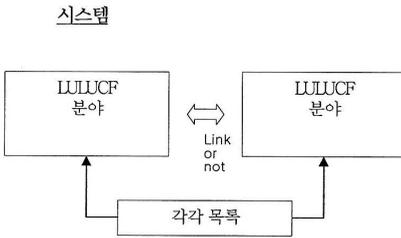
현행 시스템 수정판이다. 주요 수정 요소는 3개이다.

- 1) RV (Revegetation)를 AR (조림 · 재조림)과 동등한 방식으로 다룬다.
- 2) AR (조림 · 재조림)과 D(산림감소)를 나눠서 생각해 D(산림감소)에 대해서는 기준년을 일년간의 시기를 설정해 NET-NET로 계산한다.
- 3) FM (산림관리)은 NET-NET로 계산하고 cap을 제외한다.

이것은 산림 보전을 정확히 평가한 결과로 중요한 점이 된다고 생각된다. 제 1차 공약 기간으로부터의 연제라는 의미에서 제 1차 공약기간에서 보고한 활동에 대해 제 2차 공약기간에서도 계속해서 이 새로운 규칙으로 이행해 가는 것이 고려된다. FM에 대해서 cap을 설정하지 않기 위해 factoring out에 대해서는 net-net으로 계산하는 것으로 대처한다. net-net으로 계산하는 것에 따라 상승되고 있는 간접적인 흡수 효과의 부분은 공약기간과 기준기간에서 거의 같은 정도로 상승되고 있기 때문에 이 두개의 수치를 공제하는 것으로 cancel out하는 것이 가능하므로 실질적으로 factoring out이 가능하다고 생각한다. 그림 1.10에 본 옵션의 정리를 표시한다.

(3) 전 관리지를 대상으로 하는 NET-NET 계정

현재 기준년이 1990년으로 일의적으로 결정되어 있지만, 이 기준년을 기간으로 해



- LULUCF 분야의 흡수에 관한 의논을 배출범위와 감축 공약 외에서 하고 다른 분야와는 다른 합의를 한다.
- non-LULUCF 분야와 신용거래를 통한 공식적 연결을 가진 접근과 배출권 거래와 연결을 갖지 않는 (delinked) 접근 두 개가 생각된다.
- 체결국은 흡수원과 비흡수원의 목표를 완전히 나눠서 설정하나, 교섭 자체는 동시병행으로 한다. 또 각 나라가 하는 노력 레벨은 양 분야를 일체화해서 고려한다.

분리의 이점

LULUCF 분야에 대해서 애매한 목표가 부과된 것과 불확실성이 높은 산정 규칙이 설정되는 것으로의 대응책 역할, 흡수원과 흡수원의 목표를 명확하게 하는 것으로 흡수에 대한 과잉 의론이 해소될 것이 기대된다.

분리에 의해 예상되는 불이익

LULUCF 분야와 nonLULUCF 분야를 포함 시킨 비용 개념이 희박하게 되는 것, 에너지 분야에서 LULUCF 활동에 대한 기금이 없어 질 것이라는 불이익이 상정된다.

다른 시스템과의 융합

de-linked 접근은 그 자체로 비영속성과 saturation 등의 문제를 해결할 수 있는 것은 아니고, 모든 접근이 능숙하게 기능하지 않을 가능성이 있다. 예를 들면 흡수원 합의 내에서 배출권 거래제도와 개도국에서 CDM을 체결국 I이 매입하는 제도 등의 시스템을 고려할 필요성이 생길 가능성이 있다.

비기후 변동계의 약속과 공존

de-linked 접근은 탄소축적량에 직접적으로 끼치는 영향을 정량화 하지 않는 정책과 법률에 의한 접근과 공존 가능하고, CBD와 UNCCD라는 다양한 주제에 의한 환경 합의로 일체화해 생각될 가능성이 있다.

그림 12. LULUCF 분야와 다른 비 LULUCF분야의 분리교섭방식 시스템

서 NET-NET로 계산하는 안이다. 예를 들면 기준기간으로는 90년 전후, 제 1차 공약기간이 생각된다. 제 1차 공약기간과 제 2차 공약기간이 너무 가까워 NET-NET이 어렵다고 한다면 제 1차 공약기간 앞의 5년간을 기준기간으로 하는 것도 가능할 것이다. 단 흡수량이 포화해 가는 나라에서는 NET-NET에서의 흡수량은 감소해 가는 경향을 가지는 것이 문제가 될 가능성이 있다. 그림 1.11에 본 옵션의 개요를 표시한다.

(4) 전 관리지를 대상으로 하는 net-net 계정

Gross-net의 경우 제 1 공약기간과 같은 계산방식이 되기 때문에 90년부터 흡수원이 계산되어 있지 않은데도 제 1 공약기간에서 갑자기 계산된다. 이미 제 2 공약기간에서도 이 계산 방법을 지속하기 위해 이 공약기간의 흡수량이 그대로 계산되게 된다. 산림 전체를 넣으면 산림 면적이 큰 나라의 흡수량이 너무 큰 수치가 되므로 목표치 조정이 필요하다. 그 방법으로서 factor out,

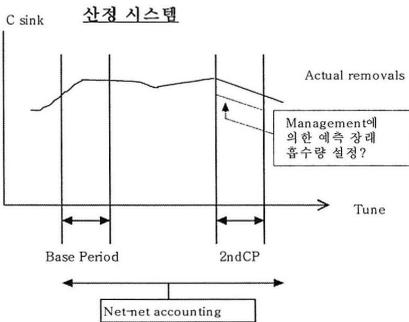
제 1 공약기간과 같은 상한치 (Cap) 방식, 혹은 기저선(벤치마킹)을 설정해 거기에서 추가분을 계산하는 등의 방식이 생각된다. 그림 1.12에 본 옵션의 개요를 나타낸다.

(5) 토지이용 카테고리별 평균 탄소축적량을 사용한 계정

각 토지이용의 카테고리과 산림경영, 생태계별 평균 탄소축적량을 설정해 토지이용 카테고리간의 천이가 일어난 때에 평균 탄소축적량과의 차이와 천이 시간을 기초로 계산된 크레디트를 부여하고, 관리 형태가 변화한 토지만을 모니터링 하는 옵션이다. 그림 1.13에 본 옵션의 개요를 나타낸다.

(6) LULUCF 분야와 다른 비 LULUCF 분야의 분리교섭방식

흡수원과 그 이의를 분리하는 생각에서, 분리하는 것에 따라 교섭은 매우 알기 쉽게 되고, 또 교섭 담당에 대해서도 전문가가 의논하는 것이 가능하다. 이것에 의해 제 1 공약기간에 일어날 범한 흡수원에 대한 과잉 의존이 해소되는 결과도 있다. 그러나 흡수원을 분리하는 것에 따라 에너지 분야



- 모든 관리 대상지에 일괄해서 net-net 계정 적용, 대상지는 활동마다 분리하지 않는다.
- net-net 계정에서 제2공약 기간과 그 이전의 어느 시기 (기준년(기간) 또는 제1공약기간)의 비교를 사용한다.
- 식생 회복은 계산하지만 식생 열화는 계산하지 않고, 삼림 경영은 계산하지만 삼림 열화는 계산하지 않는다는 불균형을 시정한다.

기준(년) 기간 설정

Net-net 산정에서 제2 공약기간과의 비교를 하는 시기는 ①기준년 (기준기간) ②제1 공약기간의 여딘가를 교섭으로 결정. 즉 공약기간의 결과를 기준기간으로 설정하면 전 공약기간에서 노력한 결과가 강제적인 기준 기간의 할당량을 밑에 올리게 되므로 차기 공약 기간의 기준 기간에 대해서는 제1 공약기간의 달성 결과는 없고, 그 이전 기간을 사용하는 것이 보다 현실적으로 생각된다.

Factoring out

비인위적 및 자연 영향에 대해서는 양 기간에서 net 결과를 비교하는 것에 따라 거의 상쇄된다. 1990년 이전 수종 구성에 의한 영향도 같은 형식에 의해 대략적으로 상쇄된다. 한편 농지에 의한 탄소 상실의 영향이 1 공약기간 이상 지속할 경우 위 net-net 산정에서 영향이 상쇄되는 것은 불명.

포화(saturation)로의 대처

Net-net 계정에서는 포화 문제에 직면해 삼림 경영에 의한 장래 흡수량을 예측하는 일이 중요하고 시스템 상 필요로 한다.

Deforestation에 대해서는 net-net 계정도 교섭에 가치가 있다는 인식이 있지만 그 외 삼림에도 같은 방법을 적용하기 위해서는 포화문제를 염두에 둔 다양한 옵션을 조사해야 한다.

그림 13. 전체 관리지를 대상으로 하는 net-net 계정 개요

산정 시스템

배출을 일으키는 활동

- national 레벨로 파악, 필수보고
- Net-Net 계정

삼림감소 (D)	xx Gg-c
천연수폴로의 삼림경영 확장 (XFM)	△△Gg-C
삼림 열화 (FD)	○○Gg-c
농경지 토양 열화 (SD)	◇◇Gg-c

흡수 기능을 강화하는 활동

- 프로젝트 레벨로 파악, 임의 보고
- Gross-Net 계정

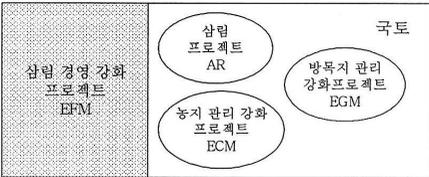


그림 14. 배출을 일으키는 활동의 필수 계정과 흡수원 강화 활동의 임의 계정

Factoring out

Factoring out에 대해서 배출을 일으키는 활동에 의한 탄소축적량 변화는 대부분이 인위적으로 발생하는 것이 대상이 되는 것, 흡수 기능을 강화하는 활동에 의한 탄소축적량 변화는 어느 시기부터 시작한 사업을 기초로 산정하는 것으로 비직접 인위적이고 자연 혹은 수목 구성에 의한 영향의 대부분을 제외하는 것으로 대처할 수 있다.

흡수량 산정에서 포화, 누출 비영속성

포화에 대해서는 흡수량 산정에 gross-net 방식을 사용하기 때문에 큰 문제는 없다. 프로젝트 누출과 비영속성에 의한 배출 증가는 나라 레벨의 필수 산정에 의해 포화 가능하다고 생각된다.

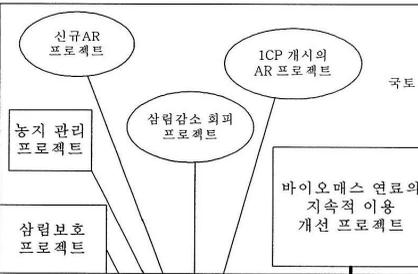
활동의 추가성

추가성에 대해서는 enhanced라는 정의를 제1 공약기간 이후에 행한 사업에 대해 엄밀하게 운용하는 것으로 대처할 수 있다고 생각된다. 즉 모니터링에 의해 그런 사업이 정말로 탄소 변화를 증가시키고 있는가를 확실히 할 필요가 있다.

제1 공약기간에서 이행

본 방식에서는 기존 방법을 수정하는 것 없이 보고하는 활동을 추가하는 것으로 되었으므로 제1 공약기간에서 2013년 이후의 범위로 원활한 이행이 행해진다고 생각된다.

산정 시스템



- 프로젝트 기초 효과들 쌓아 올려 산정
- CDM은 흡수량 증가 혹은 배출량 감소 효과가 있는 프로젝트로 대상 확대
- 현행 시스템에서 합쳐져 있는 AR-CDM에 대해서는 차이 공약기간 중에도 유효
- 체결국 I, 비체결국 I 양쪽을 대상

대상 프로젝트 확대

각국 상황에 따라 프로젝트, 조직, 분야, sector, 나라 레벨에서 실행되는 모든 유형의 프로젝트 기초의 LULUCF 활동을 대상

비영속성 취급

탄소 고정률의 비영속성에 대해 현행 J-CER, I-CER은 실제 탄소 고정 상황과는 관계없는 프로젝트 종료와 함께 실패하는 보수적 산정 방법이고, 프로젝트 실시 통기가 부족하다. 대체 방법으로 아래 방법을 제안.

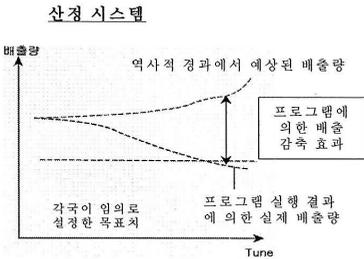
- ① 포스트국의 case by case 합의에 의해 프로젝트 효과가 가져온 시나리오를 우회하고 있는 한 CER 이 인정된다.
- ② 프로젝트 효과의 일정 비율을 프로젝트 기간 전으로 미룬다. 프로젝트 길이 높은 경우와 기간이 긴 만큼 미루는 비율이 높게 된다.

또 특정 카테고리의 모든 토지 (예: all forest all forest of certain type 정도)에 대해서 토지 이용 전체의 탄소흡수량을 계속적으로 산정하면서 비영속성을 고려하는 프로젝트도 생각된다.

누출 처리의 필요성

분야별 혹은 프로젝트 기초의 접근으로 누출의 적절한 처리 필요, 삼림감소를 나라 혹은 지역 레벨에서 취급하는 경우 누출은 비교적 용이하게 처리할 수 있다

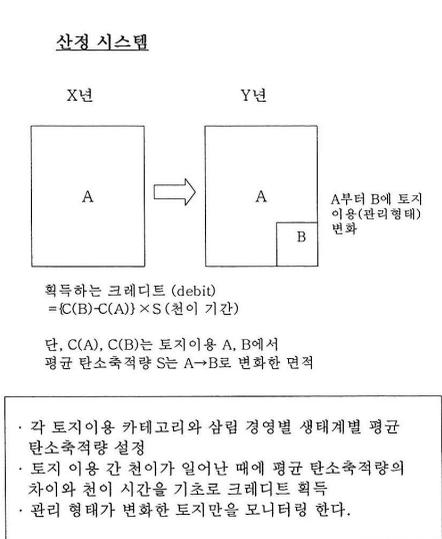
그림 15. 프로젝트 기초 계정(CDM형식)



- LULUCF의 특정부분을 대상으로 임의로 나라 목표 설정 (산림감소에 의한 배출량 등)
- 역사적인 경우에서 예측되는 배출량과 실제로 프로그램 실행한 결과에 의한 배출량을 비교해 계정

나라 전체에서 배출 소멸 대책을 평가
 현행 CDM과 같은 프로젝트 레벨에서의 산림감소 억제 등에서는 보호지역을 설정해도 다른 지역에서 벌채가 행해지는 누출이 생기는 것에서, 나라 레벨에서 프로그램 기초에서의 경제력을 산정에 반영시키는 방법
 모니터링 방법의 확인
 산림감소만이 아니고 산림 열화를 포함한 모니터링 방법이 있는지 어떤지를 분명하게 하는 것이 필요. 영향이 상쇄되는 것은 불명.
 동기 부여
 개도국의 산림감소는 어떤 이익을 가져오는 정책과 법안이 필요하고, 탄소크레딧 국제시장에서의 메카와 이의 배분이 많은 사람들에게 널리 퍼질 가능성을 확보할 수 있는 범위 등을 고려한다.
 프로젝트 기초 접근과 다른 LULUCF 활동 양립
 나라의 산림감소 회의 접근은 프로젝트기초의 AR 접근과 D 회피, 농지, 방목지를 대상으로 한 다른 LULUCF 요소 활동으로 양립할 수 있다.
 제1 공약기간에서의 이행
 제1 공약기간에서의 AR CDM 프로젝트 (및 다른 CDM 프로젝트)에 대해서 프로젝트 개시 시점에 유효한 방법과 수속에 따라 취급 하고, 제2 공약기간에 어떤 시스템이 채택된 경우에도 제1 공약기간 내에 개시된 AR CDM 프로젝트와는 장래의 제도에서도 추적 가능하고, 제2 공약기간에 규칙을 운용할 수 있는 flexibility를 확보하는 것으로 한다.

그림 16. 특정 LULUCF 카테고리를 대상으로 한 나라 레벨 계정에 의한 임의 보고



national 레벨 계정
 national 레벨에서 계정하는 것으로, 정기적으로 별채를 하고 있는 장소에서 크레딧과 debit가 교대로 생기는 것을 포함 수 있다. 또 지역에 있는 축적량의 고저를 상쇄할 수 있다.
관리 사이클을 기초로 한 축적량 설정
 직접 인위적 영향만을 특정해 정량화 하는 것을 목적으로 해서 관리 사이클을 기초로 한 평균 탄소축적량을 설정한다. 기존 수목 구성을 기초로 한 설정을 하지 않는다.
다양한 토지이용 상황에 대응한 수치 설정에 주의 필요
 표준적인 관리 상황에서 벗어난 다양한 관리 상황을 가진 토지를 어떻게 취급하는가, 동일 관리 상황을 가진 토지 탄소축적량의 불균질 분포를 어떻게 처리하는가에 어려움이 예상된다.
 데이터가 넓은 범위에서 입수 가능한지도 문제가 되고, 실제 탄소축적량과 동떨어진 평균치를 사용한 경우 예기치 않은 크레딧을 발생시킬 가능성이 있다.
 정기적인 검사와 평균치 검증을 하기 위해서는 정기적으로 탄소축적량의 인벤토리를 작성할 필요성이 예상된다.

그림 17. 토지이용 카테고리별 평균 탄소축적량을 이용한 계정

에서 흡수원에 대한 기대가 감소하므로 흡수원 활동에 대한 동기를 기대할 수 있을지, 흡수원을 분리할 의미가 나올지 어떨지는 염려된다. 타 시스템과의 융합이라는 것으로 예를 들면 흡수원의 합의에서 배출권 거래제도, 개도국에서의 CDM이라는 시스템을 들어가면, 분리해도 동기를 잃지 않는 방법은 생각된다. 또 흡수원에서만 산림관리에 대해서 다양성 조약 등의 다른 산림관련 조약과의 시너지에 의해 검토를 진행하는 것이 중요하다고 생각된다. 그림 1.14에 본 옵션의 개요를 나타낸다.

(7) 특정 LULUCF 카테고리리를 대상으로 한 임의 보고

흡수원 카테고리리를 국가수준의 계정으로 보고하는 안이고, CDM 프로젝트 와 유사한 생각을 나라에 적용해 기저선(벤치마킹)을 설정하고, 추가되는 각종 대책에 의한 흡수량 증대 효과를 목표 설정하는 방식이다. 역사적 경위에 의해 예상할 수 있는 배출량(예를 들면 인도와 오스트레일리아에서는 대규모 산림 벌채에 의한 배출이 예상된다)에 대해 소멸 수치 목표를 설정해 달성을 판정하는 옵션이다. 그림 1.15에 옵션의 개요를 나타낸다.

(8) 배출을 일으키는 활동의 필수 계정과 흡수원 강화 활동의 임의 계정

배출에 대해서는 나라 레벨로 파악해 보고를 필수로 하는 것에 반해 흡수에 대해서는 프로젝트 지역 레벨로 파악해 임의 보고로 하는 방식이다. 배출에 대해서는 net-net 계정, 흡수에 대해서는 gross-net 계정을 채용한다. 그림 1.16에 본 옵션의 개요를 나타낸다.

(9) 프로젝트 기초 계정

CDM 등의 프로젝트 활동에서는 누출(프로젝트 지역 외에서의 배출 증대) 문제가 있다. 누출을 정확히 파악하기 위해서는 나라 레벨에서 계정과의 제휴를 생각해야 한다. 제 1 공약기간에서 인정되지 않은 산림 감소를 방지하는 활동을 새롭게 도입할 때

에는 중요 포인트가 된다. CDM에 대해 유효기간 침부의 탄소배출권 (t-CER, 1-CER)은 매우 알기 어렵고, 프로젝트 실시로의 동기를 기대할 수 없다는 비판을 받고 있지만, 새로운 활동을 검토하는 중에 다시 프로젝트 계정 방식에 대한 논의가 필요하다. 그림 1.17에 본 옵션의 개요를 나타낸다.

참고문헌

An IGBP-IHDP-WCRP joint Project (2001), Carbon Futures, The Carbon Challenge 12
山形与志樹 (2003), 범 지구 차원 탄소순환의 급격한 변동 위험과 증장기적인 흡수원 대책 가능성, R평가, No.2, Volume11, 28-38

韓國山林資源測定學會 會則

- 第1條 本會는 韓國山林資源測定學會라 稱한다.
- 第2條 本會의 事務所은 山林廳 國立山林科學院 內에 둔다.
- 第3條 本會는 山林測定에 關한 研究와 會員 相互間의 親睦을 圖謀하며 林業 및 林學 發展에 寄與함을 目的으로 한다.
- 第4條 本會는 第3條의 目的을 達成하기 위하여 다음 事業을 한다.
1. 學會 開催
 2. 共同研究의 企劃 및 遂行
 3. 學會, 其他 有關 團體와의 協力 및 交流
 4. 會誌, 會員名簿의 發刊
 5. 其他, 本會의 目的 達成에 必要한 事業
- 第5條 本會의 會員은 名譽會員, 定會員 및 機關會員으로 한다. 會員은 山林測定 分野에 關心을 갖고 本會의 趣旨에 贊同하는 사람 또는 機關으로 한다. 名譽會員은 本會의 發展에 功績이 있는 사람으로서 理事會의 推薦으로 總會의 認准을 받은 사람으로 한다.
- 第6條 本會는 다음 任員을 둔다.
1. 會長 1名
 2. 副會長 약간명
 3. 理事 약간명
 4. 監事 2名
 5. 幹事 약간명
- 第7條 會長, 副會長, 理事, 監事は 總會에서 選出하고 幹事は 會長이 委囑한다.
- 第8條 任員의 任期는 2年으로 한다. 단 連任할 수 있다. 補選任員의 任期는 前任者의 殘餘期間으로 하고 모든 任員은 任期 終了 後일지라도 後任者의 就任時까지는 그 職務를 掌管한다.
- 第9條 會長은 本會를 代表하며 總會 및 理事會의 議長이 된다. 副會長은 會長을 補佐하며 會長 有故時는 그 職務를 代理한다. 그리고 副會長으로 國立山林科學院 山林調查科長은 當然職으로 한다. 理事는 會務執行에 關한 事項을 審議한다. 監事は 本會의 財産 및 會務 執行狀況을 監査하고 總會에 報告한다.
- 第10條 會長은 每年 1回 定期總會를 召集한다. 단 必要時는 臨時總會를 召集할 수 있다. 總會에서는 다음 事項을 審議決定한다.
1. 會則의 變更
 2. 事業報告 및 會務報告
 3. 事業計劃
 4. 其他 必要한 事項
- 第11條 理事會는 必要에 따라 會長이 召集한다. 理事會는 會長, 副會長, 理事, 監사로 構成하며 總會에서 委任받은 事項과 本會 運營에 關한 重要事項을 議決한다.
- 第12條 本會의 財政은 會費, 寄與金, 贊助金, 其他 收入으로 充當한다.
- 第13條 本會의 會計年度는 每年 1月 1日부터 當年 12月 31日까지로 한다.

韓國山林資源測定學會 原稿投稿規定

1. 투고자격은 회원에 한하여 공동연구시 비회원을 포함할 수 있다. 단, 공동 또는 비회원 단독으로 투고할 경우 편집위원회의 심의를 거쳐 게재할 수 있다.
2. 본 학회지에는 연구논문(Research Articles), 총설(Review)로서 다른 일반 공개간행물에 발표하지 않은 것이어야 하며, 원고의 종별은 저자가 원고 표지에 명시하여야 한다.
3. 논문은 국문 또는 영문으로 작성할 수 있고, 어느 경우여나 반드시 제목과 요약(Abstract)은 국문과 영문 두 가지로 작성되어야 한다.
4. 원고 작성은 제목, 저자의 소속기관을 국문으로 적고, 이어서 영문으로 반복한 후, 국문 요약, 영문 ABSTRACT, 서론, 재료 및 방법, 결과, 고찰(또는 결과 및 고찰), 감사의 글, 인용문헌의 순으로 한다. 영문의 경우 제목, 저자, 소속기관을 영어로 적고, 이어서 국문으로 반복한 후, ABSTRACT, 국문요약, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION(REULTS AND DISCUSSION), ACKNOWLEDGEMENT, LITERATURE CITED의 순으로 함을 원칙으로 한다. 단, 속보, 총설, 논설 등은 저자의 편위상 위의 순서를 변경할 수 있다. 주요어(KEY WORDS)는 5구절 이내로 하며 국문요약 다음에 고딕체로, 그리고 영문 ABSTRACT 다음에 이탤릭체 대문자로 표기하되 학명은 고딕으로 표기한다.
5. 제목, 저자명, 저자의 소속기관명은 국문과 영문으로 모두 표기하며, 가급적 저자의 전자우편(e mail)주소를 포함시키도록 한다.
6. 표(Table)과 그림(Figure)은 영문으로 작성하되 표 제목은 표 상단에, 그림 제목은 그림 하단에 적으며 별지에 첨부하고 본문에 표와 그림의 위치를 표시한다. 그림은 Tracing paper에 그리거나 컴퓨터로 출력하되, Tracing paper의 그림내 활자는 별지(그림의 복사지)에 적고, 컴퓨터 프린터 출력은 Lazer 프린터나 이에 준하는 프린터를 사용한다.
7. 인용문헌의 순서는 맨 앞의 저자명에 의해 국내, 국외순으로 하며 국내 문헌은 가나다순, 국외 문헌은 언어별 자순으로 한다. 정기간행물의 경우 저자명, 연도, 논문제목, 잡지명, 권수(호수), 쪽순으로 적고, 단행본의 경우는 저자명, 연도, 책명, 출판사명, 출판지명, 쪽순으로 한다. 저자와 편집자가 서로 다른 경우, 저자명, 연도, 논문제목, 쪽, 편집자명, 단행본명(논문집 등), 출판사명, 출판지명을 차례로 적는다. 영문으로 쓰여진 단행본을 인용할 때는 단어 첫자만 대문자로 표시해 주되 전치사는 예외로 하고, 쪽은 pp로 한다. 인용한 문헌의 저자나 편집자가 여럿일 때는 모두 적는 것을 원칙으로 한다.
8. 본문에 논문 및 저서를 인용할 때에는 국내 저자의 경우(홍길동, 1993), (홍길동과 박문수, 1993), (홍길동 등, 1993)의 방법으로, 그리고 국외 저자의 경우(Smith, 1993), (Smith and Baker, 1993), (Smith *et al.*, 1993) 등으로 표시한다.
9. 투고는 본학회 투고규정과 인용문헌 작성 규정에 따라 한글로 작성하고 프린터된 원고 3부(그림 원본 포함)를 투고료 및 심사료와 함께 제출하고 디스켓 1부는 논문심사결과 수정시 수정본과 동봉하여 제출한다.
10. 별쇄는 50부를 무료로 증명하며 그 외의 부수는 투고자가 실비를 부담한다.
11. 논문 및 논설 투고자는 1편당 기본 투고료 100,000원을 부담하여야 하며, 인쇄 후 8면을 초과할 경우 초과 면당 20,000원의 초과제재료를 부담하고, 컬러사진을 게재할 경우 1편당 현재 실비로 부담한다.

韓國山林資源測定學會 任員

顧問 : 박재욱 이광남 이여하 이종락 정영관 한갑준

會長 : 이동섭 (상주대 교수)

副會長 :

노대균 (산림조합중앙회 조사본부장) 안중만 (순천대 교수)
이우균 (고려대 교수) 신만용 (국민대 교수)
정주상 (서울대 교수) 정보통계과장 (산림청)

理事 :

공지수 (산과원 산림조사과장) 김동근 (상주대 교수)
박남창 (남부산림연구소장) 이경학 (산과원 산림평가과장)
이영진 (공주대 교수) 이승호 (산과원 연구관)
이규성 (인하대 교수) 이상현 (전북대 교수)
조현서 (진주산업대 교수) 최정기 (강원대 교수)

編輯委員長 : 신만용 (국민대 교수)

編輯委員 :

김동근 (상주대 교수) 이경학 (산과원 산림평가과장)
정주상 (서울대 교수) 최정기 (강원대 교수)
監事 : 서옥하 (강원대 교수) 김철민 (산림과학원)

幹事 :

김중찬 (산림과학원) 손영모 (산림과학원)
정영교 (산림과학원) 김백동 (의성군청)

한국산림측정학회지

제 11 권

2008년 12월 1일 인쇄

2008년 12월 5일 발행

발행인 신 만 용
편집인 최 정 기
발행처 한국산림자원측정학회

130-712

서울시 동대문구 회기로 57번
국립산림과학원 내
전화 : 02-961-2874
FAX : 02-961-2889
E-mail : treelove@forest.go.kr

