

## 목제품 내 탄소 저장량 추정 : 계정 방법 및 시사점\*<sup>1</sup>

최수임\*<sup>2</sup> · 주런원\*<sup>2†</sup> · 이수민\*<sup>3</sup>

### An Estimation of the Carbon Stocks in Harvested Wood Products: Accounting Approaches and Implications for Korea\*<sup>1</sup>

Soo Im Choi\*<sup>2</sup> · Rin Won Joo\*<sup>2†</sup> · Soo Min Lee\*<sup>3</sup>

#### 요약

2006 IPCC 가이드라인에서 제안한 HWP 탄소계정 방법을 이용하여 HWP 내 탄소 저장량을 추정하였고 우리나라 국가 온실가스 인벤토리와 산림 부문에 미칠 영향을 분석하였다. 사용 중에 있는 제재목, 목질보드류, 기타 산업용 목재, 종이 및 판지를 대상으로 하여 목제품 내 탄소저장량의 변화량을 추정하였다. 1970년부터 2008년 동안 사용 중에 있는 목제품 내 이산화탄소 저장량의 연간 변화량은 접근법에 따라 -9,023 Gg CO<sub>2</sub>/yr에서 4,052 Gg CO<sub>2</sub>/yr으로 추정되었다. 우리나라는 목제품의 순수입국이기 때문에 탄소 축적 변화 접근법이 가장 유리한 결과를 보였다. 그러나 각 접근법이 목제품의 벌채량 및 교역량, 바이오에너지로의 목재 이용과 재활용에 미치는 영향은 상이하게 나타나고 있다. 따라서 계정 방법에 대한 우리나라 입장을 결정할 때 국가 온실가스 인벤토리에 대한 영향뿐 아니라 미래에 추진할 산림정책 방향도 고려하여 야기될 수 있는 부정적인 영향을 최소화하는 방법을 선택해야 한다.

#### ABSTRACT

This study estimated the amount of carbon stocks in harvested wood products (HWP) using accounting approaches suggested by 2006 IPCC guidelines and analyzed the impacts of different approaches on national greenhouse gas inventory and the forest sector in Korea. The change in carbon stocks was calculated at the level of semi-finished wood products, which cover sawnwood,

\*<sup>1</sup> 접수 2010년 7월 6일, 채택 2010년 8월 27일

\*<sup>2</sup> 국립산림과학원 기후변화연구센터. Dept. of Forest & Climate Change, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

\*<sup>3</sup> 국립산림과학원 녹색자원이용부. Dept. of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 주런원(e-mail: joorw@forest.go.kr)

wood-based panels, other industrial wood, paper and paperboard. An estimation of the changes in carbon stocks in HWP in use for the period 1970~2008 varied between -9,023 Gg CO<sub>2</sub>/yr and 4,052 Gg CO<sub>2</sub>/yr depending on the accounting approach used. The stock-change approach provided the most favorable results because Korea was a net importer of wood products. However, each approach generates different impacts on harvest, trade, the use of wood for energy production and recycling. When deciding its position on accounting approach, thus, the Government should consider future direction of national forest policies as well as the effect on national greenhouse gas inventory for the minimization of negative impacts resulting from its selection.

**Keywords:** harvested wood products (HWP), stock-change approach, production approach, atmospheric-flow approach, simple decay approach, carbon stocks, implications for Korea

## 1. 서 론

산림은 대기 중 온실가스 농도의 안정화에 중요한 역할을 하고 있는데 이는 산림이 대기 중의 이산화탄소를 흡수하여 오랜 기간 산림바이오매스와 토양 내에 저장할 수 있기 때문에 그런 것이다. 그러나 산림이 지니는 이러한 효과는 산림 내 이산화탄소의 저장량을 확대하는데 한계가 있기 때문에 제한적일 수밖에 없다. 또한 장기적으로 산림이 지속가능하게 경영된다면 성장을 통해 흡수하는 탄소의 양과 벌채에 의해 방출되는 탄소의 양이 균형을 이루게 되어 결과적으로 안정적 상태에 접근하게 된다. 이러한 배경에서 온실가스의 감축을 위한 해결 방안으로 지구 탄소순환에 대한 목제품의 역할에 관심이 증가되고 있다.

목제품(HWP : harvested wood products)이란 목조건축물, 가구, 종이 등과 같은 제품으로 변환되는 목재에 기반을 둔 재료로써 정의된다. HWP는 폐기될 때까지 산림에서의 성장 중 저장했던 탄소를 장기간 제품 내에 저장하고 있기 때문에 산림과 함께 대기 중의 이산화탄소 농도를 안정화시키는 효과를 발휘한다. 신문지나 포장용지 등 짧은 수명을 가진 종이류도 수명이 다한 후 매립되어 혐기성 조건에서 천천히 분해가 될 경우 오랜 기간 동안 고형 폐기물 매립지(SWDS : solid waste disposal site)에 탄소를 저장할 수 있게 된다.

Watson 등(1996)은 지구상에 존재하는 HWP 내 탄소의 저장량을 4,200 Tg (1 Tera gram = 10<sup>12</sup> g) C, Sampson 등(1993)은 20,000 Tg C, Pingoud (2003)는 3,000 Tg C 정도로 추정하였다. 또한 Winjum 등(1998)은 1990년에 목제품에 저장되어 있는 탄소의 양은 화석연료나 시멘트 생산에 의해 대기 중으로 배출되는 탄소량의 2% 정도가 될 것으로 추정하였다. 이처럼 HWP에 저장되어 있는 탄소의 양은 상대적으로 적은 양임에도 불구하고 온실가스의 배출을 억제하는데 중요한 역할을 할 것으로 간주되는 여러 이유가 있다. 첫째, HWP 내 탄소 저장량이 증가 추세에 있고, 둘째, HWP 내 탄소 저장량이 무한정 증가하지 않는다고 할지라도 내구성이 있는 제품의 생산이나 재활용을 통해 제품의 수명을 연장시키면 수년간 대기로의 배출이 지연될 수 있고, 셋째, 콘크리트나 강철과 같이 에너지 집약적인 원자재를 대체할 수 있으며, 넷째, 직접적으로 화석연료를 대체하여 에너지 생산으로부터 이산화탄소의 배출을 억제하는 역할을 할 수 있기 때문이다(Green 등, 2006).

현재의 UNFCCC 하에서 당사국들은 저장고별 흡수량에 대한 국가 온실가스 인벤토리를 작성하여 보고하도록 합의하였다. 이에 따라 IPCC 기본 접근법(IPCC default approach)에서는 목제품 내 탄소의 저장량에는 변화가 없다는 가정 하에 산림 내 탄소 저장 변화만을 국가 온실가스 인벤토리에 포함시키

고 있다. 그러나 목제품의 역할에 관심이 증가되면서 IPCC 기본 접근법을 대체할 축적 변화 접근법(stock-change approach), 생산 접근법(production approach), 대기 유출입 접근법(atmospheric-flow approach), 단순 부후 접근법(simple decay approach) 등 HWP 탄소 계정에 대한 다른 방법이 제안되고 있다(IPCC, 2006).

현재의 교토의정서 하 당사국은 제1차 공약기간(2008-2012) 동안 토지 이용, 토지 이용 변화 및 산림(LULUCF; land use, land use change and forestry) 활동에 의한 흡수를 고려할 수 있으나 HWP와 관련된 탄소 저장 변화를 보고하지 않고 있다. 그러나 HWP가 미래 공약기간에는 별도 활동으로 포함될 가능성이 있다. 앞으로 UNFCCC/교토의정서 당사국의 논의를 통해 국가 온실가스 인벤토리에 HWP pool의 포함 여부가 결정되고 이와 함께 제안된 HWP 탄소 계정 방법 중 하나가 공식적으로 선택될 것이다.

이론적으로 지구 차원에서는 어떠한 계정 방법을 선택한다고 해도 계정 방법별로 추정된 HWP 내 탄소 저장량은 동일할 것이다. 그러나 국가 차원에서는 각 국가가 처해있는 상황에 따라 계정 방법별로 HWP 내 탄소 저장량의 추정치에 상당한 차이가 발생할 수 있다(Hashimoto 등, 2002; UNFCCC, 2005; Green 등, 2006; Dias 등, 2007; 최 등, 2006; 최와 강, 2007). 또한 선택되는 계정 방법에 따라 각 국가의 목제품의 교역량, 생산량 및 소비량, 바이오에너지의 이용량, 재활용량 등에 미치는 영향은 다를 것이다.

이런 배경에서 본 연구는 2006 IPCC 가이드라인에서 제안한 HWP 계정 방법별로 HWP 내 탄소 저장량을 추정하고 우리나라 국가 온실가스 인벤토리에 미치는 효과와 산림 부분에 미칠 영향을 분석하였고 이에 기초하여 HWP 계정 논의에 대한 대응방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 연구방법

HWP 탄소 계정에 대한 논의 동향은 정부의 협상 관련 보고서, UNFCCC 관련 문건과 당사국총회 회의 결과 문건 등을 참조하여 분석하였다. HWP 내 탄소 저장의 연간 변화량 추정은 2006 IPCC 가이드라

인에서 제시하고 있는 식 (1)을 이용하여 1970년부터 2008년까지 사용 중에 있는 HWP 내 탄소 저장량만을 추정하였고 고품 폐기물 매립지(SWDS) 내의 HWP의 탄소 저장량은 자료가 부족하여 추정하지 못했다.

$$C(i+1) = e^{-k} \times C(i) + [(1-e^{-k})/k] \times \text{Inflow}(i) \\ \text{with } C(1990) = 0.0 \quad (1) \\ \Delta C(i) = C(i+1) - C(i)$$

여기에서  $i$  = 연도,  $C(i)$  =  $i$ 년도의 HWP 내 탄소 저장량,  $k$  = 1차 부후 상수( $k = \ln(2)/HL$ ,  $HL$  = 반감기),  $\text{Inflow}(i)$  =  $i$ 년도에 HWP 저장고로 유입되는 탄소량,  $\Delta C(i)$  =  $i$ 년도의 HWP 저장고 내 탄소 저장량의 변화량이다.

HWP 탄소 계정 방법 중 생산 접근법에 의한 HWP 내 탄소 저장량은 국내 산림에서 생산하여 수출한 목제품의 수출국에서의 가공, 이용 실패를 파악하여 추정해야 하지만 실제 이러한 정보를 수집하는 것이 불가능하다. 따라서 국내에서 생산된 원목을 대상으로 하여 HWP 내 탄소 저장량을 구하고, 여기에 원목의 연간 부후율을 적용하여 단순 추정하였다. 또한 본 연구에서는 사용 중에 있는 목제품 내 탄소 저장량의 변화를 추정하여 IPCC 기본 접근법과 비교하기 위해 대기 유출입 접근법에 있어서의 탄소 저장량의 변화량을 추정할 때 국내 산림에서 벌채된 목재를 HWP 저장고의 투입(inflow)으로 간주하여 탄소 저장량의 변화량을 추정하였다. 단순 부후 접근법은 생산 접근법과 탄소 저장량 추정 방법에 큰 차이가 없어 실제 추정에서는 생략하였다.

HWP (원목, 제재목, 목질패널, 종이 및 판지)의 생산량, 수출입량에 대한 통계자료는 산림청, 한국합판보드협회, 한국제지공업연합회 및 연구기관에서 발간한 자료를 이용하여 1970년부터 2008년까지의 시계열 자료를 구축하였다. 1900년부터 1970년 이전의 HWP의 생산량 및 수출입량은 IPCC에서 제시하고 있는 식 (2)를 이용하여 추정하였다.

$$V_t = V_{1970} \times e^{r \times (t-1970)} \quad (2)$$

여기에서  $V_t = t$ 년의 목제품별 연간 생산량 또는 수출입량,  $t =$  연도,  $V_{1970} = 1970$ 년도의 목제품별 생산량 또는 수출입량,  $r =$  보고 국가가 포함되어 있는 지역의 1900년부터 1970년 사이의 목제품 사용의 연간 증가율로 본 연구에서는 아시아지역의 증가율(0.0217)을 적용하였다.

원목, 제재목에 대한 통계자료는 산림청에서 발간하고 있는 “임업통계연보”를 이용하였다. 이 중 제재목 생산 통계는 1996년 이후부터 산림청 임업통계연보에 공식적으로 수집되지 않아 국립산림과학원에서 발간한 “통계로 본 산림자원의 변화와 임산물 수급 추이” 및 산림청의 “목재수급전망” 자료 등을 이용하였다. 그러나 2007년 이후 제재목 생산 통계 자료는 2008년부터 산림청에서 실시하고 있는 목재 이용 실태 조사의 결과를 이용하였다. 펄프 및 종이제품에 대한 통계자료는 한국제지공업연합회에서 발간하고 있는 “제지산업통계연보”를 이용하였다. 또한 목질보드류(합판, MDF, PB) 관련 통계자료는 한국합판보드협회에서 발간하고 있는 “합판보드통계”를 이용하였다. 한편 목제품의 부후율(매년 일정한 비율로 HWP가 부후(연소·부후)되는 반감기)과 탄소 전환 계수(carbon factor)는 현재 우리나라에서 연구 개발된 자료가 없어 IPCC에서 제공하는 기본값을 이용하였다. 즉, 제재목과 목질보드류의 반감기는 30년, 종이 및 판지는 2년으로 가정하였다. 원목과 제재목의 밀도는  $0.5 \text{ oven-dry tonne/m}^3$ , 목질보드류는  $0.628 \text{ oven-dry tonne/m}^3$ , 종이 및 판지는  $0.9 \text{ oven-dry tonne/adt (air dry tonne)}$ 를 적용하였다. 한편 모든 제품별 건중량에 대한 탄소함유량은  $0.5 \text{ tC/oven-dry tonne}$ 을 적용하였고, 이 수치에 탄소를 이산화탄소를 전환하기 위해 44/12를 곱하였다. 이런 수치들을 적용하여 계산된 품목별 탄소 전환 계수(원목과 제재목  $0.92 \text{ tCO}_2/\text{m}^3$ , 목질보드류  $1.08 \text{ tCO}_2/\text{m}^3$ , 종이 및 판지  $1.65 \text{ tCO}_2/\text{adt}$ )를 적용하여 목제품 내 탄소 저장량을 계산하였다.

HWP 탄소 계정은 어떤 접근법을 적용하느냐에 따라 각 국가의 온실가스 인벤토리와 산림 부문에 다른 영향을 미친다. 따라서 HWP 탄소 계정 방법이 우리나라 국가 온실가스 인벤토리에 미치는 효과는 우리

나라 배출량 통계와 비교하여 분석하였고 산림 부문에 미치는 영향은 관련 문헌에 기반하여 정성적으로 분석하였다.

### 3. HWP 탄소계정 논의 동향

현재 UNFCCC에서는 HWP의 탄소 저장 효과를 국가 온실가스 인벤토리의 평가에서 제외한 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 기본 접근법을 채택하고 있다. 그러나 국가 온실가스 인벤토리에서의 HWP pool의 포함 여부, HWP 탄소 저장량 추정 방법, 방법론별 사회·경제·환경적 영향에 대한 논의가 1990년대 중반 이후 시작되었다(UNFCCC, 2003).

1998년 5월 세네갈에서 개최된 IPCC 관련 전문가 회의에서 현행 IPCC 기본 접근법 이외에 축적 변화 접근법, 생산 접근법, 대기 유출입 접근법 등 3가지 계정 방법이 제안되었다(Brown과 Lim, 1999). 그러나 1999년 10월 독일 본에서 개최된 제11차 SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice)에서 처음으로 HWP 탄소 계정에 대한 논의가 시작되었고, 본격적인 논의는 2003년 12월 제19차 SBSTA부터였다. 이 회의에서 사무국에서 준비한 기술보고서에 기초하여 HWP에 관한 논의가 있었고 당사국에 대해 2004년 4월까지 HWP 탄소 계정 방법에 대한 의견서 제출을 요청하였다.

2003년에는 COP7의 마라케시 합의에 의해 IPCC가 토지 이용, 토지 이용 변화 및 임업에 관한 우수 실행지침(GPG-LULUCF : good practice guidance for land use, land-use change and forestry)을 작성하였다. 그러나 산림의 벌채 시점을 탄소 배출 시점으로 정의하였고 HWP는 평가 대상에 포함하지 않았다. 다만 부록 3a.1에 3가지 수준의 HWP 탄소 계정 방법을 기술하였다(IPCC, 2004).

이후 2005년 캐나다에서 개최된 제23차 SBSTA에서 온실가스 감축의무 당사국들이 제출한 제안서를 바탕으로 논의하였다. 그러나 HWP 탄소 계정 방법론에 대하여 각국에서 제안한 의견들이 목재 수출국과 수입국간 입장이 양분되어 합의에 이르지 못하였

고 제24차(2006년 5월) 및 제25차(2006년 11월) SBSTA에서 다시 논의하기로 결정하였다.

2006년 4월에 2006년 IPCC 가이드라인이 확정되면서 제4권 12장에 HWP 탄소 계정 방법이 제시되었다. 그러나 하나의 통일된 방법이 제시되기 보다는 2003 GPG-LULUCF와 마찬가지로 축적 변화 접근법, 생산 접근법, 대기 유출입 접근법이 제시되었고 다만 단순 부후 접근법이 추가되었다. 또한 2006 IPCC 신규 가이드라인의 확정이 2006년 4월에 이루어짐에 따라 HWP 탄소 계정을 곧바로 국가 온실가스 인벤토리 작성에 적용하는 데에는 한계가 있었다. 따라서 2006년 5월에 개최된 제24차 SBSTA에서 제26차 SBSTA (2007년) 회기까지 HWP 탄소 계정 논의를 잠시 보류하기로 결정하였다.

이러한 상황에서 2007년 12월 제2차 공약기간의 온실가스 감축 목표를 논의하기 위해 인도네시아 발리에서 개최된 COP13에서 2009년 덴마크 코펜하겐에서 개최되는 COP15에서 감축 목표를 결정한다는 발리 로드맵이 채택되었다. 발리 로드맵에 따라 2개의 특별 작업그룹(AWG-LCA, AWG-KP)이 설립되었고 HWP 탄소 계정을 포함한 산림 흡수원은 교토의 정서 하 부속서 I 국가의 감축 공약에 관한 특별 작업 그룹인 AWG-KP (Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol)에서 논의하였다. 그러나 COP15에서는 HWP 탄소 계정에 대한 논의가 현행 방법의 유지(IPCC 기본 접근법)를 주장하는 중국, 투발루 등 개발도상국과 생산 접근법을 주장하는 미국, 캐나다 등 선진국의 주장이 첨예하게 대립되어 합의에 이르지 못하였고, 2010년 11월 멕시코에서 개최되는 COP16으로 넘어 가게 되었다(UNFCCC, 2009).

## 4. HWP 내의 탄소 저장량 추정

### 4.1. 계정 방법

2006 IPCC 가이드라인은 2003 IPCC GPG-LULUCF에서 제안했던 IPCC 기본 접근법(IPCC default approach)와 함께 축적 변화 접근법(stock-change approach), 생산접근법(production approach), 대기

유출입 접근법(atmospheric-flow approach)과 뉴질랜드의 Ford-Robertson이 제안한 단순 부후 접근법(simple decay approach)을 HWP 탄소 계정 추정 방법으로 제안하고 있다(IPCC, 2006). HWP 탄소 계정 방법은 배출량을 산정하는 시기 및 장소에 따라 차이가 있는데 이는 HWP가 국가 경계를 넘어 이동하고, 무역의 대상이 되는 것에 기인하고 있다. 즉, 수출입된 HWP 탄소 축적 효과를 어느 국가 경계에서 탄소 계정에 포함시킬 것인지에 따라 HWP 탄소 계정 방법에 차이가 있다. 또한 HWP 탄소 계정 방법은 산림이나 HWP 탄소 축적 변화(축적 변화 접근법, 생산 접근법)에 착안할 것인지, 탄소 유출입 수치(대기 유출입 접근법, 단순 부후 접근법)에 착안할 것인지에 따라 구분된다.

IPCC 기본 접근법은 벌채되는 목재의 경우 모두 벌채되는 시기에 생산국가에서 산화되고 HWP 내에 저장되어 있는 탄소는 없다는 가정에 기초하고 있다. 따라서 이 방법에 의하면 HWP 내 탄소 저장량의 변화량이 0으로 추정되고, 만약 벌채된 목재의 일부가 목제품으로 가공되어 사용된다면 어느 시점에서의 벌채로 인한 배출량은 과대평가하는 것이 된다.

축적 변화 접근법은 산림과 HWP 내 탄소 저장량의 순변화를 측정하는 방법이다. 시스템 경계는 국가 경계와 일치하며, HWP 내 저장량의 변화는 제품이 소비되는 국가 즉, 소비국에 계정된다. 목재의 수출은 국가 탄소 저장량을 감소시킴에 따라 생산국가의 즉각적인 배출로 해석된다. 반면에 수입은 국가 탄소 저장량을 증가시키고 따라서 흡수로 해석될 수 있다. 그러나 수입 목재의 부후로부터 야기되는 배출은 소비국의 경계 내에서 보고해야 한다. 목재의 부후에 의한 배출이 실제 부후에 의한 배출이 발생할 때에 계상되고 이에 따라 이 방법은 결과적으로 목재의 순수입국에 유리한 계정 방법이다.

생산 접근법은 산림과 목제품 내 탄소 저장량의 순변화를 측정하지만 HWP와 이와 관련된 배출은 항상 생산국에 계정된다. 시스템 경계는 국내 산림과 국내 산림으로부터 생산된 HWP가 된다. 이 방법은 국내에서 생산한 HWP만을 대상으로 평가하기 때문에 HWP의 교역량은 고려 대상이 되지 않는다. 제품의 수출이 다른 나라의 저장량에 이전되지 않고 생산국

가가 배출이 발생할 때 수출된 목제품으로부터의 배출을 보고한다. 수입되는 제품은 수입국의 탄소 저장량에 계상되지 않는다. 따라서 이 방법은 수입국 혹은 수출국 어느 국가에도 유리하지 않으나 국내 산림에서 목재를 많이 생산하는 국가에게 상대적으로 유리한 방법이다.

대기 유출입 접근법은 탄소 저장량의 변화보다도 탄소 유출입에 기초한 방법이다. 시스템의 경계는 국가 온실가스 인벤토리 보고국가 상공의 대기를 기준으로 한다. 탄소 저장량은 산림 성장에 의한 순흡수량과 HWP의 분해·연소에 의한 대기로의 순배출량 간의 차이로써 추정된다. 이 계정 방법에 의하면 HWP pool은 탄소의 순배출원으로 간주되기 때문에 수입국에 있어서 산림 성장에 의한 순흡수량이 적은 경우 탄소 저장량이 (-)가 될 수도 있다. 목제품의 수입은 소비국의 탄소 저장량을 증가시키지는 않고 수입 목제품으로부터 발생하는 배출을 소비국이 보고해야 한다는 것이 축적 변화 접근법과 다른 점이다. 따라서 목재를 수입하면 결과적으로 탄소 배출원이 증가하는 것을 의미하기 때문에 목재의 순수입국에 불리한 방법이지만 반대로 목재의 순수출국에게는 유리한 방법이다.

단순 부후 접근법은 뉴질랜드의 Ford-Robertson에 의해 제안된 접근법이며 2006 IPCC 가이드라인에 새롭게 제시된 방법이다. 기존에 제시된 방법과는 다른 계정 방법이라기보다는 생산 접근법에 적용되는 하나의 대안적인 계산 방법이다. 이 방법은 생산국에 있어서의 산림 성장에 의한 대기 중 이산화탄소의 흡수량과 벌채로부터 야기되는 이산화탄소의 배출량으로 계정한다. 그러나 이 방법은 당해 연도에 생산된 목제품으로부터의 배출만을 고려하기 때문에 과거에 생산된 목제품으로부터의 배출도 고려하는 생산 접근법과는 다소 차이가 있으며, 벌채로부터 야기되는 배출량이 벌채 당해 연도에 즉각적으로 계정되지 않는다는 점에서 IPCC 기본 접근법과도 다른 방법이다.

#### 4.2. 계정 방법별 탄소 저장량 추정

2007년 현재 우리나라 HWP 내 탄소 저장량의 연간 변화량은 축적 변화 접근법을 적용하는 경우

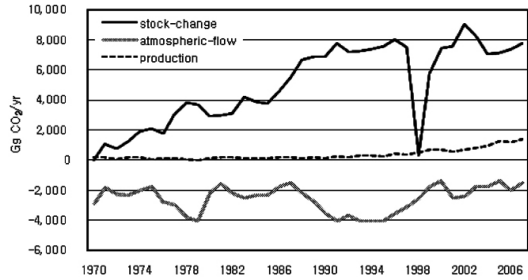


Fig. 1. Carbon stock change estimates for each approach.

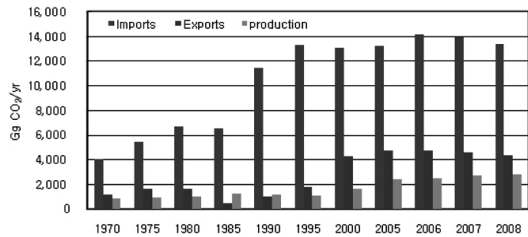


Fig. 2. Contribution of timber imports, exports and production to carbon stock.

-7,769 Gg CO<sub>2</sub>, 생산 접근법을 적용하는 경우 -1,416 Gg CO<sub>2</sub>, 대기 유출입 접근법을 적용하는 경우 1,519 Gg CO<sub>2</sub>로 추정되었다. 축적 변화 접근법의 경우 목재 수급량의 90% 정도를 수입목재에 의존하고 있는 순목재수입국인 우리나라에 있어서는 국내에 존재하는 모든 목제품(국산목제품 + 수입목제품)이 탄소 저장 변화량의 증가로 평가된다. 반면, 대기 유출입 접근법은 수입목재가 탄소 저장 변화량으로 계정되지 않고 소비국에서 탄소 배출로 평가된다. 2008년 현재 수입된 목재의 탄소 저장량은 13,411 Gg CO<sub>2</sub>/yr, 수출된 목재의 탄소 저장량은 4,402 Gg CO<sub>2</sub>/yr, 국내에서 벌채된 원목의 탄소 저장량은 2,774 Gg CO<sub>2</sub>/yr으로 수입 부분의 탄소 저장량이 수출 및 생산 부분에 비해 압도적으로 많다. 따라서 수입 부분의 탄소 저장량이 축적 변화 접근법에서는 흡수로 작용한 반면 대기 유출입 접근법에서는 배출로 작용하였기 때문에 축적 변화 접근법이 우리나라에 유리한 접근법으로 평가된 반면 대기 유출입 접근법이 가장 불리한 것으로 평가되었다. 한편 1998년도에 HWP 내 연간 탄소 저장 변화량이 타 시기에 비해 크게 증감한 것

Table 1. Greenhouse gas emissions by sector in the Republic of Korea (Unit: million tCO<sub>2</sub>)

| Sector             | 1990  | 2000  | 2001  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Energy             | 247.7 | 438.5 | 452.9 | 489.0 | 498.5 | 505.4 | 525.4 |
| Industrial process | 19.9  | 58.3  | 63.6  | 68.5  | 64.8  | 63.7  | 60.9  |
| Agriculture        | 13.5  | 17.0  | 16.3  | 16.4  | 16.1  | 15.1  | 18.4  |
| Waste              | 17.0  | 17.2  | 17.6  | 16.5  | 14.9  | 15.4  | 15.3  |
| Total emissions    | 298.1 | 531.0 | 550.4 | 590.4 | 594.4 | 599.5 | 620.0 |
| LULUCF             | -23.7 | -37.2 | -34.6 | -31.5 | -32.0 | -31.2 | -36.3 |
| Net emissions      | 274.4 | 493.8 | 515.8 | 559.0 | 562.4 | 568.4 | 583.7 |

Note : 1. LULUCF stands for land use, land use change and forestry.

2. (-) sign denotes removals of greenhouse gas.

Source : Korea Energy Economics Institute, 2010. Greenhouse gas emissions and removals (<http://www.keeei.re.kr/main.nsf/index.html>).

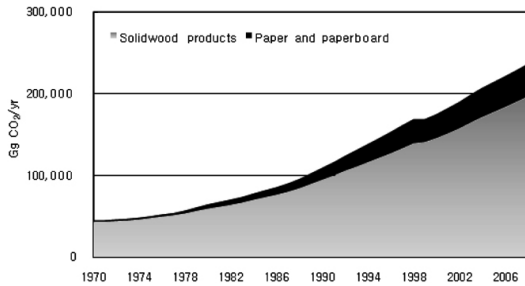


Fig. 3. Contribution of each pool of HWP to carbon stock.

으로 나타났는데, 이는 1997년 후반기에 발생한 IMF 경제 위기로 인해 목재 수입이 급격하게 감소하여 전년도에 비해 연간 탄소 저장량의 변화폭이 컸기 때문이다.

한편 국내에서 사용되고 있는 모든 HWP 내에 저장된 탄소량의 추이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 1970년에 44,943 Gg CO<sub>2</sub>/yr에서 1990년 109,083 Gg CO<sub>2</sub>/yr, 2008년 236,286 Gg CO<sub>2</sub>/yr으로 매년 지속적으로 증가하고 있다. 특히 1980년대 이후부터 HWP 내 탄소 저장량이 크게 증가하고 있는데 이는 국내 경제 성장에 의한 경제 규모의 양적 확대와 더불어 목재 소비량이 크게 증가하면서 HWP 내의 탄소 저장량도 함께 증가하였기 때문이다.

## 5. HWP 탄소 계정 방법별 영향 및 시사점

### 5.1. 국가 온실가스 인벤토리에 대한 효과

우리나라의 연간 온실가스 배출량은 2005년 기준으로 세계 5위이며 OECD 국가 중 가장 빠른 속도로 증가하고 있다. 1990년 이후 지속적인 경제성장과 에너지 다소비 산업구조로 인해 온실가스 배출량이 계속 증가하였다. 그러나 최근 들어 증가세가 점차 둔화되고 있다. 온실가스 배출량 규모는 2007년 기준으로 620백만 tCO<sub>2</sub>에 달하며, 이 중 토지 이용 및 임업 부문의 흡수량인 36.3백만 tCO<sub>2</sub>를 제외한 순 배출량은 583.7백만 tCO<sub>2</sub>이다. 산업별로는 에너지 부문이 525.4백만 tCO<sub>2</sub>로 총 배출량의 84.7%를 차지하고 있고, 다음으로 산업 공정 9.8%, 농업·축산 3.0%, 폐기물 2.5% 등의 순이다.

이러한 국가 온실가스 배출량 통계와 비교하여 HWP 탄소 계정이 어느 정도 영향을 미치는지를 검토하였다. 2007년 기준 축적 변화 접근법을 적용하는 경우에는 HWP 내 7.8백만 tCO<sub>2</sub>를 연간 흡수하게 되어 우리나라 온실가스 총 배출량의 1.3% 감축에, 생산 접근법을 적용하는 경우에는 1.4백만 tCO<sub>2</sub>를 연간 흡수하게 되어 0.2% 감축에 기여할 수 있는 것으로 분석되었다. 그러나 대기 유출입 접근법을 적용하는 경우에는 HWP로부터 1.5백만 tCO<sub>2</sub>를 배출하게 되어 온실가스 총 배출량의 0.2%에 해당하는 CO<sub>2</sub>

Table 2. Impacts of each approach on greenhouse gas emissions (Unit: million tCO<sub>2</sub>)

|                            | 2000  | 2001  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Total emissions            | 531.0 | 550.4 | 590.4 | 594.4 | 599.5 | 620.0 |
| Emission from LULUCF       | -     | -34.6 | -31.5 | -32.0 | -32.3 | -36.7 |
| Carbon stock change in HWP |       |       |       |       |       |       |
| Stock-change approach      | -7.4  | -7.6  | -7.1  | -7.1  | -7.3  | -7.8  |
| Atmospheric-flow Approach  | 13    | 25    | 18    | 13    | 21    | 15    |
| Production approach        | -0.7  | -0.6  | 1.0   | -1.3  | -1.2  | -1.4  |

Note : 1. LULUCF stands for land use, land use change and forestry.  
 2. (-) sign denotes removals of greenhouse gas.

를 더 배출하는 것으로 분석되었다.

HWP 탄소 계정을 산림 부문과 비교해 보면, 2007년 현재 축적 변화 접근법과 생산 접근법은 산림 흡수량의 각각 21.4%, 4.1%에 해당하는 것으로 나타났다. HWP 탄소 계정이 UNFCCC 국가별 온실가스 배출·흡수 인벤토리에 포함될 경우 축적 변화 접근법은 산림 부문과 함께 우리나라 온실가스 총 배출량의 7.2% (44.5백만 tCO<sub>2</sub> 흡수), 생산 접근법은 6.1% (38.1백만 tCO<sub>2</sub> 흡수), 대기 유출입 접근법은 5.7% (35.2백만 tCO<sub>2</sub> 흡수)에 해당하는 온실가스 배출량 감축에 기여하는 것으로 추정된다.

## 5.2. 산림 부문에 대한 영향

대체재에 의한 대체 효과를 고려하지 않고 모든 목제품이 동일한 제품이라고 가정한다면 계정 방법에 관계없이 HWP pool을 국가 온실가스 인벤토리에 포함하는 경우에는 목재 가격이 상승할 것으로 분석되고 있다(UNFCCC, 2003). IPCC 기본 접근법은 목재의 벌채를 즉각적인 배출로 간주하기 때문에 배출을 감축하기 위한 비용이 목재 생산 비용에 더해져 생산 비용을 증가시킨다. 생산 비용의 증가로 목재의 공급량이 감소함에 따라 목재 가격이 상승한다. 축적 변화 접근법은 수출을 억제하여 공급이 감소하고 국내 수요는 증가하기 때문에 가격이 상승할 것으로 예상되고, 가격의 증가폭은 IPCC 기본 접근법에서의 시장 가격의 상승폭보다 클 것이다. 생산 접근법은 국내에서 생산된 목재의 부후에 따른 배출이 생산국에 계정되나 부후에 의한 배출이 제품 수명에 의해 연기되어 발생되기 때문에 생산 비용이 상대적으로 작게

증가하여 목재 가격도 IPCC 기본 접근법과 축적 변화 접근법과 비교하여 소폭 상승될 것이다. 대기 유출입 접근법은 벌채와 소비하고 있는 목제품의 부후를 배출로 계상하기 때문에 공급과 함께 소비도 감소하게 되고 따라서 가격에 미치는 효과는 상대적으로 매우 작을 것이다. HWP 내 탄소 저장량에 대한 보고나 계정이 생산 비용, 무역 장벽 및 보조금, 환율 등 다른 영향 인자에 비해 목재의 가격을 결정하는 주요 인자는 아닐지라도 개별 국가가 처한 목재의 수급 상황과 온실가스의 감축 의무 여부에 따라 계정 방법별로 목재의 생산량과 교역량에 미치는 영향은 다르게 나타날 것이라 예상할 수 있다.

우리나라는 현재 국내 목재 소비량의 약 90%를 수입에 의존하고 있다. 종이류를 제외한 원목, 제재목, 목질패널 등 대부분의 목재 및 목제품이 수입되고 있다(Table 3). 앞으로 국내 산림자원의 증가로 목재 공급량은 증가할 것으로 예상되지만 수입목재에 대한 높은 의존은 지속될 것으로 예측되고 있다(주 등, 2007). 즉, 앞으로도 상당 기간 동안 우리나라가 목재의 순수입국이라는 상황은 변하지 않을 것이다.

우리나라의 경우 제1차 공약 기간에는 온실가스에 대한 감축 의무가 없다. 따라서 현행 IPCC 기본 접근법보다 더 큰 폭으로 국제 목재 가격을 상승시키는 축적 변화 접근법은 우리나라에 대해 수입을 감소시키고 벌채를 증가시키는 효과를 미칠 것이다. 그러나 IPCC 기본 접근법에 비해 국제 목재 가격이 하락되는 생산 접근법과 대기 유출입 접근법은 수입을 증가시키게 만들 것이다. 우리나라가 의무 당사국이 되는 경우에는 각 계정 방법이 우리나라에 미치는 효과는 위의 결과와는 다르게 나타날 것이다. 우리나라가 의



Table 3. Imports and exports of major forest products

|                                   |        | 1970  | 1980  | 1985  | 1990  | 1995  | 2000  | 2005  | 2008  |
|-----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Log (1,000 m <sup>3</sup> )       | Import | 3,891 | 6,141 | 5,578 | 8,285 | 8,229 | 6,735 | 6,022 | 5,267 |
|                                   | Export | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Lumber (1,000 m <sup>3</sup> )    | Import | 27    | 26    | 142   | 711   | 991   | 509   | 654   | 939   |
|                                   | Export | 6     | 376   | 166   | 198   | 32    | 17    | 12    | 14    |
| Plywood (1,000 m <sup>3</sup> )   | Import | -     | -     | 23    | 735   | 1,307 | 980   | 1,242 | 1,235 |
|                                   | Export | 1,055 | 953   | 127   | 76    | 104   | 118   | 15    | 11    |
| PB (1,000 m <sup>3</sup> )        | Import | -     | 3     | 58    | 460   | 485   | 485   | 759   | 773   |
|                                   | Export | 3     | 28    | -     | -     | -     | 4     | 2     | 1     |
| MDF (1,000 m <sup>3</sup> )       | Import | -     | -     | 23    | 82    | 76    | 380   | 416   | 468   |
|                                   | Export | -     | -     | -     | 7     | 19    | 99    | 48    | 26    |
| paper & paperboard<br>(1,000 ton) | Import | 24    | 54    | 98    | 275   | 697   | 570   | 757   | 817   |
|                                   | Export | -     | 132   | 102   | 469   | 993   | 2,471 | 2,854 | 2,627 |

Source : 1. Korea Forest Research Institute. 2007. Statistics on forest resources change and forest product supply and demand.  
2. Korea Forest Service. 2010. Statistics on trade in forest products(<http://soft.forest.go.kr>).

무 당사국인 경우 IPCC 기본 접근법은 벌채를 감소시키고 수입에 더 의존하도록 만들 것이다. 축적 변화 접근법은 수출보다는 국내 소비를 증가시킬 것이고 따라서 수입이 IPCC 기본 접근법보다 더 증가될 것이다. 특히, 내구재 생산을 위한 원목 수입이나 내구성 높은 목제품의 수입이 증가될 것이고 종이와 같은 수명이 짧은 제품의 교역에는 큰 영향이 없을 것이다. 생산 접근법은 수입보다는 벌채를 증가시킬 것이고 대기 유출입 접근법은 IPCC 기본 접근법보다 수입에 대한 의존이 적어 수입이 감소될 것이다.

IPCC 기본 접근법은 벌채 시 벌채목에 저장되어 있는 탄소를 즉각적으로 배출로 계정하기 때문에 벌채 후 원목 혹은 벌채지에 남아 있게 되는 임지 잔재의 바이오에너지용으로의 사용에 대해 전혀 영향을 미치지 않게 된다. 오히려 목재 에너지 사용에 따른 화석연료 사용의 감소가 에너지 부문에 있어서의 낮은 배출 결과로 이어지기 때문에 바이오에너지로의 사용을 촉진시킨다. IPCC 기본 접근법과 대조적으로 다른 계정 방법들은 목재의 바이오에너지로의 이용을 억제시키는 작용을 하게 된다. 축적 변화 접근법은 목재의 연소로 인한 배출을 감소시켜야 하기 때

문에 목재의 바이오에너지 생산을 위한 이용을 억제시키게 된다. 생산 접근법은 국내에서 생산된 목재를 연소하지 못하도록 하나 수입목재의 연료로의 사용을 촉진시킬 수 있다. 대기 유출입 접근법은 국내에서 생산된 목재나 수입목재에 관계없이 바이오에너지로의 이용을 억제시키게 된다.

IPCC 기본 접근법은 벌채를 덜 하도록 유도하기 때문에 목제품의 재활용을 촉진시킨다. 모든 접근법이 재활용에 대한 인센티브로 작용하지만 대기 유출입 접근법은 재활용의 증가로 수입이 감소되기 때문에 재활용에 대해 가장 큰 영향을 미칠 것이고, 생산 접근법은 수입제품의 재활용이 계정에 전혀 영향을 주지 못하기 때문에 재활용에 대해 가장 작은 영향을 미칠 것이다.

## 6. 결 론

당사국이 목재의 생산국·소비국, 수출국·수입국 이나에 따라 HWP 탄소 계정 방법별 이산화탄소의 목제품 내 저장량과 연간 변화량에 큰 차이가 발생한다. 앞서 추정된 결과에서 알 수 있듯이 우리나라와

같이 목재의 순수입국에게는 국내에서 사용 중에 있는 모든 목제품의 증가는 탄소 저장량의 증가로 계정되는 축적 변화 접근법이 가장 유리한 방법인 반면 목제품의 사용 이후 최종적으로 분해·연소가 발생하는 국가에서 그 나라의 탄소배출로 계정되는 대기 유출입 접근법이 가장 불리한 방법이다. 그러나 국내 산림 부문에 대한 정책 방향에 따라 각 접근법별 유·불리에 차이가 발생할 수 있다. 국산재의 생산 및 이용 활성화를 위해서는 생산 접근법과 대기 유출입 접근법이 유리하다. 목질 바이오매스 이용에 대해서는 IPCC 기본 접근법을 제외하고는 모든 접근법이 우리나라에 불리하지만 수입목재에 크게 의존하고 있는 우리나라로서는 수입목재의 목질 바이오에너지로의 이용으로 인한 탄소 배출이 우리나라에 계상되지 않는 점에서는 생산 접근법이 유리한 접근법이다. 모든 접근법이 목재의 재활용을 촉진하지만 특히 대기 유출입 접근법이 다른 접근법보다 재활용에 대해 큰 영향을 미치게 될 것이다.

이와 같이 HWP 탄소 계정 방법과 관련된 유·불리는 HWP 내 탄소 저장량, 국산재 이용, 목질 바이오매스 이용, 목재 재활용 등 여러 가지 측면에 따라 서로 다르게 나타난다. 따라서 단순히 HWP에 의한 이산화탄소의 흡수량 추정 결과에 기초하여 특정 계정 방법에 대해 우리나라 입장을 주장하기 보다는 향후 국산재의 생산 확대와 지속가능한 산림경영의 실현 등 국내 임업·임산업에 대한 정책의 추진 방향을 고려하여 우리나라 입장을 정리할 필요가 있다.

한편, 우리나라의 HWP 탄소 계정 수준은 낮지만 신뢰성 있고 높은 수준의 HWP 탄소 계정을 위해서는 관련 통계자료의 수집 및 분석 체계를 갖추어야 한다. 최종 소비제품까지의 국산재 및 수입재의 단계별 유통 물량, 제품별 생산, 교역 및 소비량 등 HWP 탄소 계정에 필요한 기본 통계자료 이외에 탄소 전환 계수 및 반감기 등 국가 고유 자료와 고�형 폐기물 매립지(SWDS)의 HWP 내 탄소 저장량 추정을 위한 자료가 필요하다. 2006 IPCC 가이드라인에서는 SWDS에 매립되는 HWP 내 탄소 저장량이 미미할 경우 SWDS 내에 매립된 HWP 저장량 추정이 필요하지 않지만, SWDS 내에 매립된 HWP 저장량이 AFOLU (agriculture, forest and other land use)에의 배출·

흡수량에 큰 영향을 미칠 경우에는 SWDS 내 HWP 저장량 추정이 필요하다고 제안하고 있다. 현재 우리나라 폐기물 통계는 환경부에서 관리하고 있고 이 가운데 HWP 관련 폐기물은 생활폐기물, 사업장 배출 시설 폐기물, 건설폐기물에서 목재류 및 종이류로 구분되어 재활용 소각, 매립 등으로 처리되고 있다. 따라서 이러한 통계자료에 기초하여 매년 매립되는 목제품 및 종이제품에 포함되어 있는 탄소의 저장량을 2006 IPCC 가이드라인에서 제안하고 있는 방법에 의해 사전에 추정해 볼 필요가 있다. 그 결과 SWDS 내 매립된 HWP의 탄소 저장량이 적지 않다고 판단되는 경우에는 좀 더 정확한 통계자료를 구축할 필요가 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 주린원, 정병현, 이성연, 김철상, 배재수, 이경학, 김경하, 김재준, 박찬우, 한상열, 김의경, 최관, 윤여창. 2007. 산림부문의 추세 및 장기 전망. 국립산림과학원 연구보고 07~19.
2. 최수임, 배재수, 정병현. 2006. 기후변화협약 하에서 목제품 탄소계정 논의 동향 및 국내 탄소배출량에 미치는 영향 분석. 한국임학회지 95(4): 405~414.
3. 최수임, 강학모. 2007. 우리나라의 수확된 목제품 탄소 저장 변화량 및 배출량 평가. 한국임학회지 96(6): 644~651.
4. Brown, B. and B. Lim. 1999. Evaluating approaches for estimating net emissions of carbon dioxide from forest harvesting and wood products. IPCC/OECE/IEA Programme on National Greenhouse Gas Inventories. 51p.
5. Dias, A. C., M. Louro, L. Arroja, and I. Capela. 2007. Carbon estimation in harvested wood products using a country-specific method: Portugal as a case study. Environmental Science & Policy 10: 250~259.
6. Green, C., V. Avitabile, E. Farrell, and K. Byrne. 2006. Reporting harvested wood products in national greenhouse gas inventories: Implications for Ireland. Biomass and Bioenergy 30: 105~114.
7. Hashimoto, S., M. Nose, T. Obara, and Y. Moriguchi. 2002. Wood products: Potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries. Environmental Science

- and Policy 5(2): 183~193.
8. IPCC. 2004. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. Chapter 3: LUCF Sector Good Practice Guidance. Appendix: 3a.1 Harvested wood products: Basis for future methodological development: 3.257~3.272.
  9. IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: 121~1233.
  10. Pingoud, K. 2003. Harvested wood products: Considerations on issues related to estimation, reporting and accounting of greenhouse gases. Final Report delivered to the UNFCCC Secretariat.
  11. Sampson, F, M. Apps, S. Brown, C. Cole, J. Downing, L. Heath, D. Ojima, T. Smith, A. Solomon, and J. Wisniewski. 1993. Workshop summary statement - Terrestrial biospheric carbon fluxes - Quantification of sinks and sources of CO<sub>2</sub>. Water, Air and Soil Pollution 70(1-4): 3~15.
  12. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2003. Estimation, reporting accounting of harvested wood products. FCCC/TP/2003/7.
  13. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2005. Data and information on changes in carbon stocks and emissions of greenhouse gases from harvested wood products and experiences with the use of relevant guidelines and guidance of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FCCC/SBSTA/2004/MISC.9.
  14. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2009. Report of the Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol to the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its fifth session. FCCC/KP/AWG/2009/L15.
  15. Winjum, J. K., S. Brown, and B. Schlamadinger. 1998. Forest harvests and wood products: Source and sinks of atmospheric carbon dioxide. Forest Science 44(2): 272~284.
  16. Watson, R, M. Zinyowera, R. Moss, and D. Dokken. 1996. Climate change 1995. Impacts adaptations and mitigation of climate change: scientific and technical analysis. contribution of working group II to second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.