

# 국산 목질판상재의 반감기 결정방법에 관한 연구<sup>1</sup>

장 윤 성<sup>2</sup> · 한 연 중<sup>2</sup> · 박 준 호<sup>2</sup> · 손 휘 립<sup>3</sup> · 박 주 생<sup>3</sup> · 박 문 재<sup>3</sup> · 여 환 명<sup>2,4,†</sup>

## Study on Methods for Determining Half-Life of Domestic Wooden Panel among Harvested Wood Products<sup>1</sup>

Yoon-Seong Chang<sup>2</sup> · Yeonjung Han<sup>2</sup> · Jun-Ho Park<sup>2</sup> · Whi-Lim Son<sup>3</sup> ·  
Joo-Saeng Park<sup>3</sup> · Moon-Jae Park<sup>3</sup> · Hwanmyeong Yeo<sup>2,4,†</sup>

### 요 약

수확된 목제품(Harvested Wood Products, HWP)이란 제재목, 합판, 파티클보드 또는 목구조재, 건축내장재, 가구, 종이제품 등과 같이 나무를 원료로 사용하여 가공한 제품을 말한다. HWP는 수명을 다하여 폐기될 때까지 산림에서 생장하면서 저장했던 탄소를 장기간 제품 내에 저장하고 있기 때문에 대기 중의 이산화탄소 농도를 안정화시키는 효과를 발휘한다. 이러한 이유로, 탄소계정 시 목제품의 탄소저장효과를 인정해야 한다는 의견들이 지속적으로 제기되어왔다. 2011년 11월 더반에서 열린 17차 기후변화협약 당사국총회(COP)에서는 자국산 목재 만을 대상으로 하는 생산접근법을 HWP의 탄소계정방법으로 결정하였다. 이에 본 연구는 향후 국가 간 논의 및 협상에 대응하고자 국산 HWP 탄소계정에 필요한 인자인 반감기를 결정하기 위하여, 외국의 반감기 결정사례를 조사하고 국산 HWP 반감기 결정을 위해 필요한 요소를 분석하였다.

### ABSTRACT

Harvested wood products (HWP) are known as products from the tree such as sawn wood, plywood, particle board, structural lumber, wooden interior material, wooden furniture, and paper products. Because carbon is locked up in the HWP until eventual end-use of HWP, HWP played a role as the carbon storage which has the effect of stabilizing the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. For these reasons, the suggestion that it must admit the carbon storage effect of HWP has been constantly raised.

<sup>1</sup> Date Received March 6, 2014, Date Accepted March 17, 2014

<sup>2</sup> 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부. Dept. Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>3</sup> 국립산림과학원 임산공학부 재료공학과. Div. Wood Engineering, Dept. Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>4</sup> 서울대학교 농업생명과학연구원. Research Institute of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 여환명(e-mail: hyeo@snu.ac.kr)

In 2011, the 17th session of the Conference of the Parties (COP) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) which was held in Durban, South Africa, assigned “Production Approach” which targets only the HWP produced by using round wood of domestic forestry as a official method for carbon accounting.

Therefore, it is necessary that each country has to determine the half-life of wood in order to correspond to the discussions and negotiations between countries in the future and to develop an inventory of product-specific domestic wood. In this study, some countries’ examples of the methods and conditions for determining half-life of HWP were investigated, and it was tried to derive the factor and methodology to determine half-life span of domestic HWP appropriately.

**Keywords :** harvested wood products, half-life, carbon accounting, carbon storage, wooden panel

## 1. 서 론

수확된 목제품(Harvested Wood Products, HWP)이란 제재목, 합판, 파티클보드 또는 목구조재, 건축내장재, 가구, 종이제품 등과 같이 나무를 원료로 사용하여 가공한 제품을 말한다. HWP는 수명을 다하여 폐기될 때까지 산림에서 성장하며 저장했던 탄소를 장기간 제품 내에 저장하고 있기 때문에 산림과 함께 대기 중의 이산화탄소 농도를 안정화시키는 효과를 발휘한다. 이러한 목제품의 이용은 재조림(reforestation)만 이루어진다면, 기존의 산림을 보전하는 것보다 더 많은 탄소저장효과를 나타낸다(Perez-Garcia *et al.* 2005). 목재는 가공 시에, 구조 및 내장재로 쓰이는 철이나 플라스틱 등을 제조할 때 소요되는 에너지보다 적게 소모될 뿐만 아니라, 철이나 플라스틱의 사용을 대체하면서 대기로의 탄소 배출을 억제하는 역할을 한다(Knight *et al.* 2005; Lippke *et al.* 2010). 또한 땅속에 매립되어 분해될 때까지 대기 중으로 탄소배출을 지연시킨다(Skog and Nicholson 1998; Stockmann *et al.* 2012).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1996 가이드라인에 수확된 목제품의 탄소계정 접근법이 제시된 이후, 목제품의 탄소저장효과를 인정해야 한다는 의견들이 지속적으로 제기되어왔다(Winjum *et al.* 1998; Lim *et al.* 1999). 최근, 2011년 11월, 더반에서 열린 17차 기후변화협약 당사국총회(COP)에서는 “국가 내에서 자란 나무를 벌채하여 생산한 원목을 국가 내에서 가공한 목제품이 지닌 탄소”만을 국

가 HWP 탄소 축적량으로 인정하는, “국산목제품만을 대상으로 하는 생산접근법”을 수확된 목제품(HWP)의 탄소계정방법으로 결정하였으므로, 이에 대비하여 국산 원목을 이용하여 국내에서 생산된 국산 HWP의 탄소저장효과에 관련된 연구가 필요하다.

하지만 HWP 반감기를 비롯한 국내 목제품 관련 온실가스 배출계수(emission factor)에 대한 이해수준이 낮고, 세부적인 활동자료(activity data)가 부족하여 HWP의 탄소계정관련 통계자료를 산출하기 위한 여건이 성숙되지 못한 실정이다. 따라서 HWP 탄소 축적량 산출관련 계수 결정방법론에 관한 연구가 진행되어야 할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 주요선진국의 자국실정이 반영된 HWP 반감기 산출 방법을 분석하고 이 산출방법을 이용하여 우리나라의 국산 목질판상재(합판, 파티클보드, MDF) 반감기를 시산하였다.

## 2. 재료 및 방법

IPCC (2006)에서는 현실의 복잡한 HWP 흐름을 단순화시켜 HWP 탄소축적량을 구하기 위한 방법으로 지수함수 모델을 적용하여 연간 목제품의 분해가 일정하게 진행된다는 일차후방법(First-order decay method)을 제시하였다. 이때 결정된 연간분해율과 관련하여 HWP에 저장되어 있는 탄소가 분해되어 제품의 질량이 절반이 되는 시간을 반감기(half-life)라고 하며 목제품의 수명을 나타내는 지표로 나타낸다.

HWP는 제재목, 목질패널, 종이와 같은 “최종제품

**Table 1.** Half-life of harvested wood products in use (IPCC 2003)

Country	Reference	HWP category	Half life in use (yr)	Fraction loss (ln(2)/Half life in yr)
defaults	IPCC 2003	Saw wood	35	0.0198
		Veneer, plywood and structural panels	30	0.0231
		Non structural panels	20	0.0347
		Paper	2	0.3466
defaults	IPCC 2006	Solid wood products	30	0.0231
		Paper products	2	0.3466
Finland	Pingoud <i>et al.</i> 2001	Saw wood and plywood	30	0.0231
	Karjalainen <i>et al.</i> 1994	Saw wood and plywood	50	0.0139
		Paper from mechanical pulp	7	0.0990
		Paper from chemical pulp	5.3	0.1308
	Pingoud <i>et al.</i> 1996	Average for paper	1.8	0.3851
		Newsprint, household, sanitary paper	0.5	1.3863
		Linerboard fluting and folding boxboard	1	0.6931
		80% of printing and writing paper	1	0.6931
		20% of printing and writing paper	10	0.0693
Netherlands	Nabuurs 1996	Paper	2	0.3466
		Packing wood	3	0.2310
		Particleboard	20	0.0347
		Saw wood average	35	0.0198
		Saw wood - spruce & poplar	18	0.0385
		Saw wood - oak & beech	45	0.0154
United States	Skog and Nicholson 1998	Saw wood	40	0.0173
		Structural panels	45	0.0154
		Non structural panels	23	0.0301
		Paper (free sheet)	6	0.1155
		Other paper	1	0.6931

의 재료”로 사용되는 “1차 HWP”와 건축재, 가구재, 내장재와 같은 “최종제품”인 “최종 HWP”로 구분하여 정의할 수 있다. 상대적으로 1차 HWP (제재목, 목질패널, 종이 등)의 수출입량, 생산량 결정은 상대적으로 용이하여 FAO 임산물통계 등에 정리되어 있으나, HWP 반감기 결정의 경우, 사용환경 및 사회적 인 조건에 따른 변수가 많고 HWP의 실제 추적이 쉽지 않아 정확한 값을 얻기가 어렵다. 본 연구에서는 국내외 HWP 반감기 결정사례를 조사하고 결정방법을 분석하였다.

### 3. 국내외 HWP 반감기 관련 연구

#### 3.1 국외 HWP 반감기 연구

##### 3.1.1. IPCC (1차 목제품)

기후변화에 관한 정부간 협의체인 IPCC에서 발간한 Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (IPCC 2003)에서는 HWP 탄소 축적량을 산정하기 위한 방법으로 부후모델을 제시하면서 연간부후율(ln(2)/반감기)과 관련 있는 반감기를 제재목 35년, 구조용 패널 30년, 비구조용 패널

**Table 2.** Half-life for wood products by end use in USA

Category	Reference	End use	Half-life (year)
Residential construction	Skog and Nicholson (S. & N.) 1998	Single-family(SF) homes (pre-1980)	80
		SF homes (post-1980)	100
		Multifamily(MF) homes	70
		Mobile homes	20
		Solidwood in SF 1920 and before (years)	75
	Skog 2008	Solidwood in SF 1921 and 1939 (years)	80
		(Increase in HL for each 20 year period after 1921 to 1939 (years))	(5)
Nonresidential construction	S. & N. 1998	Nonresidential construction	67
		Railroad ties	30
Manufacturing	S. & N. 1998	Furniture	30
		Manufacturing	12
Shipping	S. & N. 1998	Pallets	6

20년, 종이 2년으로 제시하였다. 이는 FAO 임산물 통계 또는 국가 임산물 통계를 이용하여 연간 HWP의 탄소축적량을 평가하기 위해 1차 목제품 중심으로 추정된 값이다. 이에 반해 IPCC 2006 guideline에서는 소재 제품(Solidwood products) 30년, 종이 제품(Paper products) 2년으로 HWP 목록을 단순화하여 반감기를 제시하였다.

이는 기존 목록을 단순화하여 1차 HWP의 탄소축적량은 단순 비교대상으로 제시하고, 1차 HWP에 비해 사용연수 파악이 보다 용이한 최종 HWP으로 HWP 탄소축적량을 평가하겠다는 흐름을 반영한 결과이다. 하지만, 최종 HWP의 반감기를 구하는 구체적인 방법에 관해서는 제시하지 않았다.

IPCC HWP 탄소축적량 산정방법에서는 기존에 제시된 기본값(Tier 1)이 아닌 타당한 국가 고유의 관련계수(Tier 2) 및 방법론(Tier 3)을 개발한다면, 이를 국가별 HWP 탄소계정에 적용이 가능하다고 하였다. 이후 1차 목제품 또는 최종목제품의 탄소축적량을 구하기 위하여 몇몇 국가는 고유의 방법론 및 관련계수 결정에 관한 연구를 진행하였다. IPCC 및 국외의 1차 HWP 반감기를 Table 1에 제시하였다.

### 3.1.2. 미국

주택의 90% 이상이 목조주택인 미국의 경우 (Sathre and Gustavsson 2009), 목조건축물을 중심으로 HWP 탄소축적량 관련 연구를 진행하였다. 거주 형태 및 건물용도에 따라 목록을 세분화하였고, 과거에 지어진 건물이 해당 조사년도에 얼마나 남아있는지 잔존비율을 조사하여 과거에 지어진 건물 수가 절반이 되는 시점을 해당 건축물의 실제 반감기로 제시하였다(Skog and Nicholson 1998). 목제품의 탄소축적량을 평가하기 위해 주거형태에 따른 제재목, 구조용 및 비구조용 패널의 투입비율을 산출하였다. 1920년 이후 지어진 목조주택은 20년 경과 후 전단계보다 5년의 추가 반감기를 갖는 것으로 산정하였다. 단독주택을 기준으로 연립주택 및 개·보수된 주택의 반감기를 상대적인 비율로 적용하였다(Skog 2008). 산출된 HWP 반감기는 Table 2와 같다.

### 3.1.3. 유럽

유럽은 북미와는 다르게 북유럽을 제외하고 목조주택의 비율이 20% 미만으로 미미한 수준이다(Sathre and Gustavsson 2009). 하지만 핀란드의 경우, 목재자

**Table 3.** Half-life of different wood products

Category	Country (Reference)	End use	Half Life (yr)
Construction	Germany (Burschel <i>et al.</i> 1993)	Construction	65
	Europe (Eggers 2002)	sawn timber, plywood, PB for Building, civil engineering	50
Furniture	Germany (Burschel <i>et al.</i> 1993)	Furniture	15
	Netherlands (Sikkema and Nabuurs 1994)	Furniture	15
	Europe (Eggers 2002)	Furnishing	16
Packing	Europe (Eggers 2002)	Shipping box, wrapping	1
Paper	Germany (Burschel <i>et al.</i> 1993)	Paper	1
	Europe (Eggers 2002)	Newsprint, printing paper book, map, poster	1 4

원이 풍부하여 제지산업이 발달하였고, 전체 건축물 중 목조건축물이 차지하는 비중이 크므로 일찍부터 HWP 관련 연구가 진행되었다. 과거의 HWP 탄소축적량 평가 및 미래의 HWP 탄소축적량을 예측하기 위해, 수종별(birch, spruce, pine) 및 제품별(fuelwood, plywood, sawn timber, mechanical/chemical pulp and paper)로 HWP를 분류하고 수명(life-span)에 따라 short (4년), medium-short (16년), medium-long (30년), long (65년)으로 구분하여 반감기를 적용하였다(Karjalainen *et al.* 1994; Karjalainen *et al.* 1995).

Eggers (2002)는 EFI (European Forest Institute)에서 유럽 국가들의 HWP 탄소축적량을 평가하고자 반감기를 단기(1년), 중단기(4년), 중장기(16년), 장기(50년)의 4가지로 분류하여, 각 HWP에 적합한 수명을 적용하였다. 독일(Burschel *et al.* 1993), 네덜란드(Sikkema and Nabuurs 1994) 등 다른 유럽 국가들도 타 국가의 HWP 반감기를 벤치마킹하고 자국의 실정을 반영하여 국가 고유의 반감기를 제시하였다.

### 3.1.4. 일본

일본의 경우, 국가적으로 국산 HWP 이용을 장려하여 탄소저장고로서의 역할 확대를 추진하고 있다. 특히 일본은 국가고유의 탄소축적량 산정 방법과 1차 HWP가 아닌 최종 HWP의 반감기 적용에 대한 관심이 높다. 현재 IPCC 가이드라인처럼 소재제품, 종이의 1차 HWP로 분류하는 것이 아니라, 건축자재, 목가구, 파렛트 등의 최종 HWP 이용분야에서의 탄소축적량 및 반감기를 적용하는 방법에 관하여 연구하였다. Hashimoto *et al.*(2004)는 제품별 연간분해율을 제시하고 이를 Van der Voet *et al.*(2002)가 제시한 탄소축적량 예측모델에 적용하여 이를 HWP 탄소축적량, 특히 목조주택에 포함되어 있는 제재목의 실제 축적량과 비교하였다.

Table 4를 이용하여 각 제품별 연간분해율(Discard rate)를 반감기(Half Life= $\ln(2)/\text{Discard rate}$ )로 변환하면, Mushroom bed logs 2년, Buildings and Infrastructure 32년, Furniture, doors and windows 7년, Boxes and pallets, Other wood products 3년,

**Table 4.** Discard rates of products (Hashimoto *et al.* 2004)

Products	Discard rate (per year)
Mushroom bed logs	0.33
Buildings	0.022
Infrastructure	0.022
Furniture, doors and windows	0.1
Boxes and pallets	0.2
Other wood products	0.2
Paper products	0.8

**Table 5.** Categories of half-life of wood products by EFI (Egger 2002)

Category (Final HWP)	Included commodities	Half Life (year)
Building materials	wooden houses, wooden bridges	50
Other building materials	fences, window frames, floors	16
Structural support materials	forms, scaffolds	1
Furnishing	beds, desks, chairs etc.	16
Packing materials	shipping boxes, wrapping, boxing	1
Long-life paperproducts	books, maps, posters	4
Short-life paperproducts	newsprint, sanitary papers	1

Paper products 1년으로 계산된다.

Tsunetsugu와 Tonosaki (2010)는 목조주택의 탄소 축적량을 평가하기 위해 연간 각 재료별 건축물 착공건수와 목조주택 단위면적당 목재가 차지하는 비율을 조사하여 적용하였다. 목조주택에 축적된 탄소량을 평가하기 위해, 착공/철거된 건축물의 면적을 통계자료를 통해 조사하고, 펄프, 칩을 제외한 전체 목제품에서 국산재가 차지하는 비율을 적용하였다. 목조주택의 반감기는 35년, 비목조주택의 반감기는 30년으로 제시하였고, 목제품별 밀도(제재목 0.45; 목질패널 0.628)와 탄소구성비(제재목 0.5; 목질패널 0.468)는 IPCC 기본값을 이용하여 산정하였다.

### 3.1.5. 한국

국내에서는 IPCC에서 제시한 접근법에 따라 국내 통계를 적용하여 국내에 존재하는 HWP 탄소축적량을 평가할 경우, 어떠한 접근법이 가장 유리한지 판단하기 위한 연구가 진행되었다(Choi *et al.* 2006;

Choi and Kang 2007; Choi *et al.* 2010). 1차 HWP 생산 통계로 FAO 대한민국 통계와 국내 관련통계를 적용하여 탄소축적량을 비교하였고, 반감기를 비롯한 관련계수는 IPCC 기본값을 이용하였다. 하지만, 국산 HWP에 축적되어 있는 탄소를 흡수원으로 인정받기 위해서는 방법론과 더불어 자국의 고유한 관련 계수(특히 반감기)를 결정해야 한다.

최종적으로 폐기가 일어나는 곳은 구조재, 가구재와 같은 최종 HWP이지만 통계추정의 어려움과 해당범위가 넓어 손실되는 HWP 목적이 많이 발생하므로, 비교적 생산통계가 잘 구축되어 있는 제재목, 목질패널과 같은 1차 HWP가 중간 또는 최종목제품에서 차지하는 비율을 구하면 이를 이용하여 1차 HWP의 생산흐름과 최종 HWP의 폐기흐름을 연결할 수 있다. 따라서 2008년부터 구축된 ‘목재이용실태조사’의 국산 1차 HWP가 최종 HWP로 이용되는 비율을 이용하면 최종 HWP 내 1차 HWP가 차지하는 구성 비율을 구할 수 있다.

**Table 6.** Half-life of HWP determined by mass flow of wood industry in Korea

Semi-final products (SP)	Final products (FP)	Ratio (%)	HL of FP (yr)	Conversion (Ratio × HL of FP)	Total(yr) (= HL of SP)
Plywood	Interior materials	93.9	16	15.0	15.1
	Structural support materials	6.1	1	0.1	
Particle board	Interior materials	22.6	16	3.6	15.5
	Furnishing	73.8	16	11.8	
	Structural support materials	3.6	1	0.1	
MDF	Interior materials	38.1	16	6.0	14.9
	Furnishing	54.8	16	8.8	
	Etc.	7.1	1	0.1	

이를 바탕으로 본 연구에서는, 최종 HWP 반감기를 임의로 가정한 후, 이들 값에 국산 최종 HWP 내 차지하는 국산 1차 HWP의 비율을 곱하여 합판, 파티클보드, MDF와 같은 목질패널의 1차 HWP의 반감기를 결정하는 방법을 ‘단순분배방법’이라 정의하였다.

산림청에서 실시한 ‘목재이용실태조사’에 따른 각각의 1차 HWP가 최종목제품 내 차지하는 비율을 조사하여 국산 원목을 이용하여 생산된 목질패널이 구조재, 건축내장재, 가설재, 가구재와 같은 최종 HWP로 얼마나 이용되는지를 파악하여 구성 비율을 도출하고 EFI의 최종 HWP 분류 및 반감기를 이용한 단순분배방법으로 국산 1차 HWP의 반감기를 추산하였다.

EFI의 최종 HWP 반감기(단기 1년, 중단기 4년, 중장기 16년, 장기 50년)를 적용한 국산 목질판상재 1차 HWP 반감기는 합판 15.1년, 파티클보드 15.5년, MDF 14.9년으로 추산되었다. 하지만, 본 연구에서 이용한 최종 HWP의 반감기는 유럽의 사례를 차용해온 것으로서 목재이용방식이 다른 우리나라에서의 최종 HWP 반감기와 차이를 보일 수 있다. 따라서 단순분배방법에 의한 추산의 논리적 근거를 확보하기 위해서는 국산 최종 HWP의 반감기 결정에 대한 좀 더 많은 연구가 요구된다.

#### 4. 결 론

기존에 제시된 IPCC 탄소축적량 산정 모델이 1차 HWP를 대상으로 하였으므로, 각국은 HWP 탄소축적량 산정 시 필요한 인자인 국가 고유의 1차 HWP 반감기 계수를 결정하기 위한 연구를 진행하였다. 세계 각국의 HWP 반감기는 IPCC가 제시한 추정치를 바탕으로 자국의 목재산업의 흐름을 반영하여 결정되었다. 각국은 “1차 HWP 생산량”과 “1차 HWP의 최종 HWP으로의 물질흐름” 등을 조사하여 1차 HWP 반감기를 결정하고, 자국 내의 HWP 탄소축적량을 평가하였다.

국내 1차 HWP 탄소축적량 평가 시, 기존에 제시된 IPCC 부후모델을 이용하기 위해서는 우리나라 고유의 1차 HWP 반감기를 결정해야 한다. 따라서 본 연구에서 정의한 단순분배방법에 따라 EFI의 최종 HWP 반감기를 적용하여 구한 결과, 국산 1차 HWP 반감기는 합판 15.1년, 파티클보드 15.5년, MDF 14.9년으로 추산되었다.

국내에서 이용되는 목질패널의 경우, 구조재료의 이용비율이 낮고, 가구재의 이용비율이 높아, 국외 HWP 반감기보다 낮은 값을 보인 것으로 생각된다. 또한 1차 HWP의 각 최종 HWP으로의 분배비율은 2008년부터 2011년까지 4년 간의 ‘목재이용실태조사’를 조사하여 이용하였으므로, 과거의 목재물질흐

름과는 차이가 있다. 이를 보완하기 위한 과거의 국산 HWP를 대상으로 물질흐름분석과 같은 추가적인 연구가 이뤄져야 할 것이다. 더불어 국내 HWP 이용 유형 및 소비경향을 분석하여 적합한 최종 HWP의 반감기 및 타당한 분류 목록을 작성해야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 산림청 연구과제 지원사업에 의하여 이루어진 것입니다.

## REFERENCES

- Bowyer, J., Bratkovich, S., Howe, J., Fernholz, K. 2010. Recognition of carbon storage in harvested wood products: A post-Copenhagen update. Dovetail Partners Inc.
- Burschel, P., Kursten, E., Larson, B.C., Weber, M. 1993. Present role of German forests and forestry in the national carbon budget and options to increase. *Water, Air, and Soil Pollution* 70: 325~340.
- Choi, S.I., Bae, J.S., Jung, B.H. 2006. Discussions on Carbon Account in Harvested Wood Products and Effects on Korean Carbon Emissions under the UNFCCC. *Journal of Korean Forest Society* 95(4): 405~414.
- Choi, S.I., Kang, H.M. 2007. The changes in carbon stocks and emissions assessment of harvested wood products in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 96(6): 644~651.
- Choi, S.I., Joo, R.W., Lee, S.M. 2010. An estimation of the carbon stocks in harvested wood products: accounting approaches and implications for Korea. *Mokchae Konghak* 38(6): 507~571.
- Eggers, T. 2002. The impacts of manufacturing and utilisation of wood products on the european carbon budget. European Forest Institute Internal Report 9, Finland.
- Hashimoto, S., Moriguchi, Y., Saito, A., Ono, T. 2004. Six indicators of material cycles for describing society's metabolism: application to wood resources in Japan. *Resources, Conservation and Recycling* 40(3): 201~223.
- IPCC. 2003. Methodological Issues. Good Practice Guidance and Other Information on Land-Use, Land Use Change, and Forestry: Implications of Harvested Wood Products Accounting.
- IPCC. 2006. Harvested Wood Products - Chapter 12, Volume 4. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Karjalainen, T., Kellomäki, S., Pussinen, A. 1994. Role of Wood-Based Products in Absorbing Atmospheric Carbon. *Silva Fennica* 28(2): 67~80.
- Karjalainen, T., Kellomäki, S., Pussinen, A. 1995. Carbon Balance in the Forest Sector in Finland during 1990-2039. *Climatic Change* 30: 451~478.
- Knight, L., Huff, M., Stockhausen, J.I., Ross, R.J. 2005. Comparing energy use and environmental emissions of reinforced wood doors and steel doors. *Forest Products Journal* 55(6): 48~52.
- Korea Forest Service. 2008-2011. Wood utilization actual condition survey, Korea.
- Lim, B., Brown, S., Schlamadinger, B. 1999. Carbon accounting for forest harvesting and wood products: review and evaluation of different approaches. *Environmental Science and Policy* 2(2): 207~216.
- Lippke, B., Wilson, J., Meil, J., Taylor, A. 2010. Characterizing the Importance of Carbon Stored in Wood Products. *Wood and Fiber Science* 42: 5~14.
- Nabuurs, G.J. 1996. Significance of wood products in forest sector carbon balances. In proceedings of a workshop held in Banff, Canada, September



- 12-16, 1994. NATO Advanced Science Institute Series, volume 140: 245~256.
- Perez-Garcia, J., Lippke, B., Connick, J., Manriquez, C. 2005. An Assessment of Carbon Pools, Storage and Wood Products Market Substitution Using Life-Cycle Analysis Results. *Wood and Fiber Science* 37: 140~148.
- Pingoud, K., Savolainen, I., Seppala, H. 1996. Greenhouse impact of the Finnish forest sector including forest products and waste management. *A Journal of the Human Environment* 25: 318~326.
- Pingoud, K., Perala, A.L., Pussinen, A. 2001. Carbon dynamics in wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 6: 91~111.
- Sathre, R., Gustavsson, L. 2009. A state-of-the-art review of energy and climate effects of wood product substitution. School of Technology and Design Report, No. 57 Växjö University, Växjö, Sweden. pp. 59
- Sikkema, R., Nabuurs, G.J. 1994. Forests and wood consumption on the carbon balance. *Studies in environmental science* 65: 1137~ 1142.
- Skog, K., Nicholson, G.A. 1998. Carbon cycling through wood products: The role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal* 48(7): 75~83.
- Skog, K. 2008. Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest Products Journal* 58(6): 56~72.
- Stockmann, K.D., Anderson, N.M., Skog, K.E., Healey, S.P., Loeffler, D.R., Jones, G., Morrison, J.F. 2012. Estimates of carbon stored in harvested wood products from the United States forest service northern region, 1906-2010. *Carbon Balance and Management* 7(1): 1~16.
- Tsunetsugu, Y., Tonosaki, M. 2010. Quantitative estimation of carbon removal effects due to wood utilization up to 2050 in Japan: effects from carbon storage and substitution of fossil fuels by harvested wood products. *Journal of Wood Science*. 56: 339~344.
- Van der Voet, E., Kleijn, R., Ishikawa, M., Verkuijlen, E. 2002. Predicting future emissions based on characteristics of stocks. *Ecological Economics* 41: 223~234.
- Winjum, J.K., Brown, S., Schlamadinger, B. 1998. Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science* 44: 272~284.