

목재 및 목질재료 이용에 관한 환경적 연관효과^{1*}

오 세 창²

Environment-Related Impacts on the Use of Wood and Wood-Based Materials^{1*}

Sei-Chang Oh²

요 약

온실효과는 이산화탄소의 과다방출로 인해 가장 심각한 환경문제가 되었다. 온실효과는 산림에서의 벌채, 특히 경작지를 위해 열대림지역이 파괴됨으로 인해 더욱 악화되고 있다. 나무는 대기중에서 이산화탄소를 흡수하므로 숲과 임산물은 이산화탄소를 이용하고 방출량을 줄이는데 큰 역할을 담당한다. 목재와 목제품은 철강, 알루미늄, 콘크리트와 같은 대체재료에 비해 제조에너지가 적게 든다. 화석연료가의 높은 비용의 가능성이라는 관점에서 볼 때 목재가공에 있어서의 낮은 에너지소모량은 매우 중요하다. 또한 목재와 목제품은 탄소저장고로서의 역할을 한다. 따라서 목재는 환경적으로 바람직한 좋은 재료이다. 최근 산업용 재료의 사용에 있어서 목재와 다른 대체재에 관한 많은 논의가 진행되고 있다. 재료 선정은 누구나 할 수 있지만 선정시 다양한 측면을 고려하여야 한다. 앞서 언급하였듯이 목재는 환경적으로, 에너지 소모적인 면에서 우수한 재료이다. 그러므로 목재는 다른 대체재보다 환경에 미치는 영향이 적은 재료이다. 우리는 목재를 보다 효율적으로 이용하고 목재자원은 지속가능한 산림에서 제공되어야 할 것이다.

ABSTRACT

The greenhouse effect becomes the most serious environmental problem due to excessive emission of carbon dioxide. This effect is aggravated with the deforestation, particularly cleaning of tropical forest for agricultural use. As trees sequester carbon dioxide from atmosphere, forest and forest products play an important role in the use and reduction of carbon dioxide. Wood and wood products require far less energy than the alternatives such as steel, aluminium and concrete for production. Considering high probability of increasing costs in the use of fossil fuel, the relatively low energy requirement for wood processing to very important. Also wood and wood products perform as a long-term storage of carbon. Wood is therefore an environmentally desirable resource. Recently, many alternatives have been introduced for industrial use. In selecting resources, many aspects should be taken into consideration. Wood and wood products have less harmful effects on the environment than the alternatives. We should utilize wood and wood products more efficiently, which should be provided based on the sustainable forest management.

Key words : greenhouse effect, carbon dioxide, wood and wood product

¹ 접수 1999년 4월 12일 Received on April 12, 1999

² 대구대학교 자연자원대학 College of Natural Resources, Taegu University, Kyongsan 712-714, Korea

* 본 연구는 1998년도 대구대학교 학술연구비지원에 의해 수행되었음.

서론

인구의 급속한 증가와 도시화의 급진전 및 인간의 풍요함을 추구하기 위한 성장위주의 경제활동은 지구환경과 생태계에 큰 위험을 주고 있으며 여기서 발생한 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비, 산림파괴, 사막화, 야생종의 절멸 등 전 지구적 규모의 환경문제는 심각한 상태에 다다르고 있다(이, 1998). 에너지를 얻기 위한 화석연료의 소모는 대기중으로 이산화탄소(CO₂)를 포함한 온실기체(greenhouse gases)의 방출을 늘려 주요 환경문제와 직접적으로 관련되며, 특히 CO₂의 농도상승으로 인한 지구온난화문제는 우려할 만한 상태에 도달해 있다. 산림은 지구탄소순환의 주요소로 산림의 파괴는 바로 CO₂의 증대를 가속화시켜 지구생태계의 변화에 큰 영향을 미친다. 단순히 산림의 주산물인 목재를 다른 대체재를 사용하여 목재의 수요를 감소시킴에 따라 산림면적의 감소를 막고 이에 따라 생태계의 변화를 지연시켜 환경문제에 대한 면죄부를 얻을 수 있으면 별다른 문제는 아닐 것이다. 지구환경문제의 본질적인 문제로서 에너지낭비형의 도시화나 경제 우선의 인위적 활동에 대한 방패막이로 산림벌채와 목재이용을 억제하도록 하는 것은 지구환경문제의 본질적인 면을 도외시 한 것이다.

산림용 재료의 선택에 있어서 산림이 가지고 있는 다면적 기능이 최근에 와서 강조되고 산림파괴를 통한 목재의 수확 및 가공에 따른 환경적인 영향을 중시함에 따라 목재가 아닌 다른 대체재의 사용에 관한 많은 논의가 진행되고 있다(Bowyer, 1992, 1995). 하지만 마찬가지로 이 대체재도 결국은 지구자원에서부터 나올 것이며 모든 산업용재료의 수집 및 가공은 부존자원의 고갈을 비롯한 환경에 분명히 좋지 않은 영향을 준다는 점을 잘 인식할 필요가 있다. 따라서 추후의 문제는 산업용재를 위한 원자재의 수집과 가공, 운반, 제작, 사용에 있어서 환경적으로 큰 영향을 미치지 않으면서 에너지 사용을 최소화할 수 있는 방안이 무엇인가 하는 것이다(SWST, 1997). 재료선택의 기준은 환경에 영향을 미치는 상대적 효과에 따라 결정되어야 할 것으로 생각된다. 산림에 있어서 지속가능한 이용과 보전에 관한 양극화된 토론은

산림수확에 있어서 심각한 감소현상을 초래할 것으로 예측된다. 반면 목재사용의 억제에 따른 환경적 영향은 대체자원의 사용으로 인한 자원 고갈문제와 에너지소모문제, 온실효과의 가속화 등 마이너스적인 측면이 많다(Buchanan, 1990). 목재는 제품단위당 에너지소모적인 측면에 있어서 다른 대체재에 비하여 실질적인 장점이 있는 것으로 알려져 있으며(장, 1994), 환경적인 측면에서 산업용재료의 선택에 있어서 목재의 위치 - 특히 목재는 유일한 재생가능자원으로 구조용 및 건축용으로 사용할 때 매우 경제적인 잇점이 있기 때문에(Koch, 1992) - 를 재설정할 필요가 있다고 본다.

따라서 본 논문에서는 목재의 이용과 지구환경문제와의 관계를 환경문제적인 측면에서 살펴보기 위해 목재와 다른 대체재를 사용하였을 경우의 환경문제, 특히 지구온난화문제와 에너지소모적인 면에서 특징을 비교분석해 보고 궁극적으로 환경보전적인 측면에서 바람직한 산업용 자재의 선택은 어떠한 것인지를 고찰해 보고자 한다.

목재와 관련된 환경문제와 그 영향

2.1 온실효과와 지구온난화문제

온실효과(greenhouse effect)는 점진적인 지구대기의 온난화현상을 말하며 자연적인 현상의 하나이다. 지구대기상에 존재하고 있는 혼합기체들을 통틀어 온실기체라 한다. 여기에는 CO₂, 메탄, 수증기, 산화질소화합물 등이 있으며 이 기체들이 질소, 산소와 함께 지구 주위를 둘러싸고 있다. 지구대기를 통과한 햇빛은 다시 공간으로 반사되는데, 반사된 것 중의 일부가 온실의 유리창과 같은 역할을 하는 대기의 온실기체에 의해 갇혀버리게 되어 지구의 온도는 온실내부의 온도가 외부의 온도보다 높게 되는 현상과 마찬가지로 점진적으로 상승하게 된다. 이 온실효과는 지구의 평균온도를 16℃ 정도로 일정하게 유지시켜주며 식물과 동물을 생존가능하게 하는 자연생태계를 이루게 한다. 만일 지구대기중에 온실기체가 없다면 온도는 -18℃ 정도로 하강하여 지구는 생명이 살아갈 수 없는 달과 유사한 환경을 갖게 될 것이다(Lawson, 1996). 앞서 언급하였듯이 지구대기는 78%

의 질소와 21%의 산소 및 1%의 온실기체로 구성되어 있으며 이 기체들의 구성비에 따른 분포균형이 변화되면 지구에 심각한 영향을 초래하게 된다. 이 영향에는 전세계적인 강우형태 및 식생의 변화, 빙하의 해빙에 의한 해수면 상승 등이 포함된다(유, 1996).

1800년대에 시작된 산업혁명이후로 온실기체의 방출은 증가하고 있으며 이에 연관된 인간의 행위는 화석연료의 연소, 채광량의 증대, 급속한 도시화, 농업 및 주택을 위한 산림의 개간 등의 인위적인 것이다. 특히 화석연료의 소비는 산성화, 공해(SO₂, NO_x) 및 대기중의 CO₂ 농도 증대를 비롯한 각종 심각한 환경문제와 직접적으로 관련된다. 대기중의 CO₂ 농도가 1900년과 1985년 사이에 25%정도 증가하였다고 보고 있으며 지금과 비교하여 2050년에는 1.5배, 2100년에는 2배가 될 것이며 3℃ 정도의 온도증가가 예상된다(곽, 1998). 이렇게 되면 해수면이 상승하여 육지의 상당부분이 물에 잠기게 되고 기상이변 및 생태계의 변화 등으로 인한 엄청난 규모의 대재앙이 예상되고 있다.

증가된 CO₂의 농도는 지구의 온도를 상승시키며, 이와 같이 주기적이며 점진적인 온난화를 야기시키는 온실효과는 인간의 행위가 대기중으로 온실기체의 유입을 증대시킬 때 그 효과는 상승하게 된다(Fig 1). 특히 급격한 인구증가와 더불어 생활패턴의 변화로 인류의 에너지 소비량은 기하급수적으로 증가하고 있으며 산업혁명 이후 석탄, 석유등 화석에너지의 연소에 따른 대기중으로의 이산화탄소의 방출은 심각한 정도로 증대되어 전지구적 환경문제를 일으키는 주요인이 되고 있다.

2.2 탄소저장고로서 산림과 수목의 역할

수목은 광합성을 통하여 대기로부터 CO₂를 잎을 통해 흡수하고 태양에너지를 사용하여 영양분을 만든다. 이 과정을 통해 줄기, 잎, 가지 등에 탄소가 고정. 저장되며 산소를 외부로 방출한다. 대략 50%정도의 탄소가 구성되어 있는 나무는 대기중으로 방출된 CO₂를 고정하고 대기중의 CO₂의 농도를 균형잡히게 하는 중요한 요소로 간주되고 있다. 따라서 수목과 산림은 지구탄소순환의 주요요소이며 산림은 지면과 대기사이에서 기후변화에 가장 큰 영향을 미치

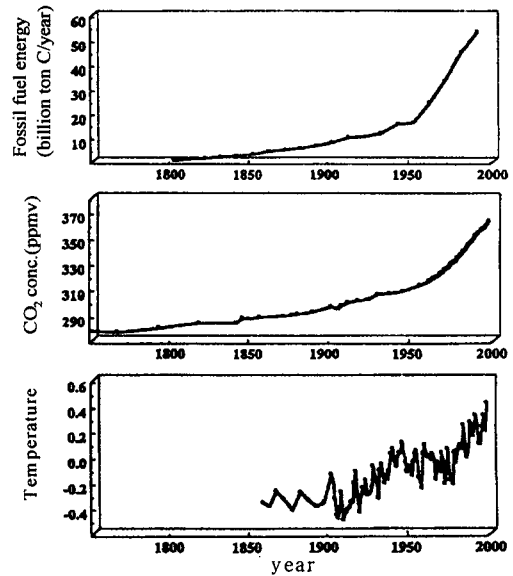


Fig. 1. Fossil fuel energy consumption, CO₂ concentration and temperature in atmosphere

는 탄소의 연간 순환량의 80%를 담당하고 있다. 또한 산림은 매년 방출되는 60억톤의 탄소 중 25%정도를 흡수한다고 알려져 있다(Tipper, 1998). 연간 ha당 성장률이 10m³인 산림이라면 같은 면적에서 높이 140m인 직육면체의 부피에 해당하는 양의 탄소를 흡수한다고 알려져 있다. 이는 다시 말하자면 1m³의 나무는 수종 및 밀도에 따라 1.2~1.5백만m³에 해당하는 탄소를 함유한다는 뜻이 된다(Moore, 1998). 따라서 이 수치로 미루어 볼 때 CO₂의 농도증대에 따른 기후변화와 그에 따른 영향력을 감소시키거나 억제할 수 있는 효율적인 수단 - CO₂의 흡수 및 고정에 있어서 - 으로서 산림과 수목의 잠재적인 중요성이 입증된다고 볼 수 있다.

하지만 탄소저장고로서의 주역할을 담당하는 산림에 대한 파괴와 이로 인한 수목내 저장탄소의 방출은 온실효과를 유발하는 요인기체중의 하나인 CO₂의 대기중 방출로 이어진다. 방출되는 CO₂는 대기중의 CO₂의 농도를 증대시켜 이로 인해 발생하는 지구온난화문제를 비롯한 각종 환경문제가 가속화되는 바람직하지 못한 현상을 초래하고 있다. 특히 산림의 파괴정도가 심할수록 이 영향은 더 커지게 된다. 세계의 산림은 연간 1,800만~2,000만ha정도 감소하고 있으며 1978년 대비 2,000년에는 산림면적은

25.6억ha에서 21.2억ha로 감소할 것이며 임목축적은 3,270억m³에서 2,530억m³으로 감소할 것이라고 예상하고 있다(산림청, 1998)(Table 1).

Table 1. World forest resources

Classification	Area (million ha)		Growing stock(billion m ³)	
	1978	2000	1978	2000
Asia	361	181	38	19
South America	550	329	94	54
Africa	188	150	39	31
Europe	140	150	15	13
North America	470	464	58	55
Japan, Australia, New Zealand	69	68	4	4
Old USSR	785	775	79	77
Total	2,563	2,117	327	253

1인당 임목축적은 76m³에서 40m³ 정도로 감소되고, 특히 지구의 허파구실을 하는 열대림이 연간 11백만ha 정도씩 감소되고 있어 CO₂를 저장할 수 있는 저장고로서의 산림의 역할이 심각한 위기에 처해 있다. 또한 산업화된 국가에 있어서 31백만ha를 차지하고 있는 산림이 대기 오염과 산성비로 인해 큰 피해를 입고 있다. 따라서 증가된 CO₂의 농도를 조절하고 온실효과의 충격을 완화시키는 유용한 방법이 되는 조림은 가장 적극적인 대처방안으로(김, 1998) 성장하는 나무에서 새로운 CO₂ 흡수원의 창출에 기여할 것으로 생각된다. 조림지 면적이 커질수록, 또 수목생장이 빠를수록 많은 양의 CO₂가 제거되어 조림은 상실되어 가는 산림의 탄소저장고로서의 역할을 보호하고 온실기체의 불균형을 해소하는데 큰 역할을 담당하는 주요수단이 될 것이다.

2.3 재료생산에 있어서 소요에너지와 CO₂ 방출 문제

산업용재를 사용할 때 그 재료를 선택하는데 있어서 각 재료간의 경제성을 비롯한 다양한 측면에서의 비교를 통하여 이루어져야 한다. 하지만 지금의 주요동향은 제조원가와 경제성에만 지나치게 치우친 나머지 문제의 본질적인 면과 부각되고 있는 환경적 문제를 고려한 산업용재의 선정은 논의에 그치고 있을 뿐이다. 특히 산업용재를 생산할 때 소요되는 에너지는

대부분 화석연료를 에너지원으로 사용함으로써 충당되는데 이는 곧 재생불가능한 에너지원을 고갈시키는 바람직하지 못한 방법이다. 따라서 산업용재 생산에 있어서 제조시 소요되는 에너지와 CO₂ 방출문제에 대한 비교검토는 산업용재로서 목재와 다른 대체재의 사용이 환경에 어떻게 영향을 미치는가를 살펴봄으로써 바람직한 재료의 선택방법은 어디에 있는지를 생각해 볼 수 있을 것이다.

2.3.1 제조에너지비교

각종 건축용 원자재를 생산하기위해 소요되는 에너지는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Comparison of energy use in producing of building materials*

Building materials	Kilowatt-hours (electricity)	Equivalent usage of ash-free coal
Timber	435	0.13 tons
Steel	3,780	1.15 tons
Aluminium	20,169	6.12 tons

* Producing one ton of each.

각 재료별 제조에너지 소모량에서 목재는 철에 비해 12%, 알루미늄에 비해 2% 정도밖에 되지 않는 전기에너지를 소모한다. 따라서 목재는 다른 재료보다 훨씬 적은 제조에너지를 소모하고 있음을 알 수 있으며 에너지원인 전기를 얻기 위해 석탄이나 석유를 사용할 경우 연소되면서 대기중으로 다량의 탄소를 방출하게 되므로 전기에너지의 소모가 적을수록 대기중으로 방출되는 CO₂ 양도 적어지게 될 것이다.

특히 원자재를 가공하여 각종 산업용재료로 전환될 때 원재료의 채취로부터 제품의 가공, 운반에 이르기까지 소요되는 에너지의 비교는 보다 더 선명한 결과를 보여준다. 목재 및 목질재료와 다른 대체재를 사용하였을 경우의 제조에 소요되는 에너지 비교를 표 3에 나타내었다.

건물에서 셋기둥(stud)으로 제재목과 철제를 사용할 경우 제조에서 운반까지 길이 2.4m의 2×4 제재목은 2.91백만Btu의 에너지가 필요한 반면, 철제로 대체할 경우 50.32백만Btu의 에너지가 필요하다. 무게비(철제셋기둥 무게/제재목셋기둥 무게)는 0.53정도이므로 이를 고려해도 철제셋기둥의 경우 50.32×0.53=26.67백만Btu의

Table 3. Energy requirements for 1 ton of the product in manufacturing process

Materials	Energy required (million Btu)
Wood-based	
Softwood lumber	2.91
Softwood sheathing plywood	6.00
MDF	8.49
Nonwood-based	
Concrete slab	8.52
Carpet and pad	9.06
Steel suds	50.32
Aluminium siding	200.47

에너지가 필요하므로 대략 10배정도의 에너지가 목재셋기등보다 더 필요하다. 또한 같은 용도에 대하여 합판과 알루미늄사이드를 비교해 볼 때 톤당 합판은 6.0백만Btu의 에너지가 필요한 반면 알루미늄사이드는 무게비 0.16을 고려하여도 $200.47 \times 0.16 = 32.08$ 백만Btu가 소모되어 26백만Btu정도의 에너지가 더 소모된다. 결국 목재를 다른 대체재를 사용하여 적용할 경우 많은 에너지소모는 재료의 선택에 있어서 목재가 갖는 잠재적인 에너지효율성을 잘 입증해 주고 있다.

2.3.2 제조시 CO₂저장 및 방출량 비교

산업용재료를 제조할 때 방출되는 CO₂ 량과 저장량에 따른 상대적 효과를 Table 4에 나타내었다. 목재의 경우 제재목제조시 나오는 CO₂의 방출량은 알루미늄에 비해 체적기준으로 12.5%, 무게기준으로 0.07%, 철제에 비해 각각 4%, 0.3%에 불과하다. 따라서 목재는 다른 대체재에 비하여 낮은 CO₂ 방출량은 산림의 벌채로부터 출발하는 목재의 사용이 환경에 좋지 않은 영향을 주는 요인이 아니라는 것을 잘 알 수 있다. 목재는 대기중의 탄소를 흡수하고 태양 에너지를 사용하여 목재의 주성분인 셀룰로오스, 리그닌등의 탄소화합물로서 고정되므로 다른 재료에 비하면 생산에 요구되는 에너지는 극히 적으면서 대기중의 CO₂ 방출량을 줄여준다. 반면 목재의 대체재인 철, 콘크리트, 알루미늄과 같은 에너지 집약적 재료는 탄소를 저장치 못하고 방출량만을 늘리는 결과를 초래하므로 목재의 사용은 효율적인 탄소저장방법으로 환경보전에 유리하다고 볼 수 있는 것이다.

Table 4. Carbon released and stored in the manufacture of building materials

Material	Carbon released (kg/t)	Carbon released (kg/m ³)	Carbon stored (kg/m ³)
Rough sawn lumber	30	15	250
Steel	700	5,320	0
Concrete	50	120	0
Aluminium	8,700	22,000	0

2.3.3 환경비용의 평가

현재 건축구조에서 목재의 사용을 대체할 수 있는 구조용재료로 철제로 된 구조부재에 대한 많은 관심을 기울여 철골조주택의 개발이 이루어지고 있으며 최근 우리나라에서도 주거용 건물에 대한 철골조주택의 개발 및 시공이 이루어지고 있다. 하지만 이들에 대한 제조에너지비교와 CO₂ 방출량 및 외형적인 환경비용을 고려해보면 목재사용에 대한 논의가 우선적으로 필요하다는 것을 잘 알 수 있다. 아직 우리나라에서는 목구조주택의 보급이 미흡하여 목재의 사용은 몇가지 용도로만 제한되고 있지만 북미나 일본의 경우처럼 목구조주택이 보편화된 곳에서는 목재를 주요 구조부재로 사용한다. 대표적인 산업용재료인 목재와 철제를 사용하여 3m×30m 크기의 건물의 벽체를 구성할 때 이들의 제조에 있어서 초래되는 환경비용을 달러로 환산한 평가치(CWC, 1997)를 Table 5에 나타내었다. 이들의 비교에서 보듯이 목재를 사용하여 벽체를 구성할 경우 철제에 비해 외형적인 환경비용은 1/4에 불과하다. 따라서 철제에 비해 목재는 낮은 환경비용과 에너지효율성 및 높은 탄소저장능으로 인해 목재의 사용은 곧 환경에 좋은 영향을 줄 수 있는 주요인이라는 것을 알 수 있다.

Table 5. Environmental externality cost

Pollutant	Cost(\$/kg)	Wood wall	Steel wall
Electricity		1.46	4.67
CO ₂	0.15	47.00	145.65
SO ₂	1.80	0.66	6.65
NO _x	4.47	4.52	7.04
Particulate	2.62	0.49	1.55
Effluent	0.05	0.61	24.80
Total		54.74	190.57

CO₂의 방출 및 저장과 연관된 환경자원재로서 목재의 효율성

목제품의 사용에 따른 환경적 영향과 관련하여 앞서 설명한 환경적인 장점 외에도 우리가 직면한 많은 문제점이 있으며 이를 해결하기 위하여 많은 노력을 기울여야 한다. 산림은 CO₂의 주저장고로서 산림의 탄소저장능을 해치는 가장 큰 요인은 벌채이며 특히 열대림지역에서 경작지확보를 위한 열대림의 파괴가 가장 큰 문제이다. 산림의 탄소주저장고로서의 역할을 지속시키는 방법은 현존하는 산림을 그대로 보호하는 방법이 있으나 인구증대에 따른 자원 이용량의 증대와 자원고갈문제를 고려해 볼 때 적극적인 방법은 아니다. 특히 목재는 재생가능한 자원이지만 다른 대체자원은 재생불가능한 자원이므로 바람직한 미래사회를 위해서도 목재의 사용과 벌채된 목재를 대신하는 조림은 지속가능한 개발을 통해 환경보전, 특히 탄소저장고로서의 역할을 지속적으로 수행하는데 크게 기여할 것이다. 여기서 주어진 여건하에서 벌채된 목재의 사용에 따른 문제점을 최소화하고 산림의 지속가능한 개발을 위해 모색되는 해결방안으로 목재자원의 재생 및 재활용과 목재의 효율적인 이용법, 그리고 목재이용의 종합적인 집합체인 목구조 건축이 있다.

3.1 목재자원의 재활용

목재 및 목질재료의 재생은 폐기물을 감소시키고 산림자원을 보존한다는 측면에서 아주 중요한 환경적인 잇점이 있으며 환경을 크게 개선시킬 수 있다고 볼 수 있다(Jahn과 Preston, 1976). 특히 인구의 급격한 성장과 이와 연관된 모든 종류의 원자재에 대한 수요의 증대로 인해 가까운 장래에 목재에 대한 수요감소는 일어나기 힘든 상황에서 최대한의 자원재생은 원자재에 대한 수요증대의 속도를 늦출 수가 있는 유용한 방법이 된다.

미국의 경우 모든 도시매립폐기물의 44%가 목재 및 종이제품으로 이 폐기물에 대한 용도가 찾아진다면 매립용 공간이 크게 감소함과 동시에 자원절약적인 면에서 매우 바람직한 일이 될 것이다. 종이 및 폐기목재의 회수에 있어서 중요한 세가지 자원공급원은 도시고형폐기

물, 신축 및 해체폐기물과 1차 가공공장에서 배출되는 목재폐잔재이다(Ince와 McKeever, 1995) (Table 6). 표에서 보듯이 1993년도에 도시고형 폐기물중 목재폐기물의 절반정도인 20.3×106톤이 회수되고 있다. 하지만 이중 1차가공후의 회수율은 미미하며 전체적인 회수량은 22%에 불과하다. 추정된 회수량에 있어서 자원의 회수 및 이용성에 대해 많은 인자들이 영향을 미친다. 회수되지 못하는 상당량의 자원은 저질이며, 재질이 균일치 못하고 회수가 불가능하며 다른 폐기물과 섞여 있어 재활용하기가 쉽지는 않다. 하지만 목재 및 종이제품에 관한 회수율을 높이고, 이들을 사용한 공학목재의 재생기술개발을 통하여 폐기자원을 완전히 이용할 수 있도록 하여 CO₂저장고로서 산림의 역할을 보호하고 환경에 미치는 마이너스적 영향을 최소화시켜야 할 것이다.

Table 6. Wood waste generated and recoverable quantity in USA

Source	Generated	Recoverable	%
Municipal solid waste	13.7	7.4	54
Wood waste	31.1	15.1	48
Woody yard trimming	28.2	15.1	50
Subtotal	44.8	22.5	50
Construction and demolition			
New construction waste	6.7	5.9	88
Demolition waste	22.7	7.5	30
Subtotal	31.7	13.4	42
Primary timber processing			
Bark residues	28.7	1.5	5
Wood residue	82.1	4.7	6
Subtotal	110.8	6.2	6
Total wood waste	169.9	42.1	22

* unit : 10⁶tons

3.2 목재자원의 효율적 이용방안

목재 및 목질재료가 건축에 사용되는 양은 과거보다 건물의 크기당 사용량은 감소하고 있으며 이는 각종 형태로 가공된 목질재료의 사용에 따른 목재소모량의 감소에 따른 것이다. 현재의 목질재료는 제품의 요구되는 최종용도에 대한 특성과 형태 및 구성에 따라 설계된다. 이렇게 제조된 목재를 공학목재(engineered wood)라 한다. 공학목재는 고부가가치제품의

창출에 나무의 전 부분을 사용할 수 있으며 특히 과거에 제품제조시 쓸모없는 것으로 여겨졌던 재료의 사용을 가능하게 하였다. 특히 각 구성재료의 장점을 최대한 살린 공학목재로서 목질복합재료는 단일구성 재료보다 더 우수한 성능을 나타낸다. 이러한 점에서 공학목재의 개발은 자원보전적인 측면과 환경적인 측면에서 중요한 사안이 된다(조, 1992).

공학목재의 개발 및 사용과 더불어 새로운 가공기술의 개발도 자원의 효율적 이용에 큰 영향을 미친다. 원목에서 제재품으로 가공할 때 수율은 가공기술의 향상에 따라 수십년 전보다 크게 증가하였다. 이는 제재기술의 발전에 따라 가공정도(accuracy)가 높아지고 건조기술의 발전에 따른 폐기물의 감소와 2차가공방법의 개선등으로 인한 것이다. 지속적인 새로운 기술의 개발과 혁신은 우리가 사용할 수 있는 목재의 공급을 늘려줄 것이다.

또한 목재보존기술의 향상은 목재의 사용수명을 연장시키고 탄소저장면에서 아주 효율적인 목재의 이용방안이 된다(최와 이, 1995). 하지만 일반적인 목재보존제의 독성에 따른 환경적 영향에 대한 관심이 고조되어감에 따라 대체보존제의 개발을 서두르게 하였으며 저독성 보존제의 개발과 생물학적 목재보존방법은 환경적인 측면에서 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대된다.

3.3 목조건축에의 기대

건축생산은 기본적으로 자원 에너지를 소비하는 것으로 성립되고 있지만 동시에 자원저장이라는 측면도 가지고 있다. 목조건축물은 수목과 같이 신장하지 않으나 산림과 동등한 의미를 갖는다. 건축물이 사용되고 있는 동안 서서히 노후화 되어 최종적으로 해체되지만 이때 생긴 자재는 모두가 쓰레기로서 대지나 대기로 돌아가는 것이 아니고 재생자원으로서 사용하게 된다. 그 때문에 재료로서의 내구성이나 해체방법이 저장된 자원의 재이용에 있어서 중요한 요소가 된다. 또 건축물로서의 내용년수가 증가되고 해체에 의한 배출량은 감소하게 되면 산림에 여유를 주게 된다.

주택건축에서 목구조건축과 다른 구조물과의 환경적 영향성, 특히 탄소저장량을 비교해 보기

위해 한 예를 들면 다음과 같다. 주거형태에 따른 탄소저장량의 비교에서보면 축조되는 주택의 평균바닥면적이 180m² 이라 할 때 목조주택의 경우 21m³의 목재를 사용하나 철골조주택에서는 6.7m³의 목재만 사용하며 이에 따른 CO₂의 저장량은 큰 차이를 보인다(Table 7). Table 7에서 보듯이 목조주택은 철골조주택에 비하여 CO₂의 저장량이 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 철골조주택의 시공은 환경적으로 볼 때 CO₂의 방출로 이어져 환경에 나쁜 영향을 미친다. 그러므로 철골조주택이나 콘크리트슬랩주택에서 방출되는 많은 양의 CO₂를 줄일 수 있는 대안은 목조주택을 위시한 목재의 효율적이고 올바른 사용에 있다고 볼 수 있다.

Table 7. Comparison of total carbon stored between wood framed and steel framed construction*

Component	Wood frame	Steel frame
Frame only	13m ³ wood	5 ton steel
Total house	21m ³ wood	6.7m ³ wood
Total carbon stored	9.7 tons	3.1 tons
Total carbon released	2.2 tons	6.0 tons
Balance of carbon	7.5 tons	-2.9 tons

* average floor area : 180m²

결 론

환경문제와 관련하여 온실효과 유발기체인 CO₂의 방출량을 줄이기 위해 산림에서 벌채금지령을 통한 목재 사용 제한에 관한 논의가 많이 진행되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 목재는 다른 산업용 재료와 마찬가지로 전부 일회용 소모품이라는 인식밖에는 없을 것이다(有馬, 1994). 하지만 목재와 목질재료는 생장시 나무에 저장된 탄소를 그대로 저장하고 있으며 탄소저장능은 숲의 나이와 나무의 형태 및 성장속도에 의존한다. 나무는 벌채후 목제품으로 가공되더라도 그속에 탄소를 저장한 채 그대로 남아 있다. 반면에 석유화학제품인 플라스틱이나 철, 알루미늄과 같은 금속재료를 제조할 때 CO₂를 비롯한 온실기체가 방출되어 환경적으로 좋지 않은 영향을 주게 된다. 목재의 경우 다른 재료와 비교하여 볼 때 제조시 소요되는 에너지 소모량은 가장 적으며 방출되는 CO₂의 양도

극히 적다. 제재가공시 CO₂가 일부 방출되기도 하나 CO₂보유량에서 가공시 방출되는 CO₂의 양을 뺀 순수한 보유량은 목재 1kg당 8.3kg의 CO₂를 함유하므로 목재는 CO₂의 방출에 영향력이 가장 적은 환경친화적인 재료임을 알 수 있다. 따라서 자원확보와 환경보전이라는 점을 고려하여 환경자원재로서 목재의 특성은 다른 재료가 가질 수 없는 우수한 특성을 지닌다. 결국 탄소를 저장하는 목재와 목질재료는 환경자원재로서 그 역할을 크게 담당하게 될 것으로 기대된다.

궁극적으로 산림은 대기중에 있는 CO₂를 흡수하며 목재는 벌채되어 사용되고 사용후 연소되거나 부식됨으로써 CO₂를 방출하는 순환생태계를 이룬다. 따라서 벌채에서 소각까지의 시간이 길면 산림의 수목이 성장하는데 필요한 충분한 시간을 주게되고 목재를 분해, 소각하는 양이 수목의 성장량을 넘지 않는다면 대기중의 탄소는 감소하는 방향으로 향하게 될 것이다. 목재자원이 정말로 재생가능자원이고 환경보전에 대해서 극히 생태적인 자원이라고 불리는 이유는 여기에 있다. 목재는 연소에 의해 CO₂를 방출하지만, 벌채한 산림에 다시 새로운 나무를 심어 새로운 CO₂ 저장원을 창출한다. 그러므로 목재의 이용은 환경에 미치는 스트레스는 없다고 볼 수 있으며 지속가능한 개발을 가능케 한다. 새로운 CO₂ 저장원의 창출과 환경에 미치는 영향을 고려해 볼 때 목재의 효율적이고 합리적인 이용방안에 대하여 많은 노력을 기울여야 한다.

여기서 주어진 여건하에서 벌채된 목재의 사용에 따른 문제점을 최소화하고 산림의 지속적인 개발을 위해 모색하기 위해 우리는 목재자원의 재생 및 재활용과 공학목재의 개발 및 사용, 새로운 가공기술의 개발에 많은 관심을 가져야 한다. 특히 지속적인 새로운 기술의 개발과 혁신은 우리가 사용할 수 있는 목재의 공급을 늘려줄 것이다. 또한 목재이용의 종합적인 양상으로서 목구조건축물은 수목과 같이 신장하지 않으나 산림과 동등한 의미를 갖는다. 따라서 방출되는 많은 양의 CO₂를 줄이고 저장하며 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 목재와 목질재료의 효율적이고 올바른 사용법은 바로 지구환경보전의 지름길임을 잘 인식하여

야 할 것이다.

인용문헌

1. 곽상수. 1998. 식물에 의한 이산화탄소 고정과 지구환경보전. 생명공학동향. 6(3, 4) : 51 - 55.
2. 김규현 등. 1998. 산림의 온실가스 저감방안. 임업연구원 연구자료 제143호.
3. 유병일. 1996. 지구환경과 산림 그리고 인간. 도서출판 지구촌. 294pp.
4. 이상훈. 1998. 교양환경과학. 자유아카데미. 308pp.
5. 장상식. 1994. 환경보호와 목재의 이용. 목재공학 22(3): 51-58.
6. 산림청. 1998. 임업통계연보. 제28호.
7. 조재명. 1992. 목재산업 환경변화와 대응전략. 목재공학 20(4): 5-14.
8. 최인규, 이동홍. 1995. 국내에서 사용중인 목재의 탄소저장량. 임산에너지15(1): 15-22.
9. 有馬孝禮. 1994. 木材と自然環境. 建築雜誌 'Vol. 109 No.1364 : 42-43.
10. Bowyer, J. L. 1992. Population, environmental, and related issues in the context of raw material demand and availability. Wood products for engineered structure. Forest Product Society Proceedings 47329: 11 - 16.
11. Bowyer, Jim L. 1995. Wood and other raw materials for 21st Century. Forest Products Journal 45(2) : 17 - 24.
12. Buchanan, A.H. 1990. Timber engineering and the greenhouse effect. Forest Product Society Proceedings 47329 : 11 - 16.
13. Canadian Wood Council. 1997. Wood the Renewable Resources - Technical Bulletin. (<http://www.cwc.metrics.com/>).
14. Ince, P.J. and D.B. McKeever. 1995. Recovery of paper and wood for recycling: actual and potential. USDA. Forest Service General Technical Report FPL - GTR - 88.
15. Jahn, E. C. and S. B. Preston. 1976. Timber : more effective utilization. Science

- 191(4227) : 757 - 761.
16. Koch, P. 1992. Wood versus nonwood materials in U.S. residential construction. *Forest Products Journal* 42(5) : 31 - 42.
 17. Lawson, W. R. 1996. Environmental properties of timber. in *Timber in building construction : Ecological Implications*. NSW Timber Development Association Research paper. (<http://oak.arch.utas.edu.au/environment/>).
 18. Moore, P. 1998. Carbon in Forest. (<http://www.greenspirit.com/>).
 19. Tipper, R. 1998. Update on carbon offsets. *ITTO news letter* 8(1) : 2 - 4.
 20. Okuma, Motoaki. 1995. Relationship between conservation of global environment and wood utilization. 95년도 한국목재공학회 정기총회 특별강연 자료.
 21. Society of Wood Science and Technology. 1997. Environmental implications of wood-based products. SWST-The Critical Issue Committee Task Group Paper. 20pp.