

친환경 건축재료로서의 목재와 공학목재

○ **엄영근** | 국민대학교 임산공학과 교수
eom@kookmin.ac.kr
www.wpskorea.org

I. 머리말

평소 우리들이 사용하고 있는 가구, 건축재료, 종이 등의 원료인 목재는 매일 쉬는 일도 없이 숲 속에 자라고 있는 나무로부터 생산된다. 이런 활동이 지구 온난화의 한 원인이 되고 있는 이산화탄소(CO₂)의 흡수를 통해 이루어지기 때문에 지구 환경의 보전에도 중요한 역할을 하게 된다는 것은 다른 재료나 자원에서 볼 수 없는 우수한 특징이다. 또한 나무의 생산물인 목재는 생물 재료 특유의 섬세함과 합리적인 구조를 지니고 있으며 가볍고 강인하여 가공하기 쉽고 게다가 아름다움과 다양한 용도 때문에 오랜 옛날부터 인간 생활의 필수 재료로 중요하게 사용되어 왔다.

더욱이 지구 환경에 대한 관심이 점점 부각되고 있는 요즘 CO₂의 훌륭한 저장고이면서 동시에 '생산→가공→이용→재이용→폐기'라는 순환 과정에서 환경에 부담을 주지 않는 삼림으로부터 생산되는 목질자원이 지니는 의미가 다시 평가되어야 할 시점에 이르렀다고 여겨진다. 또한 이 재료는 소용 가치가 없어져 폐재(廢材)가 되더라도 여러 가지 형태의 공학목재나 종이 등의 원료로 다시 이용될 수 있으며 최종적으로 에너지원으로써 이용된다면 화석연료의 사용량을 줄여 주는 효과도 기대되는 등 순환 이용이 가능한 자원이기도 하다.

이와 같은 목질자원의 순환계는 지금까지도 지구에 있어서 매우 중요한 의미를 갖고 있다. 예를 들어, 건축재료 한 가지만을 생각해 보아도 목재가 생산 과정에서 대기를 정화하고 국토를 보전한다는 점과는 달리 철, 알루미늄, 콘크리트, 플라스틱 등은 지구 환경에 대해 이와 같은 공익적인 측면을 갖지 못하고 부담만 주게 될 뿐이다. 사람에게 지구의 미래가 소중하다는 의식이 있다면 목질자원의 순환계가 사람과 자원 사이의 올바른 관계를 보여주는 대표적인 본보기로서 이상적임을 깨닫게 될 것이다. 다시 말하자면 목질자원의 순환계 확립은 미래에 있어서 인류 생존의 열쇠를 쥐고 있는 것과 마찬가지로 이다.

II. 목재의 특성

1. 목재의 일반 특성

모든 침엽수와 활엽수 목재는 그들의 식물학적인 기원에 관계없이 공통적인 특성을 지니고 있는데 그 주요 특성을 살펴보면 다음과 같다.

① 모든 목재는 구조적으로 다양한 종류의 세포로 구성되어 있다. 이와 같이 목재를 구성하는 세포는 빈 공간인 세포내강과 이들을 둘러싸는 세포벽으로 이루어져 있기 때문에 다공성(多孔性)을 나

타내게 된다. 또한 세포벽은 철근-콘크리트 구조에 있어서의 철근처럼 골격 역할을 하는 셀룰로오스(cellulose), 철근과 철근을 묶어 주는 철사처럼 매질 역할을 하는 헤미셀룰로오스(hemicellulose), 시멘트처럼 충전제 역할을 하는 리그닌(lignin)으로 주로 이루어진 복합체 구조를 지니고 있기 때문에 목재는 탄성과 소성을 모두 나타내게 된다. 이러한 각종 세포들의 형태와 배열 상태 및 추출물 등이 함께 어우러짐으로써 목재는 각기 나뭇대로의 독특한 자연적인 목리와 무늬 및 재색을 지니는 아름다운 외관의 재료적 특성을 보이게 된다.

② 목재는 축방향, 방사방향 및 접선방향의 3방향에 따라 각기 다른 물리적 및 기계적 성질을 나타내는 이방성 재료(異方性 材料)인데 이는 세포벽의 화학적 구조, 목재를 구성하고 있는 세포의 형태 및 배열 상태(그림 1)에 기인한 것이다.

③ 목재는 주위 환경의 온도와 상대습도 조건에 따라 흡습과 탈습 작용을 통해 평형습도를 상태에 도달하려는 성질을 지니는 재료이기 때문에 실내의 습도를 쾌적하게 조절할 수 있는 천연의 냉방기 역할을 하게 된다. 비중 0.4, 두께 5 mm, 넓이 1 m²의 목재는 습수율 1% 변화에 따라 20 g의 수분을 흡습 또는 탈습할 수 있다. 그러나 이러한 흡습이나 탈습에 따라 목재 내의 수분함량(습수율)이 증가 또는 감소하게 되면 목재의 치수가 늘어나거나 줄

어지게 되는데 이런 치수변동은 축방향 : 방사방향 : 접선방향 = 4 : 60 : 100 정도로 3방향에 따라 서로 다르게 일어난다. 또한 습수율이 증가하면 목재의 강도가 낮아지고 전기전도도가 커지는 등 목재의 각종 물리적 및 기계적 성질에도 영향을 미치게 된다.

④ 목재는 생물에 의한 열화를 입게 되는 재료로서 균이나 박테리아와 같은 미생물 그리고 흰개미(termite) 등과 같은 곤충의 침해를 받게 되면 세포벽을 구성하는 물질인 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌이 단당류나 리그닌의 분해 산물로 분해된다. 그러나 목재는 양호한 환경 조건 하에서 사용되는 경우 상당한 내구성을 나타내게 된다. 해인사의 팔만대장경과 부석사의 무량수전과 같은 목구조물을 보면 쉽게 짐작할 수 있을 것이다. 더욱이 터키 앙카라 부근의 고디우스(Gordius)왕 무덤에 사용된 목재 보는 2700년이나 된 것으로 목재의 내구성을 단적으로 보여주는 좋은 예가 되고 있다. 적절히 건조한 목재를 사용하고 합리적인 설계에 의해 건조된 목구조물에서는 부후와 곤충에 의한 문제가 심각하게 발생하지 않으며 이런 문제가 발생할 수 있는 상황이라 할지라도 적절한 보존제로 처리해주면 내구성이 향상될 수 있다.

⑤ 목재는 불에 타는 연소성 재료이다. 목재의 이러한 성질과 함께 풍부한 삼림 축적량과 보속생산

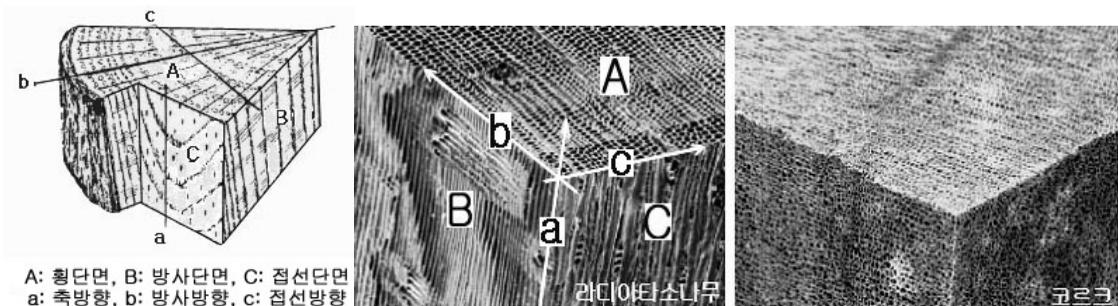


그림 1. 목재의 3단면과 3방향(육안적 특성) 및 코르크와는 달리 각 단면별로 서로 다른 조직 구조를 보여주는 라디아타소나무(현미경적 특성)

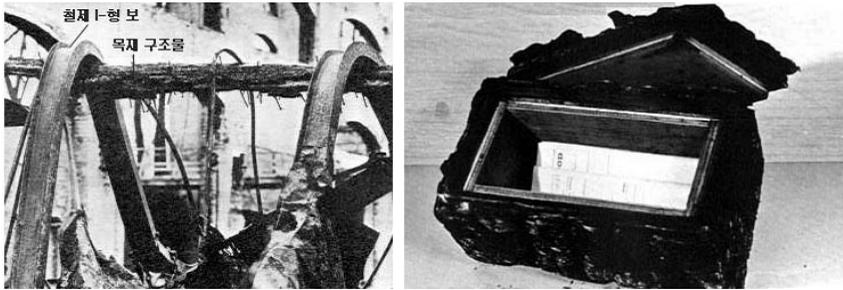
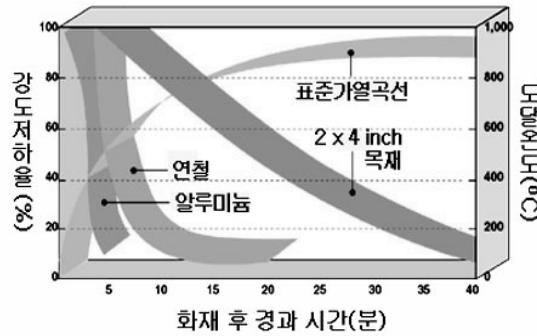


그림 2. 표준가열곡선에 따른 재료별 강도 저하율 및 건물의 화재 후에도 붕괴된 철제 I형 보를 여전히 받쳐 주고 있는 목재 구조물과 1600~1740°F의 온도에서 1시간 동안 노출된 후에도 아무런 변화가 일어나지 않은 세쿼이아(redwood) 상자 내부의 신문

성(保續生産性, renewable nature)으로 인해 비교적 값싸게 구할 수 있기 때문에 세계적으로 땀감용으로 여전히 널리 쓰이고 있다. 또한 목재는 원유에서 추출되는 알코올이나 가스를 대체할 수 있는 화학물질의 생산 가능성을 열어 주었다. 그러나 목재는 철보다 화재에 강하다. 단면이 큰 목재는 그 표면이 불에 타더라도 안까지는 잘 타들어 가지 않는다. 이는 표면에 탄화층이 형성되어 연소에 필요한 산소의 공급이 차단되기 때문이다. 철 그 자체는 불에 타지 않지만 화재 시 고온의 열에 노출되면 800°C 정도의 온도에서 갑자기 약해져서 엇가락처럼 휘어져 버린다. 목재에는 이런 성질이 없기 때문에 목조 건물은 화재 시에도 철골 건물보다 긴 시간 동안 붕괴되지 않고 견뎌 낼 수 있는 것이다(그림 2).

⑥ 목재는 녹이 썩지 않으며 대부분의 화학약품에 대해 상당한 불활성을 나타내므로 화학 물질에

의한 분해라던가 부식이 문제시되는 산업에 사용하기에 매우 적당한 재료가 되고 있다. 그러나 대기 중에 노출되는 경우 일광 중의 자외선과 수분에 의해 세포벽 구성 물질이 가수분해 및 산화되는 풍화작용을 통해 서서히 침식되어 가는데 온대 지역에서는 100년당 0.3~1.2 cm 정도 침식되는 것으로 알려져 있다. 이러한 문제점은 페인트 등으로 도장해 줌으로써 쉽게 예방할 수 있는데 이와 같은 표면 보호에 의해 미적 가치를 높이거나 표면의 공극성을 줄여 줄 수 있는 이점을 동시에 얻을 수가 있다.

⑦ 목재는 세포로 이루어진 다공질체(그림 1)로써 세포내강에 공기가 내포되어 있기 때문에 우수한 음향적 성질뿐만 아니라 열 및 전기에 대한 절연성이 우수한 재료가 되고 있다. 우수한 음향적 성질로 인하여 목재는 예로부터 피아노, 바이올린 등등의 악기용재로 널리 사용되어 왔다. 한편, 건축에

사용되는 재료들 가운데 목재만큼 우수한 절연성을 나타내는 것은 아마 찾아보기 어려울 것이다. 목재와 비교해 보면 보통 벽돌은 목재보다 6배, 유리창은 8배, 콘크리트는 15배, 철재는 390배 그리고 알루미늄은 1,700배의 열손실을 일으킨다. 잘 짜여진 목재 창문은 건물 내부나 외부로 열이 빠져 나가는 속도를 저하시켜 줄 뿐만 아니라 겨울철의 수증기 응축(結露) 현상을 최소화시켜 줄 수 있기 때문에 열전도도가 높은 금속제 창문을 사용하는 것에 비해 상당한 단열 효과를 나타내게 된다(표 1). 목재는 계절에 관계없이 일년 내내, 즉 겨울에는 추위에 대하여 그리고 여름에는 더위에 대하여 차단 효과를 발휘하는 특성뿐만 아니라 구조재료로서의 성질도 함께 지니는 유일한 재료가 되고 있다. 옛날의 초가집이나 흙벽돌 또는 토담집의 경우 철근-콘크리트 주택보다 여름에는 시원하고 겨울에는 따뜻한 것처럼 목조주택 역시 콘크리트주택보다 여름에는 2℃ 정도 낮고 겨울에는 4℃ 정도가 높다는 보고가 있다. 또한 목재는 적절히 건조만 되어 있다면 우수한 전기 절연성을 나타내게 되므로 전봇대 등의 용도로 많이 사용되어 왔으며 끊어진 전선이나 피복이 벗겨진 전선이 건물의 구조물과 접촉하는 경우 발생할 수 있는 전기 누전에 의한 감전 사고의 위험성을 최소화시켜 줄 수 있는 중요한 건축재료가 되고 있다.

표 1. 목재 및 주요 재료의 열전도율 비교

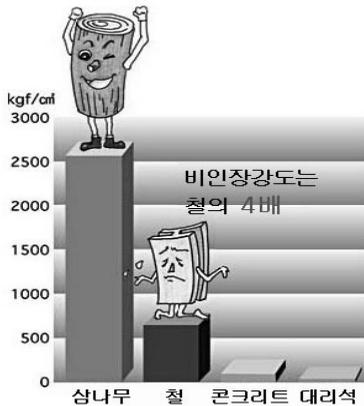
| 재 료 | 열전도율(kcal·m/h·m ² ·°C) | 밀도(g/cm ³) |
|-------|-----------------------------------|------------------------|
| 알루미늄 | 173.0 | 2.7 |
| 철 | 38.3 | 7.8 |
| 콘크리트 | 1.55 | 2.2 |
| 벽돌 | 0.62 | 1.6 |
| 목재 | | |
| 미송 | 0.10 | 0.49 |
| 백참나무류 | 0.15 | 0.72 |

2. 건축용 재료로서의 목재 특성

삼림에서 벌채된 목재가 거의 변형되지 않은 채 건축, 가구, 컨테이너, 전봇대, 운송 등의 용도로 공급되는 경우 설계자나 이용자에게 적지 않은 어려움을 주게 될 것인데 이는 목재가 다른 주요 구조용 재료보다도 보편적으로 형태와 크기 면에서 훨씬 더 다양할 뿐만 아니라 각기 나름대로의 독특한 특성을 지니고 있기 때문에 그러하다. 그러나 목재가 지니고 있는 건축용 재료로서의 특성 가운데 장점을 살펴보면 아래와 같다.

① 목재는 간단한 도구 또는 목공기계에 의해 여러 형태로 제재, 가공될 수 있으므로 공장에서 뿐만 아니라 작업 현장에서도 직접 쉽게 다룰 수가 있다. 단순한 도구만으로도 쉽게 못, 나사못, 볼트, 결합철물(fastener) 등을 목재에 박아 목재를 서로 강하게 결합시켜 줄 수가 있다. 또한 접착제를 사용하여 목재를 접착하게 되면 목재 강도 이상으로 강하게 접착시킬 수가 있으므로 다양한 형태와 무한한 크기의 목재 부재를 쉽게 제조할 수가 있다. 이와 같은 접착제를 사용함으로써 합판, 삭편판, 섬유판 뿐만 아니라 대형 목재 트러스(truss), 집성 보나 아치(arch), 표면 강화 판상재료를 제조할 수 있으므로 건축에 있어 목조 건축물이 경쟁력을 갖출 수 있게 되었다.

② 목재의 기계적 성질 가운데 가장 두드러진 것의 하나로 비강도, 즉 무게에 비해 강도가 크다는



각종 재료의 무게당 강도 비교

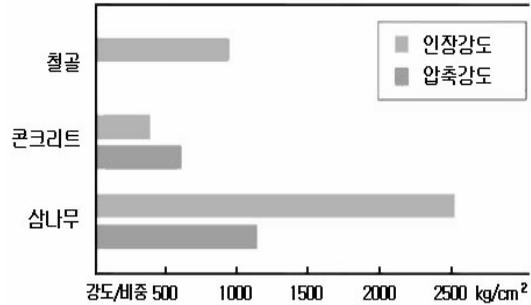


그림 3. 목재의 우수한 비강도

사실을 들 수가 있는데 이는 세포벽 구성 물질의 성질과 관 모양을 닮은 세포 배열에 의해 나타나는 특성이다. 예를 들면 미송의 경우 동일한 무게를 기준으로 비교해 볼 때 탄소 함량이 적은 철구조재보다 휨강도가 2.6배, 인장강도가 4배 정도 더 우수한 것으로 알려져 있다(그림 3).

③ 목재는 부하된 정하중의 2배 정도까지의 충격 하중에 견딜 수 있으나 철재나 콘크리트는 허용하중 이상을 견디어 낼 수가 없다. 따라서 지진이나 항공모함의 갑판(deck)처럼 갑작스러운 충격을 많이 받는 구조물에 사용하게 되면 강도적으로나 경제적으로도 상당한 이득을 볼 수가 있는데 이는 목재가 철재에 비하여 최소한 9배 정도 에너지를 흡수할 수 있는 재료이기 때문이다. 또한 철재와는 달리 목재는 진동을 감소시키는 성질을 지니는 우수한 재료이므로 교각 등과 같이 동하중을 받게 되는 구조물에 사용하면 큰 효과를 볼 수가 있다.

④ 목재로 이루어진 구조재는 철재에 의한 것보다 열팽창이 더 작은 특성을 나타내므로 건축재로써 아주 적당한 재료가 되고 있다. 목재가 열을 받게 되면 급속과 마찬가지로 팽창하나 길이 방향으로의 팽창이 거의 일어나지 않게 되는데 이것이 건축에 있어서는 매우 중요시 되고 있다(그림

2). 더욱이 목재의 경우 온도의 상승에 따른 열팽창은 건조에 따른 수축에 의해 대개 상쇄될 뿐만 아니라 건조에 의해 강도도 증대하게 된다. 예를 들면 화재 시 실내의 온도가 21℃에서 593℃까지 상승하게 된다면 길이 18 m인 목재 보는 약 3.8 cm 가량 길이 증가를 나타낼 수 있을 것으로 예측되고 있으나 수분의 손실에 따라 일어나는 건조에 의한 수축량을 고려해 본다면 실제로는 이것보다 상당히 작아질 것으로 여겨진다. 더욱이 이와 같은 길이 팽창은 목재 보 내부의 온도가 모두 균일하다는 가정 하에 예측된 것이므로 목재의 낮은 열전도도와 탄화층의 절연성을 고려해 본다면 더욱 그러할 것이다. 반면에 철재는 비슷한 조건하에서 12.6 cm의 길이 팽창을 나타내므로 목재가 훨씬 더 우수함을 알 수가 있다.

⑤ 목재는 자연스럽게 아름다운 목리와 무늬 및 채색뿐 아니라 부드러운 질감과 따뜻한 촉감을 지니고 있는 재료이다. 따라서 목재의 자연적인 아름다움과 친밀감은 다른 어떤 재료도 따라오기 힘들 뿐 아니라 같은 수준의 목재라고 할지라도 결코 똑같은 모양을 나타내지 않으므로 독창적인 멋을 창출할 수가 있다. 목조주택에서 따스한 느낌을 받게 되는 것은 목재가 지니고 있는 다공질의 성질과 낮

은 열전도율 및 자연적인 무늬나 재색과 같은 시각적인 효과에 의한 것이다.

⑥ 목재는 주거 환경용 재료로써 생리적으로나 심리적으로 안정감을 주는 재료이다. 주택의 구조재와 사망 연령과의 관계 연구에서 목조주택에 사는 사람들의 수명이 콘크리트주택에 사는 사람보다 평균 6.8세 정도 더 수명이 길고 발암율도 훨씬 낮은 것으로 밝혀진 바 있다. 또한 이와 비슷한 것으로 생쥐 실험에 있어서도 콘크리트 사육상자에서 키운 쥐는 100마리 중 93마리가 폐사했고, 살아남은 7마리의 쥐들도 자신의 새끼를 잡아먹거나 다른 쥐를 죽이는 등의 포악하고 이해할 수 없는 이상 행동을 보였다. 반면 목재로 만들어진 사육상자에서 자란 쥐는 15마리만 폐사했고 이상 행동이 적었다는 놀라운 결과도 얻어졌다(그림 4).

III. 공학목재

1. 건축재료로서의 공학목재

목재는 다른 구조용 재료에 비하여 가벼우며 섬유(목리)방향의 강도가 크다. 그러면서도 가공하기가 쉽고 보온, 단열성이 탁월한 이외에도 나뭇결이 아름다운 등 건축재료로써 많은 우수한 특성을 지니고 있다. 그러나 실제로 우리가 이용하는 목재는 웅이나 할렐 등의 결점이 존재하며 재질 상의 변이성이 크다는 점과 삼림자원의 고갈에 따라 지름이 크며 길이가 긴 목재를 쉽게 구할 수 없다는 점 등 공업용 재료로써의 적성에는 많은 문제점이 남아 있게 된다.

접착 기술의 발전에 따라 제2차 세계대전 이후 새로운 목질계 재료가 차차 개발되기에 이르렀다(그림 5). 이들은 예를 들면 두께 20 mm의 정도의 만판을 적층, 접착시켜 제조한 집성재에서부터 매트(mat)상의 목섬유를 압착, 성형한 섬유판에 이르기까지 다양한 크기의 구성 요소(원료)를 재구성

콘크리트 사육상자에서 생쥐의 97%가 죽었다

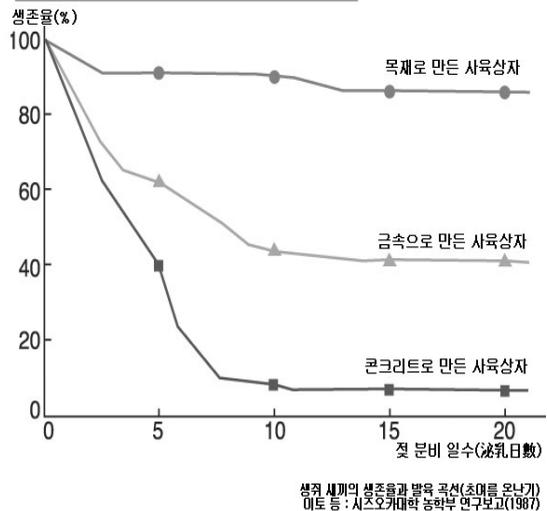


그림 4. 사육상자의 재료 종류에 따른 생쥐의 사망률

하여 접착, 성형한 제품이다. 소경재(小徑材: 지름이 작은 원목)나 폐잔재를 재구성하여 접착, 성형하는 것은 자원의 효율적인 이용에만 관련되는 것이 아니라 웅이나 부후 등의 결점을 분산 또는 제거할 수가 있으므로 안정되고 변이성이 작은 재질을 지니는 장대재(長大材: 길이가 길며 단면이 큰 목재)의 공업적인 생산을 가능하게끔 만들게 되었다. 또한, 여러 가지 처리 기술을 이용하여 과거에는 목재가 지니지 못하였던 성질을 부여하게 되는 경우에도 구성 요소가 작을수록 유리하다. 공학목재(工學木材, engineered wood)라는 말은 이처럼 공업적으로 생산되며 치수 상의 제약이나 재질 상의 변이성이 작기 때문에 설계 계산이 가능한 신뢰성 높은 목재라는 의미로 사용되고 있다.

구성 요소의 크기와 섬유의 배열 방식에 따라 공학목재를 분류하여 보면 위의 표 2와 같다. 장래에 개발이 기대되고 있는 재료 역시 []로 표기하여 놓았다. 표에서는 위쪽으로 갈수록 구성 요소가 커지게 되고 아래쪽으로 갈수록 작아지도록 분류하여

놓았고 표 왼쪽에는 구성 요소와 그 크기의 범위를 표시해 두었다. 구성 요소인 섬유가 한쪽 방향으로 배열되어 있는 일축 배향(一軸 配向)의 재료는 기둥, 들보 등의 구조용 재료로써 그리고 이축(二軸) 또는 섬유의 배열이 임의의 방향인 것은 벽, 마루판 등의 평면재료로써 이용되고 있다. 최근의 공학목재 개발에 있어서 특히 주목할 만한 것은 합판 제조용의 원료인 단판(veneer)이나 결점투성이의 원목으로부터 생산된 단판을 다시 절단한 스트랜드(strand)에 의해 만들어지고 있는 재료이다. 예로써 골조재료를 들어 보면 두루마리 화장지를 풀듯이 통나무로부터 벗겨 낸 단판을 섬유방향이 서로 평행하도록 접착, 적층한 단판적층재(LVL, laminated

veneer lumber), 길이 2400 mm 정도까지의 긴 스트랜드의 섬유방향이 서로 평행하도록 접착, 성형한 장스트랜드적층재(PSL, parallel strand lumber, parallam), 길이 150~300 mm 정도까지의 짧은 스트랜드의 섬유방향이 서로 평행하도록 접착, 성형한 단스트랜드적층재(OSL, oriented strand lumber: LSL, laminated strand lumber) 등이 이 부류에 해당된다. 평면재료로는 이제까지의 열대림 자원을 이용한 나왕(lauan) 합판을 대신하여 침엽수 조림목을 이용한 합판의 제조 이외에도 스트랜드를 3층으로 직교시켜 합판과 동일한 구성을 갖는 재료로 제조하게 되는 배향성 스트랜드보드(OSB, oriented strandboard)가 개발되어 있다.

표 2. 목질 원료의 크기와 배열 상태에 따른 공학목재의 분류

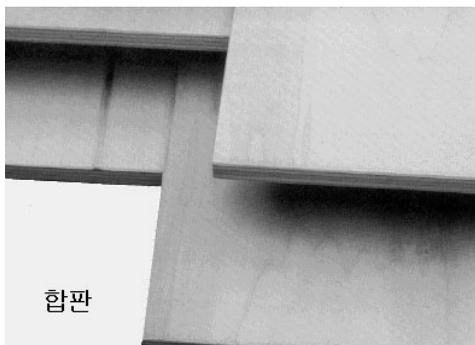
| 대 ↑ | 구성 요소 (element) | 공학목재 | | | 요업(무기질)계 |
|---------------------------------|---------------------------------|---|--|-------------------------------|---|
| | | 일축(一軸) 배향 | 이축(二軸) 배향 | 임의(random) 배향 | |
| 구 성 요 소 의 크 기 | 만판 (挽板, lamina) | 집성재 (glulam) | 합 판(plywood) | 웨이퍼보드 (waferboard) | |
| | 단판 (單板, veneer) | 단판적층재 (LVL, laminated veneer lumber) | | | |
| ↓ 소 | 웨이퍼(wafer) ~ 스트랜드(strand) | 장스트랜드적층재 (PSL, parallel strand lumber), 단스트랜드적층재 (OSL, oriented strand lumber; LSL, laminated strand lumber) | 배향성 스트랜드보드 (OSB, oriented strandboard) | 스트랜드보드 (strandboard) | |
| | 플레이크 (flake) | [배향성 삭편판, oriented particleboard] | 플레이크보드 (flakeboard) | 삭편판 (particleboard) | 석고-플레이크보드 (gypsum-flakeboard) |
| | 삭편 (削片, particle) | | | | 삭편-시멘트보드(wood particle-cement board) |
| | 섬유 (纖維, fiber) | [배향성 중밀도섬유판, oriented medium density fiberboard] | 연질섬유판 (insulation board) 중밀도섬유판(MDF, medium density fiberboard) 경질섬유판(hardboard) | 석고-섬유판 (gypsum-fiberboard) | |

만판 : 두께 20 mm 정도의 판재, 단판: 두께 3 mm 정도의 얇은 판(薄板), 삭편: 플레이크보다도 작은 세편을 통틀어 일컫는 용어, 섬유: 목재 세포, 웨이퍼: 대략 두께 0.6 mm x 폭 50 mm x 길이 50~70 mm인 삭편, 스트랜드: 대략 두께 0.6 mm x 폭 20 mm x 길이 15~2400 mm인 삭편, 플레이크: 대략 두께 0.6 mm x 폭 10 mm x 길이 10~30 mm인 삭편

| | | | | | | | | |
|-------------------|--------|------------|--------------|------------|--------|-------|----|----|
| 축재료 | 집성재 | LVL | PSL | | | | | |
| 면재료 | 합판 | Waferboard | OSB | Flakeboard | 삭편판 | 섬유판 | | |
| Element (구성요소) | Lamina | 단판 | 단판 strand | Wafer | Strand | Flake | 삭편 | 섬유 |
| 크기 | 大 | | | | | | | 小 |
| 원료선택성 | 小 | | | | | | | 大 |
| 수율 | 小 | | | | | | | 大 |
| 제조에너지 | 小 | | | | | | | 大 |
| 자동화 에너지절감 | 難 | | | | | | | 易 |
| 강도, 강성 | 大 | | | | | | | 小 |
| 이방성 | 大 | | | | | | | 小 |

그림 6. 공학목재의 종류와 특징

이처럼 공학목재의 개발은 점차 작은 구성 요소를 사용하는 방향으로 옮겨가고 있다. 일반적으로 구성 요소가 작아지면 작아질수록 자원과 에너지 절약의 방향으로 진행되어 가게 된다. 즉, 제품의 수율(收率, yield)이 높아짐과 동시에 공정의 자동화가 쉬워지게 되는 것이다. 그러나 공학목재의 원료가 되는 구성 요소의 크기가 작아질수록 원료의 선택 범위는 넓어지고 재질이 균일해 지나 강도적 성능은 저하되는 경향을 보이게 된다. 이는 구성 요소의 크기가 작아짐에 따라 점점 목재를 구성하는 세포 구조가 건전한 상태로 남아 있을 확률이 작아지기 때문에 그렇다(그림 6).



새로운 목질재료인 공학목재는 학교, 연주홀, 체육관 또는 다목적 홀 등 공공용의 대형 목조 건축물 재료로 많이 사용될 뿐만 아니라 주택용 재료로서도 사용되고 있다. 목재는 화재 초기에는 불꽃을 내며 타게 되지만 재빨리 탄화층을 형성하여 단열성이 높아지게 됨에 따라 그 내부를 보호하여 줄 수 있기 때문에 화재 시에도 건물이 붕괴되어 쓰러지는 일이 없다. 큰 목재가 지니는 이와 같은 우수한 내화 성능이 근래 일본에서도 인정됨에 따라 각지에서 대단면(大断面)의 집성재나 단판적층재를 기둥이나 들보로 사용하는 대형 건축물이 건축되고 있다.

이와 같이 재구성에 의해 제조되는 공학목재는 다음과 같은 공통 특징을 지니게 된다.

- ① 원하는 크기, 형상 및 재질의 재료로 쉽게 제조할 수가 있다.
- ② 용이 등과 같은 목재 고유의 결점을 제거하거나 분산시켜 제조할 수 있으므로 비교적 균일하며 강한 재질의 신뢰성 높은 재료로 사용할 수 있다.
- ③ 원료재의 상태에서는 약제나 수지 처리를 용이하게 할 수 있으므로 부후나 연소성과 같은 목재 고유의 결점이 제거된 재료를 제조할 수가 있다.
- ④ 원료재와 다른 재료와의 복합이 가능하므로 목재에 다른 재료의 성능이나 기능이 부여된 신소재를 제조할 수 있다.

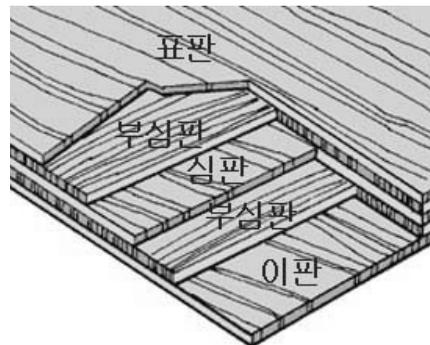


그림 7. 합판

1.1 합판

합판(plywood)은 광의의 의미로 해석해 본다면 통상 목재를 얇게 절삭한 단판에 접착제를 도부하고 흡수 매가 되도록 적층하되 인접 단판 간의 목리(섬유방향)가 서로 직교하도록 구성하여 제조한 1매의 판상제품을 일컫는 말이다(그림 7과 10). 따라서 단판을 3, 5, 7, 9매 등으로 구성하여 제조하게 되는데 합판은 보통 두께 1 mm 이상부터 30 mm 정도까지 그리고 3 x 6판(91 x 182 cm), 4 x 8판(122 x 243 cm) 등의 표준 크기로 출하되고 있다.

단판에 의한 치장 기법의 역사는 수천 년 전으로 거슬러 올라간다. 기원전 약 1500년경 이집트 사람들은 가구, 도구, 무기 등을 치장하기 위하여 단판을 이용하였던 것으로 널리 알려져 있다. 목가구의 가치는 그 표면에 화장용 단판을 붙여 줌에 따라 높아지게 된다. 이집트의 건조한 기후로 인해 수천 년 동안 이런 것들이 많이 보존되어 왔다. 이들 초기 제품들로부터 비내수성의 식물계 및 동물계 접착제를 사용한다고 할지라도 목질 복합재가 무한히 긴 시간 동안 견디어 낼 수 있다는 사실을 알 수 있다. 그러나 합판은 1930년대까지 주요 산업이 되지 못하였다. 유럽에서의 열압기(hot press) 이용 시작과 제2차 세계대전 기간 동안의 내수성 합성수지계 접착제 개발로 인해 합판의 대량 생산이 가능한 기술적인 진보가 이루어지게 되었다.

합판은 단판을 서로 직교시켜 제조하기 때문에 목재의 3방향에 따른 치수 및 강도 이방성을 개선할 수 있다. 다양한 수종의 목재로 제조한 두께 2.5~12.5 mm인 합판에 대한 연구에서 표판의 목리에 대해 평행인 방향의 생재에서 전건 상태까지의 수축률인 전수축률(全收縮率)은 0.2~1.0%(평균 0.45%) 그리고 표판의 목리에 대해 직각인 방향의 전수축률은 0.3~1.2%(평균 0.67%)인 결과가 얻어졌다. 그러나 합판의 두께 방향의 수축은 함수율과 목리 배향(판목 또는 정목)이 동일한 경우 소재(素材, solid wood)와 큰 차이를 보이지 않게 된다.

활엽수 3매합판인 경우 길이 또는 폭 방향의 수축률은 두께 방향의 수축률에 비해 10~20배 정도 더 작은 것으로 드러났다. 일반적으로 합판의 수축은 단판의 두께와 적층수 목재 수종, 함수율 변화 정도 등에 따라 달라진다. 동일 두께의 합판을 기준으로 해 보면 5매합판이 3매합판보다 길이 및 폭 방향의 수축률이 더 작은 결과를 보이게 된다. 불규칙한 수축이나 팽창은 틀어짐의 원인이 된다. 또한 이상재와 같은 목재의 결함 및 비대칭 구조에 의해서도 틀어짐이 발생하게 된다. 수축 및 팽창은 합판의 표면 할렬 원인이 되는데 이는 수분 변화에 따른 인장응력 또는 압축응력의 작용에 의한 것이다. 응력의 정도는 수축 및 팽창, 비중, 정목 및 판목 등과 같은 목재의 특성에 따라 달라진다. 단판의 두께 역시 중요한 인자가 되고 있는데 얇은 단판은 두꺼운 단판에 비해 할렬이 덜 일어나는 경향이 있으므로 비교적 얇은 단판을 합판의 표,리판용으로 사용하고 있다. 수분의 변화가 심한 곳에 노출되는 합판인 경우 비교적 비중이 높은 목재의 단판을 표,리판용으로 사용하여 제조하고자 할 때에는 그 두께가 3 mm 이상이 되지 않도록 해 주어야 한다. 단판 이면이 표면을 향하도록 하는 것처럼 단판을 적절하게 배치시키지 못하는 경우에도 합판에서 표면할렬이 발생할 수가 있다. 소재로 구성된 심판(그림 10의 소재심판합판)의 수축이나 팽창에 의해 심판 구성 요소의 자국이 표면으로까지 드러나게 되는 경우도 발생하게 되는데 이런 결함은 심판의 구성 요소인 소재를 적절히 건조하고 최소한 두께가 1.0~1.5 mm 정도 되는 부심판을 표,리판과 심판 사이에 사용하여 5매합판을 만들어 줌으로써 피할 수가 있다.

그리고 소재와 비교해 볼 때 합판의 경우 표판의 목리에 대해 평행인 방향으로의 휨강도(MOR)는 18% 그리고 탄성계수(MOE)는 4% 정도 더 낮지만 표판의 목리에 대해 직각인 방향으로의 휨강도와 탄성계수는 모두 2배 정도 더 큰 것으로 알려져 있다. 단판의 적층수가 많아질수록 이들 방향 사이

의 기계적 성질 차이는 줄어드는 경향을 보이게 된다. 합판은 연속적인 접착층을 지니는 넓은 면적 위에 응력이 분포되기 때문에 동하중에 대해 높은 저항성을 나타내게 된다. 합판을 분할(分割)에 대한 저항성이 매우 높는데 실제적으로 합판을 분할시키는 일이란 거의 불가능할 것이다. 이는 횡단면 활렬을 피할 수 있기 때문인데 나사못 유지력 등과도 밀접한 관련성이 있다. 수종, 단판의 수와 두께, 목리 방향 등을 적절히 조합시켜 줌으로써 원하는 기계적 성질을 지니는 합판을 제조할 수가 있다. 소재와 마찬가지로 함수율 증가에 따라 기계적 성질이 저하되지만 섬유포화점 이상에서는 강도의 변화가 거의 일어나지 않게 된다.

화장용 합판은 대개 표층 단판의 외관을 근거로 하여 선택된다. 이들 합판은 주로, 전부는 아니지만, 활엽수재를 이용하여 생산한다. 대부분의 화장용 합판은 비내수성 접착제로 제조되기 때문에 액상 수분에 접촉하지 않는 곳에서만 사용할 수 있다. 내수 접착층을 지니는 화장용 합판은 추가적인 비용을 지불할 만한 가치가 있고 노출 정도가 적당한 경우에만 사용될 수 있다. 화장용 합판은 내수 접착층을 지니는 경우 1형(Type 1) 또는 특수형(Technical)으로, 내습 접착층을 지니는 경우 2형(Type 2) 그리고 비내수성 접착층을 지니는 경우 3형(Type 3)으로 표시된다(ANSI). 구조용 합판과 마찬가지로 화장용 합판 역시 일부 단판들의 목리 방향이 합판의 길이 방향에 대해 직각이 되도록 그리고 그 나머지 단판들이 합판의 길이 방향에 대해 평행하도록 접착하여 제조한 판상재료이다. 합판의 두께 방향 균형을 잡아 주기 위한 구성법으로 심층에 대해 위, 아래 부분에 위치하는 단판의 배열이 대칭을 이루도록 만들어 주어야 한다. 이것은 각각의 목리 방향이 엇갈리도록 홀수 매의 단판을 적층하거나 또는 짝수 매의 단판을 사용하되 목리가 서로 평행한 두 매의 단판을 심층으로 하는 구성을 통해 얻을 수 있다. 이러한 배열에 의해 화장용 합판 역시 구조용

합판과 마찬가지로 합판의 장축에 대해 평행한 방향 및 직각인 방향으로 모두 양호한 강도와 치수안정성을 나타내게 된다. 화장용 합판은 표층용 단판으로 외관용 등급의 활엽수 단판을 사용하며 접착제는 내장용 수지를 사용한다. 심층용으로는 저가의 목재 수종 및 낮은 등급의 단판을 사용한다. 이들 합판은 판벽 널, 가구 및 기타 내장용 제품용으로 생산된다. 활엽수 합판 가운데 소량만이 컨테이너(container)나 팔레트(pallet)와 같은 구조용으로 사용된다.

구조용 합판의 접착층 내구성(APA- Engineered Wood Association 규격)은 외장급(Exterior) 또는 노출1급(Exposure 1)이어야 한다. 오늘날 미국에서 생산되는 모든 구조용 합판은 외장급 또는 노출1급에 관계없이 외장용의 석탄산수지접착제로 제조된다. 외장급 내구성을 지니는 구조용 합판은 대기 중에 영구히 노출되는 곳에 사용하기 위한 것이다. 이러한 용도로 비늘판(siding)과 콘크리트 거푸집을 들 수 있다. 노출1급 내구성을 지니는 구조용 합판은 건축 공사 지연 동안처럼 대기 중에 일시적으로 노출되는 곳에 사용하기 위한 것이다. 노출1급 합판은 궁극적으로 대기와의 영구적인 노출로부터 보호되어야 한다. 연삭되지 않은 구조용 합판은 주로 애벌 바닥, 지붕 및 벽 피복용으로 쓰인다. 합판은 32/16처럼 주택 건축에 있어 지붕 피복 및 애벌 바닥용에 대한 지간 거리(span, inch)로 표시된다. 32/16 합판은 810 mm(32 in)까지 떨어져 있는 서까래 위의 피복재로 그리고 405 mm(16 in)까지 떨어져 있는 장선 위의 애벌 바닥재로 사용될 수 있다.

1.2 집성재

적층재(laminated wood)라고 하는 것은 만판(挽板: 톱으로 켜낸 판) 또는 소각재 및 단판 등의 구성 요소(lamella, lamination 또는 lamina)를 섬유방향이 서로 평행하도록 길이, 폭, 두께 방향으로 적층, 접착하여 제조한 목질재료를 일컫는 말인데

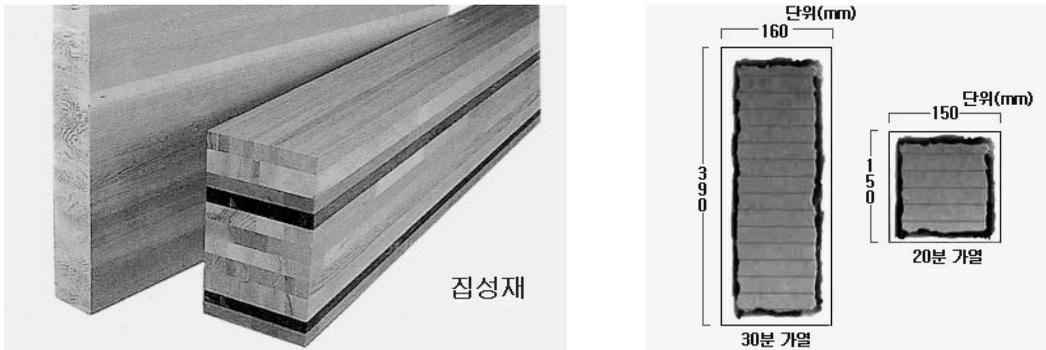


그림 8. 집성재와 내화 성능



그림 9. 일본 미야자키현(宮崎県) 미야자키시(宮崎市) 소재의 고노하나 돔(木の花 dome). 천장 구조에 삼나무 집성재를 약 7000본 사용한 단층 아치 구조로서 지간 거리(span) 100 m를 넘는 대규모 돔

단판을 사용한 경우 단판적층재(그림 10) 그리고 만판을 사용한 경우 집성재(그림 8)라고 부른다. 직교 및 흡수 매 적층법에 의한 합판과는 달리 대개 판상 형태로 제조되지 않는다는 점에서 서로 차이가 있으며 사용 목적에 따라 조각용(비구조용), 화장 조각용, 구조용, 화장 구조용, 구조용 대단면(구조용 가운데 폭 15 cm 이상, 적층 방향 두께 7.5 cm 이상) 집성재 등처럼 다양한 형태, 크기, 외관 및 강도를 지니는 것으로 제조하되 목리 방향이 길이 방향이 되도록 구성시켜 제조하게 된다. 이러한 집성재 제조 시 못 등을 이용하여 기계적으로 집성하거나 접착제를 사용하여 접착, 집성시킬 수가 있는데 오늘날 집성재라고 하는 것은 접착으로 집성, 제조

한 접착집성재(glued laminated wood, glulam)만을 일컫고 있다.

대개 집성재는 만판을 적층하여 보(beam)의 형태로 제조되는데 제재목에 비해 더 넓고 더 두꺼우며 더 길면서 강한 보를 생산할 수 있다. 천연 목재의 결점을 제거한 만판과 고성능의 접착제를 이용해 제조하기 때문에 천연 목재보다 약 1.5배 정도 높은 평균 강도를 지니게 된다. 이들 집성재 보의 용도로 실내 경기장(그림 9), 하키 구장, 교각, 창고, 주거용 및 상업용 건물, 교회, 전봇대, 농장 건물 등과 같은 건축물의 구조재를 들 수 있다. 미국에서 생산되는 대부분의 집성재는 주로 남부소나무나 미송과 같은 구조용 침엽수 수종에 의한 것이지만 다

른 여러 침엽수 및 활엽수 수종들도 집성재 생산에 사용되고 있다. 구조용 집성재 보를 부후되기 쉬운 곳에 사용하기 위해서는 보존제로 가압 처리해 줄 수 있다. 이러한 특성은 교각이나 전신주로 이용하는 경우 특히 중요하다. 공장에서 모든 필요한 기계 가공과 보존 처리가 끝난 제품은 현장에서 재단되고 처리되는 것보다 더 우수한 성능을 지니게 된다. 대략 34 m 길이까지의 전봇대인 경우 집성재 제품은 주문에서 배달 사이까지 1~2달 정도 소요되지만 제재목 제품은 1년 이상 소요될 수 있다. 팽팽하게 전깃줄이 당겨져 있는 전봇대가 부후 또는 심각한 기후 조건에 의해 파손되는 경우 집성재 제품을 사용하는 것이 경제적으로 효과적이며 시간적으로 적절한 대책이 될 것이다.

또한 집성재의 내화 성능은 일반적으로 매우 우수하다. 건축 기준법에서 집성재의 내화 성능이 인정되고 있는 것은 가열에 의한 강도 저하가 작고 불에 타도 붕괴의 위험성이 낮기 때문이다. 화재 시의 목재 탄화 속도는 0.6~0.8 mm/분 정도이기 때문에 20분간 불에 노출된다고 하더라도 12~16 mm, 양측이 모두 연소된다고 해도 24~32 mm 정도 밖에 탄화되지 않는다(그림 2와 8). 따라서 구조 계산상 필요한 설계에 이런 특성을 반영하면 높은 안전성이 확보될 수 있다.

비교적 최근 상업적으로 발달하게 된 집성재 제조 기술로 강화 복합재의 적층을 들 수 있는데 이런 기술을 통해 집성재에 이종(異種) 재료인 유리 섬유, 탄소 섬유 및 폴리에스테르(polyester) 섬유와 같은 것을 접목시킬 수 있게 되었다. 이 경우 높은 인장강도를 지니는 합성 섬유가 집성재 보의 인장 쪽 표면에 적층된다. 이런 적층을 통해 적은 목재의 양과 작은 횡단면 치수로도 강도와 강성이 더 큰 보를 생산할 수가 있다. 또한 높은 강도의 강화 판판을 적층시켜 줌으로써 축방향의 인장에서 압축까지 보의 파괴 형태가 바뀌게 되는데 이는 설계상의 안전성을 개선해 줄 수 있다. 이러한 종류의 복합 기

술은 군수 및 항공, 자동차 경주, 해운 산업에서 이용되고 있다.

무게 기준으로 집성재의 가격은 제재목보다 항상 2~3배 정도 비싸다. 이런 비용 차이는 여러 이유 때문에 생기게 된다. 가장 큰 이유로는 구조용 집성재 제조에 쓰이는 원료 목재의 가격이 비싸기 때문이다. 원료가 되는 제재목은 면삭(面削) 가공 공장에서부터 집성재 제조 공장으로 운반되어야 하기 때문에 운반비용이 추가된다. 다음으로, 주문에 의한 대단면 집성재 제조 공정은 쉽게 자동화 할 수 없으므로 인건비가 상당히 소요된다. 규격화된 치수의 집성재인 경우 자동화 생산 공정으로 인해 가격이 떨어지게 된다. 집성재 제조에 사용되는 구조용 접착제는 가장 비싼 접착제에 속하며 비교적 많은 양을 도부해 주어야 한다. 특수한 곳에 사용하기 위한 집성재의 생산 비용은 더 들게 된다. 초기 가격 면에서 불리함에도 불구하고 집성재는 여러 장점들은 지니고 있다. 설계가 자유롭고 온화하게 보이며 환경적으로 건전하고 용도가 다양하기 때문에 제재목뿐만 아니라 콘크리트나 강철과 같은 구조용 제품과도 경쟁력이 있다.

1.3 단판적층재, 스트랜드적층재와 단판적층판

단판적층재(LVL, laminated veneer lumber 또는 PLV, parallel-laminated veneer)라고 하는 것은 로터리레이스(rotary lathe)에 의해 절삭된 단판을 섬유방향이 평행하도록 적층, 접착하여 제조한 목질재료를 일컫는 말이다(그림 10). 단판은 보통 두께 2~6 mm 정도의 것을 이용하여 그 적층수가 수층으로부터 수십 층이 되도록 제조하게 된다. 합판과의 차이점은 주로 인접 층간의 목리가 서로 평행하도록 제조한다는 점, 일반적으로 두께가 합판보다는 두껍다는 점 그리고 면재료(面材料)보다는 축재료(軸材料)로 주로 사용된다는 점 등에 있다. LVL은 용이한 가공성, 균일한 재질, 곡면 가공성, 안전성 및 측면의 외관적 가치 등으로 인해 가

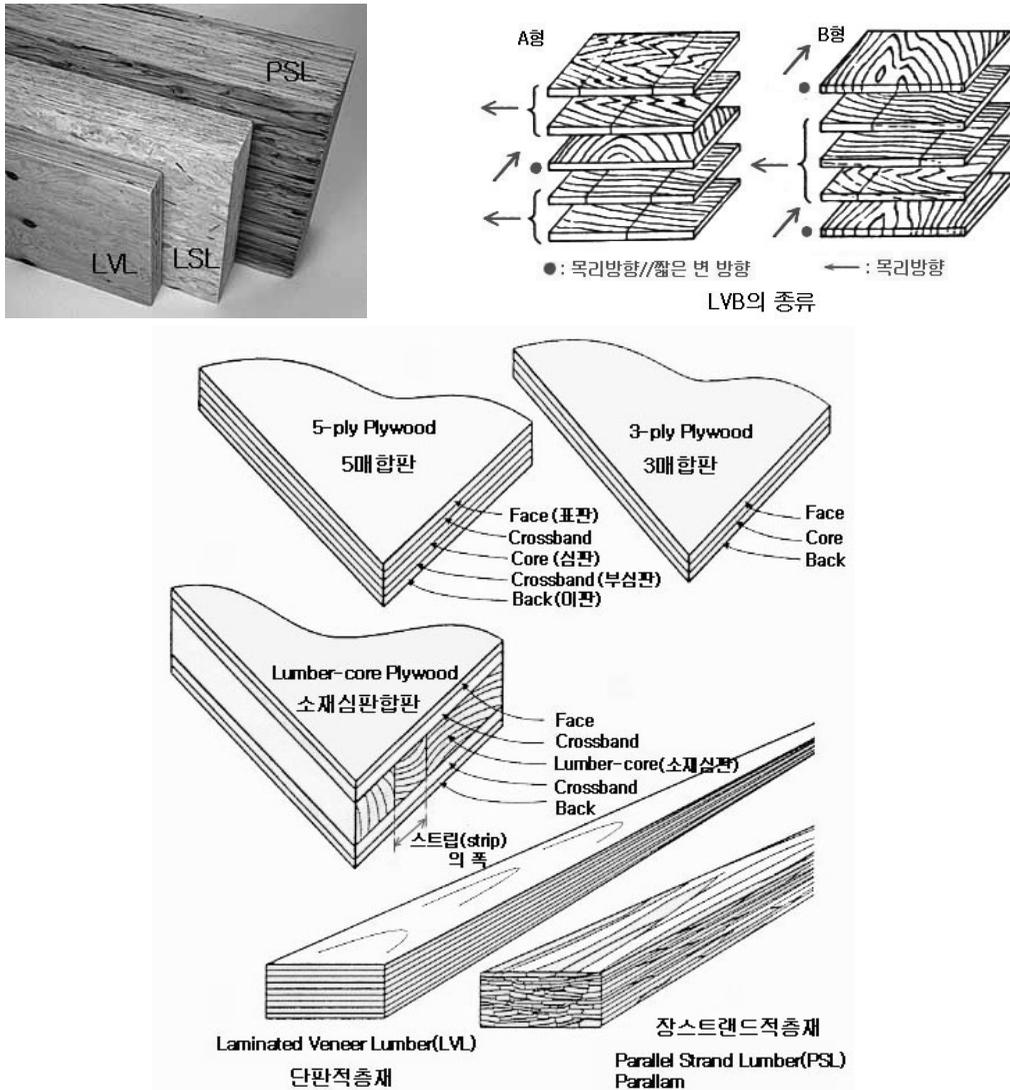


그림 10. 합판, 단판적층재, 장스트랜드적층재, 단스트랜드적층재 및 단판적층판

구 및 비품 제조용 재료로 선호되고 있는데 아치 (arch)형의 문틀, 소파 골조, 계단, 의자, 침대, 캐비닛, 옷장, 카운터 상판으로 많이 이용되고 있다. 또한 강도적 성질의 편차가 적고 무게에 비해 강도가 큰 성질로 인해 들보, 트러스, I형 보 등의 구조용 부재나 부품으로도 사용되고 있다.

LVL은 제재목보다 가격이 더 비싸나 통직성, 높은 강도 또는 긴 길이가 요구되는 경우 인기 있는 제품으로 각광받는 몇 가지 기술적인 장점들이 있다. LVL이 지니는 하나의 장점으로 잘 조정된 균일한 함수율을 지닌다는 사실을 들 수 있다. LVL에 있어 목재 세포의 배향은 소재와 아주 비슷하므

로 함수율 변화에 따라 소재와 비슷하게 수축, 팽창한다. 그러나 여러 매의 단판으로 구성되어 있기 때문에 함수율 변화에 따른 틀어짐이 덜 발생하는 경향을 보인다. 용이 및 목리 경사처럼 강도를 떨어뜨리는 성장 특성들이 분산되어 있기 때문에 대부분의 제재목보다 더 높고 균일한 설계 강도를 지니게 된다. 대표적인 휨 강도와 강성 설계치는 대략 22 및 13,800 MPa (3,200 및 2×106 psi) 수준이다. LVL의 주요 용도로는 목재 I형 보의 현재(flange) (LVL 생산량 가운데 약 50%), 차고 문 및 대형 창문 위의 가로대 및 건축용 발판, 조립식 도리 및 높은 응력을 필요로 하는 용도처럼 안전이 중요시되는 구조용 부재를 들 수가 있다. 조각용 LVL은 문과 창문용 부재, 기타 목공 제품 및 가구용 부재처럼 무색투명한 접착제로 제조된다. 합판의 경우와 마찬가지로 LVL은 부후되기 쉬운 상황에서 사용되는 경우 보존제로 처리해 주면 된다.

LVL과 마찬가지로 장스트랜드적층재(PSL, parallel strand lumber, parallam) 역시 단판을 이용하여 제조하지만 PSL 제조용 원료로는 단판 그 자체가 이용되는 것이 아니라 대개 결점투성이의 원목으로부터 생산된 단판을 다시 절단하여 제조한 스트랜드가 이용된다. 즉, 2~3 mm 정도의 두께로 생산된 단판으로부터 폭 12~16 mm, 길이 2400 mm(8 ft)까지의 스트랜드를 절단하여 결점을 분산시킨 다음 이 스트랜드를 길이 방향으로 적층, 접착하여 직사각형 단면이 되도록 제조한 제품이 PSL이다. 한편, 단판 공급이 제한적인 경우 단스트랜드적층재(LSL, laminated strand lumber; OSL, oriented strand lumber)를 제조할 수가 있는데 이들은 단판으로부터 생산된 스트랜드가 아니라 대신 저등급의 목재로부터 직접 절삭된 불규칙한 형상을 지니는 스트랜드를 길이 방향으로 적층, 접착하여 직사각형 단면이 되도록 제조한 제품이다. 이들의 제조에는 PSL보다 두께는 더 작으나 폭이 더 넓은 스트랜드가 이용되는데 LSL인 경우 길이 300mm(12 inch)

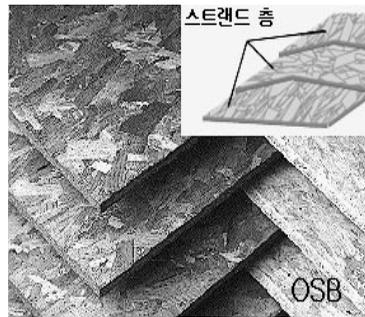
그리고 OSL인 경우 길이 150 mm(6 inch)까지의 스트랜드가 이용된다(그림 10).

PSL은 모든 스트랜드를 제품의 장축에 대해 평행하도록 배향시키게 된다. 이 제품은 스트랜드의 목리 방향이 장축에 대해 평행하도록 배향시킨다는 점에서 목재와 비슷하다. 따라서 일부 스트랜드계 제품은 구조용 제재목 뼈대와 직접 경쟁할 수가 있다. LSL이나 OSL 역시 모든 스트랜드를 제품의 장축에 대해 평행하도록 배향시켜 제조한 것으로 높은 등급의 제재목이 요구되는 곳에 다양하게 쓸 수 있다. 여러 수준의 강도적 성질을 지니는 제품들이 규격제 제재목 대체재로 공급되고 있다. 또한 조각용 등급의 제품 역시 몰딩(moulding), 목공 제품, 가구 및 기타 2차 제품용 원료로 공급되고 있다. 또한 특수한 만곡형(彎曲形) 열판을 통해 다양한 형태의 건축재료로 생산될 수 있는데 건축용 창과 문, 가구 부재 및 기타 특수용으로 이미 시장을 확보하고 있다.

제조 원리는 단판적층재(LVL)와 비슷하지만 침엽수재로부터 나왕(lauan) 합판을 대체하기 위한 침엽수 합판의 개발을 목표로 한 단판적층판(LVB, laminated veneer board)이 있다(그림 10). LVB에는 두 종류가 있다. A형은 긴 변 방향이 목리 방향이 되도록 단판을 연속적으로 적층해 되 정 가운데 층에서는 짧은 변 방향이 목리 방향이 되도록 단판을 삽입한 것이고 B형은 긴 변 방향이 목리 방향이 되도록 단판을 연속적으로 적층한 다음 그 위와 아래에 짧은 변 방향이 목리 방향이 되도록 단판을 배치시킨 것이다. 어느 것이나 원리적으로는 긴 변 방향으로 길게 만들 수가 있다. 그러나 A형은 짧은 변 방향의 강도가 B형보다 낮으며 더욱이 연속 생산 라인을 구축하기가 어렵기 때문에 LVB의 주류는 B형이 되고 있다. LVB는 90 x 90 cm 정도의 소폭 단판을 이용하여 제조하기 때문에 간벌재 등의 소경재, 길이가 짧은 원목이 원료로 사용되며 삭편판 등의 판상재료보다 제조 에너



삭편판



OSB

그림 11. 삭편판과 배향성 스트랜드보드

지가 작은 점, 제조 공정의 자동화가 가능한 점 등의 이점이 있다. LVB는 저비중성, 가공성, 시공성, 내수성 등의 점에서 침엽수 합판과 차이가 거의 없으며 강도는 나왕 합판에 비슷한 성능을 지니고 있다. 따라서 남양재 원목의 공급 불안, 저질화, 가격 상승 문제를 떠맡고 있는 나왕 합판의 대체재로서 LVB의 역할이 장래 높아질 것으로 여겨진다.

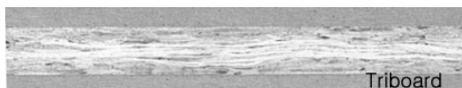
1.4 삭편판

삭편판(particleboard)은 목재의 작은 삭편(削片, particle)에 접착제를 분무하고 열압 방법을 적용하여 판상으로 성형, 제조한 목질재료이다(그림 11). 일반적으로 목재 가공 공장에서 파생되는 대팻밥, 죽데기 등의 폐잔재를 이용하여 제조한 침상(針狀)의 목재 삭편과 요소수지접착제 등과 같은 실내용 접착제를 이용하여 제조한 판상재료로서 가구나 장식장 부재, 각종 목공품 등과 같은 조각용 재료로 사용된다.

작은 직사각형 모양의 단판 조각을 닮은 웨이퍼(wafer)나 플레이크(flake) 및 석탄산수지접착제

등과 같은 실외용 접착제를 이용하여 제조한 판상 재료인 웨이퍼보드(waferboard)와 플레이크보드(flakeboard)는 침엽수 합판의 대응으로 지붕이나 벽체용 덮개, 비늘판 등의 건축 구조재로 사용될 수 있다. 배향성 스트랜드보드(OSB, oriented strandboard)는 가늘고 긴 형상의 삭편인 스트랜드(strand)와 석탄산수지접착제 등과 같은 실외용 접착제를 이용하여 제조한 판상재료로서 합판의 구성 형태처럼 인접층간의 목리가 서로 직교 적층되는데 3층 또는 5층의 형태로 제조될 수가 있으며 웨이퍼보드 등과 마찬가지로 지붕이나 벽체용 덮개 등의 건축 구조재로 사용된다(그림 11). 또한 스트랜드 양쪽에 섬유를 적층하여 제조한 트리보드(triboard)(그림 12)나 OSB를 심판으로 사용하고 이 OSB의 목리에 대해 직각이 되도록 그 표면에 단판을 적층하여 제조한 복합합판(com-ply, composite plywood) 그리고 OSB(web) 양 가장자리에 LVL(flange)을 접착시킨 적층복합재(LCL, laminated composite lumber) 역시 주택 등의 건축재료로 쓰인다(그림 13).

삭편판처럼 압축에 의해 제조되는 목질판상재료는 소재(素材)와 마찬가지로 대기의 온도와 습도 조건에 따라 함수율과 치수가 변하게 되는데 삭편판의 평형함수율은 대개 소재보다 작은 값을 보이게 된다. 삭편판을 구성하는 목재 삭편은 그 접선방향이나 방사방향이 삭편판의 두께 방향이 되도록



Triboard

그림 12. 트리보드

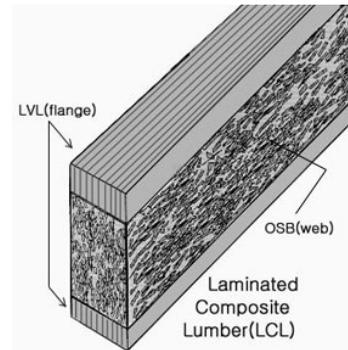
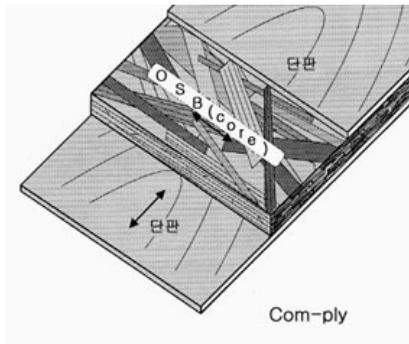


그림 13. 복합합판과 적층복합재

판면에 평행하게 퇴적되고 더욱이 열압 시 두께 방향으로 압축응력을 받게 되므로 흡습에 따라 삭편 판은 두께 방향으로 큰 팽창을 보이게 된다. 이러한 두께 팽창은 재건조에 의해 사라지게 되는 가역적인 팽창 부분과 삭편 간의 접착층 파괴에 따라 일어나게 되는 추가적이면서 불가역적 팽창 부분인 스프링백(springback)으로 이루어지게 되는데 이 스프링백에 의한 팽창은 영구적인 것이므로 삭편판의 재건조에 의해서도 사라지지 않으며 강도 저하의 원인으로 작용하게 된다. 삭편판의 비중이 커지게 되면 스프링백도 커져 두께팽창이 커지고 따라서 치수안정성이 나빠지는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 얇은 삭편으로 제조한 삭편판은 두께팽창이 작아지고 동일 비중의 삭편판을 기준으로 살펴보면 저비중의 원료 수종을 이용하여 제조한 삭편판은 고비중의 원료 수종에 의한 삭편판보다도 두께팽창이 큰 편이다. 물에 침지시키는 경우 삭편판의 흡수율은 비중의 증가에 따라 낮아지는 경향을 보이게 된다. 삭편판의 흡수성을 감소시키기 위한 목적으로 파라핀 왁스(paraffin wax)를 첨가하지만 단기간의 흡수인 경우 파라핀 왁스 첨가에 의한 흡수율 및 흡수에 따른 두께팽창을 대폭 낮추어 줄 수가 있으나 장기간의 흡수 시에는 효과가 없어지게 되며 또한 흡습에 따른 두께팽창에도 효과가 없음을 알

아들 필요가 있다.

삭편판의 재질은 제조 조건에 따라 달라지지만 일반적으로 삭편판의 비중이 증가함에 따라 강도는 커지게 된다. 그리고 동일한 비중의 삭편판인 경우 비중이 작은 삭편으로 제조한 것이 더 높은 강도를 나타내게 되는데 이는 동일한 무게의 삭편판을 기준으로 해 볼 때 가벼운 삭편일수록 더 많은 양이 쓰이게 되고 따라서 열압 시 삭편 간의 접촉이 더 긴밀해지기 때문이다. 함지율(含脂率: 접착제의 첨가량)의 증가에 따라 역시 삭편판의 강도도 증가하게 된다. 삭편판의 휨강도는 원료가 되는 삭편의 형상에 따라 달라지는데 삭편의 두께가 두꺼워질수록 휨강도는 작아지나 삭편의 길이가 길어짐에 따라서는 휨강도가 커지는 경향을 보인다. 한편 삭편의 폭은 강도적 성질에 큰 영향을 미치지 못하나 삭편판의 표면 평활도 등에 영향을 미치게 되므로 대개 폭이 좁은 삭편을 선호하게 된다. 삭편을 수직으로 세워 제조한 압출삭편판(extruded particleboard)은 삭편을 수평으로 깔아 제조한 평판열압삭편판(flat-platen pressed or mat-formed particleboard)보다 휨강도와 인성(靱性, toughness)은 낮으나 박리강도(剝離強度, internal bond strength)는 더 높은 특성을 보이게 된다. 삭편판의 함수율 경우에도 5에서 15%로 수분의 양이 많아지게 되면 휨강도가

25~50% 정도 저하되는 것으로 알려져 있는데 동일 합수율 조건에서는 온도가 높아짐에 따라 강도는 낮아지게 된다. 삭편판이나 섬유판의 점탄성 (creep)은 소재에 비해 높는데 고합수율에서 이 점탄성 성질은 더욱 커지게 된다.

구조용 합판과 기계적 성능을 비교해 보면 삭편판의 휨강도, 탄성계수는 합판에 미치지 못하게 되는데 이는 목재 삭편이 점성의 접착제에 의해 결합되어 있는 삭편판의 특성상 피할 수 없는 결점이 되고 있다. 따라서 부족한 강도를 보강해 주기 위해서는 합판보다 더 두꺼운 삭편판을 사용하는 수밖에 없는데 예를 들면 두께 9 mm의 구조용 합판과 동등한 성능을 얻기 위해서는 두께 12~15 mm의 두꺼운 삭편판을 사용하여야 한다. 한편, 석탄산수지 접착제 의해 제조된 삭편판은 물에 대한 저항성이 우수한 것으로 인정되고 있으며 구조용 합판에 필적할 만한 내수성을 보이게 된다. 조각용 삭편판 가운데 약 1/2이 주택 또는 사무실 가구 제조에 이용되며 1/3은 부엌가구 및 스테레오/TV 장식장용의 심재로 이용된다. 이동식 주택의 갑판 및 카펫으로 마감되는 바닥의 밑 깔개처럼 건축용으로 쓰이는 삭편판 시장 역시 매우 큰 편이다. 삭편판의 강도적 성질 가운데 가장 중요한 것은 탄성계수, 파괴계수 및 박리강도이다. 나사못 유지력은 합치율에 어느 정도 영향을 받게 되지만 삭편판의 밀도에 따라 주로 좌우된다. 나사못이나 결체구가 삭편판의 측면에 쓰이지 않도록 설계해 주는 것이 바람직하다. 부재가 휨 하중을 받게 되는 경우 이러한 성질들은 매우 중요시 된다. 선반처럼 장기적인 하중 아래에서 삭편판은 크리프(creep) 현상을 일으키기 때문에 이것 역시 고려해 주어야 할 필요가 있다.

OSB의 주요 용도는 구조용 판상재료인데 주로 경골 구조 건축물의 지붕과 벽 피복 및 애벌 바닥용으로 쓰인다. OSB는 외관에 따라 등급이 매겨지지 않으며 요구되는 성질은 특정 최종 용도에 따라서만 달라진다. 애벌 바닥, 지붕과 벽 피복, I형 장선

의 복재(web) 등으로 OSB가 가장 많이 사용된다. OSB가 지니는 주요 강도적 이점은 스트랜드의 평행 배향에 의한 것이다. 평행 및 직각 배향 사이의 비율이 3:1 내지 4:1임을 주목해 볼 필요가 있다. 일정한 배향성을 지니지 않는 웨이퍼보드(waferboard)의 휨강도가 대개 17 MPa(2,500 psi)인데 비해 피복용 등급의 OSB에 있어 목리 평행 방향 휨강도는 일반적으로 29 MPa(4,200 psi) 이상을 나타낸다. 피복용 등급의 OSB 밀도는 보통 640~670 kg/m³ 정도를 나타내게 된다. 이보다 밀도가 낮아지게 되면 강도적 성질은 수용 가능한 수준 이하로 떨어지게 된다. 이보다 높은 밀도 수준에서 제조된 피복 및 애벌 바닥 등급의 OSB는 비용 면에서 비효율적, 즉 너무 많은 양의 목재를 사용하게 된 것이다. OSB 등의 2차 가공을 통해 제조된 부가가치가 높은 제품 역시 다양하게 존재하거나 개발 중에 있다. 접힌 셋기둥, 중공형(中空型) 판상재료, 가구 심재, 몰딩(moulding)이나 목공 심재 및 팔레트(pallet)는 이러한 복합재료의 성공적인 용도 개발을 보여주는 일부의 예에 지나지 않을 뿐이다.

또 다른 종류의 제품으로 목재 셰이크(shake: 할렐에 의해 제조된 지붕널)와 비슷한 모양을 지니는 시멘트 결합체에 의한 목섬유계 지붕널을 들 수 있다. 미국에서 오래 전부터 제조되어 온 또 다른 제품으로 목모(木毛)와 포틀랜드 시멘트(Portland cement)에 의한 판상재료를 들 수 있는데 이것은 상업용 및 산업용 건물에 있어 음향용 천장 타일로 이용되고 있다. 국제 시장에서 이 제품은 목모보드(wood wool board)로 불려지고 있다. 목모보드에 있어 목재가 차지하는 무게 비율은 1/4~1/3이고 그 나머지가 포틀랜드 시멘트 또는 다른 광물질 결합체이다. 이 제품은 대개 320~400kg/m³의 밀도 수준에서 생산되고 있다. 이 제품은 주위에서 구할 수 있는 광물질 결합체를 사용하여 단순히 손으로 성형하기만 하면 되기 때문에 개발도상국에서 생산하기에 적당한 것이 되고 있다. 여러 수준의 목재에

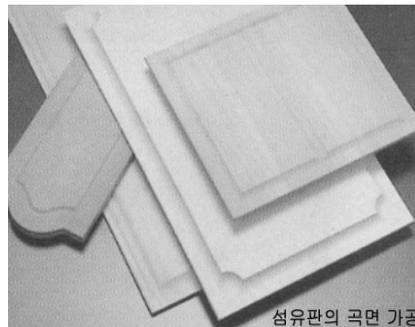


그림 14. 섬유판

는 시멘트 경화를 지연시키는 당과 추출물을 지니기 때문에 목재 수종을 선택하는 것이 매우 중요하다. 이런 문제는 목모를 생산하기에 앞서 목재를 장기간 저장해 주고 시멘트 경화 촉진용 화학물질을 첨가해 줌에 따라 경감시킬 수 있다. 목재의 밀도는 목모 제조기에서의 절삭에만 영향을 미칠 뿐이므로 중요한 인자가 되지 못하고 있다.

1.5 섬유판

섬유판(fiberboard)이라고 하는 것은 식물질 원료를 주원료로 하여 이것을 펄프화(pulping)한 다음 인공적으로 초조하여 제조한 목질재료를 일컫는다. 삭편판과의 차이점은 목재의 삭편을 원료로 하는 것이 아니라 더욱 해섬(解纖)된 형태인 목섬유, 즉 펄프를 이용한다는 점에 있다. 따라서 삭편판에 비해 매우 평활한 표면을 지니고 있어 단판 등의 적층이나 인쇄가 용이하고 다양한 형상의 곡면으로의 절삭가공이 용이하다.(그림 14)

섬유판은 비중에 따라 연질섬유판(insulation board: 비중 0.40 이하), 중밀도섬유판(MDF, medium-density fiberboard: 비중 0.40~0.80) 및 경질섬유판(hardboard: 비중 0.80 이상)으로 구분되는데 그 재질은 주로 비중에 따라 달라진다. 원료가 되는 섬유의 길이 방향이 대개 생산 방향이 되도록 섬유가 눕게 되므로 섬유판의 두께 방향 수축이나 팽창

은 길이 방향의 것보다 더 크게 일어나게 된다. 고의적으로 섬유를 배향시키게 되면 길이 방향의 수축이나 팽창은 더욱 작아져 소재와 비슷해 질 수가 있지만 이러한 고의적인 배향이 없더라도 길이 방향의 치수 변화는 매우 작은 편이다. 중밀도섬유판 가운데 시장에서 주류를 이루고 있는 비중 0.60~0.75의 것은 상대습도가 30에서 90%로 높아지게 되면 길이는 0.19~0.28% 그리고 두께는 4.3~15.0% 증가하는데 섬유판의 재건조에 의해서도 달라지지 않는 두께 방향의 영구적인 팽창 부분인 스프링백(springback)이 1.4~4.5%를 차지하는 것으로 보고되어 있다. 섬유판의 비중이 커질수록 그리고 수율이 높은 펄프(pulp)를 사용할수록 그 치수 안정성이 나빠지며 스프링백도 커지며 이에 비해 펄프를 정쇄하게 되면, 함지율을 높이게 되면 그리고 높은 열압 온도와 압력을 사용하게 되면 섬유판의 수축 및 팽창이 작아지게 되는 것으로 알려져 있다. 기름을 함침시킨 다음 열처리하는 경우에도 섬유판의 두께 팽창이 줄어드는 효과를 얻을 수가 있다.

섬유판의 비중이 증가함에 따라 휨강도는 커지게 된다. 짧은 섬유나 섬유속(纖維束)만을 사용하여 제조한 섬유판은 부서지기 쉬운데 짧은 섬유와 긴 섬유 또는 섬유속을 서로 혼합하여 섬유판을 제조하게 되면 유연성이 개선되는 것으로 알려져 있다. 석탄산수지접착제를 첨가해 주면 습식 경질섬유판

의 경우 강도가 개선되며 열압 시 온도를 190℃까지 올려 주게 되면 좋은 효과를 얻을 수 있으나 220℃ 이상이 되면 오히려 좋지 않은 결과를 나타내는 것으로 보고되어 있다. 이는 섬유가 고온 하에서 가스화됨으로써 섬유 간 접촉이 더 긴밀해 지고 130~190℃에서는 리그닌이 유동하여 접착제와 같은 역할을 하기 때문이며 220℃에 이르게 되면 섬유 간 접착력보다는 섬유의 고유 강도 저하가 더 크게 일어나기 때문인 것으로 여겨지고 있다. 기름을 함침시킨 다음 열처리하는 경우에는 섬유판의 휨강도가 높아지나 대신 쉽게 부서지게 된다. 수피를 일정량 이상 혼입하게 되면 섬유판의 휨강도가 저하되는 것으로 알려져 있다. 함수율의 증가에 따라 섬유판은 소재에 비해 더 큰 점탄성(creep)과 강도 감소를 나타내게 된다.

편평한 판상 경질섬유판은 수납 가구, 전자 제품 장식장, 서랍 바닥, 분진 차폐기, 미닫이 문, 일반 배판 및 탁자 상판 등에 이용된다. 또한 판벽 널, 장식장 문과 상판, 내장용 문의 표판, 차고 문 및 상점 시설물 등으로도 널리 이용된다. 마감재료로 마감 처리되지 않은 것은 천공 가공으로 구멍을 뚫어 작업실, 세탁실 및 차고의 걸개용 벽으로 이용된다. 또한 평활한 면을 지니는 경질섬유판은 페인트로 도장하거나 비닐 등으로 적층하여 외장용 비닐판 또는 실내 장식용 판벽 널로 이용한다. 외관 등급 제품은 내장용 판벽 널이나 차고 문짝 등으로 쓰기 위한 목적으로 열압 시 금형 열판에 의해 윤곽 또는 조각 형상을 지니는 제품으로 제조될 수 있다. 이 기술을 통해 거칠게 제재된 재면, 모조 벽돌 또는 다른 질감을 재생할 수 있다. 경질섬유판을 증기로 처리하여 다양한 형상의 곡면으로 가공한 제품도 있다. 곡면 가공에 의한 경질섬유판 제품은 자동차 문이나 지붕 및 계기판 등처럼 자동차 산업에서 널리 이용되고 있다. 양각 세공된 문짝용 표면재 역시 이들의 중요한 용도가 되고 있다.

전통적으로 벽 피복재와 천장 타일은 연질섬유판

에 의해 제조되는 주요 제품들이다. 연질섬유판 피복재는 벽체 구성에 있어 열을 차단하고 외부 벽을 통해 전달되는 소음을 감소시키는 역할을 지니지만 현재 미국에서 이용되고 있는 벽 피복재 가운데 연질섬유판이 차지하는 비율은 미미한 편이다. 또한 내화 성능이 더욱 우수한 제품과의 경쟁에서 밀려 천장 타일로 이용되는 연질섬유판의 양도 매우 적은 편이다. 연질섬유판의 또 다른 용도로 알루미늄 비닐판이나 지붕널 지지체, 조립식 지붕용 판상재료, 흡음판과 같은 다양한 공업용 원료재를 들 수가 있다. 재활용 섬유로 생산된 연질섬유판 제품 하나가 상당한 재미를 보고 있는데 이 제품은 신문고지 및 쇠목펄프 폐지로부터 제조된 것으로 경우에 따라 석탄산수지접착제를 첨가하여 제조한 다음 두께 12.7 mm인 것을 여러 개 적층하여 25~76 mm 두께의 구조용 갑판을 만드는데 쓰이기도 하며 강도적인 성능 개선을 위해 유리섬유가 첨가되기도 한다. 이런 부재들은 밀도 450~500 kg/m³로 생산된다.

중밀도섬유판의 가장 큰 용도로 가구와 부엌가구(미국의 경우 70% 정도 차지)를 들 수 있는데 삭편판이나 소재심판합판(그림 10)과 거의 동일한 방식으로 이용된다. 중밀도섬유판에 있어 가장 중요한 성질 가운데 하나가 두께 방향의 밀도 경사인데 표층의 밀도가 심층의 밀도에 비해 상당히 높은 것은 적층, 접착 및 도장용으로 적당한 반면 표층과 심층 사이의 밀도 차이가 없는 것일수록 나무못(dowel) 등에 의한 결체성이 좋아지게 된다. 또한 삭편판은 측면에 빈 틈새가 다량 존재하여 바로 곡면 가공하거나 마무리해 주기 어렵기 때문에 가구 제조 시 대개 곡면 가공된 다른 재료를 붙여 사용하는 것과는 달리 중밀도섬유판은 고도로 정채된 원료에 의한 것으로 삭편판보다 두께 방향 밀도가 더욱 균일하기 때문에 거의 소재와 마찬가지로 측면을 평활하고 깨끗한 곡면으로 가공해 줄 수 있다. 또한 중밀도섬유판은 평활한 재면으로 마무리한 다

음 나무 무늬를 인쇄해 줄 수 있기 때문에 단판이나 적층재를 사용할 필요가 적어지게 된다. 이런 이유로 인해 중밀도섬유판은 가구 제조용 판상재료 시장에서 나름대로 자리를 잡고 있다. 또 다른 용도로 제재목만큼 강도를 필요로 하지 않으나 평활하면서 인쇄 또는 도장이 가능한 재면을 필요로 하는 벽판 널을 들 수가 있으며 곡면 가공 및 마감처리를 통해 고가의 결레받이로도 이용될 수 있다.

석고, 포틀랜드 시멘트(Portland cement) 또는 마그네사이트(magnesite)와 같은 무기계 결합제와 목섬유를 사용한 일부 제품들이 최근 상업화되었다. 섬유는 휨강도와 유연성을 부여하는 반면 결합제는 화재 및 흰개미에 대한 저항성과 같은 바람직한 성질을 부여하게 된다. 시멘트에 의한 일부 목섬유계 제품들은 수분, 흰개미 및 부후에 대해 저항성을 지니는 것으로 밝혀졌다. 부후와 곤충에 대한 저항성은 높은 pH에 의한다. 이러한 제품들은 비닐판(siding), 지붕널, 타일 지지체 및 밀 깔개의 용도로 이용하기에 매우 적당하다. 재활용 목섬유와 석고 결합제에 의한 제품은 유럽에서 널리 사용되고 있으며 북미에서도 생산되고 있다. 이 제품은 벽이나 천장에 시공되는 일반적인 석고보드(gypsum board)의 대체재가 되고 있다. 일반적인 석고보드는 2장의 두꺼운 종이판 사이에 석고를 끼워 넣어 제조한 제품이다. 재활용 섬유와 석고 결합제에 의한 제품은 판상재료 두께 전체에 걸쳐 목섬유가 균일하게 분포되어 있다.

최근 강화 충전제로 폐지 또는 폐목섬유를 사용한 여러 열가소성 고분자에 의한 목재-플라스틱 복합재(wood-plastic composite) 제품이 개발되었다(그림 15). 목섬유와 열가소성 합성 플라스틱 섬유를 공기의 힘을 이용하여 부직포식 매트(mat)로 성형한 다음 열압을 통해 제품을 생산하거나 또는 용융된 열가소성 플라스틱에 목섬유를 혼합한 다음이 혼합물을 주물을 통해 사출하거나 주입 성형하여 제품을 생산하게 된다. 이들은 가구용 부재, 마



그림 15. 목재-플라스틱 복합재

루 바닥재, 실내 장식재, 자동차 부품 등의 용도로 쓰이고 있으나 가장 큰 시장 하나는 실외용 갑판이다.

2. 공학목재 제조용 접착제와 포름알데히드 저감 대책

이러한 대부분의 공학목재의 제조에 가장 널리 사용되고 있는 접착제는 포름알데히드계 접착제이다. 포름알데히드는 자극성 증기의 형태로 공기 중으로 방산되는 화학물질이다. 포름알데히드 증기는 눈, 코 및 호흡기 계통을 자극하고 알레르기(allergy)를 유발할 수 있으며 고농도인 경우 아마 건강 장애를 일으킬 수도 있다. 실험용 동물에게 있어서는 암의 원인 물질이 된다는 사실이 밝혀졌으나 인간에게 암을 일으킨다는 증거는 아직까지 거의 보고되어 있지 않음에도 불구하고 포름알데히드는 인간에게 암을 유발할 가능성이 있는 원인 물질로 분류되고 있다.

오늘날 목질판상재료에 있어 포름알데히드 방산량에 대한 규제가 세계적으로 점점 강화되고 있다(표 3). 왜냐하면 이들 제품, 특히 요수수지접착제에 의한 것이 공장, 가정, 사무실에 있어 칸막이, 판벽 널 등으로 이용되는 경우 포름알데히드 방산에 따른 문제를 일으킬 수 있기 때문이다. 포름알데히

표 3. 2006년 12월 7일 개정, 고시된 한국산업규격(KS)에 의한 포름알데히드 방산량에 따른 보통합판, 삭편판 및 섬유판의 분류(한국합판보드협회).

| 목질재료 | 종전 | 개정 |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 보통합판 (KS F 3010) | F0(평균값 0.5mg/ℓ 이하 최대값 0.7mg/ℓ 이하) | SE0(평균값 0.3mg/ℓ 이하 최대값 0.4mg/ℓ 이하) |
| | F1(평균값 1.5mg/ℓ 이하 최대값 2.1mg/ℓ 이하) | E0(평균값 0.5mg/ℓ 이하 최대값 0.7mg/ℓ 이하) |
| | F2(평균값 5.0mg/ℓ 이하 최대값 7.0mg/ℓ 이하) | E1(평균값 1.5mg/ℓ 이하 최대값 2.1mg/ℓ 이하) |
| 섬유판 (KS F 3200) 삭편판 (KS F 3104) | E0(평균값 0.5mg/ℓ 이하) | SE0(평균값 0.3mg/ℓ 이하 최대값 0.4mg/ℓ 이하) |
| | E1(평균값 1.5mg/ℓ 이하) | E0(평균값 0.5mg/ℓ 이하 최대값 0.7mg/ℓ 이하) |
| | E2(평균값 5.0mg/ℓ 이하) | E1(평균값 1.5mg/ℓ 이하 최대값 2.1mg/ℓ 이하) |

드 방산량은 실내 온도, 제품의 함수율, 함수율에 따라 달라질 수 있으나 주로 접착제 제조 시의 요소에 대한 포름알데히드 몰비(molar ratio)가 가장 큰 영향을 미치게 된다. 이들 인자들은 어느 것이나 커질수록 포름알데히드 방산량이 많아지게 된다. 또한 제품의 표면보다는 측면에서 더 많이 방산되어 나온다. 따라서 이런 문제를 피하기 위해서는 방산량이 낮은 재료를 사용하는 것이 무엇보다 중요하다.

포름알데히드 방산량은 여러 방법을 통해 줄여 줄 수가 있다. 요소에 대한 포름알데히드 몰비가 낮은 수지를 사용하거나 수지 중의 유리 포름알데히드와 반응하거나 흡수할 수 있는 첨가제(scavenger)가 섞인 수지를 사용하여 E1형 판상재료를 제조할 수 있다. 이외에도 방산량을 줄일 수 있는 방법이 여럿 있는데 그 예로 공장에서의 적절한 환기, 단판이나 폴리우레탄니스(polyurethane varnish)와 같은 도료(2회 도장이 바람직함)에 의한 제품 표면 피복을 들 수가 있다. 또한 열압기에서 나온 제품을 바로 암모니아(ammonia) 증기로 쏘인 다음 환기를 통해 과잉의 암모니아를 제거하고 개미산(formic

acid) 증기에 노출시켜 암모니아를 완전히 제거해주는 방법도 방산량 감소에 효과가 있다. 한편, 시간의 경과에 따라 방산량은 줄어들게 된다. 멜라민 수지접착제 역시 포름알데히드 방산이라는 문제점을 지니지만 가격이 저렴하기 때문에 가장 많은 양으로 사용되고 있는 요소수지접착제가 가장 큰 문제의 원인이 되고 있다. 석탄산수지접착제에 의한 방산량은 매우 미미한 편으로 이 접착제에 의해 제조된 제품에 의한 포름알데히드 최대 방산량 수준은 도시 지역의 대기 중에 존재하는 것과 거의 동일한 수준인 것으로 문제의 원인이 되지 않음을 의미하게 된다. 더욱이 α-올레핀(α-olefin)계, 수성고분자-아이소시아네이트(water based polymer-isocyanate)계 등과 같은 비포름알데히드계 접착제를 사용하면 포름알데히드 방산이 전혀 일어나지 않는 제품의 생산이 가능해진다.

포름알데히드는 대기 중에 항상 존재한다는 사실을 알아둘 필요가 있다. 이 화학물질은 목재, 담배, 휘발유나 기타 유기화합물 등의 연소에 의해 자연적으로 발생하게 되며 사과나 양파와 같은 음식물

에도 본래 비교적 높은 수준으로 존재할 뿐만 아니라 우리 인체의 혈액에도 대개 3 ppm 수준으로 포함되어 있다. 유리 포름알데히드의 유해성에 대한 논란은 여전히 남아 있다. 독일의 어느 의학박사는 “소나무 숲을 산책하는 사람이라면 어느 누구나 삭편판 제조업체에서 발생될 수 있는 것보다 훨씬 높은 수준의 포름알데히드에 노출된다”라는 견해를 밝히면서 자신의 주장이 현재 받아들여지고 있지 않으나 아마 매우 정확한 사실일 것이라고 이야기하고 있다.

3. 친환경적인 목재와 공학목재

목재와 공학목재로 지어지는 목조주택은 “도시 속의 숲”이다. 말할 필요도 없이 수목은 성장기에 급속히 대기 중의 이산화탄소, 즉 CO₂를 스스로 체내에 흡착, 고정한다. 초등학교에서 배운 햇빛과 잎에 의한 탄소 동화 작용이다. 즉, 대기 중의 CO₂는 흡수되어 목재의 형태로 고정된다. 간단히 말하자면 성장기의 숲은 훌륭한 CO₂ 흡착 장치인 셈이다. 그렇다면 성장 중의 나무는 도대체 어느 정도의 이산화탄소를 목재의 형태로 축적하고 있는 것일까? 지표 부분의 지름이 50 cm, 수고 15 m인 천연 삼나무를 대상으로 삼아 보자. 나무 줄기의 형상을 원추형, 삼나무의 전건비중을 0.35로 가정한다면 그 전건무게는 350 kg 그리고 목재의 전건무게 가운데 약 1/2 가량이 탄소이기 때문에 탄소의 무게는 175 kg이 된다. 이것을 이산화탄소로 환산하여 본다면 약 640 kg에 상당한다. 이 나무가 폭 5 mm의 연륜을 형성하며 성장한다고 가정하는 경우 매년 약 37 kg의 이산화탄소를 목재로써 축적할 수 있게 되는 것이다.

그러나 성장기를 지난 나무는 갑자기 생장이 둔화된다. 즉, CO₂ 흡수량도 줄어든다. 따라서 성장한 나무를 베어 목재로 가공, 출하하고 베어 버린 자리에 묘목을 심는 것이 현명하다. 묘목은 급속히 성장

하면서 CO₂를 고정 그리고 성장 후 벌채, 출하라는 주기를 반복하면 대기 중의 CO₂는 목재로 변화되고 그것이 출하, 이용되면 CO₂는 목조주택 등으로 변모하게 되는 것이다. 따라서 목조주택 등은 대기 중으로 CO₂를 방출하지 않고 그대로 “고정·밀봉”시켜 놓은 통조림이나 마찬가지인 셈이다. 2중으로 온난화 방지에 공헌하는 것이다(그림 16).

더욱이 자연인 태양의 혜택으로 자란 나무로부터 목재를 생산하는데 쓰이는 에너지는 인공 시멘트의 1/4, 플라스틱의 1/6, 철의 1/24, 알루미늄의 1/126 등처럼 매우 적게 든다. CO₂ 배출량이 그만큼 적다는 것이다. 이렇게 되면 목조주택 등은 3중의 의미에서 환경에 공헌하게 된다. 이야말로 지구환경 위기를 타파할 수 있는 결정적인 수단이 되는 것이다. 신축 목조주택을 올려다보고 나무가 대기 중의 CO₂를 이만큼 고정해 온난화 방지에 공헌하였구나! 라고 실감하는 사람은 아무도 없을 것이다. 그러나 목조주택을 짓는다는 것은 이러한 것이다. 가능한 나무를 베어, 가능한 목조주택, 목조 빌딩이나 목조 시설을 만드는 것은 지구 온난화를 막는데 매우 효과적인 방법이다. 목조 빌딩이나 목조 도시를 주장하는 전문가들의 이유도 여기에 있는 것이다.

현재 목조주택이 유행되고 있다. 집을 짓는다면 목재 향기 나는 자연주택을 선택하기를 부탁한다. 그 바램, 꿈은 지금 큰 파도가 되어 주택 시장을 움직이고 있다. 살다(住)라고 하는 글자를 잘 보기 바란다. 사람(人)이 주인(主)이라고 되어 있지 않은가. 또한 사람(人)이 나무(木)에 기대면 휴식(休)한다는 글자가 된다. 사람은 나무와 함께 생활하게 됨에 따라 심신을 쉬게 하는 것이 가능해진다. 숲(森)은 영어로 forest, 즉 for rest이다. 휴식의 장소라는 의미이다. 동서의 말이 모두 나무와 인간의 생활은 불가분의 관계에 있다고 가르치고 있는 것이다.

앞으로 목재 자원에 대한 수요가 급증할 것으로 전망되고 있고 따라서 이러한 목재 자원의 영속적인 이용을 위한 이상적인 순환계를 확립하기 위해

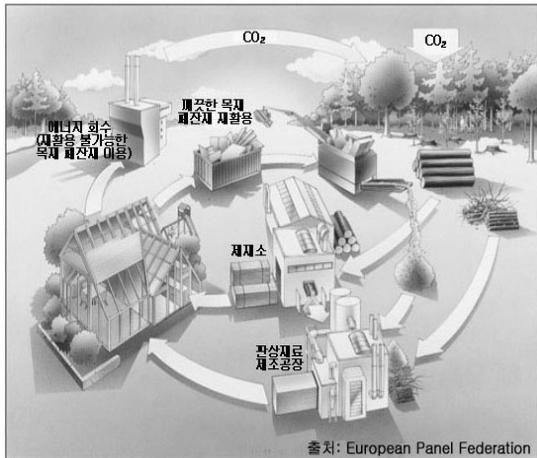


그림 16. 지속 가능 및 재생 가능한 자원인 목재와 공학목재

서는 목재의 소비를 나무 줄기의 성장량 범위 내로 제한하지 않으면 안 된다. 이를 위해서는 사막의 녹화, 빨리 자라는 수종의 육성, 산성비의 줄임 등에 관한 노력과 목재 자원의 육성을 도모하는 것이 우선 필요하겠지만 한편으로는 간벌재, 잠목 등과 같은 미이용재, 삼림 토목 공사장이나 목재 공업의 폐잔재 등 모든 목질자원을 유효하게 이용하여 제재목이나 합판을 대체할 수 있는 다양한 목질재료를 개발함으로써 삼림의 벌채량을 줄여 줌으로써 지구의 녹색 회복을 지속시켜 인류의 생활에 그 은혜를 베풀 수 있는 영구적인 체계를 만드는 일이 필요하다.

여기에는 철저한 절약 운동이 필요하고 그를 위한 절약의 과학인 '목질재료(공학목재)학'을 심화, 발전시키지 않으면 안 될 것이다. 언제까지나 화석 에너지에 의존하려는 자세와 내용연수가 적은 콘크리트의 건축을 계속 허물고 짓고 하는 현재의 비환경보전적인 소비형 체제에서 빨리 탈피하여 조금 더 미래적인 생활양식, 순환형 사회로 혁신되어야 한다. 절약의 과학인 '목질재료(공학목재)학'은 이런 의미에 있어서 지구의 미래를 위한 중요한 학문 분야가 되고 있다.

IV. 맺음말

목재는 동일한 무게의 다른 재료와 비교해 볼 때의 강도적 성질인 비강도가 높을 뿐만 아니라 단열성이 우수하며 조습 기능을 지니는 등 건강하고 쾌적한 주거 환경을 조성하는데 있어 효과적인 재료가 되고 있어 근래에 이르러 차세대 건축재료, 친환경 재료로써 다시 평가를 받고 있다.

아울러 나무가 성장하는 과정 중에 이산화탄소가 흡수, 저장된 것이 목재로써 적절히 삼림을 관리한다면 영구적으로 재생산이 가능한 자원이 됨과 동시에 공학목재 등의 제조·가공 시 소비되는 에너지가 콘크리트, 알루미늄이나 철 등에 비해 상당히 적고 주택이나 가구 등으로 이용되고 있는 동안에도 탄소의 저장이 그대로 이어지기 때문에 지구 온난화 방지에도 크게 공헌할 수 있는 재료이다.

그리고 이들은 건축재료로써 그 수명이 다 되어도 흙으로 돌아가 유기물로 분해되고 다음 세대의 삼림을 키우는 양분이 된다. 이와는 달리 콘크리트 도시, 석유 화학 주택은 폐기되어도 흙으로 돌아가지 못한다. 흙, 물, 공기에서부터 음식물까지 오염시키고 그 음식물에 농축되어 우리의 몸을 공격해 오게 된다.

21C에는 IT(information technology) 혁명으로부터 GT(green technology) 혁명으로 옮겨 갈 것이라고 예측되고 있다. 즉 환경, 건강, 생명을 존중하는 녹색 기술이 주류를 이루어 가게 될 것이라는 전망이다. 이제부터라도 목재나 공학목재 등과 같은 친환경 재료를 살린 21세기형의 주거 환경을 조성하는 그리고 지구 환경을 지키는 운동이 펼쳐지기 바란다.

- 참고문헌 -

1. Bassett, G. 1995. Bonding media for wood based panels. Wood Based Panel Inter-

- national July 1995: 26~27.
2. Desch, H. E. and J. M. Dinwoodie. 1981. Timber: Its structure, properties, and utilisation. 6th ed., MacMillan Press, London.
 3. Hawks, L. K. and A. B. Hansen. 2002. Formaldehyde. Electron Publishing, Utah State Univ. Extension, FL/HH-04, March 2002(<http://extension.usu.edu/files/homipubs/hh04.pdf>).
 4. Haygreen, J. G. and J. L. Bowyer. 1982. Forest products and wood science: An introduction. Iowa State Univ. Press, Iowa.
 5. Heck, H. d'A., Casanova-Schmitz, P. B. Dodd, E. N. Schachter, T. J. Witek, and T. Tosun. 1985. Formaldehyde (CH₂O) concentrations in the blood of humans and Fischer-344 rats exposed to CH₂O under controlled conditions." American Industrial Hygiene Association Journal 46:1-3 (1985).
 6. Kunesh, R. H. 1978. Micro=Lam: Structural laminated veneer lumber. For. Prod. Jour. 28(7):41-44.
 7. Laufenberg, T. L. 1983. Parallel-laminated veneer: Processing and performance research review. For. Prod. Jour. 33(9): 21-28.
 8. Marra, A. A. 1992. Technology of wood bonding: Principles in practice. Van Nostrand Reinhold, New York.
 9. Panshin, A. J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
 10. Selkirk Truss Limited. 2001. Engineered Beams (<http://www3.telus.net/selkirk99/selkirk/Beams/beams.html>).
 11. Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood: Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold, New York.
 12. Walker, J. C. F.(ed.). 1993. Primary wood processing: Principles and practice. Chapman & Hall, London.
 13. Wilcox, W. W., E. E. Botsai, and H. Kubler. 1991. Wood as a building material: A guide for designers and builders. John Wiley & Sons, New York.
 14. 김현중, 이동흡. 2007. 목재와 환경: 환경과 조화하고 환경에 부담이 적은 친환경재료로 초대. 선진문화사, 서울, 159pp.
 15. 엄영근. 1995. 목재의 중요성과 특성. 숲과 문화 4(3): 15-21.
 16. 엄영근. 1999. 목재의 비밀. WIT 컨설팅.
 17. 엄영근. 2004. 콘크리트주택에서는 9년 일찍 죽는다. 한국목재신문사, 서울, 418pp.
 18. 小西 信. 2003. 被着材からみた接着技術: 木質材料編. 日刊工業新聞社, 248pp.
 19. 土居恭次, 白石信夫, 黒須博司, 西本孝一, 海老原 徹, 須藤賢一, 小野擴邦, 林 良興, 平林靖彦, 谷田貝光克. 1988. 木材新時代: 未來を拓くハイテク木材・新素材. 全國林業改良普及協, 190pp.
 20. 喜多山 繁, 栃木紀郎, 鷺見博史, 瀧 欽二, 黒須博司, 木下敍幸, 海老原 徹, 太田正光. 1991. 木材の加工. 文永堂出版, 東京.