합판을 코어로 사용한 교호 집성재의 물리·기계적 성질¹

최 철² · 육 초 룡² · 류 지 창² · 박 재 영² · 이 창 구² · 강 석 구^{2,†}

Physical and Mechanical Properties of Cross Laminated Timber Using Plywood as Core Layer¹

Chul Choi² · Cho-rong Yuk² · Ji-Chang Yoo² · Jae-young Park² ·
Chang-goo Lee² · Seog-goo kang^{2,†}

요 약

본 연구는 기존에 제조되었던 교호집성재의 휨강도의 단점을 보완하고 새로운 특성을 가진 교호 집성재 즉, 합판을 코어로 이용한 집성재가 가진 기계적강도의 효과를 알아보기 위해 수행되었다. 집성재와 합판의 구성 방법, 적층 방향에 따라 그 값을 비교하였으며, 그에 따른 휨강도와 탄성계수를 측정하여 분석한 결과, 중심부를 집성판과 합판을 혼합하여 구성한 합판 코어 집성재의 휨강도(MOR) 값이 59.6% 강도가 향상되어 교호집성재구조 대조군보다는 우수하고, 집성재구조 대조군과는 유사한 강도를 나타냈다. 휨탄성계수(MOE)는 합판 코어 집성재의 구조 및 적층 방향성에 상관없이 모두 집성재구조 대조군과 유사한 MOE 값을 나타냈다. 치수 안정성 실험에서는 합판을 코어에 사용한 합판 코어 집성재가 합판 사용으로 인하여, 수축·팽창률 모두 집성재와 교호집성재구조 대조군에 비해서 더 안정적인 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study was performed to study physical and mechanical properties of hybrid cross laminated timber (HCLT) with plywood as core layer in order to improve its mechanical properties for wooden housing. MOE, MOR, and dimensional stability of the HCLT were determined, depending on plywood composition and lamination direction. MOR value of the HCLT was improved as much as that of the glued laminated timber, which was 59.6% stronger than that of the cross laminated timber (CLT) control group. All MOE values of the HCLT were similar to glued laminated timber structure control group regardless of plywood composition and lamination directions. The dimensional stability of the HCLT was better than those of the glued laminated timber and CLT control group, owing to the use of plywood in the core.

¹ Date Received November 14, 2014, Date Accepted December 15, 2014

² 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author) : 강석구(e-mail: lachesis@cnu.ac.kr)

Keywords : hybrid wooden-core laminated timber, cross laminated timber, modulus of rupture, modulus of elasticity

1. 서 론

1970년대 이후 급격한 산업의 고도화에 이은 베이비부머(baby boomer) 세대의 은퇴시점이 도래함에 따라 기존의 도시민의 전원주택 단지 이주 추세가 최근 들어 부쩍 늘어나고 있다. 이처럼 전원주택이나 목조주택 시장이 확대되고 있는 가운데 기존의 목조주택에 사용되던 구조재가 가지고 있는 기계적 성질을 향상시키고 목재만이 가지고 있는 단점을 보완하기 위한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 19세기 이전의 목재사용시기로부터 합판, PB, MDF 등 다양한 목질재료와 공학목재의 개발이 변성했던 20세기를 뒤로하고 최근 21세기에 들어 새로운 목질재료로 각광받고 있는 교호집성재에 대한 관심이 국내외적으로 많은 이슈가 되고 있다. 교호집성재는 집성재가 가지고 있는 문제점을 해결하기 위하여 만들어진 공학목재로서 좋은 목질재료이지만 휨강도를 비롯한 일부 물성이 개선되지 않는다는 단점이 있다.

각 국가마다 토종수종을 이용한 집성재 산업의 발달과 이에 편승한 목조건축의 발전 또한 경제와 함께 비례 성장한다 할만큼 건축재료로의 집성재를 포함한 공학목재의 사용은 경제적, 사회적으로 매우 중요한 부분이 되었으며 이제는 목재도 석유와 마찬가지로 모든 산업부문에서 아주 중요한 자원으로 인식되고 있다. 특히 최근 목조주택의 수요가 증가함에 따라 목조주택에 쓰이는 구조용 자재에 대한 관심도 높아지고 있다.

그중에서도 1930년대 이후 건설 산업이 활발해짐에 따라 폭넓은 분야에 꾸준히 사용되어 온 합판산업은 우리나라의 목재산업 전성기를 누리게 했던 대표적 목질재료라고 할 수 있다. 하지만 합판의 원재료인 원목의 공급을 전적으로 해외(주로 동남아시아 지역)에 의존해 온 우리로서는 자원부국의 자국환경보호정책에 힘입어 사실상 새로운 돌파구 없이는 산업의 생존여부에 대해서조차 그리 밝지 않은 전망을

내놓고 있다. 특히, 이러한 합판의 용도가 콘크리트 형틀용 합판 단일 용도로 치중되어있어 합판산업의

Table 1. Density and moisture content of plywood and laminated timber

	Density (g/cm^3)	Moisture content (%)
Plywood	0.49	7
Laminated timber	0.42	6

돌파구 마련을 위해서는 새로운 용도의 개발과 시장의 개척이 시급하다고 지적된 바 있다.

반면 한국의 집성재산업은 수입 집성재에 대비한 가격 및 품질경쟁력의 문제를 포함한 기본적인 산업발전의 태동에서부터 원재료에 대한 사항까지 그렇게 밝지 않은 과거를 갖은 목질재료이다. 이러한 집성재의 원재료인 라미나용 원목은 대부분 생산국가의 토종수종을 이용해 제조함이 보통이지만 국내의 집성재산업을 구축을 위해 사용해야 할 그러한 토종수종 자원이 근본적으로 양적으로 풍부하지 않고 질적으로도 만족스럽지 못하다는 이유와 결정적으로 그 활용도가 낮은 것이 주요한 이유라 할 수 있다.

따라서, 국내의 목질재료사업은 이러한 집성재 산업을 대신할 수 있는 합판 및 PB, MDF 등의 목질판상재를 중심으로 한 목질재료산업이 변성하게 되었다. 이렇듯 국내의 목질재료산업은 태생적인 약점을 기반으로 시작했지만 최근 국산재 이용촉진활성화 및 자급률의 성장 등 긍정적인 영향에 힘입어 새롭게 국내 목질재료 산업의 부흥을 이끌어 나가고 있다.

이러한 즈음에 최근 영국, 독일 오스트리아 등의 유럽과 특히 지리적으로 가까운 일본에서조차 급속하게 퍼지고 있는 교호집성재(CLT)가 각광을 받고 있다. 교호집성재(CLT)는 목재 판재를 아래위 서로 가로질러 90도로 직교되게 접착해 제조한 제품으로 집성재보다 차음성, 내구성면에서는 우위를 보이거나 Beam의 형태로 기둥 또는 보로 사용하였을 때에는

Table 2. Images and numbering of glued laminated timber and CLT

No.	G	CLT
Structure
Direction of lamina	// (Parallel)	⊥ (Cross)

곡강도나 탄성계수와 같은 기계적 성질은 크게 기대할 수 없다. 또한 기존 제조법에 비해 쓰이는 목재양이 많아 양질의 라미나를 더 사용하게 되어 건축비가 일정부분 상승하게 되고 이는 수량적으로는 물론 수고가 낮고 직경이 작은 국내산림자원을 고려해 볼 때, 국산재를 통한 기존의 교호집성재 제작은 적합하지 않다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 합판을 집성재의 목질 코어로 대체한 ‘한국산림자원환경에 적합한 합판코어 집성재’를 기존의 집성재, 교호 집성재와 비교하여 휨강도 및 탄성계수 등을 측정하고 이를 통해 구조용 자재로서 물리적 · 기계적 성질의 적합성을 평가하여 그 사용가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

2.1.1. 합판(Plywood)

본 연구에 공시재료로 사용된 합판은 S社로부터 분양받은 뉴질랜드산 라디에타 파인을(*Pinus Radiata*) 중판(Short Grain Core)으로 제조한 침엽수 복합합판을 사용하였다. 제품의 규격은 폭(W) 1,220 mm, 길이(L) 2,440 mm, 두께(T) 11.5 mm의 요소멜 라민수지를 사용한 함수율 12%의 7 ply 합판이다.

2.1.2. 집성판(Glued laminated board)

본 연구에 공시재료로 사용된 집성판은 W社로부터 분양받은 뉴질랜드산 라디에타 파인(*Pinus Radiata*)인테리어용 집성판을 사용하였으며, 제품의 규격은 폭(W) 1,220 mm, 길이(L) 2,440 mm, 두께(T) 11.5 mm이었으며, 이때 함수율은 12%이었다.

2.1.3. 접착제(Adhesives)

각각의 층간 접착을 위해 사용한 상온경화형 접착제로는 이액형 변성 우레탄계 접착제로써 O社의 고형분 함량 50%의 상온경화형 우레탄계접착제를 사용하였으며, 도포량은 단면기준 140 g/m²이었다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 집성재의 제조

각각의 공시재료를 이용하여 집성재 및 CLT구조의 대조군, 그리고 합판 코어 집성재(HWLT)를 각각 Table 2와 Table 3과 같이 제작하였다. 비교군으로 사용된 집성재 및 교호 집성재(CLT)구조의 대조군은 본 연구의 합판 코어 집성재와의 강도적 차이를 비교 하고자 시중에서 판매되고 있는 S사의 합판과 W사의 인테리어용 라디에타파인 집성판을 분양받아 각각 제작에 사용하였다. 먼저, 집성재의 경우 집성판을 섬유 방향을 동일하게 하여 5 ply로 적층한 구조이며, CLT의 경우 합판 제작 과정과 동일하게 집

Table 3. Images and numbering of HWLT's core structure

No.	A-1	A-2	B-1-P _{parallel}	B-1-C _{cross}	B-2-P _{parallel}	B-2-C _{cross}
Structure
Type of Specimen	Type A		Type B			
Direction of plywoods	// (Parallel)	⊥ (Cross)	// // // (Parallel)	⊥ ⊥ ⊥ (Cross)	// ⊥ // (Mixed)	⊥ // ⊥ (Mixed)

성판을 교호적층하여 제작하였다.

합판 코어 집성재는 집성재 및 교호집성재와 동일한 합판과 집성판을 사용하여 5 ply 적층을 하였으며, 외층은 집성판을 사용하고 내부 코어 3 ply의 경우 크게 2가지 분류를 하였다. A Type은 코어의 3 ply 중 중심부를 외층과 동일한 집성판으로 구성하고 바깥층을 합판으로 구성된 3 ply 하이브리드 코어를 제작하여 사용하였다. 또한 각각 합판의 적층 방법에 따라 중심부 양 옆의 합판이 모두 집성판에 평행한 A-1, 합판이 집성판에 수직으로 적층된 A-2로 구분하였다.

그리고 B Type은 코어를 합판으로만 사용하였고, 이들 B Type의 경우는 다시 적층방법에 따라 Table 2와 같이 4가지로 구분하였다. 코어의 합판이 중심의 집성판에 평행으로 적층된 B-1-P_{parallel}, 코어의 합판이 모두 교차 적층된 B-1-C_{cross}의 경우와 코어층의 합판이 중심부는 집성판에 수직 배열하지만 양 옆이 평행으로 적층된 B-2-P_{parallel}, 중심층이 집성판에 평행하지만 양옆이 수직 적층된 B-2-C_{cross}의 4가지 경우로 나누어 실험을 실시하였다.

각각의 접착은 Fig. 1의 접착용 Spreader를 사용하여 접착제 도포 후 적층시킨 시험편들을 상온에서 1.0 N/mm²의 단위 압력으로 30분간 하중을 주어 접착한 후 해압하여 24시간 후 해체하였다.

2.2.2. 휨강도(MOR) 및 휨탄성계수(MOE)

Fig. 2의 만능강도시험기(Universal Test Machine ; Housefield社)를 이용하여 KS F 2150 (목구조용 실대재의 휨 시험 방법)에 의거하여 MOR 및 MOE를 측정하였다. 이때, 크로스헤드속도(Cross head speed)는 10 mm/min의 속도로 실험하였으며, MOR과 MOE는 4점 하중방식을 통한 휨강도 및 휨탄성계수를 구했으며, 계산 방법은 각각 다음 수식 (1), (2)와 같다.

$$MOR = \frac{P_{\max} l}{bh^2} (N/mm^2) \dots\dots\dots (1)$$

$$MOE = \frac{Pl^3}{4bh^3\Delta_l} (N/mm^2) \dots\dots\dots (2)$$

l : 지간 거리(mm)

b : 시험편의 폭(mm)

h : 시험편의 깊이(mm)

P_l : 비례 한도 내에서 상한 하중과 하한 하중의 차이(N)

Δ_l : P_l 일 때의 지간 거리 중앙의 처짐의 차이(mm)

Fig. 1. Adhesive Spreader.

Fig. 2. Universal Testing machine for Bending Strength.

2.2.3. 치수 안정성

합판 코어 집성재(HWLT)의 고온 수축률 및 침지 팽창률에 대한 실험을 위해 시험편을 각각 폭(W) 60 mm, 길이(L) 30 mm, 두께(T) 60 mm의 시험편을 각각의 적층 조건별로 제작하여, 시험편을 48시간 동안 상온수에 침지시켜 포수 상태로 만들어 팽창률을 측정하였다. 그 다음, 48시간 동안 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 전건을시켜 합판 코어 집성재의 수축률을 측정하였다.

2.3. 통계분석

만능강도시험기를 통해 측정된 모든 시험편의 휨탄성계수(MOE)와 휨강도(MOR)은 F검증을 통해 유의차 검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기계적 특성

3.1.1. 휨강도(MOR)

Fig. 3에 나타난 것처럼 A Type의 합판 코어 집성재가 CLT구조의 대조군보다 최대 59.6% 높은 강도를 나타내고 있으며, 라미나를 사용한 집성재구조의 대조군의 휨강도(25.5 MPa)에 근접한 23.3 MPa의 강도를 나타내었다. 이것은 집성판의 원재료로 사용된 라디에타파인 원목자체의 휨강도가 목질보드인

합판에 비해 현저히 높은 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 집성판에 평행하게 합판을 적층한 합판 코어 집성재(A-1)와 집성판에 교차 방향으로 합판을 적층한 합판 코어 집성재(A-2) 간의 유의차는 인정되지 않았으며, 각각의 MOR은 23.1 MPa, 23.3 MPa의 강도를 나타내고 있다. 이를 미루어 볼 때, 합판의 방향성에 따른 휨강도의 차이는 없는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 코어를 합판으로만 구성한 합판 코어 집성재(B Type)의 MOR을 비교분석한 결과이다. 결과에서 나타난 바와 같이 A Type의 합판 코어 집성재에 비해서 강도가 23.2% 낮게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 이러한 이유는 표층라미나의 휨강도가 합판보다 우수하기 때문에 집성판 사용이 적은 B Type이 낮은 강도를 나타낸 것으로 사료된다. 또한, 집성재 구조 대조군에 비해서도 최대 30.1% 낮은 17.9 MPa의 강도를 나타내었으며, 이는 CLT구조의 대조군은 14.6 MPa를 갖는 것과 비교할 경우 동등수준의 MOR 값을 나타내었다.

라미나를 이용한 집성재 및 CLT구조의 대조군과 B Type의 합판 코어 집성재 간에는 고도의 유의차가 인정되었으나, 합판코어의 적층방향 변화에 따른 B Type의 합판 코어 집성재 간에는 유의차가 인정되지 않은 것으로 미루어보아 방향성에 의한 강도적 차이는 없는 것으로 나타났다.

라미나집성재 및 CLT구조의 대조군과 합판코어

합판을 코어로 사용한 교호 집성재의 물리·기계적 성질

Fig. 3. MOR of hybrid laminated timber.

Fig. 5. MOE of hybrid laminated timber.

Fig. 4. MOR of 3 ply hybrid laminated timber.

Fig. 6. MOE of 3 ply hybrid laminated timber.

집성재의 휨강도의 결과가 전체적으로 기존 상용 되고 있는 구조용 집성재에 비해 낮은 물성을 나타내었다. 이는 제작에 사용된 인테리어용 집성판의 핑거 조인트 부분이 약한 초산비닐수지를 사용한 이유로 판단된다.

3.1.2. 휨탄성계수(MOE)

Fig. 5의 결과에서 나타난 바와 같이 모든 층이 섬유직각방향으로 적층된 합판 코어 집성재(A-2)가 가장 높은 3.33 GPa의 값을 나타내었고, CLT구조의 대조군은 2.79 GPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 모든 층이 섬유방향으로 적층된 합판 코어 집성재(A-1)는 3.09 GPa로 2종류의 합판 코어 집성재는 모두 집성재구조 대조군의 MOE 3.30 GPa에 준하는 수준으로 나타났으나 그 처리간의 유의차는 인정되지 않았다.

Fig. 6는 코어를 모두 합판으로 설계한 합판코어 집성재 4가지 종류의 B Type 내에서의 MOE의 차이를 분석한 결과이다. 결과에 나타난 바와 같이 B-2-P_{parallel} type이 가장 높은 3.08 GPa의 값을 나타내

었으며 제작된 집성재와 동등수준의 결과를 나타내었고 다른 3가지 구성과는 달리 우수한 물성값을 나타내었다. 비교구로 사용된 중심층이 집성판에 평행하나 양옆이 수직 적층된 합판 코어 집성재(B-2-C_{cross})의 경우가 2.58 GPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그러나 이러한 결과는 합판 코어 집성재의 휨강도 측정 후 파괴유형을 분석해 본 결과 파괴가 일어난 부분이 외층부 집성판의 길이접합부위인 핑거조인트 부분에서 파괴가 발생한 사항들을 미루어 볼 때 핑거조인트부위의 파괴에 따른 실험오차라고 판단된다. 또한, 집성재와 CLT 대조군을 제외한 3 ply 합판 코어 합판 코어 집성재(B Type) 간의 유의차가 인정되지 않았다.

3.1.3. 합판 코어 집성재의 파괴 형태

Fig. 7과 같이 크게 두가지 종류의 파괴 형태가 나타났다. Fig. 7(a)와 같이 합판의 층간박리유형은 주로 합판만을 코어로 사용한 합판 코어 집성재(B Type)에서 많이 나타났으며, 코어에 사용된 단일 합판 내에서 단판간의 접착 부분이 떨어지는 현상이

Fig. 7. Failure modes of HWLT.

나타났다. Fig. 7(b), (c)와 같은 파괴 형태는 2가지 구조 모두에서 나타났으나, 주로 코어의 중심부를 집성판으로 사용한 합판 코어 집성재(A Type)에서 많이 나타났다. 다음과 같은 파괴 유형은 핑거 조인트 부분의 접착이 하중을 견디지 못해 파괴된 것으로, 이때의 최대 하중은 동일한 구조를 가진 시험편에 비해서 낮게 나타났다.

3.2. 치수안정성

3.2.1. 72시간 침지에 의한 팽창률

Fig. 8(a)을 통하여 기존의 라미나를 사용한 집성재의 경우 5개의 층이 모두 팽창률이 높게 나타나고 있으며, 각각의 층에서의 팽창률의 편차가 크게 나타나고 있다. 또한 Fig. 8(b)와 같이 CLT구조의 대조군의 경우에는 교차 적층으로 인하여 팽창률이 억제되는 경향을 나타내고 있으나, 라미나만을 사용하여 제작한 CLT 구조의 대조군 역시 일부 층에서 팽창률의 편차가 크게 나타나고 있다. 한편, 합판을 코어

로 사용한 집성재의 경우, 코어층의 중심부를 집성판으로 사용함으로써(A Type) 제작한 CLT 구조의 대조군과 유사한 팽창률을 나타내고 있으나, 코어층에 합판을 사용함으로써 팽창률이 CLT 구조의 대조군보다 더 억제되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 9(b)에서는 코어층을 합판으로만 구성한 합판 코어 집성재(B Type)의 팽창률을 나타내는 것으로 합판으로만 구성된 코어층은 합판의 고유 특성으로 인해 팽창률이 거의 없는 것으로 나타나고 있으나, 최외층의 라미나층에서는 라미나 집성재구조 및 CLT구조 대조군과 유사한 치수 변화를 나타내고 있지만, 그 편차가 집성재 및 CLT 대조군보다 작게 나타났다.

3.2.2. 48시간 건조조건 하에서의 수축률

72시간 동안 상온수에 침지시킨 시험편을 48시간 동안 $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 동안 건조를 실시하여 수축률을 측정하였으며, 그 결과는 다음 Fig. 10(a), (b)에서 각각 제작된 집성재와 CLT 구조 대조군의

Fig. 8. Fiber direction expansion ratio of Glued Laminated Timber and CLT.

Fig. 9. Fiber direction expansion ratio of HWLT.

수축률을 나타내고 있으며, Fig. 11-a, b에서는 각각 코어층의 중심부를 집성판으로 사용한 합판 코어 집성재(A Type)와 코어층을 모두 합판으로만 구성한 합판 코어 집성재(B Type)의 수축률을 나타내고 있다. 결과를 통하여 집성재 구조의 대조군은 높은 수축률을 보이며, 각각의 층에서 발생하는 수축률의 편차가 심한데 비해, CLT 구조 대조군은 교호적층을 통하여 중심부의 수축률을 억제시켜주는 효과가 있음을 알 수 있다. 코어층의 중심부를 집성재를 사용한 합판 코어 집성재(A Type)의 경우, 코어층에 합판을 사용함으로써 집성재 대조군에 비해 수축률은

감소하였으며, 그 수준은 CLT 구조의 대조군과 유사한 것으로 나타났고, 편차도 작아지는 것을 알 수 있다. 또한, 코어층을 합판으로만 제작한 합판 코어 집성재(B Type)의 경우에는 합판을 사용한 코어층은 현저하게 낮은 수축률을 나타냈으며, 최외층의 집성판에서는 집성재 대조군은 물론 CLT 대조군 보다 낮은 수축률을 나타내며, 편차는 현저하게 줄어 든 것을 알 수 있다.

Fig. 10. Fiber direction shrinkage of Glued Laminated Timber and CLT.

Fig. 11. Fiber direction shrinkage of HWLT.

4. 결 론

본 연구에서 제작한 합판 코어 집성재의 MOE 및 MOR 그리고 치수 안정성 실험을 통하여 구조용 자재로서 물리적·기계적 성질의 적합성을 평가하여 그 사용가능성을 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 집성재 및 CLT구조의 대조군과 합판을 코어로 이용한 집성재의 휨강도를 비교한 결과 A Type에서는 처리간의 고도의 유의차가 인정되며 집성재구조 수준의 물성을 나타냈으며, B
2. 집성재구조의 합판 코어 집성재의 합판적층 방향에 따른 휨강도와 탄성계수모두 처리간의 유의차가 인정되지 않았다.

3. A Type의 합판 코어 집성재의 집성재구조 및 CLT구조 대조군과 비교한 MOE에서는 유의차가 인정 되지 않았으며, B Type의 경우에는 유의차가 인정이 되었으나 그 차이가 크지 않았다.
4. 합판을 코어로 사용한 집성재는 합판적층 Type에 상관없이 치수 안정성이 좋은 목질 재료인 합판을 코어로 사용함으로서 라미나를 이용한 집성재구조 및 CLT구조의 대조군보다 우수한 치수 안정성을 나타냈다.

사 사

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

REFERENCES

- Han, Y.J., Park, Y.G., Yang, S.Y., Jung, H.W., Oh, J.K., Hong, J.P., Lee, J.J., Yeo, H.M. 2014. Dimensional Stability of CLT as Producing Condition. Workshop presentation file of Korean Forestry Society. 2014(0): pp. 30-31.
- Hwang, K.H., Park, J.S. 2008. Dimension Stability by Bonding Layers of Glulam. Journal of Korean Forestry Society 36(6): pp. 88-95.
- Kim, Y.H., Shin, I.J., Jang, S.S. 2012. Bending strength performance of multi-layer glued beams by using square lumbers produced from domestic small diameter logs. Workshop presentation file of Korean Forestry Society. 2012(0): pp. 4-5.
- Korea Forest Service. 2012. The Statistical Yearbook of Forestry 2012. pp. 352-356.
- KS F 2150. 2004. Method of static bending test for full sized structural lumber. Korean Agency for Technology and Standards.
- KS F 2203. 2004. Method of shrinkage test for wood. Korean Agency for Technology and Standards.
- Kweon, C.B., Lee, S.J., Choi, N.K., Seok, J.H., Ryu, H.S., Park, H.M. 2011. Static Bending Strength of Spruce Cross Laminated Timber. Workshop presentation file of Korean Forestry Society. 2011(0): pp. 186-187.
- Park, H.M., Moon, S.J., Choi, Y.E., Park, J.H., Byeon, H.S. 2009. Static Bending Strength Performances of Hybrid Laminated Wood Composed of Wood Based Boards. Journal of Korean Forestry Society 37(6): pp. 546-555.