

조선산업 합판 폐기물의 구조용재로의 재활용 가능성에 대한 연구*¹

김 광 철*^{2†}

Study on the Possibility of Recycling for Shipbuilding Plywood Waste to Use as the Structural Members*¹

Gwang-Chul Kim*^{2†}

요 약

목재 자원의 부족과 가격 상승에 대항할 수 있는 좋은 대안 중 하나가 목재 부산물이나 폐기물의 재활용이다. 조선 산업에서 얻어지는 목재 폐기물의 경우 기존에는 파쇄 되어 보드류 생산에 주로 사용되어 왔다. 하지만 파쇄를 통한 합판 폐기물의 재활용은 재료의 경제적 가치나 자원의 문제 등을 고려할 때 아쉬움이 많이 남는 처리 방법이다. 본 연구에서는 국내 조선 산업에서 파생되는 목재 폐기물들의 재활용 가능성을 알아보고자 하였다. 국내 조선 산업의 목재 관련 폐기물은 합판 폐기물과 소재 폐기물로 나뉜다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. KS 규격에 따라 합판 폐기물과 합판 적층재의 휨성능을 평가하였다.
2. 합판 폐기물과 합판 적층재의 파괴 모드는 두 종류 모두 simple tension 파괴를 나타내었다.
3. 합판 폐기물과 합판 적층재의 재활용 용도로는 크게 외부 시설용, 내부 시설용 그리고 목조건축 자재로의 용도가 적합하다고 판단되었다. 적정 용도로는 인테리어 재료, 목재 파렛트, 마루판, 사이딩재, 판넬, 야외용 탁자, 데크용 재료 등인 것으로 생각된다.

ABSTRACT

Recycling of wood wastes or residues is a good solution for a shortage of wood resources and a rise in the price. Shipbuilding wood wastes were almost used to produce the boards by milling. However, considering the economic value and insufficient resource, recycling with milling is

*¹ 접수 2008년 7월 28일, 채택 2008년 10월 17일

*² 전북대학교, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김광철(e-mail: gckim@chonbuk.ac.kr)

dissatisfied method. This study has been carried out to investigate the recycling possibility of shipbuilding wood waste. There are two kinds of shipbuilding wastes: plywood waste and solid waste. From the results of this study, the following conclusions have been made:

1. Bending properties of plywood and laminated plywood lumber were tested by Korean Standard.
2. The main fracture mode of plywood waste and laminated plywood lumber is that of simple tension.
3. The recommended application for the recycling of shipbuilding wood waste are outdoor wood furnishings, indoor wood furnishings and some wooden building construction materials: interior raw material, wooden pallet, siding, paneling, flooring, picnic table, deck components, porch swing, landscaping timbers, residential fencing, patios, and boardwalks etc.

Keywords: plywood, laminated plywood lumber (tentative name), Korean Standard, fracture mode, shipbuilding wood waste.

1. 서 론

전 세계적으로 친환경재료의 필요성과 효능에 관심이 대두됨에 따라 어느 나라를 막론하고 친환경재료의 대표적인 목재에 대한 수요가 폭발적으로 늘고 있는 추세이다. 건축물의 골격이 되는 재료에서부터 가깝게는 실내 인테리어 재료, 가구, 저장 수단, 실외의 장식물 등 목재가 사용되지 않는 곳이 없을 정도이다. 하지만 이미 국내뿐만 아니라 외국의 주요 목재 생산국 역시 처녀림으로부터 얻어지는 목재는 거의 전무한 상황이다. 대부분의 나라에서 2차 조림, 내지 3차 조림의 목재를 생산하고 있는 현실이다. 이에 따라 세계 어느 나라나, 특히 목재를 많이 소비하는 선진국에서는 더욱 목재 폐기물의 재활용에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있고 몇몇 선진국에서는 상당한 수준까지 도달한 상태이다. 국내 역시 목재 폐기물이나 목재 산업 부산물과 여러 가지 재료를 혼합하여 목질 복합체를 생산하기 위한 연구는 진행되어 왔다. 하지만 목재 폐기물이나 부산물을 재사용이나 재활용하는 부분의 연구보다는 목재에 비해 물성이 뛰어난 재료들을 혼합하여 가격 대비 목재보다 물성이 우수한 새로운 복합체 개발에 집중해온 상황이다.

국내의 여러 목재 관련 업체의 폐기물이나 부산물이

상당수 존재하겠지만, 본 연구에서는 세계적으로 경쟁력 있다고 인정받고 있는 국내의 조선 산업(S 중공업)에서 얻어지는 합판 잔존물을 연구 대상으로 삼았다. 이 부산물들은 대부분 파쇄 시켜 보드류 회사로 판매되고 있는 현실이다. 하지만 파쇄 하여 보드류 생산의 기본 재료로 사용하는 것은 친환경재료로서 목재가 가지고 있는 경쟁력과 갈수록 고갈되어가고 있는 목재 자원의 유한성을 생각한다면 참으로 안타까운 처분 방법이다. 따라서, 조선 산업에서 얻어지는 목재 관련 부산물을 한 번 더 재사용 혹은 재활용을 한 후 파쇄 시켜 보드류 재료로 사용하거나 연료재로써 사용하는 것이 훨씬 더 경제적이고 친환경적일 것이다.

따라서, 본 연구에서는 이 회사에서 내부 인테리어 재료 및 공간구획 등에 사용되는 합판 부산물을 연구 재료로 하여 새로운 구조재로서의 재활용 가능성을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

2.1.1. 합판

연구의 재료는 S 중공업에서 선박의 내부 인테리어와 공간 구획 등 여러 용도로 사용되고 남은 합판

부산물을 선택하였다. 조선 산업에서 사용하는 합판은 선박이 늘 수분과 접하는 환경이기 때문에 내수 합판을 사용하고 있으며 전량 1등급 합판을 사용하고 있다. 본 연구의 대상이 된 합판은 메란티 합판이다. 이 회사에서 사용하는 합판에 사용되는 나무는 흔히 황라왕이라 불리는 것으로서 기건 비중이 0.57~0.74 정도이며 균류에 비교적 강한 수종으로 보고되어 있다.

이 회사에서 발생하는 일 년 당 목재 및 목질재료 부산물은 대략 2,000톤이며 이중 합판 부산물이 전체의 1/3, 폐목재가 전체의 2/3를 차지하고 있다. 조선 산업에 사용되는 합판은 18 mm 두께이며 양쪽에 코팅 필름을 부착하여 통상 20 mm 두께로 유통된다. 본 연구를 위해 S 중공업에서 구한 합판 폐기물 샘플 중 국내 KS규격 F3113-2004에 따라 두 방향으로 길이 550 mm, 폭 50 mm, 두께 20 mm의 합판 시편을 준비 하였다.

2.1.2. 합판 적층재

지금까지 조선 산업 목재 폐기물은 대부분 파쇄하여 보드류 생산에 공급되어 왔다. 서론에서 언급한 것처럼 파쇄 하여 보드류 재료로 사용하는 것보다는 합판 부산물을 재사용 내지 재활용하여 한 번 더 사용한 후 최종적으로 파쇄 하여 보드류 생산에 투입하는 것이 경제적으로나 환경적으로 훨씬 더 유용할 것이라 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 합판 폐기물을 새로이 적층을 하여 합판 적층재를 구성함으로써 새로운 용도를 찾고자 하였다. 집성재나 LVL 또는 PSL 정도의 역학적 성질이 확보되지는 않겠지만 합판 적층재를 구성하는 합판이 최고의 성능을 가진 경우가 전제된다면 상당한 정도의 역학적 성질이 얻어질 것이고 이는 곧 고도의 안전성이 요구되지 않는 2차 구조 부재나 기타 외장재로서의 새로운 용도 개발을 가능하게 할 것으로 생각한다. 물론 적층을 하지 않고 합판 폐기물 자체를 바로 새로운 용도로써 재활용하거나 재사용할 수도 있을 것이다.

합판의 적층에는 우레탄계 접착제(MPU 500)를 사용하였다. 프레스로 압착을 가한 후 상온에서 24



Fig. 1. Bending specimen of plywood waste.

시간 경화시켰다. 실험 시편 제작에 사용할 합판 폐기물 확보의 어려움으로 인하여 합판을 3매 적층한 것과 4매 적층한 것을 각각 준비하여 휨성능을 실험하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 합판의 휨강도 시험

합판의 휨강도 시험은 KS F3113-2004 구조용 합판 시험방법의 1급 시험 방법에 따라 실시하였다. KS 기준에 따르면 각 시료 합판에서 표판의 섬유방향과 직각으로 50 mm의 폭, 평행으로 두께의 24배에 50 mm를 가한 길이의 직사각형 시험편과 표판의 섬유방향과 평행으로 50 mm의 길이, 직각으로 두께의 24배에 50 mm를 가한 길이의 직사각형 시험편을 각각 2개씩 채취하여 시험편으로 하게 되어 있다.

본 연구에서는 KS의 기준에 따라 50 × 20 × 550 mm의 시편을 KS 규격에 따라 각 방향별로 5반복 실험을 실시하였다.

Fig. 1은 적층하지 않은 합판폐기물만의 휨강도 실험 장면이다.

2.2.2. 합판 적층재의 휨강도 시험

합판 적층재의 휨강도 시험은 구조용 집성재에 준해 집성재의 시험 규격인 KS F3021의 B형 휨시험

Table 1. The sizes of specimens for measuring of mechanical property

	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)
Plywood waste	550	50	20
3 Laminated plywood lumber	1200	65	60
4 Laminated plywood lumber	1600	80	80



Fig. 2. Bending specimen of 3 laminated plywood lumber.



Fig. 3. Bending specimen of 4 laminated plywood lumber.

범을 실시하였다.

합판 적층재는 확보한 시편의 제한으로 인해 3층 적층재의 경우 4반복을, 4층 적층재의 경우 3반복을 실시하였다. Figs. 2와 3에 각각 합판 3층 적층재와 4층 적층재를 제시하였다. 본 연구의 목적은 합판 폐기물로 구성된 적층재의 역학적 성질을 평가하기 위한 것이 주목적이기 때문에 Figs. 2와 3처럼 적절한 합판 구성재의 마감처리는 실시하지 않았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합판의 휨성능

본 실험에서 얻어진 합판의 역학적 성질은 합판 표판의 섬유방향에 직각방향인 경우(90°) 평균 MOR은 40.3 N/mm², 평균 MOE는 4,815.7 N/mm²이고, 평행 방향(0°)의 경우 50.9 N/mm²m 6337.7 N/mm²로 나타났다.

KS 규격에서 제시하고 있는 구조용 1등급 합판의

강도 성능 기준은 합판 두께 18 mm일 때 휨강도 23.5 N/mm² (0°), 19.5 N/mm² (90°)이고 휨 탄성계수는 각각 5,000 N/mm² (0°)과 4,000 N/mm² (90°)이다. 본 연구에서 사용한 합판 폐기물의 경우 KS규격보다 훨씬 높은 강도를 보임으로써 단순 파쇄를 통한 보드류의 제조 재료로서의 사용은 여러모로 불합리한 것으로 판단된다.

KS 규격에 따를 경우 합판 두께 21 mm의 휨성능 기준은 각각 휨강도 25.5 N/mm² (0°), 17.5 N/mm² (90°)이고 휨 탄성계수는 각각 5,500 N/mm² (0°)과 3,500 N/mm² (90°)이다. 본 실험에서 얻어진 강도 값이 KS 규격에 제시된 21 mm 합판의 기준치보다도 휨성능이 더 높게 나타났으므로 재사용이나 재활용으로의 기대는 충분하다고 여겨진다.

3.2. 합판의 휨파괴 형상

합판의 휨파괴는 Fig. 4에 제시된 것처럼 simple tension 파괴가 가장 많았고 다음으로 cross grain



Fig. 4. Failure type of static bending for plywood waste specimen.



Fig. 5. Failure type of static bending for 4-laminated plywood lumber specimen.

tension 파괴가 뒤를 이었다.

3.3. 합판 적층재의 휨성능

합판을 3매 적층한 경우 평균값으로 MOR는 24.3 N/mm², MOE는 3,816.5 N/mm²로 나타났다. 합판을 4매 적층한 경우는 MOR가 15.5 N/mm², MOE는 3,344.8 N/mm²로 나타났다.

합판의 적층수가 늘어날수록 휨성능이 감소한 것은 길이에 따른 실험체 스패의 증가와 함께 합판에 부착되어 있는 필름층으로 인해 합판간 접착력의 저하가 발생하여 합판층간에 분리가 생기고 그 결과 급격한 휨성능 저하를 야기 시킨 것으로 판단된다.

실제 실험에서 합판 적층재의 경우 대부분 Fig. 5에 보이는 것처럼 합판 폐기물 단위체 사이에서 파괴가 발생하였다. 즉 대부분의 적층재 파괴가 합판 폐기물의 접착층에서 발생하였다. 이는 합판 폐기물의 단위체간의 접착성능이 현저히 떨어진다는 의미이다. 이러한 현상은 합판 폐기물들을 접착할 때에 사용한 접착제의 성능에 영향 받기보다는 조선 산업에서 사용하는 합판의 경우 반드시 18 mm두께 합판에다 양쪽에 코팅 필름을 도포하여 20 mm단위체로 사용하기 때문에 이 코팅 필름의 존재로 인해 접착면이 충분한 접착 성능을 발휘하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 조선 산업에서 부산물로 얻어지는 합판 폐기물의 경우 코팅 필름의 존재를 충분히 인

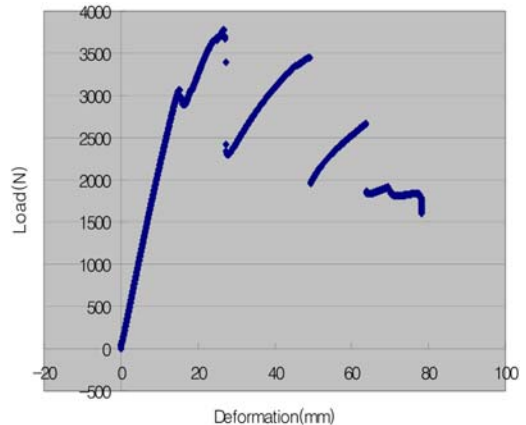


Fig. 6. Load-Deformation relationship of laminated plywood lumber specimen.

식하고 새로운 용도 개발이나 재활용을 하여야 할 것이다.

3.4. 합판 적층재의 휨파괴 형상

합판 적층재는 합판 폐기물만의 휨성능 실험이나 기존의 집성재 혹은 대단면재의 휨성능 실험과는 다른 Fig. 6과 같은 하중-변형 곡선을 나타내었다. 즉, 합판 단위체간의 접착면이 파괴되면서 최대 하중값을 보인 후에도 상당 기간 최대값에는 못 미치지만 어느 정도의 하중 지지 능력은 남아 있는 특이한 상

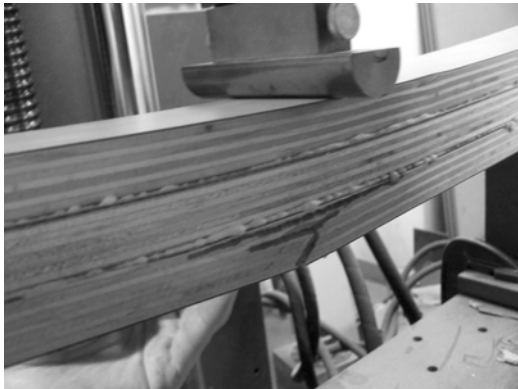


Fig. 7. Failure type (simple tension) of static bending for 3-laminated plywood lumber specimen.

태를 보여 주었다. 조선 산업에서 사용하는 합판의 품질이 아주 우수한 것이기 때문에 합판들 간의 접착층이 분리되더라도 나머지 합판들이 곧바로 파괴되지 않고 어느 정도는 추가적으로 하중을 지지해주는 것으로 보인다. 이러한 특성을 반영한 재사용 내지 재활용 방안을 강구해야 할 것으로 생각된다.

합판 적층재의 파괴 형상은 대부분의 시편에서 Fig. 7처럼 simple tension 파괴를 보였다.

3.5. 집성재의 휨성능과의 비교

KSF 3021에 따르면 3매로 구성된 구조용 집성재의 경우 휨강도는 24 N/mm^2 , 휨 탄성계수는 $5,000 \text{ N/mm}^2$ 이 기준이고 4매로 구성된 경우는 각각 25 N/mm^2 , $5,000 \text{ N/mm}^2$ 이 기준이다. 본 연구에서 합판을 적층하여 구성한 재료는 3매를 적층하였을 경우 휨강도는 KS 규격과 유사하게 나타났지만 휨 탄성계수는 KS 규격에 비해 상당히 낮게 나타났다. 합판을 4매 적층한 경우에는 3매 적층한 경우보다 더 낮은 강도적 성능을 보였다. 조선 산업에서 사용하는 합판이 코팅필름을 부착하여 사용하는 이유로 합판간의 접착능력이 문제가 됨은 앞부분에서 지적한 바 있다. 따라서, 합판 폐기물간의 접착능력을 향상시켜 더 높은 강도적 성능을 확보하고자 한다면 코팅필름을 제거한 후 접착을 시도하는 것이 필요할

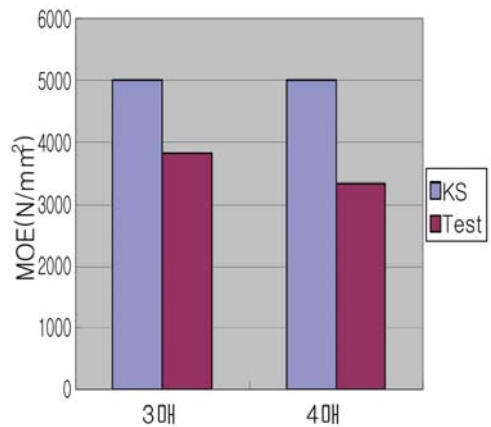
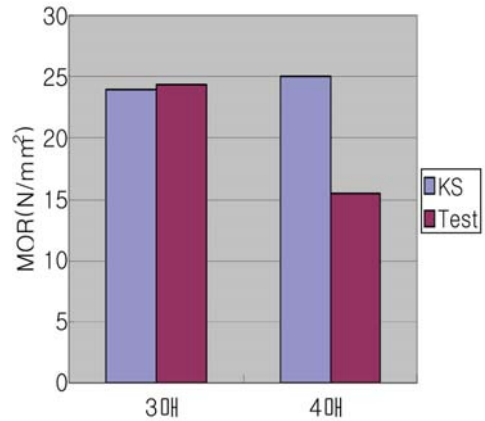


Fig. 8. The comparison of KS value with tested results of laminated plywood lumber.

것으로 여겨진다. 추후 이에 관한 연구가 보완되어야 할 것이다. 하지만 본 연구에서 얻어진 정도의 강도적 성능이라면 고도의 안전성이 요구되는 구조재로서의 사용은 어려움이 있겠지만 2차 구조부재나 기타 가구재, 파렛트 재료, 외장용 재료 등으로서의 가능성은 충분하다고 판단된다.

3.6. 합판 부산물의 재활용 가능성

초기의 목재 부산물은 대개 매립이나 연료재로의 재사용 이외에는 다른 대안이 없었다. 미국 임산물 연구소의 보고서(FPL, 1995)에 제시된 것처럼 건축

현장과 해체 현장에서 얻어지는 목재 폐기물의 양이 많고 잠재적으로 비싼 새 건축재료에 대한 대용품으로서의 가능성이 많지만 대개는 파쇄하여 새로운 판상형 제품으로 재활용되어 왔다. 국내의 관련 연구도 마찬가지로 방향으로 진행되어 왔다(박, 1997; 오 등, 1995; 조 등, 1998; 노 등, 2002; 오 등, 2002).

본 연구에서 사용한 합판의 경우 제조시 반드시 접착제와 기타 여러 화학제품이 포함될 수 밖에 없다. 친환경을 추구하고 삶의 여러 조건이 엄격해진 상황에서 인간에 해로울 수 있는 화학제품을 포함한 합판의 사용에 이의를 제기 할 수 있지만 외국의 사례를 보더라도 단점을 극복하고 충분히 적절한 용도를 찾을 수 있을 것으로 판단된다. Smith 등(2005)의 경우 CCA 처리 데크재 폐기물을 이용하여 피크닉용 테이블, 격자 울타리, 다용도 쓰레기 컨테이너, 파렛트, 간이 의자, 간이 테이블, 톱질 모탕, 데크재, 데크 부속물, 씨앗 저장 상자, 출입구 간이 회전문 등으로의 사용가능성과 함께 시제품 모델을 제시하였다. 또한 Janowiak 등(2007)은 건축 해체시 발생하는 부산물로 케빈공법의 사이딩재, V자 홈이 있는 판넬, 징두리 벽판, 장부 축이음 마루판재 등의 재활용 가능성을 제시하였다.

따라서, 본 연구에서 대상으로 삼은 조선 산업의 합판 부산물 역시 직접적으로 인간에게 노출되는 용도를 제외하고는 다양한 용도로 재활용 내지 재사용을 할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 근래 들어 고가의 수출품이나 이동성 안정성이 많이 요구되는 제품의 운반에 꼭 필요한 파렛트로의 사용은 강도도 충분하고 재질이 균일하다는 구조용 합판의 특성상 적합하다고 판단된다.

대단면 구조용재를 대표하는 집성재의 경우 원목의 결점제거나 대단면재에 비해 두께가 얇은 제재목 사용으로 인한 건조상의 장점 등 여러 특징을 가지고 있다. LVL이나 PSL 역시 대단면 구조용재로써 다양한 특징들을 가지고 있음은 주지의 사실이다. 하지만 LVL이나 PSL의 경우 길이방향으로의 높은 강도적 성질에 비해 다른 방향으로의 강도적 성질은 상당히 떨어진다. 물론 이러한 성질을 고려해서 주로 기둥재로 많이 사용되기는 하지만 생산단가가 너

무 비싸다는 것이 단점으로 지적되어 왔다. 합판의 경우 집성재에 들어가는 제재목에 비해 얇은 단판을 사용하기 때문에 건조가 더 쉽고 또한 교차로 배열되는 단판으로 인해 치수 안정성이나 수직·수평 방향간에 강도차가 적게 난다는 것이 큰 장점으로 알려져 있다. 이러한 합판을 하나의 구성요소로 해서 적층한 합판 적층재는 집성재나 LVL과는 또 다른 구조용재료로서의 사용을 기대해 볼 수 있을 것이다. 합판 자체가 가지는 장점인 치수 안정성, 수직·수평 방향간의 강도의 균일성 등을 고려한다면 이러한 장점을 지닌 재료로 적층된 새로운 구조용재인 합판 적층재는 목조건축의 다양한 내·외부 구조재료로 재활용 가능할 것이고 인테리어 재료나 조경재료로서의 다양한 용도 개발도 가능할 것으로 판단된다. 물론 선박 산업의 합판 부산물의 경우 합판마다 코팅필름이 부착되어 사용되기 때문에 적층을 했을 때 발생하는 층간의 접착강도 저하에 대한 문제는 내구성 접착제의 개발 및 적용으로 보완되어질 수 있음을 충분히 사전에 인지하고 용도 개발을 수행해야 할 것이다.

4. 결 론

목재가 아무리 지속 가능한 재료라고 하지만 갈수록 치솟는 목재 가격과 대단면재의 부족은 어쩔 수 없이 감당해야 할 문제이다. 자원의 부족과 가격 상승의 압박에 대항할 수 있는 좋은 대안 중 하나가 바로 목재 부산물이나 폐기물의 재활용이다. 물론 재사용이 전제되고 그 이후 재활용 그리고 최종적으로 파쇄를 통한 보드류 생산이나 연료재료의 사용이라는 흐름을 따르는 것이 현재 직면하고 있는 목재 자원 문제에 대한 적절한 해답 중 하나라고 생각한다.

본 연구에서 얻어진 국내 조선 산업에서 파생되는 합판 폐기물 및 합판 적층재의 역학적 성질은 합판의 경우, 합판 표판의 섬유방향에 직각방향인 경우 (90°) 평균 MOR은 40.3 N/mm², 평균 MOE는 4815.7 N/mm²이고, 평행 방향(0°)의 경우 50.9 N/mm²m 6337.7 N/mm²로 나타났다. 합판을 3매 적층한 경우 평균값으로 MOR는 24.3 N/mm²,

MOE는 3816.5 N/mm²로 나타났으며, 합판을 4매 적층한 경우는 MOR가 15.5 N/mm², MOE는 3344.8 N/mm²로 나타났다.

조선 산업에서 얻어지는 합판 폐기물의 경우 기존에는 파쇄 되어 보드류 생산에 주로 사용되어 왔다. 하지만 파쇄를 통한 합판 폐기물의 재활용은 재료의 경제적 가치나 자원의 문제 등을 고려할 때 아쉬움이 많이 남는 처리 방법이다. 따라서 합판 폐기물의 강도적 성능을 파악한 후 인테리어재료, 파렛트 재료, 기타 목조건축물의 외장재나 내장재, 조경시설물, 야외 편의 시설물 등으로의 다양한 재사용 및 재활용을 하는 것이 적절한 방법이라 판단된다. 특히 합판을 적층함으로써 집성재나 LVL 등의 용도를 제외한, 즉 고도의 안전성을 요구하지 않는 2차 구조 부재나 높은 강성을 필요로 하는 외부 구조물 등에 사용하는 것도 하나의 재활용 방안이라 믿어진다.

참 고 문 헌

1. 노정관, 김재경, 김사익, 조중수, 윤승락, 나중범, 도정락. 2002. 폐기 목질 재료로 제조한 학생용 책상 천판의 성능에 미치는 성형조건의 영향. 30(4): 106~109.
2. 박희준. 1997. 목질폐잔재를 재활용한 목질보드블록 제조기술 개발. 목재공학. 25(3): 96~100.
3. 오용성, 차재경, 박준혁. 2002. 폐목재로 제조된 파티클 보드의 성능 평가. 30(4): 23~26.
4. 오정수, 윤화영. 1995. 목재 폐기물의 재활용. 목재공학. 23(1): 3~10.
5. 조남석, 서원성, 한규성. 1998. 목질폐재를 이용한 식물 식재용 우레탄폼의 개발. 26(4): 43~49.
6. 한국 산업 규격. 2004. 구조용 합판. KSF 3113.
7. 한국 산업 규격. 2005. 구조용 집성재. KSF 3021.
8. Smith, B, D. Bailey, and M. Winn. 2005. Spent CCA treated wood from residential decks can be a resource for reuse and recycling. Proceedings Emerging Issues Along Urban/Rural Interfaces. pp. 293~298.
9. FPL. 1995. Recycling Research Progress at the Forest Products Laboratory. Research Paper FPL-GTR-86. pp. 9~14.
10. Janowiak, J. J., R. Falk, and J. Kimmel. 2007. Feasibility of producing value-added wood products from reclaimed hemlock lumber. Research Paper FPL-RP-645. pp. 3~12.