

합판 정재단 부산물을 중층 Core로 이용한 복합보드의 물리·기계적 성질에 관한 고찰*¹

최 송 규*² · 피 덕 원*² · 강 석 구*^{2†}

The Study on Physical and Mechanical Properties of Composite Board, Using Byproduct of Plywood for Core Layer*¹

Song-kyu Choe*² · Duck Won Pi*² · Seog Goo Kang*^{2†}

요 약

폐목재의 재활용으로 인한 보드의 물리·기계적 특성이 하락하는 경향이 있다. 그 원인으로는 가공되어 있던 재료를 재활용함에 있어 그 형상이 불균질하고 기존의 접착제 성분과 이물질로 인한 board 품질의 불균일과 저하를 초래한다. 또한 접착제에 포함되어 있는 포름알데히드로 인해 높은 방산량을 가지게 된다. 이러한 제품의 질적 하락이 수입되는 파티클보드와의 가격 및 품질 경쟁력 약화로 이어져 국내 board 산업의 문제점으로 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 파티클보드의 원재료로 사용되고 있는 합판 정재단 부산물을 이용한 보드를 제조하고 각각의 제조 조건별 물리·기계적 특성을 평가하였다.

그 평가결과로 베니어 적층 복합보드를 EMDI 수지를 이용하여 4~16 mesh의 일반적인 chip 크기로 중층을 제작했을 때 휨강도가 57.7 N/mm²로 OSB 측정결과 26.8 N/mm²에 비해 215% 높은 휨강도를 나타냈으며 7.1~17.3%의 두께팽창률은 내수성을 지닌 board로서 적합함을 보였다. 또한 0.7 ppm의 포름알데히드 방산량은 E1 등급의 평균값 1.5 ppm과 E0 등급 최대값 0.7 ppm의 조건에 충족하며 이러한 결과는 바닥 깔개용 OSB를 대체 가능할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

The board using recycled wood waste chip tends to decrease in terms of physical and mechanical properties. The reasons are notably different shape of chips, components of used

*¹ 접수 2012년 12월 13일, 채택 2013년 11월 13일

*² 충남대학교환경소재공학과, Wood Based Composite Materials Research ChungNam National University 99 Daehakno, Yuseong-gu, Dae-jeon 305-764, Korea

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

adhesive and impurity content, which bring the irregular quality and downgrading of board. More over, the board has higher emissivity of formaldehyde than regular board, because recycled chip contains adhesives that were used to make previous products. This low quality of products weakens the price and quality competitiveness, and it led to bringing the issue of problem in Korean board industry.

For these reason, in this study, boards using byproducts of plywood were made to evaluate physical and mechanical properties according to manufacturing conditions.

As a result, The board was consists of 4~16 mesh chips for core layer and veneer on both face and they were combined using EMDI, and its' bending strength was 57.7 N/mm^2 which is 215% higher than that of OSB (26.8 N/mm^2). Moreover, the emissivity of formaldehyde was 0.7 ppm, this board seems to substitute OSB for rated sheathing.

Keywords: recycled wood waste chip, emissivity of formaldehyde, byproducts of plywood, EMDI, OSB

1. 서 론

한국 목재 재활용 협회의 통계에 의하면 2006년 폐목재 발생량은 195만 톤으로 이 중 46.5%에 해당하는 905천 톤이 재활용되고 있으며 16.0%는 매립, 31.5%는 소각되는 것이 현재의 목재 재활용의 수준이다. 폐목재 발생원별 재활용률은 건설폐목재가 87.5%로 가장 높으며 사업장 폐목재 56.9%, 사업장 생활계 폐목재 45.1%, 생활 폐목재 2.2%로 건설폐목재의 재활용률에 비해 저조한 실정이다. 이는 제재 폐목 등 목재 가공 산업의 폐목재는 포함되지 않은 자료가기 때문에 국내 폐목재 재활용률은 총 재활용율 46.5%를 넘을 것으로 추측된다.

또한 국내 파티클보드(particle board) 제조업체 3개사(4공장)에서 재활용하는 폐목재의 수량은 연간 70만 톤으로 2006년 전체 폐목재 발생량 195만 톤의 36% 수준에 해당되며 재활용 수량 91만 톤의 78%를 차지하고 있다. 이러한 자료들은 폐목재의 주 용도가 보드의 원재료로 이용되고 있음을 보여주고 있다. 가구 등의 생활 폐목재를 보드의 원재료로 이용하면서 국내에서 생산되는 보드의 물리·기계적 특성이 낮아지는 것이 현실이다. 이렇게 재활용 목재로 제조된 파티클보드의 품질저하는 폐목재로 재활용하여 만들어진 chip의 성상이 불균일하고 접착제를 포함한 이물질이 완벽하게 제거가 되지 않기

때문에 품질 저하뿐만 아니라 포름알데히드 방산량을 높이는 원인이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 파티클보드의 원재료로 사용되고 있는 합판 정재단 부산물을 보드의 중층 core로 이용하여 보드를 제조하고 중층에 사용되는 chip의 크기에 따른 제조조건의 최적화 및 OSB를 대체할 수 있는 복합보드의 개발과 함께 제조된 보드의 물리·기계적 특성을 규명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 공시목질재료

본 연구에 사용된 공시재료는 인천소재의 S社로부터 분양받은 합판 정재단 부산물을 사용하였다. Surface layer (이하 SL)용 칩은 16 mesh 이하이고 SL용 베니어는 1.1 mm 남양재(Red Meranti)를 인천소재 S社로부터 분양받아 사용하였다. Core layer (이하 CL)용 칩은 4 mesh와 4~16 mesh 칩으로 선별하여 사용하였다. 횡강도 대조군으로는 캐나다 밴쿠버 소재의 A社의 바닥 깔개용 11.1 mm OSB (PF)를 사용하였다.

Table 1. Specification of materials

| Materials | | | | Control |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|---------------------------------------|
| Surface layer | | Core layer | | OSB |
| veneer | plywood cutting byproduct chip | plywood cutting byproduct chip | | rated sheathing 11.1 mm Exposure 1 |
| 1.1 mm Red Meranti | 16 mesh | 4~16 mesh | 4 mesh | |

Table 2. Specification of adhesives

| Layer shape | Binder | Solid content (%) | Viscosity (cps) | NCO Contant (%) | pH |
|-------------|--------|-------------------|-----------------|-----------------|-----|
| Chip | MF | 63 | 62 | - | 8.5 |
| | UF | 50 | 60 | - | 8.0 |
| | EMDI | 100 | 500 | 29.8 | 8.0 |
| Veneer | EMDI | 100 | 500 | 29.8 | 8.0 |

Table 3. Specification of conditions with adhesive

| Division | Resin | Resin content (%) | Hardener 20% NH ₄ Cl (%) | wax paraffin (%) |
|----------|-------|-------------------|-------------------------------------|------------------|
| SL | MF | 10 | 2 | 0.3 |
| CL | UF | 10 | 2 | 0.5 |
| | EMDI | 10 | - | 0.5 |

2.1.2. 접착제

파티클보드 SL에 사용된 Melamine Formaldehyde (MF) 접착제와 보드의 CL에 사용된 Urea Formaldehyde (UF) 접착제는 익산 소재의 H사로부터 분양받았으며, 베니어 SL과 CL에 사용된 EMDI 접착제는 Holland Huntsman사로부터 분양받았다. 이때 사용된 접착제의 특성은 다음의 Table 2와 같다. PB 제조 시 적용된 함지율은 모두 동일하게 파티클 전건 중량기준 10%였으며, EMDI의 경우 높은 접착제 고형분(100%)과 점도를 고려하여 매트함수율 12%를 기준으로 물을 첨가하여 사용하였다.

2.1.3 첨가제 및 내수제

보드 제조에 사용된 접착제의 경화제로써 본 연구에서는 MF, UF 접착제 보드에 한하여 20% NH₄Cl를 수지 고형분 대비 2% 첨가하였고, 내수제로써는

PWE (Paraffin wax emulsion)가 사용되었다. PWE를 모든 접착제에 적용하였으며, 수지 고형분 대비 CL 0.5%, SL 0.3%를 첨가하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 보드 제조

보드 제조는 교반기를 이용한 혼합방식의 도포 방법을 이용하였으며, 보드의 제조를 위해 실험실용 유압식 Single press를 사용하였다. 보드의 규격은 250 mm × 250 mm × 12 mm로 하였고 12 mm Thickness bar를 사용하였다. 열압 Cycle은 온도 145°C, 목표압력은 40 kgf/cm², 시간 15 sec/mm으로 적용하였다. 접착제의 고른 혼합을 위해 60초 이상 교반하였으며 혼합하기 전 Oven dryer에서 바로 꺼내어 사용하였다. 목표 매트함수율은 12%이며,

Table 4. Method of this Experimental

| Division | | Experimental method | Test piece | Reference | |
|------------|---------------------------------------|---|--|-------------------------|------------------------------|
| Mechanical | Bending strength | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 200 mm × 50 mm span : 150 mm speed : 10 mm/s | 10 | KS F 3104 | |
| | Bending strength after boiling test | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 200 mm × 50 mm span : 150 mm speed : 10 mm/s water boiling on 100°C 2hr and then dry on 70°C 7hr | 5 | | |
| | Internal bonding | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm speed : 2 mm/s | 10 | | |
| | Moisture content | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm dry on 105°C 24hr | 5 | | |
| | Density | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm | 20 | | |
| Physical | Thickness swelling / Water absorption | 20°C 2hrs | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm water immersion on 20°C 2hr | 5 | KS F 3104/ KS F ISO 16983 |
| | | 20°C 24hrs | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm water immersion on 20°C 2hr | 5 | |
| | | 70°C 2hrs | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm water immersion on 70°C 2hr | 5 | |
| | | 100°C 2hrs | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 50 mm × 50 mm boiling water on 100°C 2hr | 5 | |
| | Free-Formalin emission test | <ul style="list-style-type: none"> sample size : 100 mm × 50 mm 24hr air sampling at desiccator absorbance measure on 412 nm | 9 | KS F 3104/ KS M 1998 | |

파티클보드의 CL과 SL의 비율은 40 : 60, 밀도는 700 kg/m³를 목표로 설정 하였다. 접착제 및 경화제, Wax emulsion의 함량 및 조건은 Table 3과 같다. 보드 제조 조건에 따라 조건 당 5반복을 실시하였다.

2.2.2. 물성시험 및 통계분석

제조된 보드는 24시간 동안 실온에서 조습처리 후 물성실험을 위해 시험편을 채취하였고, 보드의 물리·기계적 특성은 Table 4에 명시된 항목에 대한 KS 규격 기준에 의거하여 측정하였다. 이때, 그룹간의 유의성 검정의 필요가 있는 데이터는 완전임의 배치법으로 유의성 검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강도적 특성

3.1.1. 휨강도

CL chip size에 따른 휨강도의 비교 결과는 Fig. 1과 같다. SL로 veneer가 사용된 보드의 경우, 접착제에 따른 처리 간의 유의차와 CL chip 크기에 따른 처리 간의 유의차가 인정되지 않았으며 SL로 chip이 사용된 경우 4~16 mesh가 4 mesh에 비해 128%, 139% 높은 수치를 나타내고 있다. 이는 휨강도가 CL의 형상이나 크기보다 SL 재료 자체의 강도에 영향을 많이 받고 있는 것으로 사료된다. SL에 chip이 사용된 보드의 경우에는 CL에 일반적인

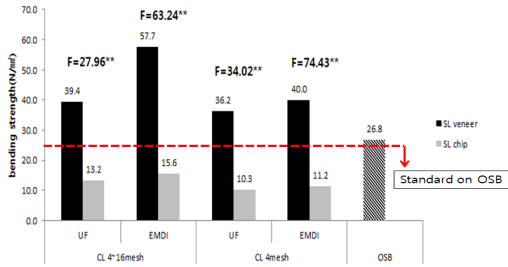


Fig. 1. The result of Bending strength.

크기의 chip인 4~16 mesh를 사용하여 제작했을 경우보다 크기가 크고 형상이 불균일한 4 mesh의 chip이 사용된 보드에서 낮은 수치를 보이고 있어 크기에 따른 영향을 확인할 수 있었다.

SL에 따른 비교에서는 모든 조건에서 고도의 유의차가 인정되며 이는 SL에 사용된 veneer의 강도가 16 mesh chip보다 높은 강도적 특성에서 기인한 것으로 사료되며, OSB의 주요한 특성인 휨강도에서 SL veneer보드는 모든 조건에서 OSB의 휨강도 측정 결과 값인 26.8 N/mm²보다 215% 높은 수준을 가진 것을 확인할 수 있어 OSB를 대체할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 접착제의 종류에 따른 유의차는 인정되지 않았다.

3.1.2. 습윤 휨강도

습윤 휨강도 측정을 위하여 CL 접착제는 EMDI 수지를 사용하였으며 그 결과 chip 크기에 따른 습윤 휨강도의 결과는 Fig. 2와 같다. 휨강도의 동일한 결과를 나타냈으며 CL chip 크기에 따른 강도의 유의차는 인정되지 않았다. 또한 SL에 veneer를 이용하여 제작한 보드의 휨강도는 chip을 이용한 보드에 비해 530%, 697% 높은 수치를 나타내고 있다. 이는 veneer 접착에 사용된 EMDI의 내수성과 함께 veneer의 높은 강도적 성질에 기인한 것이라 사료된다. 이러한 결과는 OSB의 습윤 휨강도보다도 227%, 204% 높은 수준으로 OSB를 대체하여 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

3.1.3. 내부결합력

내부결합력 실험의 결과는 Fig. 3과 같다. 10%의

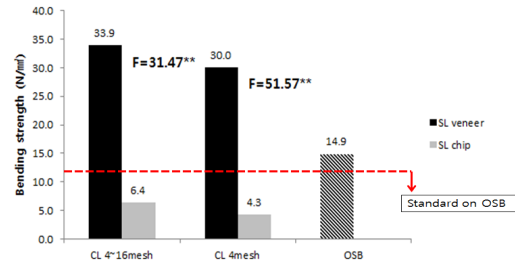


Fig. 2. The result of wet Bending strength.

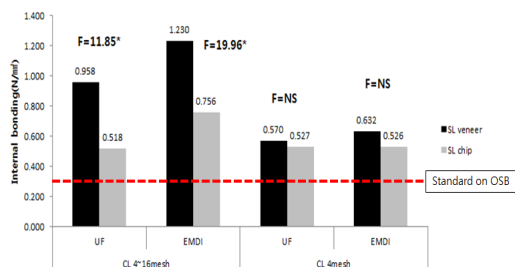


Fig. 3. The result of internal bonding strength on SL material.

시편에서 중층 박리가 일어났으며 90%에 이르는 시편에서 표층에서 박리가 일어났다. 이는 veneer의 인장전단력보다 CL chip 간의 결합력이 높을 정도로 우수하며 KS F 3104 파티클보드의 기준치인 0.3 N/mm³보다 높다. EMDI 수지를 사용했을 경우의 높은 수준으로 나타나며 이는 접착력이 낮을 것으로 예상되는 CL 4 mesh에서도 그 차이를 확인할 수 있다. SL에 의한 박리강도는 CL 4~16 mesh에서 강도의 차이를 보이는데 반해, CL 4 mesh에서는 차이가 없음 확인할 수 있다. 이는 CL에 사용된 4 mesh chip의 형상이 불균일하고 보드 제조 시에 가해지는 높은 압력으로 veneer의 손상에 의한 것으로 사료된다.

3.2. 두께 팽윤율 및 수분흡수율

각각의 실험 조건별 두께 팽윤율 측정결과는 Fig. 4, 5와 같다. 상온 수(20°C) 조건 하의 내수성을 평가하기 위한 방법으로 U-type test의 결과 Fig. 4에서 나타나는 것과 같이 전반적인 내수성이 EMDI 수지를 사용한 보드가 UF 수지를 사용한 보드보다 뛰

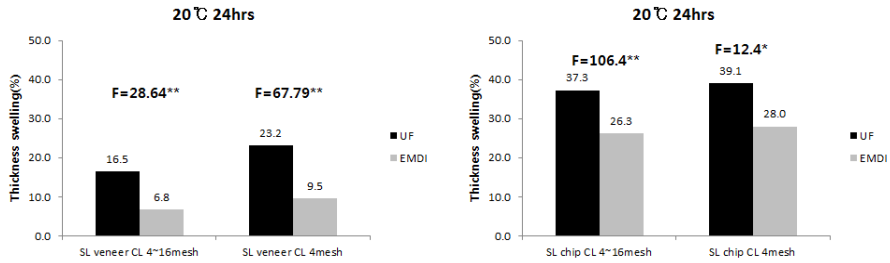


Fig. 4. The result of Thickness swelling on U-type test.

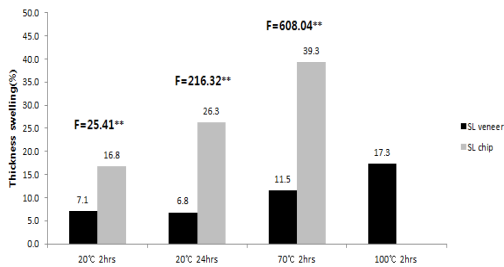


Fig. 5. The result of Thickness swelling on SL materials, EMDI.

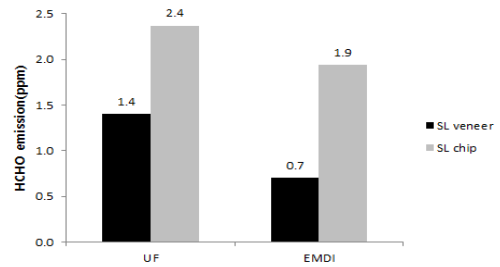


Fig. 6. The result of HCHO mission (ppm).

어난 것으로 나타났다. 이러한 경향은 EMDI 수지가 강도적 성질뿐만 아니라 내수성에도 높은 수준의 특성을 가지고 있음을 보여준다고 할 수 있다. 준 내수(M-Type test, 70°C 2 hrs), 완전내수(P-Type test, 100°C 2 hrs) 실험에도 U형 실험의 경향과 유사한 결과를 나타내었다.

CL chip의 크기는 내수성과 수분 흡수율에서 유의차가 인정되지 않았으나 Fig. 5에서 나타나는 결과는 SL의 재료에 의한 차이는 확인할 수 있으며 이는 재료의 차이뿐만 아니라 veneer 적층에 사용된 EMDI 수지의 내수성에 기인할 것으로 판단할 수 있다. 완전내수 실험에서 SL chip 보드의 경우 시편의 접착력을 잃어 측정이 불가능하였다.

수분흡수율에서도 두께 팽창률과 동일한 결과를 나타내었다.

3.3. 유리 포름알데히드 방산량

유리 포름알데히드 방산량 측정결과는 Fig. 5와

같다. Non formaldehyde계 EMDI 수지를 이용한 보드를 제조하였음에도 무 포름알데히드가 아닌 0.7 ppm의 포름알데히드가 보드에서 검출되는 이유는 합판 제조 시에 사용된 요소포름알데히드 접착제(UF)의 유리 포름알데히드가 잔존하면서 Recycle 보드로 제작하였을 때 열에 의해 미반응 상태가 활성화되어 검출되는 것으로 판단된다. 또한 SL veneer 보드와 SL chip 보드와의 차이는 SL chip 보드에서 사용된 MF 수지의 포름알데히드와 SL veneer 보드에서 사용된 EMDI 수지의 차이에 의한 것으로 생각되며 SL veneer 보드의 경우 SL에서 외부로 방산되는 포름알데히드를 지연시켜주는 효과가 있다고 사료된다.

4. 결 론

합판 정재단 부산물을 이용한 보드의 제작 및 실험 결과 SL에 veneer 적층보드로 CL에 이용되는 chip 크기를 4~16 mesh EMDI 수지를 사용함으로

휨강도와 습윤 휨강도, 박리강도, 내수성이 모두 향상됨을 확인할 수 있었다.

1) 보드의 강도적 특성에 가장 많은 영향을 준 요인으로는 SL에 사용된 재료에 의한 것으로 확인되었다. SL에 veneer 적층보드의 휨강도는 57.7 N/mm^2 로써 OSB의 26.8 N/mm^2 를 증가하는 것으로 높은 휨강도를 나타냈으며, 내부결합력의 경우에는 12.3 N/mm^2 로써 0.756 N/mm^2 의 chip을 SL에 사용한 보드보다 높은 수치를 보여주었다. 내수성 실험에서도 SL에 chip이 사용된 보드와 고도의 유의차를 보이며 낮은 두께 팽창률과 수분흡수율을 나타내었다.

2) CL에 사용된 chip 크기에 의한 차이는 휨강도 실험에서는 큰 차이를 나타내지 않았지만, 내부 결합력에서는 크기가 작을수록 높은 결합력을 가지고 있다는 것을 확인하였다. 또한 chip의 크기가 보드의 내수성에 영향을 주지 않음을 나타내었다.

3) EMDI 수지를 사용했을 때 기존의 UF 수지에 비해 높은 내수성을 가지게 되었으며, 유리 포름알데히드 방산량 측정결과 $0.7 \sim 1.9 \text{ ppm}$ 은 E1등급으로 활용하기에는 부적합을 나타내고 있다.

4) 합판 정제단 부산물을 이용한 보드를 OSB대체용으로 사용하기 위한 최적의 제조 조건은 SL층으로 베니어를 사용하고 CL에 이용되는 chip 크기를 4~16 mesh로 최적의 조건을 나타냈으며, 접착제로서는 내수접착제인 EMDI 수지를 이용하여 보드를 제작할 시 OSB의 주요한 특성인 휨강도와 습윤 휨

강도를 증가함을 확인할 수 있었으며 고내수성 보드로 기존에 바닥 깔개용으로 사용하고 있는 OSB를 대체 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 오용성. 2002. 폐목재로 제조된 파티클보드의 성능평가. 목재공학 30(4): 23~26.
- 산림청. 1994. '94 국제열대목재협정' 서울. 산림청.
- 환경부. 2003. '폐목재의 발생 및 재활용실태' 환경부.
- 한국목재재활용협회. 2009 '폐목재 유통실태 보고서' : 17~18.
- William E. Johns의 4명, 1982, The effect of species and moisture content on the bonding efficiency of polymeric MDI isocyanate.
- Galbraith, .cJ., S. C. Cohen, and P. R. Stula. 1985, The use of EMDI isocyanate binders for the production of dry process hardboard.
- Hawke, R. N. B. C. H. Sun, and M. R. Gale. 1993. Effects of fiber mat moisture content on physical properties of EMDI hard board.
- 한국산업규격. 2006. 파티클보드. KS F 3104.
- 한국산업규격. 1999. 목재의 흡수량 측정 방법. KS F 2204.
- 한국산업규격. 1998. 2009 건축내장재의 포름알데히드 방산량 측정 - 제4부 : 테스케이터법.
- ASTM. 1998. Standard test methods for evaluating preperities of National Standard Institute, New York.