

난연처리 제재목으로 제조한 구조용 집성재의 강도 성능평가¹

손 동 원² · 엄 창 득^{2,†} · 박 준 철³ · 박 주 생²

Performance of Structural Glulam Manufactured with Fire Retardants Treated Lumbers¹

Dong-Won Son² · Chang-Deuk Eom^{2,†} · Jun-Cheol Park³ · Joo-Saeng Park²

요 약

최근 목재이용에 대한 소비자의 요구가 다양화 되면서 목조 주택뿐만 아니라 공공건물 및 놀이시설 등에 고내구성 집성재에 대한 시장수요가 증가할 것으로 예상된다. 본 연구는 국산 낙엽송으로 제조한 구조용 집성재에 적합한 난연처리 기술개발 및 기준을 정립하기 위한 목적으로 수행되었다. 난연처리된 국산 낙엽송 제재목을 이용하여 구조용 집성재를 제조하고 제조 후 집성재에 미치는 영향을 조사하였다. 낙엽송 난연처리재의 경우 구조용 집성재의 강도조건에는 만족하였으나 난연제 처리에 의한 강도적인 감소와 박리 발생 등은 개선될 필요가 있었다. 집성재의 제조 후 주입식 난연처리 혹은 도포식 난연처리 기술 개발이 요구되었다.

ABSTRACT

Consumer demand for wood use has diversified recently. Laminated wood has been used for large-scale buildings and public buildings, not only the durability but also the demand for fire safety has increased. In this study, it was performed for the purpose of developing a standard and flame-retardant treatment technology suitable for structural laminated wood, which was prepared in domestic larch. In this study, by using the domestic larch and Korean pine lumber which treated with flame-retardants, to manufacture the glulam, the effect of strength properties were investigated. In the case of fire retardant treated larch Glulam was satisfactory conditions of the strength of structural laminated wood, but had to be improved, such as the occurrence of delamination and decrease strength by the flame retardant treatment. Development of application-type flame retardant treatment technology or injection-type flame retardant treatment after production of laminated lumber were required.

Keywords : glued laminated timber, fire retardants, strength evaluation

¹ Date Received March 25, 2014, Date Accepted May 22, 2014

² 국립산림과학원, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

³ 화천목재과학단지, Hwacheon wood science complex, Hwacheon, 290-840, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 엄창득(e-mail: willyeom@forest.go.kr)

1. 서 론

목조주택 및 공공시설에 목재 사용이 늘면서 자연히 화재의 안전성에 대한 기술적 요구가 증가하고 있다. 목재는 가연성 재료로서 목재의 기능을 살리면서 불연재료로 개질하기는 매우 어려운 일일 것이다. 그러나 수용성 난연제를 방부처리와 같은 방식으로 목재내부에 깊숙이 주입하고 정착시킨다면 준불연 및 난연재료화 하는 것은 가능하다. 건축재료로서 목재는 심미적인 아름다움과 함께 재료로서의 기능성도 매우 높다. 최근 건축재료로 많이 사용되고 있는 집성재를 가압주입하여 난연처리하여 제조한다면, 초기점화시간의 지연 및 화재전파속도를 억제할 수 있다. 이러한 데이터의 축적은 내화구조 및 내화건축설계에 반영할 수 있을 것이다.

선행연구에서 연구자들은 복합재료의 난연화에 기존의 제조 방법을 따르면서 난연성능을 부여하는 방법을 선택하였다. Keskin 등(2009)은 단판에 난연제를 처리하여 LVL을 제작한 후 연소특성을 조사하였다. 붕산계 약제와 혼합약제를 주입하여 제작한 LVL의 난연성능은 우수한 것으로 보고하였다. 야외 사용 구조용 집성재의 보존처리를 위한 방법으로 수용성 방부제를 주입한 후 집성재에서의 강도적 영향을 보고한 사례도 있다. Kim 등(2011)은 리기다소나무 제재목을 방부처리하여 집성재를 제조한 후 약제 처리에 의한 강도성능의 영향을 검토하였다. 방부집성재의 제조수율은 일반집성재와 큰차이가 없었으며, 리기다소나무의 불균일한 방부약제 흡수량으로 인하여 구조용 집성재 제조용으로는 부적합하다고 결론을 내렸다. 연구자들은 집성재 제조 후 유용성 방부제를 처리하는 방안을 제시하였다. 전통적인 난연제의 간단한 구성으로 단판에 적용하여 주입성을 향상시켜 LVL의 난연성능을 향상시키고자 시도한 경우도 있다. Özcifci 등(2008)은 붕사와 염화아연으로 처리한 단판으로 제작한 LVL의 난연성능을 검증하였다. 붕사처리 LVL의 난연성능은 우수한 것으로 평가되었으며 건축자재로 사용할 수 있다고 제안하였다. 또한 Yang 등(2009)은 집성재의 연소시험 후 탄화층의 깊이와 탄화율을 조사하였다. 연구결과 집

성재를 구성하는 수종간의 탄화 깊이의 차이가 있었으며, 집성재의 구성면에 따라서 차이가 있었음을 보고하였다.

본 연구에서는 수용성 난연제를 제재목에 가압주입한 후 난연집성재를 제조하여 난연처리가 집성재의 강도성능에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구의 공시수종으로는 낙엽송과 잣나무를 사용하였다. 낙엽송 및 잣나무는 강원도 화천에 위치한 (재)화천군청정산업진흥재단에서 분양받아 사용하였으며, 난연제는 붕산, 인산수소2암모늄, 붕산암모늄, 붕사를 각 5%로 하여 공장 혼합조에서가온하여 난연제로 사용하였다. 난연처리는 포천에 소재한 (주)극동방염에서 진행하였으며 난연제의 처리는 가압주입관에서 전배기 10분, 가압처리 60분, 후배기 10분간 처리하였다. 가압처리 시 압력은 15 kgf/cm^2 를 유지하였다.

2.2. 집성재 제작

난연처리가 끝난 제재목은 강원도 화천군에 위치한 (재)화천군청정산업진흥재단에서 집성재로 제조하였다. 난연처리로 인해 높아진 고함수율 목재를 인공건조를 통하여 함수율 12% 이하로 낮춰 사용하였다.

집성재의 조합은 응력등급구분기(MGFE-251, IIDA KOGYO co.,Ltd)를 이용하여 기계적응력등급에 따라 구분하였다. 등급별 제재목의 수량은 Tables 1과 2와 같으며 등급별로 분류된 제재목은 등급에 따라 결점제거 후 길이 4 m로 종접합하였다. 종접합은 핑거접합 방식으로 레조시늘접착제를 사용하였다.

집성재의 구성은 낙엽송의 경우 무처리재와 난연처리재의 응력등급 차이가 있어 층재 구성을 다르게 하였고 잣나무재의 경우 비슷한 등급을 보여 동일하게 조합하였다. 낙엽송 무처리재 조합은 최외층 2등급 이상, 중간층은 3등급, 내층은 4등급을 사용하였



Fig. 1. The process of fire retardants treated Glulam.

Table 1. Strength grades and number of Larch lumber for Glulam

| Grade | MOE (GPa) | Untreated lumber | Treated lumber |
|-------|-------------|------------------|----------------|
| 1 | 14 ≤ E | 1 | 36 |
| 2 | 12 ≤ E < 14 | 15 | 10 |
| 3 | 11 ≤ E < 12 | 28 | 4 |
| 4 | 10 ≤ E < 11 | 13 | 0 |
| 5 | E < 10 | 6 | 0 |

Table 2. Strength grades and number of Korean pine lumber for Glulam

| Grade | MOE (GPa) | Untreated lumber | Treated lumber |
|-------|-------------|------------------|----------------|
| 1 | 12 ≤ E | 4 | 0 |
| 2 | 10 ≤ E < 12 | 31 | 18 |
| 3 | 9 ≤ E < 10 | 18 | 21 |
| 4 | 8 ≤ E < 9 | 4 | 8 |
| 5 | E < 8 | 3 | 3 |

| |
|------|
| 2 |
| 3 |
| 4, 5 |
| 4, 5 |
| 3 |
| 2 |

Untreated Larch

| |
|---|
| 1 |
| 1 |
| 2 |
| 2 |
| 1 |
| 1 |

Treated Larch

| |
|------|
| 1, 2 |
| 3 |
| 4, 5 |
| 4, 5 |
| 3 |
| 1, 2 |

Untreated Korean pine

| |
|------|
| 2 |
| 3 |
| 4, 5 |
| 4, 5 |
| 3 |
| 2 |

Treated Korean pine

Fig. 2. Laminar layout by strength grades of Glulam.

고 난연처리집성재는 최외층과 중간층 1등급, 내층은 2등급을 사용하였다. 잣나무의 경우 최외층 2등급 이상, 중간층 3등급, 내층은 4등급과 5등급을 사용하였다.

레조시놀 접착제를 주제와 경화제를 4대 1 비율로 혼효하여 도포량 250 g/m² 양면 도포하였고 12 kgf/m² 로 압제하여 24시간 동안 상온에서 경화시켰다. 마무리 대패가공은 1주일간 양생기간을 가진 후 작업하였다.

2.3. 휨시험

집성재 휨시험은 만능강도시험기(Instron 5585, 최대하중 200 kN)를 사용하여 목구조용 실대재의 휨시험방법(KS F 2150, 2004)에 준하여 수행하였다. 시간거리는 3,000 mm, 4점하중방식으로 실험하였으며, 하중점 사이의 거리는 900 mm로 하였다. 하중속도는 10 mm/분으로 하여 파괴 시까지 실험을 수행하였고, 휨강도(MOR)와 휨탄성계수(MOE)를 아래의

Table 3. Bending strength of fire retardants treated Glulam

| Properties | Korean pine | | Larch | |
|--------------------------|-------------|---------|-----------|---------|
| | Untreated | Treated | Untreated | Treated |
| MOR (N/mm ²) | 46.93 | 49.47 | 63.25 | 58.33 |
| MOE (N/mm ²) | 13,380 | 15,883 | 19,323 | 19,672 |



Fig. 3. Failure shape of the glulam after bending test (Korean pine).



Fig. 4. Failure shape of the glulam after bending test (Larch).

식 1과 2를 이용하여 계산하였다. 시험이 끝난 후 휨 시험 과정에서 응력을 적게 받은 지점 부 주변에서 시편을 채취하여 KS F 3021에 따라 블록전단시험과 침지 및 삶은 박리 시험을 실시하였다.

$$MOR(N/mm^2) = \frac{3P_m a}{bh^2} \dots\dots\dots (식 1)$$

$$MOE(N/mm^2) = \frac{Pa}{4bh^3\Delta}(3L^2 - 4a^2) \dots (식 2)$$

여기서, P_m = 최대하중(N), P = 비례한도 하중(N), Δ = 비례한도 변형(mm), l = 지간 거리(mm), a = 지점과 하중점 사이의 거리(mm), b = 집성재의 나비폭(mm), h = 집성재의 춤(mm)이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 휨강도 및 휨탄성 계수

제조된 낙엽송 집성재 및 잣나무 집성재의 휨탄성 계수(MOE)와 휨강도(MOR)를 Table 3에 나타내었

다. 강도성능 시험은 각 처리구 3반복 실시하였다. KS의 합격기준은 휨탄성계수는 모든 시험편의 평균 값이 9,000 N/mm² 이상이어야 하며, 전체 시험편의 95% 이상이 8,000 N/mm² 이상인 경우를 합격으로 규정하고 있다(KS F 3021, 2013). 본 시험에서는 잣 나무처리재의 경우 15,883 N/mm², 낙엽송 처리재는 19,672 N/mm²이었다. 각 처리구에서 난연처리 후 집성재의 강도성능은 감소하지 않은 것으로 나타났다.

Figs. 3~4에 휨시험이 끝난 시편의 파괴형태를 나타내었다. 파괴양상을 보면 다른 부분의 손상이 거의 없이 인장응력을 받은 층재 사이를 따라 접착층 분리가 길게 발생하였고, 또 다른 시편에서는 핑거조인트 부분이 빠지는 현상이 일어났다. 파괴가 일어난 부분은 전반적으로 접착층 분리가 일어난 것으로 관찰되었다. KS 기준에 대하여 합격에 도달하였지만, 파괴 이후에 접착층과 핑거조인트의 분리됨이 일부 시편에서 확인되었다.

약제처리와 집성재 강도 간의 관계구명에 대한 선행연구사례에서 Kim 등(2011)의 연구에서도 약제처리한 시편의 경우, 기준을 합격하지 못하거나 일부시편에서 파괴 후 접착층의 분리와 핑거조인트 부분의

Table 4. Test results of block shear and durability of bonded layer

| Parameters | Korean pine Glulam | | Larch Glulam | |
|--|--------------------|---------|--------------|---------|
| | Untreated | Treated | Untreated | Treated |
| Shear bond strength (N/mm ²) | 9.5 | 7.4 | 12.5 | 7.2 |
| Wood failure (%) | 93 | 70 | 91 | 80 |
| Delamination ratio of bonded layer (%) | Cold water | 0 | 0 | 0.7 |
| | Boiling water | 0 | 12.2 | 0.1 |

분리 또한 보고되고 있다. 또한 Kim 등은 방부제 처리목재의 휨시험에서의 기준저하의 원인을 분석하였는데, 방부제의 흡수량의 차이가 시편에 따라 매우 변이가 크게 나타났고 이러한 균일하지 못한 흡수량을 지닌 제재목을 집성하였을 때 접착력에 대한 영향을 줄 수 있음을 보고 하였으며, 방부약제의 흡수량이 낮은 시편에서는 높은 휨강도를 보이고 흡수량이 높은 시편에서는 낮은 휨강도를 지니는 확인되어 약제의 처리가 접착력에 직접관계함을 보고한바 있다. 본시험에서도 방부제와 구성성분이 다른 난연제의 조성물이지만 무처리에 비교하여 유사한 휨강도를 나타내고는 있지만 파괴양상과 접착층의 분리 등의 원인은 이러한 약제의 접착력에 대한 영향으로 판단되었다.

3.2. 난연처리 집성재의 접착성능 평가

블록 전단 접착력 시험에 의한 접착력과 목파울 측정결과는 Table 4와 같다. 접착력과 목파울 시험에는 각처리구 10반복 실시하였다. KS의 블록전단시험에 의한 합격기준인 수종군 A에 속하는 낙엽송은 7.2 N/mm², 목파울 65% 이상, 수종군 C에 속하는 잣나무는 7.4 N/mm², 목파울 65% 이상을 상회하는 결과를 보였다. 침지 및 삶은 처리를 KS기준에 의거 1회 실시하여 측정하였다. 측정결과 침지 및 삶음 박리율은 낙엽송 처리재에서는 1 이하로 KS기준 5% 이하를 만족하였으나, 잣나무 처리에서는 기준을 초과하여 나타났다. Ayrlmis (2007)는 난연제로 사용되는 약제를 혼합처리한 섬유판을 대한 강도영향을 조사하였다. 사용된 난연제는 붕사, 붕산, 인산암모

늄, 인산2암모늄, 인산을 사용하였다. 페놀수지로 사용하여 섬유판을 제조하였을 때 강도성능은 난연제의 혼합량이 증가할수록 강도는 저하되는 것으로 보고하였다.

Kang *et al.* (2011)은 방부제의 흡수량이 증가하면 접착성능이 현저히 감소한다고 보고한바 있다. 심 변재 혼합된 제재목의 흡수량은 현저한 차이를 보일 수 있으며 집성재의 제조 시 접착층에서의 접착성능에 큰 차이를 보일 수 있다.

난연제처리에 의한 집성재의 강도적 영향은 난연제의 농도 및 흡수량 분포에 따라 영향을 받을 수 있으며 수종 간의 주입량의 차이도 강도적 성질에 영향이 있음을 판단할 수 있다. 난연성능을 부여한 집성재가 내화성능 기준에서 어느 정도 영향을 줄 수 있을지는 이후 연소시험을 통해 검증이 필요하지만 구조용으로 사용되는 집성재의 난연성능 부여는 먼저 강도적 성능에서의 안전성과 내화성능 간의 적절한 관계성이 연구로서 밝혀져야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

잣나무와 낙엽송 제재목을 난연처리하여 구조용 집성재를 제조하고 강도적 성질을 평가한 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 잣나무와 낙엽송 심변재의 난연제 주입용이성의 차이로 난연제가 불균일하게 흡수되었으며 이는 집성재의 접착면의 접착성을 저하시켜 최종적으로 휨강도에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 따라서 잣나무와 낙엽송의 내구성을 높

이기 위해서는 난연제 처리로 인한 강도성질에 대한 보다 면밀한 검토가 요구되었다.

- 2) 난연제처리에 의한 집성재의 강도적 영향은 난연제의 농도 및 흡수량 분포에 따라 영향을 받을 수 있으며 수종 간의 주입량의 차이도 강도적 성질에 영향이 있음을 판단할 수 있었다. 구조용으로 사용되는 집성재의 난연성능 부여는 강도적 성능에서의 안전성과 내화성능간의 적절한 관계성이 먼저 밝혀져야 할 것으로 판단되었다.

REFERENCES

- Ayrimis N. 2007. Effect of fire retardants on internal bond strength and bond durability of structural fiberboard. 1200-1206.
- Kang, S.M., Kim, G.N., Kim, K.M., Koo, W.M., Jung, D.J., Kim, K.M. 2011. Effect of copper contents on bonding strength of preservative treated glulam. 2011 proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting; 174-175.
- Keskin, H., Atar, M., Lzciler, M. 2009. Impact of impregnation chemicals on combustion properties of the laminated wood materials produced combination of beech and poplar veneers. *Construction and Building materials*. 23: 634-643.
- Kim, K.M., Eom, C.D., Lee, S.J. 2011. Performance of Structural Glulam Laminated with CuAz-3 Preservatives Treated Lumber. *Journal of The Korean wood Science and Technology*. 39(6): 521-530
- KS F 2150, 2009. Method of static bending test for full sized structural lumber.
- KS F 3021. 2013. Structural glued laminated timber.
- Özçifci, A., Okcu, O. 2008. Impacts of some chemicals on combustion properties of impregnated laminated veneer lumber (LVL). *Journal of Materials Processing Technology*. 1-9.
- Yang, T.H., Wang, S.Y., Tsai, M.J., Lin, C.-Y. 2009. The charring depth and charring rate of glued laminated timber after a standard fire exposure test. *Building and Environment*. 44: 231-236.