

목재의 기계적 성질, 내마모성 및 난연성 개선을 위한 진공가압 멜라민 수지함침처리¹

오 승 원^{2,†} · 박 희 준³

Vacuum Pressure Treatment of Water-Soluble Melamine Resin Impregnation for Improvement of Mechanical Property, Abrasion Resistance and Incombustibility on Softwood¹

Seung-Won Oh^{2,†} · Hee Jun Park³

요 약

진공가압 수지함침 처리에 의한 목재의 휨강도, 경도 및 내마모성 향상을 위하여 침엽수 3수종에 수용성 멜라민 수지를 수지농도와 처리시간별로 진공가압 처리한 후 수지함침 열압축목재(compreg)를 제조한 다음 물성을 검토하였다. 또한 같은 수종에 수용성 난연제를 도포처리하는 방법과 진공가압 후 열압처리 방법으로 제조한 다음 난연성 향상 정도를 측정하였다. 수지의 농도가 높을수록 휨강도 및 브리넬 경도는 증가하였고 내마모성은 향상되었으나, 처리시간과는 일정한 경향이 없었다. 난연성은 도포시험편 보다 진공가압처리 시험편이 총 방출열량이 감소하여 진공가압처리에 의한 난연성 개선 방법이 효과가 있었다.

ABSTRACT

In this study, three softwood species were treated with water-soluble melamine resin by different concentration and treatment time under vacuum pressure for improving mechanical property, abrasion resistance, and incombustibility. After the treatment, a compreg was manufactured and then evaluated on physical properties. Additionally, incombustibility of compreg was determined by comparing with a wood that was treated by spraying a water-soluble fire retardant on surface. As concentration of resin increased, bending strength and Brinell hardness increased as well as abrasion resistance, but there was no correlation on treatment and mechanical properties by treatment time. The wood impregnated by water-soluble melamine resin under vacuum pressure showed better incombustibility than that of a water-soluble fire retardant sprayed wood. Therefore, this treatment could be used for improving incombustibility of wood.

¹ Date Received June 15, 2015, Date Accepted August 20, 2015

² 전북대학교 목재응용과학과, 농업과학기술연구소, Department of wood Science & Technology, Institute of Agriculture Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju, 54896, Republic of Korea

³ 전북대학교 주거환경학과, Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Chonju, 54896, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

Keywords : mechanical property, vacuum press, compreg, abrasion resistance, resin impregnation, incombustibility

1. 서 론

목재는 친환경 자재로 인간의 생활에 없어서는 안 될 중요한 재료로 인류의 존재와 함께 오랜 세월 동안 사용되어 왔으며, 21세기 들어서 화석연료의 고갈과 오존층 파괴 등 지구환경보존과 관련하여 가장 인간에게 친환경적이고 재생가능한 자원이라는 이유로 재료로서의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 목재는 다른 식물체에 비하여 잘 썩지 않으면서도 에너지 수치가 높기 때문에 뛰어난 태양에너지의 저장고로 알려져 있다(Lee, 2012).

그러므로 지구환경보전의 관점에서 이 에너지를 저장한 상태로 목재를 사용하는 것이 대단히 중요하다. 목재가 분해되어 태양에너지를 방출되지 않도록 하는 기술 즉, 방부, 방충, 난연화, 내후화 등의 처리 기술개발을 통하여 사용목재의 내구수명을 연장하는 기술은 지구환경보전의 의미에서도 매우 중요한 연구 분야라 할 것이다.

외장용으로 목재를 사용하기 위하여 침적 또는 진공가압식으로 CCA, ACQ, CUAZ-1, CUAZ-2, CB-IDO 등의 방부약제를 처리한 목재와 시공 후 목재에 오일스테인(oil stain)을 도포하여 목재의 수명을 연장시키기 위한 방법이 적용되고 있다(Boone *et al.*, 1995; Kim, 2006; Kim *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2000).

이러한 도포처리방법으로는 방부성능에는 효과가 있으나, 약제 중에 포함된 구리성분 등으로 목재의 색상이 변하는 점과 치수안정성 및 난연성의 개선효과를 기대하기가 어려운 실정이다. 이와 같이 현재까지는 목재의 방부성능을 향상시키기 위한 방부처리 기술, 난연성을 부여하기 위한 도포나 분무에 의한 난연 처리, 그리고 치수안정화 또는 강도적 성능 향상을 위한 WPC (wood-plastic composites) 제조가 별도로 처리되고 있다.

최근 목구조물의 난연 처리에 대한 중요성은 어느 때 보다도 중요시 되고 있으며, 목재에 가압식 난연

처리 기술은 이미 선진국에서는 상당한 시장이 형성되어 있는 것으로 보고되고 있으나(Cischem.com, 2009), 아직까지 국내에서는 난연제를 표면처리 하고 있는 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 진공가압 수지함침 처리에 의한 목재의 휨강도, 경도 및 내마모성향상정도를 알아보기 위하여 침엽수 3수종에 수용성 멜라민 수지를 수지농도와 처리시간별로 진공가압 처리한 후 수지함침 열압축목재(compreg)를 제조한 다음 물성을 검토하였다. 또한 같은 수종에 수용성 난연제를 도포 처리하는 방법과 진공가압 후 열압처리 방법으로 제조한 다음 KS F ISO 5660-1 콘칼로리 미터법에 의하여 난연성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

Spruce (*Picea abies* (L.) karst), Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), Pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)를 시중 제재소에서 제재하여 수지함침 재료로 사용하였다. 시험편의 크기는 200 (W) × 600 (L) × 20 mm (H)로 각 수종별로 200개씩 제조하여 송풍건조기로 2주일 건조한 다음 무게 및 치수를 측정하고 함수율을 8.5 - 10%로 조절하였다. 시험편의 전건비중은 Pine 0.57, Spruce 0.39, Douglas-fir 0.50이었다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 수지함침처리

진공가압 수지함침장치를 이용하여 압력 15 kg/cm²일 때 수지농도 10, 20, 30%와 함침시간을 5, 10, 15, 20분으로 하여 수종별로 각각 30개씩 수지함침 처리하였다. 수지함침에 사용한 수지는 수용성 멜라민수지(강남화성, PM-K)로 불휘발성 고형분은 58

- 62%, 점도는 50 - 150 cps이었다. 펠라민수지는 수지올에 따라 물로 희석하여 수지올 10, 20, 30%로 제조하여 사용하였다.

2.2.2. 난연처리, 열압 및 난연시험

난연제는 Rhodia company의 Amgard RD1 수용성 난연제를 30% 희석하여 사용하였고, 도포량은 70 g/m², 진공가압 함침 처리시간은 5분간 실시하였다.

진공가압 수지함침 처리된 시험편을 송풍건조기 속에서 일주일 건조한 후 열압기를 이용하여 수지 처리재 및 미 처리재별로 압력 10 kg/cm², 온도 150℃ 조건으로 5분간 열압하여 수지함침 열압촉목재를 제조하였다. 또한 난연성 시험을 위하여 난연제 도포처리재와 진공가압 수지 함침재의 난연성능 시험용으로 100 × 100 × 20 mm 4장씩, 가스 유해성 시험용으로 220 × 220 × 20 mm 3장씩을 제작하여 한국건설생활환경 시험연구원의 FTIR (MIDAC Corporation, USA)를 이용하여 KS F ISO 5560-1: 2008과 KS F 2271: 2006 방법으로 시험을 실시하였다.

2.2.3. 휨강도 및 경도

휨강도는 만능강도시험기(Shimadzu, AGS-10KN)을 이용하여 하중속도 5 mm/min 조건으로 측정하였으며, 경도는 브리넬경도기(삼일정밀 AUTO SB-600)를 이용하여 강구직경 10 mm 조건으로 측정하였다.

2.2.4. 마모성

8 × 8 cm 시험편을 준비하고 중앙에 지름 7 mm 구멍을 뚫어 마모성 측정을 위한 시험편으로 사용하였다. 시험편을 Taber형 마모시험기(Rotary abrasion tester Model: TOYOSEKI C-121000701)의 회전반에 수평되게 고정하고 연마지를 감은 마모륵 2개를 설치하고 100회전씩 총 500회를 측정하여 마모율을 계산하였다. 이때 시험편에 가해지는 총 하중의 무게는 원반 무게를 포함하여 500 g으로 하였다. 마모율(Abrasion ratio)은 다음 식으로 계산하였다.

$$AR(\%) = [(Ab - Aa) / Ab] \times 100$$

Ab : 마모시험 전 중량(Weight of wood before test)

Aa : 마모시험 후 중량(weight of wood after test)

3. 결과 및 고찰

3.1. 휨강도 및 경도

수지함침 전·후의 시험편을 열압한 후 휨강도를 측정한 결과는 Fig. 1과 같다.

수지 농도 및 처리시간에 따른 휨강도는 처리시간 20분 기준 Pine의 경우 수지농도 10%일 때 862.3 kg/cm²에서 수지농도 30%일 때 1000.7 kg/cm²로, Spruce는 852.6 kg/cm²에서 942.6 kg/cm²로, Douglas-fir는 870.2 kg/cm²에서 918.5 kg/cm²로 수지의 농도가 높을수록 휨강도는 증가하였다. 함침 처리시간별 휨강도는 처리시간이 5분에서 20분으로 증가함에 따라 완만히 증가하는 경향이였으며, 수종 간에는 처리시간 20분, 수지농도 30%일 때를 제외하고 Spruce의 휨강도 값이 작은 것으로 나타났다.

브리넬 경도기를 이용하여 수지 처리재 및 미 처리재의 처리농도 및 시간별 HB경도를 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 수지 농도 및 처리시간에 따른 경도는 처리시간 20분 기준 Pine의 경우 수지농도 10%일 때 39.1 HB에서 수지농도 30%일 때 45.5 HB로, Spruce는 36.2 HB에서 47.5 HB로, Douglas-fir는 34.4 HB에서 44.9 HB로 처리수지의 농도가 높을수록 HB경도는 증가하였다. 수지함침 처리시간별 경도는 처리 시간이 길수록 약간 증가하였으나, 수종 간 비교에서는 큰 차이는 없었으며, 미 처리재에 비하여 수지농도가 높을수록 높은 경도 값을 보였다. 이는 전보(Oh and Park, 2015)의 실험결과에서 수지처리시간 20분 기준 수지농도 10%와 30% 비교에서 중량증가율은 Pine의 경우 13.5%에서 34.8%로, Spruce는 9.2%에서 31.6%로, Douglas-fir는 10.8%에서 28.8%로 수지의 농도가 증가할수록 중량 증가는 급속히 증가함을 보였으며, Pine의 수지함침 후 중량증가율이 Spruce나 Douglas-fir 보다 높기 때

목재의 기계적 성질, 내마모성 및 난연성 개선을 위한 진공가압 멜라민 수지함침처리

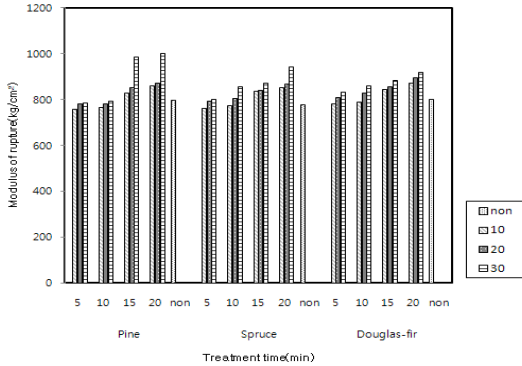


Fig. 1. Modulus of rupture after impregnation with melamine resin.

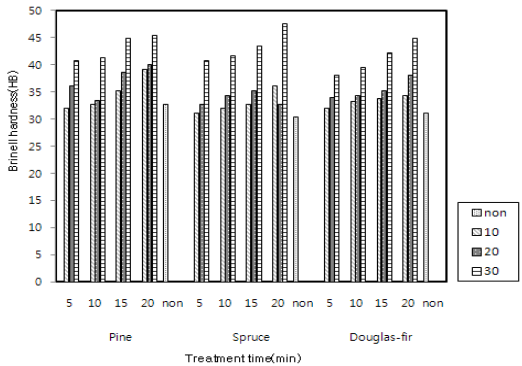


Fig. 2. Brinell hardness after impregnation with melamine resin.

문에 수지의 영향으로 휨강도와 경도 값이 상대적으로 큰 것으로 판단된다.

3.2. 마모율

수지함침처리 전·후 열압처리한 시험편의 수지농도별 마모율을 측정된 결과는 Fig. 3과 같다.

마모 횟수가 100회에서 500회로 증가할수록 마모율은 증가하였다. 마모횟수를 500회 하였을 때, 수지농도별 마모율은 수지농도가 10%에서 30%로 증가함에 따라 Pine의 마모율이 0.70%에서 0.45%로, Spruce는 0.64%에서 0.60%로, Douglas-fir는 0.93%에서 0.79%로 함침처리 수지의 농도가 높을수록 마

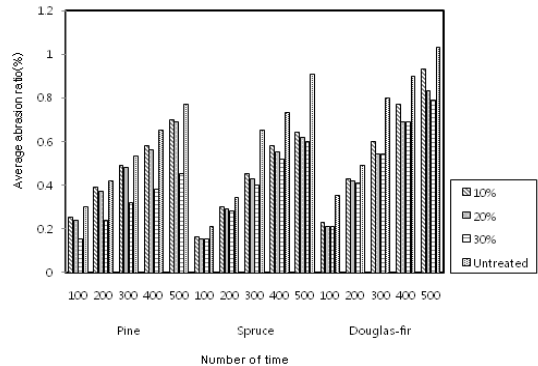


Fig. 3. Average abrasion ratio according to the resin concentration.

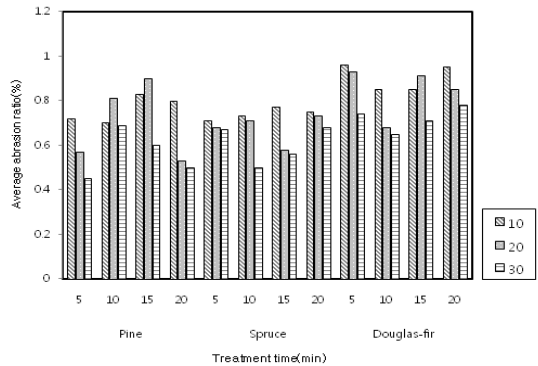


Fig. 4. Average abrasion ratio according to the treatment time in 500 times.

모율이 감소하여 내마모성이 향상되었음을 알 수 있었다. 수종별 마모 특성은 미처리재의 마모율은 0.77 - 1.03%범위로 전 수종에서 미 처리재의 마모율이 처리재의 마모율보다 컸으며, 마모회전수 500회일 때 수지농도별 평균마모율은 Pine재를 30% 농도로 처리한 시험편이 0.45%로 가장 작았다. 이는 전보 (Oh and Park, 2015)의 실험결과에서 수지농도 30% 일 때 Pine의 중량증가율이 34.8%로 가장커서 열압 후 수지가 마모율에 영향을 준 것으로 판단된다. 각 수종별 마모율은 Douglas-fir가 가장 컸다. 마모시험 회전수 500회 기준 감압수지함침 처리 시간별 마모율은 Fig. 4와 같이, 같은 수지의 농도 조건에서 처리시간에 따라 일정한 영향이 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Fire resistance and smoke toxicity test

Item of test	Coated sample		Sample of vacuum pressure		
	sample 1	sample 2	sample 1	sample 2	
Heat release test	Total heat release (MJ/m ²)	22.0	21.5	16.3	13.8
	Melting through total thickness	None	None	None	None
	Harmful change of external appearance	None	None	None	None
Toxicity evaluation	Mouse incapacitation (min:s)	14:34	14:08	14:10	14:18

따라서 수지의 농도를 높게 처리할수록 WPG의 영향으로 마모율이 적었으며, 마모성은 처리수지의 농도에는 영향을 받으나 처리시간과는 무관함을 알 수 있었다. 수지 농도가 10%에서 30%로 증가할수록 중량증가율이 증가하여 마모율은 상대적으로 적게 나타났다. 따라서 수지주입량이 처리시간보다 시험편의 마모성에 영향을 미치는 것으로 확인 되었다.

3.3. 난연성

일반적인 난연 처리는 난연재료를 피복하여 난연화 시키는 물리적인 방법과 원소주기율표 1, 5, 7족 등의 원소를 포함한 화합물로 이루어진 난연제를 제조하여 사용하는 방법이 있다(Shin and An, 1996). 한국산업규격 KS F ISO 5660-1에 따르면 난연재료는 가열개시 후 5분간 총방출열량이 8 MJ/m² 이하이며, 5분간 최대 방출률이 10초 이상 연속으로 200 kW/m²를 초과하지 않으며, 5분간 가열 후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등이 없어야 난연재료의 기준에 적합하다고 하였다. 또한 한국산업규격 KS F 2271에 의한 가스유해성 시험결과, 실험용 쥐의 평균행동 정지시간이 9분 이상이어야 한다. 본 연구에서는 수용성 난연제를 희석하여 도포하는 경우와 수지와 난연제를 혼합한 탱크에서 진공가압 처리한 시험편의 난연 효과를 비교한 결과는 Table 1과 같다.

총방출열량은 도포시험편 및 진공가압시험편 모두 난연재료의 기준인 8 MJ/m²에는 만족하지 못하였으나, 도포시험편의 총방출열량이 21.5 MJ/m²와 22.0 MJ/m²인 경우와 비교하여, 진공가압처리 시험편의 경우 13.8 MJ/m²와 16.3 MJ/m²로 줄어들었다. 그리

나 발연성과 관련있는 가스 유해성시험에서 실험용 쥐의 평균 행동정지시간의 경우 도포시험편은 14:08 (min:s) 와 14.34 (min:s)으로, 진공가압처리 시험편의 경우 14:10 (min:s) 와 14:18 (min:s)로 비슷하였다.

난연재료는 불에 타기 어려운 재료로, 화재에 대하여 어느 정도까지는 저항하는 성질을 가지고 있지만 불에 타지 않는 불연재료와는 성격이 다르다. 따라서 진공가압 처리재의 총방출열량이 도포처리재에 비하여 적어 화재 시 불꽃 확산을 지연시킬 수 있음이 확인되어 진공가압 처리에 의한 난연성 개선방법이 효과가 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

수용성 멜라민 수지와 수용성 난연제를 혼합하여 진공가압식 수지함침 처리에 의하여 목재 내부에 약제를 고르게 침투시킴으로써 난연성, 내마모성과 강도적 성능을 향상시킬 수 있는 처리방법을 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수지의 농도가 높을수록 휨강도와 브리넬 경도가 증가하였다. 수지함침 처리시간별 경도는 처리 시간이 길수록 약간 증가하였으나, 수종 간 비교에서는 큰 차이는 없었으며, 미 처리재에 비하여 수지농도가 높을수록 높은 경도 값을 보였다.
- 2) 수지의 농도를 높게 처리할수록 내마모성이 향상되었으며, 마모성은 처리수지의 농도에는 영향을 받으나 처리시간과는 무관하다고 판단되었다.
- 3) 연소성과 관련있는 열방출량 시험에서 총방출

열량의 경우 도포시험편은 21.5 MJ/m²와 22.0 MJ/m²이었으나, 진공가압처리 시험편의 경우 13.8 MJ/m²와 16.3 MJ/m²로 줄어들었다. 따라서 진공가압 처리에 의한 난연성 개선방법이 효과가 있는 것으로 판단되었다.

REFERENCES

- Boone, R.S., Winandy, J.E., Fuller, J.J. 1995. Effect of redrying schedule on preservative fixation and strength of CCA-treated lumber. *Forest Products Journal* 45(9): 65-73.
- Cischem. com. 2009. The latest domestic and world flame retardant markets and environmental regulations status report. pp. 94-273.
- Kim, G.H. 2006. Characteristics and proper use of CCA preservative. 2006 The Korean Society of Wood Science Technology Workshop: Optimal drying technology of preservative treated wood.
- Kim, G.H., Kim, J.J., Kim, H.J. 2000. Pressure treatment of Japanese red pine, Japanese larch, and Ezo spruce round posts with CCA⁸¹. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 28(1): 42-47.
- Korean agency for technology and standards. KS F 2271. 2006. Testing method for incombustibility of internal finish material and element of buildings.
- Korean agency for technology and standards. KS F ISO 5660-1. Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method).
- Lee, D.H. 2012. Effect of housing environment using the wood on the global environment and the human physical development and emotion. Korea Forest Research Institute Research Reports 447, pp. 3.
- Lee, D.H., Lee, M.J., Kang, C.H., Yeo, W.H. 2000. The leaching of main component from CCFZ, ACQ, CUAZ preservative treated wood. 2000 Proceedings of the Korea Society of Wood Science and Technology Annual Meeting, pp. 120-123.
- Oh, S.W., Park, H.J. 2015. Vacuum pressure treatment of water-soluble melamine resin impregnation for improvement dimensional stability on softwood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(3): 327-333.
- Park, J.C., Kim, S.W., Ryu, J.Y., Hong, S.I. 2008. Strength property of the incised *Larix (Larix kaempferi carr.)* round posts treated with CCA. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 36(3): 85-92.
- Shin, D.S., An, S.H. 1996. Wood preservation. Seoul National University Press. pp. 158-159.