

## 난연처리 목재의 방미 및 방부성능\*1

손 동 원\*2† · 강 미 란\*2 · 이 동 흡\*2 · 박 상 범\*2

### Decay Resistance and Anti-mold Efficacy of Wood Treated with Fire Retardants\*1

Dong won Son\*2† · Mee Ran Kang\*2 · Dong-heub Lee\*2 · Sang-bum Park\*2

#### 요 약

목재사용량의 증가에 따라 목재의 화재안전성에 대한 요구가 높아지고 있다. 실내 사용 목재의 난연처리에 무기인계를 약제로 사용함으로써 환경에 대한 부담을 줄이면서 난연성능을 향상 시킬 수 있다. 수용성 약제를 가압 주입하여 목재 내 깊숙이 침투시키면 목재의 고유기능을 유지하면서 난연성능을 부여 할 수 있다. 난연제의 용탈을 억제하여 장기간 성능을 유지할 수 있는 장점도 있다. 저자들은 액상규산나트륨을 주약제로 하고, 붕산 및 인계 약제를 보조약제로 하여 목재 내로 약액을 주입하는 공정을 개발하였다. 이들 약제는 난연성능 외에 방부 및 방충성능을 지니는 약제가 포함되어 있어, 난연성능과 함께 목재 사용 시 노출될 수 있는 부후환경에서의 내후성능을 방미효력과 방부효력으로 평가하였다.

#### ABSTRACT

This study evaluated the ability of white and brown rot fungi to decompose fire retardant-treated wood by measuring mass loss. Anti efficacy of FRT against sapstain and mold fungi was evaluated. Wood was treated with liquid sodium silicate and boric acid, ammonium borate, di-ammonium phosphate. Retardant treated wood was then subjected to fungal decay resistance tests performed according to KS standard method using a brown-rot fungus, *Fomitopsis palustris* and white rot fungus *Trametes versicolor*. *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Rhizopus nigricans*, *Aureobasidium pullulans*, *Tricoderma virede* fungi were used anti-sapstain and mold test. Boron and phosphorus chemicals used in this study increased the resistance of fire retardant treated wood against both fungal attack. Anti mold and sapstain efficacy of the fire

\*1 접수 2013년 8월 12일, 채택 2013년 11월 19일

\*2 국립산림과학원 임산공학부, Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 손동원(e-mail: dongwon@forest.go.kr)

retardant treated wood was excellent but there were difference depend on mold. After the liquid sodium silicate treatment, the second chemical treatment process could lead chemical fixation into wood, which effects decay resistance.

**Keywords:** fire retardant treated wood, decay resistance, anti sapstain efficacy

## 1. 서 론

천연목재가 가지는 아름다움과 기능성 때문에 건축재료 및 실내 인테리어에 목재사용량이 증가하고 있다. 그러나 목재는 다른 건축재료에 비하여 화재 안전공학적인 측면에서 많은 단점들을 가지고 있기 때문에 건축재료로의 선택에 있어 충분한 검토가 필요하다(박형주 등 2004). 실내사용 목재에 대한 연소특성 및 난연처리방법, 처리목재의 성능평가 등에 관련된 연구(최정민 2011, 박형주 2005, Hee-Jun Park 2012, Dong Won Son 2012)가 발표되고 있다. 목재의 난연처리에는 붕소화합물계, 인화합물계, 질소화합물계 등의 약제가 주로 사용되어 왔다. 목재 처리방법으로는 가압주입, 침지 방법을 이용하며 목질재료에는 혼합되어 사용된다(J.Z Xu 등 2002, Ondreu Grexa 등 2001, B.Garba 1999, Dennnis S. Baker 1981, H.J.Park 2012, D.W.Son 2012, 박형주 2005). 이들 난연제들은 가격이 저렴하며 취급 및 처리가 쉽고 다른 난연제에 비해 저독성이며 환경적인 측면에서 많은 장점을 가지고 있다. 또한 적정량을 물과 혼합하기 때문에 다양한 처리방법으로 사용할 수 있으며 물에 용해시켜 난연효과를 시도하기 때문에 환경 친화적인 면과 가격적인 면에서 다른 난연제에 비해 우수성을 가지고 있다(박형주 2005).

액상규산나트륨은 오랜 기간동안 다양한 분야(세제, 수질정화, 접착제, 코팅 등)에서 사용되어 왔다. 난연제 분야에서 물유리는 불연성 코팅제 혹은 도료에 사용되어 왔다(Andrea M. Pereyra 2009). 난연처리 목재는 사용환경에 따라 부후에 노출될 수 있으며 난연성능과 함께 내후성능을 부여하기 위한 노력 또한 있어 왔다. 난연목재가 부후에 취약한 이유는 목재 내 주입된 난연약제의 용탈로 인한 약제의 효능유지의 지속성이 짧다는 것이다. 난연목재의 낮

은 용탈안전성을 극복하고자 방부제와 병용처리하기도 하였다(M.S.Sweet 1996).

박형주 등(박형주 2007)은 수용성 난연제로 처리한 목재에 대한 외부 복사열원의 변화에 따른 탄화분율, 연소속도, 탄화속도와 탄화깊이를 시험하고 연소속도, 관련 적분모델을 이용 소나무와 잣나무에 대한 연소특성을 비교 연구하였다. 최정민 등(최정민 2011)은 난연처리하지 않은 소나무와 잣나무의 열방출을 시험으로부터 얻어진 착화시간, 총 방열량, 평균 질량감소율 및 총 산소 소요량의 지수에서 체적밀도의 차이에서 기인한 소나무와 잣나무 연소특성의 차이를 확인하였다. Park (H.J, Park 2012) 과 Son 등(D.W.Son 2012)은 난연제의 조성에 따른 성능을 방염기준, ISO기준인 콘칼로리미터로 평가하였다.

목재 난연제 조합에는 미생물에 저항성이 높은 물질이 포함되며, 액상규산나트륨처리 후 산성약제처리로 형성된 염은 용탈되기 어려워 방부효력을 높일 수 있다(S.N.Kartal 2009).

본 연구에서는 난연성능이 입증된 난연제(Son 2012)를 목재에 처리한 후 실내사용에 있어서 난연제의 흡습에 의한 곰팡이 발생에 대한 부분을 방미효력평가로, 외부노출환경에서 난연목재의 내후성을 방부효력으로 평가하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

난연제는 주처리약제로서 액상규산나트륨 30%, 50%를, 보조처리약제로서는 붕산, 붕산암모늄, 인산수소2암모늄을 각각 3%로 하여 사용하였다. 방부효력시험에 사용된 시험편의 난연제처리는 소나무

(*Pinus densiflora*) 변재(20 × 20 × 10 mm)에 액상 규산나트륨 30%, 50%를 감압주입하고, 보조처리약제를 2차 감압하였다. 감압은 600 mmHg로 30분 처리하였다. 처리가 완료된 시험편은 약제의 정착을 위하여 15일간 실온에서 양생하였다. 난연처리 목재는 10회의 내후조작을 실시한 후 항균시험에 사용하였다. 내후조작은 용탈은 25°C 물에 8시간 유탈하고 60°C에서 16시간 휘산시키는 과정을 반복하였다. 내후조작을 마친 시험편은 100°C에서 건조한 후 중량 측정하여 균폭로 준비를 마쳤다. 방미효력용 시험편은 소나무 판목면 시험편(20 mm × 3 mm × 500 mm)에 방부효력시험편과 동일한 약제와 공정으로 침지처리한 후, 내후 조작 후 건조하여 에틸렌옥사이드 가스로 멸균하여 균시험에 사용하였다.

## 2.2. 난연처리 목재의 방부효력 시험

난연처리 목재의 방부효력시험에 사용된 공시균은 *Fomitopsis palustris*, *Trametes versicolor* 균주를 사용하였다. 배양액은 글루코스 2.5%, 펩톤 0.5%, 맥아추출물 1.0%, 인산제2수소칼륨 0.3%, 황산마그네슘 0.2%를 사용하였다. 공시균의 배양방법은 배양액 중에 균을 접종하여 진탕배양하고 균립이 형성되면 미리 멸균해 두었던 접종용 피펫으로 배양액 약 3 ml를 배양기 표면에 골고루 뿌려서 접종하고 온도 26°C, 상대습도 70% 이상의 곳에서 배양하였다. 균총이 배양기 전면에서 퍼진 후 시험에 사용하였다.

처리목재는 공시균 위에 접종한 후 온도 26°C, 상대습도 70% 이상에서 90일간 폭로하였다. 90일경과 후 시험체를 꺼내어 균사를 제거한 후 60°C에서 건조 후 무게를 측정하였다. 방부효력은 중량 감소율로서 평가하였다.

## 2.3. 난연처리 목재의 방미효력 시험

방미효력 평가에는 *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Rhizopus nigricans*, *Aureobasidium pullulans*, *Tricoderma virede* 균주를 사용하였다.

배양살레는 직경 90 mm, 높이 15 mm를 사용하였

으며 가압멸균한 2% 한천액을 부어 고화시켰다. 살레 내에 받침대로 플라스틱 네트를 깔고 직접 시험체가 한천에 닿지 않도록 하였다. 온도 26 ± 2°C, 습도 70~80%에서 4주간 배양하였다. 평가는 균체의 발육상황을 0~3의 4단계로 평가하고 평균 평가치를 구하였다.

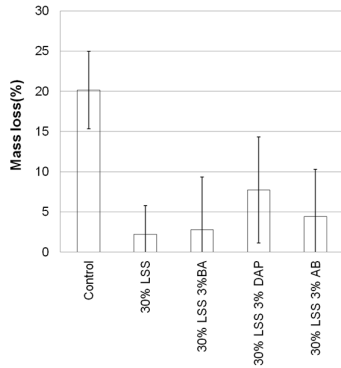
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 난연처리 목재 부후성능평가

액상규산나트륨을 주약제로 하고 보조처리제로 붕산, 붕산암모늄, 인산수소2암모늄으로 처리한 난연처리목재의 방부효력을 검정하였다. 난연제의 목재 내 흡수율은 2차 처리 후 최종흡수율로서 250 ± 10% 이내의 시험편을 선발하여 시험에 사용하였다. 시험결과 난연처리 목재의 갈색부후균 *Fomitopsis palustris*에 대한 방부효력은 높게 나타났다. 액상 규산나트륨과 붕산암모늄, 붕산처리 목재에서의 효과는 대단히 우수하여 야외사용 방부제에 버금가는 효력을 보여주었다. 보조약제로서 인산수소2암모늄 처리목재는 중량감소율 5%로서 다른 약제에 비하여 다소 효력이 낮은 것으로 나타났다.

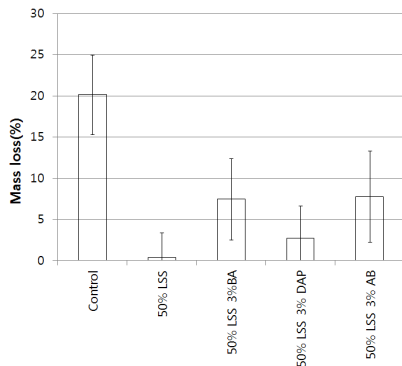
난연처리 목재의 백색부후균 *Trametes versicolor*에 대한 방부효력은 우수하였다. 모든 처리목재는 10% 미만의 중량 감소율을 나타내었으며 특히 액상 규산나트륨에 붕산을 처리한 난연목재는 3% 미만의 중량 감소율을 보여 갈색부후균에서와 같이 야외사용 방부제에 버금가는 방부효력을 나타냈다.

본 연구에서 액상규산나트륨의 단독처리구가 붕산, 인산수소2암모늄, 붕산암모늄 처리구보다 낮은 중량 감소율을 보여 주었다. 저자들의 난연성능 연구에서는 액상규산나트륨의 단독처리구보다는 보조약제로 2차처리를 한 처리구에서 난연성능이 향상됨을 확인하였다(Son 2012). 규소유화액과 붕산혼합처리로 동일 균주에 대하여 높은 저항성을 발표한 연구결과(S.N.Kartal 2007)에 의하면 약제의 단독 처리보다 혼합처리에 의한 용탈 저항성을 높인 것이 균에 대한 저항성이 높아진 것으로 판단하고 있다.



(30% LSS : Liquid Sodium silicate 30%  
 30% LSS 3% BA : LSS 30%-Boric acid 3%  
 30% LSS 3% DAP : LSS 30%-Diammoniumsulfate 3%  
 30% LSS 3% AB : LSS 30%-Ammonium borate 3%)

Fig. 1. Mass lossless in the specimens exposed to *T. versicolor* for 12 weeks.

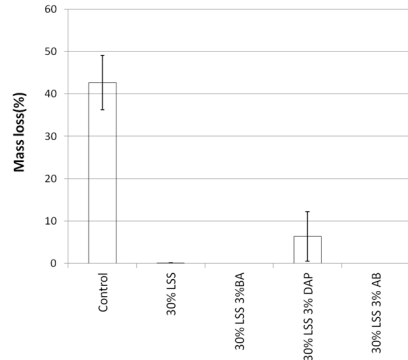


(50% LSS : Liquid Sodium silicate 50%  
 50% LSS 3% BA : LSS 50%-Boric acid 3%  
 50% LSS 3% DAP : LSS 50%-Diammoniumsulfate 3%  
 50% LSS 3% AB : LSS 50%-Ammonium borate 3%)

Fig. 2. Mass lossless in the specimens exposed to *T. versicolor* for 12 weeks.

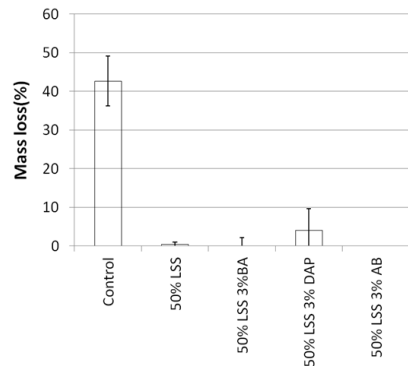
본 연구에 사용된 약제의 조성은 난연성능을 부여하기 위하여 조성된 약제의 조합비로서 작은 시험편에 높은 농도의 액체규산 나트륨의 주입으로 인한 충전 효과가 균에 대한 저항성을 높였으며, 2차처리로 인한 액상규산나트륨의 충전효과의 감소 및 저농도가 오히려 방부효력에 영향을 준 것으로 판단되었다.

갈색부후균 *F. palustris*에 대한 시험에서는 액상규산나트륨 단독처리와 봉산, 봉산암모늄 2차처



(30% LSS : Liquid Sodium silicate 30%  
 30% LSS 3% BA : LSS 30%-Boric acid 3%  
 30% LSS 3% DAP : LSS 30%-Diammoniumsulfate 3%  
 30% LSS 3% AB : LSS 30%-Ammonium borate 3%)

Fig. 3. Mass lossless in the specimens exposed to *F. palustris* for 12 weeks.



(50% LSS : Liquid Sodium silicate 50%  
 50% LSS 3% BA : LSS 50%-Boric acid 3%  
 50% LSS 3% DAP : LSS 50%-Diammoniumsulfate 3%  
 50% LSS 3% AB : LSS 50%-Ammonium borate 3%)

Fig. 4. Mass lossless in the specimens exposed to *F. palustris* for 12 weeks.

리군에서 높은 방부효력을 보여주었다. 봉산으로 처리한 시험편은 백색부후균 *T. versicolor*에서보다 갈색부후균 *F. palustris*에 대하여 저항성이 높다고 보고하고 있다(S.N.Kartal 2007). Merphy 등(Merphy et al., 1993)은 여러 가지 복합재료를 봉산처리하여 갈색부후균과 백색부후균에 대하여 저항이 있다고 발표하였다. 그러나 인산암모늄 처리에서는 봉산과 봉산으로 처리하였을 때보다 높은 중량 감소율이 있었

다고 보고하였다. 본 연구에서도 *F. palustris*에 대한 방부력에서 인산수소2암모늄처리구에서 중량 감소율이 붕산약제 처리구에서보다 높게 나타나서 동일한 연구결과를 보여 주고 있다.

난연성능을 위하여 처리한 시험편에서의 방부효력 결정의 중요인자는 처리된 약제의 용탈에 대한 저항성으로서 용탈시험 후, 약제의 잔존량이 결국 방부효력으로 나타난다고 보고하고 있다(S.N.kartal 2009). 붕산처리 시험편에서의 방부효력에 대한 검증 시험에서도 붕산계약제의 용탈안전성과 지속성이 논점이 되고 있다(Tsunoda K. 2002).

실외에 노출되는 난연처리 목재의 경우, 방부효력을 부여하기 위해서는 처리약제의 용탈안전성과 약효의 지속성이 중요인자로 간과되지 말아야 할 것으로 판단되었다. 또한 약제의 구성에 있어서도 난연성능과 방부효력을 동시에 지닐 수 있는 약제 조합이 필요하였다.

### 3.2. 난연처리 목재 방미효력 평가

난연목재의 방미효력시험결과는 Figs. 5~6과 같다. 소나무변재 무처리 시험편에서 균포자가 시험편 전체에 걸쳐 고르게 분포하여 균사의 활력 및 시험조건은 이상이 없음을 확인하였다. 시험에 사용된 균은 *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Rhizopus nigricans*, *Aureobasidium pullulans*, *Tricoderma virede* 균으로서 시험편에 포자의 착색과 포자 산포로서 육안판정이 가능하며, 4주간 실시된 시험편 내 5균주의 포자발생 및 목재면 오염정도를 등급으로 구분하여 무처리에 대한 효력치로 판정하였다. 액상규산나트륨의 처리농도 30%와 50%로 일차처리한 후, 보조처리약제로 붕산, 붕산암모늄, 인산수소2암모늄 3%로 각각 침지처리한 시험편에서의 방미효력에서 가장 효력이 높은 대상균주는 *P. funiculosum*으로서 효력치 100%였다.

*T. virede*, *A.pullulans*, *R.nigricans* 균에 대해서 약제의 효력은 주처리제인 액상규산나트륨의 농도에 영향을 받지 않고 80% 이상의 효력치를 보였으며, 붕산계열약제에서 다소 높은 방미효력을 나타냈

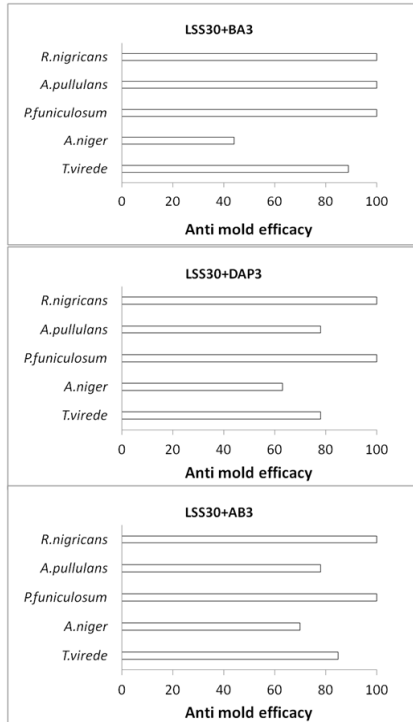
다. 난연성능을 부여하기 위한 처리약제의 조합조건은 방미효력의 한계치를 넘어선 농도의 조합으로서 약제별, 농도조건에 따른 영향은 없는 것으로 판단되었다. *A. niger*균에서는 액상규산나트륨 50%와 붕산 3% 처리조건에서 81%의 효력치를 보였으나 액상규산나트륨 50% 조건에 제2인산암모늄, 붕산 암모늄 3% 처리조건이 각각 78%의 효력치를 보였으며, 액상규산나트륨 30%에 보조처리약제를 처리한 처리구에서는 70% 미만의 낮은 효력치를 보였다. 균주별로 판정된 시험결과로 현재 *A.niger*에 대한 방미효력을 보완할 수 있는 개선 연구가 현재 진행 중이다. 난연목재의 현장적용에서 표면 오염균 및 청변균에 대한 목재의 오염에 대한 종합적인 판정이 필요하다고 생각되었다. 균혼합용액으로 처리하여 목재의 표면에서 발생하는 균사의 발생으로 판정하는(이종신 2004) 시험법도 난연목재의 종합적인 방미효력판정에 올바른 방법이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

실내 환경에서 청변균 및 표면 오염균에 대한 목재의 피해는 목재시설물 내 습기와 밀접한 관계가 있으므로 습기관리에 대한 부분이 중요하다. 또한 실내환경에서 곰팡이의 발생으로 인한 건강문제는 소송문제로 많은 비용이 소비된다(Hartwing and Wilinson, 2003).

친환경적이면서 저독성 방미제에 대한 많은 연구(Cowasn, 1999, Hammer *et al.*, 1999, Mau *et al.*, 2001, Wang *et al.*, 2005)들은 곰팡이로부터 안전하게 목재시설물을 이용하기 위하여 노력하여 왔다. 실내사용 목재를 화재로부터 안전하게 유지하기 위한 난연제의 구성이 방미효력을 부가적으로 얻을 수 있다면 환경적, 경제적인 목제품 생산에 기여할 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

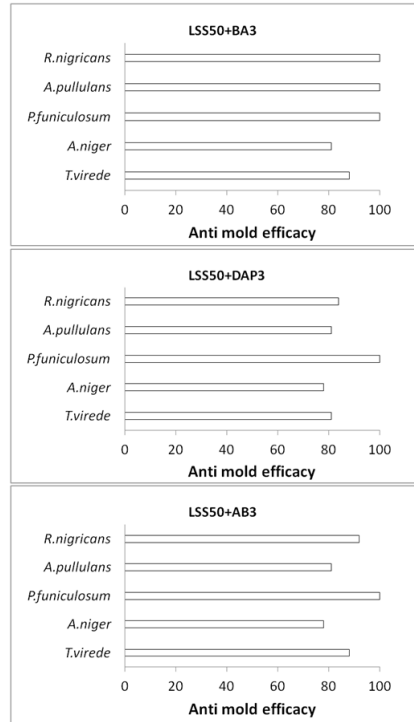
난연성능이 입증된 난연제를 목재에 처리하고 사용환경조건에서의 목재의 내후성을 방부효력과 방미효력으로 평가하였다. 난연목재의 갈색부후균 *Fomitopsis palustris*에 대한 방부효력은 높게 나타



\* LSS30 : Liquid Sodium silicate 30%  
 LSS30+BA3 : LSS 30%-Boric acid 3%  
 LSS 30+DAP3 : LSS 30%-Diammoniumsulfate 3%  
 LSS30+AB3 : LSS 30%-Ammonium borate 3%

Fig. 5. Anti mold efficacy of retardant treated wood.

났다. 액상규산나트륨과 붕산암모늄, 붕산처리목재에서의 효과는 중량감소율 3% 미만으로 방부제에 버금가는 효력을 보여주었다. 보조약제로서 제2인산수소암모늄처리목재는 중량감소율 5%로서 다른 약제에 비하여 다소 효력이 낮은 것으로 나타났다. 난연목재의 백색부후균 *Trametes versicolor*에 대한 방부효력은 10% 미만의 중량 감소율을 나타내었으며 특히 액상규산나트륨에 붕산을 처리한 난연목재는 3% 미만의 중량 감소율을 나타냈다. 방미효력은 목재 변색균 및 표면 오염균에 대하여 우수한 결과를 보였으나 균종에 대한 선택적인 방제능으로 종합적인 검토가 필요하였다.



\* LSS50 : Liquid Sodium silicate 50%  
 LSS50+BA3 : LSS 50%-Boric acid 3%  
 LSS50+DAP3 : LSS 50%-Diammoniumsulfate 3%  
 LSS50+AB3 : LSS 50%-Ammonium borate 3%

Fig. 6. Anti sapstain efficacy of retardant treated wood.

## 참고 문헌

1. 최정민. 2011. 난연처리된 소나무와 잣나무의 연소특성 연구. 목재공학 39(3): 244~251.
2. 박형주, 강영구, 김홍. 2005. 난연처리된 목재의 연소특성에 관한연구. 목재공학 33(4): 38~44.
3. Park, H. J., M. Wen, S. H. Cheon, J. W. Hwang, and S. W. Oh. 2012. Flame retardant performance of wood treated with flame retardant chemicals. J. of the Korean wood science and technology 40(5): 311~318.
4. Son, D. W., M. R. Kang, J. I. Kim, and S. B. Park. 2012. Fire performance of the wood treated with inorganic fire retardants. J. of the Korean wood science and technology 40(5): 335~342.
5. Xu, J. Z., M. Gao, H. Z. Guo, X. I. Liu, Z. Li, H.

- Wang, and C. M. Tian. 2002. Study on the thermal degradation of cellulose fiber treated with flame retardants. *J.FIRE SCIENCES* 20: 227~235.
6. Ondrej Grexa and Henrich Lubke. 2001. Flammability parameters of wood tested on a cone calorimeter. *Polymer Degradation and Stability* 74: 427~432.
  7. Garba, B. 1999. Effects of zinc borate as flame retardant formulation on some tropical woods. *Polymer Degradation and Stability* 64: 517~522.
  8. Dennis S. Baker. 1981. Wood in fire, flame spread and flame retardant treatments. *Chemistry and Industry* 18: 485~490.
  9. Andrea M. Pereyra, Carlos A. Giudice. 2009. Flame-retardant impregnants for woods based on alkaline silicates. *Fire Safety Journal* 44: 497~503.
  10. Sweet, M. S., S. LeVan, R. H. White, H. C. Tran, and R. D. Groot. 1996. Fire performance of wood treated with combined fire-retardant and preservative systems, USDA Forest Service Forest Products Laboratory, Research Paper FPL-RP-545.
  11. 박형주. 2007. 난연처리된 목재의 연소속도에 관한 연구. *한국안전학회지* 22(6): 48~54.
  12. Murphy, R. J., D. J. Dickinson, P. Turner, P. J. Wickens, and R. Hashim. 1993. Vapor boron treatment of wood composites. In: International Union of Forestry Research Organization (IUFRO) Symposium on the Protection of Wood-based Composite Products, May 1993, Orlando, FL, USA. Forest Production Society, Madison, WI 49~56.
  13. Kartal, S. N., T. Yoshimura, and Y. Imamura. 2009. Modification of wood with Si compounds to limit boron leaching from treated wood and to increase termite and decay resistance. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63(2): 187~190.
  14. Kartal, S. N., W. J. Hwang, and Y. Imaura. 2007. Evaluation of effect of leaching medium on the release of copper, chromium and arsenic from treated wood. *Building and Environment* 42(3): 1188~1193.
  15. Tsunoda, K., H. Watanabe, K. Fukuda, and K. Hagio. 2002. Effects of zinc borate on the properties of medium density fiberboard. *Forest Products Journal* 52(11/12): 62~5.
  16. 이종신. 2004. 산업부산물을 이용하여 제조한 플루오르화합물계 목재방미제의 특성(I). *목재공학* 32(2): 73~81.
  17. Hartwig, R. P., C. Wilkinson. 2003. Mold and Insurance from Insurance Information Instgitute. <WWW.iii.org>
  18. Cowan, M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews* 12: 564~582.
  19. Hammer, K. A., C. F. Carson, and T. V. Riley. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *J. Appl. Microbiol.* 86: 985~990.
  20. Mau, J. L., C. P. Chen, P. C. Hsieh. and 2001. Antimicrobial effect of extracts from Chinese chive, cinnamon and *Cornio fructus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 183~188.
  21. Wang, S. Y., P. F. Chen, and S. T. Chang. 2005. Antifungal activities of essential oils and their constituents from indigenous cinnamon leaves against wood decay fungi. *Bioresource Technology* 96: 813~818.