

방염처리가 톱밥-귤박 혼합파티클보드의 흡음성능에 미치는 영향¹

강 춘 원² · Taiquan Jin^{2,†} · 강 호 양³

Effect of Flame Resistant Treatment on The Sound Absorption Capability of Sawdust-mandarin Peel Composite Particleboard¹

Chunwon Kang² · Taiquan Jin^{2,†} · Ho-Yang Kang³

요 약

방염처리에 의한 톱밥-귤박 혼합파티클보드의 방염성능과 흡음성능의 변화를 관찰하고자 톱밥과 귤박을 혼합하여 파티클보드를 제작하였다. 보드로부터 원반형 시험편을 제작하여 무처리 보드에 2마이크로폰 전달함수법으로 보드의 흡음률을 측정하고 동일한 시험편에 방염수지를 도포한 후 동일한 방법으로 흡음률을 측정하였다. 방염성능 시험은 무처리와 방염처리 톱밥-귤박 혼합파티클보드를 45도 연소챔버에서 연소하여 탄화면적을 비교하였다. 방염처리에 의해 시험편의 중량은 6.3% 정도 증가하였으며 탄화면적은 46.7% 정도 감소하였다. 흡음률은 측정주파수범위(500-6,400 Hz) 에서 방염처리 시험편이 무처리 시험편보다 약간 낮게 나타났다. 무처리와 방염처리 톱밥-귤박 혼합파티클보드의 흡음성능은 측정주파수 영역에서 상용 석고보드(두께 11 mm)보다 우수한 흡음성능을 나타내어 비내력벽 등의 흡음판으로의 이용이 기대된다.

ABSTRACT

Sound absorption capability of the flame resistant treated sawdust-mandarin peel composite particleboard was were estimated by two microphone transfer function methods. The weight of flame resistant treated board slightly increased by the treatment. The treatment improved fire retardant performance by decreasing the charred area of flame resistant treated board. Sound absorption capabilities of flame resistant treated sawdust-mandarin peel composite particleboard, in the entire estimated frequency range of 500-6,400 Hz was slightly lower than those of the control specimen. Sound absorption capability of both the control and flame resistant treated sawdust-mandarin peel composite particleboards

¹ Date Received March 22, 2015, Date Accepted April 27, 2015

² 전북대학교 생활과학대학 주거환경학과, 전북대학교 인간생활과학연구소. Department of Housing Environmental Design, and Research Institute of Human Ecology, College of Human Ecology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

³ 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

[†] 교신저자(corresponding author) : Taiquan Jin(e-mail: taiquan2013@naver.com)

were higher than that of commercial gypsum boards, being widely used as a sound absorber for ceiling at the estimated frequency.

Keywords : sound absorption coefficient, flame resistant treatment, weight change

1. 서 론

자원이 부족하고 주로 목재 수입에 의존하는 우리나라는 모든 자원을 최대한 절약하여 사용해야 하고 각종 산업 부산물을 효율적으로 재이용할 수 있는 자원 순환형 기술개발이 필요하다. 우리 주변에는 여러 종류의 목질부산물과 농업부산물이 있으나 적당한 활용방안이 개발되지 못한 경우가 있으며 이에 관한 연구가 진행되고 있다(Park *et al.* 2011; Kang *et al.* 2012; Yang *et al.* 2013).

목재가공공장에서 원목으로부터 판재류와 각재류의 제재목을 생산하면서 가공과정에서 많은 양의 톱밥과 칩이 발생하고 있으나 적절한 재활용 방안이 필요하다. 톱밥은 2009년 기준 약 320,000톤 정도가 제재부산물로 대량 발생하고 있으나 사용용도가 저가의 농업용이나 축산용으로 한정된다. 재활용이 기대되는 농업부산물 중에 굴박은 국내산 감귤의 연간 생산량이 2007년도 기준 약 810,000톤이며, 외국의 경우 2005년 브라질과 미국을 포함한 주요 20개국의 감귤 생산량은 122,822,000톤 정도이며, 이들 중 85%는 주스로 가공되는데 가공 중 엄청난 양의 과피 등이 부산물로 나온다(Im *et al.* 2009). 굴박은 아주 소량이 약제로 이용되고 대부분이 음식물쓰레기로 투기되어 환경오염원이 되고 있으며 적당한 활용방안이 필요하다.

최근 삶의 질 향상에 대한 관심이 고조되어 환경소음문제가 심각해지고 있으며 주거환경의 소음제어에 대한 요구가 크게 증가하고 있고 그 해결책이 절실히 요청되는 실정으로 천정에 사용하는 석고보드는 유해성과 내구성 그리고 폐기처분할 때 환경오염 등으로 사용이 제한되고 있어 흡음성능이 우수하면서도 인체에 무해하며, 경제성, 치수 안정성, 내수성 및 단열성이 뛰어난 석고보드를 대체할 수 있는 새로운 흡음재의 개발이 필요하다. 이에 목재 제재과정

의 부산물인 톱밥과 농업 부산물인 굴박을 활용하여 흡음보드를 개발하고자 하였다.

목재와 목질보드의 흡음성과 관련하여 Kang *et al.* (2005, 2010b)은 탈리그닌처리, 폭쇄처리 등에 의해 목재의 섬유방향, 즉 횡단면 음입사 시 흡음성능과 기체투과성이 개선되는 사실을 보고하였으며 목질보드의 경우 목표비중을 조절하여 저비중보드로 만들면 흡음률이 큰 보드를 제작할 수 있다고 보고하였다(Kang and Lee 2005; Kang *et al.* 2008b; 2010b; 2011).

또한 최근 우리 생활 주변에는 끊임없이 무서운 화재가 불시에 발생하여 문화시설, 개인재산, 인명 등에 막대한 피해를 주고 있으므로 국가에서도 보다 강화되고 강력한 법규 및 법령을 제정하고 규제 및 단속을 강화하고 있다. 목재는 화재에 취약한 단점을 개선시키고자 봉소화합물계, 질소화합물계, 인계 화합물계 등을 단독 또는 혼합하여 목재 내 주입, 도포, 함침 등의 처리방법에 따른 난연성능을 분석 평가를 해오고 있다(Wang *et al.* 2004; Chuang *et al.* 2008; Park *et al.* 2012). 따라서 흡음재를 건축재료로 사용할 경우 화재에 대한 대처가 필요하다. 흡음재 표면에 난연수지를 도포하는 방식으로 난연성능을 개선시킬 수 있으나 난연수지 도포로 인한 흡음성능을 변하시킬 우려가 있으나 이에 대한 연구는 부족하다.

본 연구에서는 톱밥-굴박 혼합 파티클보드의 방염처리에 의한 흡음성능 변화를 검토하기 위해 100-6,400 Hz 범위에서 흡음률의 변화를 측정하였다. 이때 방염처리효과를 확인하기 위해 45도 연소시험법으로 무처리와 방염처리 톱밥-굴박 혼합파티클보드의 탄화면적을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 톱밥-귤박 혼합파티클보드

톱밥은 라디에타 파인(*Pinus radiata*) 제재 시 발생한 톱밥을 입자크기 10~20 mesh로 선별하고 건조하여 사용하였다. 귤박은 분쇄기를 이용하여 분쇄한 후 10~20 mesh로 선별하고 함수율은 9% 이하로 건조하였다. 수지는 E1급 요소수지(고형분 60%)를 사용하였으며 1.1 cm × 35 cm × 35 cm의 보드를 제조하였다. 보드 제조 조건은 요소수지 첨가율은 보드 무게의 10%, 목포밀도를 0.4 g/cm³로 제조하였고, 귤박의 첨가율을 보드무게의 10%, 20%, 30%, 40%로 각 5매씩의 보드를 제조하였다. 열압온도는 150℃, 가압압력은 45 kgf/cm² → 35 kgf/cm² → 20 kgf/cm² (3단 가압), 가압시간 9분 → 2분 → 1분으로 3단 가압하여 제조하였다.

방염시험에는 각 5매씩의 무처리와 방염처리보드를 이용하였다. 흡음률 시험에는 5매의 보드에서 임피던스(Impedance) 튜브용 원통형시험편을 각 보드에서 채취하여 방염제 도포 전과 후의 흡음률 측정에 사용하였다.

2.2. 방염처리

톱밥-귤박 혼합파티클보드의 표면에 농도가 30%인 인산암모늄계 수용성 방염제를 2회(1회 도포 시 도포량은 350 g/m²) 도포하였다. 이때 1회 도포 후 24시간 건조한 후에 2회 도포 후 다시 24시간 동안 건조시켰다. 도포 전후의 중량변화를 측정하였다.

2.3. 흡음률 측정

흡음률 측정은 Fig. 1과 같이 B&K사의 impedance tube, pulse 분석장치 그리고 스펙트럼 아날라이저를 이용하여 전달함수법(transfer function method)으로 측정하였다. 흡음률측정 시, 직경 29 mm의 소형 임피던스관을 이용하여 100-6.4 kHz 구간의 주파수변화에 따른 흡음률 변이를 측정하였다.

Table 1. The weight of sawdust-mandarin peel composite particleboards before and after flame resistant coating

Mixing rate of mandarin peels (%)	Before coating	After coating
10%	215.95	228.68
20%	218.46	232.41
30%	210.92	225.06
40%	211.46	224.24

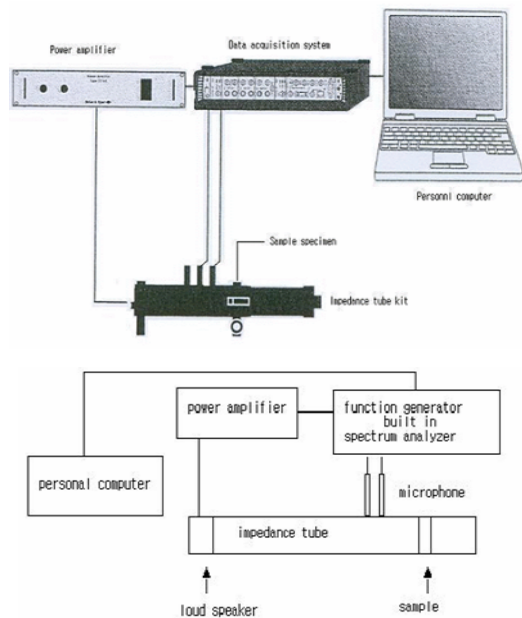


Fig. 1. Measuring apparatus for sound absorption coefficient.

시험 시 방염처리 전의 외부조건은 온도, 상대습도, 기압이 각각, 24.5℃, 47%, 1005.5 hPa, 또한 음속, 공기밀도 그리고 음향임피던스는 각각 345.86 m/s, 1.175 kg/m³, 406.3 Pa/(m/s) 조건에서 시험하였으며 방염처리 후의 시험 시 외부조건은 온도, 상대습도, 기압이 각각, 22℃, 46%, 1019.5 hPa, 또한 음속, 공기밀도 그리고 음향임피던스는 각각 344.41 m/s, 1.201 kg/m³, 413.7 Pa/(m/s)이었으며 처리 전과 처리 후의 흡음률은 외부조건이 차이가 보정되어 계



Fig. 2. Photograph of flame retardancy test.

산되므로 외부 시험조건의 차이에 의한 영향은 없는 것으로 상정하였다.

2.4. 방염성능 비교

방염시험은 무처리보드와 방염처리보드를 KS F 2189에 따라 Fig. 2와 같이 45도 경사로 시편을 고정 한 상태에서 일정시간동안 화염을 가한 후 탄화길이와 탄화면적을 측정하여 비교하는 방법으로 방염성능을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 방염처리에 의한 중량 증가

방염제 코팅 후 톱밥-굴박 혼합 파티클보드의 무게는 코팅전보다 평균 13.4 g 증가하였으며 무게 증가율은 6.3% 미만이었다. 본 시험에 사용된 인산암 모늄계 방염제는 목재성분과 반응하지 않으므로 방염제를 보드표면에 코팅처리 후 건조되는 과정에서 방염제의 고형분이 보드표면에 정착되어 무게증가를 일으킨 것이다.

3.2. 방염처리에 의한 흡음성능의 변화

Figs. 3, 4는 무처리와 방염처리한 톱밥-굴박 혼합 파티클보드 시험편의 500 Hz-6.4 KHz의 주파수범위에서의 흡음률을 나타내고 있다. 그림에서 X축이 측

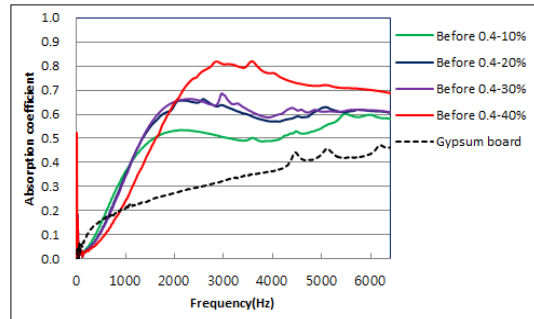


Fig. 3. Sound absorption coefficients versus frequency of sawdust-mandarin peel composite particleboard.

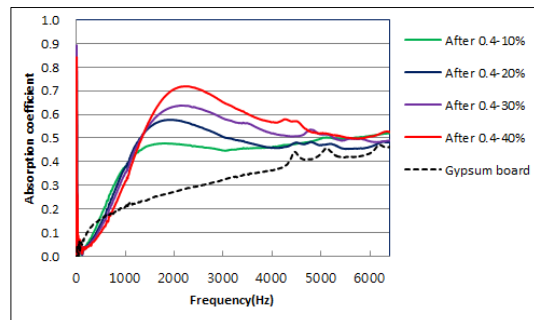


Fig. 4. Sound absorption coefficients versus frequency of flame resistant treated sawdust-mandarin peel composite particleboard.

정주파수, Y축이 흡음률을 각각 나타내고 있으며 전반적으로 50% 이상의 높은 흡음률을 나타내고 있다.

한편, 저주파수대역보다 고주파수대역에서 흡음률이 증가하는 경향을 나타내어 전형적인 다공질체의 흡음특성을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 모든 주파수범위에서 방염처리 한 후의 흡음률이 처리 전의 흡음률보다 약간 낮은 수치를 나타내었다. 전반적으로 10%전후로 흡음률이 저하하였으며 2-3 kHz주파수대역에서는 굴박첨가율 10%에서는 52%에서 46%로 6% 정도, 굴박첨가율 20%에서는 65%에서 55%로 10% 정도, 굴박첨가율 30%에서는 66%에서 62%로 4% 정도, 굴박첨가율 40%에서는 76%에서 70%로 6% 정도가 감소하고 3 kHz 이상의 주파수대역에서는 굴박첨가율 10%에서는 54%에서

48%로 6% 정도, 귤박첨가율 20%에서는 60%에서 47%로 13% 정도, 귤박첨가율 30%에서는 62%에서 52%로 10% 정도, 귤박첨가율 40%에서는 74%에서 55%로 19% 정도가 감소하여 감소폭이 증가하였다. 이러한 경향은 방염약제가 표면의 미세공극에 침투하여 표면의 유효흡음면적을 감소시킨 것에 기인한 것으로 사료된다. 방염처리에 의한 보드표면의 국부적인 미세구조변화로 흡음률이 저하했을 것으로 추측되며 전자현미경레벨에서의 관찰이 요구된다. 또한 재료의 흡음률의 변화는 음이 입사하는 재료표면의 탄성률과도 관계가 있으므로, 방염처리에 의한 보드표면의 변화로 탄성률이 변화하면서 진동감쇠능력이 변화하는 것으로도 해석할 수 있다.

한편, 무처리와 방염처리한 톱밥-귤박 혼합파티클보드 모두 측정 전 주파수대역에서 상용 흡음재료로 쓰이는 두께 11 mm 석고보드(밀도 0.5 g/cm^3)보다 높은 흡음률을 나타내어 흡음재료의 적용이 기대된다(Figs. 3, 4). Oh (2013)는 밀도 0.4 g/cm^3 의 톱밥-귤박 혼합파티클보드는 휨강도가 약하다고 보고한 바 이는 오히려 하중부담이 적은 비내력벽의 흡음재료의 적용이 기대되는데 이때 방염성능이 요구되고 특히 접착이 쉬운 실내장식물의 경우 화재 시 대류에 의한 화염의 상승으로 방염성능이 더욱 필요한데 이 내용은 3.3절의 방염성능에서 고찰하고자 한다.

톱밥과 귤박을 재활용하여 환경친화적인 흡음재료로의 활용이 가능하고 다른 재료와의 조합 등으로 흡음능력의 제고가 기대되어 흡음재료로 적용가능할 것으로 사료된다. 본 결과는 임피던스튜브 내에서 전달함수법을 이용하여 얻은 결과로서 사면입사 또는 난입사하는 음에 대하여서는 잔향실법으로 흡음률을 측정해 보는 등의 추후 검토가 요구된다.

3.2. 방염성능의 변화

Fig. 5는 무처리와 방염처리한 톱밥-귤박 혼합파티클보드 시험편의 방염성능 변화를 나타내고 있다. 그림에서 방염처리한 보드는 탄화면적이 적은 것을 알 수 있다. 이때의 탄화면적은 플래니미터로 측정한 결과로서 Table 2에 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯

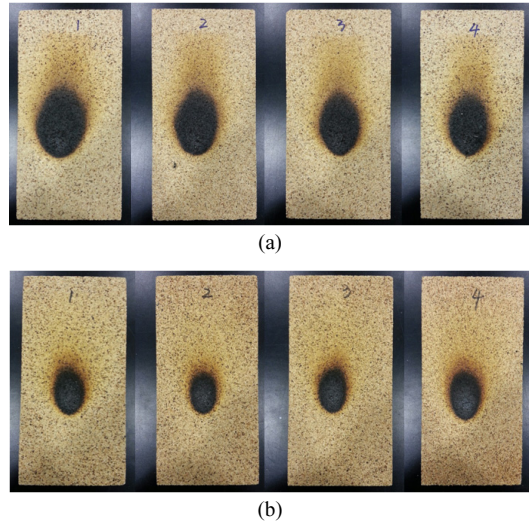


Fig. 5. Comparison between control and flame resistant treated sawdust-mandarin peel composite particleboard on flame retardancy test (a: Control; b: Flame resistant treatment).

이 방염처리 전후 잔염과 잔신은 모두 발생하지 않았으나 방염처리에 의해 표면의 탄화길이는 35.4% 감소하였고 탄화면적은 46.7% 정도 감소하여 방염성능이 향상되었음을 알 수 있다. 톱밥-귤박 혼합파티클보드는 휨강도와 휨탄성계수 등의 역학적 성질이 우수하지 못하여 벽체의 단열재처럼 하중부담이 적은 장소의 흡음재료의 적용이 기대되는데 화재 시 대류에 의한 화염의 상승으로 방염성능이 더욱 필요하다. 방염성능은 탄화길이와 탄화면적의 변화로 일정 부분 파악할 수 있으나 착화온도, 화염지속시간 그리고 방출열량 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

방염처리에 의한 톱밥-귤박 혼합파티클보드의 방염성과 흡음성능의 변화를 관찰하고자 무처리와 방염처리한 보드의 방염성능을 비교하고 무처리상태와 처리한 후의 보드를 전달함수법에 의한 흡음률측정으로 흡음성능의 변화를 분석하여 다음과 같은 결론

Table 2. Comparison between control and flame resistant treated sawdust-mandarin peel composite particleboard on charred area by flame retardancy test

		0.4-10%	0.4-20%	0.4-30%	0.4-40%
Control	Afterflame time (s)	0	0	0	0
	Afterlow time (s)	0	0	0	0
	Char area (cm ²)	54.39	44.19	39.66	39.64
	Char length (cm)	10.2	9.2	9.0	9.5
Flame resistant treatment	Afterflame time (s)	0	0	0	0
	Afterlow time (s)	0	0	0	0
	Char area (cm ²)	24.29	20.23	21.76	28.51
	Char length (cm)	6.5	5.6	5.8	6.6

을 얻었다.

1. 방염처리한 시험편이 거의 전 주파수대역에서 보통의 목재보다 낮은 흡음률을 나타내었다.
2. 방염처리한 목재는 중량이 약간 감소하고 보드 표면의 변화로 인하여 흡음효과가 감소되는 것으로 사료되었다.
3. 방염처리한 시험편의 흡음효과가 감소하였으나 흡음성능이 석고보드보다 우수하고 방염성능이 개선되어 비내력벽 등의 흡음재료의 적용이 가능할 것으로 사료되었다.

REFERENCES

- Chuang, C.S., Ko, C.H. Tsai, K.C., Wang, M.K., Ou, C.C., Shiau, I.L. 2008. Effects of intumescent formulation for acrylic-based spreading on flame-retardancy of painted red lauan (*Parashorea spp*) thin plywood. *Wood Science and Technology* 42: 593-607.
- Chung, W.Y., Kang, W. 2003. Acoustical environment and wood science. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 31(2): 1-15.
- Hong, B.W. 1989. Acoustic absorption coefficient and impedance of wood sections. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 17(2): 26-33.
- Hong, B.W. 1996. Acoustic absorption and impedance of lauan plywood by standing wave apparatuses, *Journal of the Korea Furniture Society* 7(1·2): 21-27.
- Im, H.S., Yoon, C.H., Oh, E.H. 2009. A study on the antibiotic effect using the d-limonene oil extracted to wasted mandarin peels in Cheju. *Journal of the Korean Oil Chemists Society* 26(3): 350-356.
- Kang, C.W., Park, H.J. 2001. Improvement of sound absorption capability of wood and wood-based board by resonant absorption. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 29(1): 16-21.
- Kang, C.W., Lee, N.H. 2005. Changes of sound absorption capability and anatomical features of wood by delignification treatment. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 33(4): 9-14.
- Kang, C.W., Kang, W., Jeong, I.S., Park, H.J., Jeon, S.S. 2008a. Sound absorption capability and anatomical features of oak mushroom bed log. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 36(1): 54-60.
- Kang, C.W., Kang, W., Chung, W.Y., Matsumura J., Oda, K. 2008b. Changes in anatomical features, air permeability and sound absorption capability

- of wood by delignification treatment. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 53(2): 479-483.
- Kang, C.W., Kang, W., Kim, G.C. 2010a. Sound absorption capability and anatomical features of highly sound absorptive wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 38(4): 292-297.
- Kang, C.W., Kim, G.C., Park, H.J., Lee, N.H., Kang, W., Matsumura, J. 2010b. Changes in permeability and sound absorption capability of yellow poplar wood by steam explosion treatment. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 55(2): 327-332.
- Kang, C.W., Lee, Y.H., Kang, H.Y., Kang, W., Xu, H.R., Chung, W.Y. 2011. Radial variation of sound absorption capability in the cross sectional surface of yellow poplar wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 39(4): 326-332.
- Kang, C.W., Park, H.J., Jeon, S.S. 2012a. Sound absorption capability and bending strength of miscanthus particle based board. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 40(1): 38-43.
- Kang, C.W., Oh, S.W., Lee, T.B., Kang, W., Matsumura, J. 2012b. Sound absorption capability and mechanical properties of a composite rice hull and sawdust board. *Journal of Wood Science* 58: 273-278.
- Korean Industrial Standards, KS F 2814-2. 2002. Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-function method.
- Lee, N.H., Hayashi, K. 1997. The effect of low pressure steam explosion treatment on the improvement of permeability in the softwood disks. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 25(3): 37-42.
- Oh, S.W. 2013. Manufacture and physical properties of composite board with sawdust and orange peels. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 41(6): 528-534.
- Park, H.J., Oh, S.W., Wen, M.Y. 2012. Manufacture and properties of miscanthus-wood particle composite boards. *Journal of Wood Science* 58: 459-464.
- Park, H.J., Wen, M.Y., Cheon, S.H., Hwang, J.W., Oh, S.W. 2012. Flame retardant performance of wood treated with flame retardant chemicals. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 40(5): 311-318.
- Park, H.M., Lee, S.K., Seok, J.H., Choi, N.K., Kwon, C.B., Heo, H.S., Byeon, H.S., Yang, J.K., Kim, J.C. 2011. Effect of green tea content on dynamic modulus of elasticity of hybrid boards composed of green tea and wood fibers, and prediction of static bending strength performances by flexural vibration test. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 39(6): 538-547.
- Wang, Q., Li, J.J., Winandy, E. 2004. Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood. *Wood Science and Technology* 38: 375-389.
- Wassilieff, C. 1996. Sound absorption of wood-based materials. *Applied Acoustics* 48(4): 339-356.
- Watanabe, T.T., Matsumoto, N., Kinoshita, Hayashi, H. 1967. Acoustical study of woods and wood products. *J. Japan Wood Research Society* 13(5): 177-182.