

유기용매 전처리에 의한 목재의 흡음성능 변화*1

강 춘 원*2† · 최 인 규*3 · 곽 기 섭*3 · 여 환 명*3 · 이 남 호*4 · 강 호 양*5

Changes of Sound Absorption Capability of Wood by Organosolv Pretreatment*1

Chunwon Kang*2† · Ingyu Choi*3 · Kiseob Gwak*3 · Hwanmyeong Yeo*3 ·
Namho Lee*4 · Ho-Yang Kang*5

요 약

유기용매 전처리에 의한 목재 횡단면의 흡음성능과 구조적 특징의 변화를 관찰하고자 낙엽송과 백합나무로부터 원반형 시험편을 채취하였다. 탈 섬유소처리를 한 후 처리목재의 구조적 특징 변화를 관찰하고, 전달함수법을 이용하여 섬유방향 흡음율을 측정하여 이를 무처리 시의 결과와 비교하였다. 측정주파수범위(50~6,400 Hz)에서 유기용매 전처리 시험편이 무처리 시험편보다 높은 흡음율을 나타내었으며, 특히 2~4 kHz의 주파수영역에서는 90% 정도 높은 흡음율을 나타내었다. 70~120°C에서 유기용매 전처리한 목재는 무처리 목재와 비교하여 1.0% 미만의 중량 감소율을 보였고, 현미경에 의해 해부학적 구조 변화를 관찰할 수 있었다. 측정주파수영역에서의 흡음을 증가는 유기용매 전처리에 의한 목재의 구조적 변화에 의한 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

Sound absorption capability and anatomical features of the organosolv pretreated Japanese

*1 접수 2011년 12월 8일, 채택 2012년 7월 22일

*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 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, Department of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*4 전북대학교 농업생명과학대학 목재응용과학과, Department of Wood Science Technology, College of Agriculture & Life Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

*5 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과, Department of Forest Products, College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 강춘원(e-mail: kcwon@jbnu.ac.kr)

larch and yellow poplar wood were estimated by stereoscopic observation and two microphone transfer function method. Sound absorption capabilities of organosolv treated wood, in the entire estimated frequency range (50~6,400 Hz), were higher than those of control specimen. Especially, the treated wood's absorption capabilities measured in the frequency range of 2~4 kHz were about two times higher than those of control specimen. By the organosolv pretreatment (at 70~120°C), the weight loss of wood occurred in less than 1% of total weight of wood and the porosity of wood increased slightly. In addition, it was presupposed that microstructural changes of wood occurred during organosolv pretreatment and this structural changes cause the increasing of the sound absorption capability of wood.

Keywords: sound absorption coefficient, organosolv pretreatment, anatomical changes

1. 서 론

목재는 외관이 미려하고 가공성이 좋으며 우수한 자체강도를 갖고 있는 등의 장점 때문에 건축재료로 자주 사용되어 왔는데 목재가 건축재료로, 특히 실내의 벽체로 사용되어질 때 고려되어야 할 사항 중의 하나가 흡음성능이다. 흡음은 음이 가지고 있는 에너지를 소실 또는 감소시키는 과정으로, 동일한 내부공극 크기를 지닌 물질이라 할지라도 음전달 방향에 대한 내부공극의 형태에 따라 다른 기작을 보인다.

목재의 경우 흡음 기작에 기여하기 적당한 횡단면은 흡음성능이 다른 방향보다 우수하나 방사단면이나 접선단면은 흡음율이 5% 내외로 낮은 편이다.

경제적이고도 효율적으로 목재를 이용하기 위하여 목재가 지니는 장점을 극대화시키고 단점을 극복하기 위한 물리적 또는 화학적 처리기술이 지속적으로 개발되어져 왔다. 물리적 방법으로는 건조특성이나 치수안정성 또는 역학적 성질 개선을 목적으로 열처리나 열압축처리, 폭쇄처리, 냉동전처리 등이 개발되었고, 화학적 방법으로는 펄프수율 개선, 치수안정성 개선, 보존성향 향상 등의 목적으로 탈리그닌처리, 탈섬유소처리 등이 개발되었다.

목재와 목질보드의 흡음성과 관련하여 강 등(2005; 2010)은 탈리그닌처리, 폭쇄처리 등에 의해 목재의 섬유방향, 즉 횡단면 음입사 시 흡음성능과 기체투과성이 개선되는 사실을 보고하였으며 목질보드의 경우 목표비중을 조절하여 저비중보드로 만들

면 흡음율이 큰 보드를 제작할 수 있다고 보고하였다(강과 이, 2005; 강 등, 2008; 강 등, 2010; Kang et al, 2008; Kang et al, 2010; Kang et al, 2011).

본 연구에서는 원반(log cross section)형태로 가공한 목재의 공극구조를 변화시켜 횡단면의 흡음성능 개선효과를 검토하기 위해 목재원반 상태에서 유기용매 전처리를 실시하여(Koo et al, 2011; Teramoto et al, 2008), 실용주파수대역에 해당하는 50~6,400 Hz 범위에서 흡음율의 변화를 측정하였다. 이때 폭쇄처리효과를 확인하기 위해 유기용매 전처리 전에 시편을 폭쇄처리하여 무처리와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목재시험편

두께 32 mm의 낙엽송(*Larix kaempferi*)과 백합나무(*Liriodendron tulipifera*)를 무처리 원반과 폭쇄처리 원반으로 구분하여 직경 29.9 mm으로 선삭가공하였다. 무처리원반과 폭쇄처리원반 간의 변이를 최소화하기 위해 연륜폭과 무게 등을 측정, 비교하여 균일한 원반을 흡음율 시험에 공시하였다. 이들 시험편으로 흡음율을 측정된 후 동일한 시험편을 유기용매 전처리하고 재차 흡음율을 측정하여 흡음 성능의 변이를 측정하였다.

2.2. 저압스팀 폭쇄처리

폭쇄처리는 전보(Kang *et al.*, 2010)에 설명한 것과 같은 것을 사용하였다. 온도, 압력은 각각 158°C와 5 기압으로 정하였으며, 처리시간 600초 동안 가열과 가압을 유지하고 폭쇄한 후 60초 휴지하였다. 이 과정을 1회로 하여 3회 반복 처리한 시험편을 사용하였다.

2.3. 유기용매 전처리

낙엽송과 백합나무 원반을 유기용매 전처리 방법으로 처리하였다. 50% (v/v) 에탄올, 1% (w/w) 황산 촉매가 함유된 용매에 목재원반을 침지하여 스테인레스 반응기를 이용하여 목포온도에서 10분 동안 처리하였다. 유기용매 전처리가 완료된 시험편을 데시케이터에서 건조시킨 후 중량 감소율을 측정하였다.

2.4. 흡음율 측정

흡음율 측정은 전보(강 등, 2008)와 마찬가지로 B & K사의 impedance tube, pulse분석장치 그리고 스펙트럼 아날라이저를 이용하여 전달함수법(transfer function method)으로 실용주파수범위에서의 흡음율을 측정하였다. 흡음율 측정 시, 임피던스튜브를 사용하는데 임피던스튜브 직경의 주파수 제한으로 고주파수영역은 29 mm, 저주파수영역은 99.0 mm의 두 직경에서 흡음율을 측정하는데 본 연구에서는 직경 29 mm의 소형 임피던스관을 이용하여 500~6.4 kHz 구간의 주파수변화에 따른 흡음율 변이를 측정하였다.

시험 시 유기용매 전처리 전의 외부조건은 온도, 상대습도, 기압이 각각, 11°C, 48%, 1,030 hPa, 또한 음속, 공기밀도 그리고 음향 임피던스는 각각 337.93 m/s, 1.26 kg/m³, 426.0 Pa/[m/s] 조건에서 시험하였으며 유기용매 전처리 후의 시험 시 외부조건은 온도, 상대습도, 기압이 각각, 26°C, 63%, 1,004 hPa, 또한 음속, 공기밀도 그리고 음향 임피던스는 각각 346.73 m/s, 1.17 kg/m³, 404.7 Pa/[m/s]이었으며 처리 전과 처리 후의 흡음율은 외부조건의 차이가 보

Table 1. Weight loss (%) by organosolv pre-treatment

Temperature (°C)	<i>L. kaempferi</i>		<i>L. tulipifera</i>	
	Explosion	Normal	Explosion	Normal
< 100	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
110	-0.6	0.6	0.5	-0.6
120	0.2	0.9	0.7	1.0
130	5.7	5.0	6.7	5.1

정되어 계산되므로 외부시험조건에 차이에 의한 영향은 없는 것으로 상정하였다.

2.5. 목재조직 관찰

유기용매 전처리한 낙엽송과 백합나무 목재시험편의 횡단면을 실체현미경(digital microscope)을 이용하여 50배의 배율로 조직구조변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기용매 전처리에 의한 중량 감소

유기용매 전처리는 바이오매스의 효소당화율을 통해 글루코오스를 효과적으로 획득하기 위해 고안된 전처리 방법이다. 특히, 리그닌 함량이 높은 목질계 바이오매스의 전처리에 탁월하며, 유기용매 전처리를 통하여 리그닌 및 자일로오스가 효과적으로 제거되는 것으로 알려져 있다(Holtzaple and Humphrey, 1984; Pan *et al.*, 2006). 본 연구에서는 시료의 원형을 유지하는 상태에서 목재 구성 성분을 제거하거나 구조적인 변화를 일으키기 위하여 일반적인 유기용매 전처리 온도보다 낮은 온도(70~130°C)에서 유기용매 전처리를 실시하였다(Hage *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2008).

유기용매 전처리 결과, 100°C 미만에서는 중량 감소율이 0.5% 미만이었으며, 120°C까지 전처리 온도가 상승했음에도 불구하고 1.0% 미만의 중량 감소율을 보여주었다(Table 1). 130°C 이상으로 유기용매

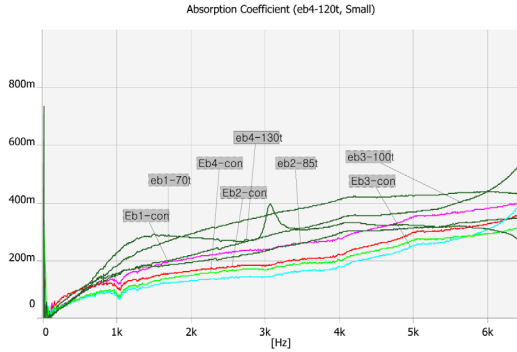


Fig. 1. Comparison of sound absorption coefficients of yellow poplar wood between organosolv-treated wood after steam-explosion treatment and only steam-explosion treated woods.

Notes : -con means only steam-explosion treated, -number means temperature at organosolv treatment.

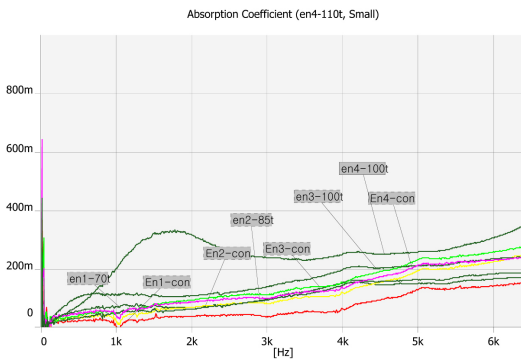


Fig. 2. Comparison of sound absorption coefficients of the Japanese larch wood organosolv-treated after steam-explosion treatment to those only steam-explosion treated.

Notes : -con means only steam-explosion treated, -number means temperature at organosolv treatment.

전처리를 했을 경우, 중량 감소율이 급격하게 증가하였는데, 목재원반의 외형 변화가 심해지면서 5.1~6.7%의 높은 중량 감소율을 보여주었다. 폭쇄에 의한 중량 감소율의 영향을 확인한 결과, 낙엽송의 경우, 폭쇄에 의한 중량 감소율의 영향이 거의 나타나지 않았으며, 백합나무의 경우, 폭쇄를 실시한 목재

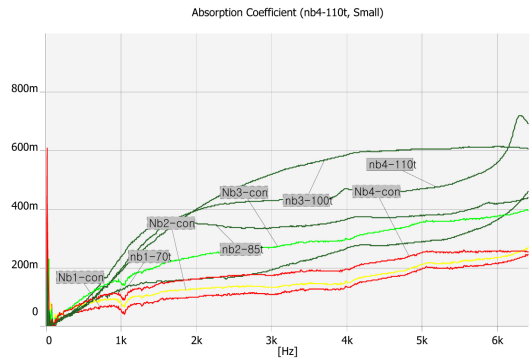


Fig. 3. Comparison of sound absorption coefficients of the yellow poplar wood organosolv-treated to those non-treated.

Notes : -con means non-treated, -number means temperature at organosolv treatment

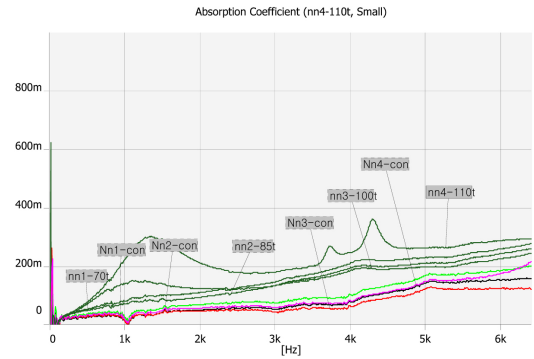


Fig. 4. Comparison of sound absorption coefficients of the Japanese larch wood organosolv-treated to those non-treated.

Notes : -con means non-treated, -number means temperature at organosolv treatment

원반의 중량 감소율이 약간 더 크게 나타났다.

3.2. 유기용매 전처리에 의한 흡음성능의 변화

Fig. 1부터 Fig. 4는 낙엽송과 백합나무 목재원반의 무처리와 유기용매 전처리한 시험편의 500 Hz에서 6.4 KHz의 주파수범위에서의 흡음율을 나타내고 있다. 그림에서 X축이 측정주파수, Y축이 흡음율을



Fig. 5. A microscopic photo of a cross section of a Japanese larch specimen after organosolv pretreatment.

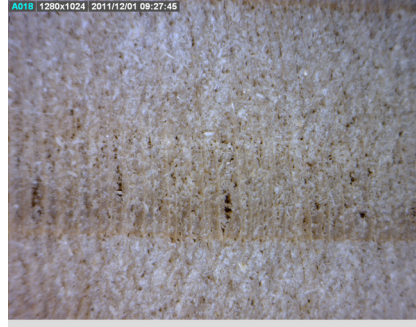


Fig. 6. A microscopic photo of a cross section of a yellow poplar specimen after organosolv pretreatment.

각각 나타내고 있으며 흡음율의 수치는 최소 0에서 최대 1의 수치를 나타내고, m은 mili의 약자로 1/1,000을 의미하여 Y축 수치에 0.1을 곱하면 %로 환산된다. 낙엽송과 백합나무의 흡음율을 비교해 보면 각각의 그래프는 측정주파수에서의 흡음율을 나타내고 있는데, 낙엽송보다 백합나무가 전반적으로 높은 흡음율을 나타내고 있다.

한편, 각각의 그래프에서 e, n과 E, N은 유기용매 전처리와 미처리를 의미하며 -t로 표기한 숫자는 유기용매 전처리 시의 처리온도를 나타내어 이들 그래프 간의 비교는 유기용매 전처리와 처리온도의 영향을 나타내고 있다. 즉, -con으로 표시한 무처리시험편으로 흡음율을 측정하고 이 시험편을 유기용매 전처리하여 다시 흡음율을 측정하는 방법으로 유기용매 전처리에 의한 흡음율의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 모든 주파수범위에서 유기용매 전처리한 후의 흡음율이 처리전의 흡음율보다 높은 수치를 나타내었다. 또한 이러한 경향은 처리온도가 높을수록 그 효과가 커지는 경향을 나타내었다. 따라서 처리온도가 높을수록 유기용매 전처리 효과로 흡음률이 높아지는 것으로 이해할 수 있으나 중량 감소율이 1% 미만으로 추출물이 빠져나오거나 활엽수의 타일로스시스와 침엽수의 벽공폐쇄의 제거와 같은 국부적인 미세구조변화로 투과성이 향상되어 흡음율이 상승했을 것으로 추측되며 전자현미경 레벨에서의 고찰이 요구된다. 또한 재료의 흡음율의 상승은 음이 입사하는 재료표면의 탄성율과도 관계가 있으므로,

유기용매 전처리에 의한 세포벽 연화로 탄성율이 감소하면서 진동감쇠능력이 상승하는 것으로도 해석할 수 있다. 한편, 백합나무의 경우 130°C로 처리할 경우 시험편의 형상변이가 심하여 측정이 불가하였다.

측정주파수에 따른 흡음율은 1 kHz를 넘어서는 고주파수대역에서 그 차이가 더욱 커졌으며 2 kHz 부근과 6 kHz 부근의 주파수 영역에서는 보통의 목재 원반보다 유기용매 전처리한 원반이 거의 두 배 정도 높은 흡음율을 나타내었다. 이처럼 흡음율이 증가하는 것은 유기용매 처리에 의해 목재횡단면의 구조가 변화되었음을 예측할 수 있으며 유기용매 전처리가 비교적 넓은 주파수 대역에서 흡음성능을 개선하는데 기여하는 사실을 알 수 있다.

이러한 결과는 목재를 이용한 환경친화적인 흡음재료로의 활용이 가능하고 다른 재료와의 조합 등으로 흡음능력의 제고가 기대되어 흡음재료로 적용가능할 것으로 사료된다. 반면, 본 결과는 관내에서 수직입사흡음율을 측정하여 얻은 결과로서 斜面入射 또는 亂入射하는 음에 대하여서는 잔향실법으로 흡음율을 측정해 보는 등의 추후 검토가 요구된다.

3.3. 유기용매 전처리에 의한 구조적 특성의 변화

Figs. 5, 6은 유기용매 전처리하여 데시케이터 건조 후의 목재표면을 실체현미경을 이용하여 50배의 배율로 관찰한 것인데, 그림을 통하여 유기용매처리

에 의해 만재부에 미세할렬이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 미세할렬이 음입사면의 공극으로 작용하여 다소나마 흡음성능 제고에 기여할 수 있으나 3.2항에서 지적한 바와 같이 흡음성능 제고에 기여가 기대되는 타일로시스나 벽공폐쇄 제거와 같은 목재의 조미세구조적변화는 SEM에 의하여 관찰되어야 할 것으로 사료되었다.

4. 결 론

낙엽송과 백합나무원반의 섬유방향에 입사하는 음파에 대한 흡음성능의 개선을 시험하기 위해 목재를 유기용매 전처리하여 목재표면의 구조적 특징의 변화 그리고 전달함수법에 의한 흡음율 측정으로 흡음성능의 변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유기용매 전처리한 시험편이 거의 전 주파수대역에서 보통의 목재보다 높은 흡음율을 나타내었다.
2. 유기용매 전처리한 목재는 중량 감소율에 큰 변화가 없음에도 불구하고 목재조직의 변화로 인하여 흡음 효과가 개선되는 것으로 사료되었다.

사 사

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No. 00047661-1)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. 강춘원, 박희준. 2001. 공명흡음에 의한 목재와 목절보드의 흡음성능개선. 목재공학 29(1): 16~21.
2. 강춘원, 이남호. 2005. 탈리그닌처리에 의한 목재의 흡음성능과 구조적특징의 변화. 목재공학 33(4): 9~14.
3. 강춘원, 강욱, 정인수, 박희준, 전순식. 2008. 버섯폐골목의 흡음성능과 구조적특징. 목재공학 36(1): 54~60.
4. 강춘원, 강욱, 김광철. 2010. 고흡음성 목재의 흡음성능과 구조적특징. 목재공학 38(3): 54~60.
5. 강춘원, 이용훈, 강호양, 강욱, 서혜란, 정우양. 2011. 백합나무 횡단면 흡음성능의 방사방향변이. 목재공학 39(4): 326~332.

6. 김병삼 외 5인. 1997. 소음진동학. pp. 261~279.
7. 김정석. 1992. 음향학개론, 한미. pp. 74~94.
8. 이남호, 임화남. 1997. 침엽수 원판의 투과성 증진을 위한 저압증기폭쇄처리 효과. 목재공학 25(3): 37~42.
9. 정우양, 강욱. 2003. 음향환경과 목재과학. 목재공학 31(2): 1~15.
10. 한국공업규격 KS F 2814-2. 2002. 임피던스관에 의한 흡음계수와 임피던스의 결정방법- 제2부: 전달함수법.
11. 홍병화. 1989. 목재단면의 흡음계수와 음향임피던스. 목재공학 17(2): 26~33.
12. 홍병화. 1996. 정상파장치에 의한 라왕합판의 흡음과 음향임피던스. 한국가구학회지. 7(1·2): 21~27.
13. Akshaya J. and K. Gupta. Characterization of pore structure of filtration media. 2002. Fluid/particle Separation Journal 14(3): 227~241.
14. Koo, B-W., H-Y. Kim, N. H. Park, S-M. Lee, H. M. Yeo, and I-G. Choi. 2011. Organosolv pretreatment of *Liriodendron tulipifera* and simultaneous saccharification and fermentation for bioethanol production. Biomass and Bioenergy 35(5): 1833~1840.
15. Kang, C. W., W. Kang, W. Y. Chung, J. Matsumura, and O. Kazuyuki. 2008. Changes In Anatomical Features, Air Permeability And Sound Absorption Capability Of Wood By Delignification Treatment. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 53(2): 479~483.
16. Kang, C. W., G. C. Kim, H. J. Park, N. H. Lee, W. Kang, and J. Matsumura. 2010. Changes in permeability and sound absorption capability of yellow poplar wood by steam explosion treatment. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 55(2): 327~332.
17. Kang, C. W., S. W. Oh, T. B. Lee, W. Kang, and J. Matsumura. 2012. Sound absorption capability and mechanical properties of a composite rice hull and sawdust board. Journal of Wood Science, DOI 10.1007/s10086-011-1243-5.
18. Wassilieff, C. 1996. Sound Absorption of Wood-Based Materials. Applied Acoustics. 48(4): 339~356.
19. Holtzapple, M. T. and A. E. Humphrey. 1984. The effect of organosolv pretreatment on the enzymatic hydrolysis of poplar. Biotechnology and Bioengineering 26(7): 670~676.
20. Hage, R. E., N. Brosse, P. Sannigrahi, and A. Ragauskas. 2010. Effects of process severity on

- the chemical structure of *Miscanthus* ethanol organosolv lignin. *Polymer Degradation and Stability* 95(6): 997~1003.
21. Watanabe, T. T. Matsumoto, N. Kinoshita, and H. Hayashi. 1967. Acoustical study of woods and wood products. *J. Japan wood res. soc.* 13(5): 177~182.
22. Pan, X., D. Xie, R. W. Yu, and J. N. Saddler. 2008. The bioconversion of mountain pine beetle-killed lodgepole pine to fuel ethanol using the organosolv process. *Biotechnology and Bioengineering* 101(1): 39~48.
23. Pan, X., N. Gilkes, J. Kadla, K. Pye, S. Saka, D. Gregg, K. Ehara, D. Xie, D. Lam, and J. N. Saddler. 2006. Bioconversion of hybrid poplar to ethanol and co-products using an organosolv fractionation process: Optimization of process yields. *Biotechnology and Bioengineering* 94(5): 851~861.
24. Teramoto, Y., S-H. Lee, and T. Endo. 2008. Pretreatment of woody and herbaceous biomass for enzymatic saccharification using sulfuric acid-free ethanol cooking. *Bioresource Technology* 99(18): 8856~8863.