

탈리그닌처리에 의한 목재의 흡음성능과 구조적 특성의 변화*1

강 춘 원*2† · 이 남 호*3

Changes of Sound Absorption Capability and Anatomical Features of Wood by Delignification Treatment*1

Chunwon Kang*2† · Namho Lee*3

요 약

목재에 대한 탈리그닌처리에 의한 목재의 흡음성능과 구조적 특성의 변화를 관찰하고자 목재횡단방향으로 채취한 원반형시험편을 탈리그닌처리하여 무 처리 목재와 구조적 특성의 변화를 관찰하고, 흡음율을 측정 비교하였다. 측정주파수범위에서 탈리그닌처리한 시험편이 보통의 시험편보다 높은 흡음율을 나타내었으며, 특히 2~4 KHz의 주파수영역에서는 50% 정도 높은 흡음율을 나타내었다. 또한 탈리그닌처리한 목재는 무 처리 목재보다 중량이 8% 정도 감소하였으며, 탈리그닌처리한 목재의 횡단면에서는 다수의 미세할렬이 발생하여 이들이 흡음 공극으로 작용하여 특정주파수영역에서 흡음율이 증가된 것으로 사료된다.

ABSTRACT

Changes of sound absorption capability and anatomical features of wood by delignification treatment was estimated. Sound absorption coefficients of wood and delignificated wood had been measured by the two microphone method and anatomical changes of delignificated wood examined by SEM observation. The sound absorption coefficients of delignificated wood generally seemed to be higher than those of normal specimen. Especially, in the frequency range of 2 to 4 KHz, they was about 50% higher than those of normal specimen. Abundant small cracks generated on the cross sectional surface of

* 1 접수 2005년 2월 2일, 채택 2005년 6월 9일

이 논문의 일부는 2004 한국목재공학회 추계학술발표대회에 발표되었음.

* 2 益山大學木材工業科 Department of Forest products, Iksan National College, Iksan 570-752, Korea

* 3 全北大學校木材應用科學專攻 Wood Science & Technology Major, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 강춘원(e-mail: kwon@iksan.ac.kr)

delignificated wood and the weight of delignificated wood decreased about 8% than that of normal wood. It was considered that the small cracks formed by delignification treatment behaved as a sound absorbing pore.

Keywords: Sound absorption coefficient, delignificated wood, anatomical changes

1. 서 론

예로부터 인간생활을 지지해온 목재는 외관이 미려하고 가공성이 좋으며 수중에 따라 차이는 있으나 타 재료에 비해 비교적 우수한 자체강도를 갖고 있어 건축재료로 자주 사용되어 왔다. 목재가 건축재료로, 특히 실내의 벽체로 사용되어질 때 고려되어야 할 사항 중의 하나가 흡음성능이다(정 등, 2003). 실내에서 벽체의 흡음성능이 너무 작으면 잔향시간이 길어져 연속되는 음파의 구분이 어려워지고 너무 큰 경우에는 음이 너무 빨리 소멸되어 음의 인식이 어려워지기 때문에 적당한 흡음성능이 요구되는데(김정석, 1992), 목재는 흡음율이 5% 내외인 음향반사재료이다.

한편 흡음은 음이 가지고 있는 에너지를 소실 또는 감소시키는 과정으로, 많은 공극을 가지고 있는 다공질재료의 음파와 공극간의 마찰에 의한 흡음, 벽면에 공기층을 두고 얇은 판을 설치하는 경우의 판진동에 의한 흡음, 그리고 공명기를 이용한 공명흡음 등으로 구분된다. 다공질형 흡음은 흡음재료의 두께에 따라 차이는 있으나 비교적 넓은 주파수대역에서 흡음효과가 우수하고 특히 고주파수영역에서의 흡음효과가 우수한 반면, 자체강도가 약하다. 판진동에 의한 흡음은 저주파수 영역의 흡음율이 증가하나 흡음효과가 비교적 작은 편이며, 단일 공명기에 의한 흡음은 좁은 주파수대역에서 높은 흡음효과가 나타난다(강 등, 2001).

목재는 생태적 특성으로 많은 공극을 가지고 있지만 다공질형 흡음에 유용한 연속되는 공극이 적어 흡음율이 비교적 낮은 편이다. 이러한 목재의 흡음성을 개선할 수 있다면 새로운 개념의 흡음설계가 가능할 것이며, 효율적인 목재자원이용에 기여하게 될 것이다.

목질소재의 흡음에 관한 연구로는 Watanabe 등(1967)이 버드나무 등 6개 수종의 수직입사 흡음율

을, 홍(1989, 1996)이 우리나라산 침엽수와 활엽수 각 5수종씩을 각 단면별로 그리고 라왕합판의 흡음율을 보고하였는데, 단면별로 측정된 흡음율의 결과에서 횡단면이 가장 높은 흡음율을 나타낸다고 보고하였다. 또한李 등(1997)은 목재이용 시 원반형태로 목재를 이용하는 것이 목재절삭손실을 줄이며 목재고유의 무늬의 장식성을 제고하는 것이 가능하다고 하였다.

본 연구에서는 원반(log cross section)형태로 가공한 목재의 공극구조를 변화시켜 횡단면의 흡음성능 개선효과를 검토하기 위해 목재원반상태에서 홀로셀룰로오스정량법에 의한 탈리그닌처리를 실시하여(Kang, 2003), 목재표면의 구조적 특징의 변화와 실용주파수대역에 해당하는 50~6400 Hz 내에서의 흡음율의 변화를 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목재시험편

두께 32 mm의 낙엽송(*Larix kaemferi*)을 고주파진공조건한 다음, 무처리 원반과 탈리그닌처리 원반으로 구분하였다. 각 처리의 원반들을 다시 직경 100 mm의 저주파수대역시험용과 직경 29.9 mm의 고주파수대역시험용으로 선삭가공하여 흡음율을 측정하였다. 각 처리 당 반복수는 3회이었고, 무 처리원반과 탈리그닌처리원반 간의 변이를 최소화하기위해 연륜 폭과 무게 등을 측정, 비교하여 균일한 원반을 흡음율 시험에 공시하였다.

2.2. 탈리그닌처리

고주파진공조건한 원반을 홀로셀룰로오스정량법

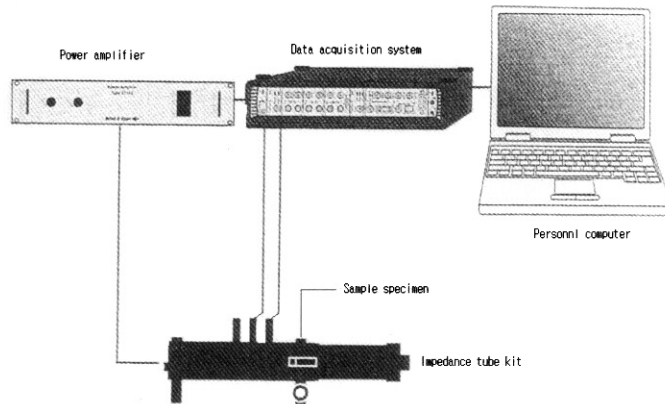


Fig. 1. A diagram for measuring sound absorption coefficients.

(Wise's method)으로 탈리그닌처리하였다. 즉, 알코올-벤젠 혼합용액에 48시간 침지하여 유지분을 추출시키고 아염소산나트륨과 빙초산을 첨가한 용액에 침지시킨 용기에 원반형 목재시험편을 넣고 이 용기를 증탕가열기를 이용하여 80°C 조건으로 유지하며 96시간 처리하였다. 탈리그닌처리가 완료된 시험편을 감압건조기에서 함수율 약 12%까지 건조시켰다. 이때 건조조건에 따른 시험편의 변화를 검토하기 위하여 동일한 조건의 시험편을 송풍오븐에서 건조하여 감압건조한 시험편과 비교하였다.

2.3. 흡음율측정

흡음율 측정은 Fig. 1과 같이 B&K사의 two microphone impedance tube와 pulse분석장치를 이용하여 50 Hz~6.4 KHz의 주파수범위에서의 수직입사흡음율을 측정하였다.

Impedance tube의 직경에 따른 주파수 제한으로 50 Hz~1.6 KHz의 주파수범위에서는 직경 100 mm의 관을 사용하였으며 1.6 KHz~6.4 KHz의 고주파수범위에서는 직경 29.9 mm의 impedance tube를 사용하였다. 직경 29.9 mm의 경우 1.6 KHz 이하의 주파수범위까지 포함하여 전주파수범위에서 측정은 가능하지만 저 주파수영역에서는 내경이 큰 관을 사용한 경우보다 신뢰성이 저하되므로 1.6 KHz 이상을 적용하였다(Jung *et al.*, 1999).

한편, 타 재료와의 비교 또는 탈리그닌처리와 무 처리재의 흡음성능을 비교하기 위하여 소음저감계수 (noise reduction coefficient: NRC)를 구하였는데, 측정된 주파수-흡음율곡선에서 250, 500, 1000, 2000 Hz의 흡음계수치를 산술평균하였다.

2.4. 현미경관찰

흡음율 측정이 끝난 목재시험편을 실체현미경으로 관찰하여 탈리그닌처리한 목재표면의 육안적 변화를 관찰하였다. 또한 목재시험편에서 소시편을 절취하여 전자현미경으로 미세구조의 변화를 관찰하였다. 전자현미경관찰은 日本電子製 走査電子顯微鏡(JSM-5600 LV)을 이용하였으며, 통내의 압력은 20~40 Pa, 가속전압은 20 Kv, 작동거리는 10 mm 그리고 배율은 100배, 800배로 설정하여 목재횡단면을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탈리그닌처리에 의한 흡음성능의 변화

Fig. 2는 보통의 목재원반과 탈리그닌처리한 시험편의 50 Hz에서 6.4 KHz의 주파수범위에서의 흡음율을 나타내고 있는데, 각각 3개씩의 시험치를 평균

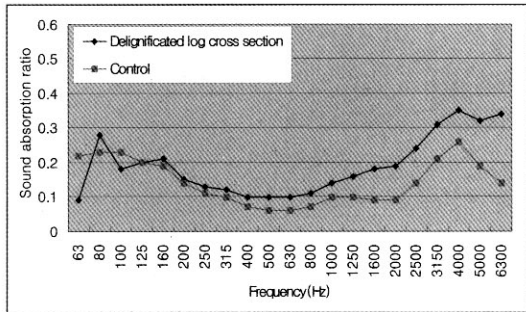


Fig. 2. Relationship between frequency and sound absorption coefficients of normal wood and delignified wood.

한 수치이며 중첩되는 주파수범위는 저주파수영역과 고주파수영역의 수치를 컴퓨터로 보정하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 모든 주파수범위에서 탈리그닌처리한 원반이 보통의 목재판보다 약간 높은 수치를 나타내었다. 또한 이러한 경향은 1 KHz를 넘어서는 고주파수대역에서 그 차이가 더욱 커졌으며 2 KHz 부근과 6 KHz 부근의 주파수 영역에서는 보통의 목재원반보다 탈리그닌처리한 원반이 거의 두 배 정도 높은 흡음율을 나타내었다. 이처럼 고주파수 영역에서 흡음율이 증가하는 것은 전형적인 다공질형 흡음특성으로 탈리그닌처리에 의해 목재횡단면의 공극구조가 확대되었음을 알 수 있다.

이러한 결과는 목재횡단면의 다공성이 높아진 것 이외에 탈리그닌처리한 목재를 재건조 할 때 발생하는 미세할렬에 음파가 흡수되어 흡음율이 높아진 것으로 사료된다.

이 결과에서 탈리그닌처리한 목재원반의 흡음계수가 유리솜이나 암면의 흡음계수보다는 낮지만 탈리그닌처리가 비교적 넓은 주파수 대역에서 흡음성능을 개선하는데 기여하는 사실을 알 수 있다.

한편, 소음저감계수 NRC는 탈리그닌처리한 목재원반이 0.15로 무 처리원반의 0.10보다 50% 정도 개선된 수치를 나타내었다. 이러한 결과는 유리솜이나 암면에 비해 흡음력은 떨어지지만 환경친화적인 흡음재료로의 활용이 가능하고 다른 재료와의 조합 등으로 흡음능력의 제고가 기대되어 흡음재료로 적용가능할 것으로 사료된다.

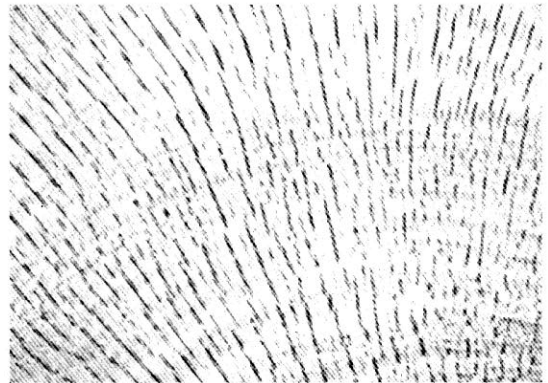


Fig. 3. Typical anatomic changes of cross sectional surface of wood by delignification treatment.

3.2. 탈리그닌처리에 의한 구조적 특징의 변화

3.2.1. 육안적 특징의 변화

Fig. 3은 탈리그닌처리 과정에서 거의 포수상태에 도달한 원반을 76 mmHg, 온도 40°C 조건으로 약 48 시간 동안 감압건조 했을 때, 목재표면의 육안적 구조 변화를 보여주고 있다. 먼저 무 처리목재에 비해 색깔이 연해지고, 목재표면에 미세한 크랙이 다수로 원반 표면에 골고루 발생한 것을 알 수 있다. 이는 탈리그닌처리에 의해 강도적으로 약해진 표면이 비교적 건조응력이 적은 감압건조조건에서도 작은 할렬이 다량으로 발생한 것으로 사료된다. 한편, 탈리그닌처리로 거의 포수상태에 도달한 원반을 통상의 열기건조실에서 건조하면 심각한 수준의 V형 할렬이 발생하였다. 통상의 열기건조조건에서 목재원반을 건조하면 섬유방향수분이동이 빨라져 심한 건조응력이 발생하여 할렬이 자주 발생하는데, 원반의 건조 시에 발생하는 건조응력은 판재나 각재에 비해 건조응력이 심각할 수 있다(李 등, 2003).

3.2.2. 미세구조적 변화

Fig. 4와 Fig. 5는 보통의 목재와 탈리그닌처리한

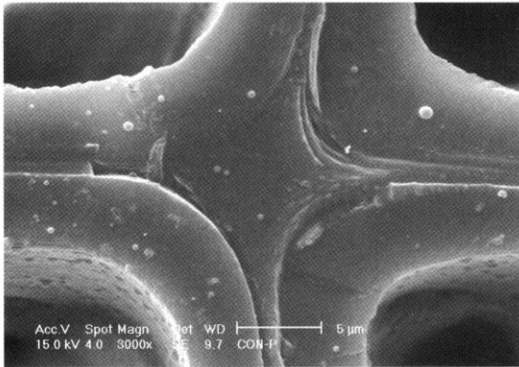


Fig. 4. Cross sectional surface of normal wood.

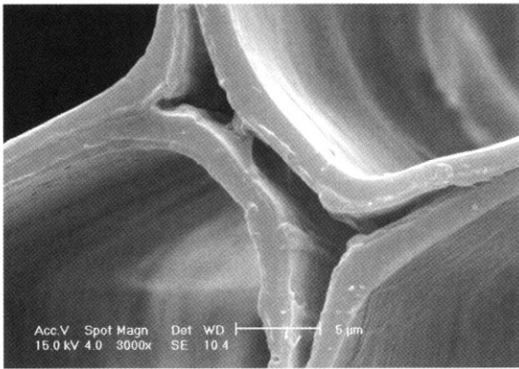


Fig. 5. Typical anatomic changes of cross sectional surface of wood by delignification treatment.

목재의 횡단면을 전자현미경으로 관찰한 것인데 세포 간층물질이 용출되어 없어지고 세포벽사이가 벌어져서 공극이 확대된 구조적변화를 관찰할 수 있다.

탈리그닌처리에 의한 목재조직의 변화는 비교적 저배율의 현미경관찰로도 알 수 있는데 Fig. 6은 춘재와 추재의 경계부를 100배의 배율로, Fig. 7은 추재부를 800배의 배율로 나타내고 있다.

침엽수 춘재부와 추재부는 비교적 강도차이가 심한데(강 등, 2001), Fig. 6에서 알 수 있듯이 약한 춘재부는 탈리그닌처리에 의해 더욱 약화되어 감압수조에서 수침시켜 포수상태에 도달한 목재시험편에서 현미경관찰을 위하여 마이크로톱으로 표면을 처리할 때의 작은 응력에도 세포가 잘리지 못하고 찢겨져나가 정상세포와의 미세구조의 비교가 곤란할 정도로 보통의

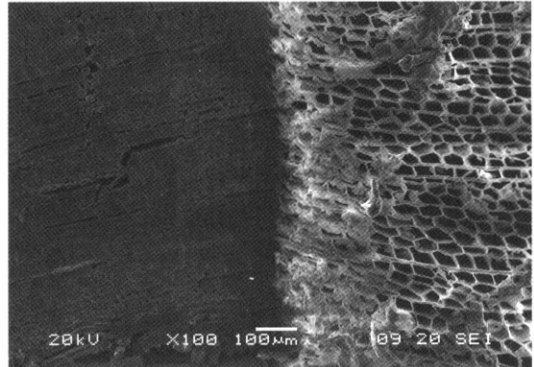


Fig. 6. Typical anatomic changes of cross sectional surface of wood by delignification treatment.

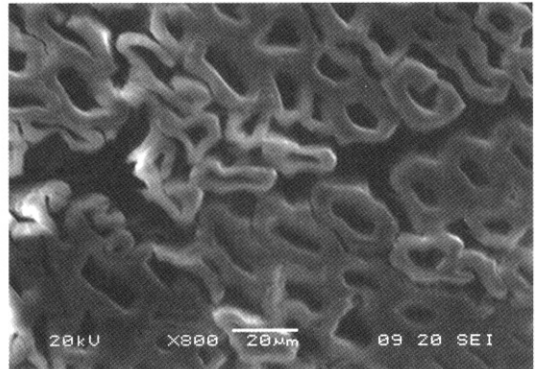


Fig. 7. Typical anatomic changes of cross sectional surface of wood by delignification treatment.

목재세포벽의 춘재부보다 강도적으로 약해져있는 사실을 알 수 있었다. 추재부에서는 Fig. 6의 추재부와 Fig. 7에서 알 수 있듯이 목재세포벽간의 세포간층물질이 용출되어 없어지고 이에 따라 인접세포간의 접촉강도가 약화되어 다량의 미세할렬이 발생하였다.

이러한 미세구조적 변화와 다량의 미세할렬의 발생으로 목재표면이 보통목재에 비해 부드러워지고 흡음율이 높아진 것으로 생각된다. 한편, 본 연구에서 얻어진 탈리그닌처리에 의한 흡음성능의 변화는 관내에서 수직입사흡음율을 측정하여 얻은 결과로서 斜面入射 또는 亂入射하는 음에 대하여서는 잔향실법으로 흡음율을 측정해 보는 등의 추후 검토가 요구된다.

4. 결 론

낙엽송원반의 섬유방향에 입사하는 음파에 대한 흡음성능의 개선을 시험하기 위해 목재를 탈리그닌처리하여 목재표면의 육안적 구조, 미세구조의 변화 그리고 관내법에 의한 흡음율측정으로 흡음성능의 변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탈리그닌처리한 시험편이 거의 전 주파수대역에서 보통의 목재보다 약간 높은 흡음율을 나타내었다.
- 2) 탈리그닌처리에 의해 목재표면에 미세한 할렬이 다수로 원반표면에 골고루 발생하여 흡음성능개선에 기여하는 것으로 사료되었다.
- 3) 탈리그닌처리한 목재는 목재세포벽간의 세포간극물질이 용출되어 없어서 흡음효과를 개선하는 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. 강춘원, 박희준. 2001. 공명흡음에 의한 목재와 목질보드의 흡음성능개선. 목재공학 29(1): 16~21.
2. 강춘원, 堤壽一, 장상식. 2001. 종압축하중하에서 춘재와 춘재의 역학적거동. 목재공학 29(2): 76~83.
3. 김병삼외 5인. 1997. 소음진동학: 261~279.
4. 김정석. 1992. 음향학개론, 한마: 74~94.
5. 이남호, 林和男. 1997. 침엽수 원반의 투과성 증진을 위한 저압증기폭쇄처리 효과. 목재공학 25(3): 37~42.
6. 이남호, 이성원, 최준호. 2003. 원반상슬라이스의 오본건조법에 의한 함수율의 원반내 방사방향 분포 추이 평가 (I). 목재공학 31(1): 10~15.
7. 정우양, 강욱. 2003. 음향환경과 목재과학. 목재공학 31(2): 1~15.
8. 정희석, 이준호, 강욱, 이남호. 2001. 가열관 압체식 진공 건조에서 침엽수 제재두께와 건조속도 및 건조시간계수의 관계. 목재공학 29(1): 1~8.
9. 정희석, 이준호, 강욱, 이남호. 2001. 침엽수 제재두께별 가열관 압체식 진공건조의 소요에너지. 목재공학 29(1): 9~15.
10. 홍병화. 1989. 목재단면의 흡음계수와 음향임피던스. 목재공학 17(2): 26~33.
11. 홍병화. 1996. 정상파장치에 의한 라왕합판의 흡음과 음향임피던스, 한국가구학회지. 7(1·2): 21~27.
12. KSF2814. 한국표준학회. 1996. 관내법에 의한 건축재료의 수직입사흡음을 측정방법.
13. Kang chunwon. 2003. Improvement of sound absorption capability of wood by delignification. Proceeding of the IAWPS2003: 948~951.
14. Jung S. S., C. H. Whang, Y. T. Kim, and J. G. Seo. 1999. The acoustic characteristics of a ceramic having a rectangular capillary tube. Ungyong Mulli., 12(1): 32~38.
15. 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.