

전통 대나무 악기재의 아세틸화*1

姜 琬 陽*2 · 李 鍾 信*2 · 許 鍾 允*2 · 李 寬 寧*2 · 沈 俊 吾*2

Acetylation of Traditional Bamboo Flute*1

Ho-Yang Kang*2 · Jong-Shin Lee*2 · Jong-Yun Hur*2 · Gwan-Young Lee*2 · Jun-Oh Sim*2

ABSTRACT

It has been reported that acetylation reduces the sorption of wood, thereby increasing the stability of the acoustic and dimensional properties of wood under conditions of changing humidity. Bamboos used for making a Korean traditional flute were acetylated and their dimensional properties were evaluated by measuring Weight Percent Gain and thickness swelling in water. Before acetylation bamboos were vacuum-dried to 3~6% at 50~80°C without degradation. The optimum reaction temperature and time for bamboo acetylation were found to be 120°C and 8 hours, respectively.

Keywords : Acetylation, bamboo, dimensional stability, vacuum drying

1. 서 론

국악기 중 대금, 단소 등 대나무 악기는 재료구입이 용이할 뿐만 아니라 가장 한국적인 소리를 내기 때문에 많은 사람들이 관심을 갖고 있으며, 쉽게 접할 수 있다. 이러한 대금, 단소 등 대나무 악기의 매력적인 소리는 외국인들에게도 호평을 받고 있어 세계시장에 우리의 전통악기를 수출함으로써 우리문화를 세계에 알릴 수 있으나, 악기의 제작방법이 전근대적이고 비과학적이기 때문에 균일한 제품을 대량생산할 수 없다.

전통적인 방식의 대금, 단소의 제작은 기간이 오래 걸리고 작업이 까다롭지만 오랜 기간 계승발전되어 온 기술이기 때문에 나름대로 장점을 가지고 있어 이를 과학화할

필요가 있다. 대나무 악기의 제작과정 중에 가장 힘들고 시간이 오래 걸리는 과정은 건조과정(일명 진뻐기)인 대수 개월에서 2~3년 걸리는 것이 보통이다. 오랜 기간 오줌통에 담근 후에 응달에서 말리는 방법을 사용하기도 하는데 이는 오줌내의 염분과 암모니아 성분을 대나무에 침투시켜 건조하는 일종의 화학건조라고 할 수 있다. 그러나 이렇게 오래 건조하여 만든 악기도 대기조건에 따라 치수가 변화하여 음질이 떨어지는 경우가 발생하게 된다.

목재악기는 주위 환경으로부터 흡습함으로써 음질의 변화가 발생한다. 따라서 아세틸화 처리 목재를 악기에 사용하면 흡습성을 높여 음질의 안정을 이룰 수 있다. Rowell(1986)는 지금까지 촉매를 사용하던 목재의 아세틸화를 무촉매로 간단히 처리할 수 있는 방법을 개발하

*1 접수 1995년 5월 8일 Received May 8, 1995

본 연구는 1994년도 한국과학재단의 연구비(핵심전문연구) 지원으로 수행되었음.

*2 충남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

였다. 이 방법은 시편을 무수초산에 담갔다가 꺼낸 후 무수초산을 회수하고 시편은 120°C 오븐에서 반응시킨 다음 시편을 진공 속에 넣어 미반응된 무수초산과 부산물인 초산을 시편에서 분리하는 방법으로 매우 좋은 효과를 얻었다(Rowell, 1990). Rowell과 Norimoto(1987)는 대나무 섬유를 무수초산에 1분간 담갔다가 3분간 배수하여 전건무게의 75~90%를 흡수시킨 후 120°C에서 반응시켜 17%의 중량증가를 얻었으며, 이 대나무 섬유로 만든 flake board는 무처리에 비해 흡수성이 절반 이하로 줄어들었다. Akitsu 등(1991)은 아세틸화 처리 등 8가지 화학가공처리된 목재의 동적 탄성계수를 측정하여, 기상 포르말린 처리를 제외한 모든 처리재에서 동적 탄성계수가 감소하였다고 발표하였다. 한편 Yano 등(1993)은 아세틸화 처리된 Sitka spruce와 단풍나무의 동적 탄성계수와 내부마찰계수를 측정하여, 소리전달속도는 약 5% 정도 떨어졌지만 흡음양도 그만큼 줄었기 때문에 음질에는 변화가 없다고 발표하였다.

본 연구에서는 전통 대나무 악기 제작 과학화를 위한 연구의 일환으로 대나무 악기재를 결합없이 신속히 건조할 수 있는 방법을 찾고 악기재 아세틸화 처리에 의한 치수안정 효과를 조사함으로써 전통 대나무 악기재의 건조 시간 단축과 음향적 성질 향상을 통한 대금, 단소 등의 전통 대나무 악기의 대량생산이 가능하도록 하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

왕대(*Phyllostachys bambusoides*)를 전라남도 담양과 지리산 쌍계사 지역에서 직접 채취하여 공시재료로 사용하였다.

2.2 함수율 및 전건비중 측정

대나무 마디 당 2개의 시편을 떼어 높이별 생재 함수율 및 전건 비중(전건 무게-전건 부피 기준)변화를 측정하였다. 전건 부피는 전건 시편에 왁스를 입힌 후 침지법으로 측정하였다.

2.3 시편의 건조

대나무는 1~2년생, 3~4년생, 5~6년생을 구분하여 각각 길이 20cm의 시편으로 제작하고, 이를 40, 50, 70, 80℃의 네 가지 온도수준에서 진공건조를 하였다. 시편의 목표함수율은 10%였다.

2.4 아세틸화

대나무의 아세틸화는 자체 제작한 스텐레스 진공처리조(직경 12cm×높이 85cm, Fig. 1)에서 행하였다. 이 처리조에 대나무를 2~3개 넣고 뚜껑을 닫은 후, 진공펌프로 약 1시간 처리조 내의 공기를 제거하였다. 그 후 처리조 내의 진공을 유지한 상태로 무수초산 탱크에 연결된 밸브를 열어 무수초산이 대기압과의 압력 차에 의해 처리조 내로 빨려 들어가도록 하였다. 대나무가 무수초산에 완전히 잠겼다고 생각되면 무수초산의 유입을 중단하고 밸브를 열어 공기를 처리조에 유입시켜 대기압이 되도록 하였다. 일정시간 방치 후 처리조 뚜껑을 열고 대나무를 무수초산에서 건져냈다. 대나무 표면에 남아있는 여분의 무수초산을 털어내고 수건으로 표면에 묻은 무수초산을 가볍게 닦은 후 중량을 측정하였다. 그 후 대나무를 오븐에 넣고 가열하였다.

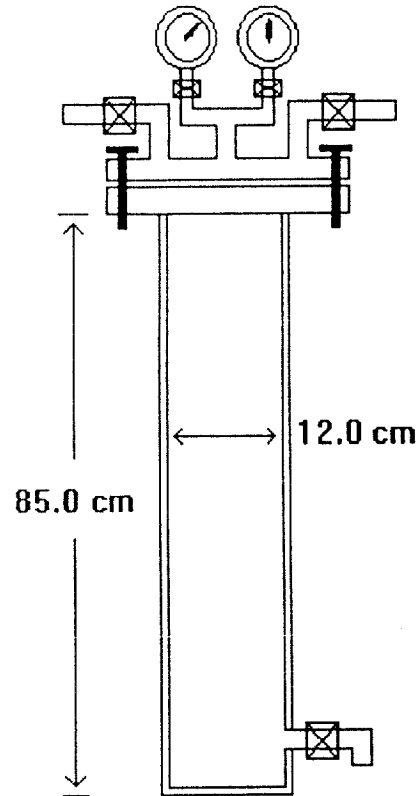


Fig. 1. The diagram of the vacuum cylinder.

대나무 아세틸화 반응의 적정 조건을 찾기 위해 100, 120, 140℃의 반응온도와 2, 4, 8, 12시간의 반응시간에서의 중량증가율을 측정하였다.

2.5 아세틸화 효과

아세틸화 처리 효과는 중량증가율(Weight Percent Gain), 흡수율, 방사방향 팽윤율의 측정 및 FT-IR 분광분석의 네 가지 방법으로 조사하였다.

중량증가율은 처리 전 전건무게에 대한 처리 후 증가한 무게를 백분율로 나타냈으며, 흡수율과 방사방향 팽윤율은 아세틸화 처리 대나무를 24시간 물에 침지시킨 후 증가된 중량과 방사방향의 팽윤 길이를 측정하여 백분율로 계산하였다.

2.6 FT-IR 분광 분석

아세틸화 대나무의 FT-IR 분광 분석은 화학연구소의 PERKIN ELMER 2000 FT-IR Spectrophotometer로 행하였다. 아세틸화 및 무처리 시료는 피층과 내층으로 분리하였으며, 이를 각각 Wiley mill로 200mesh 이하까지 분쇄하였다. 이들 분말을 오븐에서 전건시킨 후 KBr과 혼합하여 pellet을 만들고, 이를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 높이별 생재 함수율 및 전건비중

높이에 따른 대나무 시편의 초기함수율 및 전건비중은 표1과 같다. 뿌리 근처 절(Node)의 번호는 1이며 상부로 올라 갈수록 높은 번호로 표기하였다. 각 절에서 두개의 시편을 채취하여 각각의 생재 함수율과 전건 비중을 구한 후 평균치를 계산하였다. 생재 함수율은 지상에서 높이 올라 갈수록 낮아졌으며, 전건 비중은 반대로 증가하였다. 이는 지상에서 높이 올라 갈수록 간벽(culm wall) 두께가 얇아짐으로써 상대적으로 단단한 피층이 차지하는 비율이 높아지기 때문으로 설명할 수 있다. 이 피층은 단단하여 흡수성이 낮기 때문에 피층의 비율이 높아질 수록 생재함수율이 낮아짐을 알 수 있다.

3.2 건조 방법에 따른 치수안정성 조사

고온에서 건조 할수록 대나무 시편의 비중이 증가하며 열분해로 인해 결정화도가 낮아지므로(Wu, 1992) 건조 방법에 따른 대나무 흡수성의 변화를 예상할 수 있다. 사용된 건조 방법은 두 가지로 모두 103±2℃ 오븐에서 건조가 이루어 졌다. 첫째 방법은 일반적인 오븐 건조법으로 대나무 시편을 오븐에 넣고 전건 시킨 것이며, 둘째

Table 1. Variation of green moisture content (MC) and specific gravity of a bamboo along its height.

Node	Avg. green MC	Avg. specific gravity*
1	51.1	0.861
2	48.8	0.866
3	47.0	0.878
4	46.1	0.882
5	45.7	0.881
6	44.1	0.884
7	43.3	0.891
8	42.8	0.902

* oven-dry weight / oven-dry volume basis.

방법은 대나무 시편을 스텐레스 원통에 넣고 양단을 1cm 두께 목재로 밀봉하여 공기 및 수분의 이동을 최대한 억제하여 오븐에 넣고 건조시킨 것이다. 밀폐건조의 목적은 건조 중에 발생하는 기체를 가두어 둠으로써 기체에 의한 시편의 열분해를 촉진하려는 데 있다.

치수안정성은 데시케이터 내에 순수한 물을 담고 그 위에 시편을 한 달 동안 놓아 두어 중량증가율을 측정하여 조사하였다.

각각 5개의 시편을 사용하여 건조한 결과, 오븐건조 시편의 중량증가율은 15.8% 내지 19.5%였으며, 스텐레스 원통건조 시편의 중량증가율은 14.6% 내지 16.2%로 후자가 약간 낮았으나 그 차이는 심하지 않았다. 따라서 건조 중에 발생하는 기체를 가두어 두어 열분해를 촉진하여도 치수안정성에는 별다른 영향이 없음을 알 수 있다.

3.3 대나무 건조

아세틸화를 위해 먼저 대나무를 전건시켜야 한다. 대나무는 천연건조 중에도 쉽게 갈라지는 성질이 있으므로 갈라짐과 고온에 의한 열분해를 예방하기 위해 낮은 온도에서도 신속한 건조가 가능한 진공 건조법을 사용하였다.

대나무는 수령에 따라 숙성도가 다르므로(Itoh, 1990) 여러 수령의 대나무를 사용하였다. 대나무의 수령은 경험에 따라 표피의 색깔로 판정하였다. 어려서는 녹색을 띠다가 숙성함에 따라 노란색으로 바뀌며 표피도 단단해진다.

진공건조에 사용된 대나무의 수령별 생재함수율은 1~2년생, 3~4년생, 5~6년생이 각각 81.7±5.2%, 53.8±6.8%, 53.3±4.5%로 1~2년생의 생재 함수율은 다른 것에 월등히 높았으나 3~4년생과 5~6년생은 거의

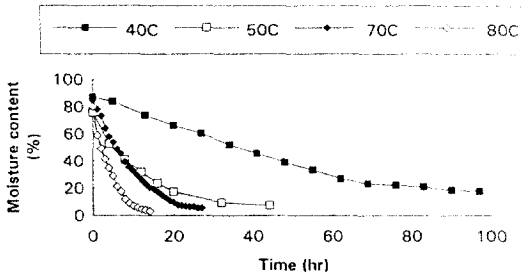


Fig. 2. Typical drying curves of bamboos, vacuum-dried at four temperature levels.

같은 값을 나타냈다.

건조곡선과 건조속도는 수령에 따른 특별한 차이를 나타내지 않았으며 단지 생재 함수율이 높으면 건조시간이 길어지고 생재 함수율이 낮으면 건조시간이 짧아졌다. 따라서 수령증가에 따른 투과성감소는 없는 것으로 생각된다.

여러가지 온도에서 건조한 대나무의 대표적인 건조곡선은 Fig. 2와 같다. 이 그림은 1~2년생 대나무를 네 가지 온도에서 건조한 것으로 3~4년생과 5~6년생도 비슷한 형태를 나타냈으며 모두 건조결합이 없이 깨끗이 건조되었다. 40℃를 제외하면 세 온도에서 모두 비슷한 건조속도를 나타내고 있다. 40℃에서는 97시간만에 12.4%에 도달한 반면 50, 70, 80℃에서는 각각 44, 27, 14시간만에 3~6%에 도달하였다.

3.4 방치시간에 따른 중량증가율

방치시간을 변화시켜 대나무 내에 침투한 약액 양을 중량증가율로 조사한 결과는 Table 2와 같다. 표에 나타난 바와 같이 상압기간을 길게 하여도 중량증가율이 증

Table 2. Effect of the storage time in a vacuum chamber on Weight Percent Gain of bamboos treated with acetic anhydride.

Specimen	Storage Time (hr)			
	1	4	8	12
1	10.9	9.8	12.3	9.9
2	12.4	11.1	12.3	11.2
3	11.6	10.6	9.0	10.5
4	10.1	11.4	9.5	9.9
5	11.8	8.5	11.2	11.0
6	10.1	11.0	10.2	10.3
Average	11.2±0.9	10.4±1.1	10.8±1.4	10.5±0.6

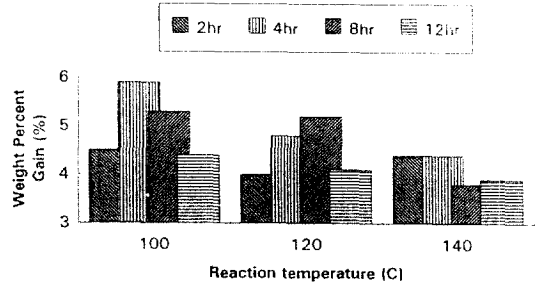


Fig. 3. WPG of acetylated bamboos reacted at various reaction temperatures and times.

가하지 않고 오히려 1시간 때보다 감소하였다. 따라서 방치시간을 늘린다는 것은 대나무 내 약액 침투량을 증가시키는데 전혀 도움이 되지 못하며 중량증가율을 높이기 위해서는 가압 또는 감압 등의 방법을 사용하여야 하리라 생각된다.

3.5 적정 반응온도와 반응시간

아세틸화에 의한 중량증가율(WPG, %)은 Fig. 3과 같다. 반응온도의 효과만 볼 때 100℃의 중량증가율이 제일 크고 140℃의 중량증가율이 가장 적게 나타났다. 이 결과는 지금까지 발표된 연구 결과(Rowell, 1990)와 상반된 것으로 그 원인은 아세틸화 반응이 충분히 일어나지 않은 때문으로 설명할 수 있다. 실제로 100℃ 시편에서는 반응처리 후에도 무수초산 냄새가 심하게 났다. 한편 140℃ 시편은 고온에 장시간 노출되었기 때문에 열분해로 인한 목질의 중량감소가 일어나 아세틸화에 의한 중량증가율을 상쇄했기 때문에 실제 중량증가율보다 적게 나타난 것 같다. 140℃ 시편의 표면은 탄화로 인한 짙은 갈색을 나타냈다. 따라서 반응온도는 지금까지 알려진 120℃가 가장 적당한 것으로 보인다.

반응시간의 영향을 살펴보면, 모든 온도 수준에서 12시간의 중량증가율이 4시간과 8시간의 중량증가율 보다 낮아졌다. 이는 고온에서의 오랜 시간 노출로 인한 중량감소로 밖에 설명할 수 없을 것 같다. 따라서 반응시간은 8시간이 가장 적당한 것으로 생각된다.

3.6 사프라닌을 이용한 투과경로 조사

아세틸화 처리시 대나무 내의 약액 침투경로를 알기 위해 무수초산 대신 묽은 사프라닌 용액을 사용하여 진공처리하였다. 침투에 미치는 격벽(nodal diaphragm)의 효과를 보기 위해 격벽을 뚫은 것과 뚫지 않은 것의 두 가지를 사용하였다.

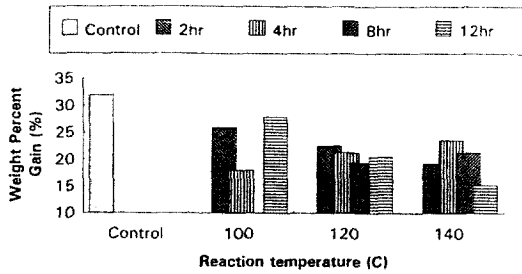


Fig. 4. WPG of acetylated bamboos after soaking in water for 24 hours. Datum of 100 °C-8hr is missing.

처리조 내에서 진공 처리 후 대나무를 길이 방향으로 쪼개어 착색 부위를 살폈다. 도관을 통한 길이방향의 침투가 주로 일어났으며 방사방향의 침투는 거의 일어나지 않았다. 이러한 현상은 대나무가 방사조직을 가지고 있

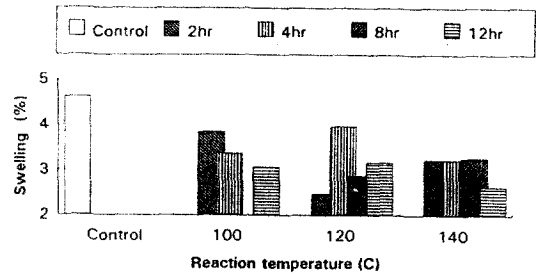


Fig. 5. Radial swelling of acetylated bamboos after soaking in water for 24 hours. Datum of 100 °C-8hr is missing.

지 않기 때문에 생각된다. 격벽을 뚫지 않았던 대나무는 절 내강에 용액이 침투하지 못하였으나, 간벽에는 길이 방향으로 용액이 이동한 흔적이 나타나 있었다. 따라서 대나무 내의 약액 이동은 주로 도관을 통해 이동하며,

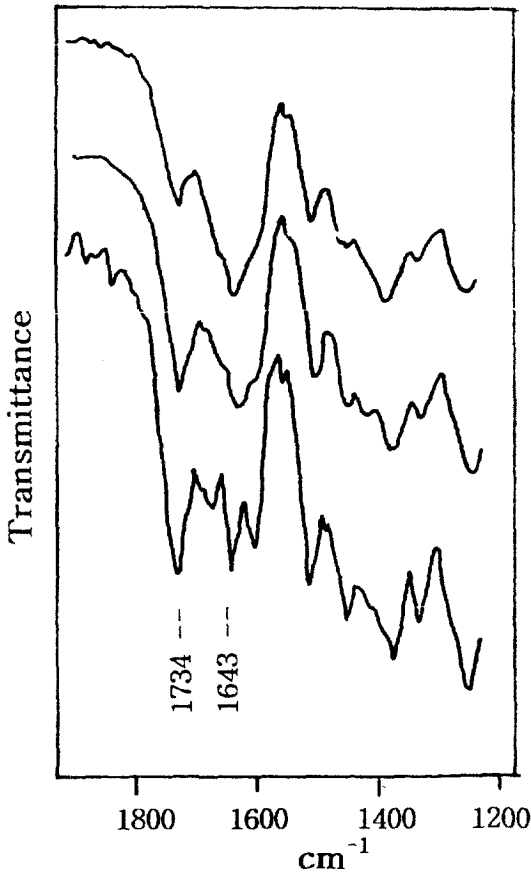


Fig. 6. FT-IR spectra of the outer portions of the acetylated and untreated bamboos. Three spectra indicates, from the top, untreated, acetylated(120 °C) and acetylated(140 °C) specimens.

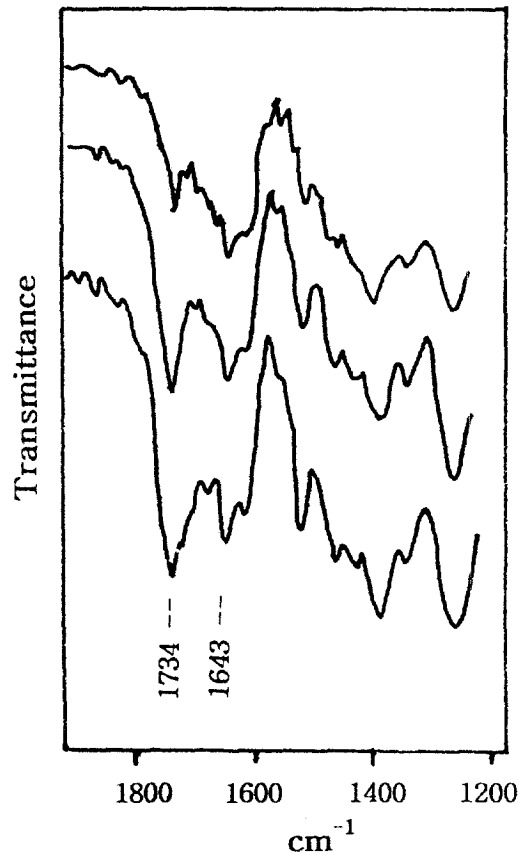


Fig. 7. FT-IR spectra of the inner portions of the acetylated and untreated bamboos. Three spectra indicates, from the top, untreated, acetylated(120 °C) and acetylated(140 °C) specimens.

이 통로는 절에 의해 막혀 있지 않으며, 방사방향 이동은 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다.

3.7 아세틸화 처리 대나무의 흡수율 및 팽윤율

물에 24시간 침지한 후 증량증가율을 측정하여 흡수율을 조사하였으며 동시에 팽윤율을 조사하였다. 무처리재의 증량증가율, 팽윤율이 각각 31.9%, 4.6%인데 비해 모든 처리 대나무는 그보다 뚜렷이 낮았다(Fig. 4, 5). Fig. 4와 5만으로 반응온도 및 반응시간과 흡수율 및 팽윤율의 관계에 대한 분명한 결론을 내릴 수는 없으나 대략 온도 120℃, 8시간에서 아세틸화 반응을 일으킬 때 흡수율과 팽윤율이 가장 향상되었다고 할 수 있다.

아세틸화 처리 대나무의 치수안정성 측정을 위해서는 흡수성 실험보다는 흡습성 실험을 하는 것이 옳았으리라 생각된다. 흡수성 실험은 모세관력에 의해 미세 공극 내 물이 간혀 있게 되기 때문에 아세틸화 처리에 의한 대나무 표면의 수분 흡착성 감소와 거의 무관하게 증량이 증가된다.

3.8 FT-IR 분광 분석

아세틸화 및 무처리 대나무의 피층과 내층 시료를 FT-IR로 분광 분석한 결과는 Fig. 6~7과 같다. 1734cm⁻¹ 대 카르보닐기와 1643cm⁻¹대 수산기의 투과율을 비교하여 아세틸화의 진행 정도를 판정하였다. 자유수와 셀룰로오스의 수소결합은 3200~3700cm⁻¹ 대에 나타나지만 이 흡수대는 매우 넓기 때문에 이 흡수대 대신 셀룰로오스 스펙트럼에서 결합수를 나타내는 1643cm⁻¹ 대를 사용할 수 있다 (Fengel, 1993).

대나무 피층과 내층 모두 무처리와 120℃, 140℃의 차이는 현저하여 아세틸화 대나무의 카르보닐기 증가를 뚜렷이 알 수 있으며, 120℃보다 140℃에서 약간 더 증가하였음을 알 수 있었다. 동일 온도 수준에서는 표층보다 내층에서 아세틸화 반응이 더 많이 일어났음을 알 수 있다.

4. 결 론

전통 대나무 약기의 과학적 제작을 위한 연구의 일환으로 대나무 약기재를 결합없이 신속히 건조할 수 있는 방법을 찾고 아세틸화 처리에 의한 치수안정 효과를 조사한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 대나무재의 생재 흡수율은 지상에서 높이 올라 갈수록 낮아지며, 전건 비중은 반대로 증가한다. 이

는 지상에서 높이 올라갈수록 간벽(culm wall)두께가 얇아짐으로써 상대적으로 단단한 피층이 차지하는 비율이 높아지기 때문이다.

2. 1~2, 3~4, 5~6년생의 대나무재를 구분하여 40, 50, 70, 80℃의 온도에서 진공건조한 결과, 모든 시편을 결합없이 흡수율 10% 이하까지 건조할 수 있었다.
3. 처리조에서 대나무 내 무수초산의 침투량을 증가시키기 위해 방치시간을 늘렸지만 도움이 되지 못했다. 따라서 증량증가율을 높이기 위해서는 가압 또는 가압 등의 방법을 사용하여야 할 것으로 생각된다.
4. 대나무재 아세틸화 반응의 적정온도와 적정시간은 각각 120℃와 8시간으로 밝혀졌다.
5. 대나무 내의 약액 이동은 주로 도관을 통해 이동하며, 이 통로는 절에 의해 막혀 있지 않으며, 방사방향 이동은 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있었다.
6. FT-IR 분광 분석으로 아세틸화 대나무의 카르보닐기 증가와 피층에 비해 내층에서 아세틸화 반응이 더 많이 일어났음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Akitsu, H. *et al.* 1991. Vibrational properties of chemically modified wood. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 37(7) : 590~597
2. Feist, W. C., R. M. Rowell and J. A. Youngquist. 1991. Weathering and finish performance of acetylated aspen fiberboard. *Wood & Fiber Sci.* 23(2) : 260~272
3. Feist, W. C., R. M. Rowell and W. D. Ellis. 1991. Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and methacrylated aspen. *Wood & Fiber Sci.* 23(1) : 128~136
4. Fengel, D. 1993. Influence of water on the OH valency range in deconvoluted FT-IR spectra of cellulose. *Holzforschung* 47(2) : 103~108
5. Itoh, T. 1990. Lignification of Bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) During its Growth. *Holzforschung* 44(3) : 191~200
6. Kumar, S. and P. B. Dobriyal. 1992. Treatability and flow path studies in bamboo Part 1. *Dendrocalamus strictus* Nees.

Wood & Fiber Sci. 24(2) : 113~117

7. Lee, A.W.C. *et al.* 1994. Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina. *Forest Prod. J.* 44(9) : 40~46
8. Rowell, R.M., A.-M. Tillman and R. Simonson. 1986. A simplified procedure for the acetylation of hardwood and softwood flakes for flakeboard production. *J. Wood Chem. Tech.* 6(3) : 427~448
9. Rowell, R.M. 1990. Acetyl balance for the acetylation of wood particles by a simplified procedure. *Holzforschung* 44(4) : 263~269
10. Rowell, R.M. and Misato Norimoto. 1990. Acetylation of bamboo fiber. *J. Japan Wood Res. Soc.* 33(11) : 907~910
11. Rowell, R.M., R. S. Lichtenberg and P. Larsson. 1993. Stability of acetylated wood to environmental changes. *Wood & Fiber Sci.* 25(4) : 359~364
12. Rowell, R.M. *et al.* 1991. Dimensional stability of aspen fiberboard made from acetylated fiber. *Wood & Fiber Sci.* 23(4) : 558~566
13. Rowell, R.M. *et al.* 1994. Acetyl distribution in acetylated whole wood and reactivity of isolated wood cell-wall components to acetic anhydride. *Wood & Fiber Sci.* 26(1) : 11~18
14. Schniewind, A.P. 1989. Concise Encyclopedia of Wood and Wood-Based Materials ed. by A. P. Schniewind. Pergamon Press. New York : 20
15. Wu, K.T. 1992. The effect of high-temperature drying on the antisplitting properties of makino bamboo culm (*Phyllostachys makinoi* Hay.). *Wood Sci. & Tech.* 26 : 271~277
16. Yano, H. *et al.* 1993. Stabilization of acoustical properties of wooden musical instruments by acetylation. *Wood & Fiber Sci.* 25(4) : 395~403
17. 정종성 등. 1989. 한국산 맹종죽 죽순의 성분여 관한 연구. *한국임학회지* 78(1) : 55~60