

최 종  
연구보고서

방부처리에 의한 고부가  
대나무 조경소재 개발

Development of value-added bamboo  
landscape architecture materials  
by preservative treatment

연구기관  
고려대학교  
(진주산업대학교)

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “방부처리에 의한 고부가 대나무 조경소재 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2005년 8월 15일

주관연구기관명: 고 려 대 학 교

총괄연구책임자: 김 규 혁

협동연구기관명: 진주산업대학교

협동연구책임자: 나 종 범

# 요 약 문

## I. 제목

방부처리에 의한 고부가 대나무 조경소재 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 죽림면적은 6,000ha 정도로 전체 산림면적의 0.1% 정도를 차지하나 외국으로부터 죽제품의 대량 수입과 플라스틱 등 대체 재료의 사용으로 국산 대나무는 거의 이용되지 못하고 있는 실정이다. 대나무 이용 확대의 일환으로 대나무 숲인 죽탄과 그 부산물인 죽초액이 개발되었으나, 이들 제품의 원료로써 대나무 사용량이 그리 많지 않기 대나무 이용 확대 측면에서 크게 효과를 거두지 못하고 있다. 따라서 앞으로 원료로서 대나무 사용량이 많으면서 동시에 부가가치가 높은 대나무 제품 개발이 죽림농가의 활성화를 위하여 필요하다고 본다.

원료로서 대나무 사용량이 많으면서 동시에 부가가치가 높은 대나무 제품으로 대나무 조경소재를 생각해 볼 수 있다. 대나무를 야외용 조경소재로 사용하려면 일차적으로 방부처리가 필수적이다. 그리고 방부처리에 의해 대나무의 원래 재색인 녹색을 발현시킬 수 있다면 금상첨화일 것이다. 대나무는 방부제의 침투와 관련된 해부학적 구조, 물리적 성질, 화학조성분이 목재와 상이하기 때문에 목재 방부처리 기술을 단순히 대나무 처리에 적용할 수는 없다. 따라서 목재와는 상이한 대나무 특성에 기초한 과학적 접근에 의한 새로운 대나무 방부처리 기술 개발이 필요한데, 특히 본 연구에서는 대나무의 재색을 발현시킴과 동시에 내후성을 증대시켜 처리 대나무의 사용수명을 최대화할 수 있는 방부처리 기술을 개발하고자 한다.

따라서 본 연구는 대나무의 야외 내구성을 최대화시킴과 동시에 사용 중에도 대나무의 원래 재색과 유사한 녹색을 발현한 후 장기간 유지할 수 있는 고부가의 대나무 조경소재 생산을 위한 방부처리법 개발하고자 수행되었다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

먼저 방부처리 기술 개발에 필요한 기초 자료를 제공하기 위한 목적으로 대나무 부후균의 분리 및 동정과 대나무 부후균의 부후 능력 평가, 방부제의 대나무 내 침투 경로를 파악하였다. 대나무 방부처리 기술을 개발하기 위한 기초연구로 대나무 외피의 왁스 층 제거 적정 조건을 확립하고, 재색 발현과 동시에 필요한 내후성 획득을 위해 요구되는 방부처리 조건을 결정하였다. 다음으로 재색 발현과 동시에 필요한 내후성을 획득할 수 있는 방부처리법을 개발하여 제시하였다. 최종적으로 방부처리 대나무의 사용 및 환경 안전성과 야외 성능을 평가하였다.

### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

대나무의 야외 사용이 저조한 이유는 대나무 색이 생재 상태에서는 매력적이던 녹색이 시간의 경과와 함께 엽록소가 파괴되면서 누런색으로 퇴색된다는 것이다. 그리고 동시에 균의 가해를 받으면서 대나무가 변색(주로 검정색으로 변색)되고 최종적으로 썩는다는 것이다. 조경소재로서 대나무의 야외 사용량을 증가시키기 위해서는 이러한 문제점들을 해결하여야 한다. 본 연구에서는 구리화합물계 방부제를 이용한 방부처리로 대나무에 녹색을 발현시킴과 동시에 내후성을 부여하고자 하였다.

야외 사용 대나무의 열화 원인을 조사한 결과, 대나무는 생물학적 열화에 대한

저항이 상당히 약함을 알 수 있었고, 열화는 종류보다는 주로 균류에 의해 진행됨을 알 수 있었다. 열화 대나무로부터 열화 원인균인 부후균과 연부후균을 다수 분리·동정하여 현재 연구책임자 소속 연구기관에 보관하고 있는데, 향후 국내 연구자들에게 요청에 의해 무상으로 분양할 예정이다.

국내에 수입되는 구리화합물계 방부제를 대상으로 대나무의 녹색을 발현할 수 있는 방부제를 선정한 결과, CCA가 최종 선정되었다. 그리고 대나무의 원래 재색과 유사한 녹색을 발현시킴과 동시에 적절한 내후성을 획득하기 위한 CCA의 최소 처리농도를 결정하였다. 대나무 방부처리의 필수 전처리 공정인 외피의 왁스층 제거를 위한 용제를 선정하였고, 반응표면분석법을 이용하여 적정 왁스제거 조건을 도출하였다. 또한 대나무의 조직구조와 방부제 침투 경로를 조사한 결과, 대나무의 방부제 침투성이 매우 불량함을 알 수 있었다.

대나무의 녹색 발현과 동시에 내후성 획득을 위한 상압처리(단순 침지처리)와 가압처리후 상압처리 조건이 제시되었다. 방부처리시 CCA 수용액에 슬러지가 발생하는 문제점이 있었는데, 이를 최소화 또는 예방할 수 있는 방법을 제안하였다. CCA 처리 대나무의 양생을 위해 필요한 적정 양생기간을 제시하였고, 적정 양생기간동안 양생된 처리 대나무로부터는 CCA 유효성분이 거의 용탈되지 않음을 입증하였다. 방부처리 대나무의 야외성능을 평가하기 위하여 수행된 야외노출 결과, 상압처리법과 가압처리후 상압처리법으로 처리된 대나무가 노출 3개월까지 녹색을 유지하고 있고, 장마철을 끼고 노출하였음에도 불구하고 아직까지 처리 대나무에 어떠한 생물열화 흔적을 찾을 수가 없었다. 앞으로 노출을 24개월까지 진행시키면서 지속적으로 관찰을 할 예정인데, 기상열화에 의해 재색이 약간 퇴색될 수는 있어도 일단 발현된 녹색은 장기간 유지할 수 있으리라 사료된다.

현재 몇몇 조경시설물 업체와 한 방부처리업체가 본 연구를 통해 개발된 대나무 방부처리 기술에 대한 관심을 표명하고 있는데, 이들의 요구가 있으면 관련 기술을 이양할 예정이다. 또한 상압처리는 별도의 시설이나 장치가 필요없는 관계로 죽림농가에 개발된 기술을 적극적으로 보급할 계획이다.

## SUMMARY

The green appearance with bamboo is one of attractive characteristics continuously encouraging the industry of landscape architecture to use the bamboo materials. However, the original green color of bamboo surface turns into gray and yellowish brown as used outside, and the fungal attack often develops dark discoloration (mainly black) with the decrease of its strength. Those problems have limited the use of bamboo in the industry of landscape architecture because of the reduction of the value and service life. Development of bamboo preservation techniques both fastening the green color and enhancing the durability could increase the economic value of bamboo products, resulting in the increase of the use of bamboo products in the industry of landscape architecture. In this research, the bamboo preservation techniques to simultaneously achieve the fastness of green color as well as the enhancement of durability were investigated using copper-based preservatives such as CCA, ACQ, CB-HDO and CUAZ.

The investigation of biodeterioration of bamboo products used outside proved that the natural durability of bamboo was low and most of biodeterioration was caused mainly by fungi. Total 25 genera and 29 species of bamboo decay fungi were isolated and identified from the deteriorating bamboo materials. High weight loss of bamboo by *T. versicolor* and *A. phaeospermum* proved that they were the major fungi causing the most serious damage. Those fungi isolated and identified will be offered to researchers when demanded.

The removal techniques of wax layer on bamboo surface were investigated using a response surface method. The solution mixed with potassium hydroxide and sodium dodecyl sulfate were proved to be most effective. The

optimized conditions were found using RSM were 5% potassium hydroxide, 3.5% sodium dodecyl sulfate, and 24 hours reaction time. The  $R^2$  of fitted equation was 0.98, meaning that the fitted equation well represents the response of the wax removal reaction. The RSM offers the flexibility for the practical use by offering the multiple solutions of individual variables for any desirable level.

The possibility of CCA, CUAZ, ACQ, and CB-HDO were evaluated in fastening the green color and enhancing the durability. CCA was proved to be effective to the green-color fastness, although other preservatives failed. Dip treatment with above 3% CCA solution for above two days kept the bamboo surface to be green. The laboratory test of the durability of pressure-treated bamboo showed that the protection against decay fungi could be achieved in above 1.5% CCA solutions, and that against soft-rot fungi in above 4% CCA solutions.

The microstructure and flow pathways in bamboo were investigated using 1% safranine solution, showing the poor penetration into culms during treatment. The vessel elements were easily permeable; however, lateral flow was highly restricted because of the absence of ray cells. Hence, the need for specialized techniques such as the removal of wax layer for obtaining adequate retention against fungal attack should be required.

Dip and pressure treatment techniques for the green-color fastness and the enhancement of durability were suggested by considering the results of the previous experiments. At least 4% CCA solution should be used for the treatment of bamboo to obtain the green-color fastness and the durability against fungi. And dip treatment should be continued until the bamboos could get the same retention achieved when they were pressure-treated. Dip treatment required 10 to 20 days treatment times to get the effective retention

against fungal attack. However, Moso bamboo showed the untreated regions between the outer and inner layer. It resulted from the thick thickness of moso bamboo, meaning that the use of dip treatment was highly dependent on the thickness of bamboo.

Although the effective retention could be easily obtained by pressure treatment, the development of green color was insufficient. Dip treatment for 5 to 8 days after pressure treatment is suggested to get the sufficient green-color fastness.

Sludges were formed three days after both the dip treatment and the dip treatment after pressure treatment, and the amount of sludges increased with the treatment times. To minimize the amount of sludges, starches and gummy substances such as wax and resin in bamboo and the potassium hydroxide remaining in bamboo after pre-treatment should be removed by immersion in water for sufficient times. And the CCA solution should be used after filtrating the sludges.

The safety in use and environment was investigated by evaluating fixation characteristics of CCA at various conditions. The fixation rates in treated bamboos were highly temperature dependent. Since the correlation of fixation temperatures with minimum times required for adequate fixation was excellent, the proper times for fixation could be predicted under given conditions of temperature and fixation times. The fixation rates under drying conditions were slower than those under non-drying conditions. The fixation under non-drying conditions appeared not to be completed at the given conditions. To get the safety in use and environment, non-drying methods should be applied for the fixation of CCA chemicals in treated bamboo.

Field performances of the treated bamboos were evaluated by exposing them in outside conditions for three months. No fungal attack was observed and the



green color of the bamboos treated with both dip treatment and dip treatment after pressure treatment was continuously maintained. Slight differences were observed by chroma meter, the change of color was difficult to be found in naked eyes. The results suggested that the green color could be maintained during the service life of treated bamboos. More observation of the treated samples would be continuously performed.

# CONTENTS

Chapter 1. Outline of research .....	11
Chapter 2. Status of research and development .....	16
Chapter 3. Experiments and results .....	17
Section 1. The domestic utilization of bamboo the causal agents for deterioration of bamboo used outdoor .....	17
Section 2. Identification of bamboo deteriorating agents and their decay capabilities .....	25
Section 3. Development of bamboo preservation techniques .....	34
1. Optimized removal conditions of wax layer on bamboo surface ...	34
2. Treatment conditions for green-color fastness and enhancement of durability .....	48
3. Flow pathways in bamboo .....	57
4. Development of preservation treatment techniques .....	74
5. Evaluation of safety in use and environment .....	90

Section 4. Evaluation of field performances of treated bamboo .....	98
Chapter 4. Achievements and contribution to related fields .....	105
Chapter 5. Application plan of the research results .....	108
Chapter 6. Oversea information collected during the research .....	110
Chapter 7. References .....	111

# 목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요 .....	11
제 2 장	국내외 기술개발 현황 .....	16
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과 .....	17
제 1 절	대나무 조경소재 사용 실태 및 열화 원인 조사 .....	17
제 2 절	대나무 부후원인균의 동정 및 부후능력 평가 .....	25
제 3 절	대나무 방부처리 기술 개발 .....	34
1.	대나무 외피의 왁스 층 제거기술 개발 .....	34
2.	재색 발현 및 내후성 획득을 위한 방부처리 조건 결정 .....	48
3.	대나무 내 방부제 침투 경로 조사 .....	57
4.	대나무 방부처리법 개발 .....	74
5.	방부처리 대나무의 사용 및 환경안전성 평가 .....	90
제 4 절	방부처리 대나무의 야외 성능 평가 .....	97
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	105
제 5 장	연구개발결과의 활용계획 .....	108
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	110
제 7 장	참고문헌 .....	111

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

### 제 1 절 연구개발의 목적

본 연구는 방부처리를 통해 대나무의 원래 재색이 녹색을 발현시킴과 동시에 야외 내구성을 부여한 고부가 대나무 조경소재를 개발하고자 수행되었다.

### 제 2 절 연구개발의 필요성

대나무는 60년대까지만 해도 바구니를 비롯한 여러 가지 생활용품의 제조에 많이 사용되었으나 70년대에 들어 플라스틱 제품이 시장에 나오면서 대나무 제품은 몇 가지 관광상품을 제외하고는 거의 우리의 생활에서 밀려난 상태이다. 특히 중국과 동남아 국가 등지에서 수입되는 값싼 죽제품에 밀려 현재 국산 대나무 제품은 그 명맥을 유지하기조차 힘든 상황이다. 산림청 임업연구원 남부시험장에서 개발한 죽단 및 죽초액이 어느 정도 상품화되면서 국산 대나무가 이들의 원료로 일부 사용되는 것을 제외하고는 대나무의 용도가 없기 때문에 국내 죽림농가는 대나무 농사를 아예 포기하고 경작지나 다른 용도로 골칫거리인 죽림의 용도 전환을 꾀하고 있다. 따라서 현재 거의 미이용 상태로 방치되고 있는 국산 대나무의 새로운 고부가 용도를 개발하는 것은 국내 죽림의 보호와 죽림농가의 소득 향상을 위하여 반드시 필요하다고 본다.

대나무 사용을 확대하기 위한 방법 중의 하나로 생각해 볼 수 있는 것이 바로 대나무를 야외 시설용 조경소재로 사용하는 것이다. 현재 대나무가 야외용으로 사용되지 못하는 가장 큰 이유는 대나무의 내구성, 즉 생물학적 열화인자들에 대한 저항성이 낮기 때문인데, 이는 목재의 경우에서와 마찬가지로 방부처리를 실시함에 의해 쉽게 해결할 수 있다. 그리고 벌죽(伐竹) 직후에는 대나무의 재색이 매력적인 녹색을 유지하지만 시간이 경과와 함께 엽록소가 파괴되면서 누런 색으

로 변색 및 퇴색되는 점도 대나무가 조경소재로 선호되지 않는 큰 이유라 할 수 있다. 이러한 문제도 처리재의 재색을 녹색으로 변화시키는 무기화합물계 방부제로 처리하면 쉽게 해결되리라 본다. 만일 방부처리에 의해 대나무의 재색을 유지하면서 동시에 균류와 충류 가해에 대한 저항성을 높일 수 있다면 야외용 조경소재로서 대나무의 사용량은 크게 증가될 것이다.

연구개발의 필요성을 기술적 측면, 경제·산업적 측면, 사회·문화적 측면에서 다음과 같이 기술할 수 있다.

### 1) 기술적 측면

대나무와 목재간에는 방부제의 침투와 관련된 해부학적 구조, 물리적 성질, 화학조성분의 차이가 존재하기 때문에 목재 방부처리 기술을 단순하게 대나무 처리에 적용할 수는 없다. 따라서 목재와는 상이한 대나무 특성에 기초한 과학적 접근에 의한 새로운 대나무 방부처리 기술의 개발이 필요하다. 특히 본 연구에서는 대나무의 재색을 가능한 유지하면서 동시에 내후성 및 내충성을 증대시켜 처리 대나무의 야외 사용수명을 최대화하여야 하는 일석이조의 효과를 달성하여야 하는 문제를 해결하여야 한다.

### 2) 경제·산업적 측면

2004년 산림청 통계(산림청, 2004)에 의하면 국내 죽림면적은 6,100ha로 전체 산림면적의 0.1% 정도를 차지하나, 외국으로부터 죽제품의 대량 수입과 플라스틱 등 대체재료의 사용으로 국산 대나무는 거의 이용되지 못하고 있는 실정이다. 대나무는 3~5년이면 성죽(成竹)이 되어 사용할 수 있으며, 매년 벌죽(伐竹)하여도 단기간 내에 재생산이 가능하기 때문에 임목에 비하여 생산성이 매우 높은 자원이다. 현재 국내 대나무 자원의 약 90%가 전남과 경남에 분포하고 있는데, 한때 농·산촌의 고소득 자원으로 각광을 받았던 대나무는 앞서 지적한 이유 때문에 재배면적이 매년 급격히 감소하고 있다. 최근 대나무 이용확대의 일환으로 산림청 임업연구원 남부임업시험장 연구진에 의해 대나무 숲인 죽탄과 그 부산물인

죽초액이 개발되었으나, 이들 제품의 원료로써 대나무의 사용량이 그리 많지 않은 관계로 대나무 이용확대 측면에서 크게 효과를 거두지 못하고 있다. 따라서 앞으로 원료로서 대나무의 사용량이 많으면서 동시에 부가가치가 높은 대나무 제품의 개발이 국내 죽림농가의 활성화를 위하여 필요하다고 본다. 본 연구를 통해 개발될 대나무 조경소재는 현재 생산되고 있는 죽탄이나 죽초액에 비하여 대나무의 고부가 이용 측면에서 결코 뒤지지 않는다고 본다.

### 3) 사회·문화적 측면

십장생의 하나인 대나무는 민중정공이 을사보호조약에 반대하여 자결한 자리에서 돌아났다는 혈족의 유래에서 알 수 있듯이 순절충신의 상징으로 널리 알려져 있다. 또한 대나무는 예로부터 신성, 장수, 번성을 의미하는 영적인 나무로 널리 알려져 있는데 이로부터 대나무가 우리의 전통문화와 밀접한 연관을 가지고 있는 나무란 것을 알 수 있다. 본 연구의 결과는 현실적인 면에서 죽림농가의 수입 향상과 동시에 사회·문화적인 면에서도 한국 본연의 것에 대한 정서를 고양하는 것과 같은 간접효과를 발생시킬 수 있을 것이다.

## 제 3 절 연구개발의 범위

방부처리를 통해 대나무의 원래 채색이 녹색을 발현시킴과 동시에 야외 내구성을 부여한 고부가 대나무 조경소재를 개발하고자 수행된 본 연구의 내용과 범위를 다음과 같이 기술할 수 있다.

### 1. 야외사용 대나무 열화원인 조사 및 대나무 부후균의 분리 및 동정

현재 야외에서 사용되고 있는 대나무 소재의 열화원인을 조사하고, 열화 원인균인 부후균과 연부후균을 분리하여 최종 동정하였다.

## 2. 대나무 부후균의 부후 능력 평가

야외에서 사용되고 있는 대나무 소재로부터 직접 분리·동정된 부후균과 연부후균의 대나무 부후 능력을 평가하고, 향후 대나무의 야외 내구성을 증대시키기 위한 방부처리시 주요 방제 대상균을 확인하였다.

## 3. 대나무 방부처리 기술 개발

대나무의 야외 내구성을 최대화시킴과 동시에 사용 중에도 대나무의 원래 채색과 유사한 녹색을 발현한 후 장기간 유지할 수 있는 고부가의 대나무 조경소재 생산을 위한 방부처리 기술개발을 위한 본 연구의 내용과 범위를 기술하면 다음과 같다.

### 가. 대나무 외피의 왁스 층 제거기술 개발

대나무 외피에 존재하는 왁스 층은 방부제 침투를 방해하고, 또한 색상을 발현하는 화합물들이 외피에 정착되는 것을 방해하기 때문에 방부처리 전에 왁스 층을 적절히 제거하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 여러 가지 무기염류 중 대나무 외피에 존재하는 왁스 층을 효과적으로 제거할 수 있는 무기염류를 선정하고, 선정된 용제를 사용하여 왁스 층 제거에 필요한 최적 제거조건을 구명하기 위하여 실시하였다.

### 나. 채색 발현 및 내후성 획득을 위한 방부처리 조건 결정

본 연구는 대나무의 채색 유지 및 내후성 획득이 동시에 가능한 방부제 선정 및 방부처리 조건을 결정하기 위하여 수행되었다. 우선 국내에 수입·사용되고 있는 무기화합물계 방부제인 CCA 및 CCA 대체 방부제(ACQ, CB-HDO, CUAZ)를 대상으로 방부처리 방법(가압처리 및 상압 침지처리)별로 대나무 채색과 가장 유사한 색을 발현할 수 있는 방부제와 처리농도를 선정하였다. 다음으로 선정된 방부제를 대상으로 기 분리·동정된 대표적인 대나무 부후균(*Trametes versicolor*) 및 연부후균(*Arthriniium phaeospermum*)의 가해를 예방할 수 있는,



즉 내후성 획득이 가능한 방부제 처리농도를 조사하였다. 본 연구를 통해 선정된 방부제의 재색 발현을 위한 처리농도와 내후성 획득을 위한 처리농도중 높은 농도가 최종 대나무 방부처리시 방부제 처리농도로 사용된다.

#### **다. 대나무 내 방부제 침투 경로 조사**

본 연구에서는 효율적인 방부처리 방법 개발에 필요한 하기 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 목재와 근본적으로 조직학적 특성이 상이한 대나무의 방부제 침투경로를 조사하였다.

#### **라. 대나무 방부처리법 개발**

목재 방부처리의 목적은 단순히 처리재의 방부효능 획득이지만 대나무 방부처리는 처리 대나무의 우수한 방부효능 뿐만 아니라 대나무의 원래 재색과 유사한 녹색을 발현할 수 있는 처리가 되어야 한다. 본 연구에서는 재색 발현과 동시에 필요한 내후성을 획득할 수 있는 방부처리법을 개발하여 제시하였다.

#### **마. 방부처리 대나무의 사용 및 환경안전성 평가**

본 연구는 CCA 유효성분의 처리 대나무내 정착특성을 조사하여 CCA 성분의 용탈을 최소화할 수 있는 처리후 적정 양생조건(양생온도와 시간)을 제시하고, CCA 처리 대나무로부터 CCA 성분의 용탈특성을 조사함에 의해 방부처리 대나무의 사용 및 환경 안전성을 평가하고자 수행하였다.

#### **4. 방부처리 대나무의 야외 성능 평가**

상압처리법과 가압처리후 상압처리법을 이용하여 CCA로 처리된 대나무를 야외에 일정 기간 폭로하여 기상열화에 따른 처리 대나무의 재색 유지 가능성과 생물열화 저항성을 조사하였다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

대나무의 방부처리와 관련된 국내 연구는 전혀 이루어진바 없으며, 외국의 경우도 대나무 주 생산국들이 후진국이나 개발도상국인 관계로 방부처리 대나무의 사용 예는 거의 찾아볼 수 없다. 인도에서 실시된 CCA를 이용한 통 대나무(round bamboo) 방부처리에 관한 연구에 의하면 표피를 통한 방부제의 침투가 불량하고, 또한 절(節)을 통한 방부제의 침투가 불가능하다고 한다(Sonti *et al.*, 1989). 이런 문제를 해결하기 위한 방법으로 Sonti와 Chatterbee(1990)는 절에 구멍을 뚫어 방부제를 일단 통 대나무 내로 유입시킨 후 투과성이 우수한 내피를 통해 침투시키는 처리방법을 제시하였다. 말레이시아 임업연구원(FRIM)에서는 통 대나무(round bamboo) 처리를 위한 고압 수액치환법 기술을 개발하여 그 결과를 가압처리법인 증세포법과 비교하였다(Choo and Gan, 1998)

최근에 대나무의 생산량과 사용량이 많은 대만에서 크롬계 무기염류 처리에 의해 대나무의 자연 녹색을 유지하려는 연구가 수행되었다(Chang and Lee, 1996; Chang, 1997; Chang and Woo, 2000; Chang *et al.*, 2002). 대만에서 실시된 연구는 단지 대나무의 녹색을 유지하려는 연구에 불과하여 대나무를 야외용 조경 소재로 사용하기 위하여 갖추어야 할 가장 중요한 특징인 연부후균 등 생물학적 열화인자에 대한 저항성은 자세하게 조사된 바가 없고, 또한 처리 대나무의 사용 및 환경 안전성에 대한 조사는 전혀 이루어진바 없다. 참고로 여러 종류의 대나무 담장(울타리)을 생산하여 전 세계에 수출하는 중국 광둥성의 Fence and Bamboo International 주식회사는 녹색 플라스틱을 대나무 표면에 피복함에 의해 대나무의 자연 색과 비슷한 색을 유지시킨 제품인 'plastic coated bamboo fence'를 생산하고 있다(Fence and Bamboo International Co., Limited, 1999)

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 대나무 조경소재 사용 실태 및 열화 원인 조사

#### 1. 서론

단자엽식물의 벼과와 대나무아과에 속하는 상록 목본식물인 대나무는 아열대 및 열대에서 온대지방까지 널리 퍼져 있으며, 특히 아시아 남동부, 인도양과 태평양 제도에 그 수와 종류가 가장 많다. 전 세계적으로 75속 1,250종이 있는 것으로 추정되는데(Sharma 1980), 특히 45속 750여종의 대나무가 존재하는 열대 아시아 지역이 대나무 자원의 보고로 알려져 있다(Biswas 1988).

대부분 나라에서 대나무는 목재에 비하여 그다지 중요하지 않은 자원으로 인식되어져 왔다. 이는 대나무가 이차생장을 하지 않기 때문에 직경이 작으며 중앙 부위에 수강(pith cavity)이 형성되어 재료로서의 효용가치가 떨어지기 때문이다. 따라서 죽공예품을 제외한 대부분의 죽제품 이용은 죽림과 인접한 지역에 한정되어 왔는데, 최근에는 대나무를 활용할 수 있는 기술이 발달하면서 대나무에 대한 재조명이 이루어지고 있는 실정이다. 특히 활용 가능한 산림자원이 감소하면서 대나무는 목재 대체 재료로서 사용되고 있는데, 건축 및 조경용재료의 사용을 제외하더라도 플로링, 패널제품, 가구, 펄프 및 제지산업에서 널리 이용되고 있다.

대나무 자원의 중요성은 대나무의 빠른 성장력에 기인한다. 대나무는 목재에 비해 생장이 훨씬 빠르기 때문에 2~5년이라는 짧은 기간 안에 대량의 바이오매스 자원을 생산할 수 있다. 죽종 및 성장환경에 따라 변이가 심하지만 대략 하루에 평균 20cm에서 100cm를 자라며 속성수보다 6배 이상의 셀룰로오스 수율을 얻을 수 있다. 또한 근경으로 되어 있는 대나무의 빠른 생장은 죽림에 토양침식 방지 능력 및 토양수분 유지 능력을 부여하며, 죽림에서 얻을 수 있는 죽순은 세계적으로 막대한 식량자원을 공급해 준다. 참고로 중국은 죽순을 수출하는 대표적

인 나라인데, 연간 1억4천만 달러를 수출한다(Feung, 2001). 현재 대나무 관련 산업은 전 세계적으로 연간 20억 달러 규모에 이르며, 특히 아시아 지역에서 대나무는 건축용재, 조경용재, 죽공예품 및 식량자원으로 생활과 밀접한 연관을 가지고 있다.

전 세계적으로 대나무를 통한 막대한 경제적 이익 창출에도 불구하고 대나무 분포와 이용에 대한 조사가 본격적으로 이루어진 것은 1997년 대나무와 등나무의 이용을 위한 국제조직(INBAR: International Network for Bamboo and Rattan)이 설립되고 부터이다. INBAR에는 현재 26개국에서 참여하여 대나무 자원의 분포 및 활용방안에 대한 연구를 활발히 수행하고 있는데, 우리나라의 경우 대나무의 활용이 제한적인 관계로 INBAR에 참여하고 있지 않다. 그러나 앞으로 대나무가 산림자원을 대체할 수도 있는 대안 중의 하나라는 점을 고려할 때, 우리도 대나무 자원에 관한 적극적인 관심이 필요하다고 하겠다.

현재 우리나라에 분포하고 있는 대나무는 자생종이 5속 19종이며 외국으로부터 35종 정도가 도입되어 총 5속 54종이 존재한다. 하지만 왕대(50%), 숨대(40%), 맹종죽(5%)이 전체 죽림면적의 약 95% 정도를 차지하고 있으며, 전 죽림면적의 93% 정도가 전라도(60%)와 경상남도(33%)에 분포하고 있다(산림청 2004). 국내에서의 죽재 생산은 60년대에 200~400톤이었던 것이 70년대에는 100~200톤, 80년대는 20~160톤, 그리고 80년대 이후에는 10~20톤 규모로 급격히 줄어들었다. 관세청 통계자료에 따르면 대나무 관련 수출은 거의 없는 것으로 나타났고, 수입은 약 800천불 정도로 90% 이상이 중국에서 수입되는 것으로 나타났다.

본 절에서는 대나무의 활용을 위한 기초자료로서 조경소재로서 대나무의 국내의 사용실태와 야외용 대나무의 열화 원인을 조사하여 보고한다.

## 2. 조경소재로서 대나무의 국내의 사용 실태

### 가. 국내 사용 실태

대나무는 60년대까지만 해도 바구니를 비롯한 여러 가지 생활용품 제조에 많이

사용되며 많은 수익을 창출하였으나 70년대에 들어 플라스틱 제품이 시장에 나오면서 대나무 제품은 몇 가지 관광 상품을 제외하고는 사용 용도가 급격히 줄어들었다. 이러한 변화와 함께 죽림면적도 크게 감소하였는데, 약 8,000ha에 달하던 죽림면적이 1970년대 중반에는 5,000ha까지 감소하게 되었다. 그러나 80년대 이후 죽림은 서서히 증가하여 90년대 초에는 8,056ha까지 증가하였는데 이는 대나무를 이용하여 만들어지는 죽순, 수액, 죽탄, 죽초액 등에 의해 대나무 수요가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 1996년부터는 다시 감소하여 2000년도부터 약 6,000ha 정도의 죽림면적을 유지하고 있는데 이는 중국에서 수입되는 값싼 죽 제품에 원인이 있는 것으로 생각된다.

국내에서 대나무를 조경소재로 사용하고 있는 곳은 사찰, 농가 등 일부에서 담장으로 이용하고 있을 뿐 그 사용은 거의 없다고 해도 과언이 아니다. 대나무의 고장으로 불리고 있는 담양에서도 대나무 박물관에 관광 상품으로 만들어 놓은 것을 제외하면 대나무를 이용한 조경시설은 거의 찾아볼 수 없는 실정이다. 국내에서 대표적인 대나무 산지인 담양의 대나무 관련 정책을 살펴보면, 대나무 이용방안의 대부분이 식품 및 약리 효능 연구, 대잎차 음료 등의 식품산업 개발, 생물산업 원자재로서의 사용, 대나무 생태공원 죽림욕장 및 생태관광 인프라 기반의 구축 등 대부분 대나무 관련 사업이 식품 및 관광 사업과 관련이 있는 실정이다.

최근 국내에서 웰빙 바람과 더불어 인테리어 재료로서 대나무의 활용도가 높아지면서 대나무 수요가 다소 증가하고 있는 추세를 보이는데, 실내조경용 대나무 및 대나무 마루판 등이 대표적인 예라고 하겠다. 그러나 야외용 조경용재로의 사용은 미약한 실정인데, 현재 도시의 가로수 지지대 및 화단 조성용으로 일부 사용되고 있으나 방부처리가 되지 않은 관계로 사용수명에 한계점이 노출되고 있으며, 특히 조경시설용 대나무 제품의 디자인이 조잡한 관계로 소비자의 욕구를 전혀 충족시키지 못하고 있다. 다양한 디자인의 대나무 조경용재는 현재 국내에 들어와 있는 일본 대나무 펜스 제조회사에서 공급하고 있다. 참고로 Figure 1-1은 국내 대나무 조경용재의 전형적인 예를 보여준다.



Figure 1-1. Typical examples of the use of bamboo as landscape materials in Korea.

## 나. 국외 사용 실태

전 세계적으로 대나무 생산량은 연간 2,000만 톤에 달한다. 세계 인구중 약 1억 명 정도가 대나무 집에서 살고 있는 것으로 볼 때, 죽순과 같은 식량자원으로서 이용을 제외하면 대나무의 주 사용처는 크게 건축 및 조경용재, 죽공예품 그리고 펄프원료로 구분할 수 있다. 중국의 경우 연간 건축 및 조경용재로 사용되는 대나무는 600~700만 톤으로 추정되는데, 이는 전 세계 생산량의 약 1/3을 차지한다. 네팔에서는 바구니, 집, 건축현장의 비계목으로 주로 사용되며, 태국은 대나무 패널, 뉘싯대, 죽순 등을 수출하여 1973년 이래로 계속해서 연간 50만 달러 이상의 수입을 올리고 있다. 필리핀에서 대나무를 이용한 가구산업은 연간 140만 달러에 달한다고 보고된 바 있으며(Vantomme *et al.*, 2002), 인도의 경우 대나무는 제지산업의 주원료로 사용되고 있는데, 제지산업에서 차지하는 총 점유 중 약 25% 정도가 대나무로부터 제조되고 있다(Sharma, 1987).

건축 및 조경재료로서 대나무 사용의 전형적인 예는 대나무 펜스와 대나무 집을 들 수 있다. 초기에 만들어진 대나무 펜스가 현재 존재하지 않기 때문에 대나무를 펜스 재료로 쓰기 시작한 정확한 시기는 불분명하지만 고화에서 자주 발견되는 것으로 볼 때 오래전부터 아시아 전역에서 대나무 펜스를 사용한 것으로 보인다(Figure 1-2). 대나무 펜스는 특히 일본에서 다양한 제품으로 상업화되어 조경용으로 사용되고 있다(Figure 1-3) 그러나 방부처리를 하지 않는 관계로 생물학적인 열화를 받게 되면서 현재는 인공 대나무 펜스의 사용이 늘고 있는 실정이다.

대나무는 저개발국가에서 값싼 건축용재로서 주목을 받고 있다. 대나무를 사용할 경우 약 45%의 건축비용을 절감할 수 있다고 보고된 바 있다. 이러한 이유 때문에 대나무는 저개발국가에서 “가난한 사람들의 나무”라는 이름으로 알려지고 있다. 1986년 코스타리카에서 수행된 대나무 프로젝트는 건축 및 조경용재로서 대나무 사용에 대한 가장 성공적인 사례로 알려져 있다(Quintans, 1998). 이 프로젝트는 가난한 시골지역에 저비용의 건축재료를 공급하는 것을 주목적으로 하였는데, 코스타리카에서는 집 부족 문제를 해결하기 위해 선택한 재료가 바로 대나

무였다. 이 프로젝트는 많은 아시아와 남아메리카에서 대나무가 건축용재로 쓰인다는 것에 착안되어 실시되었으나 그 당시 코스타리카에서는 시골에서도 대나무를 건축용재로 선호하지 않았고 대나무를 이용할 수 있는 기술이 축적되지 않은 상태였다는 점에서 놀랄만한 결정이었다고 할 것이다. 특히 대나무는 간단하고 빠른 시간 내에 집을 완성할 수 있기 때문에 지진과 같은 자연재해를 복구하기 위한 방편으로 대나무 집의 활용에 대한 연구가 콜롬비아와 에쿠아도르 등 여러 나라에서 수행된 바 있다.

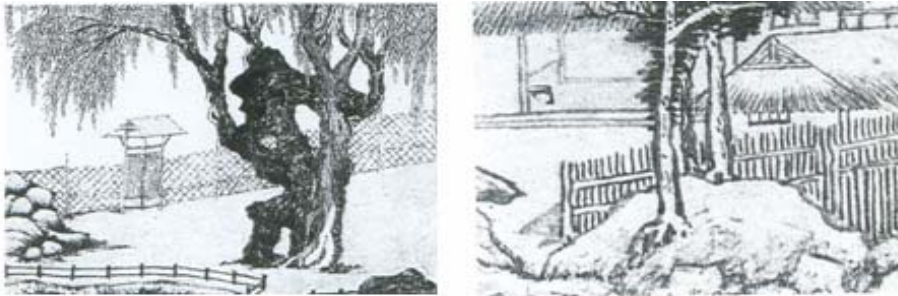


Figure 1-2. The bamboo fence in an old Chinese painting.



Figure 1-3. Some examples of bamboo fences commercially used in Japan.



### 3. 야외용 대나무의 열화 원인

대나무가 조경용재로 사용되는 펜스, 가로수 지주대 및 조경용 화단을 대상으로 대나무의 생물학적 열화 원인을 조사하였다. 야외에서 사용되는 대나무는 주로 균(부후균과 연부후균)에 의한 가해를 받고 있었으며(Figure 1-4), 흰개미에 의한 가해는 관찰하지 못하였다. 또한 건조된 상태로 실내에 사용되는 대나무에서 일부 가루나무좀의 가해가 관찰되었다. 참고로 Liese(1959)는 충류에 의한 가해보다 균류에 의한 피해가 더 크며, 갈색부후균보다는 연부후균과 백색부후균에 의한 가해가 더 많다고 보고한 바 있다. 대나무가 목재에 비하여 쉽게 생물학적인 열화에 쉽게 노출되는 이유는 대나무에 균의 훌륭한 영양원이 되는 전분이 많이 존재하기 때문이다(Beeson, 1941; Gardener, 1945; Mathew and Nair, 1990; Gnanaharan *et al.*, 1993)

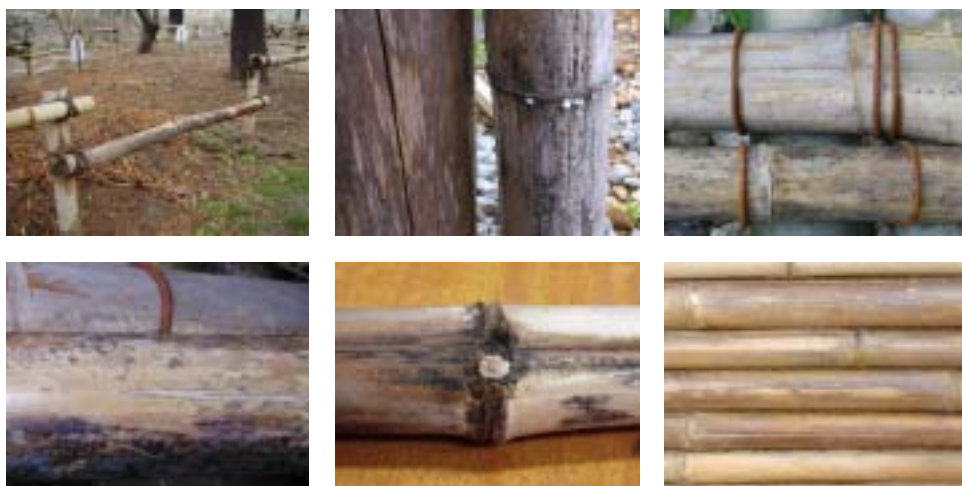


Figure 1-4. Some examples of deteriorated bamboo material by fungal attack.

대나무 가해 균류에 대한 연구는 국내에서는 전혀 수행된 바 없다. 그러나 외국의 경우, 1993년 싱가포르에서 개최된 INBAR 회의에서 대나무의 생물학적인 열화를 발생시키는 균류에 대한 조사 필요성이 제기되었다. 그 결과 아시아 각지

에서 대나무 가해 균류에 대한 분리와 동정이 수행되었다(Mohanan, 1996). 일본에서 보고된 대나무 부후균들로는 *Phyllostachys edulis*, *P. heterocycla* var. *pubescens*, *P. lithophila*, *P. nigra*, *Irpex lacteus*, *I. consors* Berk., *Tyromyces palustris*, *Pycnoporus coccineus* (*Trametes sanguinea*), *Poria vaporaria*, *Schizophyllum commune* Fr., *Polyporus versicolor* (*Coriolus versicolor*) 등이 있는데, 갈색부후균으로는 *Tromces palustris*, 백색부후균으로는 *Irpex lacteus*와 *Polyporus versicolor*가 중요하다고 보고된 바 있다. 인도에서는 *Polyporus zonalis* Berk., *P. tenuiculus* (Beauv) Fr., *P. grammocephalus* Berk., *Polystictus steinheilianus* Berk. et Lev., *Poria diversispora* Berk. et Br, *P. rhizomorpha* Bagchee, *Lenzites elegans* (Fr.) Pat., *Fomes durus* (Jung.) Cunn., *F. hypoplastus* Berk., *Schizophyllum commune*, *Stilbum erythrocephalum* Ditm., *S. lateritium* Berk., *Tetraploa aristata* Berk., *Thelephora palmata*(scop.) Fr., *Trametes persoonii* Fr., *Tremella fuciformis* Berk., *Gloeophyllum striatum* (Fr.) Murr., *Cyathus limbatus* Hall., *Sphaerostilbe bambusae* Pat., *Sporidesmium nilgirense* Subram., *S. leptospermum*, *Cribaria intricata* Schard., *Flammula dilepsis* Berk.et Br., *Apiospora montagnei* Sacc., *Lacellina graminicola* (Berk et Br.) Petch, *Phellinus gilvus* (Schw.) Pat 등이 주요 부후균으로 보고되었다. 태국에서는 *Daldinia concentrica* (Bolt. ex Fr.) Ces et de Not., *Trametes lactinea* Berk., *Lentinus* sp., *Pycnoporus sanguineus* L. ex Ft., *Gloeophyllum sepiarium* (Fr.) Karst., *G. subferruginosum* (Berk.) Bond. et singer, *Trametes cervino-gilvus* Aosh. and *Haploporus ljubarskyi* (Pil.) Bond. et singer, *Fomitopsis Pinicola* (Sw. ex Fr) Karst, *Favolus* sp., *Schizophyllum commune* Fr. 등이 보고되었다.

## 제 2 절 대나무 부후원인균의 동정 및 부후능력 평가

### 1. 서론

대나무 용도를 확대할 수 있는 여러 방안중 하나가 대나무를 야외 조경소재로 사용하는 것이나 자체의 열악한 내후성 때문에 대나무를 야외용으로 사용하는 자체를 기피하는 것이 현실이다. 내후성이 불량한 대나무를 야외 조경소재로 사용하기 위해서는 방부처리를 실시하여야 하는데, 대나무 방부처리에 앞서 대나무를 가해하는 부후원인균(부후균과 연부후균)의 종류와 이들의 대나무 가해 능력에 대한 기초자료의 구축이 필요하다. 따라서 본 연구는 대나무 부후원인균을 분리, 동정하고 이들의 대나무 가해 능력을 평가하고자 수행되었다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 대나무 부후원인균의 분리 및 동정

경상남도 진주 및 서울 일대의 야외에 시설된 대나무 소재로부터 균 분리용 죽편(chip)들을 채취하였다. 죽편 채취시 사용된 칼은 매번 화염으로 멸균처리 하였고, 죽편은 채취 즉시 비닐 주머니에 넣어 냉장상태로 실험실로 가져와 streptomycin이 일정량 첨가된 2% malt extract agar(MEA) 배지에 접종한 후 상온에서 계속적으로 계대배양을 반복하면서 순수한 단일 균들을 분리하였다.

분리된 균들은 신속·정확한 동정을 위해 현미경 관찰을 통한 형태학적 특징을 이용하여 1차 동정을 실시한 후, 부후균인 담자균류와 연부후균일 가능성이 높은 자낭균류에 대해서는 분자생물학적 방법(DNA sequence data 비교)을 이용하여 2차 동정을 실시하였다. 또한 분리된 균들의 최종 동정을 위하여 BUBC(The Breuil's culture collection of UBC, Canada) 균주 보관센터로부터 동일 균주들을 분양받아 상호 비교하였다.

## 나. 대나무 부후원인균의 부후능력 평가

공시 대나무로 경남 사천시 곤양산 왕대(*Phyllostachys bambusoides*), 솜대(*Phyllostachys nigra var. henosis*), 맹종죽(*Phyllostachys pubesens*)을 사용하였다. 부후균의 부후능력 평가용 공시균은 분리된 담자균류 6속 6종 모두를 사용하였으나 연부후균의 부후능력 평가용 공시균은 분리된 자낭균류중 연부후균으로 추정되는 9속 10종을 선정하여 사용하였다.

### 1) 부후시험

대나무 부후균의 부후능력 평가는 흙(soil) 대신 질석(vermiculite)을 사용한 점과 대나무 분리 부후균을 공시균으로 사용한 점을 제외하고는 미국목재보존협회 표준규격 AWWA E10-01(AWWA 2001)의 soil-block 시험법에 의거하여 실시하였다. 대나무 분리 부후균의 대나무와 목재간 가해능력 차이를 조사하기 위하여 소나무(*Pinus densiflora*) 변재부 목편을 사용하여 이들의 목재 가해능력을 별도로 평가하였다.

### 2) 연부후시험

대나무 분리 연부후균을 공시균으로 사용한 대나무 연부후균의 부후능력 평가는 Nilsson(1973)이 제시한 질석매립법(vermiculite burial method)을 일부 변형하여 다음과 같이 실시하였다.

#### 가) 접종용 포자/균사 현탁액 준비

2% MEA 배지에 미리 배양한 공시균의 균사체 가장자리에서 직경 5mm cork borer를 이용하여 접종원을 채취한 후 2.5% malt extract 수용액 20ml에 접종하였다. 접종 후 tube stirrer를 이용하여 포자와 균사를 분산시킨 후 7일 동안 28℃에서 정치배양 하였다. 정치배양 중에 현탁액을 2일에 한번씩 tube stirrer를 이용하여 균사의 엉킴을 방지하였다.

## 나) 포자/균사 현탁액 접종 및 배양

500ml 배양병에 질석(vermiculite) 20g을 넣고 그 위에 준비된 시편 네 개를 횡단면이 위를 향하도록 위치시킨 다음 다시 질석 20g을 넣어 시편들을 덮었다. Mineral nutrient solution(6g의  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 4g의  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 5g의  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 4g의  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 2.5g의 glucose, 0.1mg의 thiamine-HCl을 증류수 1ℓ에 녹여 제조) 100ml을 배양병에 골고루 부은 후 질석 표면을 평평하게 다져주고 121℃에서 30분 동안 멸균하였다. 배양병을 24시간 동안 식힌 후 121℃에서 20분 동안 2차 멸균을 실시하였다.

배양병을 48시간 동안 식힌 후 포자/균사 현탁액을 접종하여 28℃에서 20주 동안 배양하였다. 자연 상태에서는 모든 균이 혼재함을 고려하여 분리된 모든 균을 혼합한 혼합 현탁액(cocktail fungi) 접종에 의한 부후시험도 실시하였다.

## 다) 중량감소율 측정

20주 배양이 종료된 후, 시편 표면의 균사체와 포자를 깨끗하게 제거하고 시험편을 실내에서 48시간 동안 기건( $\text{MC} \leq 20\%$ )시킨 후 103℃에서 24시간 전건하여 무게를 측정하고, 부후 전후 무게를 이용하여 중량감소율을 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 대나무 부후원인균의 분리 및 동정

총 94개의 균을 분리하여 25속 29종의 균을 획득하였다(Table 2-1). 분리빈도를 살펴볼 때, 자낭균류 67%, 접합균류 18.1%, 담자균류 14.9% 순으로 나타났다.

#### 1) 접합균류(Zygomycetes)

총 17개의 균을 분리하여 2속 3종의 균을 획득하였다. 분리된 접합균류 중에서는 *Mucor racemosus*가 12.8%로 가장 높은 분리빈도를 보였으며, 다음으로 *Mortierella isabellina* 4.3%, *Mucor circinelloides* 1.1% 등의 순으로 나타났다.

## 2) 자낭균류(Ascomycetes)

총 63개의 균을 분리하여 17속 20종의 균을 획득하였다. 분리된 자낭균류 중에서는 *Alternaria alternata*가 26.6%로 가장 높은 분리빈도를 보였으며, 다음으로 *Arthrinium phaeospermum*(7.4%), *Phialophora mellini-like*(5.3%), *Acremonium* sp.(3.2%), *Trichoderma koningii*(3.2%) 등의 순으로 나타났다. 본 연구에서 분리된 균들은 동남아시아와 미국에서도 대나무로부터 분리되어 보고된 적이 있는데, *Acremonium* sp., *Arthrinium* sp., *Fusarium* spp. 등은 방글라데시에서 대나무 마름병의 원인균으로 알려져 있다(Rahman 1978; Rahman and Khisha 1983). 그리고 방글라데시에서 보고된 *Arthrinium* sp.와 *Fusarium* spp.를 포함하여 *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Phoma* spp. 등이 태국에서 분리·보고되었으며(Thongkantha, 1999), Zhang 등(1997)에 의해 미국에서 *Acremonium* sp., *Phialophora* sp., *Trichoderma* sp., *Verticillium* sp. 등이 보고되었다. 이상과 같이 외국으로부터 보고된 균종들이 국내 대나무 열화와도 밀접한 관련이 있을 것으로 사료되지만 현재까지 대나무의 생물학적 열화와 관련된 국내 연구가 전무하기 때문에 본 연구로부터 분리된 균들이 실제로 국내 대나무의 부후나 연부후 등의 생물학적 열화에 관여하는지는 추론하기는 어렵다. 단지 *Arthrinium phaeospermum*의 경우, 국내 대나무의 연부후 및 변색을 기하는 가장 확실한 균으로 사료되는데, 이는 본 연구에서 이 균의 분리빈도가 높을 뿐만 아니라 변색된 대나무 표면아래 검은 반점의 원인균으로 이미 확인된 바 있기 때문이다.

본 연구의 결과 발견된 몇 가지 특이사항으로는 본 연구에서 분리된 *Alternaria alternata*가 외국에서 전혀 보고된 바 없는데, 이는 균의 지리적 변이 및 host(숙주) 특이성 때문이라 사료된다. 앞으로 이 균이 국내 대나무에 어떠한 생물학적 열화를 야기하는지에 대한 심도있는 연구가 요구된다고 할 수 있다. 그리고 yeasts 형태의 분생자들을 형성하는 *Cephaloascus albidus*와 *Sporothrix* sp.가 소수 분리되었는데, 이 균들은 자연내후성이 강한 목재내에서 내후성에 관여하는 추출물질들을 파괴 또는 분해하여 추후, 목재 부후균들의 침입을 용이하게 하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Jin *et al.*, 1988). 따라서 국내 대나무의 생

물학적 열화에 있어서도 이 균들이 실제 어떤 역할을 하는지에 대한 연구가 앞으로 필요하리라 사료된다.

### 3) 담자균류(Basidiomycetes)

총 14개의 균을 분리하여 6속 6종의 균을 획득하였다. 분리된 담자균류 중에서는 *Ceriporia lacerata*와 *Schizophyllum commune*이 4.3%로 가장 높은 분리빈도를 보였으며, 다음으로 *Phanerochaete sordida*(3.2%), *Hypochnicium* sp.(1.1%), *Irpex lacteus*(1.1%), *Trametes versicolor*(1.1%) 등의 순으로 나타났다. 이들 균들은 모두 최근 본 연구실에서 실시한 '국내 사용중인 목제품으로부터 목재부후균의 분리 및 동정에 관한 연구'로부터 분리된 적이 있는 균들로서, 이로부터 국내에 존재하는 목재부후균류가 대나무도 가해하는 것으로 사료된다. *Ceriporia lacerata*는 최근에 일본에서 Suhara 등(2003)에 의해 신종으로 보고된 종으로서 국내에서는 본 연구의 보고가 처음이라 사료된다. *Schizophyllum commune*는 전세계적으로 가장 흔한 담자균류 중 하나인데, 본 연구 중 부후중인 대나무로부터 자실체까지 확보함으로써 이 균의 동정이 용이하였다. 또한 *Phanerochaete sordida*는 현재까지 국내에서만 보고되는 균으로 알려져 있다. 특이하게도 본 연구에서 분리된 담자균류들은 모두 백색부후균에 속하는데, 이는 대나무의 목재 화학조성분과 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 분리된 담자균류들은 외국의 연구결과에서도 보고된 적이 없는데, 이는 담자균류가 자낭균류와 접합균류에 비하여 더욱 지리적 및 host 특이성을 지니기 때문으로 사료된다.

예상과는 달리, 담자균류가 분리된 전체 균중 약 15%의 다소 높은 분리빈도를 나타내었다. 이와 같은 결과는 야외용 대나무의 사용수명 연장을 위해서는 반드시 방부처리를 실시해야 한다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

Table 2-1. Fungi isolated from Bamboo in service.

Fungal species	% Frequency	No. of Isolates
<b><i>Ascomycetes</i></b>		
<i>Alternaria alternata*</i>	26.6	25
<i>Arthrinium phaeospermum*</i>	7.4	7
<i>Phialophora mellini-like</i>	5.3	5
<i>Acremonium</i> sp.	3.2	3
<i>Trichoderma koningii</i>	3.2	3
<i>Geotrichum candidum</i>	2.1	2
<i>Penicillium asturianum</i>	2.1	2
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	2.1	2
<i>Verticillium albo-atrum</i>	2.1	2
<i>Acremonium kiliense</i>	1.1	1
<i>Cephaloascus albidus</i>	1.1	1
<i>Cladosporium oxysporum</i>	1.1	1
<i>Curvularia ovoidea</i>	1.1	1
<i>Fusarium</i> sp.	1.1	1
<i>Phialophora</i> sp.	1.1	1
<i>Phoma glomerata*</i>	1.1	1
<i>Phoma</i> sp. *	1.1	1
<i>Sesquicillium buxi</i>	1.1	1
<i>Sporothrix</i> sp. *	1.1	1
<i>Unidentified Ascomycetes*</i>	2.1	2
<b><i>Zygomycetes</i></b>		
<i>Mucor racemosus</i>	12.8	12
<i>Mortierella isabellina</i>	4.3	4
<i>Mucor circinelloides</i>	1.1	1
<b><i>Basidiomycetes</i></b>		
<i>Ceriporia lacerata*</i>	4.3	4
<i>Schizophyllum commune*</i>	4.3	4
<i>Phanerochaete sordida*</i>	3.2	3
<i>Hypochnicium</i> sp.*	1.1	1
<i>Irpex lacteus*</i>	1.1	1
<i>Trametes versicolor*</i>	1.1	1
<i>Number of Total Isolates</i>	94	94

\*Fungi were identified using both morphological and molecular method and the others were identified using only morphological method.



#### 나. 대나무 부후원인균의 부후능력 평가

왕대가 *Ceriporia lacerata*를 제외한 모든 균에 대한 부후저항이 가장 우수하였으며, 솜대와 맹종죽간에는 균종에 관계없이 부후저항에 대한 통계학적인 유의성 ( $\alpha=0.05$ )이 인정되지 않았다(Figure 2-1). 균종에 따른 대나무 부후능력은 일반적으로  $T. versicolor > I. lacteus > P. sordida \geq C. lacerata > Hypochnicium$  sp.  $\geq S. commune$  순으로 우수하였다. (Figure 2-1). 참고로 대나무 분리 부후균의 목재 부후능력을 평가한 결과, *T. versicolor*와 *P. sordida*의 목재 부후능력이 약간 우수한 점을 제외하고는 대나무 부후능력과 유사한 경향을 보였다.

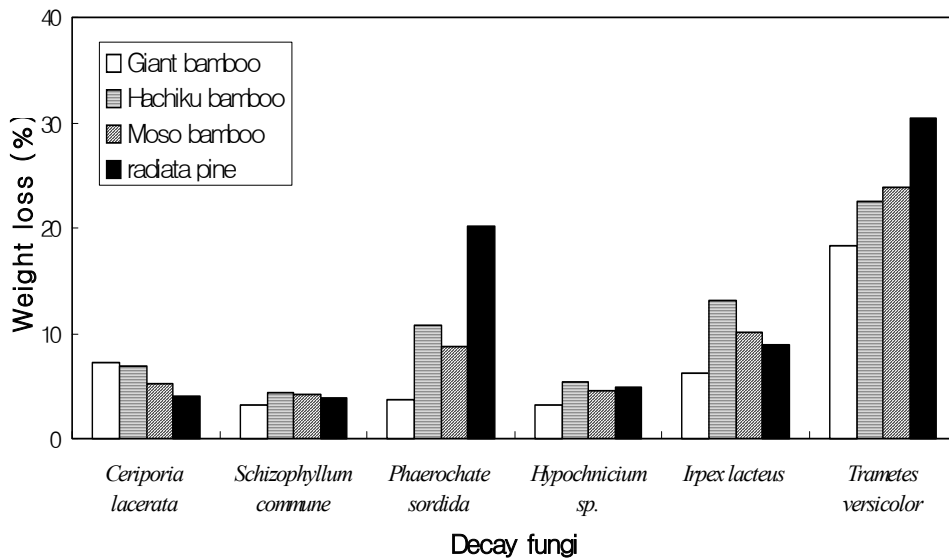
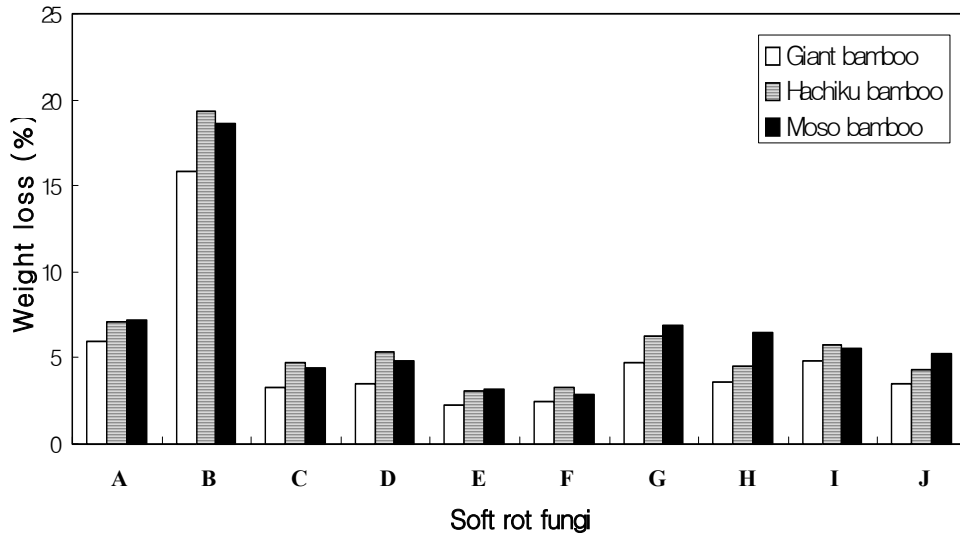


Figure 2-1. Average weight losses of three bamboo species and radiata pine sapwood by Basidiomycetes isolated in this study.

연부후 시험결과, 부후균에 대한 저항과 마찬가지로 왕대가 가장 우수한 연부후 저항성을 보였으며 솜대와 맹종죽간에는 *P. glomerata*를 제외한 모든 공시 연부후균에서 연부후 저항성에 대한 통계학적인 유의성( $\alpha=0.05$ )이 인정되지 않았다(Figure 2-2). 이처럼 죽종마다 연부후 저항성이 상이한 이유는 Othman 등(1995)

이 세포벽의 microfibril 배열각도가 연부후균 균사의 침투정도를 크게 영향한다고 보고한 바에서 알 수 있듯이 죽종에 따른 세포벽내 microfibril 배열각도와 밀접한 관련이 있으리라 사료된다. 즉, 대나무 세포벽의 주된 lamella 구조는 microfibril의 배열각도가 축 방향에 대하여 약 10°인 broad lamella와 microfibril의 배열각도가 축 방향에 대하여 약 90°인 narrow lamella로 구성되어 있는데 죽종마다 broad lamella와 narrow lamella의 구성 비율이 상이하어 결과적으로 세포벽의 microfibril의 배열각도가 달라지기 때문이다.

죽종에 관계없이 *A. alternata* 다음으로 분리빈도가 높았던 *A. phaeospermum*에 의한 중량감소가 가장 높았는데, *A. phaeospermum*은 야외 사용중인 대나무에 검은 색 반점을 발생시키는 원인균으로 잘 알려져 있다.



**A:** *Alternaria alternata*, **B:** *Arthrimum phaesopermum*, **C:** *Acremonium* sp., **D:** *Acremonium kiliense*, **E:** *Cephaloascus albidus*, **F:** *Cladsopodium oxysporum*, **G:** *Phialophora* sp., **H:** *Phoma glomerata*, **I:** *Sporthrix* sp., **J:** Unidentified Ascomycete

Figure 2-2. Average weight losses of three bamboo species by soft rot fungi isolated in this study.

#### 4. 결론

경상남도 진주 및 서울 일대에 시설되어 있는 대나무 조경소재로부터 총 25속 29종의 균을 분리, 동정하였다. 분리된 균중 대나무 부후원인균으로 사료되는 균들을 선별하여 부후시험을 수행한 결과 부후균인 *T. versicolor*와 연부후균인 *A. phaeospermum*이 높은 중량감소를 야기하여 야외사용 대나무의 사용수명 연장을 위한 방부처리시 주요 방제 대상균임을 알 수 있었다.

## 제 3 절 대나무 방부처리 기술 개발

### 1. 대나무 외피의 왁스 층 제거 기술 개발

#### 가. 서론

생물 체표를 덮고 있는 세포(동물에서는 상피세포, 식물에서는 표피세포)로 구성된 조직 표면에서는 여러 물질들이 분비되는데, 이러한 물질들이 굳어 각질화된 것을 총칭하여 큐티클층이라고 한다. 큐티클층은 식물체를 기계적으로 보호함과 동시에 수분이 공기 중으로 지나치게 발산되는 것을 방지하는데, 식물체에서 큐티클은 성장점 부근을 비롯하여 꽃이나 열매를 포함한 식물체의 표면 전체를 덮고 있으며 성숙한 부분일수록 두꺼운 것으로 알려져 있다. 표피세포에서 분비되는 물질의 종류는 식물에 따라 상이하지만 일반적으로 왁스 혹은 왁스와 유사한 물질인 것으로 알려져 있다.

대나무 표면은 셀룰로오스와 펙틴으로 이루어져 있으며, 왁스에 의해 덮여져 있다(Kumar 1994). 대나무 표층에 존재하는 왁스 층은 일반적으로 식물성 왁스의 일종인 *caranuba wax*의 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Farrelly 1984). 대나무 종류별로 왁스 특성에 대한 연구는 거의 수행되지 않았기 때문에 정확한 비교는 할 수 없지만, 적고단죽(*Sssa paniculata*) 잎을 석유에테르(petroleum ether)로 추출하였을 때 대략적으로 1%의 원유왁스(crude wax)를 얻을 수 있었으며, 이를 정제하였을 때 *caranuba wax*의 특성을 지닌 왁스가 얻어졌다고 보고된 바 있다(Farrelly 1984). *Caranuba* 왁스는 녹는 점이 대략 80°C 정도의 고 융점 왁스로 *candellila* 왁스와 더불어 대표적인 식물성 왁스로 알려져 있다.

대나무 표면에 존재하는 왁스 층은 방사조직이 없는 대나무의 해부학적 특성과 더불어 방부제의 침투를 불량하게 만드는 주요 요인 중의 하나로 간주되며, 또한

수용성 약제 처리시 도장성에 심각한 문제를 발생시킨다. 벌죽 후 시간이 경과함에 따른 대나무 재색의 변화는 대나무가 조경소재로 선호되지 않는 주요한 이유가 되는데, 대나무 표층에 존재하는 왁스 층은 색상을 발현하는 화합물들이 표층에서 정착되는 것을 방해하기 때문에 수용성 약제를 이용하여 대나무의 재색을 자연 재색인 녹색과 유사한 재색으로 만들기 위해서는 표층에 존재하는 왁스를 적절히 제거하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 여러 가지 무기염류 중 대나무 표층에 존재하는 왁스 층을 효과적으로 제거할 수 있는 무기염류를 선정하고, 선정된 용제를 사용하여 왁스 제거에 필요한 최적조건을 구명하기 위하여 실시되었다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 대나무 시험편의 준비

벌죽후 실험실로 운송되어 실내에서 기건된 경남 사천시 곤양산 왕대, 숨대, 맹종죽으로부터 폭이 2 cm이고 길이가 10 cm인 시험편을 필요량 준비하였다.

### 2) 왁스 제거 용제의 선정

탄산칼륨(potassium carbonate;  $K_2CO_3$ ), 수산화칼륨(potassium hydroxide; KOH), 탄산나트륨(sodium carbonate;  $Na_2CO_3$ ), 염화나트륨(sodium chloride; NaCl) 단독 수용액과 이들과 계면활성제인 sodium dodecyl sulfate ( $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$ )의 혼합 수용액을 대상으로 대나무 표피의 왁스 층을 효과적으로 제거할 수 있는 적정 용제를 선정하였다.

90°C 가열된 각각의 무기염류 수용액(농도=3%)과 각각의 무기염류와 계면활성제 혼합 수용액(무기염류 농도=3%, 계면활성제 농도=1%) 내에 대나무 시험편을 1시간 동안 침지하여 표층의 왁스를 제거하였다. 1시간 동안의 침지가 종료된 후 시험편들을 실내에서 12% 함수율 까지 기건 시켰다. 왁스 제거 정도는 시험편 표층에서 수분 접촉각 변화에 의하여 파악하였는데, 수분 접촉각은 시험편 표층에

10 $\mu$ l의 물을 떨어뜨린 후 접촉각 측정기를 사용하여 측정하였다. 접촉각은 물방울 좌우에서 측정되는 접촉각의 평균값을 내어 산출하였다. 대조구로서 무처리 대나무 시험편의 수분 접촉각이 측정되었다.

### 3) 최적 왁스 제거 조건의 결정

#### 가) 실험설계

대나무 표층에 존재하는 왁스의 제거정도를 예측하기 위하여 반응표면분석법(response surface methodology; RSM) 기법 중의 하나인 중심합성계획법(central composite design; CCD)이 사용되었다. CCD는 실험시 정확하게 조절할 수 있는 독립변수들이 실험결과인 반응변수에 미치는 영향을 구명하고, 이차식에 의한 모델링을 통하여 최적 반응을 보여주는 독립변수들의 최적조건(optimized conditions)을 찾기 위한 방법으로 1951년에 Box와 Wilson이 최초로 소개한 방법이다(Myers and Montgomery, 1995). 본 실험에 사용된 RSM은 2<sup>3</sup> factorial CCD로서 이 방법의 도식도는 Figure 3-1에서 볼 수 있다.

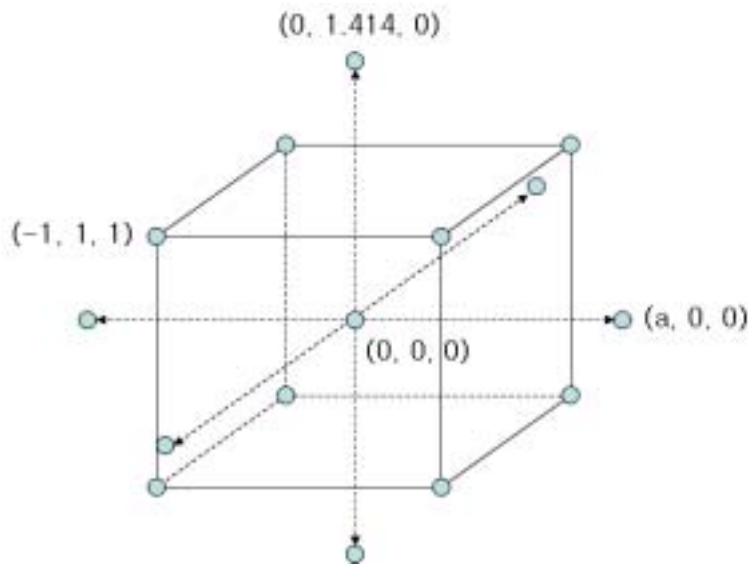


Figure 3-1. A diagram illustrating a 2<sup>3</sup> factorial design with central composite design (CCD)

Figure 3-1에서 볼 수 있는 정육면체의 각 꼭지점들은  $2^3$  factorial design을 의미하고 있으며, 결과분석의 편의를 위해 독립변수의 각 값들은 1, 0, -1의 세 가지 값을 가지도록 변화되었다.  $2^3$  factorial design에서 가장 중앙에 위치한 조건 (0, 0, 0)은 실험에서 가장 효과적이라고 생각되는 조건들로 선정되며, 그 외 독립변수들의 조건은 중심 값을 기준으로 균등하게 떨어져 있게 된다.

정육면체의 꼭지점(1 또는 -1 값으로 변화된 독립변수들의 조건)들은 중심 값을 기준으로  $\sqrt{2}$  (=1.414)의 거리만큼 떨어져 있게 되며,  $2^3$  factorial CCD에서는  $2^3$  factorial design의 조건 외에 중심 값과 중심 값으로부터  $\sqrt{2}$ 의 거리에 떨어진 지점에서의 값이 이차식에 의한 모델링을 위해 선정되게 된다. 그러나 정확히  $\sqrt{2}$ 의 거리만큼 떨어져 있는 조건을 선정하기는 어렵기 때문에 일반적으로 1.5의 값이 사용되며 최대 2까지도 사용된다. 참고로 2 이상이 될 경우에는 이 실험방법의 기하학적 구조상 최적 반응식의 정확성에 문제가 발생할 수 있다. Liu와 Tzeng(1998)은 이렇게 선정된 조건에서는 예측 가능한 결과 값들이 통계분석으로도 출되어진 최적 추출조건의 영향권 내에 존재하게 된다고 하였다.

왁스 제거용제로 선정된 수산화칼륨과 계면활성제 혼합 수용액을 이용한 대나무 표층의 왁스 제거를 위한 최적조건을 결정하기 위해 수산화칼륨 농도조건 1, 2, 4, 6, 7%, 계면활성제 농도조건 0.5, 1, 2, 3, 3.5%, 침지시간 10, 20, 40, 60, 70분을 왁스 제거조건으로 선정하였다. 중앙값은 4% 수산화칼륨 2% 계면활성제, 40분 반응시간으로 선정하였으며, 각 변수들의 값은 RSM에 적용하기 위하여 각각 -1.5, -1, 0, 1, 1.5의 값으로 변환되었다. 각 독립변수들의 coding된 값은 Table 3-1에서 볼 수 있다.

Table 3-1. Coded and assigned variables of different levels of the central composite design ( $\alpha=1.5$ )

Factor	Coded level				
	-a	-1	0	1	a
Potassium hydroxide (%)	1	2	4	6	7
Sodium dodecyl sulfate (%)	0.5	1	2	3	3.5
Reaction temperature (°C)	10	20	40	60	70

Liu와 Tzeng(1998)은 RSM에서 예측결과 반응의 중심이 되는 자료들은 이차식 모델링을 통해 최적화시킬 수 있다고 보고한 바 있다. 이 coding 체계는 각 변수들의 크기에 관계없이 일정한 크기 배열로 나타낼 수 있다는 장점이 있다(Barry et al., 2001). Table 3-2는 RSM에서 사용된 추출조건인 독립변수들의 실제 값과 이에 대응되는 CCD에서의 coding 값을 보여준다.

#### 나) 자료분석

적정 왁스 제거용제로 선정된 수산화칼륨과 계면활성제 혼합 수용액의 왁스 제거조건이 대나무 표층에 존재하는 왁스 제거에 미치는 영향을 반응표면분석법으로 분석하여 왁스제거조건과 접촉각간의 관계식을 도출하였다. 도출된 관계식으로부터 SAS/Graph<sup>®</sup> software (SAS institute Inc., 1990)을 이용하여 반응표면곡선을 생성하였다.



Table 3-2 Central composite design for removal of wax existing on the surface of bamboo.

	Actual variables			Coded variables		
	KOH (%)	Surfactant (%)	Time (min.)	KOH (%)	Surfactant (%)	Time (min.)
1	2	1	20	-1	-1	-1
2	6	1	20	+1	-1	-1
3	2	3	20	-1	+1	-1
4	6	3	20	+1	+1	-1
5	2	1	60	-1	-1	+1
6	6	1	60	+1	-1	+1
7	2	3	60	-1	+1	+1
8	6	3	60	+1	+1	+1
9	4	2	40	0	0	0
10	1	2	40	-1.5	0	0
11	7	2	40	+1.5	0	0
12	4	0.5	40	0	-1.5	0
13	4	3.5	40	0	+1.5	0
14	4	2	10	0	0	-1.5
15	4	2	70	0	0	+1.5

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 적정 왁스 제거용제의 선정

Table 3-3은 3% 탄산칼륨(potassium carbonate), 수산화칼륨(potassium hydroxide), 탄산나트륨(sodium carbonate), 염화나트륨(sodium chloride) 수용액

과 이들과 1% 계면활성제(sodium dodecyl sulfate) 혼합 수용액에서 처리된 시험편들의 수분 접촉각을 보여준다.

Table 3-3 Contact angles of water on the surface of bamboo.\*<sup>1</sup>

Chemical* <sup>2</sup>	Giant timber bamboo		Hachiku bamboo		Moso bamboo	
	$\theta_{t=0\text{sec}}$	$\theta_{t=20\text{sec}}$	$\theta_{t=0\text{sec}}$	$\theta_{t=20\text{sec}}$	$\theta_{t=0\text{sec}}$	$\theta_{t=20\text{sec}}$
Control	72.81 <b>a</b> <sup>*3</sup> (1.49)	72.16 <b>a</b> (1.85)	68.77 <b>ab</b> (1.02)	69.35 <b>a</b> (1.29)	69.82 <b>a</b> (1.69)	69.40 <b>a</b> (1.36)
PC	68.20 <b>b</b> (3.07)	68.14 <b>ab</b> (2.69)	72.53 <b>a</b> (1.78)	72.39 <b>a</b> (1.57)	71.85 <b>a</b> (2.60)	71.45 <b>a</b> (2.61)
PC + S	66.32 <b>b</b> (1.33)	65.86 <b>b</b> (1.20)	72.34 <b>a</b> (1.07)	72.33 <b>a</b> (1.17)	70.14 <b>a</b> (1.01)	69.54 <b>a</b> (1.67)
PH	61.39 <b>c</b> (5.11)	56.83 <b>c</b> (5.54)	58.23 <b>c</b> (4.61)	51.84 <b>b</b> (5.81)	61.53 <b>b</b> (3.76)	59.63 <b>b</b> (2.63)
PH + S	52.62 <b>d</b> (6.21)	46.16 <b>d</b> (8.56)	48.66 <b>d</b> (6.21)	39.16 <b>c</b> (11.60)	45.65 <b>c</b> (6.61)	40.88 <b>c</b> (5.77)
SCa	67.62 <b>b</b> (1.72)	67.18 <b>ab</b> (1.77)	71.82 <b>a</b> (1.73)	72.18 <b>a</b> (1.27)	69.88 <b>a</b> (2.46)	69.72 <b>a</b> (2.47)
SCa + S	65.68 <b>bc</b> (2.48)	65.54 <b>b</b> (2.35)	69.60 <b>ab</b> (1.66)	69.30 <b>a</b> (1.58)	68.37 <b>a</b> (4.01)	67.95 <b>a</b> (3.60)
SCl	63.87 <b>bc</b> (3.32)	63.90 <b>b</b> (2.98)	69.31 <b>ab</b> (1.77)	69.44 <b>a</b> (1.69)	70.86 <b>a</b> (1.37)	70.86 <b>a</b> (1.27)
SCl + S	65.91 <b>bc</b> (2.84)	66.06 <b>b</b> (2.74)	67.68 <b>b</b> (1.18)	66.59 <b>a</b> (0.90)	69.09 <b>a</b> (2.43)	68.80 <b>a</b> (2.15)

\*<sup>1</sup>Values represent the mean of five replicates and values in parenthesis represent the standard deviation.

\*<sup>2</sup>PC; potassium carbonate, PH; potassium hydroxide, SCa; sodium carbonate, SCl; sodium chloride, and S; surfactant.

\*<sup>3</sup>Means in the same column followed by the same letters do not differ significantly by Duncan's multiple range method ( $\alpha=0.05$ ).

수분 접촉각은 시험편 표면에 물방울을 떨어뜨린 후 즉시와 20초 후에 측정되었는데 시간에 따른 접촉각 변화는 크지 않으며, 또한 죽종별 차이도 크지 않은 것으로 나타났다.

수산화칼륨과 계면활성제의 혼합 수용액으로 처리한 시험편의 접촉각이 가장 낮은 것으로 미루어볼 때 상기 혼합 수용액이 왁스 제거에 가장 효과적이고, 그 다음으로 수산화칼륨에 의한 처리가 효과가 있는 것으로 나타났다. 수산화칼륨과 계면활성제의 혼합 수용액과 수산화칼륨 수용액을 제외한 다른 무기염류들은 왁스제거에 큰 효과가 없는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 탄산칼륨과 계면활성제를 이용하여 왁스를 제거한 Chang과 Lee(1996)의 연구 결과와 다소 상이하나, 본 연구의 결과로 볼 때 탄산칼륨은 왁스 제거용제로서 적절하지 않은 것으로 보인다. 이상의 결과를 종합해볼 때 왁스 제거를 위한 용제로는 수산화칼륨과 계면활성제의 혼합 수용액이 가장 이상적인 것으로 판단되었다.

## 2) 반응 표면분석법을 이용한 최적 왁스 제거조건 결정

Table 3-4는 왁스 제거조건(수산화칼륨 및 계면활성제 농도, 처리시간)인 독립 변수들의 실제 값에 대한 coding 값과 각각의 처리조건별로 처리 진후에 측정된 대나무 표면에서의 수분 접촉각의 차이를 보여준다. 수분 접촉각의 시간에 따른 차이가 거의 없었던 것으로 판명되었기 때문에 물방울을 대나무 표면에 떨어뜨린 직후의 수분 접촉각을 반응변수로 사용하였다.

왁스 제거조건과 처리 진후 수분 접촉각간의 관계식을 구하기 위한 RSM 분석 결과, 상관계수( $R^2$ )는 0.98로 나타났다. 따라서 RSM에 의해 적용된 왁스 제거조건 별로 왁스 제거정도를 예측하고, 이를 근거로 최적 왁스 제거조건을 결정하는데는 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 왁스 제거에 미치는 영향을 통계적으로 분석한 결과, 유의수준이 0.05 이상인 경우는 왁스제거 예측식에서 제외하였다.

Table 3-4. The values of contact angle of water on the surface of bamboo at the various treatment conditions

	Actual variables			Coded variables			Differences of contact angles (°)
	KOH (%)	Surfactant (%)	Time (min.)	KOH (%)	Surfactant (%)	Time (min.)	
1	2	1	20	-1	-1	-1	2.34 <sup>*1</sup>
2	6	1	20	+1	-1	-1	1.72
3	2	3	20	-1	+1	-1	3.47
4	6	3	20	+1	+1	-1	8.23
5	2	1	60	-1	-1	+1	7.63
6	6	1	60	+1	-1	+1	12.37
7	2	3	60	-1	+1	+1	12.75
8	6	3	60	+1	+1	+1	18.82
9	4	2	40	0	0	0	16.17
10	1	2	40	-1.5	0	0	4.31
11	7	2	40	+1.5	0	0	9.30
12	4	0.5	40	0	-1.5	0	7.57
13	4	3.5	40	0	+1.5	0	17.43
14	4	2	10	0	0	-1.5	2.73
15	4	2	70	0	0	+1.5	16.37

<sup>\*1</sup>The values represent the difference of the values of contact angles before and after the treatment.

### 3) 최적 왁스제거 예측식의 도출 및 평가

왁스 제거조건과 수분 접촉각의 차이간 관계식을 구하기 위한 RSM 분석 결과 통계적으로 유의성이 인정되지 않는 독립변수와 이들의 조합을 제외했을 때 얻어진 관계식은 다음과 같다.

$$Y_1 = 5.635 + 5.674x_1 + 8.598x_2 + 14.230x_3 - 7.774x_1^2 - 5.215x_3^2 \quad [R^2=0.98] \quad (1)$$

$Y_1$  = differences of contact angles before and after the treatment

$x_1$  = coded KOH concentration

$x_2$  = coded surfactant concentration

$x_3$  = coded reaction time

식 (1)은 인자들의 크기에 상관없이 일정한 간격으로 coding되어 있기 때문에 실제 변수에 해당하는 인자로 변화시킴으로써 실제 인자가 포함된 관계식을 도출할 수 있다. 일정한 값으로 coding된 인자들을 실제 인자들의 값으로 변환시키면 다음과 같다.

$$Y_2 = -36.405 + 18.385a + 8.598b + 0.3315c - 1.9435a^2 - 0.01304c^2 \quad (2)$$

$Y_1$  = differences of contact angles before and after the treatment

$a$  = KOH concentration (%)

$b$  = surfactant concentration (%)

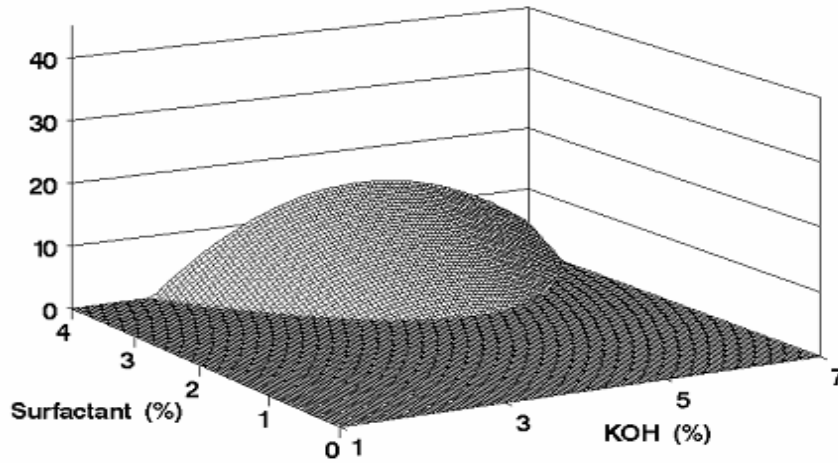
$c$  = reaction time (min.)

식 (2)의 계수 비교에 의하면 수산화칼륨의 농도 > 계면활성제의 농도 > 반응시간의 순으로 왁스 제거에 영향을 미치는 것으로 나타나서 수산화칼륨의 농도가 가장 중요한 인자임을 알 수 있다. 그러나 처리조건간 조합에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

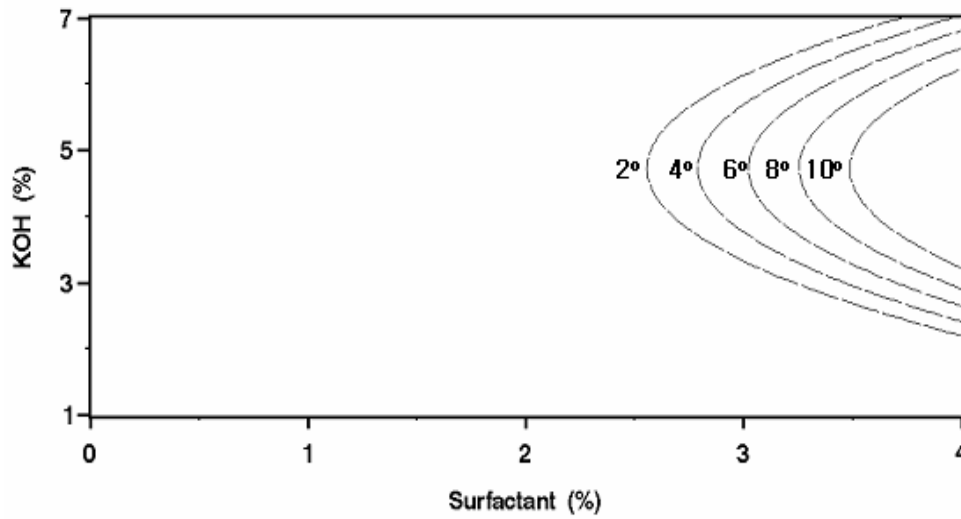
RSM 분석에 의해 유도된 수분 접촉각의 차이에 대한 관계식을 이용하여 SAS/Graph<sup>®</sup> software를 사용하여 나타낸 3차원 그래프와 등고선 그래프는 Figure 3-2부터 3-4에서 볼 수 있다. 등고선 그래프에서 등고선 간격이 좁으면 왁스 제거정도가 크게 영향 받음을 의미하며, 등고선 간격이 넓으면 처리조건에 의해 왁스 제거정도가 크게 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 구해진 공식을 이용하여 처리 전후의 접촉각의 차이가 최대로 나타나는 점은 5.08% 수산화칼륨 3.58% 계면활성제, 그리고 반응시간 63.4분으로 나타났다. 따라서 왁스를 최대로 제거하기 위해서 적용되어야 하는 조건은 5% KOH, 3.5% 계면활성제, 그리고 1

시간의 반응시간으로 판단된다.

Differences of contact angles (°)



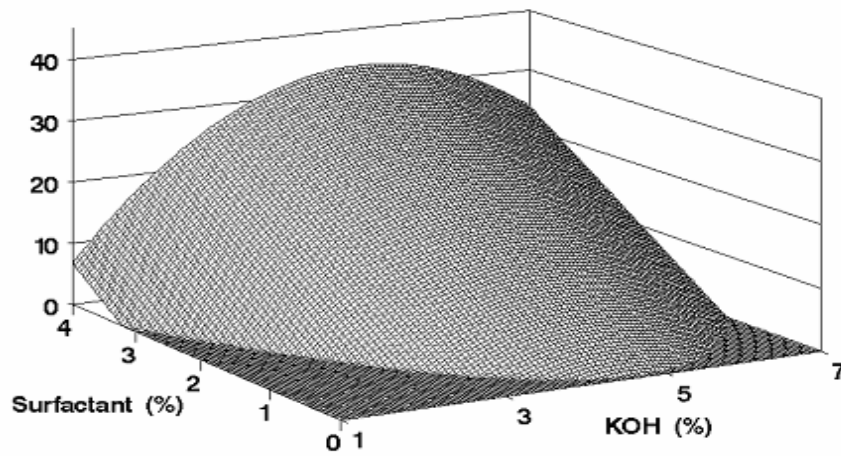
(a) Three-dimensional response surface plot



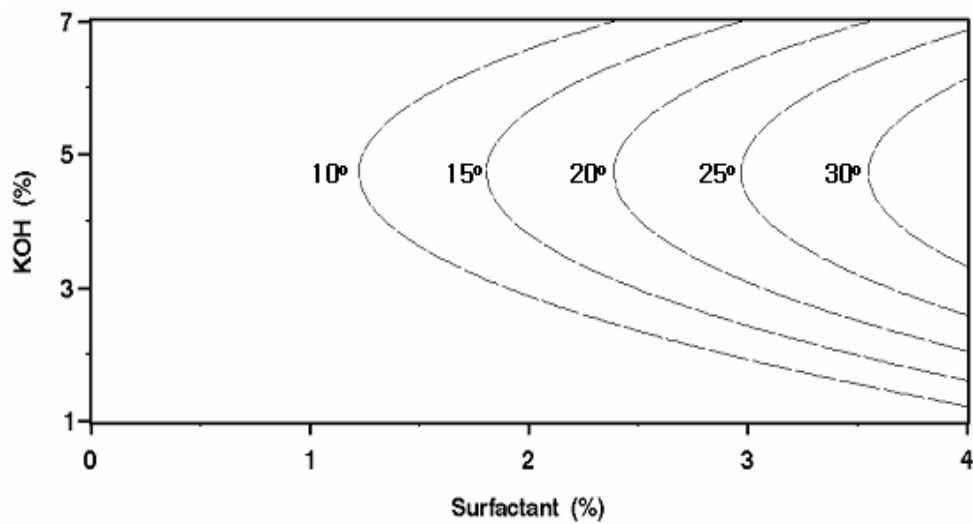
(b) Contour plot

Figure 3-2. Change of the differences of contact angles of water on bamboo surface before and after the treatment when the reaction time is 20 minutes.

Differences of contact angles (°)



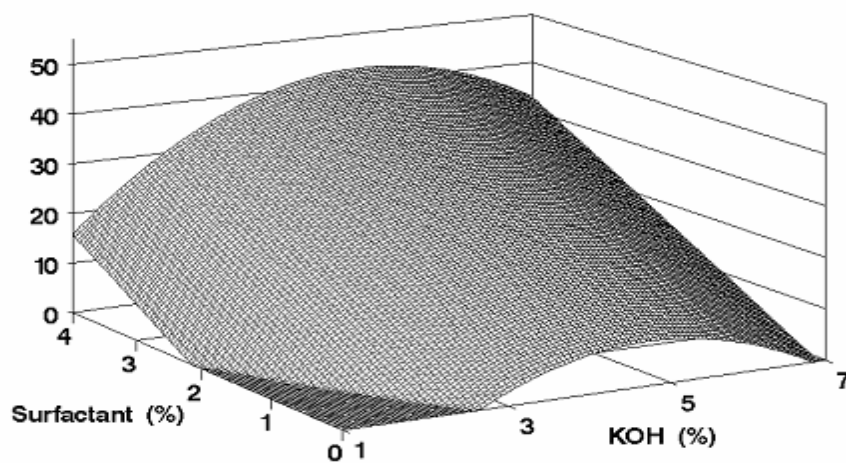
(a) Three-dimensional response surface plot



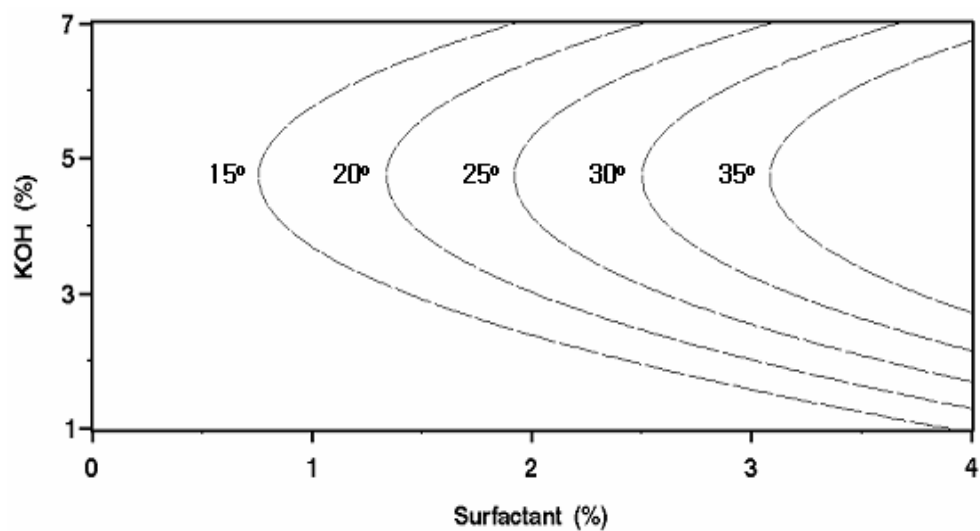
(b) Contour plot

Figure 3-3. Change of the differences of contact angles of water on bamboo surface before and after the treatment when the reaction time is 40 minutes.

Differences of contact angles (°)



(a) Three-dimensional response surface plot



(b) Contour plot

Figure 3-4. Change of the differences of contact angles of water on bamboo surface before/after the treatment when the reaction time is 60 minutes.



## 라. 결론

대나무 표층에 존재하는 왁스 층을 제거하는데 가장 효과적인 약제는 수산화칼륨과 계면활성제인 sodium dodecyl sulfate 혼합 수용액이었는데, 반응표면분석법을 이용하여 처리 전후의 접촉각 차이를 통한 예측식을 도출한 결과, 왁스 제거에 미치는 영향은 수산화칼륨의 농도>계면활성제의 농도>반응시간의 순으로 영향하였다. 따라서 최적 왁스 제거조건 결정시 용제 농도를 우선적으로 고려한 다음 최종적으로 반응시간을 결정하여야 하는데, 90℃로 가열된 5% 수산화칼륨과 3.5% 계면활성제 혼합 수용액에서 대나무 시험편을 1시간 동안 침치하는 것이 적정 왁스제거 조건임을 알 수 있었다.

## 2. 재색 발현 및 내후성 획득을 위한 방부처리 조건 결정

### 가. 서론

조경소재 등으로 대나무가 야외용으로 사용되지 못하는 가장 큰 이유는 대나무의 내구성, 즉 생물학적 열화인자들에 대한 저항성이 낮기 때문인데, 이는 목재의 경우에서와 마찬가지로 방부처리를 실시함에 의해 쉽게 해결할 수 있다. 그리고 벌죽 직후에는 대나무가 매력적인 녹색을 유지하지만 시간이 경과와 함께 엽록소가 파괴되면서 누런색으로 변색 및 퇴색되는 점도 대나무를 조경소재로 선호하지 않는 큰 이유라 할 수 있다. 이러한 문제도 처리재의 재색을 녹색으로 변화시키는 구리화합물계 방부제로 처리하면 해결되리라 본다. 만일 방부처리에 의해 대나무 원래 재색인 녹색과 유사한 색상을 발현시키면서 동시에 균류와 충류 가해에 대한 저항성을 높일 수 있다면 야외용 조경소재로써 대나무 사용량은 크게 증가될 것이다.

대나무의 방부처리와 관련된 국내 연구는 전혀 이루어진바 없으며, 외국의 경우에도 인도, 방글라데시, 말레이시아 등에서 연구가 일부 수행된 정도이다(Sonti *et al.*, 1989; Sonti and Chatterbee, 1990; Kumar and Dobriyal, 1992; Lahiry, 2001; Akhter *et al.*, 2001, Choo and Gan, 1998). 크롬계 무기염류 처리에 의한 대나무 재색 유지에 관한 연구가 대만에서 일부 수행되었는데(Chang and Lee, 1996; Chang, 1997; Chang and Woo, 2000; Chang *et al.*, 2002), 크롬계 무기염류 처리에 의해 대나무 녹색은 유지되지만 처리에 사용된 약제가 방부제가 아닌 관계로 처리 대나무에 내후성은 부여할 수가 없었다. 또한 여러 종류의 대나무 담장(울타리)을 생산하여 전 세계에 수출하는 중국 광둥성의 Fence and Bamboo International 주식회사는 녹색 플라스틱을 대나무 표면에 피복함에 의해 대나무의 자연 색과 비슷한 색을 유지시킨 제품인 'plastic coated bamboo fence'를 생산하고 있다(Fence and Bamboo International Co., Limited, 1999)

본 연구는 대나무의 재색 발현 및 내후성 획득이 동시에 가능한 방부제 선정

및 방부처리 조건을 결정하기 위하여 수행되었다. 우선 국내에 수입·사용되고 있는 무기화합물계 방부제인 CCA 및 CCA 대체 방부제(ACQ, CB-HDO, CUAZ)를 대상으로 방부처리 방법(가압처리 및 상압 침지처리)별로 대나무 재색과 가장 유사한 색을 발현할 수 있는 방부제와 처리농도를 선정하였다. 다음으로 선정된 방부제를 대상으로 기 분리·동정된 대표적인 대나무 부후균(*Trametes versicolor*) 및 연부후균(*Arthriniium phaeospermum*)의 가해를 예방할 수 있는, 즉 내후성 획득이 가능한 방부제 처리농도를 조사하였다. 본 연구를 통해 선정된 방부제의 재색 발현을 위한 처리농도와 내후성 획득을 위한 처리농도중 높은 농도가 최종 대나무 방부처리시 방부제 처리농도로 사용된다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 공시재료

벌죽후 실험실로 운송되어 실내에서 기건된 경상남도 사천시 곤양산 왕대, 솥대, 맹종죽으로부터 재색 발현을 위한 방부제 선정 및 방부처리 조건 결정용 시험편(폭 2cm × 길이 5cm)과 내후성 획득을 위한 방부제 처리농도 결정용 시험편(폭 2cm × 길이 2cm)을 필요량 준비하였다.

### 2) 왁스 층 제거

기 결정된 방법에 따라 90℃로 가열된 용제(5% potassium hydroxide와 3.5% sodium dodecyl sulfate의 혼합 수용액)에 시험편을 60분간 침지하여 시험편 표층의 왁스 층을 제거하였다. 그 후 시험편을 증류수에 24시간 침지하여 표면에 잔류된 용제 성분을 제거하고, 실내에서 충분한 기간 동안 건조하였다.

### 3) 재색 발현을 위한 방부제 선정 및 방부처리 조건 결정

상압처리법(침지처리법)과 가압처리법(충세포법)을 이용하여 대나무 시험편을 무기화합물계 방부제인 CCA 및 CCA 대체 방부제(ACQ, CB-HDO, CUAZ)로 처리

하였다.

상압처리는 시험편을 방부제 수용액 중에 3시간, 6시간, 12시간, 1일, 2일, 5일, 10일 동안 침지하였는데, 방부제의 종류에 관계없이 처리농도는 1%, 3%, 5%로 하였다. 가압처리는 시험편을 주약관 내에 집어넣고 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 방부제 수용액을 주약관 내로 주입시키고 14kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시험편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다. CCA와 CCA 대체 방부제인 ACQ, CB-HDO, CUAZ-1의 처리농도는 현재 생산 현장에서 목재처리에 사용되는 농도의 0.5, 1.0, 1.5배였다(CCA: 1.0, 2.0, 3.0%, ACQ: 1.85, 3.70, 5.55%, CB-HDO: 1.0, 2.0, 3.0%, CUAZ-1: 0.375, 0.750, 1.125%). 가압 및 상압처리 종료 후, 모든 시험편을 60°C에서 24시간 동안 비건 조양생을 실시하였다. 양생이 종료된 시험편들은 실내에서 충분한 기간 동안 건조하였다.

대나무의 자연 재색을 보유하는 생재 무처리구와 다양한 처리조건의 방부처리구의 표면재색 변화는 색차계(Color Techno System, Co, Model: JP 7200F)를 이용하여 각 시험편의 명도지수인 L\*과 크로마틱 지수인 a\*와 b\*를 측정하여 수치화하였다. 처리조건에 따른 재색 발현 정도는 녹색을 나타내는 음(-)의 크로마틱 지수 a값 변화에 의해 판정하였다.

#### 4) 내후성 획득을 위한 방부제 처리농도 결정

대나무로부터 분리된 부후균 6종(9균)과 연부후균 12종의 연부후균에 대하여 선행된 CCA에 대한 최소 생육억제농도(Appendix 1 참조)와 부후능력(Figure 2-1 및 Figure 2-2 참조)에 의거하여 *Trametes versicolor*를 공시 부후균으로, 그리고 *Arthrinium phaeospermum*을 공시 연부후균으로 선정하였다.

### (가) 방부처리

방부처리는 충세포법으로 실시하였는데, 시험편을 주약관 내에 집어넣고 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 방부제 수용액을 주약관 내로 주입시키고 14kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시험편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다. 내후성 획득을 위한 적정 처리농도 결정용 시험편중 부후균에 대한 방부효력 시험편은 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0% CCA로 처리하였고, 연부후균에 대한 방부효력 시험용 시험편은 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0% CCA로 처리하였다.

### (나) 부후시험

대나무 부후균의 부후능력 평가는 흙(soil) 대신 질석(vermiculite)을 사용한 점과 대나무 분리 부후균을 공시균으로 사용한 점을 제외하고는 미국목재보존협회 표준규격 AWWA E10-01(AWWA, 2001)의 soil-block 시험법에 의거하여 실시하였다.

### (다) 연부후시험

대나무 분리 연부후균을 공시균으로 사용한 대나무 연부후균의 부후능력 평가는 Nilsson(1973)이 제시한 질석매립법(vermiculite burial method)을 일부 변형하여 다음과 같이 실시하였다.

#### (1) 접종용 포자/균사 현탁액 준비

2% MEA 배지에 미리 배양한 공시균의 균사체 가장자리에서 직경 5mm cork borer를 이용하여 접종원을 채취한 후 2.5% malt extract 수용액 20ml에 접종하였다. 접종 후 tube stirrer를 이용하여 포자와 균사를 분산시킨 후 7일 동안 28℃에서 정치배양 하였다. 정치배양 중에 현탁액을 2일에 한번씩 tube stirrer를 이용하여 균사의 엉킴을 방지하였다.

## (2) 포자/균사 현탁액 접종 및 배양

500ml 배양병에 질석(vermiculite) 20g을 넣고 그 위에 준비된 시편 네 개를 횡단면이 위를 향하도록 위치시킨 다음 다시 질석 20g을 넣어 시편들을 덮었다. Mineral nutrient solution(6g의  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 4g의  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 5g의  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 4g의  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 2.5g의 glucose, 0.1mg의 thiamine-HCl을 증류수 1ℓ에 녹여 제조) 100ml을 배양병에 골고루 부은 후 질석 표면을 평평하게 다져주고 121℃에서 30분 동안 멸균하였다. 배양병을 24시간 동안 식힌 후 121℃에서 20분 동안 2차 멸균을 실시하였다. 배양병을 48시간 동안 식힌 후 포자/균사 현탁액을 접종하여 28℃에서 20주 동안 배양하였다.

## (3) 중량감소율 측정

20주 배양이 종료된 후, 시편 표면의 균사체와 포자를 깨끗하게 제거하고 시험편을 실내에서 48시간 동안 기건( $\text{MC} \leq 20\%$ )시킨 후 103℃에서 24시간 전진하여 무게를 측정하고, 부후 전후 무게를 이용하여 중량감소율을 계산하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 재색 발현을 위한 방부제 선정 및 방부처리 조건 결정

#### 가) 상압처리

방부제 농도 및 침지시간에 따른 처리 대나무 시험편의 명도지수와 크로마틱 지수를 색차계를 이용하여 측정한 결과를 Table 3-5에 보여준다. ACQ, CB-HDO, CUAZ-1 5% 수용액에 10일간 침지한 시험편의 a값은 양(+)의 값으로 녹색이 나타나지 않아 이들은 대나무의 원래 재색인 녹색을 발현시킬 수 있는 방부제로 사용이 불가능하였다. 그러나 CCA 침지 시험편의 경우 침지시간이 증가함에 따라 재색이 밝은 녹색으로 변화하였다. CCA 처리 시험편의 L값과 b값은 원래 대나무 재색 값과 비교할 때 높게 나타났지만 색상을 나타내는 a값은 원래

의 재색과 비슷한 값을 보여주는 것을 알 수 있다. 따라서 상압처리인 침지처리에 의해 처리 대나무의 재색을 녹색으로 발현시킬 수 있는 방부제로 CCA를 선정하였다. 침지시간이 증가함에 따라 처리 대나무 재색은 계속적으로 짙은 녹색으로 변함을 알 수 있는데 크로마틱 지수 a값을 기준으로 재색 발현을 위한 적정 처리조건은 Figure 3-5에서 볼 수 있다. 별죽 직후의 왕대, 솜대, 맹종죽의 a값은 각각 -7.52, -4.98, -5.47로 CCA 1% 수용액으로 처리된 왕대와 맹종죽의 경우를 제외하고는 대부분 침지 2일 이후부터 원래의 재색과 유사한 녹색이 발현되는 것을 알 수 있다.

Table 3-5. The values of L, a, and b of Giant timber, Hachiku, and Moso bamboo dip-treated with CCA, CB-HDO, ACQ, and CUAZ-1.\*<sup>1</sup>

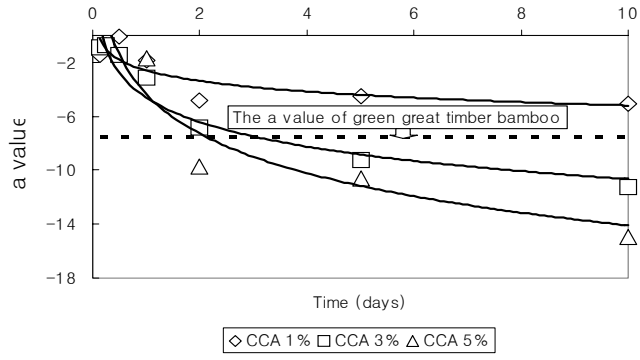
Types	Time	Great timber bamboo			Hachiku bamboo			Moso bamboo		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b
Untreated control		33.40 (1.58)	-7.52 (0.71)	11.69 (1.72)	44.52 (4.99)	-4.98 (0.66)	9.08 (1.80)	34.79 (2.25)	-5.47 (1.04)	7.56 (2.44)
	3 hrs	58.34 (1.85)	-1.42 (0.58)	27.37 1.65	58.99 (1.94)	-2.22 (1.92)	19.89 (1.64)	56.14 (1.65)	-1.72 (1.24)	23.89 (1.17)
	6 hrs	54.59 (0.86)	-0.75 (0.21)	28.39 (0.84)	56.55 (1.07)	-2.30 (1.66)	22.86 (2.07)	53.52 (0.73)	-2.07 (2.42)	23.28 (2.42)
	12 hrs	56.52 (3.25)	-0.12 (0.51)	28.68 (1.07)	56.86 (0.49)	-2.74 (1.07)	22.17 (2.21)	56.87 (1.90)	-0.48 (0.71)	25.09 (0.43)
CCA 1%	1 day	53.09 (0.83)	-1.88 (0.50)	25.37 (3.60)	56.21 (1.06)	-2.68 (0.56)	21.87 (1.03)	54.72 (1.44)	-1.54 (0.87)	23.91 (1.68)
	2 days	54.79 (0.83)	-4.86 (0.99)	25.96 (1.93)	53.93 (0.24)	-5.53 (0.90)	19.99 (2.59)	52.49 (0.26)	-2.08 (0.87)	20.68 (1.61)
	5 days	55.02 (0.33)	-4.52 (0.56)	27.76 (1.24)	51.47 (1.03)	-6.58 (0.53)	19.73 (0.90)	53.43 (0.85)	-3.05 (0.76)	24.99 (2.35)
	10 days	53.39 (0.82)	-5.07 (0.22)	27.17 (1.43)	54.89 (0.93)	-7.41 (0.19)	20.41 (1.37)	54.37 (2.20)	-4.34 (1.36)	24.18 (1.76)

\*<sup>1</sup>Values represent the mean of three replicates, and values represent the standard deviation.

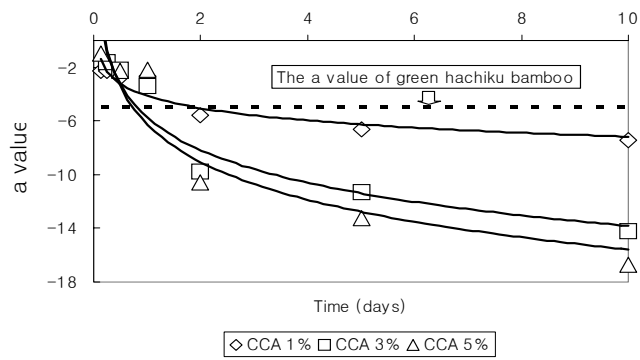
Table 3-5. Continued.

Types	Time	Great timber bamboo			Hachiku bamboo			Moso bamboo		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b
CCA 3%	3 hrs	52.75 (2.62)	-0.86 (1.76)	23.26 (1.53)	55.58 (0.90)	0.81 (0.83)	22.94 (0.95)	53.58 (0.88)	2.18 (0.98)	27.90 (0.89)
	6 hrs	52.29 (0.94)	-0.72 (1.46)	26.10 (0.22)	56.75 (0.83)	-1.62 (2.85)	20.48 (1.70)	55.66 (0.93)	-3.58 (0.87)	21.88 (0.91)
	12 hrs	50.50 (2.20)	-1.47 (1.02)	25.65 (0.61)	54.64 (1.23)	-2.21 (1.68)	20.89 (0.79)	53.45 (0.74)	-2.97 (0.87)	22.93 (1.38)
	1 day	52.14 (1.81)	-3.17 (1.89)	20.69 (5.20)	53.41 (1.32)	-3.42 (0.96)	21.20 (1.07)	52.46 (0.33)	-4.21 (0.97)	19.65 (0.78)
	2 days	54.74 (0.54)	-6.8 (0.41)	23.21 (0.52)	54.62 (0.42)	-9.74 (0.31)	21.28 (0.75)	54.21 (0.43)	-7.00 (0.53)	23.54 (0.30)
	5 days	52.29 (1.42)	-9.22 (1.66)	24.27 (1.55)	54.83 (0.78)	-11.34 (0.35)	19.18 (0.67)	43.98 (12.07)	-9.90 (0.78)	24.10 (0.92)
	10 days	51.57 (0.91)	-11.23 (1.31)	22.20 (0.81)	53.23 (1.33)	-14.17 (0.53)	18.59 (1.11)	50.58 (1.01)	-11.61 (1.30)	21.29 (0.53)
	CCA 5%	3 hrs	52.00 (0.97)	2.06 (0.98)	26.71 (0.96)	53.62 (0.59)	-0.94 (0.78)	22.73 (1.68)	53.08 (1.31)	0.95 (0.59)
6 hrs		50.42 (1.69)	2.09 (0.41)	25.91 (0.85)	53.03 (2.40)	0.21 (0.39)	21.37 (1.21)	51.87 (2.91)	-0.37 (0.81)	21.36 (0.43)
12 hrs		52.03 (0.77)	0.37 (1.52)	24.88 (1.71)	55.40 (1.18)	-2.28 (2.01)	21.60 (2.99)	52.72 (0.89)	-0.90 (0.33)	22.21 (1.56)
1 day		51.79 (0.39)	-1.66 (1.40)	24.15 (1.78)	52.70 (4.24)	-2.15 (0.63)	21.52 (0.75)	51.98 (0.73)	-2.84 (1.18)	21.82 (1.29)
2 days		54.54 (1.14)	-9.7 (0.59)	22.00 (0.85)	54.55 (0.84)	-10.56 (1.08)	19.65 (1.31)	54.82 (2.13)	-8.96 (1.93)	20.30 (1.14)
5 days		53.34 (0.34)	-10.63 (1.32)	21.46 (0.38)	52.28 (1.81)	-13.21 (1.09)	20.27 (1.99)	54.01 (1.36)	-12.48 (0.78)	22.30 (0.81)
10 days		52.60 (0.61)	-14.95 (0.85)	21.22 (1.30)	50.37 (1.40)	-16.70 (0.39)	17.83 (0.33)	48.90 (0.53)	-14.78 (0.18)	20.29 (0.50)
ACQ 5%		10 days	28.95 (3.12)	1.81 (0.20)	9.63 (3.49)	25.51 (2.78)	2.98 (0.80)	10.56 (1.68)	29.86 (4.10)	2.81 (0.58)
CB-HDO 5%	10 days	36.83 (0.66)	3.09 (0.54)	17.17 (0.90)	37.20 (1.32)	3.27 (0.65)	17.37 (2.08)	35.83 (0.78)	3.57 (0.33)	15.98 (2.00)
CUAZ-1 5%	10 days	30.73 (1.21)	2.19 (0.44)	12.27 (1.51)	28.34 (1.64)	3.21 (0.65)	15.44 (2.01)	33.84 (1.78)	3.56 (0.43)	14.87 (2.11)

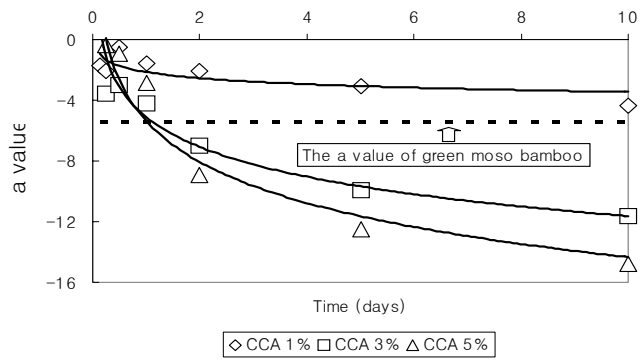




(a) Great timber bamboo



(b) Hachiku bamboo



(c) Moso bamboo

Figure 3-5. The change of a value according to dip-treatment time.

## 나) 가압처리

상압처리 시간을 단축할 목적으로 가압처리를 실시한 결과, 방부제 종류에 관계없이 처리 대나무의 재색이 연한 녹갈색(greenish brown)부터 연한 갈색으로 대나무의 원래 재색과 차이가 많았다(Figure 3-6). 따라서 가압처리에 의해서는 처리 대나무의 재색을 원래 대나무의 재색과 유사하게 발현할 수 없음을 알 수 있었다.

Refusal point까지 가압처리를 한 시험편의 재색은 녹색이 발현되지 않는 반면에 침지처리 시험편에서 녹색이 발현되는 이유는 방부제 처리도와는 무관하게 대나무 시험편의 표면이 방부제 수용액과 접촉되는 시간이 길어지면서 표면에 부착(loading)되는 방부제의 양이 많기 때문이라고 판단된다.

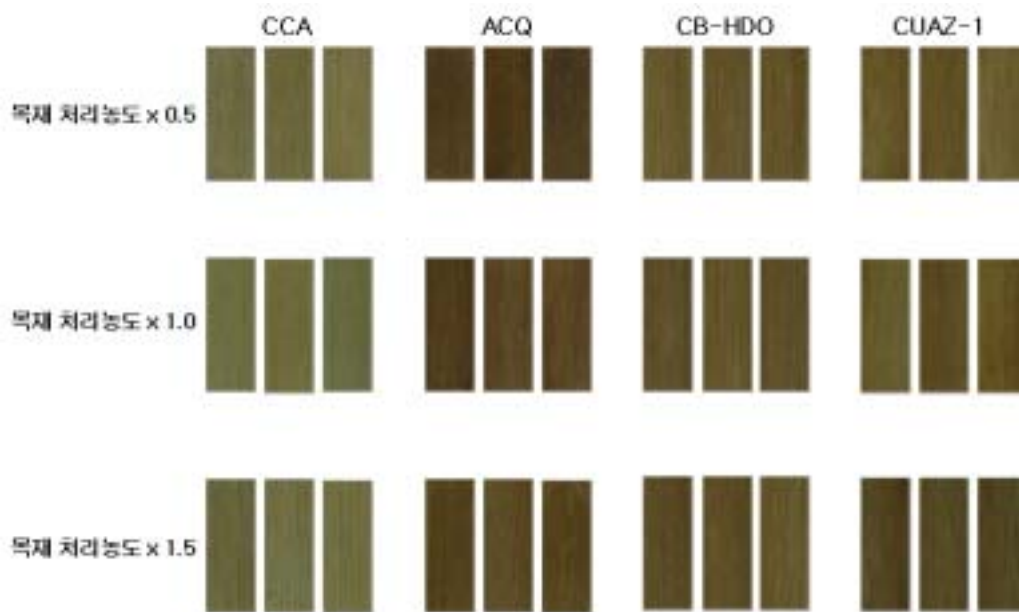


Figure 3-6. Comparison of the color of bamboo pressure-treated with CCA and CCA alternatives.

## 2) 내후성 획득을 위한 방부제 처리농도 결정

Figure 3-7과 Figure 3-8은 각각 부후균인 *Trametes versicolor*와 연부후균인 *Arthrinium phaeospermum*에 의한 대나무 시험편의 강제부후 시험 결과, 대나무 처리용으로 선정된 CCA 방부제의 처리농도에 따른 중량감소율을 보여준다.

한국산업규격 KSM 1701(한국표준협회, 2003)의 목재 방부제 성능 기준에 의하면 중량감소율 3% 미만일 경우를 방부효능이 있는 것으로 간주하는데, 이 기준에 따라 부후균에 대한 방부효력을 발휘하려면 최소 처리농도 1.5% CCA, 그리고 연부후균에 대한 방부효력을 발휘하려면 최소 처리농도 4% CCA로 처리하여야 하는 것으로 나타났다. 연부후균이 부후균보다 CCA에 대한 저항성이 높는데, 연부후균이 부후균에 비하여 구리화합물계 방부제에 대한 저항성이 우수한 것은 익히 잘 알려져 있는 사실이다(Daniel and Nilsson, 1988).

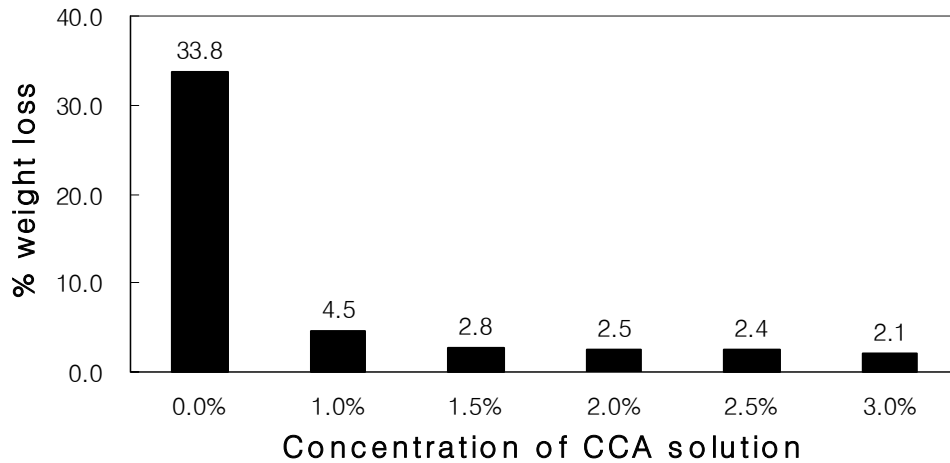


Figure 3-7. Weight loss for CCA-treated bamboo samples according to the concentration of CCA solution - Test fungus: *Trametes versicolor*.

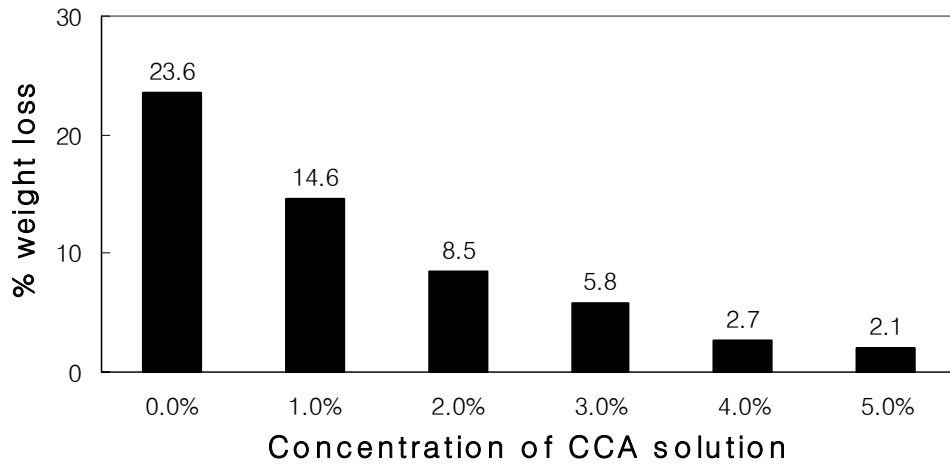


Figure 3-8. Weight loss for CCA-treated bamboo samples according to the concentration of CCA solution - Test fungus: *Arthrinium phaeospermum*.

#### 라. 결론

방부제 종류에 관계없이 가압처리에 의해서는 대나무 재색을 녹색으로 발현시킬 수 없었으나 대나무 시험편을 CCA에 침지할 경우에는 대나무 재색을 녹색으로 발현시킬 수 있어 CCA를 처리용 방부제로 선정하였다. CCA 수용액의 농도가 3% 이상인 경우에는 죽중에 관계없이 2일간의 침지로도 대나무 재색을 녹색으로 발현시킴이 가능하였다. 부후균에 대한 방부효력을 발휘하려면 CCA 최소 처리농도가 1.5%, 그리고 연부후균에 대한 방부효력을 발휘하려면 CCA 최소 처리농도가 4% 나타났다. 따라서 대나무의 원래 재색과 유사한 녹색을 발현시킴과 동시에 적절한 내후성을 획득하기 위해서는 최소 4% CCA 수용액에 2일 이상 침지처리 하여야 함을 알 수 있었다.

### 3. 대나무내 방부제 침투 경로 조사

#### 가. 서론

단자엽식물이며 교목상으로 자라는 대나무를 구성하는 세포종류와 이들의 배열은 목재와는 전혀 다르다(Ghosh and Negi, 1959). 원생목부, 원생사부, 후생목부 및 후생사부로 이루어지는 유관속과 후벽섬유로 구성된 유관속초가 기본조직인 유세포로 구성된 유조직 내부에 산재하는 형태로 구성되어 있는 대나무는 개개의 병립유관속이 유세포들 속에 불규칙적으로 산재해 있는 부재 중심주이며, 형성층이 존재하지 않기 때문에 진정한 의미의 이차생장을 하지 않고 단지 길이 방향으로만 성장하게 된다(박 등, 1987).

대나무 종류는 1,300여종에 이르며 그 특성 또한 다양하지만, 일반적으로 대나무의 줄기는 크게 50%의 유세포, 40%의 섬유세포(후벽섬유), 그리고 10% 정도의 도관요소로 구성되어 있다(Liese, 1987). 바깥쪽으로부터 한 층의 후벽표피, 그리고 1~3 층의 하표피가 여러 층의 유세포로 구성된 피층과 연결되어 있으며, 유관속으로 이루어진 중심주 조직과 유세포들과 경계는 명확히 구분되지 않는다. 유관속은 목부와 사부로 구성되어 있으며 이들 사이에 형성층이 존재하지 않고, 유관속초라 불리는 후벽섬유들에 의해 둘러싸여 있다. 후벽섬유는 비율이 외연으로 갈수록, 그리고 상층부로 갈수록 많아지며, 내강이 거의 존재하지 않을 정도로 비후해져 있다(이와 박, 1987; 박 등, 1987; Grosser and Liese, 1974).

대나무는 비대생장을 하지 않아 직경이 작고, 가운데 공동이 형성되는 독특한 특성 때문에 대나무의 활용에 많은 제한이 존재하였다. 그러나 최근 목재자원의 급격한 감소에 따라 생장이 빠른 대나무에 많은 관심이 집중되면서 전 세계적으로 대나무를 이용한 고부가가치 제품 생산을 위하여 대나무의 물리·화학적 특성에 관한 연구가 활발히 수행되고 있는 실정이다. 대나무의 물리적 특성들은 해부학적인 특성을 통해서 쉽게 이해할 수 있는데, 일반 목재에서 볼 수 없는 대나무의 활렬성, 통직성, 탄력성, 약제침투성 등이 목재와는 다른 대나무의 세포 종류

및 배열에서 비롯된 것이라고 하겠다(박 등, 1987).

화학적 가공을 통한 고부가가치 대나무 제품을 생산하기 위해서 알아야 할 가장 중요한 특성 중의 하나는 약제 침투성이다. 대나무는 일반적으로 약제의 침투가 매우 불량한 재료로 알려져 있다. 도관을 통하여 길이방향으로 약제는 쉽게 통과할 수 있지만, 일반 목재와는 달리 방사조직이 없기 때문에 측면방향으로의 흐름은 상당히 제한적이 되기 때문이다(Kumar and Dobriyal, 1992). 대나무의 표피는 중심부에 공동이 생기기 때문에 외피와 내피로 구분되는데 내피의 경우 리그닌이 더 집적되어 있으며, 셀룰로오스와 펙틴으로 구성되어 있는 외피는 왁스로 코팅되어 있다. 또한 실리카 입자들이 외피에 존재하는데, 이러한 대나무의 특성들은 외피를 통한 내부로의 약제 침투성에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kumar, 1994). 그러나 대나무의 약제 침투경로에 관한 연구는 Kumar와 Dobriyal(1992)에 의해 일부 수행되었을 뿐 국내의 경우 국내산 죽종의 약제 침투성에 대한 기초연구도 수행된 바 없다. 이에 본 연구는 국내산 대나무인 왕대, 솜대, 맹종죽의 약제 투과경로를 조사하여 효율적인 방부처리방법을 제시하기 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행되었다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 공시재료

경상남도 사천시 곤양산 3년생 왕대, 솜대, 맹종죽을 공시재료로 이용하였다. 각 죽종의 길이방향으로 상부(가지 바로 밑 부분), 중부(상부와 하부의 중간 부분), 하부(아래 부분으로 마디 간격이 15cm 이상인 부분) 별로 폭 1 cm × 길이 5 cm 크기의 장방형 시험편을 채취하였다.

### 2) 시험편의 처리

대나무 내부의 방부제 투과경로를 조사하기 위하여 제조된 대나무 시험편을 1% safranin 용액으로 5시간 동안 aspirator를 이용하여 염색 처리하였으며, 처

리된 대나무 시험편들은 수차에 걸쳐 증류수로 수세하였다. Safranin은 대나무 세포벽을 적색으로 염색시키고 또한 내구성이 있기 때문에 대나무를 높은 온도와 압력에서 연화처리하여도 염색된 부위에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.

### 3) 현미경 관찰용 시편의 제작 및 관찰

준비된 시험편을 glycerin과 물 혼합액(1:3)에 넣은 후 121°C에서 48시간 동안 autoclave를 이용하여 연화처리를 실시하였다. 연화된 시험편은 길이의 중앙 부위를 절삭한 후 마이크로톰에 고정시켜 30  $\mu\text{m}$  두께의 현미경 관찰용 절편을 절삭하였다. 절편은 50%, 70%, 90%, 95%, 및 100% 에탄올을 이용하여 각 1분씩 탈수처리를 실시한 후 프레파라트를 제작하였다. 대나무는 건조되면 마이크로톰을 이용하여 절삭하기 힘들기 때문에 연화처리 직후 절삭을 실시하였다.

죽중 및 부위별로 대나무의 해부학적 특성을 조사하기 위해 주사전자현미경 관찰용 시편이 제작되었다. 대나무 시험편들을 연화시킨 후 알코올을 이용하여 탈수처리를 실시하였으며 관찰용 단면의 깨끗한 절삭을 위하여 paraffin embedding 처리를 65°C 건조기에서 아래와 같은 방법을 사용하여 실시하였다.

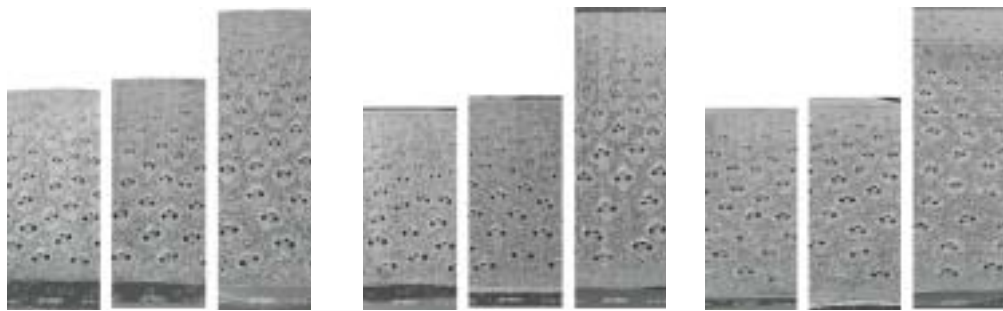
30% Ethanol (3시간) → 50% Ethanol (3시간) → 70% Ethanol (3시간) →  
90% Ethanol (3시간) → 95% Ethanol (3시간) → 99% Ethanol (12시간) →  
xylene 1 : 99% Ethanol 1 (12시간) → xylene (24시간) → xylene 1 :  
paraffin 1 (12시간) → paraffin (6 시간)

제작된 시편은 관찰할 횡단면을 microtome을 이용하여 깨끗하게 절삭한 후 xylene을 이용하여 paraffin을 제거하고 건조시켰다. 준비된 시편들은 양면 테이프를 이용하여 시료대에 횡단면이 잘 보이도록 고착한 후 ion-coating을 하여 주사전자현미경으로 관찰하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 왕대, 솜대 및 맹종죽의 조직 특성

세 죽종의 기본조직 특성을 비교 조사하기 위하여 죽간의 외연에서부터 내연까지 죽간 전체가 포함되도록 횡단면 절편을 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다(Figure 3-9). 세 종죽 모두 외연에는 한 층의 후벽표피가 존재하였고 아래로 1~5 층 정도의 하표피가 존재하는 것이 관찰되었다. 바깥 표피 쪽으로 갈수록 후벽섬유로 구성되어 있는 유관속초의 발달이 현저함을 관찰할 수 있었으나 유관속초를 구성하고 있는 후벽섬유의 내강은 비후해져 거의 관찰되지 않았다. 그러나 외연에서 내연으로 들어갈수록 후벽섬유의 비율이 줄어들고 유관속 발달이 현저해지며 또한 대나무의 기본조직을 이루는 유세포의 양이 많아짐을 관찰할 수 있었다. 유세포와 중심주의 경계는 세포의 크기가 완만히 진행되기 때문에 유관속초로 되어있는 부분 이외에는 경계가 불명확하였다. 대나무의 조직, 특히 유관속 및 유관속초의 크기와 형태는 외연에서 내연으로 향할수록 배열 및 치수에서 변이가 크게 나타났는데, 이러한 특성은 담양산 왕대속 4종의 조직 특성을 조사한 이와 박(1987)의 연구결과와 같은 결과를 보여준다.



(a) Giant timber bamboo

(b) Hachiku bamboo

(c) Moso bamboo



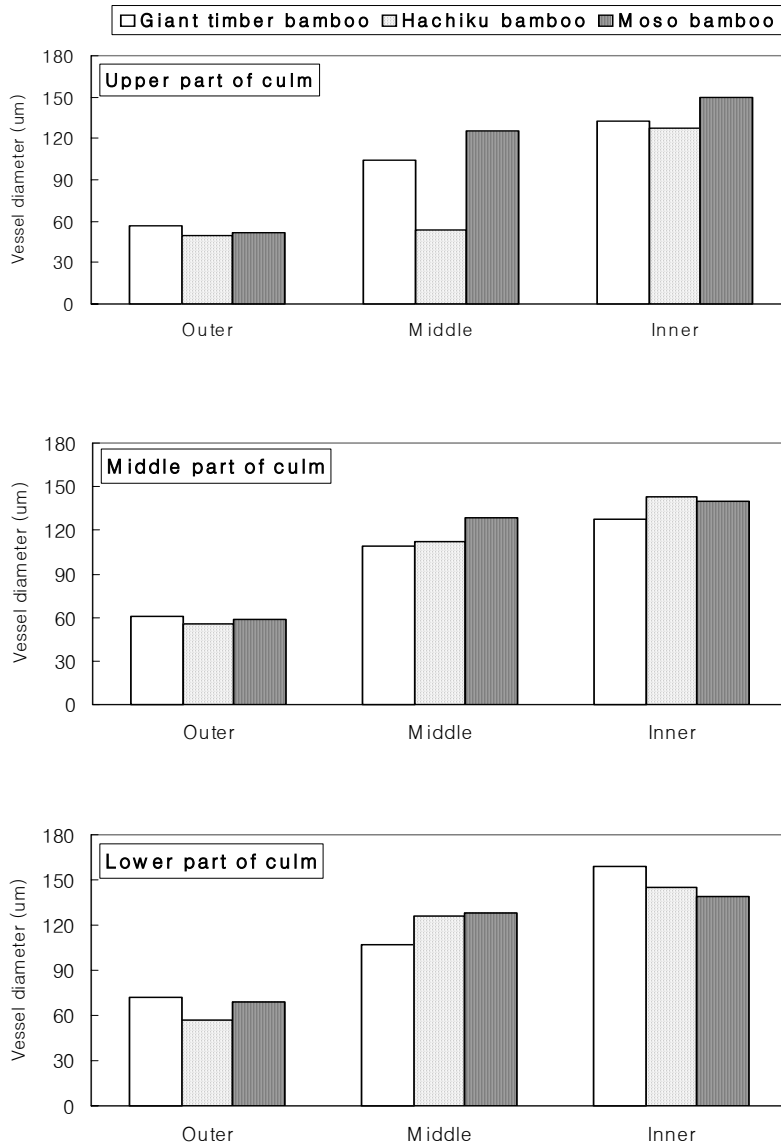
Figure 3-9. The cross view showing anatomical characteristics of bamboo species ( $\times 50$ ): (a) Upper part, (b) Middle part, and (c) Lower part

Table 3-6은 죽종별 그리고 각 죽종의 부위별 도관의 평균직경, 빈도수 및 면적을 보여준다. 죽종에 상관없이 도관의 직경은 외연에서 내연으로 갈수록, 그리고 상부에서 하부로 갈수록 증가함을 볼 수 있다. 세포가 성숙해짐에 따라 도관 직경이 증가하게 되므로 단위면적( $1\text{mm}^2$ )당 도관의 수는 감소하게 된다. 따라서 단위면적당 도관의 빈도는 외연에서 내연으로, 그리고 상부에서 하부로 갈수록 줄어들게 된다. 총 면적에서 차지하는 도관의 면적은 중앙부위가 가장 높았는데, 이러한 이유는 외연에서는 후벽섬유가 비후해져 도관의 크기가 적고 내연에서는 도관의 내강은 크지만 유관속과 유관속의 거리가 중앙부위에 비해 떨어져 있어 실질적인 도관의 밀도는 감소하기 때문이다.

도관의 직경, 단위면적( $1\text{mm}^2$ ) 당 도관의 평균 수, 도관면적에 대한 죽종별 비교는 Figure 3-10부터 Figure 3-12에서 볼 수 있다. 도관 직경을 살펴보면 대나무의 상부 외연에서는 죽종에 관계없이 도관의 직경이 비슷하였으나 내연으로 갈수록 맹종죽의 도관직경이 솜대나 왕대에 비해 큰 경향을 보였다. 그러나 대나무 중부와 하부의 도관 직경은 죽종에 따른 경향을 발견할 수 없었다(Figure 3-10). 단위면적( $1\text{mm}^2$ ) 당 도관의 평균 수를 살펴보면 왕대와 솜대의 도관 수는 비슷한 경향을 보이거나 맹종죽에 비하여 상당히 많은 것을 보여주었으며(Fig. 3-11), 전체 면적에서 도관이 차지하는 정도는 일반적으로 맹종죽이 작은 결과를 보여주었다(Fig. 3-12). 대나무의 해부학적 특성은 변이가 심하기 때문에 확실한 결론을 내릴 수는 없지만 이러한 결과는 맹종죽의 경우 솜대나 왕대에 비해 대체적으로 유관속과 유관속간의 거리가 떨어져 있기 때문에 도관이 점유하는 면적이 줄어들기 때문에 발생한 결과라고 생각할 수 있다. 참고로 도관의 면적은 후생목부의 면적만 고려되었음을 밝혀둔다.

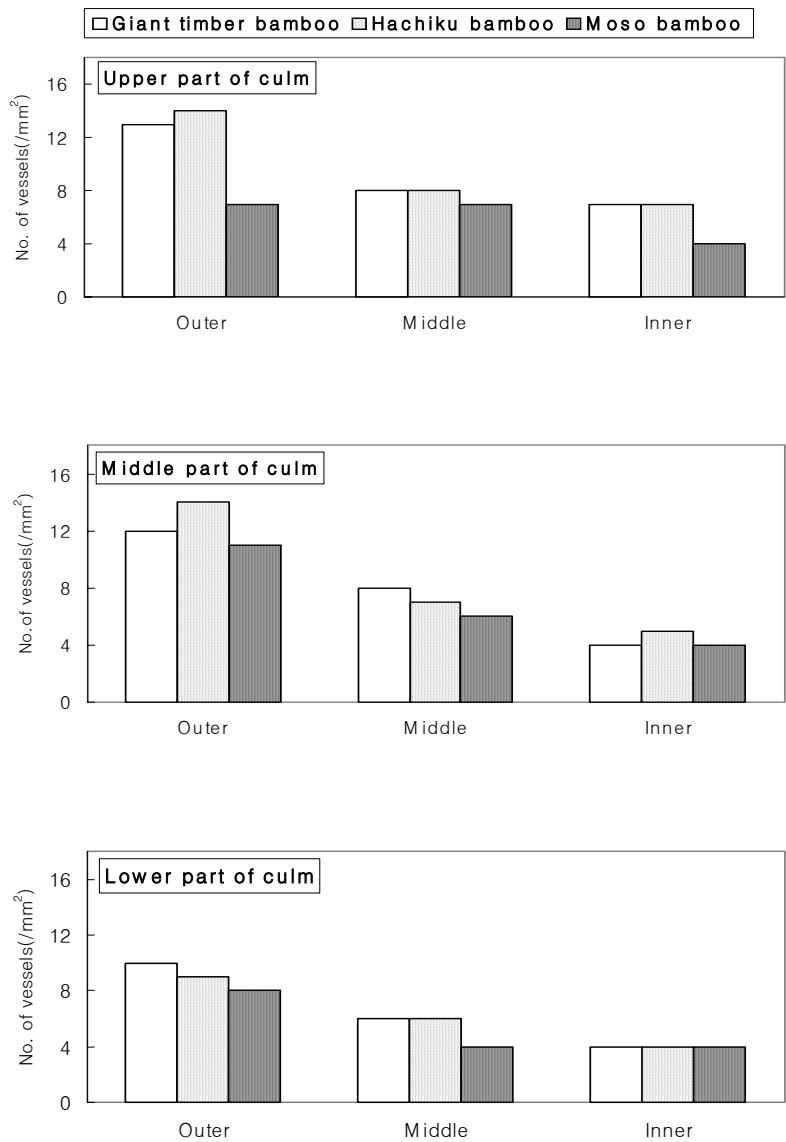
Table 3-6. Variation in vessel diameters and frequency of distribution along the wall thickness in Giant timber, Hachiku, and Moso bamboo.

bamboo types	Location		Average vessel diameters ( $\mu\text{m}$ )	Average number of vessels (/mm <sup>2</sup> )	Vessel area (%)
Giant timber bamboo	Upper	Outer	56.2	13	2.3
		Middle	104.5	8	7.4
		Inner	132.2	7	6.9
	Middle	Outer	61.1	12	2.6
		Middle	109.1	8	6.9
		Inner	127.8	4	4.3
	Lower	Outer	72.1	10	1.5
		Middle	107.2	6	4.2
		Inner	158.7	4	6.0
Hachiku bamboo	Upper	Outer	49.8	14	2.7
		Middle	103.6	8	5.9
		Inner	127.0	7	6.4
	Middle	Outer	55.4	14	3.1
		Middle	112.0	7	6.2
		Inner	143.3	5	5.6
	Lower	Outer	57.3	9	2.2
		Middle	125.6	6	6.9
		Inner	144.7	4	4.8
Moso bamboo	Upper	Outer	51.6	7	1.6
		Middle	125.4	7	4.6
		Inner	149.9	4	3.4
	Middle	Outer	58.4	11	2.1
		Middle	128.3	6	7.1
		Inner	140.0	4	3.5
	Lower	Outer	69.1	8	2.2
		Middle	128.1	4	5.0
		Inner	134.9	4	3.7



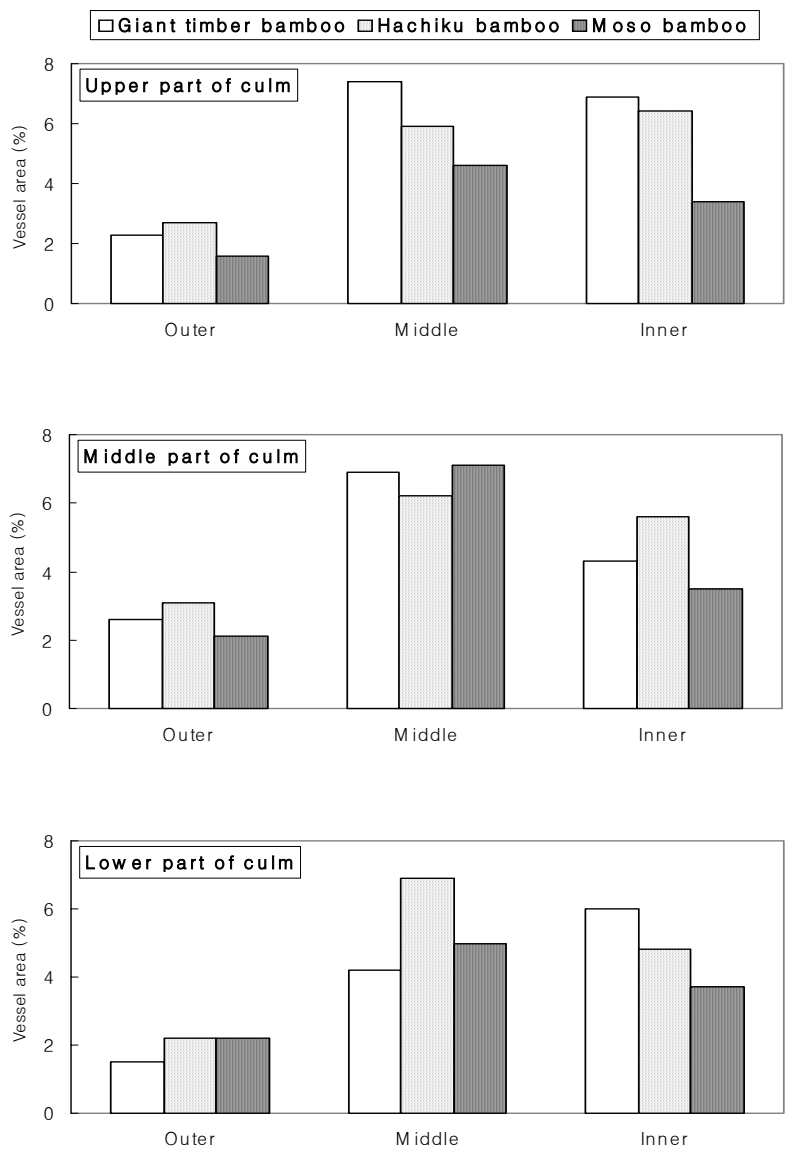
Location of vessel in transverse direction of culm

Figure 3-10. Comparison of average vessel diameters according to the longitudinal and transverse location of vessels and types of bamboo.



Location of vessel in transverse direction of culm

Figure 3-11. Comparison of average number of vessels per unit area (1 mm<sup>2</sup>) according to the longitudinal and transverse location of vessels and types of bamboo.



Location of vessel in transverse direction of culm

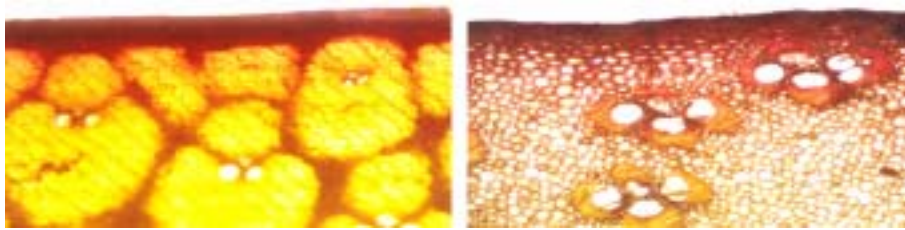
Figure 3-12. Comparison of vessel area (%) according to the longitudinal and transverse location of vessels and types of bamboo.

## 2) 방부제 침투경로

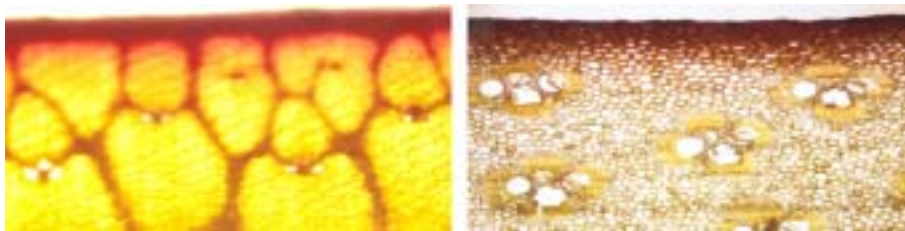
Figure 3-13은 죽종별 사프라닌의 이동경로를 보여준다. 외피와 내피를 통한 사프라닌의 침투는 매우 제한적이었으며, 내피를 통한 이동이 외피를 통한 이동보다 다소 쉬운 것으로 관찰되었다. 그러나 외피와 내피의 중간 부분에서는 사프라닌이 전혀 관찰되지 않았는데 이러한 결과는 대나무를 통한 약제의 침투가 상당히 제한적이라는 것을 보여준다. 대나무의 난주입 특성에 대한 이유를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 일반 목재와는 다르게 방사조직이 없기 때문에 방사방향으로의 침투가 극히 제한적이다 (Liese, 1987; 박 등 1987). 둘째, 외피에는 왁스로 구성되어 있는 큐티클 층이 존재하고 사이사이에 silica가 존재하는 것으로 알려져 있다. 왁스와 실리카의 존재는 대나무의 유세포 사이에 존재하는 전분 등의 영양물질과 함께 약제의 대나무 내로의 이동을 방해한다. 특히 이들 유세포 내강에는 전분과 같은 물질들이 많이 축만해 있기 때문에 이들의 존재가 약액의 침투를 방해하는 요인이 되기도 한다. 셋째, 후벽조직의 형태학적 특징이다. 대나무 개개의 유관속은 후벽섬유의 조직으로 둘러싸여 있는데 이 후벽섬유의 양은 외연으로 갈수록 많아져 가장 바깥쪽에는 유관속이 거의 발달하지 않고 후벽섬유만으로 된 유관속초가 구성된다. 후벽섬유의 내강은 비후해져 있기 때문에 세포내강이 거의 없는 경우가 대부분이다. 이러한 이유로 표층(외피와 내피)을 통한 약액의 침투는 극히 제한적이게 되고 이러한 이유로 대나무를 처리할 때 전처리로 대나무를 물에 침지시켜 전분 등의 물질을 제거하고 처리하는 방법 그리고 확산성 방부제인 붕소화합물을 섞어서 사용하는 방법이 권장되기도 한다.

Figure 3-14는 처리 시험편의 길이방향 한쪽 끝에서 약 1cm 정도 떨어진 곳에서 만들어진 현미경 시편을 보여준다. 도관 근처에 사프라닌이 집적되어 있으며, 유관속초는 거의 염색이 되지 않았으며, 도관 근처의 유세포들이 다른 유세포들에 비해 진하게 염색되어 있는 것을 볼 수 있다. 이는 도관이 길이 방향에서 대나무의 주요한 유동통로라는 것을 의미하며, 유세포를 통한 측면방향으로의 약제의 이동은 매우 제한적이라는 것을 보여준다. 유관속의 경우 도관과 인접한 세포들에서 다소 약액의 침투가 빠른 것으로 보였으나 유세포를 통한 약제의 빠른

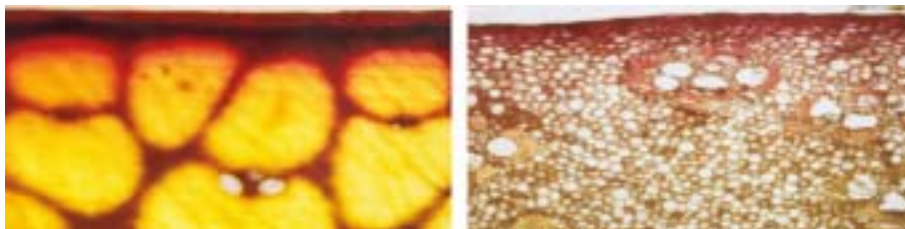
이동에는 일정 정도의 한계가 존재하는 것으로 관찰되었다. 따라서 대나무를 방부처리할 경우, 약제 유효성분의 균일한 분포가 문제가 될 것으로 판단된다. 이상의 결과를 종합해볼 때, 대나무는 투과성이 매우 불량하지만, 외피나 내피를 통한 약액의 침투는 일정 정도 가능하다고 결론지을 수 있다. 따라서 침지처리와 같은 상압처리법을 사용할 경우 제한인자는 측면방향으로의 약액침투이기 때문에 대나무의 두께에 따라 처리시간을 결정하여야 할 것으로 생각된다.



(a) Giant timber bamboo



(b) Hachiku bamboo



(c) Moso bamboo

Figure 3-13. Cross view showing the flow path of safranin through the culm of Moso bamboo (left: outer surface ( $\times 10$ ), right: inner surface ( $\times 40$ ))

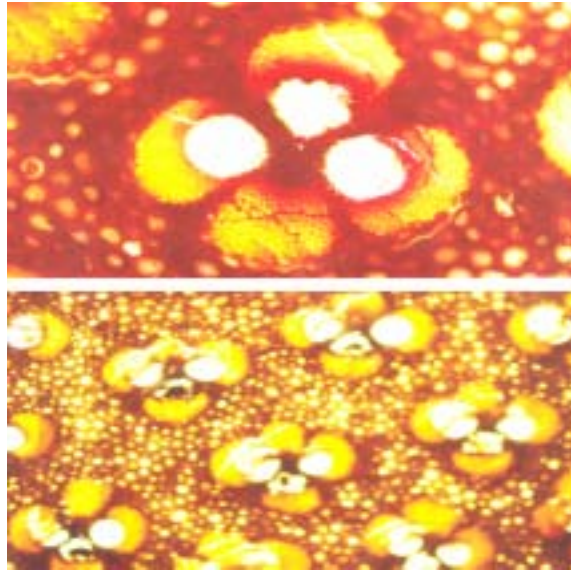


Figure 3-14. Distribution of safranin around vessel and bundle sheath in Moso bamboo (upper:  $\times 40$ , lower:  $\times 10$ ).

현미경 관찰을 통해 확인된 방부제 침투경로를 확인하기 위하여 대나무 방향별 흡수율을 별도로 다음과 같이 조사하였다.

벌죽후 실험실로 운송되어 실내에서 기건된 경남 곤양산 왕대, 솜대, 맹종죽에서 폭이 3cm이고 길이가 15cm인 시험편을 필요량 채취하여 외피의 왁스를 제거하였다. 왁스는 시험편을 90℃로 가열된 5% 수산화칼륨과 3.5%의 계면활성제 (sodium dodecyl sulfate) 혼합 수용액에 1시간 동안 침지함에 의해 제거하였다. 왁스 제거처리를 거친 시험편들은 상온의 물에 24시간 침지하여 시험편 표면에 잔류할 수 있는 수산화칼륨과 계면활성제 성분을 제거하고 실내에서 15% 흡수율 까지 기건 시켰다. 3cm(폭) $\times$ 15cm(길이) 시험편에서 폭과 길이가 3cm인 방향별 흡수율 측정을 위한 시편 4개를 연속적으로 채취하고, Figure 3-15와 같이 흡수율 측정방향과 직각인 면을 제외하고는 epoxy 도료로 2회 coating을 실시하였다. 흡수율 측정용 시험편은 대나무 줄기의 중간(middle) 부위에서 준비하였는데, 대나무 줄기의 상하 위치에 따른 흡수율 변이를 알아보기 횡단면을 통한 흡수율 측정용 시편(시편 C)은 대나무 줄기 하부(base), 중간(middle), 상부(top) 부위에서



모두 준비하였다.

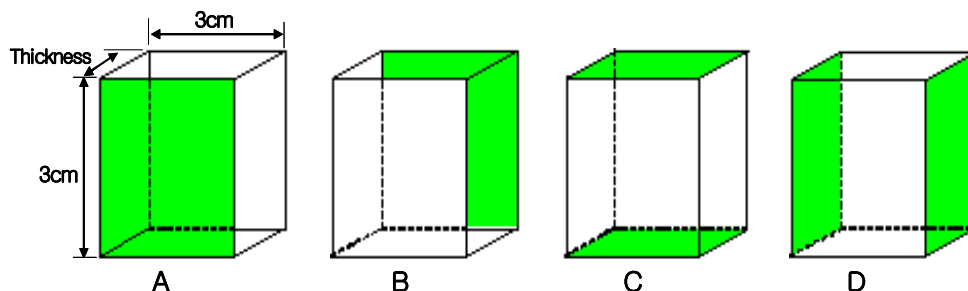


Figure 3-15. Sample preparation for measuring directional CCA absorption (Exposed surface to penetration is shadowed.)

- A: outer surface exposed to CCA penetration
- B: inner surface exposed to CCA penetration
- C: Cross section exposed to CCA penetration
- D: Side section exposed to CCA penetration

방부처리는 충세포법(full-cell process)으로 실시하였는데, 시편을 주약관 내에 위치시킨 후, 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 4%(w/v) CCA-3 수용액을 주약관 내로 유입시키고 14kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다. 시편의 방부제 흡수율은 처리 전후의 무게 차이에 의해 계산하였다.

Table 3-7은 외피를 통한 흡수율(A), 내피를 통한 흡수율(B), 길이방향과 직각인 횡단면을 통한 흡수율(C), 길이방향과 평행한 측면을 통한 흡수율(D)를 죽종별로 보여준다. 현미경적 관찰 결과로는 내피를 통한 침투가 외피를 통한 침투보다 다소 쉬울 것으로 판단되었으나, 흡수율 시험 결과는 큰 차이는 없었으나 외피를 통한 흡수율이 약간 높았다. 이는 외피에 존재하는 왁스 층 제거와 관련이 있다고 판단된다. 길이방향과 평행한 측면을 통한 흡수는 외피나 내피를 통한 흡수보다도 극히 제한적이었다. 길이방향과 직각인 횡단면을 통한 흡수율이 가장 우수하였는데, 현미경 관찰 결과 대나무의 주요한 유동통로로 밝혀진 도관을 통

한 침투가 발생하기 때문이다. 그러나 실제 대나무 처리 측면에서는 절(마디)를 통한 침투가 불가능하기 때문에 횡단면을 통한 침투보다는 외피와 내피를 통한 침투가 주요 침투통로가 된다.

Table 3-7. CCA absorption through various surface of bamboo.

Bamboo species	Surface exposed to CCA absorption			
	A	B	C	D
Giant timber bamboo	10.76(1.63)	7.49(1.41)	50.33(2.91)	4.26(0.97)
Hachiku bamboo	16.78(1.21)	12.32(0.72)	52.27(4.10)	5.29(0.82)
Moso bamboo	11.94(2.78)	7.27(1.93)	51.46(3.81)	6.41(0.45)

횡단면을 통한 흡수율의 대나무 길이방향별 부위에 따른 변이를 확인한 결과, Figure 3-16에서 볼 수 있듯이 부위별로는 통계학적 유의성이 있는 차이가 관찰되지 않았다.

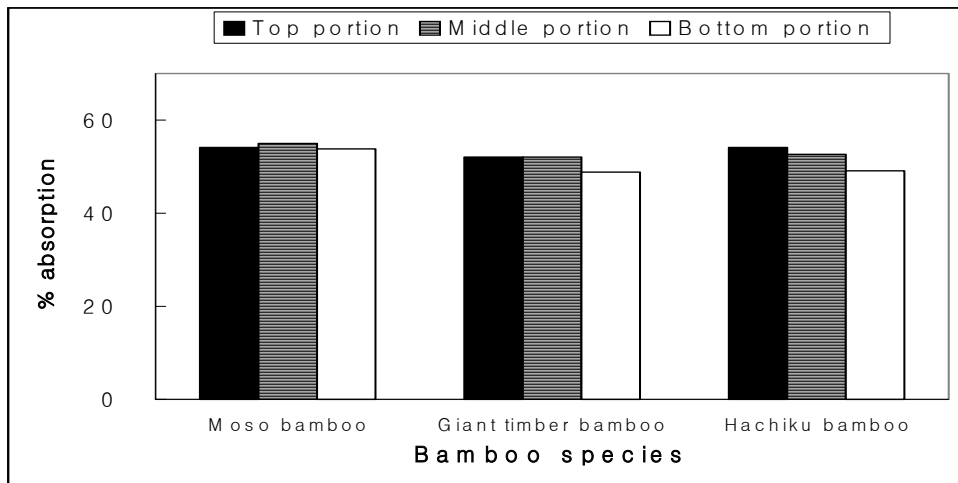


Figure 3-16. Comparison of CCA absorption through cross section among sampling locations.

## 라. 결론

대나무 내의 약제 이동통로는 죽중에 관계없이 동일하였으나 조직 특성상 약제 침투성이 매우 불량할 것으로 판단되었다. 내피와 외피를 통한 약제 침투는 방사 조직이 없기 때문에 세포벽을 통한 확산에 의존하는 것으로 생각되며, 내피를 통한 약액의 침투가 외피보다 빠른 것으로 나타났다. 도관을 통한 수축방향으로 약제 침투는 가능하였지만 유세포를 통한 약제의 이동은 불량하였다. 유관속초는 약제의 침투가 거의 되지 않았으나 유관속의 경우 약제의 침투가 다소 쉬운 것으로 나타났다.

## 4. 대나무 방부처리법 개발

### 가. 서론

대나무는 생물학적 열화인자에 대한 저항성이 약하기 때문에 야외용 조경소재로 사용하기 위해서 방부처리가 필수적이다. 목재 방부처리의 목적은 단순히 처리재의 방부효능 획득이지만 대나무 방부처리는 처리 대나무의 우수한 방부효능 뿐만 아니라 대나무의 원래 재색과 유사한 녹색을 발현할 수 있는 처리가 되어야 한다. 선행 연구 결과, 상압처리법인 침지처리(최소 4% CCA 수용액에 대나무 시험편을 2일 이상 침지)에 의해서만 재색 발현이 가능하였다. 따라서 침지처리의 경우, 내후성 획득을 위해 필요한 방부제 흡수량을 달성할 수 있는 적정 침지시간이 구명되어야 하는데 본 연구에서는 가압처리에 의해 달성할 수 있는 흡수량과 동일한 흡수량을 달성할 수 있는 침지시간을 구명하여 이를 적정 침지시간으로 간주하였다. 이러한 침지처리는 특별한 처리시설과 장치가 요구되지 않기 때문에 죽림농가에서 간단하게 사용할 수 있는 방법이 될 수 있으나 처리시간, 즉 침지시간이 길어지기 때문에 방부처리 대나무의 대량 생산에 적합하지 못하다.

선행 연구 결과, 일반적인 예상과 달리 방부처리 대나무의 대량 생산이 가능한 방법인 가압처리에 의해서는 방부제 종류와 처리농도에 관계없이 대나무의 원래 재색과 유사한 녹색 발현이 불가능하였다. 따라서 상압처리법인 침지처리의 처리시간을 단축할 수 있는 방법을 모색하였다. 본 연구에서는 방부처리 대나무의 대량 생산을 위한 방법으로 필요한 방부제 흡수량을 단시간의 가압처리에 의해 달성한 후, 얼마간 침지 상태로 유지하여 대나무 외피에 방부제 성분의 부착을 유도하는 이중처리법(dual treatment method), 즉 가압처리후 상압처리법의 사용 가능성을 검토하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 공시재료

벌죽후 실험실로 운송되어 실내에서 기건된 경상남도 사천시 곤양산 왕대, 솜대, 맹종죽으로부터 필요한 방부처리용 시험편을 다음과 같이 채취하였다. 일단 대나무의 길이방향으로 상부(가지 바로 밑 부분), 중부(상부와 하부의 중간 부분), 하부(아래 부분으로 마디 간격이 15cm 이상인 부분)로 나누어 strip 형태 시험편 (폭 5cm x 길이 10 cm)과 round 형태 시험편을 각각 필요량 준비하였다. 대나무는 절(node)을 통한 방부제 침투는 불가능하기 때문에 방부제의 내피를 통한 침투를 보장하기 위하여 round 형태 시험편의 경우에는 직경 10mm의 구멍 두 개를 Figure 3-17에 보여주는 바와 같이 뚫었다. 모든 시험편은 방부처리 전에 실내에서 충분한 기간 동안 건조하여 함수율이 15% 선이 되도록 하였다.

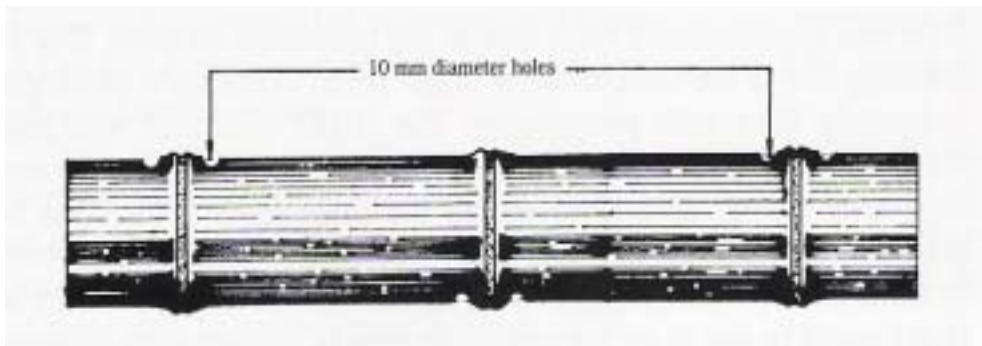


Figure 3-17. 10mm diameter holes drilled on both sides of a node

### 2) 왁스 층 제거

기 결정된 방법에 따라 90℃로 가열된 용제(5% potassium hydroxide와 3.5% sodium dodecyl sulfate의 혼합 수용액)에 시험편을 60분간 침지하여 시험편 외피의 왁스 층을 제거하였다. 그 후 시험편을 증류수에 24시간 침지하여 표면에 잔류된 용제 성분을 제거하고, 실내에서 충분한 기간 동안 건조하였다.

### 3) 방부처리

#### 가) 가압처리

충세포법으로 refusal point까지 처리하였을 때 방부제 흡수율을 파악하기 위하여 가압처리를 실시하였는데, 처리방법은 다음과 같다. 시험편을 주약관 내에 집어넣고 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 4% CCA 수용액을 주약관 내로 주입시키고 14kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시험편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다. 처리 전후 시험편의 무게를 측정하여 방부제 흡수율을 계산하였다.

#### 나) 상압처리

준비된 시험편들을 4% CCA 수용액에 침지하여 일정기간이 경과할 때 마다 방부제 흡수율을 측정하면서 흡수율이 가압처리에서 얻어진 흡수율과 동일한 수치가 되는 시점에서 침지를 종료하였다.

#### 다) 가압처리 후 상압처리

일차로 refusal point까지 가압처리를 실시한 후, 이차로 처리 시험편을 4% CCA 용액에 침지하여 일정기간이 경과할 때 마다 대나무 외피에 녹색이 발현되는 시점에서 침지를 종료하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 3-8은 4% CCA로 가압처리된 strip 및 round 형태 대나무 시험편의 방부제 흡수율을 보여준다. 즉종, 시험편 형태, 대나무 길이방향 부위별에 관계없이 방부제 흡수율이 55~60%로 큰 차이가 없었는데, 가압처리 시험편의 흡수율을 볼 때 대나무는 목재에 비하여 처리가 상당히 곤란함을 알 수 있었다. Lee 등

(2001)도 미국 South Carolina산 맹종죽과 미국 남부송을 CCA 가압처리한 결과, 맹종죽의 방부제 흡수량이 남부송에 비하여 22%에 불과함을 보고한 바 있다.

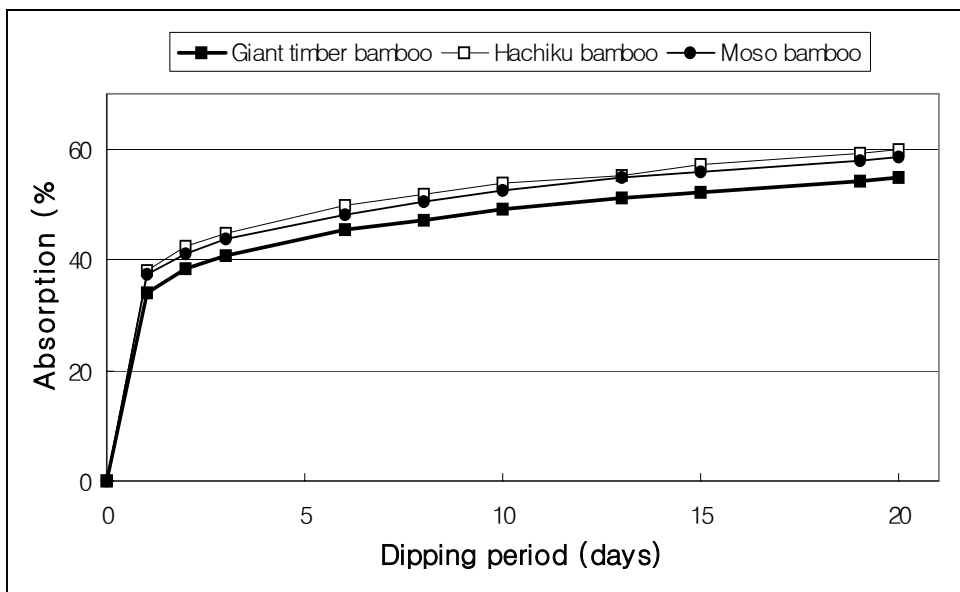
Table 3-8. Mean absorption (%) of pressure treated bamboo samples with 4% CCA-3.<sup>\*1</sup>

Species	Sampling location	Sample type	
		Stripe	Round
Giant timber bamboo	Top	55.54 (3.28)	61.11 (1.01)
	Middle	55.72 (6.98)	59.65 (5.72)
	Base	54.01 (6.21)	54.59 (6.05)
	Pooled	55.09 (5.43)	58.45 (5.81)
Hachiku bamboo	Top	61.98 (7.48)	60.46 (10.33)
	Middle	59.60 (6.32)	55.78 (7.19)
	Base	60.71 (9.20)	53.98 (8.21)
	Pooled	60.76 (7.36)	56.74 (8.75)
Moso bamboo	Top	56.31 (7.66)	55.93 (5.92)
	Middle	60.52 (6.37)	56.52 (9.07)
	Base	61.68 (9.62)	56.98 (11.81)
	Pooled	59.50 (7.88)	56.47 (8.85)

<sup>\*1</sup>Values represent the mean of ten replicates, and values in parenthesis represent the standard deviation.

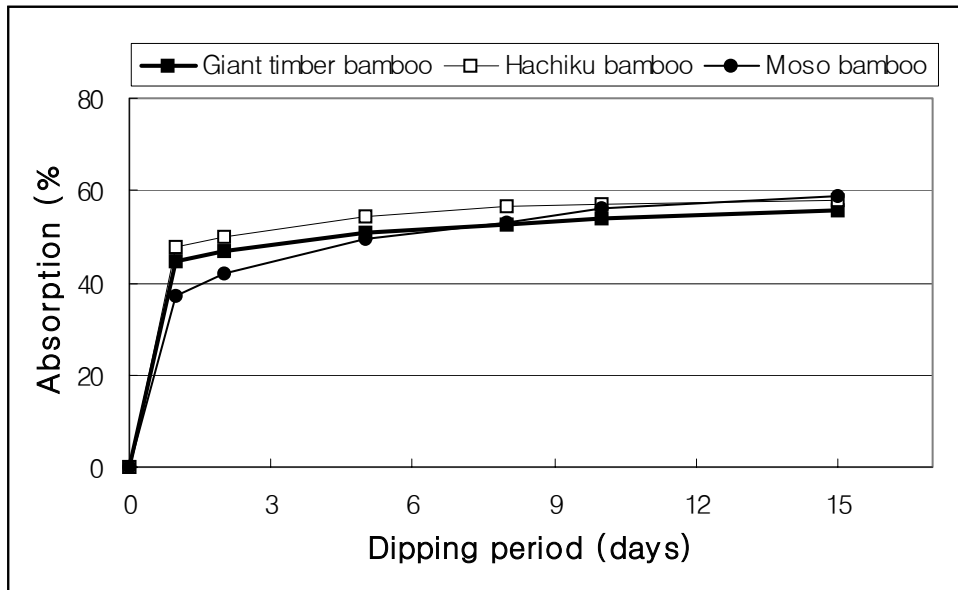
### 1) 상압처리

Figure 3-18은 침지시간 경과에 따른 strip 및 round 형태 시험편의 방부제 흡수율 변화를 보여준다. Strip 형태 시험편의 경우, 침지처리에 의해 가압처리 결과와 유사한 흡수율(왕대 54.91%, 솜대 59.79%, 맹종죽 58.52%)을 달성하기 위해서는 20일간 침지가 필요함을 알 수 있었다. 그러나 round 형태 시험편의 경우에는 유사한 흡수율(왕대 55.67%, 솜대 58.05%, 맹종죽 58.80%)을 달성하기 위해서는 strip 형태 시험편보다 짧은 15일간의 침지가 필요하였다. 동일 죽종이지만 round 형태 시험편의 침지 소요시간이 strip 형태 시험편에 비하여 짧은 이유는 현재로서는 불분명하다.



(a) strip sample





(b) round sample

Figure 3-18. Change of CCA absorption of dip-treated bamboo samples according to dipping period.

Figure 3-19는 CCA 상압처리 왕대, 솜대, 맹종죽의 외피 및 내피를 통한 CCA 침투 정도를 보여주는데, 두께가 얇은 왕대와 솜대는 두께 방향으로 미처리 부위가 관찰되지 않았으나 두께가 두꺼운 맹종죽에서는 외피와 내피 사이에 미처리 부위가 관찰된다. 현장 시설후 지속적인 수축과 팽윤에 의해 사용중인 대나무에서 쪼개짐(split)이 발생할 수 있는데, 맹종죽에서 쪼개짐이 발생할 경우에 내부의 미처리 부위가 노출되면서 처리 대나무의 내구성이 크게 저하될 수 있다. 따라서 맹종죽은 을 방부처리 할 경우에는 사용중 쪼개짐이 발생하지 않도록 해주거나 또는 상압처리가 아닌 다른 처리방법으로 외피와 내피를 통한 침투를 증가시켜 외피와 내피 사이의 미처리 부위가 발생하지 않도록 해주어야 할 것이다.

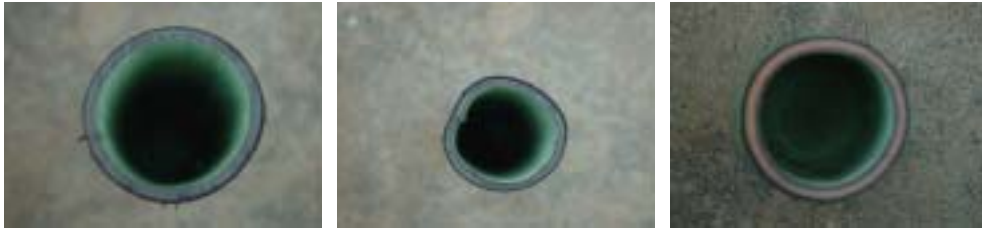


Figure 3-19. Photographs showing CCA penetration of dip-treated bamboo samples - Left: Giant timber bamboo, Middle: Hachiku bamboo, and Right: Moso bamboo.

침지 2일이 경과되면서 대나무 시험편에 녹색이 발견되기 시작하여 침지 6~7일이 경과된 시점에서는 녹색이 완벽하게 발견되었다. 그러나 내후성 획득을 위한 흡수율 달성을 위해서는 침지시간을 15일(round 형태 시험편)~20일(strip 형태 시험편)까지 연장하여야 하였다. 따라서 앞으로 방부제의 대나무 내 흡수를 촉진할 수 있는 기술 개발이 처리시간 단축을 위해 필수적이라 할 수 있다. Table 3-9는 벌죽 직후 대나무 원래 채색과 상압 침지처리 후 양생된 대나무의 채색을 보여주는데, 녹색의 정도를 나타내는 방부처리 대나무의 a값이 벌죽 직후 대나무 원래 녹색을 나타내는 a값보다 절대 수치가 높았다. Figure 3-20와 Figure 3-21은 각각 CCA로 상압처리된 strip 형태와 round 형태의 대나무 시험편 사진을 보여주는데, 왕대의 색상이 가장 우수하였다.

참고로 대나무 시험편 두께가 방부제 흡수율에 미치는 영향이 크므로 상압 침지처리에 의한 대나무 방부처리는 대나무 두께에 따라 침지 소요시간을 결정하여야 할 것이라 판단된다. Figure 3-22에서 볼 수 있듯이 대나무 두께가 증가함에 따라 방부제 흡수율은 급격히 감소함을 알 수 있는데, 15일 동안 침지한 8mm 두께의 대나무 시험편의 흡수율이 30% 선에 지나지 않았다는 것은 대나무 두께가 침지처리시 침지 소요시간을 결정하는 가장 중요한 제한인자로서 작용한다는 것을 의미한다.

Table 3-9. The values of L, a, and b of green bamboo and dip-treated bamboo with 4% CCA for 20 days.

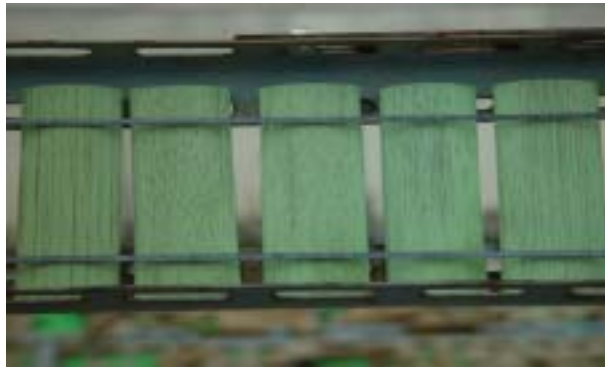
Bamboo species	Sampling location	Green bamboo			Dip-treated bamboo		
		L	a	b	L	a	b
Giant timber bamboo	Top	42.91	<b>-7.87</b>	30.77	49.40	<b>-9.41</b>	23.89
	Middle	44.74	<b>-9.39</b>	25.78	53.09	<b>-11.16</b>	21.82
	Base	49.20	<b>-8.24</b>	30.89	53.65	<b>-12.63</b>	24.70
Hachiku bamboo	Top	42.47	<b>-7.32</b>	17.18	47.92	<b>-8.08</b>	18.51
	Middle	43.66	<b>-7.51</b>	17.04	49.44	<b>-9.43</b>	16.43
	Base	45.81	<b>-6.94</b>	17.43	51.24	<b>-11.09</b>	18.81
Moso bamboo	Top	34.50	<b>-6.67</b>	13.73	52.28	<b>-11.47</b>	20.11
	Middle	36.71	<b>-7.23</b>	16.57	52.60	<b>-12.24</b>	20.15
	Base	36.14	<b>-6.50</b>	16.36	53.25	<b>-11.72</b>	17.00



(a) Giant timber bamboo



(b) Hachiku bamboo



(c) Moso bamboo

Figure 3-20. Typical color of CCA-treated strip-type bamboo samples.



(a) Giant timber bamboo



(b) Hachiku bamboo



(c) Moso bamboo

Figure 3-21. Typical color of CCA-treated round-type bamboo samples.

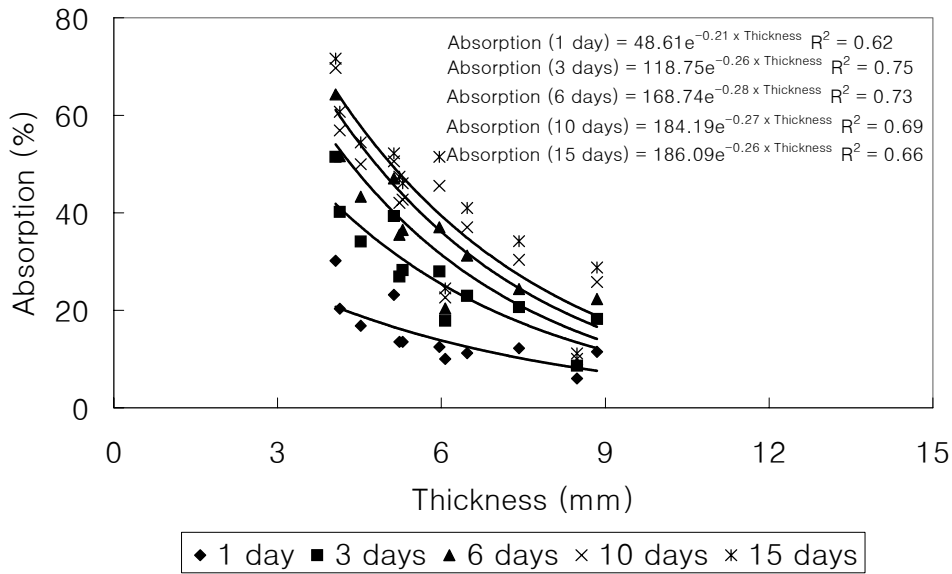
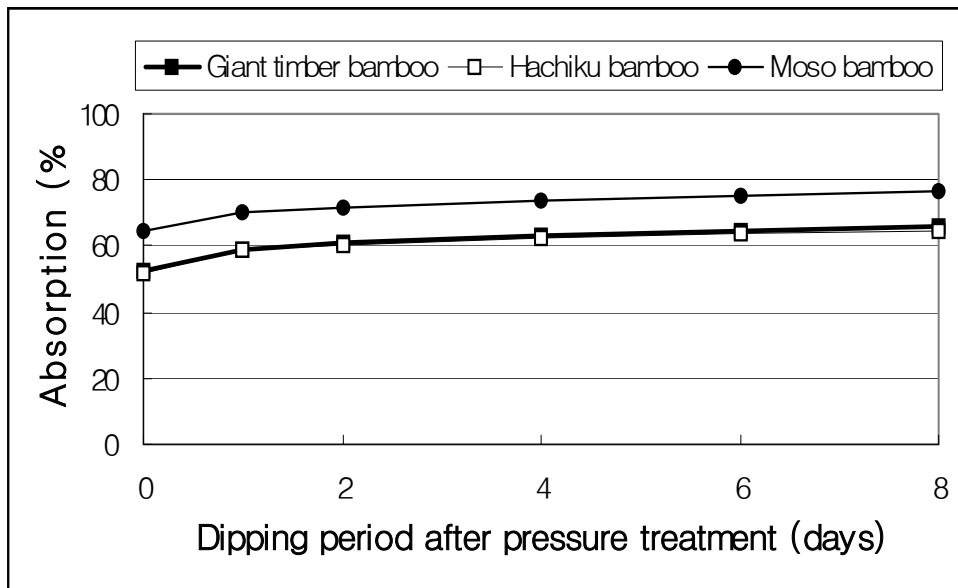


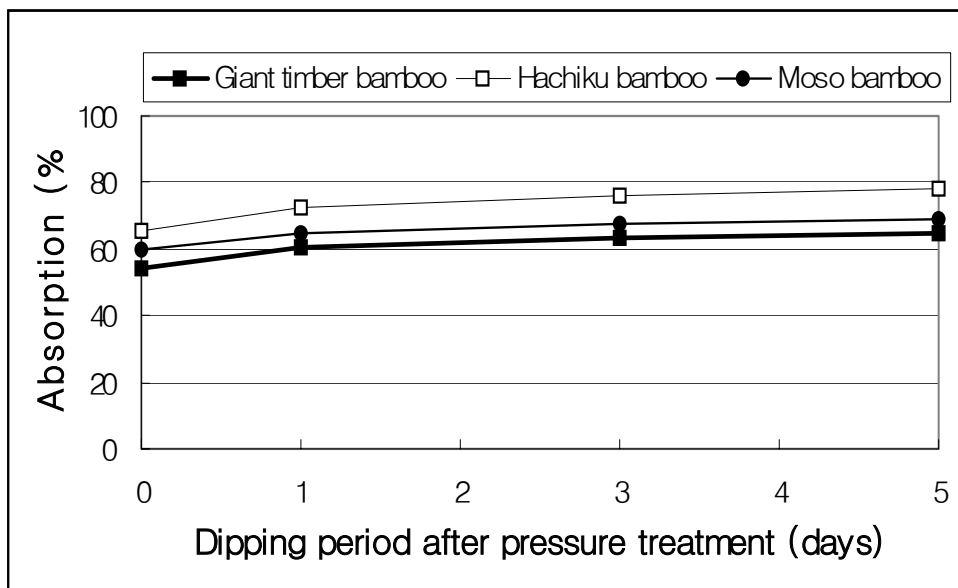
Figure 3-22. Effect of thickness on percent absorption rates of 5% CCA solution.

## 2) 가압처리후 상압처리

Figure 3-23은 침지시간 경과에 따른 strip 및 round 형태 시험편의 가압처리후 상압처리시 방부제 흡수율 변화를 보여준다. 가압처리후 상압처리의 목적은 흡수율을 증가보다는 대나무 시험편의 녹색 발현인데, 상압처리인 침지처리와 동일하게 2일이 경과되면서 녹색이 발현되기 시작하여 침지 5일(round 형태 시험편)~8일(strip 형태 시험편)이 경과된 시점에서는 완벽하게 녹색이 발현되었다. 따라서 상압처리에 비하여 strip 형태 시험편의 경우는 12일, 그리고 round 형태 시험편인 경우에는 10일의 처리시간이 단축됨을 알 수 있다. 대나무 시험편의 녹색이 완벽하게 발현됨과 동시에 방부제 흡수율도 10~20% 증가하기 때문에 상압 침지처리 시험편보다 가압처리후 상압처리된 시험편은 내후성도 어느 정도 증가되는 일석이조의 효과가 기대된다.



(a) strip sample



(b) round sample

Figure 3-23. Change of CCA absorption of dip-treated samples after pressure treatment according to dipping period.

Table 3-10은 벌죽 직후 생재상태 대나무, 상압처리 대나무, 가압처리후 상압처리 대나무의 채색을 보여준다. 색상을 나타내는 a값을 기준으로 하였을 때 가압처리후 상압처리된 대나무는 a값이 생재상태 대나무의 a값보다는 약간 낮았으나 상당히 유사한 색상을 발현하는 것으로 나타났다. 이처럼 a값이 낮은 이유는 가압처리 대나무의 원래 채색이 연한 연녹색이었기 때문이라 사료된다.

Table 3-10. The values of L, a, and b of green bamboo, dip-treated bamboo, dip-treated bamboo after pressure treatment with 4% CCA for 20 days.

Species	Location	Green bamboo			Dip-treated bamboo			Pressure and then dip-treated bamboo		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b
Giant timber bamboo	Top	42.91	<b>-7.87</b>	30.77	49.40	<b>-9.41</b>	23.89	51.87	<b>-6.48</b>	24.86
	Middle	44.74	<b>-9.39</b>	25.78	53.09	<b>-11.16</b>	21.82	51.49	<b>-6.62</b>	23.26
	Base	49.20	<b>-8.24</b>	30.89	53.65	<b>-12.63</b>	24.70	50.97	<b>-7.15</b>	22.96
Hachiku bamboo	Top	42.47	<b>-7.32</b>	17.18	47.92	<b>-8.08</b>	18.51	49.72	<b>-5.69</b>	15.09
	Middle	43.66	<b>-7.51</b>	17.04	49.44	<b>-9.43</b>	16.43	50.87	<b>-6.80</b>	23.52
	Base	45.81	<b>-6.94</b>	17.43	51.24	<b>-11.09</b>	18.81	51.47	<b>-7.62</b>	19.29
Moso bamboo	Top	34.50	<b>-6.67</b>	13.73	52.28	<b>-11.47</b>	20.11	50.28	<b>-7.76</b>	22.75
	Middle	36.71	<b>-7.23</b>	16.57	52.60	<b>-12.24</b>	20.15	47.94	<b>-6.73</b>	23.79
	Base	36.14	<b>-6.50</b>	16.36	53.25	<b>-11.72</b>	17.00	50.93	<b>-6.13</b>	16.21



Figure 3-24는 CCA 가압처리후 상압처리된 왕대, 솜대, 맹종죽의 외피 및 내피를 통해 CCA가 침투한 정도를 보여주는데, 단순 상압처리된 시험편보다는 흡수율이 높은 관계로 방부제 침투가 더 많이 발생됨이 관찰된다. 특히, 맹종죽의 경우에 단순 상압처리 시험편보다 외피와 내피 사이의 미처리 부위가 많이 줄어들었음을 알 수 있다. 따라서 맹종죽을 방부처리 하여야 할 경우에는 단순 상압처리보다는 가압처리후 침지처리 하는 방법을 사용함이 처리 대나무 내구성 측면에서 권장된다.



Figure 3-24. Photographs showing CCA penetration of dip-treated bamboo samples (lower) and dip-treated bamboo samples after pressure treatment - Left: Giant timber bamboo, Middle: Hachiku bamboo, and Right: Moso bamboo.

### 3) 대나무 방부처리법 제시

선행 실험 결과들과 재색 발현 및 내후성 획득을 위한 흡수율 달성을 고려하여 최종적으로 대나무 방부처리법을 다음과 같이 제시할 수 있다.

### (가) 상압처리법

4% CCA 수용액에 strip 형태의 시험편은 20일간, 그리고 round 형태 시험편은 15일간 침지함에 의해 생재상태의 대나무 재색인 녹색과 유사한 녹색을 발현시킬 수 있고 동시에 부후균 및 연부후균에 대한 저항성, 즉 내후성을 획득할 수 있다.

방부제가 절(마디)을 통해 침투할 수 없는 관계로 방부제 침투를 외피와 내피를 통한 침투에 의존하여야 하기 때문에 두께가 두꺼운 맹종죽 처리는 외피와 내피 사이에 미처리 부위가 존재하기 때문에 상압처리에 의한 방부처리가 곤란하다고 판단된다. 왜냐하면 처리 대나무가 현장 사용중 연속적인 수축과 팽윤에 의해 쪼개짐(split)이 발생할 경우에 외피와 내피 사이의 미처리 부위가 노출되기 때문이다.

상압처리법인 침지처리의 문제는 처리시간이 오래 걸린다는 문제점은 있지만 별도의 처리시설 또는 장치를 갖추지 않아도 되기 때문에 죽림농가 등에서 사용할 수 있는 간이 방부처리법으로는 문제가 없다고 판단된다.

상압처리법인 침지처리의 가장 큰 문제는 목재처리와 비교할 때 처리용 방부제 수용액에 슬러지(sludge)가 다량 발생하는 것이다. 슬러지의 발생 원인은 CCA 유효성분이 대나무 유세포 내에 저장물질로 존재하는 전분 및 외피의 왁스 층 제거를 위해 사용된 용제중의 수산화칼륨과 반응하기 때문이다. 보충 실험 결과, 왁스 층을 제거하지 않은 상태로 대나무를 CCA에 침지한 경우 CCA 유효성분과 전분과 대나무내 수용성 추출물의 반응으로 침지 12일 후부터 육안으로 CCA 수용액중에 슬러지가 발생됨이 확인되었는데, 침지 20일 경과후 CCA 수용액에 발생된 슬러지 양은 0.00003g/ml이었다. 전분도 슬러지 발생의 원인 물질이 되지만 왁스 층 제거를 위해 사용된 수산화칼륨이 보다 심각한 슬러지 발생 원인물질로 판명되었다. 보충 실험 결과, 왁스 층을 제거한 후 대나무를 CCA에 침지한 경우 CCA 유효성분과 수산화칼륨의 반응으로 침지 3일 후부터 육안으로 CCA 수용액중에 슬러지가 발생됨이 확인되었는데, 침지 20일 경과후 CCA 수용액에 발생된 슬러지 양은 0.0008g/ml이었다. 처리용 CCA 수용액에 슬러지가 발생하는 것을

최소화 또는 예방하기 위해서는 상압처리 전에 대나무를 일정 기간 물속에 침지하여 전분을 포함한 수용성 추출물을 제거하여 주고, 또한 왁스 층 제거 후 대나무를 일정 기간 물속에 침지하여 표면에 잔류하는 수산화칼륨 성분을 제거한 후 방부처리를 실시하여야 할 것이다. Figure 3-25는 왁스 층 제거 처리후 대나무 시험편을 5일간 물에 침지하였을 때 슬러지 발생 양을 조사한 결과를 보여주는 데, 물에 침지하는 기간이 연장될수록 발생하는 슬러지 양이 감소됨을 알 수 있다. 상기 두가지 방법에 의해서도 슬러지 발생을 100% 예방할 수가 없다면 한번 사용한 방부제 수용액을 여과하여 슬러지를 제거한 후 재사용하여야 할 것이다.

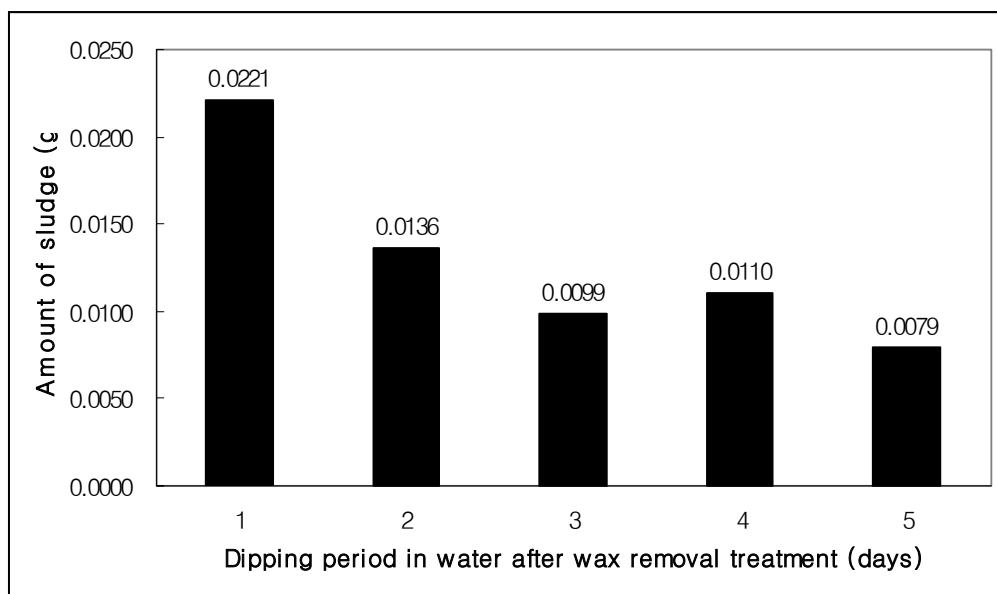


Figure 3-25. The amount of sludge formed in CCA-treating solution (10ml) according to dipping period in water after wax removal treatment.

#### (나) 가압처리후 상압처리법

충세포법으로 refusal point까지 가압처리후(1시간 30분 소요) 바로 시험편을 주약관에서 꺼내 4% CCA 수용액에 침지하여 strip 형태의 시험편은 8일간, 그리고 round 형태 시험편은 5일간 침지함에 의해 생재 상태의 대나무 재색인 녹색과 유

사한 녹색을 발현시킬 수 있고 동시에 부후균 및 연부후균에 대한 저항성, 즉 내후성을 획득할 수 있다. 단순 상압처리에 비하여 외피와 내피를 통한 방부제 침투가 양호하여 두께가 두꺼운 맹종죽의 경우에도 미처리 부위가 거의 존재하지 않기 때문에 맹종죽 처리 방법으로도 사용이 가능하다고 본다.

가압처리후 처리 대나무를 일정 기간 동안 침지하는 본 처리방법은 가압방부 처리시설을 갖춘 목재 방부업계에서 사용할 수 있는 방법으로 단순 상압처리에 비해서는 총 처리시간이 절반 정도로 단축되기 때문에 CCA 처리 대나무의 대량 생산에 적합한 방법이라 할 수 있다.

가압처리 과정에서는 대나무와 CCA 수용액이 접하는 시간이 극히 짧은 관계로 슬러지가 발생되지 않으나 가압처리후 이차 상압처리시 슬러지가 발생되기 때문에 앞서 상압처리법에서 언급한대로 처리용 CCA 수용액에 슬러지가 발생하는 것을 최소화 또는 예방하기 위한 사전 조치를 반드시 취해야 할 것이다. 물론 사전 조치에도 불구하고 슬러지 발생을 100% 예방할 수가 없다면 한번 사용한 방부제 수용액을 여과하여 슬러지를 제거한 후 재사용하여야 할 것이다.

#### 다. 결론

상압처리에 의해 녹색 발현과 동시에 내후성 획득을 위한 흡수량 달성을 위해서는 10일(round 형태 시험편)~20일(strip 형태 시험편)간 침지가 필요하였다. 그러나 두께가 두꺼운 맹종죽에서는 외피와 내피 사이에 미처리 부위가 관찰되어 상압처리, 즉 단순 침지처리는 맹종죽 처리방법으로는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

가압처리후 상압처리의 경우에는 일단 가압처리에 의해 내후성 획득을 위한 흡수량은 달성된 상태이지만 녹색 발현을 위해 이차 침지처리를 실시하는 것인데, 5일(round 형태 시험편)~8일(strip 형태 시험편)이 경과된 시점에서는 완벽하게 녹색이 발현되었다. 별도의 가압처리 시설이 갖추어진 상황에서는 가압처리후 상압처리가 처리 대나무의 대량 생산 측면에서 적합한 방법이라 할 수 있다. 또한

단순 상압처리에 비하여 외피와 내피를 통한 방부제 침투가 깊어 두께가 두꺼운 맹종죽에서도 외피와 내피 사이에 미처리 부위가 관찰되지 않아 맹종죽 처리에도 적합한 방법이라 판단된다.

단순 상압처리는 물론 가압처리후 상압처리 경우에도 침지 3일 후부터 CCA 수용액에 슬러지가 발생되기 시작하는데, 이를 최소화 또는 예방하기 위해서는 처리 전에 대나무 내의 전분을 포함한 수용성 추출물을 제거하여야 하고, 또한 왁스 층 제거 후 대나무를 일정 기간 물속에 침지하여 표면의 수산화칼륨 잔류 성분을 제거한 후 방부처리를 실시하여야 할 것이다. 물론 상기한 사전 조치에도 불구하고 슬러지 발생을 100% 예방할 수가 없다면 한번 사용한 방부제 수용액을 여과하여 슬러지를 제거한 후 재사용하여야 할 것이다.

## 5. 방부처리 대나무의 사용 및 환경안전성 평가

### 가. 서론

CCA로 처리된 대나무는 반드시 적절하게 양생하여 독성 방부제 유효성분을 처리 대나무 내에 완벽하게 정착시킨 후에 현장에 시설하여야 한다. 방부제 유효성분이 완전히 정착되지 않은 처리 대나무를 현장에 시설할 경우, 용탈되는 방부제 유효성분에 의해 처리 대나무 접촉자의 건강위해 문제와 처리 대나무 시설 장소 주변의 환경오염 문제를 일으킬 수 있다. 또한 방부제 유효성분의 용탈 문제는 처리 대나무의 장기 방부효능, 즉 내구성 저하 측면도 매우 중요하다. 매우 복잡한 화학반응에 의해 달성되는 방부제 성분들의 처리재내 정착반응은 방부제의 종류, 수종, 양생방법 및 양생온도, 양생중인 처리목재의 함수율 등에 크게 영향을 받기 때문에(Anderson, 1990), 처리 대나무의 경우에도 비슷한 영향을 받으리라 사료된다. 따라서 양생조건(양생방법과 양생온도) 별로 CCA 처리 대나무의 적정 양생기간을 결정하여 제시하는 것은 방부처리 대나무의 사용 및 환경안전성 측면에서 매우 중요한 일이다.

처리 대나무에 대한 적절한 양생이 이루어지면 CCA 유효성분은 상당한 용탈 저항성을 보유한다. 그러나 현장 시설후 사용중인 CCA 처리 대나무로부터 용탈되는 방부제 성분이 있다면 비록 그 양이 소량일지라도 방부제 성분에 의한 위해성에 대하여 일반 대중의 불신이 크게 증폭되고 있는 것이 사실이다. 따라서 완벽 양생된 처리 대나무로부터 용탈되는 CCA 유효성분의 양을 조사하는 것도 방부처리 대나무의 사용 및 환경안전성 측면에서 매우 중요한 일이다.

본 연구는 CCA 유효성분의 처리 대나무내 정착특성을 조사하여 CCA 성분의 용탈을 최소화할 수 있는 처리후 적정 양생조건(양생온도와 시간)을 제시하고, 완벽하게 양생된 CCA 처리 대나무로부터 CCA 성분의 용탈특성을 조사함에 의해 방부처리 대나무의 사용 및 환경 안전성을 평가하고자 수행하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 대나무 시편의 준비

실내에서 함수율 20% 이내로 건조된 왕대, 솜대, 맹종죽으로부터 한 번의 치수가 20 x 20mm인 입방체 시험편을 필요량 준비하였다.

### 2) 방부처리

#### (가) 왁스층 제거

기 결정된 방법에 따라 90℃로 가열된 용제(5% potassium hydroxide와 3.5% sodium dodecyl sulfate의 혼합 수용액)에 시험편을 60분간 침지하여 시험편 표층의 왁스 층을 제거하였다. 그 후 시험편을 증류수에 24시간 침지하여 표면에 잔류된 용제 성분을 제거하고, 실내에서 충분한 기간 동안 건조하였다.

#### (나) 방부처리

방부처리는 충세포법으로 실시하였는데, 시험편을 주약관 내에 집어넣고 760mmHg 진공에서 30분간 전배기를 적용하였다. 전배기가 종료된 후, 방부제 수용액을 주약관 내로 주입시키고 14kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 refusal point까지 가압을 실시하였다. 가압 종료 후, 시편을 주약관 밖으로 빼내어 10분간 방치하면서 잉여약제를 회수하였다.

#### (다) 정착특성 평가

죽종간 정착특성을 파악하기 위하여 방부처리 왕대, 솜대, 맹종죽 시험편들을 20℃에서 비건조 양생을 실시하였다. 양생온도에 따른 정착특성을 평가하기 위하여 방부처리 솜대 시험편을 대상으로 20, 40, 60℃에서 비건조 양생을 실시하였다. 또한 양생방법이 정착특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 방부처리 솜대 시험편을 대상으로 20℃에서 건조 및 비건조 양생을 실시하였다.

양생중 일정 시간 간격으로 시험편을 임의로 꺼내서 McNamara(1989)가 제시한 압출법에 의해 실험실용 소형 압착기를 이용하여 시험편들을 횡단방향으로 두께의 절반까지 압착하여 세포벽에 미정착 상태로 남아있던 방부제 성분들을 세포내강에 남아있던 물과 함께 압출하여 이를 정착평가용 시료로 사용하였다. 건조양생의 경우, 시험편을 400ml의 증류수에 침지시키고 760mmHg의 진공을 1시간 적용하여 시험편 내로 수분을 강제 주입한 후 시험편 내에 미정착 상태로 존재하던 크롬 성분을 용해한 후, McNamara(1989)가 제시한 압출법에 의해 6가크롬을 추출하였다. 진공처리후 입방체의 침지처리에 사용되었던 일정량의 수분을 모아서 그 속에 용탈된 6가크롬을 정량하여 이를 추후 압출법에 의해 추출된 6가크롬에 더해 주었다. 추출액과 진공처리에 사용되었던 증류수 내에 존재하는 6가크롬 양은 diphenylcarbazide법에 의해 정량하였다(ASTM, 1996).

Cooper 등(1993)이 지적한 것처럼 방부제 유효성분중 하나인 6가크롬이 3가크롬으로 환원되기 이전에 CCA의 다른 유효성분인 구리와 비소 화합물들이 미리 목재 구성성분들과의 정착이 완료되기 때문에, 본 연구에서는 처리 시험편 내의 6가크롬 잔존량에 의하여 방부제 성분들의 정착정도를 평가하였다. 양생기간과 처리 시험편 내의 6가크롬 잔존량 간의 관계로부터 정착과정 중에 3가크롬으로 환원되지 못하고 처리 시험편 내에 잔존하는 6가크롬의 양이 15ppm 미만으로 떨어지는 시점을 계산하여 적정 양생기간으로 하였다(Cooper and Ung, 1992).

#### (라) 용탈특성 평가

정착특성 평가를 통해 20℃ 비건조 양생조건에서 적정 양생기간 동안 양생된 왕대, 솜대, 맹종죽 시험편을 일부를 골라 실내에서 시편들의 함수율이 15%선이 될 때까지 기건하였다.

용탈시험은 미국 방부협회 표준규격 E11-97(AWPA, 2001)에 의거하여 실시하였고, 채집된 용탈수내에 존재하는 유효성분의 양(용탈량)은 Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer (ICP-AES)를 사용하여 측정하였다.



#### 다. 결과 및 고찰

죽종간 CCA 유효성분의 처리재내 정착속도는 Figure 3-26에서 볼 수 있듯이 맹종죽>왕대>솨대 순으로 빨랐다. 죽중에 따른 이러한 CCA 유효성분의 정착속도 차이는 우선 양생중인 시험편 내로의 열전달 속도와 관련이 있다. 열전도율이 높은 수종일수록 양생장소 주변 대기의 온도가 처리 시험편재 내부로 빨리 전달되면서 정착이 신속하게 진행된다. 열전도율은 밀도와 비례하기 때문에(USDA, 1987), 고밀도 죽종일수록 정착속도가 빨라진다. 열전도율 외에도 대나무의 화학적 성질인 산도(pH), 추출물 함량, 세포벽 3대 조성분의 구성비가 정착속도를 영향하리라 사료된다.

20℃에서 비건조 양생을 실시한 경우, 죽종간에 약간의 차이는 있었지만 CCA 처리 왕대, 솨대, 맹종죽의 양생 소요시간이 12일 정도로 나타났다. 이는 일반적으로 알고 있는 CCA 처리목재의 양생 소요시간보다 절반 정도로 짧은데, 다음과 같이 설명이 가능하다. CCA 흡수율이 낮은 처리 대나무 내에는 정착되어야 할 CCA 유효성분의 양이 처리 목재보다 적기 때문에 결과적으로 처리 대나무의 양생 소요시간이 짧아지게 되는 것이다.

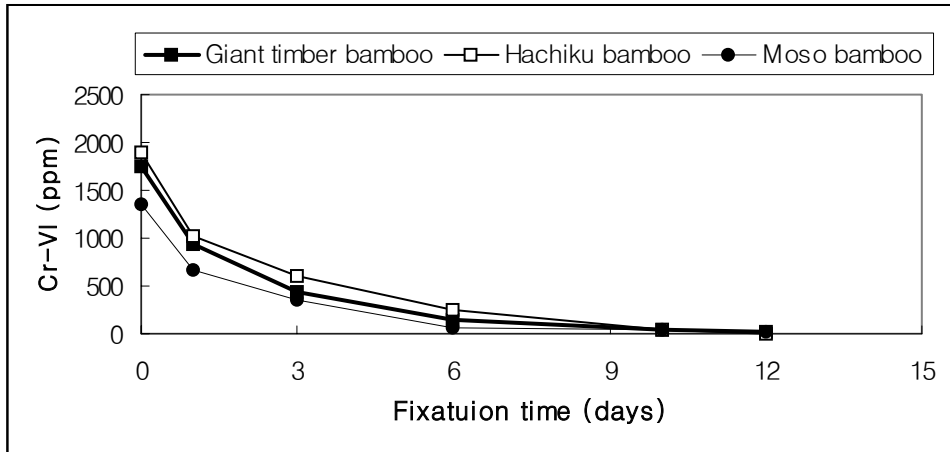


Figure 3-26. Comparison of fixation characteristics among bamboo species during non-drying fixation at 20°C.

Table 3-11은 양생온도 별로 6가크롬 양이 15ppm 이하로 되는데 소요되는 ln (양생기간) 간의 관계식에 의해 예측된 CCA처리 솜대의 양생온도별 적정 양생기간을 보여준다. 목재에서와 마찬가지로 CCA 유효성분의 정착은 양생온도가 높을수록 가속되었다. 여러 가지 인자들중 온도조건이 CCA 방부제의 정착에 특히 중요한 영향인자인데, Anderson (1990)은 온도가 정착반응에 필요한 에너지를 공급하므로 방부제의 정착을 온도 함수로 표시가 가능하다고 하였다. 정착속도는 Arrhenius 방정식에 의해 정착반응의 열화학적 특성과 연관시킬 수 있는데, 온도가 10℃ 증가할 때마다 반응속도는 최대 3배까지 증가한다.

Table 3-11. Time required for complete fixation evaluated using the method suggested by Cooper and Ung.

Fixation temperature	20℃	40℃	60℃
Estimated fixation time	12. 5 days	52.7 hours	11.6 hours

Figure 3-27은 건조와 비건조 양생간 CCA 유효성분의 정착속도 차이를 보여준다. 양생 극 초기에는 건조 양생이 비건조 양생보다 정착속도가 약간 빠른듯하나 양생 2일 경부터는 건조 양생의 경우에는 처리 대나무 시험편로부터 많은 양의 수분이 제거되면서 비건조 양생에 비하여 정착이 점차 지연됨을 알 수 있었다. CCA 유효성분의 정착은 양생중인 처리재의 함수율 또는 양생장소 주변 대기의 상대습도에 의해 영향을 받는데, 처리재의 함수율이 높을수록 정착속도가 증가한다. Chen 등(1994)은 비건조 양생의 경우 건조조건에 비하여 방부제 성분들의 정착이 빠른 이유를 아래와 같이 세 가지 원인으로 추론하였다. 첫째로 건조 양생의 경우에는 공급된 열의 일부분이 증발열(또는 기화잠열)로서 건조작업에 의해 처리재 표면으로 이동된 수분을 증발시키는데 사용되면서 공급된 열의 전량이 목재의 온도를 상승시키는데 사용되지 못하기 때문에 정착이 늦어진다는 것이다. 둘째로 처리재의 함수율이 높을수록 열 확산계수가 증가되면서 처리재의

가열이 신속하게 되나 건조에 의해 처리재의 함수율이 낮아지면, 열 확산계수가 감소되면서 양생을 위한 처리재의 가열이 지연된다는 것이다. 마지막으로 방부제 유효성분들의 반응은 이온반응이기 때문에 반응매체인 처리재내 수분이 건조에 의해 감소함에 따라 방부제의 정착은 근본적으로 지연된다는 것이다. 특히 처리재의 함수율이 섬유포화점 이하로 내려가면 처리재내에서 정착반응의 활력이 극히 낮아지면서 정착이 지연되거나 심지어 중지되기도 한다고 하였다.

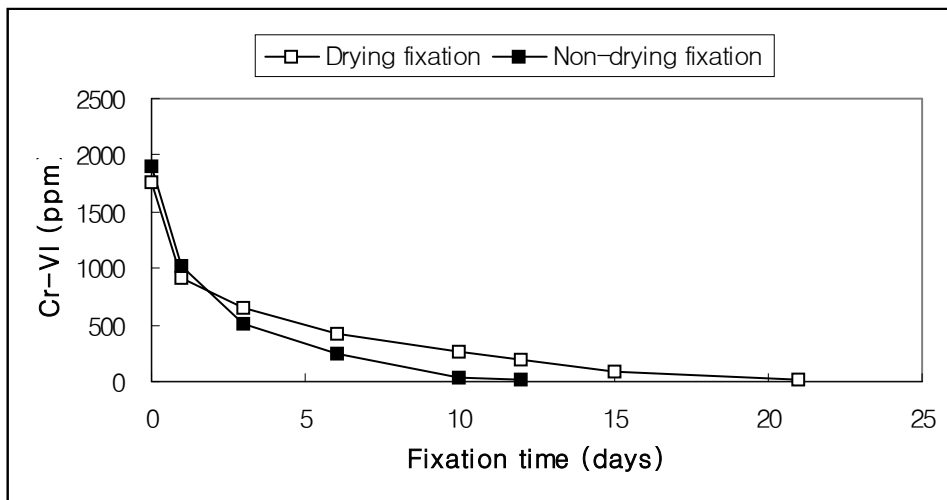


Figure 3-27. Effect of fixation methods on the fixation of Cr-VI.

적정 양생기간 동안 양생된 CCA 처리 왕대, 솜대, 맹종죽 시험편으로부터 총 14일간의 용탈시험 결과 CCA 유효성분인 크롬, 구리, 비소성분의 누적 용탈량을 Table 3-12에 보여준다. 죽종간에 용탈량 차이는 관찰되지 않았고, 또한 용탈량이 많지 않아서 CCA 처리 대나무를 완벽하게 양생한 후 현장에 시설할 경우에는 처리 대나무로부터 용탈되는 CCA 성분에 의한 문제는 발생하지 않는다고 판단된다. CCA 성분의 누적 용탈량은 비소>구리>크롬의 순이었는데, 이러한 경향은 CCA 처리목재에서도 동일하게 관찰된다.

Table 3-12. The degree of CCA components leached from CCA-treated bamboo.

Bamboo species	Average concentration in leachate (ppm)		
	Chromium	Copper	Arsenic
Giant timber bamboo	0.04	0.12	0.21
Hachiku bamboo	0.03	0.09	0.22
Moso bamboo	0.04	0.11	0.19

#### 라. 결론

완벽하게 양생된 처리 대나무로부터는 CCA 유효성분이 거의 용탈되지 않기 때문에 처리 대나무의 완벽 양생은 처리 대나무의 사용 및 환경 안전성 측면에서 매우 중요한 방부 후처리 공정이다. 처리 대나무의 완벽 양생을 위해서는 죽종과 양생조건 별로 적정 양생기간이 제시되어야 하는데, 양생기간과 양생온도간의 상관성이 매우 높아 죽종과 양생온도 별로 적정 양생기간을 예측할 수 있었다. 비건조 양생에 비하여 건조 양생은 양생속도가 느릴 뿐 아니라 양생기간을 연장해도 극소량이지만 세포벽 성분에 정착되지 않은 미정착 CCA 유효성분이 남아 있기 때문에 CCA 처리 대나무의 사용 및 환경 안전성 측면에서 건조 양생의 적용은 피하여야 한다.

## 제 4 절 방부처리 대나무의 야외성능 평가

### 1. 서론

CCA 방부처리에 의해 대나무 재색과 유사한 녹색을 발현시켰지만 야외사용 중 기상열화에 의해 발현된 녹색이 퇴색 또는 변색된다면 방부처리 대나무의 사용용도에 제한을 받게 될 것이다. 이에 본 연구에서는 기상열화에 의한 재색의 변화와 생물학적 열화에 대한 저항성을 평가하기 위하여 선행 실험 결과에 따라 처리된 방부처리 대나무 시험편을 대상으로 야외성능 평가를 수행하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료

벌죽후 실험실로 운송되어 실내에서 기건된 경상남도 사천시 곤양산 왕대, 숨대, 맹종죽으로부터 strip 형태 시험편(폭 5cm x 길이 10 cm)을 필요량 준비하였다. 모든 시험편은 방부처리 전에 실내에서 충분한 기간 동안 건조하여 함수율이 15% 선이 되도록 하였다.

#### 나. 왁스 층 제거

기 결정된 방법에 따라 90℃로 가열된 용제(5% potassium hydroxide와 3.5% sodium dodecyl sulfate의 혼합 수용액)에 시험편을 60분간 침지하여 시험편 표층의 왁스 층을 제거하였다. 그 후 시험편을 증류수에 24시간 침지하여 표면에 잔류된 용제 성분을 제거하고, 실내에서 충분한 기간 동안 건조하였다.

## 다. 방부처리

### 1) 상압처리

준비된 시험편들을 4% CCA 수용액에 침지하여 일정기간이 경과할 때 마다 방부제 흡수율을 측정하면서 흡수율이 가압처리에서 얻어진 흡수율과 동일한 수치가 되는 시점에서 침지를 종료하였다.

### 2) 가압처리 후 상압처리

일차로 refusal point까지 가압처리를 실시한 후, 이차로 처리 시험편을 4% CCA 용액에 침지하여 일정기간이 경과할 때 마다 방부제 흡수율을 측정하면서 흡수율이 가압처리에서 얻어진 흡수율과 동일한 수치가 되는 시점에서 침지를 종료하였다.

## 라. 처리재의 양생

방부처리가 종료된 대나무 시편들은 60°C에서 48시간 동안 비건조양생을 실시하였으며, 양생이 종료된 시편들은 상온에서 함수율 12%선까지 기건되었다.

## 마. 처리재의 야외폭로와 재색 변화 조사

처리재의 야외폭로는 Figure 4-1과 같이 수행되었는데 폭로시 약간 경사를 두어 처리시편의 표면이 동일하게 기상에 직접적으로 노출되게 하였다. 처리후 처리재의 표면재색 변화는 1개월 마다 색차계(Color Techno System, Co, Model: JP 7200F)를 이용하여 각 시편의 색도값(CIE L\*, a\*, b\*)을 측정하여 수치화하였다.



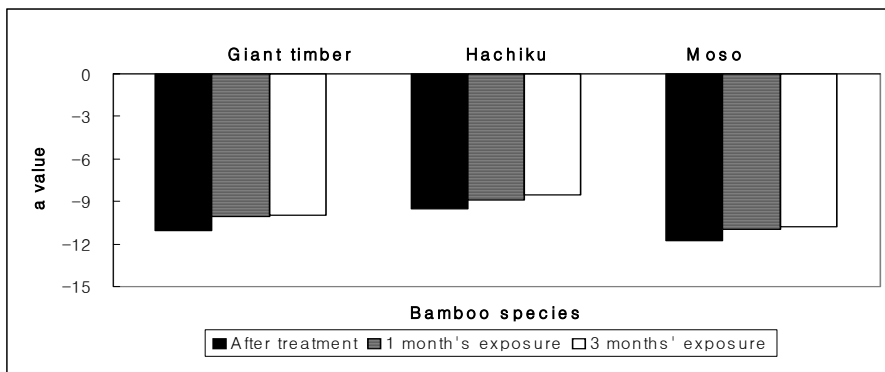
Figure 4-1. View of the preservative-treated bamboo samples exposed to the weather.

### 3. 결과 및 고찰

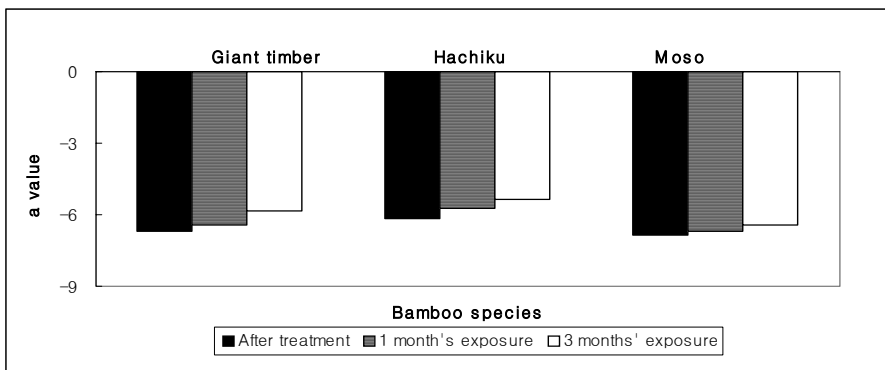
야외노출후 3개월이 경과한 시험편의 표면재색 변화를 조사한 결과를 Table 4-1과 Figure 4-2에서 볼 수 있다. 상압처리 시험편 및 가압처리후 상압처리된 시험편에서 명도를 나타내는 L값과 크로마틱 지수인 a값과 b값이 처리 지구후에 비하여 약간 감소되었으나 육안으로는 그 차이를 느낄 수 없을 정도였다(Figure 4-3, Figure 4-4). 현재 3개월 폭로의 결과만을 가지고는 뭐라 단정적으로 이야기할 수 없기 때문에 앞으로 총 24개월까지 폭로를 계속하면서 재색의 변화를 지속적으로 관찰할 예정이다. 폭로가 지속되면서 L, a, b 값이 조금씩 감소하는 것은 방부처리 목재에서도 발생하는 기상열화에 의한 재색이 변화가 원인이라 생각된다. 그러나 근본적으로 방부처리에 의해 일단 발현된 녹색이 빠지는 현상은 발생하지 않으리라 판단된다.

Table 4-1. The change of L, a, and b values of dip-treated bamboo samples after 3 months' outdoor exposure.

Species	After treatment			1 month's exposure			3 months' exposure		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
Giant timber bamboo	52.05	<b>-11.07</b>	23.47	51.38	<b>-10.06</b>	21.92	50.86	<b>-9.99</b>	20.98
Hachiku bamboo	49.53	<b>-9.53</b>	17.92	48.96	<b>-8.88</b>	17.39	48.17	<b>-8.55</b>	16.62
Moso bamboo	52.71	<b>-11.81</b>	19.09	51.28	<b>-11.00</b>	18.66	51.22	<b>-10.77</b>	18.53



(a) Dip treatment



(b) Pressure and dip treatment

Figure 4-1. Change of a values during 3 months' exposure.





(a) Giant timber bamboo



(b) Hachiku bamboo



(c) Moso bamboo

Figure 4-3. Dip-treated bamboo samples after 3 months' outdoor exposure



(a) Giant timber bamboo



(b) Hachiku bamboo



(c) Moso bamboo

Figure 4-4. Dip-treated bamboo samples after pressure treatment after 3 months' outdoor exposure

야외축로 기간(2005. 4. 15.~ 현재)중 장마철이 끼어 있었지만 아직까지 방부처리 대나무에서는 어떠한 생물학적 열화의 흔적을 관찰할 수 없었다.

#### 4. 결론

방부처리 대나무의 야외성능을 평가하기 위하여 현재 진행되고 있는 야외노출 결과, 상압처리법과 가압처리후 상압처리법으로 처리된 대나무가 노출 3개월까지 큰 변화없이 녹색을 유지하고 있고, 아직까지 처리 대나무에 어떠한 생물열화 흔적을 찾을 수가 없었다. 앞으로 노출을 진행시키면서 지속적으로 관찰을 할 예정인데, 기상열화에 의해 재색이 약간 퇴색될 수는 있어도 일단 발현된 녹색은 장기간 유지할 수 있으리라 사료된다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연구개발목표의 달성도

#### 1. 1차년도

연구개발목표	연구개발 내용 및 범위	목표 달성도
대나무 열화 원인 조사	- 대나무 조정소재 사용 실태 파악 - 야외에 노출된 대나무 소재의 열화 원인 조사	100%
대나무 부후균의 부후 능력 평가	- 공시균 채집: 대나무 부후균의 분리 및 동정 - 내후성 실험을 통하여 분리 대나무 부후균의 부후 능력 평가	100%
표면 wax 층 제거 기술 개발	- 대나무 표면에 존재하는 wax 층의 효율적인 제거 기술 개발	100%
재색 발현 및 내후성 획득을 위한 방부처리 조건 결정	- 재색 발현 가능한 방부제 선정 - 선정된 방부제를 대상으로 재색 발현 및 내후성 획득이 가능한 방부 처리농도 결정	100%

#### 2. 2차년도

연구개발목표	연구개발 내용 및 범위	목표 달성도
대나무내 방부제의 침투 경로 조사	- 대나무내 방부제의 침투 경로 조사	100%
대나무 방부처리법 제시	- 간이 방부처리법(상압처리)의 표준공정 제시 - 대량생산을 위한 가압처리후 상압처리 표준 공정 제시	100%
방부처리 대나무의 사용 및 환경안전성 평가	- 방부처리 대나무로부터 방부제 유효성분의 용탈특성 조사 - 방부제 유효성분의 용탈을 최소화할 수 있는 처리후 양생조건 조사	100%
방부처리 대나무 소재의 야외성능 평가	- 개발된 방부처리법으로 처리된 대나무의 야외 폭로시험에 의한 내구성 및 재색 유지 가능성 평가	100%

## 제 2 절 관련분야의 기술발전예의 기여도

본 연구를 통해 개발된 대나무 재색 발현과 동시에 대나무에 내후성을 부여하는 방부처리 기술은 대나무의 고부가 이용을 가능하게 하여, 앞으로 국내 대나무 산업 발전에 일익을 담당하리라 본다. 또한 열화 대나무 소재로부터 분리·동정된 부후균과 연부후균은 향후 대나무의 생물학적 열화를 연구하는데 매우 중요한 연구자료가 될 것이다. 구멍된 대나무의 방부제 침투 통로(경로)와 개발된 외피의 왁스 층 제거기술은 앞으로 대나무의 방부처리 뿐만 아니라 대나무의 제반 성질을 개선하기 위한 화학 개질가공시 개질제의 외피를 통한 주입을 위한 중요한 자료가 되리라 본다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 추가연구의 필요성

2년간의 연구결과, 미진한 부분이 발견되어 다음과 같이 연구를 추가적으로 할 필요가 있다고 본다.

#### 1. 왁스 층 제거처리시 할렬 발생 예방과 처리에 의한 대나무의 물성 변화 조사

대나무를 수산화칼륨과 계면활성제의 혼합 용액으로 처리한 결과, 대나무(특히, 맹종죽) 외피에 미세한 할렬들이 발생하여 처리 대나무의 미적 가치를 감소시킬 수 있었는데, 앞으로 이러한 미세 할렬의 발생 원인을 구명하고 할렬 발생을 예방할 수 있는 기술 개발이 요구된다고 할 수 있다. 또한 수산화칼륨과 계면활성제의 혼합용액 처리가 처리 대나무의 물리·역학적 성질에 미치는 영향도 조사되어야 할 것이다.

#### 2. 방부처리시 슬러지 발생을 최소화

방부처리시 슬러지 발생을 최소화 또는 예방할 수 있는 방법이 개발되어야 한다. 슬러지 발생 원인이 되는 전분 제거 기술과 외피의 왁스 층 제거에 사용된 수산화칼륨 잔류 문제를 해결할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

#### 3. 야외성능 평가를 최소 24개월간 지속

2년간의 연구기간을 주로 대나무 재색 발현과 동시에 대나무에 내후성을 부여하는 방부처리 기술 개발에 할애하다 보니 처리된 대나무의 야외성능을 평가할 수 있는 기간이 짧았는데, 앞으로 24개월까지 야외폭로를 지속하면서 기상열화에 따른 처리 대나무의 재색 유지 가능성과 생물열화 저항성을 조사할 예정이다.

## 제 2 절 타 연구에의 응용

본 연구를 통해 개발된 대나무 방부처리 관련 제반 기술은 앞으로 대나무의 염색 기술로도 사용이 가능하리라 판단되며, 또한 대나무의 제반 성질을 개선하기 위한 화학개질가공을 위한 기술로 적용도 가능하다고 본다.

## 제 3 절 기업화 추진방안

현재 몇몇 조경시설물 업체와 한 방부처리업체가 본 연구를 통해 개발된 대나무 방부처리 기술에 대한 관심을 표명하고 있는데, 이들의 요구가 있으면 관련 기술을 이양할 예정이다. 또한 상압처리는 별도의 시설이나 장치가 필요 없는 관계로 죽림농가에 개발 기술을 적극적으로 보급할 계획이다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

연구개발과정에서 수집한 해외과학 기술정보 중 중요한 몇 가지를 나열하면 다음과 같다.

### 1. 대나무 방부처리 기술

-미국 Clemson 대학교의 Lee 교수 연구팀은 대나무(맹종죽)를 충세포법으로 가압처리시 CCA 보유량이 미국 남부송의 약 22%에 불과할 정도로 주입성이 매우 불량함을 보고하였다.

- 인도의 Sonti 박사 연구팀은 대나무의 외피를 통한 방부제의 침투가 불량하고, 또한 절(節)을 통한 방부제의 침투가 불가능하기 때문에 절에 구멍을 뚫어 방부제를 일단 통 대나무 내로 유입시킨 후 투과성이 우수한 내피를 통해 침투시키는 처리방법을 제시하였다.

- 말레이시아 임업연구원(FRIM)에서는 통 대나무 처리를 위한 고압 수액치환법 기술을 개발하였는데, 처리 결과가 가압처리인 충세포법과 유사할 정도로 우수하다고 보고하였다.

### 2. 대나무 재색 발현 기술

- 대만대학교의 Chang 교수 연구팀에서 크롬계 무기염류 처리에 의해 대나무의 자연 녹색을 유지하려는 연구가 수행되었다. 그러나 Chang 교수팀의 연구는 단지 대나무의 녹색을 유지하려는 연구에 불과하여 대나무를 야외용 조경소재로 사용하기 위하여 갖추어야 할 가장 중요한 특징인 연부후균 등 생물학적 열화인자에 대한 저항성은 자세하게 조사된 바가 없다.

- 여러 종류의 대나무 담장(울타리)을 생산하여 전 세계에 수출하는 중국 광둥성의 Fence and Bamboo International 주식회사는 녹색 플라스틱을 대나무 표면에 피복함에 의해 대나무의 자연 색과 비슷한 색을 유지시킨 제품인 'plastic coated bamboo fence'를 생산하고 있다.



## 제 7 장 참고문헌

박상진 · 이원용 · 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사

산림청. 2004. 임업통계연보 제 34호.

이재기 · 박상진. 1987. 담양지방 왕대속 4종의 조직 및 간내 변이성. 목재공학 15(3): 14-23.

Barry, A., R. Lepine, R. Lovell, and S. Raymond. 2001. Response surface methodology study of VOCs in plywood press emissions. Forest Products Journal 51(1): 65-73.

Beeson, C. F. C. 1938. Carpenter bees. Ind. For. 64(12): 735-737.

Biswas, S. 1988. Studies on bamboo distribution in north-eastern region of India. Indian For. (Bamboo special - I), 114(9): 514-531.

Chang, S. T., and H. L. Lee. 1996. Protection of the green color of Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) culms and its color fastness after treatment. Mokuzai Gakkaishi 42(4): 392-396.

Chang, S. T. 1997. Comparison of the green color fastness of Ma (*Dendrocalamus spp.*) bamboo culms treated with inorganic salts. Mokuzai Gakkaishi 43(6): 487-492.

Chang, S.-T. and J.-H. Wu. 2000. Green-color conservation of ma bamboo with chromium based reagents. Journal of Wood Science 46: 40-44.

Chang, S.-T., J.-H. Wu, and T.-F. Yeh. 2002. Effects of chromated-phosphated treatment process on the green color protection of ma bamboo. Journal of Wood Science 48: 227-231.

Chen, Y., W. Quin., X. Li., J. Gong, and M. Ni. 1985. Study on chemical composition of ten species of bamboo. *Chem. Ind. For. Prod.* 5: 39-46.

Choo, K. T. and K. S. Gan. 1998. High pressure sap displacement method and Bethell process for treatment of round bamboo. FRIM Technical Information Handbook No. 16. Forest Research Institute Malaysia.

Farrelly, David. 1938. *The book of bamboo*. Sierra club books, San Francisco, CA, U. S. A.

Fence and Bamboo International Co., Limited. 1999. Bamboo fences. World Wide Web. <http://www.bamboocane.com>.

Feung Lu. 2001. China's bamboo product trade: performance and prospects. INBAR Working Paper No 33. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing.

Gardener, J. C. M. 1945. A note of the insect borers of bamboo and their control. *Ind. For. Bull. Ent. (N.S.) Ent.* 125.

Ghosh, S. S., and B. S. Negi. 1959. Anatomical features of bamboo used for paper manufacture. *Cellulose and Research. A symposium*, C. S. I. R. New Delhi.

Gnanaharan, R., C. Mohanan. and S. Chand Basha. 1993. Post-harvest technology of reed bamboo. *BIC India Bull.* 3(1): 1-6.

Grosser, D., and W. Liese. 1974. Verteilung der Leitbündel und Zellarten in sprobachsen verschiedener Bambusarten. *Holz als und Roh-Werkst.* 32: 472-482.

Kumar, S. 1994. Bamboo preservation techniques: a review. INBAR Technical Report No 3. International Network for Bamboo and Rattan and Indian Council of forestry Research Education.

Kumar, S. 1994. Bamboo preservation techniques: a review. INBAR and ICFRE.

Kumar, S, and P. B. Dobriyal. 1992. Treatability and flow path studies in bamboo part I. *Dendrocalamus strictus* Nees. Wood and Fiber Sci. 24(2): 113-117

Lee, A. W. C. G. Chen, and F. H. Tainter. 2001. Comparative treatability of Moso bamboo and southern pine with CCA preservative using a commercial schedule. Bioresource Technology 77(1): 87-88.

Liese, W. 1959. Bamboo preservation and soft rot. F. A. O. Rep. No. 1106 to Govt. of India, 1959.

Liese, W. 1959. Bamboo preservation and soft-rot. F.A.O. Report to Govt. of India, No.1106.

Liu, B. L. and Y. M. Tzeng. 1998. Optimization of growth medium for the production of spores from *Bacillus thuringiensis* using response surface methodology. Bioprocess Engineering 18: 413-418.

Londono, X. 2001. Evaluation of bamboo resources in Latin America. INBAR Working Paper No 35. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing.

Marden, L. 1980. Bamboo, the giant grass. National Geographic 158: 502-528.

Mathew, G., and K. S. S. Nair. 1990. Storage pests of bamboos in Kerala. In "Bamboos: Current Research". I.V.R.Rao, R. Gnanaharan, and C. B. Sastry (Eds) Proc. International Bamboo Workshop, KFRI/IDRC, pp. 212-214.

Mohanan, C. 1996. Diseases of bamboos in Asia—an illustrated manual. INBAR Technical Report No 10. INBAR and IBPGR, Bali

Myers, R. H. and D. C. Montgomery. 1995. Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, U.S.A.

Ohrnberger, D. 1999. The Bamboos of the World: Annotated Nomenclature and Literature of the Species and the Higher and Lower Taxa. Elsevier, Amsterdam.

Purushotham, A., S. K. Sudan, and V. Sagar. 1954. Preservative treatment of green bamboos under low pneumatic pressures. Ind. For. Bull. No.178.

Quintans, K. N. 1998. Ancient grass, future national resource. INBAR Working Paper No 16. International Network for Bamboo and Rattan., Beijing.

Rao, A. N., V. R. Rao, J. T. Williams. 1998. Priority Species of Bamboo and Rattan. IPGRI-APO, Serdang, Malaysia.

SAS Institute Inc. 1990. SAS/GRAPH<sup>®</sup>: Reference, version 6.0, first edition, volume 1, 2. SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.

Sharma, Y. M. L. 1980. Bamboos in the Asia-Pacific region. In Lessard, G and A. Chouinard ed., Bamboo research in Asia. Proceedings of a workshop held in Singapore 28-30 May 1980. International Development Research Center, Ottawa, Canada. pp. 99-120.

Sharma, M. L. 1987. Leaf epidermal studies in some bamboos (Gramineae) II. Journal of Tree Sciences 6: 74-78.

Soderstrom, T. R. and C. E. Calderon. 1976. Curtains for this bamboo: the mysterious flowering of madake. *Pacific Horticulture* 37: 7-14.

Tamolang, F. N., F. R. Lopez, J. A. Semana, R. F. Casin and Z. B. Espiloy. 1980. Properties and utilisation of Philippine bamboos. In "Bamboo Research in Asia" G. Lessard and A. Chouinard (Eds), IDRC, pp. 189-200.

Vantomme, P., A. Markkula, and R. N. Leslie. 2002. Non-wood Forest Products in 15 Countries of Tropical Asia: An Overview. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Williams, J. T. and V. R. Rao. 1994. Priority Species of Bamboo and Rattan. INBAR Technical Report No 1. INBAR and IBPGR, New Delhi.

Yoshikawa, I. 1997. Building bamboo fences. Everbest Printing.

## Appendix 1

### 대나무 분리 부후 및 연부후균의 최소 생육억제농도 결정

2% MEA 배지에서 자라고 있는 공시균(대나무로부터 분리된 6종의 부후균과 12종의 연부후균)의 균사체 가장자리로부터 직경 10mm의 cork borer를 이용하여 접종원을 떼어 CCA, ACQ, CB-HDO 유효성분이 농도 별로 첨가된 2% MEA 배지와 약제를 첨가하지 않은 2% MEA 배지의 중앙부위에 접종하였다. 공시균이 접종된 petri dish는 parafilm으로 완전 밀봉하여 27℃에서 배양하면서 균사의 방사방향 성장을 측정하였다. 배지에 첨가된 방부제 유효성분의 농도와 균의 방사방향 성장간의 상관성이 매우 우수하여 이들간의 관계를 가장 잘 나타낼 수 있는 관계식을 유도하였다. 유도된 식으로부터 균사생장을 완전히 억제할 수 있는 농도를 계산하여 이를 최소 생육억제농도로 결정하였다. 관계식은 종속변수와 독립변수를 각각  $\log_{10}$ (약제농도; x)과 균사의 직경생장(y)으로 하는  $y = -ax^2 + bx + c$  ( $a > 0$ ) 형태의 2차식과  $y = -ax + b$  ( $a, b > 0$ )의 형태의 1차식을 유도한 후에 공시균과 공시방부제의 조합별로 둘 중 적합한 관계식을 채택하여 최소 생육억제농도를 결정하였다.

대나무 부후 및 연부후균에 대한 CCA-C의 최소 생육억제농도 및 이들 균의 최소 생육억제농도를 계산하기 위해 사용된 관계식을 Table A-1에 보여준다.

Table A-1. Minimum inhibitory concentrations(mg/ℓ) of CCA toward test fungi.

Fungus	MIC value	Equation*
<i>Acremonium</i> sp.	267	$y = -13.002x^2 - 48.398x + 194.01$
<i>Alternaria alternata</i>	466	$y = -73.857x + 197.09$
<i>Arthriniun phaeospermum</i>	103	$y = -81.748x^2 + 141.35x + 46.939$
<i>Ascomycete</i>	223	$y = -106.35x + 241.92$
<i>Ceriporia lacerata</i>	568	$y = -30.685x^2 + 67.298x + 47.424$
<i>Cladosporium oxysporum</i>	431	$y = -94.532x^2 + 317.46x - 165.92$
<i>Curvularia ovoidea</i>	187	$y = -119.84x + 272.33$
<i>Hypochnicium</i> sp.	263	$y = -174.82x^2 + 567.03x - 348.26$
<i>Irpex lacteus</i>	70	$y = -30.76x + 56.725$
<i>Phanerochaete sordida</i>	357	$y = -34.361x + 87.739$
<i>Phialophora</i> sp.	116	$y = -76.952x^2 + 151.1x + 16.111$
<i>Phoma glomerata</i>	88	$y = -26.349x^2 - 36.643x + 170.67$
<i>Schizophyllum commune</i>	87	$y = -187.03x^2 + 479.61x - 226.87$
<i>Sporothrix</i> sp.	244	$y = -55.025x^2 + 123.39x + 19.081$
<i>Trametes versicolor</i>	396	$y = -33.104x^2 + 50.016x + 93.494$

\*x and y represent  $\log_{10}$ (conc. of CCA) and radial growth (mm) of fungal hyphae, respectively.