

최 종
연구보고서

GOVP1200609017

국산재의 수지제거 및 고품질 재색변화 기술 개발

Development of Deresining and High-Quality Color
Changing Technology for Domestic Timber

연구기관
충 남 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산재의 수지제거 및 고품질 재색변화 기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년 10 월 13 일

주관연구기관명 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 강 호 양

세부연구책임자 : 강 호 양

연 구 원 : 이 관 영

요 약 문

I. 제 목

국산재의 수지제거 및 고품질 재색변화 기술 개발 Development of Deresining and High-Quality Color Changing Technology for Domestic Timber

II. 연구개발의 목적 및 필요성

국산 침엽수재는 수지를 많이 함유하고 있어 건조 과정에서 수축률이 높고, 재색이 불균일·불안정하기 때문에 고부가가치 목재로 활용하기 어렵다. 수지제거기술과 재색변화와 안정화 기술이 개발된다면, 수지제거를 통해 활엽수 대용으로 사용할 수 있어 부가가치를 높일 수 있다.

2조 원대 규모로 커지고 있는 목재 시장에서는 원목 마루재와 루바재를 국산 침엽수로 대체할 수 있다. 마루재와 루바재는 주로 활엽수로 사용하기 때문에 국산재가 적용될 수 있다. 비록 소나무, 잣나무 등 국산 침엽수재는 표면 경도가 낮으나 가정용 마루재로 사용하는 데는 지장이 없고, 필요한 경우 실리콘 코팅을 통해 경도를 높일 수 있다. 단지, 수지로 인해 표면화학처리가 어려웠으나 본 연구에서 이를 해결하므로 가공성을 높일 수 있다.

지금까지는 단시간에 높은 온도(350℃)를 높여야하는 장치 개발이 힘들었으나 최근 고온고압가열 기술의 발달로 산소를 배제하여 발화를 예방하면서 가열하는 새로운 기술이 가능하게 되었다.

과열증기 및 열처리 장치를 개발하고, 이를 이용하여 국산 침엽수재 이용의 최대 걸림돌인 수지를 제거하는 기술과 주요 국산 침·활엽수재의 재색을 고급 활엽수재의 대체재로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 자외선에 대해 안정하고 균일한 색상을 나타내도록 변화시키는 기술을 개발한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

국산 수종의 수지제거와 색상 변화 기술을 개발하고자 수행한 본 연구의 내용과 범위는 다음과 같다.

1. 과열증기 및 열처리 장치 개발

내부 온도 350℃까지 20분 이내 가열이 가능하고 수증기 발생장치의 압력은 최고 5기압까지 높일 수 있고, 가압이 가능한 장치를 개발하였다.

2. 수지제거 기술 개발

국산 침엽수의 수지를 제거하면서도 목재가 탄화되지 않도록 처리온도와 시간, 압력, 처리상태 (생재 또는 건조재), chamber 내 공기유무, 냉각방법 등의 적정 조건을 조사하였다.

3. 고품질 재색변화 기술 개발

과열증기와 열처리를 이용하여 국산재가 ① 자외선에 안정하고 균일한 재색을 갖도록 하고 ② 심·변재 재색 차가 적어지고 ③ 고품질 재색으로 변화하여 고급재 대체재로 사용할 수 있는 기술을 개발하였다. 수종은 침엽수로 소나무, 잣나무, 낙엽송, 활엽수로 아까시나무와 자작나무 등을 사용하였다.

열처리 적정 조건으로 ① 처리상태(전처리 또는 후처리), ② 처리온도와 습도, ③ 처리시간, ④ chamber 내 압력 (가압 또는 감압), ⑤ chamber 내 환기여부 등을 조사하였다.

4. 처리효과 조사

수지제거 효과를 판정하기 위해 표층과 내층의 잔류 수지량, 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색 등을 측정·비교하였다. 목재를 여러 가지 건조방법으로 건조한 후에 액체 투과율을 측정하고 SEM을 사용하여 목재 내 수분이동 통로를 관찰하여 수지제거 효과를 조사하였다.

재색변화 효과를 판정하기 위해 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색, 심재와

변재의 재색을 측정·비교하였다.

5. 처리재의 물리적 성질 조사

과열증기 및 열처리에 의해 목재의 물리적 성질이 어떻게 변했는지를 조사하였다. 고온에 노출된 목재는 강도와 습윤성이 낮아지는데 이러한 변화가 최종 용도에 미치는 영향이 부정적인지 긍정적인지를 알아야만 적절히 대처할 수 있다. 따라서 표면경도, 치수안정성, 내부 잔류응력 등을 조사하였다.

6. 자외선에 대한 재색 안정성조사

야외폭로실험을 실시하여 시간에 따른 목재 표면의 재색 변화를 측정하여 안정성을 조사하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

<과열증기 및 열처리 장치 개발>

1) 본 연구를 위해 개발·제작된 과열증기 열처리 장치는 수지제거와 색상 변화에 유용하게 사용될 수 있음이 증명되었다.

<수지제거 기술 개발>

- 1) 열기건조된 낙엽송 판재의 수지제거에는 100℃와 200℃ 열처리 모두 효과가 있었으며 100℃ 5시간 열처리가 200℃ 1시간 열처리보다 더 효과가 있었다.
- 2) 열처리 전에 증기처리나 냉동처리를 실시하는 것이 무처리보다 높은 수지제거효과를 나타냈다. 두 방법 중 증기처리 효과가 더 컸다.
- 3) 두께 30mm 침엽수재의 잔류수지율이 두께 20mm보다 대부분 높았다. 이는 두께가 두꺼울수록 수지제거가 어렵다는 것을 의미한다.
- 4) 두께 20mm 이하의 얇은 판재를 150℃이상에서 2시간 열처리 하거나 6시간 증기처리하여 좋은 수지제거효과를 얻었다.
- 5) 두께 30mm의 수지제거는 처리방법과 온도에도 영향을 받지만 무엇보다

처리시간의 영향이 크다고 할 수 있다. 본 실험조건 중에서 증기처리 48시간이 가장 좋았다.

<수지제거를 위한 섬유방향 비투과율 조사>

- 1) 본 연구에 사용된 Darcy 법칙을 이용한 간이 투과율 장치는 간편하고 유용하였다.
- 2) 시편들의 평균 비투과율은 추출 전이나 후 모두 측정시간이 증가할수록 급격히 감소하였다. 이는 음압에 의해 발생된 공기방울이 수지구를 막기 때문으로 설명할 수 있다.
- 3) 열기건조, MW진공건조, 고온건조 시편의 평균 비투과율은 비교적 높았으며 천연건조는 매우 낮았다. 그러나 용매 추출 후 천연건조시편만 증가하고 나머지는 감소하였다.
- 4) 비투과율과 수지구 수는 상관관계가 없었다.

<건조방법에 따른 채색>

- 1) 낙엽송은 건조방법에 따라 명차가 크지 않으나 소나무와 잣나무는 천연건조와 열기건조가 고온건조와 증기건조보다 밝았다.
- 2) 85일간 야외폭로된 소나무와 낙엽송의 명도는 천연건조와 열기건조가 고온건조와 증기건조보다 여전히 높았으나 잣나무는 건조방법간 차이가 없어졌다. 소나무와 잣나무의 황색도는 초기에 증가하다 감소하는 경향을 보였으나 낙엽송은 40일 정도까지 초기 값을 유지하다가 점차 감소하였다.

<220℃ 열처리재의 채색>

- 1) 10시간 처리 후에 소나무, 잣나무, 낙엽송, 자작나무가 뚜렷한 색차를 나타냈다.
- 2) 20℃, 상대습도 95%에서 무처리와 220℃ 열처리재의 평형함수율 차는 자작나무가 9.8%로 가장 크고, 소나무가 6.5%, 낙엽송이 6.1%, 잣나무가 5.4%로 가장 적게 나타났다.
- 3) 모든 수종의 표면경도는 처리시간 2시간과 12시간이 비슷한 값을 나타내고 그 사이 4, 6, 8 시간이 2, 12시간보다 높은 값을 나타냈다. 특히 8시간이 가장 높은 값을 보인다.

- 4) 42일간 야외폭로 후에 모든 수종에서 열처리시간 사이의 명도차가 매우 줄어들었다.

<열처리 색상변화 기술의 적용>

- 1) 원판공예에 사용되는 직경 20-30cm, 두께 3cm 소나무, 낙엽송, 아까시나무 원판을 160℃, 41.5시간과 190℃, 40시간 열처리하여 고품질의 짙은 색상 원판을 얻을 수 있었다.
- 2) 재면이 오염된 목재를 열처리하여 깨끗하고 균일한 재색을 얻을 수 있었다.
- 3) 소나무, 잣나무, 낙엽송 열처리를 이용하여 고품질의 몰딩재와 루바재를 생산하였다.

2. 활용에 대한 건의

본 연구에서 개발된 과열증기 및 열처리 장치와 그 장치를 이용하여 개발한 수지제거 기술 및 재색변화기술은 국산재의 고품질화에 매우 유용한 것으로 증명되었다. 현재 개발된 장치는 실험실용(1360×550×550 mm³)으로 산업용으로 사용하기에는 용량이 적다. 산업화를 위해 대용량 장치의 제작이 필요하며 다양한 국내산 또는 수입 수종을 대상으로 원하는 재색의 발현을 위해 반복적인 실험과 축적된 경험이 필요하다.

SUMMARY

A heat treatment chamber was developed to use for deresinning domestic softwoods and for discoloring domestic species in order to improve their quality, stability to UV and color uniformity.

Followings are the results derived from this study.

<Development of superheated steam and heat treatment chamber>

- 1) It has been proved that the superheated steam and heat treatment chamber developed in this study is very useful for deresinning and discoloring wood.

<Deresinning technology>

- 1) Heat treatments at 100°C and 200°C were both effective for deresinning larch boards dried in a conventional kiln. Heat treatment at 100°C for 5hours was more effective than that at 200°C for 1hour.
- 2) Presteamng and prefreezing improve deresinning. The former is more effective than the latter.
- 3) The average residual content of 30mm thick boards was higher than that of 20mm thick boards. It implies that the thickness of boards influences deresinning.
- 4) For the boards not thicker than 20mm heat treatment at 150°C for 2 hours or steaming for 6 hours result in good deresinning.
- 5) Treatment time was found to be the major influencing factor on deresinning rather than other factors such as treatment method and temperature.

<Investigation on longitudinal permeability for deresinning>

- 1) It has been revealed that the newly developed apparatus for measuring liquid permeability is simple and useful.
- 2) During a measurement the liquid permeability steeply decreases with time,

which attribute to the blockage of air bobbles in resin canals.

- 3) The average specific permeabilities of specimens treated by conventional kiln, microwave vacuum and high temperature drying were relatively higher than that by air drying. After solution extractions, however, only the specific permeability of air dried specimens was increased while those of the others decreased.
- 4) There was no correlation between specific permeability and the number of resin canals.

<Color changes with drying methods>

- 1) For Japanese and Korean pines the conventional kiln dried boards were lighter than the high temperature and steamed ones, while for larch no difference between the treatments.
- 2) After 85 day weathering for Japanese pine and larch the air dried and conventional kiln dried boards were lighter than high temperature dried and steamed ones. For Korean pine there was no difference between the treatments.

<Color of 220°C heat treatment wood>

- 1) For Japanese and Korean pines, larch and birch their colors were distinctly different from the controls after 10 hour heat treatment.
- 2) At the condition of 20°C and 95% RH the EMC differences between the heat treated and controls were 9.8, 6.5, 6.1 and 5.4% for birch, Japanese pine, larch and Korean pine, respectively.
- 3) The surface hardnesses of all species show a similar pattern, lowest at 2 and 12 hours, and highest at 8 hours.
- 4) The differences in lightness between treatment times significantly decreased after 42 day weathering

<Products of heat treated domestic softwoods>

- 1) Wood discs of 3cm thickness and 20-30cm diameter were heat treated at

160°C for 41.5 hours and at 190°C for 40 hours, resulting in high quality and uniformly dark color.

- 2) Heat treatment technology can be applied to stained wood, making its surface clean and uniform.
- 3) Using heat treatment technology high quality mouldings and louvers were produced from low quality domestic softwoods.

<Suggestions>

The superheated steam and heat treatment chamber developed in this study has been proved to be a useful tool for deresinning and changing wood color. The prototype chamber is not large enough for a industrial purpose. A large scale plant have to be built for mass production and many more tests are required to find the best process for many domestic and imported species.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

Section 1. Backgrounds

Section 2. Objectives of the study

Section 3. Scope of the study

Chapter 2. Present status of the domestic and oversea researches

Section 1. Problems to be solved

Section 2. Prospects

Chapter 3. Contents and results of the study

Section 1. Superheated steam and heat treatment chamber

Section 2. Experiments for deresinning

Section 3. Measurement of resin content

Section 4. Treatment to prevent kiln-dried larch boards from resin exudation

Section 5. Residual resin content and color change of heat treated and steaming wood

Section 6. Effect of drying methods on the deresinning of Korean pine sapwood

Section 7. Investigating moisture path in Korean pine heartwood for deresinning

Section 8. Investigating moisture path in Korean pine sapwood for reresinning

Section 9. Color change of wood with various steaming temperatures and times

Section 10. Color change of wood treated with different drying methods and steaming

Section 11. Color change of dried wood by weathering

Section 12. Color change of heat treated wood at 220°C

Section 13. Experiment for the dimensional stability of heat treated wood at 220°C

Section 14. Measurement of the surface hardness of heat treated wood at 220°C

Section 15. Weathering of heat treated wood at 220°C

Section 16. Color change of heat treated wood at 250°C

Section 17. Heat treatment of wood discs

Section 18. Products of heat treated wood etc.

Chapter 4. Achievement of the objectives and contribution to other subjects

Chapter 5. Application of research results

Chapter 6. Informations on foreign science and technology obtained during research

Chapter 7. References

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성

제2절 연구개발의 목적

제3절 연구개발의 내용과 범위

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

제2절 앞으로 전망

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 과열증기 및 열처리장치

제2절 수지제거 실험

제3절 수지함유량 측정

제4절 낙엽송 열기건조재의 수지삼출예방을 위한 처리기술

제5절 열처리 및 증기처리 목재의 잔류수지율 및 재색변화

제6절 건조방법이 잣나무 변재 수지제거에 미치는 효과

제7절 수지제거를 위한 잣나무 심재의 이동통로 조사

제8절 수지제거를 위한 잣나무 변재의 이동통로 조사

제9절 증기처리 온도와 시간에 따른 재색 변화

제10절 건조방법과 증기처리에 따른 재색변화

제11절 야외폭로 건조목의 재색변화

제12절 220℃ 열처리재의 재색변화

제13절 220℃ 열처리재의 치수안정화 실험

제14절 220℃ 열처리재의 표면경도 측정

제15절 220℃ 열처리재의 야외폭로 실험

제16절 250℃ 열처리재의 재색변화

제17절 원판의 열처리

제18절 기타 열처리재 제품

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 참고문헌

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 국산 침엽수재 대부분은 송진(이하 수지라고 함) 때문에 가공과 도장이 어려워 고급재로 사용되지 못한다.
- 낙엽송은 심·변재 재색 차이가 크며 대부분 침엽수재는 사용 중 자외선에 의해 변색된다.
- 과열증기처리와 건조 전·후 특수열처리에 의해 수지를 제거하고, 자외선에 안정하고 재색이 균일하도록 변화시키는 기술이 선진국에서 최근 개발되고 있다. (표면 재색만이 아닌 내부까지 균일하게 변화)
- 국내에 많이 조림되어 생산되고 있는 아까시나무와 자작나무(birch)의 재색변화 기술은 이미 선진국에서 개발되어 국산재에 적용할 수 있다.
- 과열증기 및 열처리에 의해 처리재의 표면경도 증가, 치수안정성 증가, 내부응력 완화, 도장성 및 화학처리성 개선, 변색예방, 충해예방, 표면탄성계수 증가 효과도 얻을 수 있다.

2000년 한해에 경제수로 조림한 침엽수 면적은 11,094ha로 활엽수 면적 5,194ha에 비해 두 배 이상이 된다 (임업통계연보, 2001, 산림청). 지금까지 30년 이상 침엽수 위주로 조림해 온 결과, 국내 산림은 침엽수 임목 축적이 높을 뿐만 아니라 벌기령 또는 간벌기에 도달한 임지가 많다. 그럼에도 불구하고 거의 대부분의 침엽수재를 외국에서 도입하고 있는 이유는 국산재의 가격경쟁력이 낮기 때문이기도 하지만 무엇보다 가공성과 품질균일성이 떨어지기 때문이다. (용이가 많다는 것도 단점이지만 이는 최대 수입 수종인 라디에타 소나무도 마찬가지이며 가지치기를 적기에 해주므로 써 해결할 수 있다.)

2000년도 침엽수 경제수종의 조림면적은 잣나무 4670ha, 낙엽송 2642ha, 편백 1624ha, 리기테다 600ha, 소나무(해송, 강송) 501ha, 스트로브 잣나무 339ha 순이며, 전체 96%를 이들 6수종이 차지하고 있다. 이들을 최대 수입 수종인

라디에타 소나무와 비교하면 잣나무, 리기테다, 소나무, 스트로브 잣나무는 건조 후에도 수지가 많아 기계가공이 어려우며, 낙엽송과 편백은 수지는 적으나 심·변재 재색이 균일하지 않을 뿐만 아니라 햇볕에 노출되면 재색이 변하기 때문에 몰딩재, 루바재 등 고급재로 사용하기 어렵다. 따라서 국산 침엽수재를 미송 또는 라디에타 소나무의 대체재로 사용하기 위해서는 무엇보다 가공성을 높이기 위해 수지를 제거하여야 하며, 재색을 균일하고 안정하게 하여야 한다.

열대우림 활엽수 대경목에서 온대침엽수 소경목으로 목재산업의 주 소재가 바뀔에 따라 침엽수 소경목의 단점인 수지와 불균일한 재색을 개선하기 위한 연구가 지금 선진 각국에서 한창 진행 중에 있다. 특히 침엽수재의 주 생산국인 노르웨이, 스웨덴, 핀란드 등 스칸디나비아 국가에서 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있고 일부는 좋은 성과를 얻고 있다. 노르웨이 소나무(*Pinus resinosa*)는 이름대로 수지가 많아 그대로 사용하지 못하기 때문에 수지제거 연구가 진행되고 있다. 스웨덴에서는 자작나무를 증기와 고온을 병행 처리하여 비싼 목재인 마호가니와 같은 재색을 얻었고 (아직 미발표된 자료로 2001년 국제학회에서 대화를 통해 알게됨), 독일 임업연구원 (함부르크 소재)에서는 아카시나무를 건조 전·후에 고온 처리하여 균일할 뿐만 아니라 자외선에도 안정한 재색을 얻었다(연구자가 방문연구기간 중 실험에 참여함). 이러한 처리는 표면 재색만 바뀌는 것이 아니라 내부까지 모두 변하기 때문에 가공하여 사용할 수 있다. 또 부가효과로 목재의 치수안정효과도 얻을 수 있다.

선진국에서 개발하고 있는 이러한 처리방법들은 대량처리가 가능하기 때문에 비용이 적게들므로 국산 침엽수재에 적용이 가능하다. 본 연구에서는 국산 침엽수재 이용의 최대 걸림돌인 수지를 증기 또는 열처리로 제거할 수 있는 기술과 온도와 처리시간 등 처리 방법에 따라 목재 재색이 변하는 원리를 이용하여 균일하고 안정된 재색을 얻을 수 있는 기술을 개발하고자 한다.

2. 경제·산업적 측면

국산 침엽수재는 위에 언급한 대로 수지를 많이 함유하여 도장이 어렵고, 재색이 불균일·불안정하기 때문에 고급재로 사용되지 못하였다. 수지제거기술과 재색변화와 안정화 기술이 개발되면 침엽수를 고급 활엽수 대용으로 사용할 수 있어 부가가치를 높일 수 있다.

2조 원대 규모로 커가고 있는 리모델링시장에서 원목 마루재와 루바재를 국산

침엽수로 대체할 수 있다. 마루재와 루바재는 단척으로 사용하기 때문에 국산재가 적용될 수 있다. 비록 소나무, 잣나무 등 국산 침엽수재는 표면 경도가 낮으나 가정용 마루재로 사용하는 데는 지장이 없고, 필요한 경우 실리콘 코팅을 통해 경도를 높일 수 있다. 단지, 수지로 인해 표면화학처리가 어려웠으나 본 연구에서 이를 해결하므로 가공성을 높일 수 있다.

지금까지는 단시간에 높은 온도(350℃)를 높여야하는 장치 개발이 힘들었으나 최근 고온고압가열 기술의 발달로 산소를 배제하여 발화를 예방하면서 가열하는 새로운 기술이 가능하게 되었다.

3. 사회·문화적 측면

우리 나라의 대표 수종인 소나무와 고유수종인 잣나무는 오랜 동안 우리 문화 속에서 사용되어 왔지만 수지를 많이 함유하고 있어 용도가 한정되었다. 수지 때문에 충해저항성이 높고 생재함수율이 비교적 낮다는 장점도 있지만 가공성이 나쁘기 때문에 가구 등 소목재료 보다는 주로 대목재료인 건축물의 기둥, 석가래 등으로 사용되었다. (홍송이라고 하여 전통가구에 사용된 소나무류가 있으나 이는 일반 소나무와 달리 수지가 적으며 은은한 잣나무 향을 내는 것으로 소나무와 잣나무의 잡종 또는 열악한 환경에서 천천히 성장되어 연륜이 촘촘한 야생 잣나무로 지금은 구하기 어렵다.)

소나무와 잣나무는 문화적으로 친숙한 수종으로 수지가 제거되면 다양하게 사용될 수 있다. 고부가가치 제품으로 홍삼포장재를 들 수 있다. 매년 4,000억원 이상 해외로 수출하는 홍삼의 포장재는 전통적으로 홍송으로 만들어 외포장을 뜯었을 때 잣나무 향이 배어 나와야 좋은 것으로 인정받으나, 홍송을 구할 수 없어 잣나무재를 사용하려고 해도 수지로 인해 가공이 어렵기 때문에 현재는 라디에타 소나무를 사용하고 있어 품질이 매우 떨어진다.

소나무는 장수하는 것으로 알려져 있어 소나무로 만든 물건을 많이 사용하면 장수한다는 속설이 있다. 지금까지는 수지가 배어 나오기 때문에 가구 등 손에 직접 닿는 생활용품은 소나무로 만드는 것을 꺼려 왔다. 따라서 수지를 제거한 소나무재는 여러 용도로 사용될 수 있기 때문에 수요가 증가할 것이다.

제2절 연구개발의 목적

과열증기 및 열처리 장치를 개발하고, 이를 이용하여 국산 침엽수재 이용의 최대 걸림돌인 수지를 제거하는 기술과 주요 국산 침·활엽수재의 재색을 고급 활엽수재의 대체재로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 자외선에 대해 안정하고 균일한 색상을 나타내도록 변화시키는 기술을 개발한다.

제3절 연구개발의 내용과 범위

1. 과열증기 및 열처리 장치 개발

내부 온도 350℃까지 20분 이내 가열이 가능하여야 하고 수증기 발생장치의 압력은 최고 5기압까지 높일 수 있어야 한다. 대기압, 고압 그리고 진공 등 여러 조건에서 실험하여 적정조건을 찾아야 하므로 chamber는 고압과 진공에 모두 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

2. 수지제거 기술 개발

침엽수에 존재하는 수지는 여러 가지 화합물의 집합으로 terpen, lignan, stilbene, flavonoid 등 방향성 물질과 wax, fat, fatty acid, steroid, 고분자 탄수화물 등이 포함되어 있다. 200-250℃에서 가열하면 수지를 구성하는 성분은 휘발하거나 녹아 목재 조직에 흡수된다. 이런 상태가 되면 수지의 진득진득한 성질은 없어지기 때문에 기계 가공 시 문제를 일으키지 않게 되나, 고온에서 가열하기 때문에 목재 탄화가 일어난다.

따라서 수지를 제거하면서도 목재가 탄화되지 않도록 하는 것이 중요하다. 본 실험에서는 이 목적을 위해 ① 처리상태(생재 또는 건조재), ② 처리온도와 습도, ③ 처리시간, ④ chamber 내 압력 (가압 또는 감압), ⑤ chamber 내 공기유무 (질소 또는 이산화탄소 충전), ⑥ 냉각방법 등의 적정 조건을 찾는다.

본 실험에 사용될 수종은 국내산 침엽수로 소나무, 잣나무, 리기테다, 스트로브 잣나무의 4수종이다.

3. 고품질 재색변화 기술 개발

유럽산 beech재를 벌채 직후 과열증기 처리하면 짙은 재색을 띄고, 햇볕에 대해 안정하다. 이러한 beech재의 처리방법은 이미 오래 전에 산업화되어 국내에 수입되는 대부분의 beech재는 과열증기 처리된 것이다. 아까시나무재에 대해서도 같은 연구가 독일을 중심으로 연구 중에 있으며, 과열증기와 열처리된 자작나무는 고급재인 마호가니와 같은 재색을 나타내 대체재로 사용할 수 있는 가능성이 높다.

국산재 소나무와 잣나무는 사찰, 한옥에 건축재로 많이 사용되는데 자외선에

대해 안정하지 못해 해가 갈수록 표면색이 바뀌는 단점이 있다. 낙엽송과 편백은 심·변재 재색 차가 크다.

본 실험에서는 과열증기와 열처리를 이용하여 국산재가 ① 자외선에 안정하고 균일한 재색을 갖도록 하고 ② 심·변재 재색 차가 적어지고 ③ 고품질 재색으로 변화하여 고급재 대체재로 사용할 수 있도록 한다. 사용수종은 침엽수로 소나무, 잣나무, 리기테다, 스트로브 잣나무, 낙엽송, 편백이며 활엽수로 아까시나무와 자작나무이다.

본 실험에서 찾고자하는 적정 조건은 수지제거 실험과 마찬가지로 ① 처리상태(전처리 또는 후처리), ② 처리온도와 습도, ③ 처리시간, ④ chamber 내 압력 (가압 또는 감압), ⑤ chamber 내 환기여부 등이다.

4. 처리효과 조사

수지제거 효과를 판정하기 위해 ① 표층과 내층의 잔류 수지량 ② 기계 가공성 ③ 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색 ④ 치수안정성을 측정·비교한다.

재색변화 효과를 판정하기 위해 ① 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색 ② 심재와 변재의 재색 ③ 치수안정성을 측정·비교하고, 일부 처리재는 야외 폭로시키거나 촉진열화 시켜 동일한 항목을 비교한다.

5. 처리재의 물리적 성질 조사

과열증기 및 열처리에 의해 목재의 물리적 성질이 어떻게 변했는지를 조사한다. 고온에 노출된 목재는 강도와 습윤성이 낮아지는데 이러한 변화가 최종 용도에 미치는 영향이 부정적인지 긍정적인지를 알아야만 적절히 대처할 수 있다. 따라서 처리 전·후에 휨강도, 내마모성, 표면경도, 치수안정성, 내부잔류용력 등을 조사한다.

6. 자외선에 대한 재색 안정성조사

외부에 노출하는 야외폭로실험과 Weather-O-Meter를 이용한 촉진열화실험을 실시하여 시간에 따른 목재 표면의 재색 변화를 측정하여 안정성을 조사한다.

제4절 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (2002년)	과열증기 및 열처리 장치 개발	<ol style="list-style-type: none"> (1) 처리장치의 설계 및 제작 (시제품 제작) chamber 내부 규격 1500×500×500 mm³, 최대 온도 350℃, 최대 압력 3기압인 과열증기 및 열처리 장치를 제작. (2) 자동조절장치 설치 및 검정 chamber 내 온·습도를 thermometer로 감지하여 과열증기와 히터를 자동으로 조절. PC를 이용하여 자동기록. (3) 목재 온도상승속도 및 온도분포 조사 목재 표층과 내층에 열전쌍을 꽂고 처리장치를 가동하여 온도상승속도와 온도분포를 측정하여 처리장치의 성능 조사. (4) 전처리와 후처리의 효과조사 시편을 건조 전과 후에 수지제거와 재색변화실험을 실시하여 효과를 비교.
2차 년도 (2003년)	수지제거 기술개발	<ol style="list-style-type: none"> (1) 수종별 적정 처리조건 규명 수지가 많은 국내산 침엽수를 사용하여 <u>처리온도와 습도, 처리시간, chamber 내 압력, chamber 내 공기유무, 냉각방법</u> 등의 적정 조건을 조사. (2) 처리효과 측정 수지제거 효과를 판정하기 위해 <u>표층과 내층의 수지량, 기계 가공성, 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색, 치수안정성</u>을 조사. (3) 처리재의 물리적 성질 조사 수지제거 처리가 목재의 물리적 성질에 어떤 영향을 미치는가를 조사.
3차 년도 (2004년)	고품질 재색변화 기술개발	<ol style="list-style-type: none"> (1) 수종별 적정 처리조건 규명 침엽수와 활엽수를 사용하여 <u>처리상태, 처리온도, 처리시간, chamber 내 압력, chamber 내 환기여부</u> 등 적정조건을 조사. (2) 야외폭로 실험 재색변화 처리된 시편을 태양광 아래에 장기 노출시켜 재색변화를 조사. 색차계를 이용하여 재색변화 측정. 밀도변화 측정. (3) 처리효과 측정 재색변화 효과를 판정하기 위해 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색, 심재와 변재의 재색, 치수안정성을 비교. (4) 처리재의 물리적 성질 조사 재색변화 처리가 목재의 물리적 성질에 어떤 영향을 미치는가를 조사.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

산림자원의 고갈로 점차 양질의 목재자원은 줄어들고 있으나 소비패턴은 여전히 고급화를 추구하고 있기 때문에 낮은 질의 목재를 고품질화하기 위한 방향으로 연구가 진행되고 있다. 근래 전세계 목재가공분야는 침엽수재의 수지제거와 침·활엽수의 재색균일화 연구에 많은 힘을 쏟고 있다. 특히 침엽수 생산이 대부분인 스칸디나비아 국가에서 1998년 이후에 발표되는 연구의 대부분이 이와 관련된 것들이다(참고문헌의 대부분이 1998년 이후에 발표된 것임).

스웨덴 임업연구원에서는 수지가 많은 노르웨이 소나무(*Pinus resinosa*)를 공기를 배제한 250℃ 열처리 장치에서 30분 정도 가열하여 수지를 제거하는 기술을 개발하였다(스웨덴 임업연구원 Dr. Molen과 대화). 또 중국에서는 많이 식재되어 있는 Masson's pine의 수지를 제거하기 위한 연구가 최근 수행되고 있다(Guoxing et. al., 2001).

건조 전·후에 목재에 과열증기를 쏘여 재색을 변화시키고 안정화시키는 기술은 상당히 많은 진전을 보았다. 유럽에서 많이 생산되는 beech는 벌채직후 과열증기 처리하여 변색을 예방하고 균일한 재색을 갖도록 한다는 것은 이미 많이 알려졌다(Ledig and Seyfarth, 2001). 또 아까시나무의 증기열처리(hydrothermal treatment)는 재색을 균일하게 하고 자외선에 대한 안정성을 증가시키며 건조 후에 실시하면 표면경화를 현저히 낮춘다(Tolvaj et al., 2001). 아까시나무의 대기압 증기처리는 95-98℃에서 4일 이상이 걸리나, 120-130℃에서는 2시간이면 처리가 가능하다고 발표하였다.

목재를 열가수분해하면 추출물이 제거되고, 헤미셀룰로오스가 분해되고 셀룰로오스와 리그닌의 변형이 일어나는데, 열처리에 의한 목재재색변화는 헤미셀룰로오스의 감소에 의한 것으로 추정되므로 열처리온도는 헤미셀룰로오스 분해온도인 150-230℃이 적당한 것으로 여겨진다(Garrote et al., 1999). 통나무를 열처리한 결과 성장능력이 줄었으며, 셀룰로오스의 결정화도 증가와 평형함수율 감소로 치수안정성이 증가하였으며, 재색이 짙어졌다고 보고하였다

(Tejada et al., 1997). 열처리에 의한 목재의 결정화도는 전건상태보다 높은 함수율 상태에서 거의 두 배나 증가하였다 (Bhuiyan et al., 2000).

또 열처리에 의해 목재 흡습성은 현저히 감소하나 100%RH 증습과 100℃ 증자를 거치면 흡습성이 회복되는데 이러한 열처리에 의한 흡습성 감소는 셀룰로오스의 결정화에 의한 것이라기보다는 비결정물질의 화학변화에 기인한다고 볼 수 있다 (Obataya et al., 2000).

열처리에 의한 재색변화는 여러 가지 인자에 영향을 받는 것으로 알려졌다. beech(*Fagus sylvatica* L.) 와 silver birch(*Betula pendula* Roth.)의 경우 건조온도, 두께, 상대습도 순으로 크게 영향하였다 (Stenudd, 2001). 즉 건조온도가 높을수록, 두꺼울수록, 그리고 습도가 높을수록 짙은 색을 나타냈으며 이러한 재색변화 효과는 birch가 beech보다 컸다. 온도를 높이는 것은 자유수가 있을 때는 가수분해를, 자유수가 없을 때는 산화와 가수분해를 촉진하는 효과가 있는데 이러한 재색변화는 비효소적 Millard 반응이라고 알려져 있다 (Fengel and Wegener, 1989).

노르웨이 spruce(*Picea abies* Karst.)와 Scots pine(*Pinus sylvestris* L.)을 여러 온도에서 건조한 결과, 온도와 재색은 밀접한 관련이 있음이 밝혀졌다 (Tarvainen et al., 2001). 변재의 재색변화는 70℃ 이상에서 현저했으며 겨울에 벌채한 목재의 재색변화가 다른 계절에 비해 심했다. 겨울에 벌채한 목재에서 당 성분이 더 많이 검출되었지만 추출물량과 재색변화정도의 상관관계는 밝혀지지 않았다. 자작나무(*Betula pendula*)와 scots pine (*Pinus sylestris*)의 열분해는 처리온도와 처리시간에 모두 영향받았으며 전자가 후자보다 중량감소가 더 많이 일어났다 (Zaman et al., 2000). 또 건조 방식에 따라 차이를 나타내는데, 관행열기건조에 비해 진공건조한 birch의 표면은 짙은 색을 띄어 내층과 표층의 재색차이가 적었다 (Mottonen and Luostarinen, 2001).

재색변화는 자외선과 밀접한 연관이 있는데, 편백나무 변재와 스프루스 심재를 자외선 조사한 후 여러 온도와 습도 조건에서 열처리하여 재색변화를 조사하였더니 높은 습도에서는 자외선 조사한 것의 재색변화가 무처리보다 매우 컸으나 낮은 습도에서는 차이가 적었다 (Mitsui et al., 2001).

이같이 수지제거와 재색변화의 처리조건은 수종에 따라 다르며, 처리시간, 처리온도, 두께, 함수율, 공기배제 여부 등의 인자에 따라 효과가 다르게 나타나기 때문에 외국 수종의 조건을 국산 수종에 적용할 수 없으므로 개별

수종에 따른 연구가 이루어져야 한다.

본 연구와 관련하여 당 연구기관에서는 은사시나무 건조재 재색을 여러 가지 건조방법과 연관하여 조사하였다 (강, 2001). 고온건조한 목재가 일반열기건조한 목재보다 짙은 색을 나타냈으며 진공마이크로파 건조한 목재의 재색이 가장 적게 변화하였다. 또한 목재의 자외선에 의한 재색변화를 방지하기 위한 연구를 수행해 왔다 (강, 2002). 무수초산과 포름알데하이드를 액상 또는 기상으로 처리한 목재는 태양광선과 촉진열화 상태에서 무처리에 비해 재색변화가 적었다.

제2절 앞으로 전망

본 연구에서 개발하고자 하는 수지제거와 고품질 재색변화기술은 처리비용이 낮기 때문에 저가의 국산 침엽수재에도 적용하는데 어려움이 없으며 저 비용에 비해 부가가치가 높은 상품을 만들 수 있다. 보통 과열증기 및 열처리 장치에서 2시간 이내로 처리하기 때문에 처리비용이 목재가격에 차지하는 비율은 10% 이내로 예상된다.

이 기술들의 산업화는 이미 선진국에서 그 예를 볼 수 있다. beech의 과열증기처리는 보편화된 기술이며 국내에도 많이 조립되어 있는 자작나무를 고가인 마호가니와 같은 재색과 재질로 변화시키는 기술이 연구·개발되고 있다.

수지가 제거된 침엽수재는 다양하게 이용될 수 있다. 앞서 언급한 대로 잣나무는 고가의 홍삼 포장재로, 연륜이 아름다운 소나무, 낙엽송, 편백 등은 마루재와 루바재로 쓰일 수 있다. 그밖에 지금까지 가공재로 용도가 없었던 리기테다와 스트로브 잣나무는 새로운 용도가 개발될 수 있다.

고품질 재색변화기술로 처리된 목재는 심·변재 간 재색차이가 적어지며, 사용 중 자외선과 변색균에 의한 재색변화를 막을 수 있으며, 고급 활엽수재와 같은 색감을 나타내므로 대체재로 사용되어 부가가치를 높을 수 있다.

위의 수지제거와 재색변화 효과 외에 부가적으로 처리재의 표면경도 증가, 치수안정성 증가, 내부응력 완화, 도장성 및 화학처리성 개선, 변색예방, 충해예방, 표면탄성계수 증가 효과를 얻을 수 있다. 또한 건조과정을 거치지 않고도 수출용 파레트의 필수조건인 제선충방제를 위한 열처리 효과를 가질 수 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 과열증기 및 열처리장치

1. 장치의 설계 및 제작 (시제품 제작)

아래 모식도와 같이 과열증기 및 열처리장치를 설계하여 외주 제작하였다. 내부 chamber 규격은 1360×550×550 mm³, 최고 도달 온도 350℃, 내부최대압력 3기압이 되도록 설계하였다. 가열된 내부공기를 빼내는 밸브를 상부에, 일정한 압력 하에서 응축수가 자동으로 배수되도록 Ball top type 밸브를 하부에 설치하였다. chamber 내부와 목재의 온도를 측정할 수 있도록 열전쌍 등 온도센서를 연결할 수 있는 단자를 설치하였다. 모식도의 superheated steam generator와 control panel은 사진에서는 chamber 하부에 설치되어 있다.

제작된 처리장치 내 온·습도를 자동으로 조절할 수 있는 장치를 만들고 PC를 이용하여 자동기록 되도록 설치하였으며 시험가동을 통해 문제점을 파악하고 보완하였다.

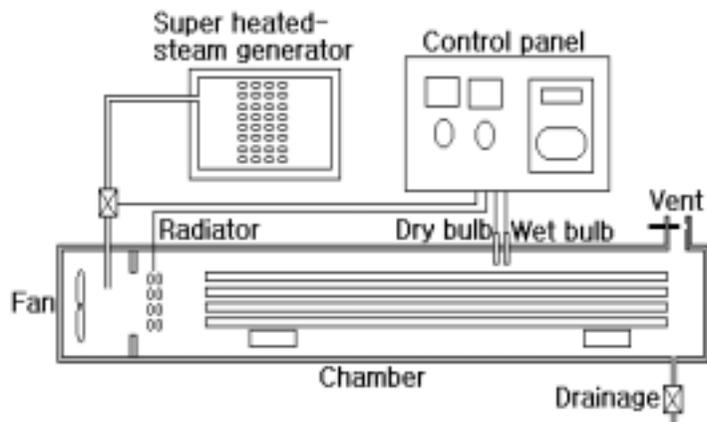


그림 1. 과열증기 및 열처리 장치 모식도



그림 2. 과열증기 및 열처리 장치



그림 3. 과열증기 및 열처리 장치

2. 목재 온도상승속도 및 온도분포 조사

과열증기 및 열처리 장치 내 온도상승속도를 측정하기 위해 열전쌍을 chamber 내 에 설치하고 내부 온도를 350℃ 맞추어 온도상승을 연속적으로 기록하였다. 6개 열전쌍을 설치하였으나 chamber 내 온도편차가 크지 않아 대표적인 그래프 하나만 나타내었다. 350℃까지 도달하는데 115분 정도가 걸렸으며 그래프에 나타난 바와 같이 거의 직선적으로 상승하였다.

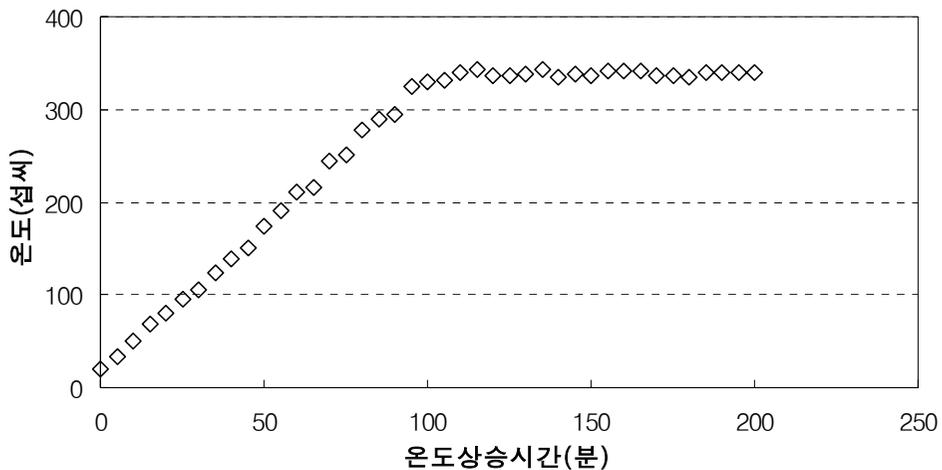


그림 4. 과열증기 및 열처리 장치 내 온도상승곡선

3. 전처리와 후처리의 수지제거 효과

국산 낙엽송은 수지가 많아 일반 열기건조만으로 수지를 제거하지 못한다. 열기건조된 낙엽송재를 증기처리, 냉동진처리, 열처리하여 변화를 조사하였다. 수지 함유정도에 따라 초음파전달속도가 달라지는 원리를 이용하여 본 실험에서는 수지를 알콜-벤젠으로 추출하는 어려움을 덜고자 초음파전달속도를 측정하였다.

가. 시편제작

여주 임산물 유통센터에서 가져온 낙엽송을 가지고 수지제거 실험을 위한 시편을 제작하였다. 소형 각재는 길이만 200mm로 잘랐으며 대형 각재는 200×40×22 mm³으로 잘라 24개 시편을 준비하였다.

나. 실험방법

준비된 시편 24개를 6개씩 무처리, 증기처리, 냉동처리의 3그룹으로 분류하였다. 처리를 행하기 전 먼저 각 시편의 중량, 사이즈, 초음파 전달속도 등을 측정하였다.

증기처리는 100℃ autoclave에서 5시간 행하였으며, 냉동처리는 -35℃ 냉동고에서 24시간 정도 행하였다. 처리가 끝난 후 다시 각 시편의 중량과 초음파 전달속도를 측정하였다.

처리가 끝난 시편은 각 그룹별로 2개씩 골라 알루미늄 포일로 싸서 200℃ furnace 에서 1시간 동안 열처리하였고, 나머지 4개의 시편은 100℃ 오븐에서 5시간 동안 열처리를 행하였다. 건조가 끝난 시편들은 다시 각각의 중량과 초음파 전달속도를 측정하였다. 마지막으로 모든 처리가 끝난 시편은 오븐에서 전건시킨 후 중량을 측정하였다.

다. 실험결과 및 고찰

1) 처리방법에 따른 초음파 전달속도

열기건조한 시편을 증기처리와 냉동처리한 후에 측정한 초음파 전달속도는 아래 표와 같다. 증기처리보다 냉동처리에 의해 더 많이 증가한 것으로 보이나 냉동처리에 의해서는 시편의 함수율이 별로 증가하지 않았으나 증기처리에 의해서는 함수율이 10%이상 증가하였다. 결론적으로 증기처리나 냉동처리 모두 초음파 전달속도를 증가시켰으며 따라서 수지제거 효과가 있었다고 할 수 있다.

표 1. 증기처리와 냉동처리에 의한 초음파 전달속도 변화

처리방법	처리 전		처리 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
증기처리	4737.0	126.5	4853.0	159.7
냉동처리	4344.9	157.3	4603.0	308.1

2) 열처리 효과

100℃ 열처리와 furnace 열처리 시편의 열처리 전후 초음파 전달속도는 아래 표

와 같다. 열처리 전후 모두 증기처리의 초음파 전달속도가 가장 높았다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 증기처리가 수지제거에 효과 있음을 나타낸다.

증기처리와 무처리를 비교하면 열처리 전보다 후에 차이가 더 현저한 것으로 보인다. 따라서 증기처리에 의한 초음파전달속도 증가보다 열처리에 의한 증가가 더 크다고 할 수 있다. 수지제거효과도 이와 같을 것으로 예측할 수 있다.

표 2. 전처리 시편의 열처리 효과

처리방법	100℃ 열처리		furnace 열처리	
	처리전	처리후	처리전	처리후
무처리	4707.9±266.4	4984.9±250.7	4502.8±328.8	4751.4±173.2
증기처리	4858.3±142.7	5136.5±179.0	4842.5±257.1	4942.7±241.9
냉동처리	4603.4±377.8	4961.0±236.5	4602.3±215.4	4817.9±244.2

위 표를 비교하면 furnace 열처리 보다 100℃ 열처리의 초음파 전달속도가 더 많이 증가하였다. 이를 보면 200℃ 높은 온도에서 짧은 시간(1시간) 열처리하는 것보다 100℃에서 긴 시간(5시간) 열처리하는 것이 수지제거에 더 효과적이라고 예상할 수 있다.

제2절 수지제거 실험

새로 제작된 과열증기 및 열처리 장치의 성능을 시험하기 위해 라디에타파인을 이용하여 여러 온도와 처리시간에서 처리된 시편의 재색변화와 잔류수지량을 측정하였다.

1. 열처리 실험

천연건조된 라디에타파인 판재로 $600 \times 100 \times 20 \text{mm}^3$ 공시판재를 만들었다. 공시판재를 60°C 오븐에서 오랫동안 천천히 건조하여 전건상태를 만들었다. 전건 공시판재의 끝 부분에서 $20 \times 20 \times 2 \text{mm}^3$ 의 수지추출 시편을 떼어냈다.

공시판재를 과열증기 및 열처리 장치에 넣고 열처리하였다. 열처리를 시작하자마자 과열증기 밸브를 열어 chamber 내 공기를 모두 배출시킨 후 모든 밸브를 잠갔다. 본 실험에서는 150°C 과 220°C 의 두 온도 수준에서, 2, 4, 6시간 동안 열처리하였다.

2. 수지량과 재색 측정

수지추출을 위해 공시판재에서 $20 \times 20 \times 2 \text{mm}^3$ 크기의 시편을 떼어 전건무게를 재고, 알콜-벤젠 2:1 혼합용액에 넣어 50°C 로 10시간 가열하였다. 수지추출이 끝난 시편은 60°C 오븐에서 전건하여 전건무게를 잰 후 수지추출 전 전건무게와의 차이로 수지량을 계산하였다.

열처리 공시판재의 재색은 표면 2mm 아래를 Hunter 색차계를 사용하여 측정하였다. 모든 색차값은 재면 3곳의 평균치를 사용하였다.

열처리에 의해 공시판재의 중심부까지 색상변화가 일어났는지를 알기 위해 수압대패로 표면을 2mm씩 깎으면서 정해진 두 지점의 재색을 측정하였다. 220°C 에서 열처리된 공시판재를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수지량 측정

150°C 열처리 시편의 수지량은 아래 표와 같다. 처리 시간에 따라 수지의 제거되는 정도는 높아졌다, 그러나 공시판재 자체에 많은 양의 수지를 함유하고 있을 경우 제거효과는 낮았다. 아래 그림과 같이 목재 내부의 수지들이 표면으로 용출

되어 나타났다.

표 3. 150℃ 열처리 시편의 수지량

열처리 온도 및 시간	생재 수지량(g)	열처리 후 수지량(g)	제거율(%)
150-2	3.00	1.22	59
150-4	2.76	0.66	76
150-6	1.44	0.25	82



그림 5. 수지가 용출된 모습

나. 재색변화

150℃와 220℃에서 열처리 한 공시판재의 재색변화는 아래 표와 같다.

표 4. 150℃와 220℃에서 열처리한 공시판재의 채색 비교

열처리온도 및 시간	색차값	열처리 전	열처리 후
150-2	L*	73.54	77.14
	a*	4.80	3.78
	b*	24.16	21.45
150-4	L*	71.14	74.63
	a*	5.23	4.61
	b*	23.69	21.43
150-6	L*	71.45	69.78
	a*	5.46	6.66
	b*	24.44	23.12
220-2	L*	76.59	62.22
	a*	4.00	7.64
	b*	20.51	22.90
220-4	L*	76.76	50.08
	a*	4.37	9.57
	b*	20.64	21.61
220-6	L*	75.93	48.45
	a*	4.25	9.59
	b*	20.38	20.52

i) 처리시간에 따른 L*의 변화

150℃의 경우, 2시간과 4시간의 L*값은 열처리 전보다 증가한 반면 6시간은 열처리 전보다 감소하였다. 즉 채색이 어두워졌다. 한편 220℃는 150℃와 달리 2시간부터 L*값이 감소하였으며 4시간과 6시간은 L*의 감소치가 거의 비슷하게 나타났다.

ii) 처리시간에 따른 a*값의 변화

150℃의 경우, 처리 시간에 따라 a*값은 L*값과 정반대 현상을 나타내고 있다. 2시간과 4시간은 감소한 반면 6시간은 증가하였다. 한편 220℃에서는 모든 처리시간에서 a*값이 증가하고 있다. 2시간보다 4시간에서 큰 증가를 보이지만, 4시간과 6시간은 거의 같은 증가치를 보이고 있다.

iii) 처리시간에 따른 b*값의 변화

150℃의 경우, b*값은 모든 처리시간에서 감소하였다. 그러나 그 감소폭은 처리시간이 길어질수록 줄어들었다. 반대로 220℃의 경우, 모든 처리시간에서 b*값이 증가하였다. 그러나 처리시간이 길어질수록 증가폭이 줄어들어 6시간에서는 거의 변화가 없었다.

iv) 공시판재 내부 재색변화

측정 결과 두께별 재색의 차이는 거의 나타나지 않았다. 표면의 재색이 판재 중심부까지 그대로 유지되고 있다.

표 5. 220℃열처리 공시판재의 내부 재색 비교

실험재 두께(mm)	측정위치	L*	a*	b*
20.69	1	45.65	11.33	20.85
	2	37.36	9.8	15.85
18.5	1	49.05	10.34	21.58
	2	38.73	9.66	16.89
17.24	1	47.88	10.47	21.18
	2	39.47	9.69	17.1
15.07	1	47.94	9.86	20.81
	2	39.05	9.64	17.38
13.34	1	46.41	10.17	20.52
	2	38.88	9.57	17
11.12	1	46.77	9.98	20.29
	2	38.59	9.82	17.11

4. 결론

150℃와 220℃ 열처리에 의해 좋은 수지제거 효과를 얻을 수 있었다. 재색변화는 두 온도수준에서 모두 만족할 만한 결과를 얻었으나 150℃에서는 6시간보다 더 긴 처리시간이 필요할 것으로 생각되나, 220℃에서는 4시간과 6시간이 큰 차이를 나타내지 않아 4시간이면 충분한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 열처리 판재의 내부의 재색이 표면과 차이가 거의 없어 만족할 만한 균일한 재색변화를 얻을 수 있었다.

제3절 수지함유량 측정

1. 소나무, 잣나무, 낙엽송의 연륜별 수지함유량 조사

침엽수재의 수지함유량을 연륜 별로 조사하였다. 수에서부터 5개 연륜 씩 잘라 시편을 만들었다.

소나무는 20년까지 수지가 어느 정도 있었으며 그 후엔 매우 적었다. 잣나무는 15년까지 수지함유율이 증가하다 그 후에 감소하였지만 여전히 다른 두 수종보다 높은 값을 나타냈다. 낙엽송은 수지함유율이 가장 적었는데 15년 이후엔 거의 없었다.

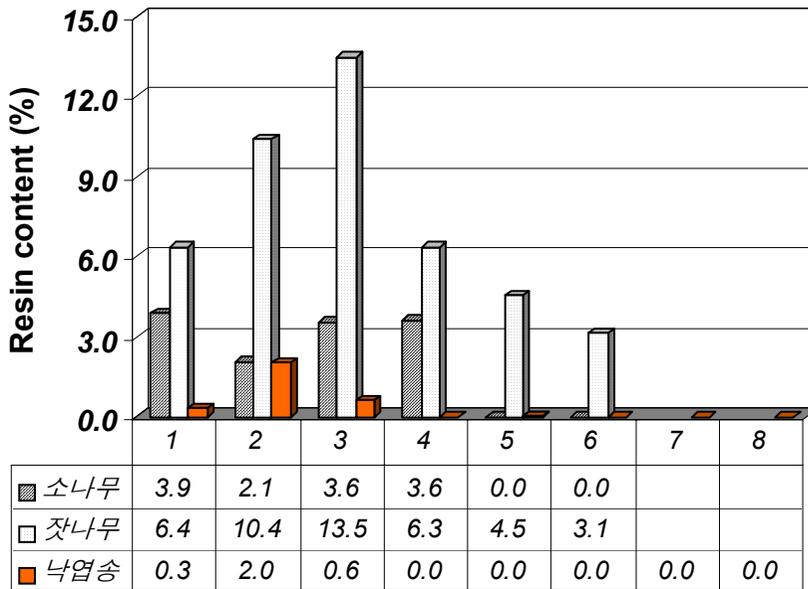


그림 6. 소나무, 잣나무, 낙엽송의 수지함유량

2. 소나무, 잣나무, 낙엽송의 건조방법에 따른 수지함유량 조사

실내천연건조, 옥외천연건조, 열기건조, 증기건조, 열기건조를 실시하여 잔류 수지함유율을 측정하였다.

증기처리가 가장 낮은 것은 예상과 같았으나, 나머지 건조방법 중 높은 온도로 건조한 것이 낮은 온도로 건조한 것보다 낮을 것으로 생각했으나 그렇지 않았다. 열기건조와 고온건조가 천연건조보다 높은 값을 나타냈다. 이 것은 목재가 고온에 노출되면 수지가 더 많이 생긴다는 것을 의미한다.

낙엽송은 증기만 빼곤 거의 비슷하게 낮은 값을 나타냈다.

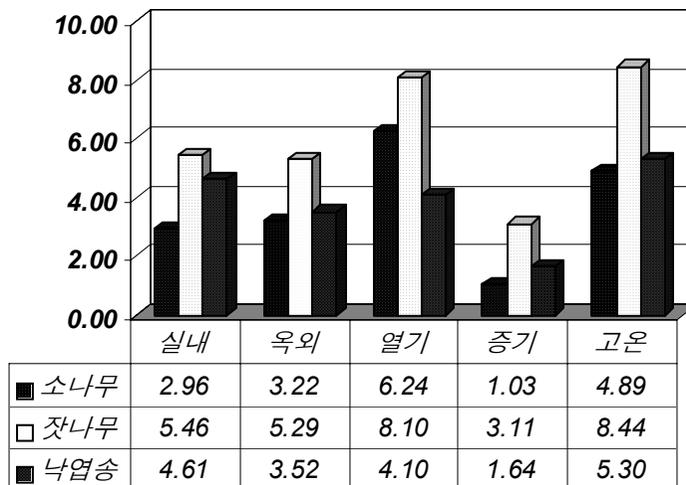


그림 7. 건조방법에 따른 잔류수지량
3. 라디에타 파인의 열처리 및 증기처리

국산 침엽수재와 같은 성질을 나타내는 20mm 두께 라디에타 파인을 사용하여 수지제거 열처리 실험을 실시하였다.

처리전과 처리후 수지함유율을 아래 그림에 비교하였는데 처리전 시험재의 변이가 매우 커서 직접 비교하기 어렵다.

그러나 열처리와 증기처리 후 잔류 수지함유율은 모든 시험재가 3% 이내로 거의 비슷한 값을 나타냈다. 따라서 150℃, 200℃ 열처리와 증기처리 모두 수지제거에 효과적이라고 볼 수 있다.

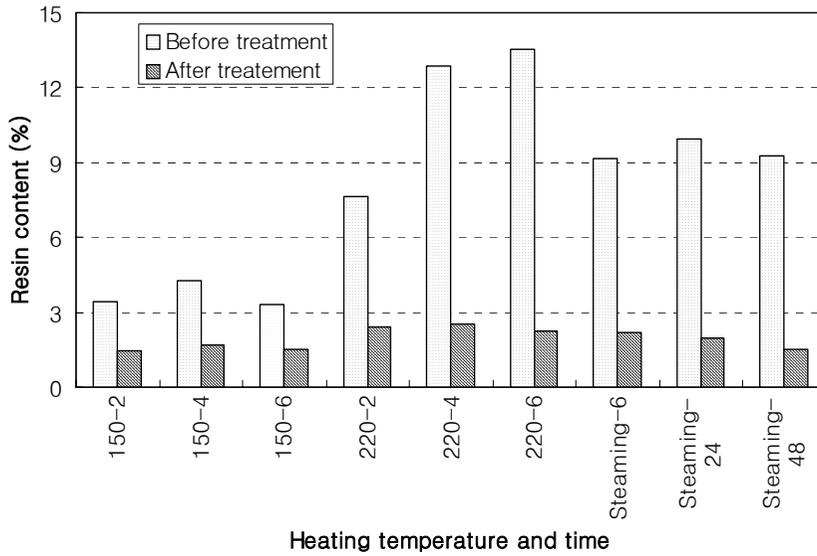


그림 8. 20mm 두께 시험재의 처리 전후 수지함율량

시험재의 두께를 20mm에서 30mm로 높여 위와 같은 실험을 실시하였다. 20mm 결과와는 달리 잔류 수지함유율이 높았다. 결과를 보면 증기처리 48시간과 220-4가 가장 좋았다. 고온건조가 150℃ 12시간 처리보다 낮은 값을 나타냈으며 220℃ 6시간과 비슷한 값을 나타냈다.

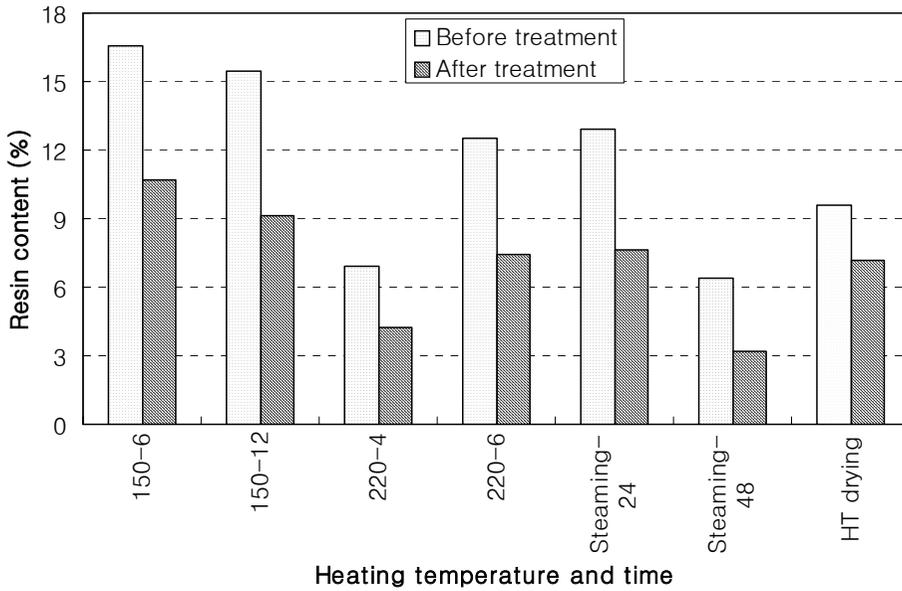


그림 9. 20mm 두께 시험재의 처리 전후 수지함율량

4. 표층과 내층 수지함유율 비교

열처리 후 표층과 내층의 수지함유율의 차이를 비교하였다. 라디에타 파인 20mm두께 시험재에서 시편을 떼어내어 두께방향으로 3등분하였다. 상부 표층과 하부 표층은 대칭으로 비슷한 값을 나타냈으며 내층만 처리시간에 따라 차이를 나타냈다.

2시간 때는 내층의 수지함유율이 표층보다 낮았으나 4와 6시간 처리 후에는 높아졌다. 이 결과는 앞에서 지적했듯이 고온에 노출되는 시간이 길수록 수지함유율이 증가함을 의미한다.

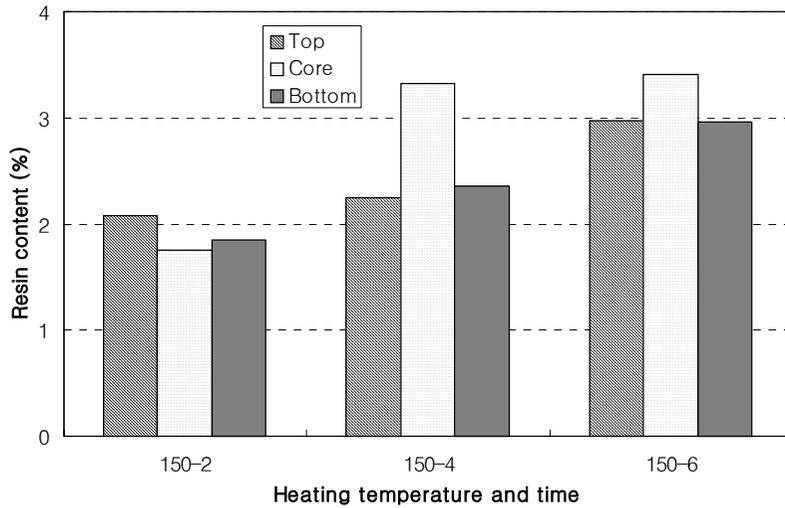


그림 10. 표층과 내층의 수지함유율

5. 열처리재의 Lab 색상비교

150℃와 220℃에서 열처리한 20mm 시험재의 표면 색상을 비교하였다. 처리시간에 따른 a*(redness)와 b*(yellowness)의 변화는 두 온도에서 모두 미미하였다. 색차(ΔE)는 150℃에서는 처리시간에 따라 감소하였으며 220℃는 점차 증가하였다. 그러나 150℃의 ΔE 값은 모두 5.0이하로 열처리전후에 차이가 있다고 말할 수 없다. L*(brightness)는 두 온도에서 모두 처리시간에 따라 감소하였다.

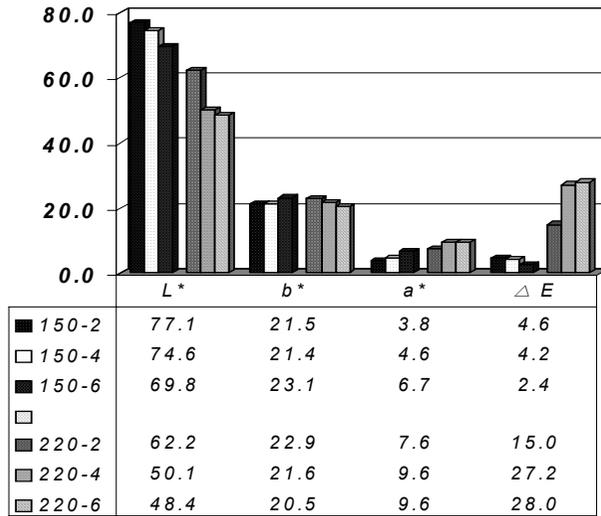


그림 11. 20mm 두께 열처리재의 색상

30mm 두께 시편의 표층색상을 비교하였다. a*와 b*는 별 차이를 나타내지 않았으나 L*와 ΔE는 처리온도, 처리시간에 따라 차이를 나타냈다. L*는 220°C가 현저하게 낮았으며 ΔE도 200°C만 분명한 차이를 나타냈다. 따라서 색상변화 처리는 220°C에서 실시하여야 할 것으로 생각된다.

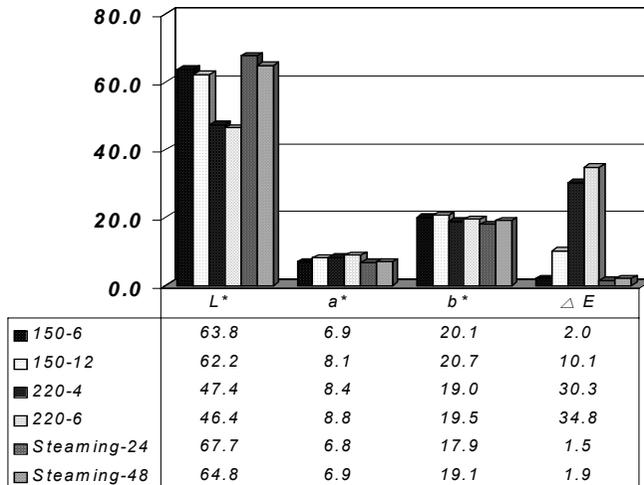


그림 12. 30mm 두께 열처리재의 색상

제4절 낙엽송 열기건조재의 수지삼출예방을 위한 처리기술

1. 서 론

국내에 많이 식재되어 있는 소나무, 낙엽송, 잣나무 등 침엽수는 가공성이 좋아 건축재와 가구용재 등으로 사용되고 있으나 수지가 많아 고온에서 충분히 건조시키지 않으면 가공 중 또는 구조물 설치 후에 수지가 용출되는 문제를 야기한다.

침엽수 수지의 주성분은 *oreoresin*으로 테르펜에 수지산이 녹아 있는 상태이며 소수성으로 에틸에테르, 헥산 등에 녹는다. 특히 강풍이나 가뭄에 노출된 침엽수는 수지량이 발달하는데, 어린 수목보다는 성숙목이, 수목의 상부보다는 하부에서 더 잘 발생한다고 알려져 있다 (Hillis, 1987; Temnerud et al., 1999). 한편 수지는 방부효과를 나타내기도 하는데 Scots pine 심재에서 수지 성분을 조사한 결과 수지산이 많은 것이 적은 것보다 방부효과가 좋은 것으로 나타났다 (Harju et al., 2002).

수지량은 목재 가치와 가공성을 떨어뜨리기 때문에 원목이 가지고 있는 수지량의 양을 측정하여 제재 전에 미리 선별할 수 있는 기술이 필요하다. Temnerud와 Oja(1998)는 Computerized Tomography (CT)와 화상분석법을 사용하여 선별기술을 개발하였으며, Ridoutt 등(1999)은 원목 마구리에 나타난 수지오점의 수와의 관계를 밝혔다.

수지제거를 위한 연구로 스웨덴 임업연구원에서는 수지가 많은 노르웨이 소나무(*Pinus resinosa*)를 공기를 배제한 250℃ 열처리 장치에서 30분 정도 가열하여 수지를 제거하는 기술을 개발하였으며 (Dr. Molen, 2001), 중국에서는 현재 대량으로 식재되어 있는 Masson's pine의 수지를 제거하기 위한 연구가 수행되고 있다 (Guoxing et. al., 2001).

초음파 전달속도는 목재의 밀도, 함수율 등 물성에 영향을 받는다고 알려졌다 (Sakai et al., 1990; Kang and Booker, 1999; Simpson, 1998). 수지함유량에 따라 목재 물성이 변하므로 초음파 신호를 측정함으로써 수지함유량을 예측할 수 있을 것으로 생각되는데 이에 대한 연구는 아직 발표된 바 없다. 초음파 전달속도는 측정이 간편하기 때문에 알콜-벤젠 추출법에 비해 시간을 많이 절약할 수 있다.

수지는 고온에서 휘발성분이 증발하고 나머지는 고형화되기 때문에 수지를

제거하기 위해서는 목재를 고온에서 열처리하는데 본 연구에서는 열처리와 병행하여 건조 전처리 방법으로 쓰이는 증기처리, 냉동처리 기술을 사용하여 수지제거 효과를 조사하였다. 또 판재의 수지함유량을 예측하는데 초음파 전달속도가 유용하게 쓰일 수 있는지를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료 및 시편제작

공시재료로 여주 임산물 유통센터에서 관행열기건조된 낙엽송 판재를 가져왔다. 판재 두께는 모두 22mm 였으나 폭과 길이는 다양하였다. 폭이 좁은 판재는 길이만 200mm로 잘랐으며, 폭이 넓은 판재는 폭 40mm, 길이 200mm로 잘라 모두 18개 시편을 준비하였다. 시편을 6개씩 무처리, 증기처리, 냉동처리의 3개 그룹을 나눈 다음 중량, 규격, 초음파 전달속도를 측정하였다.

나. 증기처리와 냉동처리

증기처리는 시편을 autoclave에 넣고 1기압 100℃상태에서 5시간 처리하였으며 냉동처리는 -35℃ 냉동고에서 24시간 처리하였다. 처리가 끝난 후 역시 중량, 규격, 초음파 전달속도를 측정하였다.

다. 열처리

증기처리와 냉동처리를 끝낸 후 그룹별로 시편을 4개와 2개로 나누어 각각 100℃와 200℃ 열처리를 실시하였다. 100℃열처리는 건조오븐에서 5시간, 200℃ 열처리는 furnace에서 1시간 실시하였다. 200℃에서 타는 것을 막기 위해 시편을 스테인레스 원통에 넣은 다음 그 위를 알루미늄 호일로 여러 겹 썼다. 열처리가 끝난 후 시편의 중량, 규격, 초음파 전달속도를 측정하였다.

라. 초음파 전달속도 측정

본 연구에 사용된 초음파 측정장비는 독일 Steinkemp BP5로 크게 초음파 발생 장치, 한 쌍의 압전 탐촉자 (piezoelectric transducer)와 동축 케이블로 구성되어 있다. 출력전압은 600V였으며 1Hz의 burst 신호를 발생시킨다. 직경 28 mm, 공진 주파수 50 kHz의 종파 탐촉자를 송신과 수신에 같은 것을 사용하였다. 시

편의 물성이 변하는 것을 방지하기 하기 couplant를 사용하지 않았다.

마. 수지함유량 측정

수지함유량 측정시편은 열처리가 끝난 시편 전체를 길이 방향으로 2 mm씩 잘라 만들었다. 이들 시편을 60℃오븐에서 전건 시켰다. 100℃에서 건조하지 않은 이유는 열처리 후에 남아 있는 수지가 증발하는 것을 방지하기 위해서였다. 전건무게를 측정한 후 1:2 벤젠-알콜 혼합 용액에 넣고 50℃에서 24시간 추출하였다. 수지추출이 끝난 시편은 다시 60℃ 오븐에서 전건시켜 전건 무게를 측정하였다. 수지함유량은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{수지함유량(\%)} = (\text{추출전 전건무게} - \text{추출후 전건무게}) / \text{추출후 전건무게} \times 100\% \dots \dots \dots [1]$$

3. 결과 및 고찰

가. 처리단계별 시편의 함수율

시편의 초기함수율은 13-16%으로 두 열처리온도 시편 간 초기함수율 차이는 없는 것으로 보인다. 증기처리에 의해 함수율이 약 8%정도 증가하여 22-24%를 나타냈다. 그러나 냉동처리에 의한 함수율 변화는 없는 것으로 보인다 (표 6).

표 6. The Moisture contents of specimens after presteaming, prefreezing and heat treatment.

Treatment	Temperature of heat treatment (°C)	Moisture content of specimen (%)		
		Initial	Before heat treatment	After heat treatment
Control	100	13.2	-	6.7
	200	13.8	-	6.1
Presteamng	100	13.3	22.4	8.1
	200	15.8	24.3	11.0
Prefreezing	100	13.2	13.8	5.9
	200	14.4	14.8	6.9

나. 초음파 전달속도

증기처리와 냉동처리에 의한 초음파 전달속도는 그림 13에 나타난 바와 같이

모두 증가하였으나 초기 값이 같지 않아 처리 간 직접 비교는 곤란하다. 그러나 증가비율을 보면 증기처리에 의해 초음파 전달속도가 2.5% 증가한데 비해 냉동 처리는 5.9% 증가하였다. 냉동처리가 더 많이 증가한 이유는 다음에도 설명되겠지만 목재 내 수지가 응고되었기 때문으로 여겨진다.

위 결과를 볼 때 처리에 의해 초음파 전달속도가 증가한 것은 사실이나 수지 함유량과 초음파 전달속도의 관계를 알기 전에는 수지가 제거되었기 때문에 초음파 전달속도가 증가하였다고 말할 수 없다. 따라서 이들의 관계도 본 연구에서 조사하였다.

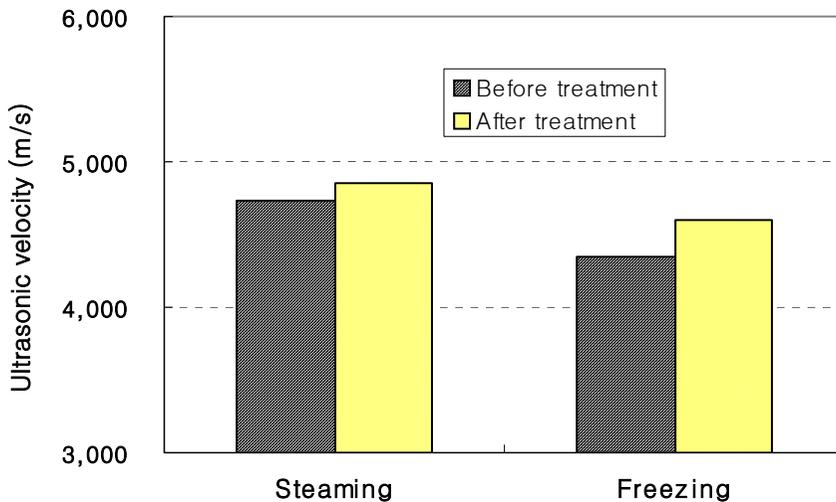


그림 13. Ultrasonic velocities of the larch specimens before and after steaming and freezing treatments

다. 열처리 온도에 따른 초음파 전달속도

100℃ 열처리 시편의 평균 초음파 전달속도는 200℃보다 높은 값을 나타냈는데 (그림 14), 이 두 열처리 시편들의 초기 값이 달라 직접적으로 비교하기는 힘들었다. 그러나 200℃ 열처리 시편은 비록 1시간 밖에 처리하지 않았더라도 표면이 탄화된 것으로 볼 때 밀도가 낮아졌을 가능성이 있다. 그에 따라 초음파 전달속도도 떨어진 것으로 생각할 수 있으나 열처리 후에 밀도를 측정하지 않아 이를 증명할 수 없었다.

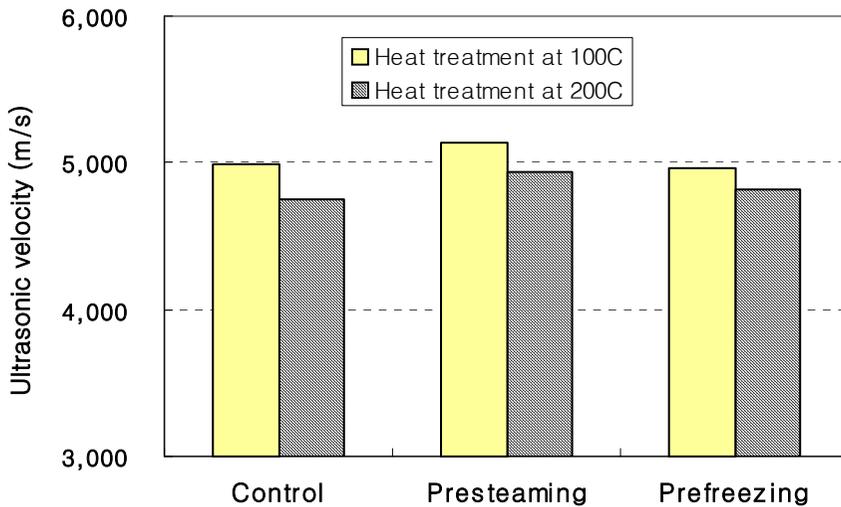


Fig. 14. Ultrasonic velocities of the larch specimens after heat treatments at 100 and 200°C

위에서 열처리 전 초음파 전달속도를 비교한 결과는 냉동처리 시편이 증기처리 시편보다 더 많이 증가하였으나 열처리 후에는 증기처리 시편이 더 많이 증가한 것으로 나타났다. 증기처리 100°C와 200°C 열처리 시편은 무처리에 비해 각각 3%와 4% 높은 초음파 전달속도 값을 나타냈다. 그러나 냉동처리는 오히려 무처리와 비슷한 값을 나타냈다. 목재 내 수지는 증기처리에 의해서 일정량 추출되나 냉동처리에 의해서는 추출되지 않고 고화 된다고 할 수 있다. 고화된 수지는 열처리에 의해 용해되어 처음 상태로 돌아갔기 때문에 무처리와 같은 초음파 전달속도를 나타낸다고 생각할 수 있다.

라. 열처리 시편의 수지함유량 측정

열처리가 끝난 시편들의 수지함유량은 그림 3과 같이 모든 100°C시편이 200°C시편보다 적었다. 동일한 열처리 온도 내에서 증기처리 시편의 수지함유량이 가장 적었으며 냉동처리와 무처리 시편 순이었다.

따라서 100°C에서 5시간 열처리한 것이 200°C에서 1시간 열처리한 것보다 수지제거에 효과가 있으며 증기처리가 냉동처리보다 좋은 효과를 나타내는 것을 알 수 있다.

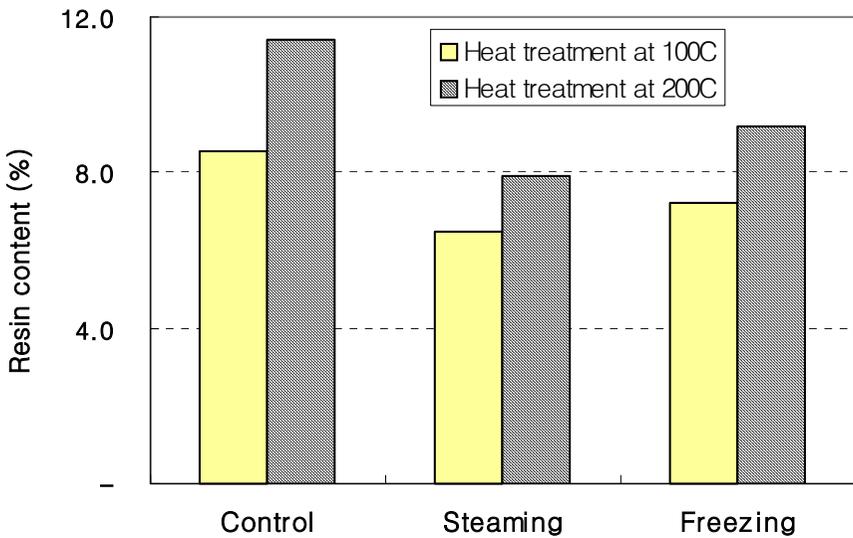


Fig. 15. Resin contents of the larch specimens after heat treatments at 100 and 200°C

마. 수지함유량과 초음파 전달속도

열처리가 끝난 시편의 수지함유량과 수지 추출을 위해 시편을 절단하기 전에 측정하였던 초음파 전달속도의 관계는 그림 16와 같다. 100°C 시편만 사용하였다. 200°C 시편은 밀도가 변하였으므로 100°C 시편과 같은 그래프에 비교할 수가 없었다. 무처리, 증기처리, 냉동처리 시편을 모두 포함하였으나 수지함유량이 2% 이하인 시편은 배제하였다.

그림 16의 직선회귀선이 보이는 바와 같이 수지함유량이 증가할수록 초음파 전달속도도 증가하였다. 열처리에 의해 수지의 휘발성 성분이 증발하고 고형분만 남아있기 때문에 수지함유량이 많을수록 초음파가 빠르게 전달된다고 볼 수 있다.

그러나 만일 수지가 고형화되지 않은 상태라면 초음파 전달속도에 어떤 영향을 미칠지는 알 수 없다. 이를 알기 위해서는 열처리 전 시편의 초음파 전달속도와 수지함유량을 알아야 하는데 초음파 전달속도는 이미 측정하였으나 시편을 파괴하지 않고는 수지함유량을 측정할 수 없어 수지함유량은 열처리 후에만 측정하였다.

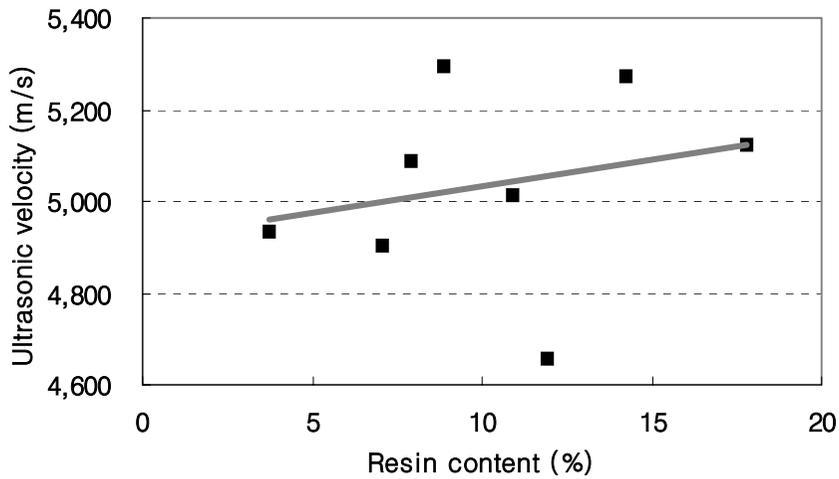


그림 16. Plot of ultrasonic velocity vs. resin content for the larch specimens heat-treated at 100°C

시편 간 수지함유량 비는 열처리 전과 열처리 후가 같다고 가정한다면 열처리 후 수지함유량을 열처리 전 수지함유량으로 대신으로 사용할 수 있다. 그림 17는 이들의 관계를 모든 100°C 시편을 사용하여 나타낸 것으로 오른편 상단의 특이한 값을 제외하면 부의 상관관계를 분명히 나타내고 있다. 즉 수지함유량이 증가할수록 초음파 전달속도가 낮아진다고 볼 수 있다. 다시 말해 수지가 유체로 목재 내에 존재하고 있을 때는 초음파 전달을 지연시킨다고 생각할 수 있다. 따라서 초음파 전달속도를 측정함으로써 수지함유량을 어느 정도 예측할 수 있을 것으로 생각되나 보다 나은 결론을 위해서는 추가로 정밀한 실험이 필요하다.

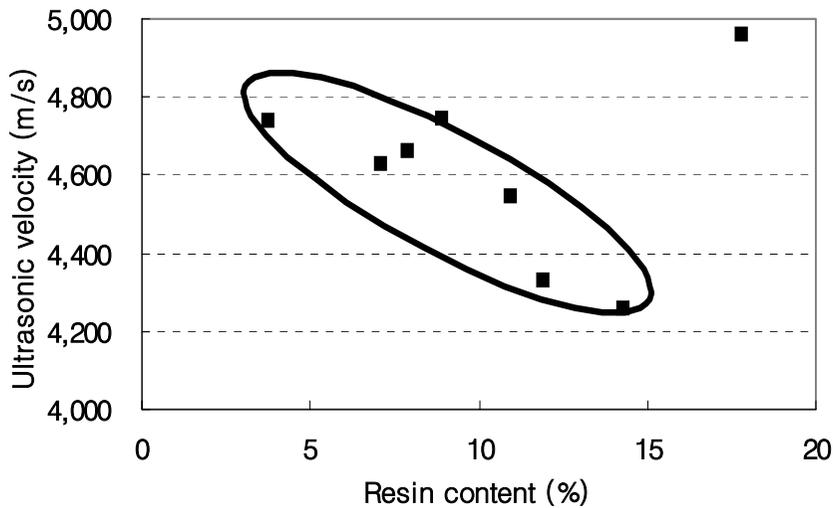


그림 17. Plot of ultrasonic velocity vs. resin content for the larch specimens before pretreatments

4. 결 론

관행열기건조된 낙엽송 판재에 남아있는 수지를 제거할 수 있는 효과적인 방법을 찾기 위해 열처리와 병행하여 증기처리 또는 냉동처리 기술을 적용하였다. 또 판재의 수지함유량을 예측하는데 초음파 전달속도가 유용하게 쓰일 수 있는지를 조사하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 관행열기건조된 낙엽송 판재의 수지제거에는 100℃와 200℃ 열처리 모두 효과가 있었으며 100℃ 5시간 열처리가 200℃ 1시간 열처리보다 더 효과가 있었다.
- (2) 열처리 전에 증기처리나 냉동처리를 실시하는 것이 무처리보다 높은 수지제거효과를 나타냈다. 두 방법 중 증기처리 효과가 더 컸다.
- (3) 수지함유량과 초음파 전달속도의 관계는 열처리 전후에 다르게 나타났다. 열처리 전 수지가 유체로 존재할 때는 부의 상관, 열처리에 의해 고화되었을 때는 정의 상관을 나타냈다.

제5절 열처리 및 증기처리 목재의 잔류수지율 및 재색변화

1. 서론

산림자원의 고갈로 점차 양질의 목재자원은 줄어들고 있으나 소비패턴은 여전히 고급화를 추구하고 있기 때문에 낮은 질의 목재를 고품질화하기 위한 방향으로 연구가 진행되고 있다. 근래 전 세계 목재가공분야는 침엽수재의 수지제거와 침·활엽수의 재색변화 연구에 많은 힘을 쏟고 있다. 특히 침엽수 생산이 대부분인 스칸디나비아 국가들에서 1998년 이후에 발표되는 연구의 대부분이 이와 관련된 것들이다.

스웨덴 임업연구원에서는 수지가 많은 노르웨이 소나무(*Pinus resinosa*)를 공기를 배제한 250℃ 열처리 장치에서 30분 정도 가열하여 수지를 제거하는 기술을 개발하였다 (Moren, 2001). 또 중국에서는 많이 식재되어 있는 Masson's pine의 수지를 제거하기 위한 연구가 최근 수행되고 있다 (Guoxing et al., 2001).

건조 전·후에 목재에 과열증기를 쏘여 재색을 변화시키고 안정화시키는 기술은 상당히 많은 진전을 보았다. 유럽에서 많이 생산되는 너도밤나무는 벌채직후 과열증기 처리하여 변색을 예방하고 균일한 재색을 갖도록 한다는 것은 이미 많이 알려졌다 (Ledig and Seyfarth, 2001).

목재를 열가수분해하면 추출물이 제거되고, 헤미셀룰로오스가 분해되고 셀룰로오스와 리그닌의 변형이 일어나는데, 열처리에 의한 목재재색변화는 헤미셀룰로오스의 감소에 의한 것으로 추정되므로 열처리온도는 헤미셀룰로오스 분해온도인 150-230℃이 적당한 것으로 여겨진다 (Garrote et al., 1999). 열처리에 의한 목재의 결정화도는 전건상태보다 높은 함수율 상태에서 거의 두 배나 증가하였다는 보고가 있다 (Bhuiyan et al., 2000).

Tarvainen 등(2001)은 노르웨이 스푸루스(*Picea abies* Karst.)와 Scots pine(*Pinus sylvestris* L.)을 여러 온도에서 건조하여 온도와 재색이 밀접한 관련 있음과 변재의 재색변화는 70℃이상에서 현저하고 겨울에 벌채한 목재의 재색변화는 다른 계절에 비해 심함을 밝혔다. 자작나무(*Betula pendula*)와 Scots pine (*Pinus sylestris*)의 열분해는 처리온도와 처리시간에 모두 영향받았으며

전자가 후자보다 중량감소가 더 많이 일어났다고 발표하였다 (Zaman et al., 2000). 또 건조 방식에 따라 차이를 나타내는데, 관행열기건조에 비해 진공건조한 자작나무의 표면은 짙은 색을 띄어 내층과 표층의 재색차이가 적었다 (Mottonen and Luostarinen, 2001).

국내에서는 은사시나무를 여러 가지 건조방법으로 건조하여 고온건조한 목재가 일반 열기건조한 목재보다 짙은 색을 나타냈으며 진공-마이크로파 건조한 목재의 재색이 가장 밝았다는 결과를 발표하였다 (강, 2003). 또 무수초산과 포름알데하이드를 액상 또는 기상으로 처리한 목재는 태양광선과 촉진열화 상태에서 무처리에 비해 재색변화가 적었다는 연구결과가 있다 (강 등, 2003).

본 연구에서는 국내 소비량이 많은 라디에타 파인 유령목에서 수지를 제거하고 재색을 균일하게 변화시킬 수 있는 기술을 개발하기 위해 여러 조건의 열처리와 증기처리를 실시하여 잔류수지율과 재색을 측정하였으며 고온건조 결과와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

대전근처 제재소에서 구입한 라디에타 소나무(*Pinus radiata*) 판목 판재를 사용하였다. 수로부터 연륜이 20개 이하인 판재로 유령목이 대부분이라고 할 수 있다. 판재는 두께 20mm와 30mm의 두 가지를 사용하였다. 두께 20mm 판재로 수지제거실험과 재색변화실험을 먼저 실시하였으며, 두께 30mm 판재는 수지제거의 추가실험에 사용하였다. 두께 20mm 판재는 폭 100mm, 길이 500mm로, 두께 30mm 판재는 폭 150mm, 길이 600mm로 절단하여 공시판재를 만들었다. 각 처리온도 및 시간 별로 각각 5개의 공시판재를 사용하였다.

나. 실험장치

1) 증기처리장치

증기처리를 위해 최대온도 130℃, 최고풍속 5m/s의 고온건조기를 사용하였다. 고온건조기의 잔적 공간은 600×700×800mm³이다.

2) 열처리장치

본 실험을 위해 새로 제작한 열처리장치의 chamber 규격은 1360×550×550 mm³이며 최고 도달 온도는 350℃, 내부최대압력은 3기압이다. 가열된 내부공기를 빼내는 밸브를 상부에 설치하였으며, 일정한 압력 하에서 응축수가 자동으로 배수되도록 Ball-top type 밸브를 하부에 설치하였다. 장치 내부와 목재의 온도를 측정할 수 있도록 열전쌍 등 온도센서를 연결할 수 있는 단자를 문에 설치하였다. 과열증기발생을 위해 보일러를 부착하였다. 과열증기는 증기처리 뿐만 아니라 열처리 초기 chamber 내 공기를 밖으로 밀어내기 위해 사용된다. 공기가 있으면 목재는 고온에서 쉽게 탄화되기 때문이다.

3) 색차계

재색변화를 측정하기 위해 사용한 색차계는 일본 Color Techno System사의 휴대용 분광 색차계 JX777이다. 분광판독속도 1/1000초, ΔE의 표준편차 0.05이내의 정밀도를 가진다. 한 시편에서 3곳을 측정하여 그 평균치를 사용하였다.

다. 실험방법

1) 공시판재의 처리

가) 증기처리

증기처리조건은 온도 100℃, 상대습도 100%였으며 내부의 균일한 환경을 위해 2m/s이하로 내부송풍을 실시하였다. 실내에서 1개월 정도 천연건조된 공시판재를 사용하여 6, 24, 48의 세 가지 시간조건을 적용하였다.

나) 열처리

모든 열처리 공시판재는 60℃오븐에서 일주일간 건조시켰다. 열처리에 의해 제거되는 수지량을 측정하려면 먼저 수분만을 제거하여야하는데 온도가 높으면 수지도 증발하기 때문에 가능한 한 낮은 온도를 적용하였다.

두께 20mm 공시판재 실험에는 150℃와 220℃의 두 가지 온도와 2, 4, 6 시간의 처리시간을 적용하였으며, 두께 30mm 공시판재를 사용한 추가실험에는 150℃일 때 6, 12 시간, 220℃일 때 4, 6시간을 적용하였다.

다) 고온건조

증기처리에 사용하였던 고온건조기에서 건구온도 120℃, 습구온도 70℃로 48시간 건조하였다. 공시판재는 실내에서 천연건조되어 건조초기 약 30%의 함수율을 나타내었다. 본 실험에는 두께 30mm 공시판재만 사용하였다.

2) 잔류수지율 및 재색의 측정

가) 처리재의 잔류수지율

증기처리, 열처리, 고온건조된 공시판재는 60℃오븐에서 향량에 도달할 때까지 건조시킨 후 한쪽 마구리에서 섬유방향으로 50mm를 잘라 내고, 20mm 수지시편을 그림 18과 같이 잘라내었다. 수지추출이 쉽도록 20mm 수지시편의 폭을 5mm 씩 잘라 무게를 측정할 알콜-벤젠 1:2용액이 담긴 12리터 둥근플라스크에 넣고 heating mantle에서 가열하였다.

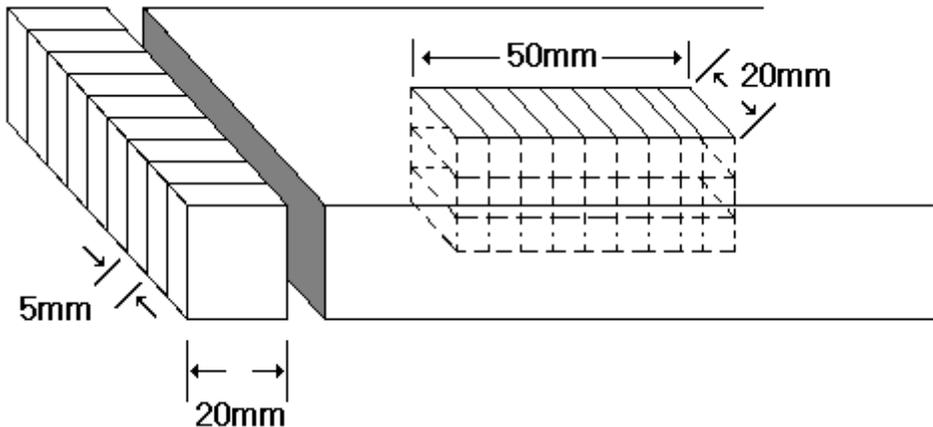


그림 18. A schematic diagram of specimen preparation for extracting residual resin in a radiata pine board

용액의 비점(약 50℃)에서 24시간 추출한 후 새 용액으로 바꾸고 24시간 더 추출하였다. 추출 후에 모든 5mm 수지시편을 100±3℃ 오븐에서 건조시켜 전건무게를 측정하였다. 잔류수지율은 다음과 같이 계산하였다.

$$R = \frac{Wg - Wd}{Wd} \times 100\% \dots \dots \dots [2]$$

R : 잔류수지율(%)

Wg : 알콜-벤젠 추출 전 시편의 무게 (g)

Wd : 알콜-벤젠 추출 후 시편의 전건무게 (g)

나) 깊이에 따른 잔류수지율 비교

열처리 후 두께별 잔류수지율을 알기 위해 150℃로 열처리된 20mm 두께 공시판재에서 그림 1과 같이 50mm×20mm 크기의 시편을 떼어내어 두께 방향으로 3등분하였다. 앞의 잔류수지율 측정과 마찬가지로 폭을 5mm 씩 잘라 무게를 잰 다음 동일한 방법으로 추출하고 전건하였다.

다) 처리재의 재색

재색은 증기처리와 열처리 전후에 공시판재에서 잔류수지율 측정 시편을 떼어낸 나머지 부분에서 측정하였다. 표면을 수압대패로 약 2mm 정도 깎아 표면에 묻은 오염을 제거한 다음 색차계로 측정하였다. 재색은 백색도(L^*), 적색도(a^*), 황색도(b^*)와 색차(ΔE)로 표기하였다. 고온건조 공시판재는 재색을 측정하지 않았다. 고온건조는 열처리나 증기처리와 달리 함수율 변화가 크므로 건조 전후의 재색 비교는 아무 의미가 없다.

라) 깊이에 따른 재색 비교

열처리에 의한 재색변화가 단지 표면에 국한된 것인지를 알기 위해 재면을 수압대패로 2mm 씩 깎으면서 색차계로 두 지점의 재색을 측정·비교하였다. 본 실험에는 220℃에서 6시간 열처리된 20mm 두께 공시판재가 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 처리재의 평균 잔류수지량

두께 20mm와 30mm 공시판재의 열처리 또는 증기처리 후 잔류수지율을 그림 2에 나타내었다. 특별히 낮은 값을 나타내는 두께 30mm 48시간 증기처리재 (ST-48)를 제외하고 두께 30mm 처리재의 잔류수지율이 두께 20mm보다 모두 높았다. 이는 두께가 두꺼울수록 수지제거가 어렵다는 것을 의미한다.

두께 30mm의 150℃ 열처리재와 증기처리재는 처리시간이 길수록 잔류수지율이 분명히 감소하였으나 220℃ 열처리재는 반대로 증가하였다. 감소하는 것이 정

상이나 220℃ 열처리재의 경우는 공시판재의 초기 수지함유율의 차이가 심하였기 때문에 밝혀졌다. 6시간 열처리재(220-6)의 평균 초기 수지함유율은 13.9%로 4시간 열처리재의 5.8%보다 매우 높았다. 열처리시간이 6시간 밖에 되지 않았기 때문에 잔류수지율이 초기 수지함유율의 영향을 받은 것으로 볼 수 있다.

만일 열처리 시간이 충분히 길었다면 초기 수지함유율에 의한 차이는 무시할 수 있었을 것으로 예상할 수 있다. 그 예가 두께 30mm의 증기처리재(ST-48)와 고온건조재(HT drying)이다. 전자는 초기 수지함유율에 상관없이 24시간 증기처리재(ST-24)에 비해 잔류수지율이 매우 낮았으며, 후자도 120℃에서 건조하였음에도 불구하고 150℃ 열처리재(150-12)보다 낮았다. 고온건조는 48시간 실시하였다. 이 결과를 종합하면 두께 30mm의 경우 잔류수지율은 처리방법과 온도에도 영향을 받지만 무엇보다 처리시간의 영향이 크다고 할 수 있다. 따라서 본 실험조건만 볼 때 증기처리 48시간이 수지제거 효과가 가장 좋았다고 할 수 있다.

그림 19에서 두께 20mm의 결과를 보면 두께 30mm와는 달리 동일 처리온도에서 처리시간이 길수록 잔류수지율이 증가하였다. 초기 수지함유율의 처리재간 편차가 1%를 넘지 않았으므로 초기 수지함유율 차이에 기인한다고 할 수 없다. 그러나 두께 20mm 공시판재의 평균 잔류수지율은 최하 4.5%, 최고 7.0%로 실험 오차 범위이므로 처리방법 또는 처리온도 간 차이를 나타낸다고 할 수 없다. 즉 두께 20mm 이하의 얇은 판재는 150℃ 이상에서 2시간 또는 증기처리 6시간이면 수지제거효과를 충분히 나타낸다고 볼 수 있다.

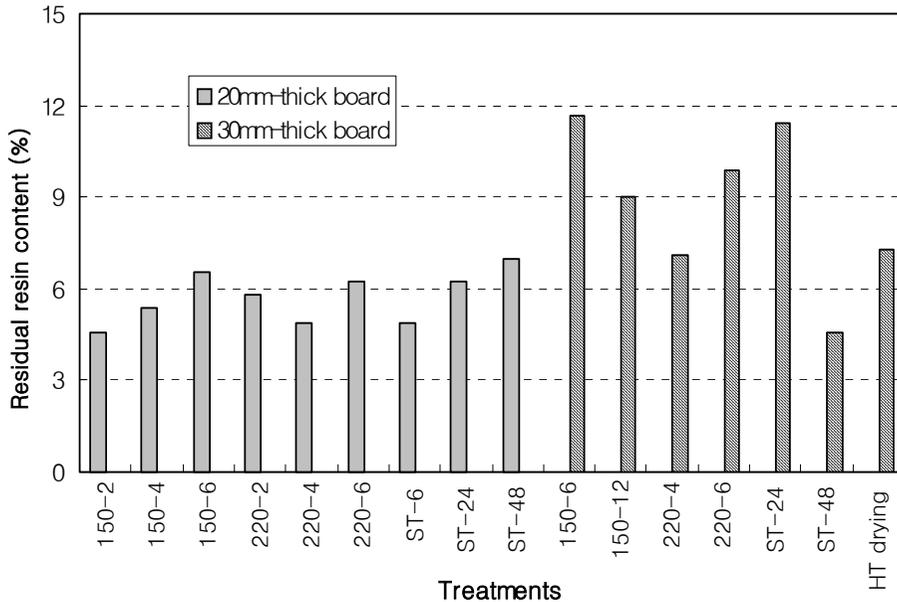


그림 19. Residual resin contents of 20mm and 30mm-thick radiate pine boards steamed, dried at high temperature or heat-treated at various temperature and time

나. 깊이에 따른 잔류수지량 비교

두께 20mm 열처리재의 깊이에 따른 잔류수지율은 그림 20과 같다. 앞의 3.1항에 언급한 바와 같이 두께 20mm 공시판재의 잔류수지율이 처리시간과 함께 증가하는 현상은 설명하기 곤란하나 본 실험에서도 같은 현상을 나타냈다. 본 실험에 사용된 시편에서도 6시간 열처리재의 잔류수지율이 2시간과 4시간 열처리재보다 높았다.

이러한 평균 잔류수지율 차이를 무시하고 각 처리재의 양 표층(Top과 Bottom)과 내층(Core)의 잔류수지율을 비교하였다. 모든 처리재는 양 표층의 잔류수지율이 비슷하여 대칭을 나타냈다. 2시간 열처리 후에는 표층과 내층의 차이가 거의 없다가 4시간 때는 그 차이가 심하게 나타났으며 처리시간이 길어져 6시간 후에는 그 차이가 줄어들었다. 즉 수지의 증발은 표층에서 일어나며 수분과 마찬가지로 수지도 건조경과에 따라 경사를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 따라서 수지제거를 위한 열처리나 증기처리는 이러한 수지경사를

낮출 수 있도록 충분히 실시하여야 할 것으로 판단된다.

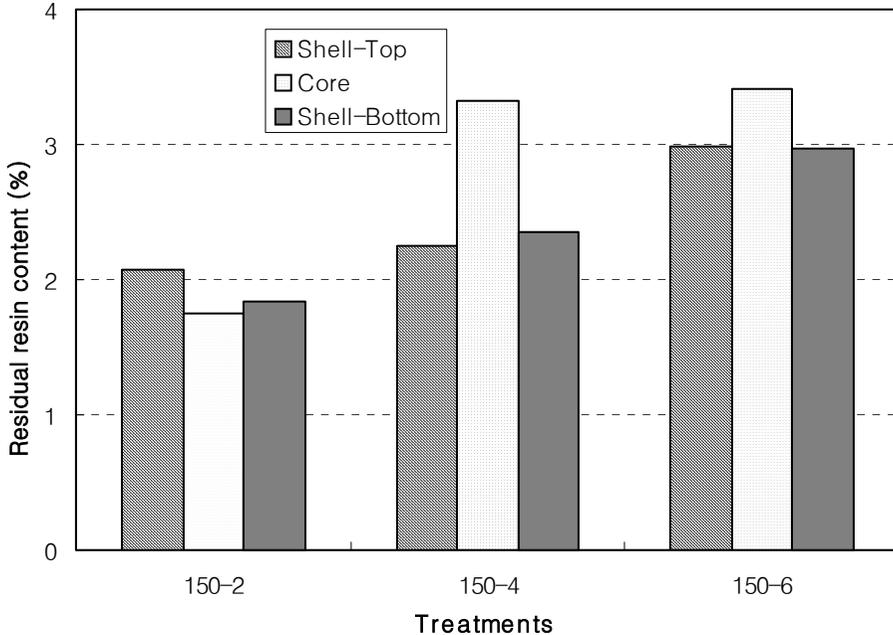


그림 20. Gradient of residual resin content in radiata pine boards heat-treated at 150°C as a function of time

다. 처리재의 재색

1) 백색도 (L*)

두께 20mm 처리재의 백색도는 증기처리가 가장 높았으며 처리온도가 증가할수록, 처리시간이 길어질수록 감소하였다(그림 21). 두께 30mm 처리재도 같은 경향을 보였다.

백색도는 처리시간보다 처리온도에 더 영향을 받는다고 할 수 있다. 증기처리 온도는 95-98°C 이므로 150°C와 220°C 열처리에 비해 높은 백색도를 나타냈지만 증기처리시간 24시간과 48시간 간에는 차이가 크지 않았다. 150°C와 220°C 열처리재에서도 처리시간 간 차이는 크지 않았다.

이를 반대로 말하면 재색을 변화시키려면 처리시간을 늘리기보다 처리온도를

높여야한다고 할 수 있다. 그림 21의 두께 20mm의 220℃ 열처리재는 4시간일 때 2시간보다 백색도가 급격히 떨어지지만 6시간일 때는 4시간과 별 차이가 없다. 이 같은 사실은 두께 30mm에서도 확인되었다. 따라서 라디에타 파인은 220℃에서 4시간이상 열처리하더라도 백색도는 더 이상 변화하지 않는다고 할 수 있다.

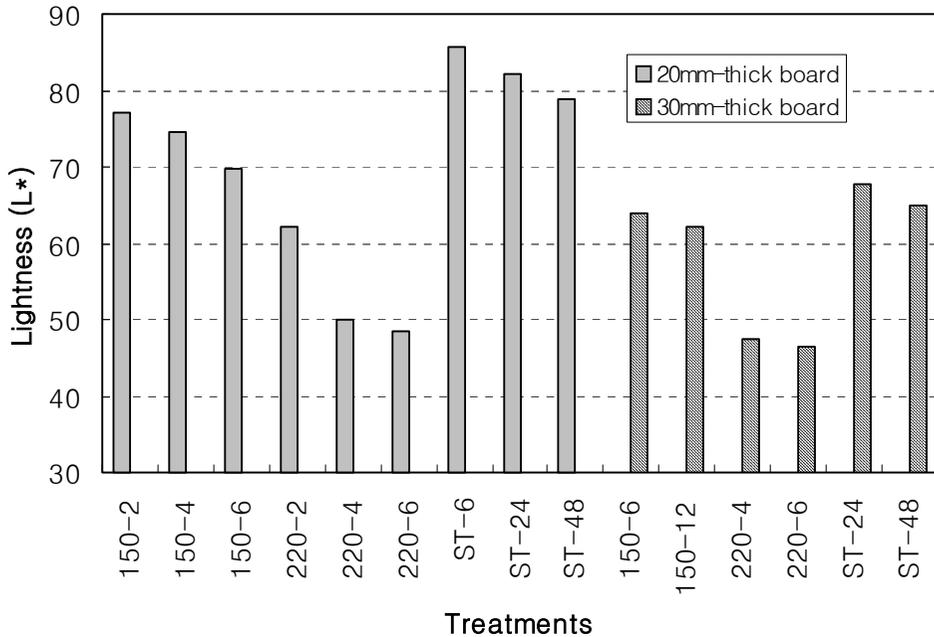


그림 21. Lightness(L*) of 20mm and 30mm-thick radiate pine boards steamed or heat-treated at various temperature and time

2) 적색도(a*)와 황색도(b*)

두께 20mm와 30mm 처리재의 적색도와 황색도를 X-Y좌표에 표기하였다 (그림 22). 화살표는 처리시간의 증가방향을 나타내는 것으로 모든 처리재의 적색도는 처리시간에 따라 증가하였다. 황색도도 같은 경향을 보였으나 두께 20mm의 220℃ 열처리재는 오히려 감소하였다. 이 예외의 원인은 알 수 없으나 220℃ 열처리재의 재색은 두께에 상관없이 처리시간이 길어짐에 따라 점차 그래프의 오른쪽 중간으로 모인다. 또 두께 30mm의 150℃ 12시간 열처리재의 재색도 이곳에 근접해 있다. 이것은 열처리시간이 길어질수록 재색이

균일해진다는 것을 의미한다. 또 두께 20mm의 220℃ 열처리재를 보면 적색도는 어느 정도 시간이 경과하면 더 이상 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다.

비교를 위해 저자가 가지고 있는 느티나무(*Zelkova serrata*), 오리나무(*Alnus japonica*), 자작나무(*Betula platyphylla*) 재감의 재색을 색차계로 측정하여 같은 그래프에 표기하였다. 두께 20mm의 150℃ 6시간과 220℃ 2시간 처리재가 이 세 수종과 비슷한 적색도(a*)와 황색도(b*)를 나타내고 있다 (그림 22).

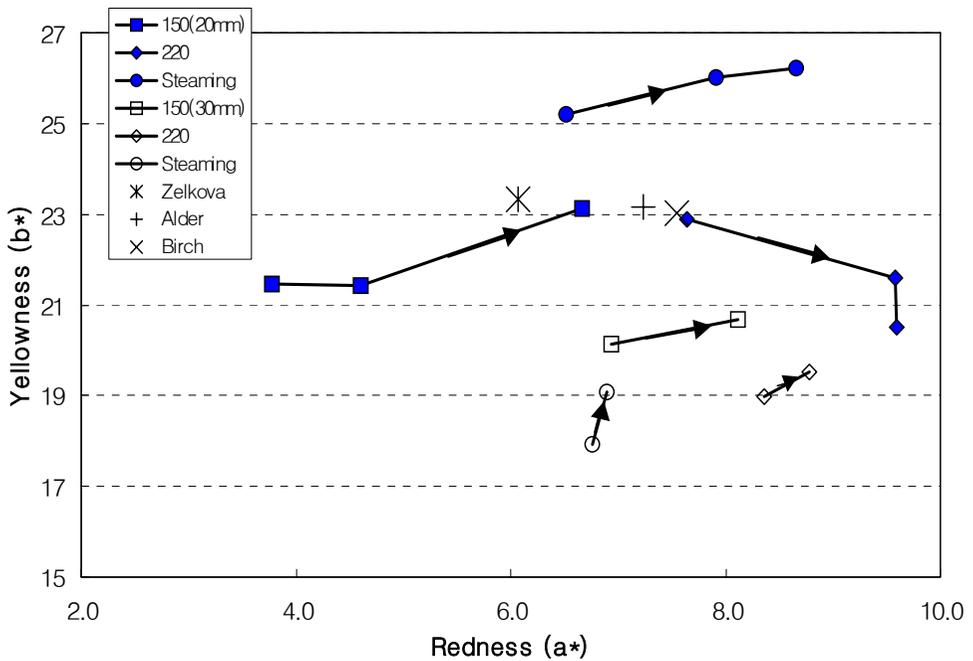


그림 22. Color changes of radiata pine boards steamed or heat-treated at various temperature as a function of time as compared with three hardwoods. Arrows indicate the direction of increasing treatment times

3) 색차 (ΔE)

열처리전후의 재색을 비교한 색차 결과는 그림 23과 같다. 증기처리재는 생재상태에서 처리하였기 때문에 증기처리 전후에 큰 함수율 차이를 나타낸다. 함수율에 의해 재색이 변하기 때문에 처리전후의 색차를 비교한다는 것이 무의미하여 제외하였다.

두께 20mm와 30mm 모두 220℃ 열처리는 4시간과 6시간 모두 분명한 색차를 나타냈으나 150℃ 열처리는 12시간에서만 약한 색차를 나타냈다. 따라서

150℃ 열처리는 색상변화를 기대하기 어려울 것으로 생각된다. 한편 220℃ 열처리에서는 6시간이 4시간보다 색차가 크나 차이가 심하지 않았다.

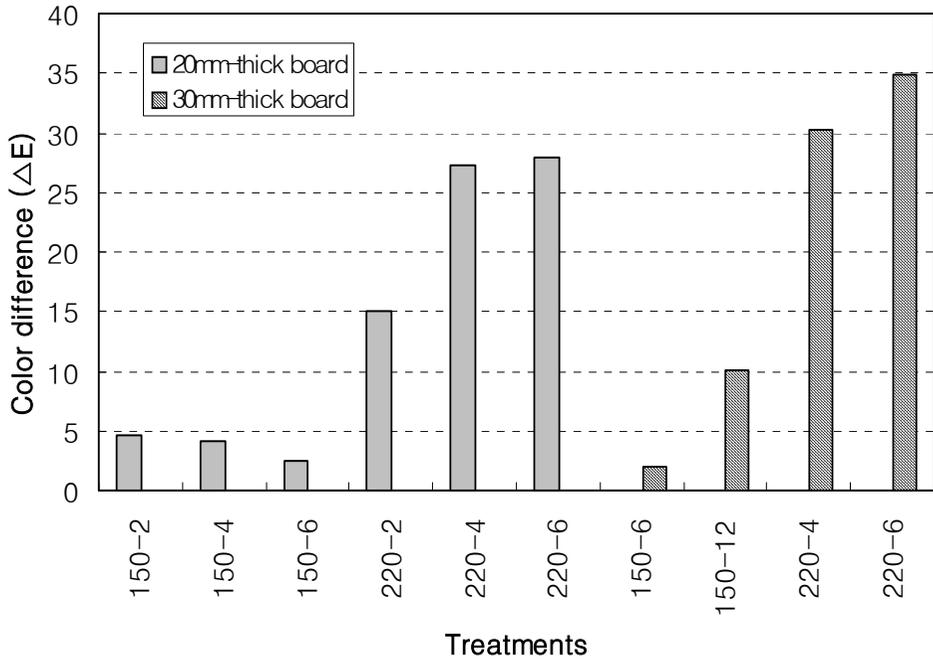


그림 23. Color differences of 20mm and 30mm-thick radiate pine boards between before and after heat treatments at various temperature and time

4) 깊이에 따른 재색 비교

내층 재색은 표층과 약간 차이가 있었으며 위치에 따라서 차이를 나타내지만 한 지점의 내층은 거의 비슷한 색차를 나타냈다 (그림 23). 색차 값이 9보다 작을 때는 동일한 색상이라고 볼 수 있으므로 표층과 내층의 재색차이는 없다고 할 수 있다. 따라서 열처리를 통해 표층뿐만 아니라 내층까지도 표층과 동일한 색상으로 변화시킬 수 있음이 증명되었다.

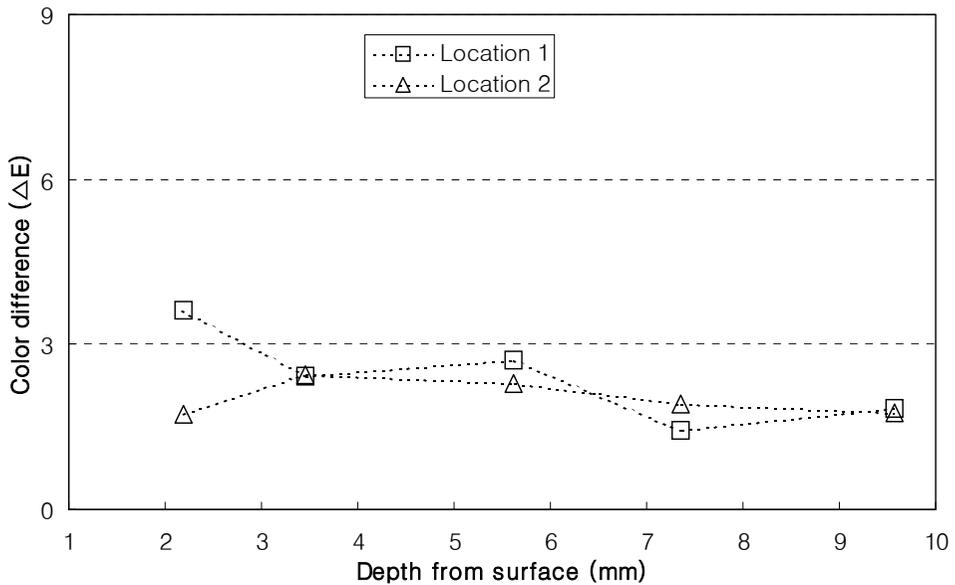


그림 24. Color differences between core and surface of a radiata pine board heat-treated at 220°C for 6 hours indicating color homogenization at various depths

4. 결 론

두께 20mm와 30mm 라디에타 파인 유령목을 이용하여 수지제거와 재색변화 기술을 개발하고자 하였다. 열처리와 증기처리 방법의 적정 조건을 찾기 위해 수행한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 두께 30mm 처리재의 잔류수지율이 두께 20mm보다 대부분 높았다. 이는 두께가 두꺼울수록 수지제거가 어렵다는 것을 의미한다.
- (2) 두께 20mm 이하의 얇은 판재를 150°C 이상에서 2시간 열처리 하거나 6시간 증기처리하여 좋은 수지제거효과를 얻었다.
- (3) 두께 30mm의 수지제거는 처리방법과 온도에도 영향을 받지만 무엇보다 처리시간의 영향이 크다고 할 수 있다. 본 실험조건 중에서 증기처리 48시간이 가장 좋았다.
- (4) 판재 두께에 상관없이 백색도는 증기처리가 가장 높았으며 처리온도가 증가할수록, 처리시간이 길어질수록 감소하였는데 후자보다 전자에 더 영향을

받는다고 할 수 있다.

- (5) 온도 220℃에서 4시간이상 열처리하더라도 백색도는 더 이상 변화하지 않았다.
- (6) 모든 처리재의 적색도는 처리시간에 따라 증가하였으며 황색도도 두께 20mm의 220℃ 열처리재를 제외하고 같은 경향을 보였다.
- (7) 두께에 상관없이 220℃ 열처리재는 4시간과 6시간 모두 분명한 색차를 나타냈으나 150℃ 열처리재는 12시간에서만 약한 색차를 나타냈다. 따라서 150℃ 열처리로는 색상변화를 기대하기 어려울 것으로 생각된다.
- (8) 열처리를 통해 표층뿐만 아니라 내층까지도 표층과 동일한 색상으로 변화시킬 수 있음이 증명되었다.

제6절 건조방법이 잣나무 변재 수지제거에 미치는 효과

1. 서 론

목재의 투과율은 건조 속도뿐만 아니라 약제주입 속도를 결정하는 요인이다. 침엽수에서 벽공과 수지구는 수분이동의 중요한 통로이다. 건조가 진행되면 벽공 주위에 추출물이 쌓이거나 벽공구가 폐쇄되어 수분이동이 방해받는다. 수지구 내 수지가 밖으로 이동하면 통로가 열리나 반대로 수지구 내에서 경화하면 통로가 막힌다. 자연 상태 수지는 유동성 물질로 가열 조건에 따라 점성 등 물성이 변하므로 여러 가지 건조 조건에 따라 다른 투과율을 나타낼 것으로 기대할 수 있다.

사용된 수종은 다르지만 본 연구와 같은 방법으로 수행한 연구(허와 강, 1997)에서 Western hemlock 심재의 섬유방향 비투과율은 최대 0.011 darcy, 최소 0.003 darcy, Douglas-fir 심재는 최대 0.128 darcy, 최소 0.010darcy로 측정되었다. 한편 Erickson과 Crawford(1959)는 Douglas-fir와 Western hemlock 변재를 건조하였더니 투과율이 1/10 내지 3/10으로 줄었다고 보고하였다.

Booker와 Evans(1994)는 라디에타 파인(*Pinus radiata*)의 방사방향 투과율은 강한 조건에서 건조할수록 높아졌다고 발표하고 주통로인 수 지구에 있는 수지의 이동과 변형 때문으로 해석하였다. Matsumura 등(1998)은 목재에 증기전처리하면 폐쇄된 벽공이 열리거나 수 지구 내 수지가 재배치되어 투과율이 개선된다고 설명하였다.

잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb.et Zucc.)는 주요 조림수종으로 해방이후 적극적으로 조림한 덕분에 최근에 많은 용재가 생산되고 있다. 그러나 잣나무는 수지를 많이 함유하고 있어 건조 후에 약제주입이 용이하지 않다. 수지를 제거하여 투과율을 높일 수 있는 건조방법을 찾는 것이 필요하다.

잣나무 수지는 정유성분인 turpentine과 고형성분인 rosin으로 되어 있다. 전자는 윤활유, 고급도료, 향료의 재료, 약제 등, 후자는 제지 사이징제, 도료, 인쇄 잉크 등에 사용되므로 잣나무 수지의 화학적 분석에 관한 연구(강과 황, 1976; Han과 황, 1988; 송과 김, 1994)는 많으나 잣나무 수지와 수분이동의 효과에 대한 연구는 거의 없었다.

액체투과율 측정에는 Darcy의 법칙이 많이 이용된다. 이 법칙은 계산이

비교적 간단하나 목재에 적용하려면 여러 가지 제한이 따른다 (Siau, 1984). Darcy 법칙을 만족하려면 유동속도는 시간에 따라 일정하고, 압력에 비례하고, 유동방향에 무관하여야 한다. 본 연구에서는 잣나무 건조목을 다루므로 대부분의 벽공은 폐쇄되거나 추출물에 의해 막혀 있을 것이므로 수지구로만 수분이 이동한다고 가정하면 Darcy 법칙을 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 생각된다. 섬유방향 투과율을 측정하는 것이 벽공의 효과를 무시할 수 있고 수지구를 통한 수분이동효과를 극대화 할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 증기처리와 4가지 건조방법을 적용한 잣나무 변재의 섬유방향 투과율을 비교하여 투과율을 높일 수 있는 적절한 처리방법을 찾고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

경기도 가평의 한 제재소에서 벌채한지 얼마 되지 않은 직경 400-450mm의 잣나무 원목을 구입하여 수피를 제거하지 않고 두께 30mm로 판목제재하였다. 실험장소로 운반하여 실험용 건조장치에 맞게 길이 800mm로 절단하였다. 모든 공시판재는 수피가 붙어 있는 상태로 건조하거나 증기처리 하였으며 이후에 상온에서 2개월 이상 방치하여 평형상태에 도달하도록 하였다.

나. 처리 장치와 방법

1) 증기처리(ST: Steam Treatment)

증습장치가 부착된 열처리장치에서 실시하였다. 내부 규격은 550(W)×550(H)×1,360(L)m³이며 온도는 350℃, 내부 압력은 3기압까지 올릴 수 있도록 설계되었다. 내부 압력이 설정 한도를 넘으면 자동으로 열리는 압력조절밸브가 상부에 설치되어 있다. 내부에 송풍기는 설치되지 않았다.

증기에 골고루 노출되도록 공시판재사이에 잔목을 넣고 쌓은 후 문을 닫고 내부온도를 100℃에 맞추었다. 동시에 증습장치를 열어 계속적으로 분무되도록 하였다. 압력조절밸브를 0.3기압에 맞춰 내부압력이 그 이상이 되지 않도록 하였다. 증습장치는 9시간 가동 후에는 자동으로 정지하도록 만들어져 있어 매일 9시간씩 4일간 총 36시간 증기처리하였다.

2) 천연건조(AD: Air Drying)

공시판재 잔적을 쌓아 실내에서 3개월간 방치하였다.

3) 관행열기건조(KD: Conventional kiln Drying)

최대온도 130℃, 최고풍속 5m/s의 고온건조기를 사용하였다. 잔적공간은 700(W)×600(H)×800(L)mm³이다. 두 단계 건조스케줄을 사용하였다. 건구온도 65.5℃, 습구온도 54.5℃에서 91시간 건조한 후에 습구온도는 그대로 두고 건구온도를 82.0℃로 높여 97시간 실시하였다. 건조 중 재간풍속은 4m/s였다.

4) 고온건조 (HD: High temperature Drying)

관행열기건조와 같은 고온건조기를 사용하였다. 건구온도 120℃, 습구온도 70℃의 한 조건에서 60시간 실시하였다.

5) 마이크로파-진공건조 (MW: Microwave-vacuum drying)

실험실용 마이크로파-진공 건조기(강, 2001)를 사용하였다. 내부 규격은 580(W)×580(H)×1,360(L)mm³이며 cavity 상부에 1.5kW, 2450MHz 마그네트론 3개가 설치되어 있다. 잔적 하부에 100kg_f load cell을 설치하여 건조 중 잔적 무게 변화를 측정하였으며 공시판재에 6개의 T-type 열전쌍을 설치하여 목재온도를 감지하였다. 내부 압력은 진공압력 400mmHg와 600mmHg 사이를 유지하였다.

공시판재는 잔목없이 쌓았으며 목재온도가 100℃를 넘지 않도록 마이크로파 조사시간을 자동 조절하였다. 건조 중 목재의 평균 온도는 97℃이었으며 총 건조시간은 268시간이었다.

다. 비투과율 측정

1) 시편 제작

상온에서 2개월 이상 방치되었던 공시판재에서 변재 만 떼어 길이 70mm로 절단하였다. 마이크로톰과 고무망치를 사용하여 70mm 시편을 결을 따라 가로와 세로가 각각 6mm 되도록 쪼개었다. 각 시편은 조재와 만재를 하나씩 포함하였다. 각 처리별로 10개씩 모두 50개 시편을 만들었다.

2) 투과율 측정

섬유방향 투과율 측정 장치는 아래 모식도(그림 25)와 같이 설치하였다. 시편 홀더, 저울, reservoir, water trap, 진공 펌프로 구성되어 있다. 시편 홀더는 시편 직경보다 약간 작은 고무호스를 사용하여 시편과 밀착되도록 하였으며 그 위를 조임쇠로 단단히 조였다. water trap에는 silica gel을 채워 수증기가 진공펌프에 들어가는 것을 막았다. 진공펌프는 로터리 식으로 배기량은 분당 180 리터였다.

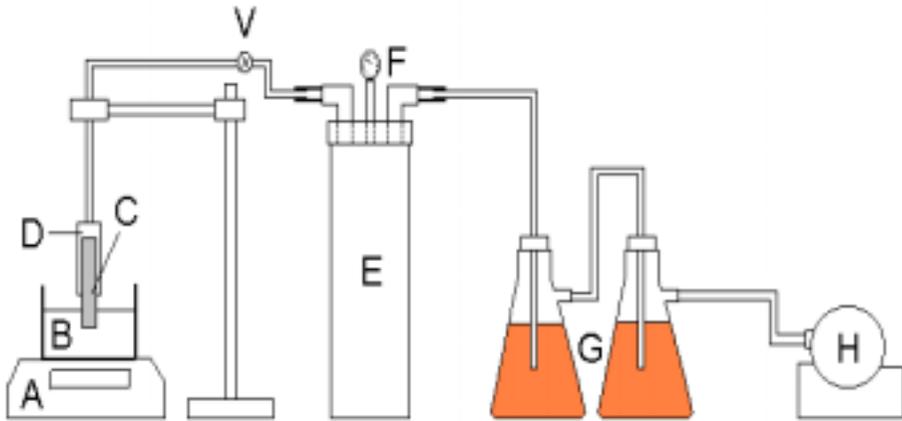


그림 25. Apparatus set-up for measuring longitudinal liquid permeability of a specimen: A, a digital balance; B, distilled water; C, a specimen; D, a specimen holder; E, a reservoir; F, a Bourdon vacuum gauge; G, silica gel; H, a vacuum pump; V, a valve.

투과율 측정 순서는 다음과 같다. 투과율 시편을 그림 1과 같이 설치하고 밸브(V)를 잠근다. 진공펌프를 작동시켜 reservoir의 압력이 진공에 도달할 때까지 기다린다. 밸브(V)를 열고 디지털 저울(A)의 눈금을 1, 5, 10, 20분마다 읽는다. 이 같은 방법으로 유동속도 Q 를 구하여 아래 식[3]에 대입하여 투과율 k 를 얻는다. 투과율 k 와 물의 점성계수 η 을 아래 식[4]에 대입하면 비투과율 K 를 구할 수 있다.

$$k = \frac{Q/A}{\Delta P/L} \dots \dots \dots [3]$$

$$K = 1.013 * 10^8 k \eta \dots \dots \dots [4]$$

- K = 비투과율 (darcy)
- k = 투과율 ($\text{cm}^4/\text{dyne s}$)
- η = 물의 점성계수 ($=0.01 \text{ dyne sec}/\text{cm}^2$)
- Q = 유동속도 (cm^3/s)
- A = 단면적 (cm^2)
- ΔP = 시편 양단의 압력차 (dyne/cm^2)
($1\text{atm}=1.013 \times 10^6 \text{ dyne}/\text{cm}^2$)
- L = 시편의 길이 (cm)

라. 에틸알코올과 아세톤 추출

투과율 측정이 끝난 시편을 환류냉각기가 부착된 12리터 둥근 플라스크에 에틸알코올과 함께 넣고 끓는점에서 48시간 가열하였다. 시편을 용액에서 꺼내 상온에서 1주일간 건조시킨 후에 투과율을 측정하였다.

모든 시편을 같은 방법으로 아세톤에서 48시간 추출하고 상온에서 1주일간 건조시켜 투과율을 측정하였다.

마. 중량감소율 계산

추출에 의한 중량감소율(Weight Percentage Loss)는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$WPL(\%) = \frac{W_{od} - W_{ex}}{W_{od}} \times 100\% \dots \dots \dots [5]$$

W_{od} = 추출 전 중량 (g)

W_{ex} = 추출 후 중량 (g)

3. 결과 및 고찰

가. 중량감소율(WPL)

두 가지 용매 추출에 의한 전체 WPL은 증기처리 시편이 7.4%로 가장 높았으며 다른 건조 시편들은 비슷한 값을 나타냈다 (그림 26). 그러나 각각의 용매에 의한 WPL은 처리방법에 따라 달랐다. 증기처리(ST), 관행열기건조(KD),

마이크로파-진공건조(MW)는 에틸알코올에 의한 중량감소가 아세톤보다 현저히 컸으나 고온건조(HD)는 아세톤에 의한 중량감소가 현저히 크게 나타났다. 천연건조(AD)는 두 용매가 비슷하였다. 처음 세 처리의 온도는 65.5℃ 내지 100℃ 이었으며 고온건조는 120℃이었다.

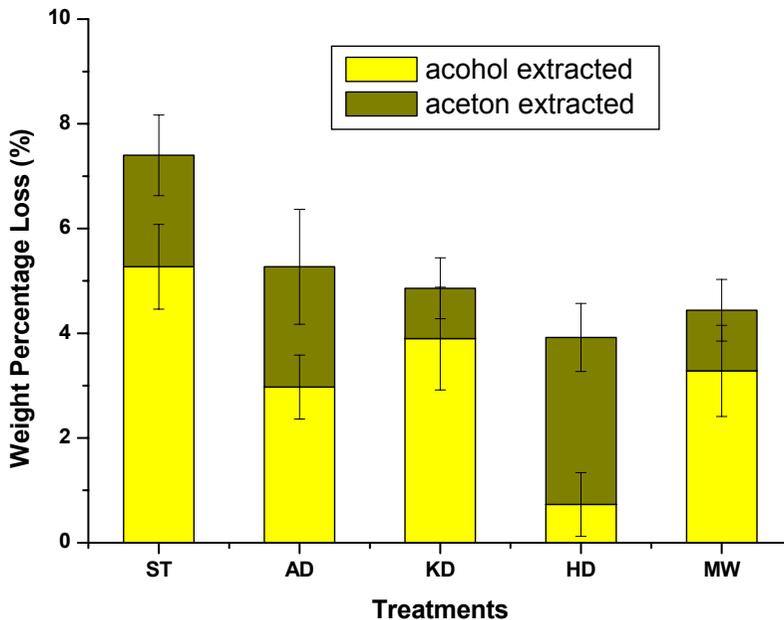


그림 26. WPL's of Korean pine specimens after alcohol and acetone extraction. Specimens were taken from the boards treated by steaming and four different drying methods.

에틸알코올은 수용성 추출물을, 아세톤은 수지를 주로 용해시킨다고 볼 때 HD의 에틸알코올 WPL이 작은 것은 건조 중 수용성 추출물이 수분과 함께 밖으로 빠져나와 시편 내에 남은 양이 적기 때문으로 해석 할 수 있다. 반대로 아세톤 WPL이 다른 처리에 비해 큰 것은 고온에서 변형된 수지가 아세톤에 더 잘 녹는다고 가정할 수 있다.

나. 측정시간에 따른 비투과율 변화

그림 27은 측정시간 1, 5, 10, 20분에서 미추출 시편의 평균 비투과율을

나타낸 것으로 시간이 증가할수록 감소함을 나타냈다. 에틸알코올과 아세톤의 추출 시편도 같은 경향을 나타냈다. 특히 KD는 초기 1분 동안의 평균 비투과율이 10분에서 20분 사이에 비해 23배나 높았다. 측정 초기에는 처리 간 평균 비투과율 차이가 매우 크나 점차 감소하였다.

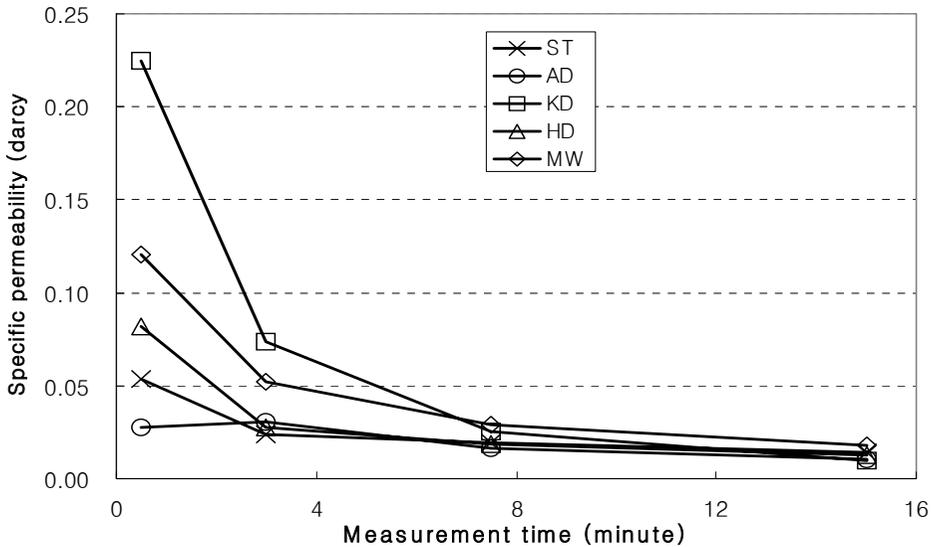


그림 27. Longitudinal specific permeabilities of Korean pine specimens treated with steaming and four different drying methods decrease with time.

이는 Darcy 법칙의 가정을 위반하는 것으로 목재의 투과율을 연구하였던 많은 학자들이 당면했던 문제로 물이 목재 내 작은 구멍을 빠르게 통과할 때 발생하는 음압에 의해 생기는 공기방울이 통로를 막는 것이 원인이라고 보고되었다 (Kelso et al., 1963; Comstock, 1965). 이를 예방하기 위해 초성능 필터로 공기방울의 원인물질을 걸러주어야 하나 본 연구에는 필터장치를 사용하지 않았다. 잣나무 변재의 섬유방향 이동은 주로 수지구를 통하므로 동일한 문제가 발생할 것으로 예상하지 못하였다. Kelso 등(1963)이 말한 작은 구멍이란 벽공막소공으로 이에 비하면 수지구는 직경이 30-100 μ m로 매우 크다 (Sjoestroem, 1981).

Booker와 Evans(1994)는 라디에타 파인의 주 유체통로는 수지구임을 밝히고 수지의 변형과 이동이 유체속도에 영향을 준다고 결론지었다. 즉 수지구내의

수지형태에 따라 유체속도가 결정된다는 것이다. 이 이론은 처리방법에 따른 비투과율 차이를 해석할 수 있어도 시간에 따른 비투과율 감소를 해석하기는 어렵다. 본 실험에서 추출 후 시편의 투과율이 변하더라도 시간에 따른 감소가 똑 같이 반복된다는 것이 밝혀졌다.

Kelso 등(1963)의 이론과 Booker와 Evans(1994)의 이론을 합하면 시간에 따른 투과율 감소 현상을 다음과 같은 해석할 수 있다. 수지구의 직경은 벽공막소공보다 매우 크지만 경화된 수지가 막으면 통로가 벽공막소공과 같이 좁아진다. 좁은 통로는 음압에 의해 발생된 공기방울에 의해 쉽게 막힌다. 진공을 가한 직후에는 통로가 열려있으나 점차 공기방울이 발생하여 통로를 막으므로 비투과율이 떨어지게 된다. 추출 후에도 수지구에 수지가 여전히 존재하는 것을 SEM 사진을 통해 확인하였다 (그림 28와 29).

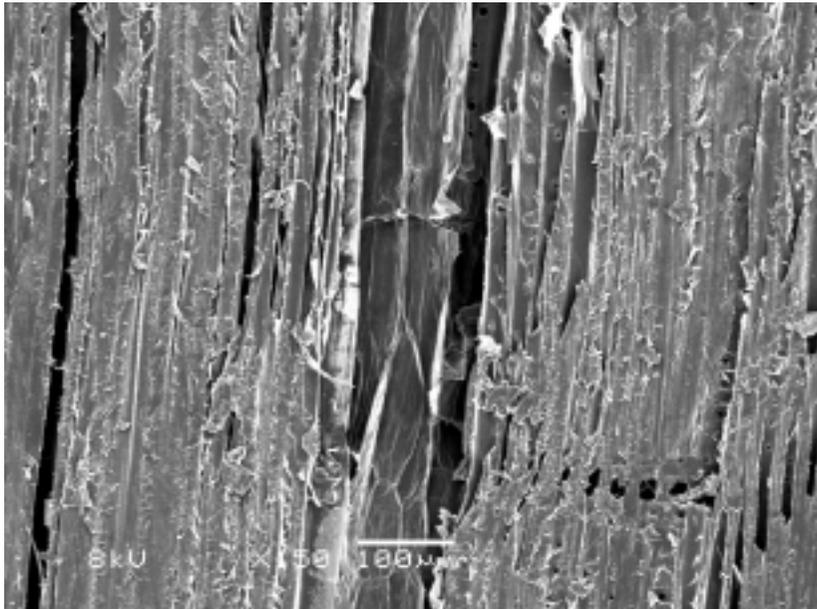


그림 28. Axial resin canal with little resin in a microwave-vacuum dried Korean pine specimen (MW).

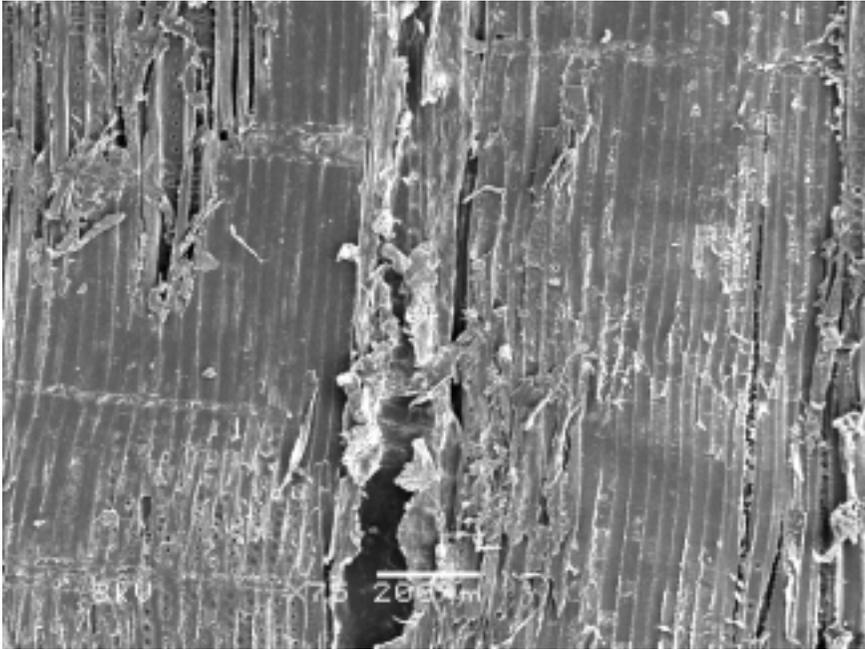


그림 29. Axial resin canal filled with resin in an air dried Korean pine specimen (AD).

다. 미추출 시편의 비투과율 비교

그림 30은 처음 1분 동안의 평균 비투과율을 비교한 것이다. 미추출 시편의 비투과율은 KD가 가장 높고, 그 다음이 MW, HD, ST순이며 AD가 가장 낮았다. KD와 AD의 비투과율은 8배 차이를 보였다. KD처리를 제일 마지막에 하였기 때문에 실내에 보관하였던 KD 공시판재는 많이 천연건조되어 있었다. 건조 직전에 공시판재에 2일간 물을 뿌려 재흡수시켰으나 실제로 함수율 증가는 크지 않았다. 그러므로 비투과율이 AD와 비슷할 것으로 예상되었으나 결과는 큰 차이를 나타냈다. KD처리의 온도범위는 65.5와 82℃로 전체 처리법 중 가운데인데 이것이 높은 비투과율과 어떤 연관이 있는지는 밝혀지지 않았다.

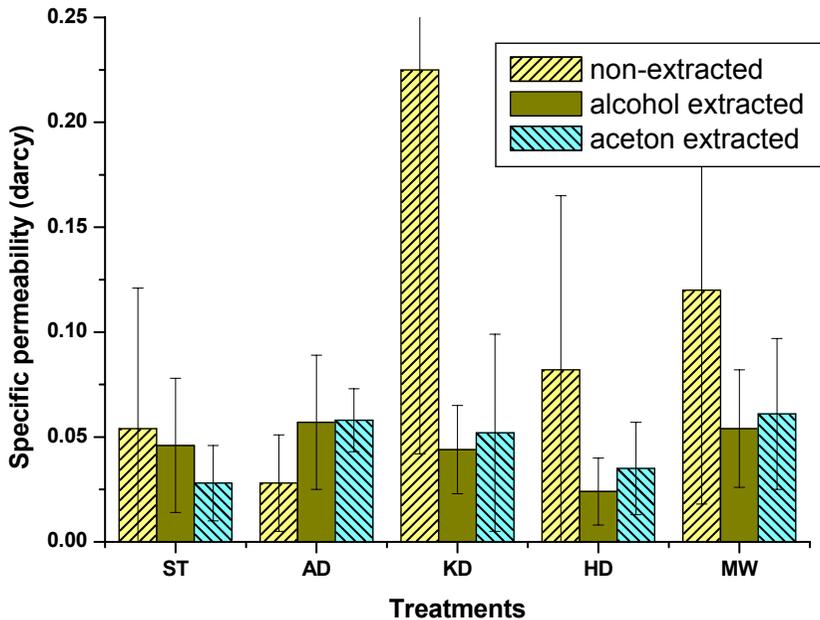


그림 30. Longitudinal specific permeabilities of Korean pine specimens treated by steaming and four different drying methods, measured before and after alcohol and acetone extraction.

4가지 건조처리 중 미추출 시편의 비투과율이 비교적 높은 KD, MW, HD처리의 온도는 각각 82, 100, 120℃이고, 비투과율이 매우 낮은 AD처리의 온도는 20℃내외였다. 결과적으로 건조온도에 따라 차이가 나타났다고 할 수 있다. 고온에서 수지는 포함된 휘발성분이 증발하고 나면 남은 고형분은 경화되어 벽에 달라붙게 된다. 수지는 경화하면서 수축하기 때문에 수지구 내에 좁은 수분이동 통로가 만들어진다. 그러나 실온에서 수지는 점성을 가진 유체로 존재하기 때문에 쉽게 이동하면서 대부분의 수분이동 통로를 막는다고 설명할 수 있다. 그림 5는 MW시편으로 수 지구에 수지가 남아있으나 어느정도 통로가 열려있는 모습이고 그림 6은 AD시편으로 수 지구에 수지로 꽂 차있는 모습이다.

이러한 해석은 앞에 언급하였던 시간에 따른 비투과율 감소 그래프(그림 27)에도 적용할 수 있다. 고온에서 건조된 KD, MW, HD시편의 수 지구는 통로가

좁아 있어 진공을 가하면 공기방울이 발생하여 통로를 막기 때문에 측정시간에 따라 비투과율이 급격히 감소한다. 한편 AD 시편은 측정 초기에 비투과율이 매우 낮았으며 시간에 따른 차이도 거의 없었다. 측정 초기부터 수지가 이동하면서 통로를 막았기 때문이다.

ST 비투과율은 AD보다 높지만 다른 처리에 비해 낮았다. ST처리는 목재의 투과율을 향상시키기 위해 많이 되는 방법으로 이동통로를 막고 있던 추출물뿐만 아니라 수지구 내 수지도 제거한다고 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 본 실험에서 낮은 비투과율을 얻은 이유는 다음 두 가지 중 하나로 추측할 수 있다. 증기처리시간이 충분하지 않아서 수지구 내 수지가 AD시편처럼 유동성을 가진 채로 남아있거나 증기처리시간이 충분히 길었더라도 증습상태에서 가열된 잣나무 수지는 경화되지 않고 여전히 유동성을 가지고 있다.

이같이 건조방법에 따라 비투과율이 다른 것은 수지구 내 수지의 물성이 달라지기 때문인 것으로 생각된다. 온도와 습도에 따른 잣나무 수지의 점성과 경화정도를 조사하는 것이 필요하나 본 연구의 범위를 벗어나므로 후속연구에서 수행할 예정이다.

라. 에틸알코올과 아세톤 추출 효과

그림 30에 보이는 바와 같이 4가지 건조방법 중 추출 전 비투과율이 높았던 것(KD, MW, HD)은 추출 후에 감소하였고, 반대로 낮았던 것(AD)은 증가하여 전체적으로 비투과율이 비슷해졌다. 추출에 의해 높은 비투과율이 감소한 것은 경화된 수지의 일부가 용매에 의해 녹거나 분리되어 이동통로를 막았기 때문인 것 같다 (Booker and Evans, 1994). 이러한 막힘은 공기방울에 의한 유동방해와 겹쳐 시간이 지날수록 비투과율이 매우 낮아졌으며 측정 20분 후의 비투과율은 추출 전과 후, 알코올 추출과 아세톤 추출의 차이가 없이 매우 낮았다.

한편 추출 후에 AD의 비투과율이 증가한 것은 경화되지 않은 수지가 용매에 의해 녹아 나왔기 때문으로 해석할 수 있다. 추출 효과는 처음 1분 보다 10-20분에서 현저하게 나타났다 (그림 31). 처음 1분에는 알코올과 아세톤의 비투과율 차이가 없으나 10-20분에는 아세톤 추출에 의한 비투과율 증가가 분명하다. 즉 아세톤이 수지구의 좁아진 통로를 넓혀 공기방울에 의한 통로 막힘을 줄였다고 볼 수 있다. 공기방울의 막힘 효과는 시간이 지난 후에

나타난다.

그림 30의 ST처리는 4가지 건조처리와 다른 경향을 보이고 있다. 앞에서 언급한 대로 추출 전에도 비투과율이 낮았는데 알코올과 아세톤 추출에 의해 더 낮아졌다. 추출물 제거에 큰 효과가 있는 것으로 밝혀진 ST처리가 수지구의 수지를 제거하는 데는 효과가 없는 것으로 보인다.

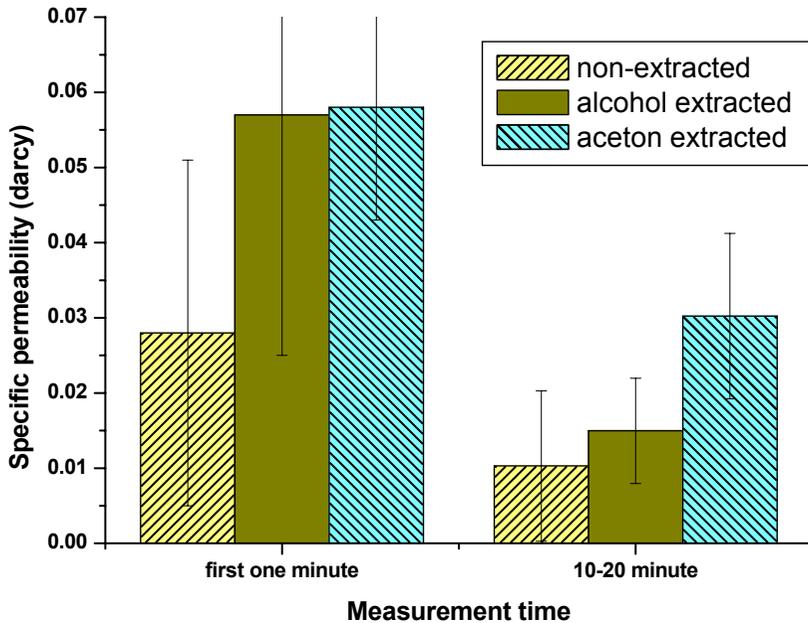


그림 31. Comparison of the average specific permeabilities of AD specimens measured for the first one minute with those measured for 10-20 minutes. Effect of acetone extraction on permeability is prominent after 10 minutes.

4. 결 론

증기처리와 천연건조, 관행열기건조, 고주파건조, 마이크로파-진공건조의 4가지 건조방법으로 처리된 두께 30mm 잣나무 판재에서 떼어낸 변재 시편의 섬유방향 비투과율을 비교한 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에 사용된 Darcy 법칙을 이용한 간이 투과율 장치는 간편하고

유용하였다.

- (2) 알코올과 아세톤 용매에 의한 시편들의 WPL은 처리방법에 따라 달랐다. ST, KD, MW는 에틸알코올이 아세톤보다 현저히 컸으나 HD는 아세톤이 현저히 크게 나타났다. AD는 두 용매가 비슷하였다. 잔류 수지의 물성이 처리방법에 따라 다르기 때문으로 생각된다.
- (3) 시편들의 평균 비투과율은 추출 전이나 후 모두 측정시간이 증가할수록 급격히 감소하였다. 이는 음압에 의해 발생된 공기방울이 수지구를 막기 때문으로 설명할 수 있다.
- (4) 미추출 KD, MW, HD 시편의 평균 비투과율은 비교적 높았으며 AD는 매우 낮았다. 처리 온도에 따른 잔류 수지의 물성변화가 원인으로 생각된다.
- (5) 용매 추출 후 AD 시편을 제외한 모든 시편들의 비투과율은 감소하였나 AD 시편은 증가하였다. 그러나 AD 시편의 추출 전 비투과율이 낮았기 때문에 결과적으로 모든 시편이 비슷하게 낮은 값을 나타냈다. 이는 경화된 수지의 일부가 용매에 의해 녹거나 분리되어 이동통로를 막았기 때문으로 생각된다.
- (6) 용매 추출 후 AD 시편의 비투과율이 증가한 것은 경화되지 않은 수지가 녹아 나왔기 때문으로 해석할 수 있다.
- (7) ST처리는 4가지 건조처리와 다른 경향을 보였다. 추출 전에도 비투과율이 낮았는데 알코올과 아세톤 추출에 의해 더 낮아졌다.

제7절 수지 제거를 위한 잣나무 심재의 이동통로 조사

1. Introduction

The mechanism on paths of fluid flowing through wood plays a critical role in a lot of wood processing deals with fluid impregnation or extraction such as wood preservative treatment, fire retardant treatment, dimensional stabilization, wood dyeing and wood drying.

In Korean, the largest volume of Korea pine trees are harvested every year, however, it is somewhat difficult to preserve kiln-dried pines due to the blockage of liquid flow path caused by extractive, aspirated pits and resin. It has been known that the liquid permeability varies depending on drying methods and pre- or post- treatments could improve it. Booker(1991) described drying caused flow paths for liquid movement to open up along the radial and axial resin canals. Booker(1994) study the effect of air-, kiln-, and high-temperature drying on the radial permeability of radiata pine and found that for both heartwood and sapwood the permeability increased as the severity of drying increased. Terziev(2002), Terziev and Daniel(2002)¹ found the industrial progressive and conventional batch kiln drying procedures used had only minor effects on the microstructure of Scots pine wood, but the high temperature kiln drying can partly damage the apertures of some bordered pits, provoke nano and micro checks in the warty and S₃ layer of cell walls, and probably facilitates the penetration of liquids. Iida and Iida et al.(1992, 1995, 1996, 2002) proposed a precompression treatment method for applying a large deformation perpendicular to the grain before liquid impregnation of a wood sample to accelerate wood permeability with a small decrease in the mechanical properties of the treated wood. Therefore, understanding the mechanism of drying methods on liquid permeability of plantation grown Koreapine is the key project to make the high quality solid wood products from them through various chemical impregnation treatment. In the past, wood scientists tried hard to explain the fluid paths in wood by various indirect observation and analysis of wood structure based on some

assumptions(Flynn, 1995; Olsson et al., 2001).

However, these assumptions need laboratory test support. Recently Dr. Ikuho Iida designed a new system that mainly consists of a reflecting optic microscope and a CKD color camera. This was an effective method to dynamically observe the behavior of liquid penetration in wood(Kawai et al., 2001). Meanwhile, capillary rising method was used to measure permeability in wood by some studies(Iida et al, 2001; Matsumura and Booker, 1998). Scanning electron microscopy (SEM) has been used in investigation to cell wall and aspirated pit characteristics(Iida et al., 2001), Furthermore, study the liquid flow path by it(Olsson, 2001).

The objectives of the present study were to investigate the flow path, and the roles of different wood cell played when the fluids are transported in wood. Determine the maximum liquid uptake among the specimens treated by various drying methods. Observe the changes of the microstructure characteristic of wood in order to interpret the phenomena of liquid penetration path in wood in detail.

2. Experiments

2.1 Dynamic observation experiments

2.1.1 Material

Earlywood and latewood specimen (3mm(R)×4mm(T)×30 mm (L)) of Korea pine heartwoods were selected for the dynamic observation experiments. The specimens cut from the boards treated by five different drying methods:

①superheated steam drying, boards were steamed at a condition of 100→and 100% relative humidity for 36 hours (4days x 9hours/day) in a heat treatment chamber; ②air drying, boards were exposed to atmosphere under shed for three months; ③kiln drying, boards were dried at 65.5 → DB and 54.5 → WB for 91 hours, followed by 82 → DB and 54.5 → WB for 97 hours; ④microwave/vacuum drying, boards were dried at the average temperature of 97 →for 268 hours; ⑤high temperature drying, boards were dried at 120 →DB and 70 →WB for 60 hours.

2.1.2 Experimental condition

The degree of vacuum is 50KPa.

2.1.3 Equipment

Include dynamic observation system and vacuum system. The former compose of an reflecting optic microscope, a 3-CKD color camera, a video tape recorder, a video printer and a monitor; The latter compose of a vacuum pump, two vacuum control valves, a digital vacuum gauge and a dyeing solution buffer bottle.

2.1.4 Method

Specimen preparation: ①the Korea pine heartwood samples with dimension about 20mm(R)×4mm(T)×30 mm(L) were cut by the circle sawing; ②one of the tangential surfaces (TxL plane) was cut by microtome carefully as the observation surface, make sure the tangential section was smooth and paralleled to the growth ring, the cutting surface for all the samples was located in the earlywood or latewood area; ③The final dimension of these specimens is about 3mm(R)×4mm(T)×30mm(L) were obtained by the small hand sawing; ④the observation surface was coated by epoxy resin very carefully, avoided the formation of air bubble, then displayed in the room for epoxy resin cure.

Dynamic observation: ①the specimen was connected through a rubber tube with the vacuum control system, then was set up on the special designed observation stage ;②two side surfaces (radial surfaces) and another tangential surface opposite to the observation surface were coated with silicone grease, then put the special designed observation stage on the platform of the reflecting optic microscope; ③the dyeing solution used in the experiment is patent blue (C.I.: 42045) with 0.2% concentration, fill it in one end of the specimen before the penetration begins, and the penetration was tracked by means of movement of the platform of the reflecting optic microscope, the

whole process was recorded by the video tape recorder which can be replay for every 1/100 second; ④the penetration length in different time could be calculated by means of the measurement of the printout of video printer with the penetration time displayed on photos or the ruler adhibited on the monitor; ⑤acquire the time (sec) and length of penetration (mm) relation curves.

Observation by reflecting optic microscope: after the dynamic observation, the specimens were cut by small hand sawing both in cross section and radial section, and then the cutting surface were observed via the reflecting optic microscope or monitor, finally, the image of cutting face was printed out by the video printer.

2.2 Liquid uptake experiments

2.2.1 Material

The specimens (20mm(R)×15mm(T)×40mm (L)) from Korea pine heartwoods were made from the liquid uptake experiments. These specimens came from the boards treated by five different drying methods same as mentioned above, respectively.

2.2.1 Method

①the tangential and radial surfaces of the specimens were coated by the epoxy resin; ②the specimens were placed in a standing position on one side of the cross section at the surface of dyeing solution, the dyeing solution used in the experiment is patent blue (C.I: 42045) with 0.2% concentration; ③weigh the specimens every period of time, the amount of penetration was denoted by the difference of weight, the amount of penetration in specimens was determined by the capillary rising method for 460 minutes; ④acquire the time (min) and liquid uptake (g/cm^2) relation curves.

2.3 SEM observation

2.3.1 Material

Korea pine heartwoods treated by five different drying methods.

2.3.2 Equipment

JSM-5500LV SEM

2.3.3 Method

Samples of the cross-radial-longitudinal surfaces were prepared by splitting, mounting, and coating them with gold prior to observation. Scanning electron microscopy (SEM) was used to observe the cell wall, resin canal, pit aspiration and encrustation material characteristics.

3. Result

3.1 Dynamic observation experiments

The dynamic behavior of liquid penetration in the longitudinal direction of Korea pine heartwood observed in this experiment could be summarized as follows:

①The wood tissues being penetrated in longitudinal direction of Korea pine heartwood are resin canals and tracheids. Resin canals are the primary conductive pathway into Korea pine heartwood. The length of liquid penetration in Korea pine heartwood tracheids was very limited, hardly exceed a tracheid length, this is likely to be due to pit aspiration, pit occlusion with extractives, and pit encrustation. Penetration kept on going forward to the vacuum end for a period of time, and then stopped for some time, liquid penetration from one end of the specimen to the other is the repeat of the go-stop cycle (Youke et al., 2003).

②The speed of liquid penetration in resin canals depend on the extent and distribution of turpentine filled in resin canals. Within one tracheid the spreading wetting-ability of liquids to lumen surface, the size and the shape of tracheid, and the surrounded ray cells are the key factors to affect the liquid penetration speed.

③Liquid penetration in one resin canal will move to the neighboring

tracheids through the bordered pits, and then through the window-like half bordered pits at the near cross fields to the ray cells, then moving along the ray cells for a distance and finally to the up or down neighboring tracheids by the window-like half bordered pits again or directly moving to the left or right neighboring tracheids by window-like half bordered pits without a distance moving along the ray cells(Fig. 32).

④For the resin canals of Korea pine heartwood, maybe a length of resin canal was filled with turpentine, or partially filled, or even totally empty. During dyeing solution impregnation, the main flow into Korea pine heartwood occurs along the longitudinal resin canals. the interstitial spaces created by the collapse of thin-walled epithelial parenchymatous cells and resinosis cells lining the resin canals during drying form secondary paths(Booker, 1990).

⑤There were two stagnation position of liquid penetration in one tracheid, one was in the overlapped top position of a tracheid, the other was the narrow tracheid lumen where a ray passed by(Fig. 33). After the stop of penetration for some time, it may conquered the air pressure and went forward, or may stopped forever(Siau, 1995). The liquid-air meniscus drove the penetration (Fig. 34).



Fig. 32. Radial-longitudinal section showing stained axial resin canal, tracheids and ray cells



Fig. 33. Two stagnation position of liquid penetration. Upper. overlapped top position. low. Narrow tracheid lumen passed by ray.



Fig. 34. Liquid penetration at a tracheid and ray crossing showing the liquid meniscus

Figs. 35 and 36 showed the liquid penetration length of earlywood and latewood for Korea pine heartwood after treated by different drying methods. It is obvious that the penetration rate in latewood is higher than earlywood. The length of tracheids in latewood is longer than that of the earlywood tracheids and is one explanation of why liquid penetration in Korea pine heartwood is better in the latewood than in the earlywood.

All the specimens cut from Korea pine heartwood were very difficult to penetrate in tracheids. The permeability comparison of Korea pine heartwood (earlywood and heartwood) specimens affected by five kinds of drying methods are as follows: the penetration rate in superheated steam drying specimens is the most fast in air drying specimens is the second in kiln drying specimens is the third; mw/v drying specimens and high temperature drying specimens are the most difficult to penetrate. Superheated steam drying treatment of heartwood resulted in fast and greater penetration of

dyeing solution into the resin canals and neighboring tracheids and ray parenchyma. This is likely to be due to removal or distribution of resin and some thin-walled tissue may seriously collapsed to form the interstitial space.

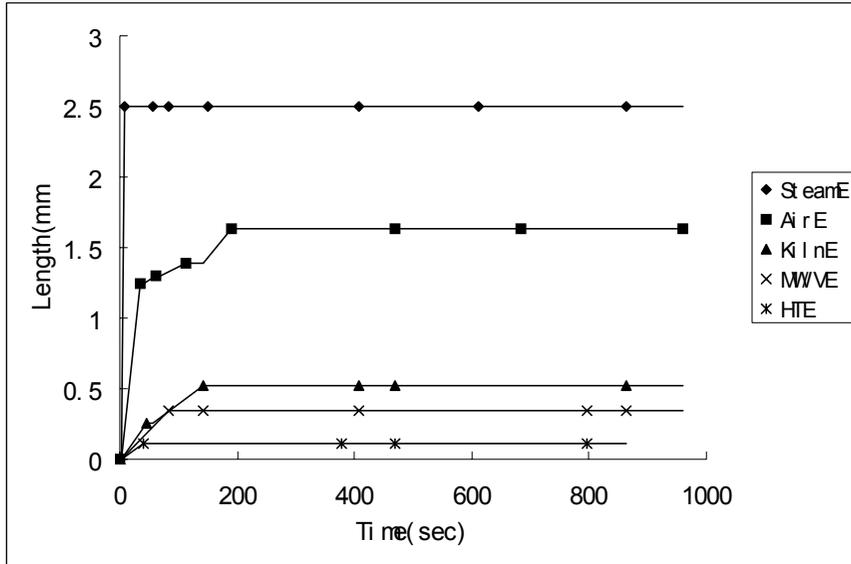


Fig. 35. Liquid penetration in tracheids of earlywood specimens of Korea pine heartwood after various drying treatments.

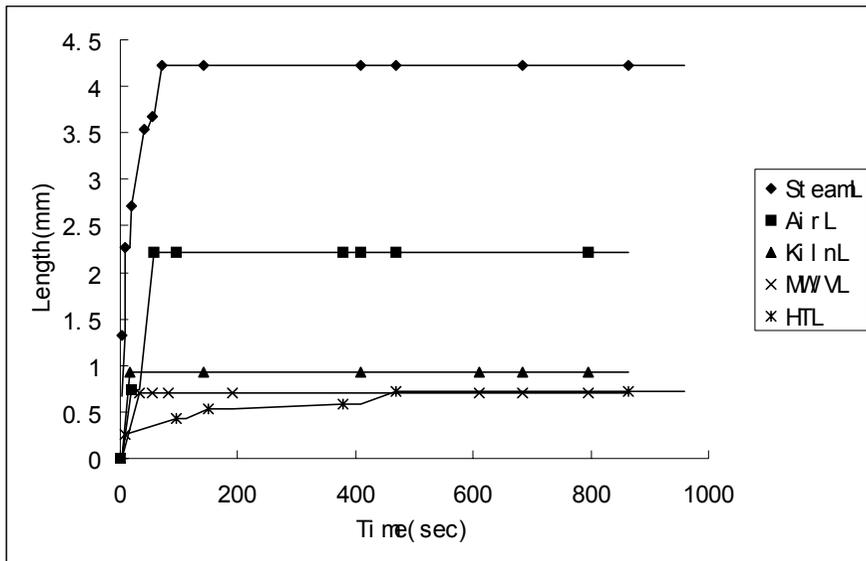


Fig. 36. Liquid penetration in tracheids of latewood specimens of Korea pine heartwood after various drying treatments.

3.2 liquid uptake experiments

Figure 37 showed the solution uptake by Korea pine heartwood treated with the various drying methods. It is obvious that the maximum uptake values of about 0.52-0.54g/cm² were seen in the superheated steam drying specimens; uptake value in the air drying specimens and the kiln drying specimens are no obvious difference; liquid uptake in the mw/v drying specimens and high temperature drying specimens are the most difficult, the maximum value is only 0.1g/cm². This result consisted with the results of dynamic observation experiments.

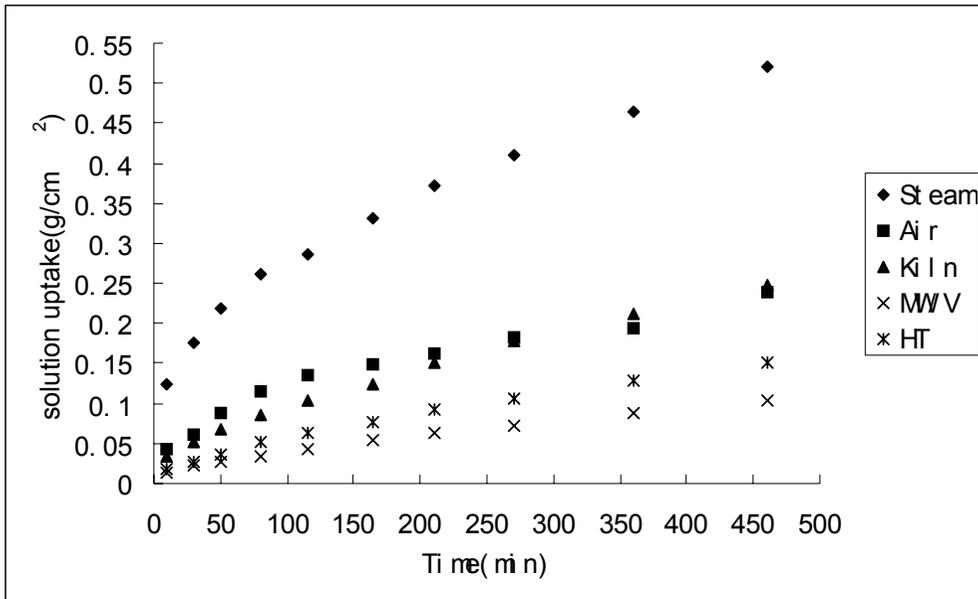


Fig. 37. Solution uptake in Korea pine heartwood specimens after various drying treatments.

3.3 SEM observation

The SEM observation of longitudinal-radial-cross direction of Korea pine heartwood in this experiment could be summarized as follows:

①The reason for low permeability in the tracheids of five kinds of treated specimens was encrustation materials accumulated on the tracheids wall, torus and margo of bordered pits, ray tissue. All the bordered pits pair were aspirated. Some cracks in margo of bordered pits and tracheids wall can be found in superheated steam drying specimens, which improved the permeability in tracheids and ray parenchyma. Encrustation material was not form by resin moves, but inherent by heartwood itself. Another reason for low permeability in tracheids was the anatomy factor: the presence of trabecula in the tracheids, it was like a membrane covered the tracheids cavity.

②Resin canals of five kinds of treated specimens were not all empty, in a whole resin canal, a length of resin canal may full of resin, but another

length may have fewer resin or even empty. Even for superheated steam drying specimens, resin canals also filled with turpentine, this suggested that resin flow only happen in the resin canals.

③MW/V drying and HT drying specimens were found to be reaction wood, which was probably a critical reason for the low permeability in tracheids. Compression wood is a type of wood produced on lower sides of branches or leaning and crooked stems. In compression wood, tracheids (especially on late wood) show a round appearance and evident intercellular spaces with many helical cavities (or spiral checks) on the secondary walls, the compression wood tracheid wall was thicker, the tracheid cavity was smaller. Observation the appearance of the specimens also found that the area of latewood was wider, the wood colour was darker, and higher density and hardness.

제8절 수지 제거를 위한 잣나무 변재의 이동통로 조사

1. Introduction

Resin canals play an important part in fluid transport in wood. Their ability to do so depends mainly upon the amount of resin blocking the canals. This is affected by a large number of factors such as the number of resin canals per square metre, drying and the drying schedule used(Booker, 1990)¹. Three mechanisms are effective in reducing the capillary size of the pit pairs, and any combination of these may be present in a wood species. The mechanisms are pit aspiration, pit occlusion with extractives and pit incrustation. Matsumura et al.(1995, 1996, 1998)¹ found that methanol extraction increased the specific permeability of Japanese larch heartwood, there was a positive correlation between the increase of permeability and methanol extractives, the increase of heartwood permeability by methanol extraction was caused by the solution of some incrustated heartwood material on pit membranes and by the removal of resin in resin canals. A linear relationship was also found between increase of permeability after resin extraction and the number of resin canals. Iida et al.(2002) investigated the maximum amount of water uptake by the capillary rise method and changes in the aspirated pits seen with scanning electron microscopy before and after of preextraction and precompression using heartwood samples of four softwoods, they found that the difference in penetration of each wood species was caused by the quantity and quality of the extraction material.

The Darcy equation is the usual basis for permeability studies. It was initially developed to describe the flow of fluids through sand; however, the basic assumptions hold when dealing with wood(Booker and Evans, 1994).

Conductivity=Flux / Gradient (Darcy equation)

Darcy's law for liquids may be stated as(Siau, 1995),

$$K = \frac{QL}{A\Delta P} = \frac{VL}{tA\Delta P} \quad (\text{Darcy's law for liquids})$$

Where K is permeability, $\text{m}^3(\text{liquid})/\text{m Pa s}$; Q is volumetric flow rate, m^3/s ; L is length in flow direction, m ; A is cross-sectional area of specimen, m^2 ; ΔP is pressure differential, Pa ; V is volume of flow; t is time, s . This equation is readily applicable to a rectangular specimen.

The objectives of the present study were to investigate the effect of water extraction, alcohol-benzene extraction, and the combination of water and alcohol-benzene extraction on longitudinal liquid permeability of Korea pine sapwood. The permeability in sapwood is discussed in relation to the drying methods (air drying, kiln drying, mw/v drying, high temperature drying and steaming). Determine if the extraction treatment could improve the permeability of Korea pine sapwood after various drying treatments.

2. Experiments

2.1 Permeability test for divide into groups

2.1.1 specimen preparation

specimens (5mm(R)×5mm(T)×60 mm (L)) of Korea pine sapwoods were selected for the experiments. 12 piece of specimens were cut from the boards treated by each of five different drying methods: ①superheated steam drying, boards were steamed at a condition of 100°C and 100% relative humidity for 36 hours (4days x 9hours/day) in a heat treatment chamber; ②air drying, boards were exposed to atmosphere under shed for three months; ③kiln drying, boards were dried at 65.5 °CDB and 54.5 °CWB for 91 hours, followed by 82 °CDB and 54.5°CWB for 97 hours; ④microwave/vacuum drying, boards were dried at the average temperature of 97°C for 268 hours; ⑤high temperature drying, boards were dried at 120°CDB and 70°CWB for 60 hours.

2.1.2 count the number of resin canals in cross section

the number of resin canals in the both cross section were counted by a substance microscope.

Table 7. the number of resin canals in cross section

methods	Steaming		MW/V		HT		AD		KD	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
1	8	11	7	4	6	7	7	7	8	5
2	6	11	11	9	9	12	14	8	10	7
3	9	17	7	9	8	11	7	5	4	6
4	11	11	9	12	8	2	7	10	6	6
5	7	6	4	6	6	5	6	6	5	9
6	6	4	5	6	6	0	10	6	6	6
7	5	9	9	8	8	7	7	4	6	5
8	11	11	12	13	5	2	7	10	5	5
9	7	7	8	10	11	12	10	3	7	4
10	9	10	9	7	8	9	4	3	6	8
11	8	8	9	11	9	11	6	4	6	7
12	6	7	8	7	10	14	1	5	11	9

2.1.3 liquid penetration experiment for all the specimens

2.1.3.1 Experimental condition

the degree of vacuum is $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$.

2.1.3.2 Equipment

compose of a vacuum pump, a vacuum gauge, two vacuum control valves and a digital electronic balance.

2.1.3.3 Method

the specimen was connected through a rubber tube with the vacuum control system; a cup of pure water was set up on the stage of the digital electronic balance; one side of the cross section of the specimens were insert into the surface of pure water; the penetration in specimens was determined by the water uptake method for 1, 5, 10 and 20 minutes. the amount of penetration was denoted by the difference of water weight showed on digital electronic balance.; acquire the time (min) and permeability (darcies) relation curves.

2.1.3.4 Result

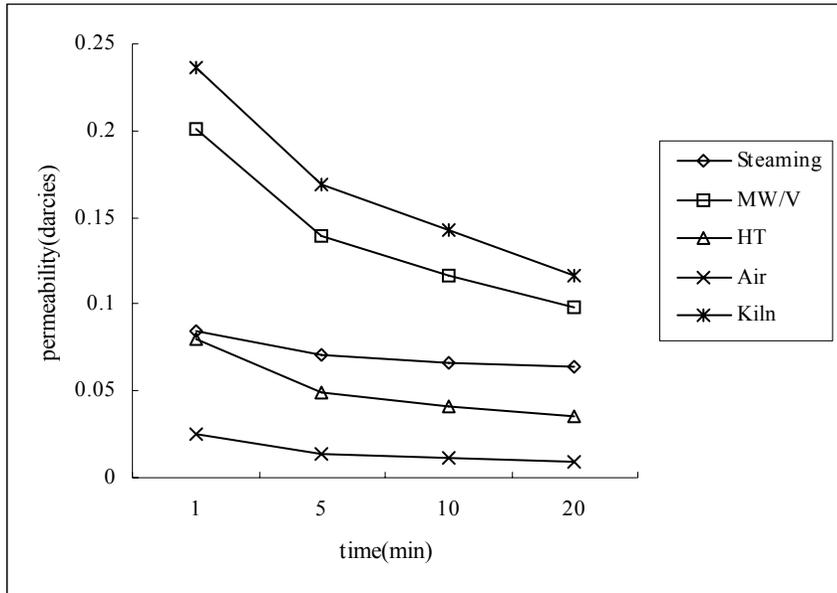


그림 38. The curves of longitudinal liquid permeability change with time of non-extraction Korea pine sapwood after various drying treatments

2.1.4 Divide specimens into 3 groups depend on the permeability tested above

Permeability comparison among the specimens

Table 8. Grouping specimens

drying methods	Permeability comparison
Steaming	2>3>1>8>9>4>6>7>12>11>5>10
Microwave/vacuum drying	7>1>8>2>11>4>12>6>10>5>9>3
High temperature drying	11>9>1>4>12>7>10>5>2>3>6>8
Air drying	10>8>9>12>1>5>4>7>11>6>3>2
Kiln drying	4>3>7>1>2>8>10>9>12>6>5>11

Divide into 3 groups.

Table 9. Three groups of specimens to be extracted

treatments methods	non-extraction	water-extraction	BA+water-extraction
Steaming	2,8,6,11	3,9,7,5	1,4,12,10
MW/V	7,2,12,5	1,11,6,9	8,4,10,3
HT	11,4,10,3	9,12,5,6	1,7,2,8
AD	10,12,4,6	8,1,7,3	9,5,11,2
KD	4,1,10,6	3,2,9,5	7,8,12,11

2.2 liquid penetration experiment for water-extraction specimens

2.2.1 Hot-water extraction

50 hours in boiling water.

2.2.2 Cold-water extraction

Specimens were soaked in cold water for 45 hours and then 3 days of conditioning at room temperature.

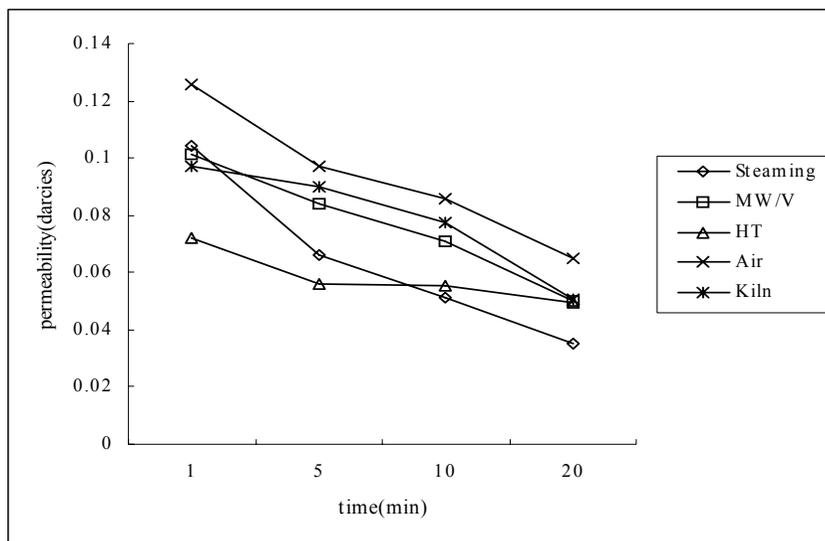


Fig. 39. The curves of longitudinal liquid permeability change with time of water-extraction Korea pine sapwood after various drying treatments

2.3 liquid penetration experiment for alcohol-benzene and water extraction specimens

2.3.1 benzene-alcohol extraction

the volume proportion of benzene and alcohol is 2(67ml):1(33ml), these two chemical reagents were mixed together, then extracted by Soxhlet for 75h.

2.3.2 Cold-water extraction

Specimens were soaked in cold water for 45 hours.

2.3.3 Hot-water extraction

50 hours in boiling water and then 3 days of conditioning at room temperature.

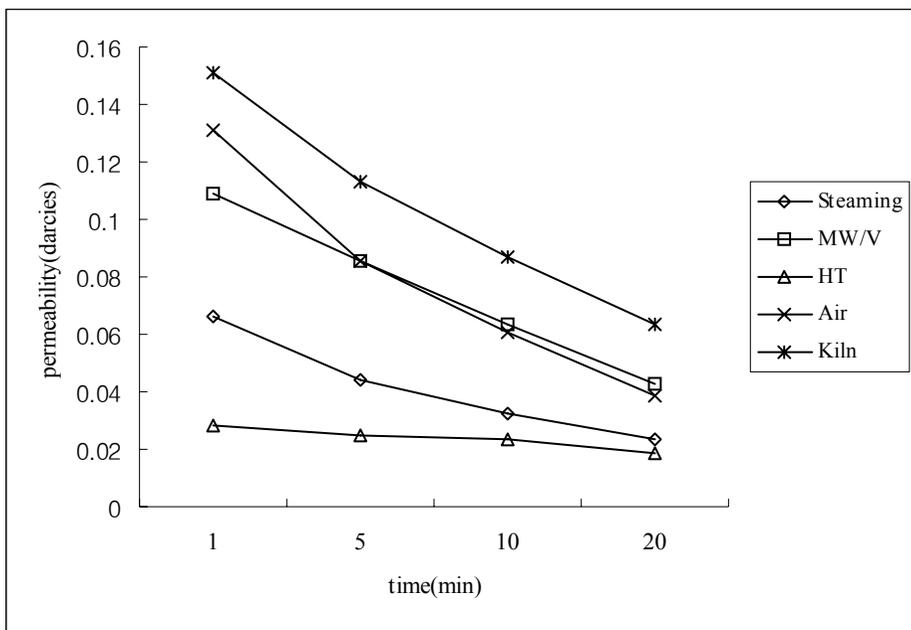


Fig. 40. The curves of longitudinal liquid permeability change with time of BA+water-extraction Korea pine sapwood after various drying treatments

2.4 Additional experiment: liquid penetration experiment for

benzene-alcohol extraction specimens

In order to verify if water or benzene-alcohol or both of them leading to permeability decrease in some kinds of specimens

2.4.1 specimens

were selected from non-extraction specimens

2.4.2 benzene-alcohol extraction

the volume proportion of benzene and alcohol is 2(67ml):1(33ml), these two chemical reagents were mixed together, then extracted by Soxhlet for 75h, then 3 days of conditioning at room temperature.

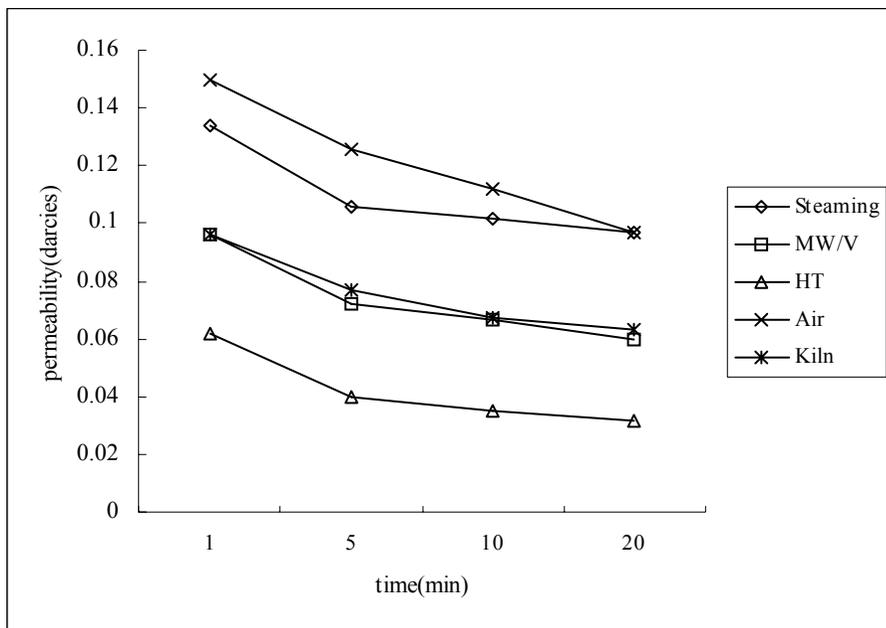


Fig. 41. The curves of longitudinal liquid permeability change with time of benzene-alcohol extraction Korea pine sapwood after various drying treatments

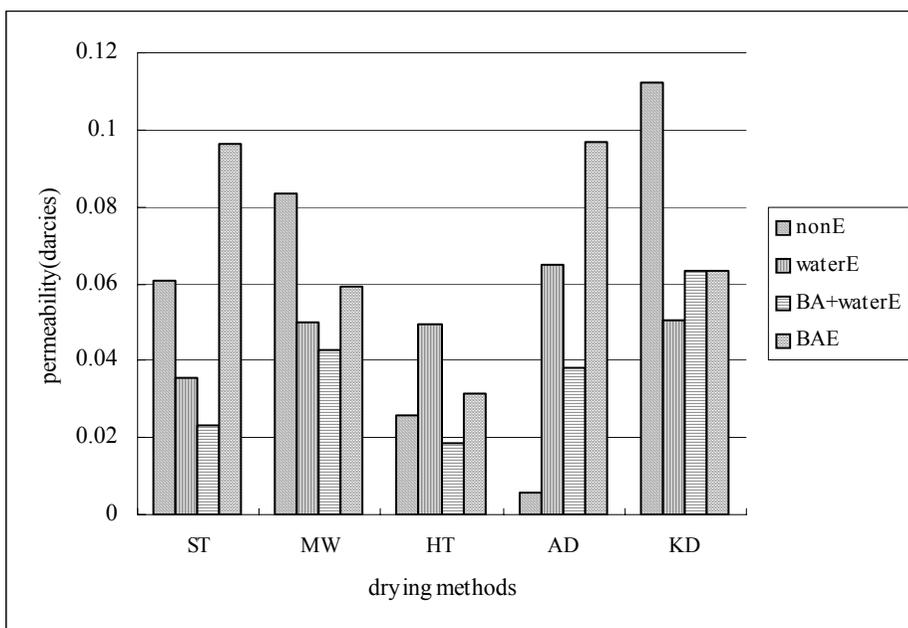


Fig. 42. longitudinal liquid permeability of Korea pine sapwood determined at 20 minutes

Table 10. Correlation coefficients between the number of resin canals and permeabilities of water extraction treatment

		Kbf	Kaf	Kaf-Kbf
Steaming	Nrc	0.815	-0.15	-0.827
MW/V	Nrc	-0.354	0.511	0.683
HT	Nrc	0.719	0.994	0.426
AD	Nrc	0.917	0.61	0.433
KD	Nrc	-0.165	-0.703	-0.352

Table 11. Correlation coefficients between the number of resin canals and permeabilities of alcohol-benzene and water extraction treatments.

		Kbf	Kaf	Kaf-Kbf
Steaming	Nrc	0.257	0.853	-0.025
MW/V	Nrc	0.99	0.831	-0.98
HT	Nrc	0.012	0.589	0.157
AD	Nrc	-0.554	-0.824	-0.78
KD	Nrc	-0.389	-0.395	0.377

Kbf: K value before extraction, Kaf: K value after extraction, Kaf-Kbf: difference between Kaf and Kbf, Nrc: The number of resin canals in cross-sectional area of specimen.

2.5 SEM observation

2.5.1 Material

Korea pine sapwoods treated by five different drying methods.

2.5.2 Equipment

JSM-5500LV SEM

2.5.3 Method

Samples of the cross-radial-longitudinal surfaces were prepared by splitting, mounting, and coating them with gold prior to observation. Scanning electron microscopy (SEM) was used to observe the resin canals, bordered pits and encrustation material characteristics.

3. Conclusions

3.1 liquid penetration experiment

- (1) there was no significant correlation between permeability and the number of resin canals in cross section. This suggested that permeability was not absolutely depend on the number of resin canals, but the number of resin

canals which went through two sides of cross section, and influence by the condition of resin distribution in resin canals.

- (2) after extraction treatments, the difference of permeability among five kinds of drying method specimens were decrease, it is suggested that drying methods have effect on the condition of resin in resin canals.
- (3) the primary liquid flow path in Korea pine sapwood of this experiment was the resin canals and the interstitial spaces surrounding axial resin canals, the formation of interstitial spaces due to the collapse of thin-walled epithelial parenchymatous cells and resinosis cells lining the resin canals during drying. Different drying methods have different effect on the collapse of thin-walled cells lining the resin canals, and have effect on the condition of resin too.
- (4) air drying is a gentle drying method, during the air drying thin-walled cells might be a bit collapse or even no collapse at all, at the same time, the resin is hardening in a low degree during drying procedure. That is the reason why the permeability was low in non-extraction air drying specimens, but after water and alcohol-benzene extraction at 100→ and 80→ respectively, thin-walled cells lining the resin canals were collapsed and formed interstitial spaces, at the same time, water solution extractive and oil solution extractive were soften or extracted out easy, and result in permeability increase significantly after extraction treatment..
- (5) high-temperature drying is a severe drying method, it is suggested that this low permeability is due to movement and modification of the resin, which may block the resin canal. Meanwhile, after high temperature drying treatment, resin may turn harden in a high degree, and difficult to be changed by extraction treatments. That is the reason why permeabilities among untreated and treated specimens were almost the same.
- (6) the situation of permeabilites for other three drying methods were similar: permeabilities were high before extraction treatments, but it decrease after extraction treatment. Especially for the kiln drying specimens. That is

because before kiln drying treatment, the specimens had been treated by air drying for a long time, the resin in the resin canals maybe dried and shrinkaged mostly, so before extraction treatment, the permeability of specimens was high. Meanwhile, extraction treatments were not completely, resin was not extracted out entirely, resin just be swelling, soften, or partially melted. The modification of resin may block the resin canals.

- (7) figs. 1 to 4 showed the decrease in flow through wood with time. Wood can act as a filter, with small particles or air bubbles in the water gradually blocking the pathways; or polar liquids can cause swelling of the wood fibre (Flynn, 1995).

3.2 SEM observation

- (1) all the specimens are normal wood (tracheids show a square appearance and have no intercellular spaces; have no helical cavities on the tracheid walls).
- (2) before and after extraction treatments, encrustation materials also accumulated on the torus and margo of bordered pits, resin also left in resin canals. The above phenomena suggested that the extent of extraction treatments was not enough, water and oil solution extractives were not all extract out, the encrustation material of Korea pine was hard to extract out. That is the reason why experiment results were not in reason. It need to prolong extraction treatment time in next experiment.
- (3) before extraction treatments, the broken torus of bordered pits were only found in steaming specimens; after extraction treatments, the torus of bordered pits were broken in all drying treatments specimens, but it could not improve the permeabilities. So it also verify that the main flow path in Korea pine sapwood is resin canals, tracheids have little effect on it.

제9절 증기처리 온도와 시간에 따른 재색 변화

1. 목적

목재를 곱가공하는 방법 중 증기처리가 가장 많이 쓰인다. 이때 열과 수분이 목재에 가해지므로 표면이 질게 변한다. 이 원리를 목재의 재색변화에 사용하기 위해 처리 온도와 시간의 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

잣나무와 낙엽송 원목에서 각각 4개의 길이 300cm, 두께 3cm 의 판재를 제재하였다. 판재들은 실내에서 약 3개월간 천연건조하였다. 각 판재에서 폭 10cm, 길이 20cm의 시편 9개를 절단하여 아래 처리온도와 처리시간에 따라 1개씩 배정하였다.

표 12. autoclave 증기처리 온도와 시간

처리온도	처리기압(기압)	처리시간(시)
무처리	1	0
95℃	1	4, 6
100℃	1	4, 6
121℃	2	2, 4
134℃	3	2, 4

무처리, 95와 100℃는 대기압에서, 121℃는 2기압, 134℃는 3기압에서 증기처리하였다. 증기처리 전후에 시편의 표면을 2mm정도 대패질하여 Hunter 색차계로 측정하였다.

3. 결과

가. 잣나무

증기처리 잣나무의 명도는 100℃/6시간 까지 무처리와 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 121℃/2시간 이후에는 명도가 뚜렷이 낮아졌다. 또 이 지점부터 색차(ΔE*)도 10 이상으로 재색이 변했음을 나타낸다. 따라서 재색변화는 증기처리 시간보다 온도의 영향을 더 많이 받음을 알 수 있다.

적색도(a*)와 황색도(b*)의 분포를 보면 그 차이를 더 분명히 볼 수 있다. 무처리와 100°C 이하가 한 그룹을 이루고 있고 121°C와 134°C가 다른 그룹을 이루고 있다. 온도가 높아질수록 적색도와 황색도가 증가하였다.

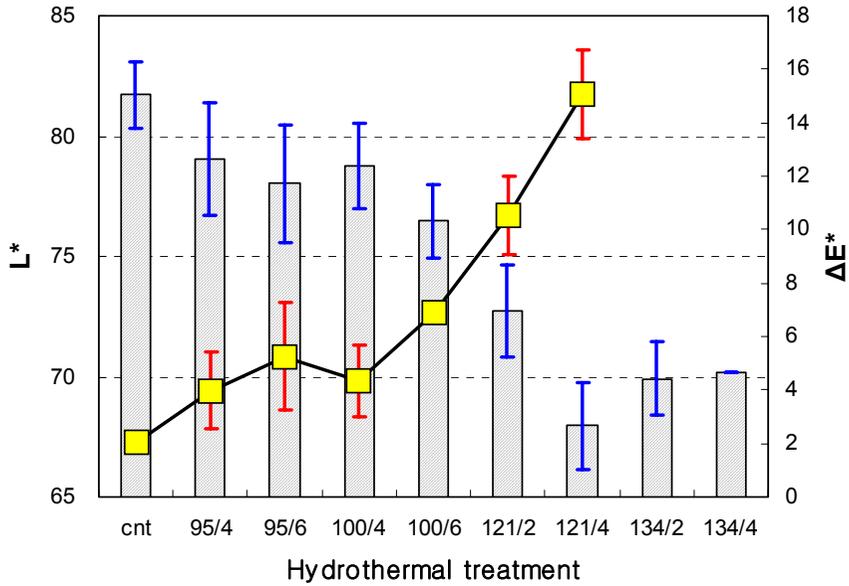


그림 43. 증기처리 잣나무재의 명도(L*)와 색차(ΔE*) 변화

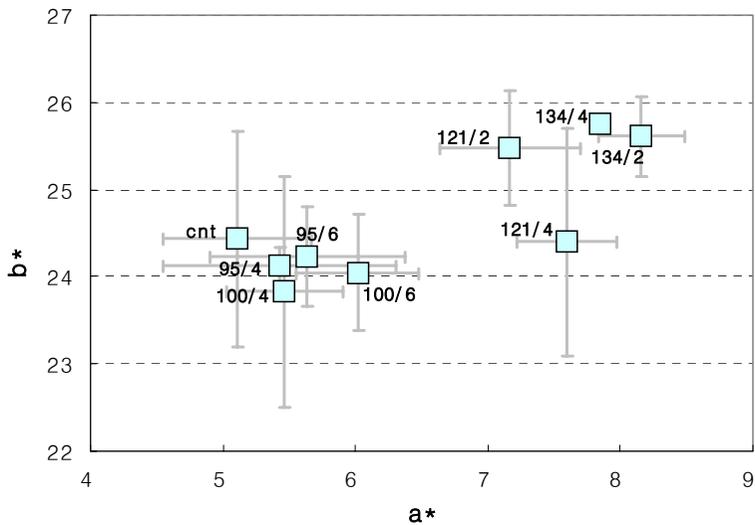


그림 44. 증기처리 잣나무재의 적색도(a*)와 황색도(b*) 관계

가. 낙엽송

증기처리 낙엽송의 명도는 134°C/2시간 까지 무처리와 큰 차이를 나타내지 않았다. 모든 처리재의 평균 색차(ΔE^*)도 6 이하로 재색 변화가 별로 없음을 나타낸다. 낙엽송은 잣나무보다 적색도가 높기 때문에 증기처리에 의해서도 큰 변화가 없었던 것 같다.

적색도(a^*)와 황색도(b^*)의 분포를 보면 95°C와 100°C일 때 무처리와 황색도는 비슷하나 적색도가 증가하였으며 121°C와 134°C일 때 무처리와 적색도는 비슷하나 황색도가 감소하였다.

결론적으로 낙엽송은 134°C, 3기압 증기처리에 의해 뚜렷한 재색변화가 일어나지 않았다.

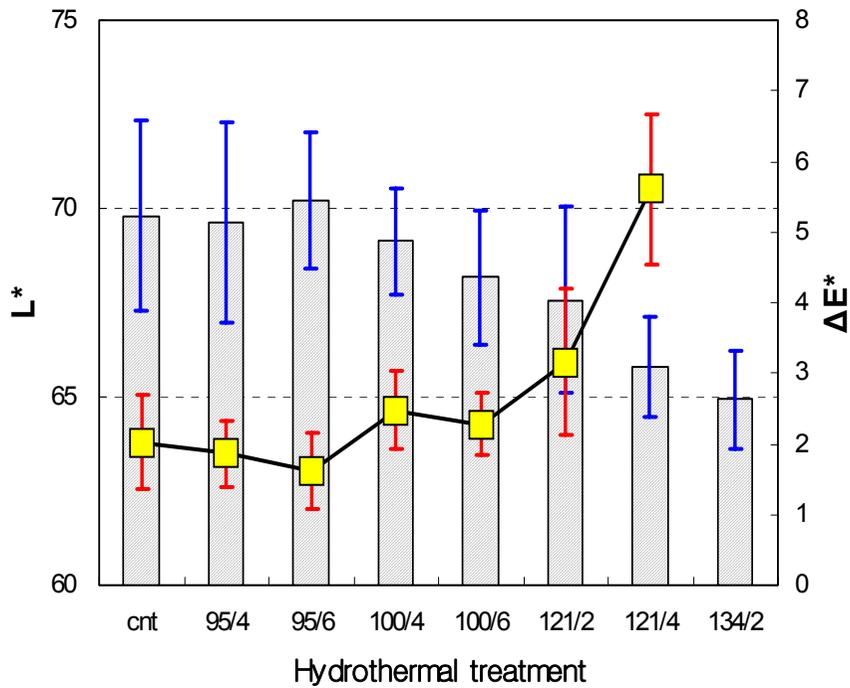


Fig. 45. 증기처리 낙엽송재의 명도(L^*)와 색차(ΔE^*) 변화

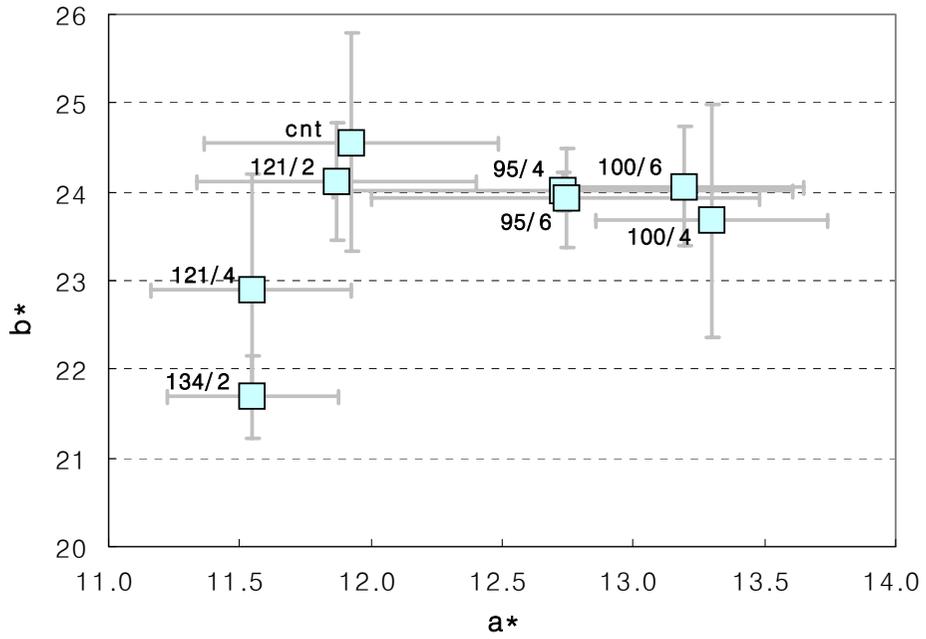


Fig. 46. 증기처리 낙엽송재의 적색도(a*)와 황색도(b*) 관계

제10절 건조방법과 증기처리에 따른 재색변화

1. 목적

여러 가지 건조방법에 따라 목재는 건조과정에서 노출되는 환경이 다르다. 이에 따라 재색이 다르게 나타난다. 고온에서 건조할수록 짙은 재색을 나타내며, MW/V건조가 고온건조보다 밝은 재색을 가진다는 보고가 있다. 본 실험에서는 5가지 건조방법으로 건조한 소나무, 잣나무, 낙엽송을 몇 가지 온도에서 증기처리하므로써 재색이 어떻게 변하는가를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

소나무는 동해임산물 유통센터에서 원목을 구입하여 두께 50mm로 판목제재하여 건조실험 장소로 가져왔다. 잣나무와 낙엽송은 경기도 가평의 한 제재소에서 벌채한지 얼마 되지 않은 직경 400-450mm의 원목을 구입하여 두께 30mm로 판목제재하였다. 모든 공시판재를 실험장소로 운반하여 실험용 건조장치에 맞게 길이 800mm로 절단하여 각 건조방법에 따라 건조하였다.

나. 건조방법

다음의 5가지 건조방법으로 800mm 시편을 처리하였다.

1) 증기건조(ST: Steam Treatment)

증습장치가 부착된 열처리장치에서 실시하였다. 내부 규격은 550(W)×550(H)×1,360(L)m³이며 온도는 350℃, 내부 압력은 3기압까지 올릴 수 있도록 설계되었다. 내부 압력이 설정 한도를 넘으면 자동으로 열리는 압력조절밸브가 상부에 설치되어 있다. 내부에 송풍기는 설치되지 않았다.

증기에 끌고루 노출되도록 공시판재사이에 잔목을 넣고 쌓은 후 문을 닫고 내부온도를 100℃에 맞추었다. 동시에 증습장치를 열어 계속적으로 분무되도록 하였다. 압력조절밸브를 0.3기압에 맞춰 내부압력이 그 이상이 되지 않도록 하였다. 증습장치는 9시간 가동 후에는 자동으로 정지하도록 만들어져 있어 매일 9시간씩 4일간 총 36시간 증기처리하였다.

2) 천연건조(AD: Air Drying)

공시판재 잔적을 쌓아 실내에서 3개월간 방치하였다. 수지제거를 위해 천연건조 후에 150℃에서 4시간 열처리하였다.

3) 관행열기건조(KD: Conventional kiln Drying)

최대온도 130℃, 최고풍속 5m/s의 고온건조기를 사용하였다. 잔적공간은 700(W)×600(H)×800(L)mm³이다. 두 단계 건조스케줄을 사용하였다. 건구온도 65.5℃, 습구온도 54.5℃에서 91시간 건조한 후에 습구온도는 그대로 두고 건구온도를 82.0℃로 높여 97시간 실시하였다. 건조 중 재간풍속은 4m/s였다.

4) 고온건조 (HD: High temperature Drying)

관행열기건조와 같은 고온건조기를 사용하였다. 건구온도 120℃, 습구온도 70℃의 한 조건에서 60시간 실시하였다.

5) 마이크로파-진공건조 (MW: Microwave-vacuum drying)

실험실용 마이크로파-진공 건조기(강, 2001)를 사용하였다. 내부 규격은 580(W)×580(H)×1,360(L)mm³이며 cavity 상부에 1.5kW, 2450MHz 마그네트론 3개가 설치되어 있다. 잔적 하부에 100kg_f load cell을 설치하여 건조 중 잔적 무게 변화를 측정하였으며 공시판재에 6개의 T-type 열전쌍을 설치하여 목재온도를 감지하였다. 내부 압력은 진공압력 400mmHg와 600mmHg 사이를 유지하였다.

공시판재는 잔목없이 쌓았으며 목재온도가 100℃를 넘지 않도록 마이크로파 조사시간을 자동 조절하였다. 건조 중 목재의 평균 온도는 97℃이었으며 총 건조시간은 268시간이었다. MW건조는 잣나무만 실시하였다.

다. autoclave 증기처리

4개의 건조방법별로 폭 10cm, 길이 20cm의 시편 12개를 절단하여 아래 처리온도와 처리시간에 따라 2개씩 배정하였다.

표 13. autoclave 증기처리 온도와 시간

처리온도	처리기압(기압)	처리시간(시)
100℃	1	4, 6
121℃	2	2, 4
134℃	3	2, 4

100℃는 대기압에서, 121℃는 2기압, 134℃는 3기압에서 autoclave 증기처리하였다. 증기처리 전후에 시편의 표면을 2mm정도 대패질하여 Hunter 색차계로 측정하였다.

3. 결과

가. 건조 후 재색 비교

건조한 후 autoclave 증기처리 전에 건조방법별 12개 시편의 평균을 비교하였다.

1) 소나무

소나무는 건조 전에 재색을 측정하지 못했기 때문에 건조방법별 색차를 계산하지 못하였다. 명도(L*)을 비교하면 AD/150과 KD는 HD와 ST보다 밝았다. 고온건조과 증기처리가 재색을 어둡게 한다는 것을 알 수 있다.

CNT에 대비한 색차(ΔE^*)는 HD와 ST가 가장 크고 그 다음은 KD, AD/150 순으로 그래프에 배열된 순서대로 증가하였다. KD와 AD/150은 10이하로 재색이 CNT와 구분된다고 할 수 없다.

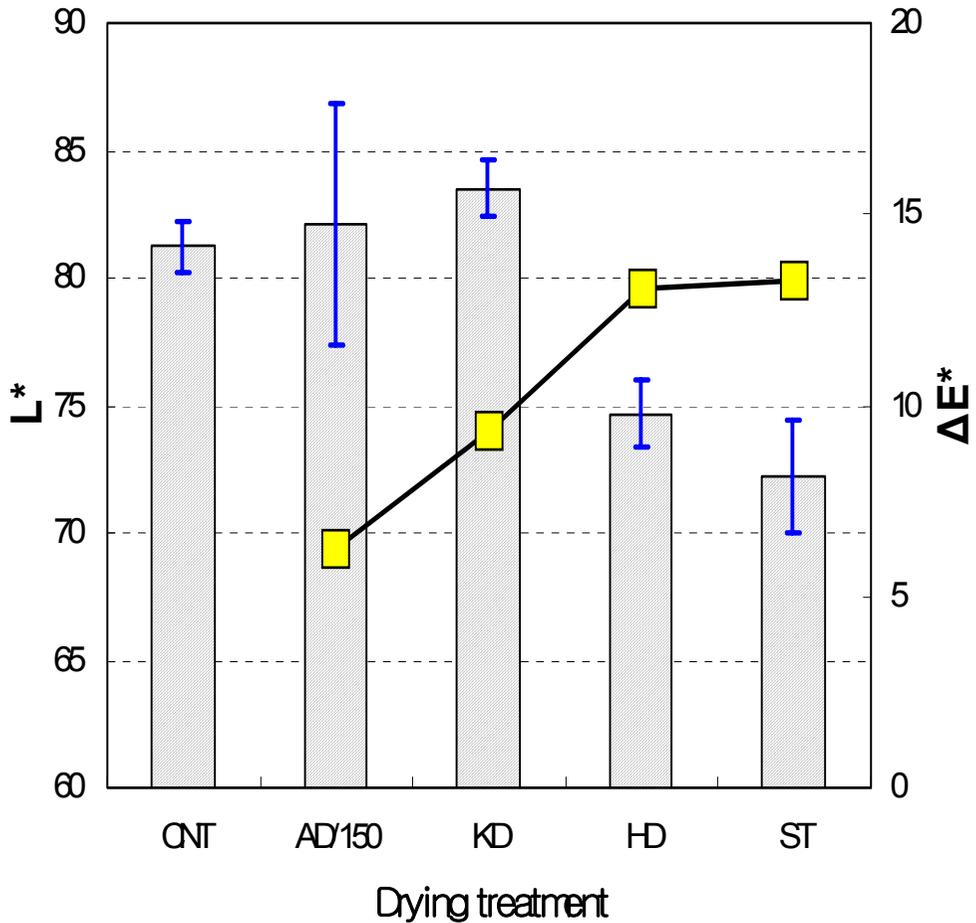


그림 47. 소나무의 명도와 색차

2) 잣나무

잣나무도 소나무와 같이 HD와 ST에서 명도가 현저히 떨어졌다. 잣나무에서만 실시한 MW도 AD/150과 KD보다 낮은 값을 나타냈다. CNT는 천연건조후에 측정된 것으로 AD/150과 비슷하여야 하나 후자의 명도가 낮은 이유는 4시간의 짧은 기간이지만 열처리를 위해 150°C에 노출된 때문으로 생각된다.

CNT에 대비한 색차(ΔE*)는 ST가 가장 크고 그 다음은 HD, MW순으로 그

래프에 배열된 순서대로 증가하였다.

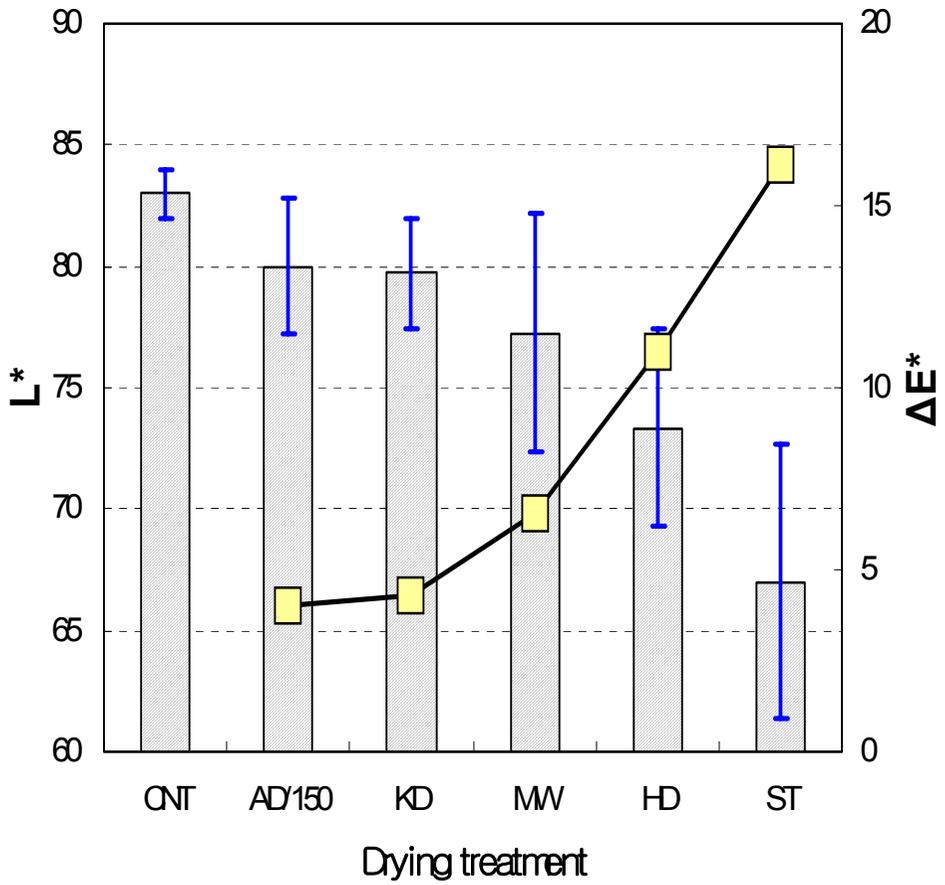


그림 48. 잣나무의 명도와 색차

3) 낙엽송

낙엽송은 소나무, 낙엽송과 달리 건조방법에 따른 명도 차이가 그리 심하지 않았다. CNT와 ST의 차이가 약 7.1로 잣나무 16.0의 절반도 되지 않는다. 최대 색차로 7.5로 재색 차이를 보이는 9.0보다 작으므로 여기서 사용한 건조방법에 의해 재색이 변한다고 할 수 없다.

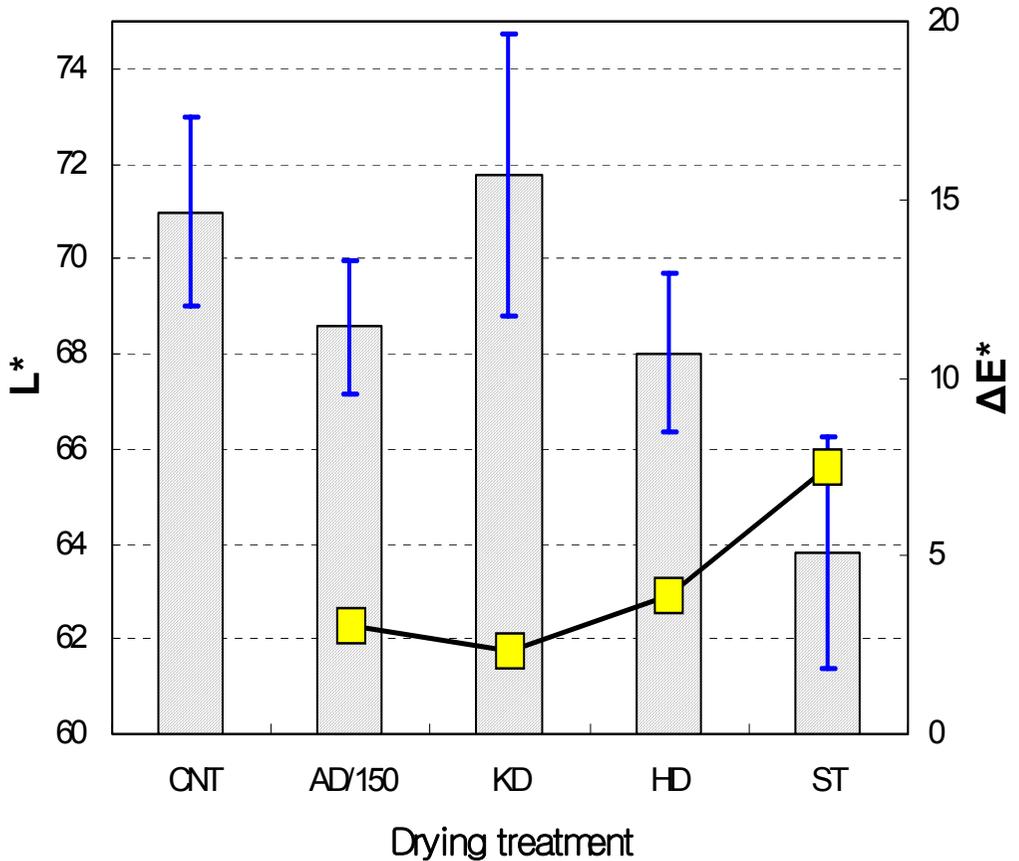


그림 49. 낙엽송의 명도와 색차

4) 수종간 비교

가) 무처리

소나무와 잣나무는 명도와 적색도가 비슷하고 황색도는 잣나무가 약간 높다. 잣나무와 낙엽송의 명도(L*)과 적색도(a*)는 차이가 크나 황색도(b*)는 비슷한 값을 나타냈다.

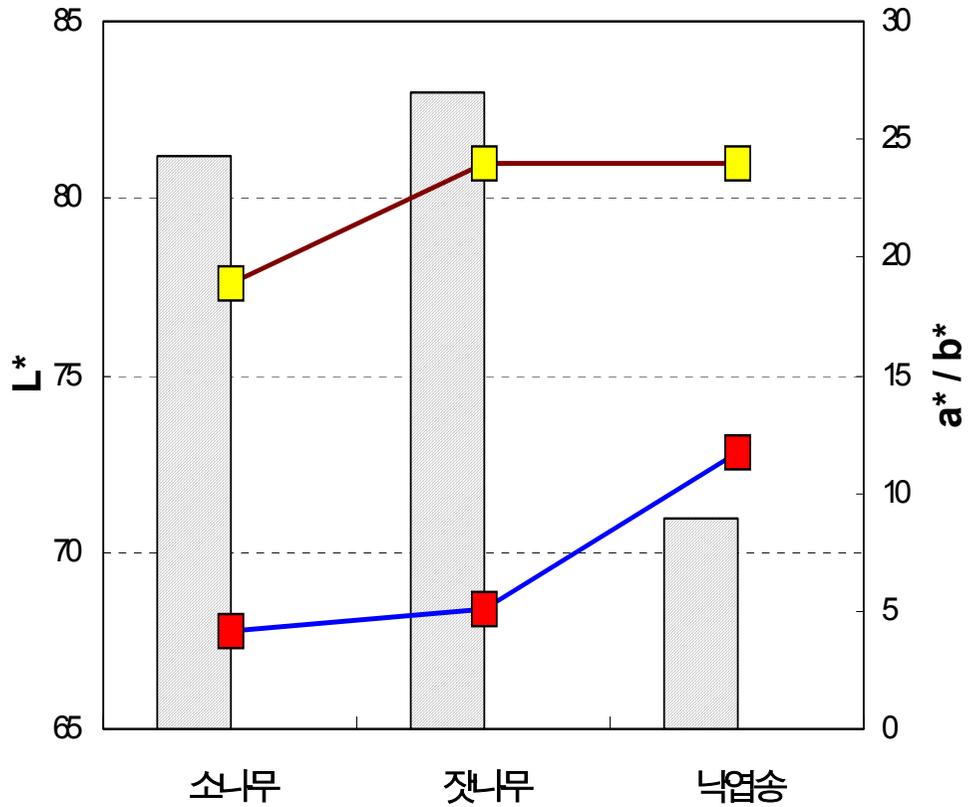


그림 50. 무처리 소나무, 잣나무, 낙엽송의 명도, 적색도, 황색도

나) AD/150

소나무와 잣나무의 명도, 적색도, 황색도는 비슷하나 낙엽송은 이들과 비교해서 명도가 매우 낮으며 적색도가 높다. 그에 반해 황색도는 비슷하다. 이들의 관계는 무처리와 비슷하다.

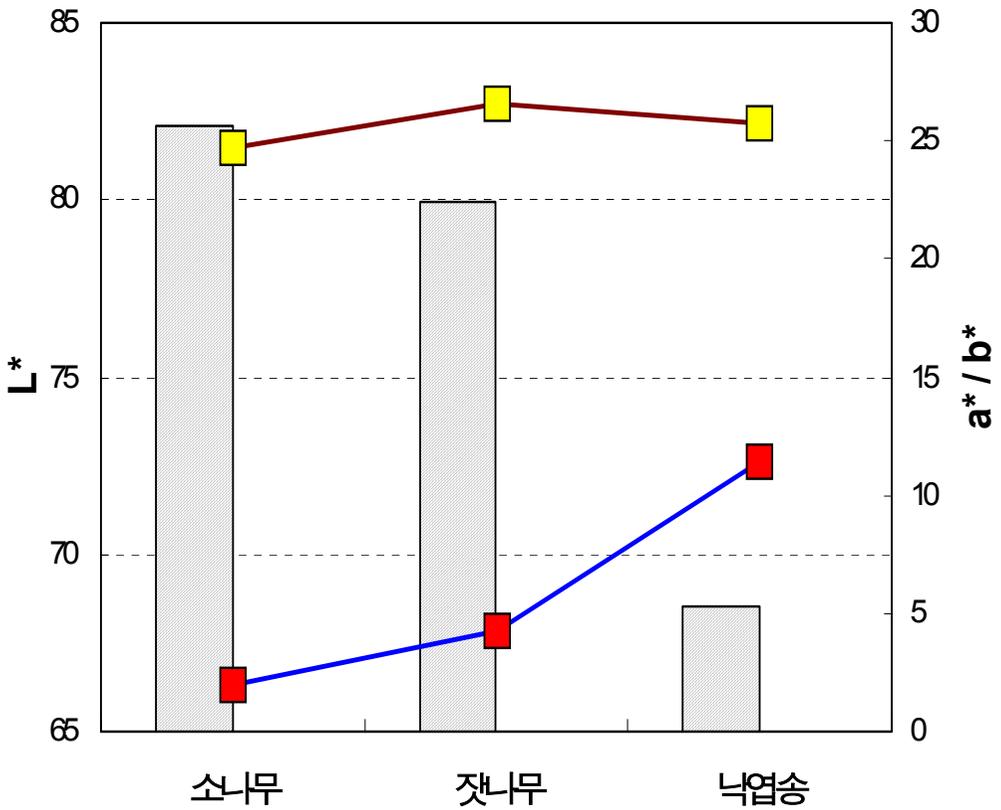


그림 51. 천연건조 소나무, 잣나무 낙엽송의 명도, 적색도, 황색도

다) 열기건조

열기건조 후에 잣나무의 명도와 황색도는 소나무에 비해 약간 떨어지고 적색도는 약간 증가하였다. 낙엽송은 소나무와 잣나무에 비해 명도가 낮고, 적색도가 높은 것은 무치리와 비슷하나, 무치리 보다 황색도가 더 떨어졌다.

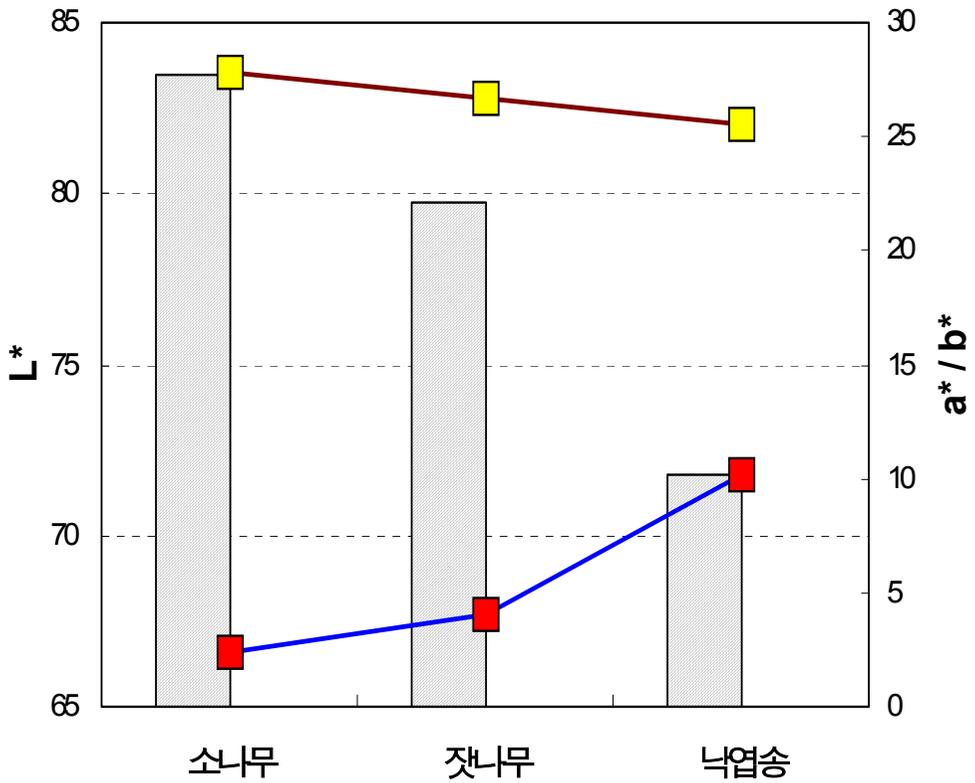


그림 52. 열기건조 소나무, 잣나무 낙엽송의 명도, 적색도, 황색도

라) 고온건조

고온건조 후에 소나무와 잣나무의 명도, 적색도, 황색도는 열기처리보다 더 비슷해졌으나 낙엽송은 이들과 더 현저한 차이를 보였다. 특히 낙엽송의 황색도가 두 수종보다 훨씬 낮았다.

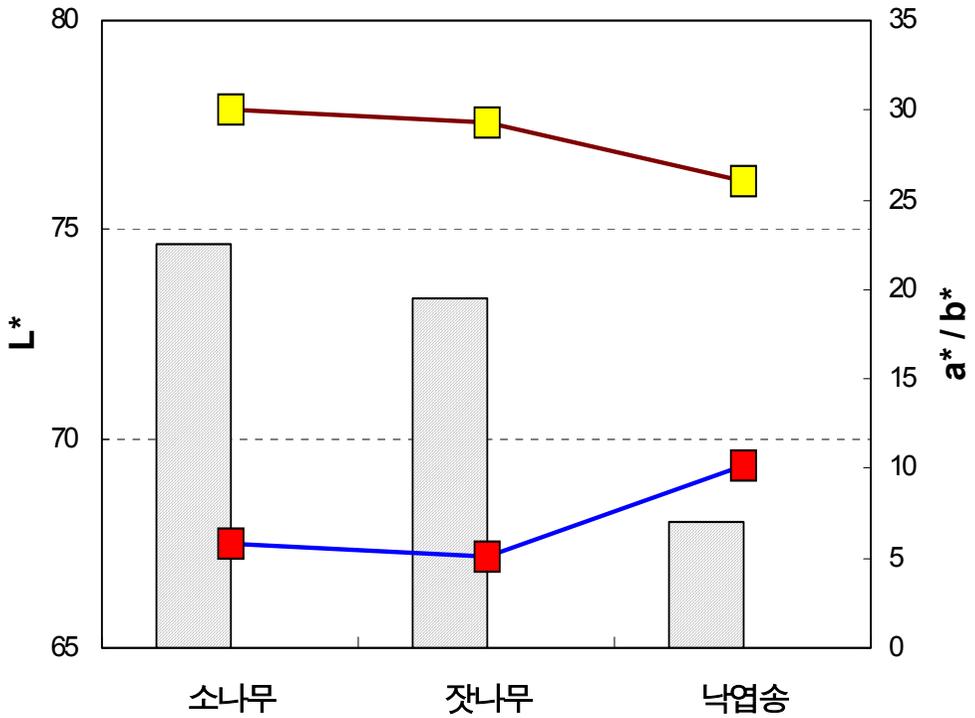


그림 53. 고온건조 소나무, 잣나무 낙엽송의 명도, 적색도, 황색도

마) 증기건조

증기처리된 잣나무의 명도와 황색도를 소나무보다 현저히 낮추어서 소나무와 낙엽송의 중간 값을 갖게 만들었다.

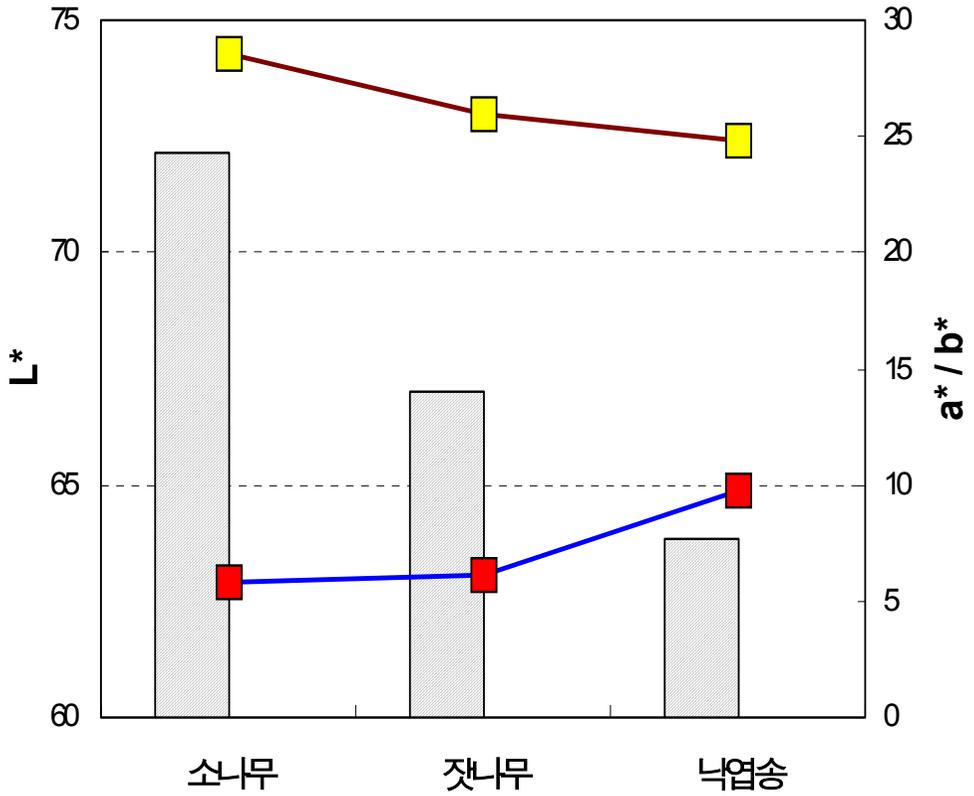


그림 54. 증기건조 소나무, 잣나무 낙엽송의 명도, 적색도, 황색도

나. autoclave 증기처리 후 재색 비교

건조목을 autoclave 증기처리한 후에 재색을 비교하였다.

1) 소나무

100℃에서는 4시간과 6시간의 차이가 거의 없으나 온도가 증가함에 따라 색차가 커졌다. 건조처리 중 AD/150의 색차가 가장 크게 증가했으며 ST가 가장 적게 증가하였다. autoclave 증기처리 전 AD/150 재색이 가장 밝았으며 ST가 가장 어두웠던 것이 원인으로 생각된다.

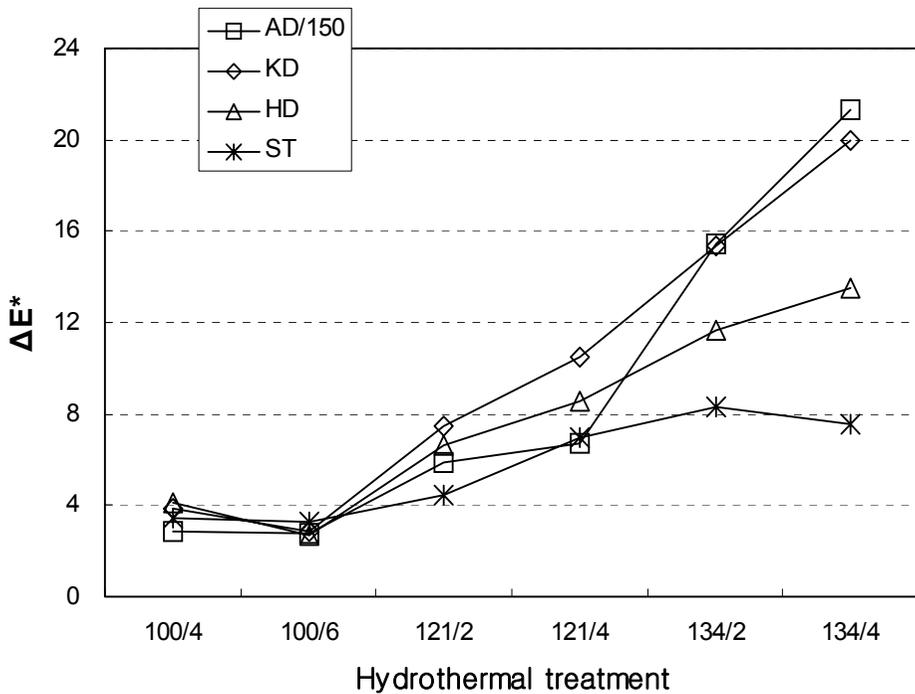


그림 55. 소나무의 autoclave 증기처리 온도와 시간에 따른 색차

그러나 autoclave 134℃/4시간 처리 후 색상은 아래 그림과 같다. HD 명도가 약간 낮을 것을 빼곤 모든 건조재의 명도, 적색도, 황색도가 거의 같아졌다.

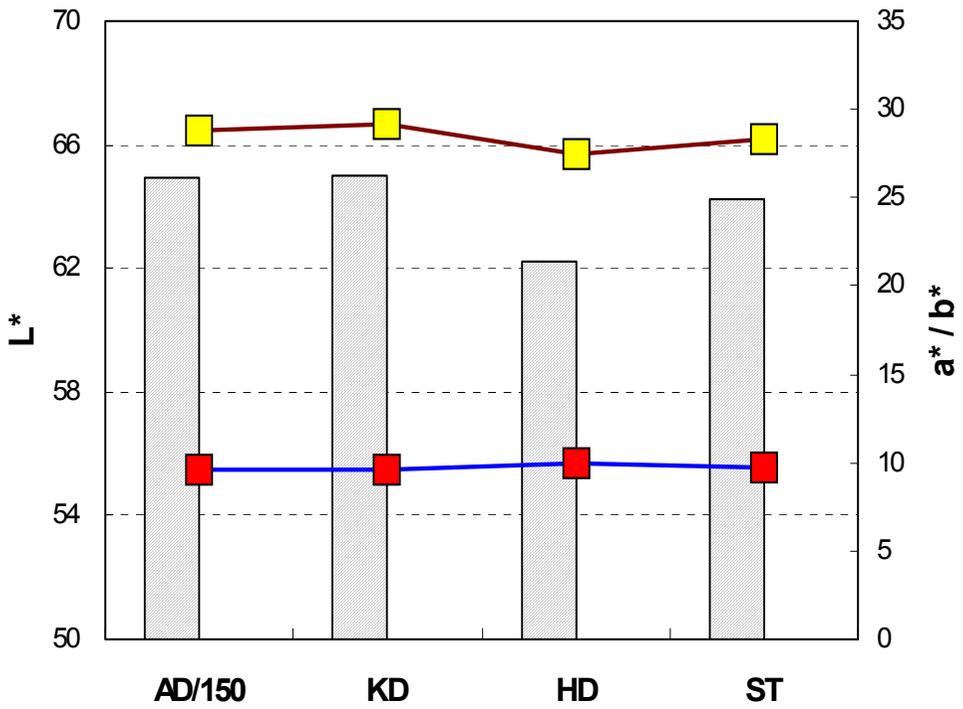


그림 56. 소나무의 autoclave 증기처리 온도와 시간에 따른 명도, 적색도, 황색도

2) 잣나무

소나무와 마찬가지로 100℃에서는 시간에 상관없이 색차변화가 거의 없었다. autoclave 증기처리에 의해 ST 색차 변화는 적으나 AD/150와 KD의 변화는 크게 나타났다.

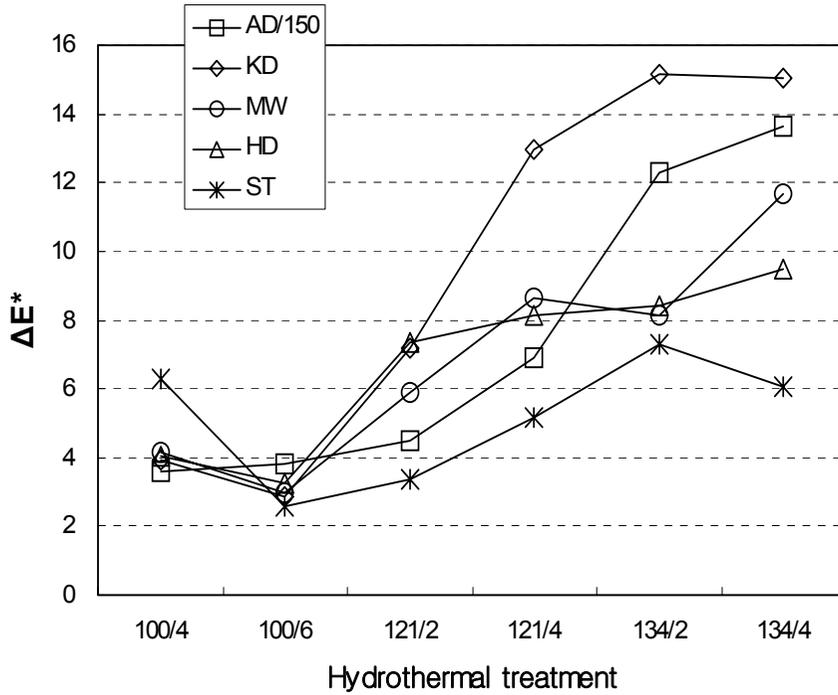


그림 57. 잣나무의 autoclave 증기처리 온도와 시간에 따른 색차

autoclave 134℃/4시간 처리 후 색상은 아래 그림과 같다. 적색도와 황색도는 모든 건조재가 거의 같은 값을 나타냈다. 다만 명도에 있어 AD/150이 타 건조재에 비해 높은 것이 특이한 점이다. 잣나무에서도 HD 명도는 다른 것보다 낮았다.

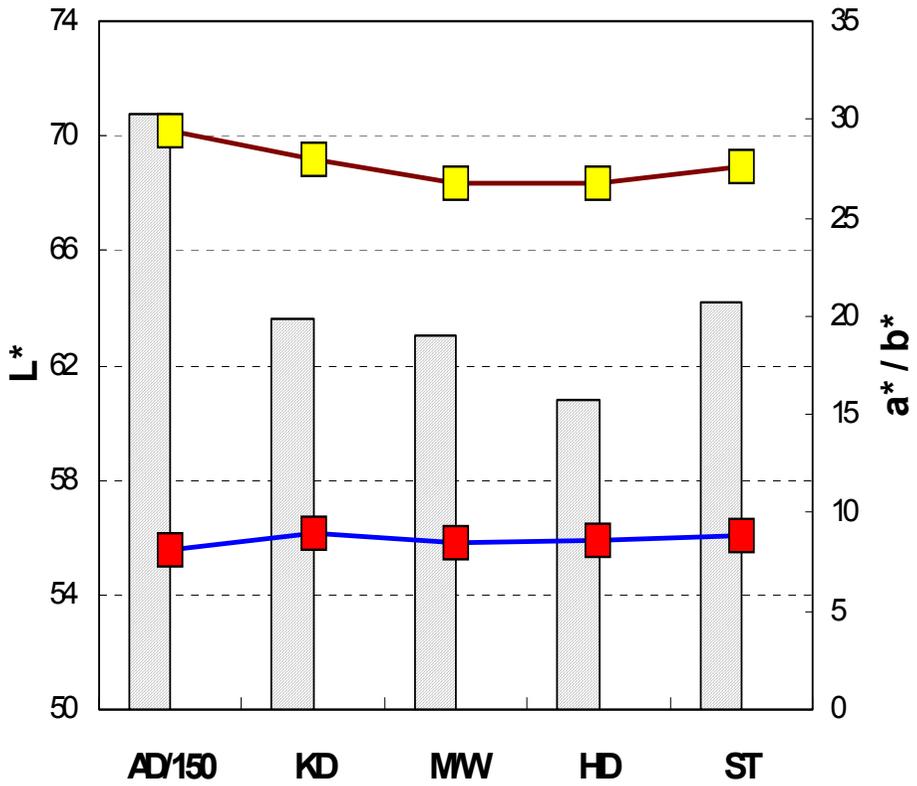


그림 58. 잣나무의 autoclave 증기처리 온도와 시간에 따른 명도, 적색도, 황색도

3) 낙엽송

ST 색차 변화는 거의 없었으며 다른 건조재는 온도 증가에 따라 색차도 증가하였으나 최고값이 9.0 정도로 재색변화가 있다고 보기 힘들다. 낙엽송 재색은 원래 붉은데 건조에 의해 더욱 짙어졌기 때문에 autoclave 증기처리에 의해 더 이상의 변화가 나타나지 않는 것으로 볼 수 있다.

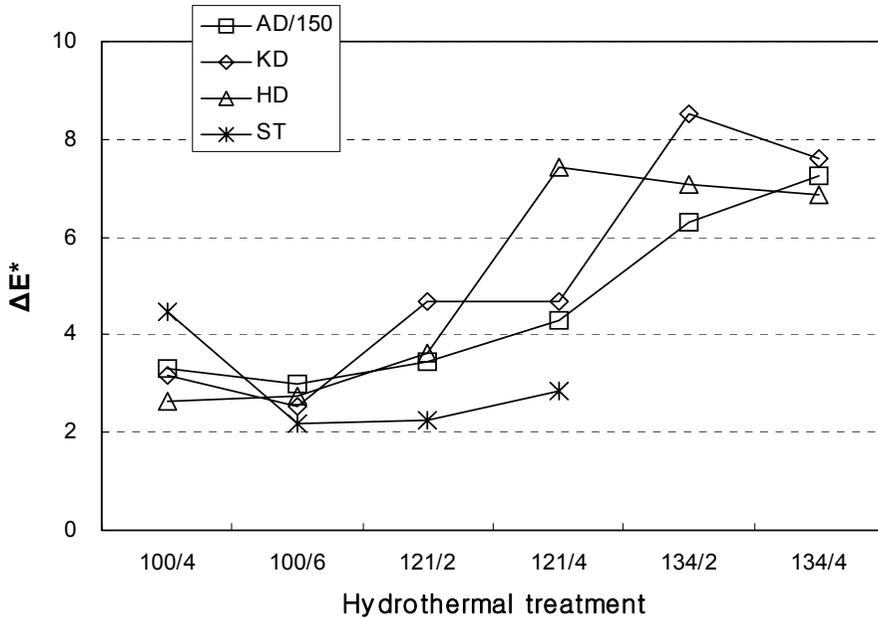


그림 59. 낙엽송의 autoclave 증기처리 온도와 시간에 따른 색차

autoclave 134°C/4시간 처리 후 색상은 아래 그림과 같다. ST 134°C/4시간 시편은 분실되어 134°C/2시간 데이터를 넣어 비교하였다. 적색도와 황색도는 모든 건조재가 거의 같은 값을 나타냈으나 ST 황색도만 타 건조재에 비해 낮았다. 건조방법에 따라 명도 차이를 보이나 그 차이는 그리 크지 않아. 여기서도 HD 명도는 다른 것보다 낮았다.

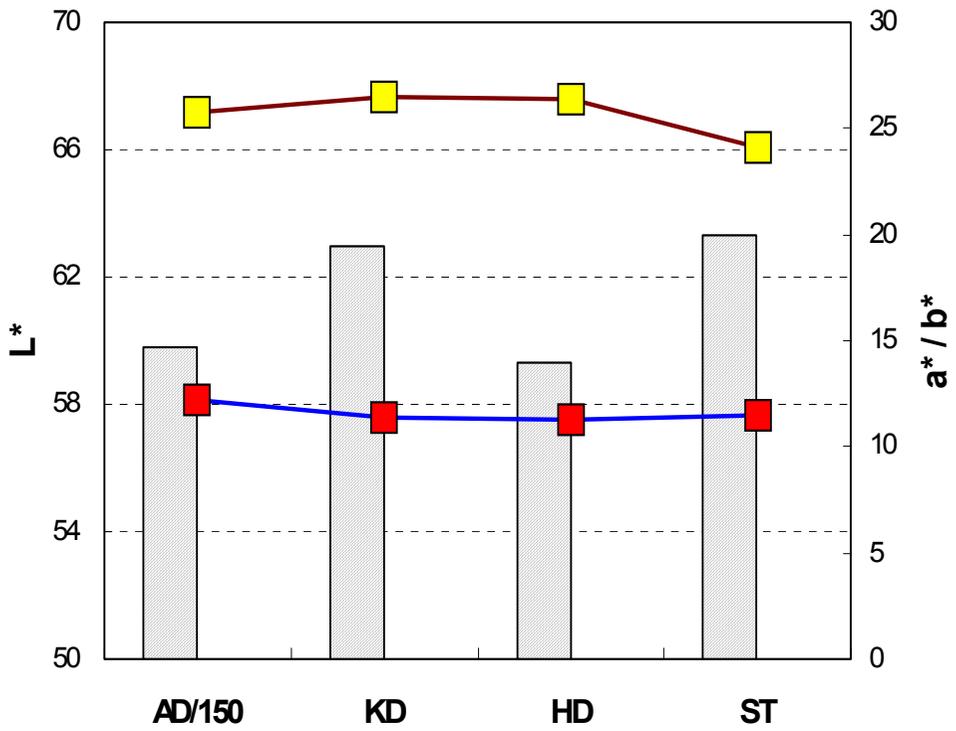


그림 60. 낙엽송의 autoclave 증기처리 온도와 시간에 따른 명도, 적색도, 황색도

제11절 야외폭로 건조목의 재색변화

1. 서론

야외에 노출된 목재는 실내에 있는 목재에 비해 자외선과 비에 의해 더욱 심하게 열화한다. 자외선은 세포벽내 리그닌을 광화학작용으로 분해하므로써 셀룰로오스 사이에서 접착제 역할을 하고 있는 리그닌이 쉽게 물에 씻겨나가도록 한다. 따라서 목재표면은 셀룰로오스만 남게되어 흡습성이 증가한다(Kalnins and Feist, 1993).

Yata 등(1995)은 야외폭로한 편백 통나무 표면을 관찰하여 할열 진행과정을 조사하였다. 야외폭로 초기에 발생하는 작은 할열은 500nm 이하 자외선과 비의 상호작용에 의해 생기는 것으로 수선조직에서 시작되는데 점차 표면세포의 collapse에 의해 벌어지는 것을 발견하였다. 6개월 후에 광분해지역은 깊이 0.2mm까지 회색으로 변하며 그 후에는 더 발전하지 않았으며 회색부위 아래 0.5mm 두께의 갈색부위는 회색과 구분되게 뚜렷이 나타났다고 보고하였다.

Hon과 Feist(1986)는 red oak, yellow poplar, sweetgum, white oak의 51×51×19mm³시편을 야외폭로시험과 220과 254nm 이상 파장의 UV조사시험을 수행하였다. 두 방법 모두 변색과 명도손실이 일어났는데 white oak 와 sweetgum이 red oak 와 yellow poplar 보다 느리게 일어났다. 태양광 아래서는 30일만에, UV에서는 500시간만에 표면손상이 일어나 중간층 손실, 평복세포(procumbent cell)의 분리, 벽공손상이 횡단면에서 발견되었다고 발표하였다. 또 ESCA로 표면을 조사하여 야외폭로목재나 UV조사 목재의 표면에 산소 양이 많음을 발견하고 이는 표면이 많이 산화되었기 때문으로 설명하였다. IR spectroscopy 조사로 산화된 표면에는 리그닌 손실이 많고 carbonyl, carboxylic acid, quinone 등 새로운 chromophoric groups이 생겨났음을 밝혔다.

표면열화를 방지하기 위해 무수초산, methyl methacrylate (MMA) 처리 등을 하는데 Feist 등(1991)의 실험에 의하면 중량증가율 18% 무수초산처리 포플라는 흡수속도와 팽윤율은 매우 감소하였으나 MMA처리재는 흡수속도만 약간 감소하였을 뿐 팽윤율은 감소하지 않았다. 한편 무수초산과 MMA 병행 처리재는 팽창속도와 팽창율이 감소하였으며 마모율도 85%나 줄었다고

보고하였다. 특히 무수초산처리는 리그닌 손실은 약간 줄이나 헤미셀룰로오스(xylans)의 손실을 많이 줄이는 것으로 밝혀졌다.

2. 목적

본 연구에서는 여러 가지 건조방법으로 건조한 소나무, 잣나무, 낙엽송을 야외폭로 시켜 재색이 시간에 따라 어떻게 변하는지를 조사하였다.

3. 재료 및 방법

가. 공시재료

소나무는 동해임산물 유통센터에서 원목을 구입하여 두께 50mm로 판목제재하여 건조실험 장소로 가져왔다. 잣나무와 낙엽송은 경기도 가평의 한 제재소에서 벌채한지 얼마 되지 않은 직경 400-450mm의 원목을 구입하여 두께 30mm로 판목제재하였다. 모든 공시판재를 실험장소로 운반하여 실험용 건조장치에 맞게 길이 800mm로 절단하여 각 건조방법에 따라 건조하였다.

나. 건조방법

다음의 5가지 건조방법으로 800mm 시편을 처리하였다.

1) 실내 천연건조

실내에 20mm 잔목을 이용하여 잔적을 만들어 6개월 이상 방치하였다.

2) 실외 천연건조

건물 옥상에 천막으로 지붕을 만들고 사방이 트여 있는 장소에 20mm 잔목을 이용하여 잔적을 만들어 6개월 이상 천연건조하였다.

3) 증기건조(ST: Steam Treatment)

증습장치가 부착된 열처리장치에서 실시하였다. 내부 규격은 550(W)×550(H)×1,360(L)m³이며 온도는 350℃, 내부 압력은 3기압까지 올릴 수 있도록 설계되었다. 내부 압력이 설정 한도를 넘으면 자동으로 열리는 압력조절밸브가 상부에 설치되어 있다. 내부에 송풍기는 설치되지 않았다.

증기에 골고루 노출되도록 공시판재사이에 잔목을 넣고 쌓은 후 문을 닫고

내부온도를 100℃에 맞추었다. 동시에 증습장치를 열어 계속적으로 분무되도록 하였다. 압력조절밸브를 0.3기압에 맞춰 내부압력이 그 이상이 되지 않도록 하였다. 증습장치는 9시간 가동 후에는 자동으로 정지하도록 만들어져 있어 매일 9시간씩 4일간 총 36시간 증기처리하였다.

4) 관행열기건조(KD: Conventional kiln Drying)

최대온도 130℃, 최고풍속 5m/s의 고온건조기를 사용하였다. 잔적공간은 700(W)×600(H)×800(L)mm³이다. 두 단계 건조스케줄을 사용하였다. 건구온도 65.5℃, 습구온도 54.5℃에서 91시간 건조한 후에 습구온도는 그대로 두고 건구온도를 82.0℃로 높여 97시간 실시하였다. 건조 중 재간풍속은 4m/s였다.

5) 고온건조 (HD: High temperature Drying)

관행열기건조와 같은 고온건조기를 사용하였다. 건구온도 120℃, 습구온도 70℃의 한 조건에서 60시간 실시하였다.

다. 야외폭로

건조 방법 별 시편을 폭 10cm, 길이 20cm로 만들어 건물 옥상에 1월 19일 설치하여 5월 13일까지 144일간 햇볕에 폭로시켰다(그림 555). 지붕이 없어 비를 맞았기 때문에 비온 후 며칠 동안은 재색을 측정하지 않았다.

MW건조시편은 2월 17일부터 폭로하였기 때문에 폭로기간은 총 85일이었다.



그림 61. 시편의 야외폭로 모습

4. 결과

가. 소나무

AD, KD의 명도는 처음부터 ST, HD와 차별을 보였으며 마지막까지 차이를 나타냈다. 늦게 폭로된 MW도 전자를 따라 후자보다 높은 명도를 나타냈다. 건조방법에 따라 야외폭로에 의한 명도도 다르게 나타남을 알 수 있다.

적색도는 폭로 초기에 증감을 반복하였으나 결국엔 감소하여 모든 건조목이 비슷한 값으로 모아졌다. 하지만 초기와 마지막의 적색도가 거의 비슷한 수치를 나타냈다. 초기 값이 매우 적었기 때문일 수도 있다.

황색도는 폭로 초기 약 30일동안 증가하다가 그 후엔 감소하여 모든 건조목이 비슷한 값으로 모아졌다.

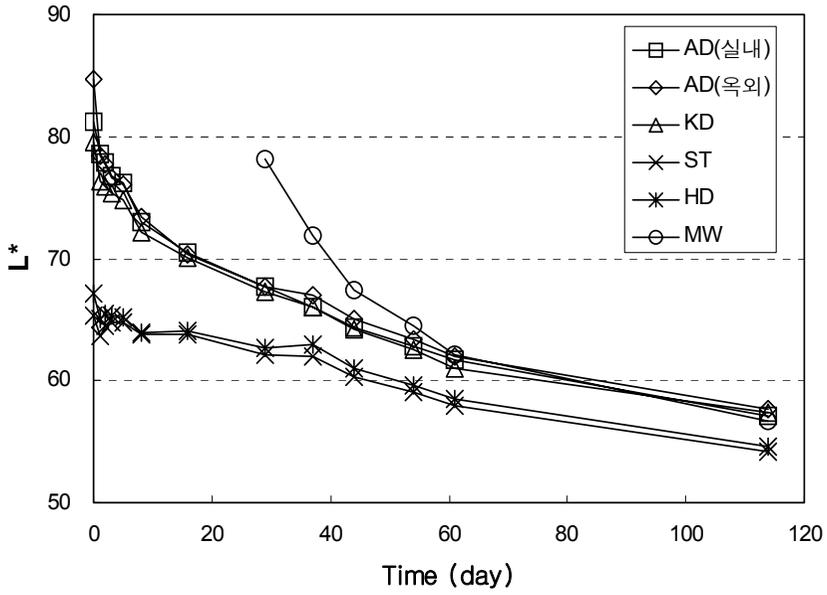


그림 62. 소나무 건조재의 명도

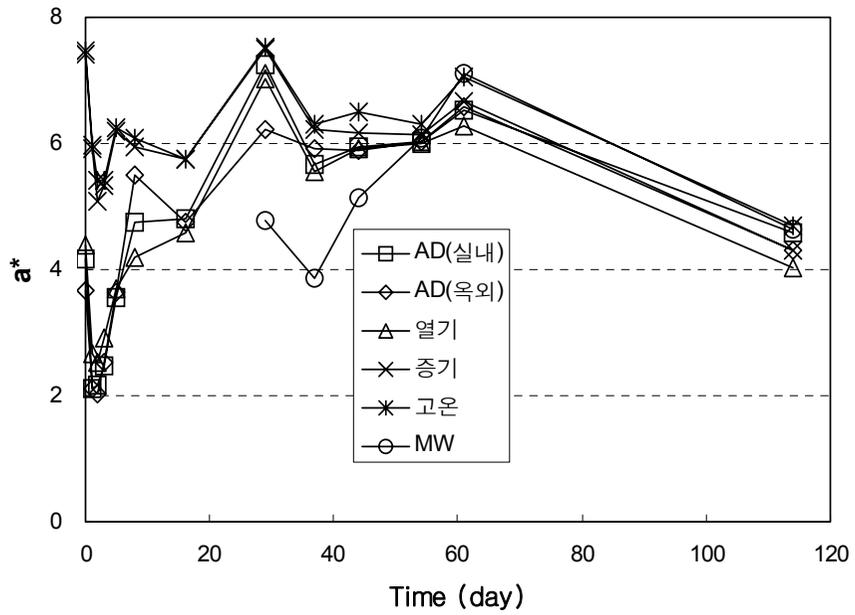


그림 63. 소나무 건조재의 적색도

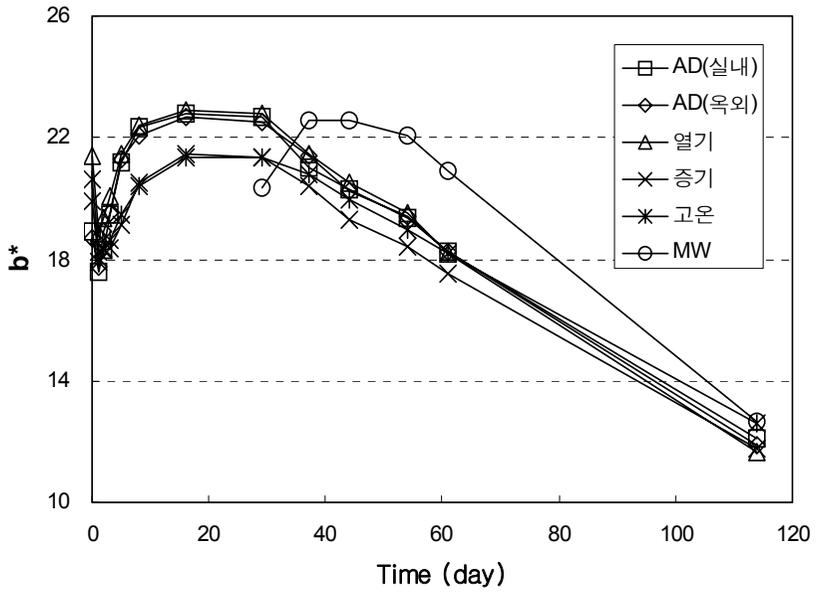


그림 64. 소나무 건조제의 황색도

나. 잣나무

잣나무의 명도는 초기에는 건조 방법에 따라 차이를 나타냈으나 점차 감소하여 종국엔 비슷한 값으로 모아졌다. 소나무가 건조방법에 따라 약간 차이를 나타낸 것과는 달랐다.

잣나무 적색도와 황색도의 변화는 소나무와 비슷하였다.

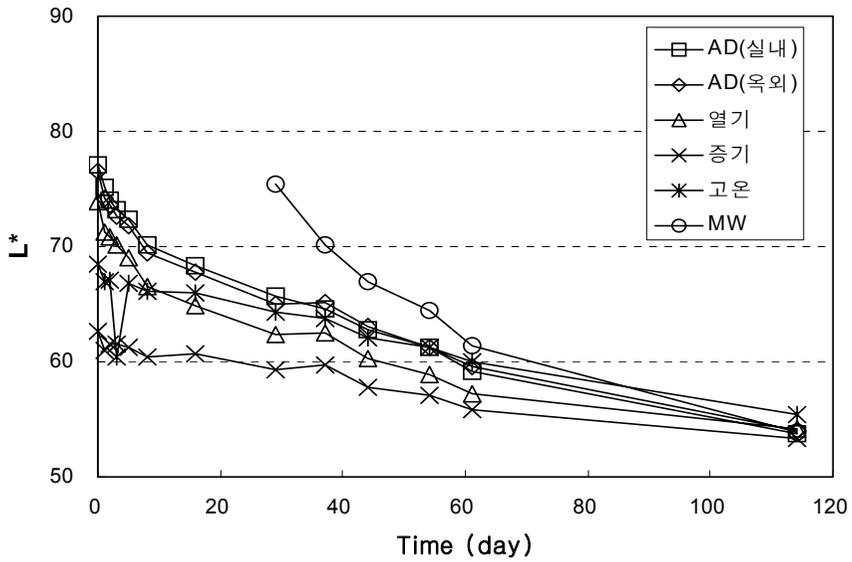


그림 65. 잣나무 건조재의 명도

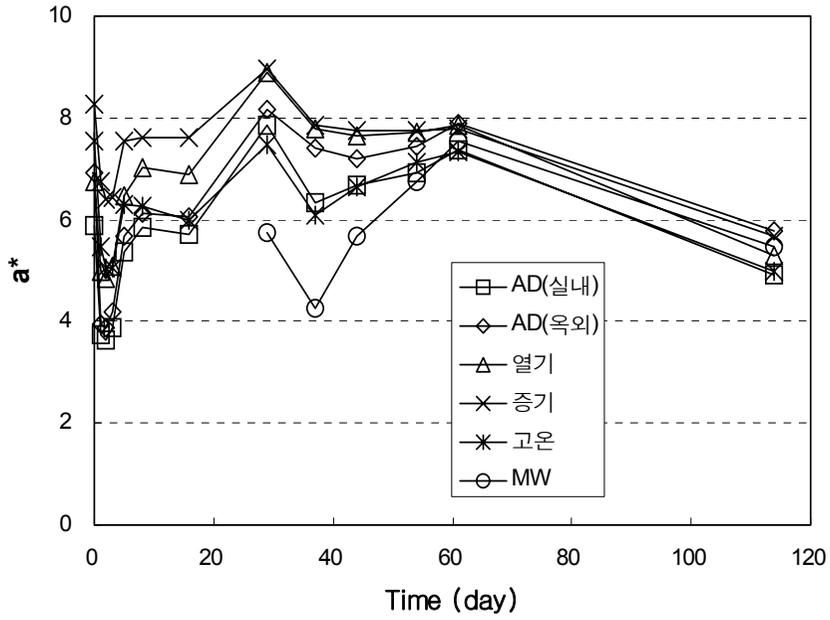


그림 66. 잣나무 건조재의 적색도

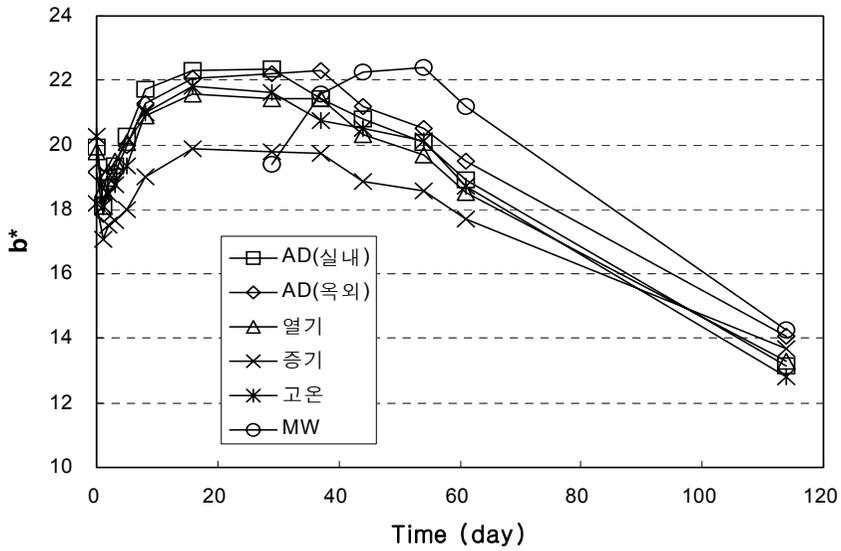


그림 67. 잣나무 건조재의 황색도

다. 낙엽송

최종 명도는 건조방법 간 약간의 차이를 보였다. AD, KD, MW가 한 그룹을 이루었으며 ST, HD가 다른 그룹을 이루었다. 소나무와 마찬가지로 건조 온도에 따라 구별된 것으로 생각된다.

적색도는 초기에 증가하였다가 마지막에는 감소하여 초기보다 낮은 값은 나타냈다. 이는 낙엽송의 재면이 약간 붉은 색을 띠고 있기 때문에 폭로에 의해 퇴색되어 초기보다 낮아진 것으로 생각된다.

황색도도 소나무, 잣나무와 달리 초기 상승 국면이 보이지 않는다. 40일 정도까지 초기 값을 유지하다가 점차 감소하였다.

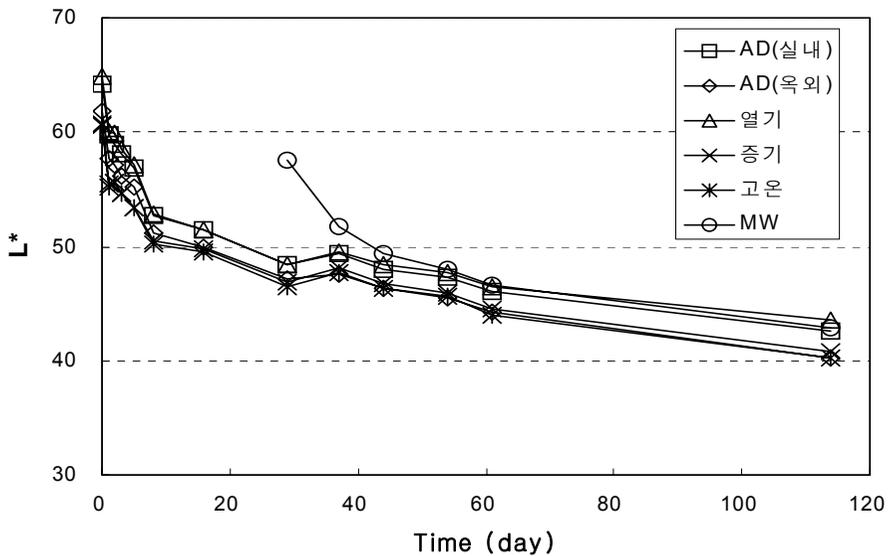


그림 68. 낙엽송 건조제의 명도

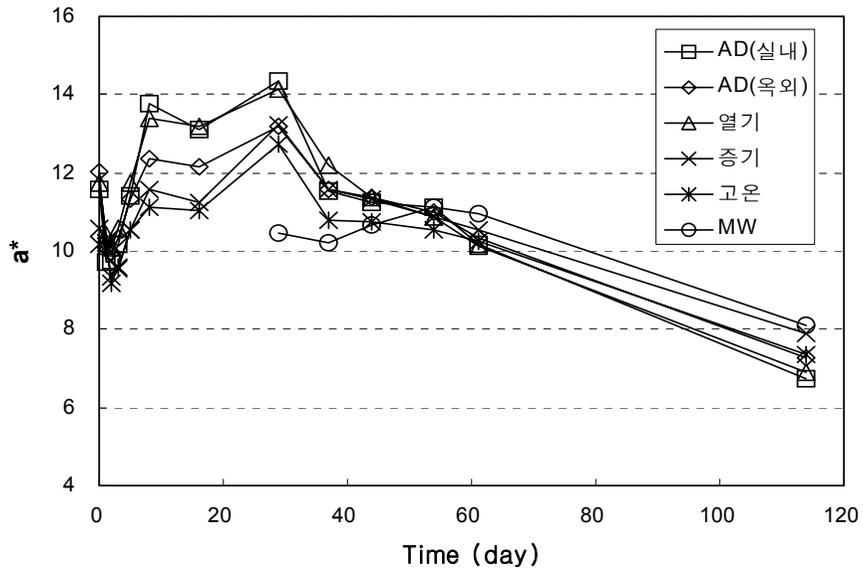


그림 69. 낙엽송 건조재의 적색도

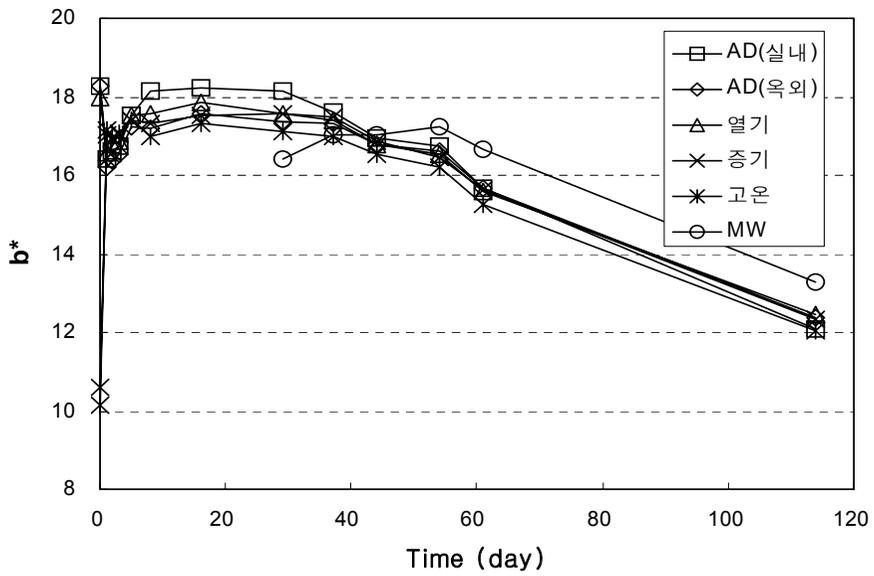


그림 70. 낙엽송 건조재의 황색도

제12절 220℃ 열처리재의 재색변화

1. 목적

지금까지 연구 결과 220℃ 열처리에 의해 목재의 색상이 변한다는 것을 알게 되었다. 처리시간을 변화시키면서 재색변화를 조사하였다. 색상측정은 표면을 수압대패로 깎은 후에 Hunter 색차계로 잰다.

2. 결과

가. 소나무

220℃ 조건에서 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다.



그림 71. 220℃ 열처리 소나무. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 처리시간에 따라 명도와 적색도는 꾸준히 감소하거나 증가하는데 황색도는 증가하다가 감소하였다. 무처리와 비교한 색차는 8시간부터 15를 넘게 되므로 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.

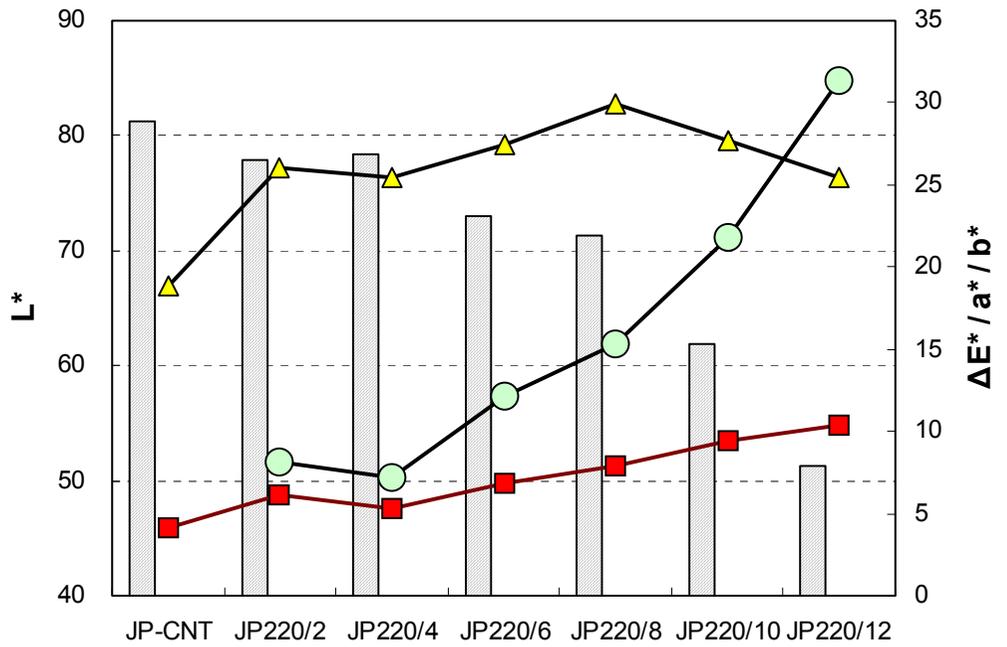


그림 72. 220°C 열처리 소나무의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

나. 잣나무

220°C 조건에서 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다.



그림 73. 220°C 열처리 잣나무. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 소나무와 달리 잣나무의 황색도는 적색도와 함께 꾸준히 증가하였다. 무처리와 비교한 색차는 8시간부터 15를 넘게 되므로 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.

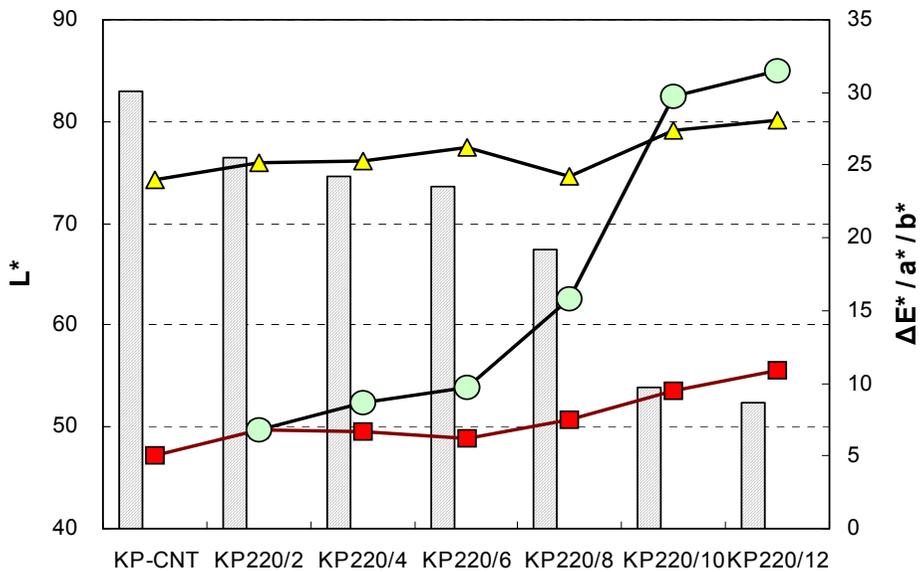


그림 74. 220°C 열처리 잣나무의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

나. 낙엽송

220℃조건에서 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다.



그림 75. 220℃열처리 낙엽송. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 8시간까지 명도, 적색도, 황색도가 모두 큰 차이가 없다. 그러나 10시간 이후에는 모든 지표가 변하였다. 무처리와 비교한 색차는 8시간부터 15를 넘게 되므로 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.

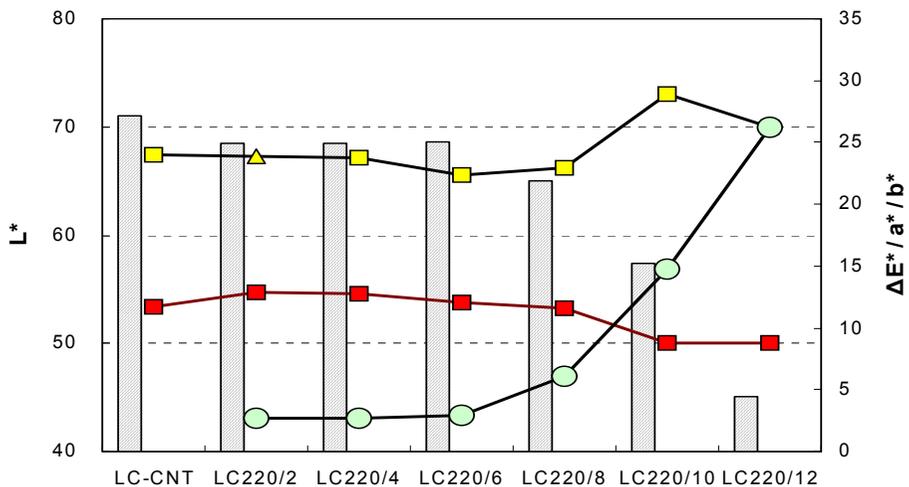


그림 76. 220℃열처리 낙엽송의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

나. 자작나무

220℃조건에서 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다. 시간에 따라 재색의 큰 차이가 없어 보이는데 이는 잔목을 사용하지 않았기 때문에 공기유통이 원활하지 않았기 때문으로 생각된다.



그림 77. 220℃열처리 자작나무. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 적색도와 황색도가 시간에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 자작은 무처리때 밝은색을 띠고 있기 때문에 2시간 열처리 후에도 명도의 감소가 나타났다. 명도는 비교적 꾸준히 감소함을 보였다. 무처리와 비교한 색차는 10시간 이후부터 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.

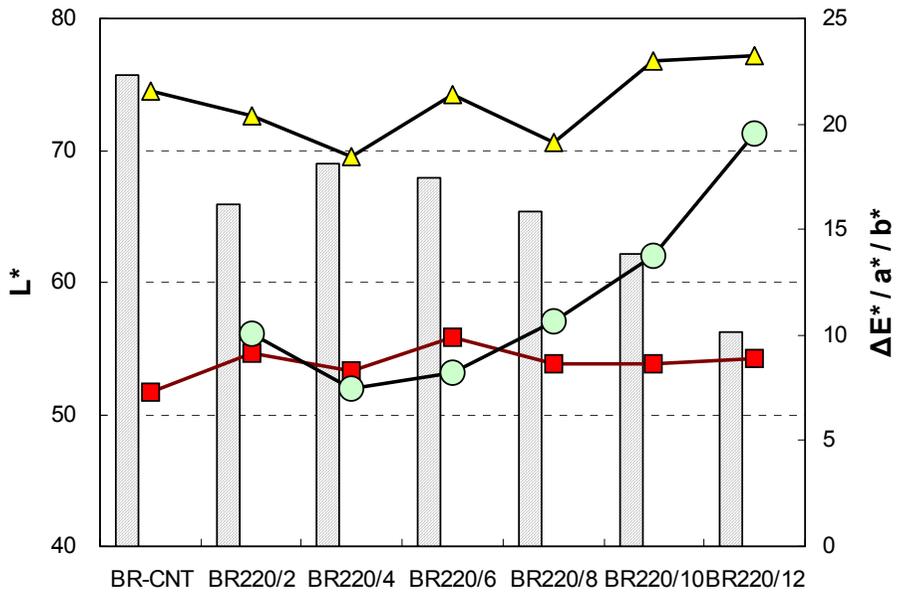


그림 78. 220°C 열처리 자작나무의 채색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

나. 플라타너스와 자작나무의 160/23

220℃조건과 비교하기 위해 플라타너스와 자작나무를 160℃에서 23시간 열처리한 시편의 채색은 아래 사진과 같다. 이때는 잔목을 사용하여 공기유통을 좋게 하였기 때문에 220℃에서 10시간 열처리한 자작나무 시편의 명도가 32.68까지 떨어졌다. 사진으로도 분명히 식별이 가능하다.

160℃시편의 채색은 그리 크게 변하지 않았다. 따라서 처리시간보다 처리온도가 채색변화에 미치는 영향이 더 큼을 알 수 있다.

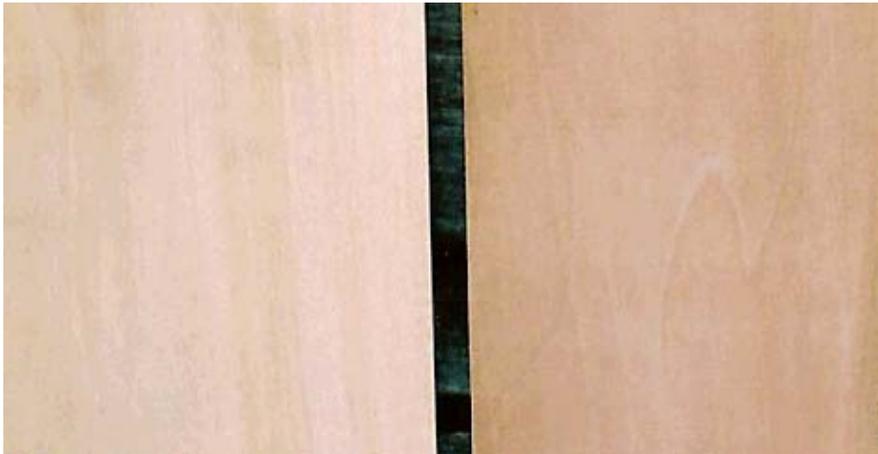


그림 79. 열처리 플라타너스. 왼쪽은 무처리, 오른쪽은 160/23



그림 80. 열처리 자작나무. 왼쪽부터 무처리, 160/23, 220/10

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 플라타너스의 적색도가 열처리에 의해 증가한데 반해 자작나무는 변화가 없었다. 한편 플라타너스의 황색도가 변화없는데 반해 자작나무의 황색도는 급격히 감소하였다. 적색도와 황색도는 수종과 시편에 따라 차이를 많이 보인다.

이번 실험에 나타난 220℃ 10시간의 재색변화는 색차 값이 45에 가까울 정도로 큰 재색변화를 보였다.

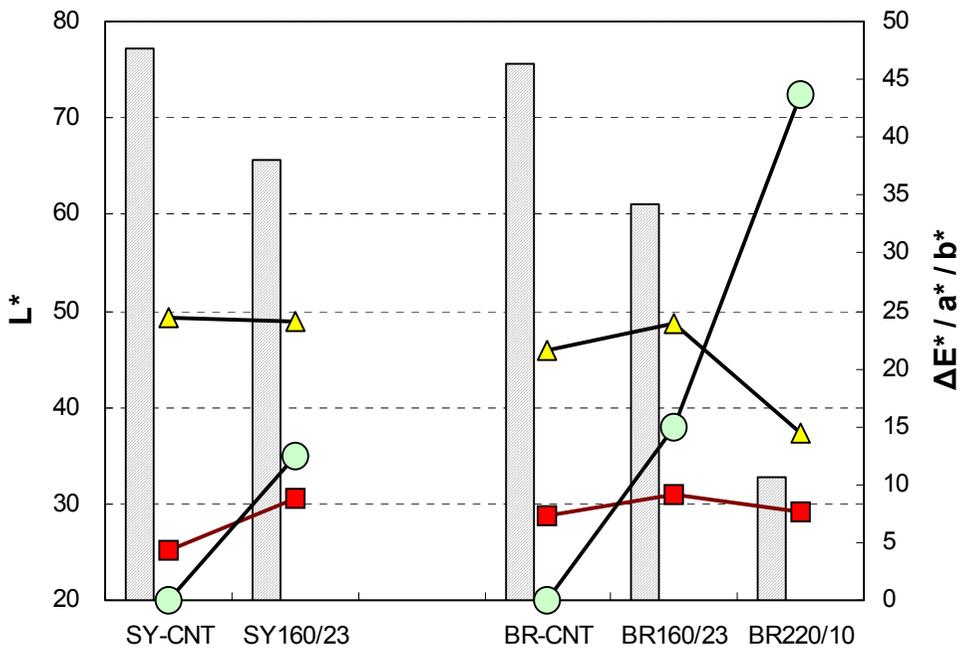


그림 81. 열처리 플라타너스와 자작나무의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

제13절 220℃ 열처리재의 치수안정화 실험

1. 목적

고온에 노출된 목재는 흡착점을 잃기 때문에 평형함수율이 낮아지고 따라서 치수안정화가 높아진다. 220℃ 열처리 목재의 치수안정화 정도를 측정하기 위해 여러 상대습도 조건에서 평형함수율을 측정하여 흡착등온곡선을 구하였다.

2. 재료 및 방법

열처리 800mm 시편의 중간에서 6mm시편을 6개씩 떼어냈다. 20℃에서 여러 가지 상대습도를 맞추기 위해 아래 표의 염용액을 사용하였다. 표화염용액이 들어 있는 데시케이터에 6mm시편을 넣고 평형에 도달할 때까지 3개월간 방치하였다.

표 14. 20℃에서 염용액의 상대습도

상대습도 (%)	염용액	비 고
32.0	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
58.0	NaBr	
80.5	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
90.0	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
95.0	NaSO_4	
100.0	H_2O	

3. 결과

가. 소나무 220℃ 열처리재의 흡착등온곡선

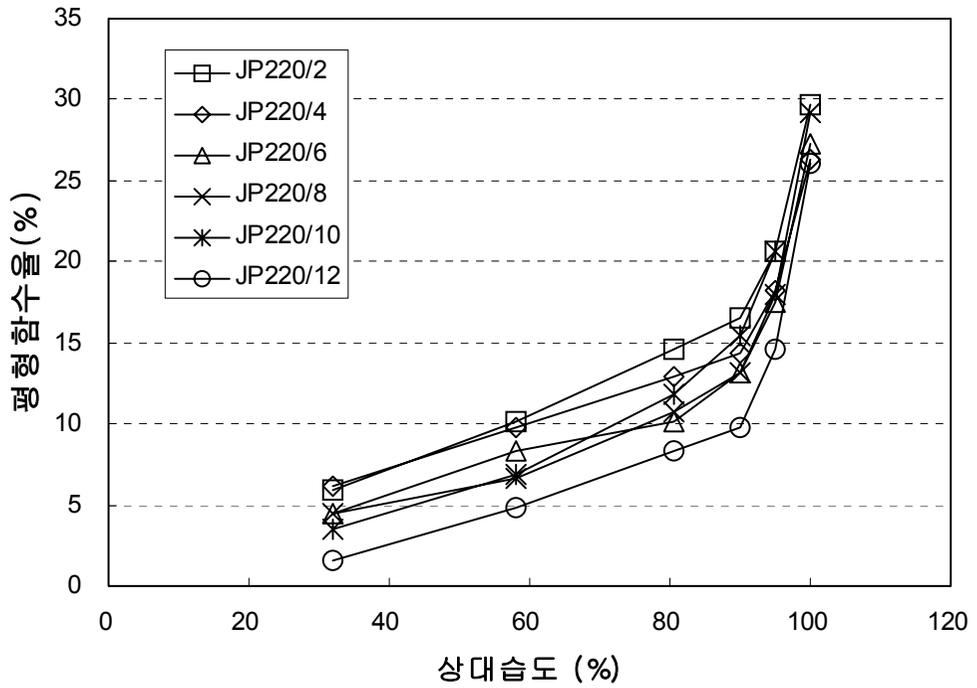


그림 82. 220℃ 열처리 소나무의 흡착등온곡선

나. 잣나무 220℃ 열처리재의 흡착등온곡선

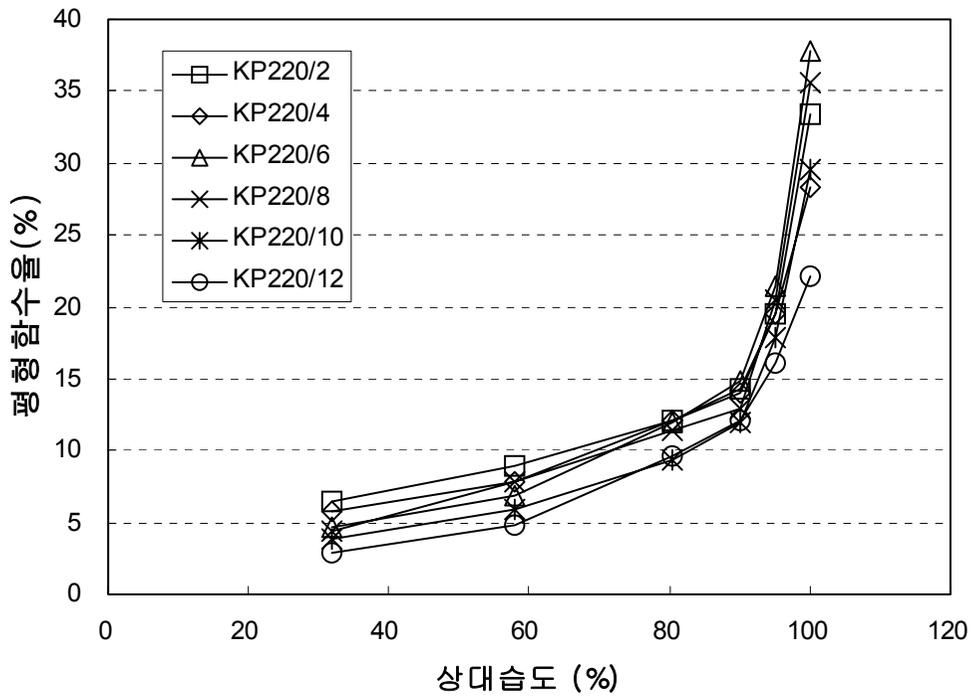


그림 83. 220℃ 열처리 잣나무의 흡착등온곡선

다. 낙엽송 220℃ 열처리재의 흡착등온곡선

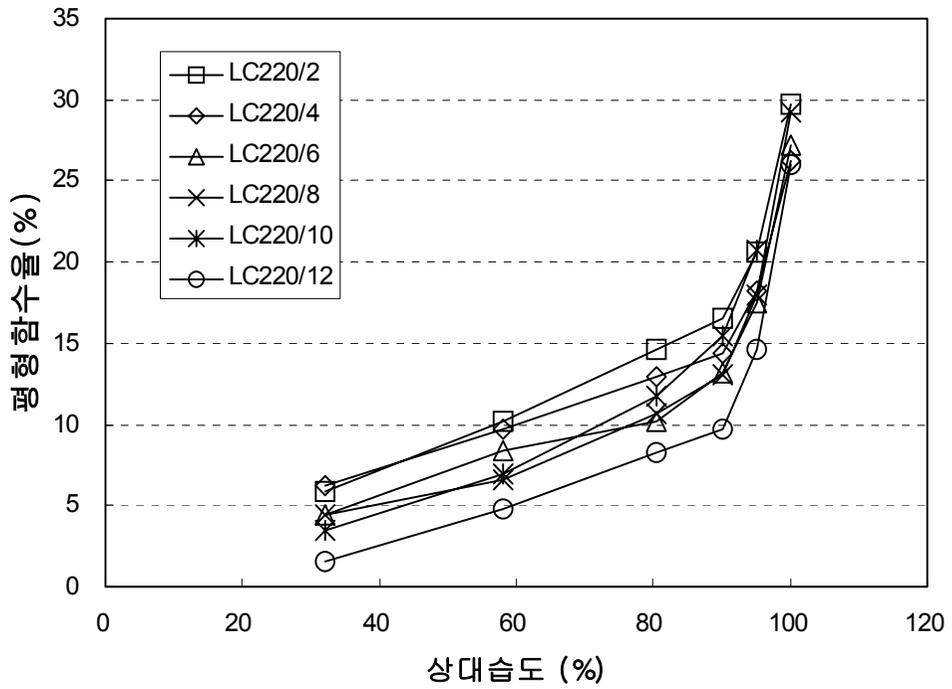


그림 84. 220℃ 열처리 낙엽송 의 흡착등온곡선

라. 자작나무 220℃ 열처리재의 흡착등온곡선

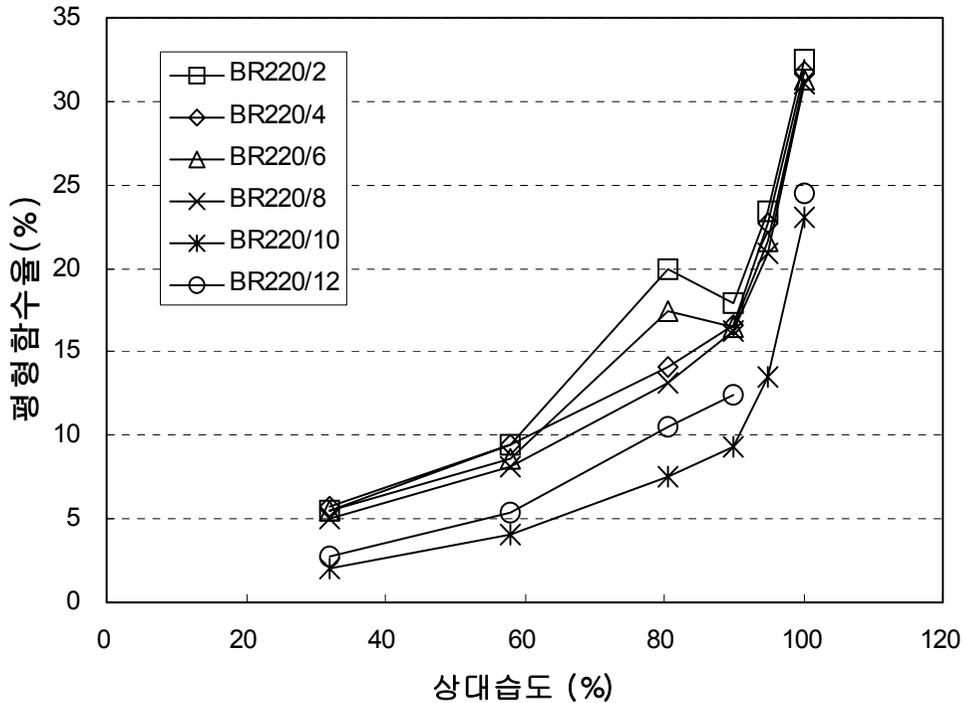


그림 85. 220℃ 열처리 자작나무의 흡착등온곡선

마. 처리시간에 따른 치수안정화

처리시간별 평형함수율을 수종별로 비교하였다. 상대습도 100%에서는 모세관 응축수가 생겨 정확한 평형함수율을 얻을 수 없으므로 상대습도 95%의 평형함수율을 비교하였다. 그 결과는 아래 표와 같다. 800mm 시편이 전체적으로 고른 열처리가 되지 않아서 시편을 얻은 부위에 따라 다른 열처리 상태를 나타내기 때문에 균일한 실험결과를 나타내진 못했으나 대체적으로 처리시간이 길수록 낮은 평형함수율을 가지고 있다. 이들의 평형함수율 차는 잣나무가 5.4%로 가장 적고 자작나무가 9.8%로 가장 크게 나타났다. 열처리에 의해 평형함수율 차이가 나타나는 것은 흡착력이 떨어졌기 때문으로 열처리에 의해 치수안정화가 향상된다고 말할 수 있다.

표 15. 처리시간에 따른 수종별 평형함수율

수 종	상대습도 95%에서 처리시간별 평형함수율(%)						
	2	3	6	8	10	12	최대차
소나무	18.7	19.3	20.0	17.1	13.5	16.2	6.5
잣나무	19.6	19.5	21.5	20.5	17.8	16.0	5.4
낙엽송	20.6	18.2	17.5	18.0	20.7	14.6	6.1
자작나무	23.4	22.7	21.6	20.9	13.5		9.8

제14절 220℃ 열처리재의 표면경도 측정

1. 목적

열처리에 의해 목재 표면경도가 어떻게 변했는가를 조사하였다.

2. 실험방법

220℃ 열처리재에서 처리시간별 3개의 폭 10cm, 길이 20cm 시편을 채취하였으며 각 시편에서 5곳의 표면경도를 측정하였다. 측정 위치는 아래 그림과 같다.

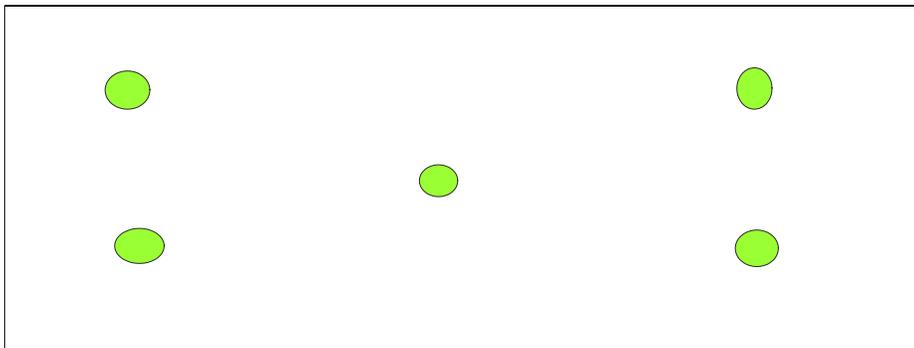


그림 86. 표면경도 측정위치

측정장치는 ROCK WELL HARDNESS TESTER MODEL - DTR-300으로 1/2인치 볼을 사용하였으며 30kg하중을 적용하였다.

3. 결과

소나무, 잣나무 낙엽송, 자작나무의 열처리 시간에 따른 표면경도는 아래 그림과 같다. 볼이 들어간 깊이를 음수로 나타냈기 때문에 깊이가 얕은 것, 그림에서 상단에 나타난 것이 표면경도가 높다. 따라서 자작나무의 표면경도가 가장 크고, 나머지 침엽수 세 수종은 비슷하다.

모든 수종의 표면경도는 처리시간 2시간과 12시간이 비슷한 값을 나타내고 그 사이 4, 6, 8 시간이 2, 12시간보다 높은 값을 나타낸다. 특히 8시간이 가장 높은 값을 보인다. 열처리에 의해 표면경도가 일시적으로 증가하나 처리시간이

길어지면 열분해에 의해 떨어지는 현상을 확인할 수 있다.

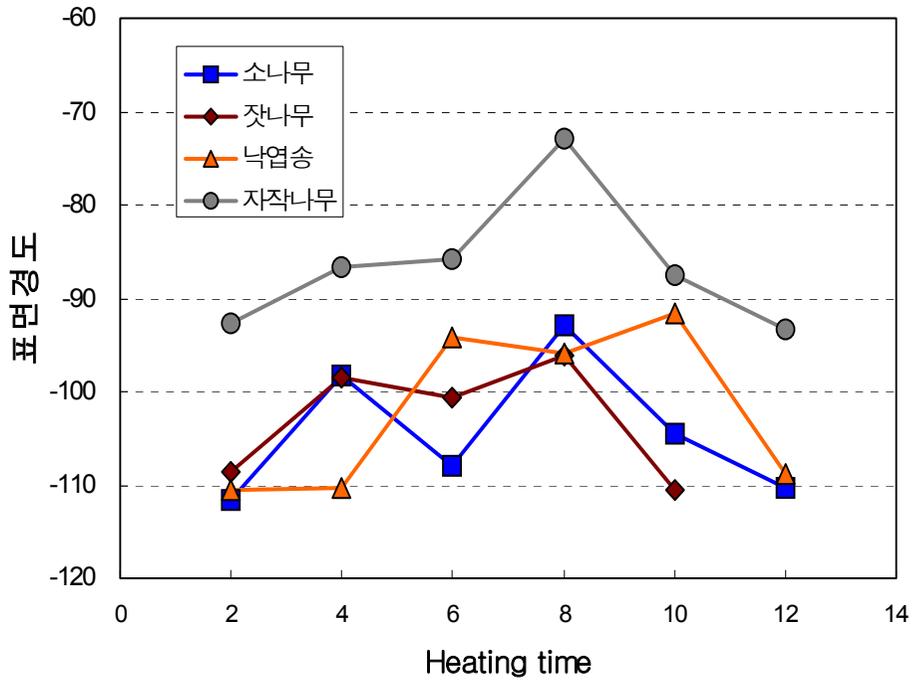


그림 87. 220°C 열처리 시간에 따른 표면경도 변화. 수치가 작을수록 표면경도가 높다.

제15절 220℃ 열처리재의 야외폭로 실험

1. 목적

열처리 목재는 셀룰로오즈, 리그닌이 열에 의해 일부 분해되어 있기 때문에 자외선에 노출되면 무처리 목재보다 더 빨리 변색이 일어날 가능성이 있다. 이를 확인하기 위해 야외폭로 실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

220℃에서 열처리한 소나무, 잣나무, 낙엽송, 자작나무, 리기다소나무 시편을 폭 10cm, 길이 20cm로 만들어 건물 옥상에 2005년 7월 30일 설치하여 9월 10일까지 42일간 햇볕에 폭로시켰다. 지붕이 없어 비를 맞았기 때문에 비온 후 며칠 동안은 재색을 측정하지 않았다.

3. 결과

가. 소나무

열처리 직후에는 처리시간에 따라 명도차가 심했으나 42일 폭로 후에는 모든 시편이 12시간 처리재의 초기 명도와 같은 값을 나타냈다.

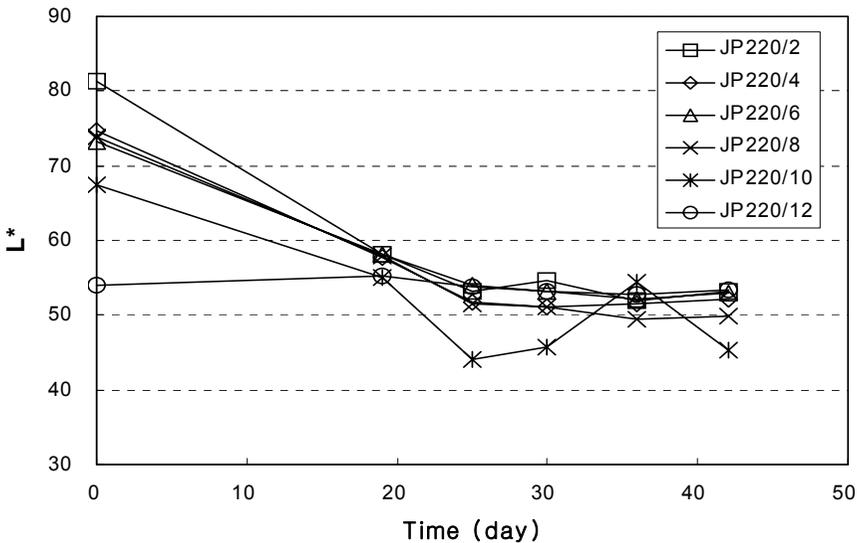


그림 88. 220℃ 열처리 소나무의 야외폭로 시간에 따른 명도 변화

폭로 시간이 길어짐에 따라 적색도가 모두 감소하다가 25일부터 비교적 안정되었다. 그러나 처리시간에 따른 적색도 편차는 처음부터 마지막까지 유지되었다.

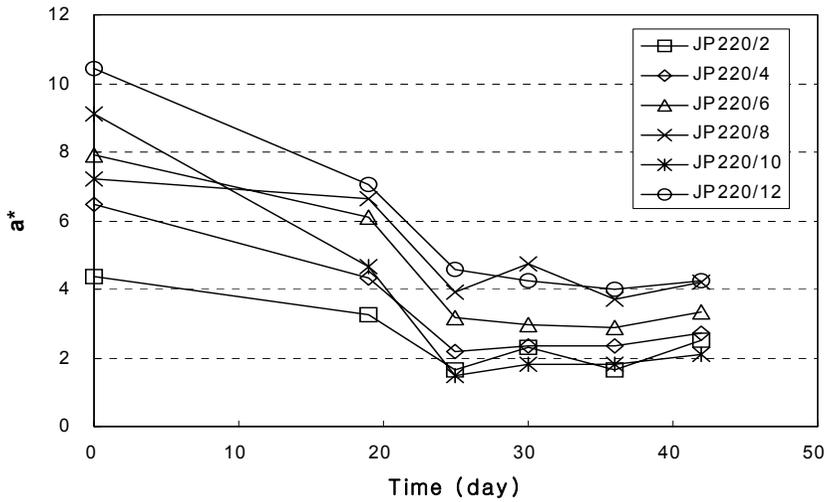


그림 89. 220°C 열처리 소나무의 야외폭로 시간에 따른 적색도 변화

황색도도 적색도와 마찬가지로 초기부터 계속 감소하다 25일 이후엔 안정되었다. 그러나 처리시간에 따른 적색도 편차는 처음부터 마지막까지 유지되었다.

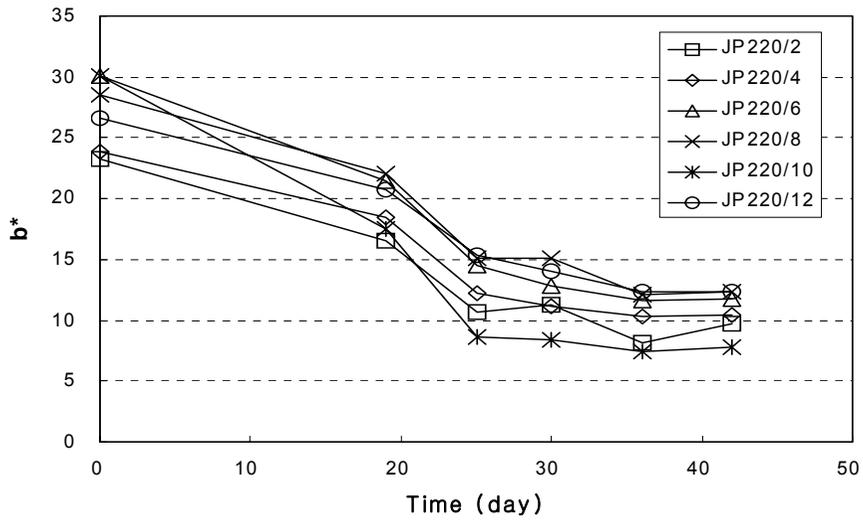


그림 90. 220°C 열처리 소나무의 야외폭로 시간에 따른 황색도 변화

나. 잣나무

열처리 직후 처리시간에 따른 명도차는 매우 컸으나 42일간 폭로 후에는 모든 시편이 비슷해졌다. 그러나 처리시간에 따른 차이는 여전히 존재하였다.

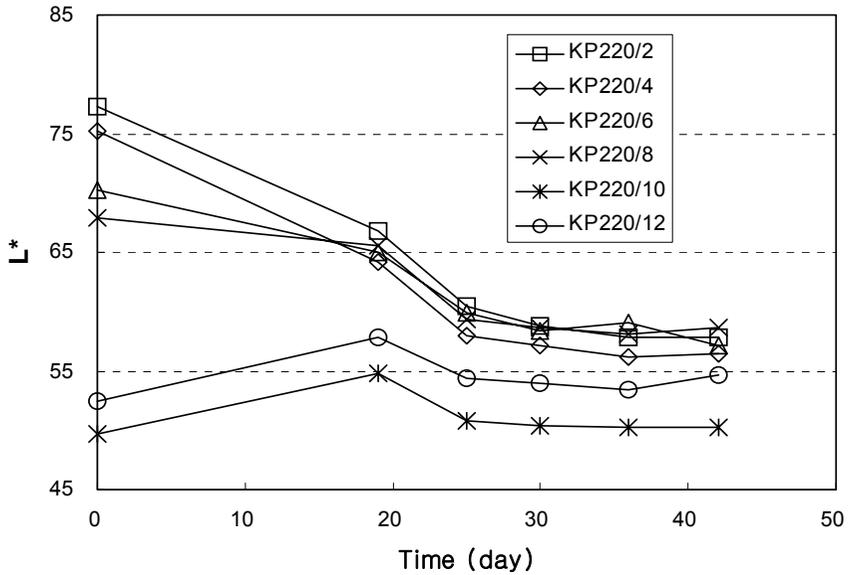


그림 91. 220°C 열처리 잣나무의 야외폭로 시간에 따른 명도 변화

열처리 직후 적색도 차이가 현저하였으나 42일 폭로 후에는 초기에 낮은 적색도 값으로 모아졌다. 그러나 여전히 처리시편간 적색도 차이는 존재하였다. 12시간 처리재의 적색도가 폭로기간 내내 가장 높았다.

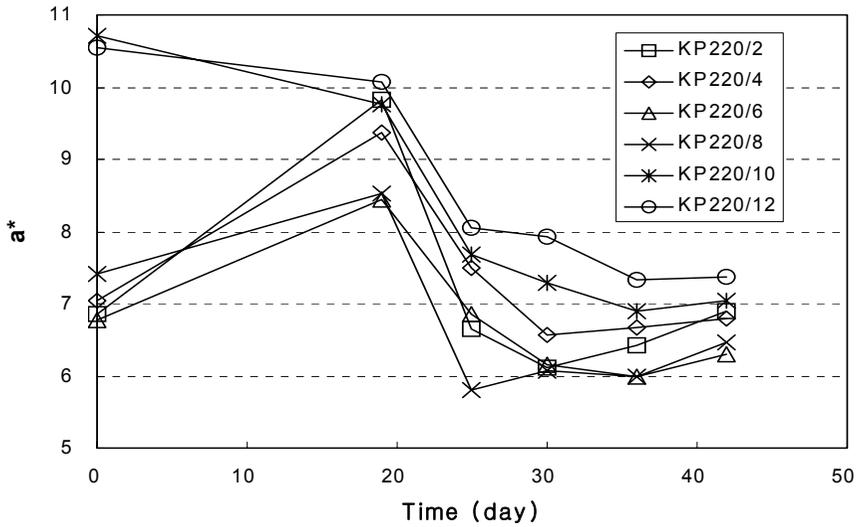


그림 92. 220°C 열처리 잣나무의 야외폭로 시간에 따른 적색도 변화

명도나 적색도에 비해 초기에 황색도 차이는 크지 않았으며 42일 후에 감소하였으나 시편간 편차가 크지 않았다.

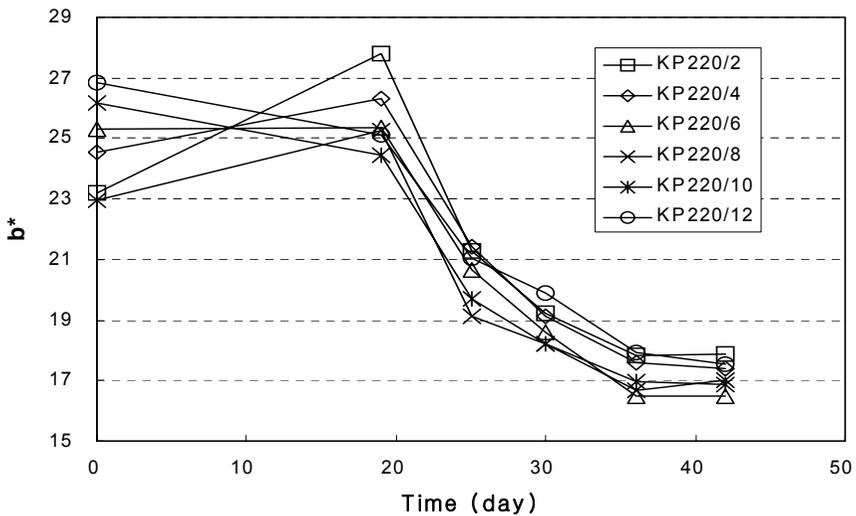


그림 93. 220°C 열처리 잣나무의 야외폭로 시간에 따른 황색도 변화

다. 낙엽송

초기 명도는 처리시간 10시간 이상과 이하의 차이가 분명하였는데 42일 폭로 후에도 그 차이는 있으나 편차가 많이 줄었다. 42일 폭로 후에 모든 시편의 명도는 10시간과 12시간 처리재의 초기 값에 근접했다.

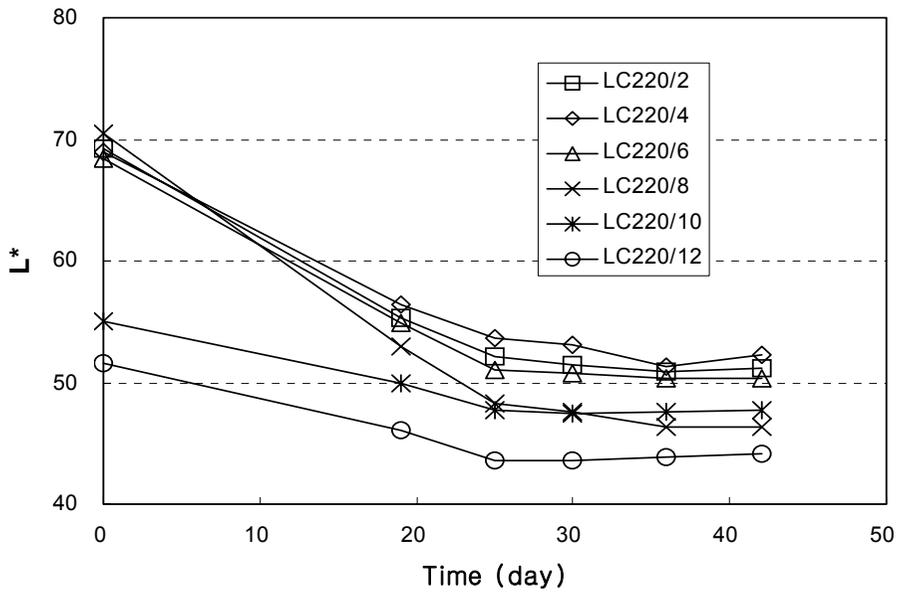


그림 94. 220°C 열처리 낙엽송의 야외폭로 시간에 따른 명도 변화

열처리 직후 처리시간에 따른 적색도는 큰 차이를 보였으나 42일 폭로 후에는 그 차이가 줄어들었다. 그러나 여전히 처리시간에 따른 편차는 존재하였다.

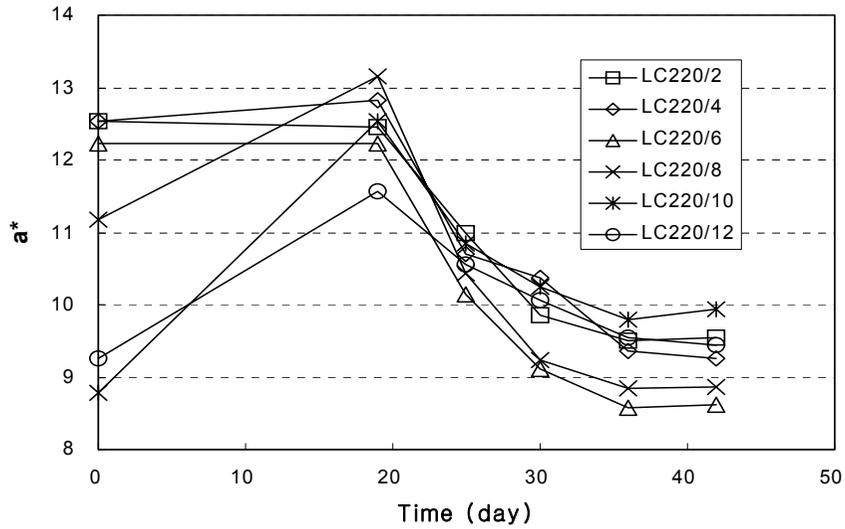


그림 95. 220℃ 열처리 낙엽송의 야외폭로 시간에 따른 적색도 변화

황색도도 시편 간 초기의 큰 차이가 폭로 후에는 감소하였다. 10시간, 12시간 처리재의 황색도는 꾸준히 감소한 반면 나머지는 어느 정도 같은 값을 유지하다 감소하였다.

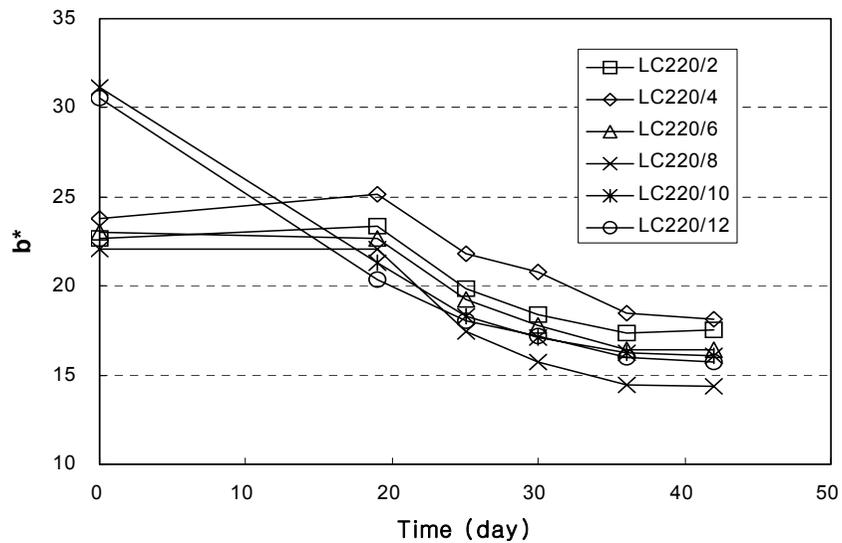


그림 96. 220℃ 열처리 낙엽송의 야외폭로 시간에 따른 황색도 변화

라. 자작나무

BR220/12(특)은 처리시간이 같더라도 특별히 짙은 색을 나타낸 시편이다. 열처리 직후 명도는 처리시간에 따라 큰 차이를 나타냈으나 42일 폭로 후에 12시간 처리재를 빼고 모든 시편이 거의 같은 명도를 보였다.

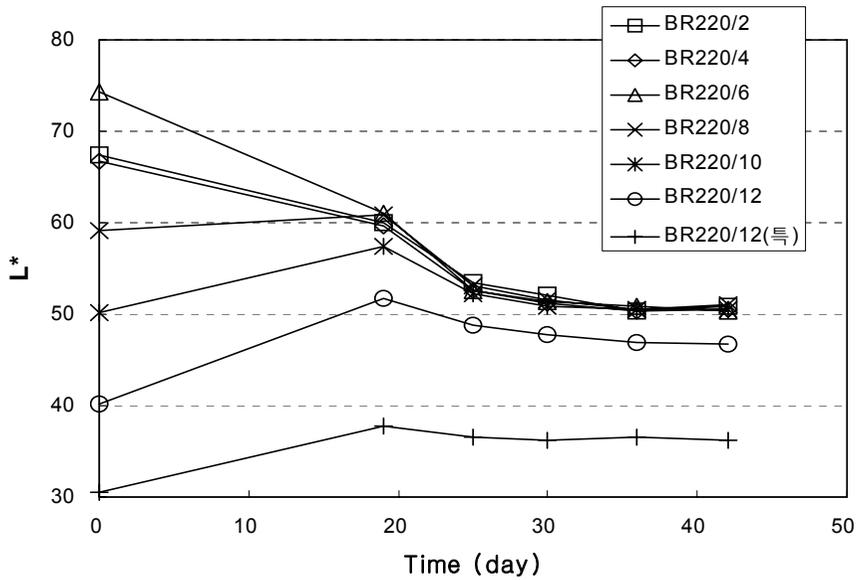


그림 97. 220°C 열처리 자작나무의 야외폭로 시간에 따른 명도 변화

적색도는 폭로 초기와 말기에 시편의 순서만 정 반대로 바뀌었을 뿐 편차는 거의 같았다. 특히 220/12(특) 시편의 적색도는 폭로에 의해 거의 변하지 않았다.

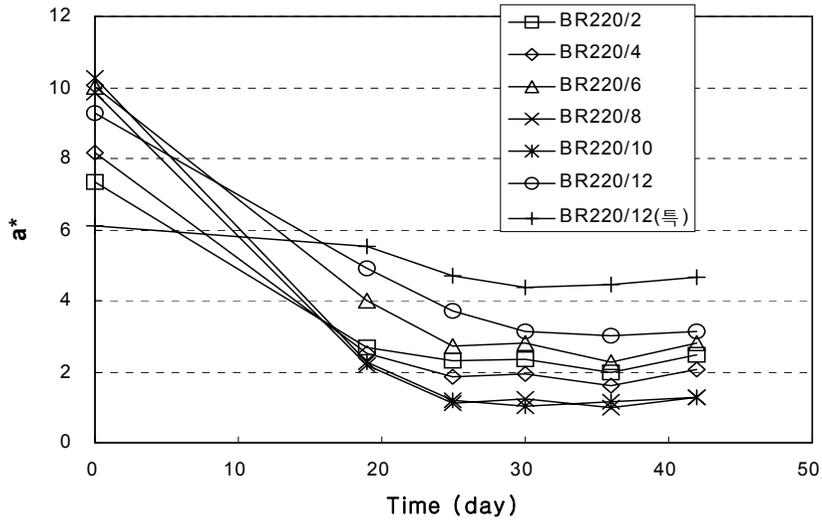


그림 98. 220℃ 열처리 자작나무의 야외폭로 시간에 따른 적색도 변화
 220/12(특)을 빼곤 초기 황색도가 큰 차이 없었다. 42일 폭로 후에 순위가
 정반대로 바뀌었으나 편차는 초기와 비슷하였다.

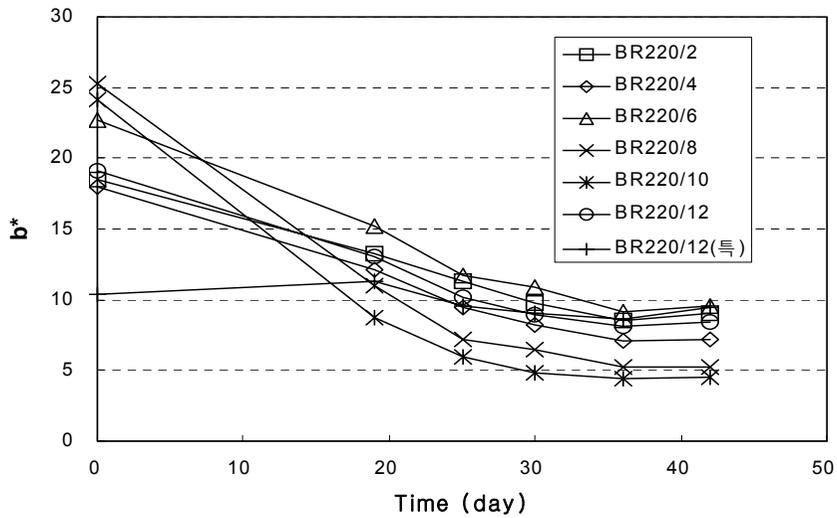


그림 99. 220℃ 열처리 자작나무의 야외폭로 시간에 따른 황색도 변화

마. 리기다 소나무

열처리 직후 열처리재와 무처리의 명도차는 매우 컸으며, 42일 폭로 후에 그 차이가 약간 줄어들었을 뿐 여전히 차이를 나타냈다. 45mm 두께 시편의 명도는 폭로기간 내내 비슷한 값을 보였다.

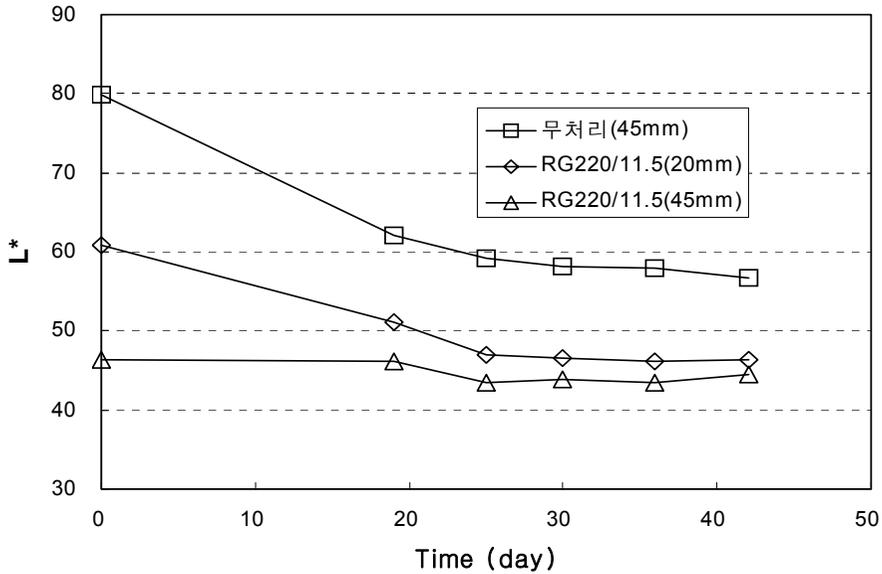


그림 100. 220℃ 열처리 리기다 소나무의 야외폭로 시간에 따른 명도 변화

열처리재의 적색도는 25일까지 급격히 감소하였으며 그 후에는 안정되었다. 무처리재의 적색도는 폭로 초기와 말기 비슷한 값을 나타냈다.

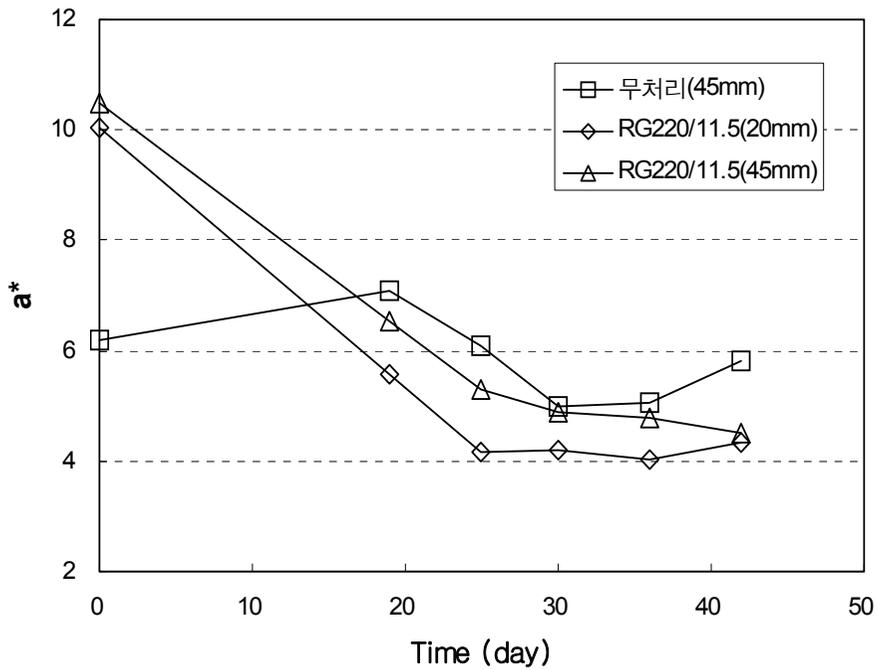


그림 101. 220°C 열처리 리기다 소나무의 야외폭로 시간에 따른 적색도 변화

열처리재의 황색도는 폭로 초기부터 계속해서 감소하였으나 무처리재는 20일까지 초기값을 유지하다 감소하였다. 즉 무처리재의 변색은 일정기간 지난 후부터 일어나기 시작한다는 것을 알 수 있다.

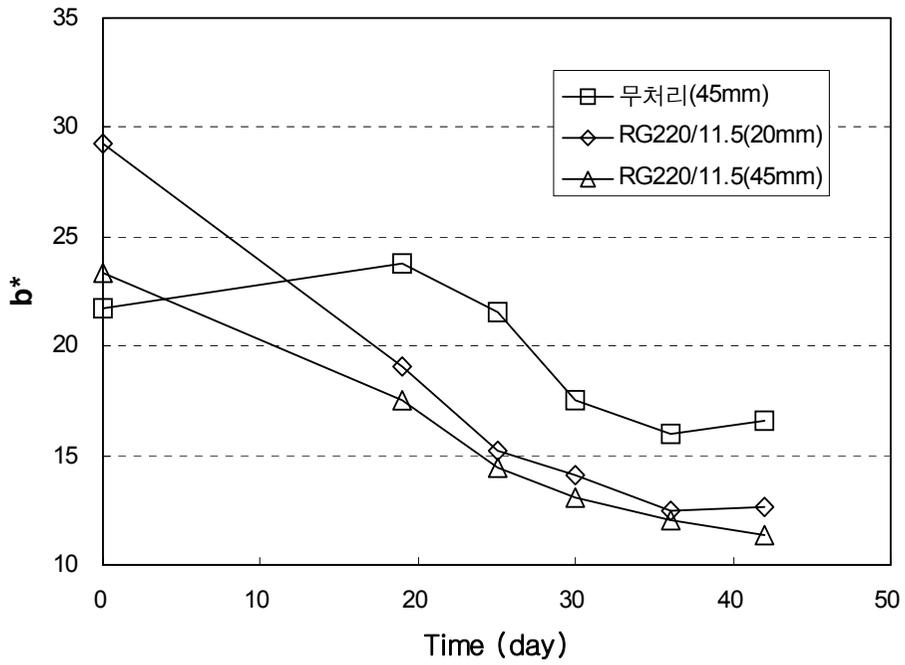


그림 102. 220°C 열처리 리기다 소나무의 야외폭로 시간에 따른 황색도 변화

제16절 250℃ 열처리재의 재색변화

1. 목적

처리시간에 따른 220℃ 열처리재의 재색변화에 대해서 여러 가지 조사를 마쳤다. 그 결과와 비교하기 위해 시편을 250℃에서 열처리하였다. 처리시간은 12시간으로 하였다. 색상측정은 표면을 수압대패로 깎은 후에 Hunter 색차계로 잰다.

2. 결과

가. 잣나무

220℃, 250℃에서 12시간 열처리한 시편의 재색을 무처리와 비교한 사진과 그래프는 다음과 같다.

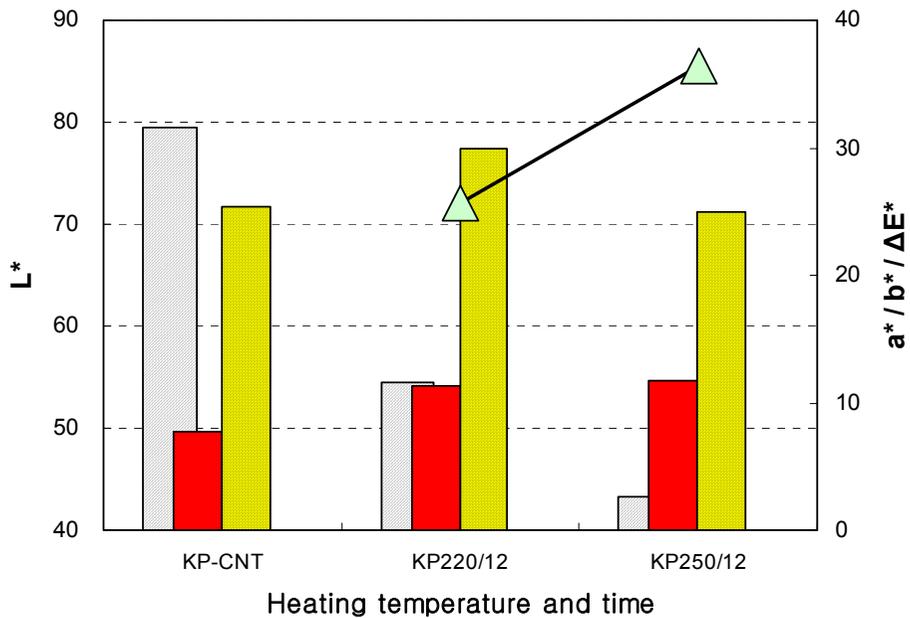


그림 103. 220℃와 250℃ 열처리 온도에 따른 잣나무의 재색 비교

나. 낙엽송

220℃, 250℃에서 12시간 열처리한 시편의 재색을 무처리와 비교한 사진과 그래프는 다음과 같다.

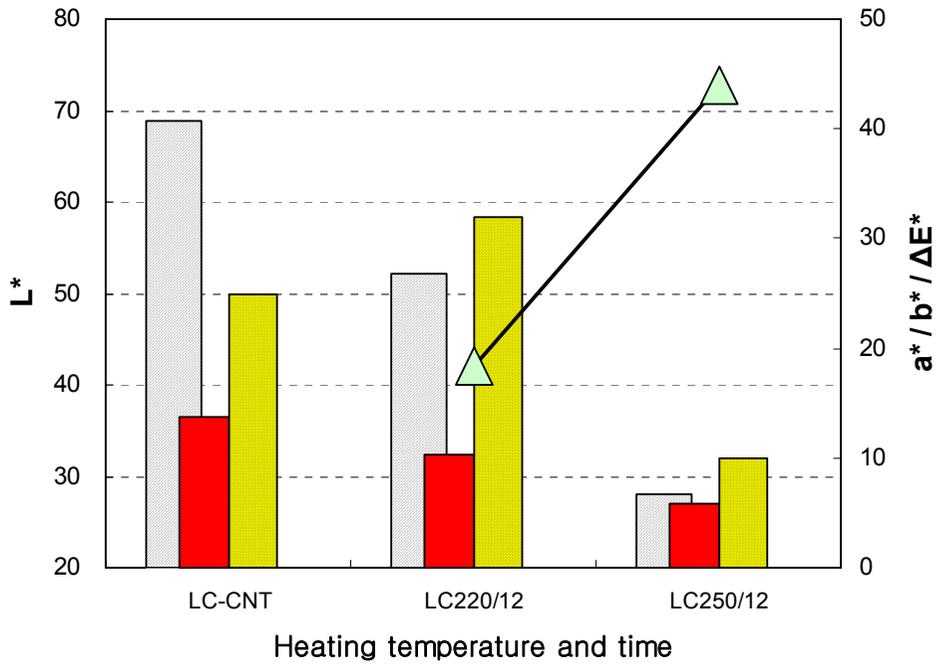


그림 104. 220℃와 250℃열처리 온도에 따른 낙엽송의 재색 비교

다. 자작나무

220℃, 250℃에서 12시간 열처리한 시편의 재색을 무처리와 비교한 사진과 그래프는 다음과 같다.

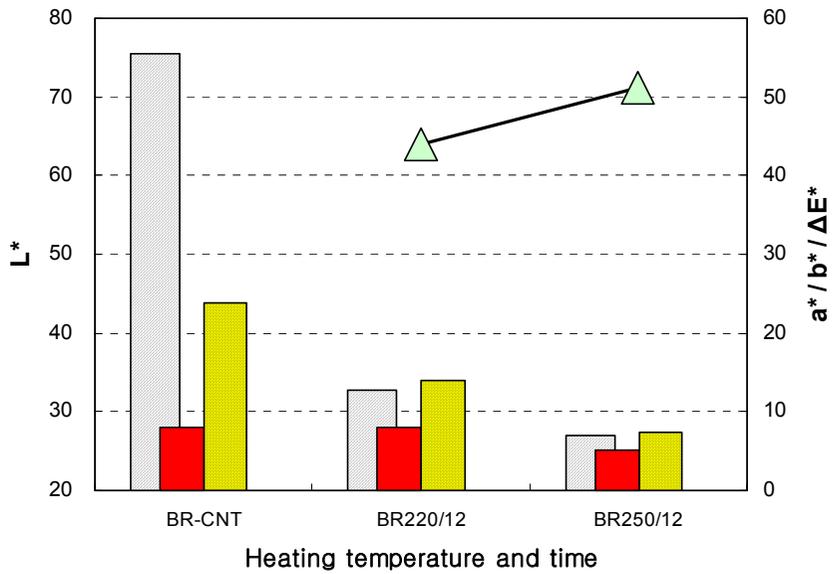


그림 105. 220℃와 250℃ 열처리 온도에 따른 자작나무의 재색 비교

제17절 원판의 열처리

1. 목적

원판공예에 사용되고 있는 소나무, 낙엽송 등 침엽수는 착색이 잘 되지 않기 때문에 짙은 색을 만들고 싶어도 어렵다. 열처리로 짙게 만들면 제품의 고급화가 가능할 것으로 생각되어 시도하였다.

2. 재료 및 방법

원판공예에 사용되는 직경 20-30cm, 두께 3cm 소나무, 낙엽송, 아까시나무 원판을 아래 그림과 같이 열처리기에 배치하고 열처리하였다. 처리온도와 시간은 160/41.5와 190/40 이었다.



그림 106. 원판의 열처리 모습

3. 결과

열처리 결과를 사진과 함께 색차계 데이터를 그래프로 나타냈다.

가. 소나무

소나무 무처리와 190/40열처리재의 재색은 아래 그림과 같다. 열처리에 의해 명도가 감소하는 대신 적색도와 황색도가 증가하였으며 색차는 28.2로 분명한 차이를 나타냈다.



그림 107. 열처리 소나무 원판. 왼쪽은 무처리 오른쪽은 190/40

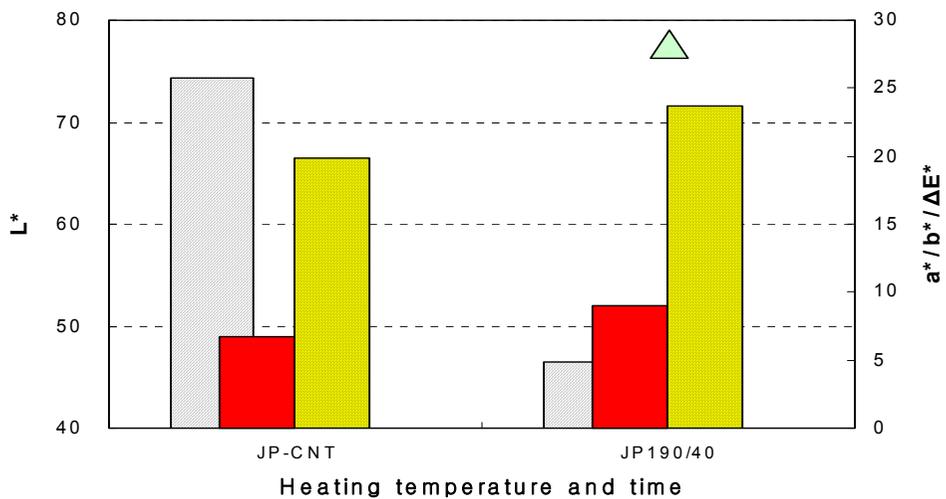


그림 108. 열처리 소나무 원판과 무처리의 재색 비교

나. 낙엽송

낙엽송 무처리와 190/40열처리재의 재색은 아래 그림과 같다. 열처리에 의해 명도가 감소하는 대신 황색도는 증가하였으나 적색도는 변화가 없다. 낙엽송의 원래 재색이 적색을 띠기 때문인 것 같다. 색차는 23.5로 분명한 차이를 나타냈다.



그림 109. 열처리 낙엽송 원판. 왼쪽은 무처리 오른쪽은 190/40

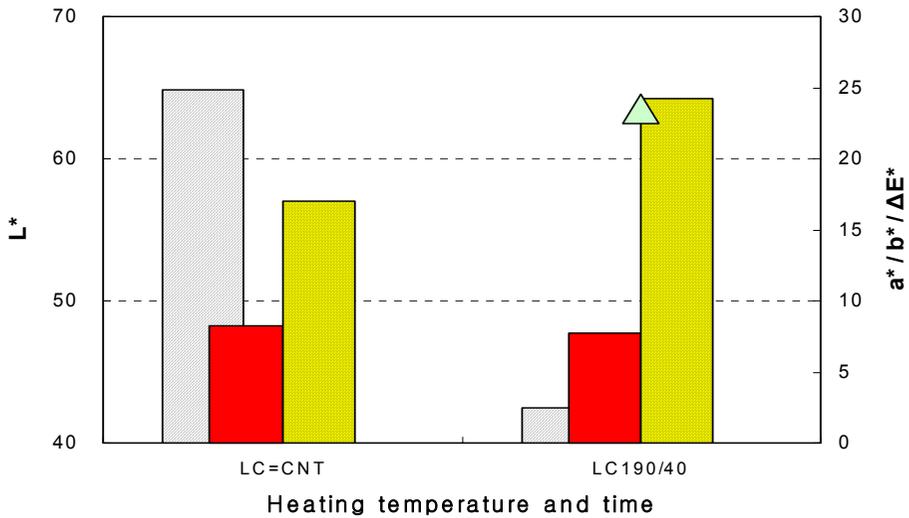


그림 110. 열처리 낙엽송 원판과 무처리의 재색 비교

다. 아까시나무

무처리와 190/40열처리재의 재색은 아래 그림과 같다. 열처리에 의해 명도와 황색도가 감소하였으나 적색도는 변화가 없다. 색차는 27.8로 분명한 차이를 나타냈다.



그림 111. 열처리 아까시나무 원판. 왼쪽은 무처리 오른쪽은 190/40

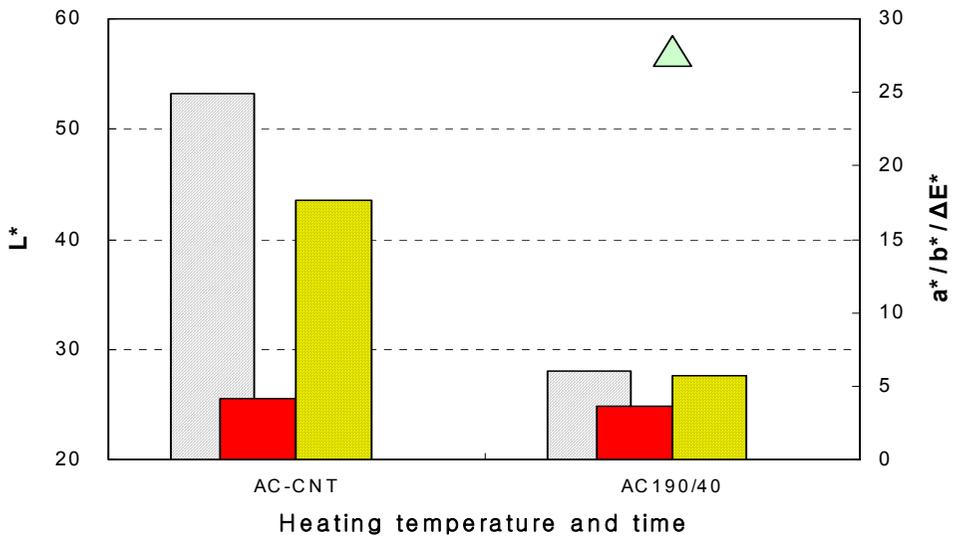


그림 112. 열처리 아까시나무 원판과 무처리의 재색 비교

라. 처리온도에 따른 아까시나무, 소나무, 낙엽송의 비교
아까시나무와 소나무는 160℃와 190℃의 색차가 별로 없으나 낙엽송은 ΔE^* 가 17.1로 분명한 차이를 보였다.



그림 113. 열처리 원판. 위부터 아까시나무, 낙엽송, 소나무 원판. 외쪽 열은 160/41.5, 오른쪽 열은 190/40

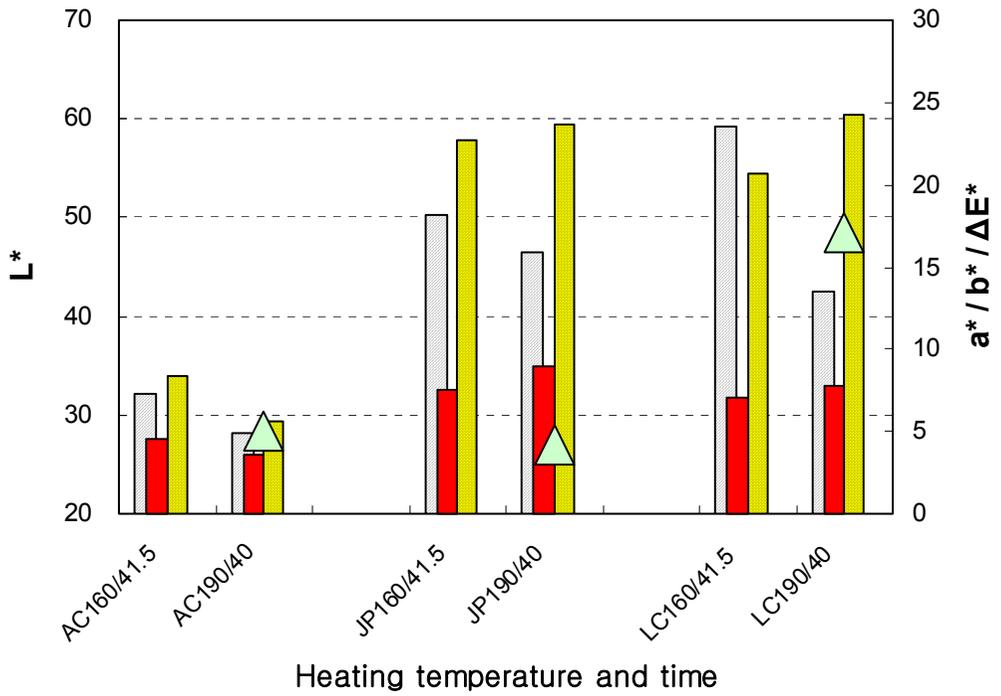


그림 114. 열처리 아까시나무, 소나무, 낙엽송 원판의 재색 비교

제18절 기타 열처리재

1. 변색제거 효과

열처리는 특히 청변 등 오염을 가진 재목을 고급목재로 변환시키는 효과가 있다. 아래 그림은 청변이 있는 리기다 소나무 판재를 열처리한 것이다. 열처리 전에는 청변으로 인해 표면이 오염되어 있었으나 열처리 후에는 그 흔적이 전혀 보이지 않는다.



그림 115. 리기다 소나무의 열처리 전후 채색 비교. 표면 오염이 열처리에 의해 사라짐

2. 잣나무와 낙엽송 몰딩재

잣나무와 낙엽송 열처리재로 만든 몰딩재를 무처리와 비교한 사진이다.



그림 116. 열처리 잣나무 몰딩재. 왼쪽이 열처리재, 오른쪽이 무처리재



그림 117. 열처리 낙엽송 몰딩재. 왼쪽이 열처리재, 오른쪽이 무처리재

3. 소나무, 잣나무, 낙엽송 루바

소나무, 잣나무, 낙엽송 열처리재로 가공한 루바 사진들이다.



그림 118. 열처리 소나무재 루바



그림 119. 열처리 잣나무 루바. 제일 왼쪽은 무처리재.



그림 120. 열처리 낙엽송재 루바



그림 121. 소나무, 잣나무, 낙엽송 열처리재 제품들

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1차년도 목표 과열증기 및 열처리 장치 개발

- (1) 처리장치의 설계 및 제작 (시제품 제작) (달성도 100%)
chamber 내부 규격 1360×500×500 mm³, 최대 온도 350℃, 최대 압력 3기압인 과열증기 및 열처리 장치를 제작하였다.
- (2) 자동조절장치 설치 및 검정 (달성도 100%)
제작된 처리장치 내 온·습도를 자동으로 조절할 수 있는 장치를 만들고 PC를 이용하여 자동기록 되도록 설치하였으며 시험가동을 통해 문제점을 파악하고 보완하였다.
- (3) 목재 온도상승속도 및 온도분포 조사 (달성도 100%)
열전쌍을 이용하여 온도상승속도와 온도분포를 측정하여 처리장치의 성능을 조사하였다. 온도상승속도가 빠르고 온도분포의 편차가 적도록 처리장치를 보완 완료하였다.
- (4) 전처리와 후처리의 효과조사 (달성도 100%)
증기처리와 냉동처리 등 전처리와 고온을 사용한 열처리가 수지제거에 미치는 효과를 조사하였다. 또 제작된 과열증기 및 열처리 장치의 시험가동을 위해 여러 가지 온도에서 열처리실험을 실시하였다. 채색변화실험은 완료되었으며 수지제거실험도 완료되었다.

2차년도 목표 수지제거 기술 개발

- (1) 수종별 적정 처리조건 규명 (달성도 100%)
수지가 많은 국내산 침엽수 소나무, 잣나무, 낙엽송 및 외산 라디에타 파인을 사용하여 처리온도, 처리시간, chamber 내 압력, chamber 내 공기유무, 냉각방법 등의 적정 조건을 조사하였다.

(2) 처리효과 측정 (달성도 100%)

수지제거 효과를 판정하기 위해 표층과 내층의 수지량, Hunter Lab 색차계를 이용하여 연료별, 표층과 내층의 재색 변화를 조사하였다.

(3) 처리재의 물리적 성질 조사 (달성도 100%)

수지제거 처리가 목재의 물리적 성질에 어떤 영향을 미치는가를 조사. 처리재를 이용하여 처리 전·후에 강도, 표면경도, 치수안정성, 내부잔류응력 등을 조사하였다.

3차년도 목표 고품질 재색변화 기술 개발

(1) 수종별 적정 처리조건 규명 (달성도 100%)

국산 침엽수 소나무, 잣나무, 낙엽송과 국산 활엽수 아까시나무, 자작나무를 사용하여 재색변화를 위한 적정 열처리 온도와 시간을 조사하였으며 적적 chamber 내 압력, chamber 내 환기여부 등의 조건을 조사하였다.

(2) 야외폭로 실험 (달성도 100%)

재색변화 처리된 시편을 태양광 아래에 장기 노출시켜 재색변화를 조사. 색차계를 이용하여 재색변화를 측정하여 열처리 목재를 외부에 사용했을 때 색상변화를 예측할 수 있는 자료를 얻었다.

(3) 처리효과 측정 (달성도 100%)

재색변화 효과를 판정하기 위해 색차계를 이용한 표층과 내층의 재색, 심재와 변재의 재색, 치수안정성을 비교 조사하였다.

(4) 처리재의 물리적 성질 조사 (달성도 100%)

재색변화 처리가 목재의 물리적 성질에 어떤 영향을 미치는가를 조사하였다. 열처리재의 치수안정성을 알기위해 각 수종의 흡착등온곡선을 구하였으며 열처리에 의한 표면경도 변화를 측정하였다.

(5) 고품질 열처리 제품 생산 (달성도 100%)

열처리 목재를 이용하여 고품질 제품, 몰딩재, 루바재, 마루재를 시험 생산하였다. 뿐만 아니라 이 기술을 원판공예에 적용하여 성공적인 결과를 얻었다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구의 최종목표인 “국산 침엽수재의 재색을 변화시켜 고품질 열처리재 생산”에 성공하였다. 이 연구결과를 이용하면 저가, 저품질로 인식되어온 국산 침엽수재가 고급 수입 활엽수재의 대체재로 각광받을 수 있다.

현재 마루재 등 실내건축재를 생산 판매하는 국내 굴지의 업체와 산업화를 논의 중에 있다.

본 연구에서 개발된 과열증기 및 열처리 장치와 그 장치를 이용하여 개발한 수지제거 기술 및 재색변화기술은 국산재의 고품질화에 매우 유용한 것으로 증명되었다. 현재 개발된 장치는 실험실용(1360×550×550 mm³)으로 산업용으로 사용하기에는 용량이 적다. 산업화를 위해 대용량 장치의 제작이 필요하며 다양한 국내산 또는 수입 수종을 대상으로 원하는 재색의 발현을 위해 반복적인 실험과 축적된 경험이 필요하다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

목재의 재색 변화 연구는 유럽에서 매우 활발하기 때문에 여러 가지 정보를 얻을 수 있었다. 특히 스웨덴을 중심으로 열처리 네트워크를 형성하고 정기적인 학술회의를 가지고 있기 때문에 그를 통해 많은 정보를 얻었다.

열처리 목재는 질은 재색으로 인해 고급스러울 뿐만 아니라 치수안정성이 높기 때문에 야외에 사용할 때 화학 방부제를 사용하지 않아도 되므로 환경친화적이다. 이러한 이유로 유럽에서는 점차 이 열처리 기술의 이용이 늘어가고 있다.

제 7 장 참고문헌

- Bhuiyan, M.T.R., N. Hirai and N. Sobue. 2000. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. *Journal of Wood Science* 46(6):431-436
- Bhuiyan, M.T.R., N. Hirai and N. Sobue. 2000. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. *Journal of Wood Science* 46(6):431-436
- Booker R.E and J.M.Evans. 1994. The effect of drying schedule on the radial permeability of *Pinus radiata* D.Don. *Holz als Roh- und Werkstoff* 52:150-156
- Booker, R.E. 1990. Changes in transverse wood permeability during the drying of *Dacrydium cupressinum* and *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry science*, 20(2):231-244
- Comstock, G.L. 1965. Longitudinal permeability of green Eastern hemlock. *Forest Products Journal* 15(4):441-449
- Erickson, H. D. and R. J. Crawford. 1959. The effects of several seasoning methods on the permeability of wood to liquids. *Amer. Wood Preservers' Assoc. Proc.* (seen in Comstock(1965))
- Feist, William C., RATHERING OF acet. M Rowell and W. D. Ellis. 1991. Moisture sorption and accelerated weylated and methacrylated aspen. *Wood and Fiber Science* 23(1):128-136
- Fengel, D. and G. Wegener, 1989. *Wood Chemistry, ultrastructure, reactions.* De Gruyter, Berlin
- Flynn, K.A. 1995. A review of the permeability, fluid flow, and anatomy of spruce (*Picea* Spp.). *Wood and Fiber Science* 27(3):278-284
- Garrote, G., H. Dominguez and J.C. Parajo. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57(3):191-202
- Garrote, G., H. Dominguez and J.C. Parajo. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57(3):191-202
- Guoxing, Du, D. Huijun and C. Jiabin. 2001. The process of deresinping and drying of Masson's pine. *Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9-13, Tsukuba, Japan:* 106-109
- Han, J. S. and 황병호. 1988. 잣나무 Diterpene Resin Acid의 분석. *목재공학* 16(2):62
- Harju Anni M., P. Kainulainen, M. Venalainen, M. Tiitta and H. Viitanen. 2002. Differences in resin acid concentration between brown-rot resistant and susceptible Scots pine heartwood. *Holzforschung* 56(5):479-486
- Hillis, W.E. 1987. *Heartwood and Tree Extrudes.* Springer-Verlag, New York.
- Hon, D. N.-S. and W. C. Feist. 1986. Weathering characteristics of hardwood surfaces. *Wood Science and Technology* 20:169-183

- Iida, I., A.Ikeuchi and Y.Imamura. 1995. Liquid penetration of precompressed wood III:Effects of moisture content of specimens and ambient temperature while compression on liquid uptake of softwoods and hardwoods. *Mokuzai Gakkaishi* 41(9):811-819
- Iida, I., C.Takayama, O.Miyagawa and Y.Imamura. , 1992. Liquid penetration of precompressed wood I: Effect of compressive deformation and recovery upon liquid uptake. *Mokuzai Gakkaishi* 38(3):233-240
- Iida, I., S.Mori, Y.Nakamura, H.Sakai and Y.Imamura.Liquid. 1996, Penetration of Precompressed Wood V. Effects of cyclic loading, type of impregnated chemicals and annual ring angles on the uptake of water or oily solvents. *Mokuzai Gakkaishi* 42(6):581-588
- Iida, I., S.Yusuf, U.Watanabe and Y.Imamura. 2002, Liquid penetration of precompressed wood VII: Combined treatment of precompression and extraction in hot water on the liquid penetration of wood. *Journal of Wood Science* 48(1):81-85
- Kalnins, M. A. and W. C. Feist. 1993. Increase in wettability of wood with weathering. *Forest Products Journal* 43(2):55-57
- Kang, H. and R. Booker. 2002. Variation of stress wave velocity with MC and temperature. *Wood Science and Technology* 36(1):41-54
- Kawai, A, I.Iida, Y.Ishimaru. 2001, Dynamic behavior of liquid penetration in softwood. *Mokuzai Gakkaishi* 47 (6):493-500
- Kelso, W.C., R.D. Gertje Jensen and R.L. Hossfeld. 1963. The effect of air blockage upon the permeability of wood to liquids. *Univ. of Minn., Agr. Expt. Sta., Tech. Bul.* 242
- Ledig, S. F. and R. Seyfarth. 2001. Characterization of surface color during wood processing. *Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9-13, Tsukuba, Japan:* 288-293
- Ledig, S. F. and R. Seyfarth. 2001. Characterization of surface color during wood processing. *Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9-13, Tsukuba, Japan:* 288-293
- Matsumura, J, R.E.Booker, L.A.Donaldson and B.G.Ridoutt. 1998. Impregnation of radiata pine wood by vacuum treatment: identification of flow paths using fluorescent dye and confocal microscopy. *IAWA Journal* 19(1):25-33
- Matsumura, J., R.E.Booker, L.A.Donaldson and B.G.Ridoutt. 1998. Impregnation of radiata pine wood by vacuum treatment: identification of flow paths using fluorescent dye and confocal microscopy. *IAWA Journal* 19(1):25-33
- Mitsui, Katsuya, H. Takada, M. Sugiyama and R. Hasegawa. 2001. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. *Holzforschung* 55(6):601-605
- Moren, T.J. 2001. Personal communication.
- Mottonen, V. and K. Luostarinen. 2001. Discoloration of silver birch wood

- from plantation forests during drying. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9–13, Tsukuba, Japan: 426–429
- Mottonen, V. and K. Luostarinen. 2001. Discoloration of silver birch wood from plantation forests during drying. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9–13, Tsukuba, Japan: 426–429
- Obataya, Eiichi, F. Tanaka, M. Norimoto and B. Tomita. 2000. Hygroscopicity of heat-treated wood I: Effects of after-treatments on the hygroscopicity of heat-treated wood. *Mokuzai Gakkaishi* 46(2):77–87
- Olsson, T, M.Megniss, J.Varna and H.Lindberg. 2001. Study of the transverse liquid flow paths in pine and spruce using scanning electron microscopy. *Journal of Wood Science* 47(4):282–288
- Ridoutt, Bradley G. D.L. McConchie and R.D. Ball. 1999. Predicting resin pockets in radiata pine logs from blemishes on log ends. *Wood and Fiber Science* 1(4):434–440
- Sakai, H., A.Minamisawa and K.Takagi. 1990. Effect of moisture content on ultrasonic velocity and attenuation in woods. *Ultrasonics* 28 November: 382–385.
- Siau, J. F. 1984. *Transport Process in Wood*. Springer–Velag, New York. p74
- Siau, John F. 1995. *Wood: Influence of moisture on physical properties*. Department of Wood Science and Forestry Products, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Simpson, W.T. 1998. Relationship between speed of sound and moisture content of red oak and hard maple during drying. *Wood and Fiber Science* 30(4):405–413.
- Sjoestroem, E. 1981. *Wood Chemistry*. Academy Press, Inc., New York. p84
- Tarvainen, V., P. Saranpaa and J. Repola. 2001. Discoloration of Norway spruce and Scots pine timber during drying. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9–13, Tsukuba, Japan: 294–299
- Tarvainen, V., P. Saranpaa and J. Repola. 2001. Discoloration of Norway spruce and Scots pine timber during drying. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9–13, Tsukuba, Japan: 294–299
- Tejada, Alvaro, T. Okuyama, H. Yamamoto and M. Yoshida. 1997. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: Assessment of a commercial-scale operation. *Forest Products Journal* 47(9):86–93
- Temnerud, Erik and J. Oja. 1998. A preliminary study on unbiased volume estimation of resin pockets using stereology to interpret CT-scanned images from one spruce log. *Holz als Roh und Werkstoff* 56:193–200
- Temnerud, Erik, E. Valinger and B. Sundberg. 1999. Induction of resin pockets in seedlings of *Pinus sylvestris* L. by mechanical bending stress during growth. *Holzforschung* 53:386–390
- Terziev, N. 2002. *Industrial Kiln Drying and its Effect on Microstructure*,

- Impregnation and Properties of Scots Pine Timber Impregnated for Above Ground Use. Part 1. Effects of Initial, Final Dryings and Preservative on Impregnation and Timber Quality. *Holzforschung* 56(4):428-433
- Terziev, N. and G. Daniel. 2002. Industrial Kiln Drying and its Effect on Microstructure, Impregnation and Properties of Scots Pine Timber Impregnated for Above Ground Use. Part 2. Effect of Drying on Microstructure and Some Mechanical Properties of Scots Pine Wood. *Holzforschung* 56(4):434-439
- Tolvaj, L., S. Molnar, H.G.Richter and T. Riehl. 2001. Hydrothermal treatment (steaming) under atmospheric and pressure conditions. *In "Technology for High Quality Productions from Black Locust"* by BFH, Hamburg.
- Yata, Shigeki and Takeshi Tamura. 1995. Histological changes of softwood surfaces during outdoor weathering. *Mokuzai Gakkaishi* 41(11):1035-1042
- Youke, Z, I.Iida, L.Jianxiong and Y.Haopeng. 2003. Dynamic observation of liquid penetration into Chinese Fir and Poplar. The proceeding of 9th wood science branch symposium of Chinese forestry society, 2003: 106-111
- Zaman, Anis, Raimo Alen, Risto Kotilainen. 2000. Thermal behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and silver birch (*Betula pendula*) at AT 200-23 0°C. *Wood and Fiber Science* 32(2):138-143
- Zaman, Anis, Raimo Alen, Risto Kotilainen. 2000. Thermal behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and silver birch (*Betula pendula*) at AT 200-23 0°C. *Wood and Fiber Science* 32(2):138-143
- 강호양, 김수원, 박상진. 2003. 무수초산 및 포르말데하이드 기상처리 산벚나무의 야외폭로 및 촉진열화. *목재공학* 31(5):57-64
- 강호양, 박상진, 김영숙. 2002. 촉진열화목재의 흡습성과 초음파전달속도. *목재공학* 30(1):18-24
- 강호양. 2001. 단척 통나무와 제기목의 마이크로웨이브-진공 건조. *목재공학* 29(4):25-32
- 강호양. 2001. 은사시나무의 건조특성. *한국목재공학회 정기총회 (2001년 4월 20일)*, 임업연구원, 서울:50-55
- 강호양. 2003. 은사시나무 판재의 열기건조, 고온건조, 마이크로파-진공 건조. *목재공학* 31(4):31-37
- 송홍근, 김재광. 1994. 소나무와 잣나무의 잎과 수지에 함유된 정유 성분. *목재공학* 22(3):59-67
- 허중윤, 강호양. 1997. Pressure Bomb법을 이용한 섬유방향 액체투과성 측정. *목재공학* 25(3):66-74.
- 황병호, 강하영. 1976. 잣나무송지의 화학적 성상에 관한 연구. *목재공학* 4(1):3

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.