

보안과제(        ), 일반과제 (   ○   )        과제번호 106101-3

연속 횡압축 가공 처리법을 이용한 비용 절감형  
국산 침엽수 판재의 상압 방부처리 및 표면  
입체가공 기술 개발

Development of cost-saving atmospheric preservative  
treatment and 3D surface process technology for  
domestic softwood lumber utilizing a continuous  
compression perpendicular to grain process

연구기관  
충남대학교

농림수산식품부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “연속 횡압축 가공 처리법을 이용한 비용 절감형 국산 침엽수 판재의 상압 방부처리 및 표면 입체가공기술 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009년 4월 일

주관연구기관명 : 충남대학교  
총괄연구책임자 : 이 종 신  
세부연구책임자 : 장 상 식  
연 구 원 : 김 성 준  
연 구 보 조 원 : 김 성 주  
연 구 보 조 원 : 김 진 경  
연 구 보 조 원 : 황 순 원  
연 구 보 조 원 : 김 동 현  
연 구 보 조 원 : 김 도 균

# 요 약 문

## I. 제 목

연속 횡압축 가공 처리법을 이용한 비용 절감형 국산 침엽수 판재의 상압 방부처리 및 표면 입체가공기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 방부처리 공장 현황을 살펴보면 2009년 4월 현재 34개 공장이 가동되고 있으며 연간 약 300,000m<sup>3</sup>의 방부처리목재 생산능력을 갖추고 있다.

국내의 방부처리목재의 가장 큰 시장은 조경시설재 부분으로 2004년도 방부처리업체에서 생산한 총 방부처리 목재 48,871.3m<sup>3</sup>중에서 조경시설재가 33,228.9m<sup>3</sup>로 전체 생산량의 약 67.9%를 차지하였다.

조경시설물에는 판재, 각재, 원주 가공재 등 다양한 형태 및 치수를 갖는 목재 부재가 사용되고 있다. 이들 부재에 최대의 내구성을 부여하기 위해서는 가압식 방부처리를 실시하여 고도의 방부 처리도를 얻는 것이 바람직하다.

그러나 플로링재, 데크재, 사이딩재, 계단재, 방음벽재 등 일정 두께 이하의 판재 형태의 많은 부재들에 대해서는 막대한 시설 투자비용이 소요되는 가압식 방부처리 방법을 적용하지 않고도 적은 비용으로 간편하게 상압에서 처리할 수 있으며 가압식 처리에 상당하는 고도의 방부 처리도(침윤도, 흡수량)를 얻을 수 있는 새로운 처리 방법을 개발하여 경제적으로 방부처리를 실시할 필요가 있다.

목재를 약액 중에서 횡압축 후 해압하면 해압 직후 세포벽의 탄성적 변형회복에 의해 액체 흡인력이 발생하여 단시간에 약액이 목재 내부로 주입된다. 주입량은 압축과 해압의 반복처리에 의해 증가시킬 수 있다.

또한 고함수율 또는 생재함수율 목재의 경우 Roll Press기를 이용하여 횡압축을 가할 경우, 압축 단계에서 수분(자유수)이 제거되고 뒤이은 해압 단계에서 세포벽의 변형회복에 의한 약액 주입이 이루어져 수분제거와 약액 주입을 동시에 달성할 수 있다.

본 연구의 목표는 조경시설용 판재들을 방부처리하는데 있어 가압식 방부처리를 대체할 수 있으며 간편하고 저비용으로 고도의 방부처리도를 달성할 수 있는 새로운 상압 방부처리기술을 개발하는데 있다.

목표를 달성하기 위하여 단계적인 압축 비율로 연속적인 부분 횡압축이 가능하고 단시간 내에 방부 약액을 주입 할 수 있는 Roll Press기를 개발, 제작하여 최적의 처리조건을 구명하였다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

횡압축 처리에 의한 국산 침엽수 판재의 방부제 주입 기술을 개발하기 위하여 수종, 함수율, 용이분포 등 횡압축 처리에 가장 적합한 판재의 재질 조건을 조사하였다. 또한 약제 처리 방법, 판재의 압축률 및 압축회수 등 최상의 약제 주입성 달성을 위한 횡압축 처리 조건을 조사하였다. 횡압축 처리 후 조직의 결합 발생, 물리 및 강도적 특성 변화 등을 조사하여 횡압축 처리에 따른 판재의 재질 변화도 조사하였다.

자상처리 후 횡압축 처리에 의한 판재의 방부제 주입기술을 개발하기 위하여 자상 깊이, 자상 밀도 등 최적의 자상처리 조건을 조사하였다. 또한 최상의 약제 주입성 달성을 위해 자상 처리 후 횡압축 처리 회수, 판재 압축률, 약제 처리 방법 등 최적의 횡압축 처리 조건을 조사하였다. 자상처리 후 횡압축 처리에 따른 판재의 재질 특성 변화를 밝히기 위하여 조직의 결합 발생과 물리 및 강도적 특성을 조사하였다.

횡압축 입체가공에 의한 국산 침엽수 판재의 방부제 주입 기술을 개발하기 위하여 판재의 재질조건을 조사하였다. 또한 최적의 약제 주입성을 달성하기 위하여 입체가공 방법, 횡압축 처리 조건 등을 조사하였다. 횡압축 입체 가공 판재의 물리 및 강도적 성질을 조사하여 횡압축 입체 가공에 따른 재질 변화를 조사하였다.

#### IV. 연구개발결과

국내산 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송 판재를 이용해 횡압축에 의한 상압 방부처리 가능성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

각 수종 별로 횡압축 가공성을 조사한 결과, 생재함수율이 높았던 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 거의 동일한 경향을 보여 가공성에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 판재가 심재로만 구성되어 함수율이 낮았던 낙엽송 판재의 경우는 가장 많은 하중을 필요로 하여 3 수종 중에서 횡압축 가공성이 가장 불량하였다.

횡압축에 영향을 미치는 재질 조건을 조사한 결과 산용이의 경우에는 큰 영향을 미치지 않았으나 죽은 용이의 경우에는 탈락되어 횡압축 가공에 저해요인으로 작용하였다. 또한 수지낭의 경우 횡압축에 의해 수지분이 압출되어 수용성 방부제의 침투에 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

함수율이 비교적 높았던 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우, 횡압축에 의해 다량의 수분이 빠져나와 함수율이 현저하게 저하되는 경향을 보였다. 그러나 함수율이 낮았던 낙엽송 판재의 경우에는 함수율 저하가 미미한 수준에 그쳤다.

횡압축 가공에 의한 판재의 비중 변화와 영구두께 감소율을 살펴본 결과, 비중 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 영구 두께 감소도 두께 10mm 판재에서 약 0.5mm에 불과해 거의 무시할 만한 수준이었다. 이것은 생재상태에서 횡압축을 가했기 때문인 것으로 판단되었다.

횡압축이 판재의 강도적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과, 무처리와 횡압축 처리 판재 간에 표면 경도와 휨강도에 일정한 경향을 보이지 않아 횡압축이 판재의 강도적 성질에 미치는 영향을 밝히지는 못했다. 그러나 고함수율 상태에서 횡압축을 실시하게 되면 강도적 성질에는 악영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다.

횡압축 처리에 의한 방부제 침투 특성을 조사한 결과, 변재로만 구성되어 생재함수율이 높았던 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 횡압축량과 횡압축 처리 회수가 증가할수록 방부제의 침윤도 및 흡수량도 증가하는 경향을 보였다. 그러나 함수율이 낮고 심재로만 구성되어 있는 낙엽송 판재에서는 횡압축에 의한 방부제의 침투는 거의 이루어지지 않았다.

한편, 횡압축 방부처리 후 판재를 바로 건조하지 않고 일정기간 동안 밀폐 잔적

하여 보관할 경우 방부제의 침투성이 현저하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

횡압축 방부처리 판재의 약제 용탈성을 조사한 결과, 방부제의 침윤도 및 흡수량이 가장 많았던 리기다소나무 판재에서 가장 많은 Cu의 용탈량을 보였으며 이어서 잣나무 순이었다. 방부제 침투성이 가장 불량했던 낙엽송 판재는 가장 적은 Cu 용탈량을 보였다.

횡압축 가공 중의 처리 약액의 농도변화를 조사한 결과, 횡압축 가공 판재 매수가 증가함에 따라 처리 약액 중의 Cu의 함유량이 미미하나마 감소하는 경향을 보였다.

자상처리(incising) 후 횡압축 처리에 의한 국산 침엽수 판재의 방부처리법을 검토하였다.

판재의 재질과 자상처리 가공성과의 관계를 조사한 결과, 비중이 낮고 생재함수율이 높은 리기다소나무와 잣나무는 자상처리 가공성이 우수하였다. 그러나 심재로만 구성되어 있고 함수율이 낮은 낙엽송 판재의 경우에는 가공성이 좋지 않았다.

판재의 물리적인 성질에 미치는 영향을 조사한 결과, 판재의 비중에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 함수율의 경우에는 처리 후 판재의 함수율이 현저하게 저하하여 횡압축에 의한 수분제거 효과가 나타났다.

판재의 표면경도에 미치는 영향을 조사한 결과, 자상깊이와 자상밀도가 증가하여도 무처리 판재의 표면경도와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 휨강도의 경우에는 자상처리 판재가 낮은 휨강도를 보여 자상처리에 의해 강도저하가 초래되었다. 자상처리 깊이와 밀도가 높을수록 그 경향은 뚜렷하게 나타났다.

자상처리에 의해 발생하는 판재의 재질결함을 조사한 결과, 자상깊이와 밀도가 깊고 높은 조건에서 자상 처리한 낙엽송 판재에서 쪼개짐이 발생하였다, 그러나 높은 함수율을 가진 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 결함 발생이 관찰되지 않았다.

방부제 침투성을 조사한 결과, 자상처리 판재에서 방부제의 침윤도와 흡수량 증가가 뚜렷하게 나타나 자상처리가 방부제 침투성 향상에 효과적인 것으로 밝혀졌다. 특히 방부제 침투성이 불량했던 낙엽송 판재의 경우, 비록 자상 부위에서만 방부제 침투가 관찰되었지만, 자상처리에 의해 높은 침윤도와 흡수량을 나타냈다.

처리 판재의 방부제 용탈 특성을 조사한 결과, 모든 판재에서 방부제의 유효성분

중에 하나인 Cu의 용탈이 발생하였으며 방부제 침투가 양호했던 리기다소나무와 잣나무 판재에서 그 경향은 뚜렷하였다. 그러나 이것은 처리 판재 표면에 물리적으로 부착해 있던 성분이 씻겨져 나와 나타나는 현상이다.

방부처리 과정 중에 처리 약액의 농도 변화를 조사한 결과, 처리 판재 매수가 증가할수록 방부제 유효성분인 Cu의 함유량이 감소하였다. 이것은 판재 내부로 약제 흡수가 진행되고 이것은 유효성분의 감소로 이어져 약액의 농도 저하로 나타나는 것이다.

횡압축 입체 가공에 의한 침엽수 판재의 방부처리 가능성을 검토하였다. 입체 가공은 V자형과 T자형의 톱니를 가진 치구를 제작하여 roller에 부착하여 처리하였다.

입체가공이 판재의 물리적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과, 판재의 비중에는 거의 변화가 발생하지 않았다. 판재 함수율의 경우에는 톱니와 판재의 접촉면이 작아 수분 압출량이 적어 함수율의 저하는 거의 발생하지 않았다.

판재의 강도적 성질을 조사한 결과, 표면경도나 휨강도 모두 횡압축 입체가공에 의해 감소하는 경향은 보이지 않아 판재의 강도에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다.

판재의 방부제 침투특성을 조사한 결과, 입체가공에 의해 방부제의 침투가 촉진되는 경향을 보였으며 V자형의 입체가공보다는 T자형의 입체가공에서 좋은 결과를 보였다. 수종 별로는 리기다소나무와 잣나무에서 우수한 결과를 얻었으며 낙엽송 판재에서는 거의 침투가 촉진되지 않았다.

처리 판재의 방부제 용탈특성과 처리 과정 중에 발생하는 약액의 농도 변화를 조사한 결과, 횡압축 단독과 자상처리 후 횡압축 처리에서와 동일한 결과가 얻어졌다.

이상 횡압축 처리에 의한 국내산 침엽수 3수종의 방부처리를 검토한 결과, 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우에는 높은 가능성을 보였으나 낙엽송 판재의 경우에는 재질 특성 상 횡압축에 의한 방부처리가 곤란하였다.

횡압축 단독처리에 비하여 자상처리 후 횡압축 처리가 높은 방부제 침투성을 나타내 실용화 가능성이 매우 높았다.

## V. 연구성과의 활용 계획

국산 침엽수 판재의 횡압축 가공에 의한 방부처리 기술을 국내의 방부처리 목재 생산업체에 보급하여 방부처리 목재의 생산량 증대와 함께 관련 산업의 경쟁력 향상에 기여할 것이다.

그 밖에 개발된 기술을 방부처리 산업 이외에 최근 관심이 높은 플로어링용 WPC(Wood plastic composites) 제조 등 개량목재 생산에 활용할 계획이다.



# SUMMARY

## I. Title

Development of cost-saving atmospheric preservative treatment and 3D surface process technology for domestic softwood lumber utilizing a continuous compression perpendicular to grain process

## II. Research objectives and needs

As of April of 2009 the annual production of preservative treated wood were approximately 300,000m<sup>3</sup> by 34 factories. An area of landscaping-facility, the biggest domestic market of the preservative treated wood, consumed 33,228.9m<sup>3</sup> which was equal to 67.9 % 48,871.3m<sup>3</sup> which was the total production by the preservative treatment industries in 2004.

The landscaping facilities needed subsidiary materials which had various shapes and sizes such as board, lumber, and timber. It is desirable to obtain the high degree of preservation by applying the pressure process to provide the maximum durability for the subsidiary materials.

However, many board typed subsidiary materials such as lumber for flooring, deck, siding and stairs of which was less than some thickness could be treated by simple method treated under atmospheric pressure without the pressurized preservative treatment which required huge amount of expenses. The simple method should be developed the new economic treatment method which gives the appropriate preservative degree equal to the pressurized preservative treatment.

The preservatives could be quickly absorbed into the wood by generation of liquid attractive forces owing to recovery of elastic transformation of cell after release of compression perpendicular to grain process for wood in preservatives. The amount of injection can be increased by the repetition of pressure and release pressure.

Also, the simultaneous injection of preservatives and removal of moisture

can be achieved from removal of moisture in pressure process followed by recovery of cell wall transformation if the compression perpendicular to grain using the Roll Press was applied to the woods of high moisture content or green moisture content.

The principle objectives of this investigation were to develop the atmospheric pressure preservative technology to obtain high preservative treatment degree with low cost and simple operation method as well as substitution of the pressure preservative treatment technology for the lumber of landscaping facilities.

To achieve the goals, we investigated and verified the conditions of the most appropriate treatment using Roll-Press develop to inject preservative into the woods quickly as well as sequential compression perpendicular to grain with several rates.

### III. Research contents

We investigated the materials conditions of the boards most appropriate for horizontal pressure including species, moisture contents, knots to develop the preservative injection technology for domestic softwood lumber.

Also, we investigated the treatment method of preservative, pressure rate of the lumber and the number of pressure for the compression perpendicular to grain to achieve the most favorable preservatives injection. After the compression perpendicular to grain, we observed the quality of the lumber as well as defect in a texture and physical and degree of strength.

For the preservative injection technology for the lumber by the compression perpendicular to grain after incising treatment we investigated the most probable treatment conditions such as depth and density of incising. Also the conditions of compression perpendicular to grain such as number of the compression perpendicular to grain, pressurized rate of the lumber, and injection method were studied for the most favorable preservatives injections after incising treatment.

We also observed the quality of the lumber to develop the preservative injection technology in the domestic softwood lumber for the process by the compression perpendicular to grain. On the other hand, a 3D surface process and its physical properties were measured.

#### IV. Results of research

From this investigation we obtained the following conclusions for the possibility of atmospheric pressure preservative treatment by the compression perpendicular to grain process using domestic pitch pine, korean pine and japanese larch lumber.

For the compression perpendicular to grain process of the respective varieties for the lumber of pitch pine and korean pine, there were not much differences in the moisture contents.

A japanese larch which had low moisture content due to mostly core showed very poor compression perpendicular to grain process, resulting in very high load among three species.

The results of material conditions under the compression perpendicular to grain process showed that a new knot did not affect while the dead knot affected the compression perpendicular to grain process. Also we assumed that rosin was exudated by the compression perpendicular to grain process and influenced the penetration of water-soluble preservative.

For pitch pine and korean pine lumber having a relatively higher moisture content, the moisture content was drastically decreased owing to mass release of water while the decrease in moisture was not notable in larch.

For changes in density and reduction rate of permanent thickness of the lumber by the compression perpendicular to grain process, there were little changes in both observations. We assumed that this was caused by the compression perpendicular to grain process in the condition of green wood.

For the effect of the compression perpendicular to grain process on the

intensity, there were not close relationship between the lumber-treated and untreated. However, the intensity property was not influenced by the compression perpendicular to grain process under high moisture content.

For the preservative penetration property by the compression perpendicular to grain process, pitch pine and korean pine having a relatively higher moisture content due to sapwood showed that there were increases in injection rate and absorption with increasing number and amount of the compression perpendicular to grain process. However, there were little injection of the preservative in the larch having a very low moisture content due to relatively very high core proportion. On the other hand, there were drastic increase in injection of the preservatives when we store the boards to some period in a closed chamber without drying after preservative treatment by compression perpendicular to grain process.

For leaching of preservatives of the treated lumber under compression perpendicular to grain process, there were high leaching of copper in the order of pitch pine and korean pine lumber, resulting in higher retention and absorption by pitch pine lumber. There were less leaching of Cu for the japanese larch showing poor retention of the preservative.

For the concentration changes in treating preservatives during the compression perpendicular to grain process, there were slight decrease in Cu in the treating preservatives with increasing treatment of lumber under the compression perpendicular to grain process.

We investigated the preservative treatment method for the domestic softwood lumber using compression perpendicular to grain process after incising.

The results obtained from the quality of the lumber and incising property showed that the incising properties were distinctive in pitch pine and korean pine lumber having low density and high moisture content, while the incising properties was poor in the lumber from the japanese larch lumber having low moisture content and a relatively high core proportion.

For the factors influencing the physical properties, the density of the

lumber did not significantly influence the quality of the lumber. There were drastic decrease in moisture content in the lumbers under the compression perpendicular to grain process.

For the surface hardness of the lumbers, increases in incising depth and density did not affect the surface hardness compared with that of the untreated board. But the bending strength of the incising lumber showed less than that of the untreated. the bending strength of the incising board was distinctive with increasing incising depth and density.

For the defects of the lumber caused by incising treatment, there were cleavage in the incised japanese larch lumber with deep incising depth and density. But there were little cleavage in the boards of pitch pine and korean pine lumber having high moisture content.

For the penetration of the preservative, there were drastic increase in penetration and absorption for the incised lumbers, resulting in incising is effective in improvement of preservative penetration. Particularly, the japanese larch lumber having a low penetration showed increase in preservative penetration with incising.

For leaching of Cu for the preservative treated lumber, there were Cu leaching for all boards, especially in the boards of pitch pine and korean pine lumber having a relatively higher retention of the preservative. For this we assumed that the leaching of Cu was caused by washing the element physically adsorbed onto the lumber surface.

For the concentration changes of the preservatives during the treatment process, there were decrease in Cu with increase in lumber treated. This could be caused by transport of the preservatives into the board followed by decrease in available concentration of Cu.

For the possibility of preservative treatment for the softwood lumber under the compression perpendicular to grain process, a 3D surface process were done by V- and T-typed tooth.

For the effect of 3D surface process on the physical properties, there were little change in the density of the lumbers. There were also little changes in the moisture content due to little extraction of water owing to very small contact surface between the board and the tooth.

For the strength properties of the lumber, there were little decrease in surface hardness and bending strength. From this, we assumed that the 3D surface process did not influenced the strength properties of the boards.

For the penetration of the preservative, there were increase in penetration of the preservative under 3D surface process and V-types 3D surface process was effective in penetration than that of V-types 3D surface process. For species, the lumbers of pitch pine and korean pine was favorable in penetration than that of the japanese larch lumber.

For leaching characteristics of the preservative from the treated lumbers and preservative concentrations produced during the treatment process, we obtained the same results for the only the compression perpendicular to grain process and sequential treatments of the compression perpendicular to grain process and incising.

Thus, the lumbers of pitch pine and korean pine showed a high possibility of the the compression perpendicular to grain process while little possibility for the japanese larch lumber due to wood quality under the atmospheric pressure. Compared to the compression perpendicular to grain process, the compression perpendicular to grain process after the incising showed high preservative penetration, that is, the most practical method.

## V. Application plans of results

The technology of the compression perpendicular to grain process for the domestic softwood lumbers given to the factories which produce the treated lumbers contribute the improvement and enhancement of competition as well as improvement of the preservative treated lumbers.

The technique develop in this study can be used in production of improved woods such as WPC (Wood plastic composites) besides the preservative treatment factories.

# CONTENTS

Part I	Out line of research .....	17
1.	Targets of research .....	17
2.	Requirements of research .....	18
3.	Scopes of research.....	21
Part II	Status of technology in domestic and aboard.....	23
Part III	Contents and results of research .....	23
1.	Preface .....	23
2.	Properties and preservatives penetration of lumber treated by the compression perpendicular to grain process .....	25
3.	Properties and preservatives penetration of lumber treated by the compression perpendicular to grain process after incising .....	60
4.	Properties and preservatives penetration of lumber treated by 3D surface—the compression perpendicular to grain process .....	85
Part IV	Attainment of targets and contribution to related fields .....	107
Part V	Application of results .....	111
Part VI	References .....	112



# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	17
제 1 절 연구개발의 목적 .....	17
제 2 절 연구개발의 필요성 .....	18
제 3 절 연구개발의 범위 .....	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	23
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	24
제 1 절 서 설 .....	24
제 2 절 횡압축 처리한 판재의 재질과 방부제 침투 특성 .....	26
제 3 절 자상처리 후횡압축 처리한 판재의 재질과 방부제 침투 특성 .....	60
제 4 절 횡압축에 의해 입체가공한 판재의 재질과 방부제 침투 특성 .....	85
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	107
제 5 장 연구개발 성과 및 활용계획 .....	111
제 6 장 참고문헌 .....	112

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적

우리나라 목재산업 규모는 2005년 추정치로 약 27조원에 달해 국내 산업총생산액의 약 2.0%를 차지하고 있으며 생산시설은 약 5,000여개, 산업종사자수는 약 200,000여명에 이르고 있다. 국토의 70% 이상이 산지로 구성되어 있으나 이용 가능한 양질의 목재 생산이 어려워 매년 국내 목재수요의 대부분을 수입에 의존하는 대표적인 목재자원의 빈국이다. 국내 목재 수요는 경제성장과 더불어 매년 증가하여 1998년 20,081천m<sup>3</sup>, 2002년 29,047천m<sup>3</sup>, 2005년 27,445천m<sup>3</sup>이었으며 2020년이 되면 35,886천m<sup>3</sup>까지 증가할 것으로 전망하고 있다. 그러나 우리나라의 목재 자급율의 변화 추이를 살펴보면 각각 1998년도 약 7.1%, 2002년도 약 5.5%, 2005년도에는 약 8.6%에 불과해 매년 국내 목재수요의 90% 이상을 외국으로부터 수입하고 있는 실정이다. 2004년도에 목재류 수입에 사용된 외화는 약 20억 달러에 달했으며 2005년도 3/4분기까지 침엽수 원목 수입에만 사용된 외화도 약 4억 5천만 달러에 이르러 전년 동분기 대비 18.5%의 증가세를 보였다. 매년 목재류 수입에 사용되는 20억 달러가 넘는 외화 소비를 줄일 수 있는 최선의 방법은 경제 수종의 선발과 조림을 통한 양질의 국산재 생산을 획기적으로 늘려 목재 자급율을 높이는 것이라 할 수 있다. 그러나 이것은 국가의 임업정책적인 차원에서 국산재 수급대책을 수립하여 추진해야하는 장기적인 대책일 뿐만 아니라 우리나라 기후 및 산림토양 등 임목생장에 불리한 자연환경 조건과 사유림의 경우 산지 소유규모가 산주 1인당 2.1ha로 10ha미만의 산주가 96%를 차지하는 현실 등을 고려하면 국산재 생산을 늘리기 위한 임업정책을 펴나가기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 장기적인 국산재 수급 정책의 추진과 더불어 단기적으로는 목재 소비량을 줄여 외화절감 효과를 가져 올 수 있는 대책을 수립하여 국가 및 민간차원에서 적극적으로 추진해야 할 필요성이 있다.

목재는 수목의 탄소동화작용에 의해 생성된 유기물로 구성되어 있기 때문에 건축용재나 토목용재로 사용하는 과정 중에 자연계에 존재하는 수많은 목재 부후성 미생물의 공격을 받아 열화가 발생하여 재료로서의 성능을 상실하게 되며 이는 목재의 소비 증대로 이어진다. 목재는 방부처리에 의해 사용수명을 3~8배까지 연장시킬 수 있기 때문에 방부처리 목재의 사용량을 증대시킬수록 목재 소비를 줄일 수 있어 목재 수입에 사용되는 외화를 절약할 수 있는 경제적인 효과를 가져 올 수 있다. 따라서 우리나라와 같이 많은 양의 목재를 수입하고

있는 실정에서는 방부처리 목재의 사용량을 증대시킬 수 있는 방향으로 목재 소비패턴을 정책적으로 변화시킬 필요가 있다. 또한 목재의 방부처리는 저질재의 고부가가치화를 도모할 수 있어 경제적으로 유리할 뿐만 아니라 부후 발생을 방지하여 목재 시설물의 안전성을 높일 수 있기 때문에 각종 재해를 예방하거나 감소시킬 수 있어 공익적 효과도 얻을 수 있다.

우리나라의 방부처리 목재 사용량을 외국 선진국과 비교하면 국민 1,000명당 한국 1.7m<sup>3</sup>, 스웨덴 54.7m<sup>3</sup>, 미국 57.7m<sup>3</sup>, 뉴질랜드 287.3m<sup>3</sup> 등으로 우리나라는 외국 선진국의 약 1/32~1/169에 지나지 않는다. 이와 같이 우리나라는 목재자원의 빈국임에도 불구하고 방부처리 목재 사용량이 스웨덴, 미국, 뉴질랜드 등 목재자원이 풍부한 외국 선진국에 비하여 월등히 적다는 것은 우리나라의 방부처리 목재사용의 중요성에 대한 인식이 얼마나 부족한지를 단적으로 보여주는 좋은 예가 된다. 그러나 최근 들어 우리나라에서도 산·학·연·관이 일체화 되어 방부처리 목재의 품질인증제도 도입, 목재보존협회의 결성 등을 비롯하여 조경업계, 건설업계 및 지방자치단체 등의 관련 종사자를 대상으로 심포지엄을 개최하는 등 방부처리 목재 사용의 중요성에 대한 교육 및 홍보 활동을 적극적으로 펼친 결과 우리나라 방부산업의 시장규모도 커져 2000년 500억원이었던 매출규모가 2005년도에는 4,000억원에 이르는 괄목할 만한 성장을 이루었으며 앞으로 이러한 성장은 지속될 것으로 예상하고 있다.

국민의 소득증대와 더불어 건강한 삶에 대한 회구로 환경 및 인체 친화적이며 자연미가 풍부한 목재의 사용은 날로 증가할 것으로 전망된다. 이에 따라 양질의 국산재 공급이 극히 어려운 우리나라 여건에서는 매년 막대한 양의 목재를 수입하기 위해 많은 외화를 지출해야 할 것으로 예상된다. 목재자원이 빈약한 우리나라로서는 목재자원의 절약과 함께 목재 수입에 사용되는 막대한 외화를 절약할 수 있고, 국내 방부업계의 활성화를 도모함으로써 경제·산업적 효과를 동시에 얻을 수 있는 방부처리 목재의 사용을 확대해야 한다. 이를 위해서는 막대한 시설비가 요구되는 가압식방부처리만을 고집하지 않고 목재의 형상 및 용도에 맞추어 소규모의 생산시설로 보다 간편하고 적은 비용으로 방부처리를 할 수 있는 새로운 기술을 개발하여 보급할 필요가 있다.

## 제 2 절 연구개발의 필요성

우리나라의 방부처리 공장 현황(2004년 7월 기준)을 살펴보면 19개사 21개 공장이 가동되고 있으며 연간 95,558m<sup>3</sup>의 방부처리목재 생산능력을 갖추고 있다. 이 중에서 주로 조경시설

및 건축용 방부처리 목재를 생산하는 수용성 가압식 방부처리 공장은 15개사(17기의 주약관 보유)로 연간 총 생산능력은 50,042m<sup>3</sup>에 이르고 있다. 국내의 방부처리목재의 가장 큰 시장은 조경시설재 부분으로 2004년도 방부처리 업계에서 생산한 총 방부처리 목재 48,871.3m<sup>3</sup>(유용성 약제처리 목재 제외)중에서 조경시설재가 33,228.9m<sup>3</sup>로 전체 생산량의 약 67.9%를 차지하였다. 현재 국내에서 조경시설물공사업체로 등록되어 있는 업체 수는 전국적으로 1,149업체에 이르고 있으며 이들 업체에서 수주한 공사기성실적은 약 4,000억원으로 이 중에서 목재시설물이 차지하는 비율은 약 25%~30%에 달하는 것으로 파악되고 있다.

조경시설물에 사용되는 목재는 용도와 특성상 반드시 가압식 방부처리를 실시하여 일정 수준 이상의 약제 처리도(침윤도 및 흡수량)에 도달해야지 만이 방부처리의 목적 및 시설물의 안전성을 확보할 수 있다. 그러나 현재 현장에 시공되고 있는 전체 조경시설물용 목재의 약 20% 정도만이 가압식 방부처리를 실시하고 나머지는 간이식 침지 또는 도포처리에 그쳐 방부처리의 중요성 및 처리목재의 내구성에 대한 소비자들의 인식을 악화시키는 원인이 되고 있다. 이와 같이 조경시설물용 목재의 가압식 방부처리 비율이 낮은 이유는 영세 조경시설업체의 경우 막대한 시설비 부담(주약관 직경 1.8m, 길이 15m 기준, 1기당 약 4.5~5억원)으로 가압식 방부처리 시설을 갖추지 못하고 있기 때문이다. 따라서 전문 처리업체에 위탁 처리하는 경우도 있으나 대부분의 경우 비용 절감을 위해 현장에서 간이식으로 처리하는 경우가 많다.

가압식 방부처리 시설을 갖추고 있는 업체의 지역별 분포를 살펴보면 인천 9, 경기 2, 대전 1, 부산 1, 충청 1, 대구 1, 경남 1, 강원 3개사로 우리나라 목재산업의 중심지인 인천지역에 편중되어 있어 방부처리목재 사용의 전국적인 확대에 어려움이 있다. 특히 가압식 방부처리에서 처리 목재량이 주약관 용적량에 미치지 못하고 적을 경우에는 일정량이 확보될 때까지 대기해야 하는 시간적 손실과 방부처리 회사기 인천 등 일부지역에 편중되어 있어 거리가 먼 지방의 경우 방부처리에 따른 물류비용이 방부처리 비용을 상회하는 경제적 손실이 발생하고 있어 일부에서는 간이식으로 침지 또는 도포처리에 그치고 마는 것이 현실이다. 또한 여러 종류의 저독성 수용성 방부제가 개발되어 있어 설계 시방서 또는 수요자의 요구에 따라 약제종류를 선택하여 처리해야 한다. 그러나 가압식 방부처리 장치의 경우에는 처리약제의 종류를 변경하기 위해서는 주약관을 비롯하여 모든 부속 라인을 청결하게 청소해야 하는 번거로움이 있어 비효율적이다. 따라서 방부처리 목재의 다변화 시대에 대응하기 위해서는 수요자가 요구하는 방부제의 종류로 간편하게 변경하여 처리할 수 있는 방부처리 장치의 개발이 필요하다.

조경시설물에는 판재, 각재, 원주가공재, 반원가공재 등 다양한 형태 및 치수를 갖는 목재 부재가 사용되고 있다. 이들 부재에 최대의 내구성을 부여하기 위해서는 가압식 방부처리를 실시하여 고도의 방부 처리도를 얻는 것이 바람직하다. 그러나 플로팅재, 데크재, 사이딩재, 계단재, 방음벽재 등 일정 두께 이하의 판재형태의 많은 부재들에 대해서는 반드시 가압식 방부처리방법을 적용하지 않고 막대한 시설비 투자 없이 적은 비용으로 간편하게 상압에서 처리할 수 있으며 가압식 처리에 상당하는 고도의 방부 처리도(침윤도, 흡수량)를 얻을 수 있는 새로운 처리 방법을 개발하여 용도에 맞게 경제적으로 방부처리를 실시할 필요가 있다.

목재는 적절한 조건에서 섬유와 직각방향인 횡압축 가공에 의해 강도적 성질, 표면경도, 내마모성 등이 향상되고 재질이 균질화되는 성질을 가지고 있으며 이러한 성질을 이용하여 압축 고밀화목재의 제조법이 개발되었다. 횡압축 가공에 의하여 폐쇄벽공을 개열함과 동시에 세포벽 중에 미세한 균열을 발생시켜 방부제 침투성을 개선시키는 전가공 방법도 개발되어 있다. 특히 일본에서는 삼나무 원주가공재를 생재상태에서 횡압축 처리한 후 약제 침투성을 향상시켜 가압처리에 의해 심재부까지 방부제를 침투시킨 제품을 생산하여 옹벽, 사방담, 축대, 하천 배수로 정비 등에 이용하고 있다. 또한 일본에서는 Roll Press기를 이용하여 침엽수 단판을 약액 중에서 부분 횡압축 처리한 결과, 두께 20mm 생재단판 경우 재 내부까지 약제를 침투시킬 수 있다는 결론을 도출하였다.

목재를 약액 중에서 횡압축 후 해압하면 해압 직후 세포벽의 탄성적 변형회복에 의해 액체 흡인력이 발생하여 단시간에 약액이 목재 내부로 주입된다. 주입량은 압축과 해압의 반복 처리에 의해 증가시킬 수 있다. 또한 고함수율 또는 생재함수율 목재의 경우 Roll Press기를 이용하여 부분 횡압축을 실시할 경우, 압축 단계에서 수분(자유수)이 제거되고 뒤이은 해압 단계에서 세포벽의 변형회복에 의한 약액 주입이 이루어져 수분제거와 약액 주입을 동시에 달성할 수 있다. 이 방법은 세포내강 중의 자유수가 존재해 있던 영역을 약액으로 치환시키는 처리이기 때문에 주입 전처리로서 건조공정을 생략할 수 있고 또한 건조에 따른 할렬이나 굽음 등과 같은 건조 결함 발생을 저하시킬 수 있으며 건조에 요하는 시간이나 에너지를 절약할 수 있는 등 다양한 이점을 기대할 수 있다. 한편 목재의 Roll Press기를 이용한 부분 횡압축 가공과정에서 힘강도 저하 등 재질손상이 발생할 수 있으나 가공조건을 달리하여 재질 손상을 최소화할 수 있다. 본 연구의 목표는 조경시설용 판재 부재들을 방부처리하는데 있어 가압식 방부처리를 대체할 수 있으며 간편하고 저비용으로 고도의 방부처리도를 달성할 수 있는 새로운 상압 방부처리기술을 개발하는데 있다. 목표를 달성하기 위하여 단계적인 압축 비율로 연속적인 부분 횡압축이 가능하고 단시간 내에 방부 약액을 주입 할 수 있는

Roll Press기를 개발, 제작하여 최적의 처리조건을 구명하고자 한다. 또한 표면에 요철형의 입체문양을 새긴 Roller를 사용하여 횡압축 처리를 실시함으로써 판재의 표면가공과 함께 방부 약액을 주입할 수 있는 새로운 기술도 함께 개발하고자 한다.

## 제 3 절 연구개발의 범위

### 1. 최적의 판재 재질 조건 조사

횡압축 처리를 위한 판재의 최적 재질조건을 조사하기 위하여 수종, 함수율, 심변재 혼재, 연륜 주행방향, 판재의 두께, 용이분포 등이 횡압축 처리에 미치는 영향을 조사하였다.

### 2. 최적의 횡압축 처리 조건 조사

최상의 약제 주입성 달성을 위하여 roll press의 판재 이송 속도, 판재 압축률, 압축 처리 회수, 횡압축 후 약제 처리 방법 및 시간(분사, 분사 후 침지, 침지 시간) 등에 대하여 약제의 침윤도 및 흡수량에 기초하여 조사하였다.

### 3. 판재의 재질 특성 조사

횡압축 처리에 따른 판재의 재질 변화를 명확하게 하기 위하여 횡압축 후 조직의 결합 발생(횡단면 분할, 내부분할, 갈라짐, 길이 및 나비 굽음, 비틀림 등), 물리적 특성 변화(비중, 함수율, 영구변형율), 강도적 특성 변화(표면 경도, 휨강도, 부분 횡압축 비례한도 등) 등을 조사하였다.

### 4. 최적의 자상처리 조건 조사

자상 처리 후 횡압축 처리에 의해 판재의 방부제 처리도 향상을 위하여 횡압축 처리 전 자상 깊이, 자상 비중 등을 조사하였다.

### 5. 자상처리 후 최적의 횡압축 처리 조건 조사

최상의 약제 주입성 달성을 위하여 자상 처리 후 횡압축 처리 조건 인 roll press의 판재 이송 속도, 판재 압축률, 압축 처리 회수, 횡압축 후 약제 처리 방법 및 시

간(분사, 분사 후 침지, 침지 시간) 등을 조사하였다.

#### 6. 자상처리 후 횡압축 처리한 판재의 재질 변화 특성 조사

자상처리 후 횡압축 처리한 판재의 조직 결함 발생, 물리적 특성 변화, 강도적 성질 변화 등을 조사하여 횡압축 단독처리한 경우와 비교하여 자상처리가 판재의 재질에 미치는 영향을 조사하였다.

#### 7. 최상의 표면 입체가공성 달성을 위한 판재의 최적 재질조건 조사

수종, 함수율, 심·변재의 혼재, 연륜 주향 방향, 용이 분포 등에 따라 표면 입체가공성의 적합성 여부를 조사하였다.

#### 8. 최상의 약제 주입성 달성을 위한 최적의 횡압축 표면 입체가공 조건 조사

Roller 표면의 문양 형태, 횡압축 처리 회수, 판재 이송 속도, 판재 압축률, 횡압축 후 약제 처리 방법 및 시간(분사, 분사 후 침지, 침지시간) 등과 약제 주입성(침윤도 및 흡수량)과의 관계를 조사하였다.

#### 9. 횡압축에 의한 표면입체 가공에 따른 판재의 재질 변화 특성 조사

횡단면 분할, 내부 분할, 갈라짐, 길이 및 나비 굽음, 비틀림 등 조직의 결함 발생 여부, 비중, 함수율, 영구 변형율, 부분 변형률, 치수안정성 등 물리적 특성, 표면경도, 휨강도, 부분 횡압축 비례한도 등 강조적 특성 변화를 조사하여 횡압축 단독처리 및 자상처리 후 횡압축 처리 결과와 비교하였다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

현재 국내에서는 비교적 대규모 시설 및 운영비가 필요한 가압식 방부처리법을 적용하여 방부처리 목재가 생산되고 있으며 횡압축 처리에 의한 판재의 상압식 방부처리법은 본 연구에서 처음으로 기술 개발이 시도되었다.

외국의 연구 사례를 살펴보면, 일본의 아키타현립대학 목재고도가공연구소에서 약액 중에서 Roll press를 이용하여 압축처리를 실시한 후 처리 조건 및 수종 별로 약액 주입성을 조사한 바 있다. 또한 교토부립대학 농학부에서는 압축반복처리, 약제의 종류 등이 압축처리재의 약액 흡수량에 미치는 영향을 조사하였다. 교토대학 생존권연구소에서는 평판 프레스, Roll press 등 각종 압축법에 의한 액체주입 효과와 Roll press법에 의해 목재 중으로 액체 주입 시 액체 주입량 및 휨강도 변화에 미치는 가공조건 등을 조사한 바 있다. 그러나 이들 연구 성과가 활용된 예는 없는 것으로 파악되었다.

국내외적으로 목재 방부처리에 관한 연구 동향을 살펴보면 환경친화적이며 독성이 비교적 낮은 방부제에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나 새로운 처리기술의 개발 또는 기존 기술의 개선을 위한 연구는 수행되고 있지 않다.

따라서 처리법이 비교적 간단하고 처리 비용을 절감할 수 있는 본 연구결과는 앞으로 목재방부처리 기술 개발 분야에 새로운 동기를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 개발된 기술은 데크재 등 판재형태의 조경시설재 방부처리에 간편하게 적용할 수 있어 방부처리 목재 사용량의 증대와 함께 방부목재에 대한 인식을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.



## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 서 설

조경시설물에는 판재, 각재, 원주가공재, 반원가공재 등 다양한 형태 및 치수를 갖는 목재 부재가 사용되고 있다. 이들 부재에 최대의 내구성을 부여하기 위해서는 가압식 방부처리를 실시하여 고도의 방부 처리도를 얻는 것이 바람직하다. 그러나 플로팅재, 데크재, 사이딩재, 계단재, 방음벽재 등 일정 두께 이하의 판재형태의 많은 부재들에 대해서는 반드시 가압식 방부처리방법을 적용하지 않고 막대한 시설비 투자 없이 적은 비용으로 간편하게 상압에서 처리할 수 있으며 가압식 처리에 상당하는 고도의 방부 처리도(침윤도, 흡수량)를 얻을 수 있는 새로운 처리 방법을 개발하여 용도에 맞게 경제적으로 방부처리를 실시할 필요가 있다.

목재는 적절한 조건에서 섬유와 직각방향인 횡압축 가공에 의해 강도적 성질, 표면경도, 내마모성 등이 향상되고 재질이 균질화되는 성질을 가지고 있으며 이러한 성질을 이용하여 압축 고밀화목재의 제조법이 개발되었다. 횡압축 가공에 의하여 폐쇄벽공을 개열함과 동시에 세포벽 중에 미세한 균열을 발생시켜 방부제 침투성을 개선시키는 전가공 방법도 개발되어 있다. 특히 일본에서는 삼나무 원주가공재를 생재상태에서 횡압축 처리한 후 약제 침투성을 향상시켜 가압처리에 의해 심재부까지 방부제를 침투시킨 제품을 생산하여 옹벽, 사방댐, 축대, 하천 배수로 정비 등에 이용하고 있다. 또한 일본에서는 Roll Press기를 이용하여 침엽수 단판을 약액 중에서 부분 횡압축 처리한 결과, 두께 20mm 생재단판 경우 재 내부까지 약제를 침투시킬 수 있다는 결론을 도출하였다.

목재를 약액 중에서 횡압축 후 해압하면 해압 직후 세포벽의 탄성적 변형회복에 의해 액체 흡인력이 발생하여 단시간에 약액이 목재 내부로 주입된다. 주입량은 압축과 해압의 반복처리에 의해 증가시킬 수 있다. 또한 고함수율 또는 생재함수율 목재의 경우 Roll Press기를 이용하여 부분 횡압축을 실시할 경우, 압축 단계에서 수분(자유수)이 제거되고 뒤이은 해압 단계에서 세포벽의 변형회복에 의한 약액 주입이 이루어져 수분제거와 약액 주입을 동시에 달성할 수 있다. 이 방법은 세포내강 중의 자유수가 존재해 있던 영역을 약액으로 치환시키는 처리이기 때문에 주입

전처리로서 건조공정을 생략할 수 있고 또한 건조에 따른 할렬이나 굽음 등과 같은 건조 결함 발생을 저하시킬 수 있으며 건조에 요하는 시간이나 에너지를 절약할 수 있는 등 다양한 이점을 기대할 수 있다. 한편 목재의 Roll Press기를 이용한 부분 횡압축 가공과정에서 힘강도 저하 등 재질손상이 발생할 수 있으나 가공조건을 달리하여 재질 손상을 최소화할 수 있다.

본 연구의 목표는 조경시설용 판재 부재들을 방부처리하는데 있어 가압식 방부처리를 대체할 수 있으며 간편하고 저비용으로 고도의 방부처리도를 달성할 수 있는 새로운 상압 방부처리기술을 개발하는데 있다.

목표를 달성하기 위하여 단계적인 압축 비율로 연속적인 부분 횡압축이 가능하고 단시간 내에 방부 약액을 주입 할 수 있는 Roll Press기를 개발, 제작하여 다양한 조건에서 처리 한 후 처리 후 판재의 재질 특성, 방부제의 침투성(침윤도, 흡수량) 등을 조사하여 최적의 횡압축 처리조건을 구명하였다.

## 제 2 절 횡압축 처리한 판재의 재질과 방부제 침투 특성

### 1. 서 론

국내산 침엽수 판재를 대상으로 횡압축 처리를 하였을 경우 재질 변화 특성을 밝히기 위하여 판재의 수종, 판재의 함수율, 횡압축량 등이 판재의 표면경도, 내마모성, 휨강도 등 강도적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 횡압축 처리 후 판재의 비중, 함수율, 영구변형률 등 물리적 성질의 변화도 함께 조사하였다. 그 밖에 횡압축 후 횡단면 분할, 내부 분할, 갈라짐, 길이 및 나비 굽음, 비틀림 등 판재의 결함 발생정도를 조사하였다.

횡압축 직후 해압되는 부분에서 판재 상하로부터 방부제를 분사하여 수종 및 횡압축량 별로 방부제의 침투 특성을 조사하였다. 횡압축 후 방부처리한 판재로부터 일정 크기의 시험체를 절단하여 방부제의 침윤도 및 흡수량을 구하여 비교하였다.

그림 2-1은 본 연구에 사용하기 위해 자체적으로 설계, 제작한 roll press기의 외관 및 각 부위를 설명한 것이다.

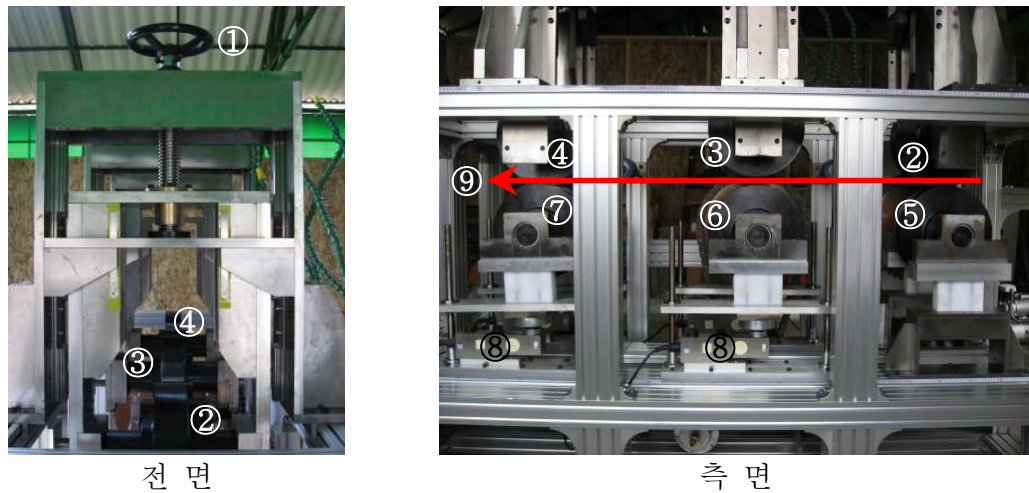


그림 2-1. Roll press기의 각 부위의 명칭과 기능

- |                 |                    |                 |
|-----------------|--------------------|-----------------|
| ①: 압축량 조절 래버    | ②: 상부 1번 roller    | ③: 상부 2번 roller |
| ④: 상부 3번 roller | ⑤: 하부 1번 roller    | ⑥: 하부 2번 roller |
| ⑦: 하부 3번 roller | ⑧: 하중 측정 load cell | ⑨: 판재 이송 방향     |

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험 재료

국내산 침엽수 주요 수종인 리기다소나무(*Pinus rigida*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix leptolepis*) 판재를 사용하였으며 가능한 생재함수율에 가까운 판재를 얻기 위하여 벌채 후 경과기간이 짧은 원목을 선발하여 사용하였다. 판재는 두께 10mm × 폭 70mm × 길이 1800mm가 되도록 제재하여 사용하였다.

목재방부제는 현재 국내에서 사용이 금지된 크롬·구리·비소화합물(CCA)계 목재방부제의 대체 약제로 가장 많이 사용되고 있는 구리·알킬암모늄화합물(ACQ-2)계 목재방부제를 사용하였으며 처리농도는 2%(wt%)로 하였다.

### 나. 실험 방법

#### (1) 횡압축 및 방부 처리

3쌍의 roller 사이를 통과시키며 연속적으로 횡압축을 실시하였다. 횡압축 회수는 1번에서 3번 roller까지 통과하는 회수에 의하여 각각 1회, 2회, 3회로 하였다. 압축량은 상부 roller의 상하 조절 레버로 상부와 하부 roller 사이의 간극을 조절하여 1, 3, 5mm가 되도록 설정하였다. roller간 거리는 65cm, 판재의 이송속도는 150mm/초로 하였다. 그림 2-2는 roll press기를 사용하여 횡압축 처리하는 모습을 나타낸 것이다.



Roll press 외관



판재의 횡압축

그림 2-2. 판재의 횡압축 과정

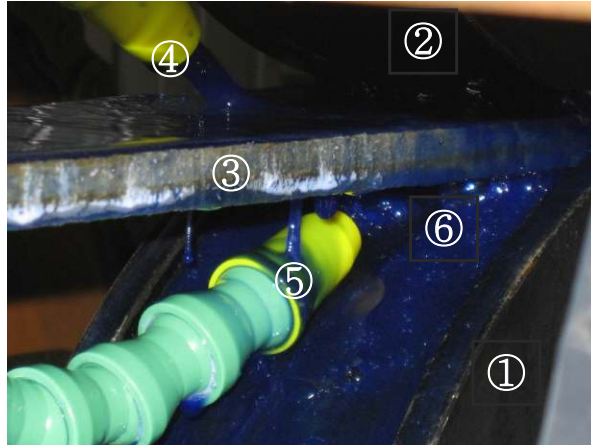


그림 2-3. 관재의 횡압축에 의한 약액 분사처리 과정

- |                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| ①: 하부 roller                  | ②: 상부 roller   |
| ③: 상하 roller에 의해 압축된 후 나오는 관재 | ④: 상부 약액 분사 노즐 |
| ⑤: 하부 약액 분사 노즐                | ⑥: 분사된 약액      |

횡압축 직후에 방부제 약액의 분사 처리 모습을 그림 2-3에 나타냈다. 횡압축 처리 조건 별(압축량 1, 3, 5mm, 압축회수 1, 2, 3회)로 횡압축 직후에 방부제 약액을 분사하여 관재 내부로 방부 약액의 침투를 유도하였다. 또한 횡압축에 의해 방부처리한 관재에 대해서 3종류의 후처리 과정을 거친 후 방부 약액의 침투성의 차이를 조사, 비교하였다. 후처리 과정은 ① 횡압축 방부처리 후 관재를 바로 풍건, ② 횡압축 방부처리 후 관재를 밀착 잔적하여 건조되지 않도록 6시간 비닐로 밀폐 보관한 후 풍건하는 2가지 방법을 적용하였다.

## (2) 횡압축 가공성 조사

횡압축량(1, 3, 5mm) 별로 관재에 가해지는 하중 값을 측정하여 수종 및 심변재간에 관재의 횡압축 가공성의 양否를 비교, 조사하였다. 그 밖에 관재의 목리(연륜주향방향), 용이분포 등이 횡압축 가공성에 미치는 영향도 조사하였다.

## (3) 관재의 물리적 성질 조사

### (가) 함수율 변화

횡압축에 따른 관재의 함수율 변화를 조사하기 위하여 횡압축 전후에 동일한

판재로부터 일정 크기의 함수율 측정용 시험편을 채취한 후 KS F 2199 『목재의 함수율 측정 방법』에 의하여 각 수종 별로 판재의 함수율을 측정하였다. 특히 횡압축에 따른 함수율 감소를 보다 정확하게 조사하기 위하여 길이 30cm로 절단한 각 수종의 판재를 이용하여 약 15cm 정도만 횡압축을 실시하고 나머지 1/2 부위는 횡압축을 실시하지 않은 상태에서 시험편을 채취하여 조사하였다.

#### (나) 비중

횡압축 가공에 의한 판재의 비중 변화 여부를 조사하기 위하여 길이 30cm의 시험체를 절단한 후 각각 1/2(약 15cm)은 횡압축을 실시하고 나머지 1/2은 횡압축을 실시하지 않은 상태에서 각 부위로부터 비중 측정용 시편을 채취하여 KS F 2198 『목재의 비중 및 비중 측정 방법』에 따라 전건 비중을 측정하였다. 비중 측정용 시편은 횡압축을 실시한 다음 24시간 후에 채취하여 항량에 달할 때까지 건조하여 사용하였다.

#### (다) 영구 두께 감소율

각 수종 별로 횡압축 전에 일정 부위에서 두께를 측정한 후 횡압축을 실시한 다음 24시간 후에 동일 판재의 동일 부위에서 다시 두께를 측정하여 횡압축에 따른 판재의 영구 두께 감소율을 조사하였다.

### (4) 판재의 강도적 성질 조사

#### (가) 표면경도

횡압축 처리에 따른 재질의 고밀화 여부를 확인하기 위하여 횡압축 처리 전후의 판재의 표면 경도를 KS F 2212 『목재의 경도 시험 방법』의 B형 경도 시험 방법에 준하여 측정하여 비교하였다. 단 측정은 표면이 접선단면을 이루고 있는 판재를 선별하여 사용하였으며 측정 부위는 조재부를 대상으로 하였다.

#### (나) 휨강도 측정

횡압축에 따른 판재의 휨강도 저하 여부를 판단하기 위하여 무처리 및 각 조건에서 횡압축 처리한 판재로부터 시험체를 제작하여 KS F 2208 『목재의 휨 시험

방법』에 따라 휨강도를 측정하여 비교하였다. 시험체는 횡단면을 10(두께) × 20mm(폭)의 직사각형(KS 규격에서는 정사각형으로 규정)으로 하고 길이는 350mm 하였다.

#### (5) 판재의 결함 발생 측정

횡압축 처리와 판재의 외관 상 결함 발생과의 관계를 밝히기 위하여 무처리 및 횡압축 처리 판재를 대상으로 건조 과정 중에 굽음 등의 결함 발생을 육안으로 조사하여 비교였다. 또한 횡압축에 따른 갈라짐의 발생도 조사하였다.

#### (6) 방부제 침투성 조사

##### (가) 방부제 침윤도

처리 판재의 양쪽 끝으로부터 30cm 부위에서 각각 1개씩과 판재의 중앙 부위로부터 1개, 처리 판재 1매 당 총 3개의 시험편을 채취하여 횡단면에 구리 정색시약을 제조(크롬아즈롤 S 0.5g과 아세트산나트륨 5g을 물 500ml에 용해)하여 분무한 후 농청색으로 정색된 부위를 측정하여 침윤도를 아래 식에 의해 산출하였다. 침윤도는 판재의 폭을 기준으로 하여 3곳에서 측정하였다(그림 2-4 참조).

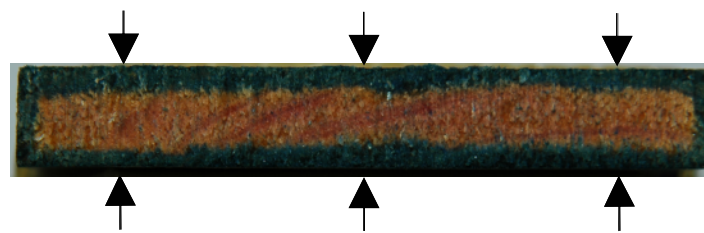


그림 2-4. 판재의 침윤도 측정 위치

$$P(\%) = \frac{L_1}{L_2} \times 100$$

여기서  $P$  : 침윤도(%)

$L_1$  : 정색 길이(mm)

$L_2$  : 시험편 두께의 1/2(mm)

(나) 방부제 흡수량

각 처리 판재로부터 분석용 시험편(두께10mm×폭 70mm×길이 10mm)을 채취하여 입자 크기 1mm이하로 분쇄한 다음 전건시켰다. 전건 목분 시료 2g을 HNO<sub>3</sub> 10ml와 혼합하여 분해용 microwave로 1시간 동안 산분해하였다. 분해 용액 시료 20ml를 정확히 취한 후 원자흡수분광광도기를 이용하여 구리(Cu)를 정량분석하여 방부제 흡수량을 처리 조건 별로 조사, 비교하였다.



그림 2-5. Microwave(MARS/CEM)



그림 2-6. 원자흡수분광광도기(Perkin Elmer Analyst 800)

(7) 방부처리 판재의 방부제 용탈성 조사

횡압축 방부처리 판재로부터 크기 두께10mm×폭 70mm×길이 10mm의 용탈시험용 시험편을 채취하여 KS M 1701 『목재방부제』의 부속서 2 "목재방부제의 방부효력 시험 방법"에서 규정하고 있는 내후조작 방법에 따라 용탈시험을 실시하였다.



용탈조작(10회) 시마다 일정량의 용탈수를 채취하여 원자흡수분광광도기로 Cu를 정량분석한 다음 내후조작 시마다 용탈된 Cu의 총 용탈량을 구하여 용탈성을 비교하였다.

#### (8) 방부처리 약액의 농도 변화 조사

생재 판재를 사용하여 횡압축에 의해 방부처리하는 과정에서 고탄수용 판재로부터 수분이 압출되어 나온다. 이 수분에 의해 처리 약액의 농도변화가 발생할 것으로 예상됨에 따라 판재 총 100매를 처리하고 20매를 처리 할 때마다 처리 약액을 채취하여 약액 중의 Cu의 함량 변화를 원자흡수분광광도기로 조사하였다.

### 3. 연구 결과

#### 가. 판재의 횡압축 가공성

리기다소나무, 잣나무 및 낙엽송 판재의 심재부에 대하여 압축량을 1, 3, 5mm가 되도록 횡압축하였을 경우 판재에 가해지는 하중 값을 구하여 판재 수종 별로 횡압축 가공성의 良否를 평가하였다. 리기다소나무와 잣나무 판재는 대부분 변재로 구성되어 있었으나 낙엽송 판재는 모두 심재 판재였다. 그림 2-7은 roller에 연결된 압축하중 측정 load cell과 하중 값이 나타나는 디스플레이를 나타낸 것이다.

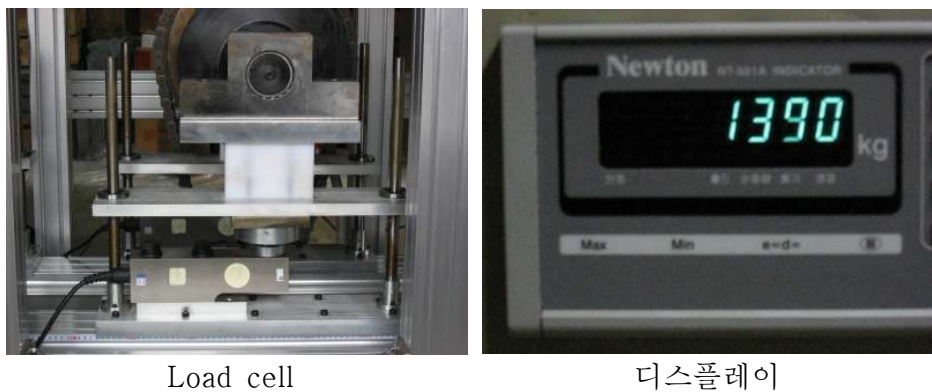


그림 2-7. Roll press기의 load cell과 하중 표시 디스플레이

각 수종 별 판재의 함수율은 생재함수율로 리기다소나무가 평균 160.8%, 잣나무가 평균 123.2%, 낙엽송이 평균 47.8%를 나타냈다. 여기서 낙엽송 판재의 함수율이 다른 수종 판재에 비하여 현저하게 낮은 이유는 낙엽송의 성장 특성 상 심재화가 빨리 진행되어 판재가 수목 성장 중에 수분 통로 등의 생활기능을 잃고 수체지지 기능만을 담당하는 심재로만 구성되어 있기 때문이다..

그림 2-8에서와 같이 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우에는 일정 두께(압축량 1, 3, 5mm)까지 압축하는데 낙엽송 판재에 비하여 작은 하중 값으로도 가능함을 알 수 있다. 이것은 리기다소나무와 잣나무가 낙엽송에 비하여 비중이 낮고 또한 함수율이 높기 때문에 나타나는 예측 가능한 현상으로 두 수종이 낙엽송에 비하여 가공이 쉽다는 것도 알 수 있다. 한편, 리기다소나무와 잣나무 간에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 가공 용이성의 차이를 판단하기가 곤란하였으나 압축량 3mm에서는 리기다소나무가 잣나무에 비하여 다소 작은 하중 값을 나타냈다. 판재의 함수율 측면에서 가공성의 良否를 추정해 보면 리기다소나무가 잣나무에 비하여 생재함수율이 높기 때문에 비교적 가공성이 양호한 것으로 판단되었다.

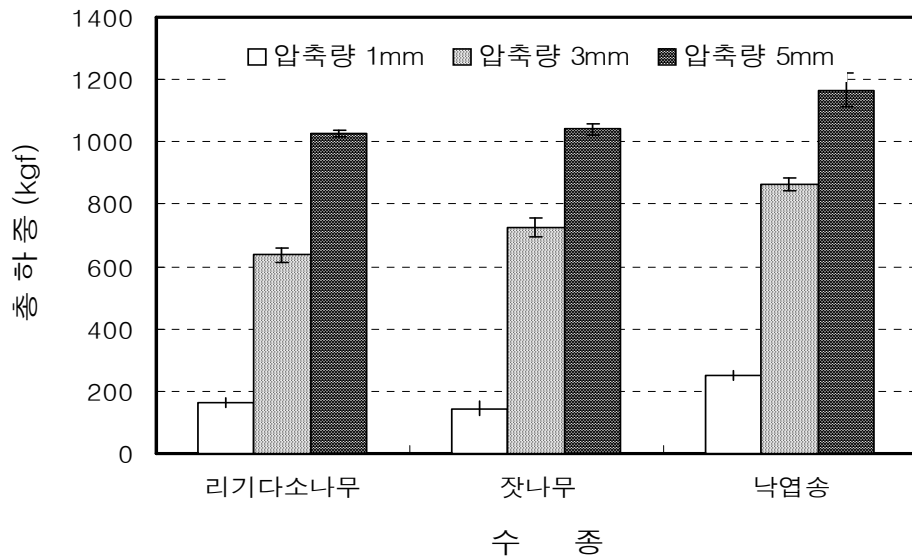


그림 2-8. 수종 별 횡압축량과 총 하중과의 관계

한편, 함수율과 횡압축 가공성과의 관계를 알아보기 위하여 공시 수종 중에서 생재상태에서 비교적 가공성이 양호했던 리기다소나무를 대상으로 기건 함수율 22.6%

까지 풍건시킨 후 동일한 조건에서 횡압축을 실시하며 총 하중 값을 조사하여 비교하였다.

그림 2-9에서와 같이 기건 함수율을 가진 판재에서는 생재상태에서와는 달리 동일 압축량에서 매우 높은 하중 값을 나타내 가공성이 나빠지는 것으로 나타났다. 이것은 함유수분이 많아 재질이 유연한 생재에 비하여 재질이 단단해진 기건재의 횡압축 가공성이 불량하다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 기건상태에서 횡압축을 실시할 경우 생재상태에서는 전혀 볼 수 없었던 쪼개짐 현상이 특히 압축량 5mm에서 두드러지게 나타났다. 따라서 횡압축 처리는 가능한 한 생재상태와 같이 함수율이 높은 상태에서 실시해야 한다는 것을 알 수 있었다.

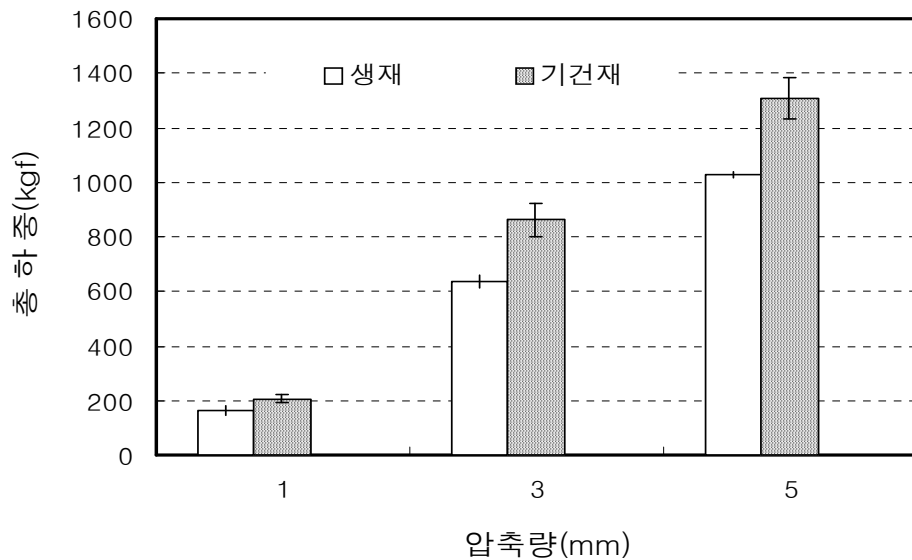


그림 2-9. 리기다소나무 판재의 횡압축 처리에 있어 함수율과 하중과의 관계

판재의 재질 부위에 따른 횡압축 가공성을 알아보기 위하여 심재부와 변재부에 대하여 조사하였으며 횡압축 가공성이 비교적 다른 2수종에 비하여 용이했던 리기다소나무 판재의 결과를 그림 2-10에 나타냈다.

심재와 변재 간에 총 하중 값에서 차이는 발생하였으나 압축량의 차이에 따라 일정한 경향을 보이지 않아 재질 부위 간 횡압축 가공성의 차이를 판단하기가 곤란하였다. 또한 심변재 간에 횡압축 가공에 큰 영향을 미치는 함수율에 차이(변재부 평균 160.8%, 심재부 평균 52.7%)가 있어 단순하게 하중 값만을 가지고 심변재간의 가공성의 양부를 논한다는 것은 적

합하지 않은 것으로 판단되었다.

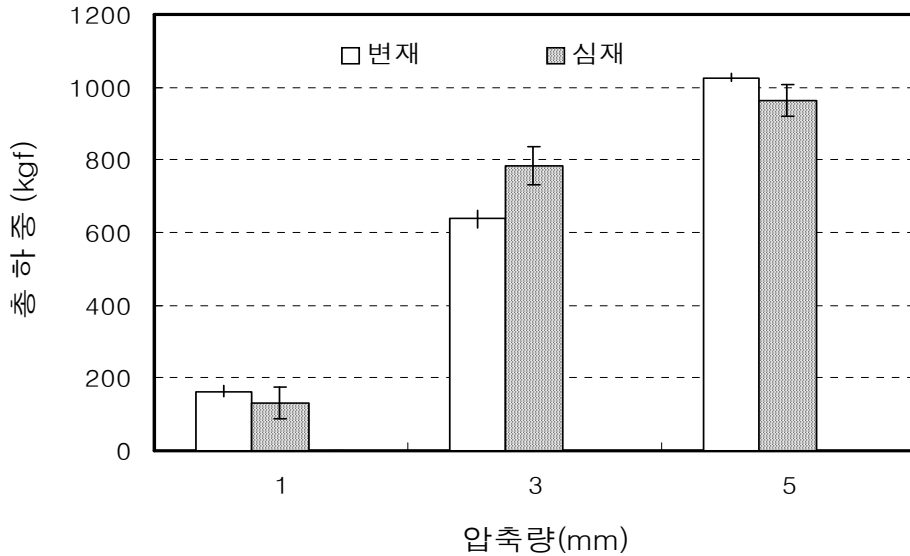


그림 2-10. 리기다소나무 판재의 횡압축 처리에 있어 심변재와 총 하중과의 관계

판재의 넓은 면에 나타나는 목리의 형태에 따라 횡압축 가공성의 차이를 조사하기 위하여 대부분의 제재 판재에서 볼 수 있는 접선단면 상의 목리 형태를 갖는 판재와 극히 드문 형태이지만 방사단면 상의 목리 형태를 갖는 판재를 선발하여 압축량에 따른 최대하중 값의 차이를 비교하였다. 그 결과 3수종 모두에서 목리 형태에 따라 최대 하중 값의 차이에 일정한 경향이 나타나지 않아 목리 주향방향에 따라 횡압축 가공성에는 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다.

판재의 횡압축 가공에서 침엽수 판재에 분포하는 용이가 가공성을 저해하는 가장 큰 원인이 된다. 따라서 본 연구에서도 용이 분포와 가공성을 조사하기 위하여 육안적인 방법으로 검토하였다. 생재 판재에 분포하는 용이는 산용이가 대부분으로 죽은 용이는 거의 눈에 띄지 않았다. 산용이의 경우 압축 과정 및 압축 후 판재의 변형 등의 면에서 큰 문제를 일으키지는 않는 것으로 밝혀졌다(그림 2-11의 좌측). 그러나 기건 판재의 경우에는 압축량을 5mm로 하였을 경우에는 판재의 가장자리 부분의 용이가 탈락하고 압축 후 용이 주변 부위에서 약간의 변형이 발생하는 등의 문제가 발생하였다(그림 2-11의 중앙).

전체적으로 시험 판재의 크기를 참여기업에서 생산되고 있는 우드블럭 판재 치수

인 10(두께)×70(폭)×293(길이)mm에 맞추어 제재하였기 때문에 소경재로부터 판재를 제재하여 용이의 크기가 비교적 작아 횡압축 가공에는 크게 영향을 미치지 않았다. 현재 판재에 나타나는 용이 크기의 분포를 조사하고 있다.

그 밖에 낙엽송 판재에서 비교적 많이 나타나는 resin pocket(수지낭)으로부터 횡압축에 의해 수지가 재 표면으로 압출되어 2차 가공 및 방부제 침투성에 장애를 초래할 것으로 예상되었다(그림 2-11의 우측).



생재 리기다소나무 판재의 대형 용이(변화없음)



기건 낙엽송 판재 죽은용이의 탈락



생재 낙엽송 판재의 수지낭으로부터 수지 압출

그림 2-11. 판재 결점부위의 횡압축 후의 변화

#### 나. 판재의 물리적 성질

##### (1) 함수율 변화

횡압축 가공에 의한 판재의 함수율 변화를 조사하였다. 그 결과를 그림 2-12와 2-13에 각각 나타냈다. 그림 1-12에서 볼 수 있듯이 횡압축을 함으로서 고함수율인 생재 판재로부터 많은 양의 수분이 압출되어 나오는 것을 알 수 있었다.



그림 2-12. 횡압축 처리에 의한 리기다소나무 판재로부터 수분의 압출  
(좌: 판재 압축 준비, 중: 판재 압축 중, 우: 판재 압축 완료,  
→: roller표면에서 압출된 백색의 수액 관찰)

횡압축에 의한 함수율 감소를 보다 정확하게 조사하기 위하여 길이 30cm로 절단한 각 수종의 판재를 이용하여 약 15cm 정도만 압축을 실시하고 나머지 1/2은 압축하지 않은 상태로 해서 각 부위로부터 함수율 측정 시편을 채취하여 조사하였다. 그 결과를 그림 1-13에 나타냈다. 약 160%에 가까운 함수율을 보였던 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우에는 압축에 의해 다량의 수분이 빠져나와 함수율이 급격하게 감소하였다. 그러나 낙엽송의 경우에는 심재로만 구성되어 압축 전의 함수율이 약 47.8%로 비교적 낮아 압축 후에도 함수율 감소는 크게 나타나지 않았다.

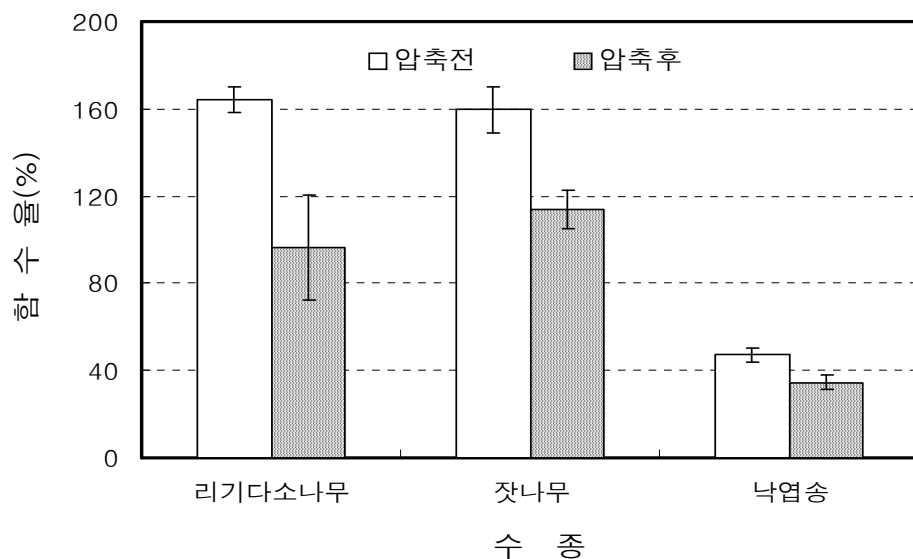


그림 2-13. 횡압축 가공에 의한 함수율의 변화  
(횡압축량 5mm, 압축회수 3회)

## (2) 비중 변화

횡압축에 의해 판재에 발생하는 비중변화를 조사하였다. 표 2-1, 2-2, 2-3에 나타냈듯이 모든 수종에서 무처리 판재와 비교할 때 비중변화는 크게 발생하지 않은 것으로 나타났다. 횡압축에 의해 재질이 고밀화됨에 따라 비중 증가가 예상되었으나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 생재 상태에서 처리함으로서 압축된 조직이 원상태로 거의 회복되었기 때문인 것으로 판단된다. 두께 감소를 측정한 결과, 감소율이 5% 미만을 보여 이를 뒷받침하였다.

표 2-1. 리기다소나무 판재의 횡압축에 따른 비중 변화

압축회수 \ 압축량	0	1mm	3mm	5mm
0	0.48±0.01	—	—	—
1	—	0.45±0.00	0.51±0.01	0.49±0.00
2	—	0.50±0.00	0.49±0.01	0.48±0.00
3	—	0.48±0.00	0.45±0.00	0.48±0.00

표 2-2. 잣나무 판재의 횡압축에 따른 비중 변화

압축회수 \ 압축량	0	1mm	3mm	5mm
0	0.45±0.00	—	—	—
1	—	0.43±0.00	0.47±0.01	0.43±0.00
2	—	0.43±0.01	0.47±0.00	0.45±0.00
3	—	0.45±0.00	0.46±0.01	0.49±0.01

표 2-3. 낙엽송 판재의 횡압축에 따른 비중 변화

압축회수 \ 압축량	0	1mm	3mm	5mm
0	0.51±0.01	—	—	—
1	—	0.49±0.00	0.48±0.00	0.50±0.00
2	—	0.46±0.00	0.48±0.00	0.50±0.00
3	—	0.50±0.01	0.50±0.01	0.53±0.01

### (3) 영구 두께 감소율

횡압축에 의해 발생할 수 있는 판재의 두께 감소에 의한 영구 변형률을 조사하였다. 영구변형률을 측정한 각 수종 별 판재의 함수율을 측정한 결과, 리기다소나무 평균 176.2%, 잣나무 평균 134.7%, 낙엽송 42.5%로 함수율 측정에 사용한 판재보다 리기다소나무와 잣나무는 약간 높은 함수율을 보였으나 낙엽송의 경우에는 반대로 낮은 수치를 나타냈다. 이것은 판재를 생산한 원목에 따라 다소 함수율에 차이가

있었기 때문이다.

일정 부위에서 판재의 두께를 측정(판재 1매 당 3곳에서 측정)한 후 횡압축을 실시한 다음 24시간 방치 후에 동일한 부위에서 다시 두께를 측정하여 횡압축에 따른 두께 감소율을 조사하여 그림 2-14에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 처리 조건의 판재에서는 횡압축 후 일정시간 경과함에 따라 원래의 두께로 회복되어 두께 감소율은 5% 미만을 나타냈다. 이것은 판재의 두께로 환산하면 평균 0.5mm 이하로 무시할 수 있는 수준의 두께 감소가 발생한 것으로 밝혀졌다. 함수율이 비교적 낮았던 낙엽송에서도 동일한 경향을 나타내 비교적 함수율이 높은 생재상태에서 횡압축을 실시해도 원래의 두께로 거의 회복됨을 알 수 있었다. 비교를 위하여 기건재에 대해서도 동일한 처리를 하여 두께 감소율을 측정한 결과, 최소 11.1%, 최대 27.7%를 보여 10mm 판재의 경우 약 1~2mm의 두께 감소가 발생하는 것으로 조사되었다. 따라서 생재 판재의 경우에는 횡압축을 실시해도 두께 감소는 거의 발생하지 않기 때문에 횡압축 판재를 사용하여 제품을 생산할 시에 치수 조정의 필요성은 없는 것으로 나타났다.

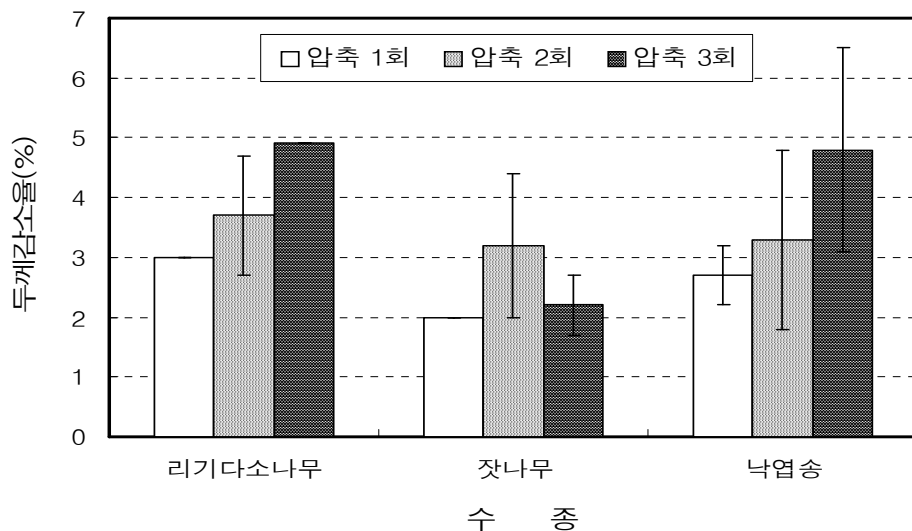


그림 2-14. 횡압축에 의한 생재 판재의 영구 두께 감소율  
(압축량 5mm, 횡압축 후 24시간 경과)



#### 다. 판재의 강도적 성질

##### (1) 표면경도

횡압축에 의한 판재 재질의 고밀화 진행 여부를 밝히기 위하여 횡압축을 실시한 후 충분히 풍건시켜 기건 상태(함수율 평균 17.5%)까지 도달한 후에 시험편을 채취하여 KS규격의 시험방법에 준하여 표면경도를 측정하였다. 그 결과를 판재 수종 별로 그림 2-15, 16, 17에 각각 나타냈다.

판재의 표면경도가 횡압축에 의한 고밀화에 의해 증가할 것으로 예상되었으나 모든 수종의 판재에서 표면경도의 증가는 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 전술한 두께감소율에서도 알 수 있듯이 고함수율 상태에서 압축되어 횡압축 후 시간의 경과와 함께 두께가 원형으로 거의 회복되어 고밀화가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

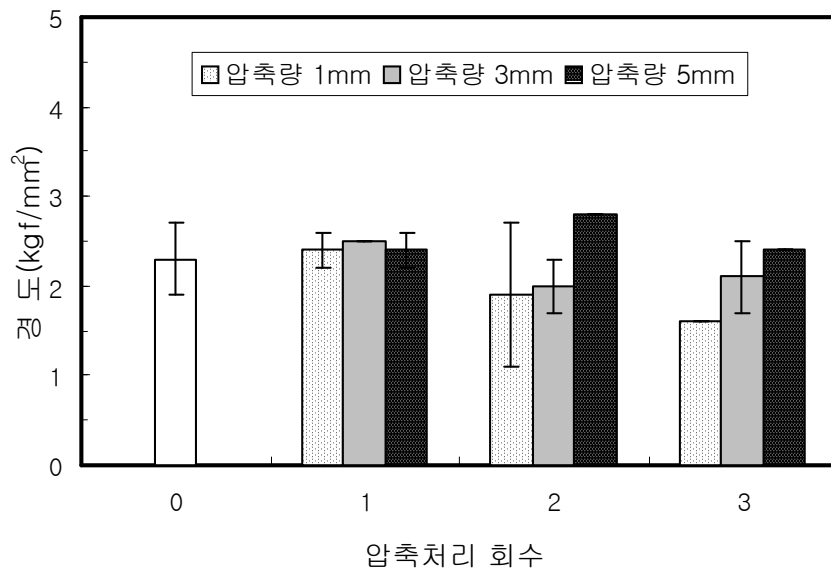


그림 2-15. 횡압축 처리한 리기다소나무 판재의 표면경도의 변화

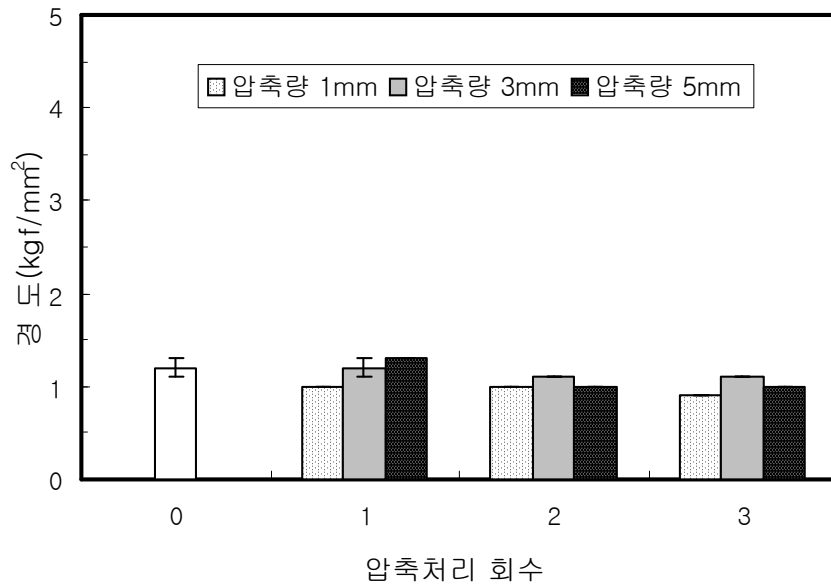


그림 2-16. 횡압축 처리한 잣나무 판재의 표면경도의 변화

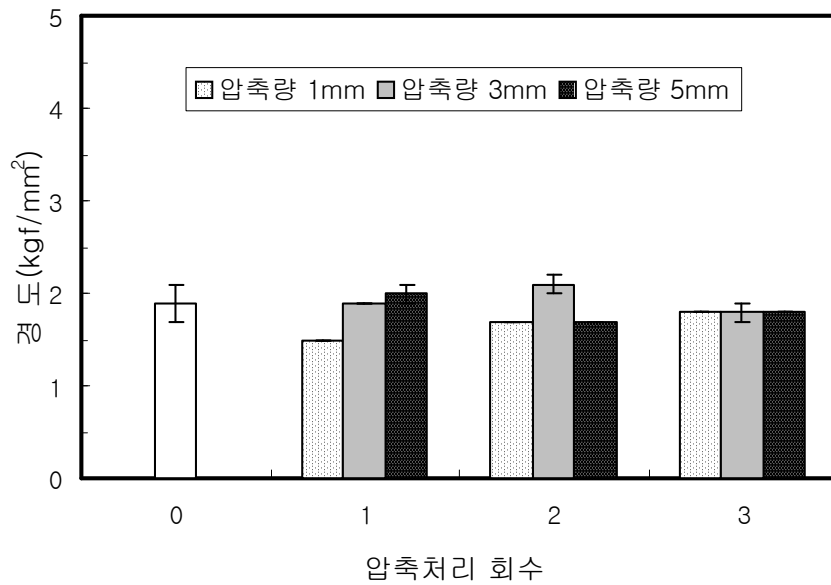


그림 2-17. 횡압축 처리한 낙엽송 판재의 표면경도의 변화

## (2) 휨강도

횡압축에 의한 판재의 기계적 성질 변화를 조사하기 위하여 횡압축을 실시한 후 풍건시켜 기건 상태(함수율 평균 17.5%)에서 시험편을 채취하여 KS규격의 시험

방법에 준하여 휨강도를 측정하였다.

무처리 판재와 횡압축 처리 판재 간에 휨강도를 비교한 결과, 그림 2-18, 19, 20에서도 알 수 있듯이 3 수종 모두에서 횡압축량 또는 압축처리 회수 간에 어떤 일정한 경향을 보이지 않았다. 낙엽송 판재에서는 극히 일부를 제외하고 무처리 판재가 횡압축 처리 판재에 비하여 낮은 휨강도를 보였다. 리기다소나무와 잣나무 판재에서도 어느 횡압축 처리 조건에서는 무처리 판재에 비하여 높은 휨강도 값을 보였다. 따라서 이들 결과로부터 고함수율 상태에서의 횡압축 처리는 세포벽에 균열을 발생시키는 등의 조직 열화를 초래하지 않기 때문에 강도적 성질에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 이와 같이 휨강도 값에 변화가 심하게 나타나는 것은 연륜 폭이나 목리 방향과 같은 재질 차이로부터 기인되는 것으로 생각된다.

한편, 판재의 휨강도가 전체적으로 낮게 나온 이유는 판재의 치수가 작아 소경재를 제재하여 미성숙재가 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 판재의 단면 치수를 10(두께)×70(폭)으로 한 이유는 횡압축에 의한 방부처리 판재의 최종 사용목적은 우드블럭 생산에 두었기 때문이며 현재 참여기업에서 생산하고 있는 침엽수(삼나무) 우드블럭의 판재 치수는 10(두께)×70(폭)×293(길이)mm이다.

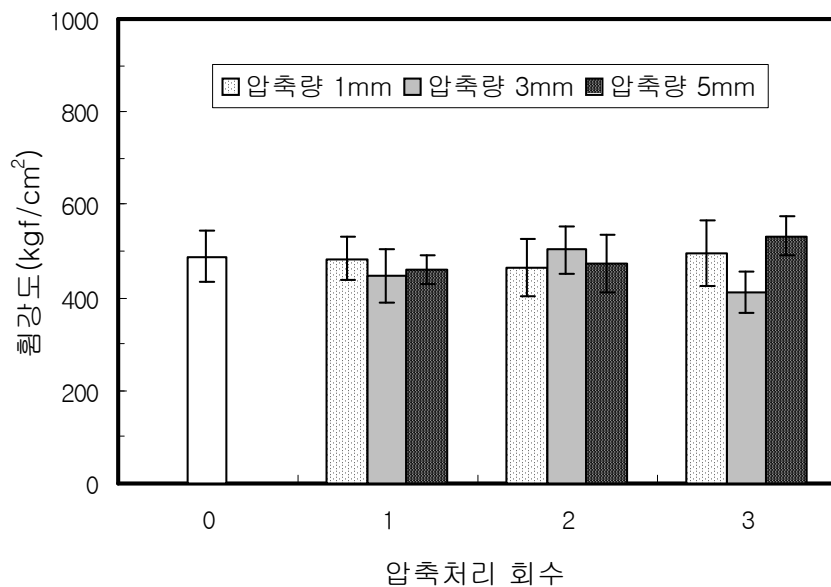


그림 2-18. 횡압축 처리 리기다소나무 판재의 휨강도 변화

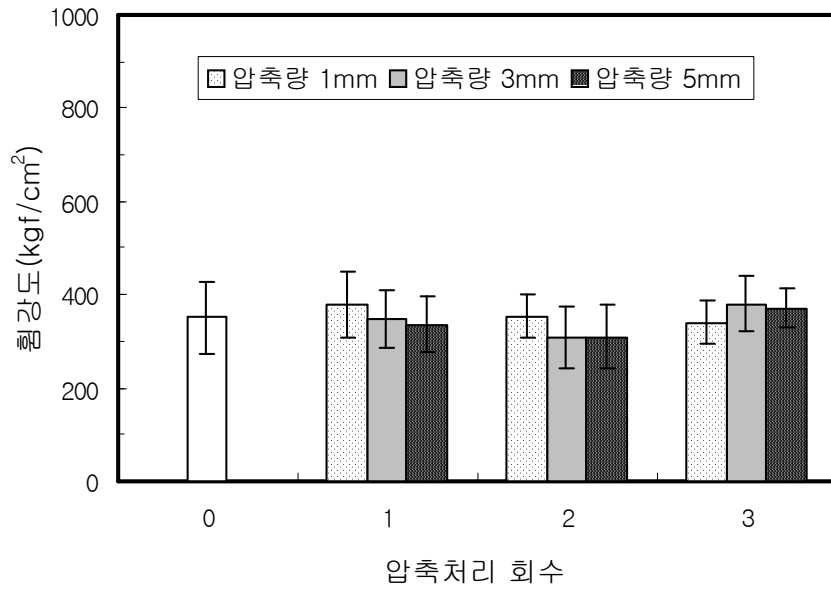


그림 2-19. 횡압축 처리 잣나무 판재의 휨강도 변화

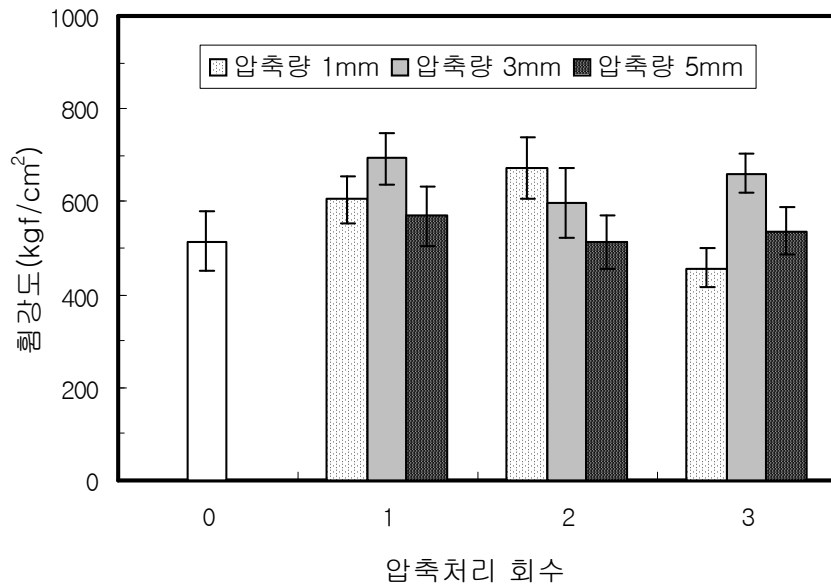


그림 2-20. 횡압축 처리 낙엽송 판재의 휨강도 변화

#### 라. 판재의 결함 발생

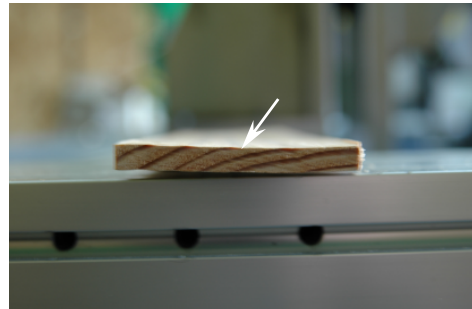
횡압축 처리에 의해 판재에 발생하는 결함을 육안으로 조사하였다. 대표적인 결함을 그림 2-21에 나타냈다.

처리 후 건조과정에서 발생하는 결함을 육안적인 방법에 의하여 조사한 결과, 일부 판재에서 그림에 나타냈듯이 길이굽음과 나비굽음 등이 발생하였다. 이러한 결함 발생은 특히, 목리의 주향이 통직목리가 아니고 불규한 목리를 가진 판재에서 두드러지게 나타남을 알 수 있었으며 횡압축 처리를 하지 않은 판재에서도 동일한 결함이 발생하여 이들 결함은 횡압축에 의한 것이 아니고 건조 과정 중에 나타나는 건조 결함임을 알 수 있었다.

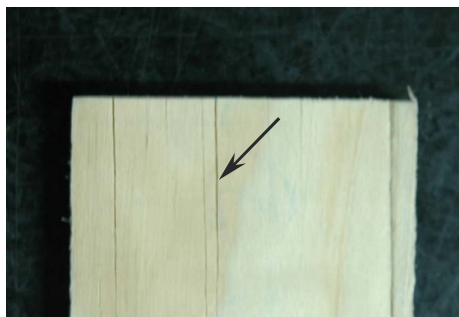
압축처리 중에 발생하는 결함으로는 판재의 끝부분에서 갈라짐이 발생하는 경우가 대표적으로 그 발생 빈도가 비교적 높았으며 압축량을 판재 두께 10mm의 50%인 5mm까지 압축했을 때 가장 많이 발생하였다. 그러나 그림 1-24의 갈라짐 2와 같은 내부에서의 갈라짐은 압축처리를 하지 않은 판재에서도 발생하는 것으로 보아 횡압축 처리에 의해 발생하는 결함은 아닌 것으로 판단되었다.



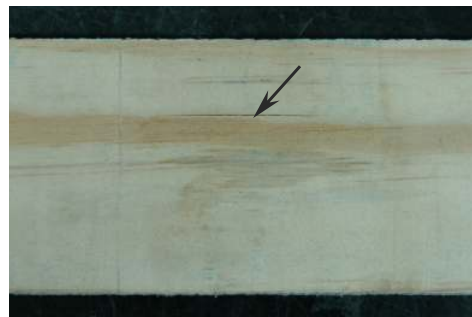
길이 굽음



나비 굽음



갈라짐 1



갈라짐 2

그림 2-21. 횡압축 처리 판재에서 발생하는 결함

마. 방부제 침투성

(1) 방부제 침윤도

각 처리 조건 별로 횡압축에 의해 방부처리한 판재로부터 횡단면 시험편을 채취한 후 구리 정색시약으로 정색반응 시킨 시험편의 방부제 침투상태를 비교, 조사하였다. 방부제가 침투된 부위는 농청색으로 발색되고 미침투 부위는 붉은 색을 띠고 있다.

횡압축량을 1, 3, 5mm로 달리하고 횡압축 회수는 1회, 횡압축 방부처리 후 밀폐 잔적하지 않고 바로 풍건시킨 판재의 방부제 침투상태를 조사하여 그림 2-22, 23, 24에 각각 수종 별로 나타냈다. 압축량이 많으면 많을수록 방부제가 판재 내부로 깊게 침투되는 것을 알 수 있다. 여기서 무처리는 횡압축을 실시하지 않고 단순히 방부제를 도포 처리한 판재를 의미한다. 수종 별로 비교하면 리기다소나무와 잣나무는 육안적으로 거의 유사한 수준의 방부제 침투상태를 보였으나 낙엽송 판재의 경우에는 예상했던 대로 횡압축을 실시해도 방부제의 침투가 거의 이루어지지 않았다. 이것은 잘 알려진 바와 같이 낙엽송의 경우 액체의 침투가 극히 불량한 심재로만 이루어졌기 때문이다.

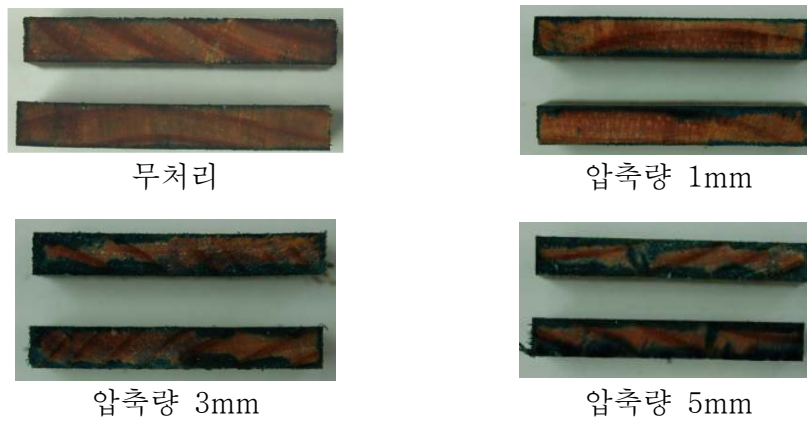


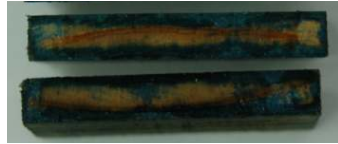
그림 2-22. 리기다소나무 판재의 횡압축량과 방부제 침투상태  
(압축 횟수 1회, 횡압축 방부처리 후 풍건)



무처리



압축량 1mm



압축량 3mm



압축량 5mm

그림 2-23. 잣나무 판재의 횡압축량과 방부제 침투상태  
(압축 횟수 1회, 횡압축 방부처리 후 풍건)



무처리



압축량 1mm



압축량 3mm



압축량 5mm

그림 2-24. 낙엽송 판재의 횡압축량과 방부제 침투상태  
(압축 횟수 1회, 횡압축 방부처리 후 풍건)

압축량을 3mm로 일정하게 하고 압축회수를 1, 2, 3회로 달리하여 방부제 침투상태를 조사하였다. 횡압축 방부처리한 판재들은 밀폐 잔적하지 않고 바로 풍건에 들어갔으며 그림 2-25, 26, 27은 판재의 횡단면 상에서 방부제 침투상태를 정색반응에 의해 조사한 결과들이다.

압축 회수가 증가함에 따라 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 방부제 침투성이 뚜렷하게 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 낙엽송 판재에서는 횡압축 회수를 늘려 처리해도 극히 일부의 판재에서만 방부제의 침투를 보였을 뿐 대부분의 판재에서 방부제 침투성의 향상은 이루어지지 않아 국내산 침엽수 중에서 대표적인 난주입성 수종인 낙엽송의 재질 특성을 확인할 수 있었다.



무처리



압축 1 회



압축 2 회



압축 3 회

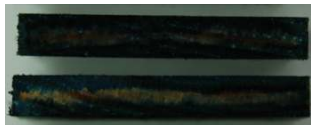
그림 2-25. 리기다소나무 판재의 횡압축 회수와 방부제 침투상태  
(압축량 3mm, 횡압축 방부처리 후 풍건)



무처리



압축 1 회

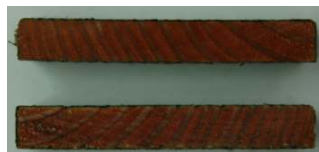


압축 2 회



압축 3 회

그림 2-26. 잣나무 판재의 횡압축 회수와 방부제 침투상태  
(압축량 3mm, 횡압축 방부처리 후 풍건)



무처리



압축 1 회



압축 2 회



압축 3 회

그림 2-27. 낙엽송 판재의 횡압축 회수와 방부제 침투상태  
(압축량 3mm, 횡압축 방부처리 후 풍건)



횡압축에 의한 방부처리 후 판재 내부로의 방부제 침투를 보다 향상시키기 위하여 방부처리 후 바로 풍건시키지 않고 판재를 밀착 잔적한 다음 건조가 되지 않도록 비닐로 밀폐하여 6시간 동안 보관한 후 방부제 침투성을 조사하였다. 그 결과를 방부처리 후 바로 풍건시킨 판재와 비교하여 그림 2-28, 29, 30에 나타냈다.

정색반응 시킨 판재의 횡단면에서도 알 수 있듯이 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우 밀폐 잔적하여 방부제 침투를 촉진시킨 결과 방부제의 침투성이 매우 향상된 것으로 나타났다. 이와 같은 방부제 침투성 향상 효과는 판재가 고함수율의 생재상태였기 때문에 1차적으로 횡압축 후 재질의 회복에 의해 판재 내부로 흡수 침투된 방부제가 이어서 잔적 과정 중에 확산현상이 일어나 방부제의 침투가 촉진되었기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

그러나 낙엽송 판재의 경우에는 밀폐 잔적에 의해서도 전혀 방부제의 침투 촉진은 발생하지 않아 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다.



횡압축 방부처리 후 풍건



횡압축 방부처리 후 밀폐 잔적

그림 2-28. 리기다소나무 판재의 방부제 침투상태  
(압축량 5mm, 압축회수 3회)



횡압축 방부처리 후 풍건



횡압축 방부처리 후 밀폐 잔적

그림 2-29. 잣나무 판재의 방부제 침투상태  
(압축량 5mm, 압축회수 3회)



횡압축 방부처리 후 풍건



횡압축 방부처리 후 밀폐 잔적

그림 2-30. 낙엽송 판재의 방부제 침투상태  
(압축량 5mm, 압축회수 3회)

이상과 같이 각 처리 판재에 대하여 정색반응에 의하여 횡단면 상에서 방부제의 침투상태를 비교해 보았으나 각 처리 조건 별로 방부제 침투성을 보다 정확하게 판단하기 위하여 두께 방향으로의 침투깊이를 가지고 방부제 침윤도를 산출하였다.

먼저 압축량과 압축처리 회수에 따른 각 수종 판재의 방부제 침윤도를 그림 2-31, 32, 33에 나타냈다.

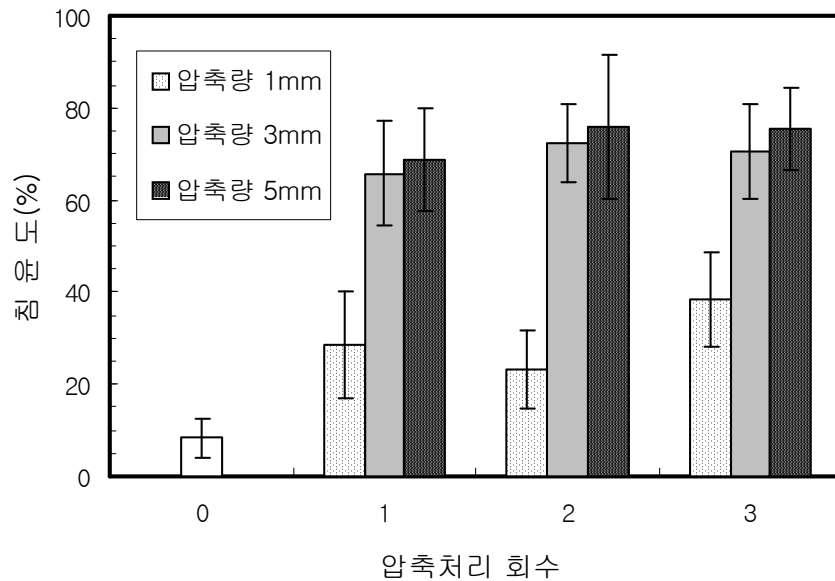


그림 2-31. 리기다소나무 판재의 압축처리 조건과 방부제 침윤도

리기다소나무와 낙엽송 판재의 경우에는 정색반응 시험편에서도 알 수 있었듯이 횡압축 처리 회수와 압축량의 증가와 함께 방부제 침윤도도 증가하는 경향을 보였다. 압축량을 5mm로해서 3회에 걸쳐 횡압축과 동시에 방부제를 처리하였을 경우 가장 높은 침윤도를 보여 평균 71.8%(갯나무)와 76%(리기다소나무)였다. 그러나 방

부처리목재 사용환경구분과 방부제 침윤도 적합기준(산림청 고시 제2004-62호, 목재의 방부·방충처리기준)에서 제시하고 있는 변재부 침윤도 80%에 도달하지 못하여 방부제 침윤도 향상을 위한 추가적인 처리가 필요한 것으로 나타났다.

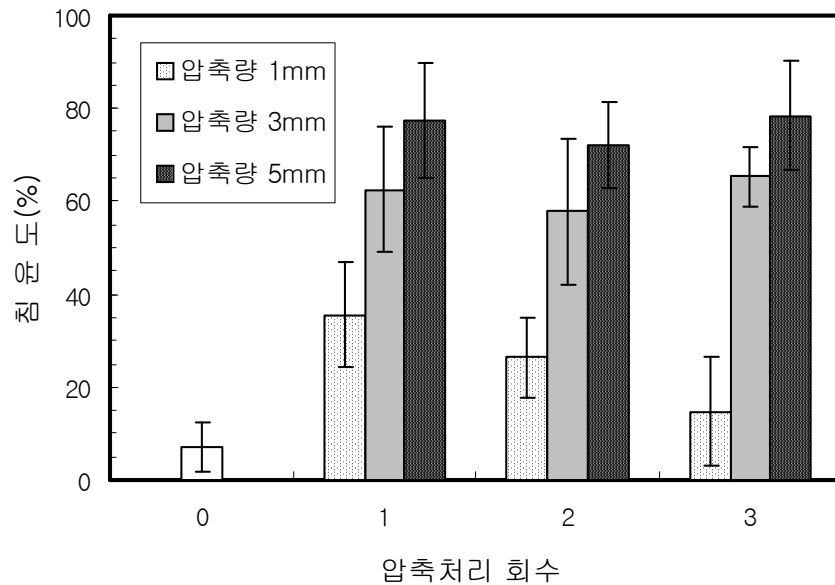


그림 2-32. 잣나무 판재의 압축처리 조건과 방부제 침윤도

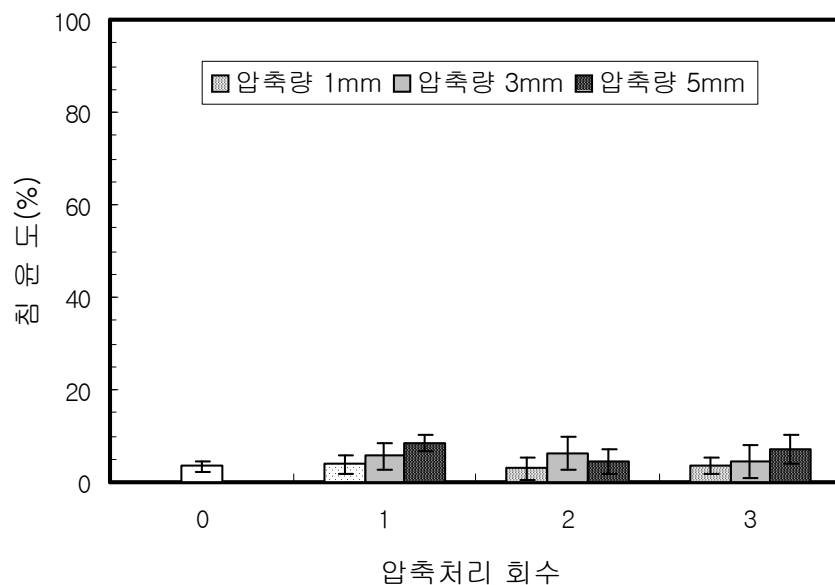


그림 2-33. 낙엽송 판재의 압축처리 조건과 방부제 침윤도

난주입성 수종인 낙엽송 판재에서는 그림 2-33에서와 같이 횡압축 처리에 의해 방부제의 침투가 거의 이루어지지 않아 침윤도는 평균 5%이하를 나타내 횡압축에 의한 방부제 처리는 불가능한 것으로 밝혀졌다.

방부제 침윤도가 80%에 도달하지는 못하였으나 70%이상을 보임으로서 리기다소나무와 잣나무 생재 판재의 경우 횡압축에 의한 상압 방부처리 가능성이 높은 것으로 나타났다(방부제 정색반응 그림 2-28, 29 참조). 따라서 방부제 침윤도 적합기준 80% 이상을 충족시키기 위한 방법으로써 횡압축 방부처리 후 곧 바로 건조시키지 않고 방부제의 확산현상에 의한 침투를 촉진시키기 위하여 횡압축 방부처리 후 6시간 동안 밀폐 잔적 후에 판재의 방부제 침윤도를 측정하여 그 결과를 그림 2-34에 나타냈다.

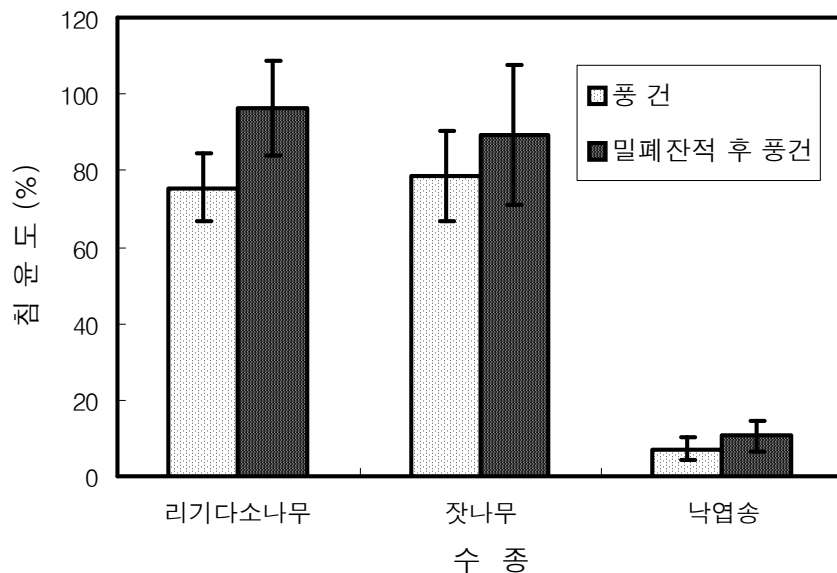


그림 2-34. 횡압축 방부처리 후 판재 처리 조건과 방부제 침윤도  
(압축량 5mm, 압축회수 3회)

횡압축 방부처리 후 곧바로 판재를 풍건시키지 않고 6시간 동안 밀폐 잔적한 후 풍건시킨 결과, 그림 2-34에서 알 수 있듯이 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 방부제 침투성 향상효과가 두드러지게 나타나 침윤도 적합기준인 80% 이상을 모두 충족시켰다. 이것은 방부제 정색반응에서도 언급한 바와 같이 밀폐 잔적과정에서 생재 상태의 판재 내부로 방부제의 확산이 이루어져 침윤도의 향상을 가져온 것으

로 판단할 수 있다. 그러나 낙엽송 판재의 경우에는 미미한 침윤도 향상효과는 보였으나 약 10%에 지나지 않아 횡압축에 의한 상압방부처리는 적용할 수 없는 것으로 밝혀졌다.

## (2) 방부제 흡수량

각 처리 판재로부터 시험편을 채취한 후 상법에 준하여 전처리한 다음 시험편 중에 함유되어 있는 Cu의 함량을 조사하였다. 그 결과를 그림 2-35, 36, 37에 나타냈다. 방부처리 목재 중에 ACQ 방부제 함량을 정확하게 조사하기 위해서는 Cu뿐만 아니라 ACQ-2를 조성하고 있는 디데실디메틸암모늄클로라이드(DDAC) 성분도 분석하여 산출해야 한다. 그러나 본 연구에서는 방부처리 제품의 ACQ 절대 흡수량을 구하는데 목적이 있는 것이 아니라 횡압축 조건 및 수중 별로 ACQ의 흡수상태를 단순히 상대 비교하는 것이기 때문에 비교적 분석이 용이한 Cu의 함량만을 구하여 비교하였다.

그림에서도 알 수 있듯이 낙엽송 판재를 제외하고 횡압축 처리에 의해 비교적 우수한 방부제 침투상태를 보였던 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 횡압축 처리 회수와 횡압축량이 증가할수록 Cu의 흡수량도 증가하는 경향을 보였다. 이것은 판재의 횡단면 상에서 방부제의 침투상태를 정색반응에 의하여 조사하였던 결과와 거의 동일한 결과를 보였다. 횡압축 처리 판재 중에 함유되어 있는 Cu의 함량을 목재의 방부·방충처리 기준(산림청 고시 제2004-62호)에서 정하고 있는 ACQ 흡수량 적합기준과 비교하면 사용환경범주 H3의 경우 ACQ로써 흡수량이  $2.6\text{kg/m}^3$  이상이어야 한다. ACQ-2의 경우 유효성분 배합비가 구리화합물이 62~71%, DDAC가 29~38%이다. 따라서 흡수량  $2.6\text{kg/m}^3$  중에는 구리화합물이 약  $1.61\sim 1.85\text{kg/m}^3$ , DDAC가 약  $0.75\sim 0.99\text{kg/m}^3$ 을 각각 차지하게 된다. 횡압축 방부처리 리기다소나무 판재의 경우 압축량 5mm에서는 압축회수와 관계없이 Cu의 함량이  $1.7\sim 2.1\text{kg/m}^3$ 을 보였다. 따라서 횡압축 방부처리 리기다소나무 판재는 사용환경범주 H3의 적합기준을 충족하고 있다고 할 수 있다. 잣나무 판재의 경우에도 리기다소나무 판재와 동일한 결과를 보이고 있으나 낙엽송 판재의 경우에는 매우 적은 Cu 흡수량을 보여 적합기준을 충족시키기 위해서는 횡압축 처리에 의한 방부처리의 적용은 불가능하다는 것이 밝혀졌다.

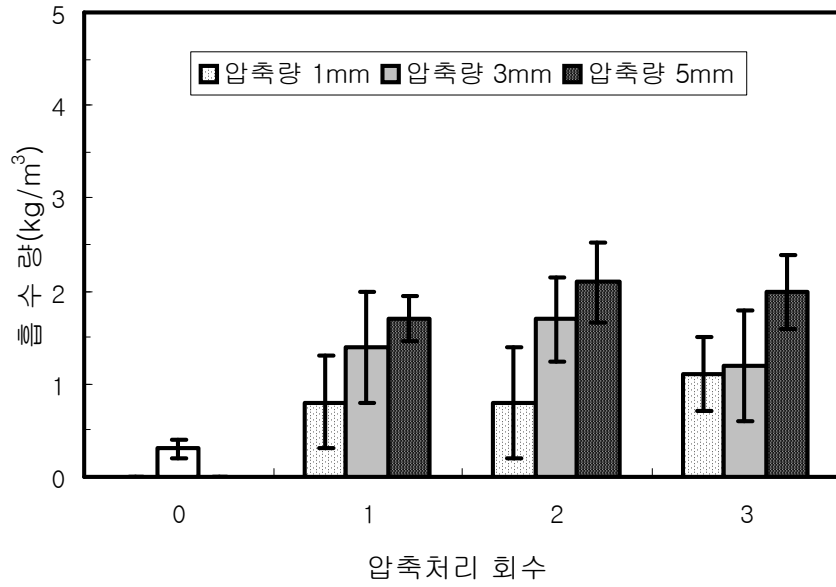


그림 2-35. 리기다소나무 판재의 압축처리 조건과 Cu 흡수량

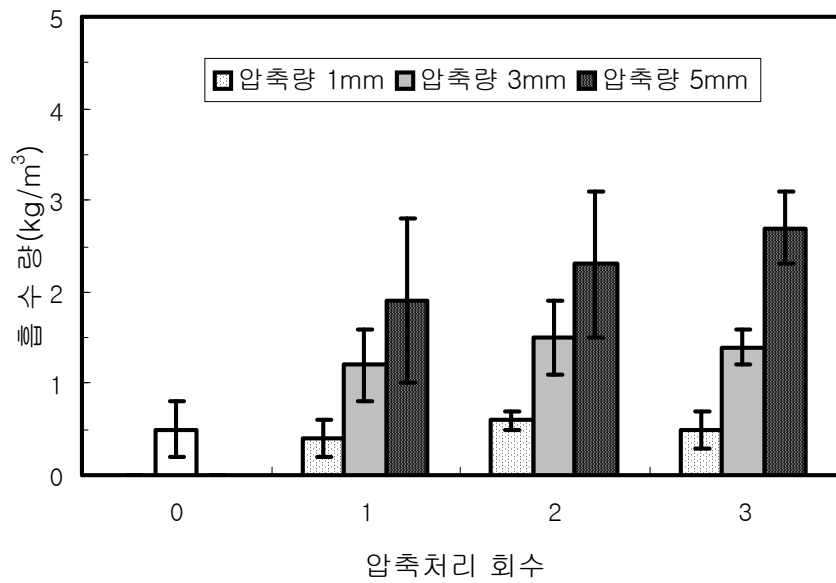


그림 2-36. 잣나무 판재의 압축처리 조건과 Cu 흡수량

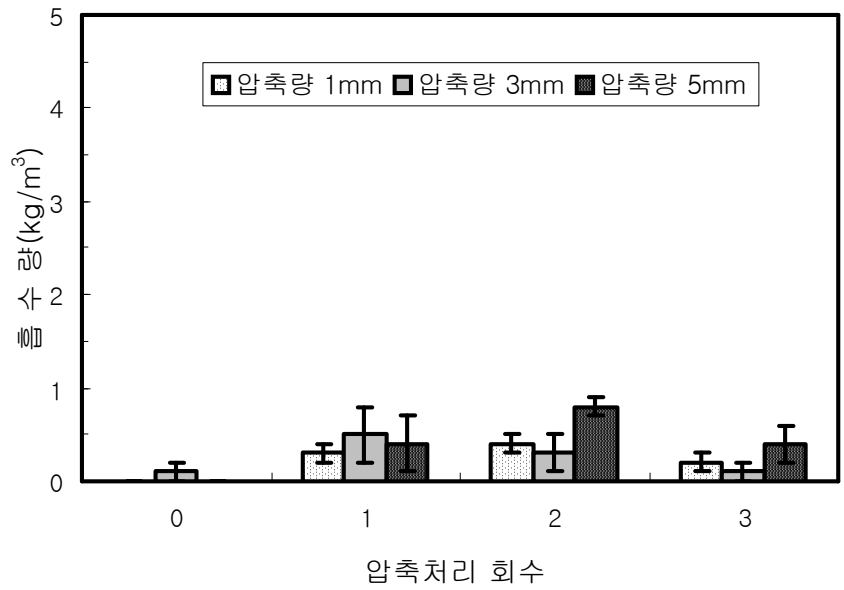


그림 2-37. 낙엽송 판재의 압축처리 조건과 Cu 흡수량

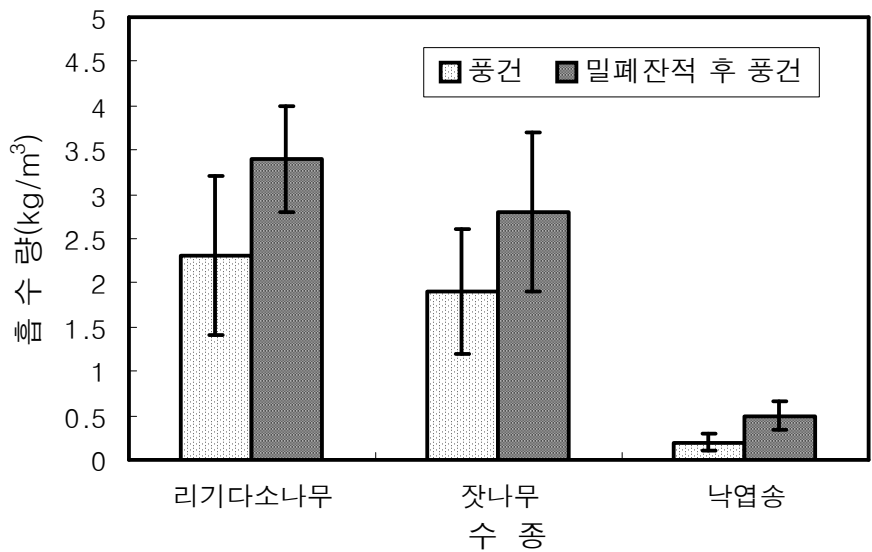


그림 2-38. 횡압축 방부처리 후 판재 처리 조건과 방부제 흡수량  
(압축량 5mm, 압축회수 3회)

한편, 횡압축 방부처리 후 후처리 방법을 달리하여 방부처리한 판재의 Cu 흡수량을 조사하여 그림 2-38에 나타냈다. 3수종 모두 방부처리 후 바로 풍건한 것에 비하여 6시간 동안 밀폐 잔적하여 방부제 침투를 촉진시킨 판재가 많은 Cu 함량을

보였다. 따라서 판재 내부로 방부제 유효성분을 다량 침투시키기 위해서는 방부처리 후 곧바로 풍건시키는 것 보다는 일정시간 동안 밀폐 잔적하여 확산에 의한 방부제 침투를 유도한 다음 풍건시키는 것이 효과적인 것으로 밝혀졌다.

#### 바. 방부제 용탈성

횡압축량 5mm, 횡압축 회수 3회의 조건으로 방부처리한 후 6시간 동안 밀폐 잔적한 다음 건조시킨 판재로부터 소형의 시험편을 채취하여 소정의 방법에 준하여 10회에 걸쳐 내후조작을 실시한 후 각 시험편으로부터 용탈된 총 Cu양을 측정하여 처리판재의 방부제 용탈성을 조사하였다. 그 결과를 그림 1-41에 나타냈다.

각 수종 별로 비교하면 약제의 흡수량이 가장 많았던 리기다소나무(그림 2-39 참조)에서 Cu의 용탈량이 가장 많았으며 그 다음으로 잣나무의 순으로 Cu의 용탈량을 나타냈다. 낙엽송 판재의 경우에는 가장 적은 용탈량을 보였으며 이것은 판재 내부로 침투된 방부제 양이 적었기 때문이며 용탈된 Cu도 판재 표면에 부착되어 있던 약제로부터 용탈되어 나온 것으로 판단된다.

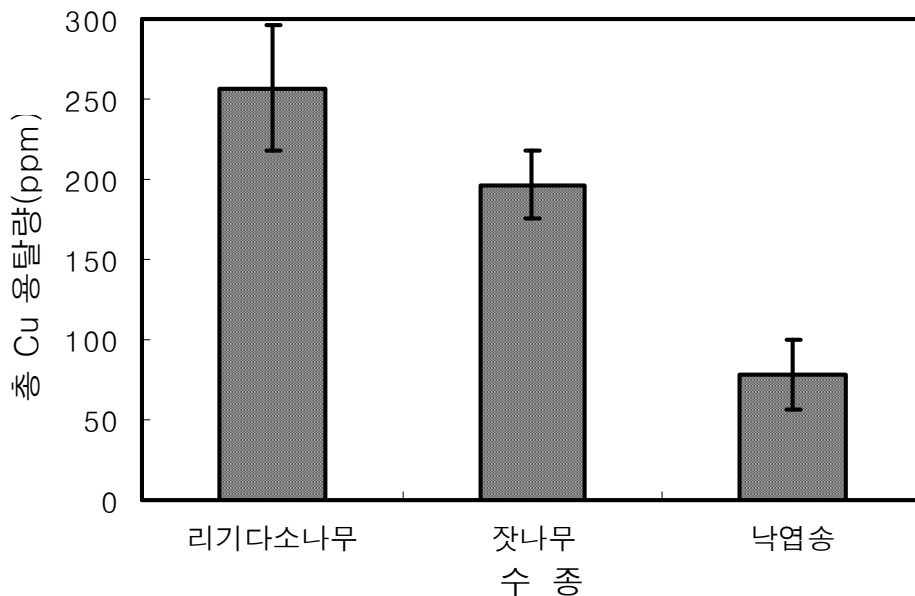


그림 2-39. 수종 별 횡압축 방부처리 판재의 Cu 용탈량  
(압축량 5mm, 압축회수 3회, 방부처리 후 밀폐 잔적)



사. 방부처리 약액의 농도 변화

생재 판재를 황압축에 의해 방부처리하는 과정에서 판재로부터 압출된 수분에 의하여 약액의 농도가 저하될 것으로 판단되어 황압축 방부처리 중에 일정 기간 마다 약액을 채취하여 초기 Cu 함유량과의 차이를 비교하였으며 약액은 수종이 바뀔 때 마다 교환하여 농도 2%의 새로운 약액을 사용하였다. 판재는 총 100매를 처리하였으며 20매 처리 시 마다 약액을 채취하여 Cu 함유량을 측정하였으며 그 결과를 그림 2-40에 나타냈다.

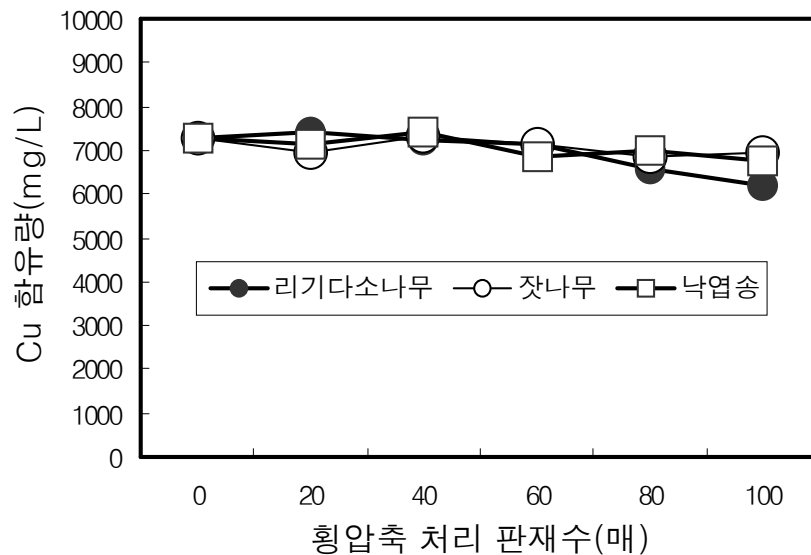


그림 2-40. 황압축 처리에 따른 약액 중의 Cu 함유량 변화

그림에서와 같이 각 수종 마다 판재의 처리 매수 40매까지는 약액 중의 Cu 함유량은 크게 변화하지 않았다. 그러나 60매를 처리한 시점부터 약액 중의 Cu 함유량이 감소하는 경향을 보이기 시작해 판재의 처리 매수가 증가함에 따라 Cu 함유량이 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 Cu 함유량의 감소, 즉 약액의 농도저하가 생재 판재로부터 압출되어 나오는 수분에 의해 발생하는 것인지 아니면 판재 내부로 약액이 흡수됨에 따라 약액 중의 유효성분 비율이 감소하여 발생하는 것인지는 정확하게 판단할 수 없었다.

한편, 함수율이 리기다소나무나 잣나무에 비하여 극히 낮았던 낙엽송 판재를 처

리하였을 경우에도 극히 적은 양이지만 초기 약제 Cu 함유량에 비하여 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과로부터 약액 중의 Cu 함유량 감소는 판재로부터 압출되어 나오는 수분의 영향도 있겠지만 주로 약액이 재내부로 흡수됨에 따라 약액 중의 Cu 함유량이 감소하는 것으로 판단되었다.

#### 4. 결 론

국내산 3수종의 침엽수 판재를 이용하여 횡압축에 의한 상압 방부처리 가능성을 검토하였다. 횡압축이 판재의 물리 및 강도적 성질에 미치는 영향과 함께 결함 발생 등을 조사하였다. 또한 각 조건에서 횡압축 처리하였을 경우 판재 내부로의 ACQ 목재 방부제의 침투성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

각 수종 별로 일정량의 횡압축에 필요한 최대 하중을 가지고 횡압축 가공성을 조사한 결과, 생재함수율이 높았던 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 거의 동일한 경향을 보여 가공성에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 판재가 심재로만 구성되어 함수율이 낮았던 낙엽송 판재의 경우는 가장 많은 하중을 필요로 하여 실험에 사용한 판재 수종 중에서 가장 불량한 횡압축 가공성을 보였다.

횡압축에 영향을 미치는 재질 조건을 조사한 결과 산용이의 경우에는 큰 영향을 미치지 않았으나 죽은 용이의 경우에는 탈락되어 횡압축 가공에 저해요인으로 작용하였다. 또한 수지낭의 경우 횡압축에 의해 수지분이 압출되어 수용성 방부제의 침투에 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

함수율이 비교적 높았던 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우, 횡압축에 의해 다량의 수분이 빠져나와 함수율이 현저하게 저하되는 경향을 보였다. 그러나 함수율이 낮았던 낙엽송 판재의 경우에는 함수율 저하가 미미한 수준에 그쳤다.

횡압축 가공에 의한 판재의 비중 변화와 영구두께 감소율을 살펴본 결과, 비중 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 영구 두께 감소도 두께 10mm 판재에서 약 0.5mm에 불과해 거의 무시할 만한 수준이었다. 이것은 생재상태에서 횡압축을 가했기 때문인 것으로 판단되었다.

판재의 강도적 성질에 미치는 횡압축 가공의 영향을 조사하기 위하여 표면경도

및 휨강도를 측정하여 비교, 조사하였다. 그 결과 횡압축 판재의 무처리 판재 간에 표면 경도와 횡압축 강도 값에 일정한 경향이 나타나지 않아 횡압축이 판재의 강도적 성질에 미치는 영향을 밝히지는 못했다. 그러나 생재 상태에서 횡압축 가공을 실시하게 되면 강도적 성질의 저하는 초래하지 않는 것으로 판단되었다.

횡압축 처리 중에 판재에 발생하는 결함을 조사한 결과, 판재 끝부분, 즉 상하 roller에서 빠져 나오는 부분에서 갈라짐이 발생하는 것으로 밝혀졌다. 한편, 판재의 길이 굽음이나 나비 굽음도 발생하였으나 횡압축을 처리하지 않은 판재에서도 발생하는 것으로 보아 이것은 판재의 건조 과정 중에 발생하는 건조결함임을 알 수 있었다.

횡압축에 방부처리한 판재의 방부제 침투 특성을 조사한 결과, 변재로만 구성되어 생재함수율이 비교적 높았던 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 횡압축량과 횡압축 처리 회수가 증가할수록 방부제의 침윤도 및 흡수량도 증가하는 경향을 보였다. 그러나 함수율이 낮고 심재로만 구성되어 있는 낙엽송 판재에서는 횡압축에 의한 방부제의 침투는 거의 이루어지지 않았으며 최대의 횡압축량과 횡압축 회수에서도 침투성의 증대효과는 전혀 나타나지 않아 대표적인 국내산 난주입성 수종임이 입증되었다.

한편, 횡압축 방부처리 후 판재를 바로 건조하지 않고 건조가 진행되지 않도록 일정기간 동안 밀폐 잔적하여 보관할 경우 방부제의 침투성이 현저하게 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

횡압축 방부처리 판재의 약제 용탈성을 조사한 결과 방부제의 침윤도 및 흡수량이 가장 많았던 리기다소나무 판재에서 가장 많은 Cu의 용탈량을 보였으며 이어서 잣나무 순으로 나타났다. 방부제 침투성이 가장 불량했던 낙엽송 판재는 가장 적은 Cu 용탈량을 보였다.

횡압축 가공 중의 처리 약액의 농도변화를 조사한 결과, 횡압축 가공 판재 매수가 증가함에 따라 처리 약액 중의 Cu의 함유량이 미미하나마 감소하는 경향을 보였다. 이것은 생재상태의 판재로부터 압출되어 나오는 수분에 의한 현상이 아니고 판재 내부로 약액이 흡수됨에 따라 약액 중의 유효성분 비율의 감소에 의해 나타나는 현상이라고 판단되었다. 이유는 함수율이 가장 낮았던 낙엽송 판재 처리 시에도 동일한 경향을 보였기 때문이다.

이상 3수종의 국내산 침엽수 판재의 횡압축 가공에 의한 상압 방부처리 가능성을 검토한 결과, 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우에는 매우 우수한 방부제 침투성을 보여 가능성이 매우 높은 것으로 밝혀졌다. 그러나 심재로만 구성되어 있는 낙엽송 판재의 경우에는 예상했던 대로 횡압축에 의한 방부처리는 거의 불가능한 것으로 나타났다.

# 제 3 절 자상처리 후 횡압축 처리한 판재의 재질과 방부제 침투 특성

## 1. 서론

국내산 3수종의 침엽수 판재를 대상으로 횡압축 처리에 의한 상압 방부처리를 검토한 결과 비교적 높은 생재함수율을 가진 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우에는 우수한 방부제 침투성을 나타내어 개발된 횡압축 처리 기술의 성공 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나 수목 성장 특성 상 심재화가 빨리 진행되는 수종인 낙엽송의 경우에는 판재가 모두 액체 침투성이 극히 불량한 심재로만 구성되어 있어 횡압축 가공에 의한 방부 처리는 불가능한 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서는 횡압축 가공에 의한 침엽수 판재의 방부제 침투성을 보다 향상시킬 수 있는 새로운 기술을 개발하기 위하여 횡압축 가공에 자상처리 기술 도입을 검토하였다. 자상처리는 인사이징이라고도 하며 현재 난주입성 수종의 방부제 침투성 개선을 위하여 적용하는 기계적 가공 기술이다.

대표적인 난주입성 수종인 낙엽송 제재목의 경우에도 가압방부처리 전에 자상처리를 실시하면 소정 깊이의 방부제 침윤도를 달성할 수 있다. 따라서 횡압축 가공 전에 침엽수 판재에 자상처리 가공을 하게 되면 횡압축 단독에 비하여 재 내부로 균일한 방부제의 침투를 유도할 수 있을 것으로 판단하였다.

한편, 횡압축 가공에 의해 방부처리가 거의 불가능하였던 낙엽송 판재의 경우에도 자상처리를 도입한 횡압축 가공에 의해 방부처리가 가능한지 여부를 검토해 보고자 한다.

이를 위해 자상처리 후 횡압축 가공한 판재의 방부제 침투특성(침윤도, 흡수량)과 함께 자상처리가 판재의 기계적 성질에 미치는 영향도 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험 재료

국내산 리기다소나무(*Pinus rigida*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix leptolepis*) 판재(두께 12mm × 폭 70mm × 길이 1800mm)를 사용하였으며 자상처리를 고려하여 판재의 두께를 1차년도에 횡압축만을 실시한 판재보다 2mm 두껍게 하였다. 또한 가능한 한 고함수율 판재를 얻기 위하여 벌채 후 경과기간이 짧은 원목을 선발하여 사용하였으나 판재의 함수율을 측정한 결과 1차년도에 사용하였던 판재에 비하여 낮은 함수율을 보여 리기다소나무가 128.4%, 잣나무가 95.4%였다. 낙엽송은 거의 동일한 함수율을 보여 평균 42.6%였다.

목재방부제는 현재 국내에서 사용이 금지된 크롬·구리·비소화합물(CCA)계 목재방부제의 대체 약제로 가장 많이 사용되고 있는 구리·알킬암모늄화합물(ACQ-2)계 목재방부제를 사용하였으며 처리농도는 2%(wt%)로 하였다.

#### 나. 실험 방법

##### (1) 자상처리와 횡압축 및 방부 처리

자상처리 장치는 1차 년도에 제작한 Roll press기의 3쌍의 roller 중에서 첫 번째의 상부 roller에 제작하여 부착시켰다. 그림 3-1은 자상처리 장치의 설계도면을 나타낸 것이다.

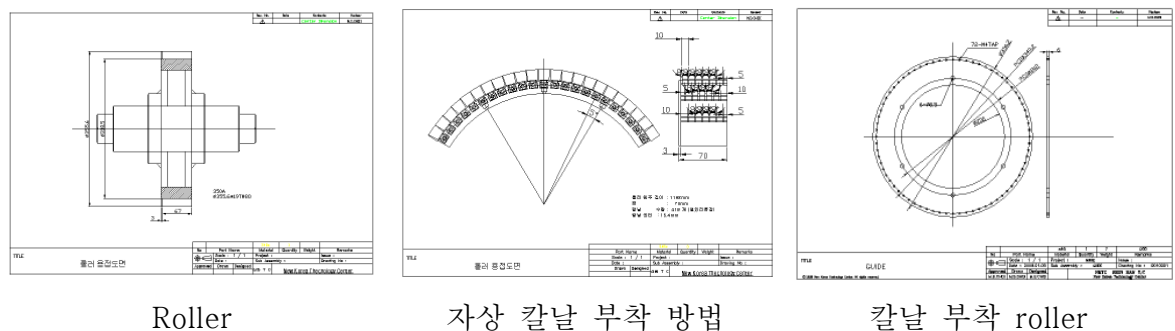


그림 3-1. 자상처리 roller 제작 도면

칼날의 크기는 높이 25.5 × 폭 18.0 × 두께 2.2 mm로 실제 판재 면에 박히는 칼날의 길이는 최대 8mm로 하였으며 Roller에 장착할 수 있는 최대 칼날 개수(자상비중)는 5,000개/m<sup>2</sup>로 하였다. 따라서 칼날의 길이와 개수를 조정하여 자상 깊이와

자상 비중을 조절할 수 있다.

그림 3-2는 roll press기와 자상처리 장치를 부착한 상부 1번 roller의 외관을 나타낸 것이다.

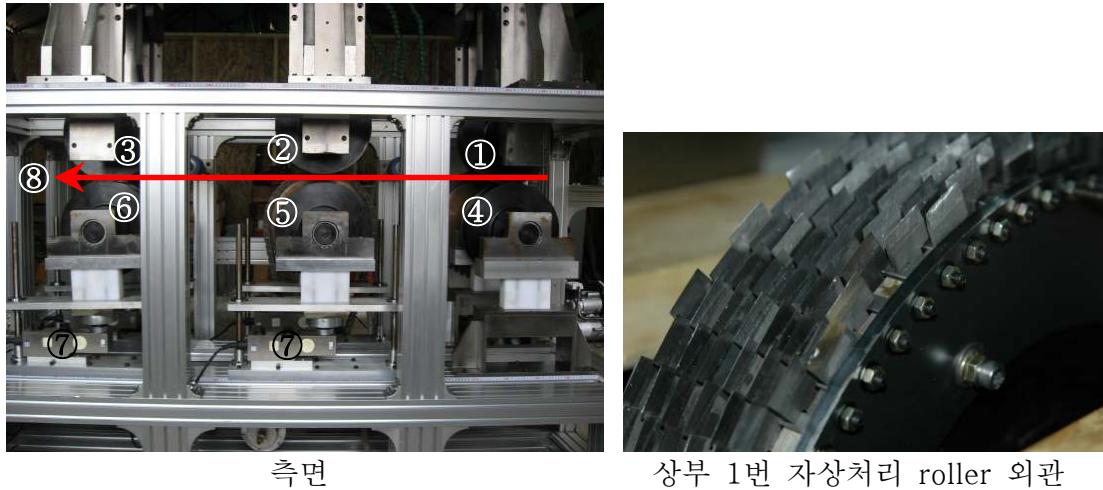


그림 3-2. Roll press기와 자상처리 roller

- ①: 상부 1번 자상처리 roller    ②: 상부 2번 roller    ③: 상부 3번 roller
- ④: 하부 1번 roller    ⑤: 하부 2번 roller    ⑥: 하부 3번 roller
- ⑦: 하중 측정 load cell    ⑧: 판재 이송 방향

자상처리 조건은 자상깊이 3mm와 6mm, 자상깊이 2500개/m<sup>2</sup>와 5000개/m<sup>2</sup>로 하였다. 자상처리 후 횡압축처리에서 횡압축량은 1차년도 연구결과에서 방부제 침투성이 가장 좋았던 판재 두께의 50%인 6mm, 횡압축 회수는 4회로 하였다. 횡압축 회수가 4회가 되는 것은 자상처리 장치가 1번 상부 roller에만 설치되어 있기 때문에 판재 양면을 자상처리하기 위해서는 판재를 roll press기에 2회 통과시켜야 한다. 따라서 자상처리 장치가 설치되어 있지 않은 2번과 3번 상하 roller 사이를 2회 통과하기 때문에 총 횡압축 회수는 4회가 된다.

방부처리는 1차년도와 동일하게 자상처리-횡압축 직후에 약액을 분사하여 처리하였으며 처리한 판재는 바로 풍건하지 않고 약액 침투성이 향상되었던 1차년도 연구결과에 따라 방부처리 후 6시간 동안 밀폐 잔적시킨 다음 건조하여 시험에 사용하였다. 그림 3-3에 자상처리와 횡압축 후 방부처리하는 모습을 나타냈다

그 밖에 자상처리와 횡압축 처리 시의 roll press기 가동은 1차년도와 동일한 조

건(판재 이송속도 150mm/sec, roller간 거리 65cm)에서 실시하였다.



Roller 자상처리



횡압축 직후 약액 분사

그림 3-3. 자상처리와 횡압축 처리 후 방부약액 분사

#### (2) 판재 재질이 자상처리에 미치는 영향 조사

수종 별로 자상처리 후 재면에 나타나는 자상흔적 등을 육안으로 관찰하여 자상처리 가공성을 조사하였다. 또한 자상처리에서 가장 큰 문제가 될 것으로 예상되는 용이 분포와의 관계도 조사하였다.

#### (3) 판재의 물리적 성질 조사

1차년도와 동일한 방법으로 자상처리 후 횡압축 처리한 판재의 비중 및 함수율 변화와 영구 두께감소율에 대해서 조사하였다.

#### (4) 판재의 강도적 성질 조사

1차년도와 동일한 방법으로 자상처리 후 횡압축 처리한 판재의 표면경도와 휨강도에 대해서 조사하였다.

#### (5) 판재의 결함 발생 조사



1차년도와 동일한 방법으로 조사하였다.

(6) 방부제 침투성 조사

1차년도와 동일한 방법으로 판재의 방부제 침윤도, 흡수량을 조사, 비교하였다.

(7) 방부제 용탈성 조사

1차년도와 동일한 방법으로 조사하였다.

(8) 방부처리 약액의 농도변화 조사

1차년도와 동일한 방법으로 조사하였다.

### 3. 연구 결과

#### 가. 판재의 재질과 자상처리 가공성

판재의 수종(리기다소나무, 잣나무, 낙엽송), 용이분포 등에 따라 자상처리 가공성의 정도를 조사하였다.

비중이 낮고 재질이 연한 리기다소나무와 잣나무 판재의 경우에는 자상처리의 깊이가, 비중에 상관없이 용이하게 자상처리가 이루어졌다. 그러나 비중이 높은 낙엽송 판재의 경우에는 자상 깊이와 비중이 증가할수록 자상처리가 곤란하였다. 그림 3-4와 5는 수종 별 자상처리 전후의 재면을 나타낸 것이다.



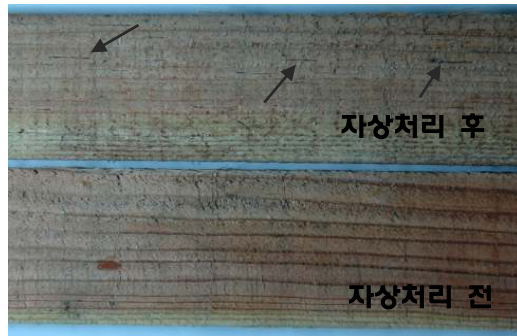
그림 3-4. 자상처리 전후의 재면 상태  
(자상 깊이 6mm, 비중 5,000개/m<sup>2</sup>)

잣나무와 리기다소나무 판재의 경우에는 자상 깊이와 비중을 최대로 하여 처리하였음에도 불구하고 육안적으로 처리 여부를 구분할 수 없을 정도로 재면의 상태가 양호하였다. 이것은 판재가 생재함수율에 가까운 높은 함수율(리기다소나무 평균 128.4%, 잣나무 평균 95.4)을 가지고 있어 자상처리 후 칼날 자국이 판재가 원래 재질 상태로 회복됨에 따라 칼날 자국이 남지 않기 때문인 것으로 판단되었다.

한편, 낙엽송 판재의 경우에는 자상 처리 후에 육안으로 확인할 수 있을 정도로 칼날 자국(그림 3-5의 →)이 그대로 남아있는 외관을 나타냈다. 낙엽송은 리기다소나무와 잣나무와는 달리 수종 특성 상 심재화가 빨리 이루어지는 수종이다. 따라서 소경재의 생원목을 제재하였음에도 불구하고 판재가 대부분 심재로 구성되어 있어 생재함수율이 매우 낮아 42.6%에 지나지 않았다. 이 때문에 자상처리 후에 발생한 칼날 자국이 원래의 재질 상태로 회복되지 않아 재면 상에 칼날 자국이 그대로 잔존하는 것으로 판단되었다.

생용이의 분포가 판재의 자상처리에 미치는 영향을 조사하였다. 잣나무와 리기다소나무의 용이는 자상처리에 큰 문제를 야기하지 않았으나 낙엽송에 분포하는 용이는 자상 깊이를 6mm로 하였을 경우 칼날의 손상을 가져와 어려움이 뒤따랐다. 따라서 칼날의 재질을 보다 강한 금속으로 제작할 필요성이 제기되었다.

그림 3-6은 건전한 상태의 칼날과 낙엽송의 용이 부위를 자상처리 한 후 발생한 칼날의 손상을 나타낸 그림이다.



낙엽송

그림 3-5. 자상처리 전후의 재면 상태  
(자상 깊이 6mm, 비중 5,000개/m<sup>2</sup>)



그림 3-6. 낙엽송 판재 자상 처리후의 칼날의 상태  
(좌 2개: 진전한 칼날, 우 2개: 손상된 칼날)

#### 나. 판재의 물리적 성질

자상처리 후 횡압축에 의해 판재에 발생하는 비중변화를 조사하였다. 표 3-1, 2, 3에 나타냈듯이 무처리 판재와 비교할 때 비중변화는 크게 발생하지 않은 것으로 판단되었다. 횡압축에 의해 재질이 고밀화됨에 따라 비중 증가가 예상되었으나 1차년도 연구 결과와 마찬가지로 자상처리 후 횡압축 처리에 의해서도 비중에는 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 생재 상태에서 처리함으로서 압축된 조직이 원상태로 거의 회복되었기 때문인 것으로 판단된다. 두께 감소를 측정된 결과, 감소율이 5% 미만을 보여 이를 뒷받침하였다. 이러한 모든 결과는 1차년도의 횡압축 단독

처리의 결과와 동일하였다.

표 3-1. 리기다소나무 판재의 자상처리 후 횡압축에 따른 비중 변화

자상깊이 자상비중	0	3mm	6mm
0	0.46±0.01	-	-
2500개/m <sup>2</sup>	-	0.46±0.01	0.50±0.01
5000개/m <sup>2</sup>	-	0.47±0.02	0.49±0.01

표 3-2. 잣나무 판재의 자상처리 후 횡압축에 따른 비중 변화(횡압축량 6mm)

자상깊이 자상비중	0	3mm	6mm
0	0.44±0.00	-	-
2500개/m <sup>2</sup>	-	0.44±0.01	0.46±0.01
5000개/m <sup>2</sup>	-	0.45±0.01	0.45±0.00

표 3-3. 낙엽송 판재의 자상처리 후 횡압축에 따른 비중 변화(횡압축량 6mm)

자상깊이 자상비중	0	3mm	6mm
0	0.51±0.01	-	-
2500개/m <sup>2</sup>	-	0.52±0.01	0.50±0.02
5000개/m <sup>2</sup>	-	0.49±0.00	0.49±0.00

자상처리 후 횡압축에 의한 판재의 함수율 변화 조사를 처리 조건 중에서 최대 조건인 자상 깊이 6mm, 자상 밀도 5000개/m<sup>2</sup> 조건으로 처리한 판재에 대하여 실시하였다. 그 결과 1차 년도에서의 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 자상처리 후 횡압축 처리에서도 횡압축 단독처리에서와 마찬가지로 횡압축 중에 다량의 수분이 압출되어 함수율 감소경향이 뚜렷하게 나타났다. 특히 심재로만 구성되어 있어 낮은 함수율을 보였던 낙엽송 판재에 비하여 비교적 함수율이 높았던 잣나무와 리기다소나무 판재에서의 함수율 감소가 두드러지게 나타났다. 그 결과를 그림

3-6에 나타냈다.

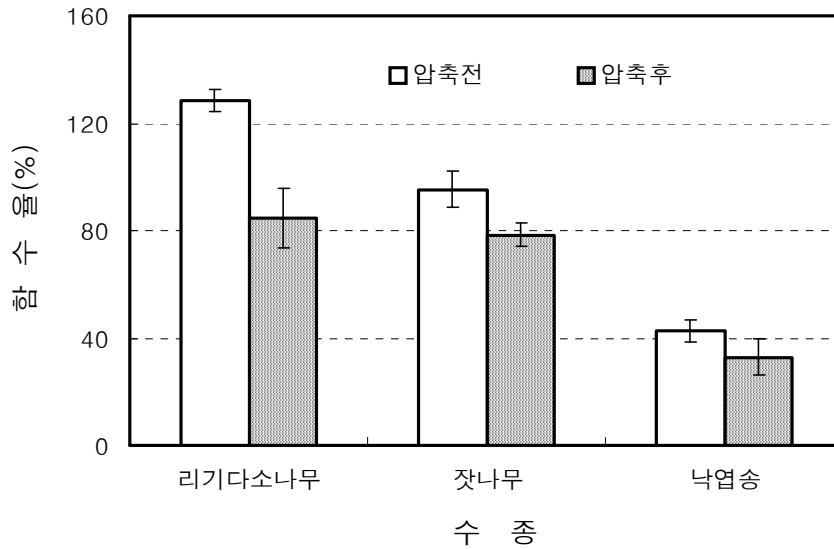


그림 3-6. 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 함수율 변화  
(자상 조건: 깊이 6mm, 밀도 5000개/m<sup>2</sup>)

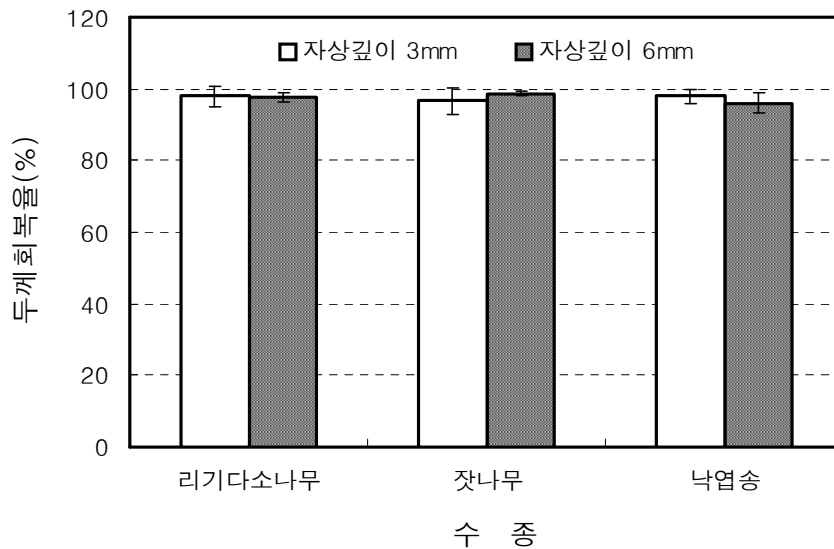


그림 3-7. 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 두께 변화  
(자상 밀도 5000개/m<sup>2</sup>)

자상처리 후 횡압축 처리에 의해 발생하는 두께 감소율을 조사하기 위하여 처리 후 24시간 경과한 시점에서 조사하였다. 그림 3-7에서도 알 수 있듯이 생재 판재의 경우에는 횡압축 후에 시간이 경과하면 거의 97% 이상 원래 두께로 회복되기 때문에 치수 조정의 필요성은 없는 것으로 나타났다.

#### 다. 판재의 강도적 성질

자상처리 후 횡압축에 의한 판재의 기계적 성질 변화를 조사하기 위하여 자상처리 후 횡압축을 실시한 다음 충분히 풍건시켜 기건 상태(함수율 평균 27.5%)까지 도달한 후에 시험편을 채취하여 KS규격의 시험방법에 준하여 표면경도와 휨강도를 측정하였다.

자상처리 후 횡압축 가공 판재의 표면경도를 살펴보면 그림 3-8, 9, 10에 나타난 바와 같이 모든 수종 및 처리 조건에서 어느 일정한 경향을 보이지 않았다. 자상처리에 의해 표면경도가 감소하거나 아니면 압축에 의한 고밀화에 의해 증가할 것으로 예상되었으나 1차 년도의 횡압축 단독처리의 결과와 마찬가지로 표면경도의 감소나 증가는 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 재질과 자상처리 가공성에서 언급한 바와 같이 고함수율 상태에서 자상처리한 결과 재질 회복에 의해 칼날 자국이 남아있지 않고, 칼날의 최대 두께가 2.2mm로 매우 얇아 자상 처리에 의한 표면경도의 저하를 초래하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 또한 전술한 두께감소율에서도 알 수 있듯이 고함수율 상태에서 횡압축되어 두께가 압축 후 원형으로 거의 회복되어 고밀화 효과가 나타나지 않아 표면경도의 증가도 나타나지 않은 것으로 판단된다.

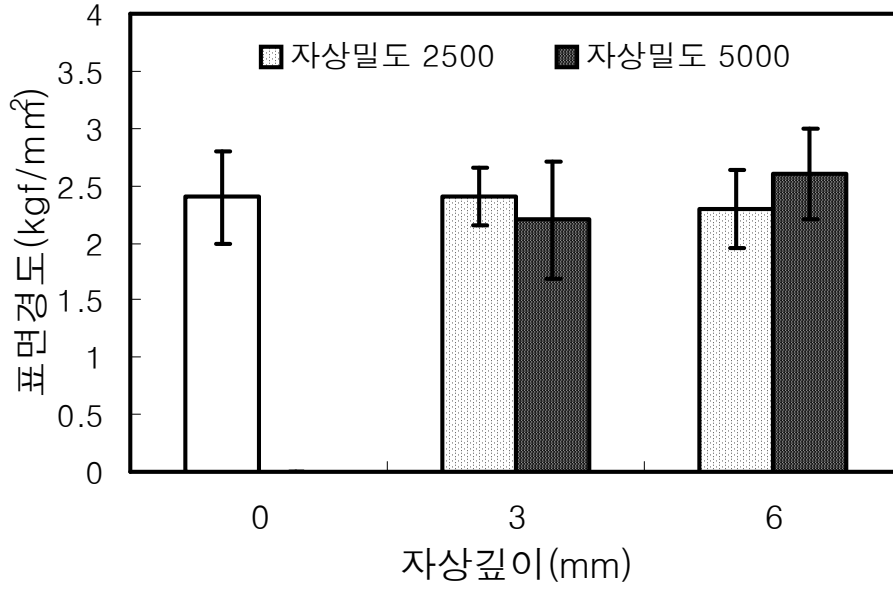


그림 3-8. 리기다소나무 판재의 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 표면경도

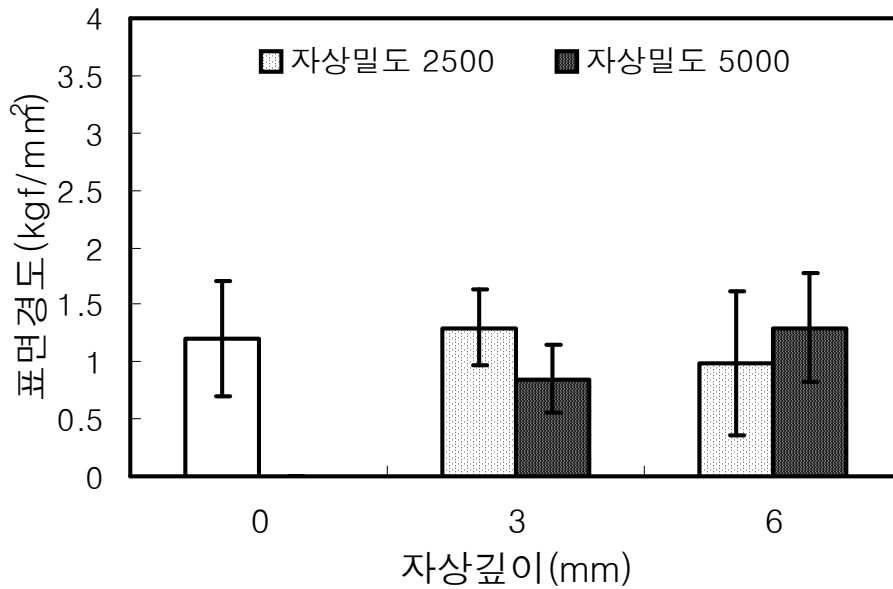


그림 3-9. 잣나무 판재의 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 표면경도

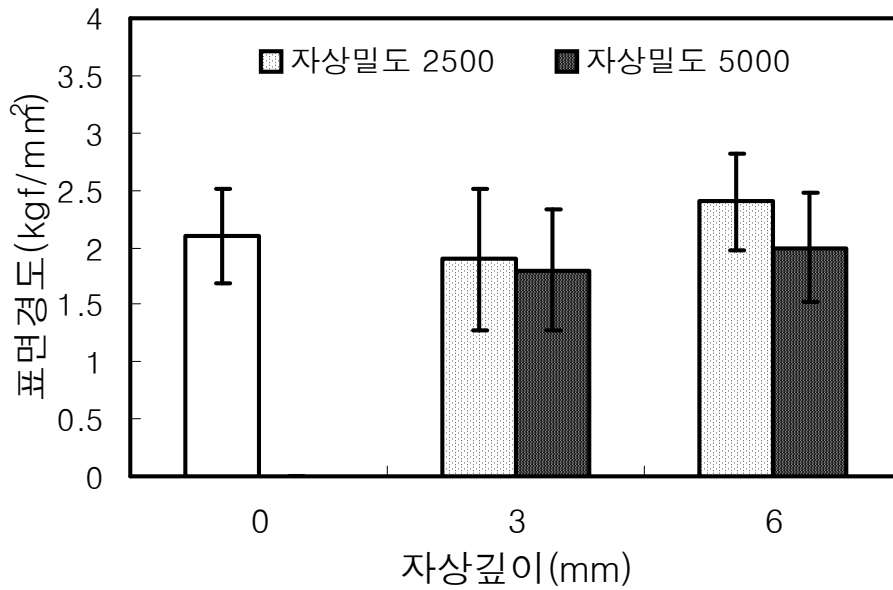


그림 3-10. 낙엽송 판재의 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 표면경도

자상처리 후 횡압축 처리 판재의 휨강도를 조사하여 그림 3-11, 12, 13에 나타냈다. 그림에 나타난 바와 같이 자상처리의 깊이와 자상 밀도가 증가할 수 록 모든 수종과 처리 조건에서 휨강도가 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타냈다. 이것은 예상했던 자상처리에 의한 결과이며, 자상처리 과정 중에 육안으로는 뚜렷하게 관찰되지 않으나 칼날에 의해 재질에 손상이 발생했다는 사실을 입증하는 결과이다.

그러나 본 연구의 목표는 야외에서 사용하는 방부처리 우드블럭 생산용 판재의 간편한 방부처리기술 개발에 있기 때문에 자상처리에 의한 판재의 휨강도 저하는 우드블럭을 생산하는 데는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 그 이유는 우드블럭은 방부처리 판재를 플라스틱 제품의 받침대에 고정하여 생산하기 때문에 이 플라스틱 받침대가 지지대 역할을 하여 사용 중에 강도 저하에 의한 제품의 품질 저하는 초래되지 않을 것으로 판단된다. 현재 참여기업에서 생산되는 침엽수 우드블럭의 판재 치수는 10(두께)×70(폭)×293(길이)mm이다.



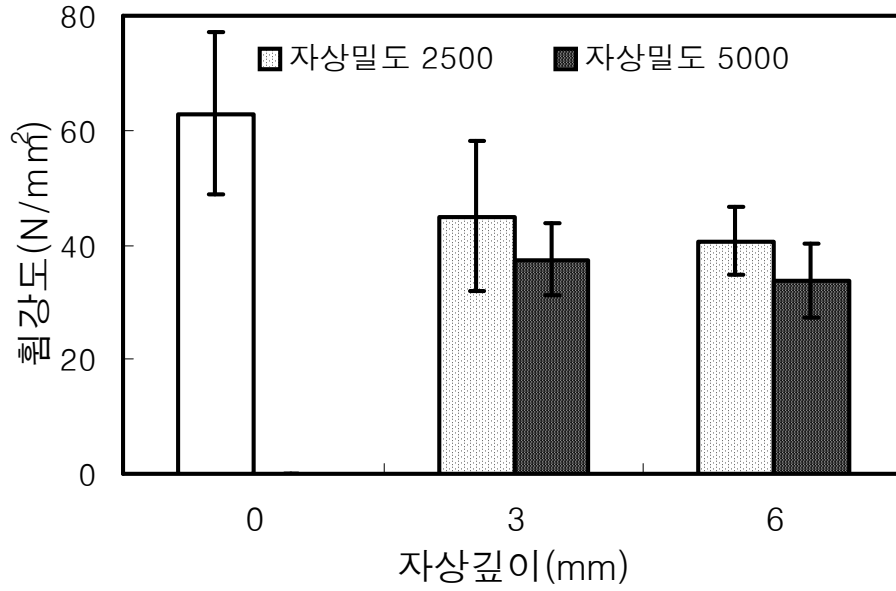


그림 3-11. 리기다소나무 판재의 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 휨강도

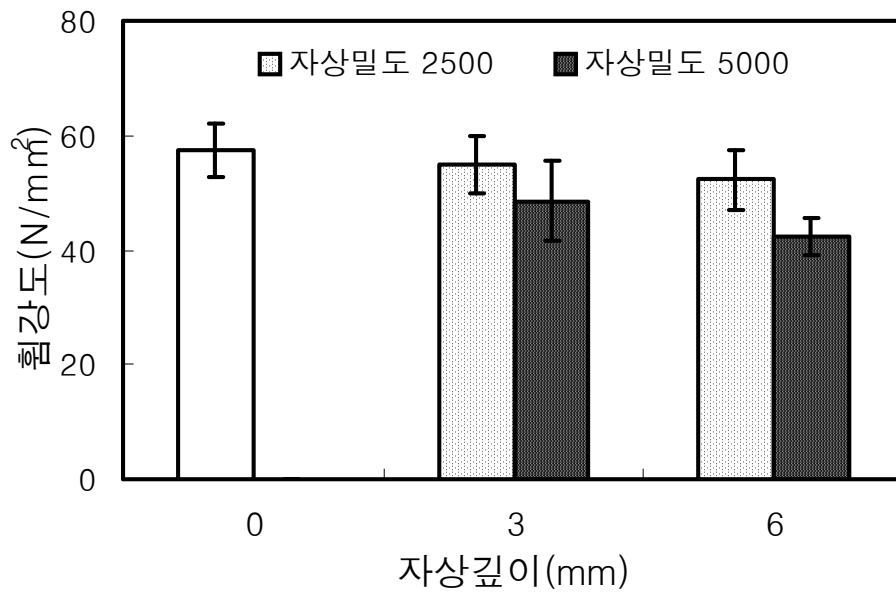


그림 3-12. 잣나무 판재의 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 휨강도

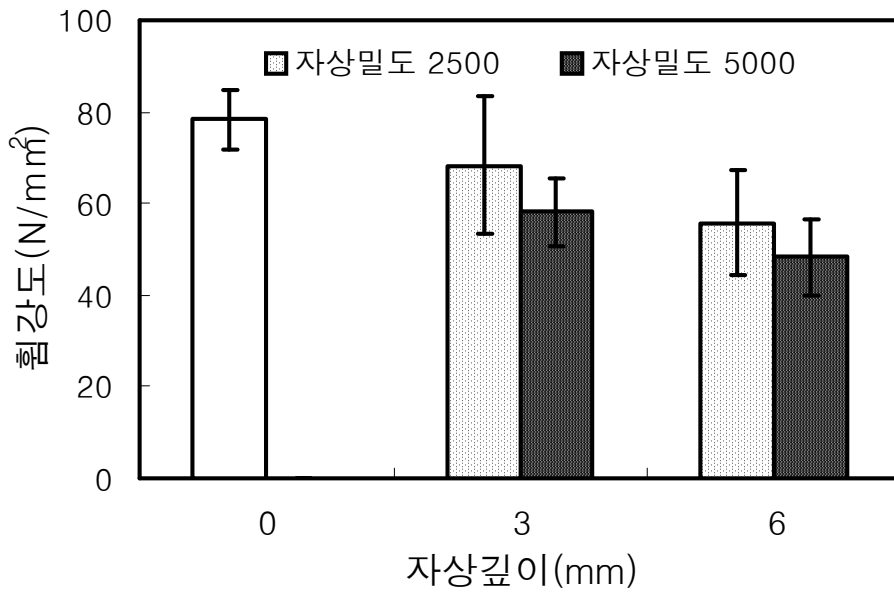


그림 3-13. 낙엽송 판재의 자상처리 후 횡압축 가공 판재의 힘강도

#### 라. 판재의 재질 결함 발생

자상 처리 후 횡압축 처리에 의해 판재에 발생하는 결함을 육안으로 조사하였다. 대표적인 결함은 1차 년도에 조사하여 보고한 바와 같이 건조과정에서 발생하는 길이굽음, 나비굽음 등이었으며 이것은 압축처리를 하지 않은 판재에서도 발생하는 건조결함으로 자상처리 후 횡압축 처리에 따른 결함은 아닌 것으로 판단할 수 있다. 또한 자상처리 후 횡압축 처리에서도 횡압축 단독처리 중에 발생하는 판재의 끝부분이 갈라지는 현상도 많이 관찰되었다.

횡압축 단독처리에서는 나타나지 않았으나 자상처리 후에 횡압축 처리에서 발생하는 새로운 결함을 그림 3-14에 나타냈다. 자상 깊이 6mm, 밀도 5000개/m<sup>2</sup>의 조건에서 자상처리한 후 압축량을 6mm하여 횡압축을 실시하였을 경우 일부의 낙엽송 판재가 중앙부위에서 쪼개짐이 발생하는 현상을 보였다. 이것은 과도한 자상처리의 결과인 것으로 밝혀졌으며 낙엽송 판재의 경우에는 리기다소나무나 잣나무 판재에 비하여 낮은 함수율을 가지고 있어 수분에 의한 재질의 유연성이 부족하여 외부로부터 가해지는 하중을 흡수할 수 있는 탄력성이 부족하기 때문에 발생하는 현상이라고 추정할 수 있다.

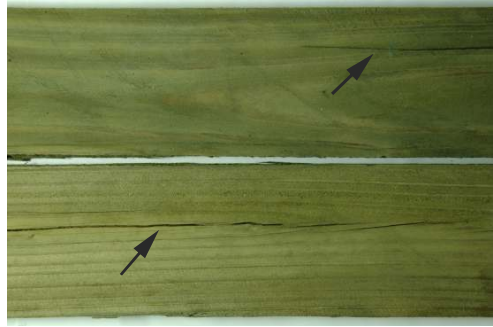


그림 3-14. 자상처리 후 횡압축 처리한 낙엽송 판재의  
결합 발생  
(자상 깊이 6mm, 자상 밀도 5000개/m<sup>2</sup>)

#### 마. 방부제 침투성

##### 1) 방부제 침윤도

자상 깊이를 6mm, 자상 밀도를 5000개/m<sup>2</sup>의 조건에서 자상 처리한 후 횡압축 처리한 판재의 방부제 침투성을 조사하여 그 결과의 일부를 그림 3-15, 16, 17에 나타냈다. 각 사진은 처리 판재의 횡단면 사진으로 정색시약(크로람페니콜 S)에 의해 착색되어 방부제 침투부는 농청색, 미침투부는 붉은색을 나타내고 있다.

횡압축만을 실시한 판재와 자상처리 후 횡압축을 실시한 판재에서의 방부제 침투 깊이를 비교하면 자상처리를 실시한 판재에서 방부제의 침투성이 향상되는 것을 그림에서 알 수 있다. 수종 별로 비교하면 잣나무와 리기다소나무의 경우 비교적 방부제의 주입성이 좋은 수종으로 분류되기 때문에 횡압축 처리만 실시 해도 어느 정도의 방부제 침투는 이루어지나 판재 내부까지 방부제가 균일하게 침투되어 있지 않은 것을 알 수 있다. 이에 비하여 자상처리를 실시한 판재에서는 방부제가 판재 내부까지 침투되어 자상처리 효과가 나타났다. 그러나 그림에서도 볼 수 있듯이 100%의 침윤도는 달성되지 않았다.

한편, 국내산 침엽수 중에서 가장 난주입성 수종으로 알려진 낙엽송 판재에서는 그림 2-17에 나타낸 바와 같이 횡압축 단독처리에서는 전혀 방부제의 침투가 이루어지지 않았다. 한편, 자상처리를 실시한 판재에서는 횡압축 단독처리에 비하여 방부제의 침투성은 다소 촉진되었으나 방부제의 침투가 주로 자상 자국 부위에서만 이루어져 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 이들 결과로부터 낙엽송의 방부제 난

주입성을 다시 한 번 확인할 수 있었다.



횡압축 단독처리  
(압축량 6mm, 압축회수 3회)



자상처리 후 횡압축 처리  
(자상깊이 6mm, 자상밀도  
5000개/m<sup>2</sup>)

그림 3-15. 리기다소나무 판재의 방부제 침투상태



횡압축 단독처리  
(압축량 6mm, 압축회수 3회)



자상처리 후 횡압축 처리  
(자상깊이 6mm, 자상밀도  
5000개/m<sup>2</sup>)

그림 3-16. 잣나무 판재의 방부제 침투상태



황압축 단독처리  
(압축량 6mm, 압축회수 3회)



자상처리 후 황압축 처리  
(자상깊이 6mm, 자상밀도  
5000개/m<sup>2</sup>)

그림 3-17. 낙엽송 판재의 방부제 침투상태

자상처리 및 황압축 처리 조건 별로 약액 침투성에 미치는 영향을 명확하게 밝히기 위하여 상법에 준하여 각 판재로부터 시료를 채취하여 침윤도를 측정하였다. 그 결과를 그림 3-18, 19, 20에 나타냈다.

잣나무와 리기다소나무의 경우에는 그림에서도 알 수 있듯이 자상 깊이와 밀도가 증가함에 따라 전체적으로 침윤도가 증가하는 것을 알 수 있다.

자상처리를 하지 않고 단순히 황압축량 6mm, 황압축 회수 3회의 조건(그림에서는 자상깊이 0로 표기, 황압축 단독처리)에서 처리한 판재의 경우에는 침윤도가 60%이하가 되어 침윤도 적합기준 80%(산림청 고시 제 2004-62호, 목재의 방부·방충처리 기준)를 만족시키지 못하고 있다. 황압축 단독 처리 판재는 1차년도에 황압축 판재의 침윤도 결과보다 낮은 침윤도를 나타내고 있다. 이것은 판재의 두께가 1차년도에 사용했던 판재보다 2mm가 두꺼워져 방부제의 침투깊이가 작아졌기 때문에 발생한 결과라고 생각되어 진다.

그러나 자상처리를 한 후에 황압축 처리를 하였을 경우에는 리기다소나무나 잣나무 판재 모두에서 방부제 침윤도가 현저하게 증가하여 침윤도 적합기준 80%를 훨씬 상회한 것을 알 수 있다. 이것은 판재 양면에 대하여 자상처리를 실시함으로써 방부제의 침투가 용이하게 되었기 때문에 나타난 결과로 판단할 수 있다.

한편, 낙엽송 판재의 경우에는 자상처리를 실시함으로써 방부제의 침투가 촉진되어 자상처리를 하지 않은 판재에 비하여 높은 침윤도를 보였으나 침윤도 적합기준을 만족시키지는 못하였다.

또한 자상처리 조건 별로 침윤도를 비교하면 자상깊이가 깊을수록, 자상밀도가 높을수록 전체적으로 높은 침윤도를 나타내었다.

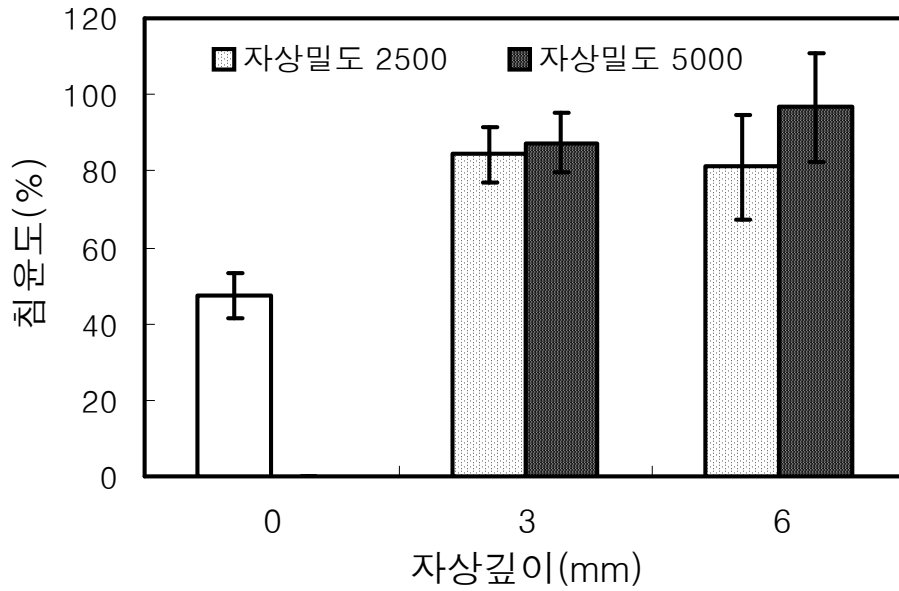


그림 3-18. 자상처리 후 횡압축 처리한 리기다소나무 관재의 방부제 침윤도

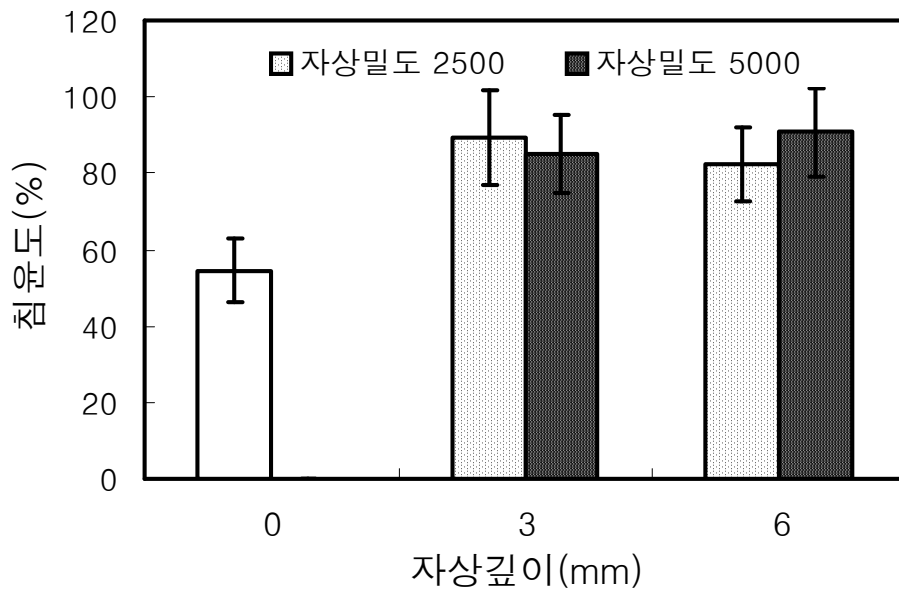


그림 3-19. 자상처리 후 횡압축 처리한 잣나무 관재의 방부제 침윤도

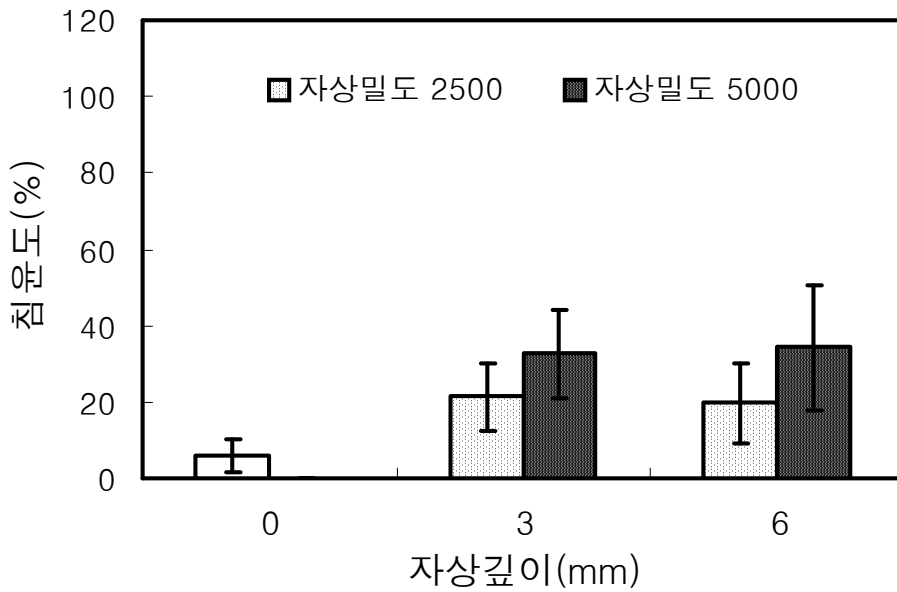


그림 3-20. 자상처리 후 횡압축 처리한 낙엽송 판재의 방부제 침윤도

## 2) 방부제 흡수량

자상처리 조건 별로 방부제 중에 함유되어 있는 Cu의 흡수량을 가지고 방부제 흡수량을 비교하였다.

그림 3-21은 리기다소나무의 결과를 나타낸 것으로 횡압축 처리만을 실시한 판재에 비하여 Cu의 흡수량이 현저하게 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 판재에 칼날에 의한 자상이 형성됨으로 해서 횡압축 후 재질 회복 시에 방부제의 흡수가 자상 부위를 통하여 촉진되었음을 의미한다. 그림에서와 같이 자상처리를 실시함으로써 판재 내부의 Cu 함유량이 2배 이상 증가하였다. 따라서 방부제 유효성분인 Cu를 포함하여 DDAC의 흡수도 촉진되었을 것으로 판단할 수 있으며, 이에 근거하여 횡압축에 앞서 실시한 자상처리가 방부제의 흡수량 촉진에 기여하였음을 알 수 있다.

그림 3-22에 나타낸 잣나무 판재의 결과에서도 리기다소나무 판재에서와 동일한 경향을 보여 잣나무 판재의 경우에도 자상처리에 의해 방부제의 침투가 촉진되었음을 알 수 있다.

한편, 낙엽송 판재에서는 그림 3-23에서와 같이 자상처리에 의해 리기다소나무와 잣나무 판재에서처럼 방부제 흡수량이 증가하는 경향을 보였으나 이들 2수종의 판재에 비하면 흡수량의 증가가 미미하여 자상처리에 의해서도 낙엽송 판재에서는

만족할 만한 방부제 흡수량을 얻을 수 없었다.

따라서 낙엽송 판재의 경우에는 횡압축이나 자상처리 후 횡압축 처리와 같은 상압에서의 방부처리는 불가능한 것으로 판단되었다.

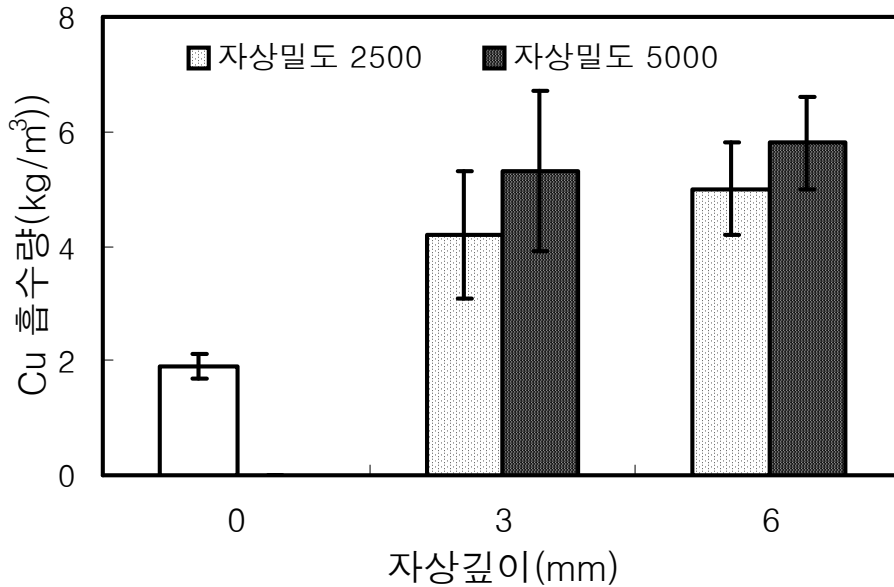


그림 3-21. 자상처리 후 횡압축 처리한 리기다소나무 판재의 Cu 흡수량

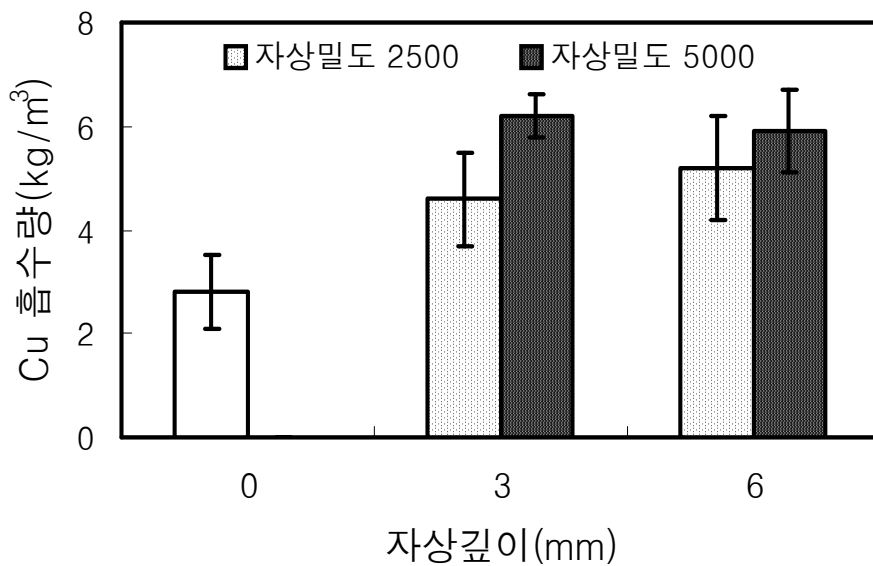


그림 3-22. 자상처리 후 횡압축 처리한 잣나무 판재의 Cu 흡수량



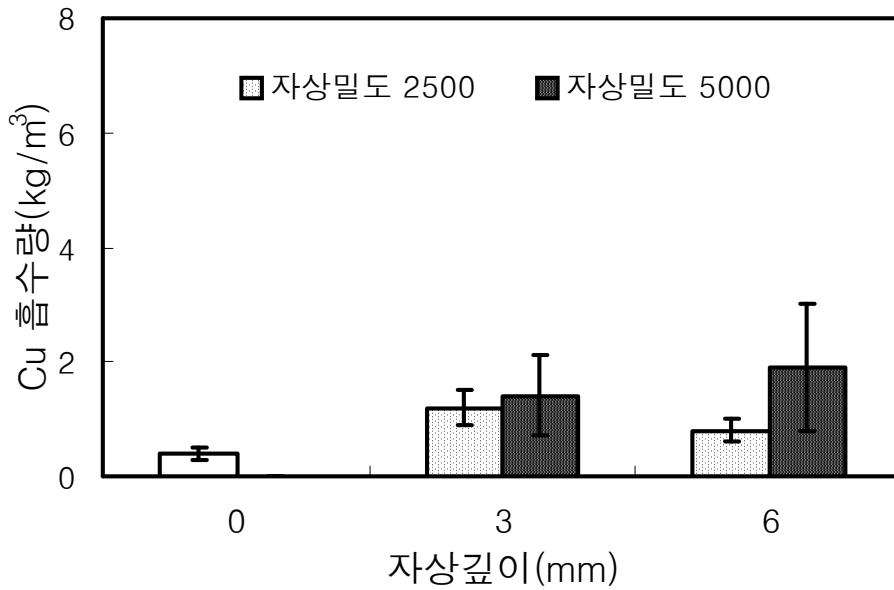


그림 3-23. 자상처리 후 횡압축 처리한 낙엽송 판재의 Cu 흡수량

#### 마. 방부제 용탈성

자상처리 후 횡압축 가공 판재 중에서 비교적 방부제의 흡수량이 가장 많았던 자상깊이 6mm, 자상밀도 5000개/m<sup>2</sup>로 처리한 판재에 대하여 판재 중에 흡수되어 있는 방부제의 수분에 의한 용탈 경향을 조사하였다.

그림 3-24에 나타낸 바와 같이 3수종 중에서 Cu의 흡수량이 많았던 리기다소나무 판재에서 가장 많은 Cu의 용탈량을 나타냈다. 이어서 잣나무, 낙엽송 순으로 Cu 용탈량을 보였다. 다량의 Cu 함유량을 보였던 판재에서 많은 양의 Cu가 용탈되는 것은 당연한 결과라고 판단된다. 그러나 Cu의 용탈량이 많은 것이 판재 중으로 흡수된 방부제가 정착되지 않아 발생하는 현상은 아니고 판재의 표면이나 잉여의 방부제가 내후조작 과정에서 용탈수 중으로 빠져나와 생기는 현상이라고 판단된다.

한편, 낙엽송 판재에서의 Cu 용탈량이 가장 적은 것은 낙엽송 판재에서의 방부제 정착성이 우수해서가 아니고 판재 중으로 침투된 방부제의 흡수량이 적은만큼 용탈되어 나오는 양도 적기 때문에 나타나는 현상이라고 해석할 수 있다.

이와 같은 현상은 1차년도에 횡압축 단독처리의 경우와 동일한 결과로 횡압축 처리 전에 자상처리한 것이 판재의 방부제 정착특성에 미치는 영향은 없는 것으로 판

단된다.

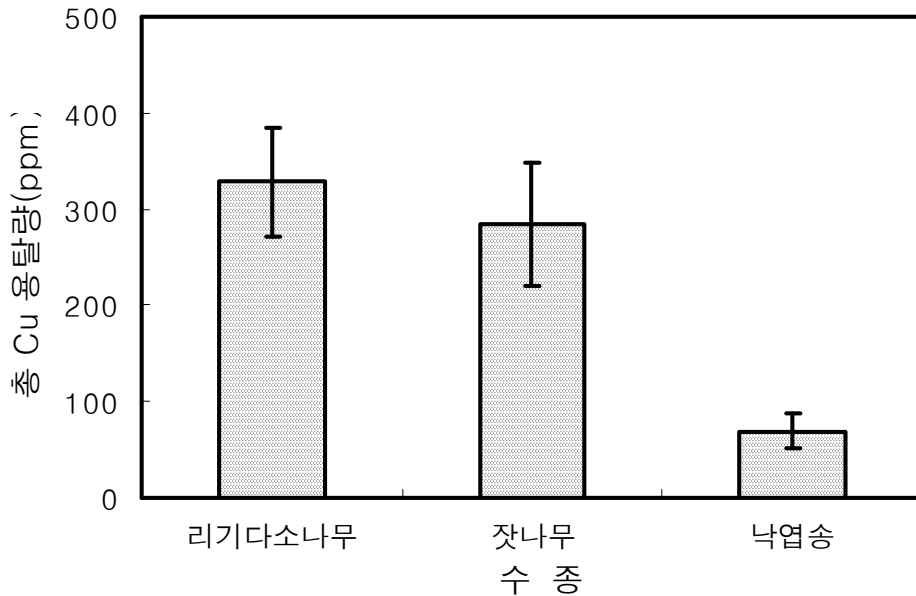


그림 3-24. 자상처리 후 횡압축 처리 판재의 Cu 용탈량  
(자상깊이 6mm, 자상밀도 5000개/m<sup>2</sup>)

#### 바. 방부처리 약액의 농도변화

자상처리 후 횡압축처리하며 방부제를 분사처리하는 과정에서 발생할 수 있는 처리 약액의 농도변화를 조사하여 그림 3-25에 나타냈다. 1차년도 조사에서는 판재 처리 매수가 60매가 되는 시점에서 약액의 농도변화가 약간 나타나는 것이 확인되었다. 따라서 이번에는 처리 판재수를 늘려 처리한 다음 약액을 채취하여 약액 중에 함유되어 있는 Cu의 양을 가지고 비교하였다. 약액은 판재 처리 매수를 50매를 단위로 하여 50, 100, 150, 200매 처리 시마다 채취하여 분석하였다. 자상처리 후 횡압축 처리, 횡압축 단독처리 등 처리조건에는 구애받지 않고 실험을 진행하며 처리 판재 매수가 지정한 매수에 도달할 때마다 약액을 채취하여 조사하였다.

그림에서도 알 수 있듯이 처리 판재 수가 증가함에 따라 약액 중에 함유되어 있는 Cu의 양이 감소하는 것을 알 수 있다. 판재 50매 처리 시까지는 뚜렷한 Cu 함유량의 감소현상은 나타나지 않았으나 100매 시부터는 그 경향이 명확하게 나타났다. 방부제 흡수량이 많았던 리기다소나무와 잣나무에서 그 경향은 더욱 뚜렷하게 나타났으며 낙엽송 판재 처리 시에도 미미하게나마 감소 경향을 보였다.

약액에 처리 중에 농도변화가 발생하는 이유는 생재 판재를 처리함으로써 판재로부터 압출되어 나오는 수분도 영향을 미칠 것으로 판단되나 주된 이유는 판재 내부로 약액이 흡수됨에 따라 약액의 유효성분도 함께 감소되기 때문일 것으로 판단할 수 있다.

방부처리 현장에서 가압방부처리 시에도 방부처리를 해가며 일정량의 목재를 방부처리 한 다음에는 방부액의 농도를 점검하여 원액을 추가하여 처리 농도를 맞추어 주고 있다.

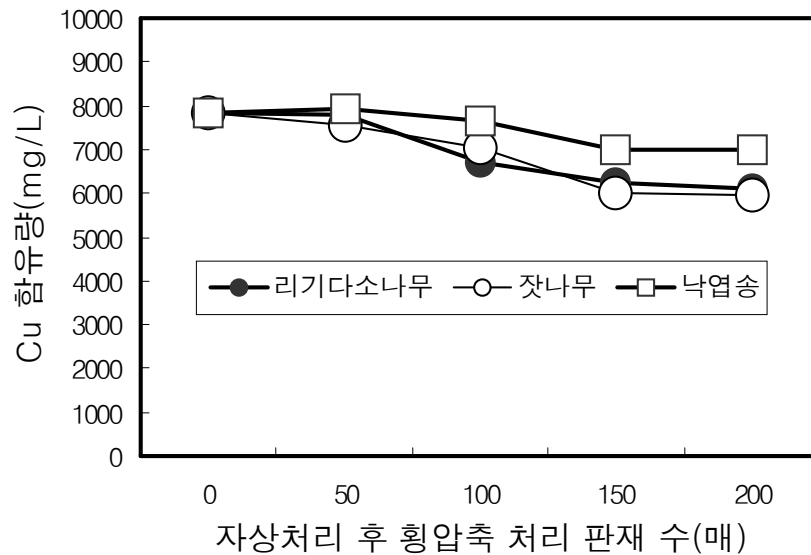


그림 3-25. 횡압축에 의한 방부처리 시 약액 중의 Cu 함유량 변화

#### 4. 결론

횡압축에 의한 국산 침엽수 판재의 상압 방부처리에 기존의 난주입성 수종에 적용하는 자상처리 도입을 검토하였다. 처리 방법은 횡압축 처리에 앞서 칼날이 부착되어 있는 roller를 이용하여 자상처리를 실시하고, 이어서 횡압축을 하며 방부제를 분사, 주입시키는 방법이다. 방부제 주입 후 각 판재를 밀폐 잔적하여 방부제 침투를 촉진시킨 다음 각 처리 조건 별로 방부제 침투성을 조사, 비교하였다. 또한 자상처리가 판재의 외관, 물리 및 기계적 성질에 미치는 영향도 조사하여 다음과 같은

결론을 얻었다.

판재의 재질과 자상처리 가공성과의 관계를 조사한 결과, 비중이 낮고 생재함수율이 높은 리기다소나무와 잣나무는 자상처리 가공성이 우수하였다. 그러나 심재로만 구성되어 있고 함수율이 낮은 낙엽송 판재의 경우에는 판재 표면에 자상 자국이 남는 등 가공성이 좋지 않았다. 한편, 예상했던 결과로 판재에 생용이가 분포되어 있는 부위에서는 자상처리용 칼날이 손상되어 가공성이 좋지 못하여 새로운 자상처리 치구 개발이 요구되었다.

판재의 물리적인 성질 중에서 비중에 미치는 자상처리 후 횡압축 처리의 영향을 조사한 결과, 1차년도의 횡압축 단독처리의 결과와 동일하게 비중에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 함수율의 경우에는 자상처리 후 횡압축 처리한 판재가 처리하지 않은 판재보다 매우 낮은 함수율을 보여 횡압축 단독처리의 경우와 마찬가지로 횡압축에 의한 수분제거로 함수율 저하 효과를 가져온 것으로 밝혀졌다.

자상처리가 판재의 표면경도에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, 예상과는 달리 자상깊이와 자상밀도가 증가하여도 3수종 모두의 판재에서 자상처리를 하지 않은 판재와 큰 차이를 보이지 않아 표면경도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다. 그러나 힘강도의 경우에는 3수종 모두에서 자상처리 판재가 낮은 힘강도를 보여 자상처리에 의해 강도저하가 초래되었다. 자상처리 깊이와 밀도가 높을수록 그 경향은 뚜렷하게 나타났다.

자상처리에 의해 발생하는 판재의 재질결함을 조사한 결과, 자상깊이와 밀도가 깊고 높은 조건에서 자상처리한 낙엽송 판재에서 쪼개짐이 발생하였다, 그러나 높은 함수율과 연관 재질을 가진 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 결함 발생이 관찰되지 않았다.

방부제 침투성을 조사한 결과, 자상처리 판재에서 방부제의 침윤도와 흡수량 증가가 뚜렷하여 자상처리 효과가 나타났다. 특히 횡압축 처리만으로는 거의 방부제의 침투가 이루어지지 않았던 낙엽송 판재의 경우, 비록 자상 자국 부위에서만 방부제 침투가 관찰되었지만, 자상처리에 의해 높은 침윤도와 흡수량을 나타냈다. 그러나 적합기준을 충족시키지는 못하였다.

처리 판재의 방부제 용탈 특성을 조사한 결과, 모든 판재에서 방부제의 유효성분 중에 하나인 Cu의 용탈이 발생하였으며 방부제 침투가 양호했던 리기다소나무와

잣나무 판재에서 그 경향은 뚜렷하였다. 그러나 이것은 처리 판재 중에서 방부제의 미정착에 의해 나타나는 용탈현상이 아니고 판재 표면에 물리적으로 묻어있던 성분이나 과잉의 약제가 씻겨져 나오기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 그 이유는 자상이나 횡압축을 처리하지 않은 무처리 판재에서도 동일한 용탈현상을 보이기 때문이다. 따라서 자상처리나 횡압축이 방부제의 용탈에 미치는 영향은 없는 것으로 판단할 수 있다.

자상처리와 횡압축 처리 중에 처리 약액의 농도 변화를 조사한 결과, 판재의 처리 매수가 증가할수록 방부제 유효성분인 Cu의 함유량이 감소하였다. 이것은 판재로부터 횡압축에 의해 압출되어 나오는 수분의 약액으로의 첨가도 하나의 원인이 될 것으로 예상되나 주된 요인은 약액을 반복하여 사용하기 때문에 판재 내부로 약제의 흡수가 진행되고 이것은 유효성분의 감소로 이어져 그 결과 약액 농도 저하로 나타나는 것으로 판단할 수 있다.

이상 횡압축 처리 전에 자상처리하였을 경우 판재의 방부제 침투성에 미치는 영향을 조사하였다. 자상처리에 의해 방부제의 침투는 뚜렷하게 향상되었으나 휨강도의 저하가 발생하였다. 그러나 우드블럭 생산용 판재의 길이와 판재를 설치하는 플라스틱 틀에 의해 휨강도 저하는 보상되기 때문에 크게 문제는 되지 않을 것으로 판단되었다.

## 제 4 절 횡압축에 의해 입체 가공한 판재의 재질과 방부제 침투 특성

### 1. 서 론

함수율이 높은 생재상태에서 횡압축 단독 또는 자상처리 후 횡압축을 실시한 결과 대표적인 국내산 3수종의 침엽수 중에서 임목 성장 중에 심재화가 빨리 진행되어 판재가 심재로만 구성되어 있는 낙엽송을 제외하고 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 만족할 만한 방부제 침투성을 얻을 수 있다는 결론에 도달하였다.

그러나 횡압축만을 단독으로 실시한 경우, 방부제의 침투는 이루어지나 방부제 침윤도 적합기준 80%(산림청고시 제2004-62호, 목재의 방부·방충처리 기준)를 모두 만족시킬 수는 없었을 뿐만 아니라 판재 내부로의 방부제의 침투도 균일하게 이루어지지 않고 목리 방향 등의 재질에 많이 좌우되는 것을 알 수 있었다.

방부제 침투를 촉진시키기 위해 현장에서 난주입성 수종에 적용하고 있는 자상처리를 횡압축 기술에 도입하여 자상처리 후 횡압축 처리를 실시하였다. 그 결과 횡압축만을 실시한 경우에 비하여 방부제의 침윤도 및 흡수량이 증가하는 경향을 보여 자상처리 효과가 명확하게 나타났다. 그러나 예상했던 대로 자상처리에 의해 판재에 칼날에 의한 상처가 발생함에 따라 판재의 강도적 성질 중에서 휨강도의 저하가 발생하였다.

본 연구에서는 판재에 방부제의 침투도 촉진시킬 수 있을 뿐만 아니라 강도적 성질의 저하도 초래하지 않는 새로운 횡압축 기술을 개발하기 위해 판재에 연속적으로 부분 횡압축을 가할 수 있는 roller를 개발, 사용하여 방부처리를 실시한 후 방부제의 침투성 및 판재의 물리, 강도적 성질을 조사하여 비교하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 실험 재료

국내산 리기다소나무(*Pinus rigida*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix*

*leptolepis*) 판재(두께 10mm × 폭 70mm × 길이 1800mm)를 사용하였으며 판재의 두께는 1차년도와 동일하게 하였다. 실험에 사용할 판재는 가능한 한 고탐수율 판재를 얻기 위하여 노력하였으며 사용할 판재의 함수율은 각각 리기다소나무가 151.6%, 잣나무가 135.8%였다. 낙엽송 판재는 가장 낮은 함수율을 보여 평균 58.1%였다. 실험 중에 판재의 건조를 방지하기 위하여 비닐로 밀폐 포장하여 보관한 후 실험에 사용하였다.

목재방부제는 1, 2차년도와 마찬가지로 CCA계 목재방부제의 대체 약제로 가장 많이 사용되고 있는 구리·알킬암모늄화합물(ACQ-2)계 목재방부제를 사용하였으며 처리농도는 2%(wt%)로 하였다.

## 나. 실험 방법

### (1) 횡압축 입체 가공 및 방부 처리

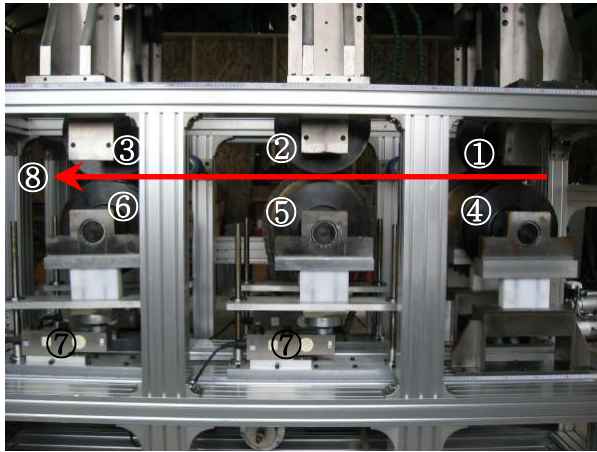
횡압축 입체가공 장치는 1차 년도에 제작한 Roll press기의 3쌍의 roller 중에서 첫 번째의 상부 roller에 제작하여 부착시켰다. 입체가공 장치의 날 모양은 기어의 톱니 모양으로 V자형과 T자형으로 하였으며 그림 4-1에 Roll press기와 2종류의 횡압축 입체가공 날을 부착한 roller를 나타냈다.

V자형의 입체 날의 높이는 20mm, 날 간 거리는 30mm이며 날 수는 총 40개로 설계하여 제작하였다. T자형의 날 높이는 14mm, 날 간 거리는 10mm, 날 수는 총 70개이다.

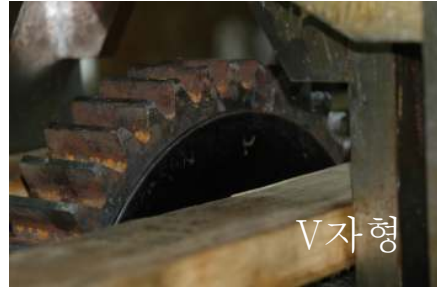
판재의 횡압축 입체가공은 1차년도의 횡압축 가공과 동일한 조건에서 실시하였다. 횡압축 가공 과정을 살펴보면, 먼저 날을 장착한 1번 roll(V자형 또는 T자형)에 의해 횡압축 입체가공이 이루어지고 이어서 2번과 3번 roller에 의해 횡압축이 가해진다. 즉 방부처리가 횡압축 입체가공-횡압축-횡압축의 과정을 거치며 판재에 방부제를 주입하는 조합으로 이루어져 있다. 이때 횡압축 량은 1mm, 3mm, 5mm로 하였으며 총 횡압축 회수는 3회가 된다.

방부처리는 각각의 횡압축 가공 직후에 방부액을 분사하는 방식으로 처리하였으며 처리 후에는 판재를 방부제의 침투촉진을 위해 1, 2차년도와 동일하게 6시간 동안 밀폐 잔적한 후 건조하여 측정에 사용하였다.

그 밖에 횡압축 입체가공과 횡압축 처리 시의 roll press기 운전은 1, 2차년도와 동일한 조건(판재 이송속도 150mm/sec, roller간 거리 65cm)에서 실시하였다.



측면



상부 1번 횡압축 입체가공 roller 외관

그림 4-1. Roll press기와 횡압축 입체가공 roller

- |                      |                 |                 |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| ①: 상부 1번 입체가공 roller | ②: 상부 2번 roller | ③: 상부 3번 roller |
| ④: 하부 1번 roller      | ⑤: 하부 2번 roller | ⑥: 하부 3번 roller |
| ⑦: 하중 측정 load cell   | ⑧: 판재 이송 방향     |                 |

## (2) 횡압축 입체 가공성 조사

횡압축량(1, 3, 5mm) 별로 1번 roller에 가해지는 하중 값을 측정하여 수종에 따라 횡압축 입체 가공성을 조사, 비교하였다. 그 밖에 횡압축 가공 시 가장 문제가 되는 용이분포가 가공성에 미치는 영향도 육안적으로 조사하였다.

## (3) 판재의 물리적 성질 조사

1차년도와 동일하게 각 처리 조건 별로 판재의 함수율, 비중의 변화와 영구 두께 감소율을 조사하였다.



#### (4) 판재의 강도적 성질 조사

1차년도와 동일하게 각 처리 조건 별로 판재의 표면경도, 휨강도를 측정하여 횡압축 입체가공과 횡압축 또는 자상처리 후 횡압축의 경우와 비교, 검토하였다.

#### (5) 방부제 침투성 조사

1차년도와 동일하게 각 처리 조건 별로 판재의 방부제 침윤도, 흡수량을 측정하여 횡압축 입체가공과 횡압축 또는 자상처리 후 횡압축의 경우와 비교, 검토하였다.

#### (6) 방부처리 판재의 방부제 용탈성 조사

1차년도와 동일하게 각 처리 조건 별로 판재로부터 용탈되는 Cu 양을 측정하여 횡압축 입체가공과 횡압축 또는 자상처리 후 횡압축의 경우와 비교, 검토하였다.

#### (8) 방부처리 약액의 농도 변화 조사

2차년도와 동일하게 총 200매의 판재를 처리하며 매 50매 처리 시마다 약액을 채취하여 약액 중의 Cu 함유량을 측정하여 방부약액의 농도 변화 경향을 조사하였다.

### 3. 연구 결과

#### 가. 횡압축 입체 가공성

리기다소나무, 잣나무 및 낙엽송 판재에 대하여 압축량을 1, 3, 5mm가 되도록 횡압축 입체가공하였을 경우 roller에 가해지는 하중 값을 구하여 판재 수종 별로 횡압축 가공성을 평가하였다. 측정 재질부가 1, 2차년도에서와 마찬가지로 리기다소나

무와 잣나무 판재는 변재로 구성되어 있었으나 낙엽송 판재는 모두 심재였다.

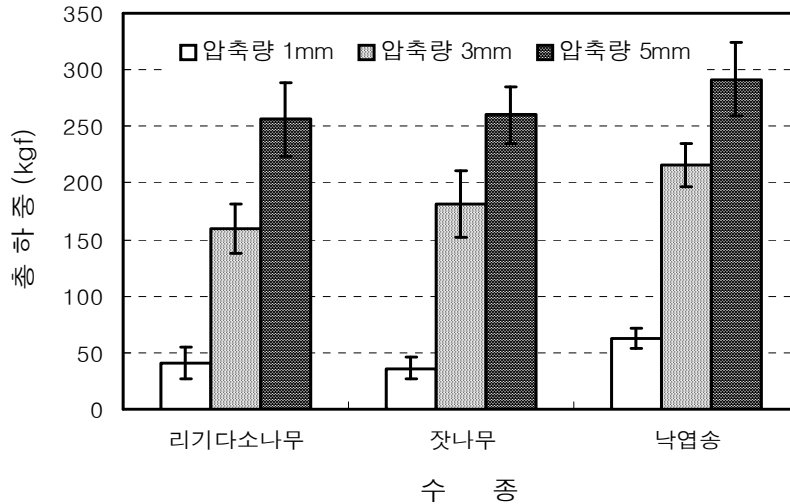


그림 4-2. 수종 별 횡압축 입체가공과 총 하중과의 관계  
(입체가공 날 모양: V자형)

그림 4-2는 V자형 입체가공 날을 사용하여 횡압축 입체가공을 하였을 경우에 roller에 가해지는 최대 하중을 나타낸 것이다. 1차년도에 실시한 횡압축 가공 시와 비교하면 모든 수종에서 전체적으로 작은 하중 값을 보이고 있다. 이것은 횡압축 가공 시 V자형 기어 톱니모양의 날을 사용하였기 때문에 판재와 접하는 roller의 면적이 작아 동일 압축량에서도 하중은 작아지는 것으로 판단된다. 따라서 1차년도와 같이 표면이 평면 형태인 roller 보다는 요철 형태의 roller를 사용하는 것이 횡압축 가공 측면에서는 유리하다고 할 수 있다. 수종 간에 비교하면, 1차년도 결과와 동일한 경향을 보여 리기다소나무와 잣나무 판재 간에는 큰 차이는 없고 낙엽송 판재에서만 비교적 높은 하중이 가해졌다. 이와 같은 결과는 함수율이 높고 재질이 연한 변재부만으로 되어있는 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 횡압축 입체 가공성이 용이하고 함수율이 낮고 심재부만으로 구성되어 있는 낙엽송 판재는 가공성이 열등함을 나타낸다고 할 수 있다.

그림 4-3은 T자형 입체가공 날을 사용하여 횡압축을 하였을 경우 roller에 가해지는 하중을 나타낸 것이다. V자형의 경우와 동일한 경향을 보이고 있으나 전체적으로 V자형 보다는 높은 하중 값을 보였다. 이것은 판재에 직접 접촉하는 날의 면적에 좌우되는 것으로 V자형에 비하여 T자형의 날이 판재와 접하는 면적에서 넓

기 때문에 나타나는 현상이다. 따라서 V자형이 날이 T자형에 비하여 횡압축 입체 가공성 면에서 양호한 것으로 판단할 수 있다.

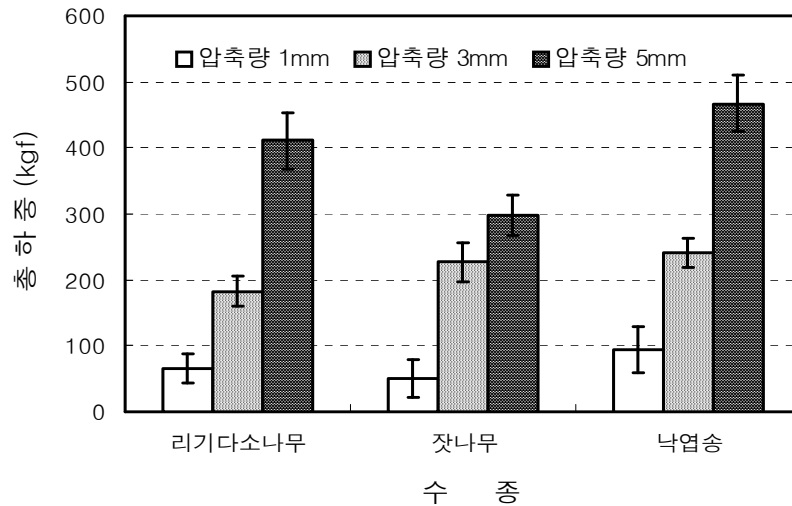


그림 4-3. 수종 별 횡압축 입체가공과 총 하중과의 관계  
(입체가공 날 모양: T자형)

용이가 분포하는 부위에서의 횡압축 입체가공성을 육안으로 살펴본 결과, 자상처리에서는 칼날의 손상이 발생하였으나 V자형 또는 T자형 날을 사용하였을 경우에는 큰 영향을 받지 않아 횡압축 입체가공에는 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

#### 나. 판재의 물리적 성질 변화

##### 1) 판재의 비중 변화

횡압축 입체가공에 사용한 날 모양과 횡압축량의 관계를 조사하여 표 4-1, 2, 3에 각각 나타냈다. 횡압축 입체가공을 하지 않은 무처리 판재의 비중과 날 모양 또는 횡압축량을 달리하여 처리한 판재의 비중 사이에는 어떤 일정한 경향을 보이지 않아 횡압축 입체가공의 날 모양 또는 횡압축량이 판재의 비중에 미치는 영향을 구명하지는 못하였다.

이것은 1차년도 및 2차년도에 조사한 횡압축 단독 및 자상처리 결과에서와 같은 결과로 고함수율 상태에서 횡압축 가공을 하기 때문에 압축 후에도 시간의 경과와 함께 판재가 원래의 두께로 회복됨에 따라 판재의 비중 변화는 거의 수반되지 않는

것으로 판단할 수 있다.

표 4-1. 리기다소나무 판재의 횡압축 입체가공에 따른 비중 변화

압축량 날 모양	0	1mm	3mm	5mm
V 자형	0.48±0.03	0.49±0.02	0.47±0.02	0.46±0.04
T 자형	0.48±0.03	0.46±0.01	0.49±0.01	0.48±0.02

표 4-2. 잣나무 판재의 횡압축 입체가공에 따른 비중 변화

압축량 날 모양	0	1mm	3mm	5mm
V 자형	0.45±0.01	0.43±0.00	0.45±0.02	0.45±0.01
T 자형	0.45±0.01	0.44±0.02	0.42±0.01	0.46±0.02

표 4-3. 낙엽송 판재의 횡압축 입체가공에 따른 비중 변화

압축량 날 모양	0	1mm	3mm	5mm
V 자형	0.51±0.01	0.50±0.02	0.52±0.00	0.51±0.02
T 자형	0.51±0.01	0.49±0.00	0.50±0.01	0.48±0.03

## 2) 판재의 함수율 변화

횡압축 입체가공 처리한 판재의 함수율 변화를 수종 별로 그림 4-4, 5, 6에 각각 나타냈다. 그림에서 횡압축량 0는 무처리 판재를 가리키며 압축량이 가장 적은 1mm 조건은 생략하였다.

그림에서 알 수 있듯이 횡압축 입체가공에 의해서는 1차년도와 2차년도의 횡압축 단독처리에서의 결과와는 달리 함수율 감소가 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. 압축량을 5mm로 하였을 경우에도 함수율 감소가 두드러지게 나타나지 않았다. 이러한 결

과는 횡압축 단독처리(1차년도)의 경우에는 roller와 판재 간의 접촉면이 넓어 압착에 의해 판재 중의 수분이 다량 빠져나왔으나 V자형 또는 T자형 날을 사용하여 압착을 하였을 경우에는 판재와의 접촉면이 좁기 때문에 그 만큼 수분의 압출량도 적어 판재의 함수율 변화에 크게 영향을 미치지 못한 것으로 판단할 수 있다. 실험을 진행하며 직접 판재로부터 빠져나오는 수분을 육안으로 관찰한 결과, 판재에 횡압축이 부분적으로 가해지기 때문에 판재 표층으로 빠져나온 수분이 횡압축의 해제와 동시에 다시 판재 내부로 스며드는 현상을 보였다.

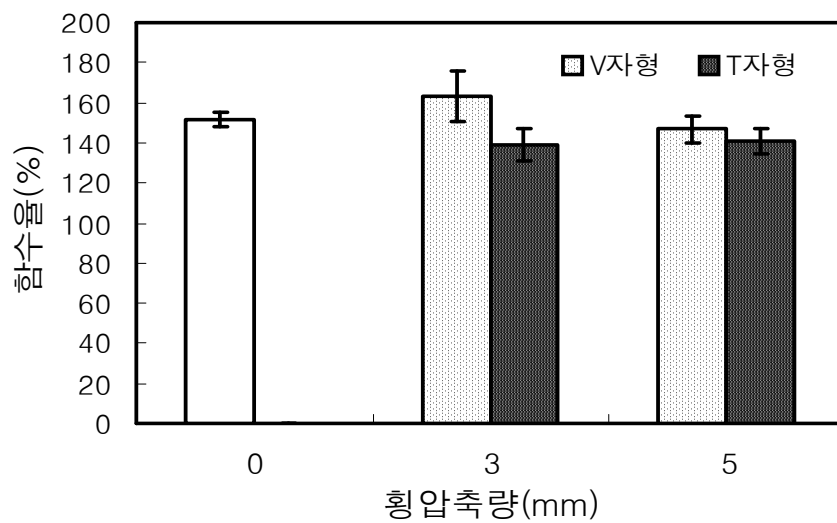


그림 4-4. 횡압축 입체가공 리기다소나무 판재의 함수율 변화

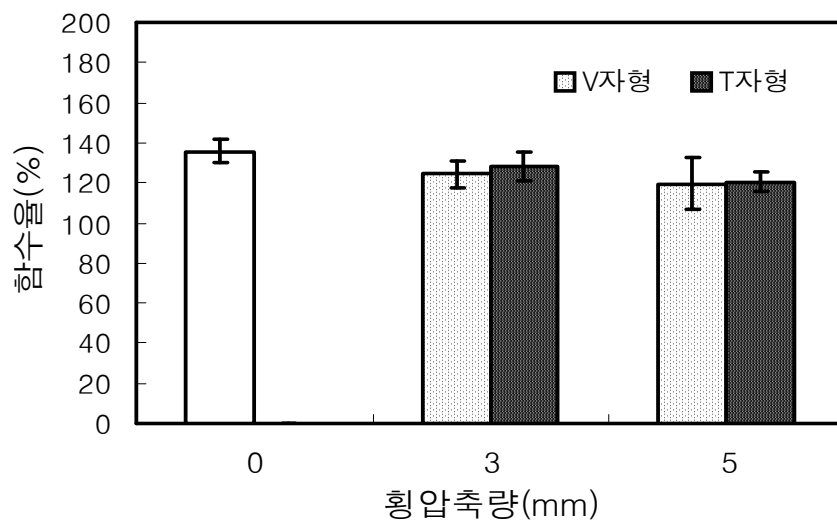


그림 4-5. 횡압축 입체가공 잣나무 판재의 함수율 변화

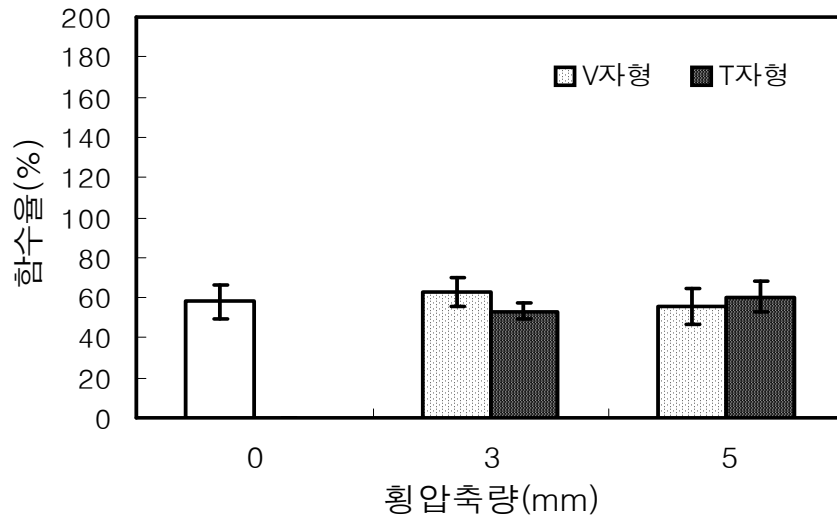


그림 4-6. 횡압축 입체가공 낙엽송 판재의 흡수율 변화

### 3) 판재의 두께변화

횡압축량을 5mm로 하여 횡압축 입체가공 후 횡압축을 실시한 판재의 두께 회복율을 측정하여 그림 4-7에 나타냈다.

1, 2차년도와 같이 모든 수종의 판재는 원래의 두께로 거의 회복되어 평균 98.6%의 두께 회복율을 보였다. 이와 같은 높은 두께회복율은 횡압축 가공 시에 흡수율이 높았기 때문에 시간의 경과와 함께 유연한 재질이 원래대로 회복되었기 때문으로 생각된다.

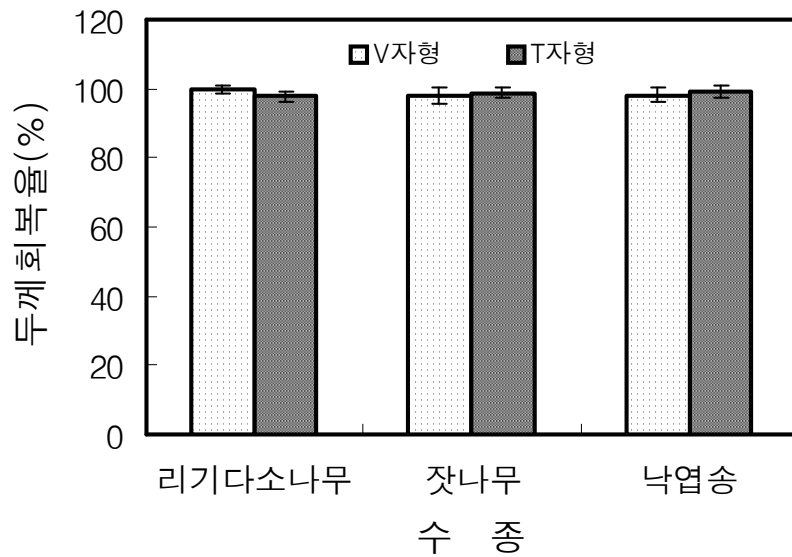


그림 4-7. 횡압축 입체가공 판재의 두께 회복율 (횡압축량 5mm)

다. 판재의 강도적 성질 변화

1) 판재의 표면경도

각 처리 조건에서 횡압축 입체가공한 후 판재의 표면경도를 측정하여 수종 별로 표 4-4, 5, 6에 나타냈다.

1차년도와 횡압축 단독처리에서와 동일하게 횡압축에 의한 입체가공에 의해서도 판재의 표면경도의 증가 또는 감소는 뚜렷하게 발생하지 않는 것으로 나타났다. 앞에서도 언급하였듯이 횡압축에 의한 재질의 고밀화가 일어나지 않아 기계적 성질의 향상효과가 나타나지 않는 것으로 판단되며, 이것은 판재의 함수율과 밀접한 관계에 있는 것으로 생각된다.

표 4-4. 횡압축 입체가공 리기다소나무 판재의 표면경도 변화(kg/mm<sup>2</sup>)

압축량 \ 날 모양	0	1mm	3mm	5mm
V 자형	2.7±0.2	2.9±0.2	2.8±0.2	2.7±0.3
T 자형	2.7±0.2	2.6±0.1	2.7±0.1	3.1±0.2

표 4-5. 횡압축 입체가공 잣나무 판재의 표면경도 변화(kg/mm<sup>2</sup>)

압축량 날 모양	0	1mm	3mm	5mm
V 자형	1.6±0.1	2.0±0.3	1.8±0.1	1.9±0.1
T 자형	1.6±0.1	1.4±0.2	1.6±0.1	1.8±0.2

표 4-6. 횡압축 입체가공 낙엽송 판재의 표면경도 변화(kg/mm<sup>2</sup>)

압축량 날 모양	0	1mm	3mm	5mm
V 자형	2.3±0.1	1.9±0.1	2.0±0.4	2.5±0.2
T 자형	2.3±0.1	1.6±0.3	2.1±0.3	2.2±0.1

## 2) 판재의 휨강도

횡압축 입체가공 판재의 휨강도 변화를 조사하여 그림 4-8, 9, 10에 수종 별로 각각 나타냈다. 그림에서와 같이 3수종 모두에서 횡압축 입체가공의 날 형태나 횡압축량을 따라 휨강도에 일정한 경향을 보이지 않고 어느 조건에서는 무처리 판재에 비하여 높은 휨강도 값을 보이는 반면, 어느 조건에서는 낮은 값을 보여 횡압축 입체가공과 판재의 휨강도와의 관계를 정확하게 파악할 수 없었다.

이와 같은 결과는 판재의 기계적 성질에 횡압축 가공보다는 각 판재가 가지고 있는 연륜 폭이나 목리 주향 방향 등이 절대적으로 영향을 미치는 요인이기 때문에 나타난 결과라고 판단할 수 있다. 또한 횡압축과 같이 외부에서 하중이 가해져도 기건상태가 아니고 고함수율 상태에서 외력을 받아 팽윤되어 있는 세포벽이 완충제의 역할을 한 것도 하나의 이유로 생각할 수 있다.



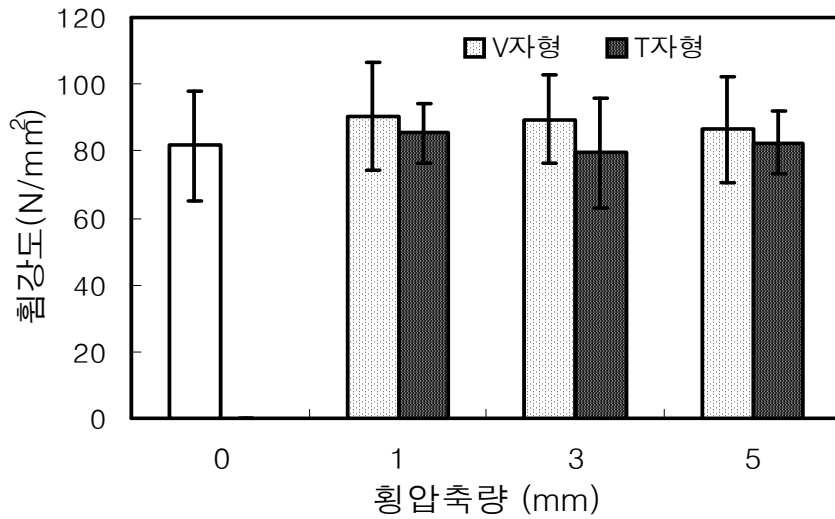


그림 4-8. 횡압축 입체가공 리기다소나무 판재의 휨강도 변화

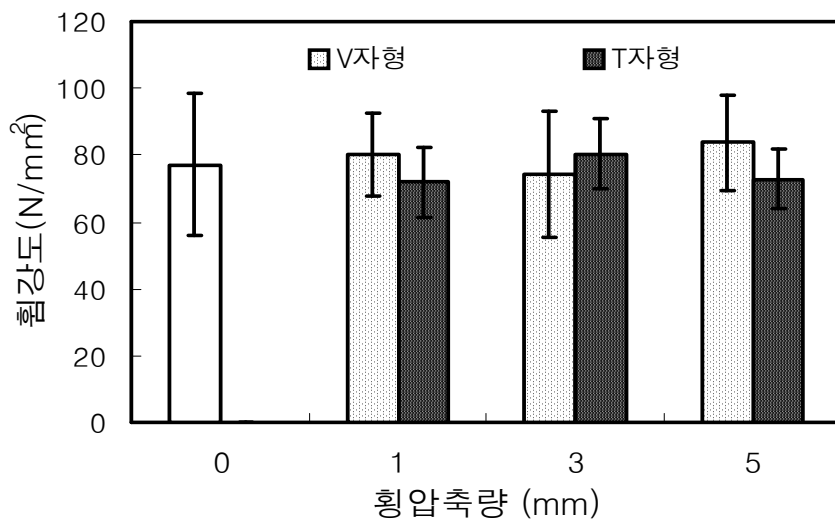


그림 4-9. 횡압축 입체가공 잣나무 판재의 휨강도 변화

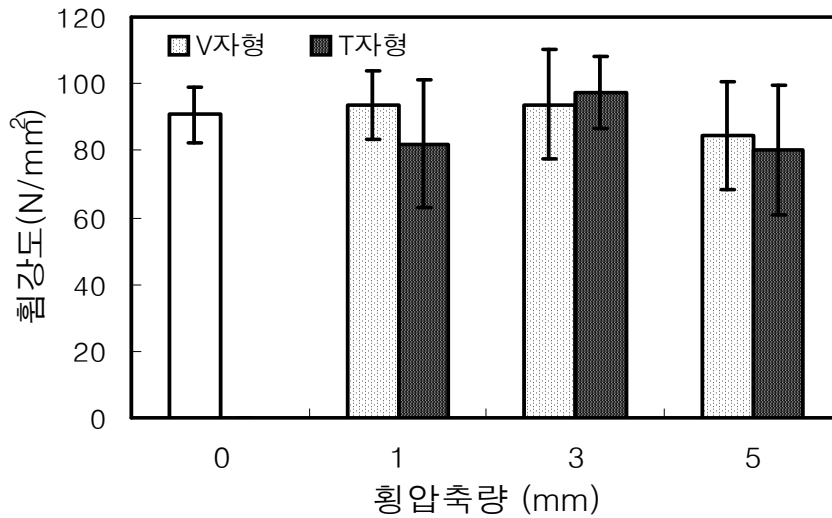


그림 4-10. 횡압축 입체가공 낙엽송 판재의 휨강도 변화

#### 라. 방부제의 침투성

##### 1) 방부제 침윤도

횡압축 입체가공에 의해 방부처리한 판재의 횡단면 상에서의 방부제 침투상태를 구리정색 시약을 사용하여 확인한 결과를 그림 4-11, 12, 13에 나타냈다.

리기다소나무 판재의 경우, 다른 2수종에 비하여 우수한 방부제 침투 결과를 보여 1차년도와 2차년도에 조사했던 결과와 같았다. 따라서 본 연구에 사용한 국산 침엽수 중에서 리기다소나무가 횡압축에 의한 방부제 침투특성이 가장 우수한 것으로 밝혀졌다.

잣나무 판재의 경우에도 횡압축 입체가공에 의해 높은 방부제 침투성을 보였으나 심재 부위에는 전혀 침투가 진행되지 않은 것을 알 수 있었다. 그림 4-12에서 T자형 입체가공 날로 횡압축하였을 경우 동일한 판재 내에서도 변재부위는 100%의 방부제 침윤도를 보였으나(그림 4-12, 좌측 그림의 하단 2매) 심재부위에서는 전혀 방부제 침투가 이루어지지 않은 것을 확인할 수 있다.

낙엽송 판재에서는 1, 2차년도에서와 마찬가지로 방부제의 침투가 거의 일어나지 않아 판재 표면에서만 정색반응이 되어 농청색을 착색되어 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이 결과로부터도 난주입성 수종인 낙엽송의 경우에는 비록 두께가 얇은

판재라 할지라도 횡압축에 의한 방부처리는 거의 불가능하다는 결론을 내릴 수 있다.



V자형

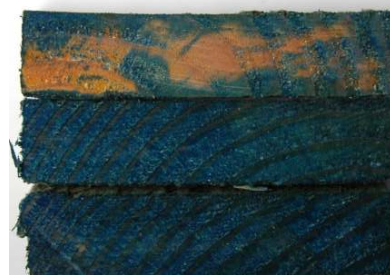


T자형

그림 4-11. 횡압축 입체가공 리기다소나무 판재의 방부제 침투상태  
(횡압축량 5mm)



V자형



T자형

그림 4-12. 횡압축 입체가공 갯나무 판재의 방부제 침투상태  
(횡압축량 5mm)



V자형



T자형

그림 4-13. 횡압축 입체가공 낙엽송 판재의 방부제 침투상태  
(횡압축량 5mm)

입체가공 날의 형태에 따라 침윤도를 비교하면 V자형에 비하여 T자형 날을 장착하여 처리하였을 경우 보다 좋은 방부제 침투성을 보였다. 이것은 날의 첨단부와 판재와의 접촉면적과 날 개수의 차이에 의해 나타난 결과라고 판단된다. V자형의 경우에는 날과 날 사이의 거리가 30mm, 날의 개수가 40개에 불과해 톱니에 의해 판재에 가해지는 횡압축 효과가 T자형(날 간의 거리 10mm, 날 개수 70개)보다 낮았다. 따라서 방부제의 침투도 T자형 가공에 비하여 V자형 가공에서 불량했던 것으로 판단할 수 있다.

횡압축 입체가공 조건 별로 약액 침투성에 미치는 영향을 명확하게 밝히기 위하여 상법에 준하여 각 판재로부터 시료를 채취하여 침윤도를 측정하였다. 그 결과를 그림 4-14, 15, 16에 나타냈다.

잣나무와 리기다소나무의 경우에는 그림에서도 알 수 있듯이 횡압축 입체가공 톱니의 형태와는 관계없이 횡압축량이 증가할수록 침윤도도 증가하는 경향을 보였다. 그리고 대부분의 경우 침윤도 적합기준 80%(산림청 고시 제 2004-62호, 목재의 방부·방충처리 기준)를 만족시키고 있다. 그러나 낙엽송 판재의 경우에는 횡압축 입체가공을 실시해도 거의 방부제 침투는 촉진되지 않는 것으로 밝혀졌다.

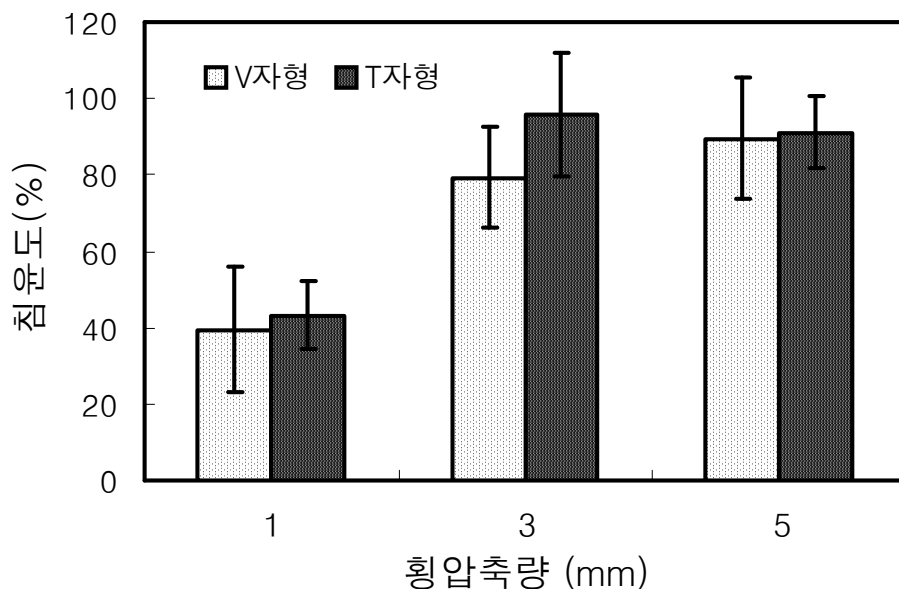


그림 4-14. 횡압축 입체가공 리기다소나무 판재의 방부제 침윤도

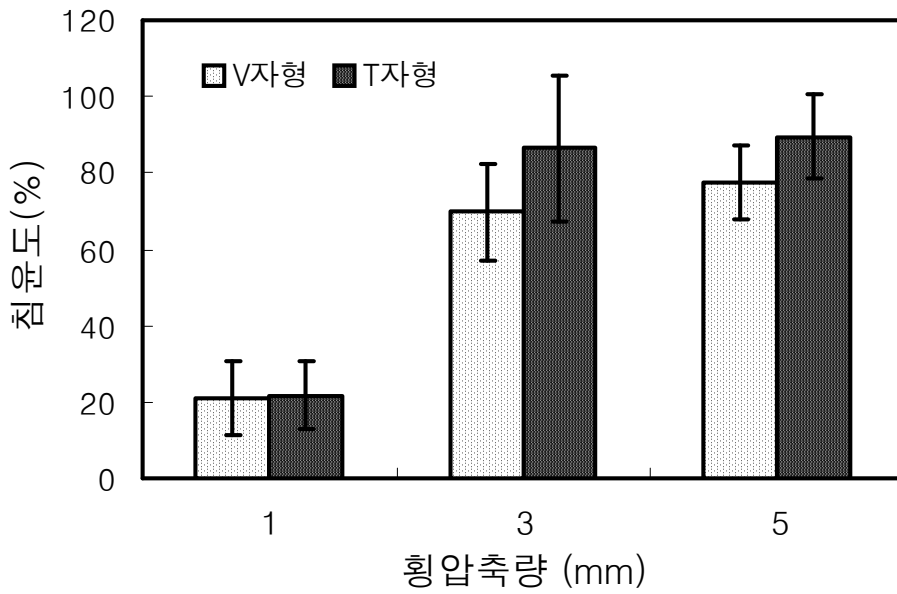


그림 4-15. 횡압축 입체가공 잣나무 판재의 방부제 침윤도

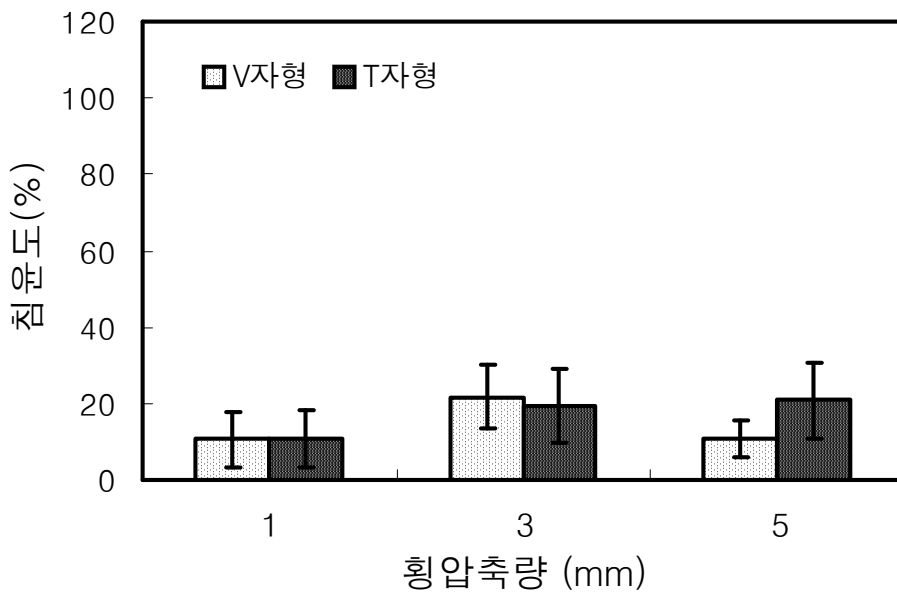


그림 4-16. 횡압축 입체가공 낙엽송 판재의 방부제 침윤도

입체가공 톱니의 형태에 따라 방부제 침윤도를 비교하면, V자형에 비하여 T자형에서 낙엽송을 제외한 2수종에서는 높은 방부제 침윤도를 나타내 전술한 정색반응에 의해 육안으로 판정한 결과와 일치하고 있다.

## 2) 방부제 흡수량

각 처리 판재로부터 시험편을 채취하여 전처리한 다음 시험편 중에 함유되어 있는 Cu의 함량을 조사하였다. 그 결과를 그림 4-17, 18, 19에 나타냈다. ACQ 방부제 흡수량을 정확하게 조사하기 위해서는 Cu와 DDAC 성분을 분석하여 산출해야 하나, 본 연구에서는 횡압축 입체가공 조건 및 수종 별로 ACQ의 침투 상태를 단순히 상대 비교하는 것이기 때문에 비교적 분석이 용이한 Cu의 함량만을 구하여 비교하였다. 그림에서도 알 수 있듯이 횡압축 입체가공에서 횡압축량이 증가할수록 Cu의 흡수량도 많아져 횡압축 입체가공 효과나 나타났다. 수종 간 방부제 흡수량을 비교하면 비교적 우수한 방부제 침투상태를 보였던 리기다소나무가 가장 많은 Cu 흡수량을 보였다. 횡압축 입체가공 날의 형태에서도 Cu 흡수량에 차이가 나타났으며 침윤도의 결과에서와 마찬가지로 V자형에 비하여 T자형으로 처리한 판재에서 많은 흡수량을 나타냈다.

이들 결과를 1차년도 연구결과와 비교하면 횡압축 가공하는데 있어서 표면이 평탄한 roller를 사용하는 것보다 roller 표면에 요철가공을 하여 횡압축을 가하는 것이 방부제 침투에 좋은 효과를 나타내는 것으로 밝혀졌다. 이와 같이 방부제 침투면에서 요철 횡압축 하는 것이 평면 횡압축 하는 것보다 효과적인 것은 매우 흥미로운 사실이며 이에 관해서는 좀더 연구를 진행해야 할 것으로 생각된다.

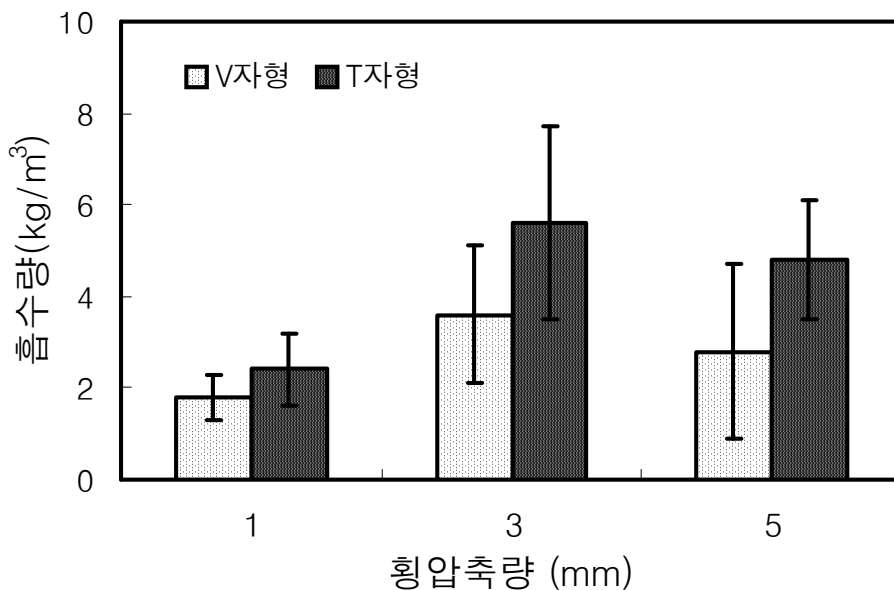


그림 4-17. 횡압축 입체가공 리기다소나무 판재의 방부제 흡수량

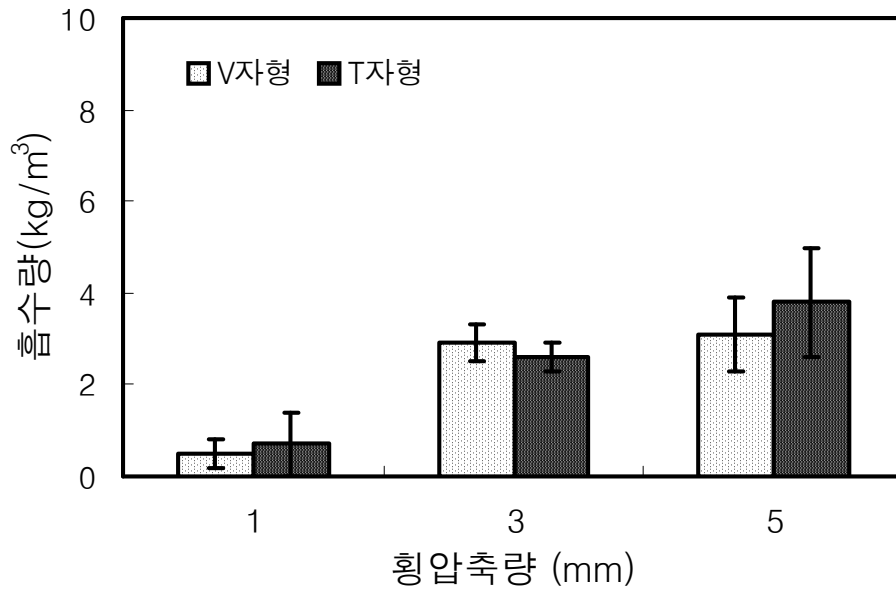


그림 4-18. 횡압축 입체가공 잣나무 판재의 방부제 흡수량

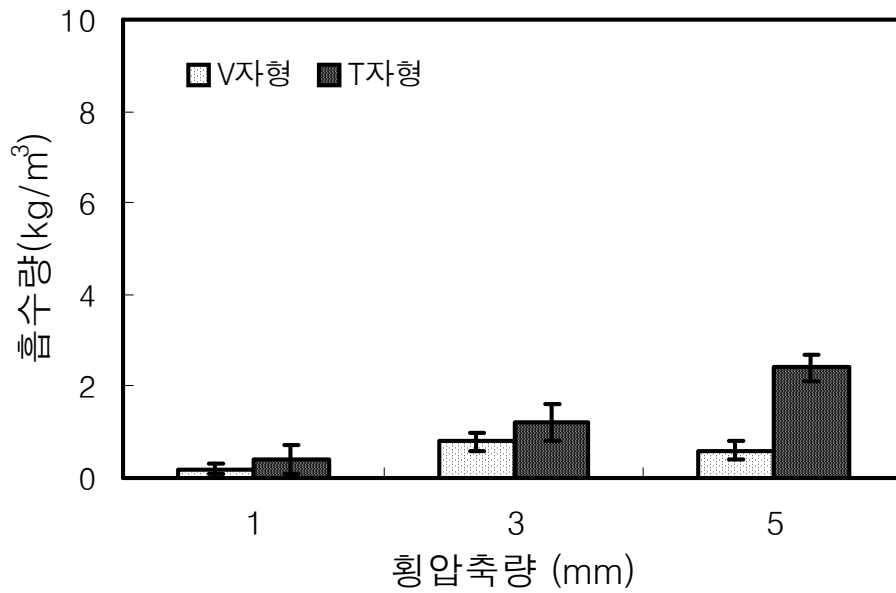


그림 4-19. 횡압축 입체가공 낙엽송 판재의 방부제 흡수량

#### 마. 판재의 방부제의 용탈성

방부제의 침윤도와 흡수량이 가장 우수했던 V자형 및 압축량 5mm로 가공한 판재로부터 소형의 시험편을 채취하여 완전 양생시킨 후에 내후조작을 거쳐 Cu의 총 용탈량을 조사하였다.

그 결과를 그림 4-20에 나타낸 바와 같이 각 수종 별로 비교하면 약제의 흡수량이 가장 많았던 리기다소나무에서 Cu의 용탈량이 가장 많았으며 그 다음으로 잣나무의 순이었다. 낙엽송 판재의 경우에는 약액 침투성이 가장 작았던 만큼 용탈되어 나오는 Cu양도 가장 적었다.

이들 약제 성분의 용탈은 미정착에 의한 현상이라기 보다는 판재 표면에 묻어 있던 약제나 정착하지 못한 과잉의 약제가 용탈되기 때문에 발생하는 용탈현상이라고 할 수 있다.

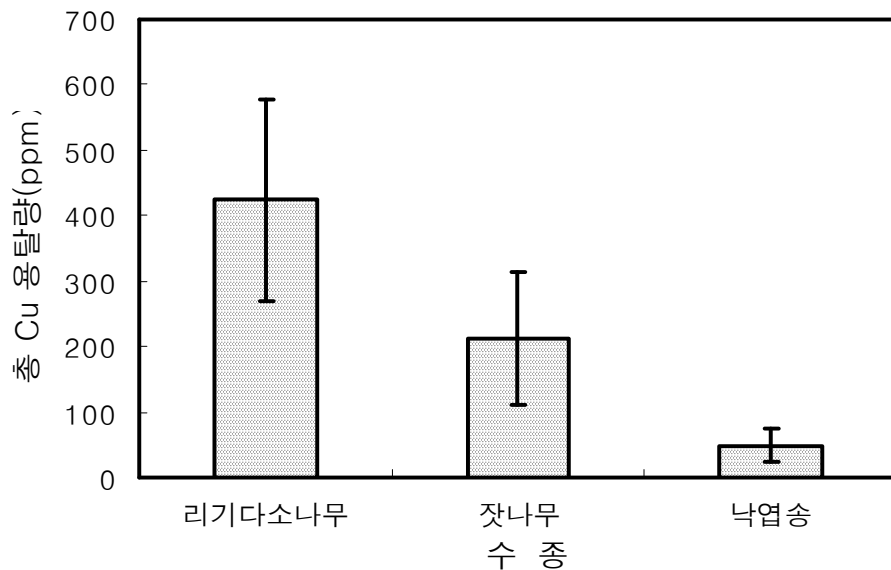


그림 4-20. 횡압축 입체가공 판재로부터 Cu의 용탈량 (V자형 입체가공, 압축량 5mm)

#### 바. 방부처리 약액의 농도 변화

횡압축 입체가공에 의해 방부처리하는 과정에서 처리 약액의 농도변화 여부를 조사하여 그림 4-21에 나타냈다. 조사는 판재의 수종이나 입체가공 틈니의 형태, 압축



량에 관계없이 2% 농도로 제조한 약제 사용을 시작으로 처리 판재 매수가 50매, 100매, 150매, 200매가 되는 시점마다 분석 시료를 채취하여 Cu 함량의 변화를 측정하였다.

그림에서 알 수 있듯이 처리 판재 매수가 증가함에 따라 약액 중의 Cu의 함량도 감소하는 경향을 보여 1, 2차년도와 동일한 결과를 보였다. 따라서 횡압축에 의한 고함수율 침엽수 판재의 방부처리에서도 일반 가압식 방부처리에서와 마찬가지로 처리 과정 중에 일정 기간마다 약액의 농도를 검사하여 농도를 보정해 줄 필요가 있다.

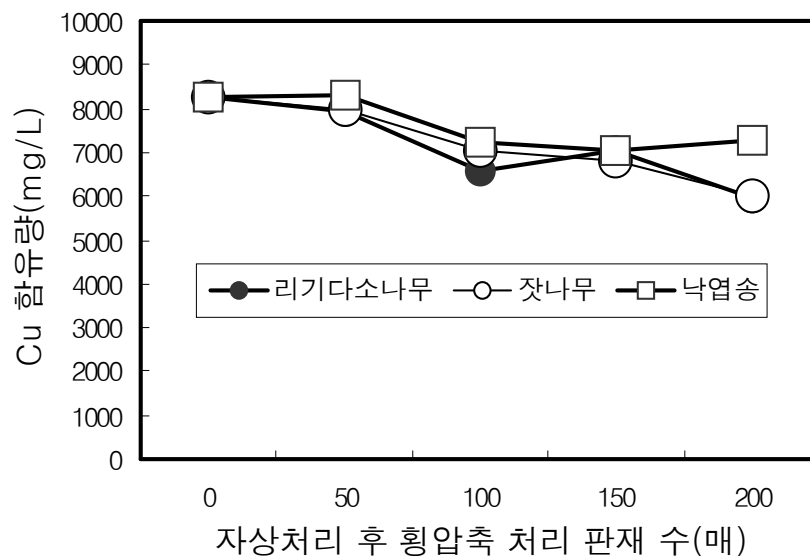


그림 4-21. 횡압축 입체가공 처리 중의 약액의 Cu 함량변화

#### 4. 결론

고함수율을 갖는 국산 침엽수 3수종에 대해서 방부제 침투성 촉진을 위해 횡압축 또는 자상처리 후 횡압축 처리 이외에 새로운 처리 기술로 횡압축 입체가공처리법을 검토하였다. 이 처리는 횡압축 단독 처리보다는 침투를 촉진시키고 자상처리 후 횡압축 처리법의 단점인 판재의 휨강도 저하를 방지할 수 있는 새로운 처리법을 개발하고자 실시하였다. 톱니 모양의 치구를 사용하여 판재 표면을 일정 간격을 두고 부분적으로 횡압축함으로써 압축 후 재질의 회복과정에서 발생하는 흡인력을 이용

하여 방부제를 침투시키는 처리법이다.

횡압축 입체가공에 의한 판재의 물리 및 강도적 성질의 변화와 방부제의 침투특성 등을 조사하여 1, 2차년도에의 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

횡압축 입체가공에 필요한 최대하중을 가지고 가공성을 비교한 결과, V자형 날보다는 판재와의 접촉면이 넓은 T자형으로 횡압축 입체가공하였을 경우 많은 하중이 필요하여 가공성 면에서는 V자형의 치구가 유리한 것으로 나타났다. 그러나 두 종류 모두 1차년도의 평면 횡압축에 비해서는 매우 작은 최대하중을 가지고 횡압축 처리를 할 수 있었다.

판재의 비중 변화를 날 모양과 횡압축량에 따라 비교한 결과 1차년도의 평판 횡압축이나 2차년도의 자상처리 후 횡압축 처리 시와 거의 동일한 경향을 나타내 모든 횡압축 처리가 판재의 비중에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

가공에 따른 고함수율 판재의 함수율 변화를 조사하였다. 그 결과, 평판 횡압축이나 자상처리 후 횡압축 처리에서와는 달리 V자형과 T자형의 톱니 치구를 가지고 횡압축을 하였을 경우에는 판재의 함수율 감소가 크게 발생하지 않았다. 이와 같은 결과는 판재면과 날의 접촉이 부분적으로 이루어지며 또한 접촉면도 작아 횡압축 효율이 떨어지기 때문에 판재 내부로부터 수분의 압출이 거의 발생하지 않았기 때문으로 이와 같은 현상은 육안으로도 확인이 가능하였다.

판재의 두께 회복율은 1, 2차년도의 실험결과와 동일하였으며 횡압축 입체가공 후 시간의 경과와 함께 원래의 두께로 모두 회복되는 것으로 밝혀졌다.

판재의 강도적 성질을 조사한 결과, 표면경도 및 휨강도에서 횡압축 입체가공의 유무에 따라 뚜렷한 차이가 나타나지 않을뿐만 아니라 일정한 경향도 보이지 않아 횡압축 입체가공이 판재의 기계적 성질에 미치는 영향을 명확하게 밝힐 수는 없었다. 그러나 고함수율 판재의 재질 유연성을 고려하면 횡압축에 의한 기계적인 재질 열화는 크게 발생하지 않았을 것으로 추정되었다.

방부제의 침투성을 조사한 결과, 전체적으로 1차년도의 평면 횡압축에 비해서 향상된 방부제의 침윤도 및 흡수량을 보이는 것으로 밝혀졌다. 이것은 V자형 또는 T자형의 톱니에 의해 횡압축이 판재에 부분적으로 가해짐으로서 약제의 침투성이 보다 촉진되었기 때문이라고 생각되나 이에 관해서는 추가적인 연구를 수행해야 할 것으로 판단되었다. 그러나 난주입성 수종인 낙엽송 판재의 방부제 침투성 개선효

과는 나타나지 않았다.

날의 형태에 따라 방부제 침투성의 차이를 비교한 결과, V자형에 비해서는 날과 판재 접촉면이 넓고 날의 수가 많은 T자형에서 보다 우수한 방부제의 침윤도 및 흡수량을 보였다.

처리 판재의 방부제 용탈성과 처리 과정 중에 약액의 농도변화는 평판 횡압축이나 자상처리 후 횡압축 처리 판재에서의 결과와 거의 동일한 결과를 보였다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

국내산 주요 침엽수재인 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송 판재의 횡압축에 의한 방부처리 기술을 개발하기 위하여 판재의 재질, 횡압축 처리, 자상처리 후 횡압축 처리, 입체가공 등의 조건과 방부제의 침투특성과의 관계를 조사하여 귀중한 자료를 확보하게 되었다.

횡압축 처리를 위한 판재의 최적 재질 조건을 구명하기 위하여 재질과 횡압축 가공성과의 관계를 조사하였다. 국내산 3수종 중에서 횡압축 가공에 가해지는 최대 하중을 가지고 가공성을 평가한 결과, 리기다소나무와 잣나무 판재가 낙엽송 판재에 비하여 일정 두께까지 횡압축하는데 작은 하중이 필요하고 횡압축 시 재질 결합 발생도 적어 가공성이 우수하였다. 리기다소나무와 잣나무 판재 간에는 가공성에 뚜렷한 차이가 없이 거의 동일한 수준을 보였다. 이들 결과로부터 횡압축 가공성에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 함수율로 함수율이 높으면 높을수록 양호한 가공성을 보였다. 리기다소나무와 잣나무가 낙엽송 판재보다 좋은 가공성을 나타낸 것은 함수율이 100% 이상으로 생재함수율에 가까운 함수율을 유지하고 있었기 때문이다. 한편, 이와 같이 높은 함수율을 가진 판재에 횡압축이 가해졌기 때문에 횡압축 후 판재의 함수율 감소가 현저하게 나타나 방부처리에 유리하게 작용하였다.

최고의 방부제 침투성을 얻기 위하여 압축량과 압축 회수 등의 횡압축 처리 조건과 횡압축 방부처리 후 판재의 후처리 조건 등을 조사하였다. 판재의 압축량은 판재 두께가 12mm이하인 경우에 한하여 판재 두께의 50%까지 횡압축을 가하였을 때 가장 우수한 방부제 침윤도와 흡수량을 나타냈으며 두께 12mm 이상인 판재에 대해서는 향후 조사를 수행해야 할 것으로 판단되었다. 횡압축 회수는 1, 2, 3회를 실시한 결과, 전체적으로 3회를 실시하였을 때 가장 우수한 방부제 침투성을 나타냈다. 또한 횡압축 방부처리 후 판재를 바로 풍건시키지 않고 일정 시간동안 밀폐 잔적하는 것이 확산에 의한 방부제 침투가 이루어져 높은 방부처리도를 얻을 수 있었다.

판재의 방부제 용탈 특성을 조사한 결과, 방부제 침윤도와 흡수량이 우수했던 리기다소나무에서 비교적 높은 용탈성을 보였으며, 이것은 횡압축 처리 유무와는 관계없이 과잉의 약액이 침투된 결과, 미양생된 약제들의 용탈에 의한 현상이라고 판

단할 수 있다.

횡압축 처리에 따른 판재의 재질특성을 조사한 결과, 비중 변화는 거의 없었으며 횡압축에 의한 판재의 두께 감소는 두께 10mm 판재에서 약 0.5mm에 불과해 무시할 정도였다. 표면경도와 휨강도와 같은 판재의 강도적 성질에 미치는 횡압축의 영향을 조사하였으나 모두 횡압축 실시 유무에 관계없이 강도 값에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 또한 횡압축 처리 조건 간에도 일정한 경향을 보이지 않고 심한 편차를 보여 횡압축보다는 연륜 폭이나 목리 방향과 같은 재질 특성이 강도적 성질에 영향을 미치는 주요 인자인 것으로 판단되었다. 이와 같이 횡압축이 판재의 강도적 성질에 거의 영향을 미치지 않은 것은 판재가 고함수율 상태를 유지하고 있었기 때문이다.

횡압축에 의한 국산 침엽수 판재의 방부처리 기술 개발을 위하여 연구를 수행한 결과, 리기다소나무와 잣나무 판재에 대해서는 개발된 기술에 의한 방부처리 가능성이 매우 높았으며 최적의 횡압축 조건은 압축량 5mm, 압축회수 3회였다. 한편, 심재율이 높고 난주입성 수종인 낙엽송 판재의 경우에는 횡압축에 의한 방부처리는 불가능하였다.

횡압축에 의한 방부처리에 자상처리 기술 도입을 검토하였다. 이를 위해 자상처리 후 횡압축 처리한 판재의 재질 특성과 방부제 침투성, 자상처리가 판재의 강도적 성질에 미치는 영향 등을 조사하였다.

판재의 재질과 자상처리 가공성과의 관계를 조사한 결과, 비중이 낮고 생재함수율이 높은 리기다소나무와 잣나무는 자상처리 가공성이 우수하였다. 그러나 심재로만 구성되어 있고 함수율이 낮은 낙엽송 판재의 경우에는 판재 표면에 자상 자국이 남는 등 가공성이 좋지 않았다. 한편, 판재의 생용이 부위에서는 칼날의 손상을 초래하여 가공성이 불량하였으며 이는 예상했던 결과로 자상처리기의 개량으로 해결할 수 있는 문제이다.

방부제 침투성을 조사한 결과, 자상처리 판재에서 방부제의 침윤도와 흡수량 증가가 뚜렷하게 나타나 자상처리 효과를 확인할 수 있었다. 최적의 자상처리 및 횡압축 조건은 자상깊이 6mm, 자상밀도 5000개/m<sup>2</sup>, 횡압축량 6mm, 횡압축 회수 2회였다. 한편, 횡압축 처리만으로는 거의 방부제의 침투가 이루어지지 않았던 낙엽송 판재의 경우, 비록 자상 부위에서만 방부제 침투가 이루어졌지만, 자상처리에 의해

침윤도와 흡수량이 증가하였다. 그러나 적합기준을 충족시키지는 못하였다.

처리 판재의 방부제 용탈성과 처리 과정 중에 발생하는 약액의 농도변화는 횡압축 단독처리(1차년도)의 경우와 거의 유사한 경향을 보여 자상처리 도입에 의한 차이는 발생하지 않았다.

자상처리가 판재의 강도적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 표면경도의 경우에는 예상과는 달리 3수종 모두에서 자상처리의 영향을 받지 않았다. 그러나 휨강도의 경우에는 3수종 모두에서 자상처리 판재가 낮은 휨강도를 보여 자상처리에 의해 강도저하가 초래되었다. 자상 깊이가 깊고 밀도가 높을수록 그 경향은 뚜렷하게 나타났다.

평판 횡압축 단독 처리(1차년도)보다는 방부제의 침투를 촉진시키고 판재의 휨강도 저하를 동반하는 자상처리 후 횡압축 처리법(2차년도)의 단점을 개선할 수 있는 새로운 처리법을 개발하고자 횡압축 입체가공에 의한 방부처리법을 검토하였다. 처리법은 V자형 또는 T자형 톱니 모양의 치구를 사용하여 판재 표면에 일정 간격을 두고 부분적으로 횡압축을 가하여 방부제를 침투시키는 처리법이다. 횡압축 입체가공에 의한 판재의 물리 및 강도적 성질의 변화와 방부제의 침투특성 등을 조사하여 1, 2차년도의 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Roller에 가해지는 최대하중을 가지고 가공성을 비교한 결과, V자형 날보다는 판재와의 접촉면이 넓은 T자형으로 횡압축하였을 경우 많은 하중이 필요하여 가공성 면에서는 V자형의 톱니가 유리한 것으로 나타났다. 그러나 두 종류 모두 1차년도의 평면 횡압축에 비해서는 매우 작은 하중으로 횡압축 처리를 할 수 있었다.

횡압축 입체가공처리는 판재의 비중에는 큰 영향을 미치지 않았으며 함수율 변화를 조사한 결과, 평판 횡압축이나 자상처리 후 횡압축 처리에서와는 달리 V자형과 T자형의 톱니 치구를 가지고 횡압축을 하였을 경우에는 판재의 함수율 저하는 거의 발생하지 않았다. 횡압축 입체가공 후 시간의 경과와 함께 판재의 두께는 초기의 두께로 모두 회복되었다.

횡압축 입체가공이 판재의 강도적 성질에는 거의 영향을 미치지 않아 표면경도 및 휨강도의 저하는 크게 발생하지 않았다.

방부제의 침투성을 조사한 결과, 전체적으로 1차년도의 평면 횡압축에 비해서 방부제의 침윤도 및 흡수량이 증가하는 경향을 보였다. 이것은 V자형 또는 T자형의

톱니에 의해 판재에 부분적인 횡압축이 가해짐으로서 약제의 침투성이 향상되었기 때문인 것으로 생각되나 이에 관해서는 추가적인 연구를 수행해야 할 것으로 판단되었다. 톱니 날의 형태에 따라 방부제 침투성 차이를 비교한 결과, V자형에 비해서는 날과 판재 접촉면이 넓고 날의 수가 많은 T자형에서 보다 우수한 방부제의 침윤도 및 흡수량을 보였다. 처리 판재의 방부제 용탈성과 처리 과정 중에 약액의 농도변화는 평판 횡압축이나 자상처리 후 횡압축 처리 판재에서의 결과와 거의 동일한 결과를 보였다.

횡압축 처리에 의한 국내산 침엽수 3수종의 방부처리를 검토한 결과, 리기다소나무와 잣나무 판재에서는 우수한 방부제 침윤도와 흡수량을 보였다. 한편, 평판 횡압축 처리에 비하여 자상처리 후 횡압축 처리 또는 톱니모양의 횡압축 도구를 이용한 입체가공 처리가 높은 방부제 침투성을 나타내 실용화 가능성이 높은 것으로 나타났다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 활용계획

대표적인 국산 침엽수재인 리기다소나무와 잣나무 판재를 상압에서 간편하게 방부처리할 수 있는 roll press기와 방법을 개발하였다. 횡압축 방법으로 면이 평평한 roller를 이용한 연속 횡압축 방법, 자상처리 후 연속 횡압축 방법, roller에 톱니모양의 도구를 설치하여 실시하는 부분적인 연속 횡압축 방법 등의 기술을 개발하였으며 이 중에서 후자의 2가지 처리방법이 가장 우수한 방부처리 효과를 보였다.

앞으로 이들 기술을 전국에 분포하는 34개의 방부처리 목재 산업체나 중소 조경 시설물 생산업체에 보급하여 방부처리 목재의 사용 확대를 도모하고자 한다.

또한 개발된 기술을 방부처리 산업 이외에 최근 관심이 높은 플로어링용 WPC(Wood plastic composites) 제조 등 개량목재 생산에 활용할 계획이다.



## 제 6 장 참고문헌

Koji Adachi, Masafumi Inoue, Kozo Kanayama and Shuichi Kawai. 2003. Liquid impregnation of dry wood using a roller–pressing method(I). Mokuzai Gakkaishi. Vol 49. No. 6. 416–422.

Koji Adachi, Masafumi Inoue and Shuichi Kawai. 2004. Liquid impregnation into dry wood using a roller–pressing method(II). Mokuzai Gakkaishi. Vol 50. No. 1. 243–247.

Masafumi Inoue, Koji Adachi, Kosuke Omae, Mitsuhiro Kohara and Shuichi Kawai. 2006. Roller compression of wood. Mokuzai Gakkaishi. Vol 51. No. 1. 104–109.

Koji Adachi, Masafumi Inoue and Shuichi Kawai. 2005. Liquid impregnation of green wood using a roller pressing method. Mokuzai Gakkaishi. Vol 51. No. 3. 159–165.

Koji Adachi, Masafumi Inoue and Shuichi Kawai. 2005. Deformation behavior of wood by roller pressing. Mokuzai Gakkaishi. Vol 51. No. 4. 234–242.

한국표준협회. 1999. KS F 2206 목재의 압축시험 방법.

한국표준협회. 1999. KS F 2208 목재의 휨시험 방법.

한국표준협회. 2001. KS F 2198 목재의 밀도 및 비중 측정방법.

한국표준협회. 2001. KS F 3025 토대용 가압식 방부처리 목재.

한국표준협회. 2002. KS F 1701 목재방부제.

한국표준협회. 2002. KS F 3026 바닥데크용 가압식 방부처리 목재.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.