

최 중
연구보고서

휨가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발

Development of high value-added wood production
by bending process

연구기관

경북대학교

(중부대학교, 목포대학교)

농 립 부

휨가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발

Development of high value-added wood production
by bending process

연구기관

경북대학교

(중부대학교, 목포대학교)

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “황가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 12월

주 관 연구 기 관 : 경북대학교

총괄연구책임자 : 이 원 희

연 구 원 : 임 부 국

연구조원 : 정 인 석

협동연구기관명 : 중부대학교

협동연구책임자 : 장 준 복

협동연구기관명 : 목포대학교

협동연구책임자 : 배 현 미

요 약 문

I. 제 목

휩가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

휩가공법은 19세기 중반에 수증기처리에 의한 방법으로 개발되었다. 이 기술은 아직까지도 전세계적으로 다양한 휩가공기술에 의해 가구, 악기, 술통, 인테리어 소재 등으로서 널리 활용되고 있다.

목재가 휘게 되면 오목한 부분은 압축되는데, 수증기처리에 의해 이 부분의 변형율이 크게 되어 흰 상태에서 건조하면 고정된다. 인장변형율이 생기는 부분에는 인장을 억제하기 위한 대철을 사용하는데, 이 방법을 토네법으로 알려져 왔다. 그러나 목재의 휩성능은 수종에 따라 천차만별이며, 동일수종내에서도 그 성능이 매우 다르게 나타난다. 온대산 활엽수는 휩성능이 비교적 좋으며, 열대산이나 대부분의 침엽수는 그 성능이 매우 떨어진다. 이와 같이 휩성능이 수종에 크게 의존하고 있기는 하지만, 하중모드에서 세포벽의 연화에 의해 어느 정도 완화시킬 수 있다.

목재는 건조한 상태에서 취성으로 강하지만, 수분과 열에 의해 강성이 감소하고 파괴변형율이 증가하여 휩성능을 증가시키는 결과를 가져온다. 목재세포벽을 압축할 경우, 횡방향으로는 벌집구조상으로 쉽게 측면부로 압축되지만, 섬유방향에 있어서는 응력이 가해지면 압축변형율의 정도는 목재세포벽의 연화정도에 달려 있다고 할 수 있다. 본 연구과제에서는 국산 수종 및 일부 외산수종에 대하여 휩가공성을 평가하고, 그 활용방향을 모색하는데 있다.

III. 연구개발내용 및 범위

주요연구 내용을 요약하면, 목재의 휩가공 요인분석, 최적휩가공 방안, 휩가공재의 활용방안의 3부분으로 나눌 수 있다.

1. 휩가공을 위한 조건모색면에서의 접근 연구
 - 가. 소나무재의 휩가공성에 미치는 섬유경사각의 영향
 - 나. 휩가공을 위한 목재의 열연화특성과 전단강도

- 다. 휨가공에 있어서 대철 두께의 영향
- 라. 휨가공을 위한 고온수증기처리 소나무재의 흡습특성
- 마. 고주파처리 및 암모니아처리에 따른 휨가공목재의 치수안정성
- 바. 휨가공 목재의 후처리조건에 따른 치수안정화

2. 수종별 휨가공성

- 가. 주요 국산수종의 휨가공성 평가
- 나.. 최적 휨가공공정

3. 경관소재로서 목재와 휨가공재의 활용방향 모색

- 가. 가공목재 소재의 용도 및 현황분석
- 나.. 휨가공 목재의 이용사례 및 적용범위 조사
- 다. 경관재료소재로서 Exterior Wood 및 휨가공목재의 활용방안
- 라. 국산재 이용현황 및 경제성 검토

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

3년간의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

휨가공방법의 조건모색에 관한 연구는 공예 및 가구용재로 대량 수요가 가능한 국산 침엽수재인 소나무재를 주요대상으로, 기타 서어나무, 박달나무, 고로쇠나무, 굴참나무, 산벚나무, 피나무, 오동나무, 리기다소나무를 대상으로 실시하였다. 목재의 휨가공성은 목재의 구조와 소성특성에 기본적인 관계가 있지만, 수종에 따라 매우 다른 성질을 나타내고 있는 것으로 밝혀졌으며, 특히 목재구성요소중에서 세포벽의 기본요소라 할 수 있는 마이크로피브릴의 배열상태가 휨가공성을 지배하고 있다는 중요한 단서를 도출하였다. 마이크로피브릴의 배열상태는 목재의 기초강도와도 직결되어 있으며, 휨응력의 저하를 초래할 수 있는 마이크로피브릴 경사각의 변이가 휨가공의 용이성과 직결되고 있고, 연륜경사각은 큰 문제가 없으며 수종에 따라 휨가공이 용이한 수종과 아닌 수종으로 명백하게 구분되고 있는 사실을 확인할 수 있었다. 휨가공성의 요점은 첫째 소재선택, 둘째로 가공기술이라 할 수 있으며, 역학적으로 쉽게 합리적으로 훔 수 있을 것인가와 휨가공후 치수안정화를 위한 방안에 연구의 요점을 두어야 하는 것으로 밝혀졌다. 휨가공이 용이한 수종은 온대산 활엽수-침엽수-남양재순이었으며, 휨가공이 비교적 어려운 소나무와 같은 침엽수는 2차세포벽의 S₂층의 마이크로피브릴의 경사각과 리그닌의 양보다 리그닌구조가 휨가공성에 영향

을 미치고 있는 것으로 나타났다. 리그닌의 구조가 망상구조인 침엽수는 망상구조가 적고 가교결합이 어려운 선상구조의 활엽수재에 비하여 휨가공성이 어려운 이유로 나타났으며, 이런 기초적인 구조변이를 보다 완화시킬 수 있는 방향으로 처리할 수 있는가가 본 연구의 관건이 된다고 하겠다. 그러나 침엽수재라도 응력재나 미성숙재, 경사지에서 생육한 지표부근의 수간이 흰 상태의 목재 및 비탄성계수가 작은 소재, 세포벽이 두껍고 비중이 큰 조직이 치밀한 수종이 비교적 휨가공이 용이하며, 생장 지역에 따라서도 휨가공성이 모두 다른 것으로 나타났다. 이런 조건들을 소재의 적정 함수율상태, 전처리 가열온도조건에 적용시키면 보다 용이한 소성가공이 이루어지는 것이 확인되었다.

휨가공을 위한 물리·화학적 전처리법은 목재인자의 검토, 휨가공성 향상을 위한 전처리법의 조사 및 휨가공을 위한 물리·화학적 전처리법의 개발로서 목재인자의 검토결과 시료목으로 사용한 소나무의 평균연륜폭, 생재함수율, 전 수축률, 압축, 인장, 휨강도 및 전단강도를 측정하였고 이를 바탕으로 휨가공에 있어서의 기초자료로 이용할 수 있다. 한편 소나무의 화학적 구조는 활엽수재와는 달리 리그닌의 함량이 많은 특징을 나타내 일반적인 침엽수재의 화학적 조성을 나타내고 있다. 목재의 화학적 조성과의 관계는 세포벽중의 lignin과 hemicellulose는 어느정도 열가소성을 가지지만 cellulose는 결정성을 가지고 있어 열에 의한 가소성이 거의 없다. 결국 침엽수재에서는 리그닌의 망상구조를 유연하게 처리할 수 있는 방법과 궁극적으로 셀룰로오스의 결정부분에 까지 가소성을 부여하는 방법의 개발이 휨가공의 과제라고 하겠다. 이를 위해 수종별 휨가공성 실험은 25수종(침엽수 7수종, 활엽수 18수종)에 대하여 함수율조건별, 휨가공 가능곡률 조건별, 포수재와 기건재, 상온상태와 자비상태에서 휨가공의 용이성에 대하여 실험하였다. 목재인자의 검토결과, 용적밀도와 휨가공성간에는 대체적으로 용적밀도가 큰 쪽이 작은 쪽보다 가공성이 우수하였다. 따라서 침엽수재보다는 활엽수재의 휨가공성이 우수하였으며, 곡률반경 4, 6, 12cm 로 실험한 결과, 4, 6cm 범위에서는 같은 정도의 휨가공성을 나타내었고, 12cm 에서는 보다 쉽게 가공됨을 알 수 있었다. 수분함량에 따른 휨가공성은 20℃ 상온보다 100℃에서 포수자비시켜 휨가공을 실시한 결과, 휨가공성 향상을 도모할 수 있었다. 한편 전건상태에서 휨가공을 실시한 결과, 모든수종에서 실험범위의 곡률반경 어느 곳에서나 파괴되어 휨가공이 불가능함이 증명되었다.

수종별로는 물참나무, 느티나무, 느릅나무, 튜립나무, 너도밤나무, 소태나무, 박달나무, 서어나무, 고로쇠나무의 휨가공성이 용이한 편이었으며, 상온에서도 쉽게 휨가공이 가능하였다. 한편, 소나무, 편백, 이태리포플러, 메타세코이어, 발사, 라디아타소나

무, 화백, 종가시나무, 참오동나무, 피나무 등은 100℃ 자비처리한 후에도 휩가공성이 매우 어렵다는 것을 알 수 있었다.

따라서 휩가공성 향상을 위한 물리화학적 전처리법의 조사 결과 여러 가지 다양한 전처리법에 대한 연구가 보고되고 있지만, 화학약품에 의한 전처리는 휩가공후의 재질의 열화를 초래하기 때문에 강도가 요구되는 곳에는 사용하기가 어려운 반면 물리가공에 의한 처리는 휩가공성이 어렵기는 하지만 큰 강도를 얻을 수 있는 장점이 있는 것으로 알려졌다. 실제 현장에서 휩가공을 하기 위해서는 자비처리 및 마이크로파를 이용한 전처리방법이 효율적이며 실용성이 있는 것으로 파악되었다. 여기서는 자비처리 및 마이크로파를 이용한 전처리 결과 최적 연화처리조건과 마이크로파 조사시간을 규명하였다.

마지막으로 목재소재 및 휩가공목재소재의 활용방안에 대하여 조사, 검토하였다. 연구진행은 ①가공목재의 용도 및 이용현황조사, ②Exterior Wood의 유형조사와 사례분석, ③휩가공목재의 활용방안의 3 단계로 나누어 수행하였다. 첫 단계의 조사연구에서는, 외부공간에서 사용되고 있는 시설물의 유형과 소재특성에 대한 조사를 실시했다. 우선 외부공간에서 사용되는 시설물의 정의 및 역할, 옥외시설물의 유형을 조사하였다. 본 연구에서는 일단 우리주변에서 흔히 볼 수 있는 시설물의 유형을 조사대상으로 선정하여, 벤치, 휴지통, 음수대, 파고라, 플랜터, 쉼터, 조명등, 포장, 경계석, 맨홀, 수목지지대, 수목보호덮개, 플랜터, 주차장, 육교, 담장, 경계, 차음벽, 교량, 계단, 경사로, 파고라, 야외탁자, 정자, 산책로, 놀이시설, 수경시설, 옹벽, 경사면 29개 유형에 대해 실시되었다. 그리고 각 옥외시설물 특성에 대한 조사를, 기능 및 용도, 종류, 사용재료, 시설물의 설치 및 관리상의 고려사항 등에 대해 실시하였다. 또한 각 옥외시설물에서 사용되고 있는 재료소재를 조사하고, 각 재료별로 종류, 특성, 사용 및 관리특성, 기성제품 등에 대한 조사를 완료하였다. 다음에는 외부공간에 사용되는 가공목재의 용도 및 이용현황에 대한 조사연구를 실시했다. 최근 각광받고 있는 옥외시설물의 소재인 목재가 실제로 어떠한 장소에서 어떠한 형태로 사용되고 있는가를 살펴보기 위하여, 시설물유형별로 사용되고 있는 재료소재에 대한 조사를 실시하고 분류하였다. 조사결과 외부공간에 사용되는 목재의 이용범위, 이용유형, 그리고 가공형태에 대한 명확한 파악과 분석이 이루어졌다. 외부공간의 질과 기능을 좌우하는 옥외시설물은 그 종류도 많으며, 사용되는 소재도 매우 다양한 것으로 조사되었다. 시설물의 재료는 그 사용목적과 제반조건들을 고려하여 가장 적합한 소재가 선정되어야 하나, 공적인 공간에 설치되는 옥외시설물은 대중이 이용하는 시설인 만큼 그 시설물의 안전성, 기능성 그리고 심미성에 대한 충분한 고려가 이루어져야

한다. 최근에는 옥외시설물의 공적기능이 부각되고 있으며, 특히 시설물에 사용되는 재료소재 가운데 목재에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 변화는 환경에 대한 관심과, 인간들이 인위적으로 만든 공간에 설치되는 옥외시설물도 가능하면 사람들에게 친밀감을 주면서 환경에의 영향을 최소화 할 수 있는 소재를 사용하자는 움직임과 일치한다고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 볼 때 디자인적인 측면 및 미적인 측면에서의 목재의 활용은 당면과제라 할 수 있겠다. Exterior Wood의 유형조사와 사례분석은, 과제 최종목표인 목재재료의 활용이라는 측면에 주목하여 진행하였다. 따라서 외부시설물의 재료소재로서 활용하기 위해 목재가 갖추어야 할 조건, 즉 Exterior Wood의 조건에 대하여 조사, 검토하였다. 그리고 Exterior Wood가 어떤 장소에, 어떤 유형의 시설물로, 어떠한 목적을 갖고 설치되고, 사람들에게 쓰여지고 있는가를 살펴보기 위하여, 국내외 사례조사를 실시하였다. 이를 근거로 Exterior Wood의 유형과 활용현황에 대한 정리, 분석을 실시하였으며, 최종적으로는 Exterior Wood의 개발방향을 설정해 보았다. 가공목재소재의 용도조사 및 국내외의 사례조사를 통한 현황분석은 전문서적을 편찬할 정도로 목재이용 전영역에 걸쳐 완료되었으므로, 연구개발 목표를 충분히 달성한 것으로 판단된다.

다음에는 실용적인 측면에서 현재 상용화되고 있는 가구재료, 가장 많은 용도로서 활용되고 있는, 휨가공소재의 활용도를 조사, 검토하였다. 가구소재가 단연 많은 활용도를 가졌다고 한다면, 앞으로 본 연구결과는 가구업자 및 디자인 전문가 들의 의견과 접목시켜 발전시켜 나아가야 할 것으로 판단된다.

Exterior Wood로서 활용될 때, 목재의 흡습성이나 흡수능이 지나치게 크게 되면 팽윤 및 건조에 동반한 수축에 의해 할렬이나 뒤틀림, 변색, 부후 등의 결점생성이 문제시 될 것이므로 흡수성에 대한 연구는 치수안정화적인 측면에서도 중요할 것으로 판단되어, 과제 최종목표인 휨가공 목재재료의 외구용재로서의 활용이라는 측면에 주목하여 진행하였다. 휨가공목재소재의 용도조사 및 국내외의 사례조사를 통한 현황분석은 목재이용 전영역에 걸쳐 완료되었으므로, 본 연구개발 목표를 충분히 달성한 것으로 판단된다.

이들 연구성과는 후술하는 바와 같이 이미 다수의 국내외 논문 등으로 전문학술지에 게재 또는 학술대회에서 발표되었다.

SUMMARY

I. Title of Research Project

Development of high value-added wood production by bending process

II. Target and Importance of Project

In the middle of the 19th century, an effective technique for wood bending based on steam pretreatment was established. This technique was introduced to many countries all over the world and it is still widely used to obtain various curved parts of furniture, musical instruments, barrels, interior decorations and so on.

When a wood piece is bent, the convex side of the bend is compressed. The wood piece softened by steaming can be compressed considerably, but it can be stretched very little. By fixing the wood piece on a metal strap in such a way that the strap supports the tensile stress, it can be bent to a great extent. This technique is called the Thonet-method.

The bending quality (BQ) of wood, however, varies widely not only among the different species but also within the same species. Considerable kinds of temperate hardwoods have good BQ, while most of coniferous woods and tropical hardwoods are generally unsuitable for wood bending. Although the BQ depends greatly on wood species, it relates somewhat to the extent of the softening of the cell walls and loading modes. Wood is strong and brittle in dry condition, but the moistening and heating of wood decrease its stiffness and increase its breaking strain, which results in an increase of the BQ. In transverse direction, the compression occurs easily by the transverse crushing of the honeycomb-like cell structure, while in longitudinal direction, the majority of the cell walls are stressed along their length and the mechanism of their deformation may depend greatly on the extent of softening.

In this project, the BQ of main Korean wood species is evaluated and the application method of the wood and bentwood of main Korean wood species is

investigated.

III. Content of this Project

The main contents of this research projects can be summarized as follows:

1. Examinations of bentwood processing factor
 - a. Effect of strap thickness and annual ring orientation
 - b. Thermal softening of wood by steam treatment at high temperature
 - c. Bending of sonamu wood by microwave irradiation
 - d. Vapor sorption of super-heated steam treatment of sonamu wood
 - e. Dimensional stability of bentwood by pre-treatment conditions
 - f. Dimensional stability of bentwood by post-treatment conditions
2. Bentwood processing property
 - a. Bending quality of main Korean wood species
 - b. Most suitable bentwood processing
3. Study on the development direction of the use of wood as a landscape material
 - a. Analysis of present condition and use of wood
 - b. Investigation of case example and application range of bentwood
 - c. Application method of exterior wood and bentwood as a landscape material
 - d. Present condition of domestic wood and consideration of economical efficiency

IV. Results and Application of the Project

Bending quality of main Korean wood species

Results showed distinctly that the bending quality(BQ) of specimens depended remarkably on wood species as had been reported. Horn beam, birch, painted maple and cork oak, which are temperate hardwoods with a high density, had especially good BQ. Percentages of the number of specimens grouped into A or

B grade for sargent cherry, cork oak, basswood, royal paulownia, which are temperate hardwoods, were 58, 83, 29% and 8%, respectively. All specimens of basswood and royal paulownia could not be bent to $\rho = 40$ mm. On the other hand, percentages of specimens of red pine and pitch pine, which are coniferous woods, were 44% and 56%, respectively. Results of the BQ evaluation in regard to each radius of curvature and each strap thickness for main Korean species examined are shown in Table 4 of chapter 4. Open circles (\circ) and open triangles (\triangle) represent that the indicated wood species could be bent to the prescribed radii of curvature without any damage and with slight damage, respectively, while crosses (\times) represent that the indicated species could not be bent to the prescribed radii of curvature. The effect of strap thickness on the BQ was not so significant. However, it is considered that the strap thickness may be related to the drying speed after the bending operation, the thinner the strap thickness is, the faster the drying speed becomes, Table 5(chapter 4) shows the relationship between the BQ and densities of wood species in air-dried condition. Results indicated that the BQ of Korean wood species depended significantly on the density. Densities of bitter wood, painted maple, horn beam, cork oak and birch which were grouped into A grade were larger than 600kg/m^3 .

Effect of strap thickness and annual ring orientation

The relationship between the BQ and the strap thickness for Korean red pine is shown in Table 5 of chapter 4. In radii of $\rho = 70$ and 90 mm, the significant difference in the BQ was not recognized except in the case of $t = 0.4\text{mm}$. So and Chai investigated the wood bending of black locust using microwave heating to produce curved parts of furniture and classified the BQ into four grades, 1) without failure, 2) minor compressive failure on the concave side, 3) remarkable failure, 4) broken. In this study, however, the BQ was grouped into three grades, because such damage as breakage did not occur in the concave side of all bent specimens. Table 4 and 5 of chapter 4 show the bending quality of Korean red pine as a function of strap thickness. It is considered that specimens of Korean red pine to A or B grade can be used for materials of the wood bending. Under the same experimental conditions, the BQ was better in the strap of $t = 1.0$ mm

than in $t=0.4$ mm. It seems that there are no significant differences in results of the BQ for flat-grained specimens and specimens with intermediate annual ring orientations. However, a careful examination showed that the BQ of specimens with intermediate annual ring orientations was slightly better than that of flat-grained specimens in straps of $t=1.0$ mm and 0.4 mm. Both flat-grained specimens and specimens with intermediate annual ring orientations could be bent without any damage in the strap of $t=0.6$ mm. Interlocked-grain was observed on the concave surface of some specimens with bad BQ. These results suggested that the annual ring orientation in specimens is one of important factors to improve the yield rate of wood bending. Tables 3 and 4 in chapter show compressive strains of bent specimens grouped into A and B grades. Since the BQ of flat grained specimens bent using straps of $t=0.8$ mm and 1.0 mm and that of specimens with intermediate annual ring orientations bent using straps of $t=0.4$ mm and 0.6 mm were grouped into C grade in the case of the form radius of $\rho=70$ mm, results of compressive strains were eliminated from Table 4 in chapter 5. These results suggested that the appropriate selection of the strap thickness according to the annual ring orientation in specimens was very important to improve the yield rate of wood bending.

Bending of sonamu wood by microwave irradiation

The effect of microwave irradiation on wood bending was investigated. The specimens irradiated with microwave were bent around a form by using pedestal-steel and clamps. The specimens, korea red pine ($350\text{mm(L)} \times 20\text{mm(R)} \times 10\text{mm(T)}$), for this test were water-soaked for 78 hours. Saturated specimens were boiled in water for an hour. These specimens were heated by microwave of 2450MHz . The most suitable time for microwave irradiation seems to range from 60 to 90 seconds. Wood moisture content decreased remarkably with the increase of irradiation time. When a softened wood piece is bent, its convex side was stretched while the concave side was compressed. It can be compressed considerably, but stretched very little. Therefore, the failure will be governed by the tensile breaking strain and occur mainly on the convex face. So we obtained results from three different bending process methods as follows :

① When bending with a pedestal-steel, convex face had not tensile breakings, but concave face had compression fails.

② When bending with a clamp, bending time increased more than pedestal-steel and occurred tensile breaking.

③ Bending with a pedestal-steel and a clamp was found to be the most excellent operation method in this study.

Thermal softening of wood by steam treatment at high temperature

This study deals with shear strength test for *Pinus densiflora* and *Pinus radiata* treated at above 100°C by heat steam. Treatment conditions of this experiment were operated at regular intervals of 20°C at temperatures up to 200°C for 5, 10, 20 and 30 minutes by using the steam-explosion apparatus.

It was examined, at high temperatures, degradation of some compounds from wood composition could lead to reduced the shear strength through heat steaming processes and play a large part in the plastic process of solid wood materials. It could be estimated that the shear strength of woods were gradually reduced by heat steaming time. Remarkable reduction of shear strength of woods was observed with increasing steaming temperatures above 10 minutes steaming time. Furthermore, this phenomenon shows a tendency to increase with higher temperatures.

Dimensional stability of bentwoods by treatment conditions

This study was carried out to know dimensional stability of bentwoods by treatment methods such as steaming, paint coating, and polyethylene glycol(PEG) treatment. Bentwood processing was operated on bending-jig with only 4cm radius of curvature(ROC). The species were used to bitter wood(*Picrasma quassioides*), painted maple(*Acer mono*) and birch(*Betula schmidtii*). Bending property of these woods were very excellent for bentwood production(Jung *et al.*, 2001). The treatment bentwoods repeated temperature and humidity at room temperature[20°C, RH 80%(12 hours) and 40°C, under RH 10%(12 hours)]. For estimation of dimensional stability of bentwoods measured radius of curvature and end distance. The result were as follows:

- ① The best treatment was PEG treatment in this study. Steaming treatment was very poor treatment.
- ② In properties of the species, dimensional stability of bitter wood was excellent.
- ③ The steaming treatment was unsuitable for dimensional stability of bentwoods.

Study on the development direction of the use of wood and bentwood as a landscape material

The main purpose of this study was to propose the development direction and application method of wood as a landscape material by analysis and investigation of the present condition and characteristics of wood, which is a quite interesting natural material for its beauty as an exterior material. This study is based on the relationships between the establishment of development direction and practical use of exterior wood as a landscape material. The research method used was fieldwork and data analysis.

The findings obtained in this study can be summarized as follows.

- ① On the analysis of the present condition of wood utilization, it was investigated to need of complement of a design aspect, use method, the limit of use type, and use range.
- ② The direction of a durable design for the practical use of exterior wood as landscape materials was established.

On the use of exterior wood, first, the characteristics of wood have to be understood. Then exterior wood can be used while preserving its safety and beauty over a long time by adequate physical and chemical treatment.

At the same time, an application plan for the practical and effective use of wood as an outdoor landscape material, we concluded that future research in design aspects is needed in consideration of physical, chemical, and structural properties of durable wood materials used in outdoor facilities.

Contents

Presentation sentence	1
Summary	2
Contents	13
Chapter 1. Introduction	15
Section 1. Purpose of project	15
Section 2. Range of research project	22
Chapter 2. Status of technology in domestic and abroad	24
Section 1. Conventional bentwood processing method	26
Section 2. Pretreatment and plstisize for bentwood process	35
Chapter 3. Results of research project	41
Section 1. Effect of ring orientation on bending property of sonamu wood	41
Section 2. Mechanism of bentwood processing	52
Section 3. Pretreatment method for bentwood processing	58
Section 4. Bending quality of main Korean wood species	67
Section 5. Effect of a metal-strap thickness on the bending process	79
Section 6. Heat-softening of wood for bending process	86
Section 7. Vapor sorption of super-heated steaming wood for bentwood	99
Section 8. Dimensional stability of bentwood by bending proces ^ㄴ method	108
Section 9. Dimensional stability of bentwood by post-treatment method	115
Section 10. Analysis of present condition and use of wood	123
Section 11. Water absorption of bentwood	144
Section 12. Bending property of various species	151
Section 13. Application examples of bentwood	157
Section 14. Exterior Wood and bentwood as a landscape material	170
Section 15. Most suitable bentwood process	177
Section 16. A present condition and economical efficiency	183
Chapter 4. Contribution to related field	199
Chapter 5. Application plan of research results	206
Chapter 6. Technical information from abroad during the research	208
Chapter 7. References	210

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
목 차	13
제 1 장. 서 론	15
제 1절. 연구 개발의 목적	15
제 2절. 연구개발의 범위	22
제 2 장. 국내외 기술개발 현황	24
제 1절. 기존의 곡목가공법	26
제 2절. 목재의 휨가공을 위한 전처리 및 가소화	35
제 3 장. 연구개발수행 내용 및 결과	41
제 1절. 소나무재의 휨가공성에 미치는 섬유경사각의 영향	41
제 2절. 휨가공을 위한 가공원리	52
제 3절. 휨가공을 위한 물리·화학적 전처리법	58
제 4절. 주요 국산수종의 휨가공성 평가	67
제 5절. 휨가공에 있어서 대철 두께의 영향	79
제 6절. 휨가공을 위한 목재의 열연화특성과 전단강도	86
제 7절. 휨가공을 위한 고온수증기처리 소나무재의 흡습특성	97
제 8절. 고주파처리 및 암모니아처리에 따른 휨가공목재의 치수안정성	108
제 9절. 휨가공 목재의 후처리조건에 따른 치수안정화	115
제 10절. 가공목재 소재의 용도 및 현황분석	123
제 11절. 휨가공 목재의 수분특성 분석	144
제 12절. 수종별 휨가공성	151
제 13절. 휨가공 목재의 이용사례 및 적용범위 조사	157
제 14절. 경관재료소재로서 Exterior Wood 및 휨가공목재의 활용방안	170
제 15절. 최적 휨가공공정	177
제 16절. 국산재 이용현황 및 경제성 검토	183
제 4 장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	199
제 5 장. 연구개발결과의 활용계획	206
제 6 장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	208
제 7 장. 참고문헌	210

제 1 장. 서 론

제 1절. 연구 개발의 목적

최근 국내외적으로 목재이용기술의 발전에 동반하여 100℃이상의 고온영역에 있어서 열처리, 압축성형, 곡목가공, 고온건조 등의 소성가공기술이 목재제품의 고부가가치화 및 고품질화를 목표로 계속적으로 전개되고 있다. 이것은 단순한 재료를 이용하여 보다 고부가가치화시킨 재료로서의 개발을 의미하기 때문에, 어느 나라에서나 범국가적으로 대외경쟁력 있는 수출상품으로서의 신재료 개발분야라 할 수 있다. 이 극한가공법의 원리 및 일례는 수분과 열에 의해 목재의 탄성을 감소시키고 소성을 증대시켜 가공하는 압밀화가공 및 곡목가공법을 들 수 있다.

한편 선진제국에서의 많은 관련연구는 대부분 단편적인 연구와 특정수종에 한정되어 온 까닭에 일반성이 결여되어 있으며, 특히 침엽수 수종에 대한 연구는 재료의 특수성으로 인하여 거의 전무한 실정이라고 할 수 있다.

현재 우리나라의 산림축적을 보면 침엽수림이 45~46%, 활엽수림이 26~28%, 혼효림이 27%로써 침엽수림이 우리나라 산림자원의 주종이라 할 수 있다. 특히 침엽수림 중에서도 소나무가 90% 이상으로 전체 수종의 40%를 차지하므로 소나무가 우리나라 주수종이라 하겠다. 1998년도 현재 침엽수 축적량은 1억3천만^m으로, 전체 3억1천만^m의 41%를 차지하고 있으며, 수입재의 경우에서도 점차적으로 활엽수재의 수입이 줄어들고 있으며, 캐나다와 뉴질랜드산 침엽수재가 늘어나는 추세에 있다.

이런 현실에 있어서 저가의 국산 소나무재(*Pinus densiflora*)나 낙엽송(*Larix kaemferi*)과 같은 침엽수재의 이용범위를 넓혀 고부가 가치재로 이용하는 것은 전체 산림의 유효이용화에도 기여하는바 매우 큰 의의가 있을 것으로 생각되어진다.

휨가공 및 고압밀화가공에 의한 목재재료의 고부가가치화를 위한 기술개발에 대한 분야가 아직 완전히 산업화에는 미치지 못하고 있는 현시점에서, 선진외국에서는 이분야의 기술개발에 대한 연구가 본격화되고 있다. 따라서 이런 상황하에서 국내연구진에 의해 휨·압축가공에 의한 고부가 목재를 생산할 수 있는 기술이 개발된다면, 국산재의 이용활성화로 인한 수입재의 대체효과 및 고부가 목재재료의 생산으로 국내산업체의 활성화는 물론

이고 수입대체 및 대외경쟁력에도 크게 기여할 수 있는 과제이므로, 본연구과제의 연구개발 필요성은 매우 큰 것으로 판단된다.

1. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

본 연구관련 내용과 관련한 예를 들면, 지금까지 국내외를 막론하고 산업현장에서 채용하고 있는 곡목가공에 이용되는 재료는 활엽수재로서, 잘 알려져 있는 너도밤나무와 등나무 및 열대산 관음죽이 대부분을 차지하고 있다. 휩가공성이 대체적으로 용이한 이들 재료는 국내에서는 주로 수입에 의존하고 있고, 제품의 색상이나 질감에 있어서는 소비자의 요구가 낮아 제품의 가격경쟁력은 많이 떨어지고 있다.

그러나 연륜 경계가 뚜렷한 소나무와 같은 침엽수재를 고도의 소성가공에 의해 생산체계가 확립되어 침엽수재가 활엽수재 이상으로 고부가 목재재료라는 점에 대하여 그 가능성이 있는지 연구되어야 하며, 일반 목재재료와 비교·조사함으로써 침엽수로부터 생산된 목재재료의 미적우수성, 기능성 등에 대한 활용방안이 검토되어야 한다.

현재까지 침엽수재의 고부가 이용에 관해서는 많은 연구자가 관심을 가지지 못했고, 일반적인 건축부재 등으로만 사용되는 것에 대하여 연구해 온 것이 사실이다. 휩가공 및 고압밀휩가공에 의한 목재재료의 고부가가치화를 위한 기술개발에 대한 분야가 아직 완전히 산업화에는 미치지 못하고 있는 현실점에서, 선진외국에서는 이 분야의 기술개발에 대한 연구가 본격화되고 있다. 따라서 이런 상황에서 국내연구진에 의해 휩가공에 의한 고부가 목재를 생산할 수 있는 기술이 개발된다면, 국산재의 이용활성화로 인한 수입재의 대체효과 및 고부가 목재재료의 생산으로 국내산업체의 활성화는 물론이고 수입대체 및 대외경쟁력에도 크게 기여할 수 있는 과제이므로, 본연구과제의 연구개발 필요성은 매우 큰 것으로 판단된다. 한편 본 연구가 수행됨에 따라 침엽수재의 이용확대를 구축할 수 있는 시스템을 만들 수 있으며, 향후 침엽수재의 활용에 대한 폭넓은 연구체계가 확립될 것으로 생각된다.

나. 경제·산업적 측면

임목축적량 가운데 가장 많은 양을 차지하고 있으며 그 이용도가 적은 침엽수재를 이용한 고부가 목재재료가 생산된다면 자원의 효율적인 이용측면은 말할 것도 없고, 활용도가

낮은 침엽수재의 부가가치를 향상시켜 농민의 실질적인 소득증대에도 기여할 것으로 생각된다. 현재 침엽수재의 경우, 그 용도가 건축용재 이외는 거의 개발되어 있지 못하므로 침엽수재의 활용에 많은 어려움을 발생시키고 있으며, 본 연구과제의 수행으로 현재 생산되고 있는 침엽수재의 용도개발에 시급성을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 침엽수재의 고부가 활용기술력이 확보됨으로써 침엽수재를 이용한 기타 관련 산업에도 상당한 파급효과가 있을 것으로 판단된다. 침엽수재를 이용한 목질계제품이 활엽수제품의 대체품으로서 공급이 된다면, 건축, 공예, 악기 등의 다양한 분야에서 그 수요가 예상되기 때문에 산업적으로도 지대한 영향력을 미치게 될 것으로 판단된다. 또한 우리나라의 목재가공산업에서 수입량은 연간 약 160만^m이며, 금액으로는 약 5억불에 이르고 있는데, 막대한 양의 목재재료에 대체할 수 있으므로 그 경제적 가치 또한 크다고 할 수 있다. 특히 목재의 휨가공이나 압밀화가공을 위한 소성가공법을 이용한 새로운 목재소재개발이 가능하게 될 경우, 그 용도면에서의 활용범위는 가구부재, 건축부재, 내장용재, 공예용재, 악기용재 조경용 내외장재료 등, 고부가 창출을 위한 다양한 2차가공 및 적용에 따라 경제·산업적인 측면에서의 기대효과는 매우 클 것으로 기대된다. 또한 버려지고 있다시피 하는 국내 소나무재와 낙엽송 등의 저급 침엽수 소경목까지 활용할 수 있고, 소나무의 무늬결을 누구보다 선호하고 있는 일본인을 대상으로 한 수출의 길은 매우 넓은 관계로 수출로 인한 외화획득 가능성이 매우 높은 분야라고 할 수 있다. 본 신청자는 몇년전, 중소기업체와 본 연구 관련 산업체(창성산업, 박정수대표)근무를 하였던바 이 사실을 직접 확인할 수 있었다.

따라서 목재를 극도의 고온과 압력을 이용한 휨 및 고압밀화가공에 의한 소성가공 목재생산 기술개발에 관한 본 연구과제의 성공적인 수행으로 경제적인 측면과 산업적인 측면에서 매우 능률이 뛰어난 산업체의 등장을 예상하며, 향후 이와 관련한 기타 산업의 동반적인 발전이 크게 기대된다.

다. 사회·문화적 측면

우리나라의 원목 수입 대상국인 동남아시아 원목 수출국가 등의 원목 별채량이 감소되었으며, 나아가서는 원목 상태로의 교역조차도 여러가지 규제를 가하게 되었다. 지구환경 보전에 대한 이런 일련의 움직임들은 우리나라의 목재가공 산업계에도 그에 상응하는 많은 변화를 요구하고 있으며, 이러한 욕구를 충족시키기 위해서는 우리나라의 목재가공 산업도 환경친화형·환경보전형 기술개발에 적극적으로 임해야 할

것이다. 기술개발에 실패할 경우, 외국으로부터의 기술도입에 대한 투자의존도가 높아 수입제품과의 경쟁력이 약해질 수 있고, 목재 제품의 수요가 급증하고 있는 현실을 고려할 때 목재완제품 수입에 따른 외화 낭비와 국산재의 미활용으로 인한 국내 임업의 사양화는 국토보전 및 환경보전적 측면에서도 심각한 현상이라 할 수 있다.

따라서 현시점에서 침엽수재의 이용확대를 위한 목재의 소성가공에 관한 기술개발은 대외적으로는 지구환경보호는 물론, 국가적 차원에서는 고부가가치의 창출과 더불어 기술축적으로 인한 국가기술력의 대외경쟁력에도 이바지하게 되는 것으로서, 수요창출에 의한 상품성을 부여할 수 있을 것이다. 또한 본 연구과제의 기술개발로 관련산업체의 고용증대 등, 사회문화적인 측면에서 얻을 효과가 크게 기대된다.

2. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

본 연구과제 신청자는 목재의 극한가공을 일부 이용한 목재소재개발과 고부가 창출을 위한 공예품 및 가구용품 목재재료개발이라는 측면에서 목재의 고온, 고압하에서의 소성가공과 모노머주입에 의한 화학개질가공법을 응용한 목재의 극한가공법에 관한 기술개발 가능성을 검토하여 왔다. 그 결과, 국내에서 현재 소성가공재(압밀화 소재)의 기초재질에 관한 연구는 본인이 몇 편의 논문으로 이미 발표한바 있으며, 화학가공에 의한 개질연구는 충북대학교의 한규성 교수팀이 많은 기술축적을 해 온 것으로 알고 있다. 휨가공에 관한 연구는 전남대학교 소원택 교수에 의해 다년간 연구되어 왔으며, 본인이 소교수와 토의한 결과, 소나무재의 휨가공 곡률반경이 실용화에는 미치지 못할 정도로 크며, 기존의 토네법으로 쉽게 훔 수 있는 재료인 너도밤나무나 등나무와는 비교가 안 될 정도로 어렵다는 것을 알 수 있었다. 그러나 국내에서 이런 고온, 고압하에서의 압밀화 공정개발 및 휨가공에 대한 기구해석 연구는 매우 부족한 실정이며, 고부가 창출을 위한 재료개발차원에서 접근하여 효율적 이용을 연구 검토한 예도 없기 때문에 이에 관련된 기술의 축적도 극히 미비한 상태이다. 본인이 대추나무 압밀화재를 위하여 고온에서 열압한 결과, 수율이 20%정도였으며, 재료의 손실이 매우 많아 수율향상을 위한 방안이 매우 절실함을 알 수 있었다. 휨가공과 압밀화가공은 그 원리가 유사하며, 수분, 열, 압력, 처리시간 등에 따라 그 결과가 매우 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있으며, 아직 뚜렷한 연구결과가 없는 미진한 현실에 있다.

가까운 일본국의 경우, 교토대학 목질과학연구소의 노리모토 교수팀이 고온·고압에서의 목재소성가공에 대하여 다년간에 걸쳐 많은 연구를 하였다. 그 결과 표면층 압밀화의 기구해석 및 조직구조관찰 등에 대하여 많은 논문이 발표되기는 하였으나, 실질적으로 같은 조건에서 해보면 재현성이 없는 것으로 밝혀졌다. 또한 일본의 히다산업 공예시험소 및 오이타켄 산업과학기술센터의 이시이 등은 휨가공에 의한 가구부재의 개발을 위한 형상별 곡가공기구의 개발을 위한 연구결과가 일부 발표되고 있다. 그러나 침엽수재의 연구결과는 거의 볼 수 없었다. 그간 본 연구과제신청을 위하여 많은 관련자들의 연구업적 내용을 대부분 읽고, 같은 수법으로 해 보았지만, 재현성의 부족과 논문에는 없는 실용적인 내용들이 많이 있는 것으로 생각되었으며, 이것은 기업체의 이익과 직결되는 관계로 핵심내용은 빠져있는 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구과제와 관련한 연구결과가 수많은 논문으로 발표는 되고 있어도 실질적으로 도움이 될만한 기술은 없으며, 직접 하지 않으면 안되는 점을 재삼 확인할 수 있었다.

현시점에서 본 연구과제와 관련한 기술상태의 취약점을 들면 다음과 같다.

일반적으로 침엽수는 활엽수에 비하여 경도가 낮고, 조·만재사이의 물리적 성질에 있어 큰 차이를 가지는 단점이 있다. 일반적으로 휨가공이나 압밀화가공과 같은 소성가공이 용이한 수종의 특징으로서는 세포내강이 작고 세포벽이 두꺼우면서, 그 화학성분에 있어서 리그닌 함량이 적어야 한다는 것이 지금까지의 연구의 주요내용이라 할 수 있다. 예를 들면, 소나무와 같은 침엽수재는 활엽수재에 비하여 리그닌함유량이 약 10여% 많은 관계로 휨에 대한 성능이 뒤떨어지며, 또 세포벽이 활엽수재에 비하여 얇기 때문에 휨응력을 가할 경우에 균일하게 휘지 못하고, 외력에 대해 약한 부분이 국소적으로 꺾어버리는 현상이 발생한다. 따라서 두꺼운 재료를 가능한 작은 곡률반경으로 균일하게 휨가공을 한다는 것은 많은 어려움이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이와 같은 내용에 합당하지 않은 수종은 이와 같은 성질에 맞게끔 화학처리나 물리적처리 또는 기계적처리를 병행함으로써 행하고 있지만, 활엽수재는 그 성질상 침엽수재보다 소성가공에 보다 유리한 수종으로 알려져 있다. 따라서 침엽수재의 소성가공에 대해서는 해결해야 할 문제점이 아직도 많이 있으며 특히 소나무재에 대해서는 연구결과가 이용할 수 있는 단계까지 명확하게 이르지 못하고 있는 실정이다.

3. 앞으로 전망

최근 세계 각국에서 환경규제의 강화와 목재자원의 편중 및 세계 각국이 자국자원의 보호정책 등 세계정세가 급변함에 따라 국내자원의 합리적 이용 방안을 통해 2차 산업의 경쟁력을 높여야 한다.

특히 제조업분야에 대한 기술개발투자가 무엇보다도 우선적으로 이루어져야만 한다. 가까운 일본이나 미국에서는 최근 들어 극한가공기술개발에 대하여 본격적으로 연구를 가동하고 있다. 그들의 연구진은 우리보다도 수적으로나 국가차원에서 금전적인 지원측면에서 우리를 훨씬 앞서고 있는 점을 감안해 볼 때, 한시라도 빨리 우리 스스로의 기술력개발에 투자를 아끼지 말아야 할 것이다.

지금이야말로 소성가공법에 의한 고부가 목재재료의 개발이 절실한 시기이며 앞으로의 목재자원의 고도이용을 생각한다면, 자원의 합리적 이용 및 경제성 제고를 통한 2차 산업의 경쟁력을 높일 수 있을 것이다. 따라서 1차적으로는 원목자원감소에 따라 목재수급에 대한 수입선의 문제가 우선 장래적으로 문제시되지만, 2차적으로는 효율적이고도 고부가화할 수 있는 기술개발이 이루어져야만 경쟁력 있는 한국목재산업의 밝은 장래를 전망할 수 있을 것으로 예상된다.

마지막으로 산림보존과 환경보전의 이유로 외국으로부터의 목재수입이 점점 어려워지고 있는 상황이며, 국내에서 생산되는 목재의 양은 극히 적은 전체용재의 8%범위에도 못미치는 탓에, 휨가공 및 고압밀화가공기술을 응용화한 고부가목재생산이 이루어진다면, 막대한 외화의 지출을 줄임과 동시에 많은 수요를 불러일으킬 수 있기 때문에 신기술의 개발은 그 자체로서 국가의 부를 증대시키는 효과가 있을 것으로 판단된다.

4. 기술도입의 타당성

너도밤나무나 등나무 등의 활엽수목재의 휨가공 및 고압밀화 목재재료개발에 관한 연구와 결과를 응용한 산업체생산이 국내외적으로 어느 정도 진행되고 있으며, 침엽수재에 대해서는 일부 산업화를 위한 연구에 박차를 가하고 있다. 그러나 세부기술 항목에 있어서 신기능성 목질계 재료로서는 생산성, 경제성 등에서 문제가 되어 대

량 생산, 사용되지 못하고 있으며, 연구는 오래전부터 하여왔으나 침엽수재의 상용화에는 이르지 못하고 있으므로 기술도입의 대상이 거의 없다고 할 수 있다. 국내산 업체와 거래하고 있는 일본인 바이어는 소나무재를 휩가공하여 수출한다면, 비싼 가격으로도 일본의 수요자를 겨냥하여 얼마든지 판매가 가능하다는 이야기가 있고 보면, 세계적으로 목재가공기술이 뛰어난 일본에서도 아직 이 재료의 가공기술에는 많은 부족함이 있음을 잘 알 수 있다.

따라서 목재의 고부가화방법으로 일반론적인 물리, 화학적 기초기술에 대한 사항은 상당히 연구가 진행중에 있으나 가공기술의 다양성, 고급화등에 따른 직접적이고도 실용적인 기술에는 한계가 있다고 하겠다. 또한 선진 기술의 대부분을 보유하고 있는 일본기업들은 물리적처리나 화학처리한 목질신소재의 제조방법 등에 대하여 기술보안을 이유로 들어 특허출원마저도 유보하고 있어 기술도입한다 해도 불가능하며, 아직 현실적으로 침엽수재의 휩가공법 등에 대해서는 기술확립이 되어 있지 못한 실정이다.

제 2절. 연구개발의 범위

1. 연구개발 목표

본 연구과제의 최종 개발목표는 물리·화학적 개질처리법을 응용한 침엽수재의 휨가공에 대한 가공법의 확립에 의한 고부가 목재생산 기술개발 및 재료의 용도모색에 있다.

현재 전세계적인 큰 추세로서 목재산업은 차츰 활엽수 중심에서 침엽수재의 활용으로 그 방향을 전환하고 있고, 가까운 장래에는 침엽수를 과거의 활엽수재에 대체해서 사용해야 할 것으로 예상된다. 이런 시점에서 구조용재로서만 사용되어온 침엽수재를 가구부재나 공예용재 등의 다양한 용도로 사용하기 위한 목재재료의 새로운 개발이 요구된다고 하겠다.

그러나 침엽수재의 활용을 위해서는 아직 해결해야만 할 여러 가지 문제가 산적해 있으며, 건조성의 향상이나 경도 등의 마모적성 향상 등 물리적·화학적으로 재료로서 해결해야만 할 사안들이 많이 있다고 할 수 있다.

휨가공을 할 경우, 침엽수재는 활엽수재에 비하여 물리적으로는 비중이 작고 세포벽이 얇으며, 화학적으로는 리그닌함유량이 많아 외력에 대하여 변형율이 극히 작기 때문에 휨가공을 위해서는 특별한 전처리 및 가공방법이 요구된다고 하겠다. 목재는 그 성질상 압축변형은 크지만, 인장변형이 작은 관계로 인장부분의 재료적 특성 또한 여러 가지로 생각할 필요가 있으며, 화학전처리 등을 통하여 변형율을 최대한 크게 해 줄 수 있어야 하는 기술이 필요하게 된다. 통상적으로 목재는 변형율 1%수준에서 인장파괴가 일어나기 때문에 이 부분에서의 가공법은 극히 어려운 부분이 될 것이며, 인장파괴를 일으키지 않는 수준의 연구개발이 본 연구과제의 가장 중요하고도 핵심적인 기술이 될 것으로 생각되어진다.

최종적으로는 곡률반경을 극소화할 수 있는 목재재료 생산기술이 본 테마의 연구목표가 될 것이며, 현재 사용되고 있는 플라스틱제품을 대체할 수 있는 성능과 품질이 될 수 있도록 연구결과를 유도하도록 노력하고자 한다.

2. 연구개발 범위

연구개발의 범위는 3년차로 나누어 다음과 같은 내용으로 연구를 실시하였다.

제 1년차 : 우리나라 주요 국산 침엽수재인 소나무재를 이용하여 휨가공실험에 의한 결과검토로부터 휨가공방법의 조건을 모색하고, 이런 원활한 목재의 휨가공을 위한 전처리법에 대하여 검토하며, 휨가공목재의 활용과 적용방향을 모색하기 위하여 우선 일반 목재재료가 우리들의 일상생활에 있어서 외장용재로서 목재소재의 용도 및 현황에 대하여 분석하였다.

제 2년차 : 1년차의 연구수행 결과, 연구종료를 할 정도로 연구가 완성되었기에 조기종료 하고자 구두발표(2000년 11월)까지 하였으나, 소나무재에 한정하지 말고 다양한 국산수종에 대한 휨가공성에 대하여 실험을 하고 종합적으로 최적의 휨가공공정 및 수종별 휨가공성 실험을 행하고 치수변동의 원인인자인 수분흡수특성에 대한 연구를 할 것을 지적받아 계속하여 연구를 행하게 되었다.

제 3년차 : 1년차와 2년차의 기초 연구결과를 가지고 휨가공 특성을 분석, 평가하고 치수안정성과 경제성, 휨가공목재의 용도모색 및 적용방안에 대한 연구를 수행하였다.

제 2 장. 국내외 기술개발 현황

국내에서는 유일하게 전남대학교 임산공학과 S교수가 다년간에 걸친 소나무재의 곡목에 관한 일련의 연구결과를 발표하였으나, 곡목반경이 두께 15cm의 경우 겨우 25cm에 불과하며 실용상 그 용도개발이 매우 어렵다는 것을 알 수 있었다. 본 연구자 자신이 그간 실험해 온 결과, 물리화학적인 전처리법에 의해 많이 개선할 수 있는 여지를 발견하였으며, 세부적인 연구를 하면 그 결과가 어느 정도 얻어질 것으로 판단되었다. 열압밀화에 대해서는 본 신청자가 공예용소재로서의 대추나무를 이용하여 산업체에서 상용하고 있는 방법을 사용한 결과, 수율이 약 20%정도로서 적절하지 못한 압밀화방법이 크게 문제시되고 있음을 알 수 있었다.

일본의 경우, 이와 관련한 연구는 각 관련연구소에서 고온고압분위기속에서의 열처리 등에 대하여 다수 행하고 있으며, 특히 교토대학의 목재물성제어학 주임교수인 Misato Norimoto 연구실에서 현재까지 많은 연구성과가 축적되어 있어, 본연구와 관련한 총체적인 연구성과가 집대성되어 있는 곳이며, 활엽수재의 연구결과를 응용하여 산업체에서 적용하여 다양한 제품을 현재 생산하고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 일본의 주요수종은 삼나무(*Cryptomeria japonica*)와 편백나무(*Chamecyparis obtusa*)이며 용도면에서도 일반적인 건축용소재로 쓰이고 있고, 본 연구의 가장 큰 문제점인 소나무는 거의 없는 관계로 침엽수관련 소성가공에 관한 기술적측면에서의 연구는 많이 부족하지만, 그 원리와 기구해석에 관한 연구결과가 많이 축적되어 있어 연구과정에서 자문을 얻으면 많은 수익이 생기는 결과가 크게 전망된다고 하겠다.

덴마크의 Compwood(사)에서는 압축재의 휨가공에 대한 기술을 일본의 히다찌(사)와 합작으로 개발하였다. 다만, 압축좌굴된 후의 목재를 사용하는 관계로 강도면에서 문제시되고 있고, 결점없는 통직재만을 사용해야 하는 단점 때문에 구조용재보다는 미적감각을 살린 공예용재로서 주로 이용되고 있다.

독일의 토넷(사)에서는 19세기중반부터 너도밤나무를 이용한 곡목의자를 지금까지 지속적으로 생산해 오고 있으며, 휨가공성능이 매우 뛰어난 너도밤나무의 재질을 적절하게 이용한 예로서, 수증기스팀처리만으로도 휘 수 있다는 재질특성에 기인하지만, 너도밤나무 이외의 다른 목재에서는 적용할 수가 없는 것이 단점이라고 할 수

있다. 따라서 본 연구과제가 수행될 경우에 침엽수재의 유효활용에 관한 기술 확립 뿐만 아니라 생산된 제품의 적용기술 또한 다양화될 수 있기에 향후 침엽수재의 활용이 보다 폭넓게 이루어질 수 있을 것으로 생각된다.

제 1절. 기존의 곡목가공법

목재를 소재로 한 휨가공법은 19세기 중엽부터 오스트리아의 마이클 토네에 의해 본격적으로 개발이 시작되었으며, 현재까지 다양한 방법에 의한 휨가공법이 개발되어 있으며, 간략히 다음과 같이 분류할 수 있다.

1. 증자곡목법

목재의 증자처리는 고온에서 연화와 과도한 흡습이 되지 않기 때문에 어느 정도 약화되거나 재색의 손상이 적으며, 후건조를 용이하게 하는 장점이 있어 소재곡가공(solid wood bending)으로 가장 많이 이용되고 있다.

증자곡목(steam bending)의 성공여부는 수종의 선택, 증자시간, 휨과 고정(setting) 방법 등에 달려 있다. 곡률반경은 폭로 조건과 사용중에 억제 조건에 따른 시간 경과에 따라 변한다. 여기에는 저압법과 고압법이 있다.

연화와 소성처리한 목재는 횡단면가압(end pressure)의 적용 여부에 관계없이 가능하다. 무압곡목법(free bending)은 탄성한계까지 가능하며, 목재 두께의 100~300배 정도의 곡률반경을 얻게 되는 약한 곡목가공법이다.

가소화는 목재가 신장되는 능력이 증가되는 것이 아니기 때문에 대부분 곡목가공에서는 블록부의 파단을 막기 위해 인장응력을 제약하는 횡단면가압이 요구된다. 이러한 횡단면가압은 고정, 또는 조정 가능한 횡단면 정지대(end stop)를 적용한다. 약한 압판곡목(platen bends)의 경우는 예외이지만 정지대는 목재 블록면의 길이를 따라 금속 대철(metal strap)에 붙어 있다.

대철은 곡목가공 중에 원래 길이를 유지할 수 있도록 강해야 한다. 목재는 모든 횡단면 압력이 블록부에 가해질 수 있도록 횡단면 두께 중앙에 10. 경사를 오목부 쪽으로 두는 것이 바람직하다.

고정 횡단면 정지대(fixed end stop)가 가장 일반적이고 목재는 양쪽 정지대 사이에 딱 맞아야 한다. 만약 길이가 짧으면 인장파단이 일어난다. 조정 횡단면 정지대(adjustable end stop)는 수곡목에서 흔히 적용된다.

가. 저압법

1) 재료

건전재로서 약 3개월간 천연건조하여 적당한 함수율에 도달한 것을 선정한다. 벌채 후 1년 정도 지난 것은 과건조되어 있으므로 일단 침수하여 흡수시킨다. 침수시간은 2.5cm 각재에 1일 정도이다.

2) 증자

불완전 밀폐형의 증자조를 사용하여 습윤증기로 증자하여 외부에서 유입된 증기가 고압의 건조증기일 때는 증자조 외부의 물을 통과시켜 습윤증기로 바꾸도록 한다.

증기압은 상압으로서 온도는 100℃이며, 증자시간은 활엽수 2.5cm 각재에 대해 약 45분이 표준이다. 이러한 조건에서 폭로는 가소화가 가장 쉽고 고루 가열되며, 함수율의 변화를 줄여 주고 저렴한 방법이다. 증기압을 높이면 가소성은 증대하나 실용상 1기압을 초과하는 것은 피하는 것이 좋다. 과도한 증자는 지나친 연화로 인하여 압축 주름이 생기 쉽고, 또한 흡습되면 후건조가 곤란해 진다. 그러나 증자 부족은 軟化 불충분을 초래하여 휨 가공 저항이 크고, 또한 외주부에 열개되기 쉽다. 이와 같이 증자의 과부족은 곡가공시 파손을 수반하므로 유의해야 한다.

레드 오크材는 3시간까지 증자처리는 목재의 pH에 미치는 영향이 거의 없고, 재색이 담색을 유지하였으며, 건조 수축률이 약간 감소되었다. 3시간 이상 처리에서는 수축률의 증가, pH 감소, 화학성분과 물리적 형태의 변화, 농색으로 변색되었으나, 이들의 변화는 가구와 운동용 곡목부품에 별 영향을 끼치지 않았다.

3) 손작업에 의한 휨가공

단면이 작은 재료를 수곡가공(hand bending)하는 방법으로서, 미리 정해진 곡률을 가진 자용치구를 이용하는 방법, 한 쪽만 목재, 또는 금속제 치구 및 형틀을 이용하는 방법, 인장축의 파손을 방지하기 위하여 대철을 이용하는 방법 등이 있다.

증자처리한 목재를 냉각되지 않도록 마포에 싸서 운반하며 표면의 수분증발이 심한 경우는 수조간 열탕중에 침지한다. 지팡이와 같이 간단한 것은 대판상에 고정된 끼움못을 지점으로 해서 휘면 된다. 목재의 수 부위를 내측에 배치하고 내형(form), 피곡목재와 대철의 일단을 클램프로 조이고, 다음에 피곡목재와 대철의 타단을 클램프로 조인 후 서서히 내형에 따라 휘면서 적당한 부위를 내형과 함께 클램프로 조여 나가서 전체를 휘게 한다. 대철은 두께 1mm정도의 경강, 또는 1mm 이상의 연강을 사용한다. 철분 때문에 탄닌을 함유한 수종은 접촉면이 자흑색으로 변색된다. 그 대

책으로 대철과 목재의 중간에 patron지, 또는 알루미늄 합금의 박판을 삽입하는 것이 좋다.

내형은 주로 주철제이며 피곡목재의 단면 형상에 맞도록 안정된 형으로 한다. 원형윤상의 곡목내형으로서 일원주보다 약간 긴 나선상으로 되어 있다. 피곡목재는 이것에 의해 일단 나선상으로 휘고, 다음에 양단은 경사접한다. S자형의 곡목은 2개의 호상의 내형을 결합하여 만들 수 있으며, 3차원 구조의 복잡한 형은 단순한 여러 가지 형을 여러 개 조합하여 사용하는 것이 좋다. 작업자는 가공중에 야기되는 어떤 부위의 과도한 압축, 뒤틀림과 좌굴이 일어나는 것을 막고, 또한 인장 파단을 예방하면서 충분한 압력을 유지하도록 횡단면 가압량을 조정한다.

4) 기계에 의한 휨가공

양산의 경우는 여러 가지 휨가공기계에 의해 강력 신속하게 제작한다. 휨가공 기계는 제품의 종류, 형상 등에 따라 형식, 구조, 구동, 방식에 차이는 있지만, 기능적으로는 주로 Thonet법과 같이 목재와 인장대철을 일체로 하여 증자해서 휘는 방법이다.

회전식 곡목기계는 대철을 사용하여 대철의 외측에 롤러를 밀착시키고, 내형을 회전판 위에서 회전시켜 휘는 방식으로 가장 일반적으로 사용되는 기계이다.

삽입식 곡목기계는 구가 있는 곡형의 일단으로부터 증자한 피곡목재를 삽입하는 방식이다. 이것은 작은 각봉, 또는 환봉의 선단만을 크게 휘는 데 사용되고 있다.

레버식 곡목기계는 고정된 원호상의 內型의 중앙부에 대철을 병용한 피곡목재의 중앙부를 고정하고, 대철의 외측에 밀접하는 레버를 미끌려서 曲木을 하는 방식으로 주로 두꺼운 材를 강인하게 휘는 데 사용된다.

이 외에 대철을 이용한 프레스 병용식 등 여러 가지장치가 고안되었지만, 깊이가 얇은 U자형의 두꺼운 곡목은 凹型和 凸型の 사이에서 휘는 프레스식 곡목기계를 사용하는 것이 좋으며, 이때는 대철을 사용하지 않는 것이 보통이다.

5) 곡목고정과 후건조

곡가공 작업이 끝나면 가공시 생긴 내부응력 때문에 영구변형될 때까지 억제하지 않으면 탄성 회복하게 된다. 따라서 고정(setting)도 도모할 겸 건조시킨다.

가열에 의한 영향과 장시간 치구에 방치하기 때문에 목재는 냉각되어야 하고 전체 함수율이 거의 균일하게 이용함수율이 될 때까지 고정시킨다.

고정실(setting room) 조건은 두께, 수종과 요구되는 함수율의 변화에 다르며, 단

순한 건조 저목으로부터 온습도가 제어되는 조건도 요구된다. 또한 곡목의 양단 사이에 거리도 조절되어야 한다. 고정중에 오목부의 압축과단은 일반적인 축방향수축률의 경우보다 더 크게 발생할 수 있다. 만약 거리를 조정하지 않으면 블록부에 인장응력이 유도되고 뒤틀림과 파단을 일으키게 된다. 곡목은 억제에 의해 더 이상 압력이 나타나지 않을 때 영구 변형된다. 곡가공을 마친 것은 인장과단을 막기 위하여 형틀에 넣는 그대로 건조하게 되는데 습윤가열 공기건조법이 이상적이지만, 일반적으로 열기건조법을 적용하고 있다. 이것은 연관, 또는 증기관에 의해 열기를 보낼 수 있고, 벽면의 상부에는 배기구를 설치하고, 그의 개폐에 의해 습도를 조절하는 건조실이다.

후건조시 최고 온도는 80~130℃, 건조시간 10~12시간이 적당하며, 마무리 함수율은 10% 이하가 바람직하다. 건조가 급격하면 곡목의 표면에 균열이 생기고, 건조가 과도하면 표면이 경화되어 휨가공 완료 후의 마무리 절삭이 곤란하다. 또한 고정과 건조 부족시는 형틀에서 떼어 낸 직후에 휨이 되어 돌아가는 복원현상(spring back)이 발생한다.

6) 마무리 절삭

일반적으로 포삭용 手공구를 사용하여 마무리 절삭을 행하고 있지만,사포연마도 사용하고 있다. 마무리 기계로서는 세이퍼, 루우터 목공선반과 환봉샌더, 곡면 샌더 등 각종 연마기들이 그 형상에 맞추어 사용되고 있다. 건조한 곡목의 표면이 경화되어 있어도 물이 마르면 휨이 회복되어진다. 같은 이유에 의해 도장할 경우에 수성착색제, 또는 수성 눈막음제(目止劑)의 사용을 피한다

나. 고압법

고압법은 밀폐시킨 철제 원통형의 증자조에서 증기압력 0.35kgf/cm²정도로 높여서 증자하는 방법이다. 온도는 증기압에 비례하여 104.4℃ 정도 상승하기 때문에 가소성이 증대하며, 연화속도는 증기압의 3승에 비례하여 연화 시간을 단축시킬 수 있어 두꺼운 목재에도 접합하다.

증자시간은 활엽수 2.5cm 각재의 경우 3기압과 30분 정도, 대형재이면 6~7기압과 40~50분 정도가 표준이다. 증자조는 입구를 개폐할 때마다 기압이 저하되어 비경제적임으로 소형의 것을 여러 개 사용하는 것이 좋다. 곡목공정은 저압법에 준한다.

2. 자비 곡목법

자비곡목법은 증자 대신 자비하는 것이므로 온도는 100℃ 이하의 비교적 저온이며, 자비온도는 80℃ 이상이 유효하고 40℃ 이하에서는 거의 효과가 없다. 방법은 매우 간단하므로 소형의 곡목, 휨 정도가 작은 것, 국부적으로 약간 곡목을 하는 경우 등에 적용된다. 다만 증자에 비해 연화에 필요한 열과 수분을 신속히 목재에 줄 수 있으나, 목재의 추출물이 추출되어 오염, 또는 재색을 손상시키고, 과도 연화되기 쉬우며 과도한 연화는 재질의 포약화, 수분경사의 증대와 과도한 흡수로 후건조를 어렵게 한다.

증비조는 철제 원통형(직경 30cm, 높이 1~1.5m 정도)으로 위에서 바닥에이르는 증기관을 넣고 열탕할 수 있게 되어 있다. 자비시간은 활엽수 2.5cm 각재에 60~100분 정도이다. 섬유포화점 이상에서 함수율이 약 30%가 되기까지의 침지시간이 적당하다. 곡가공 공정은 자비곡목법에 준하지만, 간단한 것은 대철을 사용하지 않는다.

3. 가열곡목법

가열에는 직화가열법, 열판가열법, 고주파가열법 등이 있다. 어느 방법도 곡목과 동시에 건조도 되기 때문에 휨의 회복이 적은 특색이 있다. 그러나 급격한 가열이 표면경화나 표면탄화를 일으키기 쉬운 결점도 있다. 가열곡목법은 휨이 적은 박판의 곡목에 적합한 것으로 피곡목재는 미리 마무리 치수까지 절삭하고, 곡목 후에 마무리 절삭을 하지 않는 것이 보통이다.

가. 직화가열법

숯불 또는 가스불 등으로 곡면의 내측을 달구어서 휘는 것이 가능하면, 내외측 모두 달구어서 전체를 가열하여 휘는 것이 나중에 뒤틀림이 적다. 특별한 경우로서 둥근 등나무나 대나무를 휘는 것은 내형을 사용하여 곡면의 내측을 일부분씩 가열하여 서서히 휘 수 있다. 이 때 마디 부분은 많이 가열하고, 절간은 여열로 가온하는 정도로 가열하면, 전체가 매끈하게 휘어지며 절간이 붕괴되어 단면이 불정원으로 되는 경우가 적다.

나. 열판곡목법

열판곡목법(platen bending)은 凹型和 凸型 2개의 열판 사이에 피곡목재를 끼워서 가열하여 서서히 휘는 방법이다. 열판은 그 내부를 탄화, 전열, 증기 등의 열원에 의해 가온된다. 여기에는 요형의 열판을 사용하여 편면만 가열하여 휘는 방법도 있지만, 편면가열은 후에 비틀리기 쉬운 결점이 있다.

다. 고주파가열법

고주파가열기계에 의해 가열하는 방법으로서 여기에는 회전식 곡목기계, 삽입식 곡목기계, 프레스식 곡목기계 등을 병용하고 있다. 어느 것도 2개의 전극을 적당히 배치하면 좋다.

고주파가열법은 두꺼운 재료도 내부까지 쉽게 가열되는 특색이 있다. 고주파에 의한 열 발생은 함수율에 비례하고 수낭에 더 국한된다. Turner 등은 유럽산 너도밤나무, 느릅나무, 레드 메이플, 학코리 변재는 결점 없이 가열되었으나, 물푸레나무, 흑호도나무, 참나무, 학코리 심재는 결점이 생겼다.

4. 거단곡목법

거단곡목가공(Kerf bending)은 판재를 휘기 위해 곡면의 내측에 많은 톱자국을 내어 휘는 방법이다. 곡면의 외측은 두께 1.6mm 정도가 남기는 정도로 거단되어, 전체적으로 약하기 때문에 장식용에 국한된다. 이를 보강하기 위해 접착제를 병용하거나, 또는 단판을 내측에 붙인다.

5. 적층곡목법

얇은 단판의 목리를 동일 방향으로 적재하여 접착과 만곡시키는 것을 적층곡목가공(laminated bending)이라고 부른다. 곡선 거단과 한쌍의 평거단에 의해 만든 한 도막으로 형성된 몰드를 샌드위치 몰드(sandwich mould)라 부르며, 이것은 서랍 손잡이, 옷걸이, 샐러드 쟁반과 같은 단순한 형을 만드는 데 사용한다.

적층용 재료는 통직목리가 적당하며 비가소화 목재도 어떤 한계내에서 가공할 수 있고, 증자곡목용으로 부적절한 수종일지라도 예리하게 곡목할 수 있고 가변 적층기

(variable laminator)에 의해 가공된다. 샌드위치 몰드는 큰 곡률반경의 소형제품에 적당하나, 많은 곡면이 요구되는 제품 가공에는 적당치 않다. 접착제를 도포한 얇은 단판을 다수 적층하고, 곡면 형틀 사이에 끼워 넣어서 압착 접착하여 곡목하는 방법이다.

적층곡목법은 무응력부위에서 제한된 목재 결점의 허용, 단판을 맞추어서 적층이 가능하고, 소재보다 더 큰 구조물로 곡목하기 쉬우며, 건조결함 예방을 위한 전건조재의 이용 등의 이점이 있는 반면에, 소재곡재의 경우보다 접착비용이 부가되고 재료의 세심한 주의와 가공 비용이 더 요구된다.

적층곡목재(laminated bend wood)는 구조용과 비구조용으로 쓰이며, 가구와 운동용품에서는 일반적으로 두께 3.2mm 단판이 사용된다. 접착제 도포 후에 성형된凹형과凸형 사이에서 가공되고, 접착제 경화를 촉진코저 할 때에 가열한다. 약한 곡목용 프레스는 평판 합판 제조용과 유사한 다단 공간을 가지지만, 더욱 예리한 곡목은 수압(유압) 프레스에 의해 성형된다. Stevens 등은 곡률반경 대 적층재 두께의 비율은 재료 두께가 증가함에 따라 커지고, 6.35mm 단판곡목으로부터 얻은 결과에 보정 곱수 9/4를 적용하였다. 두께 25.4mm까지의 재료에 대해 곡률반경 대 두께 비율은 rock elm은 70이고, 화이트 오크는 100이었다. 이 비율은 불량한 재료, 또는 두께 25.4mm 이상의 재료에서는 수정되어야 한다. 적층곡목은 증자곡목보다 강하고 강성이 크다. 압축과단이 일어나지 않고 원하는 곡률까지 가공한 목재에서도 강도 손실이 없을 만한 충분한 탄성을 갖는다. 구조부재의 고응력 부위에는 간한 수종의 재료, 저응력 부위에는 저강도, 또는 저급 재료를 배치하며 강도 증대를 기할 수 있다. 적층거단곡목법은 목재의 선단을 수층으로 종삭하고, 그 부분에 곡형을 대어서 압착 접착하는 것이다. 이 경우 거단 홈에 다른 단판을 삽입하여 전체의 두께 감소를 방지하기도 한다.

6. 약품처리곡목법

화학약품을 사용하여 목재를 연화하는 방법으로 증자처리나 자비처리로는 곡가공이 혼란한 제품, 또는 극도로 작은 곡률까지 휘어야 할 경우 얇은 재료를 이용하고 있다.

종래 시험되고 있는 약제로는 명반, 석검액(비누-가성소다액), 케로신, 암모니아,

요소, 요소포르말린, 탄닌산, 글리세린, 케로신글리세린 등이 단독 또는 병용해서 사용되고 있다.

가. 암모니아

목재는 액체 또는 기체 암모니아(NH_3) 속에 넣어서 가소화시킬 수 있다. 무수암모니아는 약150psi 압력으로 탱크내 액체로 거래되는 약제로서, 가정용 제품으로 사용되는 암모니아 수용액과 구별된다. 대기압에서 -33°C 에서 끓고, -78°C 에서 언다.

목재는 암모니아와 물 수축 가이에 일부 뚜렷한 유사점이 있다. 암모니아는 물보다 셀룰로오스 성분에 잘 침투하고 리그닌을 가소화한다. Schuerch에 의하면 모든 수종은 액체 암모니아 속에 침지하면 가소화되고, 고밀도 활엽수의 통직목리재는 성공적으로 곡목가공이 가능하다. 무수암모니아는 세포벽질 속에 침투하여 분산 π 외어 분자간의 수소결합을 파괴하고, 외력이 작용하면 쉽게 분자를 미끄러지게 한다. 단판에 처리하면 단판은 젖은 가죽처럼 유연해진다.

암모니아는 먼저 세포내강으로 주입된 다음, 농도경사에 의해 세포벽 속으로 확산되어 들어가 평형상태에 도달한다. 목재 속의 암모니아 농도는 암모니아의 비점(-33°C) 이하로 냉각시키거나, 압력 $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도에서 빨리 압축시키면 응축되어 농도가 높아지고 휨 작용을 돕는다. 목재는 암모니아가 존재하는 동안 유연성을 띤다.

액체 암모니아를 충분히 처리한 유해 실온까지 전환하면 얇은 목재는 유연하여 장갑 낀 손으로도 쉽게 조작할 수 있고, 최대 가소성은 8~30분간 지속된다. 처리목재를 구분간 손 또는 꺾쇠로 고정하면 극단적인 곡목으로 유지된다. 암모니아 처리 곡목은 증자 곡목에 비교하면 함수율의 변화에 따른 형상의 변화가 훨씬 적다. 암모니아 휨목재는 온수 속이나 습윤과 건조 주기 속에서도 안정된다. 두께 3.2mm 단판은 암모니아의 잔존시간이 30분 정도 요구된다. 두께가 두꺼울수록 시간이 길어지므로 비용이 많이 든다. 암모니아 처리는 시설이 단순하지 않고, 또한 목재가 크면 처리가 곤란하다.

Schuerch에 의하면 두께, 폭, 길이가 $3.2 \times 101.6 \times 254.0\text{mm}$ 인 활엽수 목편의 가소화에는 4시간 이상 요구되므로 두꺼운 목재는 짧은 시간 동안 처리를 위하여 목재를 이산화탄소 속에서 모든 공기가 대체될 때까지 전랭동시킨 후에 이산화탄소와 암모니아간의 반응으로 주입을 촉진시킨다. 방부처리에서 전배기와 후가압주입은 가소화를 촉진시킬 수 있으나 고가의 특수 장비가 요구된다. 목재는 암모니아를 기체로서 흡

수하고, 흡수량은 가스의 증기압에 달려 있다. Davidson 등은 경질 단풍나무를 시린 더 전배기 이후 25℃와 압력kgf/cm² 정도에서 처리한 결과 액체암모니아 처리와 같은 가소성을 얻었다. 흡수율은 함수율 20%까지에서 초기함수율에 정비례하였고, 최대 연화는 암모니아 최대 가능 흡수량 이전에 나타났다.

암모니아가스 처리재는 압축되고 고밀화된다. 이러한 재질개량은 고밀도 활엽수재에는 적절치 않으나, 포플러와 오리나무 등은 고밀화 효과를 얻을 수 있다. 암모니아는 다른 약제보다 저렴하고 부식성이 적으며, 습재나 건조재에서 흡수되고 처리 후 잔류 영향이 없다.

나. 기타 가소제

기타 가소제(plasticizer)에 의한 소성 부여는 가끔 증자 또는 비점까지 가열된 액체로 공구 손잡이, 우산과 지팡이 등의 곡부를 가소화시켜 증자곡목법과 같이 고정한다.

몇 가지 연구사례를 보면, Mulphrey는 두께 3.2mm 경질단풍나무와 자작나무 단판을 dimethyl sulfoxide(DMOS)와 염화암모늄의 물 용액(1:1 혼합),또는 DMOS 75部와 수산화암모늄 25部の 용액 처리에 의해 성공적인 가소화를 보고하였는데, 시료는 온도 82.2℃에서 8시간 담근 후 두께 대 반경 비율 1:8로 휘기 전에 2일간 실온에서 건조하였다.

DMOS는 비상한 침투성을 갖는 유기액체이나 인체에 미치는 독물학적 생리적 성질은 더 구명되어야 한다. Peck은 화이트 오크를1.5% 글리세린 용액에 담그고 10 0℃로 가열처리한 결과 곡목 가소화에 충분하지 못하였음을 밝혔다.

7. 관행 곡목제조

목재의 가소화 처리는 아직도 전통적인 증기처리나, 삶는 방법을 쓰고 있다. 재료의 폭은 두께보다 커야 하며, 횡단면은 4각형이어야 하고, 내수성 도포로 엔드코팅(등 coating)을 한다.

치수는 가공손실을 고려하여 3.2~6.4mm 정도의 여척을 둔다. 증자와 자비시간은목재의 두께에 따라 비례하고, 가소화 처리가 끝나고 목재가 건조될 때까지 헐떠는 붙어 둔다.

제 2절. 목재의 휨가공을 위한 전처리 및 가소화

1. 목재의 휨가공

가. 성형가공

목재를 일시적으로 가소화하여 희망하는 임의의 형상으로 성형한 후 성형한 상태에서 재차 원래의 강성이 큰 목재로 회복시킨다. 이러한 목적을 위해서는 예로부터 행하여지고 있는 증자에 의한 휨가공 목재, 포수(飽水) 목재를 마이크로파로 가열 성형하는 방법, 액체암모니아 또는 암모니아 가스에 의한 처리가 이용된다. 이 방법의 특징은 절삭, 접착, 접합에 의한 성형과는 달리 목재섬유의 연속성을 손상시키지 않고 성형가공할 수 있다는 점이다.

나. 압밀화

목재를 가압 압축하므로써 밀도를 증대시켜 강도, 탄성률을 증가시키려는 것으로 압축의 과정에서 목재를 일시적으로 가소화하여 압밀화를 용이하게 하는 것이다. 여기서 목재 표면층만을 압밀화 하면 마모에 대한 저항성을 높일 수 있다. 또 문양을 조각한 금형으로 표면을 압밀화 하면 엠보스 가공을 할 수도 있다. 이와 같은 일시적 가소화에는 함수상태에서의 가열, 암모니아수 침지 등의 방법이 이용된다.

다. 분입체(粉粒體)의 성형

목재파티클 등의 분입체 및 펄프섬유 등을 일정한 형상(대부분의 경우 판상)으로 성형하는 가공으로서 파티클보드의 제조는 여기에 해당한다. 여기에서는 표층의 압밀화가 동시에 행하여진다.

라. 영구적 가소화

목재 중에 적당한 가소제를 가하여 목재의 연화점을 상온 이하로 낮추어 상온 부근에서 유연성이 있는 재료를 얻고자 하는 것이다. 아민을 기체로 하는 불휘발성 팽윤제에 이러한 작용이 있는 것으로 알려져 있으나 실용적으로 몇 가지 해결해야 할 점이 남아있다.

마. 플라스틱화

목재에 적당한 화학처리를 실시하여 열가소성의 플라스틱을 얻고자 하는 것이다.

2. 수분과 열을 이용한 휨가공처리

가. 특징

목재의 가소제로서의 물은 생재시에는 목재에 보편적으로 존재하며 또한 무취, 무해하고 배출에 대해서도 아무런 장애도 없다. 물의 경우에는 가열의 필요는 있으나 목재내부까지 가열하는 시간은 외부에서 가열하는 경우라도 같은 가소화 효과를 얻기 위하여 가소제를 목재 중으로 침투 또는 확산하는데 요하는 시간에 비하여 짧고, 마이크로파를 사용할 경우에는 극히 단시간으로 가능하다. 그러나 수분과 가열에 의한 가소화는 목재실질중의 감습영역을 가소화하는데 불과하므로 형상이 고정된 후에도 수분에 의한 스프링백이 일어나는 수가 있다.

나. 증자에 의한 목재의 휨가공

열수에 침지 또는 고온의 수증기를 사용하여 증자된 목재가 유연성을 갖는다는 사실은 옛부터 알려져 있으며 이러한 성질이 목재의 휨가공에 이용되고 있다.

목재의 강성을 물의 팽윤으로 낮아지고 동시에 최대 변형량이 증대하는데 이 작용은 가열하면 더욱 현저하게 나타난다. 변형성능에 대한 수분과 열의 효과는 압축의 경우에 크고 특히 미약한 압축응력으로도 매우 큰 압축변형이 일어난다.

이에 반해 인장과피변형은 증자 후에도 그렇게 크지 않다. 이 때문에 목재의 휨가공에서는 인장측에 대철(帶鐵)을 사용하여 인장력을 대철에 부담시키고 목재에는 압축응력만을 생기게 하여 구부리는 토네트법(Thonet method)이 통상 사용된다.

일반적으로 온대산의 활엽수재 특히 들메나무류, 단풍나무류, 참나무류, 아까시나무가 구부리기 쉽고 파손되는 일이 적다.

이와 같이 증자에 의하여 연화된 목재는 용이하게 성형(주로 구부러짐)될 수 있으나 성형 후는 원래의 강성이 높은 상태로 되돌릴 필요가 있다. 이 때문에 성형한 채로 건조한다. 성형 후 건조는 극히 중요한 공정으로서 단지 목재 중의 수분을 제거할 뿐 아니라 스프링백을 방지하기 위해서도 필요하다. 스프링백을 방지하기 위해서

는 성형된 채로 함수율을 10% 이하로까지 낮출 필요가 있다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 목재의 휨가공 공정은 drying set에 의한 것이므로 강도의 건습반복이나 흡수에 의하여 원상을 회복하므로 주의를 필요로 한다.

다. 마이크로파를 이용한 목재의 휨가공

최근 마이크로파를 이용한 목재의 휨가공법이 개발되었다.

포수목재의 변형과정에서 2350MHz의 마이크로파를 조사하므로써 재내 온도가 단시간에 급격히 상승하고 수분이 항상 비평형 상태로 보유되어 휨가공시에 최대응력이 작용하는 재표층부의 함수율이 내부에 비하여 높게 되는 등 목재가 소성변형하기 쉬운 조건이 완전히 만족되므로 종래의 증자에 의한 휨가공법에 비교하여 시간이 단축되며 작은 곡률 반경으로까지 구부릴 수 있다.

가공의 예를 들면 두께 1cm의 포수재를 1~2분간 마이크로파로 가열시킨 후 꺼집어 내어 대철을 대지 않고 형에 따라 구부릴 수 있다. 아까시나무나 테다소나무에서는 1회의 조작으로 곡률 반경 3cm까지 구부릴 수 있다.

휨가공 형틀의 곡률 반경을 차츰 작게 하면서 상기의 조작을 되풀이하면 많은 수종에서 수회의 조작으로 곡률 반경 3~7cm까지 구부릴 수 있다. 이 경우에도 압축측에는 거의 주름이 확인되지 않는 것으로 보고되고 있다.

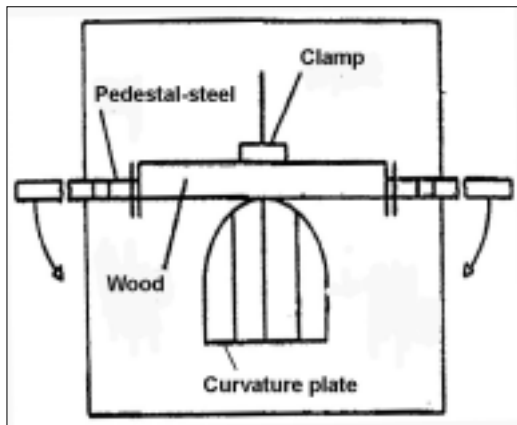


그림 1. 대철을 이용한 휨가공용 장치(소원택)

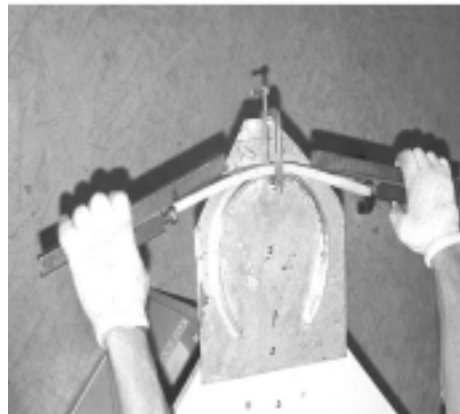


그림 2. 대철을 이용한 목재의 휨가공 모습

라. 파티클보드

파티클보드는 파티클(목재소편)에 결합제를 스프레이로 도포하고 열압 성형시킨 판상재료이다. 제조과정 가운데 압체 중의 매트내 파티클의 거동은 목재의 소성변형 즉 건조과정 중의 부하에 의한 변형과 drying set가 조합된 것이다. 따라서 원료 파티클 중에는 어느 정도의 수분이 함유되어 있지 않으면 않되는데 통상 결합제의 용제로서 함유되는 수분에 의하여 첨가된다.

공정 중 압체의 초기에는 성형된 매트 중에서의 파티클의 미끄럼 운동, 재배열, 만곡 등에 의하여 먼저 파티클 상호간의 공극이 채워진다. 더욱이 온도, 함수율, 함수율의 감소속도 등의 조건이 갖추어진 경우에는 주로 파티클의 횡압축의 소성적인 변형에 의한 압밀화가 진행된다. 최종적으로는 각각의 상태에서 drying set와 결합제의 경화에 의하여 고정된다.

파티클보드 제조시의 압체압은 최고 20~30kg/cm²에 달하나 압체 중의 시기에 따라 압체압이 변하고 매트 두께 방향에서의 파티클의 온도, 함수율도 다르므로 각각의 시점에서 매트 중의 각 부분은 조건에 따라 변형된다. 열판에 가까운 양표층은 압체압이 높은 단계에서 함수율 및 온도가 높고 함수율의 감소속도도 크므로 급속히 또 현저하게 소성변형한다. 그리하여 파티클보드의 표층부근에 밀도가 높은 층이 생긴다. 이에 반해 중심층 부근은 소성변형하기 쉬운 조건이 충분히 갖추어져 있지 않으므로 압밀화되지 않는다. 이와 같은 이유에서 보드의 두께방향의 밀도분포 및 재질은 원료의 종류(수종, 형상 등)와 성질 외에 매트중의 함수율 분포, 압체속도, 압체압, 온도에 의하여 결정된다.

이와 같은 보드 형성의 기구로부터 파티클보드가 흡수할 때 소재에 비하여 두께방향으로 현저히 팽창하는 것은 drying set 된 파티클이 수분에 의하여 원상을 회복하기 때문임을 알 수 있다.

3. 암모니아를 이용한 휨가공 처리

가. 특징

목재에 대한 가소제로서의 물과 암모니아를 비교하면 암모니아는 특히 리그닌과 친화성이 강하고 상온에서도 가소화 효과가 현저하다. 또 목질실질중의 감습영역 이외에서 변형이 고정되는 것으로 생각되므로 성형 후에도 수분에 대하여 안정하다.

목재에 대한 팽윤효과가 큰 피리딘, 페놀, 모르포린 등을 가소제로서 사용한 시도도 있으나 암모니아는 이들 약제와 비교하여 저렴하며 처리 후에도 제거하기 쉽다. 그러나 자극성과 취기가 강하므로 폐쇄계에서의 처리조작이 필요하다.

나. 액체암모니아에 의한 가소화

액체암모니아가 목재나 목질섬유를 현저히 팽윤, 연화시키는 현상을 목재의 소성 가공에 응용한 것이다.

암모니아의 액화온도(-33℃)이하로 냉각된 액체암모니아조에 기건 또는 전건목재를 침지하거나 목재를 처리부에 넣어 냉각, 감압시킨 후에 액체암모니아를 주입한다. 목재 중에 액체암모니아를 충분히 침투시킨 후 꺼집어 내어 성형 가공한다. 목재 중으로의 액체암모니아의 침투를 촉진하기 위해서는 세포내강 중의 공기를 암모니아가스 혹은 탄산가스로 치환시킨다. 약 3mm 두께의 단판에서는 4시간의 침지로 휨가공에 충분한 가소화가 얻어지며 하룻밤 방치해 두면 소성이 더욱 향상된다. 액체암모니아조에서 꺼집어 낸 목재의 변형이 용이한 시간은 실온에서 8~30분이다.

이 방법이 증자에 의한 소성가공과 비교하여 우수한 점은 ① 곡률반경을 작게 할 수 있다. ② 변형에 요하는 힘이 적게 든다. ③ 파손율이 적다. ④건습의 반복에 대하여 스프링백이 거의 없다. ⑤ 대부분의 수종에 적용할 수 있다는 점이다.

일반적으로 증자로서 휨가공이 쉬운 수종이 액체암모니아에 의한 휨가공에서도 적합하다. 이 처리에서는 세포벽이 극도로 연화되어 있으므로 암모니아를 휘산시킬 때에 세포의 찌그러짐(collapse)이 생겨 원래 치수의 수 % 내지 30% 까지 수축되는 일이 있다. 이와 같은 수축을 방지하기 위하여 액체암모니아 중에 불휘발성의 팽윤제를 첨가하는 방법이 고려되고 있다. 예를 들면 첨가제로서 폴리에틸렌글리콜 등이 효과적으로 가소화의 효과를 방해하지 않고 수축을 방지할 수 있다.

다. 암모니아 가스에 의한 가소화

액체암모니아는 저온에서 취급할 필요가 있으나 암모니아 가스를 사용하면 상온에서 처리할 수 있고 액체암모니아 처리와 같은 가소화 효과를 얻을 수 있다.

목재 중의 암모니아가스의 확산, 침투는 전건재보다도 기건재 쪽이 빠르므로 함유율 10~20%의 목재를 사용하는 쪽이 효과적이다. 0.3~2cm 두께의 기건재를 처리부에 넣고 배기시킨 후 포화암모니아가스(26℃에서 약 10기압, 5℃에서 약 5기압)를 도

입한다. 판의 두께에 따라 2~6시간 처리하면 골울반경/판의 두께가 거의 4가 되도록 까지 구부릴 수 있다. 암모니아가스는 액체암모니아와 달리 세포내강에 잔류하는 일이 없으므로 소량으로도 처리가 가능하다.

라. 암모니아수를 이용한 압밀화

목재를 섬유와 직각방향으로 열압하여 밀도를 높이므로써 재질을 개량시킬 수 있다. 이하 같은 압밀화에 있어서는 우선 목재를 암모니아수에 침지하여 가소화하는 것이 효과적이다. 여기서 일정한 부하에 의하여 소정의 압체율을 얻으려면 암모니아수의 농도가 높을수록 침지시간이 짧아진다.

비중 0.63인 목재를 판 두께에 따라 시간을 변화시키면서 25% 암모니아수에 침지, 연화하여 80kg/cm²의 압력으로 압체하면 거의 1/2까지 압축할 수 있으며, 3분간 압체한 후 하중을 제거하면 비중 1.2~1.3의 압축재가 얻어진다. 또한 축을 사용하면 곡면으로도 성형이 가능하다. 이러한 처리에 의하여 섬유방향의 열률은 처리전의 약 2.6배, 섬유직각방향의 열률은 약 4배가 된다. 강도도 인장이 4280kg/cm², 압축이 1730kg/cm², 곡강도가 2810kg/cm² 인 재료가 얻어진다.

또 목재섬유나 톱밥을 20% 암모니아수에 침지한 후 190~200℃, 40~50kg/cm²의 압력으로 10분간 열압하면 접착제 없이도 비중 0.9~1.1의 보드를 제조할 수 있다.

제 3 장. 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절. 소나무재의 휨가공성에 미치는 섬유경사각의 영향

1. 서론

목재소재를 이용한 휨가공법의 활용분야로서 가구, 운동용구, 악기 등의 곡선부재나 선박, 건축내장재로 사용하는 구조용재의 제조 등이 있으며, 매우 넓은 분야에서 활용되고 있다. 목재관련업계에서는 대표적인 공예적 이용방법으로서 의자 등받이부분, 다리부분, 소파나 침대 목부장식부재로 이용을 하기위해 곡선부재의 제작 등에 이용되고 있고, 이러한 모든 곡선부재의 제작기법은 토네법에 의한 가공기법이 주된 방법이라 할 수 있다(石井 등, 1995).

본 연구는 전보(정 등, 1999)에 이어 휨가공을 용이하게 할 수 있는 방법모색으로서, 섬유경사각을 변화시킨 경우에 휨성능의 변화를 관찰하고자 하였다. 지금까지의 연구결과를 정리해 볼 때, 쉽게 휨가공하는 방법의 하나로서 먼저 수작업으로 휨가공을 함에 있어서 휨작용에 대한 목재의 저항이 큰 문제가 되기 때문에 목재고유 저항값인 탄성계수를 감소시키는 시험편의 제작방법을 생각해 보았다. 이것은 섬유경사각이 커질수록 휨탄성계수가 작아진다는 연구결과에 따른 것이다(Meylan, 1968, Walker 등, 1995).

휨가공법을 처음 이용한 토네(Michael Thonet ; 오스트리아, 1796-1871)는 1819년에 라인강가에 있는 보파드(Boppard)의 작은 마을에 가구공장을 설립하여, 1830년경에 비테마이어 형태 가구의 일부분을 만드는 한가지 방법으로서, 가볍고도 견고하며 값싼 의자를 개발하는 실험 연구를 하였다. 토네의 의자를 생산하는 공장은 5명의 아들과 함께 1856년에 문을 열었는데, 그는 거주지 주변의 풍부한 너도밤나무를 이용하여 증기처리에 의해 많은 양의 제품을 제작하였다. 다양한 가는 나무줄기로서 휨가공을 실시했지만, 그 중에서 너도밤나무가 활엽수재중에서도 휨가공성이 뛰어난 소재로서 별다른 큰 어려움이 없었던 것으로 알려져 있다. 이러한 수종특성에 대한 평가가 이미 그 당시에 그에 의해 어느 정도 이루어진 것으로 생각된다. 미적인 감각이 뛰어난 그의 가구부재는, 가구분야 뿐만 아니라 건축분야에 있어서도 “디자인

면에서 '토네의 의자'보다 5배나 비싸고 반 정도만 편안하고 4분의 1 정도 아름다운 의자를 만든다면 그는 이 세계에서 가장 뛰어난 디자이너 중의 한사람이다"라고 할 정도로 폴 헨닝스(Poul Henningsen)는 격찬하였다(이, 1988).

한편, 우리나라의 소나무재는 전체 침엽수림의 48%를 차지할 만큼 그 양이 풍부하며, 소경의 통직하지 못한 소나무재라도 휩가공법을 잘 적용만 시킬 수 있다면, 특히 미적 감각을 고려한 공예적 가구용재로서 소나무재의 이용이 이루어진다면 국산 소경재의 부가가치가 제고 된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 목재의 휩가공방법의 조건모색의 첫단계로서 휩가공에 미치는 섬유경사각의 영향도를 조사하였다. 이 연구는 우리나라 주요 침엽수종인 소나무재의 고부가적 이용을 위한 휩가공성에 관한 것으로서, 기초적인 목재조건 중에서도 특히 섬유경사각을 다양하게 설정하여 휩탄성계수의 변이를 관찰하였으며, 휩가공성에 미치는 수종특성과 곡률반경의 변이에 대하여 검토·고찰하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재료 및 실험방법

공시재료는 국산 소나무재의 휩가공성을 위한 기초 실험자료로서 국산 소나무재 (*Pinus densiflora*) 및 물푸레나무재(*Fraxinus rhynchophylla*)를 섬유경사각 0°, 30°, 45°, 60°, 90°로 제작하여 두께 10mm, 폭 20mm, 길이 350mm의 시험편으로 제작하였다. 이렇게 제작된 시험편을 물속에 침지시켜 포수상태로 조정하였다. 이 시험편에 가정용 전자렌지를 이용하여 90초간 고주파 조사를 실시하고, 곡률반경 40, 60, 80, 100mm의 휩가공틀을 이용하여 목재소재의 응력과 변형율의 크기 및 섬유경사각을 변화시킨 기초실험을 수행하였다. 또한 이와는 별도로 기존의 문헌과 자료수집에 의하여 수종특성에 대하여 검토·고찰하였다(則元, 1979; 今村 등, 1982; 소, 1985; Norimoto 등, 1989; 소 등, 1995).

나. 전처리조건의 설정

목재 전처리조건은 목재재료의 휩가공 공정 전의 상태를 말하며, 전처리 조건으로는 목재 섬유경사각을 조절하는 것과 목재 함수율을 적당한 상태로 조절하는 것, 그리고 처리방법 등이 고려된다. 여기서 가열원의 상태는 목재재료를 직화가열, 증기

가열, 고주파로 가열하는 것 또는 암모니아 등의 화학약품으로 처리하는 것 등으로 휩가공하기 전에 처리하는 일련의 제반공정을 말한다(정, 1994). 일반적으로 암모니아와 같은 화학약품에 의한 전처리는 휩가공 후의 재질의 열화를 초래하기 때문에 강도가 요구되는 곳에는 사용하기가 어렵고, 물리가공에 의한 처리는 휩가공성이 어렵기는 하지만 큰 강도를 얻을 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 국산 소나무재를 이용하여 전처리조건을 고주파가열조건, 함수율상태, 섬유경사각의 상태 등으로 나누어 휩가공성의 상태를 평가하였다. 시편의 고주파 조사는 포수재와 자비재 모두 전자렌지(발전주파수 2450MHz)를 사용해 30, 60, 90, 120초씩 각각 고주파를 조사하였다. 함수율은 고주파 조사 후 2분 뒤에 측정하였다. 그리고 고주파를 조사한 시편들은 만능강도시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 이용하여 강도를 측정하였으며, 이때 하중속도 10mm/min로써 휩강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 휩가공 관련 연구사

일반적으로 휩가공 목재로는 활엽수재가 적당하다고 말해지고 있으며, 침엽수재의 경우 목재조직의 구성요소가 단순하면서도 세포벽에 관한 기초지식이 충분히 알려져 있기 때문에 형태변화에 대한 고찰을 한 연구결과도 엇보인다(今村 등, 1982). 또한 휩가공 목재의 조직구조면에서의 연구는 풍부하지는 않지만, 휩응력을 받는 목재의 압축면의 변형에 대해서는 종압축에 의한 세포벽의 파괴를 야기하는 slip plane과 관련한 몇 가지 연구결과도 보고되어 있다. 마이크로파 가열을 이용한 휩가공목재의 조직구조의 변화를 관찰한 今村등(1982)의 연구결과에 의하면, 휩가공목재의 압축면 쪽의 가도관벽에 공시재의 휘기 쉬운 정도나 곡률반경의 차이에 의해 각각 다른 형태의 세포벽 변형이 관찰되었다고 보고하고 있다. 특히 중립면 부근의 가도관벽에서는 2차벽 중층의 마이크로피브릴 배열과 나선상의 융기가 생겨 있으며, 압축측면으로 이행함에 따라 마이크로파가열에 의한 휩가공 목재에 특징적인 융기의 폭과 분포 범위가 증대한다고 보고하고 있다. 또한 마이크로파가열을 이용하면, 세포벽의 매트릭스성분이 연화하여 쉽게 변형하며, 리그닌이 많은 수종일수록 휩가공성이 그렇지 못한 수종에 비하여 뛰어날 것으로 예측하고 있다.

Norimoto(1979, 1982, 1989)에 의하면, 휩가공성이 용이한 수종으로서는 취약한 재

질보다 점성이 있는 활엽수 산공재가 가장 양호하며 침엽수재의 경우에는 압축응력재나 경사지에서 자란 나무나 섬유경사각이 큰 수종이면 쉽게 휘다고 보고하고 있다. 따라서 휨가공용 목재는 취약한 재질의 소재보다 인성이 큰 것이 적당하며 느릅나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무, 단풍나무, 자작나무, 들매나무, 검나무, 물푸레나무, 서어나무, 벗나무, 음나무, 호도나무, 밤나무, 가시나무 등의 활엽수재가 많이 이용되고 있다(정, 1994). 한편 휨가공시 이들 소재에서 결점재는 제외하고 두께가 폭보다 작은 형상으로 가능한 재면을 평활하게 하고 또한 변재가 심재보다 유연하다고 알려져 있다.

휨가공법을 처음 이용한 토네는 거주지주변의 풍부한 너도밤나무를 이용하여 증기처리에 의해 많은 양의 제품을 제작하였다. 다행히 너도밤나무는 활엽수재중에서도 휨가공성이 뛰어난 소재로서 별다른 큰 어려움이 없었던 것으로 알려져 있다. 가구분야뿐만 아니라 건축분야에 있어서도 디자인면에 있어서 토네의 의자이상의 미적감각을 지닌 소재를 개발한다면, 그는 이 세계에서 가장 뛰어난 디자인가 중의 한사람이라고 해도 과언이 아니라는 말이 있을 정도로 목재의 휨가공성에 대한 연구가 다양한 분야에서 약 100여년전부터 행하여져 왔다.

휨가공성에 대한 수종특성을 조사한 결과, 후술하는 바와 같이 휨가공성은 수종특성이 명백하게 존재한다는 사실을 알 수 있었다. 즉, 휨가공할 수 있는 수종과 없는 수종이 있으며, 안되는 수종을 억지로 만드는 것은 시간과 노력만 낭비한다는 것이다. 휨가공성에 미치는 재질특성이 수종 및 연륜구조, 함수율 등 다양한 인자가 있겠지만, 결론적으로 휨가공성을 한마디로 요약한다면 수종선택에 90%, 휘는 기술에 10%의 기술력이 있다고 할만큼 수종선별이 매우 중요하다고 할 수 있다. 휨가공성이 용이한 수종으로서는 취약한 재질보다 점성이 있는 활엽수 산공재가 가장 양호하며, 침엽수재라도 응력재나 경사지에서 자란 나무, 마이크로피브릴 경사각이 큰 수종이면 쉽게 휘다고 하겠다. 따라서 목재재료를 가능한 마이크로피브릴 경사각이 크게 되도록 재료를 제작하여 휨가공을 한다면 보다 쉽게 가공할 수 있을 것이다. 일반적으로 휨가공용 목재는 취약한 재질의 소재보다 인성이 큰 것이 적당하며, 느릅나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무, 단풍나무, 자작나무, 들매나무, 검나무, 물푸레나무, 서어나무, 벗나무, 음나무, 호도나무, 밤나무, 가시나무 등의 활엽수재가 많이 이용된다. 이들 소재를 결점재는 제외하고, 휨가공시 두께가 폭보다 작고, 가능한 재면이 평활한 것이, 변재가 심재보다 좋다. 물푸레나무의 개체내 부위에 있어서 섬유경사각을

0도(섬유방향 시험편)부터 90도(횡단면시험편)까지 5단계로 구분시켜 휨가공한 결과를 표1에 나타내었다. 휨가공은 모든 시험편(함수율 40~50%범위)에서 순조롭게 곡률반경 4, 6, 8, 10cm까지 진행되었으며, 수작업에 소요되는 하중이 섬유경사각이 작을수록 크게 나타나는 경향을 나타냈다.

나. 휨가공성에 미치는 수종특성

본 연구에서는 물푸레나무의 개체 내 부위에 있어서 섬유경사각을 0. (섬유방향 시험편)부터 90. (횡단면 시험편)까지 5단계로 구분시켜 휨가공한 결과를 표1에 나타내었다. 물푸레나무는 잘 휘어지는 수종의 하나로서, 소나무가공을 위한 기초자료로 휨강도 분석을 위한 것으로서, 휨가공은 모든 시험편(함수율 40~50%범위)에서 순조롭게 곡률반경 40, 60, 80, 100mm까지 진행되었으며, 수작업에 소요되는 하중이 섬유경사각이 작을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 표1로부터 주목할만한 사항은 휨탄성계수로서 섬유경사각이 증가할수록 급격하게 저하되는 사실이다. 따라서 휨가공이 용이한 수종은 휨탄성계수가 적은 수종이라 할 수 있으며, 목재 매트릭스 성분과 더불어 탄성계수가 적은 값을 가지는 목재의 범위를 탐색하는 것이 중요하다고 하겠다.

휨가공성에 대한 수종특성을 조사한 결과, 휨가공성은 수종특성이 명백하게 존재한다는 사실을 알 수 있었다. 인장변형율이 큰 활엽수 수종은 대부분 휨가공성이 원활하며 인장변형율이 작은 침엽수수종은 휨가공성이 떨어짐을 알 수 있었다. 휨가공성에 미치는 재질특성이 수종 및 연륜구조, 함수율 등 다양한 인자가 있겠지만 휨가공성을 한마디로 요약한다면 수종선택에 90%, 휨가공 기술에 10%의 기술력이 있다고 할 만큼 수종선택이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 목재재료를 가능한 섬유경사각이 크게 되도록 재료를 제작하여 휨가공을 한다면 보다 쉽게 가공할 수 있을 것이다. 그러나 이 경우, 강도가 요구되는 부재로서의 활용을 고려한다면 지나치게 큰 섬유경사각은 적정하지 못할 것으로 판단되므로, 장식용인지 구조용인지 구분해서 가공해야 할 것이다. 이와 같이 휨가공성의 요점은 첫째 소재선택, 둘째로 가공 기술이라 할 수 있으며 역학적으로 쉽게 합리적으로 될 수 있을 것인가와 휨가공 후 치수안정화를 위한 방안에 대한 연구가 수행되어야 한다.

휨가공이 용이한 수종은 온대산 활엽수-침엽수-남양재순 이었으며, 휨가공이 비교적 어려운 소나무와 같은 침엽수는 2차세포벽의 S₂층의 마이크로피브릴의 경사각,

또는 섬유경사각과 리그닌구조가 휨가공성에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다(Norimoto 등, 1989). 마이크로피브릴의 경사각이 커질수록 세포벽의 강성이 낮아진다는 Cave(1968)와 Walker 등(1995)의 연구결과에 따르면, 마이크로피브릴 경사각이 크면 휨가공이 용이하다고 판단된다. 또 리그닌의 구조가 망상구조인 침엽수는 망상구조가 적고 가교결합이 어려운 선상구조의 활엽수재에 비하여 휨가공성이 어려운 이유로 나타났다. 침엽수재라도 응력재나 미성숙재, 동일수종내에서도 섬유장이 짧은 부위(Hirakawa 등, 1995), 경사지에서 생육한 지표부근의 수간이 흰 상태의 목재 및 비탄성계수가 작은 소재, 세포벽이 두껍고 비중이 큰 조직이 치밀한 수종이 비교적 휨가공이 용이하며, 생장지역에 따라서도 휨가공성이 모두 다른 것으로 조사되었다(Norimoto 등, 1989). Saka(1984)에 의하면 활엽수재 20종의 마이크로피브릴 경사각과 리그닌 함량을 조사한 결과, 마이크로피브릴 경사각의 증가에 비례하여 리그닌 함량이 증가하였다. Cown 등(1991)에 의하면 미성숙재부위의 섬유경사각은 지상고 0m에서는 3도인 것이 지상고가 높아질수록 섬유경사각은 약 6도로 증가하여 지상고 16m 이상에서는 거의 일정한 값을 나타내었다고 보고하였다.

다. 고주파 조사 후 함수율과 휨가공성

그림 1, 2에서는 포수재와 자비재의 고주파 가열 시간에 따른 함수율 감소를 나타내었다.

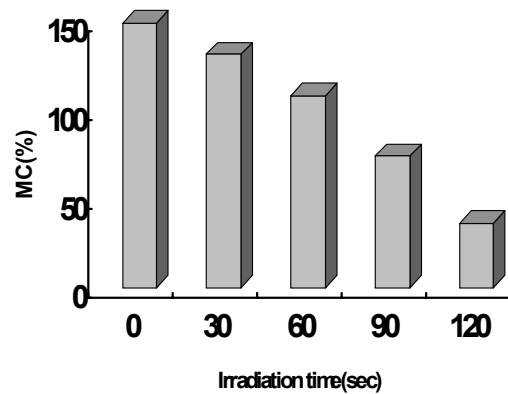


그림 1. 소나무 포수재의 고주파 조사시간과 함수율 변동

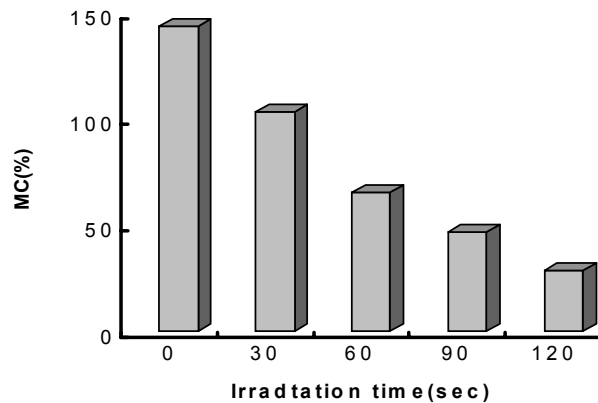


그림 2. 소나무 자비재의 고주파 가열시간과 함수율 변동

여기서 포수재와 자비재의 고주파 가열 시간에 따른 함수율 감소속도는 자비재가 포수재보다 급격하게 나타났다. 이것은 수조의 물온도가 포수재는 상온이고 자비재는 98℃였기 때문에 자비시 시편 내 추출성분의 배출이 포수재보다 많아 고주파 가열시 함수율의 저하가 더 급격히 이루어진 것으로 판단된다.

또한 포수재는 고주파조사시 처리시간이 길수록 급격한 수분증발이 이루어짐을 알 수가 있었고, 90초 이상 고주파 조사시 함수율이 60% 이내로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

자비재의 경우, 90초 이상 고주파조사시 함수율이 40%이하로 포수재보다 더 빠르게 함수율 저하가 일어나는 것으로 관찰되었다. 그리고 포수재는 험가공 연화온도의 급속저하로 가공성이 떨어지는 것으로 판단되었다.

반면, 자비재는 자비시간(60분)동안에 내부온도를 일정하게 유지하게 되고, 고주파 처리로 내부온도는 더욱 상승하게 되어짐으로 포수재보다 험가공성이 뛰어난 것으로 판단되었다. 여기서 고주파조사시간과 시편의 함수율감소와의 상관성 분석 결과, 90초 정도가 시편가열에 적당한 시간으로 생각되었다.

그림 3, 4에는 포수재의 고주파조사시간에 따른 험강도와 험탄성계수의 관계를 나타내었으며, A와 B는 포수재와 기건재에 고주파조사를 하지 않고 험강도와 험탄성계수를 측정된 값이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 고주파 조사 후 험강도와 험탄성계수는 기건재와 포수재간에 현저한 차이가 있음을 알 수 있었다.

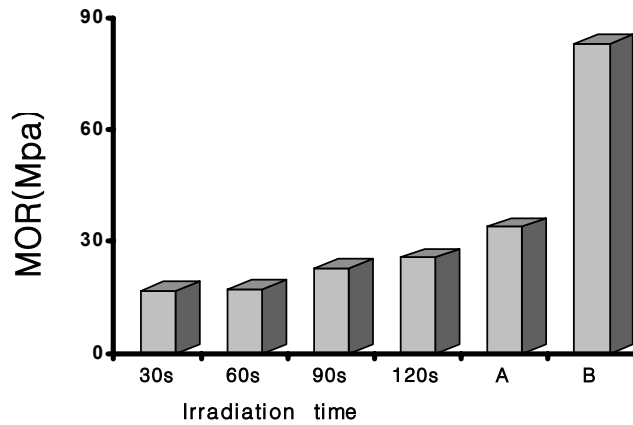


그림 3. 소나무재의 다양한 물리적 전처리 조건과 휨파괴계수의 관계. A : 포수재, B : 기건재

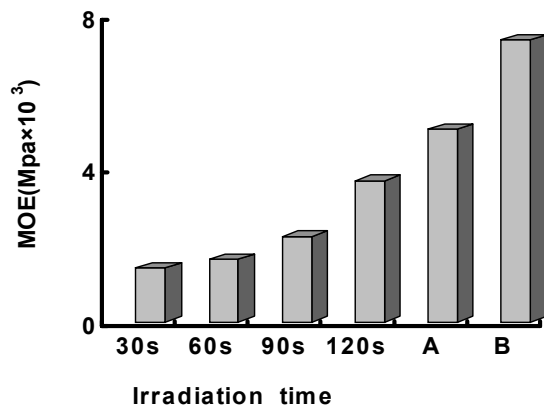


그림 4. 소나무재의 다양한 물리적 전처리 조건과 휨탄성계수와 의 관계. A : 포수재, B : 기건재

목재의 휨가공은 휨강도와 휨탄성계수가 낮을수록, 특히 탄성계수를 비중으로 나눈 비탄성계수가 작을수록 쉽게 이루어졌다(정 등, 1999).

그림 2에서는 고주파조사시간이 90초 이상이 되면 탄성계수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 여기서 휨가공에는 적절한 휨강도와 휨탄성계수 범위가 있다는 것을 알 수 있는데 고주파처리시간이 60~90초 일 때의 휨강도와 탄성계수가 적당하다는

연구결과와 부합된다.(정 등, 1999).

라. 목재조건 및 외부조건에 따른 곡률반경의 변이조사

목재의 휨가공에 있어서 가공 가능한 최소 곡률반경을 알아두는 것이 필요하지만 최소 곡률반경은 목재두께의 몇 배인가를 단정하기는 힘들다.

기존의 연구결과에 의하면 휨가공 소재의 두께와 휨 수 있는 곡률반경은 반비례관계에 있으며 어느 정도 표준값을 나타낼 수 있다고 보고하고 있다(Norimoto 등, 1993). 목재에 충분한 가소성을 부여하여 대철을 이용하면 활엽수의 경우 두께 15mm 일 때 두께의 10배 정도의 반경, 그보다 두꺼운 것은 10배 이상의 반경, 또 그보다 얇은 경우에는 10배 이하의 반경으로 쉽게 휨가공할 수 있다(정, 1994). 침엽수재가 활엽수재에 비해 휨가공성이 어려우며, 대체적으로 실험에 의한 침엽수재의 경우 같은 두께일 경우 활엽수재의 1.5배의 곡률반경으로 나타나며 실용적인 측면에서는 산지별, 수령별, 개체별로 기초자료를 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

표 1. 물푸레나무의 섬유경사각에 따른 휨가공시의 탄성계수의 변동값

섬유경사각 (도)	기건비중	전건비중	휨가공 전 함수율 (%)	휨가공 후 함수율 (%)	탄성계수 (kgf/cm ²)
0	0.886(±0.018)	0.786(±0.017)	49±5	24±2	87190±15781
30	0.903(±0.013)	0.784(±0.022)	47±4	27±3	37816±2841
45	0.894(±0.010)	0.769(0.031)	47±1	27±2	16027±3210
60	0.871(±0.012)	0.758(0.013)	46±5	25±2	10850±6126
90	0.895(±0.026)	0.781(0.054)	48±6	25±4	12849±5112

한편, 정(1994)등은 각 처리별 장단점에 대하여 설명하고 있는데 현재까지의 가공법으로는 증기처리에 의한 휨가공법이 마이클 토네에 의해 처음 시도된 이래 적층 및 거단에 의한 휨가공법이 일반적이며 증자 휨가공법(저압법과 고압법), 자비 휨가공법부터 가열 휨가공법(직화가열, 열관가열, 고주파가열), 거단 휨가공법, 적층 휨가공법, 약품처리 휨가공법에 이르기까지 목적으로 하는 용도에 따라서 다양한 방법이 알려져 있다. 각 방법별 장단점에 대한 구체적인 사항은 문헌에 설명되어있다(정, 1994).

표 2는 물푸레나무의 섬유경사각을 0°, 30°, 45°, 60°, 90°로 구분하고 두께 10mm, 폭 20mm, 길이 300mm로 조정하여 휨가공 곡률반경 40, 60, 80, 100mm인 휨가공 치구를 이용하여 90초 동안 고주파가열한 소재를 휨가공하여 공식 (1)에서 (5)에 의해 얻어진 변형율과 휨강도, 휨탄성계수 값을 나타내었다. 그 결과, 휨가공치구의 곡률이 작을수록 변형율이 크게 나타났으며, 이것은 곡률반경이 작아질수록 큰 변형율이 요구되는 것으로서 휨가공성이 어려워짐을 의미하는 것이다. 물푸레나무의 경우 섬유경사각이 클수록 휨응력이 작은 경향을 나타내고 쉽게 휨 것으로 생각되었지만, 본 연구에서는 섬유경사각에 상관없이 모든 시험편에서 40mm의 곡률로도 무난하게 휨가공이 가능한 것을 알 수 있었다.

한편, 소나무재를 대철로서 휨가공할 때 인장부의 파괴보다는 압축부의 찌그러짐이 더욱 많이 나타났다. 이는 인장 변형율 0상태를 유지하도록 목재의 양단을 완전하게 고정함으로써 인장응력 발생을 최소화하였기 때문이라 생각된다. 그리고 곡률반경 100mm로 휨가공 하였을 때 시편의 중앙으로부터 20mm 이내의 부분에서 1차 압축파괴가 대부분 일어났고 곡률반경 75mm에서는 100mm보다 짧은 지점에서 파괴가 일어났다. 시편의 대부분이 이 지점에서 파괴가 나타나는 것은 이 부분에서 응력집중 현상이 일어나는 것으로 판단되었다. 그리고 휨가공시에 압축부에서 원활한 휨가공이 되지 않고 꺾이는 현상이 나타났다. 이러한 현상들은 수작업에 의한 휨가공에서 휨가공에 요구되는 힘을 고르게 분산시킬 수 없기 때문에 생기는 가공상의 문제로서, 기계적인 가공에 의한 힘의 분산을 통하여 균일한 가공이 가능할 것으로 판단된다.

Table 2. Relationships among grain angle of *Fraxinus rhynchophylla*, change of curvature, and a rate of deformation.

Grain angle(°)	Curvature of tool(mm)	Curvature after bending(mm)	Rate of deformation(%)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
0	40 60 80 100	40 60 84 100	21.9 14.7 14.2 11.0	8.719	about 1/4~1/10 time of MOE
30				3.7816	
45				1.6027	
60				1.085	
90				1.2849	

note) Value of MOR caused from formula (5).

4. 결론

휩가공성에 영향을 주는 수중특성과 섬유경사각에 대해 조사한 결과, 휩가공성은 수중특성이 분명하게 존재하며, 특히 목재 구성요소 중에서 세포벽의 기본요소라 할 수 있는 섬유경사각의 배열상태가 휩가공성을 지배하고 있다는 중요한 단서를 도출하였다. 섬유경사각의 배열상태는 목재의 기초강도와도 직결되어 있으며, 휩응력의 저하를 초래할 수 있는 섬유경사각의 변이가 휩가공의 용이성과 직결되고 있고, 수중에 따라 휩가공이 용이한 수종과 아닌 수종으로 명백하게 구분되고 있는 사실을 확인할 수 있었다.

그러나 강도적인 측면을 고려할 때, 지나치게 큰 섬유경사각은 강도가 약하기 때문에 휩가공재의 용도에 따라 적당한 섬유경사각의 크기가 조정되어야 할 것으로 판단되었다.

지금까지의 연구결과를 종합하여 휩가공 소재들을 적정 함수율 상태, 적정 전처리 조건에 적용시키면 보다 용이한 소성가공이 이루어질 것으로 생각된다.

제 2절. 휨가공을 위한 가공원리

1. 휨가공 목재의 원리

치구를 이용하여 목재를 임의의 곡가공부재로 변형시키는 휨가공법은 목재의 가소성을 이용한 것이다. 목재의 가소성은 수분이 있는 생재쪽이 크지만, 섬유포화점 이상의 세포내강에 존재하는 자유수는 아무 의미가 없기 때문에 섬유포화점부근, 즉 함수율 25~30%일 때 최대의 가소성을 가지며, 현재까지의 연구결과에 의하면 함수율 20%전후가 가장 적당한 것으로 판단되고 있다. 가소성은 수분외에 열을 가하면 현저하게 증가하며, 가열온도는 약 140℃정도가 가장 양호한 연화점이지만, 일반적인 방법은 80℃부터 시작해도 무방한 것으로 알려져 있다.

목재를 휘게 되면, 외측에 인장응력이, 내측에 압축응력이 생기지만 압축의 소성영역은 인장영역에 비하여 매우 크기 때문에 약 1%정도에 불과한 인장변형율을 제한하면서 최대한의 압축변형율을 이용하여 목재를 휘는 것에 주안점이 있다고 하겠다. 목재의 소성부족으로 최대한의 압축변형율을 얻을 수 있는 가공조건이 갖추어져야 하는데, 이것이 바로 수분과 열에 의한 목재의 가소화라 할 수 있다. 특히 열원으로서는 최근에는 단시간의 처리를 목표로 하는 고주파처리 등이 많이 이용되고 있다.

2. 곡률반경과 휨가공법의 종류

목재의 휨가공을 행함에 있어서 휘 수 있는 최소 곡률반경을 알아 두는 것이 필요하지만, 최소 곡률반경은 목재두께의 몇 배인가를 단정할 수는 없다. 기존의 연구결과에 의하면 휨가공소재와 휘 수 있는 곡률반경은 반비례관계에 있으며, 어느정도 표준값을 나타낼 수 있다. 목재에 충분한 가소성을 부여하여 대철을 이용하면, 활엽수의 경우 두께 1.5cm의 경우 두께의 10배 정도의 반경으로, 그보다 두꺼운 것은 10배이상의 반경으로, 또 그보다 얇은 경우에는 10배이하의 반경으로 쉽게 휨가공할 수 있다. 실험에 의한 침엽수재의 경우, 같은 두께일 경우 활엽수재의 1.5배의 곡률반경으로 나타나며 실용적인 측면에서는 산지별, 수령별, 개체별로 기초자료를 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 현재까지의 가공법으로는 증기처리에 의한

휩가공법이 마이클 토네에 의해 처음 시도된 이래, 적층 및 거단에 의한 휩가공법이 일반적이며 다음의 많은 가공법들이 알려져 있다. 별도로 서술하는 구체적인 설명 대신, 방법면에 있어 나열해 보면 다음과 같다. 가장 일반적인 증자 휩가공법(저압법과 고압법), 자비 휩가공법부터 가열 휩가공법(직화가열, 열판가열, 고주파가열), 거단 휩가공법, 적층 휩가공법, 약품처리 휩가공법에 이르기까지 목적으로 하는 용도에 따라서도 다양하게 분류되고 있다고 할 수 있다.

본 연구진에 의한 실험은 소나무 및 물푸레나무를 두께 1cm로 재단하고, 특히 이때 섬유경사각을 다양하게 설정하여 고주파가열에 의한 가열 휩가공법을 이용하였다. 연구결과, 재료전체를 단시간에 가열하는 방법으로서 여러측면에서 장점이 많아, 본 과제에서 개발코자하는 고주파 가열 휩가공기술 개발의 필요성이 더욱 강조되었다.

3. 각종조건에 따른 휩가공성

가. 고주파 조사후 함수율과 휩가공성

포수재와 자비재의 고주파 가열후 함수율 차이를 각각 1절의 그림 1, 2에 나타내었다. 이때 포수재가 자비재 보다 함수율이 높게 나타났다. 이는 포수재가 자비시 세포벽의 팽창 때문에 공극이 줄어들므로서 세포내강에 들어 있던 수분이 빠져나오는 것에서 기인된 것으로 생각되어진다. 또한 포수시 수조온도는 상온이었으나, 자비시 수조의 온도는 98℃로써 시편내 수지성분의 배출이 포수재 보다 많아 고주파 가열시 함수율의 저하가 더 급격히 이루어진 것으로 판단된다.

또한 포수재의 고주파조사시 처리시간이 길수록 급격한 수분증발이 이루어짐을 알 수가 있었고, 90초 이상 고주파 조사시 함수율이 75% 이내로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 자비재의 경우, 90초 이상 고주파조사시 함수율이 50%이하로 내려감을 알 수 있다. 여기서 자비재가 포수재 보다 함수율 경사가 급하다는 것을 알 수 있는데, 이것은 고주파처리 이후 자비재가 포수재보다 더 빠르게 함수율 저하가 일어나는 것으로 판단된다. 또한 포수재는 휩가공 연화온도가 빠르게 저하하기 때문에 가공성이 떨어지는 것으로 판단되어진다. 반면, 자비재는 자비시간(60분)동안에 내부온도를 일정하게 유지하게 되고, 고주파 처리로 내부온도는 더욱 상승하게 되어짐으로 포수재보다 휩가공성이 뛰어난 것으로 판단되었다.

나. 고주파 조사 후 휨강도와 탄성계수

만능강도시험기에서 고주파 조사 후 휨강도와 탄성계수의 변화를 각각 1절의 그림 3, 4에 나타내었다. 기건재의 휨강도·탄성계수와 포수재의 휨강도·탄성계수를 보면 현저한 차이가 있으며, 포수재와 고주파 처리재에서도 강도적인 면에서 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이것은 목재내부의 수분과 온도에 의한 반응으로서 리그닌과 헤미셀룰로오스와 같은 습윤상태의 연화된 매트릭스상태에서 온도를 상승시키면 유리상태에서 고무상태로 이동되기 때문인 것으로 추정되고 있다. 기건재와 포수재, 고주파 처리재의 관계를 보면 목재의 휨강도와 탄성계수가 낮을수록 휨가공이 쉽게 이루어진다. 따라서 휨가공에서 고주파처리에 의한 목재내부 온도상승은 연화에 의해 휨탄성계수에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 그러나 고주파를 30초간 처리한 시편과 120초간 처리한 시편의 휨가공 특성을 보면 고주파를 30초간 처리한 시편은 쉽게 휘기는 하지만, 휨파괴도 쉽게 일어났다.

반면 고주파를 120초간 처리한 시편은 휨가공에 많은 힘이 들기는 하나 쉽게 파괴되지는 않았다. 여기에서 휨가공에는 어느정도의 강도가 필요하다는 것을 알 수 있는데 두께 10mm인 목재의 휨가공을 위한 고주파 처리 시간이 60~90초 일 때의 휨강도와 탄성계수가 적당하다고 판단되었다.

다. 목재조건 및 외부조건에 따른 곡률반경의 변이조사

목재소재를 기건상태에서 휨가공용 시험편을 제작한 후, 시험편 중앙부위 및 좌우로 일정간격으로 표선을 표시하여 휨가공후의 표선간 거리 및 곡률반경측정을 위한 기준점으로 삼았다. 휨가공에 있어서 압축변형율만을 이용하고 철면(凸面)의 인장변형율은 0인 상태를 유지하면서 가공하는 것이 일반적으로 널리 알려져 있다. 따라서 휨가공치구에 소재를 장착할 때는 늘어나는 것을 최대한 방지하기 때문에 인장측의 최외층이 휨작용에 있어 중립축이 되는 것으로 간주한다. 그림5에는 휨가공재의 곡률반경과 압축표면 변형율 측정을 위한 기하도형 모델을 나타내었다. 이 모델 그림으로부터 기하학적으로 산출되는 곡률반경 및 변형율은 목재를 완전탄성체로서 가정하여 구한 변형율과 거의 같은 값이 얻어질 것으로 예측되었으며, 기하학적으로 산출한 곡률반경과 변형율은 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서 선분 BD를 a , 선분 CD를 b 로 두면, 곡률반경 ρ , 선분 AB의 길이 L , 섬유방향 변형율 ε 은 다음과 같이 산출된다.

$$\rho = (a^2 + b^2) / 2b, L = 2p \cdot \sin(a/\rho), \quad \epsilon = (L - L_0) / L_0 \times 100 (\%)$$

또 재료가 복원되는 성질이 강하여 목재소재를 탄성체로 가정하면, 소재의 원주율과 두께 t 및 곡률반경 ρ 로부터 다음식이 유도되어, 휨가공에 요구되는 응력 σ 를 산출할 수 있다.

$$\epsilon = \sigma / E = t / \rho, \quad \sigma = E \cdot t / \rho$$

본 연구결과, 소나무재를 대철로서 휨가공할 때 인장부의 파괴보다는 압축부의 찌그러짐이 더욱 많이 나타났다. 이는 목재의 압축응력이 인장응력보다 더 크다는 사실과 반대되는 결과로서, 인장부에 대철이 인장파괴를 막아주고 목재의 양단을 고정함으로써 인장응력 발생을 최소화하였기 때문이라 생각되어진다. 그리고 곡률반경 10cm로 휨가공을 실시하였을 때 시편의 중앙으로부터 2cm 이내의 부분에서 1차 압축파괴가 대부분 일어났고, 곡률반경 7.5cm에서는 10cm보다 짧은 지점에서 파괴가 일어났다. 시편의 대부분이 이 지점에서 파괴가 나타나는 것은 이 부분에서 응력집중 현상이 일어나는 것으로 판단되었다. 또한 2차 파괴도 압축부에서 많이 발생하였는데 파괴 형상은 불규칙적이었다. 여기에서 조사시간에 따른 곡가공성은 60초에서 가장 우수하게 나타났다.

이러한 이유는 곡가공시 함수율의 분포와 목재내에 상승된 온도가 유지된 상태에서 곡가공이 이루어진 것으로 판단되며, 자비재의 경우 포수재보다 곡가공성이 우수하였다.

또 다른 방법인 클램프 사용에 의한 곡가공에서는 대철을 이용하여 곡가공함에 있어 1차 파괴지점에 클램프를 조여 응력분산을 꾀하였다. 그 결과, 대철에서 발생한 1차 지점에서의 파괴는 나오지 않았다. 그러나 미소한 찌그러짐의 갯수는 더 많았다. 클램프를 사용한 것과 대철을 이용한 곡가공에 있어서, 압축부의 성상은 클램프를 사용한 것이 파괴정도나 곡가공 성공률이 높았다. 이것은 클램프가 순차적으로 목재를 조여가면서 응력을 순차적으로 분산시켜 주었기 때문이라 생각된다. 하지만, 클램프를 이용한 곡가공이 대철 사용 때보다 인장면 즉 만곡부에서의 파괴 갯수가 많음을 알 수 있었다.

그 이유로는 양목구면의 개방과 클램프 조임 위치가 잘못 선정되어, 시편의 인장응력을 분산시키지 못한 것으로 판단되어진다. 한편, 클램프 간격은 2cm정도가 적당하였으며, 그 이상의 간격에는 찌그러짐 현상이 나타났다. 상기 내용으로부터 대철

의 장점과 클램프의 장점을 합쳐 동시에 곡가공을 행하였는데, 대철은 인장부의 응력을 최소화하고, 클램프는 응력 집중 현상을 분산시켜 압축이나 인장부 어느 쪽에서든 파괴되지 않도록 하였다. 그 결과 인장부 및 압축부에 있어 별다른 문제는 보이지 않았다. 하지만 압축부에 있어 클램프 간격 조절에 따라 찌그러짐 현상이 나타나기도 했다.

전체적으로 생재와 자비재를 비교하면, 자비재의 곡가공성이 우수하다. 이는 소나무의 연화에 있어 자비처리후 마이크로파 가열이 목재의 연화에 더 크게 기여한 것으로 판단되며, 조사시간에 따른 곡가공성은 함수율과 목재 온도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그리고 자비재에 마이크로파를 조사하여 곡가공을 했을 때 두께 1cm에 대해서 곡률 반경 7.5cm까지 가능 하였다. 이것은 마이크로파가 목재의 연화에 크게 기여하는 것으로 판단된다.

곡가공후 시편은 대철과 클램프를 조인 그대로 50℃ 건조기에 24시간 건조한 후 곡가공된 시편을 건조하여 처리했다. 건조후 시험편이 완전한 치수안정화가 되지 않아 얼마간의 회복이 발생하였다. 이러한 문제점은 곡가공 작업시 화학적처리후, 자비처리를 하여 목재를 더욱 연화하고 치수안정화 처리를 위한 실험이 필요하다고 생각된다.

표 3. 자비재와 포수재의 휨가공에 있어 고주파가열시간의 효과

고주파 조사시간 (sec.)	곡률반경 (cm)	요면(凹面)						철면(凸面)					
		대철이용		클램프이용		대철+클램프		대철이용		클램프이용		대철+클램프	
		B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S
30	7.5	×	×	△	×	△	△	△	△	×	×	△	△
	10	×	×	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△
60	7.5	△	△	△	△	○	△	○	△	△	×	○	△
	10	○	○	△	△	○	△	○	○	△	△	◎	○
90	7.5	×	×	△	△	△	△	○	○	△	×	○	○
	10	△	△	△	△	○	△	○	○	△	△	◎	◎
120	7.5	×	×	×	△	△	×	△	△	×	×	△	△
	10	△	△	△	△	△	△	○	○	△	×	△	△

범례) ◎: 극히 우수, ○: 우수, △: 보통, ×: 실패, B: 자비재, S: 포수재

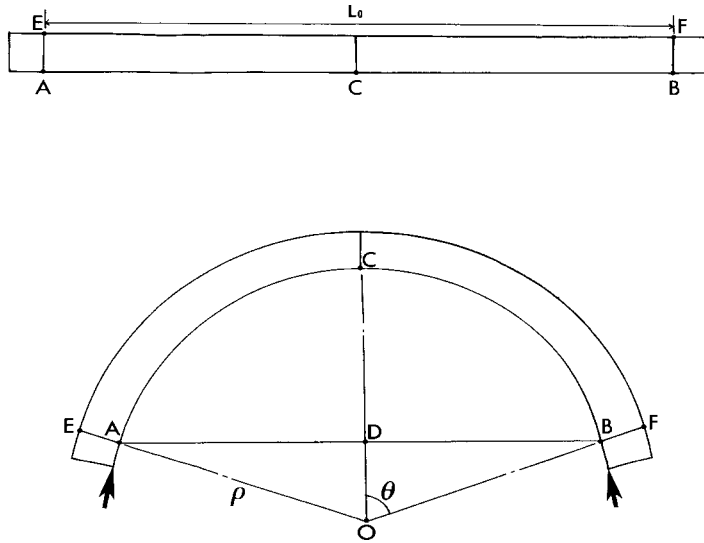


그림 5. 휨가공재의 곡률반경과 압축표면 변형을 측정 위한 기하도형 모델

선분 AE, BF는 변형을 측정 위한 기준선으로 휨가공재의 두께(t)에 해당함. 선분 EF는 인장되는 부분으로 중립축으로 처음길이 L_0 로 줄어들며, 선분 AO, BO, CO는 곡률반경(ρ)에 해당함. 화살표는 압축변형 되는 부분을 나타냄.

한편, 물푸레나무의 섬유경사각을 0도, 30도, 45도, 60도, 90도로 구분하여 두께 1cm, 폭 2cm, 길이 30cm로 조정하여 휨가공 곡률반경 4, 6, 8, 10cm인 형틀을 이용하여 90초동안 고주파가열한 소재를 휨가공하였다.

그 결과, 표 3과 같이 휨가공치구의 곡률이 작을수록 변형율이 크게 나타났으며, 이것은 곡률반경이 작아질수록 큰 변형율이 요구되는 것으로서 휨가공성이 어려워짐을 의미하는 것이다. 그러나 물푸레나무의 경우, 엄밀하게는 섬유경사각이 클수록 휨응력이 작은 경향을 나타내고 쉽게 휘는 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 섬유경사각에 상관없이 무난하게 4cm의 곡률로도 쉽게 휨가공이 용이함을 알 수 있었다.

제 3절. 펄가공을 위한 물리·화학적 전처리법

1. 목재인자의 검토

펄가공에 사용되는 공시재의 목재인자검토로서 공시재의 물리, 기계적 성질 및 화학적 성분의 조성을 조사하였다.

공시재료로 사용된 소나무의 기본적인 물리기계적 성질을 알아보기 위하여 평균 연륜폭, 생재함수율, 전수축률, 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 전단강도 등을 측정한 결과는 표 1 및 표 2과 같다.

표 1. 소나무의 물리적 성질

연륜폭 (mm)	생재함수율 (%)	전건비중	전수축률(%)		
			방사방향	접선방향	섬유방향
3.15	95	0.615	4.73	8.65	0.19

표 2. 소나무의 기계적성질

압축강도(kg/cm ²)	인장강도(kg/cm ²)	휨강도(kg/cm ²)	전단강도(kg/cm ²)	
			방사방향	섬유방향
360	1,023	746	94	107

공시재료로 사용된 소나무의 화학적 조성분 및 중성당 분석 결과는 표 3 및 표 4과 같다. 소나무의 화학적 조성분 분석결과 냉수추출, 알칼리 추출 및 알칼리 추출은 일반적인 활엽수보다 많이 추출되었다. 이것은 활엽수재보다 침엽수인 소나무가 수지, 밀납 및 탄닌등의 성분이 많기 때문이다.

리그닌 함량은 활엽수재보다 침엽수재가 10%정도 많이 나타나며, 리그닌의 구조도 침엽수재와 활엽수재간에는 차이가 있다. 침엽수는 Guaiacyl phenyl propane unit 인 반면에 활엽수는 Guaiacyl 및 syringyl phenyl propane unit로 구성되어 있다.

표 3 소나무의 조성분 분석(%)

냉수추출	온수추출	유기용제추출	알칼리추출	리그닌		전셀룰로오스	회분
				Klason	산가용성		
0.8	3.0	4.1	14.4	29.0	0.8	65.8	0.4

白石(1980)은 목재의 화학적 조성과 가소성과의 관계에서 세포벽중의 lignin과 hemicellulose는 어느 정도 열가소성을 가지지만 cellulose는 결정성을 가지고 있어 열에 의한 가소성이 거의 없다고 주장하고 있다. 펄프공이 비교적 어려운 소나무와 같은 침엽수는 2차 세포벽의 S₂층의 마이크로피브릴의 경사각과 리그닌에 있어서는 리그닌의 양보다 리그닌구조가 펄프공성에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 리그닌의 구조가 망상구조인 침엽수는 망상구조가 적고 가교결합이 어려운 선상구조의 활엽수재에 비하여 펄프공성이 어려운 이유로 나타내는 원인이 된다. 결국 침엽수재에서는 리그닌의 망상구조를 유연하게 처리할 수 있는 방법과 궁극적으로 셀룰로오스의 결정부분에 까지 가소성을 부여하는 방법의 개발이 펄프공의 과제라고 하겠다.

표 4는 당분석 결과를 나타낸 것으로 활엽수재와는 차이점을 나타낸다. 헤미셀룰로오스에서 유래하는 당은 일반적으로 비결정성으로 수분과의 결합이 쉬워 목재에 가소성 부여에 기여하는 인자라고 할 수 있다. 이들 성분은 증자 및 화학약제 처리시에 일부는 침출된다고 하겠다.

결국 목재는 소성이 부족한 재료이기 때문에 성형 가공시에는 절삭과 접합의 조합이 대부분을 차지한다. 이러한 점은 소성가공이 용이한 금속, 세라믹, 플라스틱과 크게 다르다. 그러나 전처리를 하게 되면 목재의 소성이 매우 현저하게 발현되는 경우가 있다. 이 성질을 이용하여 펄프공 개선 유도가 가능하다.

표 4. 소나무의 중성당 분석

Components(%)					
Arabinose	Xylose	Mannose	Galactose	Glucose	Rhamnose
4.7	15.4	16.4	T	63.5	T

목재에서는 힘이 작용하는 방향, 힘을 가하는 방법에 따라 여러 가지 형태의 응력-변형선도가 얻어지는데 일반적인 온·습도범위에서는 항복점이 명확하지 않은 파괴가 일어난다. 목재가 철이나 플라스틱과는 달리 가소성을 갖지 못하는 이유는 열 유동성이 부족하다는 사실이다.

목재가 열을 가했을 때 유동성이 낮은 이유는, ① 다발로 이루어진 cellulose 분자 고리 및 높은 비율의 결정영역(70%), ② Cellulose가 가지는 수산기(OH) 상호간의 수소결합, ③ 3차원 망상구조(network)의 리그닌 함유를 들 수 있다. 따라서 목재를 열유동화 시키기 위해서는 먼저 높은 결정구조를 가지는 cellulose에 유동성을 부여하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 cellulose 분자 간의 수소결합을 약화 또는 제거 시킬 필요가 있다. 여기에는 상당히 큰 에너지가 필요하다.

또한 cellulose는 결정이 열 유동 개시온도가 높아, 온도를 가하게 되면 유동되기 전에 탄화 또는 연소되기 때문에 유동성이 없다. 한편 목재의 열유동을 방해하는 lignin은 용제에도 잘 녹지 않고 열에도 잘 용융되지 않는다. 이는 lignin을 구성하는 단위체가 서로 뒤엉켜 있는 3차원 망상 고분자로 되어 있기 때문으로 생각된다. 결론적으로 목재가 가열에 의해 유동하지 않는 가장 중요한 원인은 cellulose의 대부분이 결정으로 되어 있어, 가열에 의하여 분자간의 결합이 느슨하게 되지 않기 때문에 분자가 자유롭게 움직이지 못하게 하는 것이다. 펄프공에서는 이들 결정부분의 분자간 결합을 느슨하게 하여 가소성을 부여하는 방법을 규명하는 것이 문제해결의 중요한 과제가 될 것이다.

2. 펄프공성 향상을 위한 기존의 전처리법

펄프공성 향상을 위한 전처리법 조사를 국,내외 문헌 조사를 실시하였다, 조사결과는 아래와 같다. 최초의 곡목제조는 1810년 독일사람 Melchior Finker에 의해 시도되었으며, 그 이후 뚜렷한 연구가 없었으며, 1839년 Michael Thonet에 의해 인장대철을 이용한 펄프 가공방법이 시도된 이후 많은 연구가 진행되었고 최근에는 침, 활엽수재에 대한 다양한 곡목제조 연구가 시도되고 있다.

국내에서도 예부터 노간주나무와 물푸레나무 등을 이용한 직화법에 의한 곡목을 제조하여 농업용기구 및 생활용구로 사용하여 왔다. 그러나 곡목에 대한 연구는 상수리나무와 소나무에 대한 곡목연구가 소(1985)등에 의해 연구되었고, 아까시나무를

마이크로파 가열처리한 곡목연구가 역시 소(1996)등에 의해, 이외 몇몇 연구자들에 의해 곡목에 대한 연구가 수행되고 있으나 아직은 산업화를 위한 초보적인 단계에 있다고 볼 수 있다. 목재 고유의 휨성능 개선을 위한 전처리법으로는 물리적 방법과 화학적 방법으로 대별 할 수 있다. 물리적 방법으로는 증자, 자비 등의 가열처리, 마이크로파처리 등이 있으며, 화학적 방법에는 아세틸화, 폴리에틸렌글리콜 처리, 암모니아처리 등이 있으며, 휨가공성을 개선하기 위해서 실제로 현장에서 사용 적용 가능성이 가장 높은 방법은 수분과 열을 이용한 방법과 암모니아를 이용한 방법이 있다.

가. 수분과 열을 이용한 휨 가공성 개선

목재에서의 물은 일반적으로 항상 존재하고 있으며, 무취, 무해 및 배출에 대해서도 아무런 장애가 없다. 가공성 개선을 위해 물은 가열의 필요성이 있지만, 가소제를 목재 증으로 침투 또는 확산하는데 요구되는 시간에 비하여 짧고, 마이크로파를 사용할 경우에는 극히 단시간으로 가능하다. 그러나 수분과 가열에 의한 가소화는 목재실질중의 감습영역을 가소화하는데 불과하므로, 형상이 고정된 후에도 수분에 의한 스프링백이 일어나는 수가 있다.

1) 증자에 의한 목재의 휨가공

열수에 침지 또는 고온의 수증기를 사용하여 증자된 목재가 유연성을 갖는다는 사실은 옛 부터 알려져 있으며, 이러한 성질이 목재의 휨가공에 이용되고 있다. 목재의 강성은 물의 팽윤으로 낮아지고 동시에 최대 변형량이 증대하는데 이 작용은 가열하면 더욱 현저하게 나타난다. 변형성능에 대한 수분과 열의 효과는 미약한 압축응력으로도 매우 큰 압축변형이 일어난다. 이에 비해 인장파괴변형은 증자 후에도 그렇게 크지 않다. 목재의 휨가공에서는 인장 측에 대철(帶鐵)을 사용하여 인장력을 대철에 부담시키고 목재에는 압축응력만을 생기게 하여 구부리는 토네트법(Thonet method)이 있다.

온대산의 활엽수재 특히 들메나무류, 단풍나무류, 참나무류, 아까시나무가 구부리기 쉽고 파손되는 일이 적다. 이와 같이 증자에 의하여 연화된 목재는 용이하게 성형될 수 있으나 성형 후는 원래의 강성이 높은 상태로 되돌릴 필요가 있다. 이 때문에 성형한 채로 건조한다.

성형 후 건조는 극히 중요한 공정으로서 단지 목재 중의 수분을 제거할 뿐 아니라 스프링백을 방지하기 위해서도 필요하다. 스프링백을 방지하기 위해서는 성형된 채로 함수율을 10%이하로 까지 낮출 필요가 있다. 목재의 휨 가공 공정은 drying set에 의한 것이므로, 강도의 건습 반복이나 흡수에 의하여 원상을 회복하므로 주의가 필요로 한다.

2) 마이크로파를 이용한 목재의 휨가공

최근 마이크로파를 이용한 목재의 휨가공법이 개발되었다. 포수목재의 변형과정에서 2451 MHz의 마이크로파를 조사함으로써 목재내 온도가 단시간에 급격히 상승하고 수분이 항상 비평형 상태로 보유되어 휨가공시에 최대응력이 작용하는 표층부의 함수율이 내부에 비하여 높게 되는 등 목재가 소성변형하기 쉬운 조건을 만들 수 있다.

증자에 의한 휨가공법에 비교하여 시간이 단축되고 작은 곡률 반경으로까지 구부릴 수 있다. 가공의 예를 들면 두께 1cm의 포수재를 1~2분간 마이크로파로 가열시킨 후 대철을 대지 않고 형에 따라 구부릴 수 있다. 아까시나무나 테다소나무에서는 1회의 조작으로 곡률 반경 3cm까지 구부릴 수 있는 것으로 보고 되어 있으며, 휨가공 형틀의 곡률 반경을 차츰 작게 하면서 조작을 되풀이하면 많은 수종에서 수회의 조작으로 곡률 반경 3~7cm까지 구부릴 수 있다. 이 경우에도 압축 측에는 거의 주름이 확인되지 않는 것으로 보고 되어 있다.

나. 암모니아를 이용한 휨가공성 개선

목재에 대한 가소제로서의 물과 암모니아를 비교하면, 암모니아는 리그닌과 친화성이 강하고, 상온에서도 가소화 효과가 현저하다. 목질 실질부중의 감습영역 이외에서 변형이 고정되는 것으로 추측됨으로서, 성형 후에도 수분에 대하여 안정하다. 목재에 대한 팽윤효과가 큰 피리딘 등을 가소제로서 사용한 시도도 있으나, 암모니아는 이들 약제와 비교하여 저렴하고, 처리 후에도 제거하기 쉽다. 그러나 자극성과 취기가 강하므로 격리된 처리조작이 필요하다.

1) 액체 암모니아에 의한 가소화

액화온도(-33. C)이하로 냉각된 액체암모니아 탱크에 기건 또는 전건목재를 침지하거나, 목재를 처리부에 넣어 냉각, 감압시킨 후에 액체암모니아를 주입한다. 목재

중에 액체암모니아를 충분히 침투시킨 후 성형 가공한다. 목재내부로 액체암모니아의 침투를 촉진하기 위해서는 세포내강 중의 공기를 암모니아가스 혹은 탄산가스로 치환시킨다. 약 3mm 두께의 단판에서는 4시간의 침지로 휨가공에 충분한 가소화가 이루어지며, 하룻밤 방치해 두면 소성이 더욱 향상된다. 액체암모니아 처리된 목재의 변형 가능 시간은 실온에서 8~30분이다.

이 방법이 증자에 의한 소성가공과 비교하여 우수한 점은 ① 곡률반경을 작게 할 수 있다. ② 변형에 요하는 힘이 적게 든다. ③ 파손율이 적다. ④ 건습의 반복에 대하여 스프링백이 거의 없다. 일반적으로 증자로서 휨가공이 쉬운 수종이 액체암모니아에 의한 휨가공에서도 적합하다. 이 처리에서는 세포벽이 극도로 연화되어 있으므로 암모니아를 휘산시킬 때 세포의 찌그러짐이 생겨 원래 치수의 수% 내지 30%까지 수축되는 일이 있다. 이와 같은 수축을 방지하기 위하여 액체암모니아 중에 불휘발성의 팽윤제를 첨가하는 방법이 고려되고 있다. 예를 들면 첨가제로서 폴리에틸렌글리콜 등이 효과를 방해하지 않고 수축을 방지할 수 있다.

2) 암모니아 가스에 의한 가소화

액체 암모니아는 저온에서 취급할 필요가 있으나 암모니아 가스를 사용하면 상온에서 처리할 수 있고 액체암모니아 처리와 같은 가소화 효과를 얻을 수 있다. 목재 중의 암모니아가스의 확산, 침투는 건건재보다도 기건재 쪽이 빠르므로 함수율 10~20%의 목재를 사용하는 쪽이 효과적이다.

0.3~2cm 두께의 기건재를 처리부에 넣고 배기시킨 후 포화암모니아 가스(26℃에서 약 10기압, 5. C에서 약 5기압)를 도입한다. 판의 두께에 따라 2~6시간 처리하면 곡률반경/판의 두께가 거의 4가 되도록 까지 구부릴 수 있다. 암모니아가스는 액체 암모니아와 달리 세포내강에 잔류하는 일이 없으므로 소량으로도 처리가 가능한 것으로 알려져 있다. 이외에 목재의 휨가공성 개선을 위한 화학적 가소화 처리에 대한 연구가 보고되고 있으며, 그 중에서도 요소단독처리 및 포름알데히드와 디메틸우레아와 혼합처리 목재가 저 함수율에서도 가열 휨가공 후 냉각하였을 때도 휨을 유지한다고 보고했다. 그러나 요소처리재는 증자처리재 만큼 휘어지지 않고 약하다고 보고하고 있다. 또한 Murphey는 펄프 제조시 폐액에서 회수한 DMSO(dimethylsulfoxide)에 침적 처리함으로써 생재상태에서 휘수 있을을 보고 하였다. 위의 문헌 조사 결과, 화학약품에 의한 전처리는 휨가공 후의 재질의 열화를 초래하기 때문에 강도가 요구되는 곳에는 사용하기가 어렵고, 특히 암모니아처리는 자극성과

취기가 강하므로 격리된 처리조작이 필요하며, 이를 공정화하여 산업화 하는데는 이들 문제가 해결이 필요하다고 생각된다. 반면 물리가공에 의한 처리는 휨가공성이 어렵기는 하지만 큰 강도를 얻을 수 있는 장점이 있는 것으로 알려졌다. 그러므로 본 연구에서는 증자처리 및 마이크로파를 이용한 방법이 비교적 효과적인 방법으로, 차후 이 방법을 적용한 연구에 중점을 두고자 한다.

3. 휨가공을 위한 물리·화학적 전처리법

가. 자비연화처리에 의한 조건 검토

그림 8과 9는 포수 소나무재의 연화처리온도 및 자비처리시간과 최소곡률반경과의 관계를 나타낸 것이다.

그림 8은 소나무재의 자비처리온도와 최소곡률반경과의 관계를 나타낸 것으로 소나무재를 자비 후 휨가공시 연화온도처리별 최소곡률반경은 60℃일 때 까지는 온도의 상승과 더불어 곡률반경이 현저히 감소하는 경향을 나타낸 반면, 그 이상의 처리 온도에서는 곡률반경의 큰 변화가 없었다. 결국 소나무의 자비처리에 의한 휨가공시에는 60℃정도의 자비처리로도 연화효과가 충분하다고 생각된다.

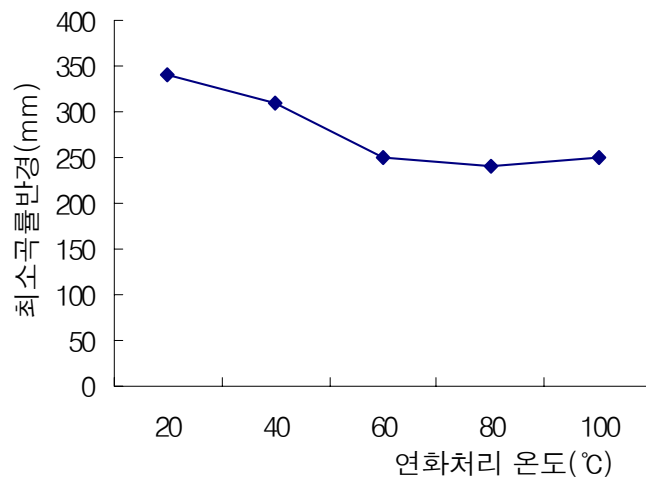


그림 8. 연화처리온도와 최소곡률반경

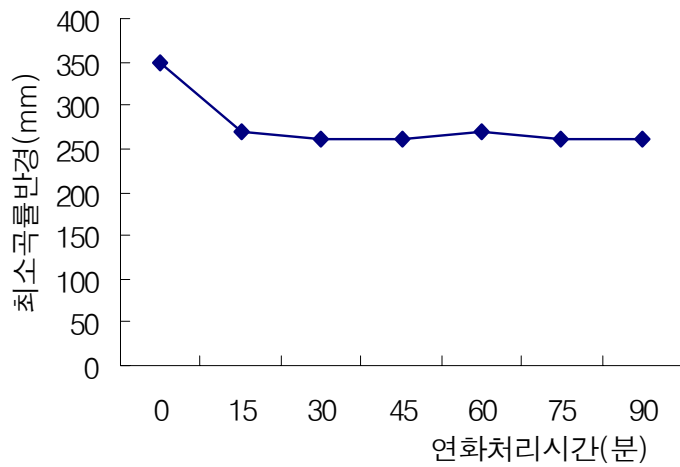


그림 9. 자비처리시간과 최소공극반경(100℃)

그림 9는 자비처리시간과 최소공극반경과의 관계를 나타낸 것으로 무처리재부터 15분 간격으로 90분 까지 처리한 결과를 나타낸 것이다. 자비시간 15분 이상의 시간에서는 처리시간을 길게 하여도 휨가공의 최소공극반경이 큰 변화가 없어 15-20분 정도의 자비처리로도 충분하다고 생각된다. 역시 소(1991)등의 연구결과와도 같은 경향을 나타냈다.

결론적으로 자비처리에 의한 휨가공시에는 연화처리온도는 60℃ 정도의 처리가, 자비처리일 경우는 처리시간은 15-20분 정도가 충분하다고 판단되었다.

나. 마이크로파 처리

마이크로파를 이용한 전처리법의 결과는 다음과 같다. 생재와 자비재의 마이크로파 조사 후 함수율 차이를 그림 10에 나타냈다. 이때 생재가 자비재보다 함수율이 높게 나타났다. 그림 10에서 조사시간에 따른 함수율의 감소정도가 처음에는 완만히 감소하나, 60초 이 후에는 함수율의 감소 정도가 크게 발생하였다.

반면 이 그림에서 자비재의 함수율 감소 정도는 반대적인 현상을 나타냈다. 이는 포수시 수조온도는 상온이었으나, 자비시 수조의 온도가 98℃로써 시편내 추출성분의 배출이 생재 보다 많아 마이크로파 가열시 가도관을 통한 수분의 증발이 생재보

다 빠른 것으로 생각된다. 마이크로파 가열전 자비처리재는 이미 목재의 온도가 90℃이상 상승된 상태에 있어 생재의 온도 상승보다 빠르기 때문에 함수율의 저하가 포수재 보다 더 급격히 이루어진 것으로 판단된다. 90초 이상 마이크로파 조사시 함수율이 75% 이내로 떨어지고, 자비재 경우에는 90초 이상 마이크로파 조사시 함수율이 50%이하로 내려갔다.

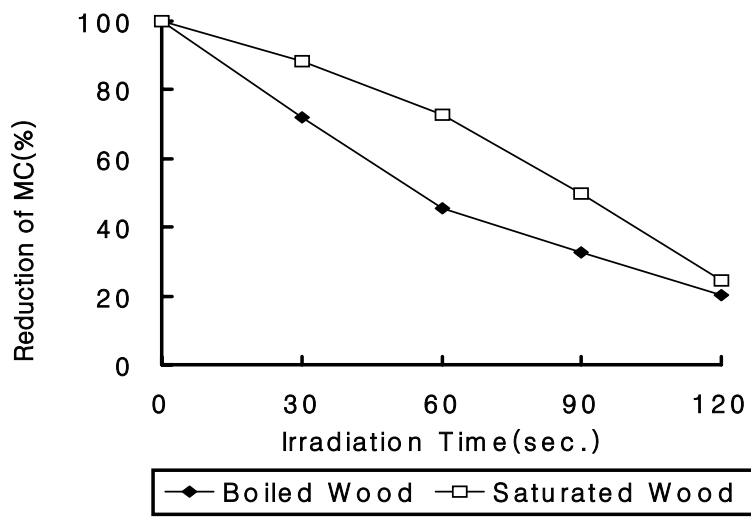


Fig 10. Relationships between microwave irradiation time and rate of moisture content(MC) reduction for bending process.

따라서 적절한 휨가공을 위한 함수율상태에서 휨가공 두께 10mm로 할 때, 마이크로파 조사시간 60~90초가 휨가공시 적절하며, 이때 함수율이 휨가공에서 가장 큰 영향인자로 작용한다고 판단된다.

제 4절. 주요 국산수종의 휩가공성 평가

1. 서 론

목재의 휩가공은 일본을 비롯한 목재 선진국에서 다양한 방법으로 진행되어왔다 (M.Norimoto et al. 1989 ; Ikuho IIDA et al. 1981). 일반적으로 목재를 휘는 방법에는 열과 기계의 힘을 이용하는 물리적인 방법, 화학약품을 사용하는 화학적인 방법, 두 가지를 병행하는 방법등 여러 가지가 있다. 이중에서도 고주파가열을 이용한 휩가공법은 초기 시설비용은 많이 들지만 가열에 의한 목재연화 효과가 단시간에 가능하고, 간단한 장치로 최대의 효율을 올릴 수 있는 장점을 지니고 있다. 휩가공시에는 목재의 목리형태와 사용되는 대철의 두께사이의 상호관계가 휩가공성의 중요한 영향인자로 보고 되었다(Jung et al,2001). 또한 蒸煮, 煮沸, 藥劑處理등의 처리과정에 의해서도 휩가공성이 다르다고 보고된 바 있다(蘇,1985). 일반적으로 알려진 사실에 의하면 활엽수재가 휩가공성이 양호하고, 침엽수재의 경우 휩가공성이 불량하다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 국산 수종중 활엽수 8수종과 침엽수 2수종의 휩가공성이 고주파 가열에 의하여 곡율반경과 대철의 두께에 어떻게 영향 하는지를 면밀히 검토해 보기위해서 본 연구를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 뱃나무(*Prunus sargentii*), 소태나무(*Picrama quassioides*), 서어나무(*Carpinus laxiflora*), 굴참나무(*Quercus variabilis*), 박달나무(*Betula schmidtii*), 고로쇠나무(*Acer mono*), 피나무(*Tilia amurensis*), 소나무(*pinus densiflora*), 리기다소나무(*pinus rigida*), 참오동나무(*Paulownia tomentosa*) 중에서 리기다 소나무를 제외한 9가지수종은 경북 청송군 현동면에 소재한 경북대학교 연습림에서 벌채한 원목을 제재하여 사용하였다. 리기다소나무 역시 경북 청송에서 벌채된 것으로 시중 제재소에서 구입한 것을 사용하였다. 각 수종별 특성들은 다음의 표 1과 같다.

Table 1. Diameters at the breath height (DBH), tree ages (TA), moisture contents in air dry condition (MC) and the array of pores (PA, DP : diffuse-porous wood, RP : ring-porous wood) for logs of ten kinds of Korean species from which specimens for the wood bending were prepared

Species	sargent cherry	bitter wood	horn beam	birch	painted maple	cork oak	bass wood	red pine	pitch pine	royal paulownia
DHB(mm)	250	180	200	180	170	230	240	200	350	180
Age(year)	40	40	20	45	50	35	35	40	25	10
MC(%)	15	18	20	17	18	20	17	16	13	11
PA	DPW	RPW	DPW	DPW	DPW	RPW	DPW	-	-	DPW

나. 휨틀 및 대철

휨틀의 치구 모양은 U자 모양으로 제작하였으며, 곡률반경에 따라 4cm, 6cm, 10cm 3가지로 구분 하였다. 대철의 완전 고정을 위해서 클램프를 설치하였다. 대철은 두께에 따라 0.6mm, 0.8mm 두 가지로 구분하였고, 길이는 곡률반경에 따라 각각 30cm, 35cm, 45cm의 3가지로 제작하였다. 시편의 치수는 두께는 10mm, 폭은 20mm로하였다. 그리고 휨가공후 대철의 고정을 위해서 양손잡이 사이를 완전하게 고정시킬 수 있는 조임쇠를 자체 제작하여 사용하였다.



Fig 1. Apparatus for bending process

다. 흡수처리 및 가열

시편의 포수는 단시간에 높은 효과를 얻기 위해 감압처리를 하여 흡수처리를 실시하였고, 흡수된 시편은 비닐랩으로 밀봉하여 가정용 전자렌지(발진주파수 1245MHz)에 넣어 90초간 고주파조사를 실시하고 난 후 험가공을 실시하였다.

라. 시편의 건조 및 가공성 평가

험가공된 시편은 대철의 손잡이를 조임쇠로 고정된 후 대철에 장착된 체로 열풍순환식 건조기(80℃)에서 약 2시간가량 건조를 실시하였다.

험가공성은 시편의 오목 면의 변형에 따라 육안 적으로 구분하였고, 변형이 전혀 없는 것을 A등급, 약간의 찌그러짐이 있으나 연마작업으로 쉽게 제거할 수 있는 것을 B등급, 시편의 폭방향으로 일직선의 찌그러짐이 1곳 이상 발생한 것을 C등급으로 분류하였다(정 등, 2001).

마. 변형률의 측정

변형률은 곡률반경 변형률과 길이변형율을 체크하였다.

육안적 등급이 C등급이 시편은 변형률 측정에서 제외하였고 값은 다음의 식에 의하여 구하였다.

$$\text{곡률반경변형율}(\Psi) = \frac{(R - R_0)}{R_0} \times 100$$

R : ROC of specimen after bending

R₀ : ROC of bending plate before bending process

Note) ROC: Radius of curvature

$$\text{길이변형율}(\rho) = \frac{|L - L_0|}{L_0} \times 100$$

L: Length of specimen before bending

L₀: Length of specimen after bending

3. 결과 및 고찰

가. 함수율

기건함수율을 기준으로 포수함수율과 가열 후 함수율을 체크하였고, 다음과 같다.

포수 때의 함수율과 가열 후 함수율의 경향은 거의 같은 경향을 나타내었다. 굴참나무의 경우 가열 후 함수율이 급격히 저하되어 10%대까지 떨어졌다. 그리고 피나무의 경우 다른 수종에 비해 포수가 아주 용이했으며, 전반적으로 같은 활엽수 내에서는 비중이 적은 목재가 포수가 잘되었고, 활엽수와 침엽수를 비교하였을 때 소나무와 리기다소나무가 다른 활엽수재에 비하여 포수가 용이했다. 활엽수재의 포수가 용이하지 못한 것은 활엽수재는 일반적으로 도관내 집적물질이 많이 분포하고 있어서 수분의 이동에 제약을 많이 받기 때문이라고 생각되었다.

그러므로 포수를 용이하게 하기 위해서는 자비 등의 전처리작업으로 도관물질을 어느 정도 제거한 후 포수를 실시하는 것이 효과적일 거라고 생각되었다.

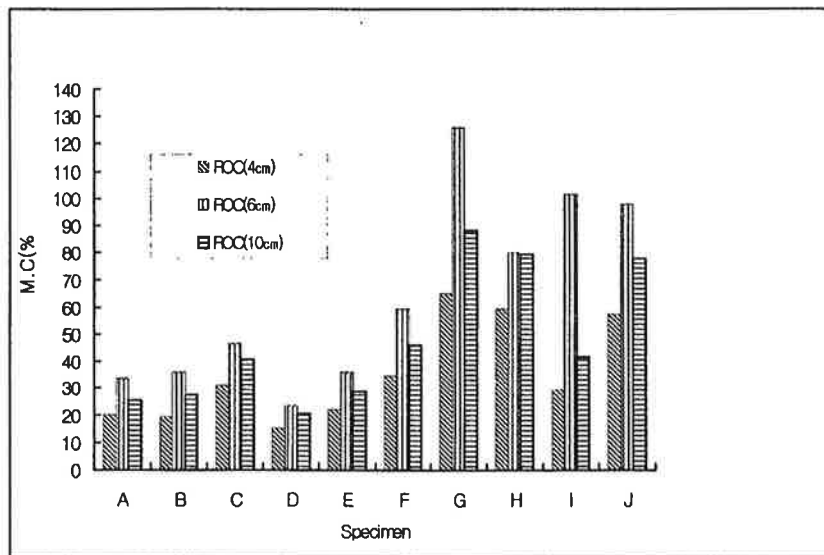


Fig 2. Moisture content of saturation

Note) ROC: Radius of curvature

Legend) A: Sargent cherry B: Bitter wood C: Corn beam D: Cork oak E: Birch

F: Painted maple G: Basswood H: Red pine I: Pitch pine J: Royal paulownia

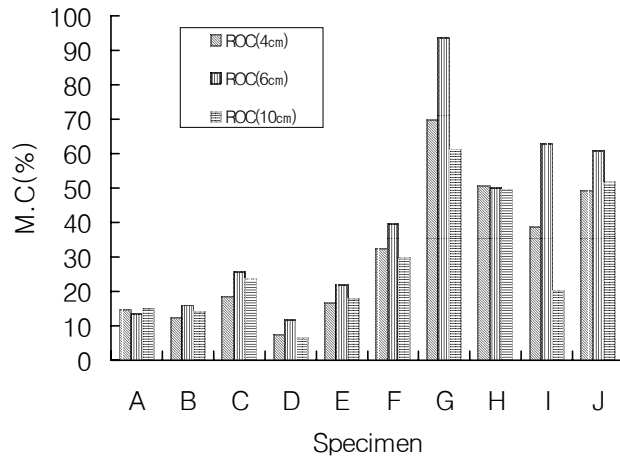


Fig 3. Moisture content of after heating

Note) ROC: Radius of curvature

나. 시편의 건조 및 휨가공성 평가

1) 휨가공 시험편의 건조

휨가공을 실시 후 건조조건은 곡률반경 변화와 밀접한 관계가 있다.

일반적으로 고비중재 일수록 저온에서 건조해야만 건조로 인한 할렬을 최대한 줄일 수 있다.

蘇(1985)의 연구에서도 상수리나무를 80℃의 낮은 온도에서 건조하였다. 시편의 건조는 과도하면 할렬보다는 곡률반경이 줄어드는 경향이 나타나고, 적게 하면 곡률반경이 늘어나는 현상이 발생하였다.

따라서 적당한 온도와 시간을 찾는 것이 중요하다. 수종에 따라 건조조건이 다르므로 일괄적으로 건조조건을 정하는 것보다는 물리적인 방법을 사용하여 대철의 손잡이부분을 완전하게 구속시킨다면 과도한 건조에 의해서 시편의 곡률반경이 줄어드는 현상은 발생되지 않을 것이다.

Table 2. The evaluation of the bening quality (A : no damage, B : slight damage, C : sever da mager) at the indicated strap thicknes (t) and form radius (ρ) and percentage of the number of specimens (A+B) to the total number of specimens(A+B+C) for the kinds of main Korean wood species.

Species	t (mm)	Grade											100(A+B)/(A+B+C) (%)	
		A ρ(mm)			B ρ(mm)			C ρ(mm)			Each	Average		
		40	60	100	40	60	100	40	60	100				
sargent cherry	0.6	1	0	2	4	2	4	3	6	2	54.1	58.3		
	0.8	1	4	5	3	1	1	4	3	2	52.5			
bitter wood	0.6	5	4	6	3	4	2	-	-	-	100	100		
	0.8	7	7	7	1	1	1	-	-	-	100			
horn beam	0.6	8	8	8	-	-	-	-	-	-	100	100		
	0.8	8	8	8	-	-	-	-	-	-	100			
birch	0.6	8	8	8	-	-	-	-	-	-	100	100		
	0.8	8	8	8	-	-	-	-	-	-	100			
painted maple	0.6	8	8	8	-	-	-	-	-	-	100	100		
	0.8	8	8	8	-	-	-	-	-	-	100			
cord oak	0.6	4	5	7	0	2	1	4	1	0	79.2	83.3		
	0.8	3	5	8	3	2	0	2	1	0	87.5			
basswood	0.6	0	1	1	0	1	6	8	6	1	37.5	29.2		
	0.8	0	0	2	0	0	3	8	8	3	20.8			
red pine	0.6	0	1	7	1	3	0	7	4	1	50.0	43.8		

2) 휨가공성 평가

휨가공성은 A, B, C 등급중 A, B등급을 성공 가능한 등급으로, C등급은 휨가공 불능등급으로 분류하였다. 각 수종당 총시편의 개수는 48개이고, 이중 곡률반경당 16개씩, 16개중 대철두께에 따라 다시 8개씩으로 나누었다.

표 3은 표 2의 값을 우수(○), 보통(△), 실패(×)의 3등급으로 나누어 포괄적인 이해를 높이고자 나타내었다. 표 4는 같은 경향을 나타내는 수종을 그룹별로 구분하여 나타내었다. 또 표 5는 기건비중에 따른 각 수종의 휨가공성을 평가하여 비중에 따른 수종별 휨특성을 구분하여 나타냈다.

Table 3. Relationship between bending ability and thickness of metal-strap(T.M.S) as a function of radius of curvature

Species \ ROC	T.M.S = 0.6mm			T.M.S = 0.8mm		
	4cm	6cm	10cm	4cm	6cm	10cm
Sargent cherry	○	○	○	△	○	○
Bitter wood	○	○	○	○	○	○
Corn beam	○	○	○	○	○	○
Cork oak	○	○	○	○	○	○
Birch	○	○	○	○	○	○
Painted maple	○	○	○	○	○	○
Basswood	×	×	○	×	×	△
Red pine	×	△	○	×	△	△
Pitch pine	△	△	○	△	△	△
Royal paulownia	×	×	×	×	×	×

Note) T.M.S: thickness of metal-strap ○: Good △:Commen ×: Failure

Table 4. Evaluation of Bending property for group

ROC(cm) \ TMS(mm)	T M S =0.6					T M S =0.8					
	4	○	△	×	×	×	○	△	△	×	×
6	○	△	△	×	×	○	○	△	△	×	×
10	○	○	○	○	×	○	○	△	△	△	×
Species	A,B,C,D,E,F	I	H	G	J	B,C,D,E,F	A	I	H	G	J

Note) A:sargent cherry B:bitter wood C:horn beam D:cork oak E:birch F:painte maple
G:basswood H:red pine I:pitch pine J:royal paulownia

이 표로부터 목재의 휨가공성은 비중과 밀접한 상관관계가 있음을 잘 알 수 있다. 곡률반경 10cm에서는 피나무와 참오동나무를 제외하고는 모두 100%의 성공률을 나타내었다.

박달나무, 서어나무, 고로쇠나무는 휨가공성이 아주 우수하게 나타났고, 소태나무의 경우도 모든 시편이 성공을 나타내어 휨가공성이 우수했다.

산벚나무와 굴참나무의 경우 포수과정에서 주입성의 문제점이 많이 나타났으며 이는 도관내 집적물질이 많기 때문이라고 생각되었다. 그 결과 휨가공성도 다소 낮게 나타났다. 산벚나무와 굴참나무의 경우 어린 도관내 집적물질을 제거하는 전처리 과정만 제대로 행해진다면 휨가공성이 월등히 높아질 것으로 생각되었다. 특히 굴참나무의 경우 실패한 시편의 대부분에서 접선방향의 광방사조직이 터지는 현상이 많이 발생하였다. 아래 표에서 굴참나무 시편의 B, C등급 대부분이 이 광방사 조직의 터짐 현상으로 발생된 것이었다.

그러므로 굴참나무의 경우 같은 수종이더라도 재료의 선택이 휨가공성과 밀접하게 연관될 수 있다고 생각되었다. 그리고 피나무와 참오동나무의 경우 곡률반경 4cm에서는 모두가 실패를 나타내었고, 참오동나무의 경우 A등급은 하나도 없었다.

Table 5. Bending property for specific gravity

ROC \ S.G		0.24	0.38	0.47	0.53	0.63		0.70	0.73	0.88	0.93
T M S =0.6mm	4cm	×	×	×	△	○	○	○	○	○	○
	6cm	×	×	△	△	○	○	○	○	○	○
	10cm	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
T M S =0.8mm	4cm	×	×	×	△	△	○	○	○	○	○
	6cm	×	×	△	△	○	○	○	○	○	○
	10cm	×	△	△	△	○	○	○	○	○	○
Species		J	G	H	I	A	B	F	C	D	E

Note) A: sargent cherry B: bitter wood C: horn beam D: cork oak E: birch F: painted maple
G: basswood H: red pine I: pitch pine J: royal paulownia

따라서 오동나무의 경우 휨가공재로서는 적합하지 않다고 생각되었고, 피나무의 경우는 휨가공성을 높일 수 있는 알맞은 전처리과정을 모색해볼 필요가 있다고 생각되었다. 침엽수에서는 같은 소나무계통의 소나무와 리기다소나무의 경우 리기다소나무가 소나무에 비하여 휨가공성공율이 10%넘게 우수하게 나타났다. 이는 재질적인 차이도 있겠지만 리기다소나무의 경우 연륜 폭이 소나무재보다 월등히 크므로 상대적으로 조개의 비율이 높아서 휨가공성이 높게 나타났다고 생각되며, 소나무와 리기다소나무의 경우도 최적의 전처리 조건만 찾는다면 휨가공성을 더욱 더 개선시킬 수 있다고 생각되었다.

다. 변형률

1) 길이변형율

아래의 그림에서 볼 수 있듯이 피나무와 참오동나무를 제외하고는 변형률에 큰 차이가 없다. 피나무와 오동나무의 경우 표 3에서도 나타났듯이 휨성공율이 극히 낮아 길이변형율에 큰 의미가 없었다. 그리고 길이변형율은 대철의 두께에 영향을 받지 않았다. 전반적인 경향을 보면 곡률반경 4cm에서는 변형률이 평균35~40%이고, 곡률반경 6cm에서는 평균 30~35%를 나타내었고, 곡률반경 10cm에서는 평균15~20%를 나타내었다. 수종에 따른 차이는 극히 미비하게 나타났다. 그러므로 길이변형율은 휨

가공성을 평가하기 위한 중요한 인자는 아닌 것으로 나타났다.

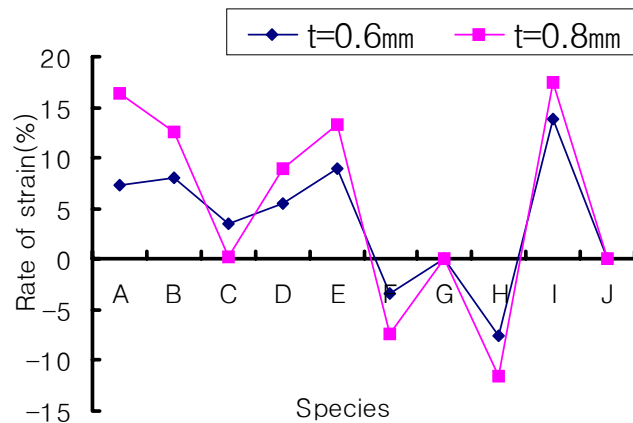


Fig 4. Strain of ROC on 4cm

Legend) A: Sargent cherry B: Bitter wood C: Corn beam D: Cork oak E: Birch
F: Painted maple G: Basswood H: Red pine I: Pitch pine J: Royal paulownia

2) 곡율반경 변형률

길이변형율과는 달리 곡율반경 변형률은 대철의 두께에 따라 다양하게 변화되었다. 그림에서 변형률이 마이너스 값과 플러스 값을 가지는데 마이너스 값을 가진 수종은 시편의 건조가 과도하게 되어 시편의 곡율반경이 휨가공시의 곡율반경보다 줄어들어서 나타나는 현상이고, 반대로 플러스 값을 가지는 수종은 건조시간이 짧아서 스프링백 현상이 발생한 것이다. 수종에 따라 곡율반경의 값이 다르게 나타나므로 일률적인 건조보다는 수종의 특성에 맞게 건조조건을 달리하는 것이 이런 편차를 줄이는 하나의 방법이라고 생각되었다.

곡율반경 4cm를 제외하고는 대철 두께 0.8mm일 때가 시편의 스프링백 현상이 많이 발생하였다. 이는 대철 두께가 두꺼울수록 시편과 대철 사이에 존재하는 수분의 이동이 원활하지 못해서 대철 제거 후에도 표면에 약간의 수분이 남아있었기 때문이라고 생각된다. 그러므로 대철두께가 휨가공성에도 크게 영향(정 등, 2001)하지만 건조기에 시편과 같이 구속해서 건조시킬 경우 건조에도 중요한 영향인자로 작용한다는 것을 알 수 있었다.

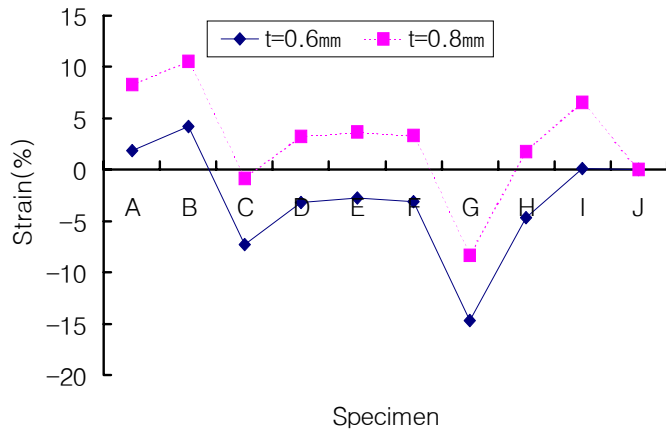


Fig 5. Strain of bentwood on 6cm ROC

Legend) A: sargent cherry B: bitter wood C: horn beam D: cork oak E: birch
 F: painted maple G: basswood H: red pine I: pitch pine J: royal paulownia

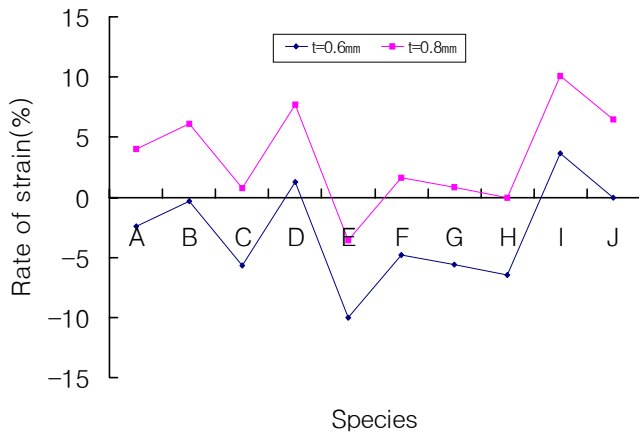


Fig 6. Strain of ROC on 10cm

Legend) A: sargent cherry B: bitter wood C: horn beam D: cork oak E: birch
 F: painted maple G: basswood H: red pine I: pitch pine J: royal paulownia

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 휩가공에서 가공성의 차이는 목재의 수종적 특성에 의해 일차적으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

나. 고주파 가열에 있어서 물의 포수는 기건 기준 함수율이 20%정도까지만 되면 고주파가열과 휩가공 성능에는 크게 영향하지 않았다. 물은 고주파가열에 의해서 목재를 연화시키는 매개체 역할만을 담당한다는 것을 알 수 있었다.

다. 대철이 두꺼울수록 좀더 오랜 시간의 건조가 필요한 것은 대철이 두꺼울수록 열전달이 상대적으로 늦어지고, 대철과 시편사이의 압축력이 크기 때문에 수분의 방출이 어렵고 두께로 인한 열전달 속도가 느리기 때문이라고 생각되었다.

라. 건조 후 시편의 가장 효과적인 고정을 위해서는 조임쇠 사이에 스페이스를 확실하게 고정시킬 수 있는 보형물을 설치하고 조임쇠로 완전하게 구속하면 시편의 변형을 최대한 줄일 수 있을 것으로 생각되었다.

마. 차후 산벚나무, 소나무, 리기다소나무등과 같이 휩성공율이 50% 정도인 수종은 다양한 조건의 전처리작업을 모색한다면 좋은 휩가공성을 나타낼 수 있을 것으로 생각되었다.

제 5절. 휩가공에 있어서 대철 두께의 영향

1. 서론

목재의 휩가공은 예로부터 활이나 배를 만드는데 이용되었고, 현재에는 가구, 운동구, 농기구, 공예용품, 배 등에 이르기까지 다양하게 이용되고 있다.

곡목재를 얻기 위하여 원목을 켜는 것은 사주목리(斜走木理)를 갖기 때문에 약하고, 재료의 손실이 많다. 단판적층재는 만곡면을 얻기는 쉬우나 단판절삭과 가압접착의 공정을 거치면서 외관이 손상되기 쉽다. 목재의 휩가공은 이러한 단점을 극복할 수 있는 이점이 있다(정, 1992).

목재는 이방성 재료인 관계로 금속과 같이 곡선을 만드는데 많은 어려움이 있다. 하지만 목재를 열처리 등의 처리에 의해 연화시켜서 휩가공을 하는 방법과 재료에 톱자국을 내어 휩가공을 하는 방법, 그리고 화학약품처리를 통하여 휩가공을 하는 방법 등에 의하여 목재의 휩가공은 가능한 것으로 알려져 있다(정, 1992). 하지만 지금까지 국내외를 막론하고 산업현장에서 사용하고 있는 곡목가공에 이용되는 재료는 활엽수재로서, 잘 알려져 있는 너도밤나무와 등나무 및 열대산 관음죽이 대부분을 차지하고 있다. 휩가공성이 대체적으로 용이한 이들 재료는 국내에서는 주로 수입에

의존하고 있고, 제품의 색상이나 질감에 있어서는 소비자의 요구가 낮아 제품의 가격경쟁력은 많이 떨어지고 있다.

휩가공에 관한 이전의 연구에서 이미 국산 주요침엽수종의 하나인 소나무재를 이용한 휩가공이 가능하다는 것을 검정하였고(김 등, 2000), 본 연구에서는 소나무재를 이용한 휩가공에 있어서 대철의 두께가 휩가공에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 검토·고찰하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

휩가공 실험을 위한 재료로서는 치수 330mm(L)×20mm(R)×10mm(T)의 국산소나무(*Pinus densiflora*)재를 이용하여 제작한 각재를 사용하였다. 대철은 탄성이 풍부하여 휘기는 하지만 꺾이지는 않는 띠톱의 칼날을 만드는 재료인 탄소강을 사용하였으며, 이때 대철의 두께는 1.0, 0.8, 0.6, 0.4mm의 4가지로 하였다. 각각의 대철 두께에 따른 휩가공시 4개는 완전 판목 제재한 각재를 사용하였으며, 4개는 연륜경각이 약 45. 정도인 각재(이하 추정목이라 칭함)를 사용하여 총 8개의 시편을 사용하였고 곡율반경이 9cm와 7cm인 휩가공용 틀 2가지를 사용하여 총 64개의 시편을 사용하였다.

나. 휩가공

휩가공전에 시편은 105℃ 건조기에서 전건시켜 치수와 중량을 측정 후, 20℃ · 65% 항온항습실에서 조습 처리하여 평균함수율 13%로 고정시켰다. 조습처리된 시편은 강도시험기를 이용하여 하중속도 2mm/min로 휩탄성계수를 측정하였는데, 이때 강도측정으로 인한 시편의 파괴를 막기 위하여 30초간 하중을 주고 바로 제거하는 방법을 사용하였다. 시편의 탄성계수를 측정한 후 감압 데시케이터를 이용하여 시편을 포수시켰는데, 이때 평균함수율은 200%정도였다. 포수된 시편은 랩을 씌워서 가정용 전자렌지(주파수 1245MHz)를 이용하여 90초간 고주파 조사 후, 휩가공하였다. 이렇게 휩가공한 시편은 90℃ 건조기에서 4시간정도 건조시켜 함수율이 10%이하로 떨어지면 대철을 제거시켰다.

3. 결과 및 고찰

가. 휨 탄성계수(MOE)

표 1에 휨가공 소재의 휨탄성계수와 치구의 곡률반경 및 휨가공후의 곡률반경의 크기 및 전건비중과 기건비중의 상관관계를 나타내었다.

Table 1. Relationship between Young's Modulus and radius of curvature after bending

Radius of Curvature on Jig Plate	Radius of Curvature after Bending(cm)	Strain after drying(%)	MOE (kgf/cm ²)	Oven-Dry Density(g/cm ³)	Air-Dry Density(g/cm ³)
7cm (Flat-grain)	6.78	22	57.54	0.44	0.47
7cm (Half-edge grain)	6.79	21	33.21	0.40	0.44
9cm (Flat-grain)	8.72	28	60.93	0.42	0.46
9cm (Half-edge grain)	8.62	38	45.45	0.42	0.45

목재의 휨탄성계수 값은 주어지는 응력에 대한 변형에 대항하는 값으로써 탄성계수가 크면 변형이 잘되지 않는다는 것을 나타내고, 반대로 탄성계수가 적으면 변형이 쉽게 일어난다는 것을 나타낸다.

표 1에서 판목재(板目材)가 추정목재보다 MOE값이 높게 나타났으며 가공 후 곡률반경에서도 추정목재가 판목재보다 곡률반경이 적게 변화되거나 부분적으로 꺾임 현상이 발생한 것을 볼 수 있다.

또 휨가공 후 건조과정을 거치면서 곡률반경이 휨가공할 때의 곡률반경보다 줄어드는 경향이 나타났다. 이는 건조기에서 장시간 건조시켜 시편이 내부 쪽으로 약간씩 수축하였기 때문이라고 생각된다. 치구곡률반경 9cm 보다 7cm에서 변형이 덜 일어났는데 이는 곡률반경의 차이도 있지만 휨 가공시 대철의 손잡이가 곡률반경 7cm에서는 원의 반 이상을 회전하여 상대적으로 끝부분이 안쪽으로 많이 말려서 안정되었고, 곡률반경 9cm에서는 양손잡이 부분이 원의 반을 완전히 회전하지 못했기 때문에 약간은 불안정한 상태로 휨가공이 되었기 때문이라고 생각된다. 따라서 차후 곡률반경과 대철의 길이를 충분히 검토하여 끝부분이 안정되게 휨수 있도록 휨틀을 설계하는 것이 요망되었다.

나. 대철 두께에 따른 휨가공성

1) 곡률반경

다음의 그림 1에서 볼 수 있듯이, 대철 두께 1mm와 0.8mm는 휨가공 후 곡률반경의 변화가 비슷하지만 두께 0.4mm의 경우는 곡률반경 7cm를 제외하고는 전반적으로 곡률반경이 줄어들어서 변형이 많이 일어나는 경향을 나타내었다.

특히 휨틀의 곡률반경 9cm에서는 그 변화의 경향을 뚜렷하게 볼 수 있었다. 따라서 일정 두께의 대철을 사용하는 것이 건조시에 응력을 어느 정도 막아주어 치수화가 가능하다고 판단되며, 얇은 대철을 사용할수록 건조시 응력을 분산시키는 효과가 작아서 상대적으로 변형이 많이 된다고 생각되었다.

따라서 본 실험에서와 같이 각재의 두께가 10mm정도 되면 대철두께 0.8mm이상의 두께부터 사용하는 것이 바람직한 방법이라 생각되며, 무조건 두꺼운 대철을 사용하기보다는 수종 및 재료두께에 따라 적당한 두께의 대철을 이용해서 비용을 최소화할 필요가 있다고 판단되었다.

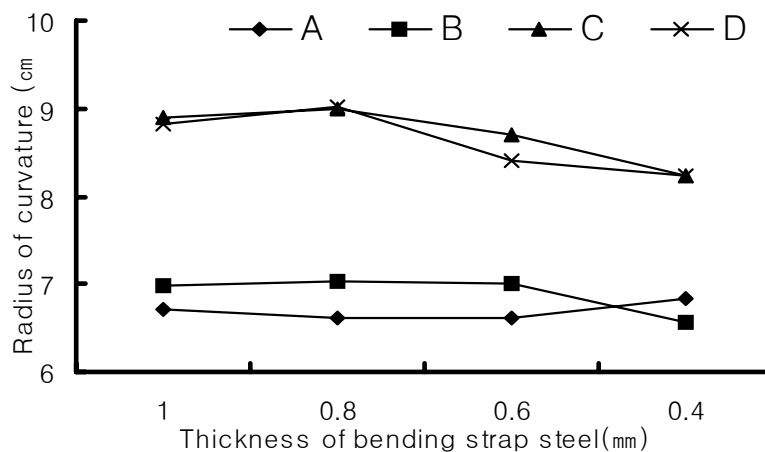


Fig 1. Relationships between radius of curvature after bending and thickness of bending strap steel

Legend : A: Flat grain specimen at radius of curvature on 7cm,
 B: Half-edge grain specimen at radius of curvature on 7cm
 C: Flat grain specimen at radius of curvature on 9cm
 D: Half-edge grain specimen at radius of curvature on 9cm

2) 휨가공성의 평가 및 변형을

蘇 등(1992)의 실험에서는 국산 아까시나무를 고주파가열하여 휨가공하고 가공된 시편을 형태에 따라 압축측, 인장측 모두 전형 손상이 없는 것, 압축측에 약간의 파괴주름이 보이지만 연마시 제거될 수 있는 것, 일단 휠 수는 있으나 압축파괴가 심한 것, 절손 또는 인장파괴가 심한것 등 4가지로 분류하여 구분하였다.

본 실험에서는 인장부분(凸面) 파괴는 발생하지 않았으므로 오목면(凹面) 압축파괴에서 폭방향으로 하나의 선이되게 파괴가 일어난 것과 폭과 두께방향이 만나는 모서리 부분에서 약간의 압축변형이 일어나서 연마가공하면 제거될 수 있는 것, 그리고 실패하지 않은 것 3가지를 기준으로 하여 휨가공 후의 시편 상태를 체크하였다.

표 2에서 A, B등급은 휨가공이 가능한 것을 나타내고 C등급은 파괴가 심하여 실패한 것을 나타내었다. 또 판목재 보다는 추정목재가 휨가공성이 우수하게 나타났으며 대철 두께보다 목리(木理)의 상태가 휨가공성에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이 결과로부터 정목(正目)일수록 휨가공성이 우수하다는 사실(蘇, 1985)을 생각할 수 있었다.

Table 2. The evaluation of bending ability in Korean red pine by microwave heating

Thickness of metal-strap	Number of Flat grain Specimens		Number of Half-edge grain Specimens		Grade of Bending Ability			Number of specimens (A+B Grade)	Number of total specimens (A+B Grade)
	7cm	9cm	7cm	9cm	A	B	C		
1.0mm	0	2	2	4	4	4	8	16 (8)	64 (30)
0.8mm	0	2	4	2	6	2	8	16 (8)	
0.6mm	2	2	0	2	6	0	10	16 (6)	
0.4mm	2	2	0	4	2	6	8	16 (8)	

Note) A: Excellent B: Possible C: Fail

대철 두께 1.0mm와 0.4mm는 상태의 우수성에서 대철 두께 1.0mm가 더 좋게 나타났다. 전반적으로 휨가공이 되는 시편의 개수는 비슷하게 나타났지만, 판목재와 추정목재간에 있어서 두께간의 약간의 다른 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 즉 두께 0.6mm 경우 전체적으로 목리에 크게 상관없이 고른 성공을 보인 반면에 두께 1.0mm와 0.4mm는 추정목쪽의 가공성이 더 높게 나타났다. 휨가공에 실패한 몇몇 시편의 오목면(凹面)에서는 사주목리(斜走木理)가 관찰되었다. 그러므로 동일 수종 내에서도 재료 준비에 있어서 정확한 목리를 취하는 것이 무엇보다 중요한 것으로 판단되었다.

변형율은 A와 B등급에서만 계산되었고 아래의 그림과 같다.

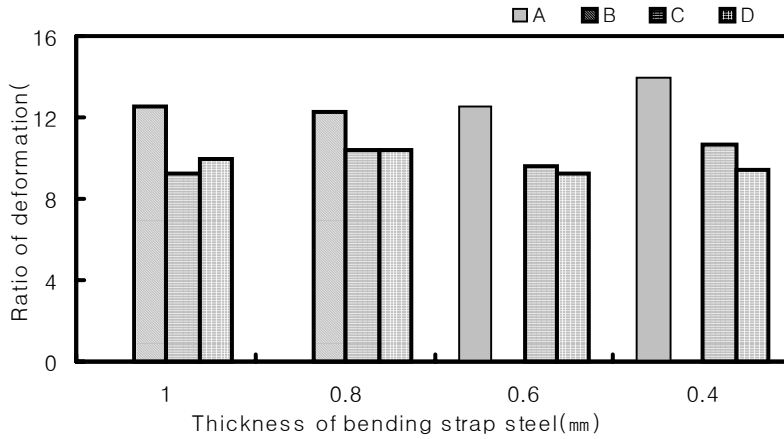


Fig 2. Relationships between ratio of deformation and thickness of ending strap steel

위의 그림에서 대철 두께 1.0mm와 0.8mm의 경우 곡률반경 7cm의 판목재에서 모두 C등급을 나타내어서 나타내지 않았고, 0.6mm와 0.4mm는 곡률반경 7cm 부분의 추정목 부분이 모두 C등급으로 나타나서 수치를 나타내지 못했다. 이는 대철 두께 0.6mm이하에서는 힘의 작용에 의해 시편의 상태의 상태에 따라 휨가공 중에 대철이 휘는 경향이 나타났지만 추정목의 경우 대철부분 쪽으로 연륜부분이 접촉하기 때문에 대철 쪽으로 동일한 응력이 작용되지 못했기 때문이라고 생각되고, 0.8mm이상에서 판목의 휨가공이 어려운 것은 판목의 경우 대철과 접촉되는 부분에 응력이 균등하게 분배되거나 대철에서 이 응력을 어느 정도 약간 완충작용을 해주어야 하는데 그렇지 못했기 때문에 휨가공시 발생한 대부분의 응력이 오목면(凹面) 쪽으로 집중되었기 때문이라고 여겨진다. 따라서 대철의 두께가 너무 두꺼우면 판목의 가공에 어렵고 너무 얇으면 추정목의 가공이 어렵기 때문에 적당한 두께의 대철의 재의 목리상태에 따라 선택하는 것이 중요할 것으로 판단되었다.

Table 3. The number of specimens(A or B (A+B+C)) at the indicated strap thickness(t) and form radius (ρ) for flat-grained specimens and specimens with intermediate annual ring orientation of Korean red pine

Grain t (mm)	Flat-grain	ρ (mm)	Intermediate annual ring orientation ρ (mm)	
	70	90	70	90
0.4	2	2	0	4
0.6	2	2	0	2
0.8	0	2	4	2
1.0	0	2	2	4

Note) A : excellent, no damage, B : good, slight damage, C : fail, severe damage

Table 4. Compressive strain of bent specimens grouped into excellent (A) and good (B) grades and moduli of elasticity in air dry condition(MOE) at the indicated strap thickness (t) and form radius (ρ) for flat-grained specimens and specimens with intermediate annual ring orientations of Korean red pine

Grain t (mm)	Flat-grain	ρ(mm)	Intermediate annual ring orientation ρ(mm)	
	70	90	70	90
0.4	14.0	10.7	-	9.4
0.6	12.5	9.6	-	9.4
0.8	-	10.4	12.3	10.4
1.0	-	9.3	12.2	10.4
MOE (MPa)	5.6	5.0	3.3	4.4

4. 결론

본 실험의 결론을 요약하면 다음과 같다.

고주파 조사후 적정함수율을 맞추는 것은 포수재의 함수율이 다른 관계로 힘들었고, 완전히 포수만 되면 고주파 조사후 휨가공에는 큰 영향을 미치지 못했다. 대철의 두께에 있어서는 두께가 두꺼울수록 추정목재의 휨가공은 양호하게 나타났으나 판목의 휨가공성은 낮게 나타났다.

판목과 추정목에서는 추정목이 판목보다 휨가공성이 우수했고 등급도 더 높게 나타났다. 대철을 이용한 휨가공에서는 휨틀에서 대철의 중앙부를 완전하게 고정하는 것과 손잡이사이에 시편의 치수가 빈틈없이 정확하게 맞아야 휨가공시 응력의 분배가 제대로 이뤄진다는 것을 알 수 있었다.

휩가공된 시편을 건조시킬 때 함수율 10%이하로 건조시킨 결과 스프링백(spring back)현상은 일어나지 않았고 오히려 가공하였을 때의 곡률반경보다 약간씩 줄어드는 경향을 나타내었다. 이는 대철 표면과 가공재의 바깥쪽 부분에 작용하고 있던 압축응력이 제거되면서 상대적으로 안쪽으로 응력이 작용했기 때문이라고 생각된다.

따라서 이를 최소화 시키기 위해서는 적당한 건조 조건을 찾는 것도 휩가공의 중요한 과제로 대두되었다.

앞으로 곡가공의 기술을 적당한 두께의 대철 사용도 중요하지만 힘을 적당히 조절하여 힘에 의한 응력 분산이 제대로 이뤄지는 새로운 장치의 개발도 중요하게 대두되었다.

제 6절. 휩가공을 위한 목재의 열연화특성과 전단강도

1. 서론

목재는 수분과 열의 작용에 의해 연화되어 작은 힘으로도 큰 변형을 얻기 쉽다. 이런 가소화 현상은 다양한 목재가공분야에 있어서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 목재의 압밀가공이나 휩가공은 그 대표적인 일례라 할 수 있을 것이다.

MDF에서는 리파이너로서 목섬유를 제조하지만, 그 공정에 있어서 가능한 손상이

적은 섬유를 얻기 위해서는 목재섬유를 결합하고 있는 리그닌을 부드럽게 하는 작업이 우선 가장 중요하다고 할 수 있다. 또 고함수율 통나무재를 직접 가열하면 목재의 연화에 동반하여 재내부의 생장응력이 제거되고, 따라서 틀어짐이 적은 판재를 고수율로 얻을 수 있다. 건조에 있어서 제재품의 인공건조중에 생기는 찌그러짐 현상은 수분과 열에 의해 연화된 세포벽에 건조응력이 작용하여 생기는 현상이다. 이외에도 목질재료 제조에 있어서 수분을 함유한 목재요소가 열압과정에서 선택적으로 가소화하는 것 때문에 두께방향으로 비중분포가 형성된다. 이러한 비중의 분포는 목질계 재료의 강도성능에 직접적으로 크게 영향을 주게 된다.

따라서 목재를 최적의 제조조건하에서 가공하고 이용하기 위해서는, 수분의 열의 작용원리를 파악하고 그 기구해석이 필수불가결하다고 하겠다.

본 연구에서는 목재시편을 밀폐용기 속에서 고온의 수증기처리를 행한 후 전단강도를 측정하고, 100℃ 이상의 고온영역에 있어서 수증기처리에 의한 열연화 특성을 검토하고자 실험을 실시하였다. 전단강도 측정이유로서는 MDF 제조원료인 섬유제조가 전단력 작용이 주요하중으로 작용하는 것으로 판단되었기 때문이다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

국산 주요 침엽수종인 소나무(*Pinus densiflora*)재(비중 0.438)와 수입 주요 침엽수종의 하나인 라디아타소나무(*Pinus radiata*)재(비중 0.436)를 공시재료로 선정하였다.

먼저 시중 제재소에서 출처가 불분명한 생재상태의 두 수종을 선별구입하여, 섬유방향의 긴 시험체를 절삭가공한 후 목재의 전단시험에 대한 KS시험규격에 의거하여 의자형 전단시험편을 제작하였다.

이때 시험편의 치수는 40mm(L)×30mm(R)×30mm(T)였으며 전단시험을 위해 절단한 부분의 치수는 10mm(L)×10mm(R)×30mm(T)이었다. 시험편 제작 후, 모든 시편은 물속에 담가 하루가 경과한 후에 공시하였으며, 이때 시험편의 개수는 각 시험조건당 5개씩 준비하였다.

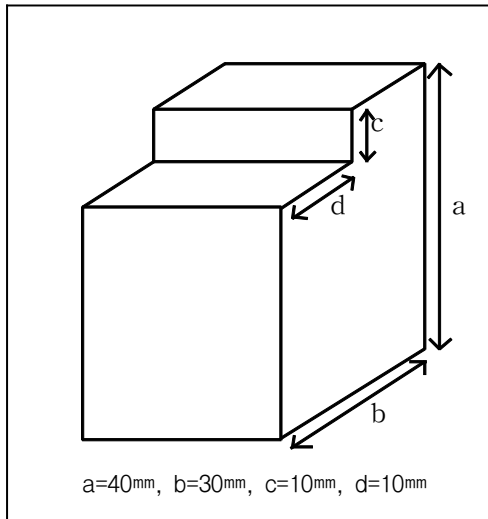


Fig 1. Wood specimen's shape for shearing



Fig 2. Apparatus of shearing test

나. 실험방법

수증기 처리조건은 온도와 처리시간으로 나눌 수 있다. 온도범위는 100℃부터 200℃범위를 20℃간격으로 6등분 하였으며, 처리시간은 5분, 10분, 20분, 30분의 4가지 조건으로 설정하였다. 수증기 처리장치로서는 100℃이상의 고온상태 하에서의 고압 수증기처리인 점을 고려하여 폭쇄처리 장치를 이용하였다.

실험수순으로서 먼저, 폭쇄기 속에 전단시험편을 넣은 후 각 설정온도와 처리시간 별로 수증기처리를 행한 후, 압력을 낮춘 후 시험편을 꺼낸 다음 냉각을 방지하기 위하여 보온통을 이용하여 신속하게 이동한 후, 전단강도 시험을 실시하였다.

강도시험은 하중속도를 분당 3mm로 하여 만능강도시험기로 행하였다.

3. 결과 및 고찰

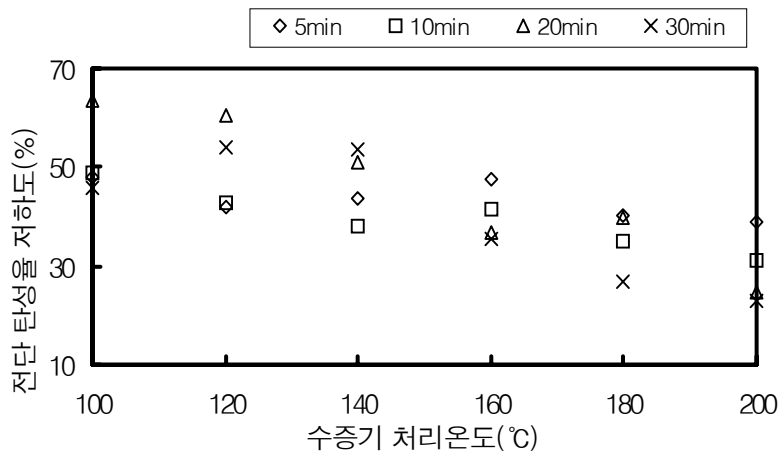
가. 수분과 열에 의한 연화

목재와 같은 탄성체에서의 응력-변형을 관계는 후크의 법칙에 따르는 것으로 간주

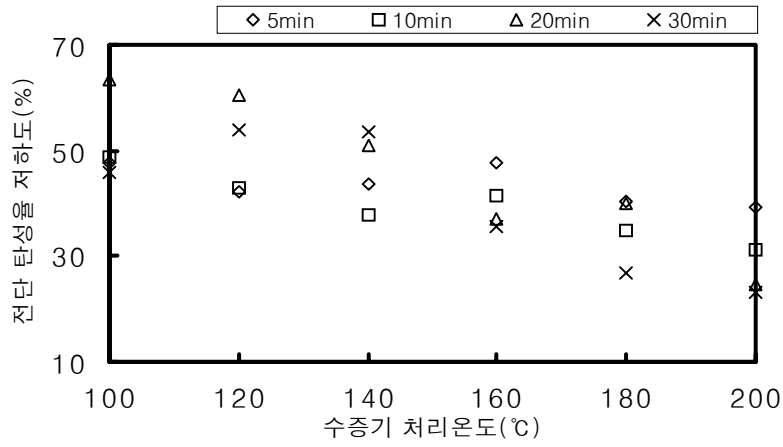
하며, 응력은 변형율과 비례관계로서 그 비례상수는 탄성율이다. 즉 변형의 크기는 응력값을 탄성계수로 나눈 값으로서, 이 수식으로부터 목재의 가소화와 하중 및 변형의 관계가 이해되기 쉽도록 탄성율을 변형에 대한 저항력의 지표값으로 생각하여, 이 수식의 적용범위를 넓게 확장시켜 보자. 즉, 힘가공 및 압밀가공과 같은 연화가공에 있어서 목재가 부드러워진다고 느끼는 것은 같은 크기의 변형을 주기 위해 작은 응력만으로도 충분한 것으로서, 탄성계수의 값이 작다는 것을 의미한다.

즉, 수분과 열의 연화작용에 의해 목재의 탄성율이 저하했기 때문으로서, 목재가 연화하면 동일한 힘으로 보다 큰 변형을 유발할 수 있는 것이다. 이와 같이 수분과 열에 의한 목재의 연화를 기건(15% 함수율) 및 생재상태(120% 함수율)에 있어서 소나무재와 라디아타소나무재의 전단탄성율로서 정량적으로 고찰해 보자.

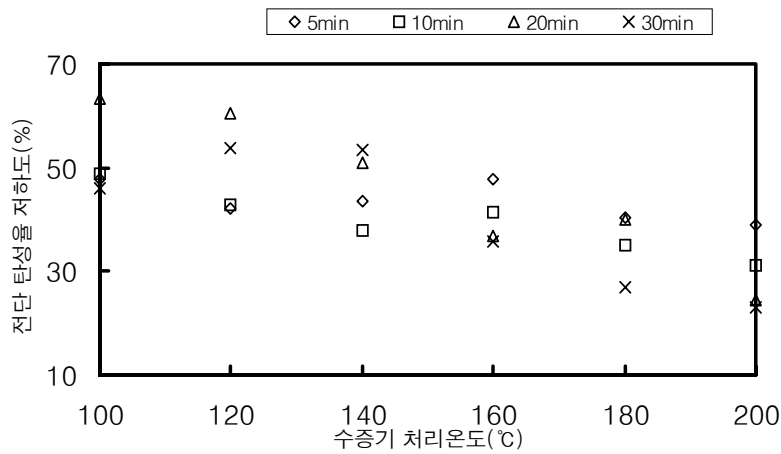
그림 2와 3에 각 수종의 기건상태 대비 횡탄성율의 저하된 크기를 나타냈다.



2.



3.



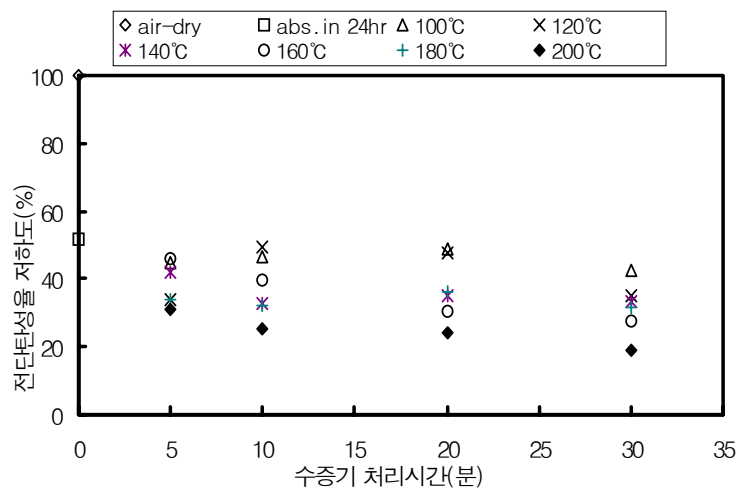
4.

또 그림 3에는 열처리 온도조건과 강도저하를, 그림 4에는 열처리시간과 탄성율 감소관계를 나타냈다. 여기서 저하도(%)는 기건상태의 값을 100으로 기준했을 때, 수증기처리 온도에 따른 저항력이 감소된 후의 탄성율 및 강도의 크기를 비율로서 나타낸 것이다. 우선 20°C 기건상태에 있어서의 탄성율과 생재상태의 열처리재의 탄성율의 비교값으로부터, 수분의 영향과 열의 영향에 의해 전체 실험범위에 있어서

적계는 가열온도 100℃에서 약 40%(소나무재) 또는 50%(라디아타 소나무재)부터 많게는 200℃에서 80%범위까지 탄성율이 감소되었음을 알 수 있다.

그림 4에서는 온도 120℃부근에서 연화점이 관찰된다.

그림 5에서 열처리시간이 길수록 탄성율 저하가 돋보이기는 하지만 120℃이상에서만 포수재보다 탄성율 저하효과가 있음을 알 수 있다. 특히 생재상태 목재의 탄성율은 처리시간에 관계없이 수증기처리 온도의 증가에 따라 직선적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 수분이 전혀 없는 전건상태에서의 탄성율이 가장 큰 점을 생각한다면, 전건대비 생재 탄성율의 저하는 더욱 클 것으로 판단된다. 따라서 후크의 법칙으로부터, 수분과 열의 작용에 의해 변형에 요구되는 힘의 크기가 크게 감소될 수 있음을 알 수 있다. 일반적으로 100℃이하 온도영역에서의 문헌¹³⁾에 의하면, 탄성율은 함수율 8%를 넘는 시점부터 급격하게 감소하고 함수율 20%부터 섬유포화점까지는 탄성율의 변화가 완만한 것으로 알려져 있다.



5.

나. 열연화에 영향을 미치는 목재 구성성분

일반적으로 흡수에 의한 탄성율 감소원인은 목재구성성분의 분자쇄간에 수소결합이 절단되어 물분자가 들어가 내부 가스제로서 작용하기 때문으로 평가하고 있다.

또한 흡수된 목재를 열처리함으로써 저하되는 탄성율은 목재 구성성분의 마이크로브라운 운동에 기인하는 열연화로 알려져 있다. 즉 흡수에 의한 목재 구성성분간의 응집력 저하와 이 수분의 영향으로 가능하게 된 분자의 열운동이 목재 가소화의 주요인이라 할 수 있다. 따라서 여기서 우리가 판단할 수 있는 사실은, 목재가 흡수한 수분양과 가열온도가 가소화의 정도에 직접적으로 관여하고 있다는 사실이다. 점탄성특성의 지표인 손실정접값의 변동에 관한 문헌을 보면, 열연화가 현저한 온도영역에서 피크를 나타내며 그 값이 클수록 고온쪽으로 이동한다고 알려져 있다. 여기서 열연화 거동은 주파수의존성을 나타내는데, 이것은 목재가 크리프변형이나 응력완화를 나타내는 것과 같이 탄성변형과 점성유동이 조합된 변형을 나타내는 점탄성체이기 때문이다.

이런 열연화거동의 변화는 리파이너로써 목재를 전단력에 의해 섬유화시킬 때 중요한 사항이 될 것이다. 여기서 목재 세포벽의 주요 구성성분중 셀룰로스에 대해서는 결정영역에 수분침투가 어려워 전건상태 및 포수상태에서는 연화온도는 거의 변화가 없다고 할 수 있다. 따라서 나머지 주요성분인 헤미셀룰로스와 리그닌이 열연화에 직접적인 관련이 있어 보이며, 문헌에 의하면 단리 성분의 열연화 측정결과 세포간층에 있는 고농도 리그닌의 마이크로브라운 운동이 주된 원인으로 분석되고 있다. 이외에도 헤미셀룰로스의 열연화 거동설도 있다. 본 실험결과, 생재상태의 목재를 고온의 수증기처리에 의한 현저한 탄성율 저하는 리그닌의 용융 및 연화 등에 의해 세포간 결합력이 크게 저하되었기 때문으로 판단된다. 따라서 전단시험에 의한 횡탄성율의 저하는 연화에 기여하는 성분이 소실되고, 세포벽 자체의 탄성율도 크게 떨어졌기 때문으로 추정된다. 또한 열연화 특성이 수종에 따라 다양한 사실로부터, 목재의 가소화에는 수분과 온도의 차이에 의한 매트릭스성분의 가소화 차이 및 목리나 마이크로피브릴의 배열상태와 같은 마크로한 목재의 구조적 인자가 상호 조합되어 있는 것으로 생각된다.

다. 고온에서의 평형함수율과 열연화

지금까지 고온상태에서의 평형함수율은 100°C이하에서의 측정값을 외삽하여 구하였다. 일례로, Stamm⁸⁾이 대기압상태에서 시트카 스프루스로서 측정한 평형함수율(EMC)은, 온도 20~100°C 범위에서 포화상태에 있어서 평형함수율은 온도가 높을수록 낮아질 것으로 예측하고 있다. 여기서 주의해야 할 점은, 상대습도(RH) 90~

100% 범위의 EMC 값은 상대습도 90%이하에서의 EMC-RH관계를 RH 100%까지 외삽하여 구한 결과⁹⁾라는 점이다.

대다수의 수분흡착등온선을 해석한 수분흡착식은 응축에 의한 수분보유분을 고려하지 않고 있기 때문에 일반적으로 외삽에 의해 구해지는 상대습도 100% 부근에서의 EMC값은 낮아지게 된다. 만약 목재내부에 응축이 생긴다고 가정한다면, EMC는 보다 높게 평가될 것이다. 즉 100℃이상의 고온에서의 수분흡착에 있어서는 응축수의 기여를 고려하지 않으면 안됨을 실험에서 확인할 수 있었다.

그 결과를 보면, 포화상태와 불포화상태 모두 고온·고압의 조건하에서 평형함수율은 고온, 1기압하에 있어서보다 높아질 것으로 추정되었다. 또한 처리조건에 있어서는, 열처리시간이 길고 온도가 높아짐에 따라 함수율은 점점 더 높아지는 경향을 나타내었다. 열처리 개시 후 6시간 경과시점에서, 120℃에서 함수율변화가 거의 없이 약 30%, 140℃에서 약 40%, 160℃에서는 50~60%에 달하며, 온도가 높을수록 동일 처리시간에서 함수율이 점점 높아졌다. 그림 6에는 열처리조건에 따른 열처리 전후에 있어서 함수율 감소율을 나타내었다. 고온·고압분위기속의 시편을 대기중으로 꺼내게 되면, 순간적으로 목재내의 수분이 방출되어 정확한 함수율측정이 어려운 것으로 판단되며, 이 결과는 고온일수록, 처리시간이 길수록 순간적인 수분증발현상 및 구성성분 분해량의 영향 등이 복합적으로 나타나고 있는 것으로 판단되어진다.

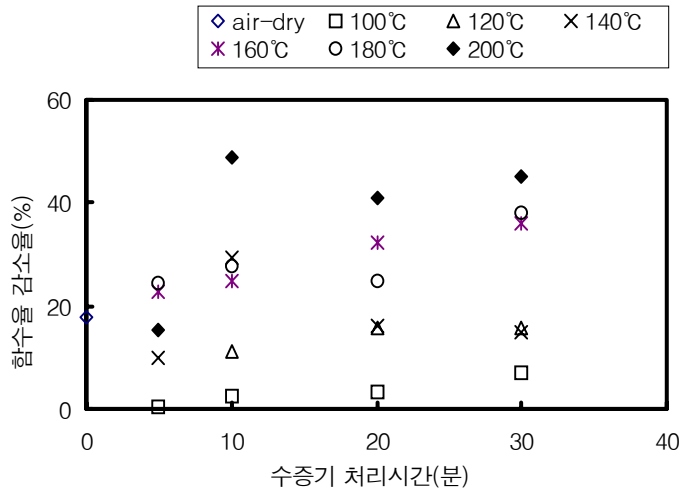


그림 6. 라디에타소나무의 수증기처리조건에 따른 함수율 감소

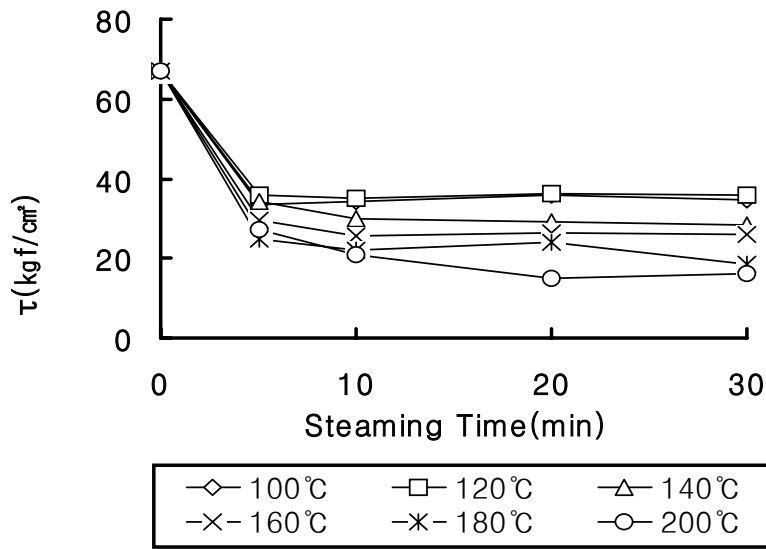


Fig 7. Relationships between shearing strength(τ) and steaming time at high temperatures above 100°C in *Pinus densiflora*

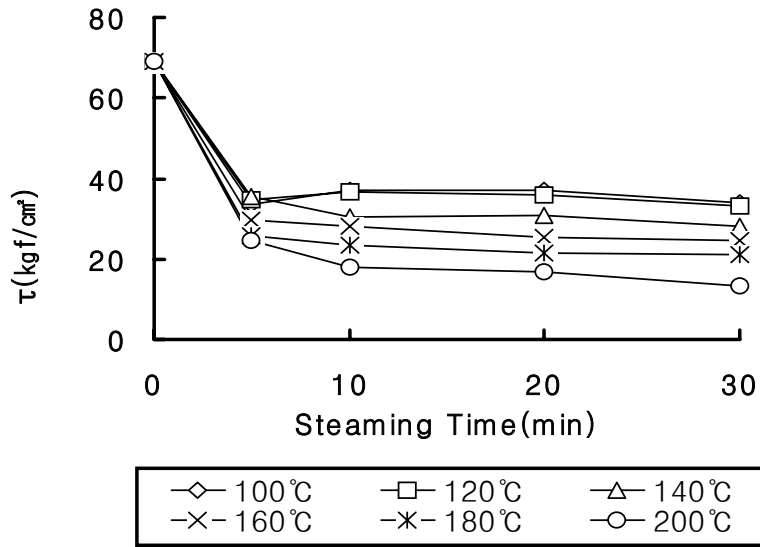


Fig 8. Relationships between shearing strength(τ) and steaming time at high temperatures above 100°C in *Pinus radiata*.

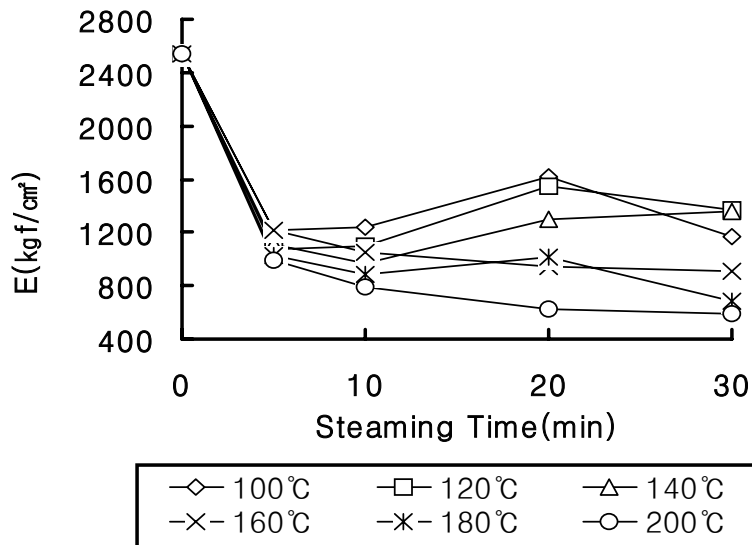


Fig 9. Relationships between Young's modulus(E) and steaming time at high temperatures above 100°C in *Pinus densiflora*.

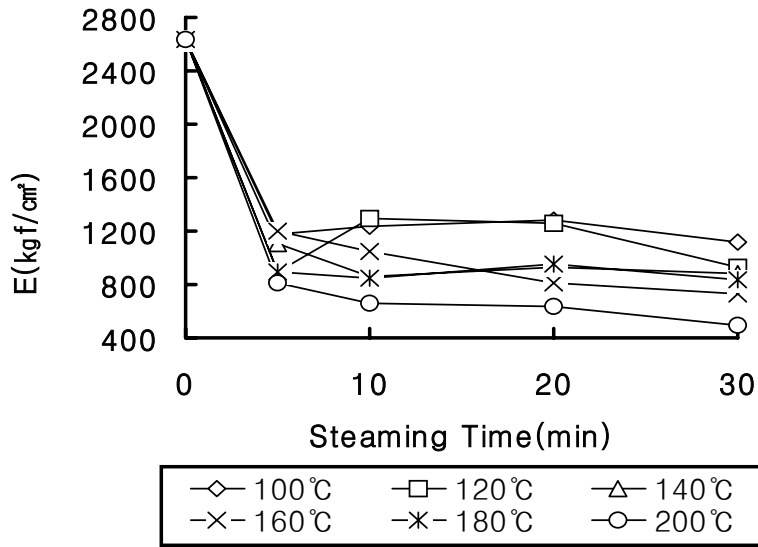


Fig 10. Relationships between Young's modulus(E) and steaming time at high temperatures above 100°C in *Pinus radiata*.

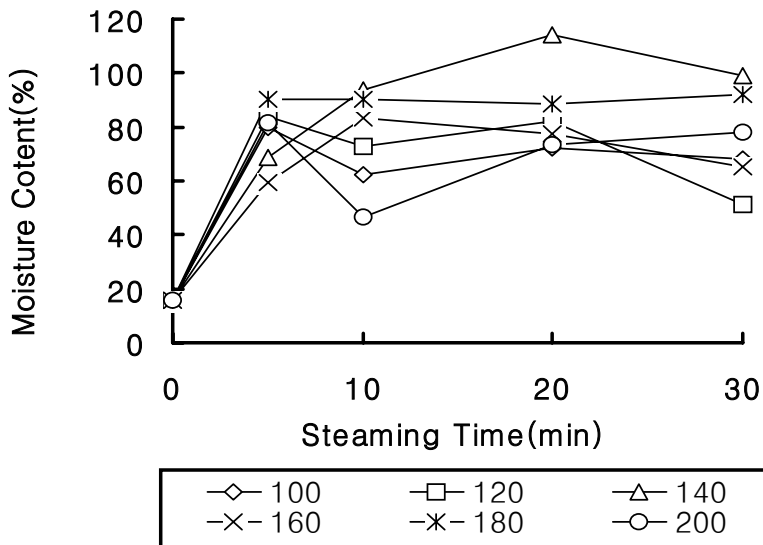


Fig 11. Relationships between moisture content and steaming time in *Pinus densiflora*.

일반적으로 고온 수증기처리에서는 추출성분과 헤미셀룰로스가 감소하며, 추출성분의 감소에 의해 섬유포화점이 높아진다는 보고가 있다.

따라서 심재부는 추출성분이 많기 때문에 변재부보다도 실질부의 감소량이 더 많아질 것이다. 또 이러한 조건하에서는 헤미셀룰로스와 리그닌이 연화된다고 보고되고 있다. 세포벽 내부의 수증기압의 상승이 이들 목재 성분의 변화를 촉진하고 셀룰로스 마이크로피브릴간의 일시공극 등이 확대된다고 한다면, 수분응축은 더 잘 일어나기 쉽고, 수분수착량도 증가하게 될 것이다. 이것이 고온습윤상태에서의 열처리과정에 있어서, 결과적으로는 목재연화나 성장응력의 제거를 촉진시키는 것으로 연결된다고 하겠다.

4. 결론

본 연구결과, 목재의 열연화특성은 수분과 열에 의한 목재의 외부저항력 제거에 의해 일어나고 있음을 알 수 있었다. 즉 수분을 다량 함유한 목재의 리그닌과 헤미셀룰로스의 열연화에 의해 다양한 목재 가공성을 용이하게 해 줄 수 있는 방안의 하나가 될 수 있음을 알 수 있었으며, 금후 이 연구를 보다 활성화시키기 위해서는 100℃이상의 고온에서의 수분흡탈착 현상의 기구해석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이렇게 함으로써 화학약품을 비교적 덜 쓰고, 친환경적이면서 에너지소비를 줄일 수 있는 목재가공 산업으로의 발전이 이루어 질 것으로 기대된다.

제 7절. 휘가공을 위한 고온수증기처리 소나무재의

흡습특성

1. 서론

목재는 흡습성 재료이기 때문에 공기 중의 수분과 목재내의 수분과의 교환이 이루어져 주위의 습도변화에 따라 수축 또는 팽윤 등에 의한 치수변화가 발생한다. 휘가공소재 역시 예외일 수 없으며, 수분에 대한 내수성 또는 흡습저항성의 부여가 필요하며, 이를 위한 대처방안이 필요하다고 하겠다.

현재 이러한 치수불안정을 개선하기 위해 주로 이용되고 있는 방법은 물리적 처리방법과 수지처리, 소수성기의 치환과 같은 화학적 처리방법, 그리고 두 가지를 병행하는 방법 등이 있다. 그러나 이 중에서 화학적 처리방법은 비용이 많이 들고 인체에 유해하고 환경을 오염시키는 등의 많은 문제가 발생할 수 있기 때문에 친환경적이며 에너지소비가 적으며 기존의 장치를 이용할 수 있는 방법을 찾을 필요가 있다. 이러한 방법의 하나로 열처리 가공을 들 수 있다.

최근 목재 또는 목질재료를 이용하여 100℃ 이상의 고온상태에서 열처리하는 가공법에 의해 목재의 물성을 변화시키거나 변형의 영구고정을 시도하는 많은 연구가 이루어지고 있다.

지금까지의 연구내용을 보면, 열처리에 의하여 목재의 흡습성은 저하되고(小原二郎, 1958; 梶田 茂 등, 1961; Hirai 등, 1972), 동적탄성율과 압전율, 결정화도는 특정 처리 온도와 시간에서 최대가 되며(中尾哲也 등, 1983; Kubojima 등, 1998), 연화점은 고온측으로 이동한다(Sawabe, 1971)고 알려져 있다. 또 기계적 성질은 열처리에 의해 저하된다(Merritt 등, 1943; Millett 등, 1967, 1972). 열처리에 의한 흡습성의 저하는 목재의 역학적 성질에 영향을 미치며, 친수성 그룹인 셀룰로오스의 결정화(小原二郎, 1958; 梶田 茂 등, 1961)나 헤미셀룰로오스의 변질(Stamm, 1964; Mitchell 등, 1953)이 원인으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 물리적 열처리 가공방법 중 하나인 고온·고압 수증기를 이용하여 목재를 열처리한 후 열처리재의 흡습특성을 검토·고찰하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에서 사용한 재료는 국산소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)재를 사용하였으며, 재료의 비중은 $0.46(\pm 0.02)$ 였고, 평균연륜폭은 0.82mm 였다.

시험편은 L, R, T방향 모두 20mm인 정육각형으로 제작하였으며 열처리의 조건은 온도조건 100℃, 120℃, 140℃, 160℃, 180℃ 의 5조건과 시간조건 10분, 20분, 30분, 60의 4조건으로 하였다. 각 처리조건에 따라 5개씩의 시험편을 제작하였으며, control 재를 제작하여 대조군으로 사용하였다.

나. 실험방법

1) 열처리

본 연구에서는 고온·고압의 상태하에서 열처리를 행하기 위하여 Stainless Steel Bomb를 사용하였다. 봄베의 내부에 철망을 설치하고 증류수(30ml)를 넣어 시험편이 직접적으로 물에 닿지 않도록 조치하고 열처리를 행하였다.

시험편을 100, 120, 140, 160, 180℃로 셋팅되어 있는 Oil Bath에 각 온도당 5개씩의 시험편을 10, 20, 30, 60분 열처리 하였다. 준비된 Bomb에 증류수를 넣은 후 시험편을 Stainless Steel Bomb안에 넣어 처리를 하였다. 열처리가 끝난 후 Bomb를 흐르는 냉수로 급냉시켜 꺼낸 후 데시케이터를 이용해 30분간 방냉시킨 후 중량과 치수를 측정하였으며, 열처리가 끝난 시험편은 감압건조기에 넣어 48시간 동안 전건시켰다. 시험편의 치수와 중량은 먼저 열처리를 하기 전에 측정하고 다음으로 열처리가 끝난 후 데시케이터에서 30분간 방냉 후 측정하였다. 흡습실험을 하기 전에 감압건조기를 사용하여 시험편의 전건치수와 중량을 측정하였다.

2) 흡습성

재료의 수분에 대한 성질 중 치수안정성 평가를 위하여 흡습실험을 하였다. 흡습 실험은 감압건조기를 이용하여 전건시킨 시험편을 감압건조기에서 꺼내어 시험편을 30분간 충분히 방냉시킨 후 시험편을 온도 25℃, 항온상태에서 상대습도 11%, 33%의 포화염 수용액(LiCl RH11%, MgCl₂ RH33%)을 이용하여 실시하였고, 각각의 상대습도 조건에서 흡습량을 측정하였다.

흡습량은 전자저울을 이용하여 신속하게 측정함으로써 산출하였다. 시험편은 평형에

도달할 때까지 증량을 측정하였다. 측정이 끝난 시편은 건조기 속에서 100~105℃로 건조하여 전건증량을 측정하였다.

다. 흡수성 실험

시편의 흡수율은 실내에서 평형상태가 되도록 하여 치수와 증량을 측정하였다. 평형상태에 도달한 시편은 25±1℃의 항온수조에 24시간 동안 침지시켜, 침지 초기에는 30분 간격으로, 침지 후 1시간 이후에는 1시간 간격으로, 3시간 이후에는 2시간 간격으로 7시간 이후에는 5시간 간격으로 12시간 이후에는 6시간 간격으로 시편의 증량을 측정하였다.

시편의 질량을 측정할 때는 표면에 부착한 물은 가볍게 물에 적셔 짚 가제로 닦아 내었다. 흡수량을 산출한 식은 아래와 같다.

$$W_{nh} = \text{각 시간의 측정무게(g)}$$

$$W_1 = \text{침지전 시험편의 무게(g)}$$



$$A = \text{흡수면의 총면적(cm}^2\text{)}$$

또한 흡수량을 이용하여 흡수량과 흡수시간과의 관계(흡수곡선)에서의 상수값 K 를 구하였다. 흡수곡선에서의 상수값 K 를 획득한 식은 다음과 같다.

$$K : \text{상수} = \frac{Q}{t}$$

Q : 흡수량 (g/cm²)
 t : 흡수시간(분)

3. 결과 및 고찰

가. 열처리 후의 시험편의 외관변화

각 조건별 열처리 후의 시험편은 외관상 큰 변화는 없었다. 열처리 후 뭉뚱 내의 증류수량이 줄어들었는데, 이때 증류수의 양은 온도와 처리시간이 증가할수록 목재

가 흡수하여 줄어드는 양이 많았다. 그리고 증류수의 색깔은 밝은 담황색을 띄고 있었으며, 온도와 시간이 증가할수록 더욱 짙은 색깔을 나타냈다. 증류수의 색깔이 변하는 것은 시험편에서 수용성 성분이 고온·고압 수증기처리를 하는 동안 증류수를 통해서 녹아 나온 것으로 판단된다. 열처리 후의 시험편의 치수와 중량도 수증기의 침투로 인하여 증가하였으며, 이것 역시 온도와 처리시간이 증가할수록 증가량이 커졌다.

나. 흡습성

그림 1과 그림 2는 열처리 시간 10분인 경우와 20분인 경우에 각각의 열처리 온도별 흡습량을 control재와 비교하여 나타내었다.

그림 1에서 100℃, 10분 열처리재의 경우, control재에 비하여 초기 흡습속도에 있어서는 뚜렷한 차이가 있었지만, 수분평형에 도달하여 최종적인 흡습량에 있어서는 큰 차이가 없었다. 이것은 120℃ 처리재에서도 같은 양상을 나타내었으며, 140℃이상의 열처리재부터 흡습량의 저하가 눈에 띄기 시작하였다. 10분 처리재의 경우, 각 온도범위에서 60시간 이후부터 흡습량의 변화가 줄어들고 안정화되는 것으로 관찰되었다.

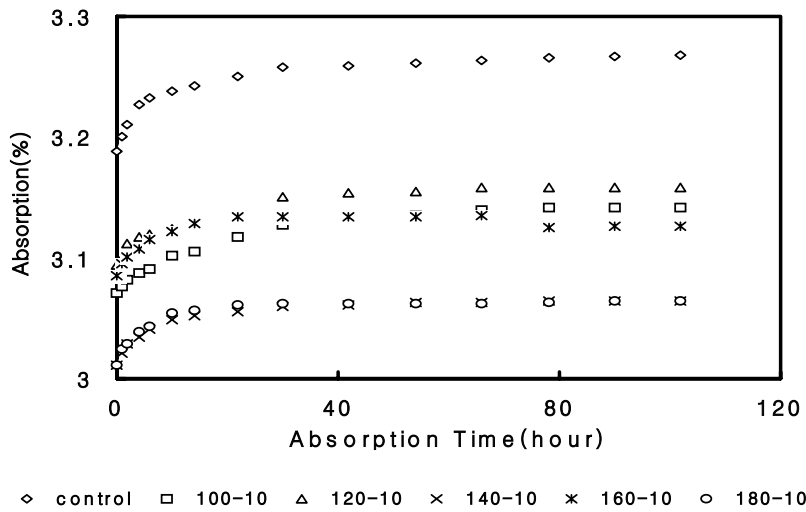


Fig 1. Relationships between absorption time for 10 minutes and amount of absorption at various temperatures.

그림 2에서 열처리 시간 20분인 경우에 열처리 시간 10분인 경우와 비교하면, 전 열처리 온도범위에 있어서 최종적인 흡습량이 줄어드는 것을 알 수 있었으며, 초기 흡습속도 역시 눈에 띄게 느려진 것을 확인할 수 있었다. 그리고 흡습량의 변화가 줄어드는 시간도 좀 더 짧아진 것을 관찰할 수 있었다. 이처럼 열처리에 의하여 흡습량이 줄어드는 것은 열처리시의 고온·고압에 의하여 헤미셀룰로오스가 분해 및 변질이 심하게 되었고, 고온에 의해 분해된 리그닌이 비교적 수분과 결합력이 높은 헤미셀룰로오스와 셀룰로오스를 둘러싸고 있어 수분과의 결합을 차단하고 있기 때문 이라고 추정되었다(Tanahashi, 1989b).

또 목재구성성분의 구조변화, 분자쇄 절단에 의한 경우, 가교형성이나 결정영역의 증가가 아닌 일시적인 응집구조의 형성(Higashihara, 2000)도 생각할 수 있겠다.

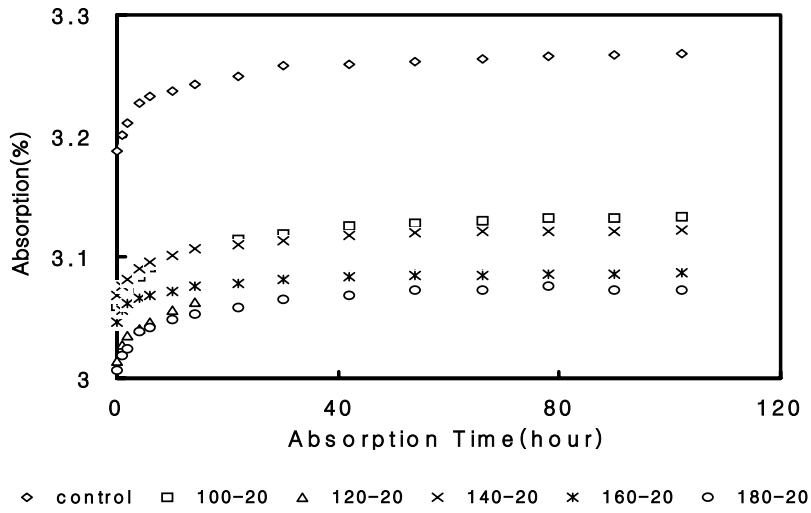


Fig 2. Relationships between absorption time for 20 minutes and amount of absorption at various temperatures.

그림 3과 그림 4에서는 열처리 시간 30분과 60분인 경우에 열처리 온도별 흡습량을 control재와 비교하여 나타내었다.

그림 3과 4에서는 초기에만 흡습이 이루어지고 약 30시간 이후부터는 흡습이 거의 이루어지지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

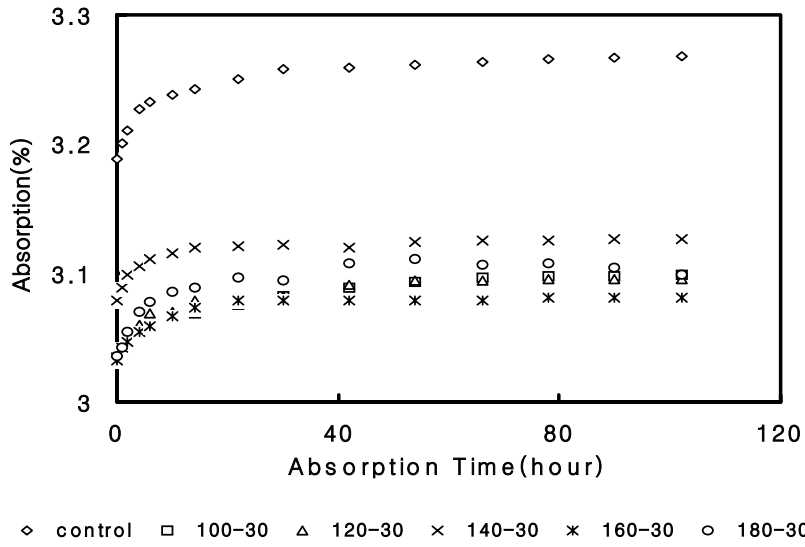


Fig 3. Relationships between absorption time for 30 minutes and amount of absorption at various temperatures.

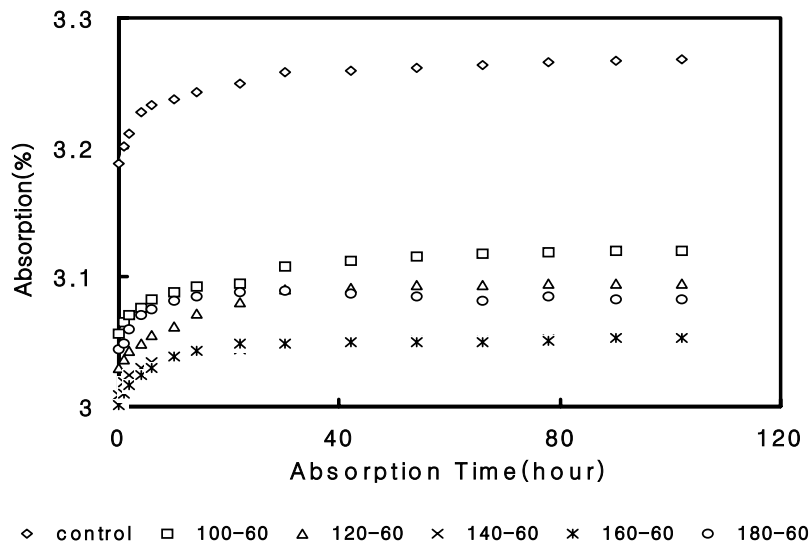


Fig 4. Relationships between absorption time for 60 minutes and amount of absorption at various temperatures.

이것은 열처리재의 흡습성이 저하되어 수분의 평형상태에 빨리 도달하는 것으로 판단할 수 있다. 또한 열처리 시간이 열처리 온도에 비하여 흡습성 저하에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

본 연구에서 열처리 온도와 시간을 조절하여 열처리한 목재의 흡습성을 조사해 본 결과, 열처리 온도와 시간의 증가는 열처리재의 흡습성 저하에 비례하는 것으로 판단된다. 각 열처리 시간에 따른 흡습량을 비교해보면, 열처리 시간이 60분인 경우가 10분인 경우보다 흡습량의 저하가 확연히 드러나는 것을 알 수 있으며, 동일한 열처리 시간일 때 각각 다른 온도에서 열처리 된 시험편은 열처리 온도가 고온일수록 흡습량이 줄어드는 것을 관찰 할 수 있다.

하지만 열처리 온도가 160℃까지는 흡습량이 줄어들었으나 180℃가 되었을 때는 오히려 흡습량이 140℃보다 많아지는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 고온에서 처리할수록 흡습성이 저하될 것으로 예상되었으나, 이 결과에 대해서는 그 이유를 알 수가 없다. 각 온도와 시간별 흡습량의 비교를 위하여 평형함수율에 이른 상태에서의 시험편의 흡습량에 대하여 표 1에 나타내었다.

Table 1. Amount of absorption on each equilibrium moisture content(EMC) state of wood

온도 시간	100℃	120℃	140℃	160℃	180℃
10분	0.0709	0.0645	0.0534	0.0406	0.0532
20분	0.0738	0.0736	0.0532	0.0409	0.0667
30분	0.0635	0.0588	0.0477	0.0491	0.0627
60분	0.0637	0.0654	0.0435	0.0521	0.0387

표 1에서 나타나듯이 각각의 열처리 시간에 있어서 온도가 증가할수록 흡습량이 저하되는 것을 알 수 있다. 하지만 180℃의 경우에는 오히려 흡습량이 증가하고 있는데, 이것은 과도한 열처리로 인하여 열처리재의 내부수증기 압력차가 커짐으로 인해 생기는 현상 또는 열처리되는 동안에 목재내의 수분이동 통로의 장애물제거, 성분분해로 일시적 모관왕축현상이 발생한 것이 아닌가 추정되지만 정확한 원인은 현재로서는 알 수가 없다. 180℃, 60분 열처리한 시험편의 흡습량이 가장 낮게 나타났는데 이것은 고온에서 오랜 시간동안 열처리되었기 때문에 리그닌이 녹아서 시험편

의 표면에 층을 형성하고 이 층으로 인하여 수분의 침투가 어려워져 나타나는 현상으로 생각된다. 이러한 현상의 원인과 열처리에 의한 치수안정화의 기작을 밝히기 위하여 앞으로 다양한 방법의 열처리와 열처리재의 화학조성분 분석 등의 연구가 필요하다고 생각된다.

아래 표 2는 2종류의 포화염을 이용하여 흡습량을 측정하여 평형함수율을 나타낸 것이다. 위의 그림에서 볼수 있었던 것처럼 표 1에서도 60분간 열처리 조건이라는 동일한 열처리 시간이 주어지면 고온에서 열처리된 시편이 저온에서 열처리된 시편보다 수분을 적게 흡습하는 것을 관찰할 수 있었다.

또한 160℃와 180℃에서 고온수증기 처리한 시편의 평형함수율은 거의 동일하게 나타남을 알수 있었다. 이 흡습량의 차이는 LiCl RH 11% 포화염에서보다 MgCl₂ RH33% 포화염에서 더 잘 관찰됨을 알 수 있었다.

표 2. 고온 수증기처리시 온도 및 시간조건별 평형함수율(%)

처리조건 흡습시간		LiCl RH11%					MgCl ₂ RH 33%				
		100℃	120℃	140℃	160℃	180℃	100℃	120℃	140℃	160℃	180℃
24시간	10분	3.6	3.5	3.4	2.6	2.5	5.1	4.3	4.2	4.1	3.8
	20분	3.7	3.2	3.1	2.4	2.3	5.1	4.7	4.7	4	3.9
	30분	4	3.6	3.6	3.4	2.5	5.3	3.9	3.8	3.8	3.3
	60분	4.3	3.4	3.1	2.7	2.2	5.4	3.8	3.7	3.6	2.9
48시간	10분	3.8	3.7	3.5	3.1	3.1	6	5.1	4.6	4.4	3.7
	20분	3.8	3.5	3.3	2.7	2.6	6	5.1	4.6	4.2	3.9
	30분	4.8	3.8	3.7	3.4	2.8	5.9	4.7	3.9	3.6	3.4
	60분	4.7	3.8	3.7	3.3	2.7	5.9	4.7	4.2	3.5	3.2

다. 흡수성

1) 고온 수증기처리의 시간에 따른 흡수량

60분간 무처리재 및 가열온도 100℃~180℃범위에서 20℃간격으로 고온수증기 처리시의 수분흡수율 실험 결과를 분석한 결과, 무처리재와 100℃에서 열처리된 시편의 흡수속도는 거의 비슷하며, 180℃에서 열처리된 것이 가장 기울기가 완만한 것으로

로 나타났다. 여기서 관찰되는 바와 같이 열처리 시간이 동일한 경우에는 고온에서 열처리 된 시편이 수분을 덜 흡수하며 흡수속도 또한 느린 것으로 관찰되었다. 이러한 현상은 목재의 구성 성분에 존재하는 친수성기, 즉 -OH기가 열처리 단계에서 소수성기로 치환되어 흡수성이 감소되는 것으로 추정된다. 또한 열처리에 의해 셀룰로오스 결정영역의 증가와 헤미셀룰로오스의 열화학적 변화 및 분해산물의 수지화등에 의한 변화로 추정된다.

표 3은 열처리 시편의 흡수곡선상수 즉, K를 나타내었다. 이 표에서 무처리재와 비교하여 보았을 때 고온 수증기 열처리를 한 시편의 K값이 적은 것을 알수 있었다. 이에따라 동일한 열처리 시간 하에서는 열처리 온도가 고온일수록 흡수곡선상수 K의 값이 적어짐을 알수 있었다. 그러나 동일 온도에서 처리한 시편의 K값에는 0.001×10^{-3} 정도의 극히 작은 차이가 있음을 관찰할 수 있었다.

표 3. 열처리 시편의 흡수곡선상수(K) 변화량

처리온도 \ 처리시간	$K \times 10^{-3}$ 값($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)			
	10분	20분	30분	60분
무처리재	7.847'			
100℃	7.702	7.687	7.619	7.598
120℃	6.995	6.919	6.913	6.885
140℃	6.457	6.433	6.217	6.197
160℃	6.192	6.159	5.824	5.709
180℃	2.256	2.238	2.128	2.112

주) 7.847' : 고온 수증기 처리 하지 않은 시험편

아래 표 4는 흡수실험이 끝난 시편의 접선방향의 팽윤율을 나타낸 것이다. 이 팽윤율 측정결과에 의해 100℃에서 10분간 처리된 시편의 팽윤율이 180℃에서 처리된 시편의 팽윤율보다 약 1.7배 더 큰 것을 관찰할수 있었다.

60분동안 처리된 시편에서 100℃에서 처리된 시편과 180℃에서 처리된 시편의 팽윤율을 비교해 보면 약 2배정도 차이가 남을 발견 할수 있었다. 또한 처리시간 10분과 20분에서는 거의 동일한 팽윤율을 나타내지만 60분 처리에서는 확실한 차이를 나타냄을 알 수 있었다.

표 4. 고온수증기 처리한 시편의 처리조건에 따른 접선 방향 팽윤율(%)

처리온도(°C) \ 처리시간(min)	팽윤율(%)			
	10분	20분	30분	60분
100°C	7.3	7.3	7.3	7.2
120°C	7.3	7.3	7.2	7.0
140°C	7.0	6.9	6.3	6.1
160°C	5.9	5.8	5.4	4.6
180°C	4.3	4.2	4.0	3.4

β소나무 ≍ 10 %

4. 결 론

결론적으로 목재를 적당한 온도와 시간으로 열처리를 하게 되면 효과적으로 치수안정화를 시킬 수 있는 것으로 판단되며, 화학약품처리를 하지 않고 단순히 물리적인 열처리만으로 치수안정화 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 최적 수증기처리 조건은 온도범위 140°C~160°C, 처리시간 20분~30분으로 나타났다.

현재 열처리 목재의 수분에 대한 성질과 더불어 열처리재의 강도적 성질, 화학조성분 분석 등의 연구를 계속하고 있다. 따라서 최적의 열처리 효과를 얻을 수 있는 온도와 시간을 찾고, 열처리에 의한 치수안정화의 기작을 알아낼 수 있을 것으로 기대한다.

이러한 연구에 의하여 저렴하면서도 간단한 열처리에 의한 할렐이나 뒤틀림 등의 치수변동이 없고 친환경적인 재료의 개발이 이루어진다면, 목재자원의 효율적인 활용 및 수입대체효과 등의 기대효과를 도모할 수 있으며 신 기능성 목재소재 개발에 큰 기여를 할 것으로 생각된다. 목재를 고온 수증기처리 할 때 열처리 온도와 열처리 시간이 증가함에 따라 목재 시편이 흡수하는 수증기의 양과 수분의 양은 저온, 단시간에서 열처리했을 때 보다 천천히 증가하고 그 양도 열처리하지 않은 무처리재 시편보다 적어짐을 추정할 수 있다.

따라서, 흡습성과 흡수성에 의해 치수변화가 일어나는 목재의 치수안정화를 향상시키기 위한 열처리에서는 고온, 장시간에서 열처리할수록 효과적이라고 판단된다.

또한 화학약품 처리를 하지 않고, 단순히 고온수증기처리 만으로서 치수안정화 효과를 이룰 수 있다는 점에서 물리적 치수안정화처리 방법이 목재 산업계에서 확대될 것으로 기대된다.

제 8절. 고주파처리 및 암모니아처리에 따른 휨가공

목재의 치수안정성

1. 서론

목재의 휨가공 방법 중 고주파처리를 하게되면 아름다운 곡면을 손쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만, 목재의 휨가공은 특정수종에서만 가능하고, 그 중에서도 온대산 활엽수종 중에서 비중이 높은 수종일수록 휨가공이 우수하다. 목재를 고주파 처리하면 단시간에 휨가공이 가능하고, 휨가공목의 강도도 다른 처리법에 비하여 높고, 재색의 변화도 거의 없는 장점이 있는 반면에, 액체암모니아에 의한 화학적 가공법은 처리시간이 다른 처리법에 비하여 길다.

작업성에 있어서는 아프리카 파덕(*Pterocarpus soyauzii*)과 국내산 오리나무(*Alnus japonica*)를 두께 1.5~3mm와 다양한 형틀에 넣어 휨가공을 실시한 결과 기존의 증기 처리법등에서 발생하는 높은 회복력을 극복할 수 있고, 인위적인 힘에 의하여 다양한 모양의 곡면을 연출할 수 있다고 강 등(2001)은 보고하였다.

따라서 본 연구는 전보(정 등, 2002)에서 10가지 수종에 의한 휨가공성을 평가한 자료를 바탕으로 휨가공성이 보통으로 나타난 소나무재를 액체암모니아에 침지처리하여 곡률반경에 따른 휨가공을 실시한 후 시간에 따른 곡률반경과 끝단거리 변형율의 변화가 고주파 처리한 곡목과 어떠한 차이를 나타내는지 알아보기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

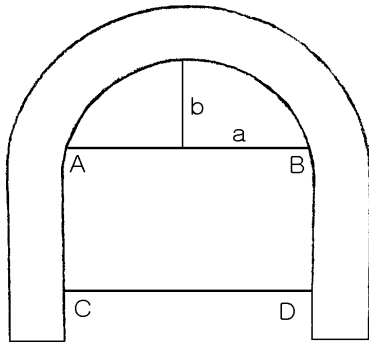
가. 공시재료

본 실험에 사용된 소나무재는 경북 청송에 위치한 경북대학교 연습림에서 벌채한 원목을 사용하였으며, 수령 40년생, 흉고직경(DBH)은 200mm, 함수율은 16%인 소재를 사용하였다.

시험편의 치수는 곡률반경 60mm인 경우는 350mm(길이)×20mm(폭)×10mm(두께)였으며, 곡률반경 100mm인 경우는 400mm(길이)×20mm(폭)×10mm(두께)였다.

나. 휨가공 치구 및 대철

휨가공 치구의 모양은 U형으로 제작된 곡률반경 60mm, 100mm로 구분하였다. 대철 두께는 0.6mm인 대철을 사용하였다(정 등, 2002). 대철중앙부의 완전고정을 위하여 휨가공 치구의 중앙부에 클램프를 설치하였다.



$$\begin{aligned} \text{곡률반경} &= \frac{a^2 + b^2}{2b} \\ \text{곡률반경 변형률} &= \frac{|\rho - \rho'|}{\rho} \times 100 \\ \text{끝단거리 변형률} &= \frac{|CD - C'D'|}{CD} \times 100 \end{aligned}$$

Fig 1. 변형을 측정

다. 고주파 가열

고주파 가열은 가정용 전자렌지(발진 주파수 2,450MHz, 출력 700W)에서 실시하였으며, 포수된 시험편을 비닐랩으로 밀봉 후 90초간 고주파 가열을 실시하였다.

라. 액체암모니아 침지처리

본 실험에 사용된 액체 암모니아(DC Chemical Co.)는 농도 28%의 암모니아수를 사용하였다. 암모니아 침지는 밀폐된 용기에서 24시간 실시하였다.

마. 변형을 측정

휨가공된 목재는 항온. 항습실(20℃, RH80%)내서 10일간 조습하였으며, 이때 24시간 간격으로 끝단거리 변형율과 곡률반경 변형율을 측정하였다. 끝단거리 변형율과

곡률반경 변형율은 다음의 공식에 의하여 산출하였다.

$$\text{끝단거리 변형율}(\delta) = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1)$$

$$\text{곡률반경 변형율}(\Psi) = \frac{\Delta R}{R_0} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

가. 끝단거리 변형율

그림 2, 3은 고주파 가열과 액체암모니아 침지처리에 의한 휨가공 목재의 시간의 경과에 따른 끝단거리 변형율을 나타낸 그림이다.

형틀의 곡률반경에 따른 변형율은 10cm의 곡률반경이 6cm의 곡률반경에 비하여 상대적으로 안정된 경향을 나타내었다. 또한, 처리조건에 따른 변형율은 고주파 가열에 비해 액체암모니아 침지처리를 한 것의 변형율이 적게 나타났다.

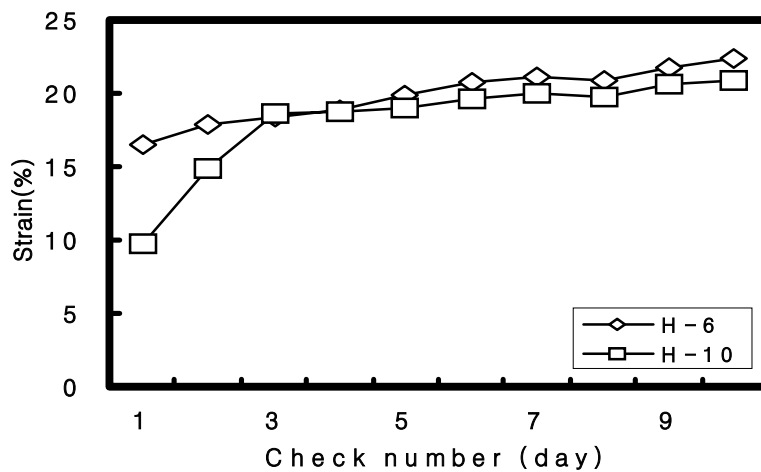


Fig 2. End-distance strain by microwave heating.

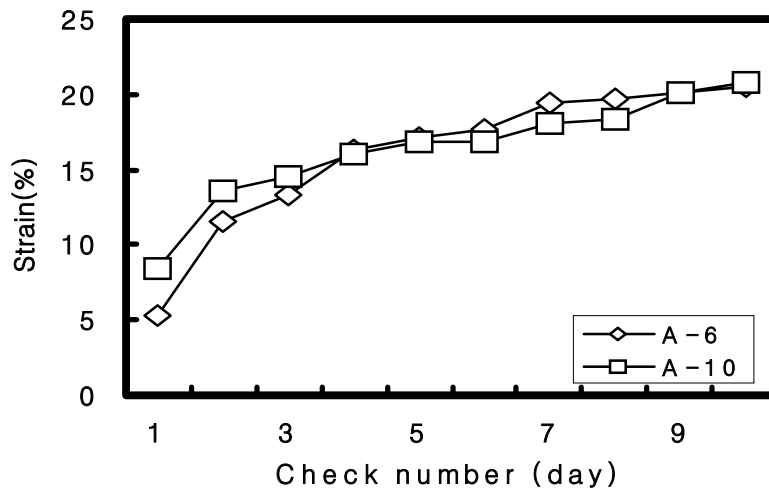


Fig 3. End-distance strain by liquid Amonia treatment

이러한 현상은 액체암모니아가 목재내의 주성분인 리그닌을 가소화 시킬뿐만 아니라 수소결합을 팽윤시켜 미끄럼을 촉진하기 때문이며, 특히 셀룰로오스 비결정영역은 물론 결정영역까지 침투하기 때문에 매우 효과적인 가소성을 나타내기 때문이라고 생각된다(Bariska et al., 1969; Schuerch, 1964; Kang, 2001).

또한 U자형 휨가공목재에서는 곡률반경의 변형보다는 양끝단의 변형율이 크게 나타나기 때문에 끝단변형율이 휨가공목재의 변형율의 주를 이룬다(정 등, 2001). 고주파가열과 암모니아 침지에 의한 휨가공법의 장단점을 살펴보면 고주파가열은 초기 시설비용이 많이 드는 단점이 있지만 작업이 간편하고, 시간을 절약할 수 있으며, 작업안전성이 우수하다. 이에 반하여 암모니아 침지처리는 시설비용은 고주파가열에 비하여 적지만 작업의 위험성이 크며, 작업성도 고주파가열에 비하여 상대적으로 떨어지고, 휨가공목재의 강도도 다소 저하되는 경향을 나타낸다. 하지만, 암모니아 침지처리의 작업은 고주파 가열에 비하여 가소화 현상에 의해 무늬결의 선명도가 향상되기 때문에 밀폐된 공간에서의 작업성을 향상시킬 수 있다면, 가구부재로서의 활용도가 아주 높을것으로 생각된다.

그러므로 액체암모니아 침지에 의한 휨가공법은 가구재료에서 디자인을 응용한 분야에 적용한다면 고부가가치를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 곡물반경 변형율

그림 4, 5는 고주파 가열과 액체암모니아 침지처리에 의한 휨가공 목재의 시간의 경과에 따른 곡물반경 변형율을 나타낸 그림이다.

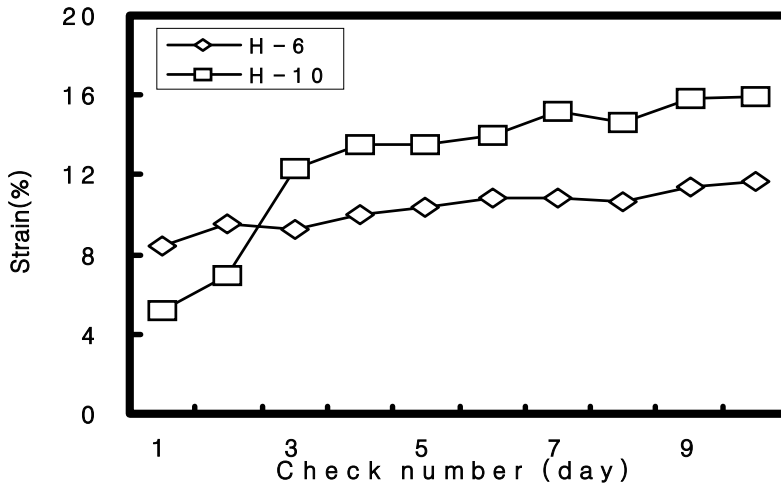


Fig 4. ROC strain by microwave heating

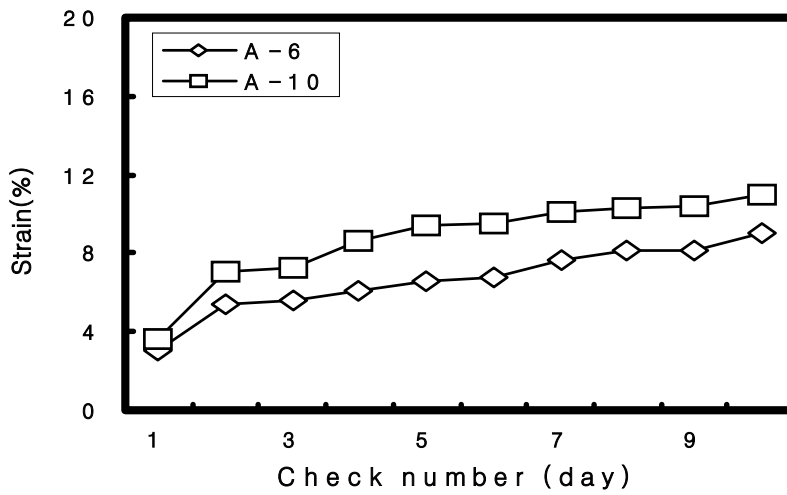


Fig 5. ROC strain by liquid Amonia treatment

4. 결 론

고주파 처리에 의해 휨가공성이 불량한 소나무재를 액체암모니아 침지처리 방법으로 휨가공을 하였을 때, 곡률반경에 따른 휨가공성에는 차이를 발견할 수 없었다. 또한 액체 암모니아 침지처리에 의한 곡목은 끝단변형율과 곡률반경의 변형율이 고주파처리 곡목과 비교하여 우수하여 치수안정성이 높게 나타났고, 오목면의 표면이 파상무늬결의 격임현상이 없이 매끄럽게 처리되는 것을 알 수 있었다.

그러나 고주파가열 휨가공재에 비하여 액체암모니아 침지처리법에 의한 휨가공 목재의 강도가 낮아지는 경향을 나타내었다.



소나무 휨가공재의 암모니아처리(좌) 및 고주파처리(우)시의 형상 비교

휨가공재의 외관의 색상면에 있어서는, 암모니아처리에 의한 휨가공목의 색상밝기가 어두워지는 반면, 조만재간의 명암차이에 의한 연륜구조의 뚜렷함으로 인한 미적 인 효과는 상승되는 것으로 판단되었다. 더불어 암모니아 처리공정은 냄새로 인한 작업성의 어려움 때문에 고주파가열에 의한 휨가공법보다는 작업능률이 많이 떨어질 것으로 판단되었다.



백제암모니아 처리



고주파가열 처리

철면(凸面)에서의 모양



백제암모니아 처리



고주파가열 처리

요면(凹面)에서의 모양

제 9절. 휩가공 목재의 후처리조건에 따른 치수안정화

1. 서론

휩가공 목재는 휩가공 후에도 건조(乾濕)반복에 의한 함수율의 변화에 의하여 치수변동을 하게 된다. 이러한 치수변동은 휩가공 중에 압축부의 길이 방향으로 목섬유의 주름과 접힘에 의해서 일어나는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 전보(정 등, 2001)에서 휩가공성이 양호하다고 판단된 비중이 각기 다른 3수종을 선택하였으며, 일반적으로 목재의 치수안정화에 효과가 있다고 알려져 있는 3가지 처리방법(수증기처리, 우레탄 바니쉬도장 처리, PEG처리)을 실시하여 각 처리조건에 따른 치수안정성 효과에 대하여 검토, 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 공시재료는 경북 청송군 현동면에 소재한 경북대학교 연습림에서 벌채한 원목을 사용하였으며 수종별 내용은 다음 표 1과 같다.

Table 1. Index of sample trees.

	DBH(cm)	Age	MC(%)	S.G.	Porosity
bitter wood(<i>Picrasma quassioides</i>)	18	40	15	0.63	Ring-porous
painted maple(<i>Acer mono</i>)	17	50	15	0.7	Diffuse-porous
birch(<i>Betula schmidtii</i>)	18	45	15	0.93	Diffuse-porous

나. 실험

1) 휩가공

휩가공 공정은 곡율반경 4cm의 휩치구와 대철(Metal-strap)을 이용하여 실시하였

으며, 시편의 치수는 35cm(길이)×2cm(폭)×1cm(두께)로 하였으며, 시편의 목리는 추정면(追粧面)재를 사용하였다.

2) 온·습도 반복실험

온도 및 습도 반복실험은 40℃ 건조기내에서 12시간, 온도 20℃, 상대습도 80% 항온항습실에서 12시간씩 온·습도 반복실험을 24시간을 기준으로 반복하였으며, 총 3주에 걸쳐서 실시하였다. 이때 곡률반경과 양끝단의 간격측정은 일주일 단위로 측정하였다.

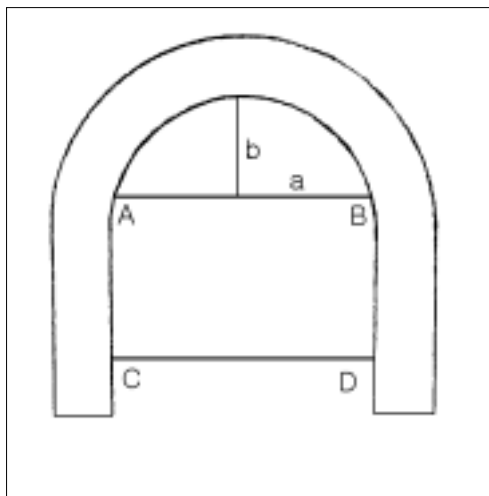


Fig.1 Diagram for measurement



Fig.2. Apparatus for bending process.

3) 곡률반경의 측정 및 양끝단 간격측정

전절에서 기술한 바와 같이, 그림1에 기초하여 표선 A, B를 연결하여, 곡률반경(ρ)과 양끝단의 변형율(ϕ)은 전술한 식에 의하여 측정하였다.

4) 수증기 처리

수증기 처리는 황가공후 대철고정 상태로 오토클레이브(Auto-clave)에 넣어 130℃에서 60분간 수증기 처리를 실시하였다.

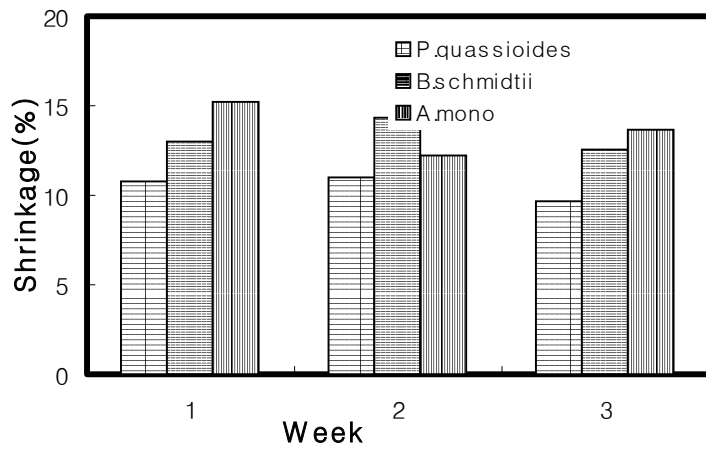


Fig 3. Shrinkage of ROC by steaming

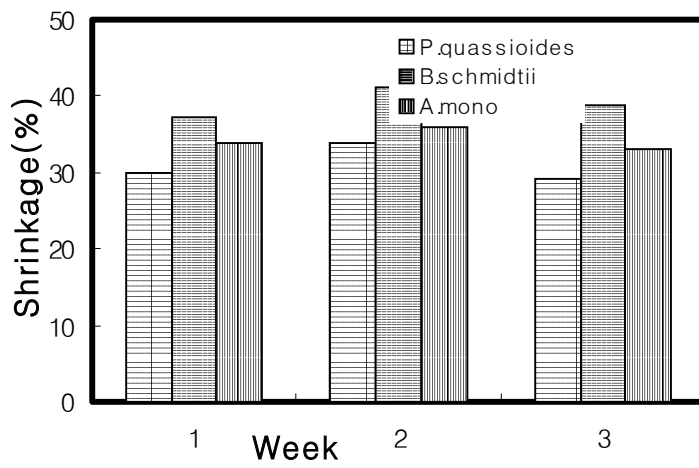


Fig 4. Shrinkage of end distance(CD) by steaming.

5) 우레탄 바니쉬(Urethane Varnish)도장

본 실험에 사용된 도료는 국내 G사에서 시판하고 있는 1액형 슈퍼우레탄 바니쉬를 사용하였으며, 18g을 총 2회에 걸쳐 롤러로 도장하였다.

6) PEG 처리

본 실험에 사용된 PEG(polyethylene glycol, 純正化學CO.)는 분자량 1500의 PEG를 사용하였다. 사용된 PEG의 농도는 30%였으며, 휩가공 목재를 틀에 고정된 상태로 함수율 조정 후, 상온에서 12시간 침지처리를 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수증기 처리

수증기 처리에 의해서는 곡율반경의 변형보다는 양끝단의 길이변형이 아주 심하게 나타났다. 열에 의한 목재내의 헤미셀룰로스 가수분해는 목재의 압축성을 증가시키며, 활엽수재와 침엽수재 모두 헤미셀룰로스의 부분적인 가수분해에 기인한다고 보고되었다(Hsu *et al.*, 1988).

수증적인 특성에서는 박달나무와 고로쇠나무의 수축율이 크게 나타났으며, 곡율반경과 양끝단거리 모두에서 2주후까지는 그 변화량이 증가하지만 3주째 부터는 다시 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 휩가공 목재가 온. 습도 반복조건에서 초기에는 수축하기 시작하다가 차츰 시간이 지나면서 다시 팽창하는 것으로 생각되었다. 특히 양끝단의 변형율은 평균 30%이상으로 다른 조건에 비하여 상당히 높은 수치를 나타내었다.

나. 우레탄 바니쉬(Urethane Varnish) 도장

본 실험에 사용된 시험편들은 대패가공된 시편을 사용하였으므로, 소지조정 작업은 생략하고, 초벌칠과 마감칠로 2회의 도장을 실시하였다.

또한 본 실험에 사용된 우레탄 바니쉬는 휩성, 부착성, 내마모성 및 내약품성이 좋고 광택도 좋아서 목재의 신축에 대하여 무난하며, 목재에 잘 부착되어 갈라지지 않는 성질을 가지고 있다(李, 1995).

아래의 그림을 살펴보면 수증기 처리에 비하여 니스도장이 상대적으로 낮은 수축율을 보이는 것을 알 수 있다. 니스도장의 경우 곡율반경과 양끝단거리 모두 시간의 경과에 의한 변동이 크게 나타나지 않았다. 수증적인 특성에서는 수증기 처리의 경우와 마찬가지로 박달나무와 고로쇠나무의 수축율이 크게 나타났다.

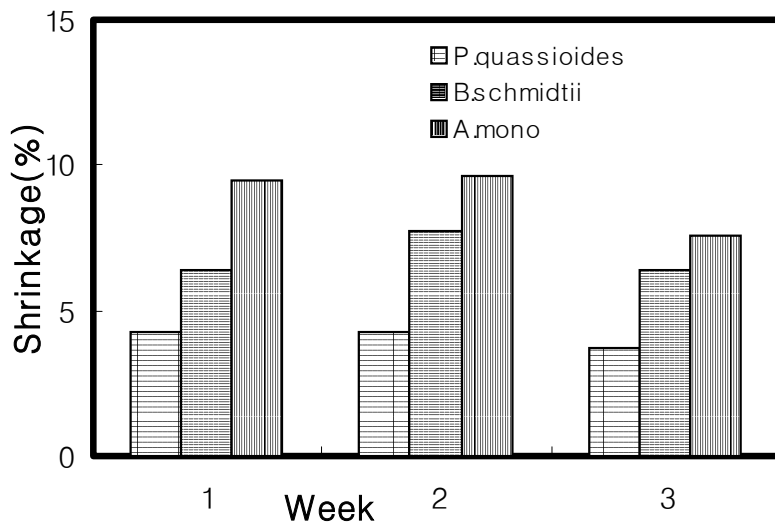


Fig 5. Shrinkage of ROC by painting.

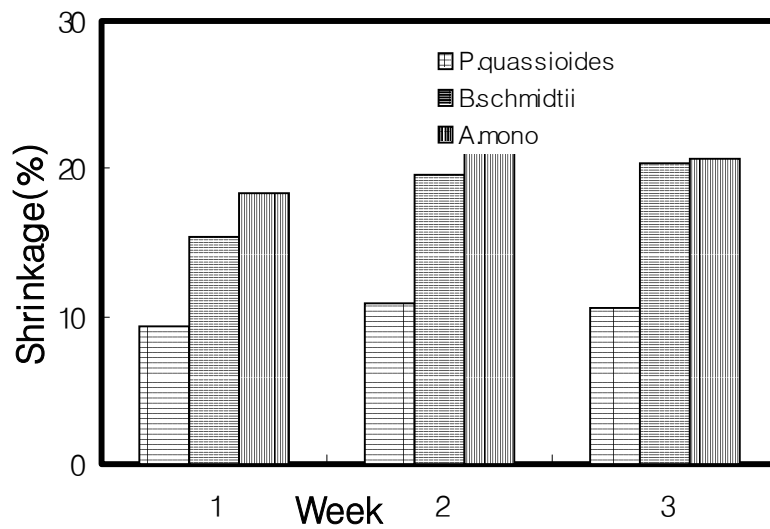


Fig 6. Shrinkage of end distance(CD) by painting as a function of the time elapsed(weeks)

다. PEG(Polyethylene glycol)처리

PEG는 분자량에 따라 다양하고, 또한 농도에 따라서 주입성이 다르지만, 분자량이나 처리온도의 조건보다는 수용액의 농도가 30%일 때 치수안정화 효과가 가장 우수하다고 보고되었다(권 등, 2002).

본 실험에서는 휨가공 목재라는 특수성을 고려하여 치수안정성 평가는 하지않고 다른 처리조건과의 상대적인 차이만을 고찰하였다.

PEG 처리에서 곡률반경 수축율은 3수종 모두 5%이하로 낮게 나타났으며, 양끝단 수축율은 박달나무를 제외하고는 모두 10%내외로 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 하지만 박달나무의 경우 2주째의 수축율이 20%이상을 나타내어 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 이는 박달나무의 높은 밀도로 인하여 수축과 팽윤도 크게 발생한 것으로 생각되었다.

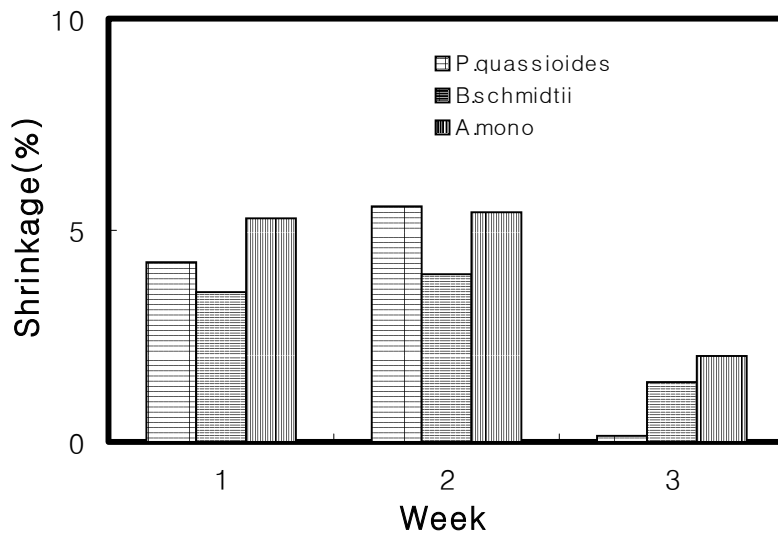


Fig 7. Shrinkage of ROC by PEG

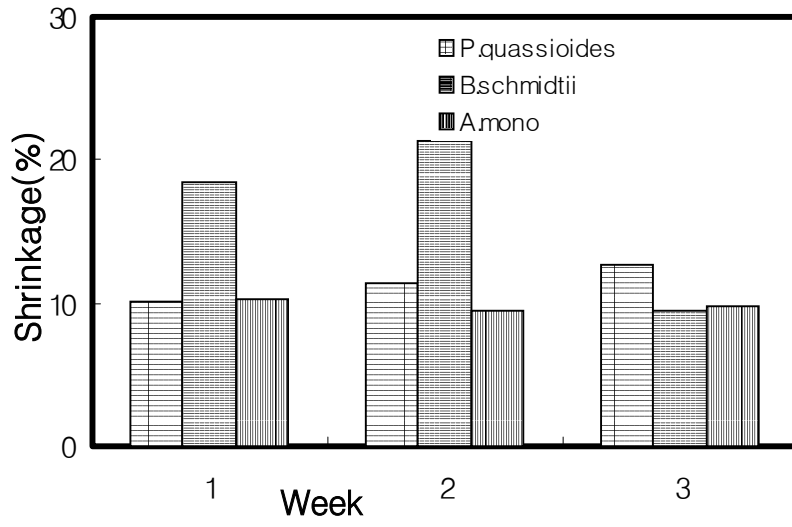


Fig 8. Shrinkage of end distance(CD) by PEG

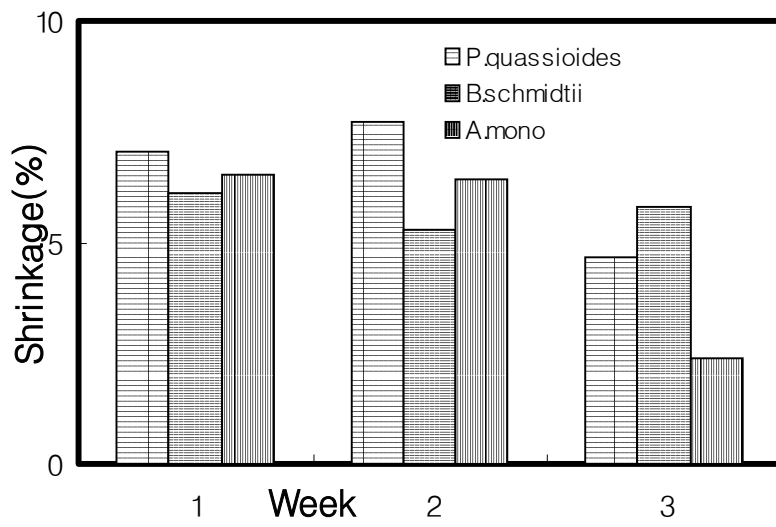


Fig 9. Shrinkage of ROC by nontreatment

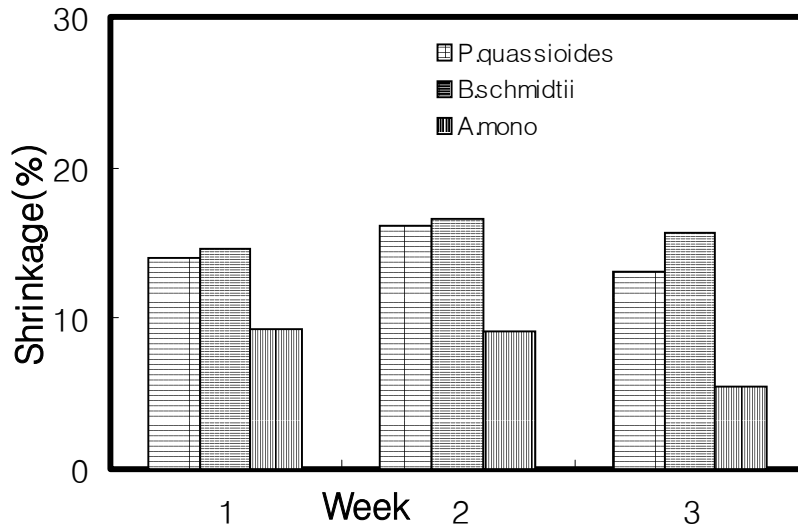


Fig 10. Shrinkage of end distance by nontreatment.

라. 무처리

무처리재의 경우 니스도장이나 PEG처리때 보다는 수축율이 높게 나타났으며, 양 끝단의 거리는 고로쇠나무를 제외하고 박달나무와 소태나무는 비슷한 값을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 각종 처리법 및 각 처리조건에 따른 휨가공목재의 치수안정성 효과에 대하여 검토, 고찰하였다. 그 결과, 처리조건으로 보았을 때 PEG 처리가 치수안정성이 가장 높게 나타났으며, 우레탄 바니쉬도장과 수증기 처리는 오히려 무처리재보다도 치수안정성이 낮게 나타났다. 수종적인 특징에서는 비중이 높은 박달나무의 경우 처리를 하지 않은 것이 치수 안정성이 가장 높게 나타났다. 또한 상대적으로 비중이 낮은 소태나무의 경우 니스도장이나 PEG처리 등의 처리로 인하여 치수안정화를 향상시킬 수 있었다.

제 10절. 가공목재 소재의 용도 및 현황분석

1. 가공목재소재의 용도 및 이용현황조사

가. 외부공간에 사용되는 시설물의 유형 및 소재특성 조사

1) 외부공간에서 사용되는 시설물

외부공간이란, 인간의 목적에 의해 창조된 외부환경을 말하며, 이러한 외부공간에서 사람들의 생활이 가능하도록 해주는 생활장치, 즉 외부공간에서 사용되는 시설물을 「옥외시설물」이라 한다.

옥외시설물은 개인이나 특정인에게만 영향을 미치는 것이 아니기 때문에 그의 효율적 가치나 기능은, 실내의 가구나 시설에 비하면 대단히 크다고 할 수 있으며, 외부환경 속에서 작은 스케일로 존재하면서 외부공간에서의 행위를 조절하고 생활을 보조하는 기능을 갖는다. 또 그 크기나 모양 그리고 사용재료나 설치되는 위치에 따라, 특성과 기능뿐만 아니라, 계획여건에 따라 공간의 질과 경관적 효과까지도 좌우하게 되는 중요한 역할을 담당한다.

옥외시설물은 대중이 이용하는 공공성을 갖는 시설이다. 따라서 안전성(safety), 편의성(convenience), 전달성(communication), 쾌적성(amenity)을 갖추도록 계획되어야 한다. 계획시에는 시설물의 기능(function), 구조(structure), 외관(apparence)의 세 가지 측면에서의 고려가 이루어져야 한다. 아울러 관리측면을 고려하여 내구성 및 이용정도, 그리고 시설물 가격, 그리고 경관적 측면을 고려하여 지역적 특성이나 환경친화적 소재 등의 사용에 대한 검토가 사전에 이루어져야 한다.

2) 옥외시설물의 유형

옥외시설물은, 편의시설, 안내시설, 조명시설, 환경조형시설로 크게 구분할 수 있으며, 최근에는 레저관련시설 및 운동시설 등의 활용이 증가되고 있다. 본 연구에서 조사대상으로 선정한 옥외시설물의 종류를 나열해 보면, 벤치, 휴지통, 음수대, 파고라, 플랜터, 쉼터, 조명등, 포장, 경계석, 맨홀, 수목지지대, 수목보호덮개, 플랜터, 주차장, 육교, 담장, 경계, 차음벽, 교량, 계단, 경사로, 파고라, 야외탁자, 정자, 산책로, 놀이시설, 수경시설, 옹벽, 경사면 등이 있다.

이 밖에도 시설물의 유형을 세분한다면 매우 다양하나, 본 연구에서는 일단 우리

주변에서 흔히 볼 수 있는 시설물의 유형으로 나누고, 나머지는 그 범주 안에 포함시켜 조사를 진행했다.

3) 옥외시설물의 유형별 특성

조사대상으로 선정한 옥외시설물 각각에 대한 기능 및 용도, 종류, 사용재료, 시설물 계획, 설계시의 고려사항, 설치 및 관리상의 문제점 등에 대해 조사, 정리하였다.

4) 옥외시설물에 사용되는 재료소재

옥외시설물에서 어떠한 재료가 사용되고 있는가, 또 각각의 재료소재는 어떤 특성을 갖는가에 대한 조사를 실시했다. 석재, 벽돌, 타일, 목재, 콘크리트, 아스팔트, 철강, 알루미늄, 스테인레스, F.R.P(플라스틱), 시멘트, 철강, 유리, 등이 시설물의 재료소재로 사용되고 있었으며, 각 재료소재의 특징, 종류, 용도, 관리 등에 관해 조사했다.

나. 외부공간에 사용되는 가공목재의 용도 및 이용현황

외부공간의 질과 기능을 좌우하는 옥외시설물은 그 종류도 많으며, 사용되는 소재도 매우 다양한 것으로 조사되었다. 시설물의 재료는 그 사용목적과 제반조건들을 고려하여 가장 적합한 소재가 선정되어야 하나, 공적인 공간에 설치되는 옥외시설물은 대중이 이용하는 시설인 만큼 그 시설물의 안전성, 기능성 그리고 심미성에 대한 고려도 충분히 이루어져야 한다. 최근에는 옥외시설물의 공적기능이 부각되고 있으며, 특히 시설물에 사용되는 재료소재 가운데 목재에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 변화는 환경에 대한 관심과, 인간들이 인위적으로 만든 공간에 설치되는 옥외시설물도 가능하면 사람들에게 친밀감을 주면서 환경에의 영향을 최소화 할 수 있는 소재를 사용하자는 움직임과 일치한다고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 볼 때 목재의 활용은 당연과제라 할 수 있으며, 목재의 단점을 보완한 가공목재소재의 개발은 필수적이다.

1) 외부공간에 사용되는 목재의 이용현황

최근 각광받고 있는 옥외시설물의 소재인 목재가, 실제로 「어떠한 장소에서 어떠한 형태로 사용되고 있는가」를 살펴보기 위하여, 우선 「옥외시설물 유형별로, 사용되고 있는 재료소재에 대한 조사」를 실시하여, 분류하여 보았다(표 1).

표 1을 보면 「옥외시설물이 어떠한 재료를 사용하여 만들어지고 있는가」와,

「재료소재별로 사용되는 활용빈도」를 파악할 수 있다.

옥외시설물의 종류는 매우 다양하며, 최근에는 그 이용범위도 점차 확대되고 있다. 반면에 시설물을 구성하고 있는 재료를 보면, 종류도 제한되어 있으며 실제 사용되는 재료소재도 몇 가지에 국한되어 있는 것으로 나타났다. 주로 사용되는 소재는 석재, 벽돌, 목재, 콘크리트, 철재이며, 그 외에 스테인레스와 에팔피 등의 활용이 늘어나고 있다.

표 1. 옥외시설물의 유형별 사용재료소재의 분류

시설물	재료	석재	벽돌	타일	목재	콘크리트	아스팔트	철재	알루미늄	스테인레스	에팔피	유리	비고
벤치		●			●	●		●		●	●		
휴지통					●	●		●	●	●	●		
음수대		●	●			●		●		●	●		
안내·표지판		●			●	●		●	●	●	●		
키오스크					●	●		●	●		●	●	
쉼터					●			●		●	●		천막재
조명등					●	●		●	●	●	●	●	
포장		●		●		●	●						
경계석		●	●		●	●		●		●	●		
맨홀		●	●			●		●					
수목지지대					●			●			●		
수목보호덮개						●		●			●		
플랜터		●	●	●	●	●		●		●	●		사질양토
주차장		●	●		●	●	●						
육교				●	●	●		●					
담장		●	●		●	●		●					식물재료
경계		●	●		●	●		●		●	●		
차음벽			●		●			●			●	●	
교량		●			●	●		●					
계단		●	●	●	●	●		●					
경사로		●		●		●	●						
파고라		●	●	●	●	●		●			●		식물재료
야외탁자		●	●		●	●		●					
정자		●			●	●							기와
산책로		●	●		●	●	●						블럭, 투수콘
놀이시설		●	●	●	●	●		●		●	●		고무, 모래
수경시설		●	●		●	●							
옹벽		●	●			●							
경사면		●			●	●							사면블럭
계		21	15	7	23	26	4	21	4	10	15	3	

다음에는 표 1의 정리자료를 근거로, 「목재가 어떠한 시설물에서 사용되고 있는가」를 선별하여 보았다.

조사대상 옥외시설물 29개 유형 가운데, 사용정도나 가공도 등에 차이는 있었으나 23개의 유형에서 목재가 사용되고 있는 것으로 나타났다. 즉 대부분의 시설물에서 사용이 되고 있어 그 이용빈도는 높다고 할 수 있으나, 내구성이나 안전성, 그리고 관리상의 측면에서 문제점이 나타나고 있는 것으로 조사되었다.

조사대상 시설물 중, 음수대, 포장, 맨홀, 수목보호덮개, 경사로, 옹벽, 등에서는 목재사용을 발견할 수 없었다. 즉 큰 하중이나 강도가 요구되는 장소, 그리고 물과 관련되는(물과 비지속적으로 접촉되는) 시설물에서는 목재의 사용예가 나타나지 않았다. 앞으로 목재소재의 가공기술 개발시 이러한 부분에 대한 보완이 이루어진다면, 외부공간에서의 활용범위를 넓힐 수 있는 가능성이 엿보이는 부분이다.

2) 목재의 이용유형

1)에서 조사, 선별된 목재를 재료소재로써 이용하고 있는 옥외시설물을 대상으로, 이번에는 「목재가 구체적으로 어떠한 형태로 쓰이고 있는가」를 조사하였다.

목재의 이용유형조사는, ①이용범위, ②이용형태, ③가공형태로 구분하여, 옥외시설물별로 목재가 어떻게 이용되고 있는가를 문헌 및 사례조사를 통하여 실시하였다. 조사결과는 다음과 같다.

가) 이용범위에서 살펴본 목재의 이용유형

목재소재가 옥외시설물에서 어떤 범위로 이용되고 있는가를 조사, 분류하였다. 이용범위에 대한 조사는 목재가 시설물의 재료소재로서 쓰이는 경우 「전체적으로 사용되었나」, 「부분적으로 사용되었나」로 나누어 각 시설물별로 실시하였다.

옥외시설물별 목재의 이용범위를 조사정리한 것이 표 2이며, 그 구체적인 사례를 소개하면 다음과 같다.

표 2. 옥외시설물별 목재의 이용범위

시설물	목재 이용범위		시설물	목재 이용범위	
	전체	부분		전체	부분
벤치	●	●	경계	●	●
휴지통	●	●	차음벽	●	●
안내·표지판	●	●	교량	●	●
키오스크		●	계단	●	●
쉼터		●	파고라	●	●
조명등		●	야외탁자	●	●
경계석	●	●	정자	●	●
수목지대	●	●	산책로	●	●
플랜터	●	●	놀이시설	●	●
주차장	●	●	수경시설		●
육교		●	경사면		●
담장	●	●			



그림 1. 목재를 시설물 전체에 사용한 예



그림 2. 부분적으로 목재를 사용한 예

나) 이용형태에서 살펴본 목재의 이용유형

목재소재가 옥외시설물에서 어떠한 형태로 이용되고 있는가를 조사, 분류하였다.

이용형태에 대한 조사는 목재가 시설물의 재료소재로서 사용되는 경우, 「원목을 그대로 사용하고 있다」, 「판재」나 「각재를 이용하는가」, 또는 「집성재를 사용하는가」로 나누어, 각 시설물별로 실시하였다.

옥외시설물별 목재의 이용형태를 조사정리한 것이 표 3이며, 그 구체적인 사례를 소개하면 다음과 같다.

표 3. 옥외시설물별 목재의 이용유형

시 설 물	이 용 유 형				시 설 물	이 용 유 형			
	원목	판재	각재	집성재		원목	판재	각재	집성재
벤 치	●	●	●	●	경 계	●	●	●	●
휴 지 통		●	●	●	차 음 벽	●	●	●	●
안내·표지판	●	●	●	●	교 량	●	●	●	●
키오스크		●	●	●	계 단	●	●	●	●
셸 터		●	●	●	파 고 라	●	●	●	●
조 명 등	●		●	●	야외탁자	●	●	●	●
경 계 석	●		●		정 자	●	●	●	●
수목지지대	●	●	●	●	산 책 로	●	●	●	
플 랜 터	●	●	●	●	놀이시설	●	●	●	●
주 차 장			●		수경시설	●	●	●	●
옥 교		●		●	경 사 면	●		●	
담 장	●	●	●						



그림 3. 원목을 사용한 놀이시설



그림 4. 각재와 벽돌을 이용한 전망데크



그림 5. 판재를 이용한 경계휀스



그림 6. 집성재를 사용한 복합놀이시설

다) 가공형태에서 살펴본 목재의 이용유형

이번에는 목재소재가 옥외시설물에서 어떤 처리를 거쳐 사용되고 있는가를 조사, 분류하였다.

가공형태에 대한 조사는 시설물의 재료소재로 목재를 사용하는 경우, 「미가공 목재를 사용하는가」, 「방부처리」, 「열처리 등의 가공을 하고 있는가」, 「목재에 도료를 사용하는가」로 나누어 각 시설물별로 실시하였다.

목재의 가공형태를 시설물별로 조사정리한 것이 표 3이며 구체적인 사례를 소개하면 다음과 같다.

표 3. 목재의 시설물별 목재의 가공형태

시 설 물	가 공 형 태				시 설 물	가 공 형 태			
	미처리	방부처리	열처리	도료사용		미처리	방부처리	열처리	도료사용
벤 치	●	●	●	●	경 계	●	●	●	●
휴 지 통		●	●	●	차 음 벽	●	●		●
안내·표지판	●	●	●	●	교 량	●	●	●	●
키오스크		●	●	●	계 단	●	●	●	●
셸 터	●	●	●		파 고 라	●	●	●	●
조 명 등	●	●	●		야외탁자	●	●	●	●
경 계 석	●	●			정 자	●	●		
수목지지대	●	●		●	산책로	●	●		
플랜터	●	●	●	●	놀이시설	●	●	●	●
주차장	●	●			수경시설	●	●	●	
육 교		●			경사면	●	●		
담 장		●		●					



그림 7. 미가공 목재를 사용한 사면처리의 예



그림 8. 원목에 방부처리를 한 목재휀스



그림 9. 열처리로 마감한 목재벤치



그림 10. 도료로 마감한 목제의자와 탁자

2. Exterior Wood의 유형 및 특성

가. Exterior Wood의 개념

Exterior Wood란 「옥외 또는 자연환경 속에서 사용되는 목재」를 의미한다. Exterior Wood의 이용방법은 크게 두 가지로 나뉘어진다(그림 11).

첫 번째는 산업용재 및 재료로서 사용하는 것으로, 토사방지재, 건설용가설재, 법면블럭, 방호용벽(방풍, 방설, 방음), 침목, 농림어업용재, 전주 등 비교적 가공정도가 낮기 때문에 가격이 싸고 대량으로 이용되는 재료소재이다(그림 12).

두 번째는 목재를 어메니티 향상을 지향하는 제품 및 건축구조물에 사용하는 것으로, 따뜻함과 온화함, 쾌적성, 여유로움 등의 이미지표현을 목적으로 한 제품으로서의 이용이다. 즉 도로나 공원시설 등의 놀이기구, 벤치, 텍크, 휴게소 등과 경관과 조화된 디자인이나 고부가 가치성이 요구되는 작품에서의 활용 등을 의미하는 것으로, 목재의 가공정도는 높고 단위품목당 사용량은 적으나 이용범위는 넓은 편이다.

특히 최근에는 생활수준의 향상과 관련하여, 개인의 주택외장에서 시작하여 주택지나 상업지, 그리고 공원이나 관광 및 레크리에이션시설, 워터프론트 등에서 활용되고 있으며, 그 용도도 점차 확대되고 있는 실정이다.

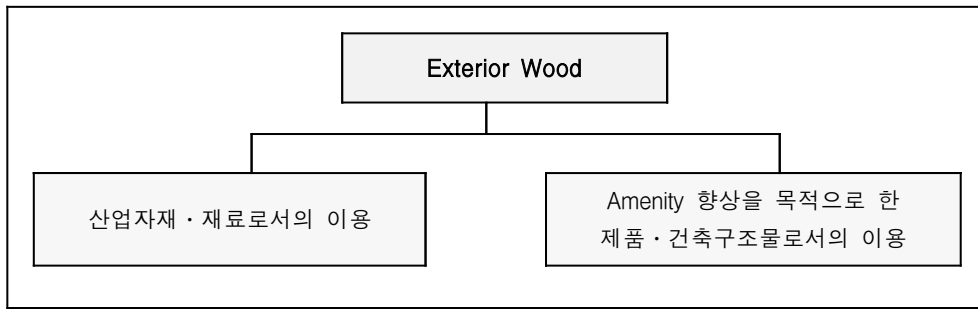


그림 11. Exterior Wood의 이용



그림 12. 엑스테리어 우드의 이용사례

나. Exterior Wood의 특성

우선 목재소재가 갖고 있는 일반적인 특성을 살펴보고, 이를 옥외공간에 사용하는 경우, Exterior Wood로 이용시 부각시켜야 할 점과 또 활용할 수 있는 범위와 방향에 대한 검토를 했다. 목재가 갖는 단점이 실제 Exterior Wood의 활용에 어떠한 장애조건으로 작용하고 있는지도 살펴보았다.

Exterior Wood의 특징과 활용방향을 정리해보면 다음과 같다.

1) 목재는 열을 전달하기 어렵기 때문에, 직접 사람이 접촉하더라도 극단적인 외부 환경의 온도변화, 즉 차갑거나 뜨거워짐으로써 시설물의 사용시 제한요건으로 작용하는 부분을 보완할 수 있다. 또한 열전달율이 낮아 단열기능이 필요한 장소에의 활용이 가능하다.

2) 비중이 금속에 비해 대단히 낮으나(철=7.8, 알루미늄=2.7, 목재=0.4-1.0), 비교적 강도는 높다. 즉 옥외시설물에 사용하는 소재로서 Exterior Wood는 가벼워서 다루기 쉬우며, 또 가공성도 용이하다. 또한 비중이 1보다 작아 물에 뜨는 특성을 갖으며 함수성도 있기 때문에, 물을 이용한 놀이공간이나 수변에 다양하게 활용될 수 있다.

3) 적도의 탄성을 보유하고 있으며 부드러운 감촉을 갖는 친밀한 재료이다(그림 13). 따라서 쾌적한 보행감과 안전성 확보가 가능하며 사람들이 직접 접촉하는 시설물에 이용하면 편안한 느낌을 준다. 또한 시각적으로도 사람들에게 부드러움과 친밀감을 주며, 미관성도 우수하여 경관소재로 그 활용범위가 증가되고 있다.

4) 옥외시설물의 재료소재로서 최근 부각되는 Exterior Wood의 특성으로는 폐기처분과 리사이클이 용이하다는 점을 들 수 있다. 목재는 옥외시설물의 재료소재로 사용할 경우 부패하기 쉽다는 단점이 있으나, 시설물이 노화되어 사용후 처리의 측면에서 생각한다면, 이러한 점이 장점으로 전환될 수 있다. 즉 자연소재이기 때문에 사후 폐기처리시 공해가 발생되지 않는다는 장점을 갖는다.

또 집성재나 목재칩으로 가공전환 등 리사이클이 가능하다는 특징이 있어 환경소재로서 그 활용범위의 확대가 기대되는 재료소재이다.

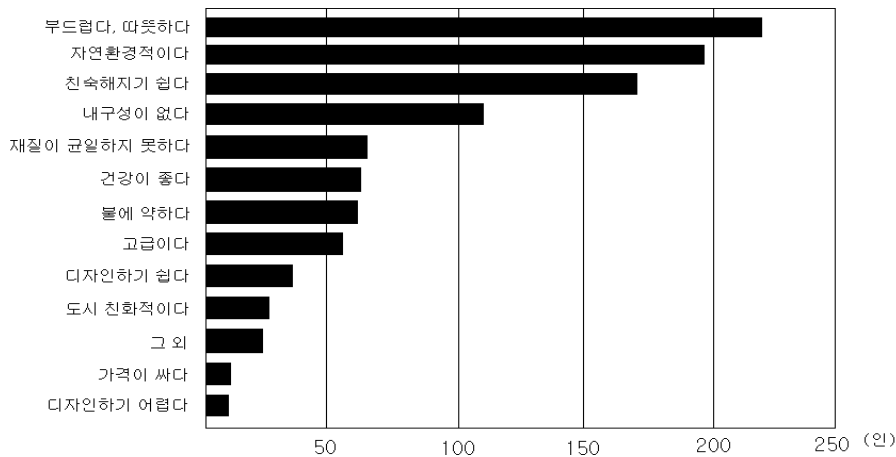


그림 13. 목재 · 나무제품에 대해 갖는 인상

다. 목재의 단점을 고려한 Exterior Wood의 보완방향

목재가 갖는 단점이 실제 Exterior Wood의 활용에 어떠한 장애조건으로 작용하고 있는가를 살펴보고, 이를 보완할 수 있는 방향을 설정해 보았다. 목재는 자연소재이기 때문에 썩기 쉬우며, 특히 외부공간에 설치되는 시설물에 Exterior Wood가 사용되는 경우에는 그 설치위치나 주변환경 그리고 가공정도에 따라 변화에 차이가 나타난다. 그러한 이유로 Exterior Wood를 사용한 시설물의 유지관리가 가장 큰 문제로 대두되게 되는데, 목재가 썩거나 해충 등에 의해 피해를 입게되면 미관상 악영향을 줄 뿐 아니라 재료자체의 강도가 떨어지게 되어 안전성에 심각한 영향을 미치게 된다. 그리고 목재가 갖는 또 하나의 단점으로는 휘거나 뒤틀리는 등 변형되기 쉽다는 특징이 있다. 이는 시공 후 시간의 경과와 함께 진행되는 경우가 많은데 이러한 변형은 시설물의 구조자체의 변형으로 이어지게 된다. 또 목재는 불에 타는 성질이 있는데, 이러한 점 모두가 안전성의 저하와 직결되는 특징들이다. 안전성의 저하는 공공시설물이 갖추어야 할 필수적인 조건에 위배가 되는 사항이므로, 이에 대한 적절한 대비와 조치가 절실하다고 할 수 있다. 따라서 Exterior Wood를 옥외시설물의 재료소재로 사용하는 경우에는 방부 및 방충에 대한 처리를 반드시 해야하며, 이에 유효적절한 가공기술의 개발과 효율적인 대처방안이 요망된다.

Exterior Wood의 사용은, 우선 목재특유의 개성을 충분히 이해한 후에 적절한 처리를 시행하는 과정을 거침으로써, 장기간 안전성과 미관성을 유지하면서 사용하는 것이 가능할 것이다. 이것은 오래된 사찰건축물들이 몇 백년이 지난 오늘날에도 건재하고 있다는 사실로 확인할 수 있는 부분이다.

오늘날에는 도료나 방부기술 등이 괄목할만한 진전을 보이고 있으므로, 목재소재가 갖고 있는 썩기 쉬우며 해충의 피해를 입기 쉽다는 단점에 대한 보완은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

아울러 본 연구의 세부과제에서 시행하고 있는 「휨가공기술의 개발」이 이루어진다면, 휘거나 뒤틀린다는 단점을 보완한 가공목재를 옥외시설물의 소재로서 활용 가능하리가 판단된다.

라. Exterior Wood의 유형

Exterior Wood는 건축, 조경, 도시개발, 도로, 항구, 농림토목관계 등 매우 넓은 분야에서 광범위하게 이용되고 있다. 또 그 이용도 매우 다양한 형태로 이루어지고 있

는데, 사용되고 있는 Exterior Wood의 구체적인 유형을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 건축물류 : 야외극장, 음악당, 관객석, 온실, 휴게소, 텍크, 쉼터, 파고라, 전화박스, 화장실, 별장, 관리시설동, 별장 등
- 2) 놀이시설 : 미끄럼대, 시소, 그네, 평균대, 정글집, 복합놀이기구 등
- 3) 도로 및 토목시설 : 수목지지대, 전신주, 조명등, 가드레일, 침목, 목재보도, 나무벽돌
- 4) 안내시설 : 표식판, 안내판, 문(입구), 탑 등
- 5) 수경시설 : 목교, 부잔교, 호안시설, 워터프론트 관련시설, 수영장, 야외욕장 등
- 6) 공원시설물 : 벤치, 야외탁자, 재떨이, 휴지통, 식수대, 우편함, 플랜터, 담장 등
- 7) 조형시설 : 상징조형물, 시계탑,

3. 옥외시설물의 계획, 설계시 요구되는 조건

옥외시설물의 계획·설계시 요구되는 조건에 대해 살펴보면 다음과 같다. 이는 Exterior Wood가 갖고 있는 특성이, 실제로 옥외시설물의 재료소재로서 적합한 장소에 사용되고 있는가를 비교, 검토할 목적으로 이루어졌다.

아울러 Exterior Wood로서 대체가능한 부분과 부적합한 부분에 대한 명확한 구분을 실시하여, 앞으로의 가공목재기술에 대한 방향설정을 하기 위함이다. 각 시설물별로 계획, 설계시의 요구조건을, 재료소재의 선정측면에서 조사하여 정리하였다.

각 시설물별로 계획, 설계시의 요구조건을 정리하면 다음과 같다.



그림 14. 적재적소에서 재료사용은 옥외시설물의 제한조건을 극복하는 방안이 되기도 한다



그림 15. 벤치의 형태, 사용재료, 수목지지대의 구성이 조화를 이루고 있다

■ 벤치

벤치는 설치장소의 성격에 따라 정체시간을 고려하여 그 형태나 재료를 선정하여야 한다. 사람들이 앉는 의자면은 겨울에도 차갑지 않고 질감이 부드러운 목재를 사용하는 것이 좋다. 단 지면과 만나는 부분에 목재를 사용하면 썩기 쉬우므로, 다른 재료를 선택하거나 반드시 방부처리를 한다.

또한 설치위치를 고려하여 의자의 착석면이나 발 밑에 물이 끼지 않도록 배수처리 또는 포장을 하도록 하며, 철재 사용시에는 녹이 슬지 않도록 처리한다.

■ 휴지통

사용하기 쉽고 강도가 있는 구조의 재료를 사용하며 통풍이 잘되고 건조가 쉽도록 설계한다. 또한 수거가 용이하도록 라이너를 사용하는 것이 좋으며, 휴지통 하단은 배수가 용이하도록 계획한다.

■ 음수대

청결유지를 위해 음수대 주변은 포장하며 몸통은 석재 등 강도가 있는 재료를 사용한다. 집수대는 석재나 콘크리트 등을 사용하며, 겨울철 동파에 대한 대비를 하여야 한다.

■ 안내·표지판

표지판은 특히 설치위치, 즉 시선이나 주변식생, 경관 등에 대한 영향을 고려하여야 한다. 색채, 크기, 형태가 균형을 이루도록 디자인하며, 설치위치는 청소, 도장, 보수 등의 유지관리가 용이한 곳으로 한다.

■ 키오스크

가로와 혼잡이나 경관의 질 저하를 방지하며 식별이 용이하도록 상징화된 간이판 매대를 의미한다. 소형은 완제품이 그대로 놓여지지만, 대형 키오스크는 현지에서 조립한다. 초기의 키오스크는 목재틀에 유리를 끼운 형태였으나 최근에는 보강된 재료가 사용되고 있다.

■ 쉼터

설치되는 장소의 기후조건, 설치목적, 주변환경과의 관계를 고려하여 계획한다. 장기간의 휴식에 사용되는 쉼터는 벤치도 함께 배치하며, 기능에 적합하도록 지붕과 기둥, 벽 등은 소요강도 이상을 갖도록 설계한다.

■ 조명등

조명기구는 내구성, 보수성, 시공성 등에 적합한 구조이어야 한다. 염해 등, 특히

기능이나 메커니즘이 저하될 염려가 있는 환경에서는, 재질의 선정이나 도장의 종류를 충분히 고려하여야 한다. 또 조명등의 기동자재로 목재를 사용할 경우에는, 빗물 등으로 인해 나무가 썩는 일이 없도록 반드시 방부제로 표면처리를 한다.

발밑등의 경우 전구부분이 파손되면 어린이들이 넘어지는 경우, 다칠 우려가 있으므로 충격에 대비한 내강성이 있는 재료를 선정하도록 한다.

■ 포장

휴식을 위한 장소에는 단위가 작고 질감이 거친 난색계의 색채와 강렬하지 않은 문양이 좋다. 반면에 넓은 광장에서는 단위가 크고 고운 질감을 도입하는 것이 바람직하다. 보행자용 외부공간의 포장은, 미끄러움을 방지하면서도 넘어지거나 틈에 끼이는 일이 없도록, 적절히 거칠고도 고른 면을 유지하여야 한다.

■ 경계석

기존 지반이 성토부일 때에는, 시공 후 지반침하로 경계석의 파손이 일어나는 경우가 빈번하게 발생하므로, 지반다짐 및 기초를 튼튼히 하여 시공하여야 한다. 또 배수가 불량한 지반에서는 결빙으로 인해 이음몰탈 부위와 기초부위의 파손이 많이 생기므로, 맹암거를 설치하거나 먼저 암거시공 후 경계석을 놓아야 한다.

■ 맨홀

맨홀은 충분한 강도를 갖는 재료를 선정하는 것이 좋으며, 설치높이는 반드시 노면과 일치되게 하여 보행에 지장이 없도록 해야 한다. 맨홀뚜껑은 보행자가 그 위를 지나가도 흔들리지 않도록 설치한다.

■ 수목지지대

지주용 목재는 방부처리를 한 내구성이 강한 것을 사용하며, 지지하는 나무와 어울리는 것을 선정해 준다. 철선지주는 눈에 띄지 않는다는 장점이 있지만 이것이 부상의 원인이 되기도 하므로, 눈높이에 표식을 해 두어야 한다.

■ 수목보호덮개

보행자나 차량 등의 답압에 견딜수 있는 압축강도, 내마모성, 내열성이 있으며, 동결파괴성이 적은 재료를 선정하여야 한다. 보행의 편의를 위해 덮개표면의 구멍은 간격이 촘촘한 것을 쓴다.

수목보호덮개는 가로환경의 중요한 구성요소이므로 자체의 형태, 색채, 질감에 대한 고려는 물론 포장패턴의 일부분으로서 포장재의 색깔이나 형태와 조화되는 재료를 선정해야 한다.

■ 주차장

주차장은 공공도로로부터 쉽게 접근 가능한 곳이어야 하며, 또 위치표시가 명확하여야 한다. 진출입구는 다른 교통수단을 방해하지 않도록 정한다. 주차장의 노면은 수시로 보수하고 칸막이 페인트나 방향표지가 마모되면 사고가 발생하기 쉬우므로, 각별히 유리관리에 유의한다.

■ 육교

설치장소는 주요 교차점 주변, 간선도로의 보행자 횡단이 위험한 지점에 설치한다. 시가지 중심 건물밀집지역에서는 지름대를 단순한 구조로 처리한다.

바닥판은 나무판이나 미끄럼을 방지할 수 있는 금속을 사용하며, 계단의 승강부분이 보도층을 점령하여 보행자통행에 지장을 주는 일이 없도록 설계하여야 한다.

■ 담장

담장의 재료에 따른 다양한 질감변화는 디자인의 매우 중요한 요소가 되므로, 주변경관과 잘 어울리는 재료를 선정해야 한다. 형태는 요구되는 기능에 맞도록 설계한다. 또 기존의 담장이나 주위의 특성에 맞고 그 지방에서 구하기 용이하며 습기, 결빙, 서리 등의 기후조건에 맞는 재료를 선정한다.

■ 교량

교량의 형태와 규모는 길이나 도로폭, 계곡 등의 규모에 따라 결정된다.

사용되는 재료는, 각 재료자체의 특성을 감안하여 선택하여야 하며, 구조적인 문제에 대한 충분한 고려를 하여 디자인되어야 한다. 특히 자연과 일체감을 줄 수 있는 재료 및 색채를 선정하여, 도로경관의 연속성이 파괴되지 않도록 주의한다.

■ 계단

계단 모서리는 눈에 잘 띄고 단이 선명해야 한다. 첫 모서리는 파손되기 쉬우므로 얇은 재료나 모난 재료는 피하고, 원재나 모따기 한 것을 사용한다.

계단은 최소 2단만 되어도 안전성과 지각용이성에 대해 반드시 고려하여야 한다.

■ 경사로

경사로는 포장재와 같은 재료를 쓰는 것이 좋으나, 휠체어가 미끄러지지 않는 재료로 설계되어야 한다. 경사면이 길 때에는, 중간단(참)을 만들어 보행자나 휠체어를 이용하는 사람이 쉴 수 있도록 한다.

■ 파고라

각 부분(기둥, 들보, 도리)의 크기는 설치목적과 장소에 따라 다르다. 설치위치와

제반조건에 따라 태양의 고도 및 방위를 고려하도록 하며, 목재나 철재에 대한 방부 및 열처리를 유의한다.

■ 야외탁자

탁자가 놓이는 위치에 물이 피지 않도록 포장 및 배수처리를 해야 하며, 재료(목재나 철재)의 부식, 부패방지에 대비하여야 한다. 먼지가 일거나 바람이 심한 장소를 피해 설치하나, 부득이한 경우에는 테라스 등을 만들어 입지조건을 조정하여 배치한다.

■ 정자

정자는 그 성격상 주위의 자연경관과 조화가 되도록 설계한다. 지붕은 기와나 초가, 목재 등 다양하게 사용하나, 기둥은 강도가 높은 재료를 사용하여야 한다. 바닥면 마루는 목재와 석재, 콘크리트 등을 사용하는데, 목재를 이용할 때는 방부처리를 하여야 한다.

■ 산책로

산책로에서는 곡선과 직선을 혼합되어 사용되는 경우가 많으므로, 동선의 폭, 길이, 주변의 포장상태, 경관에 대한 고려를 하여 포장재료를 선정하여야 한다.

또 배수상태나 일조 등의 영향도 고려하여 계획한다.

■ 놀이시설

공간전체의 계획에 근거하여 공간의 종류, 성격에 적합한 규모와 배치 그리고 내용을 갖도록 한다. 모래밭의 모래깊이는 놀이의 안전과 배수를 고려하여 정하고, 그 네의 손잡이는 보호막이 있는 것을, 줄은 마모시 교체하기 쉬운 것으로 한다. 발판에 목재나 보강재 등을 사용하면 쉽게 마모가 되므로 관리를 고려하여 재료를 선정하며, 미끄럼에 대한 보완도 고려한다.

미끄럼틀의 부재는 중간에 이음이 없는 것을 기본으로 하며, 손에 닿는 범위내의 볼트와 용접부분은 모두 위험하지 않도록 한다.

시소는 좌판이 땅에 닿으므로 충격을 완화시킬수 있는 재료를 선정하며, 철재와 목재를 같이 사용하는 경우에는 접합부분에 대한 고려를 한다.

회전시설은 회전판의 원주면 밖으로 돌출되는 부분이 없도록 한다.

■ 수경시설

수경시설의 설계는, 사전에 수리, 수량, 수질의 세 가지 요소를 충분히 배려한 다음 계획하지 않으면 사후관리에 지장을 초래하게 되므로 주의를 요한다.

바닥은 다양한 재료로 시공할 수 있으나, 호박돌, 산돌, 판석붙임을 시공할 때에는 모서리 부분의 마감을 미리 하여야 하며, 화강석 선정시에는 이음줄눈을 맞추어 시공한다. 물의 흐름이 없는 연못에서는 물 썩음을 방지하기 위한 순환장치 등이 필요하다.

■ **옹벽**

배후 지형의 높이와 상태에 따라, 적절한 형식의 옹벽을 설치한다. 지하수가 옹벽 배후에 고이는 것을 방지해야 하며, 옹벽구조상 외부에서 작용하는 힘보다 강한 재료로 만들어져야 한다.

■ **경사면**

절성토로 인해 생겨나는 사면이 생겨날 경우에는, 경사면의 배후에 배수로를 설치하여 강우시 사면을 침식하지 않는 공법을 써야한다. 또 사면처리는 주변 자연지형 및 경관과의 조화가 이루어지도록 계획되어야 한다.

4. Exterior Wood의 사용사례

옥외공간에서 사용되고 있는 Exterior Wood의 사례를 조사했다.

조사는 국내와 국외로 나누어 진행하였으며, 실제사례를 소개하면 다음과 같다.

가. Exterior Wood의 국내 사용사례



부드러운 느낌의 목재 파고라(광주)



자연경관과 잘 어울리는목교(인제)



경사지에 설치된 목재계단



목재 상징조형물(문경)



원목으로 된 운동시설(광주)



수목과 조화된 목재시설물(광주)



호수공원 목교(경기도 일산)



놀이동산의 목재 벤치(용인)



도로변 경계휨스(광주)



호수공원 경계휨스(일산)

나. Exterior Wood의 국외 사용사례

국외에서의 Exterior Wood 사용사례조사는 주로 일본을 대상으로 실시하였다. 그 이유는 일본의 목재가공기술은 수준급이라 할 수 있으며, 또 이용되고 있는 시설물의 유형이나 사용패턴이 대단히 다양하게 나타나고 있고 우리가 쉽게 적용할 수 있기 때문이다. 조사된 Exterior Wood의 사용사례 가운데 국내에서의 이용형태와 비교해 볼 때, 그 사용장소나 활용방법에 차이가 있거나 특징적이어서 앞으로 적용 또는 가공소재의 개발방향설정에 참고가 된다고 판단되는 것을 선별하여 제시하여 본다.



수변에 설치된 목재데크는 토목시설물의 삭막함을 완화시켜 준다(島根縣)



각재를 사용한 깔끔하고 부드러운 느낌의 삼림공원 출입문(福島縣 高篠山)



위터프론트의 휴게·조망공간에 목재덱크를 사용한 예(日本 東京都)



경사지 지면과의 경계가 자연스럽게 처리된 목재계단(日本 大阪市)



덱크와 잘 어울리는 목재를 사용한 안내게시판(東京都 港區)



딱딱한 느낌을 주는 자동판매기도, 목재셸터와 접목시키면 부드러움이 부여된다(日本 德島縣)



포장재료로 목재블럭이 사용된 예. 주변 녹지와와의 단계적인 융화과정이 흥미롭다(日本 東京都)



도로와 공원과의 경계부에 설치된 목재파고라. 단순하지만 아늑함을 주기에 충분하다(愛知縣)



복합놀이구에 목재를 사용하면 다양한 형태가 가능하며, 주변과도 잘 어울린다(日本)



통나무 화장실과의 조화를 고려하여 만들어진 목재 세면시설(日本 埼玉縣)



해변가에 설치된 목재데크의 경계부분이 벤치로 사용되고 있다(日本)



통나무를 이용한 사면처리는 경관적인 이질감을 감쇄시킨다(北海道)

제 11절. 휨가공 목재의 수분특성 분석

1. 서론

휨가공 목재소재가 외구용재(exterior wood)로서 사용될 경우, 수분흡수에 대한 문제가 가장 크게 대두될 것으로 판단되어 흡수성실험을 하게 되었다. 흡수성 조사연구에서는, 휨가공용으로 사용하려는 수종들을 대표하여, 국산 수종중에서 침엽수재로는 소나무를, 활엽수재는 참나무에 대하여 흡수성능을 조사하였다. 외구용재로서 활용될 때, 목재의 흡습성이나 흡수성능이 지나치게 크게 되면 팽윤 및 건조에 동반한 수축에 의해 할렬이나 뒤틀림, 변색, 부후 등의 결점생성이 문제시 될 것이므로 흡수성에 대한 연구는 치수안정화적인 측면에서도 중요할 것으로 판단되어, 과제 최종목표인 휨가공 목재재료의 외구용재로서의 활용이라는 측면에 주목하여 진행하였다.

2. 실험 및 방법

먼저 문헌에 의한 소나무의 수분흡수에 관한 심재와 변재 및 각 단면별 흡수계수 등에 대한 물성치 조사하였으며, 시험편의 비중, 함수율, 연륜폭, 심변재율 등을 조사하였다. 기존의 액체침투에 관한 많은 연구보고서를 보면 특히 목재의 심재와 변재부에서는 통기성에 그 차이가 많은 관계로 심재와 변재의 구별을 뚜렷하게 하고자 노력하였다. 수분흡수자료는 일반적으로 많이 알려진 관계로 여기서는 해수를 이용하였다.

가. 측정방법

측정방법은 모두 일본공업규격 JIS Z 2104 항목, 목재의 흡수량 측정방법에 의거하였다. 단 방수용 피복재로는 방수페인트를 이용하였다. 페인트의 방수성능을 검토한 결과, 4회이상 칠한 경우에 방수성능이 확인되었기에 각 단면별 실험은 4회 이상 방수페인트를 도포하였다.

시험편의 함수율이 35℃ 건조로서 기건에 달한 후, 정목면 및 관목면 흡수에서는 각각 대칭되는 2면을 흡수면으로 하고, 또 횡단면흡수에서는 1면만을 흡수면으로 하였다. 흡수면 이외의 모든면은 방수페인트로서 피복하고, 온도 25±1℃로 조정된 항온

수조 내의 바닷물 속에 넣어 흡수시켰다. 시험편 전체를 흡수면을 수면에 수직으로 하여 그 상단부분이 수면하 50mm의 깊이가 되도록 하고 섬유방향이 수면과 평행이 되도록 해서 약 80시간에서 100시간 정도 침적하였다.

구체적인 실험내용은 다음과 같다. ① 25℃, 해수중에 침적하여 초기에는 20~30분 간격으로 중량측정, 그후 1~3시간 간격으로 측정한다. ②약 4일간(96시간)정도 반복적으로 실험 계속한다. ③건조기에서 전건상태화하여 함수율변화 및 흡수량을 계산한다.

나. 실험의 정리

1) 흡수곡선

흡수시간경과에 따른 각 단면별 흡수량을 시간에 대해 다음식으로 plot 한다.

$$W_a = k \times t^{1/2}$$

단 W_a 는 흡수량(g/cm^2), t 는 흡수시간(hr)으로 흡수속도 계수인 k 를 구한다.

또, W_a 는 다음식으로 구한다.

$$W_a = (m_h - m_i) / A$$

단, m_h 는 임의시점에서의 흡수량, m_i 는 실험개시시의 시편질량(g), A 는 흡수단면적(cm^2)이다.

2) 24시간 후의 흡수량 및 함수율변화 추정

24시간 후의 흡수량은 다음식으로 구할 수 있다.

$$W_{24} = (W_2 - W_1) / A \quad (g/cm^2)$$

단, W_1 은 방수페인트 피복후의 시험편중량 (g), W_2 는 침적완료직후의 시험편중량 (g), W_3 는 흡수면의 전체단면적(cm^2)이다.

함수율추정은 소나무의 전건비중을 문헌치로부터 인용하여 시시각각의 흡수량변화와 함수율변화를 앞에서 논술한 이론식으로부터 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

목재의 흡수량이 각 흡수단면에 따라 크게 다른 관계로 나타나리라 예상되며, 수분에 접한 단면이 어떤 단면인가에 따라 목재의 흡수정도 등이 크게 영향을 받으리라 생각된다. 그래서 각 단면별 흡수성의 차이를 검정하기 위하여 각 시편의 크기에 따라서 심재부와 변재부별로 24시간 흡수시간에 있어서 횡단면흡수량 / 정목면흡수량(C/R), 횡단면흡수량 / 판목면흡수량(C/T), 정목면흡수량 / 판목면흡수량(R/T)을 구하였다.

이것은 초기 흡수상태에 있어서 각 단면에 있어서의 흡수속도의 비를 평가하기 위해서 제시한 것이다. 침엽수의 경우, 활엽수보다 방사가도관의 유동통로로서의 역할이 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 목재의 판목면흡수보다 정목면흡수가 많이 일어날 것으로 예상되나 본 연구결과에 의하면 변재부의 가장 작은 시편을 제외하고 판목면흡수가 많이 일어났음을 알 수 있었다. 일반적으로 소나무의 경우는 심재부와 변재부에 있어서는 판목면 흡수량이 정목면흡수량보다 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 심재부와 변재부에 있어서 정목면 / 판목면흡수량(R/T)값은 1이하로서, 횡단면 / 정목면흡수량 값이 횡단면 / 판목면 흡수량값보다 큰 원인으로 나타나고 있다.

또한 이 표로부터 3단면 흡수중에서도 횡단면흡수의 크기가 다른 두단면에 비해서 매우 큰값을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 시험편치수에 의한 흡수이방도의 크기에 대한 일정 경향은 본 실험범위에 있어서는 알 수 없었다.

동일재료의 목재라면 흡수량은 최종적으로는 어느 흡수면에서나 각 시험편의 흡수 최대치에 도달할 것이기 때문에, 이 흡수이방도는 시간의 경과에 따라서 1에 가까워질 것이다. 횡단면 / 정목면 또는 횡단면 / 판목면에 대한 흡수이방도는 기존의 문헌에 의하면 침엽수재에서는 어느 수종에 있어서도 심재(이방도 4~6)보다도 변재부(이방도 6~10)가 큰 것으로 알려져 있다. 본 연구결과에 의하면 같은 경향이 보이며, 가장 작은 시편의 경우에는 오히려 심재쪽이 더 큰 경향이 나타났다. 또 정목면 / 판목면에 대한 흡수이방도는 문헌에 의하면 침엽수재에서는 어느 수종에 있어서도 일반적으로 1이하이며 변재부가 심재부보다 큰 경향이 있음을 알 수 있었다.

여기서 표에 나오는 기호는 다음과 같은 의미이다. 흡수단면에 있어서 정목면(Radial, R)은 방사단면, 판목면(Tangential, T)은 접선단면이라고도 하며, 횡단면(Cross, C)흡수에 있어서 각 영문의 머릿글자로 표기한다.

표 1. 소나무재의 기건용적종과 24시간 흡수경과시에 있어서 해수흡수량.

일련 번호	시험재 고유번호	심재 / 변재	기건 비중	기건 용적중	평균 연륜폭 (mm)	흡수단면	24시간 흡수량	
							실험치	계산치 (g/cm ²)
1	R1-74h	심재	0.361	0.343	6.61	정목면	0.093	0.096
2	R1-1s	변재	0.368	0.361	5.07	정목면	0.327	0.316
3	T1-51h	심재	0.381	0.360	6.60	판목면	0.102	0.104
4	T1-75s	변재	0.349	0.333	5.99	판목면	0.336	0.321
5	T5-18h	심재	0.559	0.529	4.00	판목면	0.231	0.236
6	T5-86s	변재	0.567	0.536	3.76	판목면	0.521	0.495
7	R5-36h	심재	0.563	0.534	6.67	정목면	0.125	0.128
8	R5-89s	변재	0.517	0.489	3.21	정목면	0.750	0.700
9	R2-3h	심재	0.415	0.377	5.00	정목면	0.142	0.148
10	R2-1s	변재	0.351	0.320	5.00	정목면	0.340	0.362
11	R3-77s	변재	0.517	0.467	2.60	정목면	0.435	0.452
12	R3-81h	심재	0.519	0.470		정목면	0.201	0.219
13	R4-74h	심재	0.368	0.336	4.45	정목면	0.163	0.175
14	R4-62s	변재	0.358	0.334	5.00	정목면	0.364	0.371
15	T2-21h	심재	0.401	0.357	5.89	판목면	0.235	0.234
16	T2-19s	변재	0.495	0.448	3.10	판목면	0.476	0.484
17	T3-1h	심재	0.509	0.466	3.03	판목면	0.216	0.228
18	T3-47s	변재	0.565	0.524	2.81	판목면	0.624	0.638
19	T4-29h	심재	0.244	0.229	3.36	판목면	0.240	0.248
20	T4-51s	변재	0.359	0.323	3.70	판목면	0.610	0.603
21	1-16h	심재	0.417	0.379	5.66	전체면	0.102	0.106
22	1-40s	변재	0.380	0.353		전체면	0.292	0.228
23	2-33s	변재	0.540	0.499	3.30	전체면	0.398	0.386
24	2-93h	심재	0.393	0.357	5.11	전체면	0.096	0.099
25	3-27s	변재	0.403	0.479	2.65	전체면	0.364	0.345
26	3-85h	심재	0.586	0.527	4.18	전체면	0.178	0.184
27	4-8h	심재	0.321	0.306	5.91	전체면	0.234	0.238
28	4-42s	변재	0.348	0.340	5.00	전체면	0.478	0.453
29	5-43s	변재	0.604	0.559	6.17	전체면	0.258	0.250
30	5-73h	심재	0.527	0.476	2.79	전체면	0.140	0.147
31	C1-4h	심재	0.377	0.339	6.77	횡단면	0.662	0.693
32	C1-97s	변재	0.384	0.380	5.48	횡단면	4.214	3.951
33	C2-2h	심재	0.440	0.403	6.50	횡단면	0.651	0.751
34	C2-25s	변재	0.542	0.492	2.70	횡단면	1.668	1.761
35	C3-76h	심재	0.564	0.513	2.52	횡단면	1.775	1.812
36	C3-2s	변재	0.568	0.455	2.78	횡단면	6.192	5.812
37	C4-93s	변재	0.369	0.335	3.30	횡단면	1.601	1.701
38	C4-34h	심재	0.399	0.376	3.20	횡단면	5.528	5.020
39	C5-4s	변재	0.569	0.518	3.45	횡단면	1.746	1.862
40	C5-68h	심재	0.616	0.556	5.30	횡단면	1.816	1.871

표 2. 소나무재의 각 시편에 있어서 해수 흡수계수표

일련번호	시험편 고유번호	k	a	b	r
1	R1-74	0.018	0.046	0.235	0.978
2	R1-1s	0.063	0.081	0.427	0.991
3	T1-51h	0.019	0.049	0.236	0.977
4	T1-75s	0.308	0.075	0.459	0.984
5	T5-18h	0.046	0.074	0.365	0.985
6	T5-86s	0.091	0.189	0.303	0.988
7	T5-36h	0.024	0.050	0.294	0.981
8	R5-89s	0.122	0.357	0.212	0.930
9	R2-3h	0.026	0.078	0.200	0.982
10	R2-1s	0.067	0.131	0.320	0.993
11	R3-77s	0.083	0.164	0.319	0.995
12	R3-81h	0.037	0.095	0.247	0.987
13	R4-74h	0.031	0.082	0.240	0.973
14	R4-62s	0.071	0.110	0.383	0.996
15	T2-21h	0.040	0.126	0.195	0.998
16	T2-19s	0.091	0.156	0.357	0.996
17	T3-1h	0.041	0.096	0.273	0.981
18	T3-47s	0.117	0.229	0.323	0.997
19	T4-29h	0.047	0.072	0.391	0.998
20	T4-51s	0.107	0.258	0.267	0.997
21	1-16h	0.019	0.048	0.253	0.988
22	1-40s	0.048	0.157	0.190	0.999
23	2-33s	0.063	0.235	0.156	0.978
24	2-93h	0.017	0.044	0.252	0.988
25	3-27s	0.058	0.165	0.232	0.985
26	3-85h	0.032	0.084	0.247	0.998
27	4-8h	0.042	0.099	0.276	0.999
28	4-42s	0.073	0.282	0.149	0.926
29	5-43s	0.042	0.133	0.199	0.970
30	5-73h	0.026	0.068	0.246	0.994
31	C1-4h	0.121	0.401	0.174	0.958
32	C1-97s	0.735	1.158	0.385	0.992
33	C2-2h	0.136	0.339	0.251	0.971
34	C2-25s	0.334	0.618	0.330	0.980
35	C3-76h	0.343	0.640	0.328	0.977
36	C3-2s	1.000	2.652	0.246	0.968
37	C4-93s	0.327	0.588	0.334	0.963
38	C4-34h	0.913	1.638	0.352	0.982
39	C5-4s	0.356	0.644	0.334	0.972
40	C5-68h	0.337	0.815	0.261	0.991

표 3. 참나무재의 각시편에 있어서 흡수계수

일련번호	시험재 고유번호	전건비중	k	a	b	r
1	R1-1	0.78	0.049	0.302	0.046	0.977
2	C1-2	0.64	0.321	1.839	0.036	0.972
3	1-3	0.78	0.029	0.135	0.101	0.984
4	T1-4	0.84	0.066	0.386	0.029	0.962
5	2-1	0.82	0.027	0.126	0.094	0.984
6	C2-2	0.84	0.339	1.886	0.043	0.946
7	R2-3	0.78	0.057	0.322	0.040	0.959
8	T2-4	0.84	0.055	0.313	0.037	0.971
9	3-1	0.78	0.025	0.097	0.145	0.979
10	R3-2	0.78	0.046	0.214	0.092	0.971
11	T3-3	0.80	0.047	0.241	0.064	0.969
12	C3-4	0.78	0.343	1.207	0.167	0.981
13	4-1	0.84	0.021	0.090	0.118	0.985
14	C4-2	0.84	0.302	1.641	0.050	0.969
15	R4-3	0.83	0.040	0.202	0.068	0.976
16	T4-4	0.83	0.037	0.189	0.070	0.964
17	5-1	0.80	0.016	0.060	0.156	0.980
18	R5-2	0.76	0.026	0.101	0.137	0.963
19	C5-3	0.74	0.221	0.972	0.106	0.928
20	T5-4	0.86	0.029	0.141	0.084	0.952
21	6-1	0.71	0.026	0.064	0.270	0.992
22	C6-2	0.77	0.224	0.500	0.302	0.652
23	R6-3	0.75	0.027	0.097	0.163	0.976
24	T6-4	0.77	0.024	0.085	0.161	0.980

* k 는 흡수방정식의 흡수계수, $W_a(g/cm^2) = k(t)^{0.5}$
a , b 는 흡수방정식의 계수, $W_a(g/cm^2) = a \times (t)^b$
r 는 상관계수. W_a 는 단위면적당 흡수량, t는 흡수시간(hr)임

머리부분에 영문표기가 없는 것은 전체면흡수를 뜻하며, 시험재 고유번호의 앞의 숫자는 흡수단면의 치수를 하며, 번호 1은 45mm×45mm, 2는 40mm×40mm, 3은 35mm×35mm, 4는 30mm×30mm, 5는 25mm×25mm, 6은 20mm×20mm를 나타내고, 뒤의 숫자는 편의상 일련으로 붙인 것으로 의미가 없음.

예를 들어, 시험재 고유번호 R1-1은 정목면 흡수시험재로서 앞의 숫자가 1이므로 흡수단면의 치수가 45mm×45mm를 의미한다.

흡수면에 따른 흡수성을 고찰해 보면, 소나무의 경우는 심재부와 변재부에 있어서는 판목면 흡수량이 정목면 흡수량보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 심재부와 변재부에 있어서 정목면 / 판목면 흡수량 값은 1이하로서, 횡단면 / 정목면 흡수량값이 횡단면 / 판목면 흡수량값보다 큰 원인으로 나타났다.

제 12절. 수종별 휨가공성 실험

1. 서론

수종별 휨가공성 실험을 위하여, 주요 국산 침엽수재 및 국산활엽수재, 기타 일부 수입외국산재에 대하여 휨가공성을 조사, 검토하였다.

수종별 휨가공성 실험은 25수종(침엽수 7수종, 활엽수 18수종)에 대하여 함수율조건별, 휨가공 가능곡률 조건별, 포수재와 기건재, 상온상태와 자비상태에서 휨가공의 용이성에 대하여 실험하였다.

2. 실험 및 방법

가. 침엽수 수종별 휨 가공성 실험

소나무, 리기다, 메타세콰이어, 화백, 편백, 낙엽송에 대하여 두께 1cm 재의 휨가공성을 곡률반경 4, 6, 12cm로서 휨가공함에 있어서 20℃상온상태 및 100℃ 자비상태에서 가공성을 검토하였다.

나. 활엽수 수종별 휨가공성 실험

참오동, 산벚나무, 소태나무, 서어나무, 굴참나무, 박달나무, 고로쇠나무, 피나무, 발사, 이태리 포플러, 툴립나무, 느릅나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무, 가시나무 등에 대하여 두께 1cm 재의 휨가공성을 곡률반경 4, 6, 12cm로서 휨가공함에 있어서 20℃상온상태 및 100℃ 자비상태에서 가공성을 검토하였다.

다. 진행 및 방법

본 실험에 사용한 시험편은 국산 침엽수재 및 활엽수재, 일부외재를 사용했는데, 78시간 물에 침지하여 함수율 110~150%의 생재와 생재를 다시 1시간동안 자비한 자비재를 각각 사용하였다.

이때 시험편의 치수는 섬유방향(L), 방사방향(R), 접선방향(T)를 각각 350mm, 20mm, 10mm로 하고, 각 조건당 5회의 반복을 하였으며, 마이크로파조사를 위해 가

정용 전자레인지(대우전자, KOR-814K, 발진주파수 2,450MHz)를 간이 마이크로파 조사 장치로 사용하였다. 곡가공을 위해 클램프, 대철 그리고 곡가공을 위한 곡률 반경 판은 4cm와 6cm, 12cm로 하였다. 목재의 자비 처리는 항온수조(98℃)를 사용하였고, 곡가공된 시편 건조는 무풍 건조기를 사용하였다. 이때 건조 온도는 50℃로써 서서히 건조하여 곡가공 시편의 건조 결함을 최소화 하였다.

3. 연구내용 및 결과

수종별 휨가공성 실험은 침엽수 7수종, 활엽수 18수종 총 25종에 대하여 함수율조 건별, 휨가공 가능곡률 조건별, 포수재와 기건재, 상온상태와 자비상태에서 휨가공의 용이성을 살펴보는 순서로 진행되었으며, 구체적인 연구내용 및 결과는 다음과 같다.

가. 수분함량과 휨가공성

목재인자의 검토결과, 수분함량에 따른 휨가공성은 20℃ 상온보다 100℃에서 포수 자비시켜 휨가공을 실시한 결과, 휨가공성 향상을 도모할 수 있었다. 한편 전건상태에서 휨가공을 실시한 결과, 모든 수종에서 실험범위의 곡률반경 어느 곳에서도 파괴되어 휨가공이 불가능함이 증명되었다.

표 1. 20℃ 포수상태하에서의 목재의 휨가공성 평가

	가 가			
12 cm	○	○	△	×
6 cm	○	×	×	×
4 cm	○	×	×	×
				가
				가

* 휨가공성 평가는, ○은 양호함, △는 약간의 결점이 나타남, ×은 불량을 의미.
하단의 수종은 해당되는 수종을 표시한 것임

표 2. 100℃ 포수상태하에서의 목재의 휨가공성 평가

	가 가				
12 cm	○	○	○	△	×
6 cm	○	○	×	×	×
4 cm	○	△	×	×	×
		가			가

* 휨가공성 평가는, ○은 양호함, △는 약간의 결점이 나타남, ×은 불량을 의미.
하단의 수종은 해당되는 수종을 표시한 것임

나. 용적밀도와 휨가공성 분석

용적밀도와 휨가공성 간에는 대체적으로 용적밀도가 큰 쪽이 작은 쪽보다 가공성이 우수하였다.

따라서 침엽수재보다는 활엽수재의 휨가공성이 우수하였으며, 곡율반경 4, 6, 12cm로 실험한 결과, 4, 6cm 범위에서는 같은 정도의 휨가공성을 나타내었고, 12cm에서는 보다 쉽게 가공됨을 알 수 있었다.

표 3. 20℃ 포수상태에서 목재의 용적밀도와 힘가공성 평가

	170	310	350	380	400	440	450	470	500	640	650	740	780	860	
12	x			x	x		x		x					x	x
6	x	x	x	x	x	x	x		x		x			x	x
4	x	x	x	x	x	x	x		x		x			x	x
														가	가

* 용적밀도의 단위는 kg/m³이며, 용적밀도 하단의 12, 6, 4는 힘가공시의 곡률반경(cm)을 의미

표 4. 100℃ 포수상태에서 목재의 용적밀도와 힘가공성 평가

	170	310	350	380	400	440	450	470	500	640	650	740	780	860	
12cm					x		x								x
6cm	x	x	x	x	x	x	x		x						x
4cm	x	x	x	x	x	x	x		x						x
														가	가

* 용적밀도의 단위는 kg/m³이며, 용적밀도 하단의 12, 6, 4는 힘가공시의 곡률반경(cm)을 의미

다. 수종과 휨가공성

수종별로는 물참나무, 느티나무, 느릅나무, 튜립나무, 너도밤나무, 소태나무, 박달나무, 서어나무, 고로쇠나무의 휨가공성이 용이한 편이었으며, 상온에서도 쉽게 휨가공이 가능하였다. 한편 소나무, 편백, 이태리포플러, 메타세콰이어, 발사, 라디아타소나무, 화백, 종가시나무, 참오동나무, 피나무 등은 100℃ 자비처리한 후에도 휨가공성이 매우 어렵다는 것을 알 수 있었다.

표 5. 서로 다른 3가지 조건하에서 휨가공성의 난이도 평가

전 처 리 조 건	포수상태 100℃	포수상태 20℃	전건상태
수 종 명	울반경(cm) 12 · 6 · 4	곡울반경(cm) 12 · 6 · 4	곡울반경(cm) 12 · 6 · 4
물참나무(<i>Quercus grosseserrata</i>)	○ ○ ○	○ ○ ○	× × ×
느티나무(<i>Zelkova serrata</i>)	○ ○ ○	○ ○ ○	× × ×
느릅나무(<i>Ulmus daviana var. japonica</i>)	○ ○ ○	○ ○ ○	× × ×
튜립나무(<i>Liriodendron tulipifera</i>)	○ ○ ○	○ ○ ○	× × ×
너도밤나무(<i>Fagus srenata var. multinervis</i>)	○ ○ ○	○ × ×	× × ×
가시나무(<i>Quercus myrsinaefolia</i>)	○ ○ △	× × ×	× × ×
소나무(<i>Pinus densiflora</i>)	○ × ×	× × ×	× × ×
편백(<i>Chamaecyparis obtusa</i>)	○ × ×	○ × ×	× × ×
이태리포플러(<i>Populus euramericana</i>)	△ × ×	△ × ×	× × ×
메타세콰이어(<i>Metasequoia glyptostroboides</i>)	△ × ×	△ × ×	× × ×
삼나무(<i>Cryptomeria japonica</i>)	△ × ×	× × ×	× × ×
발사(<i>Ochroma spp</i>)	△ × ×	× × ×	× × ×
라디아타소나무(<i>Pinus radiata</i>)	× × ×	× × ×	× × ×
화백(<i>chamaecyparis pisifera</i>)	× × ×	× × ×	× × ×
종가시나무(<i>Quercus glauca</i>)	× × ×	× × ×	× × ×
일본목련(<i>Magnolia kobus</i>)	× × ×	× × ×	× × ×

라. 결과 및 고찰

표 1에서 표 5까지 각 수종별 휨가공성의 용이도를 평가하여 각 처리조건, 수종조건별로 명시하여 나타내었다.

휨가공성은 용적중에 비례하는 경향을 나타내었으며, 자비포수재가 휨가공법의 전

처리 방안으로서 적당함을 알 수 있었다. 휨가공성이 어려운 침엽수재 또는 저비중 재라도 목취방법과 전처리 조건을 보다 다양화한다면 휨가공성이 극히 어렵다고만은 할 수 없는 것으로 판단되었다.

제 13절. 휘가공 목재의 이용사례 및 적용범위 조사

1. 조사내용 및 방법

우리들의 생활공간에서 사용되는 재료소재 가운데 목재의 활용은 최근 급속하게 증가하고 있다. 사람들에게 각광을 받고 있는 가장 큰 이유는 자연재료로서 갖는 장점과 환경친화적인 소재라는 점 때문이다.

목재가 우리 주변에서 사용되고 있는 사례조사와 이용형태에 대한 분석은 이미 진행되었으므로 본 절에서는 선행연구를 기초로 실제 우리주변에서 사용되고 있는 휘가공 목재소재의 용도와 이용현황에 대해 조사해보았다.

특히 휘가공 목재의 이용현황에 대한 조사분석은, 휘가공목재가 시설물에 어떠한 형태로 사용되고 있는가 하는 관점에서, 이용범위, 이용유형, 가공형태로 나누어 구체적이고 세밀하게 진행하였다.

휘가공목재의 이용에 대해서는 외구용재로서의 사용뿐만 아니라 우리들의 생활주변 모두 즉 실내외 공간 모두를 대상으로 진행하였다. 옥외시설물은 개인이나 특정인에게만 영향을 미치는 것이 아니기 때문에 그의 효율적 가치나 기능은, 실내의 가구나 시설에 비하면 대단히 크다고 할 수 있으며, 직선재로서의 목재사용은 활발하게 이루어지고 있는 실정이나 휘가공목재의 이용은 아직 미흡한 이용실태를 보이고 있다.

이에 본 연구에서는 실내외 모두를 조사해 봄으로서 앞으로의 옥외공간에서의 활용에 대한 구체적인 방안을 찾아내고자 대상범위를 확대시켜 진행한다.

2. 휘가공목재의 실내외 공간에서의 활용

휘가공재가 활용되고 있는 사례를 찾아보기 위하여 외구용 옥외시설물로 편익시설, 안내시설, 조명시설, 환경조형시설, 레저관련시설 및 운동시설 등에 대한 조사를 실시했다. 특히 최근에는 토목관련시설 및 수경공간에의 목재활용이 두드러지게 증가하고 있는 것으로 조사되었으나, 대다수가 직선재의 사용이었으며 곡선재가 사용되고 있는 예는 극히 드물었다. 곡선부분의 처리는 대다수가 철강이나 플라스틱 등

타재료가 사용되는 실정이었다. 또한 곡선재를 다른 재료로 대체하면서 목재와 타재료와의 접목부에 문제가 발생하는 경우가 빈번히 발견되었다. 앞으로 휨가공 목재의 활용이 요망된다고 하겠으며 보다 폭넓은 이용수요가 예상되는 부분이다.

옥내용으로서 수분의 접촉이 적은 장소에서 사용되는 경우는, 실내건자재용이나 가구소재로서의 적용방안이 가장 큰 것으로 나타났다.

아울러 건자재 이용면에서 본다면, 건축물의 난간, 손잡, 마감재 등으로의 이용이 있으며, 가구재로서는 받침부분의 하중지지부(주로 다리)와 장식미를 담당하는 공예용으로서의 활용이 두드러져 나타나는 것으로 조사되었다. 특히 휨가공부재는 의자와 침대, 거울, 장식장 등에 적용이 많이 되고 있으며, 이중에서도 의자의 제작에 가장 많은 모델이 조사되었다. 본 연구에서는 우리주변에서 흔히 볼 수 있는 유형에 대해 조사를 진행하고, 휨가공소재의 적용대상에 대하여 검토, 고찰하였다.

휨가공목재를 활용한 사례는 다음과 같다.

가. 생활용구로의 사용









나. 장식품 및 놀이기구로의 활용





Copyright © 2007. All rights reserved.



다. 야외공간에서의 활용 : 곡선재의 활용(휨가공재 + 집성재)





라. 수경공간에서의 활용





바. 공공 토목시설로서의 활용



사. 조경시설물로서의 활용



◎ 놀이 및 운동시설로서의 활용





제 14절. 경관재료소재로서 Exterior Wood 및 휨가공목재의 활용방안

1. 서론

본 절에서는 제 10절과 13절에서 조사 분석된 자료를 기초로 내외장 재료소재로서 활용방안을 제시하여 본다.

사례분석을 통해 살펴본 결과 Exterior Wood는 이미 다양한 장소에 다양한 형태로의 활용이 이루어지고 있어 양적인 면에서는 충분하다고 할 수 있으나 질적인 면에서의 보완이 필요한 것으로 나타나고 있다.

휨가공목재에 대해서는 내장용으로는 보급이 어느 정도 이루어지고 있으나 국한된 시설에의 사용이 두드러졌으며 외장용으로는 아직 많은 부분이 부족한 것으로 나타났다. 이에 앞으로의 활용 및 개발방향에 대해 제시해보도록 한다.

2. Exterior Wood의 개발방향

Exterior Wood가 이용되고 있는 사례지 조사연구의 분석결과를 근거로, 앞으로의 외부공간에서 사용되는 목재재료소재, 즉 Exterior Wood의 개발방향을 설정해 보면 다음과 같다. 목재소재는 내부공간에서 뿐만 아니라, 외부공간에서도 매우 다양한 형태로 사용되고 있었다. 시설물의 재료소재로서의 활용도 그 이용범위나 이용형태, 이용방법에 있어 많은 차이가 있었다. 국내에서의 목재소재에 대한 이용은 그 범위나 형태면에서 극히 제한되어 있는 경우가 많았으며, 사용되는 장소의 상태나 주변환경에 대한 배려, 그리고 디자인측면에서의 고려가 이루어진 사례보다는 기성제품을 활용하는 사례를 더 쉽게 찾아볼 수 있었다. 또 옥외시설물의 소재로 목재를 사용하더라도 딱딱한 느낌을 주는 경우가 많아(그림 1), 시설물에서 느껴지는 분위기는 재료선정만으로 해결되는 것은 아니라는 점이 파악되었다. 그러므로 시설물의 소재에 대한 개발도 중요하겠으나, 경관적인 측면을 고려한 주변환경과의 조화에 대한 연구, 그리고 디자인적인 측면에 대한 보완이 필요한 것으로 파악되었다. 그리고 목재를

이용한 다양한 제품개발은, 완제품보다는 다양한 규격과 색상과 상호간의 조합이 가능한 부분재 혹은 부속재료에 대한 개발로 그 방향을 설정하여, 목적과 장소에 적합한 디자인과 시공이 이루어질 수 있도록 유도하여야 할 것이다. 국외의 경우, 이용범위나 이용방법, 그리고 형태면에서 매우 다양한 용도와 디자인이 채택되고 있는 것으로 조사되었다. 그 구체적인 사례에 대한 설명은

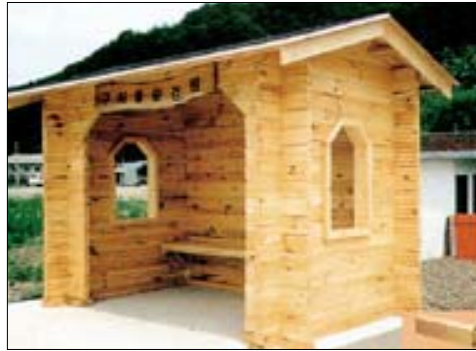


그림 1. 도로변 버스승강장. 목재를 사용하고 있으나 딱딱하고 인위적인 느낌이 난다

이미 사진설명에서 언급하였으므로, 여기서는 예외적이고 특징적으로 목재소재가 사용된 경우를 소개하고 앞으로의 개발방향에 대한 설정을 시도해본다.

그림 2는 경사지에 토사방지와 잔디피복부의 유지 및 보호를 위해 설치된 경사면 보호시설의 사례이다. 주변 자연소재들과의 조화를 고려하여 질감이 거친 원목을 그대로 사용하고 있다. 또 사면 전체가 아닌 일부분에만 원목이 설치되고 있는데, 이는 공간을 분할, 즉 나누어줌으로써 넓은 면적의 경사면에서 생겨나는 지루함을 감소 시키고자 시도된 디자인으로 판단된다. 아울러 원목을 일정간격 띄워서 시공하고 경사면을 평면으로 일부 정리해줌으로서 벤치로의 활용을 유도해주고 있다. 이와 같이 같은 소재를 사용하더라도 그것을 어디에 어떻게 배치하느냐에 따라 그 활용도에는 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이용자의 측면에서 다시 한번 바라보는 배려가 설치후 시설물의 활용도에 미치는 영향은 현격하리라 예상된다.



그림 2. 원목으로 경사면의 일부를 보호처리 한 예. 계단식 벤치로도 이용된다(캐나다)



그림 3. 야외에 설치된 목재덱크. 다양한 이용 행태를 유발시키는 시설물이다(東京都)

그림 3은 東京都에 있는 나무도서관의 외부공간이다. 잔디밭 위에 목재덱크가 설치되어 있고 그 위에 목재벤치가 놓여있다. 그 배치나 디자인에서, 세련되고 정돈되었다는 느낌을 받을 수 없으나 대단히 편안하고 여유로운 분위기가 느껴진다. 설치되어 있는 목재덱크의 색은 중앙에 있는 녹음수의 수피색과 유사하여 거부감이 없으며, 덱크 앞부분에는 있는 두꺼운 각재는 그 자체가 벤치의 역할을 담당하기에 조금도 부족함이 없어 보인다. 또 덱크와 잔디밭 사이의 고저차는, 또 하나의 부담없이 걸터앉을 수 있는 옥외시설물(벤치)이 되어주고 있다.

그림 4는 각재를 사용하여 만든 파고라이다. 지붕의 형태도 특이하여 초가집의 지붕을 연상케 해주고 있으며 그로 인해 생겨나는 그림자의 문양도 흥미롭다. 이 파고라는 기둥부분에 각재를 엇갈리게 배치하여 구성하고 있는데, 마치 벽돌을 쌓아놓은 것 같은 느낌을 주고 있다. 즉 재료사용에 대한 기존의 고정관념에서 벗어난 재료선정과 독특한 디자인으로 이용하는 사람들의 관심을 끌고 있다. 또한 벽돌이 사용된 느낌이 드는 시각적인 효과로 인해 안정감도 느끼게 해준다.

그림 5는 福島縣 双葉郡에 있는 綜合公園에 있는 야외무대이다. 현대적인 감각에 맞는 기하학적이며 세련된 느낌을 주는 높이 6.4m, 전체길이 27.6m의 대규모 시설물이나, 기초 골격만 제외하고는 전부 목재를 이용하여 만들어져 있다. 판재와 각재, 가는 원통형으로 다듬은 원목을 이용하여 강하고 날카로운 느낌이 부여되도록 목재를 활용하고 있다. 이와 같이 부드러운 목재를 사용하더라도 그 사용형태나 디자인에 따라 다양한 분위기의 연출이 가능하다는 것을 입증할 수 있는 좋은 사례이다.



그림 4. 재료사용에 대한 고정관념에서 탈피한 디자인. 기둥에 사용된 각재는 벽돌을 연상케 한다(일본)



그림 5. 공원내의 야외무대. 차갑고 현대적인 분위기 연출은 목재를 사용하더라도 가능하다(福島縣)

목재를 이용한 시설물로 공간의 분위기를 크게 바꾸어 준 사례로 그림 6를 들 수 있다. 이곳은 현대도시에서 흔히 볼 수 있는 고가도로의 밑부분이다. 교각이 서있는 지면부는 어둡고 이용효율도 떨어지는 소외된 듯한 분위기의 특성을 갖는 공간이다. 이와 같은 부분에 목재데크를 설치하여 산책, 휴게가 가능한 공간을 만들고 수변에 조명등을 설치함으로써 공간의 이미지를 밝게 전환시켰을 뿐만 아니라, 인접부지와 연계성을 향상시켜 주었다.

그림 7은 워터프론트에 설치된 목교로, 양쪽 호안을 연결하는 기능을 갖는 토목시설물이다. 그러나 滋賀縣 高島郡에서는 바다 건너편에 보이는 완만한 스카이라인과의 조화를 염두에 두고, 산의 형상을 상징화하면서도 바다의 수평선을 그대로 평행이동한 듯한, 횡적요소가 강조된 디자인을 목교에 적용시키고 있다. 목재가 갖는 구조적인 제한 때문에 교량의 보부분(양쪽 호안을 연결하는 부분)은 철강재가 사용되었으나, 그 외의 모든 부분과 보의 외관(바깥부분)은 모두 목재를 이용하여 처리하고 있어, 해안경관과 자연스럽게 어우러지고 있다. 사용된 목재는 방수, 방염, 방충가공을 하여 내구성이 증가시켰으며, 호안부의 화강석과 뒤편으로 전개되는 바다와 하늘의 색조와 잘 어울리는 목교의 칼라 또한 목재특유의 따뜻함과 부드러움을 증가시키는 역할을 해내고 있다. 이와 같이 지금까지는 구조적인 결함 때문에 사용하지 못했던, 사용범위에 제한을 받았던 소재들에 대한 해결방안의 모색과, Exterior Wood로서의 활용에 있어 보강시켜 주어야 할 재료특성에 대한 문제, 즉 목재의 가공에 대한 기술적인 부분이 앞으로도 계속 진행시켜 주어야 할 남겨진 과제이다.



그림 6. 고가도로의 교각 밑에 설치된 목재 데크. 공간의 분위기를 크게 개선시켜 주고 있다(日本).



그림 7. 워터프론트에 설치된 목재 교량. 가공방법이나 시공공법을 연구한다면 구조적인 문제는 해결 가능하다(일본 滋賀縣)

3. 휩가공목재의 활용방안 모색

내외장용 소재로는 목재 이외의 다양한 재료소재가 이용 가능하다.

이상의 사례에서 살펴본 바와 같이 같은 용도, 같은 형태의 시설이라 할지라도 그 사용재료에 따라 전체적인 분위기뿐만 아니라 사람들의 이용 및 선택에 대해 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

아래의 그림은 실내의자의 사례이나 사용재료 및 목재의 형태(직선재 혹은 곡선재)에 따라 많은 차이가 생겨나는 것을 확인할 수 있다.



그림 8. 목재의 사용범위(부분과 전체)와 사용형태(직선재와 곡선재)에 따른 분위기 비교

시설물이나 공간들은 모두가 직선 혹은 곡선으로 이루어지는 경우가 흔치 않으며 대다수가 직선과 곡선이 복합적으로 어우러져 형태를 만들어 내고 있다. 따라서 직선재와 곡선재를 적절하게 섞어 사용하고 형태를 만들어 내는 것은 우리들의 생활공간에서 찾아낼 수 있는 기본원칙이다.

실내공간의 가구 디자인이나 장식품에서는 곡선형태로 가공되어 사용되는 목재를 발견할 수 있으나 외부공간에서는 특수한 경우를 제외하고는 사용사례가 매우 적었다. 반면 외부공간에서의 목재활용은 급격하게 늘어나고 있는 실정인 만큼, 휨목재를 만들어 곡선형태의 목재를 사용할 수 있다면 보다 환경친화적이면서도 사람들에게 친근감을 느낄 수 있는 시설물과 공간창출에 익일을 담당하게 될 것이다.

지금까지의 외장용재료로 사용되는 목재는 직선재가 많아 곡선부나 접합부 등에 대한 처리는 철강이나 플라스틱 등 타재료를 사용하는 것이 관례였다. 그러나 관리면에서 보면 모든 목재를 재료소재로 사용한 시설물에서 발견되는 대다수의 문제는 타재료와의 접합부 등에서 발생하는 부분이 매우 큰 것으로 나타나고 있다.

따라서 휨가공목재를 보다 향상된 형태로, 보다 싼 가격으로 개발하는 것이 가능하다면 목재를 사용할 수 있는 범위가 보다 확대될 수 있을 것으로 판단된다.

현재 타재료가 사용되고 있으나 앞으로 목재의 가공성을 극대화 시켜 적용가능한 혹은 대처하는 것이 바람직하리라 생각되는 사례를 소개하면 다음과 같다.



그림 9. 보행자들의 안전시설인 경계책은 목재로 대체가능한 대규모 영역이다

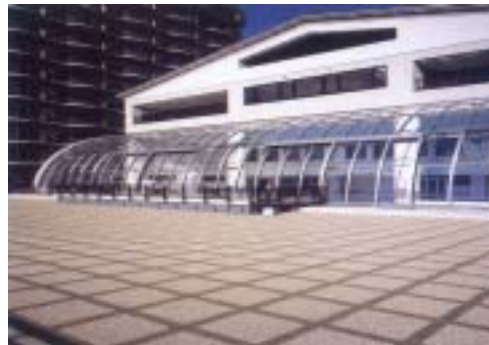


그림 10. 건축물에 부착된 온실의 골격구조체를 목재로 교체하면 자연스러워진다



그림 11. 조명을 겸한 볼라드를 목재로 대체하는 것은 충분히 가능한 일이다



그림 12. 구조적인 문제만 해결한다면 안전을 위한 경계책도 목재로 대체가능한 시설이다

목재로서 대체 가능한, 가공법에 대한 필요성이 요구되는 시설로는 앞으로 도시경관에 관련된 공공시설물을 들 수 있으며 그 가운데에서도 사회기반시설인 토목시설에 대한 활용이 절실하다고 판단된다. 안전시설을 위한 경계책이나 도로시설 그리고 사람들의 이용이 많은 시설과 공간의 분위기를 부드럽게 해주는 데 활용 가능할 것으로 생각된다. 험가공목재가 대중들이 사용하는 공공공간에 시설물의 재료소재로 사용된다면 그 파급효과는 매우 클 것으로 기대된다. 아울러 지금까지 목재가 전혀 사용되지 않았던, 구조적인 문제나 관리측면에서의 어려움을 계기로 시도해보지 않았던 장소에 새롭게 도입시켜보는 시도는 충분히 가능하리라 생각된다.

목재는 자연친화적인 소재로 21세기에 각광받을 수 있는 재료소재이다.

단 천연소재의 특성이기도 한 가공성이 떨어지는 단점을 기술적인 부분으로 보완시켜준다면 목재를 이용한 활용범위는 대단히 광대할 것으로 판단된다.

앞으로 본 연구를 활성화시킨다면, 지금까지의 소재와는 달리 침엽수재를 널리 활용한 험가공 소재개발이 보다 많은 현장 및 대상에 적용을 시킬 수 있을 것으로 판단되어진다. 아울러 본 연구를 시작으로 앞으로 목재의 활용방안에 대한 기술적, 디자인적인 연구를 축적해 나간다면 사람들의 생활에 밀착된 보다 실제적인 연구로 발전될 수 있으리라 기대한다.

제 15절. 최적 휩가공공정

1. 휩가공을 위한 목재인자 및 처리인자 영향 조사

휩가공에 의한 너도밤나무로 만든 토네의 곡목의자는 그 미적 아름다움 때문에 지금도 세계 각처에서 계속적으로 만들어져 문자 그대로 구조, 기술, 조형의 모든 면에 있어서 완성도가 높은 의자로 불리고 있다.

휩가공기술은 처음에는 차륜등의 공작에 응용되다가 차츰 의자 등의 고급가구로, 점차 그 이용범위가 넓어지고 있다. 토네의 성공의 배경으로서 중요한 사실은 기술개발면에서의 가능성을 항상 추구해 온 사실이라고 할 수 있다. 현재 자료로서 남아 있는 시작품 중에는 필요성과는 관계없이 기술적으로 어떻게 해서 만들었는지 불명확한 것이 많지만 경비와 노력, 시간이 아무리 많이 들더라도 모든 에너지를 휩가공방법에 주입하여 양산기술을 개발하여 놀랄만큼 많은 수의 휩가공의자를 생산할 수 있었다는 것은 가공방법에 관한 노하우를 스스로 개발한데 대하여 놀라지 않을 수 없을 것이다.

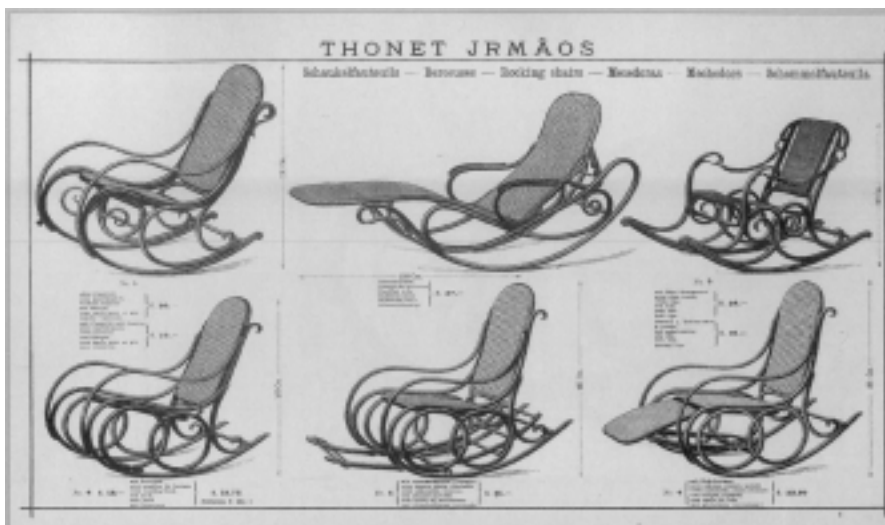


그림 1. 1895년 제작의 토네의 카탈로그. 도판은 토네사에서 1980년에 출판된 복제판. 좌석과 런너사이의 보강재의 디자인을 변화시킴으로서 바リエ이션이 생기고 있다. 전체는 120페이지, 길이 28cm, 폭 21cm 크기

본 연구과제에서는 현재까지 국산 소나무재의 휨가공성을 위한 기초자료로서 국산 소나무재 및 물푸레나무를 섬유경사각 0, 30, 45, 60, 90도로 제작하여 두께 1cm, 폭 2cm, 길이 35cm의 시험편으로 만들어, 섬유경사각의 영향도를 집중적으로 검토하였다. 여기서는 소나무재이외의 국산 침엽수재 및 활엽수재의 휨가공성에 대하여 목재인자 및 가공인자에 대하여 곡률반경 4, 6, 12cm의 휨가공틀을 이용하여, 목재의 함수율, 온도, 용적밀도, 휨가공가능범위 등에 대하여 검토, 고찰하였다.

2. 각 영향인자별 휨가공성 분석

목재의 휨가공법은 마이클 토네가 집주변의 풍부한 너도밤나무를 이용하여 증기처리와 말을 이용하여 수작업에 의거한 것이 원조라고 할 수 있다.

다행히 너도밤나무가 휨가공성이 용이한 관계로 그대로 작업이 진행되었지만, 다른 대부분의 수종은 휨가공성이 어려웠기 때문에 휨가공을 하기 위해서는 휨가공에 미치는 영향인자가 무엇인지 검토를 해야 할 것이다. 휨가공치구를 이용하여 목재를 임의의 휨가공부재로 변형시키는 휨가공법은 목재의 열가소성(heat plastic property)을 이용한 것이다. 목재를 휘게 되면, 외측에 인장응력이, 내측에 압축응력이 생기지만, 압축의 소성영역은 인장영역에 비하여 매우 크기 때문에 인장변형율을 제한하면서 최대한의 압축변형율을 이용하여 목재를 휘는 것에 주안점이 있다고 하겠다. 목재는 소성이 부족하기 때문에 최대한의 압축변형율을 얻을 수 있는 가공조건이 갖추어져야 하는데, 이것이 바로 수분과 열에 의한 목재의 가소화라 할 수 있다.

특히 열원으로서 최근에는 단시간의 처리를 목표로 하는 고주파처리 등이 많이 이용되고 있다. 따라서 외부인자로서는 전처리조건, 처리온도, 처리법, 내부인자로서는 밀도, 수종특성, 함수율 등이 있으며, 이들 인자들 외에도 국내외문헌을 종합하여 검토, 고찰하였다.

3. 연구내용 및 결과

휨가공법을 처음 개발한 토네는 거주지주변의 풍부한 너도밤나무를 이용하여 증기처리에 의해 많은 양의 제품을 제작하였다. 다행히 너도밤나무는 활엽수재중에서도 휨가공성이 뛰어난 소재로서 별다른 큰 어려움이 없었던 것으로 알려져 있다.

가구분야뿐만 아니라 건축분야에 있어서도 디자인면에 있어서 토네의 의자 이상의 미적감각을 지닌 소재를 개발한다면, 그는 이 세계에서 가장 뛰어난 디자인가 중의 하나라고 해도 과언이 아니라는 말이 있을 정도로 목재의 휨가공성에 대한 연구가 다양한 분야에서 약 100여년전부터 행하여져 왔다.

휨가공성에 대한 수종특성을 조사한 결과, 휨가공성은 수종별로 큰 차이가 있었으며, 따라서 수종특성이 명백하게 존재한다는 사실이 밝혀졌다. 즉, 휨가공할 수 있는 수종과 없는 수종이 있으며, 안되는 수종을 억지로 만드는 것은 시간과 노력만 낭비한다는 것이다. 휨가공성에 미치는 재질특성이 수종 및 연륜구조, 함수율 등 다양한 인자가 있겠지만, 결론적으로 휨가공성을 한마디로 요약한다면 수종선택에 90%, 휘는 기술에 10%의 기술력이 있다고 할만큼 수종선별이 매우 중요하다고 할 수 있다. 휨가공성이 용이한 수종으로서는 취약한 재질보다 점성이 있는 활엽수 산공재가 가장 양호하며, 침엽수재라도 응력재나 경사지에서 자란 나무, 마이크로피브릴 경사각이 큰 수종이면 쉽게 휘다고 하겠다. 따라서 목재재료를 가능한 마이크로피브릴 경사각이 크게 되도록 재료를 제작하여 휨가공을 한다면 보다 쉽게 가공할 수 있을 것이다.

일반적으로 휨가공용 목재는 취약한 재질의 소재보다 인성이 큰 것이 적당하며, 느릅나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무, 단풍나무, 자작나무, 들매나무, 검나무, 물푸레나무, 서어나무, 벗나무, 음나무, 호도나무, 밤나무, 가시나무 등의 활엽수재가 많이 이용된다. 이들 소재를 결점재는 제외하고, 휨가공시 두께가 폭보다 작고, 가능한 재면이 평활한 것이, 변재가 심재보다 좋다. 목재소재의 섬유경사각을 0도(섬유방향 시험편)부터 90도(횡단면 시험편)까지 5단계로 구분시켜 휨가공한 결과, 휨가공은 모든 시험편에서 순조롭게 곡률반경 4, 6, 8, 10cm까지 진행되었으며, 섬유경사각이 클수록 쉽게 휨가공할 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 다양한 수종의 용적중, 함수율상태에 따라 조사한 결과, 용적중이 비교적 큰 쪽이 휨가공성이 뛰어났으며, 상온보다는 고온자비처리재가, 침엽수재보다는 활엽수재의 휨가공성이 우수함을 나타내었다.

각 영향인자별 휨가공성 분석 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

가. 함수율과 처리온도 및 처리시간

목재를 임의의 곡가공부재로 변형시키는 휨가공법은 목재의 열가소성을 이용한 것이다. 따라서 휨가공영향인자는 열가소성과 관계되는 목재의 비중, 목재의 함수율,

처리온도, 시간 등이 될 것이다. 목재의 열가소성은 생재 쪽이 크지만, 섬유포화점 이상의 세포내강에 존재하는 자유수는 아무 의미가 없기 때문에 섬유포화점부근, 즉 함수율 25~30%일 때 최대의 가소성을 가지며, 현재까지의 연구결과에 의하면 가열 처리 후 휨가공 직전상태의 목재 함수율이 20%전후가 가장 적당한 것으로 판단되었다.

고주파를 이용한 가열법에 있어서는 처리시간이 90초가 두께 1cm 인 목재에서는 최적의 시간으로 확인되었으며, 120초까지 조사해도 목재소재에는 큰 영향이 없는 것으로 조사되었다. 이때 열가소성은 상온상태에서보다 열을 가하면 현저하게 증가하는데, 가열온도는 약 140℃정도가 가장 양호한 연화점이지만, 일반적인 방법은 80℃부터 시작해도 무방한 것으로 판단되었다.

나. 목재소재의 비중

목재를 휨가공하게 되면, 외측에 인장응력이, 안쪽에 압축응력이 생기지만 압축의 소성영역은 인장에 비하여 매우 크기 때문에 약 1%정도에 불과한 인장변형율을 제한하면서 최대한의 압축변형율을 이용하여 목재를 휘는 것에 주안점이 있다.

따라서 인장변형율 제한은 대철을 이용하여 늘어나는 변형량을 최소한으로 억제하면 되지만, 압축변형량은 인장측의 변형량과 상대적으로 대응하는 관계에 있기 때문에 적당한 양으로 제한이 되어야만이 휨가공 후에 깨끗한 凹面생성이 가능하다고 할 것이다. 만일 인장력을 억제하여 바깥쪽에서 터지는 일이 발생하지 않는다고 하여도 안쪽에서 압축변형량이 지나치게 많아 물결모양의 변형이 생길 때 일정한 주기의 과상무늬가 되지 못하면 응력분포의 불균일함과 목재소재의 비틀림 등으로 소재의 활용가치가 없어지게 되는 것은 명약관화하기 때문이다.

따라서 압축변형을 받는 안쪽의 변형량제어가 휨가공에 있어서 특히 주목해야 할 사항이며, 이것은 목재의 재질, 그중에서도 세포벽의 성상과 관계기 깊은 것으로 판단되며 크기는 목재의 비중과 연관시켜 생각해도 될 것으로 판단된다. 비중이 낮은 목재소재는 세포벽량이 단위체적당 그렇지 못한 수종보다 보다 작을 것이므로 압축되는 양도 작게 될 것이다. 그러나 두꺼운 세포벽은 보다 많이 압축변형량을 생성할 가능성이 크므로 결과적으로는 전체적으로 요면에 있어서 불규칙한 과상무늬 생성으로 이어질 가능성이 크다고 하겠다. 그러나 실제 실험에 의하면 고비중재보다 저비중재에서 함몰현상이나 꺾임현상이 凹面에서 자주 발생하였으며, 특히 오동나무, 피

나무 등에서 발생한 점으로 미루어 활엽수가 침엽수보다 잘 된다는 통념에 반대되는 현상이라 할 수 있겠다.

이태리포플러의 경우에도 요면에서의 껍힘현상은 특히 두드러졌으며, 발사같은 저비중재는 휨가공성이 거의 없는 것으로 알려졌다. 따라서 어느 정도는 세포벽이 두꺼워야만이 휨가공성도 개선될 수 있음을 알 수 있었다.

다. 휨가공가능 최소곡률반경

목재의 휨가공을 행함에 있어서 휨 수 있는 최소 곡률반경은 목재두께의 몇 배인가를 단정할 수는 없다. 기존의 연구결과에 의하면 휨가공소재와 휨 수 있는 곡률반경은 반비례관계에 있으며, 어느 정도 표준값을 나타낼 수 있다. 목재에 충분한 가소성을 부여하여 대철을 이용하면, 활엽수의 경우 두께 1.5cm의 경우 두께의 10배 정도의 반경으로, 그보다 두꺼운 것은 10배 이상의 반경으로, 또 그보다 얇은 경우에는 10배 이하의 반경으로 쉽게 휨가공 할 수 있다. 실험에 의한 침엽수재의 경우, 같은 두께일 경우 활엽수재의 1.5배의 곡률반경으로 나타나며 실용적인 측면에서는 산지별, 수령별, 개체별로 기초자료를 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

현재까지의 가공법으로는 증기처리에 의한 휨가공법, 적층 및 거단에 의한 휨가공법이 일반적이며, 자비 휨가공법부터 가열 휨가공법(직화가열, 열판가열, 고주파가열), 약품처리 휨가공법에 이르기까지 목적으로 하는 용도에 따라서도 다양하게 분류되고 있다고 할 수 있다.

라. 전처리조건

휨가공시 전건재보다는 포수재를, 포수재보다는 포수자비재를, 또 이보다는 포수재를 고주파 조사한 목재, 또는 자비재의 고주파 가열 후 휨가공 하는 방법이 더 우수함을 현재까지의 연구결과, 알 수 있었다. 포수재가 자비처리재보다 함수율이 높았는데 이것은 자비처리함으로써 세포내강의 이동통로 속에 있던 이동저해물질들이 제거되어 고주파가열에 의한 수분이동양이 포수재보다 크게 증가되었기 때문으로 판단되었다. 포수재의 고주파처리시 조사시간이 길수록 급격한 수분증발이 이루어짐을 알 수가 있었고, 90초 이상 고주파 조사시 함수율이 75% 이내로 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.

또한 자비재 경우에는 90초 이상 마이크로파 조사시 함수율이 50% 이하로 내려감

을 알 수 있다. 여기서 자비재가 포수재 보다 함수율 경사가 급하다는 것을 알 수 있었다. 또한 포수재는 휨가공 연화온도 이하점(90℃)으로 목재온도가 빠르게 저하하기 때문에 가공성이 떨어지는 것으로 판단되어진다. 반면 자비재는 자비시간(60분)동안에 내부온도를 90℃ 정도로 유지하게 되고, 고주파 처리로 내부온도는 더욱 상승하게 되어짐으로 포수재보다 휨가공성이 뛰어난 것으로 판단되었다.

마. 목재의 탄성계수

휨가공할 소재를 만능강도시험기에서 고주파 조사 후 파괴시키지 않는 범위내에서 탄성계수의 변화를 각각 조사하였다. 기건재와 포수재의 탄성계수를 비교해보면 보면 현저한 차이가 있었으며, 포수재와 고주파 처리재에서도 강도적인 면에서 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다. 기건재와 포수재, 고주파 처리재의 관계를 보면 목재의 휨탄성계수가 낮을수록 휨가공이 쉽게 이루어졌다. 그러나 고주파를 30초간 처리한 시편과 120초간 처리한 시편의 휨가공 특성을 보면 고주파를 30초간 처리한 시편은 쉽게 휘기는 하지만, 휨파괴도 쉽게 일어났다. 반면 고주파를 120초간 처리한 시편은 휨가공에 많은 힘이 들기는 하나 쉽게 파괴 되지는 않았다. 여기에서 휨가공에는 어느 정도의 강도가 필요하다는 것을 알 수 있는데 고주파 처리 시간이 60~90초 일 때의 휨탄성계수가 적당하다고 판단되었다.

따라서 휨탄성계수가 작은 목재소재일수록 휨가공성은 그렇지 못한 수종보다 보다 용이할 것으로 판단되었다. 이를 위해서는 가능한 낮은 탄성계수의 수종을, 같은 수종이라도 탄성계수를 작게 할수 있는 제재법을 채용하거나, 전처리공정에서 탄성계수를 저하시키는 방법을 병행할 수 있을 것이다.

제 16절. 국산재이용현황 및 경제성 검토

1. 국산재 등 이용촉진을 위한 설문조사

국산재는 건설업 및 토목공사, 포장재 및 운반재, 그리고 톱밥이나 가구재 등에서 사용되는 중간재화이기 때문에 목재·목제품 생산업체는 국산재 원목이나 간벌재의 소비자이다. 따라서 국산재를 이용한 제품의 구매촉진을 위한 정책추진 방향을 파악하기 위하여 국내 생산업체에 대한 설문조사를 실시하였다.

설문조사 대상업체는 한국목재공업협동조합 조합원 명부(2002)와 한국목재신문사의 목재가이드북(2002), 환경과 조경 2002년도 조경 및 관련분야 명부, 그리고 Internet 검색(www.woodnet.net 과 www.yahoo.co.kr)을 통하여 우리나라 목질 판상 제품 회사, 목재가구 회사, 목재방부 회사, 조경시설재 제작 회사 및 시설 회사, 통나무주택 회사, 목재 파렛트 및 포장재 회사, 시군 산림조합 산하 목재집하장 등 총 269개 업체를 대상으로 우편설문조사를 실시하였다.

조사기간은 2002년 9월부터 10월까지 총 269개 업체를 대상으로 우편이 발송되었으나 설문지를 발송한 업체 가운데 58개 업체로부터 응답을 받을 수 있어 설문회수율은 21.6%에 불과하였다.

설문내용은 먼저 업체특성을 파악하고자 생산제품의 유형, 업체규모, 제품생산에 사용되는 원자재의 종류, 그리고 정부 등 공공기관 납품실적금액을 조사하였다.

다음으로 국산재 소비 저해요인 및 촉진정책방안을 위한 사항으로 국산재 사용을 저해하는 요인과 정부 등 공공기관 납품저해요인, 그리고 납품을 촉진하기 위한 정책적 방안 등을 파악하였다.

마지막으로, 환경친화적 제품에 대한 공공기관 우선구매제도 정책에 대한 생산자의식조사에 관한 사항을 설문하였다. 여기에서는 목재·목제품이 환경친화적 제품인가에 대한 의견, 환경친화적 제품의 우선구매 제도에 대한 의견, 그리고 목재·목제품의 우선구매정책의 정착을 위한 인증마크에 대한 필요성에 대하여 조사하였다.

가. 생산업체 특성조사

설문조사 대상 58개 생산업체의 생산제품을 조사한 결과, 크게 건축·토목재 생산 20개 업체, 포장·운반재 생산 19개 업체, 톱밥이나 가구재 등 기타 제품생산 19개 업체로 구분되었다.

건축·토목재에는 각재나 판재 등 제재목, 건축재, 몰딩재, 조경시설제품 등이 생산되고 있었으며, 포장·운반재에는 목상자, 파렛트, 컨테이너, 드럼 등이, 기타 제품에는 톱밥이나 거실장, 의자 등 가구제품을 생산하고 있는 것으로 나타났다.

1) 종업원수

목제품 생산업체들의 규모를 파악하기 위하여 업체 종사자수를 검토하였는데, 그 결과는 그림 1과 같다. 총 58개 생산업체 가운데 약 93%인 54개 업체는 종업수가 50명 미만인 것으로 나타났으며, 50인 이상인 업체는 4개 업체에 불과한 것으로 나타났다.

업체의 생산제품유형에 따라 구분된 건축·토목재, 포장·운반재, 기타 제품생산업체로 구분하여 살펴보면 표 1과 같다.

건축·토목재 생산 20개 업체 가운데 19개 업체(95%)가 50인 미만으로 나타났으며, 50인 이상인 업체는 1개 업체에 불과한 것으로 나타났다. 포장·운반재의 경우에도 생산 18개 업체 가운데 17개 업체(94.7%)가 50인 미만으로 나타났으며, 50인 이상인 업체는 1개 업체로 나타났다. 이외 기타의 경우에는 19개 업체 가운데 17개 업체(89.5%)가 50인 미만으로 나타났으며, 50인 이상인 업체는 2개 업체로 나타났다.

표 1. 종업원수

구분	건축 / 토목재		포장 / 운반재		기타		합계	
	N	%	N	%	N	%	N	%
1-49인	19	95.0	18	94.7	17	89.5	54	93.1
50인 이상	1	5.0	1	5.3	2	10.5	4	6.9
합 계	20	100	19	100	19	100	58	100

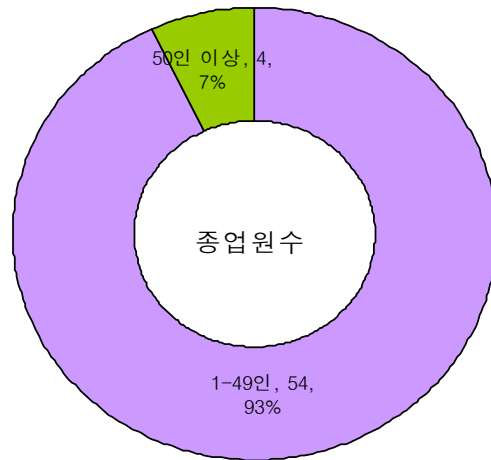


그림 1. 종업원수

2) 생산제품의 원자재

목제품 생산제품의 원자재는 크게 국산재와 수입재, 그리고 폐목재로 대별하고, 국산재와 수입재의 경우 원목, 제재목, 판상재로 구분하여 조사하였다. 또한 생산업체의 원자재는 국산재와 수입재를 동시에 사용할 수 있으므로 생산업체에서의 응답은 복수응답을 허용하여 조사하였다. 그 결과는 그림 2와 같다. 1

26개의 총 복수응답에서 수입재 제재목이 28개 업체(22.2%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 수입원목 27개 업체(21.4%), 국산재 원목19개 업체 (15.1%), 국산재 제재목 15개 업체(11.9%) 순으로 나타났다.

업체 유형에 따라서는 표 2와 같이 건축·토목재의 경우에는 42개의 총 복수응답에서 국산재 원목과 수입재 원목이 각각 10개 업체(23.8%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 수입재 제재목이 8개 업체(19.0%), 국산재 제재목과 수입재 판상재가 각각 4개 업체(9.5%) 순으로 나타났다.

포장·운반재의 경우에는 44개의 총 복수응답에서 수입재 원목이 12개 업체(27.3%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 수입재 제재목이 11개 업체(25.0%)로 가

장 높게 나타났으며, 수입재 판상재 판상재 6개 업체(13.6%), 국산재 제재목과 판상재가 각각 4개 업체(9.1%) 순으로 나타났다. 기타제품의 경우에는 수입재 제재목이 9개 업체(22.5%)로 가장 높게 나타났으며, 국산 제재목 7개 업체(17.5%), 국산 원목 6개 업체(15.0%), 수입 원목 5개 업체(12.5%) 순으로 나타났다.

표 2. 생산 제품의 원자재

구분		건축 / 토목재		포장 / 운반재		기타		합계	
		N	%	N	%	N	%	N	%
국산재	원 목	10	23.8	3	6.8	6	15.0	19	15.1
	제재목	4	9.5	4	9.1	7	17.5	15	11.9
	간벌재	3	7.1	3	6.8	4	10.0	10	7.9
	판상재	1	2.4	4	9.1	4	10.0	9	7.1
수입재	원 목	10	23.8	12	27.3	5	12.5	27	21.4
	제재목	8	19.0	11	25.0	9	22.5	28	22.2
	판상재	4	9.5	6	13.6	4	10.0	14	11.1
폐 목 재		2	4.8	1	2.3	1	2.5	4	3.2
합 계		42	100	44	100	40	100	126	100

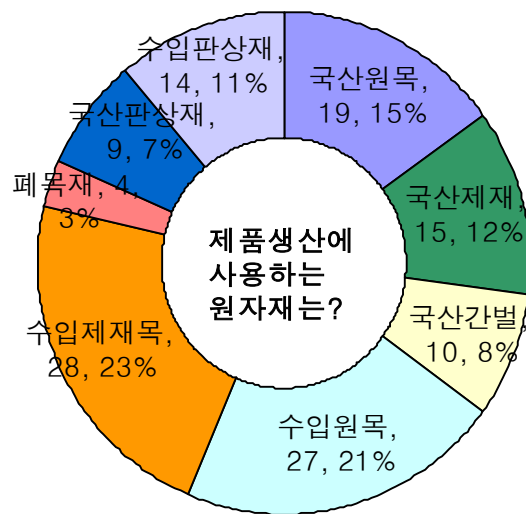


그림 2. 제품생산 원자재

3) 정부 등 공공기관 납품실적

목제품 생산업체의 최근 3년간 정부 및 공공기관 납품 실적액을 조사하였으나, 58개 생산업체 가운데 36개 업체에서 응답을 하지 않아, 응답업체 22개 업체에 한하여 실적액을 파악하였다.

그 결과 표 3과 같이 평균 실적액은 725,372천원으로 나타났으며, 가구류 및 톱밥 생산 업체 등이 1,974,583천원으로 가장 높은 실적액을 납품하고 있는 것으로 나타났으며, 다음으로 건축·토목재 생산업체가 288,042천원, 포장·운반재 생산업체가 122,049천원 순으로 나타났다.

표 3. 최근 3년간 정부 및 공공기관 납품실적

(단위 : 1,000원)

구분	건축 / 토목재	포장 / 운반재	기타	합계
	N=13	N=3	N=6	N=22
평균	288,042	122,049	1,974,583	725,372
표준오차	157,815	43,114	982,297	147,656
무응답수	7	16	13	36

다음으로 국산재 소비 저해요인 및 촉진정책방안을 위한 사항으로 국산재 사용을 저해하는 요인과 정부 등 공공기관 납품저해요인, 그리고 납품을 촉진하기 위한 정책적 방안 등을 파악하였다.

마지막으로, 환경친화적 제품에 대한 공공기관 우선구매제도 정책에 대한 생산자의식조사에 관한 사항을 설문하였다. 여기에서는 목재·목제품이 환경친화적 제품인가에 대한 의견, 환경친화적 제품의 우선구매 제도에 대한 의견, 그리고 목재·목제품의 우선구매정책의 정착을 위한 인증마크에 대한 필요성에 대하여 조사하였다.

나. 국산재 소비 저해요인 및 소비촉진 정책 방안 설문조사

국산재 소비촉진을 위한 정책방안을 알아보기 위하여 먼저, 국산재 사용을 저해하는 요인을 파악하고, 이와 함께 정부 등 공공기관 납품저해요인, 그리고 납품촉진을 위한 정책적 방안 등을 생산업체에게 설문하였다.

1) 국산재 사용 저해요인

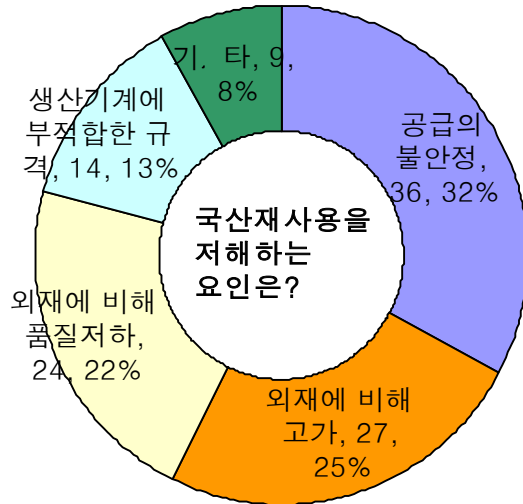


그림 3. 국산재 사용 저해요인

국산재 사용 저해요인은 여러 가지가 존재할 가능성이 있으므로 복수응답을 허용하여 조사하였으며, 응답결과는 그림 3과 같다.

복수응답 결과 ‘국산재의 공급의 불안정’ 36개 업체(32.7%)에서 지적하여 가장 높게 나타났으며, 다음으로 ‘외재에 비하여 가격이 높기 때문’이라는 응답이 27개 업체(24.5%), ‘외재에 비하여 품질이 저하’가 24개 업체(21.8%), ‘생산기계에 부적합한 규격’이 14개 업체(12.7%) 순으로 나타났다.

생산업체 유형별로는 표 4와 같다. 건축·토목계 생산업체의 경우에는 ‘국산재의 공급의 불안정’ 12개 업체(28.6%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 ‘외재에 비하여 가격이 높기 때문’이라는 응답과 ‘생산기계에 부적합한 규격’이 각각 10개 업체(23.8%), ‘외재에 비하여 품질이 저하’가 9개 업체(21.4%) 순으로 나타났다.

포장·운반계 생산업체의 경우에는 ‘국산재의 공급의 불안정’ 36개 업체(32.7%)에서 지적하여 가장 높게 나타났으며, 다음으로 ‘외재에 비하여 가격이 높기 때문’이라는 응답이 10개 업체(26.3%), ‘외재에 비하여 품질이 저하’가 7개 업체(18.4%), ‘생산

기계에 부적합한 규격'이 3개 업체(7.9%) 순으로 나타났다.

기타제품 생산업체의 경우에는 '국산재의 공급의 불안정' 11개 업체(36.7%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '외재에 비하여 품질이 저하'가 8개 업체(26.7%), '외재에 비하여 가격이 높기 때문'이라는 응답이 7개 업체(23.3%), '생산기계에 부적합한 규격'이 1개 업체(3.3%) 순으로 나타났다.

표 4. 국산재 사용 저해요인

구분	건축 / 토목재		포장 / 운반재		기타		합계	
	N	%	N	%	N	%	N	%
공급의 불안정	12	28.6	13	34.2	11	36.7	36	32.7
외재에 비해 고가	10	23.8	10	26.3	7	23.3	27	24.5
외재에 비해 품질저하	9	21.4	7	18.4	8	26.7	24	21.8
생산기계에 부적합한 규격	10	23.8	3	7.9	1	3.3	14	12.7
기 타	1	2.4	5	13.2	3	10.0	9	8.1
합 계	42	100	38	100	30	100	110	100

2) 정부 등 공공기관 납품 저해요인

정부 등 공공기관 납품 저해요인 역시 여러 가지가 존재할 가능성이 있으므로 복수응답을 허용하여 조사하였으며, 응답결과는 그림 4와 같다.

복수응답 결과 '정부 등의 물품구매에 관한 정보의 부족' 31개 업체(33.7%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '경쟁제품에 비해 가격 경쟁력이 떨어지기 때문'이라는 응답이 18개 업체(19.6%), '정부구매 담당자의 목제품에 대한 인식부족'이 17개 업체(18.4%), '경쟁제품에 비해 품질이 떨어짐'이 11개 업체(11.9%), '경쟁제품에 비해 규격이 다양하지 못함'이 10개 업체(10.9%) 순으로 나타났다.

생산업체 유형별로는 표 5와 같다. 건축·토목재 생산업체의 경우에는 '정부 등의 물품구매에 관한 정보의 부족'이 11개 업체(32.4%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '경쟁제품에 비해 가격 경쟁력이 떨어지기 때문'이라는 응답과 '정부구매 담당자

의 목제품에 대한 인식부족'이라는 응답이 각각 7개 업체(20.6%), '경쟁제품에 비해 품질이 떨어짐'이 5개 업체(14.7%), '경쟁제품에 비해 규격이 다양하지 못함'이 3개 업체(8.8%) 순으로 나타났다.

포장·운반재 생산업체의 경우에는 '정부 등의 물품구매에 관한 정보의 부족'이 8개 업체(29.6%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '경쟁제품에 비해 가격 경쟁력이 떨어지기 때문'이라는 응답이 7개 업체(25.9%), '정부구매 담당자의 목제품에 대한 인식부족'이라는 응답이 4개 업체(14.8%), '경쟁제품에 비해 규격이 다양하지 못함'이 3개 업체(11.1%), '경쟁제품에 비해 품질이 떨어짐'이 2개 업체(7.4%), 순으로 나타났다.

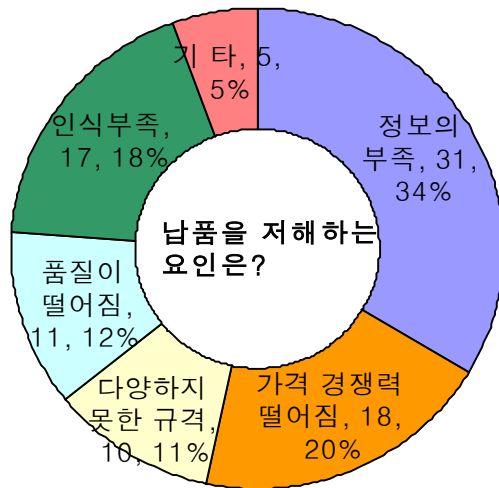


그림 4. 납품 저해요인

기타제품의 경우에는 '정부 등의 물품구매에 관한 정보의 부족'이 12개 업체 (38.7%)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '정부구매 담당자의 목제품에 대한 인식 부족'이라는 응답이 6개 업체(19.4%), '경쟁제품에 비해 가격 경쟁력이 떨어지기 때문', '경쟁제품에 비해 규격이 다양하지 못함', '경쟁제품에 비해 품질이 떨어짐'이라는 응답이 각각 4개 업체(12.9%) 순으로 나타났다.

표 5. 납품 저해요인

구분	건축 /토목재		포장 /운반재		기타		합계	
	N	%	N	%	N	%	N	%
정보의 부족	11	32.4	8	29.6	12	38.7	31	33.7
가격 경쟁력 떨어짐	7	20.6	7	25.9	4	12.9	18	19.6
인 식 부 족	7	20.6	4	14.8	6	19.4	17	18.4
품질이 떨어짐	5	14.7	2	7.4	4	12.9	11	11.9
다양하지 못한 규격	3	8.8	3	11.1	4	12.9	10	10.9
기 타	1	2.9	3	11.1	1	3.2	5	5.4
합 계	34	100	27	100	31	100	92	100

3) 정부 등 공공기관 납품촉진 방안

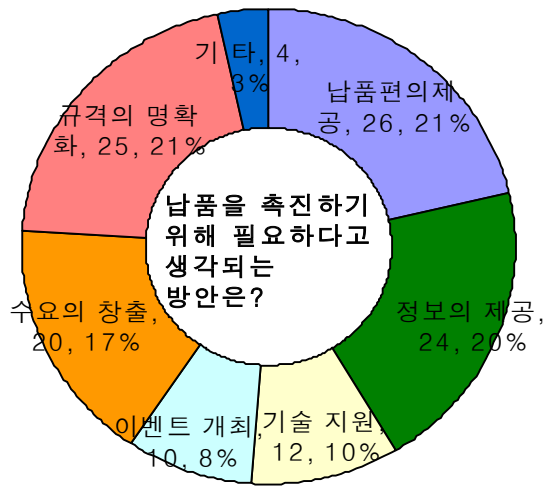


그림 5. 납품 촉진 방안

정부 등 공공기관 납품 촉진방안에 대하여도 복수응답을 허용하여 조사하였으며, 응답결과는 그림 5와 같다.

복수응답 결과 '목재, 목제품의 구입시 수의계약허용 등 납품편의제공'이 26개 업체(21.4%)로 가장 높은 응답을 보였으며, 다음으로 '정부우선구입대상이 될 수 있는 제품규격의 명확화'가 25개 업체(20.7%), '정부 등의 물품구매절차 및 구매에 관한 정보의 제공'이 24개 업체(19.8%), '충분한 수요의 창출'이 20개 업체(16.5%), '제품개발의 기술지원'이 12개 업체(9.9%), '목제품의 홍보를 위한 전시회 등 이벤트 개최'가 10개 업체(8.2%)순으로 나타났다.

생산업체 유형별 설문결과는 표 6과 같다.

건축·토목재 생산업체의 경우에는 '목재, 목제품의 구입시 수의계약허용 등 납품 편의제공'이 12개 업체(30.0%)로 가장 높은 응답을 보였으며, 다음으로 '정부우선구입대상이 될 수 있는 제품규격의 명확화'가 11개 업체(27.5%), '충분한 수요의 창출'이 8개 업체(20.0%), '제품개발의 기술지원'과 '목제품의 홍보를 위한 전시회 등 이벤트 개최'가 각각 3개 업체(7.5%), 정부 등의 물품구매절차 및 구매에 관한 정보의 제공'이 2개 업체(5.0%) 순으로 나타났다.

표 6. 납품촉진 방안

구분	건축 / 토목재		포장 / 운반재		기타		합계	
	N	%	N	%	N	%	N	%
납품편의제공	12	30.0	6	16.2	8	18.2	26	21.4
규격의 명확화	11	27.5	8	21.6	6	13.6	25	20.7
정보의 제공	2	5.0	11	29.7	11	25.0	24	19.8
충분한 수요의 창출	8	20.0	3	8.1	9	20.5	20	16.5
제품개발 기술지원	3	7.5	3	8.1	6	13.6	12	9.9
목제품 홍보 등 이벤트 개최	3	7.5	3	8.1	4	9.1	10	8.2
기 타	1	2.5	3	8.1	-	-	4	3.3
합 계	40	100	37	100	44	100	121	100

포장·운반재 생산업체의 경우에는 ‘정부 등의 물품구매절차 및 구매에 관한 정보의 제공’이 11개 업체(29.7%)로 가장 높은 응답을 보였으며, 다음으로 ‘정부우선구입 대상이 될 수 있는 제품규격의 명확화’가 8개 업체(21.6%), ‘목재, 목제품의 구입시 수의계약허용 등 납품편의제공’이 6개 업체(16.2%), ‘충분한 수요의 창출’, ‘제품개발의 기술지원’, ‘목제품의 홍보를 위한 전시회 등 이벤트 개최’가 각각 3개 업체(8.1%) 순으로 나타났다.

기타제품 생산업체의 경우에는 ‘정부 등의 물품구매절차 및 구매에 관한 정보의 제공’이 11개 업체(25.0%)로 가장 높은 응답을 보였으며, 다음으로 ‘충분한 수요의 창출’이 9개 업체(20.5%), ‘목재, 목제품의 구입시 수의계약허용 등 납품편의제공’이 8개 업체(18.2%), ‘정부우선구입대상이 될 수 있는 제품규격의 명확화’와 ‘제품개발의 기술지원’이 6개 업체(13.6%), ‘목제품의 홍보를 위한 전시회 등 이벤트 개최’가 4개 업체(9.1%)순으로 나타났다.

다. 환경친화적 제품에 대한 설문조사

환경친화적 제품에 대한 공공기관 우선구매제도에 대한 생산자 인식조사에 관한 사항으로 먼저, 목재·목제품이 환경친화적 제품인가에 대한 의견, 환경친화적 제품의 우선구매 제도에 대한 의견, 그리고 목재·목제품의 우선구매정책의 정착을 위한 인증마크에 대한 필요성 등 설문조사를 실시하였다.

1) 목재, 목제품이 환경친화적 제품인가에 대한 동의 여부

목재, 목제품이 환경친화적 제품이라 할 수 있는가에 대한 질문에 동의여부를 파악한 결과 그림 6과 같이 나타났다.

총 58개 생산업체 가운데 34개 업체(58.6%)가 ‘전적으로 동의’한다는 응답을 보였으며, ‘동의한다’는 21개 업체(36.2%), ‘그저 그렇다’ 2개 업체(3.4%), ‘동의하지 않는다’ 1개 업체(1.7%)로 나타나 대부분의 생산업체는 목재, 목제품이 환경친화적 제품이라고 인식하는 것으로 나타났다.

생산업체 유형별 설문결과는 표 7과 같다. 먼저, 건축·토목재 생산업체의 경우에는 ‘전적으로 동의’한다는 응답이 16개 업체(80.0%)로 가장 높게 나타났으며, ‘동의한다’는 3개 업체(15.0%), ‘그저 그렇다’ 1개 업체(5.0%) 순으로 나타났다.

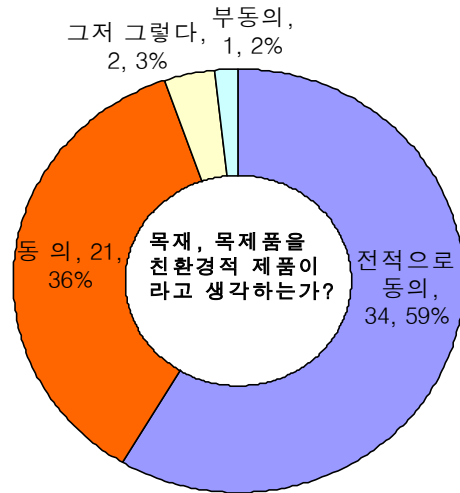


그림 6. 친환경제품 동의여부

포장·운반재 생산업체의 경우에는 ‘동의한다’는 응답이 11개 업체(57.8%)로 가장 높게 나타났으며, ‘전적으로 동의한다’는 7개 업체(36.8%), ‘동의하지 않는다’는 응답이 1개 업체(5.3%) 순으로 나타났다. 기타제품 생산업체의 경우에는 ‘전적으로 동의’한다는 응답이 11개 업체(57.9%)로 가장 높게 나타났으며, ‘동의한다’는 7개 업체(36.8%), ‘그저 그렇다’ 1개 업체(5.3%) 순으로 나타났다.

표 7. 목재, 목제품이 환경친화적 제품인가에 대한 동의 여부

구분	건축 / 토목재		포장 / 운반재		기타		합계	
	N	%	N	%	N	%	N	%
전적으로 동의	16	80.0	7	36.8	11	57.9	34	58.6
동의	3	15.0	11	57.9	7	36.8	21	36.2
그저 그렇다	1	5.0	-	-	1	5.3	2	3.4
부동의	-	-	1	5.3	-	-	1	1.7
전적으로 부동의	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	20	100	19	100	19	100	58	100

2) 목재, 목제품 인증마크가 필요한가에 대한 동의 여부

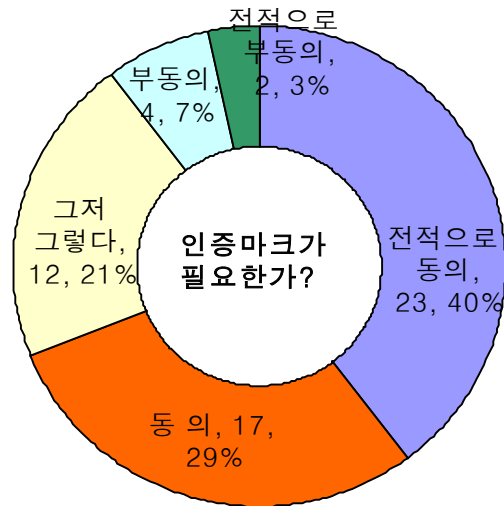


그림 8. 인증마크 도입 필요성

목재, 목제품 인증마크가 필요한가에 대한 동의를 질문한 결과는 그림 8과 같이 나타났다. ‘전적으로 동의’한다는 응답이 23개 업체(39.7%)로 가장 높게 나타났으며, ‘동의한다’ 17개 업체(29.3%), ‘그저 그렇다’ 12개 업체(20.7%), ‘동의하지 않는다’가 4개 업체(6.9%), ‘전적으로 동의하지 않는다’가 2개 업체(3.4%) 순으로 나타나, 전체적으로 약 70%의 생산업체에서 인증마크에 대한 필요성을 인식하고 있는 것으로 나타났다.

생산업체 유형별 설문결과는 표 9와 같다. 먼저, 건축·토목재 생산업체의 경우에는 ‘전적으로 동의’한다는 응답이 11개 업체(55.0%)로 가장 높게 나타났으며, ‘동의한다’ 6개 업체(30.0%), ‘그저 그렇다’ 3개 업체(15.0%) 순으로 나타났다.

포장·운반재 생산업체의 경우에는 ‘그저 그렇다’는 응답이 6개 업체(31.6%)로 가장 높게 나타났으며, ‘전적으로 동의한다’ 5개 업체(26.3%), ‘동의한다’와 ‘동의하지 않는다’가 각각 3개 업체(15.8%), ‘전적으로 동의하지 않는다’가 2개 업체(10.5%) 순으로 나타났다. 기타제품 생산업체의 경우에는 ‘동의한다’는 응답이 8개 업체(42.1%)로

가장 높게 나타났으며, ‘전적으로 동의한다’ 7개 업체(36.8%), ‘그저 그렇다’ 3개 업체(15.8%), ‘동의하지 않는다’가 1개 업체(5.3%) 순으로 나타났다.

유형별로는 건축·토목재 생산업체에서 가장 인증마크 도입을 선호한 반면, 포장·운반재 생산업체에서는 상대적으로 인증마크 도입을 덜 선호하는 것으로 나타났다. 전체적으로 약 70%의 생산업체에서 인증마크에 대한 필요성을 인식하고 있는 것으로 나타났다.

표 9. 목재, 목제품 인증마크가 필요한가에 대한 동의 여부

구분	건축 / 토목재		포장 / 운반재		기타		합계	
	N	%	N	%	N	%	N	%
전적으로 동의	11	55.0	5	26.3	7	36.8	23	39.7
동 의	6	30.0	3	15.8	8	42.1	17	29.3
그저 그렇다	3	15.0	6	31.6	3	15.8	12	20.7
부동의	-	-	3	15.8	1	5.3	4	6.9
전적으로 부동의	-	-	2	10.5	-	-	2	3.4
합 계	20	100	19	100	19	100	58	100

2. 경제성 검토

표 11에 소나무와 낙엽송 국산재 및 가구용재로 다용되고 있는 주요 수입재의 가격을 나타내었다. 국산재를 이용할 경우에는 인건비 및 물류비가 수입재에 비하여 월등하게 높기 때문에 가격경쟁력에 있어서는 따라갈 수가 없는 것으로 평가되었다. 다만, 획가공성이 매우 뛰어난 너도밤나무재와 같이 재료원자재를 수입하여 똑같은 상황하에서 같은 방법에 의해 가공할 경우, 소나무재의 경제성이 훨씬 뛰어날 것으로 예상되며, 따라서 국내에서 상품을 제조하는 경우에는 국산소나무재를 이용하는 것도 경제성이 있을 것으로 판단되었다. 이 경우에 있어서는 최종산물의 가격이 재료에 비하여 상대적으로 고가로 유통되거나 저가의 다량물량공급이 있어야 할 것으로 생각된다. 전술한 바와 같이 국산재의 활용저해요인인 공급의 불안정 및 외산에 대한 가격경쟁력의 부재, 품질의 열등화 등이 주요국산재인 소나무재의 활용을 어렵

게 하고 있는 것으로 판단되었다.

전술한 설문조사 항목에서 목재가 친환경 제품이라는 데는 이의의 여지가 없었으며, 차후 경제력이 있을 때는 목재제품을 선호한다는 인식이 있는 것으로 판단되었다. 따라서, 소득의 증가에 따라, 목제품의 수요도 증가할 것으로 예상되므로, 국산재든 수입재든 가격경쟁력이 있는 재료로서 미적으로 우수한 휨가공소재 제품의 수요도 증가할 것으로 예상된다. 따라서 표 10에 열거한 외산재에 비하여 소나무재나 낙엽송재가 가격경쟁력이 있고, 휨가공성이 활엽수재에 비하여 떨어지기는 하지만, 침엽수 특유의 조만재간의 연륜경사를 잘 이용한다면, 오히려 소비자의 욕구충족에 부합할 제품생산을 기대할만 하다고 하겠다.

표 11에는 목제의자가가격을 예시하였다. 휨가공재를 사용하는 경우에 있어서 직선재를 이용하는 경우보다 가격차가 크며, 휨가공재는 장식 및 미적인 효과가 가격상승의 원인으로 생각되었으며, 이로 인한 휨가공재의 부가가치는 표에서 예시한 바와 같이 상당히 클 것으로 예상된다.

표 10. 제재목 원가가격 기준 (1才기준, 2002.10현재, 해인실업제공)

수종	국산재(원)	외산재(원)	비고(두께)
국산 낙엽송	740		원목가
국산 소나무	1,200		제재목가
수입산			
뉴질랜드소나무		1,800	
너도밤나무		3,000	두께 1인치
너도밤나무		5,500-6,000	두께 2인치
자작나무		4,000	1인치
호두나무		6,000-7,000	"
단풍나무		6,000	"
벗나무		7,000	"
벗나무		8,000-9,000	2인치
미국서부단풍나무		3,000	1인치
오크		3,500	"
오크		4,500-5,000	2인치

표 11. 목제 의자가격 기준 (1개기준, 2002.10현재)

명칭	가격(원)	제작사 및 수입원	힘가공여부
디바식탁의자	105,000	한샘인테리어	
라이트체리식탁의자	65,000	한샘	
로미월넛 식탁의자	60,000	한샘인테리어	
로미체리식탁의자	115,000	한샘인테리어	
칼로스식탁의자	117,000	우성가구	
까사체리식탁의자	63,000	영창인테리어	
아로스식탁팔걸이의자	138,000	우성가구	
샤베스식탁의자	90,000	화신산업사	
수납겸용식탁의자	48,000	(주)큰나무	
하모니월넛식탁의자	69,000	영창인테리어	
로터스오크엔틱식탁의자	320,000	우성가구	
니꼬식탁의자	64,000	DY INTERNATIONAL	
메플라인식탁의자	198,000	세림퀸모드가구	힘가공재
에파타식탁의자	498,000	세림퀸모드가구	힘가공재
비취엔틱 식탁의자	333,000	세림퀸모드가구	힘가공재
밀레니엄식탁의자	198,000	세림퀸모드가구	힘가공재
뉴하트식탁의자	230,000	세림퀸모드가구	힘가공재
로즈마리식탁의자	324,000	세림퀸모드가구	힘가공재
뉴퓨전좌식의자	35,000	윤영테크	합판힘가공재
하이팩일반의자	52,000	넷 앤 스페이스	”
퀸메리 럭킹체어	990,000	세림퀸모드가구	힘가공재

제 4 장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

휨가공방법의 조건모색에 관한 연구는 공예 및 가구용재로 대량 수요가 가능한 국산 침엽수재인 소나무재를 대상으로 실시하였다. 특히 미적감각을 고려한 공예적 가구용재로서 소나무재의 이용이 거의 이루어지지 못하고 있는 국내 상황하에서, 1년차 연구에서는 휨가공성에 미치는 수종특성을 구명하기 위한 연구에 중점을 두었다. 목재의 휨가공성은 목재의 구조와 조성특성에 기본적인 관계가 있지만, 수종에 따라 매우 다른 성질을 나타내고 있는 것으로 밝혀졌으며, 특히 목재구성요소 중에서 세포벽의 기본요소라 할 수 있는 마이크로피브릴의 배열상태가 휨가공성을 지배하고 있다는 중요한 단서를 도출하였다. 마이크로피브릴의 배열상태는 목재의 기초강도와도 직결되어 있으며, 휨응력의 저하를 초래할 수 있는 마이크로피브릴 경사각의 변이가 휨가공의 용이성과 직결되고 있고, 연륜경사각은 큰 문제가 없으며 수종에 따라 휨가공이 용이한 수종과 아닌 수종으로 명백하게 구분되고 있는 사실을 확인할 수 있었다.

전통적인 토네법은 압축력과 압축변형율만을 이용하여 가공하는 것에 대하여, 덴마크법은 소재의 축방향길이를 80%정도로 수축시켜 증자처리후 그대로 휨가공을 하고 있지만, 강도의 취약성, 재료선별의 엄밀성 등에 있어서 불리한 조건으로 나타났다. 결론적으로 휨가공성의 요점은 첫째 소재선택, 둘째로 가공기술이라 할 수 있으며, 역학적으로 쉽게 합리적으로 될 수 있을 것인가와 휨가공후 치수안정화를 위한 방안에 연구의 요점을 두어야 하는 것으로 밝혀졌다.

휨가공이 용이한 수종은 온대산 활엽수-침엽수-남양재 순이었으며, 휨가공이 비교적 어려운 소나무와 같은 침엽수는 2차세포벽의 S₂층의 마이크로피브릴의 경사각과 리그닌의 양보다 리그닌구조가 휨가공성에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 리그닌의 구조가 망상구조인 침엽수는 망상구조가 적고 가교결합이 어려운 선상구조의 활엽수재에 비하여 휨가공성이 어려운 이유로 나타났으며, 이런 기초적인 구조변이를 보다 완화시킬 수 있는 방향으로 처리할 수 있는가가 본 연구의 관건이 된다고 하겠다. 그러나 침엽수재라도 응력재나 미성숙재, 경사지에서 생육한 지표부근의 수간이 흰 상태의 목재 및 비탄성계수가 작은 소재, 세포벽이 두껍고 비중이 큰 조직이 치밀한 수종이 비교적 휨가공이 용이하며, 생장지역에 따라서도 휨가공성이 모두 다른 것으로 나타났다. 이런 조건들을 소재의 적정 함수율상태, 전처리 가열온도조건

에 적용시키면 보다 용이한 소성가공이 이루어지는 것이 확인되었다. 이러한 연구결과는 본 과제가 목표로 하는 최적 펄가공공정 기술개발에 상당한 기여를 할 것으로 기대된다. 또한 산업현장에서 용도제한의 문제점이 되고 있는 펄가공한 소재에서 발생하는 변형회복에 대해서는 다양한 후처리법을 적용함으로써 치수안정화할 수 있는 방법을 탐색함으로써 변형회복으로 인한 펄가공재의 품질저하를 사전에 예방하고 그 발생기작을 구명하여 본 과제가 지향하는 실용적 연구개발목표의 달성과 함께 학문적 성취에도 많은 기여가 예상된다. 이러한 1년차 연구결과는 향후 소나무재에서 국산 낙엽송재 등을 대상으로 확대 적용할 수 있는 중요한 단서를 제공함으로써 본 연구과제의 성공적 수행에 필요한 연구개발 목표를 충분히 달성한 것으로 판단된다.

협동과제인 펄가공을 위한 물리·화학적 전처리법은 목재인자의 검토, 펄가공성 향상을 위한 전처리법의 조사 및 펄가공을 위한 물리·화학적 전처리법의 개발로서 목재인자의 검토결과 시료목으로 사용한 소나무의 평균연륜폭, 생재함수율, 전 수축률, 압축, 인장, 휨강도 및 전단강도를 측정하였고 이를 바탕으로 펄가공에 있어서의 기초자료로 이용할 수 있다. 한편 소나무의 화학적 구조는 활엽수재와는 달리 리그닌의 함량이 많은 특징을 나타내 일반적인 침엽수재의 화학적 조성을 나타내고 있다. 목재의 화학적 조성과의 관계는 세포벽중의 lignin과 hemicellulose는 어느정도 열가소성을 가지지만 cellulose는 결정성을 가지고 있어 열에 의한 가소성이 거의 없다. 펄가공이 비교적 어려운 소나무와 같은 침엽수는 2차세포벽의 S₂층의 마이크로피브릴의 경사각과 리그닌에 있어서는 리그닌의 양보다 리그닌구조가 펄가공성에 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있다. 리그닌의 구조가 망상구조인 침엽수는 망상구조가 적고 가교결합이 어려운 선상구조인 활엽수재에 비하여 펄가공성이 어려운 이유로 나타내는 원인이 된다. 결국 침엽수재에서는 리그닌의 망상구조를 유연하게 처리할 수 있는 방법과 궁극적으로 셀룰로오스의 결정부분에 까지 가소성을 부여하는 방법의 개발이 펄가공의 과제라고 하겠다. 이를 위한 효과적인 물리·화학적 전처리법의 개발이 중요한 과제라고 하겠다.

이를 위해 협동과제인 수종별 펄가공성 실험은 25수종(침엽수 7수종, 활엽수 18수종)에 대하여 함수율조건별, 펄가공 가능곡율 조건별, 포수재와 기건재, 상온상태와 자비상태에서 펄가공의 용이성에 대하여 실험하였다. 목재인자의 검토결과, 용적밀도와 펄가공성간에는 대체적으로 용적밀도가 큰 쪽이 작은 쪽보다 가공성이 우수하였다. 따라서 침엽수재보다는 활엽수재의 펄가공성이 우수하였으며, 곡율반경 4, 6,

12cm 로 실험한 결과, 4, 6cm 범위에서는 같은 정도의 휨가공성을 나타내었고, 12cm 에서는 보다 쉽게 가공됨을 알 수 있었다. 수분함량에 따른 휨가공성은 20℃ 상온보다 100℃에서 포수자비시켜 휨가공을 실시한 결과, 휨가공성 향상을 도모할 수 있었다. 한편 전건상태에서 휨가공을 실시한 결과, 모든 수종에서 실험범위의 곡률반경 어느 곳에서나 파괴되어 휨가공이 불가능함이 증명되었다.

수종별로는 물참나무, 느티나무, 느릅나무, 튜립나무, 너도밤나무, 소태나무, 박달나무, 서어나무, 고로쇠나무의 휨가공성이 용이한 편이었으며, 상온에서도 쉽게 휨가공이 가능하였다. 한편, 소나무, 편백, 이태리포플러, 메타세코이어, 발사, 라디아타소나무, 화백, 종가시나무, 참오동나무, 피나무 등은 100℃ 자비처리한 후에도 휨가공성이 매우 어렵다는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 협동 연구에서 휨가공성 향상을 위한 물리화학적 전처리법의 조사 결과 여러 가지 다양한 전처리법에 대한 연구가 보고되고 있지만, 화학약품에 의한 전처리는 휨가공후의 재질의 열화를 초래하기 때문에 강도가 요구되는 곳에는 사용하기가 어려운 반면 물리가공에 의한 처리는 휨가공성이 어렵기는 하지만 큰 강도를 얻을 수 있는 장점이 있는 것으로 알려졌다. 최근들어 효과적인 휨가공을 위한 전처리법으로 증자 및 마이크로파를 이용한 방법이 시간이 단축되고 비교적 작은 곡률반경까지 가공하는 방법으로 제시되고 있고, 화학적 처리법으로서는 암모니아를 이용한 방법이 목재성분중의 리그닌과 친화성이 강하고 상온에서도 가소화 효과가 현저하며, 다른 약제에 비해 가격이 저렴하며 처리후에도 약제의 제거가 쉬우며, 가공후에도 수분에 대해 안정한 것으로 보고되고 있다. 그러나 암모니아의 취기와 자극성으로 격리처리가 문제로 나타났다. 따라서 실제 현장에서 휨가공을 하기 위해서는 자비처리 및 마이크로파를 이용한 전처리방법이 효율적이며 실용성이 있는 것으로 파악되었다. 여기서는 자비처리 및 마이크로파를 이용한 전처리 결과 최적 연화처리 조건과 마이크로파 조사시간을 규명하였다. 이에 제2협동연구과제는 목재인자의 검토, 휨가공성 향상을 위한 전처리법 조사 및 휨가공을 위한 물리화학적 전처리법의 개발등의 연구개발 목표를 충분히 달성하였다고 하겠다.

위탁세부과제에서는 우선, 가공목재소재의 용도조사 및 현황분석이며, 연구진행은 ① 가공목재의 용도 및 이용현황조사, ② Exterior Wood의 유형조사와 사례분석의 2단계로 나누어 수행하였다. 첫 단계의 조사연구에서는, 외부공간에서 사용되고 있는 시설물의 유형과 소재특성에 대한 조사를 실시했다. 우선 외부공간에서 사용되는 시

시설물의 정의 및 역할, 옥외시설물의 유형을 조사하였다. 본 연구에서는 일단 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 시설물의 유형을 조사대상으로 선정하여, 벤치, 휴지통, 음수대, 파고라, 플랜터, 쉼터, 조명등, 포장, 경계석, 맨홀, 수목지지대, 수목보호덮개, 플랜터, 주차장, 육교, 담장, 경계, 차음벽, 교량, 계단, 경사로, 파고라, 야외탁자, 정자, 산책로, 놀이시설, 수경시설, 옹벽, 경사면 29개 유형에 대해 실시되었다. 그리고 각 옥외시설물 특성에 대한 조사를, 기능 및 용도, 종류, 사용재료, 시설물의 설치 및 관리상의 고려사항 등에 대해 실시하였다. 또한 각 옥외시설물에서 사용되고 있는 재료소재를 조사하고, 각 재료별로 종류, 특성, 사용 및 관리특성, 기성제품 등에 대한 조사를 완료하였다. 다음에는 외부공간에 사용되는 가공목재의 용도 및 이용현황에 대한 조사연구를 실시했다. 최근 각광받고 있는 옥외시설물의 소재인 목재가 실제로 어떠한 장소에서 어떠한 형태로 사용되고 있는가를 살펴보기 위하여, 시설물유형별로 사용되고 있는 재료소재에 대한 조사를 실시하고 분류하였다. 조사결과 외부공간에 사용되는 목재의 이용범위, 이용유형, 그리고 가공형태에 대한 명확한 파악과 분석이 이루어졌다. 외부공간의 질과 기능을 좌우하는 옥외시설물은 그 종류도 많으며, 사용되는 소재도 매우 다양한 것으로 조사되었다. 시설물의 재료는 그 사용목적과 제반조건들을 고려하여 가장 적합한 소재가 선정되어야 하나, 공적인 공간에 설치되는 옥외시설물은 대중이 이용하는 시설인 만큼 그 시설물의 안전성, 기능성 그리고 심미성에 대한 충분한 고려가 이루어져야 한다. 최근에는 옥외시설물의 공적 기능이 부각되고 있으며, 특히 시설물에 사용되는 재료소재 가운데 목재에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 변화는 환경에 대한 관심과, 인간들이 인위적으로 만든 공간에 설치되는 옥외시설물도 가능하면 사람들에게 친밀감을 주면서 환경에의 영향을 최소화 할 수 있는 소재를 사용하자는 움직임과 일치한다고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 볼 때 디자인적인 측면 및 미적인 측면에서의 목재의 활용은 당면과제라 할 수 있겠다. 두 번째의 조사연구에서는, Exterior Wood의 유형조사와 사례분석을 실시하였다. 본 연구의 조사와 분석은, 과제 최종목표인 목재재료의 활용이라는 측면에 주목하여 진행하였다. 따라서 외부시설물의 재료소재로서 활용하기 위해 목재가 갖추어야 할 조건, 즉 Exterior Wood의 조건에 대하여 조사, 검토하였다. 그리고 Exterior Wood가 어떤 장소에, 어떤 유형의 시설물로, 어떠한 목적을 갖고 설치되고, 사람들에게 쓰여지고 있는가를 살펴보기 위하여, 국내외 사례조사를 실시하였다. 이를 근거로 Exterior Wood의 유형과 활용현황에 대한 정리, 분석을 실시하였으

며, 최종적으로는 Exterior Wood의 개발방향을 설정해 보았다. 가공목재소재의 용도 조사 및 국내외의 사례조사를 통한 현황분석은 전문서적을 편찬할 정도로 목재이용 전영역에 걸쳐 완료되었으므로, 연구개발 목표를 충분히 달성한 것으로 판단된다.

다음에는 실용적인 측면에서 현재 상용화되고 있는 가구재료, 가장 많은 용도로서 활용되고 있는, 휨가공소재의 활용도를 조사, 검토하였다. 가구소재가 단연 많은 활용도를 가졌다고 한다면, 앞으로 본 연구결과는 가구업자 및 디자인 전문가들의 의견과 접목시켜 발전시켜 나아가야 할 것으로 판단된다. 흡수성 조사연구에서는, 휨가공용으로 사용하려는 수종들을 대표하여, 국산수종 중에서 침엽수재로는 소나무를, 활엽수재는 참나무에 대하여 흡수성능을 조사하였다. Exterior Wood로서 활용될 때, 목재의 흡습성이나 흡수성능이 지나치게 크게 되면 팽윤 및 건조에 동반한 수축에 의해 할렬이나 뒤틀림, 변색, 부후 등의 결점생성이 문제시 될 것이므로 흡수성에 대한 연구는 치수안정화적인 측면에서도 중요할 것으로 판단되어, 과제 최종목표인 휨가공 목재재료의 외구용재로서의 활용이라는 측면에 주목하여 진행하였다. 휨가공 목재소재의 용도조사 및 국내외의 사례조사를 통한 현황분석은 목재이용 전영역에 걸쳐 완료되었으므로, 본 연구개발 목표를 충분히 달성한 것으로 판단된다.

마지막으로 3년차 연구 목표인 최적 휨가공공정, 경제성검토, 휨가공재의 활용방향 등에 대하여 충분히 검토되었으며, 이들 연구성과는 이미 다수의 논문 등으로 전문 학술지에 게재 또는 학술대회에서 발표되었다.

국산 침엽수재의 휨가공 기술개발 연구에서 얻어진 수종특성 및 휨가공을 위한 물리적 전처리인자 제어기술은 중소기업 관련 산업체에서의 현지적용 및 실연을 통해 문제점을 보완한 후 실용화할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 본 연구에서 얻어질 것으로 예상되는 휨가공성 개선을 위한 목재소재의 함수율조정, 고주파가열, 인장력 구속하에서의 압축가공에 의한 휨가공기술의 개발과 현지 적용을 통한 산업화는 중소기업 국산침엽수재의 활용도 증진에 크게 기여할 것으로 예상된다. 휨가공기술을 이용한 공예용재 및 가구부재 개발 과제를 수행하면서 얻어진 연구성과는 국산침엽수재의 고기능화 및 고부가가치화를 가능하게 하는데 크게 기여할 것으로 기대한다. 이는 특히 미적감각을 최대한 고려한 목질계 소재분야에 있어서 가구용재의 상품화를 가능하게 할 것으로 생각한다. 현지점에서의 결과만으로는 아직 상용화에 이르지 못한 것지만, 상용화를 위한 기초를 마련하는 데에 귀중한 정보와 자료를 획득하였다.

따라서 3년간의 연구 목표인 휨가공방법에 관한 제반사항 및 가공목재 소재의 용도조사 및 현황분석을 충분히 달성하였다고 할 수 있다.

한편 이러한 연구결과 성과자료는 다음과 같은 내용으로 국내외 전문학술지 및 학술회의에서 발표되었으며, 대학원 석사과정 및 박사과정생들이 참여함으로써 연구인력 양성에도 기여하였다.

그간의 연구성과를 간략히 소개하면 다음과 같다.

- 1) Plastic process of Wood by Heat & Water. 2000년 가을 COEX에서 개최되는 서울 국제가구 및 목공기계전(10월 31일-11월 5일)에 전시발표(제2회 한국가구학회 디자인전)
- 2) 목재의 열연화 특성에 영향을 미치는 고압수증기처리 조건. 한국목재공학회 2000년 추계학술발표 논문집. p.258-262.
- 3) 소나무재의 휨성능에 미치는 섬유경사각의 영향. 한국목재공학회 2000년 추계학술발표 논문집. p.7-12.
- 4) 그린환경 조성을 위한 경관소재의 활용. 그린빌딩협의회 2000년 추계학술 발표논문집, p. 58-70.
- 5) 고온수증기 처리에 의한 소나무재의 흡습특성. 한국목재공학회 2001년 학술발표 논문집. p.8-12.
- 6) 휨가공에 있어 대철두께의 영향. 한국목재공학회 2001년 추계학술발표 논문집. p.13-18.
- 7) 주요 국산수종의 휨가공성 평가. 한국목재공학회 2001년 추계학술발표 논문집. p.197-199.
- 8) 휨가공목재의 처리조건에 따른 치수안정화. 한국목재공학회 2002년 학술발표 논문집. p.191-194.
- 9) 가공법에 따른 주요 국산재의 휨가공 특성. 한국목재공학회 2002년 추계학술발표 논문집. p.151-154.
- 10) Bending process property of principal Korean woods. 제52회 일본목재학회 학술 논문요지집. p.531(2002).
- 11) 목재의 휨가공 기술에 의한 고부가 가구부재의 개발. 한국가구학회 2001년도 정기

총회 특별강연(홍익대 미대, 2001.4)

- 12) 목재와 수분(소성가공). 한국목조건축협회. 전문가를 위한 특별강연(임업연구원, 2002.6).
- 13) 목재와 수분(소성가공). 월간 전원주택 라이프. 전문가를 위한 강좌(2002.7-2003.2)
- 14) 소나무재의 휨가공성에 미치는 섬유경사각의 영향. 목재공학. 29권 (2):118-125, (2001).
- 15) Effect of metal-strap Thicknesses on the bending process. Mokchae Konghak 29(3) : 14-20(2001).
- 16) 고온 수증기처리목재의 전단강도 특성. 목재공학. 29권(4호): 9-15(2001).
- 17) 주요 국산수종의 휨가공성 평가. 목재공학. 30권(2호): 87-94(2002).
- 18) Dimensional Stability of Bentwoods by Treatment Conditions. Mokchae Konghak 30(3): 85-90(2002).
- 19) Bending Quality of Main Korean Wood Species. Wood Research 89:1-5(2002.9, Japan)
- 20) Study on the Development Direction of the Use of Wood as a Landscape Material. (Mokchae Konghak 2003.3월 발간예정).

* 본 연구과제에 의한 인력양성 실적

1) 석사과정 졸업(예정)

정승수(현대 리바트 근무), 김정환, 정인석(캐나다 UBC유학예정), 양대영(설계사무소)

2) 학부과정 졸업

배재현(목재산업체), 김건형(대학원진학), 윤석준(세림제지), 서시명(한샘가구)
이민수(설계사무소), 김채현(석사진학)

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구의 수행결과, 실험실 규모에서 휨가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발 시스템을 구축할 수 있음을 알 수 있었으며, 가능하면 산업체 규모에서 휨가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발 시스템을 구축하여 일련의 고부가 목재소재 생산체계를 확립하고, 고부가 소성가공 목재소재를 재료로 한 제품제조 관련산업체와 응용개발을 추진할 예정이다.

본 연구결과물은 의자 등과 같은 가구부재의 소재로서의 활용이 크게 기대되고 있지만, 조경용소재나 건축부자재로서 미적인 요소를 강조하는 곳에 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 차후 기회가 된다면 건축재료로서의 활용을 목적으로 한 보나 기둥재와 같은 대형구조물의 휨가공에 관한 기술에도 적용해 볼 생각으로 있다. 특히 소나무재를 활용한 휨가공소재가 일본을 수출대상으로 하는 기업체에 기술이전이 가능하다면, 본 연구과제에서 수행된 생산 시스템을 국내 기업에 이전하여 목재제품의 대외 수출시장의 확보를 위한 대량 생산 공급체계를 구축할 방침이다.

1. 예상되는 활용분야 및 활용방안

고온·고압처리의 수법을 동원한 휨가공 및 압밀화 가공에 의한 목재생산 기술은 관련산업체에 그 적용할 수 있는 분야가 넓다고 할 수 있다.

소성가공목재의 예상 활용분야는, 내외장용 건축재, 가구용재, 악기용재, 공예용재, 조경용 소재 등을 들 수 있다.

활용방안으로서는 본 연구과제의 기술을 이용한 관련 목재생산업체에 기술을 접목시켜 산업체의 활성화를 도모하고, 수익을 극대화할 수 있는 방향으로 각분야별로 상응하는 제품을 제조해 나가야만 할 것으로 판단되어진다.

2. 현장보급 방안, 산업화계획 방안, 추가기술개발 방안, 기술이전 방안

본 연구과제의 결과가 성공적으로 이루어질 경우, 고부가화 할 수 있는 신기술을

기대하는 많은 관련 현장에서 산업화와 연계한 연구결과의 응용화에 대한 토론 및 경제성에 관한 논란이 이루어질 것으로 생각된다. 고온·고압상태에서 목재를 가공 처리 하는 대기업에서도 관심이 많겠지만, 본 연구과제는 중소기업체에서 우선적으로 기술이전을 요구할 것으로 생각되며, 이 경우 짧은 시간안에 경제적인 수익을 기대하는 중소기업체에게 큰 도움이 될 것으로 확신하며, 추가적인 기술개발은 차후 더욱 많이 개발할 여지가 있을 것으로 판단된다.

제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학

기술정보

근대의자의 원점으로 불리우는 곡목의자. 목재의 휨가공에 대해서는 곡목의자의 창시자인 미하엘 토넷을 먼저 이해해야만 한다. 우연하게도 휨가공성이 특히 뛰어난 자신의 거주지주변의 너도밤나무재를 유효적절하게 이용하여 다양한 의자를 설계, 제작하여 그의 일생동안 2000종류의 곡목의자의 디자인개발을 총괄하였다고 한다. 그는 수증기로 쥔 목재의 압축변형율이 큰 점을 이용하여 인장변형은 고정시킨 상태에서 목재를 다양한 형태로 휨가공하는 기술을 개발하였다. 다만, 그의 생가주변의 풍부한 너도밤나무재가 산공재로서 조직이 균질하고 치밀하여 파괴에 이르기까지 압축변형율이 매우 크다는 점에 착안한 것은 후세에 이름을 남길 정도로 뛰어난 장인으로서의 식견이 있었다고 하겠다. 너도밤나무를 이용한 의자생산을 위하여, 미하엘 토넷이 19세기 중반(1849년)에 오스트리아 빈의 마리아hil펠슈트라세에 공장을 독자적으로 설립하여 곡목의자 생산을 시작하여 오늘날에도 계속하여 독일의 회사에서 너도밤나무재를 이용한 곡목의자를 생산하고 있다. 현재 토넷(사)의 본사는 스위스에 있으며, 1922년에 토넷형제 상회와 J&J콘과 유럽각국의 16개 곡목회사의 기업연합 「토넷·콘·문데스」가 결성되고 토넷가이외로부터 사장이 영입되어 경영을 하고 있다. 1945년 이후, 토넷공장중 프랑켄부르크이외는 모두 각 독립국에 있는 폴란드, 체코, 헝가리의 국유로 운영되고 있다. 토넷은 부인 안나 그라스사이에 14명의 자식을 두었지만, 절반이 성인이 되기전에 사망하였고, 그를 도운 5명의 아들중, 현재 독일 프랑켄부르크에 있는 토넷(사)의 사장은 클라우스 토넷으로 미하엘 토넷의 5대손에 해당한다. 아쉽게도 너도밤나무 이외의 목재는 휨가공성이 불량하다는 것이 본 연구과제의 요점이 된다고 하겠다.

또 하나의 기술은 근년들어서 덴마크의 CompWood(사)와 일본의 히다찌(사)가 공동으로 개발한 압축재의 휨가공기술을 들 수 있다. 무결점재, 통직목리의 목재를 일정형태의 치구(예를들면 실린더)속에 넣어 약 20%정도의 변형율로 압축시킨 후, 꺼내어 인장축에 고정띠쇠를 대지 않고 원하는 형태의 곡율로 휘는 기술이다. 이 기술의 단점은 목재의 상태가 매우 순수하고 웅이나 목리의 불규칙성 등의 결점이 전혀 없어야 하는 것이 매우 어려운 조건이며, 가공후의 목재는 압축변형에 의한 좌굴이

일어난 상태이기 때문에 강도가 많이 떨어진다는, 작업성과 역학적 성질의 저하가 문제시된다는 점이다.

이외에 화학약품을 이용한 휨가공기술이 있지만, 냄새 등으로 인해 작업성이 떨어지고, 강도저하 등의 제반문제가 발생할 수 있어 대량생산체제에서는 응용할 수 없다고 알려져 있다.

치수안정화에 대한 연구로서는 글리옥살수지 등으로 화학약품주입에 의한 방법도 제기되고 있지만, 근래의 환경오염에 대한 저항으로 열처리나 수증기처리 등의 물리적처리에 의한 치수안정화 개선책이 일본국 교토대학 목질과학연구소에서 제안되고 있으며, 이 방법에 의하면 약 200도 정도의 고압수증기처리가 치수안정화에 상당히 큰 역할을 할 수 있음이 입증되고 있으며, 현재 그 기구에 대한 내용이 탐구되고 있는 상황에 이르고 있는 것으로 알려져 있다.

제 7 장 참고문헌

1. 강호양, 목재공학, 20, p.73-80(1992)
2. 김규혁 외, 목재공학, 19, p.7-17(1991)
3. 高温領域における材質變化 : (東京大院農) 高橋抄織외 2人 (1999)
-熱處理材の動的ヤング率と吸濕性能
4. 고성중 외(1992), 도시와 환경디자인, 미진사
5. 강호양, 강형구, 액체암모니아 폼가공 소재를 응용한 디자인,
한국가구학회지, 12(2):12-18(2001).
6. 김기현(1999), 조경기사 Check Point, 時空文化社
7. 강호철(1993), 조경설계와 시공·감리, 도서출판 국제
8. 건설교통부(1995), 조경계획과 설계시공, 경서원
9. 김영빈(1993), 조경·관광·리조트 개발의 실제, 동화기술
10. 권오준 외(1995), 조경·설계 시공관계법규, 도서출판 조경
11. 瀬戸山幸一 외, 日本木材加工技術協會 第9回年次大會要旨集, 名古屋,
p.19-20(1991)
12. 凍原貴志. 師岡淳郎. 則元 京, 수증기처리목재의 압축변형고정과 그 기구.
일본목재학회지. 46(4):291-297(2000).
13. 대한주택공사(1983), 어린이놀이 환경계획, 주택공사
14. 문한영(1990), 建築材料學, 東明社
15. 木材利用推進中央協議會(1999), 木でつくる道路施設
16. 梶田 茂. 山田 正, 鈴木正治. 小松一雄, 木材學會誌 7:34-38(1961)
17. 문석기 외(1998), 조경설계요람, 도서출판 조경
18. 박길용(1983), 가로조형의 요소와 디자인연구, 조형론업. 국민대학교 Vol.3
19. 半谷高久·松田雄孝 編(1977), 都市環境入門, 171 東海大學出版社
20. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목(1993), 목재과학 실험서, 광일 문화사 :
21. 白石信夫, 木材學會誌, 32 :755-762(1986)
22. 박헌 외, 목재공학, 16:21-44(1998)
23. 변우일(1995), 조경설계론, 동별당

24. 변우혁 외(1991), 자연휴양림 설계기준, 명보문화사
25. 信田 聰(1992), 生活の中の木製品, グリーンパワー, No. 3, 34-35, 森林文化協會
26. 소원택, 목재공학, 13(1):19-62(1985)
27. 小原二郎(1958), 千葉大學工學部研究紀要, 9(16):37-57.
28. 信田 聰(1990), 外構用材の需要範圍は廣い, 月刊ワイド, No. 12, 1-5
29. 蘇元澤, 煮沸, 蒸煮 및 藥劑處理가 상수리나무와 소나무의 휨加工性에 미치는 影響. 목재공학13(1):51-53(1985).
30. 신상섭·이명우(1995), 조경 설계의 실제, 기문당
31. 이강일(1996), 공간·환경디자인 事典, HOMO출판
32. Yoshinobu, A.(김정동 역, 1992), 건축의 외부공간, 기문당
33. 이원희. Hisashi, Abe. Naohiro, Kuroda, 고온고압에서의 목재 평형함수율 측정, 목재공학, 26(4):1-5(1998).
34. 이시이 이치로 외(2000), 도시디자인 3차원·4차원의 마을만들기, 태림문화사
35. 日本住宅·木材技術センター(1992), 木造化推進標準設計施工マニュアル作成事業報告書(1), 110-118
36. 日本住宅·木材技術センター(1993), 木造化推進標準設計施工マニュアル作成事業報告書(1), 259-281
37. 日本木材總合情報センター(1999), 木の知識
38. 이원용 외(1989), 목재물리 및 역학, 45-122
39. 日本木材構築機構(1990), 外構用部材利用増進可能性調査事業報告書, 142
40. 有馬孝禮, 木材工業, 33:13-17(1978)
41. 이종윤 외(2002), 그린구입법 시행을 대비한 국산재 이용 기본정책연구, 산림청용 역보고서
42. 이진희(1989), 조경시설물설계, 명보문화사
43. 이진희(1986), 조경시설물 설계, 신학사
44. 임승빈(1984), 조경계획 설계론, 보성문화사
45. 中尾哲也. 岡野 健, 淺野猪久夫. 木材學會誌 29(10):657-661(1983).
46. 日本木材加工技術協會(1991), 特集 The エクステリアウッド, 木材工業, Vol. 46, No. 11
47. 임업연구원 연구자료 제95호(1994), 韓國産主要木材의 性質과 用途, 임업연구원.

pp8-265.

48. 정상진(1995), 건축 재료학, 서울 普城閣
49. 주종원(1998), 도시설계, 문은당
50. 長谷川益夫(1991), 變わる木材 スーパーウッドの時代, 日本木材學會編, 海靑社
51. 정인석, 이원희, 장준복, 배현미, 주요 국산수종의 휨가공성 평가, 목재공학 30(3):87-94(2002)
52. 則元 京 외, 木材研究·資料, 27:31-40
53. 조경연구회·최기호(1997), 조경계획·설계자료집성Ⅱ<단지시설>, 도서출판 조경사
54. 최병상(1990), 환경조각, 미술. 공존사
55. 편집부(1991), 조경계획설계, 건설문화사
56. 편집부(1994), 조경계획과 설계의 실제, 대우출판사
57. 風倒木·間伐材等用途開發研究會(1995), 風倒木·間伐材等利用事例集, マルチサービス
58. 한국토지개발공사(1994), 단지계획·설계 실무편람, 한국토지개발공사
59. 한국조경사회(1997), 조경설계 상세자료집, 도서출판 한국조경사회
60. 한국종합조경공사(1976), 조경설계기준, 조경공사
61. Booth, M. K.(조동범 역, 1987), 조경설계의 기본요소, 기문당
62. Diter Boeminhuae(1997), 보행자공간+의장요소, 도서출판 누리에
63. D.A.I.Goring(1966), Pulp and Paper Magazine of Canada 64:T519-T524.
64. E.L.Back and N.L.Salmen, Tappi: 65:107(1982).
65. G.S.Han and et.al, *Mokuzai Gakkaishi*, 37:39-43, 241-246(1991)
66. H.Y.Chen and et.al, *J. Wood Chem. Tech.*,16: 387-400(1990)
67. H.Kurosu, *Mokuzai Gakkaishi*,39,p.1105-1110(1993)
68. H.Hoglund. U.Sohlin. G. Tistad. Tappi, 59:144(1976).
69. H.Becker, D. Noack and H. Reinbek. Wood Sci. Technol. 2:213-(1968).
70. Hirai, N. Sobue,N, Asano, I. *Mokuzai Gakkaishi* 18:535-42(1972).
71. I.Iida and et.al, *Mokuzai Gakkaishi*,30,p.354-358(1984)
72. In-suk Jung·Jung-Hwan Kim·Weon-Hee Lee·Jun-Pok Chang·Hyun-Mi Bae, Effect of Metal-strap Thickness on the Bending Process. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 29(3): 18-20(2001).
73. Kubojima, Y. Okano, T. Ohta, M, J. Wood Sci. 44:73-77(1998).

74. M.A.Palin and et.al, Wood Sci. Technol.,15,p.161(1981)
75. M. Stevens and et.al, Wood Sci. Technol.,15,p.287-300(1981)
76. M.Norimoto and et.al, *Mokuzai Gakkaishi*,28,p.743-749(1982)
77. M.Norimoto and et.al, Wood Research,79,p.23-33(1993)
78. M.Norimoto, *Mokuzai Gakkaishi*,39,p.867-874(1993)
79. M.Mori and et.al, Wood Ind.,39,p.600-603(1984)
80. M.Inoue and et.al, *Mokuzai Gakkaishi*,36,p.227-233, 234-240, 969-975(1990)
- 81 Merritt, R.W. White, A.A. Ind. Eng. Chem. 35:297-301(1943).
82. Millett, M.A. Gerhards, C.C. Wood Sci. 4:193-201(1972).
83. Millett, M.A. Western, L.J. Booth, J.J. Tappi 50(11):74A-80A.
84. Mitchell, R.L. Seborg, R.M. Millett, M.A. J. Forest Prod. Res. Soc. 3(4)38-73(1953).
85. Nisijawa, T.(이범재 외 공역, 1984), 외부환경 디자인, 기문당
86. N.L.Salmen. 1984. Mater. Sci., 19:3090.
87. Reekie, R, F.(전동훈 역, 1984), 환경건축·도시 디자인, 기문당
88. Rob Krier(김주성 외 공역, 1994), 도시공간 디자인론, 도서출판 미건사
89. Stamm, A.J., 1964. Wood and Cellulose Sci., Ronald Press. New York. p.317, p.549.
90. Stamm, A.J., Loughborough, W.K., J. Phys. Chem., 39(1):121-132(1935).
91. Sawabe, O. *Mokuzai Gakkaishi* 17:51-56(1971).
92. Tanahashi, M. 1989b. Degradation Mechanism of Wood Components by Steam Explosion. Kyoto University:7-16.
93. Thompson, W.S., For. Prod. J., 19(2):37-43(1969).
94. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material,1987, U.S. Department of Agriculture. pp13-4~13-6
95. M.Norimoto and J.Gril,1989, WOOD BENDING USING MICROWAVE HEATING. International Microwave Power Institute 24(4)203-213.
96. Ikuho IIDA and Misato Norimoto, Wood Bending Utilizing Microwave Heating. -Bending Creep in the Direction Perpendicular to Grain. Journal

- of Japanese reology (9):62-168(1981).
97. W.J.Cousins. Wood Sci. Technol.,10:9. 12:161(1976).
98. Wangaard, F.F. and Grandos, L.A., Wood Sci. Technol., 1:253-277(1967)
99. Y.Liu and et.al, *Mokuzai Gakkaishi*,39,p.1140-1145(1993)
100. Y.Furuta. M. Makinaga. H.Yano. H. Kajita. 1997. *Mokuzai Gakkaishi*,
43(1):16-23(1997).

< 참고 팜프렛 >

- 「ザイエソス 施工例集696」, XYENCE
- 「자연과 조화를 이룬 인조목」, 예림 인조목
- 「재미나월드」, (주)지산조경개발
- 「FENCE」, 신광웬스건설주식회사
- 「HAN WOOD」, 한수목재주식회사
- 「PLAYGROUND EQUIPMENT & TRIM」, 株式會社 三英
- 「STREET FURNITURE」, 연합조경연구소, (1997)
- 「SPECIAL FURNITURE」, (주)지산조경개발
- 「YOUNG WOON」, 영운기업(주)

주 의

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