

최 종
연구보고서

간벌재를 이용한 기능성 woodceramics
발열판 제조기술 개발

Development of Manufacturing Technique for Heating
Boards of Functional Woodceramics from
Thinned Logs

연구기관
전북대학교
(경상대학교)

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “간벌재를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 21일

주관연구기관명 : 전 북 대 학 교
총괄연구책임자 : 오 승 원
연 구 조 원 : 박 금 희
연 구 조 원 : 유 경 선
연 구 조 원 : 온 두 훈
연 구 조 원 : 최 창 운
연 구 조 원 : 박 규 성
연 구 조 원 : 변 상 선
연 구 조 원 : 이 현 승
협동연구기관명 : 경 상 대 학 교
협동연구책임자 : 변 희 섭
연 구 조 원 : 안 상 열
연 구 조 원 : 오 현 욱
연 구 조 원 : 김 욱 기
연 구 조 원 : 김 민 경

요 약 문

I 제 목

간벌재를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술 개발
(Development of manufacturing technique for heating boards of functional woodceramics from thinned logs)

II 연구개발의 목적 및 필요성

국내 목재자원의 부족으로 매년 많은 양의 목재를 수입에 의존하고 있는 우리나라의 실정에서 이용 가능한 목재의 효율적인 이용은 매우 중요한 과제이다. 이를 해결하기 위해서 최근에는 산림의 무육과정에서 발생하는 간벌재를 이용한 새로운 용도 개발에 관하여 많은 관심을 기울이고 있으며 다양한 방법으로 연구가 진행 중에 있다. 이러한 방법 중의 하나로 간벌재로 woodceramics를 제조하고 이를 이용하여 기능성 woodceramics 발열판을 제조하기 위한 기술을 개발 하므로써 간벌재의 효과적인 이용에 도움이 될 것으로 생각된다. Woodceramics는 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 진공상태의 높은 온도에서 소성하여 만든 다공질 탄소재료로서 목재의 특성을 유지하면서 가볍고 단단하며 내부식성, 내구성 및 원적외선 방사 특성을 지니고 있어 공업적으로 다양하게 이용 될 것으로 기대되는 새로운 물질이다. 그러나 지금까지의 woodceramics 제조기술은 신 소재개발에 중점을 둔 기초연구에 지나지 않을뿐더러 이에 대한 용도개발이 미흡한 실정에 있다. 기존의 woodceramics는 수지함침 시 균일한 함침의 결여와 소성기술의 부족으로 인한 각 부위별 성질에 차이가 있어서 용도개발에 어려움이 있었기 때문에 수지함침 및 woodceramics 제조방법의 다양화로 이를 해결해야 할 것으로 생각된다. 또한 woodceramics 제조기술개발을 통해서 국산 간벌재 이용의 한계와 사용량의 감소로 그동안 저 부가가치의 용도로 한정되어 왔던 간벌 소경재를 고부가가치의 자원으로 활용하여 임업의 생산성 및 경제성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연

구과제에서는 간벌재를 이용하여 양질의 톱밥보드를 제조 하므로써 보드제조기술을 확립하고, 수지함침 처리기술을 개발하며, 다양한 제조 조건에 따른 woodceramics 제조기술을 개발하여 이를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술을 개발하는데 목적이 있다.

III 연구개발의 내용 및 범위

본 연구 과제에서는 저부가가치의 용도에 한정되어 왔던 간벌 소경재를 효율적으로 활용하기위하여 간벌재로 톱밥보드를 제조하고 수지함침처리 기술 및 기능성 woodceramics 제조기술을 개발하였으며, 그 주요 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 보드제조 및 수지함침처리기술 개발

- 가. 수종별 보드제조 조건 확립
- 나. 보드제조 조건에 따른 물성 조사
- 다. 감압, 초음파 수지함침처리 및 성능 평가
- 라. 최적의 초음파 및 감압처리 조건 구명

2. Woodceramics 제조기술 개발

- 가. 소성조건의 설정
- 나. 보드의 수지함침율 및 소성온도에 따른 woodceramics. 제조 및 물성 평가
- 다. 승온속도 및 최고온도 유지시간에 따른 woodceramics. 제조 및 물성 평가
- 라. 우수한 성능의 woodceramics 제조 방법 확립

3. 기능성 woodceramics 발열판 제조기술 개발

- 가. 발열판 제조 조건에 맞는 woodceramics 제조
- 나. 목재틀형 woodceramics 마루판 제작
- 다. 콘크리트 블록형 woodceramics 마루판 제작
- 라. 발열판의 성질 구명

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

국산 간벌재를 이용하여 다양한 방법으로 톱밥보드를 제조하고 열경화성 수지를 함침한 후 진공상태에서 높은 온도로 소성하여 우드세라믹을 제조한 다음 이를 이용한 기능성 우드세라믹 발열판 제조기술을 개발 하였다.

1. 보드제조 및 수지함침처리기술 개발

보드제조 시 3단계 가압압력 4종류와 3단계 열압시간 4종류를 설정하여 총 16개 열압 스케줄에 따라 톱밥보드를 제조하여 각 조건에 따른 물성을 검토하였다. 톱밥 보드의 물성은 가압압력보다 열압시간에 의해 영향을 받으며, 보드의 밀도 및 수지 함가량이 증가할수록 휨강도 및 경도는 증가하였으며 흡수율은 감소하였다. 또한 우드세라믹 제조 시 원재료의 특성 및 보드의 수지함침율 및 균일성은 소성 후 우드세라믹의 성질에 영향을 미치는 중요한 인자이기 때문에 수지함침율을 측정하기 위하여 상압법, 감압법, 감압 후 상압 및 감압·초음파진동병행 후 상압함침법으로 함침한 결과 초음파진동처리를 병행한 함침에 의한 함침보드의 밀도, 함침율, 두께 및 길이증가율, 휨강도 및 경도가 큰 것으로 나타나 톱밥보드 수지함침 시 초음파진동처리를 병행 하므로써 함침효과가 개선된 것으로 확인되었다.

2. Woodceramics 제조 기술 개발

Woodceramics는 목재나 목질재료에 열경화성수지를 함침한 후 높은 온도에서 소성하여 만든 다공질 탄소재료로서 내구성, 내부식성, 높은 열전도율 및 우수한 원적외선 방사율 등 많은 장점은 지니고 있는 새로운 물질이다.

이러한 woodceramics는 원재료의 특성 및 수지함침율, 소성온도, 승온속도 및 최고온도에서 유지시간 등 제조조건에 따라 소성 후 성질이 다르기 때문에 양질의 woodceramics를 생산하기 위한 제조방법을 개발하기 위하여 다양한 조건으로 제조하여 물성을 조사하였다.

소성 후 밀도는 소성온도가 증가함에 따라 소성온도 1000℃까지는 증가하였으나 1200℃이후에는 감소하였다. 열전도성은 수지함침율이 높을수록 우수하였으며, 소성온도 1500℃에서 가장 빨랐다. 승온속도가 빠를수록, 즉 탄화속도가 빠를수록 완전한 탄화가 이루어지지 않아 밀도는 감소하였으며, 최고온도에서 유지시간에 따른 밀도

의 차이는 없는 것으로 확인되었다. 최고온도에서 유지시간 2시간과 승온속도 2℃/min으로 제조된 woodceramics의 열전도성이 가장 우수하였으며, 승온속도가 빠를수록 열전도성이 약간 떨어졌다. 또한 소성온도가 높을수록 전기저항이 작아 거의 도체에 가까웠으며 소성온도 1000℃이후에는 거의 일정하였다. 톱밥보드로 제조된 woodceramics의 원적외선 방사율은 0.929, 방사에너지는 $4.30 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 로 높게 나타났으며 소성온도가 증가할수록 원적외선 방사율과 방사에너지는 감소하였으나, 수지함침율과의 관계는 일정한 경향이 없었다. Woodceramics를 난방목적의 면상발열체로 사용할 경우에는 소성온도 600℃, 승온속도 2℃/min, 최고온도에서 유지시간 2시간의 조건으로 제조된 우드세라믹이 가장 좋을 것으로 생각되며, 제조방법을 다양화하여 전기적 성질 및 기계적 성질을 변화시킬 수 있기 때문에 앞으로 용도에 맞게 다양한 분야에서 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 기능성 woodceramics 발열판 제조기술 개발

Woodceramics를 온돌마루판의 하부소재 및 면상발열체로 사용하기 위한 기초조사로서 우드세라믹의 양 단면에 전극을 설정하고 전기를 통전 가열하여 저항, 전압, 전류 및 전력 등을 측정하였으며, 목재틀 형과 콘크리트 블럭 형태에 전선을 연결한 우드세라믹을 넣고 통전하여 우드세라믹 표면온도설정에 따라 강화마루판과 합판마루판의 표면온도변화를 조사하는 온돌모델 시험을 실시하였다. 우드세라믹의 고정저항이 작을수록 낮은 전압으로 통전하여도 표면온도가 높았으며, 저항이 큰 시편일수록 표면온도를 높이기 위해서는 높은 전압으로 통전해야 하는 것으로 확인되었다. 또한 여러 개의 시편을 연결하여 통전할 경우 저항이 작은 시편을 선택해야 전압을 낮출 수 있을 것으로 생각된다. 통전가열 60분후의 열전달속도는 합판마루판보다 강화마루판이 빨랐으며, 우드세라믹 표면온도 설정별 처음온도와 30분후의 표면온도 하강차이는 목재틀 형태가 콘크리트 블럭 형태보다, 강화마루판이 합판마루판보다 커서 온도하강이 상대적으로 빠름을 알 수 있었다.

이와 같은 우드세라믹을 이용한 마루판의 온돌모델시험 결과 통전한 우드세라믹의 표면으로부터 마루판표면까지 열전달이 우수하여 우드세라믹을 면상발열체로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 연구결과를 종합하여 볼 때, 현시점에서의 결과만으로 실용화하기에는 부족하지만 앞으로 우드세라믹을 기능성 면상발열체로 사용하기 위한 귀중한 자료와

정보를 획득하였다고 생각된다. 금후, 본 개발제품을 실용화하기 위해서는 실험실차원의 소규모 함침장치 및 소성장치수준을 벗어나 실제공업생산 수준에 맞는 정확하고 대규모설비가 요구되며 충분한 적용시험이 필요할 것으로 판단된다.

Summary

I. Title

Development of manufacturing technique for heating boards of functional woodceramics from thinned logs

II. Purpose and Necessity of Project

Under the actual conditions of our country which relies on the import of large quantities of timber every year owing to the lack of internal resources, the efficient use of wood available is a very important problem. Recently, in particular, researches on the development for a new use, using thinning logs produced in the process of tending a forest, are being in progress. As one of the methods, it seems that it will be helpful in using thinning logs effectively by developing the technology in order to manufacture a heating board of functional woodceramics, utilizing woodceramics made from thinning logs. Woodceramics is a kind of porous carbonized materials, made by impregnating wood or woody materials with thermosetting resin and afterwards carbonizing them in the vacuum state at high temperature, and characterized by lightness, hardness, corrosion resistance, durability and far-infrared radiation, as maintaining wood features, thus it is a new material which is expected to be used in various industries. Yet, techniques for manufacturing woodceramics, so far, have been merely an emerging study focusing on the development of a new material. On top of that, currently it is not satisfied with developing it for many uses. It is then assumed that the diversification of both resin impregnation and manufacturing methods of woodceramics can solve the present difficulties in developing their uses, arisen from the difference in characteristics of the existing

woodceramics by its each part due to the lack of uniform impregnation during the resin impregnation and the dissatisfaction with carbonizing technologies. Also, by utilizing small-diameter thinning logs, which have been confined to low value-added uses because of the limit of domestic thinning logs and the decrease in the amount consumed, as high-value added resources, productivity and economic efficiency in forestry may be lifted. Accordingly, this study aims to establish the manufacturing techniques of boards by making high-quality sawdust boards using thinning logs; develop techniques to manage the resin impregnation; and develop manufacturing techniques for heating boards of functional woodceramics according to a wide range of manufacturing conditions.

III. Contents and Scope of Project

To utilize small-diameter thinning logs efficiently, which have been confined to low value-added uses, this study manufactured sawdust boards with timber from thinning, and then developed new resin-impregnation technologies and manufacturing technologies for heating boards of functional woodceramics. The major contents and scope of these developments are as follows:

- 1. The manufacture of boards and the development of resin impregnation technologies**
 - A. Establish conditions to manufacture boards by the kind of trees
 - B. Investigate physical properties according to conditions of manufacturing boards
 - C. Treatment the resin impregnation using decompression, ultrasonic waves, and evaluate their performance
 - D. Investigate conditions for the optimum application of ultrasonic waves and decompression treatments

2. Development of techniques for the manufacture of woodceramics

- A. Establish a condition for carbonizing
- B. Manufacture woodceramics according to a board's rate of resin impregnation and carbonizing temperature, and evaluate their physical properties
- C. Manufacture woodceramics according to heating rate and holding time at the highest temperature, and evaluate their physical properties
- D. Establishment of manufacturing methods of woodceramics having excellent performance

3. Development of manufacturing technique for heating boards of functional woodceramics

- A. Manufacture woodceramics suitable for the making of heating boards
- B. Manufacture wood frame-type woodceramics floor boards
- C. Manufacture concrete block-type woodceramics floor boards
- D. Investigate the physical properties of the heating boards

IV. Results of Project and Suggestion for Application

Using domestic thinning logs, which have been limited to low value-added uses in spite of large-scale production, this study developed techniques for the manufacture of functional woodceramics heating boards by manufacturing sawdust in various ways and impregnating resin, carbonizing it in the vacuum state at high temperature, and finally manufacturing woodceramics.

1. The manufacture of boards and the development of resin impregnation technologies

The physical properties of sawdust boards were affected by heating, rather than pressure, and the higher the boards' density and amount of resin, the more

the bending strength and hardness and the less the water absorption became. Also, the characteristics of raw materials at the time of manufacturing woodceramics and boards' percentage of resin impregnation and uniformity are an important factor having an effect on woodceramics' properties after carbonizing, so to measure the percentage of resin impregnation, impregnation was performed with the following methods: atmospheric pressure, decompression, atmospheric pressure following decompression, atmospheric impregnation after conducting decompression and ultrasonic vibration simultaneously. As a result, impregnated boards to which ultrasonic vibration treatment was applied concurrently were high in density, the percentage of resin impregnation, swelling of size, bending strength, and hardness, suggesting that the effect of impregnation was improved by performing the treatment of ultrasonic vibration during the resin impregnation of sawdust boards at a time.

2. Development of techniques for the manufacture of woodceramics

Woodceramics differ in their properties after carbonizing according to manufacturing conditions, such as features of the raw material, percentage of resin impregnation, carbonizing temperature, heating rate, and holding time at the highest temperature. As such, this study examined their physical properties by making them in various conditions in order to develop a manufacturing method possible to produce high-quality ones. As the carbonizing temperature grew, the density after carbonizing increased until it reached the carbonizing temperature of 1,000°C, but after 1200°C, it decreased. Their thermal conductivity was getting better with the percentage of resin impregnation rising, showing the fastest in the carbonizing temperature of 1,500°C. The faster the heating rate--i.e., the faster the carbonization speed, which hindered complete carbonization, the lower the density, and there was no difference in density in the highest temperature according to holding time. The thermal conductivity reached its highest level in woodceramics that were made in a 2-hour holding time in the maximum temperature and heating rate of 2°C/min, and it was down slightly as the heating

rate was on the increase. Furthermore, it was nearly a conductor for the reason that the higher the carbonizing temperature, the lower the electric resistance, maintaining almost even at a carbonizing temperature over 1,000°C. In the meantime, woodceramics manufactured with sawdust boards had high far-infrared emissivity and radiant energy, indicating 0.920 and 4.30×10^2 W/m² respectively. The higher the carbonizing temperature, the lower the far-infrared emissivity and radiant energy, but there was no definite tendency in the relationship with the percentage of resin impregnation. In case woodceramics are used as a plane heater for heating, it seems to be the best under this condition: carbonizing temperature of 600°C, heating rate of 2°C/min, 2-hour holding time in the highest temperature. Additionally, there is expectation for woodceramics to be used for various purposes in the future because their electrical and mechanical properties may be changed by diversifying manufacturing methods.

3. Development of manufacturing technique for heating boards of functional woodceramics

Woodceramics' resistance, voltage, electric current and electric power were measured by fixing an electrode on their two end sections and conducting electricity. Also, by applying an electric current after putting woodceramics connected with electric wires into a wood frame and a concrete block, a test of model of *ondol* (a traditional Korean under-floor heating system) intended to investigate the changes in the surface temperature of laminated floor boards and plywood floor ones at a given temperature was conducted. The result showed that the smaller the fixed resistance of woodceramics, the higher the surface temperature despite the low-voltage current, and that a sample having more resistance had to be conducted in high voltage so as to heighten its surface temperature. If many samples were connected and conducted, voltage would be more likely to be lowered by selecting a sample having small resistance. In the rate of heat transfer after ohmically heating for 60 minutes, laminated floor boards were faster than plywood floor ones, and in terms of the difference in the

decline of woodceramics' surface temperature between the beginning and 30 minutes after according to the adjusted temperature, the wood frame and laminated floor boards were bigger than the concrete block and plywood floor boards respectively, showing the relative swiftness in the fall of temperature. Judging from this result of the test of *ondol* model of floor boards using those woodceramics, woodceramics are able to be used for a plane heater on account of the excellent heat transmission from a conducted woodceramics' surface to floor boards' one.

After considering all the factors discussed above, we reached this conclusion: Even though, at this point, it is insufficient to put them to practical use only by those results, valuable data and information, which attempted to use woodceramics as a functional plane heater, were produced. For the practical use of this product developed here, from this time on, it is required to have accurate and large-scale facilities accordant to the standard of the actual industrial production, and to perform as much tests as possible to apply them, departing from the low level like a laboratory with small-scale equipment for impregnation and carbonizing.

Contents

| | |
|---|-----|
| Presentation sentence | 1 |
| Summary | 2 |
| I. Title | 2 |
| II. Purpose and Necessity of Project | 2 |
| III. Contents and Scope of Project | 3 |
| IV. Results of Project and Suggestion for Application | 4 |
| Chapter 1. Outline of project | 16 |
| Chapter 2. Status of technology in domestic and aboard | 18 |
| Chapter 3. Content and result | 19 |
| Section 1. Development of manufacturing technique of sawdust board from thinned logs | 19 |
| Section 2. Development of resin impregnation technique of sawdust boards for making woodceramics | 36 |
| Section 3. Heating treatment and drying methods of small-notched bamboo for vertical flute | 55 |
| Section 4. Development of manufacturing technique of woodceramics | 64 |
| Section 5. Development of manufacturing technique of functional woodceramics heating boards | 115 |
| Chapter 4. Contribution to related field | 131 |
| Chapter 5. Application plan of research results | 136 |
| Chapter 6. Technical information from aboard during the research | 137 |
| Chapter 7. Reference | 138 |

목 차

| | |
|--------------------------------------|----|
| 제 출 문 | 1 |
| 요 약 문 | 2 |
| I. 제목 | 2 |
| II. 연구개발의 목적 및 필요성 | 2 |
| III. 연구개발의 내용 및 범위 | 3 |
| IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의 | 4 |
| Summary | 7 |
| Contents | 13 |
| 목차 | 14 |
| 제1장 연구개발과제의 개요 | 16 |
| 제2장 국내외 기술개발 현황 | 18 |
| 제3장 연구개발 수행 내용 및 결과 | 19 |
| 제1절 간벌재를 이용한 톱밥보드 제조기술개발 | 19 |
| 1. 서론 | 19 |
| 2. 재료 및 방법 | 20 |
| 3. 결과 및 고찰 | 21 |
| 가. 가압압력 및 열압시간의 영향 | 21 |
| 나. 밀도 및 분말폐놀수지 첨가량의 영향 | 26 |
| 4. 결론 | 34 |
| 제2절 우드세라믹제조용 톱밥보드의 수지함침처리 기술개발 | 36 |
| 1. 서론 | 36 |
| 2. 재료 및 방법 | 37 |
| 3. 결과 및 고찰 | 39 |
| 가. 함침방법 및 함침시간의 영향 | 39 |
| 나. 보드의 밀도에 따른 함침보드의 물성 | 46 |
| 다. 수지첨가량에 따른 함침보드의 물성 | 49 |
| 4. 결론 | 52 |
| 제3절 탄소용대나무의 열처리 및 건조 | 55 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 1. 서론 | 55 |
| 2. 재료 및 방법 | 56 |
| 3. 결과 및 고찰 | 57 |
| 4. 결론 | 62 |
| 제4절 우드세라믹제조 기술개발 | 64 |
| 1. 서론 | 64 |
| 2. 재료 및 방법 | 65 |
| 3. 결과 및 고찰 | 67 |
| 가. 수지함침율 및 소성온도에 따른 성질 | 67 |
| 나. 승온속도 및 최고온도에서의 유지시간에 따른 성질 | 87 |
| 다. 원적외선 방사 및 전기적 성질 | 106 |
| 4. 결론 | 111 |
| 제5절 기능성 우드세라믹 발열판 제조기술 개발 | 115 |
| 1. 서론 | 115 |
| 2. 재료 및 방법 | 116 |
| 3. 결과 및 고찰 | 117 |
| 가. 통전 가열한 우드세라믹의 전기적 성질 | 117 |
| 나. 통전 가열한 우드세라믹의 표면온도 변화 | 121 |
| 4. 결론 | 128 |
| 제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 | 131 |
| 제5장 연구개발결과의 활용계획 | 136 |
| 제6장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학 기술정보 | 137 |
| 제7장 참고문헌 | 138 |

제1장 연구개발 과제의 개요

현재 우리나라의 산림 축적은 침엽수림이 45%, 활엽수림이 28%, 혼효림이 27%로써 침엽수림이 많은 양을 차지하고 있다. 특히 전체 침엽수면적 2,674,000 ha의 73%가 간벌 가능한 3영급 이하로 구성되어있으며, 그중 소나무, 잣나무, 낙엽송이 주종을 이루고 있다. 또한 수입재의 경우도 점차적으로 활엽수재의 수입이 줄어들고 캐나다와 뉴질랜드 산 침엽수재의 수입이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 실정에서 국내에서도 매년 많은 양의 침엽수 간벌재가 생산되고 있음에도 불구하고 그동안 펄프재, 해태목, 갯목 등 저부가가치의 용도에 한정되어 왔던 간벌 소경재를 고부가가치재로 이용하는 것은 전체산림의 효율적인 이용과 국산재의 활용에 크게 기여할 것으로 생각된다. 이와 같은 관점에서 간벌재를 고부가가치 재료로 활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 그중 하나로 woodceramics 제조에 관한 연구가 수행되고 있으나 아직 산업화 및 용도개발이 미흡한 실정에 있다. 따라서 본 연구진에 의해 간벌재를 이용한 woodceramics 제조방법이 확립되고, 이를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술이 개발된다면, 국산재의 효율적인 이용으로 인한 목재수입 대체효과 및 국내목재 관련 산업의 활성화에 크게 기여할 것으로 생각된다.

1) 기술적인 측면

산림의 무육과정에서 생산되는 침엽수 간벌 소경재를 이용하여 다공질 탄소재료인 woodceramics를 제조하고 이를 이용하여 기능성 woodceramics 발열판 제조기술을 개발하고자 한다. Woodceramics는 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 높은 온도에서 소성하여 만든 새로운 다공질 탄소재료로서 가볍고 단단하며 내부식성, 내구성 및 원적외선 방사 등의 성질을 지니고 있어 공업적으로 다양한 분야에서 이용이 기대되는 신 물질이다.

그러나 지금까지의 woodceramics 제조기술은 신소재 개발에 역점을 둔 기초연구에 치중되어 왔으며, 이에 대한 용도개발이 미흡한 실정이기 때문에 본 연구를 통하여 과학적이고 체계적인 제조방법의 개발과 용도개발이 이루어질 것으로 판단된다. 또한 보드의 수지함침시 균일한 함침의 결여와 소성기술의 미흡으로 인한 제품 각

부위별 특성이 일정하지 못하여 용도개발에 어려움이 있었기 때문에 균일한 밀도 보드 제조, 초음파 수지함침처리기술의 개발, woodceramics 제조방법의 다양화로 이를 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

2) 경제·산업적 측면

국내 임목 축적량 중 많은 양을 차지하고 있음에도 불구하고 용도개발이 미흡한 국산 간벌재 중 주요침엽수재를 이용하여 고부가가치 재료라고 판단되는 woodceramics를 개발하므로써 임업의 생산성향상 및 농민의 실질적인 소득증대에 기여할 것으로 생각된다. 또한 woodceramics 제조기술 및 이를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술이 개발됨으로써 간벌재의 이용 및 우드세라믹을 이용한 기타 목재 관련 산업발전에도 효과가 있을 것으로 판단된다. 특히 기능성 woodceramics 발열판 제조기술이 개발되어 최근 우리나라의 주거구조인 아파트의 온돌마루판 하부소재로 사용된다면 매년 증가되고 있는 국내마루판 시장이 크게 활성화될 뿐만 아니라 이를 이용한 다양한 2차 가공 및 용도가 개발되어 경제·산업적인 측면에서 기대효과가 매우 클 것으로 생각된다.

3) 사회·문화적 측면

간벌 소경재를 이용하므로써 목재의 수요증가 및 과도한 벌채로 인한 환경파괴와 목재자원 고갈문제를 감소시킬 수 있을 것이다. 또한 생활수준의 향상으로 전자기기 사용에 따른 전자파 피해와 원적외선방사와 관련하여 건강에 대한 관심이 많은 실정에서 공업적, 친환경적으로 우수한 성질을 지닌 woodceramics를 제조하고, 이를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술을 개발하므로써 지구환경보호는 물론 관련 산업체의 고용증대 등 사회·문화적 측면에서 효과가 있을 것으로 생각된다.

제2장 국내외 기술 개발현황

국내에서 간벌 소경재를 원료로 woodceramics를 제조하여 이용하고자 하는 연구는 거의 없으며, 특히 본 연구의 최종목표인 기능성 woodceramics 발열판 제조 기술개발에 대한 검토는 아직까지 수행되어진 바 없다. 목재 및 목질재료를 이용한 woodceramics 제조기술은 1994년부터 일본 아오모리현 공업시험장을 중심으로 주로 일본에서 많은 연구가 진행 중에 있다. 이에 대한 연구로는 일본의 Okabe와 Saito가 woodceramics 제조 방법을 개발한 이래 woodceramics의 일반적인 성질과 전기적 특성을 조사한 후, 소성온도에 따른 구조변화, 제조과정에서 목재가공기술의 연구, 내구성 등에 관해서 연구를 수행하여 왔다. 최근에는 우드세라믹을 전자공업의 부품으로 이용할 목적으로 습도와 온도가 woodceramics의 성질에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구와 우드세라믹의 비열용량 측정방법에 대한 연구도 진행 중에 있다. 또한 수지함침보드 제조 시 기존의 액상 페놀수지대신에 페놀화합물과 목분, 황산 등을 혼합하여 액화 목재를 제조하여서 함침수지용 수지로 사용하기 위한 연구도 진행 중에 있으며, 강도가 약한 우드세라믹의 기계적 성질을 보강하기 위하여 진공상태의 고압에서 용해된 알루미늄과 알루미늄합금을 우드세라믹에 주입하여 우드세라믹의 역학적 성질을 강화시키는 연구보고도 있다. 이와 같이 우드세라믹의 제조방법 및 물성에 대한 기초연구는 진행 중에 있으나 실제 산업화 및 실용화에 도움을 주는 연구는 아직 미흡한 실정이다.

그러나 우드세라믹 제조기술은 사용하는 원재료의 특성 및 소성온도, 냉각온도, 승온속도 등 제조방법에 따라 우드세라믹의 성질이 달라지기 때문에 원재료의 선택, 보드제조기술, 수지함침 처리기술 및 다양한 제조방법에 대한 문제점을 해결하는 것이 앞으로 우드세라믹 연구에 있어서 매우 중요한 과제라고 생각된다.

따라서 본 연구 과제에서는 간벌 소경재를 이용하여 보드제조기술, 초음파 처리에 의한 균일한 수지함침 기술 및 다양한 제조방법에 의한 우드세라믹 제조기술을 개발하므로써 양질의 우드세라믹을 만드는 연구를 수행하였다. 또한 우수한 품질의 우드세라믹을 이용하여 기능성 우드세라믹 발열판인 온돌마루판 및 콘크리트 블록마루판을 제조하므로써 앞으로 우드세라믹의 용도 개발에 중요한 의미를 지닐 것으로 생각된다.

제3장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 간벌재를 이용한 톱밥보드 제조기술개발

1. 서론

목재자원이 매우 부족한 우리나라의 실정에서 가능한 이용할 수 있는 임지 폐잔재의 활용은 목재자원의 극대화 와 산업화 측면에서 중요한 의미를 지닌다. 이러한 임지 폐잔재 중 간벌재는 2000년도 통계자료에 의하면 24,029ha에서 256,115m³이 생산되었으며, 우리나라 임목 축적량의 50%이상이 Ⅲ영급 이하이기 때문에 무육 과정에서 앞으로 많은 양의 간벌재가 생산될 것으로 판단된다.

그러나 이러한 간벌재는 목재의 특성상 다양한 결점을 지니고 있기 때문에 가공기술과 제품의 용도개발에 어려움을 겪고 있어 갱목, 펄프재, 건축자재 등 저 부가가치의 용도에 한정되어 사용되고 있다. 한편 최근에는 이를 이용하여 파티클보드, MDF 등 목질복합보드의 개발이 활발히 전개되어 그 생산량은 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 그러므로 이러한 간벌재를 이용하여 기능성보드, 건축용 부재료의 개발 등 고 부가가치재료로 활용 할 수 있는 새로운 용도개발을 통하여 국내목재 자원의 절약과 수요확대를 통한 산업화에 관심을 기울여야 할 것이다. 이러한 방법 중의 하나로 생산성이 높고 새로운 용도 개발이 가능한 목질 복합 보드의 개발이 전 세계적으로 활발히 전개되고 있다. 우리나라의 경우도 산림청 통계 자료에 의하면 2000년도 파티클보드의 생산량이 722,426m³으로 매년 꾸준히 증가하고 있다(산림청, 2001). 그러나 톱밥의 경우 제재시 부산물로 대량 생산됨에도 불구하고 보통의 파티클보드의 물성과 유사한 제품을 만들기 위해서는 톱밥의 특성상 다량의 수지가 필요하며 열압시간이 길어지기 때문에 소량의 톱밥만 파티클보드의 평활성과 표면경도를 얻기 위해 이용되어 왔다(이와 윤, 1994). 또한 톱밥만으로 우수한 보드를 만들 수 없기 때문에 톱밥 이외의 다른 소재 와 혼합 가공하여 생산하는 새로운 제품개발에 대한 연구가 진행되어 왔다(이 등, 2002; 서, 1987; Spaun, 1981; Bulleit, 1985; Lee & Suh, 1987; Park & Lee, 1986). 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되는 간벌재 중 많은 양을 차지하는 침엽수 몇 수종을 이용하여 톱밥을 만든 후 신소재개발의 기초연구로서 보드 제조 시 가압압력 및 열압시간, 보드의 밀도 및 폐놀수지 첨가량을 달리하여 톱

밥보드를 제조하고 이들이 보드의 물성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에서는 소나무(*P. densiflora*), 낙엽송(*L. kaemferi*) 및 잣나무(*P. koraiensis*) 간벌재를 공시재료로 사용하였다.

나. 보드제조

둥근톱을 이용하여 톱밥을 제조하였으며 균일한 시료를 얻기 위하여 체를 이용하여 입자크기를 1mm 이하로 선별한 후 함수율을 5%이하로 조절하였다. 선별된 시료를 함석통속에서 접착제와 충분히 혼합하여 성형기 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드에 넣고 상부면의 높이를 일정하게 조절한 다음 열압 성형하여 26cm×26cm×1.4cm의 보드를 제조하였다. 이때 보드의 밀도에 따른 물성변화를 조사하기 위하여 분말페놀수지 첨가량 10%, 가압압력 40→20→10kgf/cm²(3단 압력), 가압시간 6→5→4분(3단 가압시간), 열압온도 190℃의 조건으로 밀도 0.4, 0.5, 0.6, 0.7g/cm³의 보드를 각 수종별로 3매씩 총36매를 제조하였다. 보드 제조 시 사용한 접착제는 분말페놀수지(코오롱 유화(주) KNB-100PL)로서 용점 80~95℃, 수지 고형분 99% 이었다. 분말페놀수지 혼합량에 따른 보드의 물성을 조사하기 위하여 밀도 0.6g/cm³, 가압압력 40→20→10kgf/cm²(3단 압력), 가압시간 6→5→4분(3단 가압시간), 열압온도 190℃의 조건으로 분말페놀수지 첨가량 5, 10, 15, 20%의 보드를 각 수종별로 3매씩 총 36매를 제조하였다. 또한 가압조건에 따른 물성을 조사하기 위하여 3단계 가압압력 4종류와 3단계 열압시간 4종류를 설정하여 총 16가지 열압 스케줄에 따라 보드를 제조하였으며, 제조조건은 Table 1과 같다. 보드제조 과정에서 열에 의한 몰드와 보드간의 접촉을 방지하기 위하여 시료의 상하 면에 테프론 판을 올려놓아 성형 후 보드의 분리를 쉽게 하였다. 보드의 두께는 thickness bar를 이용하여 조절하였으며 thickness bar 까지 도달시간은 10초로 하였다. 보드제조에 사용한 열압기는 **사진 1**과 같다.

Table 1. Manufacturing conditions of board

| Density (g/cm ³) | Resin content (%) | Pressure (kgf/cm ²) | Press time (min.) | Temperature (°C) |
|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 0.6 | 10 | 50→40→30 | 7→6→5 | 190 |
| | | 40→30→20 | 6→5→4 | |
| | | 40→20→10 | 5→4→3 | |
| | | 30→20→10 | 4→3→2 | |

다. 물성조사

제조된 보드는 12×12×1.4cm의 크기로 제단하여 향온향습기(온도 20±1℃, 습도 65±5%)에서 조습처리한 후 측정항목별 목표밀도 ± 0.01g/cm³의 시험편을 4개씩 선발하여 KSF 3104에 의거하여 흡수율, 두께 팽윤율, 휨강도 등을 측정하고, Brinell 경도기(B 960909, 대경테크(주))를 이용하여 브리넬 경도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 가압압력 및 열압시간의 영향

1) 흡수율

제조된 보드를 20±1℃의 물에 24시간 침지한 후 수종 및 제조 조건별로 흡수율을 측정한 결과는 Table 2 와 같다.

각 수종별로 제조된 보드의 흡수율은 대체적으로 열압시간이 감소함에 따라 증가하였으며, 열압시간이 4→3→2분의 경우에 흡수율이 가장 높았고, 총 열압시간이 많을수록 흡수율은 적은 것으로 나타났다. 전 수종 모두 열압시간 7→6→5분, 가압압력 40→30→20kgf/cm²의 조건에서 흡수율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 가압압력에 따른 흡수율은 소나무와 잣나무로 제조된 보드의 경우 가압압력이 낮을수록 흡수율은 약간 증가하는 경향이었으며, 낙엽송으로 제조된 보드의 경우 가압압력 40→30→20kgf/cm²의 조건에서 흡수율이 가장 적은 것으로 나타났다. 이와 박(1977)은 페타이

어와 목재칩을 이용한 복합 판넬 연구에서 전체 가압압력이 낮은 경우, 열압시간에 관계없이 수분 흡수율이 높았으며, 가압압력을 줄여갈 경우 4→3→2분, 45→20→15kgf/cm²에서 가장 낮은 수분 흡수율을 나타냈다고 보고한 바 있다. 수종별 비교에 서는 잣나무로 제조된 보드가 각 가압압력 및 열압시간 별로 흡수율이 약간 큰 것으로 나타났다. 한편 이와 윤(1994)은 나왕톱밥에 PDMI 수지를 첨가하여 가압 압력 30kgf/cm², 열압 시간 20sec./min. 조건으로 보드를 제조한 후 흡수율을 조사한 결과, 비중 0.6, 수지첨가량 5% 일 때 물 흡수율은 31.4%, 비중 0.8, 매트함수율 5%, 수지 첨가량 5%일 때 물 흡수율은 33.7% 로 보고한바있어 톱밥보드제조 시 PDMI 수지의 가능성을 검토한 바 있다.

Table 2. Coefficients of water absorption of specimens in various hot pressing conditions

(Unit : %)

| Species | Press time (3-steps,min.) | Conditions of hot-press pressure(3-steps, kgf/cm ²) | | | |
|----------------------|------------------------------|---|------------|------------|------------|
| | | 50→40→30 | 40→30→20 | 40→20→10 | 30→20→10 |
| <i>P. densiflora</i> | 7→6→5 | 110.7 ^a ±15.2 | 102.7±15.6 | 110.1±13.6 | 103.4±18.3 |
| | 6→5→4 | 104.2±18.6 | 108.9±15.4 | 110.2±15.4 | 123.7±12.5 |
| | 5→4→3 | 109.5±15.5 | 111.2±18.7 | 112.2±13.2 | 123.9±15.4 |
| | 4→3→2 | 116.2±18.6 | 118.5±13.5 | 118.7±14.3 | 126.2±12.5 |
| <i>L. kaemferi</i> | 7→6→5 | 90.3±19.6 | 43.8±8.6 | 81.9±9.3 | 44.0±6.3 |
| | 6→5→4 | 96.3±17.4 | 68.6±7.3 | 118.5±14.2 | 68.8±5.7 |
| | 5→4→3 | 84.0±15.7 | 72.5±6.2 | 115.3±10.3 | 100.3±10.3 |
| | 4→3→2 | 119.8±20.3 | 96.3±8.4 | 130.7±16.9 | 131.7±15.2 |
| <i>P. koraiensis</i> | 7→6→5 | 99.7±16.3 | 97.5±8.3 | 122.9±18.2 | 118.5±15.6 |
| | 6→5→4 | 116.6±19.6 | 104.7±13.5 | 122.7±16.5 | 119.7±14.3 |
| | 5→4→3 | 111.6±16.3 | 124.7±18.6 | 125.5±13.2 | 121.2±15.8 |
| | 4→3→2 | 118.0±16.5 | 126.9±14.7 | 130.4±14.5 | 131.3±16.2 |

a : Mean value from 5 replications

2) 두께 팽윤율

각 수종 및 조건별로 제조된 보드를 20±1℃ 물에 24시간 침지한 후 두께 팽윤율을 측정한 결과는 Table 3 과 같다.

각 수종별로 제조된 보드의 두께 팽윤율은 대체적으로 열압시간이 감소함에 따라 증가하였으며, 열압시간이 7→6→5분의 경우에 두께 팽윤율이 적었고, 열압시간이 4→3→2분 일 때 가장 큰 값을 나타내었다. 이는 열압 과정에서 열이 내층으로 충분히 전달되지 못한 상태에서 열압이 종료되어 수분의 흡수가 용이했기 때문으로 여겨진다. 김(1997)은 제지 슬러지와 신문 고지를 이용한 MDF의 제조 및 물성관한 연구에서 압착조건의 상승에 따라 두께 팽윤율이 서서히 저하된다고 보고하였으며, 이는 밀도의 증가로 섬유판의 내수성 증대에 기인된 것으로 판단된다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 같은 밀도의 보드를 사용하였기 때문에 위의 설명이 충분하지 못 하지만 두께 방향의 밀도경사의 차이에 의한 두께 팽윤율의 변화로 추정된다(kollmann *et al.*, 1975). 한편 가압 압력 차이에 의한 두께 팽윤율은 소나무와 낙엽송으로 제조된 보드는 가압 압력 40→30→20kgf/cm²일 때 적었으며, 잣나무는 가압압력 40→20→10kgf/cm²일 때 비교적 적게 나타났다. 수종별 비교에서는 소나무로 제조된 보드가 각 가압압력 별로 두께 팽윤율이 약간 큰 것으로 나타났다. 톱밥보드의 두께 팽윤율은 열압 시간이 길수록 12% 이하이어서 KS F 3104의 PB 휨강도 18.0형 기준을 만

Table 3. Coefficients of thickness swelling of specimens in various hot pressing conditions

(Unit : %)

| Species | Press time (3-steps,min.) | Conditions of hot-press pressure(3-steps, kgf/cm ²) | | | |
|----------------------|------------------------------|---|----------|----------|----------|
| | | 50→40→30 | 40→30→20 | 40→20→10 | 30→20→10 |
| <i>P. densiflora</i> | 7→6→5 | 11.2 ^a ±2.1 | 9.5±2.3 | 11.1±1.8 | 11.5±1.7 |
| | 6→5→4 | 11.2±2.4 | 9.5±2.6 | 12.8±2.3 | 11.1±1.6 |
| | 5→4→3 | 14.9±3.6 | 14.8±2.5 | 13.6±2.2 | 16.5±2.3 |
| | 4→3→2 | 18.2±3.8 | 18.5±3.8 | 19.0±3.8 | 18.5±2.4 |
| <i>L. kaemferi</i> | 7→6→5 | 12.3±1.7 | 7.4±1.5 | 10.8±1.6 | 9.4±2.1 |
| | 6→5→4 | 12.5±2.3 | 10.1±2.2 | 11.0±1.3 | 12.0±2.3 |
| | 5→4→3 | 13.4±3.2 | 13.0±1.9 | 10.2±1.8 | 12.3±2.5 |
| | 4→3→2 | 16.2±2.4 | 13.0±3.2 | 14.9±3.2 | 15.6±3.6 |
| <i>P. koraiensis</i> | 7→6→5 | 10.2±1.8 | 9.4±2.5 | 8.2±2.3 | 10.0±2.1 |
| | 6→5→4 | 10.1±1.3 | 8.3±2.3 | 8.9±2.5 | 10.2±2.3 |
| | 5→4→3 | 13.6±2.3 | 10.4±2.1 | 12.0±3.1 | 13.9±3.2 |
| | 4→3→2 | 15.6±2.6 | 14.5±3.5 | 12.1±2.1 | 16.4±3.9 |

a : Mean value from 5 replications

죽 시켰다. 이와 윤(1994)은 나왕툽밥에 PDMI 수지를 첨가하여 가압 압력 30kgf/cm², 열압 시간 20sec./min. 조건으로 보드를 제조한 후 두께 팽윤율을 조사한 결과, 비중 0.6, 수지첨가량 5% 일 때 13.4%, 비중 0.8, 수지첨가량 9%일 때 10.1% 이었다고 보고한 바 있다.

3) 휨강도

수종 및 조건별로 제조된 보드를 하중속도 10mm/min. 조건으로 만능강도 시험기를 이용하여 휨강도를 측정된 결과는 Table 4 와 같다.

각 수종별로 제조한 보드의 휨강도는 대체적으로 열압시간이 감소함에 따라 감소하였으며 열압 시간 7→6→5분의 조건에서 휨강도가 가장 컸고, 4→3→2분의 경우가 가장 작은 값을 나타냈다. 이는 충분한 열압시간이 툽밥과 보드의 결합을 증대시켜 휨강도의 증가요인으로 작용하였기 때문으로 사료된다. 가압압력에 따른 휨강도는 전 수종 모두 가압압력 30→20→10kgf/cm²일 때 가장 적은 값을 나타냈다. 또한 소나

Table 4. Modulus of rupture (MOR) in various hot pressing conditions by bending test.

(Unit : kgf/cm²)

| Species | Press time (3-steps,min.) | Conditions of hot-press pressure(3-steps, kgf/cm ²) | | | |
|----------------------|------------------------------|---|-----------|------------|-----------|
| | | 50→40→30 | 40→30→20 | 40→20→10 | 30→20→10 |
| <i>P. densiflora</i> | 7→6→5 | 78.4 ^a ±8.3 | 88.2±8.3 | 82.3±6.8 | 83.2±9.6 |
| | 6→5→4 | 76.0±8.2 | 87.6±5.6 | 81.7±10.3 | 79.1±8.7 |
| | 5→4→3 | 75.8±6.5 | 80.8±10.3 | 77.5±9.6 | 48.2±6.8 |
| | 4→3→2 | 55.7±3.8 | 58.6±6.7 | 48.4±5.3 | 41.9±6.2 |
| <i>L. kaemferi</i> | 7→6→5 | 87.9±10.2 | 85.7±5.4 | 106.9±12.3 | 80.7±6.8 |
| | 6→5→4 | 78.8±11.3 | 71.9±6.5 | 87.2±5.8 | 53.4±4.5 |
| | 5→4→3 | 68.8±6.5 | 59.8±4.5 | 69.4±6.7 | 53.7±6.2 |
| | 4→3→2 | 44.6±4.8 | 40.4±5.8 | 48.6±5.2 | 41.6±5.4 |
| <i>P. koraiensis</i> | 7→6→5 | 115.9±12.3 | 85.8±6.7 | 99.1±8.8 | 90.3±10.6 |
| | 6→5→4 | 112.3±10.5 | 83.2±7.9 | 82.7±9.6 | 87.2±8.7 |
| | 5→4→3 | 91.4±10.2 | 77.4±9.1 | 85.7±6.4 | 62.2±5.6 |
| | 4→3→2 | 78.2±8.6 | 69.3±6.7 | 71.2±6.5 | 62.7±4.8 |

a : Mean value from 5 replications

무 보드의 경우 가압압력이 40→30→20kgf/cm²일 때, 낙엽송 보드는 40→20→10kgf/cm²일 때, 잣나무 보드는 50→40→30kgf/cm²일 때 등 다양한 경우의 가압압력 조건에서 높은 휨강도 값을 나타내어, 휨강도는 가압압력의 영향보다 열압시간에 의해 변화가 있음을 알 수 있었다. 이와 강(1998)은 요소수지 연질왕겨 보드를 제조한 후 휨강도를 측정하고 열압시간이 증가함에 따라 휨강도가 증가하였다고 보고한 바 있다. 또한 김(1997) 폐지 슬러지와 신문 고지를 이용하여 MDF를 제조하고 물성을 조사한 바 압력, 온도 및 압착시간이 증가함에 따라 인장강도와 휨강도가 증가하는 경향이 있다고 보고하였다. 한편 이와 윤(1994)은 나왕톱밥에 PDMI 수지를 첨가하여 톱밥보드를 제조한 후 휨강도를 조사한 결과, 비중 0.6, 수지첨가량 5% 일 때 휨강도는 36.4kgf/cm², 비중 0.8, 수지첨가량 9%일 때 휨강도는 152.9kgf/cm² 라고 밝힌 바 있어 본 연구에서 제조한 톱밥보드와 제조조건이 다르기 때문에 정확한 비교는 할 수 없으나 거의 비슷한 휨강도 값을 나타냈다. 수종 간 비교에서는 잣나무의 경우 가압압력 50→40→30kgf/cm²의 조건에서 제조된 보드의 휨강도가 약간 컸으며, 낙엽송으로 제조된 보드의 경우 열압시간이 4→3→2분의 경우가 다른 수종에 비해서 가장 작았다. 이러한 휨강도 값은 KS F 3104 PB 품질기준을 만족시키지 못했다. 본 실험의 경우 수지첨가량 10%, 목표 밀도 0.6g/cm³, 첨가제의 무 첨가에서 제조한 잣나무 톱밥 보드의 휨강도는 톱밥 자체의 재료적 한계성을 고려할 때 비교적 우수한 휨강도로 판단되며 이를 부가가치가 높은 상품의 개발로 용도를 찾아야 할 것으로 생각된다.

4) 경도

수종, 가압 압력 및 열압 시간별로 제조된 보드의 브리넬경도를 측정한 결과는 Table 5와 같다.

각 수종별로 제조된 보드의 경도는 대체적으로 열압시간이 감소함에 따라 완만히 감소하였으며 모두 열압시간 7→6→5분의 조건에 있어서 경도가 가장 큰 경향을 보이고 있으며, 총 열압시간이 작을수록 경도는 감소하는 것으로 나타났다. 열압시간 7→6→5분의 경우 소나무와 잣나무로 제조된 보드는 가압압력 40→30→20kgf/cm², 낙엽송은 30→20→10kgf/cm²일 때 가장 큰 경도 값을 나타냈다. 가압압력에 따른 경도의 차이는 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었으며, 수종 간 비교에서는 낙엽송의 경도가 약간 작은 것으로 나타났다.

Table 5. Brinell hardness in various hot pressing conditions

(Unit : kg/cm²)

| Species | Press time (3-steps,min.) | Conditions of hot-press pressure(3-steps, kgf/cm ²) | | | |
|----------------------|------------------------------|---|------------|------------|------------|
| | | 50→40→30 | 40→30→20 | 40→20→10 | 30→20→10 |
| <i>P. densiflora</i> | 7→6→5 | 238.4 ^a ±20.3 | 243.5±25.8 | 242.6±22.6 | 234.2±22.5 |
| | 6→5→4 | 229.9±25.6 | 234.2±24.6 | 238.5±25.1 | 209.5±23.1 |
| | 5→4→3 | 201.4±24.9 | 226.9±21.3 | 239.2±28.7 | 181.1±20.5 |
| | 4→3→2 | 193.4±18.9 | 208.1±15.6 | 232.8±18.6 | 193.4±18.4 |
| <i>L. kaemferi</i> | 7→6→5 | 176.9±20.3 | 225.8±21.3 | 216.5±20.4 | 227.2±16.5 |
| | 6→5→4 | 168.3±18.7 | 213.5±15.6 | 215.7±21.6 | 225.8±23.5 |
| | 5→4→3 | 181.1±18.5 | 189.3±17.5 | 217.6±18.6 | 220.3±20.6 |
| | 4→3→2 | 167.4±17.6 | 181.1±18.6 | 204.4±24.1 | 215.6±18.4 |
| <i>P. koraiensis</i> | 7→6→5 | 229.9±22.6 | 260.1±22.5 | 220.5±16.8 | 242.6±19.6 |
| | 6→5→4 | 192.7±18.5 | 221.7±24.3 | 217.6±15.7 | 234.2±18.7 |
| | 5→4→3 | 219.5±15.7 | 256.4±25.8 | 205.5±20.3 | 235.7±20.3 |
| | 4→3→2 | 187.7±18.6 | 217.6±16.5 | 201.9±16.9 | 217.6±19.8 |

a : Mean value from 5 replications

나. 밀도 및 분말 페놀수지 첨가량의 영향

1) 흡수율

제조된 보드를 20±1℃ 물에 24시간 침지한 후 보드의 밀도 및 수지 첨가량에 따른 흡수율을 측정 한 결과는 Figs. 1, 2와 같다. 보드의 밀도가 0.39g/cm³에서 0.69g/cm³로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 흡수율은 167.6%~82.6%, 낙엽송으로 제조된 보드는 152.5%~64.3%, 잣나무로 제조된 보드는 179.0%~80.7%로 보드의 밀도가 증가함에 따라 흡수율은 감소하였다. 이는 밀도가 높을수록 보드의 조직이 치밀하여 수분흡수의 통로인 공극이 적어서 흡수율이 낮은 것으로 판단된다. 이와 윤(1994)은 MDI 수지로 제조된 톱밥보드의 물성조사에서 선펡창과 물 흡수량은 비중이 증가함에 따라 감소한다고 하였으며, Yoshida 등(1986)도 나왕으로 제조된 보드의 물성조사에서 흡수율은 밀도가 증가함에 따라 직선적으로 감소하였다고 보고 한 바 있어 본 연구결과도 이와 일치된 경향을 나타냈다. 수종 간 비교에서는 낙엽송으로 제조된 보드의 흡수율이 약간 적게 나타났다.

또한 수지 첨가량이 5%~20%로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 흡수율은

129.4%~80.6%, 낙엽송으로 제조된 보드는 122.7%~34.2%, 잣나무로 제조된 보드는 132.9%~81.1%로 수지 첨가량이 증가함에 따라 흡수율은 감소하였다. 이러한 결과는 같은 밀도에서도 수지 첨가량이 많을수록 수지가 수분의 통로인 공극을 막아 수분의 흡수를 방해하였기 때문으로 여겨진다. 이와 윤(1994)은 톱밥보드의 수지 첨가량과 치수안정성과는 통계적 유의성이 인정되어 수지첨가량이 3%에서 9%로 증가함에 따라 물 흡수량은 소하였다고 보고 한 바 있어 본 연구결과도 이와 같은 경향이였다. 수종 간 비교에서는 낙엽송으로 제조된 보드의 흡수율이 약간 적게 타났다.

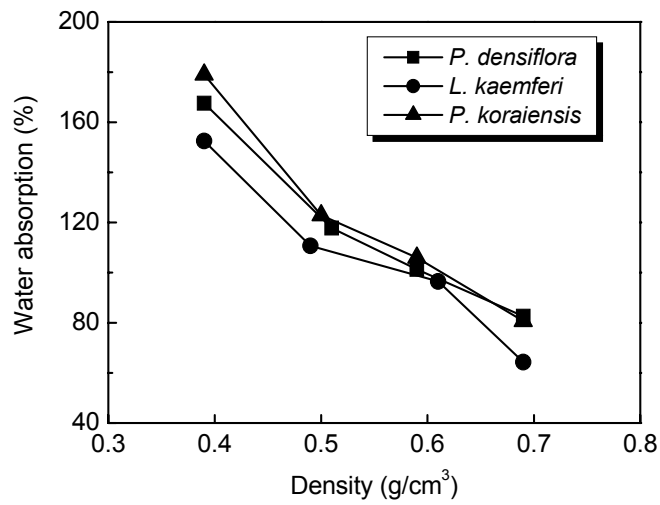


Fig. 1. Relationships between water absorption and density of board(resin content 10%).

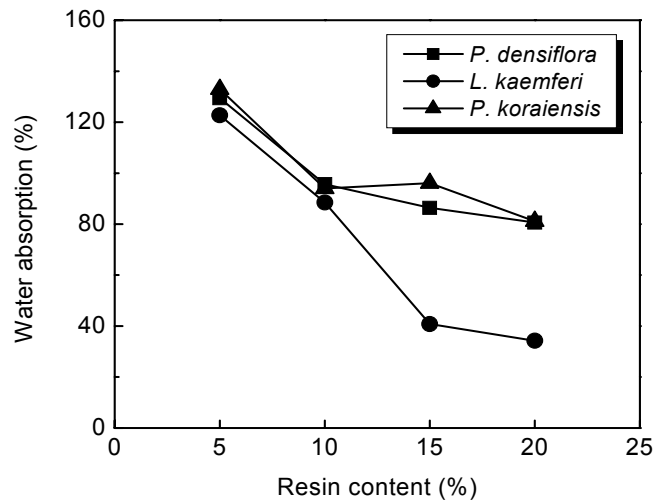


Fig. 2. Relationships between water absorption and resin content of board(density 0.6 g/cm³).

2) 두께 팽윤율

수중별로 제조된 보드를 20±1℃ 물에 24시간 침지한 후 보드의 밀도 및 수지 첨가량에 따른 두께 팽윤율을 측정된 결과는 Figs. 3, 4와 같다.

보드의 밀도가 0.39g/cm³에서 0.69g/cm³로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 두께 팽윤율은 7.2%~15.8%, 낙엽송으로 제조된 보드는 7.4%~14.9%, 잣나무로 제조된 보드는 7.0%~11.9%로 보드의 밀도가 증가함에 따라 두께 팽윤율은 증가하였다. 일반적으로 동일한 수지첨가량으로 제조된 보드의 경우 보드의 비중이 증가함에 따라 치수안정성이 나빠지는 것이 일반적인 견해이다(Sun *et al.*, 1994). Roffael 과 Rauch(1972)는 페놀수지를 사용하여 비중 0.5에서 0.9까지 파티클보드의 두께 팽윤율을 30분에서 15일 동안 침지 시험하여 조사한 결과, 비중 0.5에서 0.7까지는 시간이 증가할수록 두께 팽윤율이 증가하는 경향을 보였으며, 비중0.7이상에서는 침지시간 24시간 이하에서 비중0.7이하보다 두께 팽윤율이 작게 나타났다고 하였다. 또한 Yoshida 등(1986)도 파티클보드의 두께 팽윤율은 밀도가 증가함에 따라 완만히 증가하였으며, 아세틸렌을 처리하지 않은 파티클로 제조된 보드가 높았다고 보고 한 바 있어 본 연구 결과도 이와 일치하였다. 수종 간 비교에서는 잣나무로 제조된 보드의

두께 팽창율이 약간 적게 나타났다.

한편 수지의 첨가량에 따른 두께 팽윤율은 수지 첨가량이 5%에서 20%로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 두께 팽윤율은 17.3%~7.6%, 낙엽송으로 제조된 보드는 22.3%~6.2%, 잣나무로 제조된 보드는 29.1%~6.8%로 동일한 밀도에서 수지 첨가량이 증가할수록 두께 팽윤율은 감소하였다. 이는 접착제의 첨가량이 증가하면 입자간의 결합력이 상승하여 입자 팽윤에 대한 저항력이 증대했기 때문으로 생각된다. 이와 윤(1994)은 MDI수지로 수지 첨가량을 달리하여 제조된 톱밥보드의 두께 팽윤율이 수지 첨가량 3%는 수지첨가량 9%보다 2.2배 높았다고 하였으며, 이는 Sund(1994)의 연구결과와 유사한 경향이었다고 보고 한 바 있다. 또한 Kawai 등(1986)도 보드의 흡수두께 팽윤율은 수지 첨가율의 증가와 함께 현저히 저하되어 치수안정성이 개선되었다고 보고 한 바 있어 본 연구결과와 일치하였다. 수종별 두께 팽윤율 비교에서는 수종 간 뚜렷한 차이를 확인할 수 없었으나 잣나무를 이용하여 수지 첨가량 5%로 제조된 보드의 두께 팽윤율이 29.1%로 가장 큰 것으로 나타났다.

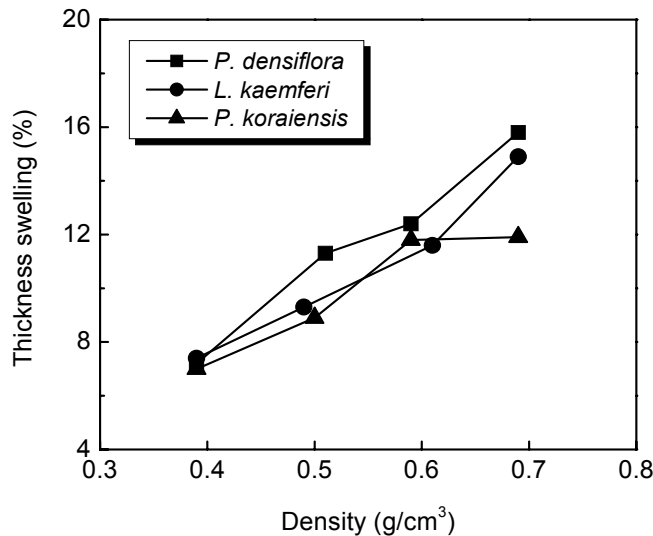


Fig. 3. Relationships between thickness swelling and density of board.

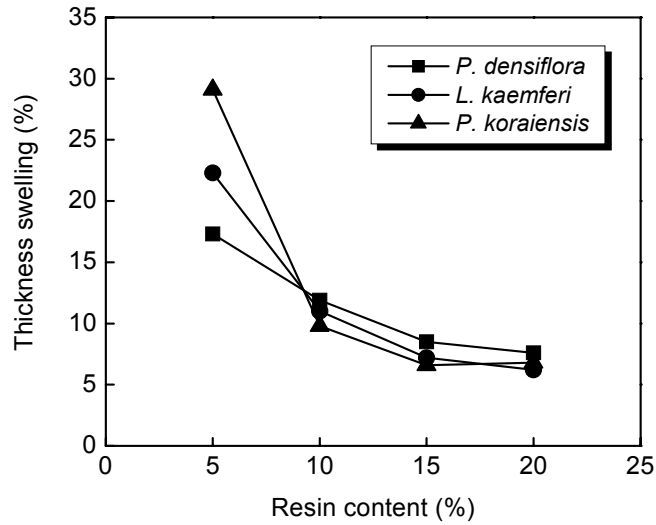


Fig. 4. Relationships between thickness swelling and resin content of board.

3) 휨강도

각 수종별로 제조된 보드의 밀도 및 수지 첨가량에 따른 휨강도를 측정한 결과는 Figs. 5, 6과 같다. 보드의 밀도가 $0.39\text{g}/\text{cm}^3$ 에서 $0.69\text{g}/\text{cm}^3$ 로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 휨강도는 $28.7\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 108.0\text{kgf}/\text{cm}^2$, 낙엽송으로 제조된 보드는 $22.3\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 94.7\text{kgf}/\text{cm}^2$, 잣나무로 제조된 보드는 $23.3\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 125.9\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 보드의 밀도가 증가함에 따라 휨강도 도 증가하였다. 이와 윤(1994)은 MDI수지로 제조된 톱밥보드는 비중이 증가할수록 휨강도도 증가한다고 하였으며, Yoshida 등(1986)도 나왕으로 제조된 파티클보드는 밀도가 증가할수록 휨강도와 휨 탄성계수도 증가하였다고 보고 한 바 있어 일반소재의 특성과 같은 경향이었으며 본 연구에서도 이와 일치된 결과를 나타냈다. 수종 간 비교에서는 잣나무로 제조된 보드의 휨강도가 약간 크게 나타났다.

한편, 수지 첨가량에 따른 휨강도는 수지 첨가량이 5%에서 20%로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 휨강도는 $47.7\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 137.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 낙엽송으로 제조된 보드는 $65.4\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 131.3\text{kgf}/\text{cm}^2$, 잣나무로 제조된 보드는 $72.9\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 156.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 동일한 밀도에서 수지 첨가량이 증가함에 따라 휨강도는 증가하였다. 이러한 결과는 보

드 제조 시 수지 첨가량을 많이 할수록 시료간의 결합력이 증대되어 휨강도가 증가한다고 밝힌 이와 윤(1994), Kawai 등 (1986) 및 박 등(2001)의 보고와 같은 경향이 있었다. 한편 수지 첨가량 15%와 20%일 때의 휨강도는 전 수종별로 서로 비슷한 값을 나타내어 수지 첨가량 15%이상의 혼합은 톱밥보드 제조 시 휨강도와 관련하여 의미가 없는 것으로 판단된다. 수종 간 비교에서는 잣나무로 제조된 보드의 휨강도가 약간 큰 것으로 나타났다.

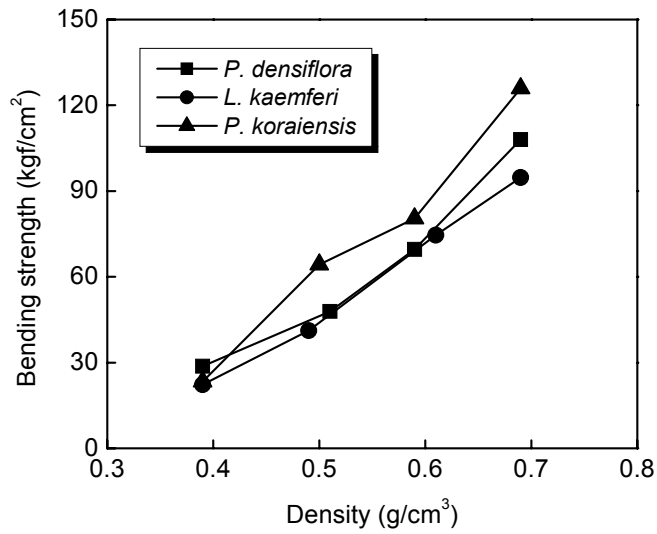


Fig. 5. Relationships between bending strength and density of board.

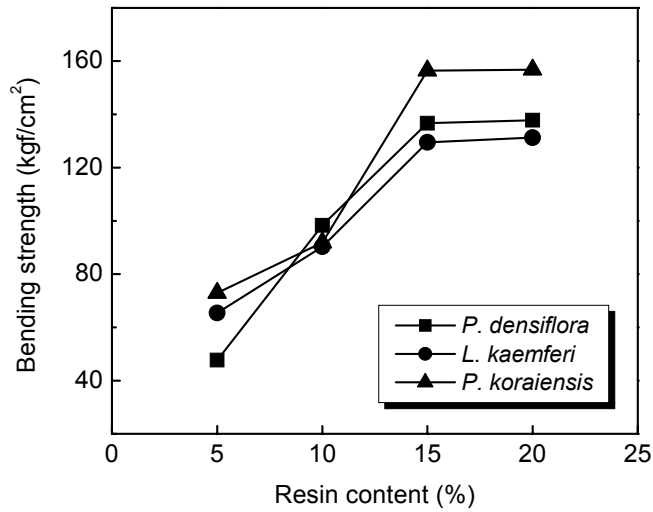


Fig. 6. Relationships between bending strength and resin content of board.

4) 경도

제조된 보드의 밀도 및 수지 첨가량에 따른 브리넬 경도를 측정된 결과는 Figs. 7, 8과 같다. 보드의 밀도가 0.39g/cm³에서 0.69g/cm³로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 경도는 225.8kg/cm²~365.2kg/cm², 낙엽송으로 제조된 보드는 205.2kg/cm²~346.1kg/cm², 잣나무로 제조된 보드는 260.1kg/cm²~416.3kg/cm²로 보드의 밀도가 증가함에 따라 경도도 증가하였다. 수종 간 비교에서는 잣나무로 제조된 보드의 경도가 약간 크게 나타났다. 일반적으로 목재의 비중이 증가함에 따라 경도가 증가하는데(伏谷, 1985 ; 北原, 1977) 본 연구에서도 같은 결과를 보였다. 한편, 수지 첨가량에 따른 보드의 경도는 수지 첨가량이 5%~20%로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 경도는 213.5~269.2kg/cm², 낙엽송으로 제조된 보드는 234.2~297.9kg/cm², 잣나무로 제조된 보드는 221.7~299.5kg/cm²로 동일한 밀도에 있어서 수지 첨가량이 증가함에 따라 경도는 완만히 증가하였다. 수종 간 비교에서는 수지 첨가량에 따라 별 차이가 없이 비슷한 경도 값을 나타냈다.

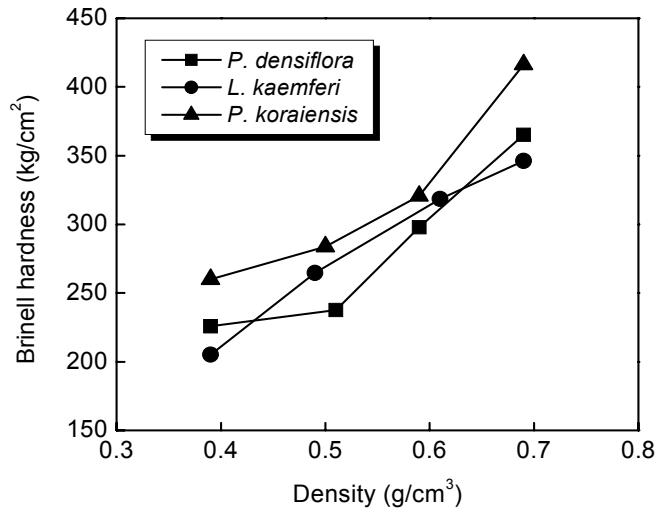


Fig. 7. Relationships between brinell hardness and density of board.

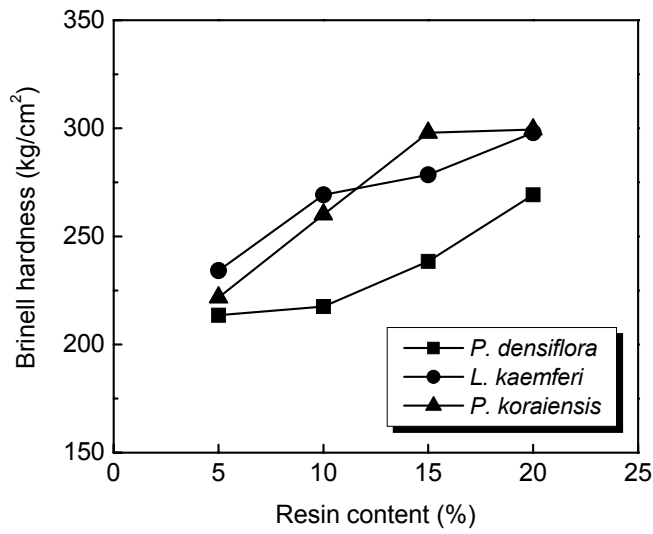


Fig. 8. Relationships between brinell hardness and resin content of board.

4. 결론

간벌재를 이용하여 톱밥보드를 제조하고 가압압력 및 열압시간, 밀도 및 분말폐놀 수지첨가량이 보드의 물성에 미치는 영향을 검토하였다. 두께 팽윤율과 흡수율은 열압시간이 감소함에 따라 증가하였으며 가압압력 40→30→20kgf/cm²일 때 비교적 적은 값을 나타냈다. 휨강도 및 경도는 열압시간이 감소함에 따라 감소하였으며 가압압력에 따른 차이는 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었다. 수종 간 비교에서는 두께 팽윤율은 소나무로 제조된 보드, 휨강도는 잣나무로 제조된 보드, 경도는 낙엽송으로 제조된 보드가 비교적 높은 값을 나타냈다.

이러한 결과로 톱밥보드의 물성은 가압압력 보다 열압시간에 의해 영향을 받음을 알 수 있었다. 흡수율은 보드의 밀도 및 수지 첨가량이 증가할수록 감소하였으며, 낙엽송으로 제조된 보드의 흡수율이 약간 적었다. 두께 팽윤율은 보드의 밀도가 증가함에 따라 증가하였으며, 수지 첨가량이 많을수록 감소하였다. 휨강도는 보드의 밀도 및 수지 첨가량이 증가할수록 증가하였으며, 잣나무로 제조된 보드의 휨강도가 약간 컸다. 경도는 보드의 밀도 및 수지 첨가량이 증가할수록 증가하였으며, 수종간의 정도 값은 뚜렷한 차이가 없었다.

5. 인용문헌

1. Bulleit, W. M. 1985. Reinforcement of wood materials : A review. Wood and Fiber Science 16(3): 391~397.
2. Kawai, S., H. Suda, M. Nakaji and H. Sasaki. 1986. Production technology for low-density particleboard II. effect of particle moisture and resin content on board properties. Mokuzai Gakkaishi 32(11): 876~882.
3. Kollmann, F. P., E. W. Kuenzi and A, J. Stamm. 1975. Principle of wood science and thchnology: 613~622.
4. Lee, P. W. and J, S. Suh. 1987. A study on the mechanical and physical properties of sawdust board combined with plastic chip. Mokchae Konghak 15(3): 44~55.

5. Park, H. and P, W. Lee. 1986. Effect of wood particle and steel wire composition on physical and mechanical properties of the board. Mokchae Konghak 14(1): 3~44.
6. Roflael, E. and W. Rauch. 1972. Influence of density on the swelling behavior of phenolic - resin -bonded particleboard. Holz Roh - werkst 30(5): 178~181.
7. Spaun, F. D. 1981. Reinforcement of wood with fiberglass. Forest Products Journal 31(4): 26~33.
8. Sun, B. C. H., R. N. Hawke and M. R. Gale. 1994. Effect of polyisocyanate level on physical properties of wood fiber composite materials. Forest Products Journal 44(4): 53~58.
9. Yoshida, Y., S. kawai, Y. Imamura, K. Nishimoto, T. Satou and M. Nakaji. 1986. Production technology for acetylated low-density particleboard I. Mechanical properties and dimensional stability. Mokuzaigakkaishi 32(12): 965~971.
10. 김봉용. 1997. 제지 슬러지와 신문 고지를 이용한 MDF의 제조 및 물성. 목재공학 25(1): 50~55.
11. 박종영 외. 2001. 목질계 생활 폐기물을 이용한 건축자재개발. 농림기술개발과제 최종연구보고서. 1~504.
12. 산림청. 2001. 임업통계연보 제31호.
13. 서진석. 1987. 폴리 프로필렌사 칩과 배향사를 결체한 톱밥보드의 물리적 및 기계적성질에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
14. 이원희, 박상진. 1997. 페타이어를 이용한 목질계 복합 패널의 연구 -열압조건에 의한 재질 특성-. 목재공학 25(4): 29~38.
15. 이필우, 윤형운. 1994. MDI(methylene diphenyl diisocyanate)수지를 이용한 톱밥보드의 물성(I) - 보드비중, 수지첨가량, 매트 함수율에 관하여-. 한국 가구학회지 5(2): 51~61.
16. 이필우, 이영규, 김현중. 2002. 제지 슬러지 - 합성섬유 - 목섬유 복합재의 개발. 목재공학 30(1): 1~10.
17. 이화형, 강춘원. 1998. 요소수지 연질 왕겨보드의 개발. 목재공학 26(4): 50~55.
18. 伏谷賢美, 1985. 木材の物理. 文永堂.
19. 北原覺一. 1977. 木材物理. 森北出版.

제2절 우드세라믹 제조용 톱밥보드의 수지함침 처리기술 개발

1. 서론

톱밥은 목재의 절삭과정에서 생산되는 부산물로서 그동안 주로 축산폐수 정화용, 유기질비료 제조용 및 연료로 사용되어 왔다. 그러나 톱밥은 재료의 특성상 각종 성형재의 생산에 적합한 형태를 갖추고 있기 때문에 패널 등 다양한 모양의 상품을 제조하여 부가가치가 높은 용도로 사용한다면 원료의 이용 면에서 국산재활용에 적합한 산업으로 발전할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 방법 중 하나로 간벌재로 톱밥보드를 만든 후 열 경화성 수지를 함침 시켜 고온에서 소성 하여 우드세라믹을 제조하는 연구가 진행되고 있다(Oh, *et al.*, 2000 ; 오, 2001, 2002 ; 오 등 2000). 우드세라믹은 목재의 성질을 유지하면서 숯보다 단단하고 내부식성, 내구성, 원적외선 방사 및 전자파 차폐 효과가 있는 다공질 탄소재료로서 앞으로 공업적으로 이용이 기대되는 새로운 물질이다(Hokkirigawa *et al.*, 1995, 1996a, 1996b ; Kano *et al.*, 1996 ; Kasai *et al.*, 1996). 또한 재료의 이용 면에서 저급재, 간벌재 및 폐잔재를 가공하여 활용할 수 있을 것으로 생각되어 친환경적 재료로 인정을 받을 것으로 판단된다. 이러한 우드세라믹의 성질은 함침재의 밀도, 수지함침율 및 소성온도 등에 따라 영향을 많이 받으며, 특히 함침재의 불균일한 함침은 탄화과정에서 할렬이나 틀어짐의 원인이 되기 때문에 함침방법 및 기술에 대한 연구가 필요하리라 생각된다. 그러므로 우드세라믹 재료의 균일한 수지 함침과 함침 시간의 단축을 위하여 함침 시 초음파진동 처리를 병행함으로써 함침 효과를 얻기 위한 연구가 진행되고 있다(Okabe & Saito, 1995a, 1995b ; Okabe *et al.*, 1996a, 1996b).

일반적으로 수지의 함침은 주로 침목 등의 방부처리 목적으로 이용되어 왔으나 최근에는 내수, 내습성을 증가시키고 WPC, 화장단판 등 강화처리를 함으로써 고부가가치의 목재를 개발하는데 이용되고 있다. 이러한 함침방법에는 감압법, 가압법 등이 주로 이용되어 왔지만 불균일한 수지주입, 장시간의 함침시간, 감압 시 고액의 설비투자 등 어려움이 있어, 감압함침 시 초음파진동처리를 병행함으로써 수지함침 효율은 높일 수 있는 새로운 수지함침 방법에 대한 연구가 진행되고 있다(Okabe &

Saito, 1995a, 1995b ; Okabe *et al.*, 1996a, 1996b).

따라서 본 연구에서는 다양한 함침방법에 의한 함침기술의 개발을 목적으로 국산 간벌재로 보드를 제조한 후 상압법, 감압법, 감압 후 상압법 및 감압·초음파 병행 후 상압법으로 함침하고, 함침방법 및 함침시간에 따른 함침재의 물성을 조사하였다. 또한 보드제조 시 밀도 및 페놀수지침가량을 달리하여 이들이 수지함침율에 미치는 영향 및 함침 시 초음파 진동처리 효과를 구명하여 우드세라믹 제조용 함침재의 이용에 대한 기초 자료로 활용하고자한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에서는 소나무(*P. densiflora*), 낙엽송(*L. kaemferi*) 및 잣나무(*P. koraiensis*) 간벌재를 공시재료로 사용하였다.

나. 보드제조

수종별로 둥근톱을 이용하여 톱밥을 만든 후 입자의 크기를 1mm이하로 선별하고 함수율을 6%이하로 조절하였다. 보드를 제조하기 위하여 분말페놀수지와 톱밥을 함석통에 넣고 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣은 다음 시료 상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26×26×1.4cm의 보드를 제조하였다. 보드제조 조건은 밀도에 따라 0.4, 0.5, 0.6, 0.7g/cm³, 수지 함침율에 따라 5, 10, 15, 20%의 보드를 제조하기 위하여 톱밥과 수지의 중량을 조절하였으며, 열압온도 190℃, 가압압력 40→20→10kgf/cm²(3단 가압력), 가압시간 6→5→4분(3단 가압시간)으로 열압하여 10장씩 제조하였다. 보드제조 시 사용한 접착제는 분말페놀수지(코오롱 유화(주) KNB - 100PL)로서 용점 80 ~95℃, 수지 고형분 99% 이었다. 열압 과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의해서 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 시료의 상부와 하부면 테프론 판을 깔아 보드의 분리를 쉽게 하였다.

다. 함침

제조된 톱밥보드를 수종별로 12×12×1.4cm의 크기로 채단한 다음 항온항습기(20±

1℃, 65±5%)에서 3주간 조습 처리한 후 시험조건을 일정하게 하기 위하여 밀도 0.6±0.01g/cm³ 15개씩 선발하였다. 함침방법 및 함침시간에 따른 함침 보드의 물성을 조사하기 위하여 상압 20분, 감압 20분, 감압10분 후 상압 10분, 감압·초음파병행 10분 후 상압 10분 등 4가지 함침방법으로 4반복 실시하여 각 방법별로 총 80분씩 함침 하였으며, 함침방법 및 조건은 Table 1과 같다. 또한 보드의 밀도 및 분말 페놀수지 첨가량에 따라 감압 10분 후 상압 10분으로 3반복, 감압·초음파 병행 10분 후 상압 10분으로 3반복, 총 60분 함침 시켰다. 본 연구에서 사용한 감압·초음파 함침 장치는 함침탱크, 초음파 진동부, 초음파 발진부, 진공펌프 등으로 구성되어있다<사 진 2>. 준비된 시편을 액상 페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣고 1기압에서 주파수 28kHz, 출력 564W로 각 조건별로 함침한 후 60℃에서 8시간, 100℃에서 10시간, 135℃에서 8시간 건조 및 경화시킨 다음 항온항습기 에서 조습처리 한 후 물성 조사 용 시편으로 사용하였다. 함침에 사용한 액상 페놀수지(코오롱 유화(주) KPD-L777)의 특성은 고형분 51 ~ 53%, 점도 45 ~ 65cps, 경화시간 80 ~ 95sec이었다.

Table 1. Methods of impregnation and total impregnation time

(unit : min.)

| Number of times Impregnation type | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. Nonpressure | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 2. Vacuum pressure | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 3. Vacuum pressure Nonpressure | 10 10 | 20 20 | 30 30 | 40 40 |
| 4. Vacuum pressure with ultrasonic vibration Nonpressure | 10 10 | 20 20 | 30 30 | 40 40 |

라. 물성조사

함침방법 및 함침시간에 따른 함침 보드의 물성을 조사하기 위하여 함침 전 보드의 무게, 길이, 두께를 측정 한 다음 함침 후 항온항습기 에서 조습처리 한 후 KS F 3104에 준하여 보드의 무게 및 치수를 측정하여 밀도변화, 수지함침율, 두께 및 길이 증가율을 계산하였다. 또한 휨강도는 만능강도시험기(Autograph, AGS - 10KN,

Shimadzu)를 이용하여 하중속도 5mm/min. 조건으로 측정하였으며, 경도는 브리넬 경도기를 이용하여 강구직경 10mm, 하중 500kg의 조건으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 함침방법 및 함침시간의 영향

1) 밀도변화 및 수지함침율

각 수종별로 제조된 톱밥보드의 함침방법 및 함침시간에 따른 밀도변화는 Table 2 와 같다. 밀도 $0.6 \pm 0.01 \text{g/cm}^3$ 인 보드를 함침방법에 따라 측정한 결과, 함침 횟수가 늘

Table 2. Change of density after impregnation with phenol resin

(unit : g/cm^3)

| Species | <i>P. densiflora</i> | | | | <i>L. kameferi</i> | | | | <i>P. koraiensis</i> | | | |
|---------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1* | 2* | 3* | 4* | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0.75 ^a $\pm 0.02^b$ | 0.75 ± 0.03 | 0.76 ± 0.03 | 0.85 ± 0.04 | 0.75 ± 0.03 | 0.77 ± 0.03 | 0.74 ± 0.04 | 0.81 ± 0.04 | 0.74 ± 0.03 | 0.72 ± 0.03 | 0.75 ± 0.04 | 0.83 ± 0.04 |
| 2 | 0.75 ± 0.03 | 0.76 ± 0.03 | 0.78 ± 0.04 | 0.83 ± 0.05 | 0.76 ± 0.04 | 0.77 ± 0.03 | 0.75 ± 0.02 | 0.82 ± 0.04 | 0.71 ± 0.02 | 0.70 ± 0.03 | 0.75 ± 0.03 | 0.83 ± 0.04 |
| 3 | 0.76 ± 0.03 | 0.77 ± 0.03 | 0.80 ± 0.04 | 0.86 ± 0.05 | 0.75 ± 0.03 | 0.78 ± 0.03 | 0.75 ± 0.02 | 0.83 ± 0.04 | 0.75 ± 0.02 | 0.72 ± 0.02 | 0.76 ± 0.03 | 0.84 ± 0.04 |
| 4 | 0.78 ± 0.04 | 0.79 ± 0.03 | 0.81 ± 0.04 | 0.87 ± 0.05 | 0.77 ± 0.02 | 0.79 ± 0.03 | 0.77 ± 0.02 | 0.86 ± 0.04 | 0.76 ± 0.03 | 0.73 ± 0.03 | 0.76 ± 0.03 | 0.86 ± 0.04 |

a : Mean value from 5 replications

b : Standard deviation from 5 replications

1* : Nonpressure only

2* : Vacuum pressure only

3* : Combined vacuum pressure, Nonpressure

4* : Combined vacuum pressure with ultrasonic vibration, Nonpressure

어 총 함침시간이 증가함에 따라 밀도도 점차 증가하는 경향을 보였다. 각 수종별로 제조된 보드 모두 상압함침, 감압함침 및 감압함침 후 상압함침에 의한 밀도변화는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었으나, 감압·초음파병행 함침 후 상압 함침에 의한 밀도가 소나무 보드의 경우 0.85 ~ 0.87g/cm³, 낙엽송 보드의 경우 0.84 ~ 0.86g/cm³, 잣나무 보드는 0.83 ~ 0.86g/cm³로 다른 함침방법에 비해 높게 나타났는데, 이는 함침량이 많았기 때문으로 생각되어 감압 함침 시 초음파 병행의 효과를 확인 할 수 있었다. 한편 수종 간 함침 후 보드의 밀도 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 3은 각 수종별로 제조된 보드의 함침방법 및 함침시간에 따른 함침율을 나타냈다. 밀도가 같은 보드로 실험한 결과 함침방법에 관계없이 함침 횟수가 늘어감에 따라 함침율도 완만히 증가하였다. 감압함침의 경우 함침 횟수가 1회에서 4회로 증가함에 따라 소나무 보드는 함침율이 32.3 ~ 46.3%, 낙엽송 보드는 37.0 ~ 45.8%, 잣나무 보드는 29.7 ~ 36.1%로 4가지 함침방법 중 함침율이 가장 낮아 감압

Table 3. Percentage of resin impregnation of board after impregnation with phenol resin

(unit : %)

| Species Impregnation type Number of times | <i>P. densiflora</i> | | | | <i>L. kameferi</i> | | | | <i>P. koraiensis</i> | | | |
|---|--|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1* | 2* | 3* | 4* | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 33.1 ^a ±4.3 ^b | 32.3 ±4.7 | 45.0 ±5.6 | 52.7 ±5.9 | 39.6 ±4.7 | 37.0 ±3.6 | 47.0 ±5.2 | 51.3 ±7.3 | 32.4 ±4.7 | 29.7 ±3.6 | 42.3 ±4.6 | 57.9 ±6.9 |
| 2 | 46.8 ±5.3 | 38.5 ±4.6 | 50.5 ±6.4 | 64.5 ±6.3 | 43.1 ±5.2 | 42.2 ±3.9 | 51.6 ±6.5 | 61.9 ±7.2 | 38.4 ±5.3 | 29.4 ±3.7 | 45.0 ±6.2 | 66.3 ±5.0 |
| 3 | 46.2 ±4.6 | 38.7 ±4.2 | 48.3 ±5.3 | 66.1 ±7.2 | 46.4 ±5.3 | 42.3 ±3.7 | 52.5 ±6.3 | 62.1 ±4.7 | 38.6 ±5.8 | 30.1 ±3.7 | 46.8 ±5.3 | 68.5 ±7.2 |
| 4 | 48.2 ±7.3 | 46.3 ±6.2 | 51.1 ±6.3 | 66.3 ±7.3 | 47.7 ±4.6 | 45.8 ±6.3 | 52.7 ±5.3 | 65.6 ±7.0 | 38.6 ±3.6 | 36.1 ±2.7 | 47.3 ±5.2 | 68.5 ±6.3 |

a : Mean value from 5 replications

b : Standard deviation from 5 replications

1*, 2*, 3*, 4* : See table 2

만으로 함침 할 경우 함침 효과가 별로 없는 것으로 나타났다. 한편 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침의 함침율은 4회 반복의 경우 65% 이상으로 다른 함침방법에 비해 높은 함침율을 보였으며, 감압 후 상압 함침 보다 소나무 보드는 15.2%, 낙엽송 보드는 12.9%, 잣나무 보드는 21.2%의 높은 함침율을 보여 함침 시 초음파 처리 효과가 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 예비 실험결과 6회 반복의 함침율과 비슷한 결과를 보여, 65%정도의 함침율을 얻기 위해서는 4회 반복으로 충분 할 것으로 판단되나, Oh 등(2000)은 Aomori Hiba로 제조된 보드의 수지함침율 조사에서 2시간 함침 시 밀도 0.45g/cm³일 때 90%, 0.65g/cm³일 때 60%의 함침율을 나타냈다고 보고 한 바 있어 본 연구 결과와 비슷하였으며, 함침 시간의 증가와 초음파 출력의 변화를 통해서 함침율을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. Okabe 등(1996a)은 MDF를 재료로 감압함침과 감압·초음파 병행 함침에서 함침시간이 증가함에 따라 함침율은 완만히 증가하였고, 감압·초음파 병행 함침의 함침율이 약 10%정도 높아 초음파 진동처리의 효과가 있음을 밝힌바 있다. 또한 서(2001)는 침엽수 단판의 수지 함침 연구에서 상압에서 24시간 침지한 잣나무의 페놀수지 함침율이 단판 두께 1.2mm는 50.2%, 3.2mm는 26.1%로서 두꺼운 단판의 경우 진공, 가압침지 처리가 요구된다고 하였다. 한편 오 등(2000)은 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적 성질조사에서 우드세라믹의 밀도가 증가함에 따라 체적 고유저항율과 소비전력이 감소하였다고 하였는데, 이는 페놀수지 함침율에 따라 우드세라믹의 성질이 다르기 때문이라고 보고한 바 있다.

수종 간 비교에서는 잣나무 보드가 상압함침, 감압함침 및 감압 후 상압함침 에서는 다른 수종에 비하여 함침율이 낮았으나, 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침에 의한 함침율은 상대적으로 높았다.

2) 치수변화

밀도 0.6±0.01g/cm³인 보드의 함침 전, 후의 길이 및 두께를 측정하여 함침방법 및 함침시간에 따른 길이 및 두께 증가율을 측정한 결과는 Table 4, 5와 같다. 함침방법 중 감압·초음파 병행 후 상압함침은 함침 반복 횟수가 늘어 총 함침시간이 증가함에 따라 길이 증가율이 증가하였으나, 다른 함침방법에 의한 길이 증가율은 일정한 경향이 없었다. 또한 감압함침의 경우 함침횟수에 따른 길이 증가율은 소나무로 제조된 보드는 0.6 ~ 1.1%, 낙엽송으로 제조된 보드는 1.1 ~ 1.3%, 잣나무로 제조된

보드는 0.5 ~ 0.7%로 4가지 함침방법 중 가장 낮았고, 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침의 길이 증가율이 4 반복 실시의 경우 전 수종 모두 1.5% 이상을 보여 가장 큰 것으로 나타나 함침율과 같은 경향임을 알 수 있었다. 또한 수종 간 길이 증가율 비교에서 낙엽송으로 제조된 보드가 모든 함침 방법에서 가장 큰 것으로 나타났다. 한편 두께 증가율은 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침의 경우 소나무로 제조된 보드가 11.0 ~ 14.1%, 낙엽송으로 제조된 보드는 11.2 ~ 17.6%, 잣나무로 제조된 보드는 12.8 ~ 16.7%로 길이 증가율과 마찬가지로 함침 횟수가 늘어 총 함침 시간이 증가함에 따라 증가하였으나 다른 함침 방법에 의한 두께 증가율은 일정한 경향이 없었다.

특히 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침의 경우 다른 함침방법에 의한 두께 증가율보다 많은 두께 증가율을 보여 함침율과 관련이 있음을 알 수 있었다. 수종별 두께 증가율 차이는 소나무로 제조된 보드가 4 반복 함침 시 약간 작은 것으로 나타났다. 오(2002)는 삼나무 간벌재로 제조된 보드의 함침 후 두께 및 길이 증가율을 감압·초음파 함침으로 1기압에서 2시간 처리하여 조사하였던 바, 증기처리를 한 보드의 두께 및 길이 증가율은 16.3%, 1.42%이었으며 증기처리를 하지 않은 보드는

Table 4. Linear shrinkage after impregnation with phenol resin

(unit : %)

| Species Impregnation type Number of times | <i>P. densiflora</i> | | | | <i>L. kameferi</i> | | | | <i>P. koraiensis</i> | | | |
|---|--|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1* | 2* | 3* | 4* | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0.7 ^a ±0.03 ^b | 0.6 ±0.02 | 1.3 ±0.03 | 1.2 ±0.04 | 1.2 ±0.03 | 1.1 ±0.02 | 1.5 ±0.05 | 1.5 ±0.03 | 0.7 ±0.03 | 0.7 ±0.03 | 0.9 ±0.03 | 1.1 ±0.04 |
| 2 | 1.2 ±0.03 | 0.7 ±0.04 | 1.4 ±0.06 | 1.3 ±0.03 | 1.5 ±0.04 | 1.2 ±0.03 | 1.7 ±0.05 | 1.5 ±0.05 | 0.8 ±0.03 | 0.6 ±0.02 | 1.0 ±0.04 | 1.3 ±0.05 |
| 3 | 1.1 ±0.04 | 0.6 ±0.02 | 0.9 ±0.02 | 1.4 ±0.03 | 1.5 ±0.03 | 1.1 ±0.04 | 1.8 ±0.02 | 1.9 ±0.04 | 0.8 ±0.02 | 0.5 ±0.02 | 0.8 ±0.03 | 1.5 ±0.05 |
| 4 | 1.3 ±0.05 | 1.1 ±0.03 | 1.1 ±0.03 | 1.5 ±0.05 | 1.4 ±0.04 | 1.3 ±0.04 | 1.7 ±0.03 | 2.0 ±0.05 | 0.9 ±0.02 | 0.7 ±0.03 | 1.1 ±0.04 | 1.5 ±0.04 |

a : Mean value from 5 replications

b : Standard deviation from 5 replications

1*, 2*, 3*, 4* : See table 2

10.3%, 8.9%이었다고 보고한 바 있어 본 연구결과도 이와 비슷하였다. 또한 오(2001)는 삼나무로 제조된 우드세라믹의 성질에 관한 연구에서 보드의 밀도가 증가함에 따라 중량 감소율은 증가하였고 길이와 두께감소율은 감소하였다고 보고한 바 있는데, 이는 수지 함침율의 차이가 우드세라믹 제조 후 치수변화에 영향을 미쳤기 때문이라고 보고한바 있다.

Table 5. Thickness swelling after impregnation with phenol resin

(unit : %)

| Species | <i>P. densiflora</i> | | | | <i>L. kameferi</i> | | | | <i>P. koraiensis</i> | | | |
|---------|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1* | 2* | 3* | 4* | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 6.5 ^a ±0.7 ^b | 9.5 ±0.8 | 12.4 ±1.3 | 11.0 ±0.5 | 10.3 ±0.9 | 9.5 ±1.0 | 10.9 ±0.7 | 11.2 ±2.2 | 5.8 ±0.4 | 7.9 ±0.7 | 12.6 ±1.3 | 12.8 ±1.9 |
| 2 | 8.9 ±0.8 | 8.7 ±1.1 | 10.5 ±0.9 | 11.6 ±1.5 | 11.9 ±0.8 | 10.7 ±1.2 | 13.1 ±1.3 | 12.0 ±0.6 | 9.3 ±0.5 | 11.2 ±0.7 | 13.9 ±1.3 | 13.0 ±0.8 |
| 3 | 10.5 ±0.9 | 9.9 ±0.7 | 9.5 ±0.6 | 11.8 ±0.9 | 12.0 ±1.2 | 12.5 ±0.7 | 12.5 ±1.3 | 13.5 ±0.8 | 6.1 ±0.5 | 9.4 ±0.7 | 12.5 ±0.9 | 15.6 ±1.7 |
| 4 | 10.4 ±0.7 | 9.9 ±0.8 | 10.6 ±1.3 | 14.1 ±1.1 | 12.1 ±0.9 | 12.5 ±0.8 | 13.1 ±1.2 | 17.6 ±2.3 | 14.1 ±1.2 | 14.8 ±0.7 | 15.5 ±0.9 | 16.7 ±2.2 |

a : Mean value from 5 replications

b : Standard deviation from 5 replications

1*, 2*, 3*, 4* : See table 2

3) 휨강도 및 경도

각 수종별로 제조된 보드를 함침한 후 휨강도를 측정된 결과는 Table 6과 같다. 함침방법 중 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침에 의해 함침된 함침보드의 휨강도는 함침 횟수 3회까지는 증가하였으나 4회 함침한 함침보드의 휨강도는 오히려 감소하였다. 그러나 다른 함침방법에 의한 함침 보드의 휨강도는 함침횟수에 따라 다양

한 값을 나타내어 일정한 경향이 없었다. 또한 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침의 휨강도가 전반적으로 다른 함침방법에 의한 함침보다 높은 휨강도를 나타내 함침 후 보드의 밀도 및 함침율의 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 특히 모든 함침방법에서 1회 함침이 높은 휨강도 값을 보인 것은 함침시간이 짧아 주로 보드의 표층에 수지가 함침 되어 표층과 중층의 밀도경사가 커서 휨강도의 증가요인이 된 것으로 추정된다.

Table 6. Modulus of rupture after impregnation with phenol resin

(unit : kgf/cm²)

| Species | <i>P. densiflora</i> | | | | <i>L. kameferi</i> | | | | <i>P. koraiensis</i> | | | |
|---------|--|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1* | 2* | 3* | 4* | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 158.3 ^a ±20.4 ^b | 135.1 ±18.2 | 140.3 ±13.5 | 156.1 ±23.2 | 177.6 ±22.7 | 145.1 ±19.3 | 145.9 ±17.6 | 158.3 ±15.3 | 149.8 ±16.2 | 156.9 ±17.7 | 132.0 ±13.2 | 176.3 ±20.5 |
| 2 | 115.9 ±11.3 | 133.9 ±16.2 | 128.1 ±16.3 | 134.6 ±17.3 | 162.1 ±17.7 | 134.6 ±14.5 | 142.6 ±16.9 | 134.7 ±14.3 | 139.3 ±14.7 | 144.6 ±20.3 | 123.8 ±10.5 | 165.6 ±22.4 |
| 3 | 126.0 ±17.0 | 122.7 ±19.3 | 148.7 ±20.7 | 165.6 ±27.2 | 144.6 ±16.5 | 112.4 ±10.1 | 116.3 ±12.3 | 165.4 ±17.2 | 154.6 ±18.8 | 134.1 ±10.7 | 126.3 ±9.3 | 179.2 ±19.3 |
| 4 | 146.0 ±12.2 | 133.9 ±10.3 | 138.7 ±12.9 | 154.8 ±17.5 | 157.8 ±14.3 | 143.9 ±10.7 | 143.9 ±12.3 | 155.2 ±14.1 | 140.5 ±18.5 | 132.1 ±12.7 | 130.8 ±9.4 | 154.7 ±15.4 |

a : Mean value from 7 replications

b : Standard deviation from 7 replications

1*, 2*, 3*, 4* : See table 2

수종 간 휨강도의 비교에서는 뚜렷한 차이를 발견 할 수 없었으나 낙엽송으로 제조된 보드의 상압함침에 의한 휨강도가 비교적 크게 나타났으며, 잣나무로 제조된 보드의 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침에 의한 3회 함침의 휨강도가 179.2kgf/cm²로 가장 크게 나타났다. Table 7은 각 수종별로 함침방법 및 함침시간에 따른 브리넬 경도를 측정된 결과이다. 함침방법 중 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침에

의한 브리넬 경도 값은 소나무로 제조된 보드는 634.4 ~ 851.0kg/cm², 낙엽송으로 제조된 보드는 648.2 ~ 843.9kg/cm², 잣나무로 제조된 보드는 761.3 ~ 900.8kg/cm²로 함침 횟수가 늘어 함침시간이 증가함에 따라 브리넬 경도 값은 완만히 증가하는 경향을 보였으며, 다른 함침방법에 의한 경도 값보다 큰 것으로 나타났다. 이는 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침이 다른 함침 방법보다 함침율이 컸기 때문으로 사료된다. Oh 등(200)은 Aomori Hiba로 제조된 우드세라믹의 수지 함침율과 휨강도와의 관계에서 수지 함침율이 높을수록 우드세라믹의 휨강도는 증가한다고 보고한 바 있어, 보드의 수지 함침율과 우드세라믹의 성질 간에는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

Table 7. Brinell hardness after impregnation with phenol resin.

(unit : kg/cm²)

| Species Impregnation type Number of times | <i>P. densiflora</i> | | | | <i>L. kameferi</i> | | | | <i>P. koraiensis</i> | | | |
|---|--|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1* | 2* | 3* | 4* | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 544.0 ^a ±62.7 ^b | 409.3 ±53.5 | 568.2 ±73.7 | 634.4 ±47.6 | 484.1 ±36.2 | 463.0 ±54.3 | 400.2 ±30.2 | 648.2 ±58.7 | 440.8 ±60.3 | 471.3 ±35.2 | 553.2 ±60.3 | 761.3 ±72.4 |
| 2 | 652.6 ±47.3 | 476.1 ±25.7 | 602.4 ±50.6 | 662.3 ±62.4 | 465.1 ±39.2 | 572.5 ±47.3 | 451.3 ±22.7 | 780.4 ±63.9 | 365.2 ±19.2 | 407.9 ±30.3 | 547.6 ±46.5 | 835.3 ±72.5 |
| 3 | 498.8 ±53.3 | 663.9 ±65.2 | 573.9 ±33.7 | 849.2 ±72.0 | 527.9 ±60.4 | 561.3 ±43.1 | 437.9 ±51.6 | 849.6 ±72.5 | 413.5 ±30.7 | 416.3 ±31.2 | 708.8 ±54.6 | 894.3 ±72.4 |
| 4 | 746.8 ±81.6 | 645.9 ±43.2 | 720.6 ±51.4 | 851.0 ±45.2 | 572.0 ±37.3 | 630.5 ±49.6 | 497.2 ±52.4 | 843.9 ±63.2 | 440.9 ±30.5 | 439.4 ±27.2 | 540.4 ±46.5 | 900.8 ±82.6 |

a : Mean value from 7 replications

b : Standard deviation from 7 replications

1*, 2*, 3*, 4* : See table 2

나. 보드의 밀도에 따른 함침 보드의 물성

수종별로 밀도에 따라서 제조된 보드를 감압 후 상압, 감압·초음파 병행 후 상압의 방법으로 20분씩 3반복 함침한 후 함침 보드의 물성을 조사한 결과는 Table 8과 같다. 보드의 각 밀도별 함침 후의 밀도변화는 보드의 밀도가 0.4에서 0.7g/cm³로 증가함에 따라 함침 보드의 밀도는 소나무로 제조된 보드의 경우 감압 후 상압 함침시 0.66 ~ 0.78g/cm³, 감압·초음파 병행 후 상압 함침시 0.77 ~ 0.82g/cm³이었으며, 낙엽송 보드는 각각 0.69 ~ 0.80g/cm³, 0.72 ~ 0.84g/cm³, 잣나무 보드는 각각 0.68 ~ 0.78g/cm³, 0.78 ~ 0.86g/cm³로 보드의 밀도가 증가함에 따라 함침 보드의 밀도도 증가하였다. 또한 같은 보드의 밀도에서 감압·초음파 병행 후 상압 함침에 의한 함침 보드의 밀도가 감압 후 상압에 의한 함침 보드의 밀도보다 큰 것으로 나타났다.

수지 함침율은 보드의 밀도가 0.4에서 0.7g/cm³로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 경우 감압 후 상압 함침 시 83.8 ~ 29.2%, 감압·초음파 병행 후 상압 함침 시 130.4 ~ 58.8%이었으며, 낙엽송 보드는 각각 88.4 ~ 33.0%, 126.8 ~ 54.9%, 잣나무 보드는 각각 87.6 ~ 33.7%, 119.6 ~ 52.8%로 2가지 함침방법 모두 보드의 밀도가 증가함에 따라 함침율은 직선적으로 감소하는 경향이였다. 이는 보드의 밀도가 높을수록 보드의 조직이 치밀하여 공극이 적어 수지함침이 용이하지 못 했기 때문으로 사료된다. 岡部(1996)은 수지 함침율과 너도밤나무재의 밀도와의 관계에서 강한 부(負)의 상관관계($r = -0.911^{**}$)가 있음을 밝힌 바 있어 본 연구 결과도 이와 같은 경향이였다. Nonaka 등(1999)은 MDF로, Oh 등 (2000)은 아오모리 Hiba로 제조된 보드로 수지 함침율을 조사한 결과 밀도가 증가할수록 수지 함침율은 감소한다고 밝힌 바 있으며, 우드세라믹 제조 시 재료의 수지 함침율이 높으면 탄화과정에서 많은 양의 수지가 유리탄소 화 되어 밀도가 증가함으로써 휨강도가 컸다고 보고한 바 있다. 또한 도(2001)는 불포화폴리에스테르수지를 이용하여 MDF와 밀도 0.41g/cm³인 잣나무 재를 감압 데시케이터에 넣고 1기압에서 1 ~ 3시간 함침한 결과, MDF는 45.8 ~ 70.1%, 잣나무는 7.4 ~ 34.7% 함침율을 나타냈다고 밝힌 바 있어, 본 연구의 함침율 보다 낮았다. 감압 후 상압 함침과 감압·초음파 병행 후 상압 함침의 수지 함침율 차이는 밀도0.4g/cm³의 경우 소나무 보드는 46.6%, 낙엽송 보드는 38.4%, 잣나무 보드는 32.0%이었으며 밀도 0.7g/cm³의 경우에는 각각 28.8%, 21.9%, 19.1%로 모든 수종과 밀도에서 감압·초음파 병행 후 상압 함침이 감압 후 상압 함침 보다 높은

함침율을 나타내어 감압 함침 시 초음파 부가처리 효과가 있음을 알 수 있었다. 초음파 처리를 함으로써 시편에 많은 공동이 생겨 에너지가 방출되고 용해, 분산이 촉진되어 공기와 수지가 효율적으로 치환되었기 때문에 사료된다. Okabe 등(1996)은 밀도 $0.73\text{g}/\text{cm}^3$ 인 MDF의 수지 함침율과 함침시간과의 관계에서 함침시간이 증가할수록 함침율이 증가하였으며, 감압함침 시 초음파 부가 함침이 단순한 감압 함침보다 약 10%정도의 함침 효과가 있음을 보고한 바 있다.

함침 후 길이 증가율은 보드의 밀도가 0.4에서 $0.7\text{g}/\text{cm}^3$ 로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 경우 감압 후 상압 함침이 1.4 ~ 0.6%, 감압·초음파 병행 후 상압 함침이 1.4 ~ 1.1%이었으며, 낙엽송 보드는 각각 1.8 ~ 1.2%, 3.1 ~ 1.8%, 잣나무 보드는 각각 1.3 ~ 0.9%, 1.8 ~ 1.3%로 보드의 밀도가 증가함에 따라 약간 감소하였다.

두께 증가율은 보드의 밀도가 증가함에 따라 소나무 보드의 경우 감압 후 상압 함침이 10.1 ~ 17.1%, 감압·초음파 병행 후 상압함침이 7.2 ~ 21.9%이었으며 낙엽송 보드는 각각 9.4 ~ 14.%, 12.5 ~ 17.4%, 잣나무 보드는 각각 8.9 ~ 13.5%, 9.9 ~ 19.2%로 2가지 함침방법 모두 보드의 밀도가 증가함에 따라 두께 증가율이 증가하는 경향을 보였다. 모든 수종과 밀도에서 감압·초음파 병행 후 상압 함침이 감압 후 상압 함침보다 높은 치수 증가율을 나타내어 수지 함침율과 관련이 있는 것으로 사료된다.

밀도에 따른 함침 보드의 휨강도는 보드의 밀도가 증가함에 따라 소나무 보드의 경우 감압 후 상압 함침이 $75.3 \sim 159.6\text{kgf}/\text{cm}^2$, 감압·초음파 병행 후 상압 함침이 $124.1 \sim 171.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이었으며, 낙엽송 보드는 각각 $74.9 \sim 155.4\text{kgf}/\text{cm}^2$, $122.8 \sim 157.1\text{kgf}/\text{cm}^2$, 잣나무 보드는 각각 $80.9 \sim 152.1\text{kgf}/\text{cm}^2$, $103.1 \sim 168.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 밀도가 증가함에 따라 휨강도도 증가하였으며, 소나무 보드와 낙엽송 보드는 밀도 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 에서 $174.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 와 $168.7\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 가장 큰 휨강도 값을 나타냈다. 또한 모든 수종과 밀도에서 감압·초음파 병행 후 상압 함침에 의한 함침 보드의 휨강도가 감압 후 상압 함침 보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 함침 전 보드의 밀도가 증가함에 따라 함침 보드의 밀도도 증가하였으며, 감압·초음파 병행 후 상압에 의한 함침 보드의 밀도가 상대적으로 컸기 때문에 사료된다.

보드의 밀도에 따른 함침 보드의 브리넬 경도 값은 대체적으로 보드의 밀도가 증가함에 따라 증가하였으며, 특히 감압·초음파 병행 후 상압 함침의 경우 밀도

Table 8. Properties of sawdust boards after impregnation with phenol resin according to the density

| Species | Density (g/cm ³) | Impregnation type | Density (g/cm ³) | Percentage of resin Impregnation (%) | Linear swelling (%) | Thickness swelling (%) | MOR (kgf/cm ²) | Brinell hardness (kg/cm ²) |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|--|
| <i>Pinus densiflora</i> S. et Z. | 0.4 | 1* | 0.66 ^a ±0.02 | 83.8 ^b ±10.1 | 1.4±0.3 | 10.1±0.5 | 75.3±6.8 | 536.4±32.7 |
| | | 2* | 0.77±0.01 | 130.4±17.3 | 1.4±0.3 | 7.2±0.5 | 124.1±10.2 | 624.3±30.5 |
| | 0.5 | 1 | 0.74±0.02 | 65.3±7.2 | 1.1±0.2 | 10.7±0.8 | 106.7±11.3 | 571.2±41.2 |
| | | 2 | 0.83±0.03 | 83.6±10.3 | 1.3±0.3 | 12.5±0.9 | 142.4±14.6 | 611.9±38.6 |
| | 0.6 | 1 | 0.76±0.02 | 50.0±6.5 | 0.9±0.1 | 12.8±1.2 | 146.5±9.8 | 698.4±65.3 |
| | | 2 | 0.83±0.03 | 68.2±8.7 | 1.2±0.2 | 11.8±1.1 | 174.6±19.4 | 1148.7±112.4 |
| | 0.7 | 1 | 0.78±0.02 | 29.2±5.3 | 0.6±0.2 | 17.1±2.0 | 159.6±16.5 | 595.4±60.5 |
| | | 2 | 0.82±0.03 | 58.0±7.2 | 1.1±0.1 | 21.9±2.2 | 171.6±17.1 | 912.9±73.2 |
| <i>Larix kameferi</i> C. | 0.4 | 1 | 0.69±0.01 | 88.4±6.5 | 1.8±0.2 | 9.4±1.0 | 74.9±6.5 | 373.6±17.3 |
| | | 2 | 0.72±0.02 | 126.8±7.7 | 3.1±0.3 | 12.5±1.2 | 122.8±9.7 | 542.1±24.7 |
| | 0.5 | 1 | 0.72±0.02 | 64.8±4.8 | 1.8±0.2 | 12.4±0.8 | 120.7±14.3 | 440.5±39.6 |
| | | 2 | 0.79±0.02 | 88.6±9.6 | 2.6±0.3 | 13.5±1.3 | 132.4±10.6 | 662.9±47.3 |
| | 0.6 | 1 | 0.75±0.03 | 50.7±7.2 | 1.1±0.2 | 13.8±2.0 | 120.4±14.5 | 571.1±56.4 |
| | | 2 | 0.85±0.04 | 64.3±5.3 | 1.8±0.2 | 14.9±1.7 | 168.7±17.2 | 1014.1±72.6 |
| | 0.7 | 1 | 0.80±0.03 | 33.0±4.6 | 1.2±0.3 | 14.2±1.5 | 155.4±10.3 | 642.8±48.2 |
| | | 2 | 0.84±0.03 | 54.9±6.2 | 1.8±0.3 | 17.4±3.2 | 157.1±16.2 | 962.1±111.4 |
| <i>Pinus koraiensis</i> S. et Z. | 0.4 | 1 | 0.68±0.02 | 87.6±7.3 | 1.3±0.2 | 8.9±0.9 | 80.9±6.4 | 333.2±19.6 |
| | | 2 | 0.78±0.03 | 119.6±11.2 | 1.8±0.2 | 9.9±1.2 | 103.1±11.2 | 595.7±46.3 |
| | 0.5 | 1 | 0.74±0.02 | 61.4±9.6 | 1.2±0.2 | 10.4±1.3 | 112.2±10.3 | 614.7±72.6 |
| | | 2 | 0.82±0.03 | 94.4±8.2 | 1.9±0.3 | 15.2±1.7 | 128.9±13.1 | 888.2±65.8 |
| | 0.6 | 1 | 0.76±0.02 | 45.3±6.3 | 1.1±0.2 | 13.4±1.5 | 130.9±10.5 | 584.0±34.2 |
| | | 2 | 0.85±0.02 | 67.3±6.4 | 1.7±0.2 | 18.7±2.1 | 163.5±17.2 | 1144.5±152.7 |
| | 0.7 | 1 | 0.78±0.03 | 33.7±4.6 | 0.9±0.1 | 13.5±2.4 | 152.1±10.7 | 683.6±49.5 |
| | | 2 | 0.86±0.05 | 52.8±6.3 | 1.3±0.2 | 19.2±2.7 | 168.2±15.4 | 843.9±63.7 |

1* : Vacuum pressure 10 min, Nonpressure 10 min, 3 times

2* : Vacuum pressure with ultrasonic vibration 10min, Nonpressure 10 min, 3 times

a : Value after impregnation

b : Mean value from 5 replications

0.6g/cm³에서 소나무 보드는 1148.7kg/cm³, 낙엽송 보드는 1014.2kg/cm³, 잣나무 보드는 1144.5kg/cm³로 각 수종별로 가장 큰 경도 값을 나타냈다. 전 수종과 밀도에서 감압·초음파 병행 후 상압 함침에 의한 함침 보드의 경도 값이 크게 나타나 휨강도와 마찬가지로 함침 전 보드의 밀도에 따른 함침 보드의 밀도변화와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

다. 수지 첨가량에 따른 함침 보드의 물성

수종별로 수지 첨가량에 따라서 제조된 밀도 0.6±0.01g/cm³ 보드를 5개씩 선별한 후 감압 후 상압, 감압·초음파 병행 후 상압의 방법으로 20분씩 3반복 함침한 후 함침 보드의 물성을 조사한 결과를 Table 9에 나타냈다.

보드의 수지 첨가량별 함침 후 밀도 변화는 수지 첨가량이 5 ~ 20%로 증가함에 따라 함침 보드의 밀도는 소나무로 제조된 보드의 경우 감압 후 상압 함침 시 0.71 ~ 0.77g/cm³, 감압·초음파 병행 후 상압함침이 0.78 ~ 0.85g/cm³ 이었으며, 낙엽송 보드는 각각 0.71 ~ 0.77g/cm³, 0.73 ~ 0.82g/cm³, 잣나무 보드는 각각 0.69 ~ 0.77g/cm³, 0.74 ~ 0.84g/cm³로 수지 첨가량이 증가할수록 함침 보드의 밀도도 증가하였다. 또한 전 수종과 수지 첨가량에서 감압·초음파 병행 후 상압 함침에 의한 함침 보드의 밀도가 감압 후 상압 함침에 의한 함침 보드의 밀도보다 큰 것으로 나타나 많은 양의 수지가 함침 된 것으로 판단된다.

수지 함침율은 보드의 수지 첨가량이 5 ~ 20%로 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드는 감압 후 상압 함침 시 53.6 ~ 46.5%, 감압·초음파 병행 후 상압 함침 시 82.5 ~ 68.9%, 낙엽송 보드는 각각 55.7 ~ 46.7%, 78.9 ~ 66.7%, 잣나무 보드는 각각 58.1 ~ 41.8%, 78.6 ~ 68.7%로 보드의 수지 첨가량이 증가함에 따라 함침율은 감소하였다. 이는 보드제조 시 분말 페놀수지 첨가량이 많을수록 제조 후 보드 내부에 많은 수지가 함유되어 있어 함침이 충분히 이루어지지 못했기 때문으로 사료된다. 감압 후 상압 함침과 감압·초음파 병행 후 상압 함침의 함침율의 차이는, 수지 첨가량 5%의 경우 소나무 보드는 28.9%, 낙엽송 보드는 23.2%, 잣나무 보드는 20.5% 이었으며, 수지 첨가량 20%일 때는 각각 22.4%, 20.0%, 26.9%로 모든 수종과 수지 첨가량에서 감압·초음파 병행 후 상압에 의한 함침 보드의 함침율이 높아 감압 함침 시 초음파처리 효과가 있음을 알 수 있었다.

합침 후 길이 증가율은 수지 첨가량이 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드의 경우 감압 후 상압 합침 시 1.8~0.8%, 감압·초음파 병행 후 상압 합침 시 2.2~1.1%이었으며, 낙엽송 보드는 각각 2.5~ 1.3%, 3.5 ~ 1.5%, 잣나무 보드는 각각 2.0 ~ 0.7%, 2.7 ~ 1.1%로 수지 첨가량이 증가함에 따라 감소하였다.

두께 증가율은 수지 첨가량이 증가함에 따라 소나무로 제조된 보드는 감압 후 상압 합침 시 21.7 ~ 5.7%, 감압·초음파 병행 후 상압 합침 시 23.7~7.9%이었으며 낙엽송 보드는 각각 21.3 ~ 8.3%, 33.9 ~ 9.5%, 잣나무 보드는 각각 26.7~5.6%, 28.6~7.2%로 2가지 합침방법 모두 수지 첨가량이 증가함에 따라 두께 증가율은 감소하는 경향이였다. 모든 수종과 수지 첨가량에서 감압·초음파 병행 후 상압 합침에 의한 합침 보드의 치수 증가율이 큰 것으로 나타나 합침율의 영향을 받은 것으로 사료된다. 또한 수지 첨가량 10%에서 길이 및 두께 증가율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

수지 첨가량에 따른 합침 보드의 휨강도는 수지 첨가량이 5 ~ 20%로 증가함에 따라 소나무 보드의 경우 감압 후 상압합침 시 82.9 ~ 180.7kgf/cm², 감압·초음파 병행 후 상압합침 시 106.2 ~ 199.7kgf/cm², 낙엽송 보드는 각각 73.2 ~ 149.2kgf/cm², 110.4 ~ 152.5kgf/cm², 잣나무 보드는 각각 56.4 ~ 170.5kgf/cm², 97.5 ~ 194.7kgf/cm²로 수지 첨가량이 증가할수록 휨강도도 증가하였으며 소나무 보드와 잣나무 보드는 수지 첨가율이 20%일 때 199.7kgf/cm²와 194.7kgf/cm²로 큰 휨강도 값을 나타냈다. 또한 감압·초음파 병행 후 상압 합침에 의한 합침 보드의 휨강도가 감압 후 상압 합침보다 높게 나타났는데, 이러한 결과는 수지 첨가량이 증가함에 따라 합침 보드의 밀도도 증가하였으며, 감압·초음파 병행 후 상압에 의한 합침 보드의 밀도가 컸기 때문으로 생각된다. 일반적으로 보드제조 시 수지 첨가량이 많을수록 휨강도는 증가하는 경향이어서 (kawai *et al.*, 1986 ; 이와 강 1998 ; 이와 윤 1994)본 연구에서도 합침 전 보드의 수지 첨가량이 휨강도에 영향을 미친 것으로 사료된다.

합침 보드의 브리넬 경도 값은 대체적으로 수지 첨가량이 많을수록 컸으며, 특히 감압·초음파 병행 후 상압합침의 경우 소나무로 제조된 보드는 수지 첨가율 15%일 때 1395.6kg/cm²로, 낙엽송 보드와 잣나무 보드는 수지 첨가율 20%일 때 각각 1096.1kg/cm²와 1403.4kg/cm²로 가장 큰 경도 값을 나타냈다. 전 수종과 수지 첨가량에서 감압·초음파 병행 후 상압 합침에 의한 합침 보드의 경도 값이 크게 나타났는데 이는 합침 후의 밀도 차이에 기인 한 것으로 사료된다.

Table 9. Properties of sawdust boards after impregnation with phenol resin according to the resin content

| Species | Resin content (%) | Impregnation type | Density (g/cm ³) | Percentage of resin Impregnatio (%) | Linear swelling (%) | Thickness swelling (%) | MOR (kgf/cm ²) | Brinell hardness (kg/cm ²) |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|--|
| <i>Pinus densiflora</i> S. et Z. | 5 | 1* | 0.71 ^a ±0.02 | 53.4 ^b ±6.2 | 1.8±0.3 | 21.7±3.2 | 82.9±6.8 | 500.5±30.7 |
| | | 2* | 0.78±0.02 | 82.5±7.3 | 2.2±0.4 | 23.7±2.7 | 106.2±11.3 | 509.6±32.4 |
| | 10 | 1 | 0.73±0.03 | 51.8±4.7 | 0.9±0.2 | 13.4±1.6 | 139.9±13.2 | 533.2±26.5 |
| | | 2 | 0.80±0.04 | 74.2±8.5 | 1.3±0.2 | 16.5±1.8 | 146.6±10.5 | 958.3±64.7 |
| | 15 | 1 | 0.77±0.01 | 50.7±6.3 | 0.8±0.1 | 7.1±1.2 | 152.6±16.2 | 843.0±72.5 |
| | | 2 | 0.88±0.04 | 69.2±7.2 | 1.4±0.2 | 7.5±0.8 | 192.9±17.3 | 1395.6±112.4 |
| | 20 | 1 | 0.77±0.03 | 46.5±4.3 | 0.8±0.1 | 5.7±1.0 | 180.7±20.5 | 887.1±90.7 |
| | | 2 | 0.85±0.05 | 68.9±7.2 | 1.1±0.2 | 7.9±1.3 | 199.7±14.7 | 1233.4±132.7 |
| <i>Larix kameferi</i> C. | 5 | 1 | 0.71±0.02 | 55.7±4.9 | 2.5±0.3 | 21.3±3.6 | 73.2±6.2 | 510.7±40.2 |
| | | 2 | 0.73±0.03 | 78.9±6.1 | 3.5±0.4 | 33.9±3.4 | 110.4±7.3 | 637.2±70.4 |
| | 10 | 1 | 0.75±0.02 | 48.5±4.3 | 1.6±0.2 | 13.5±0.9 | 122.1±15.3 | 553.2±62.7 |
| | | 2 | 0.80±0.03 | 65.8±7.6 | 1.9±0.1 | 14.4±1.3 | 127.2±10.2 | 829.7±54.3 |
| | 15 | 1 | 0.77±0.02 | 46.9±3.4 | 1.1±0.2 | 6.9±0.7 | 127.5±9.7 | 741.6±72.1 |
| | | 2 | 0.83±0.04 | 68.3±4.8 | 1.7±0.3 | 10.7±0.9 | 160.6±13.2 | 992.4±86.5 |
| | 20 | 1 | 0.77±0.03 | 46.7±3.5 | 1.3±0.2 | 8.3±1.1 | 149.2±10.6 | 803.8±56.7 |
| | | 2 | 0.82±0.03 | 66.7±7.5 | 1.5±0.2 | 9.5±0.7 | 152.5±11.3 | 1096.1±99.4 |
| <i>Pinus koraiensis</i> S. et Z. | 5 | 1 | 0.69±0.01 | 58.1±4.6 | 2.0±0.3 | 26.7±3.2 | 56.4±7.6 | 524.3±35.2 |
| | | 2 | 0.74±0.02 | 78.6±9.2 | 2.7±0.3 | 28.6±2.5 | 97.5±8.1 | 716.2±65.4 |
| | 10 | 1 | 0.74±0.02 | 51.8±3.7 | 1.1±0.1 | 14.0±1.3 | 120.3±10.9 | 675.4±73.6 |
| | | 2 | 0.78±0.03 | 71.5±8.3 | 1.9±0.2 | 18.1±2.0 | 129.6±11.2 | 960.5±111.5 |
| | 15 | 1 | 0.77±0.03 | 49.7±5.1 | 0.8±0.2 | 5.5±0.6 | 156.6±13.4 | 997.2±105.2 |
| | | 2 | 0.84±0.04 | 69.9±6.4 | 1.2±0.3 | 12.3±0.7 | 160.4±11.7 | 1200.3±97.8 |
| | 20 | 1 | 0.77±0.03 | 41.8±3.7 | 0.7±0.1 | 5.6±0.4 | 170.5±19.6 | 827.9±65.4 |
| | | 2 | 0.84±0.03 | 68.7±8.3 | 1.1±0.2 | 7.2±0.7 | 194.7±15.4 | 1403.4±131.1 |

1*: Vacuum pressure 10min., Nonpressure 10 min., 3 times

2*: Vacuum pressure with ultrasonic vibration 10min., Nonpressure 10 min., 3 times

a : Value after impregnation

b : Mean value from 5 replications

4. 결론

소나무, 낙엽송 및 잣나무 간벌재로 밀도 및 페놀수지 첨가량을 달리하여 제조된 톱밥보드를 액상 페놀수지를 이용하여 감압함침, 상압함침, 감압함침 후 상압함침 및 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침 등 4가지 함침방법으로 함침한 후 보드의 밀도, 페놀수지 첨가량, 함침 방법 및 횡수에 따른 물성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 함침 횡수가 증가함에 따라 밀도, 함침율, 두께 및 길이 증가율이 증가하였다.
- 2) 감압·초음파 병행 함침 후 상압함침에 의하여 함침 된 함침보드의 밀도, 함침율, 두께 및 길이 증가율, 휨강도 및 브리넬 경도 값이 가장 컸다.
- 3) 모든 함침 방법에서 휨강도는 1회 함침의 경우가 가장 컸다.
- 4) 수종 간 함침보드의 물성은 뚜렷한 차이를 발견 할 수 없었다.
- 5) 보드의 밀도 및 수지 첨가량이 증가함에 따라 함침 보드의 밀도는 증가하였다.
- 6) 보드의 밀도 및 수지 첨가량이 증가함에 따라 수지 함침율은 감소하였다.
- 7) 감압·초음파 병행 후 상압 함침에 의한 함침 보드의 밀도, 수지 함침율, 휨강도 및 브리넬 경도 값이 감압 후 상압 함침에 의한 함침 보드보다 컸다.
- 8) 수종 간 함침 보드의 뚜렷한 물성의 차이는 발견 할 수 없었다.

이상의 결과로 톱밥보드의 수지함침 시 초음파 처리를 병행함으로써 함침율을 증가시켜 밀도, 치수변화 및 기계적 성질 등에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5. 인용문헌

1. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1995. Development of porous carbon material "woodceramics" - Fundamental wear properties under unlubricated condition and in water -. Journal of the Society of Materials Science Japan 44(501) : 800~804.
2. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996a. Wear properties of new porous carbon materials : wooderamics. Journal of Porous Materials 2: 229~235.
3. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996b. Friction properties of new

- porous carbon materials : woodcermics. Journal of Porous Materials 2: 237~243.
4. Kano, M., M. Momota, T. Okabe, K. Saito and R. Yamamoto. 1996. Thermogravimetric and differential thermal analysis of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 40~43.
 5. Kasai, K., K. Shibata, K. Saito and T. Okabe. 1996. Humidity sensor characteristics of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 85~90
 6. Nonaka, K., M. Fushtani and T. Hirose. 1999. Effect of density and phenolic resin loading on the bending strength performance of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 24(3): 319~322.
 7. Oh, S. W., T. Hirose and T. Okabe. 2000. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(I) - Resin impregnation rate and bending strength -. Mokchae Konghak 28(4): 51~55.
 8. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
 9. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing temperature -. International Ecomaterial Conferencem Xian, China : 1~4.
 10. Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics : Development and fundamental properties. Journal of Porous Materials 2: 207~213.
 11. Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996b. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 215~221.
 12. 도금현. 2001. 불포화 폴리에스테르수지 주입 판재의 물성. 월간임업정보 126: 35~39.
 13. 서진석. 2001. 침엽수 단판의 수지함침 · 압밀화에 의한 함판 오버레이 특성. 월간 임업정보 128: 29~33.
 14. 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 -증기분사 및 그 시간의 영향-. 목재공학 29(2): 69~75.

15. 오승원. 2002. 우드세라믹 제조용 석탄수지 함침보드의 수지 함침율과 치수증가율 - 증기분사 시간의 영향 -. 목재공학 30(2): 158~164.
16. 오승원. T. Okabe and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적성질. 한국가구학회지 11(1): 31~36.
17. 이필우, 윤형운. 1994. MDI(Methylene diphenyl diisocyanate)수지를 이용한 톱밥보드의 성질. - 보드 비중, 수지 첨가량, 매트 함수율에 관하여 - 한국 가구학회지 5(2): 51~61.
18. 이화형, 강춘원. 1998. 요소수지 연질왕겨 보드의 개발. 목재공학 26(4): 50~55.
19. 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 ウッドセラミックス . 内田老鶴圃.

제3절 단소용 대나무의 열처리 및 건조

1. 서 론

단소는 대나무를 재료로 하는 국악기 중에서 대표적으로 한국적인 소리를 내는 악기중의 하나이며 세로로 부는 관악기로서 취구에 아랫입술을 대고 숨을 불어넣어 소리를 낸다. 이런 단소의 좋은 음질을 위해서는 건조하는 과정에서 건조결함을 예방하는 것이 무엇보다도 중요하다. 전통적인 단소용 대나무 건조방법으로는 채취 후에 약 한 달간 응달에 건조하고 다시 3개월간 바닷물이나 소금물에 담근 후에 다시 응달에서 건조시켜 악기재로 사용하였다. 이와 같이 대나무로 제작하는 과정에서 가장 힘들고 어려운 과정이 바로 건조결함을 일으키지 않고 잘 건조하는 것이다. 건조결함을 일으키지 않는 원활한 건조를 위해서는 ‘진빼기’를 실시하는데 일반적으로 이러한 과정은 직접가열에 의한 열처리를 통해서 이루어지고 있다. 직접가열 열처리 방식은 토치램프나 기타 열원을 이용해서 단시간에 가열하기 때문에 진빼기 작업시간을 줄일 수는 있지만, 높은 온도의 불이 소재표면에 닿기 때문에 가열시간이 길어지면 소재표면이 탄화되거나 결함이 발생할 수 있다. 이에 반해서 온도가 낮거나 열처리 시간이 짧으면 진빼기가 잘 되지 않는 단점을 가지고 있다. 따라서 처리시의 온도와 시간이 정립된다면 건조 결함을 예방하면서 짧은 시간에 단소용으로 적합한 대나무를 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 진빼기 작업을 위한 직접가열 열처리시의 열처리 온도는 건조결함을 예방하면서 적당한 건조 스케줄을 확립하기 위한 중요한 요소이다.

악기재의 음향적 성질 개선에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 악기 재를 포르말린, 무수초산, 페놀, PEG등으로 화학약품처리하면 악기재의 흡습성과 치수안정성이 개선되고 악기재의 탄성계수가 변화되어 음향적 성질 향상 효과를 가진다고 보고되고 있다(Rowell *et al*, 1993 ; Yano *et al*, 1993 ; 강, 1996). 악기재의 흡습성과 치수안정성이 개선되면 환경 변화에 영향을 받지 않고 일정한 소리를 낼 수 있으며 오래 간직할 수 있다. 또한 좋은 악기재는 가볍고 탄성계수가 높은 것이어야 한다고 알려져 있으므로(이 등, 1989 ; Takeshi, 1991) 화학처리에 의해 악기재의 탄성계수가 높아지면 음향적 성질도 좋아진다고 보고하였다. 하지만 치수안정성과 탄성계수가 모두 개선된다면 더욱 좋겠지만 치수안정성이 좋아지면 탄성계수는 감소하는 경

우도 있다(Akitsu *et al*, 1991). 상기의 방법은 주로 약기의 음향적 성질을 향상시키고자 노력(Yano *et al*, 1992)하였는데 본 연구는 탄소용 대나무재를 건조결함을 일으키지 않고 신속하게 건조하기 위한 진빠기 처리조건 및 건조 스케줄 개발을 위한 기초적 자료를 위하여 실시하였다. 약기용 대나무를 건조하는데 오랜 시간이 소요되는데 이런 단점을 극복하기 위해 최대한 빠른 시간 안에 건조를 하면서 할렬이나 뒤틀림을 막을 수 있는 최적의 조건을 조사하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 대나무는 경남 진주시 가좌동에 위치한 경상대학교 연습림, 창녕군 남지읍, 산청군 시천면에서 2001년 9월~10월에 채취하여 사용하였다. 대나무는 수령에 따라 숙성도가 다르기 때문에(Itoh, 1990)가지에 의한 식별법으로 3년생 이상의 솥대(*Phyllostachys nigra* var. *henonis*)중에서 곧고 결함이 없으며 마디와 마디사이 즉, 절간이 짧은 수고가 약 6~7m, 지상 30cm부위의 평균 직경이 2.2cm인 밑둥에서 60cm 정도의 높이로 채취하여 공시재료로 사용하였다. 경상대학교 연습림에서 채취한 솥대를 이용하여 먼저 생재 함수율을 측정하기 위해서 벌채직후 10개를 무작위로 선택하여 전건법으로 함수율을 측정하였다. 30개의 솥대 중 15개는 직접 가열(진빠기)을 하고 나머지 15개는 생재를 그대로 사용하였다. 이렇게 나눈 솥대를 다시 각각 5개로 나누어서 대기건조, 온도 20℃ 관계습도 65% 의 항온항습 조건 건조, 온도 40℃ 관계습도 40%의 항온항습 조건으로 건조하였다. 건조 과정 중에 일어나는 할렬의 개수와 함수율과 무게의 변화를 관찰하면서 1개월간 건조하였다.

나. 함수율 측정

함수율은 105℃±3℃ 건조기를 이용하여 전건중량을 측정하였으며 다음의 건량기준 함수율식(1)에 의해 산출하였다.

$$MC(\%) = \frac{W_g - W_o}{W_o} \times 100 \dots (1)$$

여기서 MC(%)는 함수율, W_g 는 측정시의 무게(생재무게) 그리고 W_o 는 전건무게이다.

다. 진뻐기 처리법

진뻐기 처리는 직접가열 방식으로 토치램프를 사용하여 대나무 표면에 직접 열을 가하여 처리하는 방법으로 **사진 3**에서 나타낸 것과 같이 실시하였다. 열처리를 할 때 온도가 재질에 미치는 영향이 크기 때문에 처리온도 범위를 비접촉식 적외선 온도계(SPOT THERMOMETER 505A)를 사용하여 조사하였다.

라. 건조처리 조건(항목)

건조처리를 할 때는 다음 세 가지의 건조방법으로 건조를 실시하였다.

1) 대기 건조(천연 건조)

열처리 후의 시험편과 무처리 시험편을 실내의 그늘에서 방치하여 건조하였다. 이때의 온도와 습도는 낮밤의 차이가 있었으나 약 온도가 20~25℃, 습도가 40~50%정도였다.

2) 항온항습 조건

목재의 조습처리를 위한 일반적인 조건인 20℃, 관계습도 65% 항온항습실의 조건에 건조하였다.

3) 건조 스케줄 조건

건조결함을 최대한 줄이면서 빠른 건조를 위하여 온도 40℃, 관계습도 40%의 조건에서 건조하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 생재 함수율

숨대 밑등으로 부터 60cm 정도의 대나무 10개로부터 측정한 생재 함수율의 범위는 $67\pm 7\%$ 로 나타났다. 그리고 대나무의 중간 부위(지표면으로부터 30cm)의 평균직경은 $22.5\pm 5\text{mm}$ 이었다.

나. 직접 가열법에 의한 진뻐기 처리조건

사진 4는 진뻐기 작업을 위해 150℃, 180℃, 210℃의 조건으로 열처리한 대나무의

표면 상태를 나타내었다. 좌측에 있는 150℃에서는 진빠기가 완전하게 되지 않았으며, 중간에 있는 180℃로 처리한 결과 열원에 대한 재의 손상도 없었으며 광택과 적당한 재색을 나타내었다. 그리고 우측은 온도가 210℃ 정도로 처리한 경우 표면이 탄화되어 재에 손상을 일으켰으며 검게 변하고 미관상 좋지 않았다. 이와 같은 결과로 습대의 진빠기 처리 시 180℃ 정도가 가장 적당한 온도로 판단되었다. 또한 180℃의 온도로 열처리 시간을 살펴본 결과 불꽃과 재의 거리에 따라서는 큰 차이가 없었으며, 불꽃이 재의 표면에 닿았을 때부터 2~3초의 시간이 적당하였다.

다. 시간에 따른 함수율 변화

Table 1과 Fig. 1의 B_{HT1}, B_{HT2}, B_{HT3}은 토치를 사용한 직접 열처리한 시험편이고 B_{NT1}, B_{NT2}, B_{NT3}은 무처리 시험편의 시간에 따른 건조속도 변화를 나타내었다. 벌채 3일후의 대나무를 열처리했을 때 5~11% 정도의 함수율 감소를 나타내어 열처리로 인하여 어느 정도 함수율이 감소하여 뒤에서 언급하는 결함발생방지 및 건조시간 단축에 열처리 효과가 인정되었다. 그러나 무처리 시험편의 함수율은 거의 변화가 없었다. 목재는 강도성능이 증가하는 섬유포화점이 일반적으로 약 28~30%이지만 죽재는 목재의 섬유포화점보다 낮은 함수율 16~17% 부근에 섬유포화점이 존재한다고 보고되었다(Laxamana, 1985). 죽재가 섬유포화점에 도달하는데 걸리는 시간은 각 조건마다 많은 차이가 나타났다. 온도 40℃, 관계습도 40%의 조건(B_{HT2}, B_{NT2})이 가장 먼저 섬유포화점에 다다랐으며 걸린 기간은 각각 7일과 8일이었다. 그 다음으로는 대기상태의 대략적인 온도 25℃, 습도 40%의 조건(B_{HT3}, B_{NT3})에서는 각각 17일과 19일이었다. 섬유포화점까지 가장 늦게 도달한 조건 온도 20℃, 관계습도 65%의 조건(B_{HT1}, B_{NT1})에서는 각각 28일과 30일이 경과하여도 섬유포화점까지 도달하지 못하였다. 일반적으로 20℃, 관계습도 65%의 조건에서 목재의 평형함수율인 약 12%까지 건조시키는데 걸리는 시간도 많은 차이가 있었다. B_{HT1}과 B_{NT1}의 대기상태 조건에서는 30일이 경과하여도 12%까지 건조되지 않아 건조하는데 너무나 긴 시간이 걸린다는 것을 알 수 있었다. 마찬가지로 B_{HT3}과 B_{NT3}은 12%까지 건조하는데 약 한달이라는 긴 시간이 걸렸다. 하지만 B_{HT2}, B_{NT2}는 함수율 12%까지는 9일이 걸렸다.

Table. 1. Change of moisture content by drying period

| conditions | | MC (green) | MC after heat treatment | 16% MC (FSP) | 12% MC | |
|-----------------------|------------------|---------------|-------------------------------|-----------------|--------|------|
| Heat treatment | B _{HT1} | Day | - | - | 28 | 30 |
| | | MC(%) | 58 | 53 | 16.7 | 16 |
| | B _{HT2} | Day | - | - | 7 | 9 |
| | | MC(%) | 60 | 51 | 15.4 | 12 |
| | B _{HT3} | Day | - | - | 17 | 23 |
| | | MC(%) | 61 | 50 | 16 | 12 |
| Non-heat treatment | B _{NT1} | Day | - | - | 30 | 30 |
| | | MC(%) | 66 | 66 | 23.7 | 24 |
| | B _{NT2} | Day | - | - | 8 | 9 |
| | | MC(%) | 58 | 58 | 15.7 | 12 |
| | B _{NT3} | Day | - | - | 19 | 30 |
| | | MC(%) | 64 | 64 | 16.3 | 12.8 |

Notes; MC: Moisture content, FSP: Fiber Saturation Point,

Heat treatment: (B_{HT1}: Dried at 20°C, 65% condition after heat treatment, B_{HT2}: Dried at 40°C, 40% condition after heat treatment and B_{HT3}: Dried at air condition), Non-heat treatment: (B_{NT1}: Dried at 20°C, 65% condition without heat treatment, B_{NT2}: Dried at 40°C, 40% condition without heat treatment and B_{NT3}: Dried at air condition without heat treatment).

Fig. 1은 함수율 단계별 건조속도를 그래프로 나타낸 것으로 건조 초기에서 섬유 포화점까지 진행할수록 건조속도가 급격히 감소하여 목재와 매우 흡사한 경향을 보여주고 있다. 이와 같이 건조곡선과 건조속도는 온도와 습도에 따라 크게 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 또한 같은 온도와 습도라고 할지라도 죽재의 FSP까지 함수율은 진베기 작업을 했을 경우 무처리에 비해 그래프가 항상 아래에 존재하였으며 B_{HT2}나 B_{NT2}, B_{HT3}와 B_{NT3}은 FSP에서 평형함수율까지 도달하는 데는 약간의 차이가 있었으나 거의 비슷한 경향의 함수율 상태를 나타내었다. 따라서 본 연구 수행 조건 중에서 단소용 대나무를 빠른 시간 내에 건조하기 위한 적합한 조건은 건조스케줄 B_{HT2}, B_{NT2}가 적당하였다.

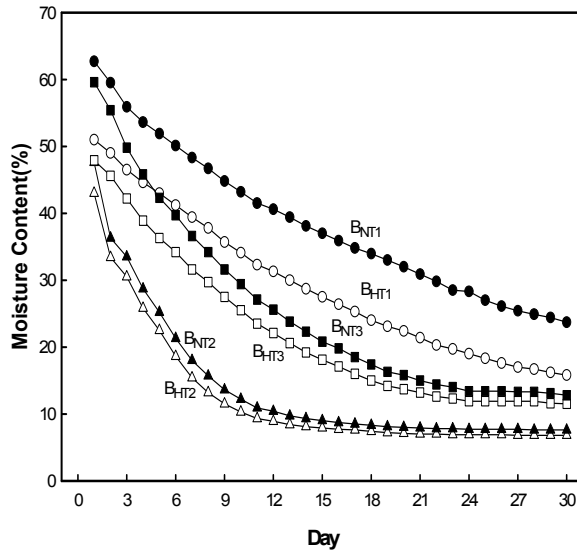


Fig. 1. Change of Moisture Content by drying period.

Legend: ●: BNT1, ○: BHT1, ■: BNT3, □: BHT3, ▲: BNT2, △: BHT2.

라. 건조 조건에 따른 건조 결함 평가

무처리재와 직접가열에 의한 열처리 후 대기방치, 온도 20°C 관계습도 65%의 항온항습실과 온도 40°C 관계습도 40%의 항온항습실 조건에서 건조하여 평형함수율에 달한 후 다시 시험편을 대기상태로 두어 대기 함수율과 평행에 달했을 때 할렬의 유무를 관찰하였다. 표 2는 건조 결함 평가를 위하여 각각의 건조 조건하에서 발생한 할렬의 개수를 나타내었다. 열처리를 하지 않은 대기 건조 시에는 5개의 시료 중 4개에서 할렬이 발생하였다. 열처리 후에 대기 건조 시에는 5개중 1개에서 할렬이 발생하였다. 열처리를 실시한 시료 및 무처리 시료를 온도 20°C에 관계습도 65%의 조건에서 건조시켰을 경우에는 할렬이 발생하지 않았으나 온도 40°C, 관계습도 40%의 조건에서 건조시켰을 경우에는 5개의 시료 중 1개에서 할렬이 발생하였다. 건조시간은 온도 20°C, 관계습도 65%조건보다도 짧은 시간 내에 건조시킬 수 있었다. 이러한 결과로 볼 때 진빠기 처리인 열처리가 할렬 방지에 효과가 있으며 적당한 건조 스케줄을 개발한다면 건조결함을 줄이거나 발생시키지 않고 건조시간을 단축시키면서 건조가 가능할 것으로 판단된다. 또한 짧은 건조시간을 요할 경우 온도 40°C, 관계습도

40%의 조건에서 건조를 실시한다면 더욱 짧은 시간 내에 건조가 가능하리라 생각된다.

Table 2. The number of splitted specimen by drying condition

| Treatment conditions | | Drying conditions | | |
|----------------------|----------|-------------------|----------|----------|
| | | Air condition | 20℃, 65% | 40℃, 40% |
| Non-heat treatment | Specimen | 5(4) | 5(0) | 5(1) |
| Heat treatment | Specimen | 5(1) | 5(0) | 5(1) |

Note; (): The Number of splitted bamboo.

사진 5는 열처리를 하지 않은 시료이고 **사진 6**은 열처리를 실시한 시료를 나타내었다. 사진 5, 6을 통해서 알 수 있는 바와 같이 열처리를 실시한 시료의 할렬이 무처리재의 할렬에 비하여 아주 미세하고, 할렬수가 적어 할렬예방에 열처리의 효과가 있음을 알 수 있다. 또한 사진 5의 길이방향 할렬이 사진 6의 길이방향 할렬 보다 훨씬 심하게 나타났다. 따라서 대나무 건조 시 열처리를 실시하면 건조 시간의 단축뿐만 아니라 할렬의 수와 크기를 줄일 수 있다.

Table 3은 성장 환경이 서로 다른 경남 산청군 시천면, 창녕군 남지읍 그리고 경상대학교 연습림내의 대나무를 벌채 후 직접가열 하여 바로 대기상태로 방치한 후 할렬의 개수를 관찰하여 백분율로 나타내었다. 산청군 시천면의 대나무 할렬비율이 13%로 가장 낮았으며 경상대 연습림 그리고 창녕군 남지읍 순이었다. 이것은 대나무가 성장할 때 토양성분이나 강수량, 연평균 온도, 일조량 등의 여러 가지 성장 환경 조건에 따른 화학적 성분의 차이와 비중에 관련이 있는 것으로 판단되므로 차후 연구해야할 과제인 것 같다.

Table 3. The ratio of splitted specimen after heat treatment by growth area

| Location | Number of specimen | Number of split | Rate of split(%) |
|--|--------------------|-----------------|------------------|
| Sancheong-gun, Sicheon-myon | 30 | 4 | 13 |
| Changnyeonggun, Namgi-up | 20 | 6 | 30 |
| Gyeongsang NU. Experimental plantation | 20 | 4 | 20 |

4. 결론

단소용 대나무의 건조과정에서 일어나는 건조결함을 예방함과 동시에 원활한 건조를 위해 토치램프를 이용한 직접가열 방식의 진빼기 처리 및 건조 조건에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 진주 경상대에서 2월에 채취한 단소용 솜대의 함수율은 55~74%이고 평균 함수율은 67%이었다.
- 2) 진빼기 작업 시 가열온도는 재에 탄화를 일으키지 않으면서 광택을 내는 180℃ 정도의 온도가 적합하였으며 가열 처리 시간은 불꽃이 재면에 닿았을 때는 2~3초가 적당하였다.
- 3) 진빼기 작업은 건조결함을 방지 및 건조시간 단축에 효과가 있었다.
- 4) 적당한 건조 스케줄로 건조하면 할렬의 발생을 줄이면서 건조시간을 단축시킬 수 있었으며 본 연구 조건 중에서 최상의 건조조건은 온도 40℃와 관계습도 40%이었다.

5. 인용문헌

1. Akitsu, H., M. Norimoto, and T. Morooka. 1991. Vibrational properties of chemically modified wood. J. Japan Wood Res. Soc. 37(7): 590~597.

2. Itoh, T. 1990. Lignification of Bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) During its Growth. *Holzforschung*. 47(2) : 191~200.
3. Laxamana, M. G. 1985. Drying of some commercial Philippine bamboos. *FPRDI Journal (Philippine)*. 14(1/2); 8~19.
4. Rowell, R. M. , R. S. Lichtenberg, and P. Larsson. 1993. Stability of acetylated wood to environmental changes. *Wood & Fiber Sci.* 25(4) : 359~364.
5. Takeshi, O. 1991. Acoustic properties of wood. *J .Japan Wood Res. Soc.* 37(11) : 991~998.
6. Yano, H., M. Norimoto, and Rowell, R. M. 1993. Stabilization of acoustical properties of wooden musical instruments by acetylation. *Wood & Fiber Sci.* 25(4) : 395~403.
7. 강호양 · 이종신 · 허종윤 · 이관영 · 심준오. 1996. 전통 대나무 악기재의 아세틸화. *목재공학* 24(5) : 5~11.
8. 이화형 · 위 흡 · 이원용 · 박상진 · 홍병화. 1989. 목재물리 및 역학. 향문사. : 377.

제4절 우드세라믹 제조기술 개발

1. 서론

산림의 무육과정에서 발생하는 간벌재 및 임지폐재의 활용방안에 대한 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다. 특히 간벌재는 건축산업용으로 건축가설재, 건축내장재, 갱목 등에 쓰여졌고, 농림수산용으로는 해태목, 인삼지주목, 레크레이션용으로는 공원놀이시설, 야외용 의자 등으로 주로 사용되어 왔으나 간벌재의 다양한 원목형질 때문에 고도의 이용방법에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이러한 간벌재의 고부가가치 활용방법의 하나로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하는 연구가 진행되고 있다(Oh *et al.*, 2000a, 2000b; 오 2001). 우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 주입한 후 진공상태의 고온에서 소성하여 만든 새로운 다공질 탄소재료로서 1995년 Okabe 와 Saito가 개발하여 명명한 이래 이에 대한 기초적인 연구가 진행되어 왔다(Kano *et al.*, 1996; Kasai *et al.*, 1996; Okabe & Saito, 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b; Shibata *et al.*, 1996). 우드세라믹은 가볍고 단단하며 내부식성, 원적외선 방사, 열전도성 및 전자파차폐 효과 등 장점을 지니고 있어 이를 공업적으로 다양하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 우드세라믹은 원재료의 특성 및 제조방법에 따라 성질이 다르기 때문에 용도에 맞게 적절한 제조방법을 선택해야 할 것으로 생각된다. 특히 최근에는 원적외선 방사물질에 대한 효능이 점차적으로 검증되어가고 있기 때문에 원적외선 방사체를 이용한 상품개발이 활발히 진행되고 있다(지철근, 2003). 또한 우드세라믹을 면상발열체로 이용하기 위해서는 우드세라믹의 전기적 특성, 표면온도 변화에 대한 기초연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 국내 주요 간벌재 수종을 대상으로 톱밥보드를 만든 후 수지함침율 및 소성온도, 승온속도 및 최고온도에서 유지시간에 따라 우드세라믹을 제조하고 물성을 조사하였다. 또한 표면온도 변화를 조사하기 위하여 실리콘러버 히터 위에서 우드세라믹의 열전도성 및 표면온도변화를 측정하였으며, 원적외선 방사특성과 전기적 성질을 조사함으로써 우드세라믹의 용도개발에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시목

공시목으로는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.), 낙엽송(*Larix kaemferi* C.) 및 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)간벌재를 사용하였다.

나. 톱밥보드제조

둥근톱을 이용하여 톱밥을 만든 후 입자의 크기를 1mm이하로 선별하고 함수율을 6%이하로 조절하였다. 보드를 제조하기 위하여 분말페놀수지와 톱밥을 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣은 다음 시료 상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26×26×1.4cm의 보드를 제조하였다. 이때 보드제조 조건은 수지혼합율 10%, 열압온도 190℃, 가압압력 40→20→10kgf/cm²(3단 가압), 열압시간 6→5→4분(3단 열압시간)으로 열압하여 밀도 0.6g/cm³의 보드를 각 실험 조건별로 10매씩 제조하였다. 보드제조 시 사용한 분말페놀수지(코오롱유화(주) KNB-100PL)로서 용점 80~95℃, 수지 고형분 99% 였다. 열압 과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의해서 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 시료의 상부와 하부면에 테프론 판을 깔아 실험 하였다.

다. 함침 및 우드세라믹 제조

톱밥보드를 12×12×1.4cm 크기로 절단한 다음 액상 페놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)가 들어있는 감압 함침장치에 넣고 1기압에서 함침율을 40~80%로 조절하여 함침 하였다. 함침에 사용한 페놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65cps, 겔화시간80~95sec 였다. 함침 후 시료를 건조기에 넣고 60℃에서 10시간 100℃와 135℃에서 각각 8시간씩 건조 및 경화시켰다. 건조한 다음 수지함침율 및 소성온도에 따른 물성을 조사하기 위하여 진공소결로 (KOVAC KSF-200V, 고려진공(주)<사진 7>)를 이용하여 각 수종 및 함침율 40, 50, 60, 70, 80%별로 800℃에서 소성 하였으며, 함침율 70%인 시편은 소성온도 600, 800, 1000, 1200, 1500℃에서 소성하여 우드세라믹을 제조하였다<사진 8>. 이때 승온속도는 4℃/min. 이었으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 냉각시켰다. 또한 승온속도 및 최고온도에서 유지

시간에 따른 물성을 조사하기 위하여 함침율 70±2%의 시험편을 승온속도 2℃/min, 3℃/min, 4℃/min, 5℃/min, 6℃/min 조건으로 소성온도 800℃로 소성하였다. 또한 함침율 60±2%의 시험편을 최고온도에서 유지시간 1, 2, 3, 4, 5시간의 조건으로 소성온도 650℃로 소성하였다.

라. 물성조사

각 조건으로 제조된 우드세라믹의 부피와 무게를 측정하고 소성전과 비교하여 치수 및 중량변화와 밀도를 계산하였다. 기계적 성질은 만능강도시험기(Autograph, AGS - 10KN, Shimadzu)를 이용하여 휨강도는 하중속도 0.6mm/min., 압축강도는 0.5mm/min. 조건으로 측정하였으며, 이때 휨강도 시험편은 10x10x90mm, 압축강도 시험편은 10x10x10mm 이었다. 열전도성은 표면온도가 80℃로 설정된 실리콘 러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 시료표면에 온도계를 접촉시켜 기준온도까지 소요된 시간을 측정하여 열전도성을 나타내는 지표로 사용하였다. 측정 시 실내온도는 20±2℃ 이었고 30℃에서 5℃ 간격으로 50℃까지 소요된 시간을 다음 식에 의하여 측정하고 비교하였다.

열전도성(mm/sec) = D/T (D:시험편의 두께, T: 목표온도까지 소요된 시간)

마. 표면온도의 측정

설정온도 및 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도를 측정하기 위하여 전기전압 조절장치에 실리콘 러버히터를 연결하고, 20V에서 목표온도를 설정한 후 온도센서를 이용하여 히터의 표면온도를 고정하였다. 가열된 실리콘러버 히터위에 우드세라믹을 올려놓고 그 위에 다른 온도센서를 부착하여 시간의 경과, 히터바닥온도의 변화 및 온도하강 시간에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 측정하였다. 이때 우드세라믹 표면온도 측정은 실내(20±2℃)에서 Thermo Recorder(T and D Co., Ltd TR-71S)를 이용하여 측정하였다<사진 9>.

바. 원적외선 방사 및 전기적 성질 조사

소성온도 및 수지 함침율별로 제조된 우드세라믹의 양쪽 가장자리 옆에 폴리마형동 도전 paste(三井金屬塗料化學, S-5000)를 coating 한 후 전선을 연결하고 Digital power meter를 이용하여 저항, 전압, 전류 및 소비전력을 측정하여 전기적 특성을

조사하였다. 또한 우드세라믹의 원적외선 특성을 조사하기 위하여 가로 30mm×세로 30mm×두께 2mm의 시편을 제작하여 공시재료로 사용하였다.

원적외선 분광 방사율은 FT-IR Spectrometer(MIDAC, Corporation)를 이용하여 50℃에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수지함침율 및 소성온도에 따른 성질

1) 밀도, 중량 및 치수변화

각 수종별 간벌재 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 소성 전 수지함침율 및 소성온도에 따른 밀도의 변화를 Figs. 1~2에 나타내었다. 수지함침율 40%일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 $0.76\text{g}/\text{cm}^3$, 낙엽송은 $0.73\text{g}/\text{cm}^3$, 잣나무는 0.75cm^3 이었으며, 수지함침율 80%일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 $0.83\text{g}/\text{cm}^3$, 낙엽송과 잣나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 $0.84\text{g}/\text{cm}^3$ 로 소성전의 수지함침율이 높을수록 소성 후 우드세라믹의 밀도는 증가하였다. 수종간의 뚜렷한 밀도차이는 없었으며 수지함침율 60%까지는 소나무보드로 제조된 우드세라믹의 밀도가 약간 높았다. 수지함침율이 높을수록 세포벽에 들어있는 많은 양의 페놀수지가 탄화과정에서 유리질탄소(Glassy carbon)로 변환하여 세포벽을 강화시켜 소성 후 밀도의 증가요인으로 작용한 것으로 판단된다(Okabe & Saito, 1995a, 1995b).

소성온도별 밀도변화는 소성온도 600℃일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 $0.75\text{g}/\text{cm}^3$, 낙엽송과 잣나무는 각각 $0.72\text{g}/\text{cm}^3$, $0.74\text{g}/\text{cm}^3$ 이었으며, 소성온도 1000℃일 때 소나무와 잣나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 $0.83\text{g}/\text{cm}^3$, 낙엽송은 $0.82\text{g}/\text{cm}^3$ 이었으나, 소성온도 1200℃이후에는 소성온도가 높을수록 밀도는 감소하였다. 이는 소성온도가 높을수록 길이, 두께 등 치수감소율에 비하여 상대적으로 중량 감소율이 컸기 때문으로 생각된다. 또한 수지함침율과 소성온도에 따른 치수 및 중량 감소율의 변화를 Figs. 3~8에 나타내었다. 중량 감소율은 수지함침율 40% 경우 수종별로 61~62%에서 수지함침율 80%일 때 57~58.5%로 수지함침율이 증가함에 따라 낮아졌으나, 소성온도 600℃의 경우 중량 감소율은 수종별로 56.8~59%, 소성

온도 1500℃일 때 60~63.5%로 소성온도가 증가함에 따라 완만히 커졌다. 길이 감소율은 수지함침율 40%일 때 수종별로 23.5~25.8%, 함침율 80%일 때 22.5~24.0%로 수지함침율이 높을수록 낮아졌으며, 소성온도 1500℃일 때 23.8~25.7%로 소성온도가 높을수록 완만히 커졌다.

두께감소율은 수지함침율 40%의 경우 수종별로 29.9~31.2%, 함침율 80%일 때 27.8~28.4%로 수지함침율이 높을수록 낮아졌으며, 소성온도 600℃의 경우 두께감소율은 수종별로 24.0~27.5%, 소성온도 1500℃일 때 28.9~30.8%로 소성온도가 높을수록 완만히 커졌다. 이전의 연구자들(Oh *et al.*, 2000a, 2000b)에서와 같이 치수 및 중량 감소율은 수지함침율이 증가할수록 낮아졌으나 소성온도가 높을수록 완만히 커졌으며 두께 감소율이 길이 감소율보다 크게 나타났다. 소성온도에 따른 치수 및 중량 변화는 목재나 수지의 탄소 화 반응에 의한 구조변화에 기인되며 1000℃이상에서는 감소율이 완만해지는데 이는 페놀수지의 방향족 다환구조의 탄소 화에 의한 것이라고 판단된다.

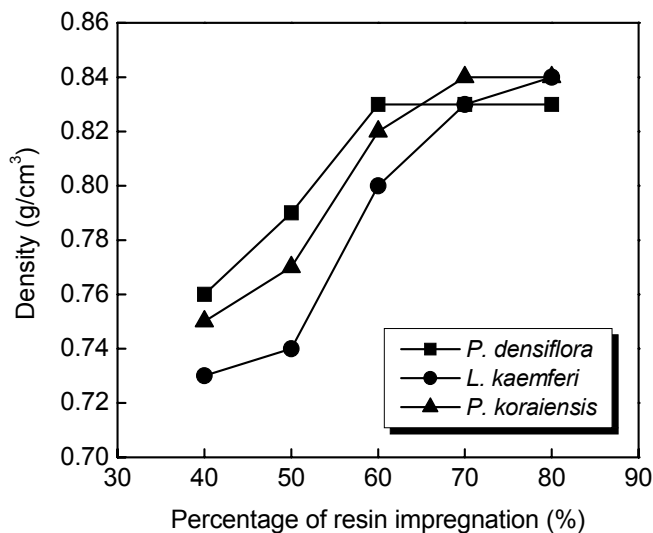


Fig.1. Relationship between percentage of resin impregnation and density of woodceramics.

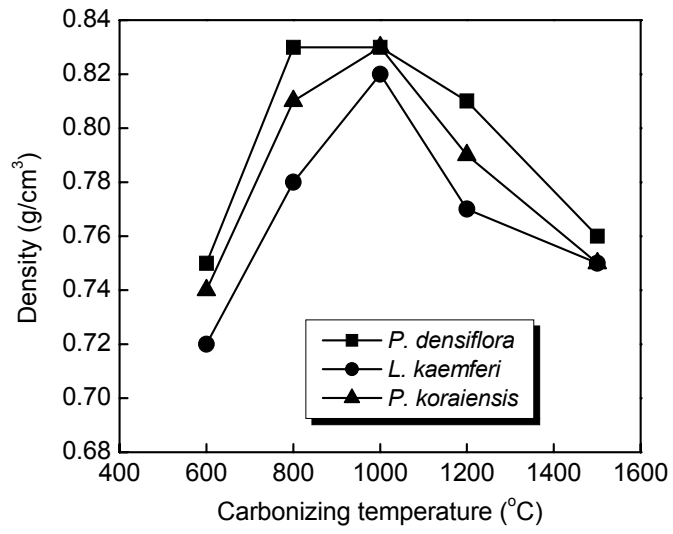


Fig.2. Relationship between carbonizing temperature and density of woodceramics.

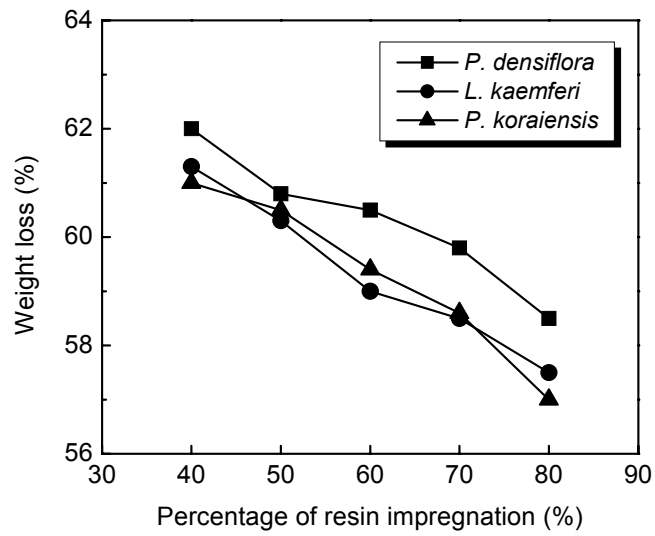


Fig.3. Relationship between percentage of resin impregnation and weight loss.

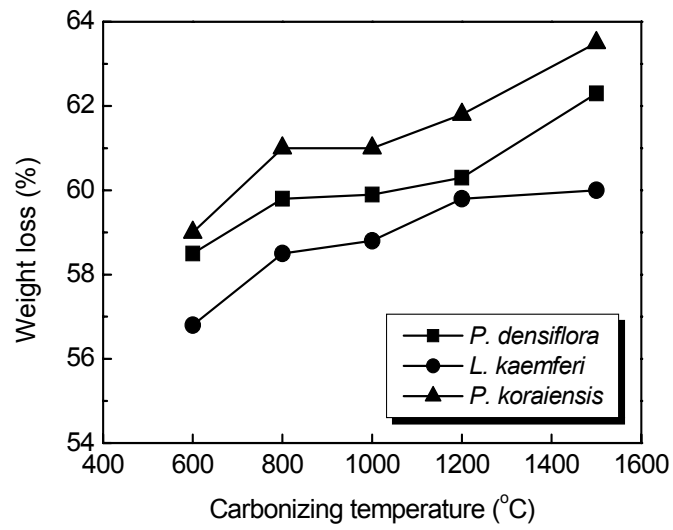


Fig.4. Relationship between carbonizing temperature and weight loss.

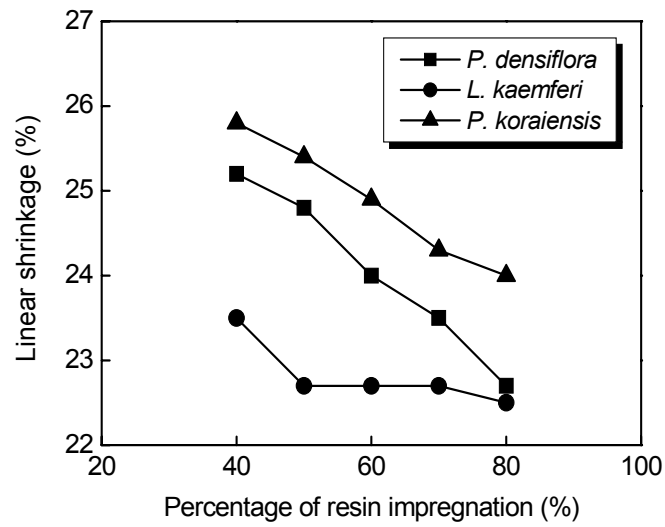


Fig.5. Relationship between percentage of resin impregnation and linear shrinkage.

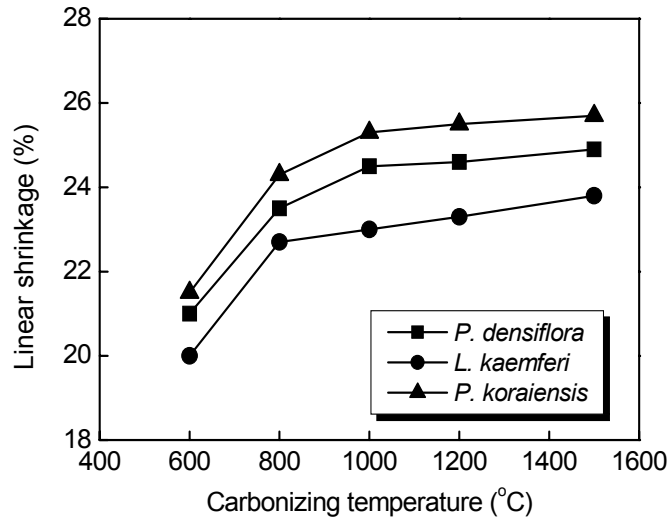


Fig.6. Relationship between carbonizing temperature and linear shrinkage.

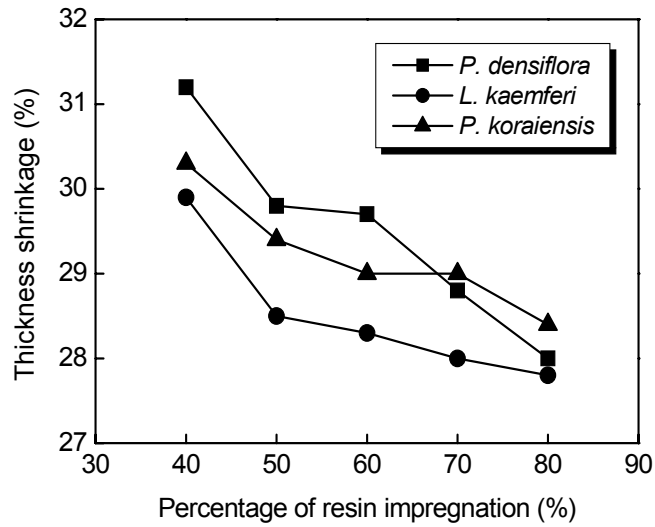


Fig.7. Relationship between percentage of resin impregnation and thickness shrinkage.

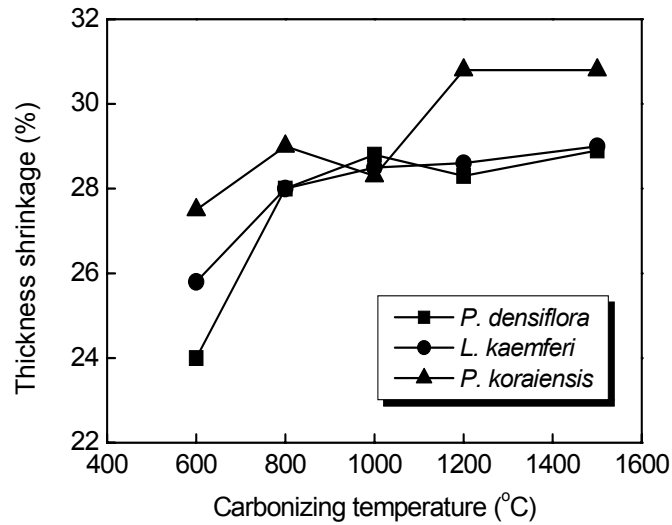


Fig.8. Relationship between carbonizing temperature and thickness shrinkage.

2) 열전도성

소성 전 수지함침율과 소성온도별로 제조된 우드세라믹의 열전도성을 비교하여 Table 1, 2에 나타내었다. 수지함침율 별 우드세라믹에 대한 단위시간(sec.)당 열전도 거리를 비교해 본 결과 함침율이 증가할수록 밀도가 증가하여 열전도성이 우수함을 알 수 있었으며, 소나무로 제조된 우드세라믹의 경우 함침율 80%일 때 밀도는 높았으나 열전도성이 상대적으로 낮은 이유는 시편의 두께가 두꺼웠기 때문으로 생각된다. 수종별로는 뚜렷한 차이는 없었으나 낙엽송으로 제조된 우드세라믹이 약간 높은 열전도성을 나타냈다.

소성온도별 열전도성은 소성온도에 따라 뚜렷한 경향은 없었으나 대체적으로 소성온도가 증가할수록 열전도성도 높은 것으로 나타났다. 특히 소성온도 1500°C의 경우 밀도는 낮고 시편의 두께도 두꺼웠음에도 불구하고 열전도성이 높게 나타났는데 이에 대한 원인을 확실히 설명할 수 없으나 소성과정에서 우드세라믹의 조직변화, 열적특성 등의 차이에 기인된 것으로 생각되며 열전도율에 대한 구체적인 분석이 필요하다고 생각된다.

Table 1. Heat conduction of woodceramics from kinds of wood and carbonizing temperature

| Species | Carbonizing temperature (°C) | Thickness (mm) | Time | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to |
|-------------------------|------------------------------|----------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 30°C | 35°C | 40°C | 45°C | 50°C |
| | | | | mm/sec | mm/sec | mm/sec | mm/sec | mm/sec |
| <i>Pinus densiflora</i> | 600 | 12.4 | | 0.0611 | 0.0418 | 0.0288 | 0.0189 | 0.0120 |
| | 800 | 11.7 | | 0.0863 | 0.0597 | 0.0453 | 0.0358 | 0.0282 |
| | 1000 | 11.2 | | 0.1333 | 0.0842 | 0.0577 | 0.0393 | 0.0260 |
| | 1200 | 12.3 | | 0.1397 | 0.0976 | 0.0723 | 0.0535 | 0.0389 |
| | 1500 | 12.5 | | 0.1842 | 0.1423 | 0.0954 | 0.0725 | 0.0442 |
| <i>Larix kaemferi</i> | 600 | 11.8 | | 0.0670 | 0.0417 | 0.0275 | 0.0186 | 0.0124 |
| | 800 | 12.2 | | 0.1080 | 0.0619 | 0.0419 | 0.0414 | 0.0199 |
| | 1000 | 11.3 | | 0.0919 | 0.0589 | 0.0409 | 0.0281 | 0.0192 |
| | 1200 | 12.5 | | 0.1106 | 0.0706 | 0.0481 | 0.0321 | 0.0203 |
| | 1500 | 12.5 | | 0.1754 | 0.1325 | 0.0824 | 0.0632 | 0.0372 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | 600 | 12.7 | | 0.0747 | 0.0488 | 0.0339 | 0.0236 | 0.0159 |
| | 800 | 11.7 | | 0.0775 | 0.0520 | 0.0381 | 0.0279 | 0.0196 |
| | 1000 | 12.0 | | 0.1132 | 0.0727 | 0.0504 | 0.0354 | 0.0232 |
| | 1200 | 12.1 | | 0.0725 | 0.0498 | 0.0353 | 0.0243 | 0.0178 |
| | 1500 | 12.4 | | 0.1813 | 0.1160 | 0.0878 | 0.0604 | 0.0404 |

Table 2. Heat conduction of woodceramics from kinds of wood and percentage of resin impregnation

| Species | Percentage of resin impregnation (%) | Thickness (mm) | Time | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 30°C | 35°C | 40°C | 45°C | 50°C |
| | | | | mm/sec | mm/sec | mm/sec | mm/sec | mm/sec |
| <i>Pinus densiflora</i> | 40 | 10.7 | | 0.0542 | 0.0312 | 0.0201 | 0.0124 | 0.0091 |
| | 50 | 10.9 | | 0.0673 | 0.0407 | 0.0271 | 0.0178 | 0.0125 |
| | 60 | 10.8 | | 0.0800 | 0.0489 | 0.0339 | 0.0234 | 0.0158 |
| | 70 | 11.7 | | 0.0863 | 0.0597 | 0.0453 | 0.0358 | 0.0282 |
| | 80 | 12.8 | | 0.0638 | 0.0434 | 0.0401 | 0.0220 | 0.0142 |
| <i>Larix kaemferi</i> | 40 | 11.0 | | 0.0624 | 0.0512 | 0.0325 | 0.0214 | 0.0101 |
| | 50 | 11.2 | | 0.0848 | 0.0546 | 0.0370 | 0.0247 | 0.0150 |
| | 60 | 11.5 | | 0.0865 | 0.0556 | 0.0401 | 0.0324 | 0.0182 |
| | 70 | 12.6 | | 0.0945 | 0.0632 | 0.0464 | 0.0348 | 0.0265 |
| | 80 | 11.6 | | 0.1207 | 0.0941 | 0.0617 | 0.0457 | 0.0355 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | 40 | 10.9 | | 0.0537 | 0.0315 | 0.0267 | 0.0127 | 0.0082 |
| | 50 | 10.8 | | 0.0624 | 0.0457 | 0.0315 | 0.0217 | 0.0129 |
| | 60 | 10.9 | | 0.0826 | 0.0519 | 0.0363 | 0.0260 | 0.0160 |
| | 70 | 11.7 | | 0.0775 | 0.0520 | 0.0381 | 0.0279 | 0.0196 |
| | 80 | 12.4 | | 0.1155 | 0.0842 | 0.0598 | 0.0435 | 0.0319 |

3) 기계적 성질

소성온도 800°C에서 각 수종별로 제조된 우드세라믹의 수지함침율에 따른 기계적 성질을 측정된 결과를 Table 3과 Figs. 9~11에 나타냈다. 휨강도의 경우 수지함침율이 높을수록 증가하였으며 수종간의 차이는 없었다. 압축강도 및 경도도 수지함침율이 증가함에 따라 증가하였으며, 압축강도는 소나무로 제조된 우드세라믹이 상대적으로 약간 적었다. 수지함침율과 기계적 성질과의 관계에서 수지함침율이 증가할수록 기계적 성질이 우수하였는데, 이는 수지함침율이 높을수록 세포벽 및 내강에 존재하는 많은 양의 수지가 소성과정에서 유리질 탄소로 변환되어 강도에 영향을 미쳤

기 때문에 판단된다. 岡部(1996)는 소성온도 800℃, 1500℃, 2000℃로 소성한 MDF의 휨 탄성율은 수지함침율 68.9% 시편이 0%보다 각각 1.7, 1.3, 1.6배, 휨강도는 각각 2.2, 1.7, 1.8배 이었다고 보고한 바 있다.

Table 3. The mechanical properties of woodceramics manufactured at different percentage of resin impregnation

| Species | PRI ^a | MOR ^b (kgf/cm ²) | MOE ^c (kgf/cm ²) | Hardness (kgf/cm ²) | CS ^d (kgf/cm ²) |
|---------------------|------------------|--|--|------------------------------------|---|
| <i>P.densiflora</i> | 50 | 68 ^e (10) ^g | 16242 ^e (5436) | 1.88 ^f (0.50) | 114 ^e (18) |
| | 60 | 75(17) | 17672(5779) | 2.01(0.48) | 132(25) |
| | 70 | 79(20) | 18248(6148) | 2.15(0.36) | 136(36) |
| | 80 | 98(21) | 19347(6416) | 2.17(0.41) | 165(38) |
| <i>L.kaemferi</i> | 50 | 70(9) | 17611(5316) | 1.65(0.18) | 96(20) |
| | 60 | 74(11) | 18347(5864) | 1.78(0.20) | 99(25) |
| | 70 | 78(13) | 17853(5016) | 1.99(0.25) | 104(35) |
| | 80 | 85(16) | 18714(5124) | 2.18(0.24) | 146(34) |
| <i>P.koraiensis</i> | 50 | 72(8) | 16547(3715) | 1.60(0.15) | 99(19) |
| | 60 | 73(10) | 17405(5137) | 1.67(0.45) | 124(25) |
| | 70 | 79(11) | 16978(5016) | 2.04(0.30) | 138(27) |
| | 80 | 105(15) | 19974(6240) | 2.08(0.40) | 175(43) |

^a Percentage of resin impregnation, ^b Modulus of rupture as determined from a bending test, ^c Modulus of elasticity as determined from a bending test, ^d Compression maximum crushing strength, ^e Each mean value from 15 replications, ^f Each mean value from 5 replications, ^g parenthesis is standard deviation.

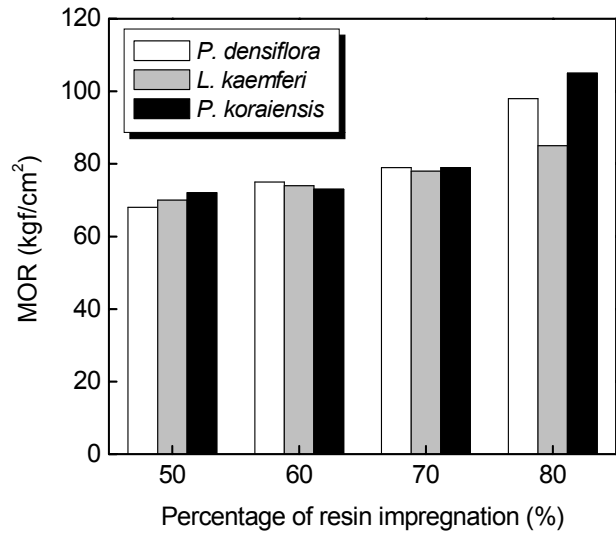


Fig.9. The average values of MOR according to percentage of resin impregnation and species of woodceramics.

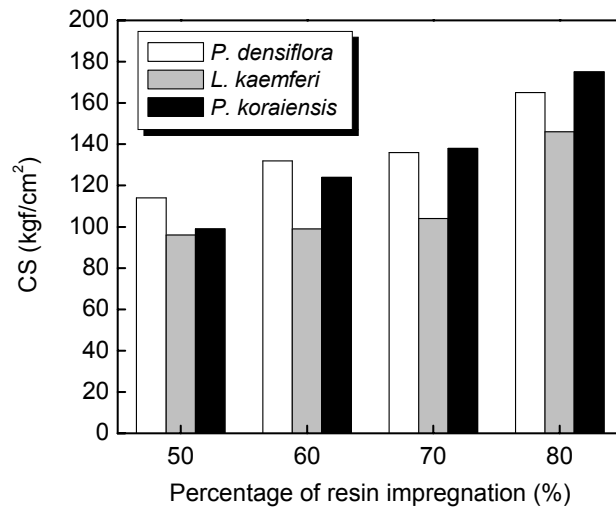


Fig.10. The average values of maximum crushing strength according to percentage of resin impregnation and species of woodceramics.

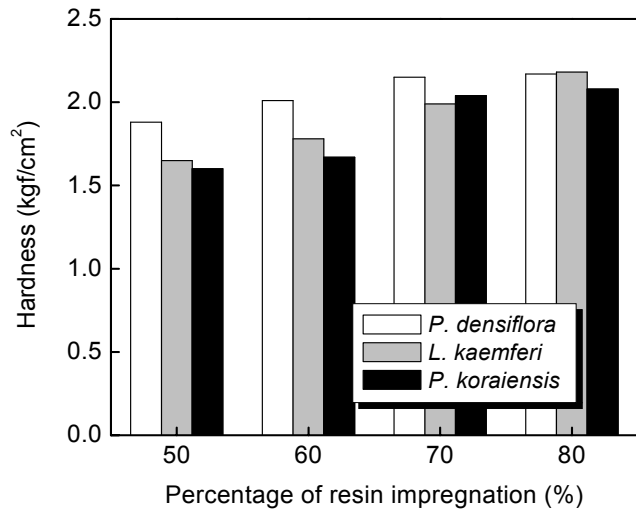


Fig.11. The average values of hardness according to percentage of resin impregnation and species of woodceramics.

Table 4와 Figs. 12~14는 각 수종별로 제조된 우드세라믹의 소성온도에 따른 기계적 성질을 나타낸 것이다. 모든 수종에서 대체적으로 소성온도가 증가함에 따라 휨강도도 증가 하였다. 소나무로 제조된 우드세라믹을 제외하고 소성온도 1500℃에서 최고치를 나타냈으며, 소나무는 1200℃에서 최고치를 나타냈다. 수종 간에는 큰 차이는 없었지만 잣나무로 제조된 우드세라믹의 휨강도가 비교적 적은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 오와 변(2002)이 MDF로 제조된 우드세라믹의 휨강도 측정 값보다 작았는데, 이는 원재료인 톱밥보드의 함침에서 전 부분에 걸친 균일한 함침이 이루어지지 않아 소성 후 제품의 특성이 부위별로 차이가 있었기 때문으로 사료된다. 압축강도는 Fig. 2에서 보는바와 같이 소성온도 1000℃까지는 소성온도가 증가함에 따라 증가하였으나 소성온도 1200℃와 1500℃에서는 감소하였다. 소성온도 1000℃에서 수종별 압축강도는 소나무는 152 kgf/cm², 낙엽송은 160 kgf/cm², 잣나무는 189 kgf/cm²로 잣나무의 압축강도가 약간 큰 것으로 나타났다.

Table 4. The mechanical properties of woodceramics manufactured at different carbonizing temperature

| Species | CT ^a | MOR ^b (kgf/cm ²) | MOE ^c (kgf/cm ²) | Hardness (kgf/cm ²) | CS ^d (kgf/cm ²) |
|---------------------|-----------------|--|--|------------------------------------|---|
| <i>P.densiflora</i> | 600°C | 53 ^e (7) ^g | 15420 ^e (4823) | 1.95 ^f (0.59) | 33 ^e (6) |
| | 800°C | 74(18) | 23180(7255) | 2.00(0.52) | 115(27) |
| | 1000°C | 79(12) | 14150(5094) | 1.69(0.18) | 137(16) |
| | 1200°C | 104(15) | 19020(2182) | 1.54(0.31) | 152(33) |
| | 1500°C | 91(16) | 20620(3278) | 1.90(0.48) | 91(41) |
| <i>L.kaemferi</i> | 600°C | 64(10) | 13320(2185) | 1.21(0.16) | 42(7) |
| | 800°C | 72(10) | 16740(2031) | 1.97(0.18) | 99(17) |
| | 1000°C | 83(13) | 17220(3702) | 1.51(0.33) | 160(14) |
| | 1200°C | 82(14) | 17420(4317) | 2.01(0.32) | 102(20) |
| | 1500°C | 91(5) | 16930(2459) | 1.91(0.24) | 93(25) |
| <i>P.koraiensis</i> | 600°C | 57(18) | 15070(1414) | 1.71(0.21) | 73(17) |
| | 800°C | 72(26) | 18800(5573) | 2.02(0.35) | 124(11) |
| | 1000°C | 66(42) | 12390(5558) | 2.28(0.62) | 189(26) |
| | 1200°C | 75(4) | 12430(3437) | 1.85(0.20) | 89(17) |
| | 1500°C | 86(6) | 20370(2763) | 1.42(0.11) | 101(11) |

^a Carbonizing temperature, ^b Modulus of rupture as determined from a bending test,

^c Modulus of elasticity as determined from a bending test, ^d Compression maximum crushing strength, ^e Each mean value from 15 replications, ^f Each mean value from 5 replications, ^g parenthesis is standard deviation.

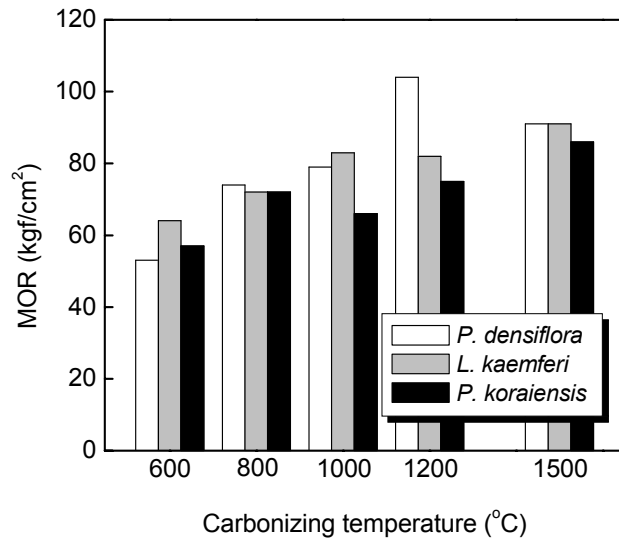


Fig.12. The average values of MOR according to carbonizing temperature and species of woodceramics.

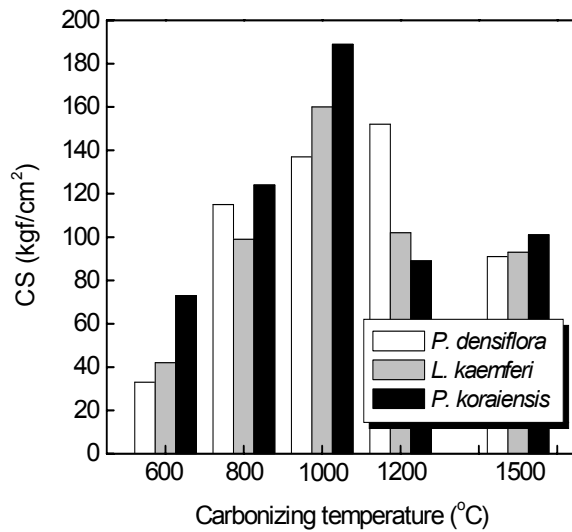


Fig.13. The average values of maximum crushing strength according to carbonizing temperature and species of woodceramics.

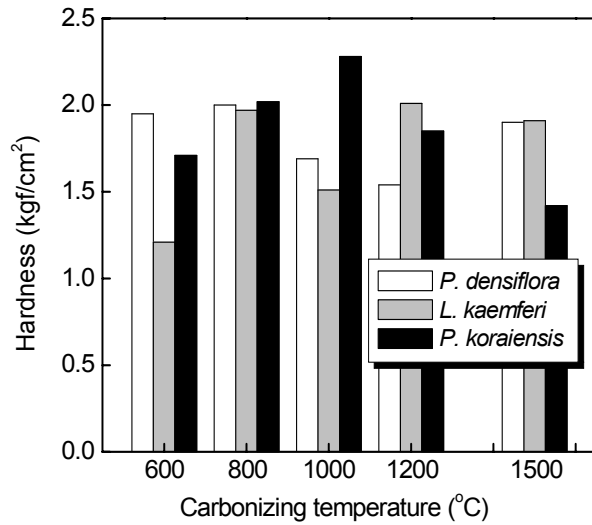


Fig.14. The average values of hardness according to carbonizing temperature and species of woodceramics.

4) 표면온도 변화

가) 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도

실리콘 러버히터의 표면온도를 60°C로 설정하고 그 위에 수지함침율 및 소성온도 별로 제조된 우드세라믹을 올려놓은 다음 3분 간격으로 30분 동안 우드세라믹의 표면온도 변화를 측정된 결과는 Figs. 15~16과 같다. 수지 함침율에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 경과시간 15분까지는 급격히 상승하다가 그 이후에는 완만한 상승경향을 나타내어 우드세라믹은 초기에 열전달이 빠름을 알 수 있었다. 경과시간 30분 후의 표면온도는 수지 함침율 40% 시편의 경우 45.1°C, 60%는 50.6°C, 80% 시료는 45.8°C로 함침율 60%로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았으며 함침율 40% 시편의 표면온도가 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 함침율이 높으면 우드세라믹 제조 후 밀도도 증가하여 열전달이 양호 할 것으로 생각되나, 본 연구에서는

함침율 80%의 밀도는 $0.84\text{g}/\text{cm}^3$ 로 함침율 60%의 밀도 $0.80\text{g}/\text{cm}^3$ 보다 컸으나 열전달은 오히려 좋지 않은 것으로 나타났다. 소성온도별 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며 경과시간 15분까지는 온도가 급격히 상승하는 경향을 보였다. 경과시간 30분 후의 우드세라믹의 표면온도는 소성온도 600°C 시편의 경우 52.2°C , 1000°C 시편은 55.2°C , 1500°C 시편은 53.5°C 로 소성온도 1000°C 시편의 온도가 가장 높았으며, 600°C 시편의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 소성온도 1200°C 이후에는 밀도가 약간 감소하여 우드세라믹의 열전도에 영향을 미친 것으로 생각되며, 우드세라믹의 열전도는 소성온도 및 밀도와 깊은 관련이 있는 것으로 판단된다.

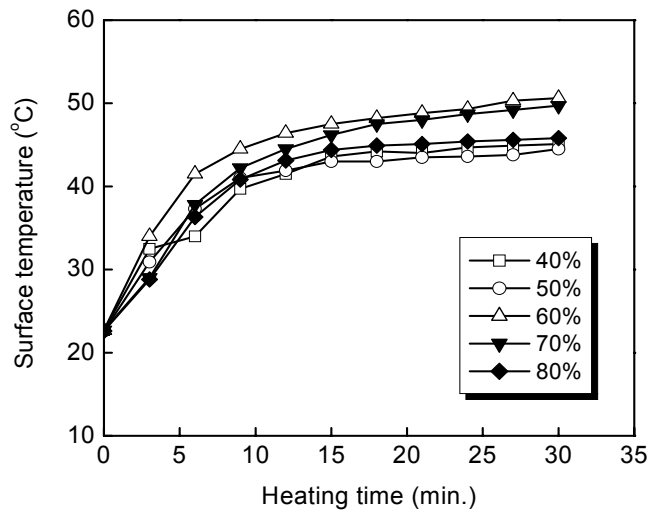


Fig.15. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics (Legend : Resin content).

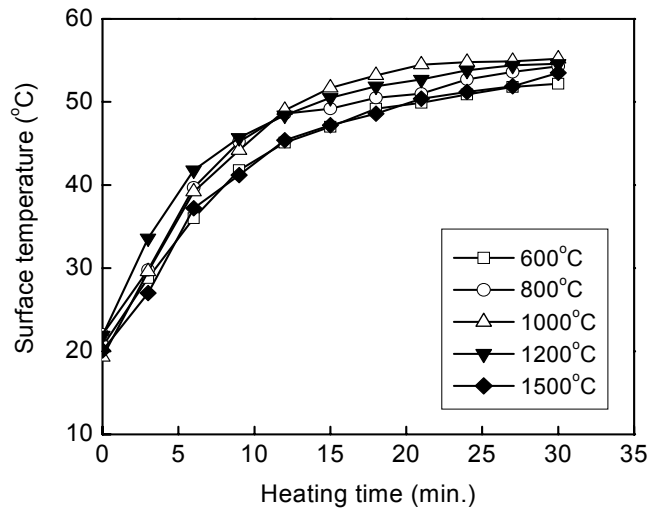


Fig. 16. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics.
(Legend: carbonizing temperature)

나) 히터 표면온도 상승에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화

각 조건별로 제조된 우드세라믹을 실온에서 실리콘러버 히터 위에 올려놓고 히터의 표면온도를 25°C에서 70°C까지 상승시키면서 우드세라믹 표면온도를 측정한 결과는 Figs. 17~18과 같다. 수지 함침율에 따른 우드세라믹의 표면온도는 실리콘 러버 히터의 표면온도가 상승함에 따라 함침율 40% 시편의 경우 히터의 표면온도가 25°C 일 때 21°C에서 표면온도 70°C일 때 47.7°C로, 60% 시편의 경우 히터표면온도 25°C 일 때 21.2°C에서 표면온도 70°C일 때 48.1°C로, 70% 시편은 히터의 표면온도 25°C 일 때 20.5°C에서 표면온도 70°C일 때 55.2°C로 히터의 표면온도를 상승시킴에 따라 직선적으로 상승하였다. 함침율별 우드세라믹 표면온도는 함침율 70% 시편이 가장 높았고, 40% 시편이 가장 낮아 함침율이 높은 보드의 페놀수지가 소성과정에서 많은 량의 유리질탄소(glassy carbon)로 변환되면서 밀도에 영향을 미쳐서 나타난 결과로 생각된다.

소성온도별 우드세라믹의 표면온도는 실리콘 러버히터의 표면온도가 상승함에 따라 소성온도 600°C 시편의 경우 히터의 표면온도 25°C일 때 19.9°C에서 70°C일 때 50.3°C로, 800°C 시편은 히터의 표면온도 25°C일 때 20.5°C에서 70°C일 때 54.3°C로, 1500°C 시편은 히터의 표면온도 25°C 일 때 20.7°C에서 70°C일 때 50.3°C로 증가하여 히터의 표면온도를 높일수록 우드세라믹의 표면온도는 급격히 상승하였다. 또한 실리콘 러버히터 표면온도 상승에 따른 소성온도별 우드세라믹의 표면온도는 800°C로 소성한 시편이 가장 높았으며 소성온도 1200°C 이후에는 소성 후 밀도가 약간 감소하여 표면온도의 변화에 영향을 미친 것으로 판단된다.

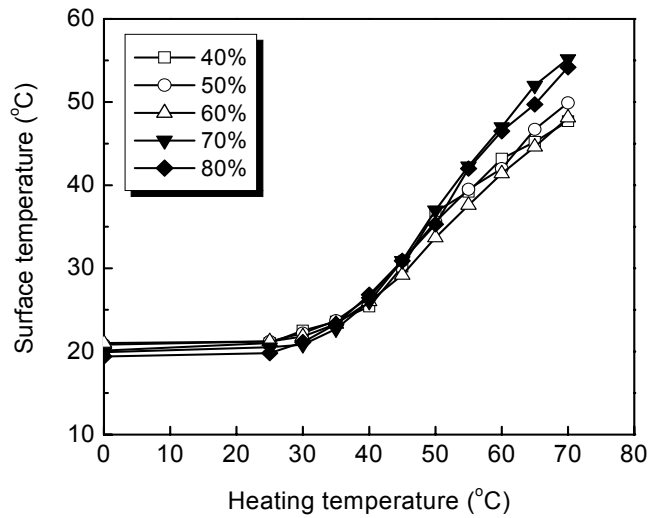


Fig.17. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics.

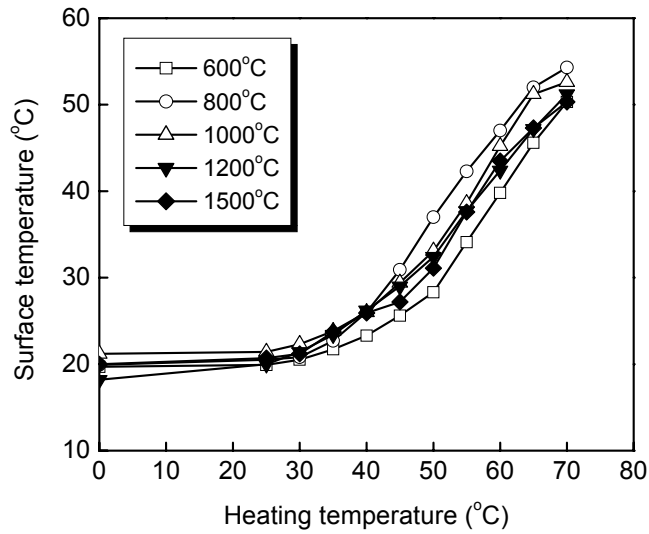


Fig.18. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics.

다) 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도 하강

함침율 및 소성온도 별로 제조된 우드세라믹의 표면온도 하강변화를 알아보기 위하여 표면온도 60°C로 설정된 실리콘 러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 30분 후의 표면온도를 측정하였다. 그 후 히터의 전원을 꺼서 히터의 표면온도를 하강시키면서 3분 간격으로 30분 동안 우드세라믹의 표면온도와 히터의 표면온도 하강을 측정하여 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 열 유지 정도를 조사하였다. Fig. 19에 나타난 바와 같이 수지 함침율에 따른 우드세라믹의 표면온도 하강은 히터의 표면온도가 30분 동안 60°C에서 28.8°C로 감소함에 따라 함침율 40% 시편의 경우 44.7°C에서 29.1°C로, 60% 시편은 50.6°C에서 34.7°C로, 80% 시편은 50.6°C에서 33.2°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 완만히 하강하였다. 한편 함침율 80% 시편의 처음온도와 30분 후의 온도차이가 17.4°C로 온도 변화가 가장 컸으며, 함침율 50% 시편은 11.5°C로 상대적으로 작아 함침율이 높은 시료의 온도 변화가 빠르게 나타났다. 또한 전체적으로 히터의 표면온도보다 우드세라믹의 표면온도도 하강속도

가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 소성온도를 달리하여 제조된 우드세라믹의 소성온도에 따른 표면온도의 하강은 Fig. 20과 같이 히터의 표면온도가 30분 동안 60℃에서 28.8℃로 감소함에 따라 소성온도 600℃ 시편은 50.2℃에서 30.0℃로, 1000℃ 시편은 54.0℃에서 29.8℃로, 1500℃ 시편은 53.5℃에서 31.7℃로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 완만히 하강하였다. 한편 소성온도 1000℃로 제조된 시편의 처음온도와 30분 후의 온도차이가 24.2℃로 온도변화가 컸으며, 600℃ 시편은 20.2℃로 상대적으로 작아 우드세라믹 표면온도의 하강은 수지함침율 보다 소성온도에 의해 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 이상의 결과, 낙엽송 간벌재로 제조된 우드세라믹을 열적성질과 관련된 재료로 이용하기 위해서는 수지 함침율 70~80%, 소성온도 800~1000℃정도에서 제조된 우드세라믹을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 본 실험에서 제조된 우드세라믹은 열을 오랫동안 유지하고있기 때문에 난방용 면상발열체의 재료로 사용이 기대된다. 그러나 우드세라믹의 표면온도 변화는 시편의 밀도와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각되어 수지 함침율과 소성온도의 변화 등 제조방법과 물성에 대한 연구와 우드세라믹을 직접 전기에 연결하여 정확한 표면온도의 변화를 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다.

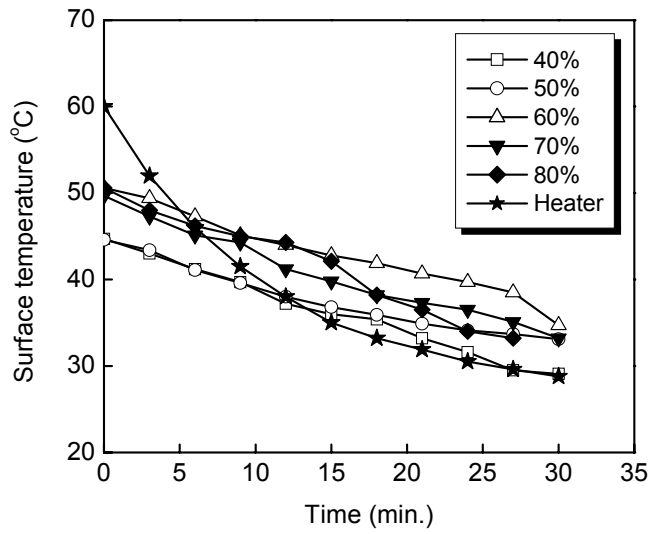


Fig.19. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

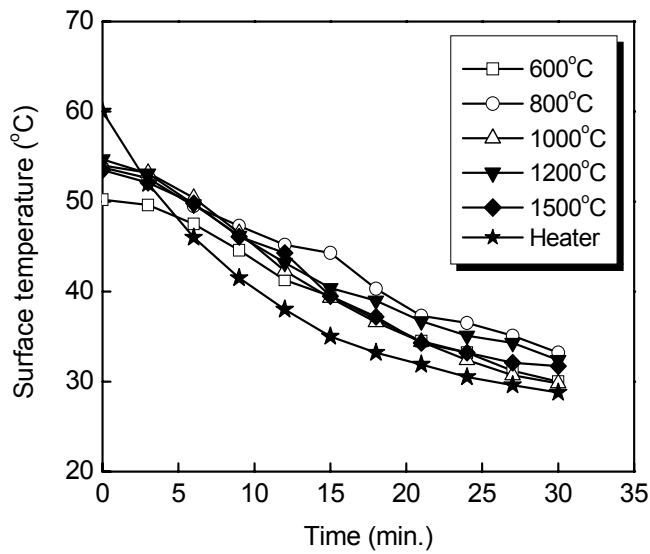


Fig.20. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

나. 승온속도 및 최고온도에서의 유지시간에 따른 성질

1) 밀도, 중량 및 치수변화

각 수종별 간벌재 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 승온속도 및 최고온도 유지시간에 따른 밀도의 변화를 Figs. 21~22에 나타내었다. 승온속도 2°C/min 일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.83g/cm³, 낙엽송은 0.82g/cm³, 잣나무는 0.81g/cm³이었으며, 승온속도 6°C/min 일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.79g/cm³, 낙엽송과 잣나무는 각각 0.75g/cm³, 0.76g/cm³로 우드세라믹 제조 시 승온속도가 빠를수록 소성 후 우드세라믹의 밀도는 약간 감소하였다. 수종 간 비교에서는 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도가 약간 높았다. 승온속도가 빠를수록 소성 시 탄소화가 진행되는 단계에서 많은 메틸기가 페놀성 산소가 분해가스로 밖으로 빠져나가고 우드세라믹을 구성하기 위한 요소가 감소됨에 따라 밀도가 낮게 나타난 결과로 생각된다(廣瀨, 1997).

소성온도 800°C에서 최고온도 유지시간에 따른 밀도 변화는 유지시간 1시간일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.76g/cm³, 낙엽송과 잣나무 우드세라믹의 밀도는 0.77g/cm³이었으며, 유지시간 2시간일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.83g/cm³, 낙엽송과 소나무 우드세라믹의 밀도는 각각 0.80g/cm³, 0.81g/cm³로 밀도가 가장 높았으며 그 후 유지시간 3시간일 때 수종별로 0.75~0.78g/cm³로 급격히 감소했다가 다시 완만히 증가하는 경향을 나타냈다.

또한 승온속도 및 최고온도 유지시간에 따른 소성 후 치수 및 중량 감소율의 변화를 Figs. 23~28에 나타내었다. 중량 감소율은 승온속도 2°C/min 일 때 소나무로 제조된 우드세라믹은 58.5% 낙엽송과 잣나무는 각각 57.0%, 59.0%이었으며, 승온속도 6°C/min 일 때 소나무로 제조된 우드세라믹은 60.3%, 낙엽송과 잣나무는 각각 58.5%, 60.5%로 승온속도가 빠를수록 중량 감소율은 완만히 증가하는 경향을 나타냈다. 최고온도 유지시간에 따른 중량 감소율은 유지시간 3시간일 때 소나무, 낙엽송, 잣나무로 제조된 우드세라믹의 경우 각각 60.0%, 58.5%, 62.5%로 가장 컸으며 수종별로는 잣나무로 제조된 우드세라믹의 중량 감소율이 약간 큰 것으로 나타났다.

길이 감소율은 승온속도 2°C/min 일 때 소나무, 낙엽송 및 잣나무로 제조된 우드세라믹은 각각 23.5%, 23.0%, 24.0%이었으며, 승온속도 6°C/min 일 때 수종별로 각각 24.5%, 23.5%, 25.2%로 승온속도가 빠를수록 길이감소율은 완만히 증가하였다.

최고온도 유지시간별 길이감소율은 유지시간이 증가함에 따라 완만히 증가하여 유지시간 5시간 일 때 잣나무로 제조된 우드세라믹은 24.5%, 소나무와 낙엽송은 23.0%로 가장 컸다. 수종 간 비교에서는 잣나무로 제조된 우드세라믹의 길이감소율이 약간 큰 것으로 나타났다. 두께감소율은 승온속도 2°C/min 일 때 수종별로 28.3%~29.0%에서 승온속도 6°C/min 일 때 28.5%~26.3%로 승온속도가 빠를수록 완만히 감소하였다. 최고온도 유지시간에 따른 두께 감소율은 유지시간이 증감함에 따라 완만히 증가하여 유지시간 5시간일 때 소나무와 낙엽송으로 제조된 우드세라믹은 29.0%, 잣나무는 30%로 가장 컸다. 岡部(1996)는 MDF를 이용하여 우드세라믹을 제조할 때 승온속도가 증가하면 휨강도와 경도가 감소하고 할렬이 발생한다고 하였다. 또한 廣瀬(1997)는 승온속도가 증가함에 따라 길이와 중량 감소율은 증가하였으며 밀도는 승온속도 10°C/min 이후에는 약간 증가하였다고 보고한바 있다. 특히 최근에 Hirose 등(2002)은 환경친화를 목적으로 액화목재를 주입하여 탄화속도별 우드세라믹을 제조한 후 물성을 조사한 결과 빠른 탄화온도 속도가 압축강도와 인장강도를 감소시켰다고 지적한바 있다.

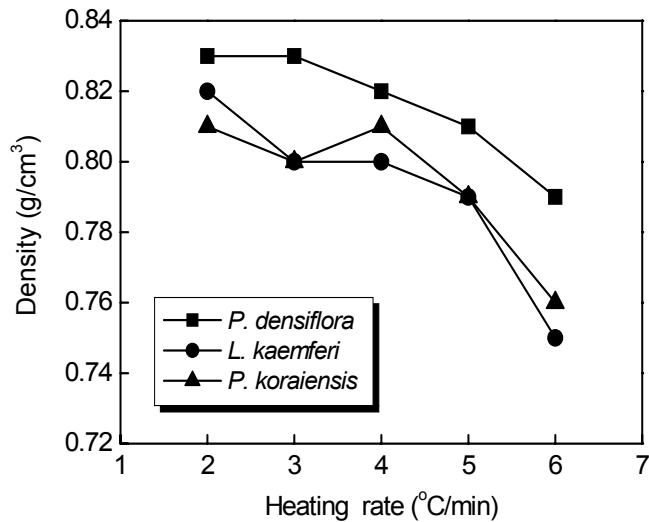


Fig.21. Relationship between heating rate and density of woodceramics.

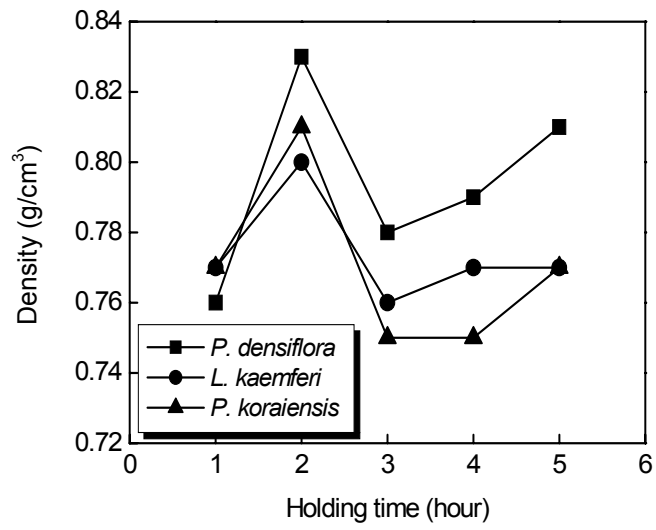


Fig.22. Relationship between holding time and density of woodceramics.

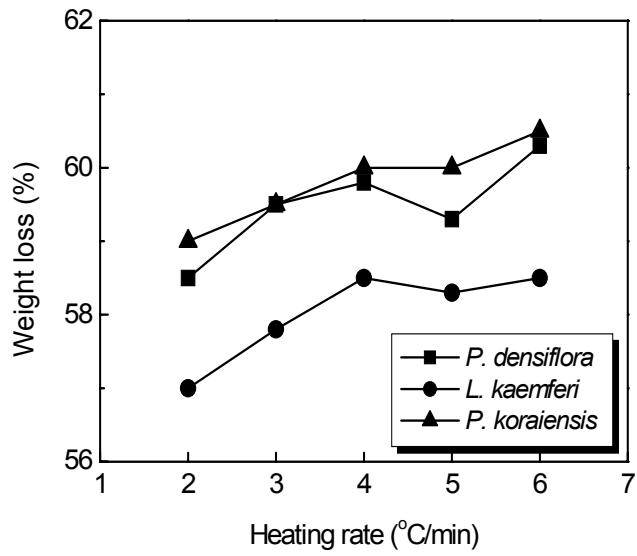


Fig.23. Relationship between heating rate and weight loss.

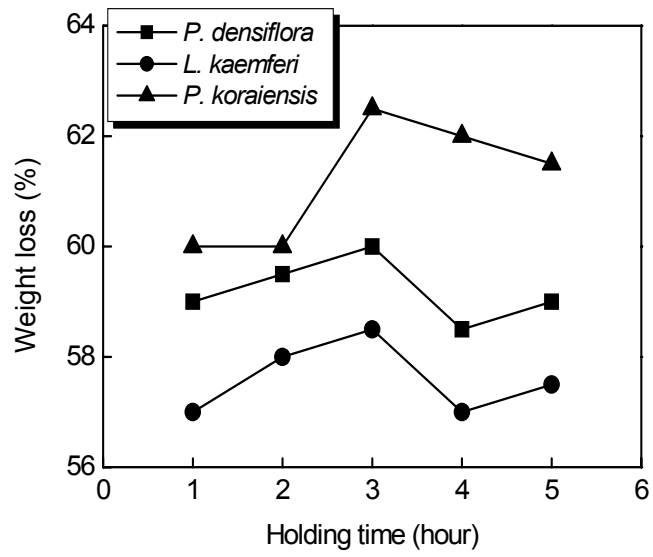


Fig.24. Relationship between holding time and weight loss.

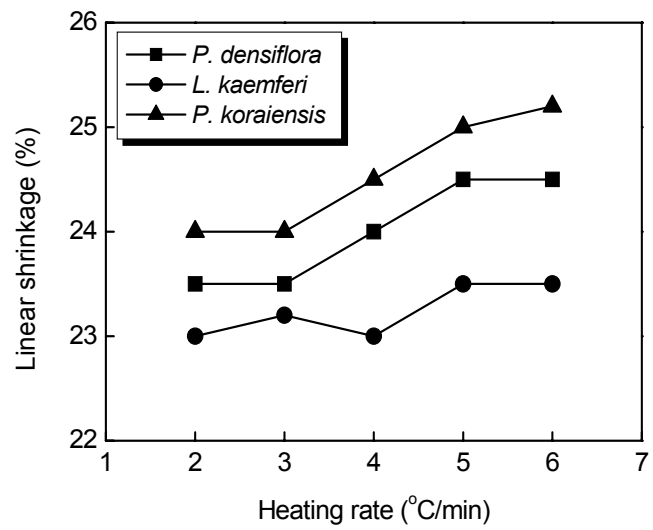


Fig.25. Relationship between heating rate and linear shrinkage.

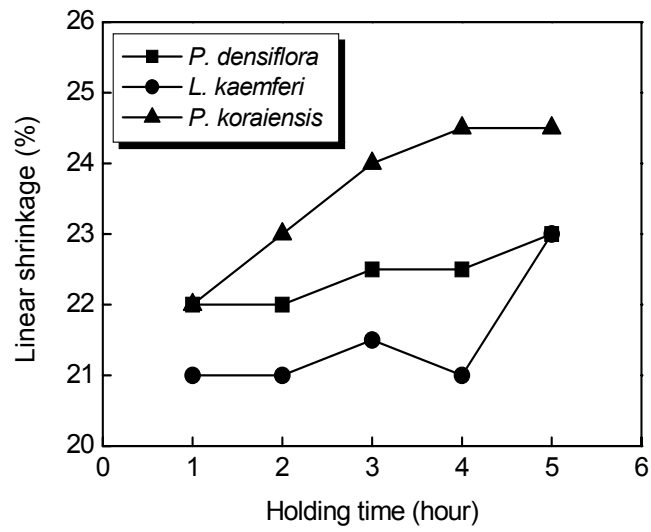


Fig.26. Relationship between holding time and linear shrinkage.

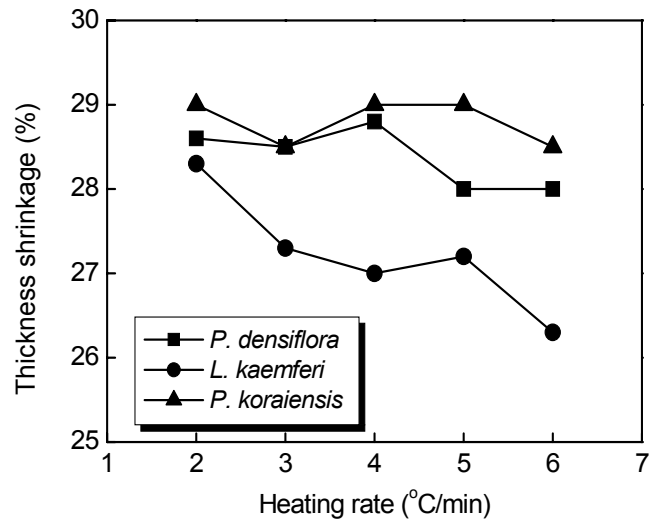


Fig.27. Relationship between heating rate and thickness shrinkage.

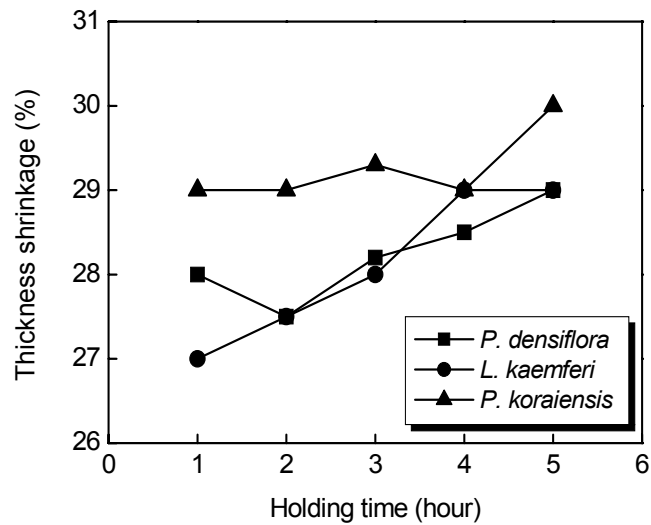


Fig.28. Relationship between holding time and thickness shrinkage.

2) 열전도성

소성 시 최고온도까지의 승온속도와 최고온도에서의 유지시간에 따른 우드세라믹의 열전도성을 비교하여 Table 5, 6 에 나타내었다. 승온속도 별 우드세라믹의 단위 시간당 (sec.) 열전도 거리를 비교한 결과 승온속도 2°C/min일 때가 가장 우수하였으며, 승온속도가 빠를수록 따라 열전도성은 약간 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 승온속도가 빠를수록 밀도가 약간 감소하여 열전도성에 영향을 미친 것으로 사료되며 수종 간에는 뚜렷한 차이는 없었다.

소성 시 최고온도에서의 유지시간에 따른 우드세라믹의 열전도성은 일정한 경향은 없었으나 전 수종에서 모두 유지시간 2시간일 때의 열전도성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 소성 후 우드세라믹의 밀도변화에서 유지시간 2시간일 때의 밀도가 가장 컸기 때문으로 생각되며, 우드세라믹을 열전도성과 관련된 재료로 사용할 때 우드세라믹 제조 시 최고온도 유지시간을 3시간 이상 유지하는 것은 의미가 없는 것으로 판단된다. 한편 우드세라믹 제조 시 최고온도 유지시간과 열전도성과의 관계를 본 실험방법으로는 확실한 규명이 어려운 것으로 생각되며 우드세라믹의 시험편을 조절하여 정확한 열전도율의 측정과 전선을 직접 연결하여 우드세라

믹의 열적특성을 명확히 규명해야 할 것으로 생각된다.

Table 5. Heat conduction of woodceramics from kind of wood species and heating rate

| Species | Heating rate (°C/min) | Thickness (mm) | Time | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 30°C | 35°C | 40°C | 45°C | 50°C |
| | | | | (mm/sec) | | | | |
| <i>Pinus densiflora</i> | 2 | 11.7 | | 0.1170 | 0.0661 | 0.0461 | 0.0261 | 0.0158 |
| | 3 | 11.4 | | 0.1056 | 0.0564 | 0.0348 | 0.0210 | 0.0141 |
| | 4 | 11.7 | | 0.0883 | 0.0597 | 0.0453 | 0.0358 | 0.0282 |
| | 5 | 11.4 | | 0.0891 | 0.0471 | 0.0281 | 0.0128 | 0.0074 |
| | 6 | 11.9 | | 0.0886 | 0.0492 | 0.0312 | 0.0159 | 0.0087 |
| <i>Larix kaemferi</i> | 2 | 12.4 | | 0.1292 | 0.0656 | 0.0392 | 0.0259 | 0.0163 |
| | 3 | 12.6 | | 0.1099 | 0.0624 | 0.0375 | 0.0254 | 0.0194 |
| | 4 | 12.2 | | 0.1080 | 0.0619 | 0.0419 | 0.0414 | 0.0199 |
| | 5 | 11.6 | | 0.1091 | 0.0689 | 0.0386 | 0.0223 | 0.0152 |
| | 6 | 11.7 | | 0.0998 | 0.0684 | 0.0396 | 0.0219 | 0.0127 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | 2 | 11.8 | | 0.1297 | 0.0468 | 0.0468 | 0.0314 | 0.0216 |
| | 3 | 11.6 | | 0.0975 | 0.0599 | 0.0367 | 0.0246 | 0.0158 |
| | 4 | 11.7 | | 0.0775 | 0.0520 | 0.0381 | 0.0279 | 0.0196 |
| | 5 | 11.6 | | 0.0972 | 0.0644 | 0.0388 | 0.0232 | 0.0145 |
| | 6 | 12.1 | | 0.0968 | 0.0497 | 0.0289 | 0.0176 | 0.0079 |

Table 6. Heat conduction of woodceramics from kind of wood and holding time at maximum temperature

| Species | Holding time (h) | Thickness (mm) | Time | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to | 23°C to |
|-------------------------|------------------|----------------|------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 30°C | 35°C | 40°C | 45°C | 50°C |
| | | | | (mm/sec) | | | | |
| <i>Pinus densiflora</i> | 1 | 10.9 | | 0.0850 | 0.0429 | 0.0196 | 0.0097 | 0.0032 |
| | 2 | 10.9 | | 0.1254 | 0.0746 | 0.0447 | 0.0365 | 0.0248 |
| | 3 | 10.9 | | 0.1038 | 0.0586 | 0.0352 | 0.0214 | 0.0132 |
| | 4 | 11.3 | | 0.1076 | 0.0604 | 0.0375 | 0.0233 | 0.0135 |
| | 5 | 11.1 | | 0.0932 | 0.0487 | 0.0286 | 0.0162 | 0.0094 |
| <i>Larix kaemferi</i> | 1 | 12.1 | | 0.1086 | 0.0658 | 0.0398 | 0.0247 | 0.0146 |
| | 2 | 11.5 | | 0.1196 | 0.0699 | 0.0431 | 0.0587 | 0.0184 |
| | 3 | 11.4 | | 0.0966 | 0.0530 | 0.0341 | 0.0216 | 0.0141 |
| | 4 | 12.3 | | 0.0841 | 0.0523 | 0.0339 | 0.0238 | 0.0155 |
| | 5 | 11.5 | | 0.0833 | 0.0523 | 0.0344 | 0.0233 | 0.0161 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | 1 | 10.9 | | 0.1073 | 0.0621 | 0.0347 | 0.0206 | 0.0120 |
| | 2 | 10.9 | | 0.1241 | 0.0763 | 0.0548 | 0.0368 | 0.0205 |
| | 3 | 11.3 | | 0.0904 | 0.0509 | 0.0327 | 0.0215 | 0.0125 |
| | 4 | 11.3 | | 0.1000 | 0.0579 | 0.0370 | 0.0222 | 0.0121 |
| | 5 | 10.8 | | 0.0942 | 0.0608 | 0.0379 | 0.0196 | 0.0124 |

3) 기계적 성질

수지함침율 70±2% 의 함침보드를 소성온도 800°C에서 제조된 우드세라믹의 승온 속도에 따른 기계적 성질을 측정된 결과를 Table 7과 Figs. 29~34에 나타냈다. 휨 강도의 경우 전체적으로 승온속도 4°C/min 일 때 최고값을 나타냈으며 승온속도 6°C/min일 때 최저치를 나타내어 탄화속도가 빠를수록 완전한 탄화가 이루어지지 않아 휨강도에 영향을 미친 것으로 사료되며, 확실한 원인을 규명하기 위해서는 승온속도 별로 제조된 우드세라믹의 단면조직을 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다. 압축강도는 소나무와 잣나무로 제조된 우드세라믹은 승온속도 2°C/min일 때 각각 115 kgf/cm², 123 kgf/cm² 로 최대치를 나타냈고, 휨강도와 마찬가지로 승온속도 6°C/min일 때 최저치를 나타냈으며, 낙엽송으로 제조된 우드세라믹이 상대적으로 낮은 압축강도를 나타냈다. 한편 岡部(1996)는 수지함침율 68.9%인 MDF의 승온속도에 따른 휨강도

및 브리넬경도와와의 관계에서 승온속도 10℃/min 까지는 거의 직선적으로 감소하였고 그 이상의 승온속도 에서는 거의 일정한 값을 나타냈다고 하였으며, 우드세라믹제조 에서 가장효율적인 승온속도는 5℃/min 이었다고 보고한 바 있다. Table 8은 각 수 종별로 수지함침율 60±2%의 함침보드를 소성온도 650℃에서 제조된 우드세라믹의 최고온도 유지시간에 따른 기계적 성질을 측정된 결과이다. 휨강도, 압축강도 및 경 도 모두 최고온도유지시간 2시간 일 때 우수하였으며 수종 간 기계적 성질에는 큰

Table 7. The mechanical properties of woodceramics manufactured at different heating rate

| Species | H · R ^a (°C/min) | MOR ^b (kgf/cm ²) | MOE ^c (kgf/cm ²) | Hardness (kgf/cm ²) | CS ^d (kgf/cm ²) |
|---------------------|--------------------------------|--|--|------------------------------------|---|
| <i>P.densiflora</i> | 2 | 80 ^e (12) ^g | 25133 ^e (3101) | 11.0 ^f (1.6) | 105 ^e (16) |
| | 3 | 77(10) | 27807(2603) | 12.0(0.7) | 115(15) |
| | 4 | 97(6) | 29365(2574) | 12.7(2.3) | 110(27) |
| | 5 | 90(7) | 25870(3754) | 7.3(1.2) | 107(25) |
| | 6 | 69(12) | 29760(4586) | 9.7(0.6) | 75(19) |
| <i>L.kaemferi</i> | 2 | 104(15) | 25721(6098) | 13.9(3.6) | 94(37) |
| | 3 | 83(15) | 26296(7024) | 12.5(10.8) | 71(27) |
| | 4 | 87(10) | 17979(5859) | 9.2(2.1) | 88(23) |
| | 5 | 83(11) | 20681(2600) | 10.6(2.0) | 82(24) |
| | 6 | 63(12) | 14769(3999) | 8.6(1.6) | 66(24) |
| <i>P.koraiensis</i> | 2 | 75(23) | 20383(4511) | 7.1(1.5) | 100(30) |
| | 3 | 88(5) | 25689(3237) | 9.3(1.1) | 123(19) |
| | 4 | 88(11) | 15516(4017) | 9.4(1.4) | 120(46) |
| | 5 | 74(13) | 24446(4327) | 8.8(2.3) | 90(14) |
| | 6 | 69(13) | 16904(3854) | 8.2(1.8) | 96(43) |

^a Heating rate, ^b Modulus of rupture as determined from a bending test,

^c Modulus of elasticity as determined from a bending test, ^d Compression maximum crushing strength, ^e Each mean value from 15 replications, ^f Each mean value from 5 replications, ^g parenthesis is standard deviation.

차이는 없었지만 휨강도 및 경도는 소나무로 제조된 우드세라믹이 약간 우수하였다. 이러한 결과에서 우드세라믹 제조 시 최고온도에서의 유지시간은 많은 시간이 불필요하지만 시험편의 크기에 따라 유지시간별 기계적 성질은 차이가 있을 것으로 생각되어 다양한 크기의 제조에 의한 연구가 필요하다고 생각된다.

Table 8. The mechanical properties of woodceramics manufactured at different holding time in maximum temperature

| Species | H.T.M.T ^a (h) | MOR ^b (kgf/cm ²) | MOE ^c (kgf/cm ²) | Hardness (kgf/cm ²) | CS ^d (kgf/cm ²) |
|---------------------|-----------------------------|--|--|------------------------------------|---|
| <i>P.densiflora</i> | 1 | 88 ^e (13) ^g | 26471 ^e (5429) | 10.9 ^f (3.8) | 73 ^e (16) |
| | 2 | 94(6) | 27118(5049) | 13.9(2.4) | 110(27) |
| | 3 | 84(5) | 28456(5454) | 10.1(2.5) | 106(3) |
| | 4 | 90(10) | 20235(2574) | 10.1(3.4) | 91(20) |
| | 5 | 85(10) | 19947(1877) | 11.1(2.4) | 110(20) |
| <i>L.kaemferi</i> | 1 | 73(9) | 18477(3518) | 6.6(1.8) | 66(24) |
| | 2 | 83(10) | 17997(5859) | 9.2(2.1) | 87(18) |
| | 3 | 68(11) | 17347(4771) | 7.4(2.0) | 65(17) |
| | 4 | 74(10) | 19420(2797) | 5.8(0.6) | 60(16) |
| | 5 | 70(8) | 17540(2514) | 6.6(1.0) | 71(20) |
| <i>P.koraiensis</i> | 1 | 69(20) | 17432(1654) | 8.0(1.6) | 75(24) |
| | 2 | 99(18) | 22478(1705) | 9.4(1.4) | 120(34) |
| | 3 | 73(5) | 20034(2166) | 6.9(1.1) | 78(7) |
| | 4 | 69(12) | 18906(1443) | 6.9(1.2) | 116(20) |
| | 5 | 79(4) | 20944(2017) | 6.7(0.5) | 94(5) |

^a Holding time in maximum temperature, ^b Modulus of rupture as determined from a bending test, ^c Modulus of elasticity as determined from a bending test, ^d Compression maximum crushing strength, ^e Each mean value from 15 replications, ^f Each mean value from 5 replications, ^g parenthesis is standard deviation.

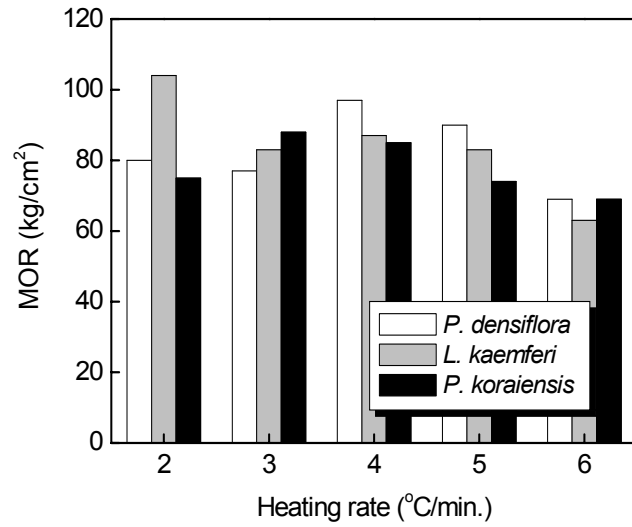


Fig.29. The average values of MOR according to heating rate and species of woodceramics.

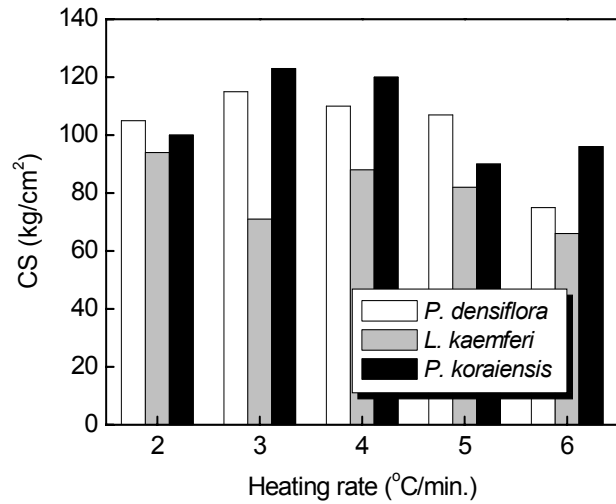


Fig.30. The averages values of maximum crushing strength according to heating rate and species of woodceramics.

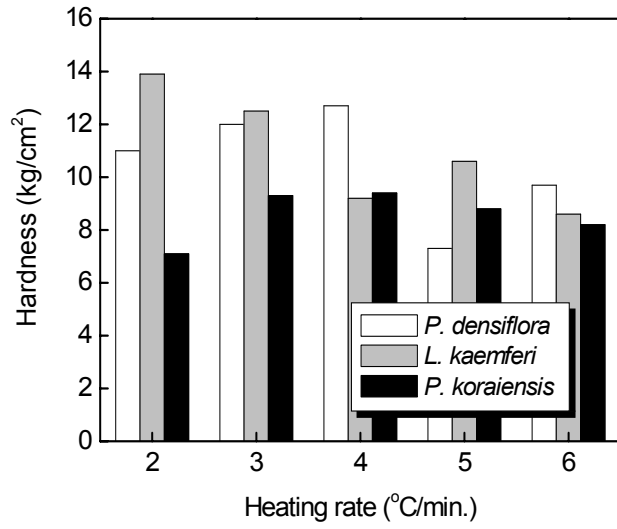


Fig.31. The average values of hardness according to heating rate and species of woodceramics.

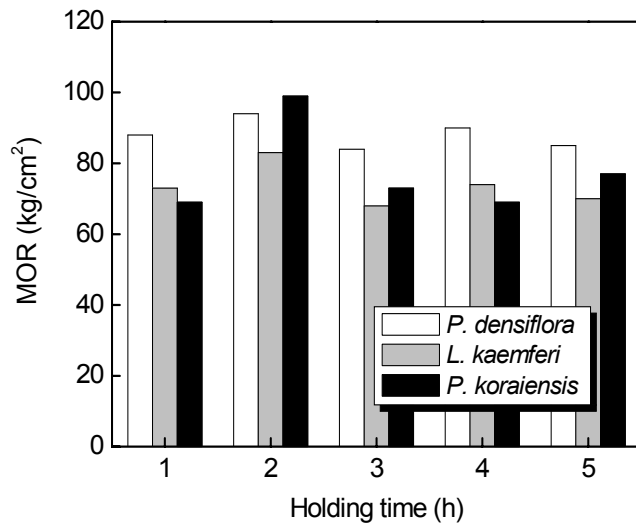


Fig.32. The average values of MOR according to holding time and species of woodceramics.

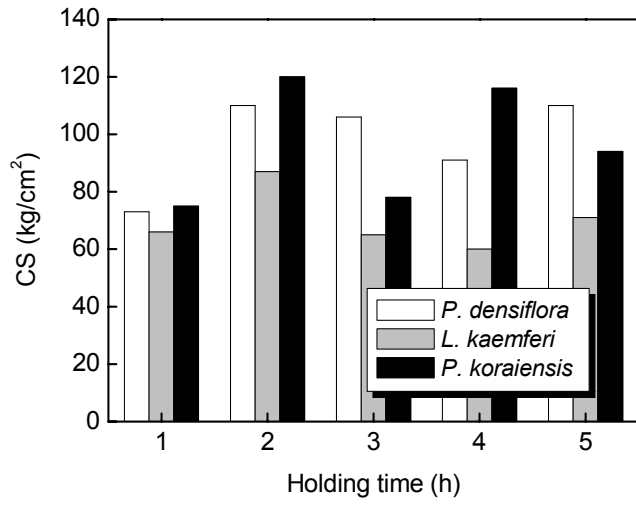


Fig.33. The average values of maximum crushing strength according to holding time and species of woodceramics.

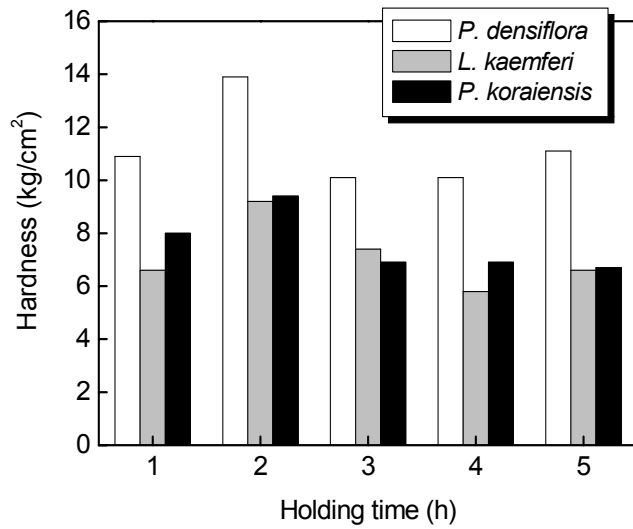


Fig.34. The average values of hardness according to holding time and species of woodceramics.

4) 표면온도변화

가) 시간의 경과에 따른 표면온도 변화

실리콘 러버히터 표면온도를 60℃로 설정하고 그 위에 우드세라믹을 올려놓은 다음 3분 간격으로 30분 동안 표면온도 변화를 측정된 결과는 Figs. 35~36과 같다.

승온속도에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며, 경과시간 9분까지는 급격히 상승하다가 그 이후에는 완만한 경향을 나타내어 우드세라믹은 초기에 열전달 속도가 빠름을 알 수 있었다. 경과시간 30분 후의 표면온도는 승온속도 2℃/min시편의 경우 50.8℃, 3℃/min는 48.3℃, 5℃/min는 46.7℃로 승온속도 2℃/min일 때 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았으며, 승온속도 5℃/min시편의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 소성속도가 느린 경우 충분한 소성으로 인하여 많은 양의 유리질탄소가 존재하므로 써 밀도가 증가하였기 때문으로 생각된다(오, 2000). 廣瀨(1997)는 승온속도가 5℃/min보다 빠를 경우 탄소화가 진행되는 단계에서 많은 메틸기나 페놀성산소가 분해가스로 밖으로 빠져나가 우드세라믹의 거친 구조로 인하여 밀도가 감소된다고 보고한 바 있다.

수지함침율 60±2%의 함침보드를 최고온도에서 유지시간별로 소성하여 만든 우드세라믹의 시간의 경과에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며 승온속도에 따른 온도변화와 같이 경과시간 9분까지는 온도가 급상승하는 경향을 보였다. 경과시간 30분 후의 우드세라믹의 표면온도는 유지시간 1시간 시편의 경우 56.7℃, 2시간 시편은 56.6℃, 5시간 시편은 43.7℃로 유지시간 1시간 시편의 표면온도가 가장 높았으며, 유지시간 5시간 시편의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 최고온도 유지시간 2시간일 때 밀도가 가장 높았다는 오(2003)의 보고와 관련이 있어 시편의 밀도가 열전달에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 승온속도 4℃/min 로 소성하는 과정에서 충분히 탄화되어 우드세라믹을 열전달성질과 관련하여 사용할 경우 우드세라믹 제조 시 최고온도에서의 유지시간은 2시간 정도가 적당할 것으로 판단된다.

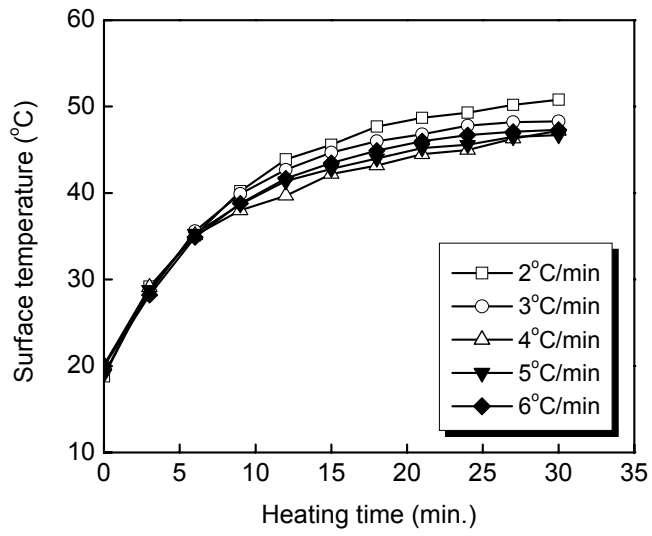


Fig.35. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics.

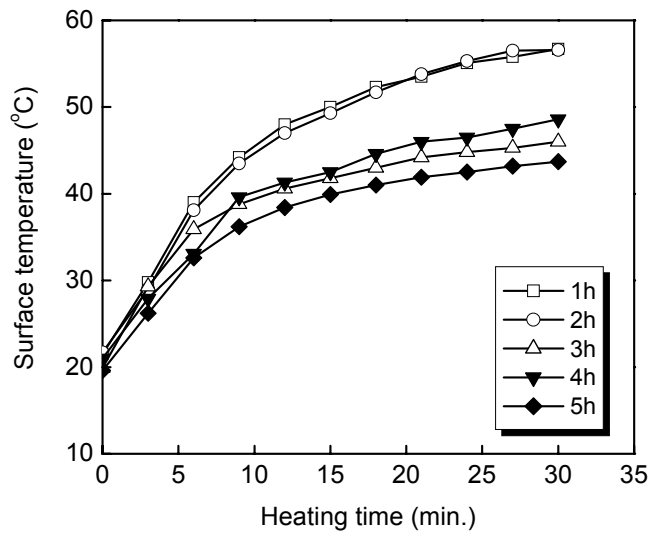


Fig. 36. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics.

나) 히터의 표면온도 변화에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화

각 승온속도 및 최고온도에서 유지시간별로 제조된 우드세라믹을 실리콘 러버히터 위에 올려놓고 히터의 표면온도를 25℃에서 70℃까지 상승시키면서 우드세라믹 표면온도 변화를 측정된 결과는 Figs. 37~38과 같다.

승온속도에 따른 우드세라믹의 표면온도는 실리콘 러버히터의 표면온도가 증가함에 따라 승온속도 2℃/min 시편의 경우 히터의 표면온도 25℃일 때 21.1℃, 표면온도 70℃일 때 49.6℃, 4℃/min 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 20.5℃, 표면온도 70℃일 때 47.1℃, 6℃/min 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 20.3℃, 표면온도 70℃일 때 44.0℃로 히터의 표면온도가 증가할수록 우드세라믹의 열전도성이 빠름을 알 수 있었다. 승온속도 별 우드세라믹의 표면온도는 승온속도 2℃/min 시편이 가장 높았고, 승온속도 6℃/min 시편이 가장 낮아 승온속도가 느릴수록 소성 후 밀도가 높았다는 연구결과와 비교하여 열전도성과 우드세라믹의 밀도는 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 유지시간별로 제조된 우드세라믹의 표면온도를 조사한 결과, 실리콘 러버히터의 표면온도가 증가함에 따라 유지시간 1시간 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 21.4℃에서 표면온도 70℃일 때 40.7℃로, 유지시간 3시간 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 20.6℃에서 표면온도 70℃일 때 39.9℃로, 유지시간 5시간 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 20.2℃에서 표면온도 70℃일 때 37.0℃로 증가하여 히터의 표면온도를 높일수록 우드세라믹의 표면온도도 증가함을 알 수 있었다. 또한 유지시간별 우드세라믹의 표면온도는 유지시간 1시간에서 소성된 시편이 가장 높았으며 유지시간 5시간으로 소성한 우드세라믹이 가장 낮았다. 이러한 결과 역시 유지시간에 따른 밀도의 차이에 기인된 것으로 사료되며, Nonaka 등(1999)은 우드세라믹의 열전도율과 밀도와의 관계는 측정온도가 높을수록, 고온에서 소성한 시편일수록 열전도는 직선적으로 증가한다고 보고한바 있다.

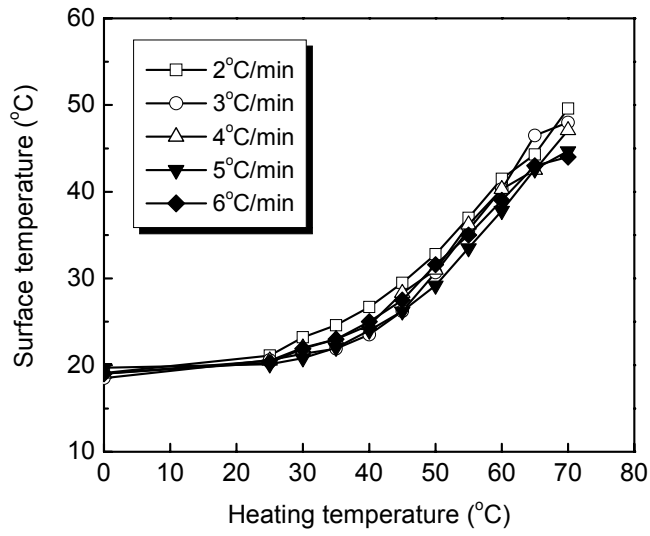


Fig. 37. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics.

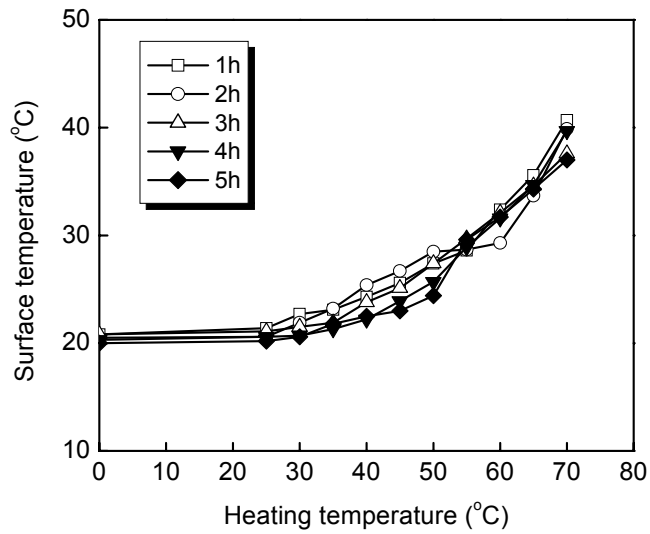


Fig. 38. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics.

다) 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도 하강

각 승온속도 및 유지시간 별로 제조된 우드세라믹의 표면온도 하강변화를 알아보기 위하여 표면온도 60°C로 설정된 실리콘 러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 30분 후의 온도를 측정하였다. 그 후 히터의 전원을 꺼서 히터의 표면온도를 하강시키면서 3분 간격으로 30분 동안 우드세라믹의 표면온도와 히터의 표면온도를 측정하여 온도의 하강변화를 조사하였다.

Fig. 39와 같이 승온속도에 따른 표면온도의 하강은 히터의 표면온도가 30분 동안 60°C에서 28.8°C로 감소함에 따라 승온속도 2°C/min 시편의 경우 50.9°C에서 33.6°C로, 4°C/min 시편은 47.2°C에서 32.1°C로, 6°C/min 시편은 47.3°C에서 32.7°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도는 완만히 하강하였다. 한편 승온속도 2°C/min 시편이 처음온도와 30분 후의 온도차이가 17.3°C로 온도변화가 컸으며, 승온속도 6°C/min 시편은 14.6°C로 상대적으로 작았다. 또한 전체적으로 히터의 처음온도와 30분후의 표면온도차이인 31.2°C 보다 우드세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

각 유지시간별 소성한 우드세라믹의 표면온도의 하강은 Fig. 40에 나타난바와 같이 히터의 표면온도가 30분 동안 60°C에서 28°C로 감소함에 따라 유지시간 1시간 시편의 경우 58.5°C에서 37.3°C로, 유지시간 2시간시편의 경우 46.0°C에서 32.4°C로, 유지시간 5시간시편은 43.7°C에서 30.5°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹 표면온도는 완만히 하강하였다. 한편 유지시간 1시간 시편이 처음온도와 30분 후의 온도차이가 21.1°C로 온도변화가 가장 빨랐으며, 유지시간 5시간 시편은 13.2°C로 상대적으로 작았다. 이러한 결과는 유지시간 1, 2시간일 때 우드세라믹의 밀도가 높아 앞에서 언급한대로 30분 후의 표면온도가 높은 상태에서 전원을 끄고 하강시켰기 때문에 하강속도가 느린 것으로 생각된다. 이상의 결과, 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위해서는 승온속도 2°C/min, 3°C/min, 최고온도에서의 유지시간 1, 2시간 정도의 조건에서 제조된 우드세라믹이 표면온도 변화 및 열의 전달속도 측면에서 적당할 것으로 판단된다. 그러나 표면온도의 변화는 밀도와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되어 수지함침율 및 소성온도의 변화 등 제조방법과 열전도율, 강도 등 다양한 성질에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

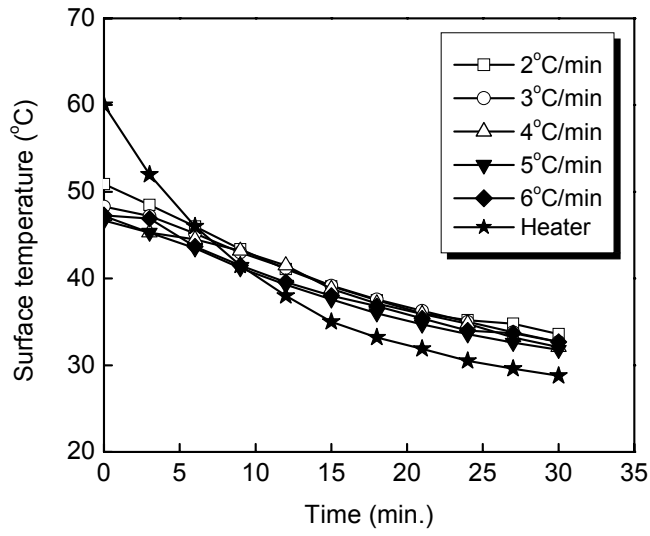


Fig. 39. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

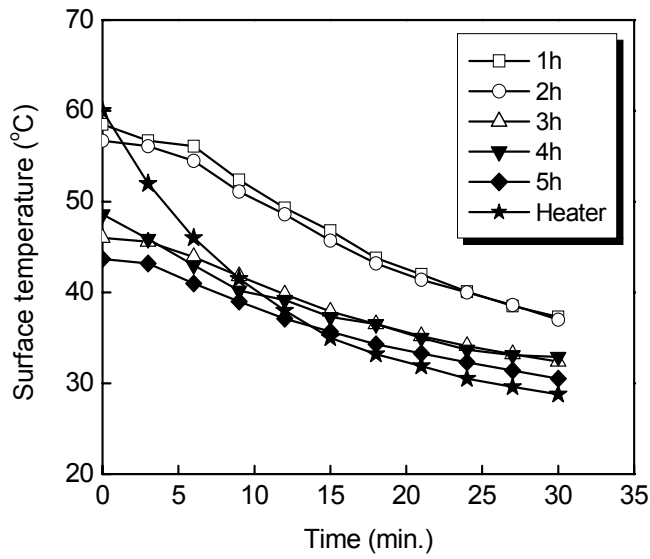


Fig. 40. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

다. 원적외선 방사 및 전기적 성질

1) 우드세라믹의 원적외선 방사특성

원적외선이란 전자파의 일종으로 가시광선보다 긴 장파장측에 나타나고 특히 강한 열작용을 갖는 방사선을 말한다. 원적외선 산업은 건조분야에서 균일한 건조, 에너지절감효과가 있으며 건강면에서 생육촉진, 세포활성화, 혈액순환 촉진, 대사기능 촉진 등의 효과가 있어서 오늘날 많은 관심의 대상이 되고 있다(지철근, 2000).

함침을 별로 소성온도 800℃에서 소성 한 우드세라믹과 수지함침율 70%의 함침보드를 소성온도별로 소성하여 만든 우드세라믹의 원적외선 방사율과 방사에너지를 측정 한 결과를 Figs. 41~44에 나타내었다<사진 10>.

우드세라믹의 5~20 μ m 파장영역에서 이상 흑체대비 전방사율은 수지함침율에 따라서 수지함침율 50%일 때 0.926, 70%일 때 0.919, 80%일 때 0.924로 일정한 경향이 없었으나, 소성온도가 증가함에 따라 소성온도 600℃일 때 0.929, 1000℃일 때 0.917, 1200℃일 때 0.908로 감소하였다. 방사에너지도 수지함침율 50%일 때 $4.30 \times 10^2 \text{w/m}^2$, 소성온도 600℃일 때 $4.31 \times 10 \text{w/m}^2$ 으로 높은 방사특성을 나타내었다.

이러한 원적외선 방사율은 규사(0.60~0.80), 맥반석(0.90), SiO₂(0.83)보다 높았으며 숯(0.93), 그라파이트(0.93), 세라믹코팅판(0.924)등 과 비슷하였다(지철근 2000, 원적외선 협회 2000). 특히 Okabe(1996)가 MDF를 재료로 800℃에서 소성하여 만든 우드세라믹의 방사율 측정값 0.80보다 우수하여 간벌재로 제조된 우드세라믹을 이용한 각종 건강관련 제품 개발 및 열효율이 뛰어난 난방용 발열체로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

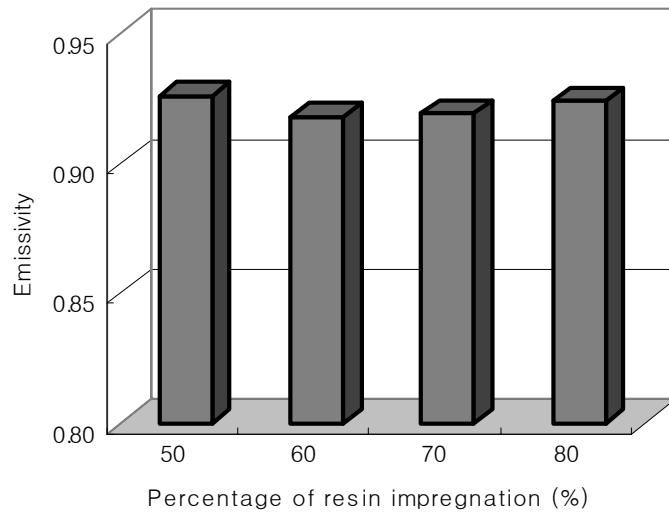


Fig.41. Relationship between percentage of resin impregnation and emissivity.

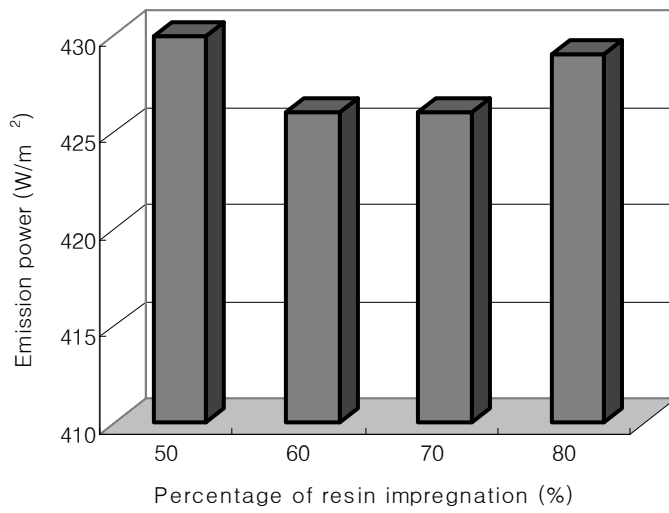


Fig.42. Relationship between percentage of resin impregnation and emission power.

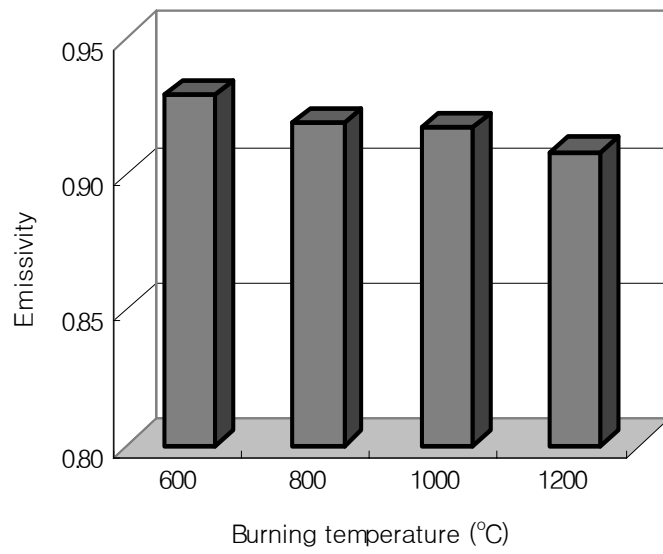


Fig.43. Relationship between burning temperature and emissivity.

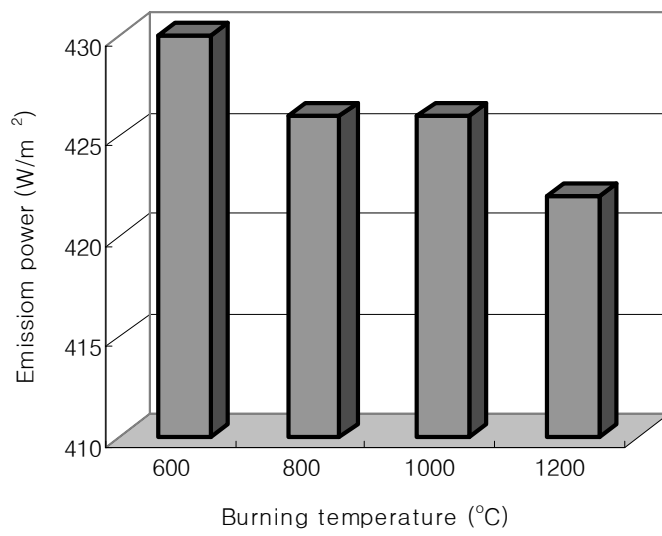


Fig.44. Relationship between burning temperature and emission power.

2) 전기적 특성

간벌재로 제조된 우드세라믹을 면상발열체나 열적특성을 지닌 재료로 개발하여 산업분야에 활용하기 위해서는 전기적 특성이 매우 중요하다.

함침율 70%인 함침보드를 소성온도별로 소성하여 만든 우드세라믹의 저항을 측정한 결과를 Table 9에 나타내었다. 소성온도 600℃로 제조된 우드세라믹의 저항은 수종별로 131.4~157.8Ω으로 컸으나, 소성온도가 높을수록 저항이 작아 거의 도체에 가까운 저항 값을 나타내고 1000℃이후에는 변화가 없었다. 이는 소성온도 600℃정도에서는 탄소화의 불충분으로 거의 절연체에 가까웠기 때문이며 소성온도가 높을수록 밀도도 증가하여 전기 저항율이 적은 것으로 사료된다. 따라서 우드세라믹 제조 시 소성온도의 변화로 저항율의 조절이 가능하고 용도에 따라 우드세라믹의 제조방법을 선택할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 소성온도 800℃이상에서는 저항이 너무 작아 전기적 특성을 조사하기 어렵기 때문에 함침율 별로 소성온도 650℃로 제조된 우드세라믹을 이용하여 전기연결 후 30분 후의 저항, 표면온도 및 소비전력 등의 전기적 특성을 조사한 결과는 Table 10에 나타내었다. 전압 약 3V상태에서 낙엽송과 잣나무로 제조된 우드세라믹의 경우 함침율별로 저항 및 전류 값은 일정하지 않았으나, 소나무로 제조된 우드세라믹의 경우 함침율이 증가함에 따라 전기저항은 감소하고 전류는 증가하여 소비전력은 증가하였다. 이는 함침율 증가로 인한 우드세라믹의 밀도의 증가가 원인으로 사료된다. 30분 후의 우드세라믹 가장자리 4군데의 표면온도 평균값은 저항이 클수록 감소하였으며 저항 2Ω정도에서 표면온도가 40℃이상으로 나타났다.

이상의 결과 수지함침율 60~70%, 소성온도 600~700℃ 조건으로 소성하여 제조된 우드세라믹이 면상발열체로 사용하기에 적당할 것으로 판단되며, 일반적으로 원적외선 방사는 시료의 표면 상태에 따라 다른 성질을 나타내기 때문에 소성온도와 원적외선 방사 특성과의 관계를 규명하기 위해서는 시료의 표면상태도 같이 검토되어야 할 것이다. 또한 표면온도의 변화도 저항 값의 차이에 영향을 받기 때문에 시료 전 부분에 대한 구체적인 검증이 필요하다고 생각된다.

Table 9. Electric resistivity of woodceramics by carbonizing temperature

| Species | Carbonizing temperature (°C) | Resistivity (Ω) |
|----------------------|------------------------------|--------------------------|
| <i>P. densiflora</i> | 600 | 131.4 |
| | 800 | 0.5 |
| | 1000 | 0.2 |
| | 1200 | 0.2 |
| | 1500 | 0.2 |
| <i>L. kaemferi</i> | 600 | 157.8 |
| | 800 | 0.6 |
| | 1000 | 0.2 |
| | 1200 | 0.2 |
| | 1500 | 0.2 |
| <i>P. koraiensis</i> | 600 | 148.7 |
| | 800 | 0.5 |
| | 1000 | 0.2 |
| | 1200 | 0.2 |
| | 1500 | 0.2 |

Table 10. Electric properties of woodceramics

| Species | Percentage of resin impregnation (%) | Resistivity (Ω) | Temperature (°C) | Voltage (V) | Electric current (A) | Consumption of electric power(wh) |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|-------------|----------------------|-----------------------------------|
| <i>P. densiflora</i> | 50 | 1.70 | 44.4 | 3.69 | 2.94 | 10.85 |
| | 60 | 1.60 | 45.0 | 3.61 | 3.12 | 11.27 |
| | 70 | 0.88 | 56.7 | 3.27 | 5.82 | 19.23 |
| | 80 | 0.56 | 61.4 | 3.07 | 7.64 | 23.43 |
| <i>L. kaemferi</i> | 50 | 3.70 | 32.7 | 3.54 | 1.36 | 4.85 |
| | 60 | 4.32 | 31.6 | 3.69 | 1.42 | 5.26 |
| | 70 | 2.13 | 38.6 | 3.46 | 2.15 | 7.45 |
| | 80 | 3.11 | 32.4 | 3.54 | 1.73 | 6.15 |
| <i>P. koraiensis</i> | 50 | 2.82 | 36.5 | 3.63 | 1.75 | 6.41 |
| | 60 | 2.05 | 39.8 | 3.54 | 2.43 | 8.63 |
| | 70 | 6.43 | 30.3 | 3.72 | 0.78 | 2.91 |
| | 80 | 2.11 | 40.1 | 3.24 | 2.85 | 9.24 |

4. 결론

소나무, 낙엽송 및 잣나무 간벌재로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하고, 소성 전 수지함침율과 소성온도, 승온속도 및 최고온도에서의 유지시간에 따른 우드세라믹의 물성을 조사하였다. 또한 우드세라믹의 열전도성 및 표면온도를 측정하였으며, 원적외선 방사특성 및 전기적 성질을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수지함침율이 높을수록 밀도는 증가하였으며, 소성온도가 증가함에 따라 소성온도 1000℃까지는 밀도가 증가하였으나 1200℃이후에는 감소하였다.
- 2) 소성 후 치수 및 중량 감소율은 수지 함침율이 증가함에 따라 낮아졌으나 소성온도가 높을수록 완만히 커졌다.
- 3) 열전도성은 수지함침율이 높을수록 우수하였으며 소성온도 1500℃의 경우가 가장 우수하였다.
- 4) 히터 표면온도 60℃에서의 우드세라믹의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며 수지함침율 60%와 소성온도 1000℃로 제조된 시편의 표면온도가 가장 높았다.
- 5) 히터의 표면온도를 상승시킴에 따라 히터의 표면온도 70℃일 때 함침율 70%와 소성온도 800℃로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았다.
- 6) 시간의 경과에 따른 표면온도의 하강은 함침율 80%와 소성온도 1000℃의 시편의 처음온도와 30분 후의 온도차이가 각각 17.4℃와 24.2℃로 온도 하강 속도가 가장 빨랐다.
- 7) 승온속도가 빠를수록 즉, 탄화속도가 빠를수록 소성 후 밀도는 감소하였으며, 최고온도 유지시간에 따른 밀도변화는 일정한 경향이 없었다.
- 8) 소성 후 중량 및 길이 감소율은 승온속도가 빠를수록 증가하였으나 두께감소율은 감소하였다. 최고온도에서의 유지시간이 증가할수록 길이 및 두께 감소율은 증가하였다.
- 9) 최고온도에서의 유지시간 2시간 과 승온속도 2℃/min 일 때 열전도성이 가장 우수하였고, 승온속도가 빠를수록 열전도성이 약간 떨어지는 경향이였다.
- 10) 승온속도 2℃/min, 최고온도에서의 유지시간 1시간 조건으로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았다.
- 11) 히터의 표면온도를 25℃에서 70℃로 상승시키면서 측정된 우드세라믹의 표면온

도는 히터의 표면온도가 증가함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 증가하였으며, 히터표면온도 70℃일때 승온속도 2℃/min 시편의 경우 우드세라믹 표면온도는 49.6℃, 유지시간 1시간 시편은 표면온도가 40.7℃로 가장 높게 나타났다.

- 12) 시간의 경과에 따른 표면온도의 하강은 승온속도 2℃/min와 최고온도에서의 유지시간 1시간으로 제조된 시편이 처음온도와 30분 후의 온도차이가 각각 17.3℃와 21.2℃로 온도 하강속도가 가장 빨랐다. 또한 전체적으로 히터의 표면온도보다 우드세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.
- 13) 소성온도가 증가하면 원적외선 방사율은 감소하였으며, 수지함침율 70%인 함침 보드를 600℃에서 소성하여 만든 우드세라믹의 원적외선 방사율은 0.929, 방사에너지는 $4.31 \times 10^2 \text{w/m}^2$ 로 가장 높았다.
- 14) 소성온도가 높을수록 저항이 작아 거의 도체에 가까웠으며 소성온도도 1000℃이 후에는 변화가 없었다. 소나무로 제조된 우드세라믹의 경우 함침율이 높을수록 저항은 감소하고 전류는 증가하여 소비전력은 증가하였다.

5. 인용문헌

1. Hirose, T., T. Fan, T. Okabe and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonizing speed on the property change of woodceramics impregnated with liquefacient wood. *Materials Letters* 52 : 229~233.
2. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshmura. 2001. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Journal of Materials Science* 36: 4145~4149.
3. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1995. Development of porous carbon material "woodceramics"~Fundamental wear properties under unlubricated condition on air, under base-oil impregnated condition and in water-. *Journal of The Society of Materials Science Japan* 44(501): 800~804.
4. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of porous Materials* 2: 229~235.

5. Kasai, K., K. Shibata, K. Saito and T. Okabe. 1996. Humidity Sensor characteristics of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 92~95.
6. Kano, M., M. Momota, T. Okabe, and K. Saito. 1997. Specific heat capacity of new porous carbon materials: woodceramics. Thermochemica Acta 292: 175~177.
7. Nonaka, K., M. Fushitani, T. Hirose, and T. Okabe. 1999. Thermal conductivity of woodceramics. Proceeding of 11th MRS-J annual meeting. session 1. New plant materials. pp. 98~101.
8. Oh, S. W. 2001. Properties of woodceramics made from thinned logs of *Cryptomeria japonica* D. Don -Effect of steam injection and its time-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 29(2): 69~75.
9. Oh, S. W., and H. S. Byeon. 2003. Change of Surface temperature in woodceramics made from MDF(II) -Effect of impregnation rate and burning temperature-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 31(1): 41~45.
10. Oh, S. W., T. Okabe, and T. Hirose. 2000. Electrical properties of woodceramics made from thinned logs of *Cryptomeria japonica* D. Don. Journal of the Korean Society of Furniture Technology 11(1): 31~36.
11. Oh, S. W., and T. Okabe. 2001. Properties of woodceramics chip tile made from waste wood (II) -Effect of additions and woodceramics chip-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 29(3): 68~72.
12. Okabe. 1996. Porous carbon materials "woodceramics". Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd. pp. 112~115.
13. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
14. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics(I) -Structural changes affected by burning temperature -. International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 1~4.
15. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic

- shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 9~12.
16. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995b. Development of porous carbon material "woodceramics"-Electromagnetic shielding characteristics-Journal of The Society of Materials Science Japan 44(9): 288~291.
 17. Okabe, T., K. Saito, and K. Hokkirigawa. 1996. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 215~221.
 18. Shibata, K., T. Okabe, K. Satio, T. Okayama, M. Shimada, A. Yamamura and R. Yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. Journal of Porous Materials 4: 269~275.
 19. Suda, T., N. Kondo, T. Okabe, and K. Saito. 1999. Electrical properties of woodceramics. Journal of Porous Materials 6: 255~258.
 20. Zhao, B. Y., T. Hirose, T. Okabe, D. Zhang, T. X. Fan, and K. A. Hu. 2002. woodceramics prepared from wood powder/ phenolated wood composite. Journal of Porous Materials 9: 195~201.
 21. 오승원. 2001. 삼나무간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 - 증기분사 및 그 시간의 영향 -. 목재공학 29(2) : 69~75.
 22. 오승원. 2002. 우드세라믹 제조용 석탄산수지 함침보드의 수지함침율과 치수증가율 - 증기분사시간의 영향 -. 목재공학 30(2) : 158~164.
 23. 오승원, T. Okabe and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적성질. 한국가구학회지 11(1) ; 31~36.
 24. 원적외선협회. 2000. 원적외선 자료집 - 평가 및 이용기술분야. p155.
 25. 임업연구원, 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 추진방향. 연구자료. 159호
 26. 지철근. 2000. 원적외선특성과 응용. 원적외선협회 p65.
 27. 廣瀬 孝. 1997. ウッドセラミックスの強度性能向上に関する研究. 東京農工大大学院 修士論文.
 28. 岡部敏弘. 1996. 木質多孔質炭素材料ウッドセラミックス. 内田老鶴圃.

제 5절 기능성 우드세라믹 발열판 제조기술개발

1. 서론

우드세라믹은 제조공정이 간단하고 목탄의 특성을 유지하면서 가볍고, 단단하며 내부식성, 내구성 등의 성질이 있으며, 소성온도 및 수지함침율에 따라 체적 고유저항율을 변화시킬 수 있기 때문에 발열체, 온·습도센서에서부터 전자파차폐재, 전자파 흡수체에 이르기까지 전기 및 전자파응용제품 개발이 크게 기대되는 새로운 물질이다(Kano *et al*, 1996; Kasai *et al*, 1996; Nonaka *et al*, 1999; Okabe *et al*, 1996a, 1996b; Shibata *et al*, 1997).

최근에는 이러한 발열특성을 이용한 용도개발의 하나로 열원을 활용한 발열판을 제조하므로써 온돌마루판의 하부소재로 우드세라믹의 이용가능성에 대한 연구가 진행 중에 있다(오, 2002; 오 등, 2003).

과거에는 열원으로써 목탄이 사용되어 왔으나 한번 사용하면 성능이 없어지는 단점이 있었으며, 현재는 발열재료로서 니크롬, 구리 등 금속선과 SiC나 흑연 등의 비금속재료 등이 이용되고 있다. 우드세라믹은 비금속재료로서 내열, 내부식성 등을 가지고 있으며 공기 중에서 300℃까지 사용이 가능하여 전기적성질의 제어가 가능하다면 단일재료로 광범위하게 이용될 것으로 생각된다. 또한 이용재료로는 자연목재소재와 비목재자원의 유효이용, 폐재 등의 이용이 가능하여 부가가치가 높은 에코메트리얼(Eco-materials)재료이다. 또한 최근 온돌용 목재 마루판 시장이 활성화되면서 국내에서도 많은 양의 마루판이 생산되고 있으며, 이에 따른 난방구조에 대한 관심이 높아지고 있다. 그동안 우리나라의 목재마루판 사용문화는 비닐장판으로 불리는 PVC 바닥재가 선도하여 왔으나, 10여년 전 부터 온돌용 목재마루판이 개발되면서 점차 PVC 바닥재 시장을 잠식해 현재는 새로운 목재바닥 문화로 자리매김이 이루어졌다. 특히 목재마루판 시장은 목재라고 하는 친환경적 건축자재에 대한 소비자의 욕구와 맞물려 앞으로 더욱 성장 할 것으로 생각된다. 이러한 수요에 힘입어 2002년 5월 현재 마루판 시장은 약 4300억원에 이를 것으로 예상되며 그 중 합판마루는 3300억원, 강화마루는 800억원, 원목마루는 200억원의 규모로 전망된다. 또한 2001년 기준 수도권을 중심으로 약 25개 업체가 마루판 생산 활동에 참여하고 있다(김,

2003; 한국목재신문, 2002).

본 연구에서는 우리나라 전체 산림면적 중 30년생 이하인 3영급이 67%를 차지하는 간벌 가능한 소경재중 소나무로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하고 통전 가열하여 저항, 전압, 전류 및 전력 등 전기적 성질 및 우드세라믹의 표면온도를 측정하였으며, 우드세라믹의 표면온도 설정에 따른 온돌마루판의 표면온도변화를 조사 하므로써 열원으로서 우드세라믹의 이용 가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

직경 12cm이하 소나무 간벌재를 톱밥보드 제조용 재료로 사용하였다.

나. 보드제조

함수율 6% 이하로 건조된 톱밥을 분말 페놀수지와 충분히 혼합하여 열압기의 열 판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣고 상부 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26 × 26 × 1.4cm 의 보드를 제조하였다. 보드제조 조건은 수지혼합율 10%, 열압온도 190℃, 가압압력 40 → 20 → 10 kgf/cm², 열압시간 6 → 5 → 4 분으로 하여 밀도 0.6g/cm³의 보드를 제조하였다. 보드 제조 시 사용한 분말 페놀수지(코오롱유화(주)KNB-100PL)의 용점은 80~95℃, 수지 고형분은 99%이다.

다. 함침 및 우드세라믹 제조

12 × 12 × 1.4cm 의 크기로 절단된 톱밥보드를 액상 페놀수지(KPD-L777,코오롱유화(주))가 들어있는 감압 함침장치에 넣고 함침율을 40~80%로 조절하여 함침 시켰다. 함침에 사용한 페놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65cps, 경화시간 80~95sec 이다. 함침보드를 60℃에서 10시간, 100℃와 135℃에서 8시간 건조한 다음 진공소결로(KOVAC, KSF-200V)를 이용하여 650℃에서 소성하여 우드세라믹을 제조하였다.

라. 전기적 성질 측정

제조된 우드세라믹의 전기적 성질을 측정하기 위하여 시험편을 전건한 후, 테시케

이터 속에 2주간 보관한 다음 시편 양쪽 단면에 구리용액을 발라 전극을 만든 후 전기선을 납땀하여 연결하였다.

우드세라믹의 고정저항은 SEJIN사의 Digital multimeter를 이용하여 양 전극부위에서 측정하였다. 전압, 전류 및 전력을 YOKOGAWA사의 Digital power meter(Model WT-210)를 이용하여 통전하면서 측정하였다. 이때 슬라이더스를 이용하여 전압을 조절하여 고정하였으며, 동작저항은 측정당시의 전압과 전류를 이용하여 계산하였다. 우드세라믹의 표면온도는 설정전압 하에서 4군데를 측정하여 평균하였다.

마. 마루판의 표면온도측정

마루판의 표면온도 변화를 조사하기 위하여 전기적 성질 측정이 끝난 시편 중 고정저항이 비슷한 6개의 우드세라믹 시편을 전선으로 연결하였다. 직렬로 연결된 시험편을 $40 \times 40 \times 6\text{cm}$ 크기의 바닥에 석고보드가 깔려있는 목재 틀 속과 같은 크기의 콘크리트 블록 속에 넣은 다음 P-E품을 깔고 시중에서 구입한 두께 $8 \pm 0.2\text{mm}$ 의 강화마루판(밀도: $0.97\text{g}/\text{cm}^3$)과 합판마루판(밀도: $0.69\text{g}/\text{cm}^3$)으로 뚜껑을 덮고 통전 가열하여 실내($20 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 표면온도 변화를 측정하였다<사진 11~13>.

이때 온도변화측정은 우드세라믹 시험편의 표면온도를 Digital power meter를 이용하여 목표온도까지 도달하게 한 후 60분 동안 6군데의 마루판표면에 Thermo recorder(T and D Co., Ltd. TR-71S)를 부착하여 측정하고 평균하였다.

바. 시작품 제작

우드세라믹 발열판의 실용화를 검토하기 위하여 가로 $120\text{cm} \times$ 세로 $77\text{cm} \times$ 높이 50cm 크기로 목재틀형과 콘크리트 블록형을 만들고 그 위에 강화마루판과 합판마루판을 덮어 통전하는 시작품을 제작하였다<사진 14~16>.

3. 결과 및 고찰

가. 통전 가열한 우드세라믹의 전기적 성질

1) 저항에 따른 전기적 성질

우드세라믹을 통전 가열하여 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위하여 각각의 전기저항에 따른 우드세라믹의 표면온도 안정화와 전기적 성질을 측정한 결과를 Table 1에 나타내었다. 이때 표면온도와 안정화시간은 전압을 달리하면서 시편 4군데의 평균온도가 70℃ 이상 일 때를 측정하였다. 통전하지 않은 고정저항보다 전기를 연결했을 때의 동작저항은 전압이 높을수록 전체적으로 작아지는 경향이였다.

Table 1. Electrical properties and stability of surface temperature according to electric resistance

| FER(Ω) | AER(Ω) | Voltage(V) | EC(A) | EP(W) | Time(min.) | T(℃) |
|--------|--------|------------|-------|-------|------------|------|
| 1.3 | 0.95 | 3 | 3.16 | 9.20 | 100 | 52.8 |
| | 0.68 | 4 | 5.84 | 23.7 | 80 | 95.3 |
| 2.0 | 1.63 | 3 | 1.84 | 5.36 | 80 | 42.1 |
| | 1.44 | 4 | 2.77 | 10.80 | 120 | 61.6 |
| | 1.14 | 5 | 4.37 | 21.10 | 120 | 94.3 |
| 4.0 | 3.49 | 3 | 0.86 | 2.66 | 60 | 31.8 |
| | 3.42 | 4 | 1.17 | 4.59 | 60 | 36.8 |
| | 3.16 | 5 | 1.58 | 7.78 | 80 | 47.7 |
| | 2.73 | 6 | 2.20 | 13.11 | 140 | 60.7 |
| | 2.27 | 7 | 3.08 | 20.84 | 140 | 79.4 |
| 6.1 | 5.77 | 3 | 0.52 | 1.59 | 60 | 29.6 |
| | 5.55 | 4 | 0.72 | 2.87 | 60 | 35.9 |
| | 5.15 | 5 | 0.97 | 4.84 | 80 | 45.1 |
| | 4.58 | 6 | 1.31 | 7.74 | 120 | 56.4 |
| | 3.80 | 7 | 1.84 | 12.70 | 140 | 77.0 |
| 8.0 | 8.33 | 3 | 0.36 | 1.09 | 80 | 29.9 |
| | 8.00 | 4 | 0.50 | 2.01 | 80 | 33.9 |
| | 7.46 | 5 | 0.66 | 3.30 | 100 | 40.1 |
| | 6.82 | 6 | 0.88 | 5.22 | 140 | 50.4 |
| | 6.03 | 7 | 1.16 | 8.12 | 140 | 63.3 |

FER : Fixed Electric Resistance

AER : Acted Electric Resistance

EC : Electric Current

EP : Electric Power

T : Temperature

고정저항 1.3Ω일 때 3V의 전압을 가할 경우 100분후에 표면온도가 52.8℃로 안정화되었으며, 4V의 전압일 경우 80분후에 표면온도가 95.3℃로 안정화되어 더 이상의 시간의 변화에도 온도는 일정하였다. 또한 고정저항 6.1Ω일 때 3V의 전압을 가할 경우 60분후에 표면온도가 29.6℃로, 6V의 경우 120분후에 56.4℃로, 7V의 경우 140분후에 77.0℃로 표면온도가 안정화 되었다. 이와 같이 저항이 작을수록 낮은 전압에서도 우드세라믹의 표면온도가 높음을 알 수 있었으며 저항이 클수록 우드세라믹의 표면온도를 70℃이상 올리기 위해서는 높은 전압을 가해야 할 것으로 생각된다. 또한 각 고정저항별로 전압을 높게 했을 때 우드세라믹의 전류, 전력 및 표면온도는 높게 나타남을 알 수 있었다.

Table 2는 우드세라믹의 온돌마루판 하부소재 이용 시 적정 표면온도라고 판단되는 70℃까지 올리는데 걸리는 시간 및 그때의 전기적 성질을 시편의 저항별로 선택하여 조사한 결과이다.

각 저항별 처리전압의 경우를 상정하여 측정된 결과는 Table 1에서 보는바와 같이 각 저항별로 낮은 전압에서는 70℃까지 온도가 상승하지 않고 일정한 시간에서 표면온도가 안정화 되어버렸다. 따라서 목표온도인 70℃까지 상승시키기 위해서는 고정저항 1.3Ω의 경우 4V의 전압으로 20분, 고정저항 4.0Ω의 경우는 7V의 전압으로 40분, 고정저항 8.0Ω의 경우는 10V의 전압으로 40분을 통전 가열해야 하는 것으로 나타났다.

Table 2. Electrical properties and time for rising 70℃ of surface temperature of woodceramics

| FER(Ω) | Voltage(V) | EC(A) | EP(W) | Time(min) |
|--------|------------|-------|-------|-----------|
| 1.3 | 4 | 5.23 | 21.68 | 20 |
| 2.0 | 5 | 3.95 | 19.10 | 40 |
| 4.0 | 7 | 2.89 | 18.95 | 40 |
| 6.1 | 7 | 1.78 | 12.38 | 40 |
| 8.0 | 10 | 1.30 | 9.52 | 40 |

Notes:

FER : Fixed Electric Resistance

EC : Electric Current

EP : Electric Power

또한 우드세라믹의 표면온도를 높게 상승시키기 위해서는 저항이 큰 시편일수록 높은 전압으로 통전해야 하며, 저항이 큰 시편일수록 일정온도까지 온도를 상승 시킬 때 전압을 높게 하므로써 전류와 전력은 감소하였다.

2) 전압과 표면온도에 따른 전기적 성질

온돌마루판의 온도변화를 측정하기 위한 각 시험편의 기초조사로 평균 고정저항이 1.7Ω인 우드세라믹 시편6개를 직렬로 연결하여 통전한 다음 각 전압별로 목표온도에 도달하는 시간 및 전기적 성질을 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Electrical properties according to voltage and surface temperature of woodceramics

| Temperature (°C) \ Voltage(V) | | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|-------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | EC(A) | 2.05 | 2.20 | 2.29 | 2.37 | 2.49 | 2.67 |
| | EP(W) | 41.7 | 45.3 | 48.5 | 49.3 | 51.2 | 56.8 |
| | T(min.) | 3.3 | 7.8 | 14.0 | 22.8 | 35.2 | 49.7 |
| 25 | EC(A) | 2.47 | 2.66 | 2.87 | 2.99 | 3.13 | 3.31 |
| | EP(W) | 60.1 | 66.2 | 71.4 | 74.5 | 76.7 | 82.3 |
| | T(min.) | 1.4 | 3.6 | 6.6 | 10.1 | 14.4 | 18.4 |
| 30 | EC(A) | 3.01 | 3.26 | 3.47 | 3.69 | 3.95 | 4.10 |
| | EP(W) | 87.5 | 92.6 | 99.1 | 109.5 | 112.5 | 116.9 |
| | T(min.) | 1.3 | 3.0 | 4.1 | 6.4 | 8.7 | 11.5 |
| 35 | EC(A) | 3.87 | 4.20 | 4.43 | 4.80 | 5.05 | 5.31 |
| | EP(W) | 137.0 | 149.2 | 155.3 | 169.5 | 176.5 | 185.0 |
| | T(min.) | 1.0 | 2.0 | 3.3 | 4.7 | 6.0 | 7.5 |
| 40 | EC(A) | 4.47 | 4.73 | 5.04 | 5.32 | 5.68 | 6.01 |
| | EP(W) | 175.0 | 188.4 | 199.2 | 212.9 | 223.6 | 241.2 |
| | T(min.) | 0.7 | 1.4 | 2.1 | 2.8 | 3.7 | 4.7 |

Notes;

EC : Electric Current

EP : Electric Power

T : Reach Time

전압 30V로 통전 하였을 때 우드세라믹의 표면온도를 30℃ 올리는데 걸리는 시간, 전류 및 전력은 각각 1.3분, 3.01A, 87.5W이었으며, 목표온도 70℃ 경우에는 각각 8.7

분, 3.95A, 11.25W이었다. 이와 같이 동일전압 하에서 목표온도가 높을수록 도달시간, 전류 및 전력은 증가하였다.

또한 목표온도를 60℃로 설정 하였을 때 목표온도에 도달하는 시간은 전압 20V의 경우 22.8분, 30V의 경우는 6.4분, 40V의 경우는 2.8분으로 전압을 높게 하여 통전할수록 목표온도에 도달하는 시간은 짧았으나 상대적으로 전류나 전력은 증가하였다.

이상의 결과를 볼 때 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위해서는 우드세라믹 시편 6개를 직렬로 연결 했을 때 전압 25~30V 정도의 통전이 목표온도의 도달시간이 비교적 양호하였으며 전류가 4A 이하로 나타나 적절한 전압조건으로 판단되었다. 또한 여러 개의 시편을 연결하여 통전할 경우 저항이 작은 시편을 선택해야 전압을 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

나. 통전 가열한 우드세라믹의 표면온도변화

1) 표면온도 상승

목재 틀 속과 콘크리트 블록에 우드세라믹을 넣고 통전하여 강화마루판과 합판마루판으로 뚜껑을 덮고 표면온도 상승을 측정한 결과를 Figs. 1~4에 나타내었다.

각 우드세라믹 표면 설정온도에서 통전가열시간이 경과함에 따라 경과시간 20분까지는 표면온도가 급격히 상승하다가 그 이후부터는 완만히 상승하였다. 목재 틀에서의 표면온도는 우드세라믹의 표면온도가 목표온도에 도달 했을 때 합판마루판의 초기온도가 강화마루판보다 높게 나타났다. 그러나 시간이 경과할수록 강화마루판의 표면온도가 급격히 상승하여 경과시간 60분후에는 합판마루판과 비슷한 온도를 나타냈다. 특히 우드세라믹표면 설정온도 70℃와 80℃의 경우 강화마루판의 초기온도는 각각 32.1℃와 35.4℃로 합판마루판의 초기온도보다 낮았으나 60분후의 표면온도는 각각 37.8℃와 39.4로 높게 나타났다. 이는 강화마루판의 밀도가 합판마루판의 밀도보다 커서 시간이 경과할수록 강화마루판의 표면온도 상승에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 또한 합판마루판의 경우 우드세라믹 표면설정온도 80℃에서 표면온도가 상대적으로 다른 설정온도에서의 표면온도보다 높은 것으로 나타났다.

마루판이 블록 표면에 있는 P-E폼에 직접 접촉되어있는 콘크리트 블록 마루판의 표면온도는 목재 틀 형태의 표면온도와 반대로 각 설정온도에서 강화마루판의 초기온도가 높았으며, 60분후의 표면온도 또한 합판마루판보다 높게 나타났다. 이러한 결

과는 비접촉식의 대류나 복사에 의한 열전달보다 직접 접촉에 의한 열전달이 밀도에 더 큰 영향을 미쳐 밀도가 큰 강화마루판의 온도가 높게 나타난 것으로 생각된다. 또한 콘크리트블록에서의 마루판 표면온도가 목재 틀에서의 표면온도보다 초기온도 및 60분후의 표면온도가 낮았는데, 이는 콘크리트 블록 형태는 우드세라믹의 표면위에 약 0.5cm 두께의 시멘트콘크리트가 덮혀 있어 열전달이 어려웠으며 콘크리트 밑부분까지 열전달이 되어 열손실이 비접촉식인 목재를 형태보다 많았기 때문으로 생각된다.

한편 통전가열 60분후의 마루판의 표면온도와 처음시작온도차이 비교에서 강화마루판의 온도차이가 큰 것은 합판마루보다 상대적으로 열전달이 빠름을 의미한다고 할 수 있다.

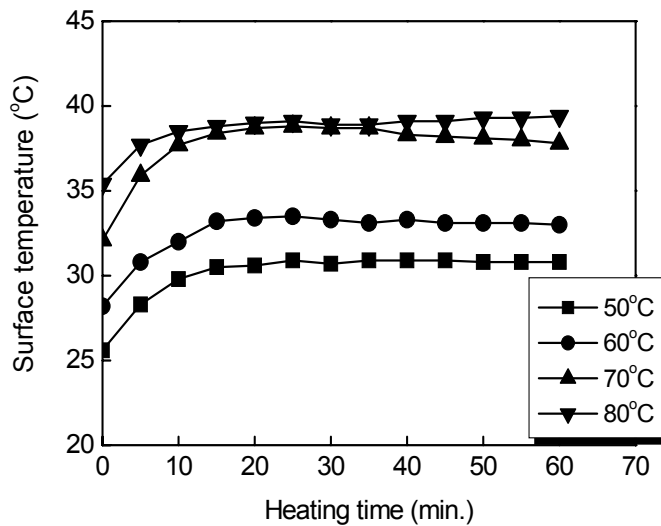


Fig.1. Relationship between heating time and surface temperature of laminated floor in wood frame.

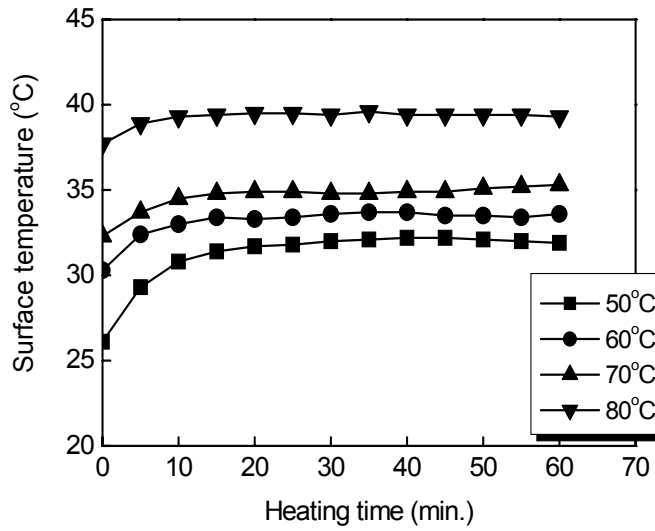


Fig.2. Relationship between heating time and surface temperature of plywood floor in wood frame.

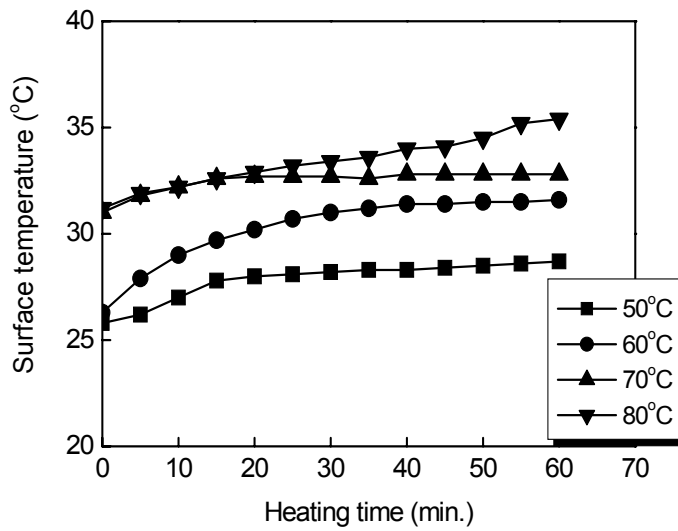


Fig.3. Relationship between heating time and surface temperature of laminated floor in concrete block.

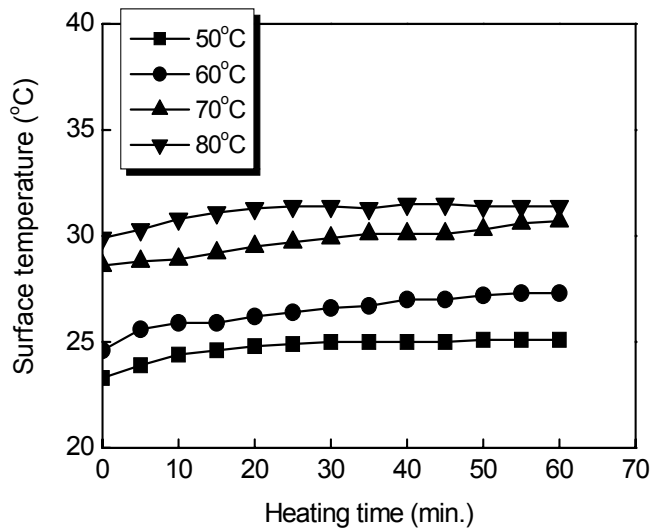


Fig.4. Relationship between heating time and surface temperature of plywood floor in concrete block.

2) 표면온도 하강

목재 틀 및 콘크리트 블록에서 각각의 우드세라믹표면의 설정온도에 따라 60분 동안 강화마루판과 합판마루판의 표면온도상승을 측정 후 하강온도변화를 조사하기 위하여 통전스위치를 끈 다음 3분 간격으로 30분 동안 마루판의 표면온도 하강변화를 측정 한 결과를 Figs. 5~8에 나타내었다. 각 우드세라믹 표면설정온도에서 시간이 경과함에 따라 경과시간 9분까지는 마루판 표면온도가 완만히 하강하다가 그 이후부터는 급속히 하강하였다. 목재 틀에서 우드세라믹표면 설정온도 70°C 일 때 강화마루판의 표면온도 하강변화는 처음 37.8°C에서 30분후에 29.5°C로 8.3°C 하강하였으며, 합판마루판은 설정온도 80°C일 때 39.3°C에서 30분후에 31.3°C로 8.0°C 하강하여 가장 큰 폭으로 감소하였다. 또한 콘크리트 블록에서 우드세라믹 표면설정온도 70°C 일 때 강화마루판의 표면온도 하강은 처음 32.8°C에서 30분후에 27.3°C로 5.5°C 하강하였으며, 합판마루판은 설정온도 80°C 일 때 31.4°C에서 30분후에 28.3°C로 3.1°C 하강하여 가장 큰 폭으로 감소하였다.

이와 같이 온도하강은 강화마루판은 설정온도 70℃에서, 합판마루판은 80℃에서 가장 커서 열 하강속도가 빠름을 알 수 있었으며, 시작온도와 30분후의 온도차이는 상승온도와 마찬가지로 강화마루판의 하강속도가 합판마루판보다 빠르게 나타났다. 또한 우드세라믹 표면설정온도가 높을수록 마루판표면의 하강속도가 빠르게 나타나 측정당시의 실내온도($20 \pm 1^\circ\text{C}$)에 영향을 받은 것으로 생각된다.

한편 각 우드세라믹 표면설정온도별 처음과 30분후의 온도하강차이는 강화마루판의 경우 목재 틀에서 설정온도 50~80℃ 일 때 4.8~8.3℃, 콘크리트 블록에서는 3.6~5.5℃, 합판마루판의 경우 목재 틀에서 4.7~8.0℃, 콘크리트 블록에서는 1.4~3.1℃로 목재 틀 및 강화마루판의 온도하강이 상대적으로 빠름을 알 수 있었다. Fig. 9는 우드세라믹 표면 설정온도를 70℃로 했을 때 목재 틀과 콘크리트 블록에서 강화마루판의 표면온도 하강과 동시에 우드세라믹의 표면온도하강을 측정한 결과이다. 목재 틀에서의 경우 처음온도 70℃에서 30분후에 44℃로, 콘크리트 블록의 경우 70℃에서 42℃로 하강하여 콘크리트 블록의 우드세라믹 표면온도 하강이 약간 빠르게 나타났다. 또한 마루판의 하강속도가 우드세라믹의 표면온도하강보다 느려 마루판이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

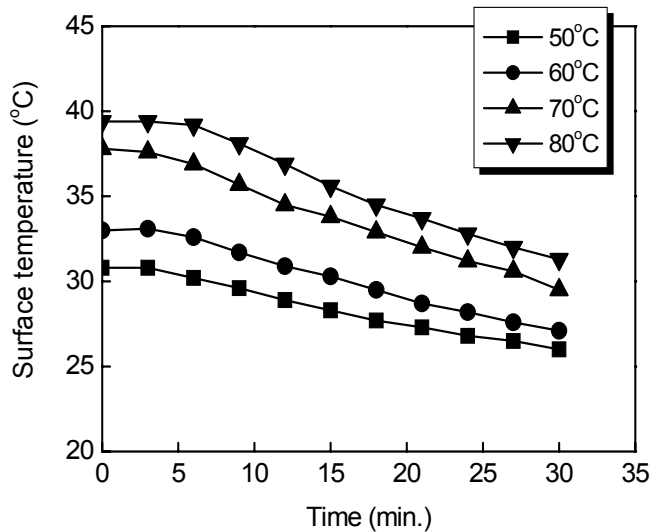


Fig.5. Relationship between time and decent of surface temperature of laminated floor in wood frame.

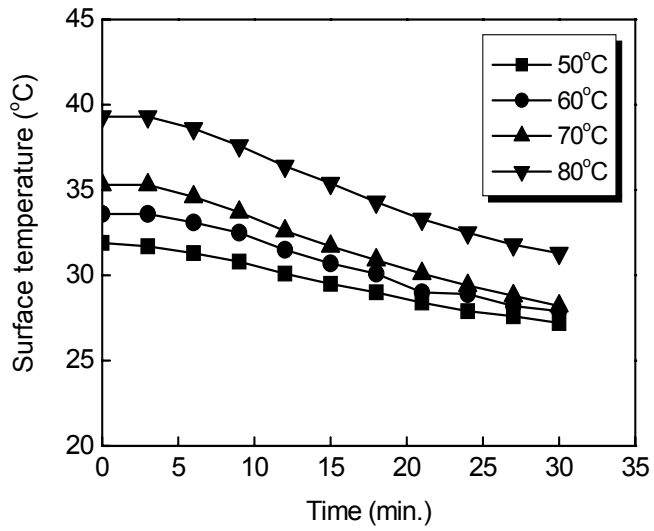


Fig.6. Relationship between time and decent of surface temperature of plywood floor in wood frame.

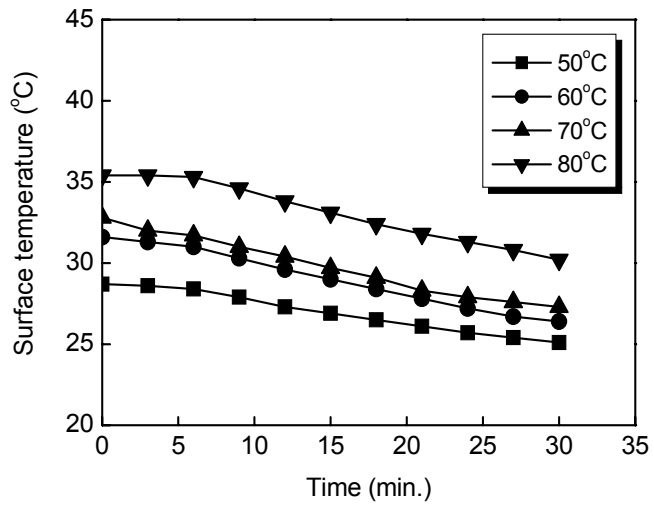


Fig.7. Relationship between time and decent of surface temperature of laminated floor in concrete block.

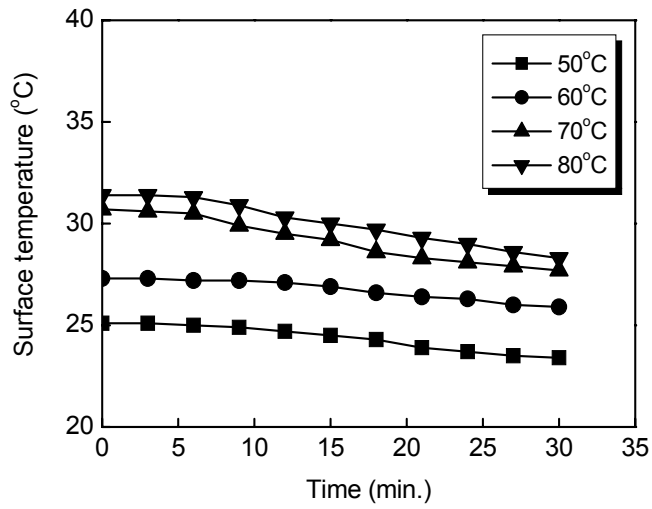


Fig.8. Relationship between time and decent of surface temperature of plywood floor in concrete block.

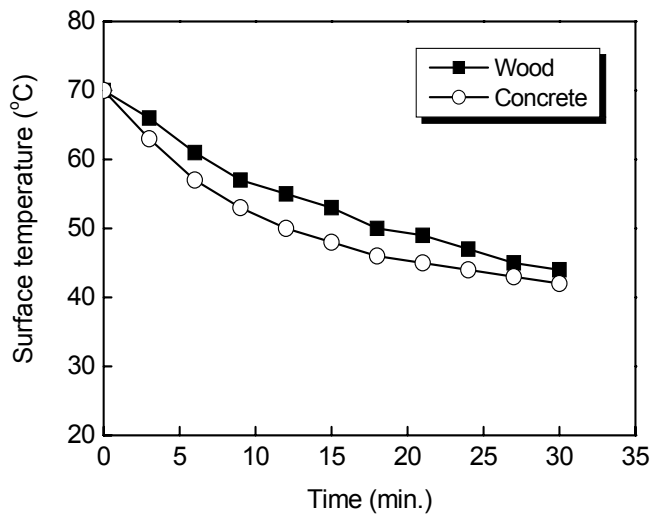


Fig.9. Relationship between time and decent of surface temperature of woodceramics at 70°C.

4. 결론

온돌마루판의 하부소재로 우드세라믹의 이용가능성을 검토하고자 소나무로 제조된 톱밥보드를 수지함침율을 달리하여 함침한 후 650℃로 소성하여 우드세라믹을 제조하고 통전 가열하여 이들의 전기적 성질을 측정 하였다. 또한 전선을 연결한 우드세라믹을 목재 틀과 콘크리트 블록 속에 넣은 다음 통전 가열하여 강화마루판과 합판마루판의 표면온도변화를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 저항이 작을수록 낮은 전압에서도 우드세라믹의 표면온도가 높음을 알 수 있었으며 저항이 클수록 표면온도를 70℃ 이상 올리기 위해서는 높은 전압으로 통전해야 할 것으로 판단된다. 각 고정저항별로 전압을 높게 했을 때 우드세라믹에 흐르는 전류, 전력 및 표면온도는 높게 나타났으며, 동일 전압 하에서 목표온도가 높을수록 도달시간, 전류 및 전력은 증가하였다.

이상의 결과 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위해서는 적절한 전압과 저항의 조절이 필요하며, 6개의 우드세라믹 시편을 직렬로 연결했을 경우에는 전압 25~30V의 통전이 적당할 것으로 판단된다. 통전가열시간이 경과함에 따라 경과시간 20분까지는 표면온도가 급격히 상승하다가 그 이후부터는 완만히 상승하였다. 목재 틀에서 표면온도는 합판마루판의 초기온도가 강화마루판보다 높았으나 시간이 경과할수록 강화마루판의 표면온도가 상승하여 경과시간 60분후에는 비슷한 온도를 나타냈다. 콘크리트 블록에서 표면온도는 강화마루판이 초기온도 및 60분후의 표면온도가 합판마루판 보다 높았다. 통전가열스위치를 끈 다음 시간이 경과함에 따라 경과시간 9분까지는 마루판의 표면온도가 완만히 하강하다가 그 이후부터는 급속히 하강하였다. 표면온도 하강은 강화마루판의 경우 우드세라믹 표면설정온도 70℃에서, 합판마루판은 80℃에서 가장 커서 열 하강속도가 빠름을 알 수 있었다.

5. 인용문헌

1. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1995. Development of porous carbon material "woodceramics"-Fundamental wear properties under unlubricated condition on air, under base-oil impregnated condition and in water-. Journal of the Society of Materials Science Japan. 44(501): 800~804.

2. Hokkirigawa, K., T., T. Okabe and K. Saito. 1996a. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of Porous Materials*. 2: 229~235.
3. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996b. Friction properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of Porous Materials*. 2: 237~243.
4. Kano, M., M. Momota, T. Okabe, K. Saito and R. Yamamoto. 1996. Thermogravimetric and differential thermal analysis of woodceramics. *Transactions of the Materials Research Society of Japan* 20: 40~43.
5. Kasai, K., K. Shibata, K. Saito and T. Okabe. 1996. Humidity Sensor characteristics of woodceramics. *Transactions of the Materials Research of Japan* 20: 92~95.
6. Nonaka, K., M. Fushitani, T. Hirose and T. Okabe. 1999. Thermal conductivity of woodceramics. proceeding of 11th MRS-J annual meeting. session 1. New plant materials. p. 98~101.
7. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. *Transactions of the Material Research Society of Japan* 18: 681~684.
8. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics(I) -Structural changes affected by burning temperature- International Ecomaterial Conference. Xian. China. P.1~4.
9. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa and y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference. Xian. China. p. 9~12.
10. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa and Y. Kumagai. 1995b. Development of porous carbon material "woodceramics"- Electromagnetic shielding characteristics-. *Journal of the Society of Materials Science Japan* 44(498): 288~291.
11. Shibata, K., T. Okabe, K. Saito, T. kayama, M. Shimada, A. Yamamura and R. Yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. *Journal of Porous Materials* 4: 269~275.
12. 김재성. 2003. 온돌용 목질마루판의 유통실태 및 경쟁력 제고방안. 월간임업정보

147: 48~53.

13. 오승원 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화(I) -밀도 및 소성온도의 영향-. 임산에너지 21(1): 1~6.
14. 오승원, 박금희, 변희섭. 2003. 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 표면온도 변화 -수지 함침율 및 소성온도의 영향-. 임산에너지 22(1): 24~29.
15. 한국목재신문. 2002. 국내마루시장의 과거와 미래.

제4장 목표달성도 및 관련분야에 의 기여도

-보드 제조 기술의 확립 및 수지 함침처리 기술개발-

국내 간벌재 생산량 중 많은 양을 차지하는 소나무, 낙엽송 및 잣나무 간벌재로 톱밥보드를 제조하고 보드제조 조건에 따른 보드의 성질을 구명하였다. 보드 제조 시 가압조건은 3단계 가압압력 4종류와 3단계 열압시간 4종류를 설정하여 총 16개 열압 스케줄에 따라 실험하여 물성을 조사하였다. 열압시간이 감소함에 따라 두께 팽윤율과 흡수율은 증가하였으나 휨강도 및 경도는 감소하였으며, 가압압력에 따른 차이는 뚜렷한 경향을 발견할 수 없어 톱밥보드의 물성은 가압압력보다 열압시간에 의해 영향을 받음을 알 수 있었다. 또한 보드 제조 시 보드의 밀도 및 수지첨가량의 영향은 보드의 밀도 및 수지첨가량이 증가할수록 흡수율, 휨강도 및 경도는 증가하였으며 흡수율은 감소하였다.

한편 양질의 woodceramics를 제조하기 위해서는 수지함침처리가 매우 중요한 선결문제 이기 때문에 균일한 수지함침보드를 얻기 위하여 상압법, 감압법, 감압 후 상압 및 감압·초음파 병행 후 상압법 등 다양한 함침방법과 함침시간에 따른 함침보드의 물성을 조사하였다. 또한 보드 제조 시 밀도와 페놀수지 첨가량은 달리하여 이들이 수지함침율에 미치는 영향 및 함침 시 초음파 진동처리 효과를 구명하고자 하였다. 함침횟수가 증가함에 따라 밀도, 수지함침율, 두께 및 길이 증가율이 증가하였다. 감압·초음파 병행 후 상압함침 방법에 의하여 함침된 함침보드의 밀도, 함침율, 두께 및 길이 증가율, 휨강도 및 경도가 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 톱밥보드의 수지 함침 시 초음파처리를 병행하므로써 함침율을 증가시켜 함침효과가 개선된 것으로 확인되어 이러한 처리기술은 금후 보드 수지함침처리 방법으로 이용될 것으로 기대된다.

-Woodceramics 제조기술개발-

Woodceramics는 원재료의 특성 및 소성온도, 수지함침율, 승온속도 및 최고온도에 서 유지시간 등 제조조건에 따라 소성 후 성질이 다르기 때문에, 본 연구에서는 다양한 제조조건 및 방법으로 우드세라믹을 제조한 후 밀도, 치수변화, 기계적 성질,

열전도성, 표면온도 및 원적외선 방사특성을 검토하여 양질의 우드세라믹 생산을 위한 제조기술을 개발하고자 하였다. 수지함침율이 높을수록 소성 후 밀도는 증가하였으며, 밀도는 소성온도가 증가함에 따라 소성온도 1000℃까지는 증가하였으나 1200℃이후에는 감소하였다. 열전도성은 수지함침율이 높을수록 우수하여 소성온도 1500℃의 경우 가장 우수하였다. 실리콘러버 히터의 표면온도 60℃에서 우드세라믹의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며, 수지함침율 60%와 소성온도 1000℃에서 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높아 통전하지 않고 우드세라믹을 마루판의 하부소재로 사용할 경우 적합한 제조조건으로 생각된다.

또한, 승온속도가 빠를수록 즉, 탄화 속도가 빠를수록 소성 후 밀도는 감소하였으며, 최고온도 유지시간에 따라 밀도의 변화는 없는 것으로 나타났다.

최고온도 유지시간 2시간과 승온속도 2℃/min 일때 열전도성이 가장 우수하였고 승온속도가 증가함에 따라 열전도성이 약간 떨어졌으며, 승온속도 2℃/min, 유지시간 1시간 조건으로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았다.

이와 같이 기존의 우드세라믹 제조 시 고려되지 않았던 승온속도 및 최고온도 유지시간도 우드세라믹의 성질에 영향을 미치는 것으로 확인되어 금후 우드세라믹 제조조건 설정에 활용될 것으로 기대된다.

한편 woodceramics를 면상 발열체로 사용하기 위해서는 우드세라믹의 전기적 성질, 표면온도 및 원적외선 방사특성에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 특히 최근에 원적외선 방사물질에 대한 효능이 검증되고 있어 본 과제에서도 우드세라믹의 원적외선 방사율과 방사에너지 특성을 검토하였다.

소성온도가 높을수록 전기저항이 작아 거의 도체에 가까웠으며 소성온도 1000℃이후에는 변화가 없었다. 우드세라믹의 원적외선 방사율은 소성온도 및 함침율에 관계없이 모두 0.920 정도로 높게 나타났으며, 소성온도가 증가하면 원적외선 방사율은 감소하였고 수지함침율 간에는 일정한 경향이 없었다.

수지함침율 70%인 보드를 600℃에서 소성하여 만든 우드세라믹의 원적외선 방사율 및 방사에너지가 각각 0.929, 4.31×10^2 W/m²로 가장 높았다. 이와 같이 woodceramics를 난방목적의 방사체로 이용할 경우 소성온도는 600℃가 가장 좋을 것으로 생각되며, 제조방법을 달리하여 전기적 성질 및 기계적 성질을 변화시킬 수 있기 때문에 앞으로 다양한 분야에 사용이 가능할 것으로 생각되며 이러한 woodceramics 제조기술은 우수한 성질의 우드세라믹을 제조하는데 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

- 기능성 우드세라믹 발열판 제조기술개발 -

이상에서 검토된 결과를 토대로 실제적으로 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위하여 전기를 통전 가열하여 우드세라믹의 저항, 전압, 전류 및 전력 등 전기적 성질을 측정하고, 우드세라믹 표면온도 설정에 따라 강화마루판과 합판마루판의 표면온도를 조사하는 온돌모델 시험을 실시하였다. 우드세라믹의 시편 양쪽 단면에 구리용액을 발라 전극을 만든 후 전기선을 납땀 연결하여 통전하였다. 고정 저항이 작을수록 낮은 전압으로 통전하여도 우드세라믹의 표면온도가 높음을 알 수 있었으며, 저항이 클수록 높은 온도를 올리기 위해서는 전압을 높게 해야 할 것으로 판단된다. 전압을 높게 했을 때 우드세라믹에 흐르는 전류, 전력의 양은 증가하였으며 표면온도는 높게 나타났고, 여러개의 시편을 연결하여 통전할 경우 저항이 작은 시편을 선택해야 전압을 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

또한 우드세라믹 발열판의 온도변화를 조사하기 위하여 목재틀 형태와 콘크리트 블록 형태에 우드세라믹을 넣고 뚜껑을 강화마루판과 합판마루판으로 덮은 다음 우드세라믹 표면설정온도 및 시간의 경과에 따라 마루판의 표면온도를 조사하였다. 통전가열 60분후의 마루판의 표면온도와 처음 시작온도와의 차이는 강화마루판이 크게 나타나 합판마루보다 열전달이 빠름을 알 수 있었다. 각 우드세라믹 표면설정온도별 처음과 30분후 표면온도 하강차이는 목재틀 형태가 콘크리트 블록형태보다, 강화마루판이 합판마루판보다 커서 온도하강이 상대적으로 빨랐다. 이와 같은 우드세라믹 마루판의 온돌모델시험결과 우드세라믹 표면으로부터 마루판 표면까지 열전달이 충분하여 우드세라믹을 면상발열체로 사용할 수 있을 것으로 기대되며, 앞으로 이러한 발열성질을 이용한 우드세라믹 활용방안의 확대가 가능할 것으로 생각된다.

이 기술은 현재 특허출원(출원번호 10-2003-0083862)중에 있다.

이러한 연구결과는 다음과 같은 내용으로 국내외 전문학술지 및 학술회의에서 발표되었으며 주요내용을 특허출원하였다.

논문발표 실적

- 1) 간벌재로 제조된 톱밥보드의 물성(I) - 가압압력 및 열압시간의 영향. 임산에너지 21(2): 10~16 (2002).
- 2) 탄소용대나무재의 열처리 및 건조. 임산에너지 21(3): 10~17 (2002).
- 3) Physical and mechanical properties of sawdust board made of thinning logs(II) -The effect of density and additive quantity of powder phenol resin-. The Korean Society of Wood Science & Technology 31(3): 17~23(2003).
- 4) 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 표면온도 변화 -수지함침율과 소성온도의 영향-. 임산에너지 22(1): 24~29(2003).
- 5) Effect of impregnation percentage and burning temperature on surface temperature of woodceramics. International Joint Seminar of Forestry and Forest Products Science. 11~18(2003).
- 6) 우드세라믹 제조용 톱밥보드의 수지함침(II) -밀도 및 페놀수지 첨가량의 영향-. 목재공학. 31(5): 15~22(2003).
- 7) 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질(I) -수지함침율 및 소성온도의 영향-. 목재공학. 32(1): 73~79(2003).
- 8) Properties of woodceramics by burning temperature and the rate of resin impregnation. International Association of Wood Products Societies 905~909 (2003).
- 9) Resin impregnation of sawdust board making woodceramics(I) -Effect of impregnation method and time. International Association of Wood Products Societies 910~916(2003).
- 10) Changes in surface temperature of woodceramics manufactured by pine thinning logs. International Union of Materials Research Societies. 67(2003).
- 11) 간벌재로 제조된 우드세라믹의 원적외선 방사 및 전기적성질. 한국 목재공학회 2004 학술발표 논문집. 269~272(2004).
- 12) Nondestructive bending strength evaluation of woodceramics using resonance frequency mode(I) -carbonizing temperature-. The Korean Society of Wood Science&Technology 32(3): 8~14(2004)

- 13) Resin impregnation of sawdust board for making woodceramics(I) -Effect of impregnation method and time on physical and mechanical properties. The Korean Society of Wood Science & Technology 32(3): 25~32(2004)
- 14) Mechanical properties of woodceramics according to carbonizing temperature -Bending, compression and hardness-. The Korean Society of Wood Science & Technology 32(3): 59~65(2004)
- 15) 함침율 및 소성온도가 소나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 표면온도에 미치는 영향. 목재공학 32(4) : 1~7(2004).

특허출원

출원일자: 2003. 11. 25

출원번호: 제10-2003-0083862호

명칭: 다공질 탄소재료를 이용한 온돌마루판 및 그 제조방법

제5장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구과제의 목표인 보드 제조기술의 확립 및 수지함침 처리기술 개발, woodceramics 제조 기술개발, 및 기능성 우드세라믹 발열판 제조기술개발을 통하여 국산간벌소경제의 유효이용 효과 및 양질의 우드세라믹을 이용한 면상발열체의 제조 가능성을 도출하였다.

Woodceramics는 다공질 탄소재료이기 때문에 표면적이 크고 1000℃이상에서 소성하면 도체에 가까운 성질을 지닌 제품을 생산할 수 있어 연료전지의 전극이나 2차전지의 소재로 유용하게 응용하여 활용할 수 있을 것이다.

발열체로의 이용 면에서 목질재료를 원재료로 이용함으로써 자유로운 형상으로 이용이 가능하고 열전도성이 우수하기 때문에 히터나 목탄을 대신해서 전기를 이용한 조리용 열원으로 이용이 가능할 것으로 생각된다.

특히 본 연구과제의 최종목표인 기능성 woodceramics 발열판 제조기술에 있어서, 우드세라믹은 소성온도, 승온속도, 수지함침율 및 최고온도 유지시간 등 제조조건에 따라 발열특성이 다르고, 많은 양의 원적외선이 방사되기 때문에 우드세라믹을 통전 가열하여 면상발열체로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

또한 앞으로 우드세라믹의 사용 용도에 따라 강도가 요구되는 분야에서는 금속, 수지, 세라믹 등과 복합화 하여 사용할 수 있고, 전기적 특성 및 자기적 특성, 원적외선방사 특성을 이용한 다양한 분야에서 활용이 가능하다고 생각된다. 이와 같이 우드세라믹은 매우 많은 이용가능성을 가진 소재이지만 현재의 실험실 수준에서 얻어진 결과를 그대로 실용화 하기에는 한계가 있기 때문에 본 개발제품을 산업적으로 이용하기 위해서는 대형 수지함침장치 및 소성로에서 제조시험 및 활용방안에 대한 적용시험이 요구되기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 해결방법을 모색 중에 있다.

제6장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술 정보

친환경 재료인 목재자원의 소비증가와 산업화에 따른 환경과피 및 산림면적의 감소로 인한 폐해가 증가하고 있는 상황에서 활용 가능한 목재의 유효이용 및 목재를 이용한 신소재개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 방법 중의 하나로 목재나 목질재료에 열경화성수지를 함침한 후 진공상태에서 높은 온도로 소성하여 woodceramics를 제조하는 기술이 개발되고 있다. 우드세라믹은 목재의 고유한 설질인 다공성을 그대로 유지하면서 내구성, 내부식성, 열전도성 및 원적외선 방사특성이 우수한 새로운 다공질 탄소재료로서 앞으로 공업적으로 다양하게 이용될 것으로 기대된다. 이러한 성질은 우드세라믹의 제조 과정 중 높은 온도에서 소성 하므로써 열경화성수지는 단단한 유리질탄소로, 목재나 목질재료는 무정형탄소로 변환되기 때문이다. 특히 여러 가지 원재료의 재사용 및 폐재의 사용으로 인한 환경오염이 적으며 높은 온도에서 소성하는 과정에서 발생하는 가스로 목초액의 생산이 가능하기 때문에 친환경재료로 인정되고 있다.

그러나 우드세라믹은 다공성 구조를 가지고 있기 때문에 산업재료인 철이나 탄소화합물보다 연성이나 강도가 약한 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 진공상태의 고압에서 용해된 알루미늄이나 알루미늄 합금을 우드세라믹에 주입하여 강도를 증대시키거나 TiO_2 를 코팅 처리하여 흡착성능을 활성탄과 비교해 보는 등 우드세라믹의 성능 향상을 위한 연구가 진행 중에 있다. 또한 소성과정에서 우드세라믹의 기계적 성질을 보강해주는 페놀수지는 석유로부터 생산되기 때문에 지속적인 생산이 불가능하며, 포름알데히드는 유독한 화합물로서 인체에 해를 끼치며, 많은 양을 사용할 경우 제조된 우드세라믹의 비표면적이 작기 때문에 환경보전 차원에서 기존의 액상 페놀수지대신에 페놀화합물, 목분 및 황산을 이용하여 액화목재를 제조한 후 목재나 목질재료에 주입하여 우드세라믹을 제조한 후 탄화속도 및 수지함침율에 따른 우드세라믹의 물성을 조사하는 연구는 일본을 중심으로 진행 중에 있다.

이와 같이 다양한 우드세라믹의 제조방법의 연구에도 불구하고 아직까지 확실한 용도개발은 미흡한 실정에 있으나 본 연구에서 개발한 우드세라믹 제조기술의 확립을 통해서 통전 가열하여 면상발열체로 활용 하므로써 건축용 재료 및 마루판의 하부소재로써의 이용가능성은 충분하다고 판단된다.

제7장 참고문헌

1. Akitsu, H., M. Norimoto, and T. Morooka. 1991. Vibrational properties of chemically modified wood. J. Japan Wood Res. Soc. 37(7): 590~597.
2. Bulleit, W. M. 1985. Reinforcement of wood materials : A review. Wood and Fiber Science 16(3): 391~397.
3. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonizing speed on the property change of woodceramics impregnated with liquefacient wood. Materials Letters 52 : 229~233.
4. Hirose, T. T. X. Fan, T. Okabe and M. Yoshmura. 2001. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. Journal of Materials Science 36: 4145~4149.
5. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1995. Development of porous carbon material "woodceramics"-Fundamental wear properties under unlubricated condition on air, under base-oil impregnated condition and in water-. Journal of the Society of Materials Science Japan. 44(501): 800~804.
6. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996a. Wear properties of new porous carbon materials : wooderamics. Journal of Porous Materials 2: 229~235.
7. Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996b. Friction properties of new porous carbon materials: woodceramics. Journal of Porous Materials. 2: 237~243.
8. Itoh, T. 1990. Lignification of Bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) During its Growth. Holzforschung. 47(2) : 191~200.
9. Kano, M., M. Momota, T. Okabe, and K. Saito. 1997. Specific heat capacity of new porous carbon materials: woodceramics. Thermochemica Acta 292: 175~177.
10. Kano, M., M. Momota, T. Ocabe, K. Saito and R. Yamamoto. 1996. Thrmogravimetric and differential thermal analysis of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 40~43.
11. Kasai, K., K. Shibata, K. Saito and T. Okabe. 1996. Humidity Sensor

- characteristics of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 92~95.
12. Kawai, S., H. Suda, M. Nakaji and H. Sasaki. 1986. Production technology for low-density particleboard II. effect of particle moisture and resin content on board properties. Mokuzai Gakkaishi 32(11): 876~882.
 13. Kollmann, F. P., E. W. Kuenzi and A. J. Stamm. 1975. Principle of wood science and technology: 613~622.
 14. Laxamana, M. G. 1985. Drying of some commercial Philippine bamboos. FPRDI Journal (Philippine). 14(1/2); 8~19.
 15. Lee, P. W. and J. S. Suh. 1987. A study on the mechanical and physical properties of sawdust board combined with plastic chip. Journal of the Korean Wood Science and Technology 15(3): 44~55.
 16. Nonaka, K., M. Fushtani and T. Hirose. 1999. Effect of density and phenolic resin loading on the bending strength performance of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 24(3): 319~322.
 17. Nonaka, K., M. Fushitani, T. Hirose, and T. Okabe. 1999. Thermal conductivity of woodceramics. Proceeding of 11th MRS-J annual meeting. session 1. New Plant Materials. pp. 98~101.
 18. Oh, S. W. 2001. Properties of woodceramics made from thinned logs of *Cryptomeria japonica* D. Don -Effect of steam injection and its time-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 29(2): 69~75.
 19. Oh, S. W., and H. S. Byeon. 2003. Change of Surface temperature in woodceramics made from MDF(II) -Effect of impregnation rate and burning temperature-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 31(1): 41~45.
 20. Oh, S. W., T. Hirose and T. Okabe. 2000. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(I) - Resin impregnation rate and bending strength -. Journal of the Korean Wood Science and Technology 28(4): 51~55.
 21. Oh, S. W., and T. Okabe. 2001. Properties of woodceramics chip tile made

- from waste wood (II) -Effect of additions and woodceramics chip-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 29(3): 68~72.
22. Oh, S. W., T. Okabe, and T. Hirose. 2000. Electrical properties of woodceramics made from thinned logs of *Cryptomeria japonica* D. Don. Journal of the Korean Society of Furniture Technology 11(1): 31~36.
 23. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
 24. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics(I) -Structural changes affected by burning temperature- International Ecomaterial Conference. Xian. China. P.1~4.
 25. Okabe, T., K. Saito, and K. Hokkirigawa. 1996. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 215~221.
 26. Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics : Development and fundamental properties. Journal of Porous Materials 2: 207~213.
 27. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 9~12.
 28. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa and Y. Kumagai. 1995b. Development of porous carbon material "woodceramics"- Electromagnetic shielding characteristics-. Journal of the Society of Materials Science Japan 44(498): 288~291.
 29. Park, H. and P, W. Lee. 1986. Effect of wood particle and steel wire composition on physical and mechanical properties of the board. Mokchae Konghak 14(1): 3~44.
 30. Roflael, E. and W. Rauch. 1972. Influence of density on the swelling behavior of phenolic - resin -bonded particleboard. Holz Roh - werkst 30(5): 178~181.
 31. Rowell, R. M. , R. S. Lichtenberg, and P. Larsson. 1993. Stability of acetylated wood to environmental changes. Wood & Fiber Sci. 25(4) : 359~

- 364.
32. Shibata, K., T. Okabe, K. Satio, T. Okayama, M. Shimada, A. Yamamura and R. Yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. *Journal of Porous Materials* 4: 269~275.
 33. Spaun, F. D. 1981. Reinforcement of wood with fiberglass. *Forest Products Journal* 31(4): 26~33.
 34. Suda, T., N. Kondo. T. Okabe, and K. Saito. 1999. Electrical properties of woodceramics. *Journal of Porous Materials* 6: 255~258.
 35. Sun, B. C. H., R. N. Hawke and M. R. Gale. 1994. Effect of polyisocyanate level on physical properties of wood fiber composite materials. *Forest Products Journal* 44(4): 53~58.
 36. Takeshi, O. 1991. Acoustic properties of wood. *J. Japan Wood Res. Soc.* 37(11) : 99 1~998.
 37. Yano, H., M. Norimoto, and Rowell, R. M. 1993. Stabilization of acoustical properties of wooden musical instruments by acetylation. *Wood & Fiber Sci.* 25(4) : 395~403.
 38. Yoshida, Y., S. kawai, Y. Imamura, K. Nishimoto, T. Satou and M. Nakaji. 1986. Production technology for acetylated low-density particleboard I. Mechanical properties and dimensional stability. *Mokuzai Gakkaishi* 32(12): 96 5~971.
 39. Zhao, B. Y., T. Hirose, T. Okabe, D. Zhang, T. X. Fan, and K. A. Hu. 2002. woodceramics prepared from wood powder/ phenolated wood composite. *Journal of Porous Materials* 9: 195~201.
 40. 강호양 · 이종신 · 허종윤 · 이관영 · 심준오. 1996. 전통 대나무 악기재의 아세틸화. *목재공 학* 24(5) : 5~11.
 41. 김재성. 2003. 온돌용 목질마루판의 유통실태 및 경쟁력 제고방안. *월간임업정보* 147: 48~53.
 42. 도금현. 2001. 불포화 폴리에스테르 수지 주입 판재의 물성. *월간임업정보* 126: 35~39.
 43. 박종영 외. 2001. 목질계 생활 폐기물을 이용한 건축자재개발. *농림기술개발과제*

- 최종연 구보고서. 1~504.
44. 산림청. 2001. 임업통계연보 제31호.
 45. 서진석. 1987. 폴리 프로필렌사 칩과 배향사를 걸쳐한 톱밥보드의 물리적 및 기계적성질에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
 46. 서진석. 2001. 칩엽수 단판의 수지함침 · 압밀화에 의한 합판 오버레이 특성. 월간 임업정보 128: 29~33.
 47. 오승원. 2001. 삼나무간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 - 증기분사 및 그 시간의 영향-. 목재공학 29(2) : 69~75.
 48. 오승원. 2002. 우드세라믹 제조용 석탄수지 함침보드의 수지 함침율과 치수증가율 - 증기분사 시간의 영향 -. 목재공학 30(2): 158~164.
 49. 오승원 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화(I) -밀도 및 소성온도의 영향-. 임산에너지 21(1): 1~6.
 50. 오승원, 박금희, 변희섭. 2003. 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 표면온도 변화 - 수지 함침율 및 소성온도의 영향-. 임산에너지 22(1): 24~29.
 51. 오승원. T. Okabe and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적성질. 한국가구학회지 11(1): 31~36.
 52. 원적외선협회. 2000. 원적외선 자료집 - 평가 및 이용기술분야. p155.
 53. 이원희. 박상진. 1997. 페타이어를 이용한 목질계 복합 패널의 연구 -열압조건에 의한 재질 특성-. 목재공학 25(4): 29~38.
 54. 이필우. 윤형운. 1994. MDI(methylene diphenyl diisocyanate)수지를 이용한 톱밥보드의 물성(I) - 보드비중, 수지첨가량, 매트 함수율에 관하여-. 한국 가구학회지 5(2): 51~61.
 55. 이필우. 이영규. 김현중. 2002. 제지 슬러지 - 합성섬유 - 목섬유 복합재의 개발. 목재공학 30(1): 1~10.
 56. 이화형. 강춘원. 1998. 요소수지 연질 왕겨보드의 개발. 목재공학 26(4): 50~55.
 57. 이화형 · 위 흡 · 이원용 · 박상진 · 홍병화. 1989. 목재물리 및 역학. 향문사. : 377.
 58. 임업연구원, 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 추진방향. 연구자료. 159호.
 59. 지철근. 2000. 원적외선특성과 응용. 원적외선협회 p65.
 60. 한국목재신문. 2002. 국내마루시장의 과거와 미래. 한국목재신문사.
 61. 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 ウッドセラミックス . 内田老鶴圃.

62. 廣瀬 孝. 1997. ウッドセラミックスの強度性能向上に關する研究. 東京農工大學院 修士論文. 42. 김봉용. 1997. 제지 슬러지와 신문 고지를 이용한 MDF의 제조 및 물성. 목재공학 25(1): 50~55.
63. 伏谷賢美, 1985. 木材の物理. 文永堂.
64. 北原覺一. 1977. 木材物理. 森北出版.

<사진 모음>



사진 1. 보드 제조용 열압기.



사진 2. 초음파 수지함침장치.



사진 3. 대나무 진빼기 처리.



사진 4. 진빼기한 대나무의 표면상태.



사진 5. 열처리하지 않은 대나무(할렐).



사진 6. 열처리한 대나무(무결점).



사진 7. Woodceramics 소성장치.



사진 8. 함침보드와 woodceramics.



사진 9. 실리콘러버히터를 이용한 표면온도 측정.



사진 10. 원적외선 방사율 및 방사에너지.

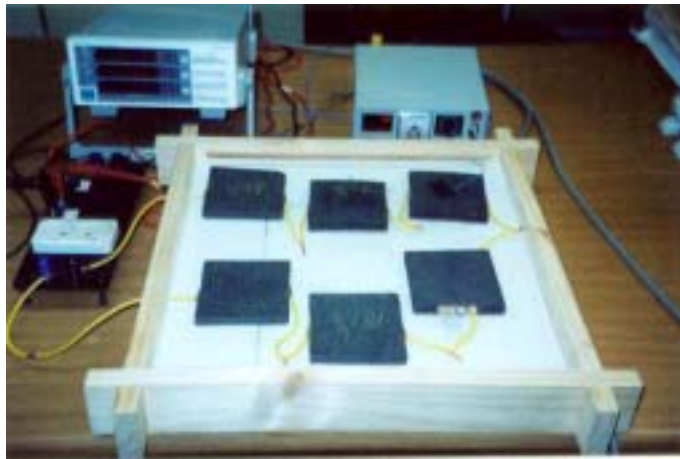


사진 11. 표면온도 측정을 위한 woodceramics 배열(목재틀형).



사진 12. 표면온도 측정을 위한 woodceramics 배열(콘크리트블럭형).



사진 13. 통전한 마루판의 표면온도 측정.



사진 14. 목재틀형 시작품.

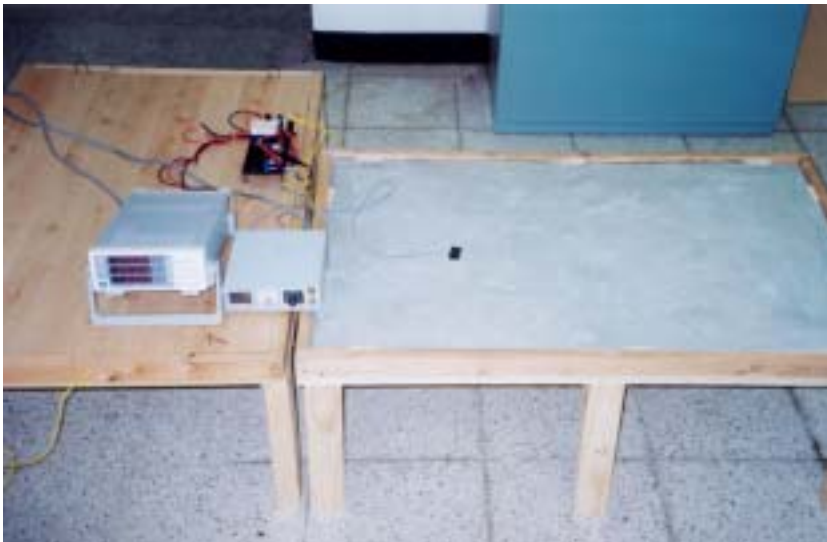


사진 15. 콘크리트 블록형 시작품.



사진 16. 통전한 시작품 마루판의 표면온도 측정.

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.