

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000868-01

바닥복사가열시스템을 위한 고성능
후판무늬목금속복합체적층마루판의 개발
Development of metalized wood composites
for floor radiant heating system

연구기관 : 충남대학교

농림수산식품자료실



0002606

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “바닥복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판의 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2011년 4월 9일

주관연구기관명 : 충남대학교

주관연구책임자 : 이 화 형

세부연구책임자 : 이 화 형

연 구 원 : 이 종 신

연 구 원 : 강 석 구

연 구 원 : 서 인 수

연 구 원 : 박 계 신

연 구 원 : 박 한 상

연 구 보 조 원 : 이 호

연 구 보 조 원 : 피 덕 원

연 구 보 조 원 : 김 현 희

연 구 보 조 원 : 윤 여 범

요 약 문

I. 제 목

바닥복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판의 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

납과 크롬이 없는 저온용융합금을 천연무늬목에 주입하여 현재 온돌마루판으로 사용하는 원목마루판의 수분과 높은 온도의 스트레스 때문에 생기는 문제점을 극복하고자 목재 천연의 무늬를 그대로 간직하면서 고성능을 간직한 후판무늬목금속복합체를 개발하여 내마모성과 내화성 및 치수안정성 등 기능이 매우 우수한 새로운 온돌용 마루판을 개발하여 ‘온돌의 국제표준화’에 발맞추고자 금속화목재의 적정제조조건을 규명하고 제조된 후판무늬목금속복합체적층합판 마루판의 특성을 규명하고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

연구년도	연구 범위	연구 내용
1차년도	금속화목재의 적정제조조건 규명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 납과 크롬이 없는 저온용융합금의 조성과 압력 및 주입침투처리온도의 적정조건 규명(합금 3종, 수종 2종) ▶ 적정 처리 시간 규명
2차년도	적정조건으로 제조된 후판무늬목금속복합체적층합판 마루판의 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 개발된 무늬목금속복합체마루판의 물리기계적 특성 규명 ▶ 대판과 후판무늬목금속복합체의 접착을 위한 접착성 규명 ▶ 개발된 무늬목금속복합체마루판의 기능성 규명 ▶ 심사자의 추가 연구 의견 반영

IV. 연구개발결과

연구년도	연구 범위	연구 개발결과
1차년도	금속화목재의 적정제조조건 규명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 저온용융합금의 조성에 따라 용융온도가 다르게 나타났다. ▶ 수중에 따라 적정처리조건이 다르게 나타났다. 북미산호두나무의 경우 적정제조조건은 186℃-감압시간 10분-30kgf/cm²-가압시간 10분, Radiata pine의 경우는 186℃-감압시간 10분-10kgf/cm²-가압시간 2분30초였다. 백참나무는 186℃-감압시간 10분-50kgf/cm²-가압시간 10분으로 50kgf/cm²의 압력이 필요하였다. ▶ 중량증가율이 증가함에 따라 밀도가 크게 증가하고, 흡수율과 두께팽윤율이 크게 감소되어 기존의 원목마루판의 문제점이었던 치수안정성이 매우 크게 향상되었다.
2차년도	적정조건으로 제조된 후판 무늬목금속복합체와 합판 적층체마루판의 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우수한 치수안정성 뿐만이 아니라 휨강도, 경도, 마모도등의 기계적인 성질이 크게 증가하였으며, 전기 전도도와 열전도도 증가하는 특성이 나타났다. ▶ 무늬목금속복합체는 TVOC나 포름알데히드 문제가 전혀 없는 최우수제품이었으며 접착성은 목재자체보다 높게 나타나 마루판 제조에 전혀 문제가 없었다. ▶ 도막 성능은 내한성, 내열성, 내산성, 내알카리성, 내마모성, 도막 밀착력에서 모두 합격하였으며 목재와 차이없이 매우 우수하였다. 색상표현은 착색도장과 열처리방법에 의한 두가지 방법 모두 우수하였다. ▶ 원적외선방사율은 90%정도로 목재와 비슷하게 나왔고 전자과차폐율은 92%에서 99.99%까지의 높은 전자과 차폐율을 나타냈다. ▶ 톱에 의한 절삭 가공과 드릴가공, 나사못이나 타카못에 의한 박음성도 매우 우수하여 마루바닥재 시공에 문제가 없었다. ▶ 내화성능이 매우 뛰어나 불꽃을 내고 타지 않으며 매우 낮은 중량 변화율과 연기발생량, 열방출량, 산소소비량이 나타났다. ▶ 마모깊이에 의한 수명은 라디에타과인의 경우 3.6배, 흑호두나무의 경우 2.1배 증가하였다. ▶ 복합체의 사용 후 폐기시 금속의 재활용율은 95%정도였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

특허 1건, 발표논문 2건, 학술대회발표 2건, 인력배출 2명(석사1명, 학사 1명(졸업최우수논문 선정)

가. 학술대회발표

(1) 강석구, 박계신, 서인수, 이종신, 이화형. 2010. Properties of low melting alloy impregnated radiata pine composites as a high performance floor for floor radiant heating system. 2010 International Furniture Design Conference, August 26,2010, KINTEX. Goyang-si, South Korea, Korea Furniture Society.

(2) 이화형. 2010. 바닥복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판의 개발. 2010 추계 충남대·충북대 공동 학술발표대회. 2010년 11월 13일 충남대학교 농생대 3호관 세미나실

나. 논문 발표

(1) 박계신, 이화형. 2011. 국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성. 농업과학연구지. 37(30) 457~464

(2) 강석구, 박계신, 이호, 서인수, 이종신, 이화형. 2011. 북미산 흑호두나무 Bi-Sn 용융합금 복합체의 제조와 특성. 한국가구학회지 22(1) 55~63

다. 특허 출원

(1) 바닥복사가열시스템 마루판을 위한 안전한 고성능 금속주입목재복합체의 개발. 2010.02.12. 출원번호 10-2010-0013425

라. 인력양성 2명

(1) 석사학위.2011.02.26. 박계신. 논문 “ 국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성 ”

(2) 학사학위. 2011.02.26. 이호 최우수졸업논문 “북미산 호두나무 금속화 목재의 제조와 특성 ”

2. 성과활용계획

가. 연구의 결과를 정리하여 국내 및 국외 저명 학술지에 논문 게재

나. 국내 및 국외 학술회의에서 논문 발표

- 다. 각종 세미나에서 연구 결과 발표 및 홍보
- 라. 현장보급을 통한 제품의 우수성 홍보강화 방안 마련
- 마. 제품의 산업화를 위한 계획방안 마련
- 바. 에너지소모가 적고 열효율이 우수하고 인체에 쾌적한 온돌의 국제표준화에 맞추어 복사 가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체마루판의 제조 기술을 보다 발전시키고 용도와 기능성을 개발하여 중국 일본을 비롯한 전통적으로 후판의 무늬목을 선호하는 구미 각국에 수출하도록 하여 국가 경제 발전에 기여할 예정

SUMMARY

The metalized wood composites with the natural grain originated from the imported *Juglans nigra* and *Pinus radiata*, which were impregnated with low melting alloy, were manufactured and were evaluated in this study. The proper manufacturing conditions were also investigated. The low melting alloys such as bismuth(Bi) and tin(Sn), which are harmless to humans, were applied to this new composites. The composites showed not only no defects in discoloration, delamination, swelling, and cracking, because of high dimensional stability and low thickness swelling, but also much improved performance such as high bending strength, high hardness, abrasion resistance, high thermal conductivity as floor materials.

The proper impregnating condition depending on the wood species were suggested in this study. For the *Juglans nigra*, the 10 minutes of the preliminary vacuum time, 186°C of the heating temperature and 10 minutes of the maintaining pressure time at the pressure of 30kgf/cm² were the proper processing condition. For the *Pinus radiata*, 10 minutes of the preliminary vacuum time, 186°C of the heating temperature and 2.5 minutes of the maintaining pressure time at the pressure of 10kgf/cm² were the proper conditions. This metalized black walnut composites showed 7 times higher density than that of the control sample, great increase in bending strength from 131.8 N/mm² to 192.3 N/mm², and great increase in hardness from 18.2N/mm² to 94.0N/mm². The metalized radiata pine composites showed 15.4 times higher density than that of the control sample, great increase in bending strength from 84.0 N/mm² to 186.8 N/mm², and great increase in hardness from 11.6N/mm² to 51.1N/mm². The composites demonstrated not only high emissivity of about 90%, high shielding effectiveness of 92.59–99.99%, high fire resistance but also great decrease in abrasion depth, water absorption and thickness swelling.

The bonding properties of metalized wood composites with plywood showed unproblematic in terms of adhesion, TVOCs and formaldehyde. The bonding strength of metalized wood composites was higher than that of wood. This metalized wood composites could meet the conditions of the KS standards for coating properties such as cold resistance test, heat resistance test, acid resistance test, alkali resistance test, durability of abrasion test and adhesion test by masking tape. Both staining and heating treatment method were good for modifying the color of metalized wood composites. Workability of this composites showed excellent for cutting by saw, drilling, screwing, and tacker nailing.

The working life of this metalized wood composites by abrasion depth indicated 3.6 times longer than that of the radiata pine control sample and 2.1 times longer than that of the black walnut control sample.

Key words: low melting alloy, wood composites, *Juglans nigra*., *Pinus radiata*, hardness, abrasion resistance, dimensional stability, bonding and coating., workability.

CONTENTS

Submission document

Korean summary	-----	1
I . Title	-----	1
II . Objectives	-----	1
III . Research contents and scope	-----	1
IV . Results and application	-----	2
English summary	-----	5
English contents	-----	6
Contents	-----	7
1. Project outline	-----	8
2. An Overview of Development of Technology	-----	11
3. Research contents & Results	-----	12
4. Achievement and the level of contribution	-----	81
5. Results and application	-----	83
6. Technical Information	-----	85
7. Reference	-----	88
8. Attached documents	-----	89

목 차

제출문

요약문	-----	1
I. 제목	-----	1
II. 연구목적 및 필요성	-----	1
III. 연구내용 및 범위	-----	1
IV. 연구개발 결과 및 활용방안	-----	2
영문요약	-----	5
영문목차	-----	6
목차	-----	7
제 1 장	연구개발과제의 개요 -----	8
제 2 장	국내외 기술개발 현황 -----	11
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과 -----	12
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도 -----	81
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획 -----	83
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 -----	85
제 7 장	참고문헌 -----	88
제 9 장	첨부서류 -----	89

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구목표 및 필요성

우리나라 바닥재의 시장 규모 1조 2000억 가운데 목질계 마루가 차지하는 시장은 약 6000억 정도를 차지하고 있다. 그 동안 PVC바닥재가 선도하던 시장이 목질계 마루판으로 바뀌면서 친환경 인체친화적 바닥재로 전환되고 있다. 이중에서도 가정용 바닥 난방용 플로어링은 오피스 용과 달리 가장 가혹한 사용조건에 노출되기 때문에 성능이 최고로 발휘되는 최우수품질을 갖추고 있지 않으면 안 된다. 더욱이 복사난방시스템에 한국의 온돌이 2008년3월에 ISO NP(신규작업항목 제안)로 채택됨으로서 '온돌의 국제 표준화'를 굳히게 되었다. 최근에 독일, 오스트리아, 덴마크 등은 최근 짓고 있는 주거용 건물의 30-50%에 온돌바닥난방방식의 구조를 설치하고 있어 에너지소모가 적고 열효율이 우수하고 인체에 쾌적한 온돌바닥난방의 전파속도가 매우 빠르게 전개되고 있다. 현재 KS 규격에 맞추어 개발되어 유통되는 온돌용 무늬목적층마루판은 표면 무늬목의 두께가 0.6mm이하의 얇은 것으로 개발되어 세계에서 선두 자리를 지키고 있으나 1mm이상의 후판 무늬목의 표면재를 갖는 온돌바닥난방용 적층마루판의 새로운 보급형 고급 온돌용 원목마루가 국내 시장 및 중국을 비롯한 국외 시장에서 매우 강하게 요구되고 있다. 따라서 천연의 나무 무늬를 그대로 간직하면서 금속화된 이러한 후판무늬목금속복합체의 새로운 기능성인 최고의 내마모성, 내화성, 치수안정성 등 새로운 성능을 부여한 복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판 제조와 그 기술이 중국 일본을 비롯한 구미 각국에 수출되어 온돌의 국제표준화와 더불어 세계를 석권하여 국내의 기술발전과 아울러 국가 경제 발전에 크게 기여하고자 실시하였다.

제 2절 연구범위 및 연구수행 방법

1. 1차년도 연구범위 및 연구수행 방법

가. 연구 범위

납과 크롬이 없는 저온용융합금의 조성과 목재의 침투량인 중량증가율에 따른 적정 압력 및 적정주입침투처리온도와 적정처리시간을 규명하여 천연의 무늬를 그대로 간직하면서 고성능을 간직한 후판무늬목금속복합체를 개발

나. 연구수행 방법

- (1) 납과 크롬이 없는 저온용융합금의 조성과 압력 및 주입침투처리온도의 규명
 - (가) 납과 크롬이 없는 저온용융합금(Bi, Sn, In)의 조성(3종) 결정 시험
 - (나) 3종에 따른 압력 및 침투 처리 온도 60-70℃, 80℃, 138℃의 결정

(2) 적정 처리 시간 규명

(가) 무늬목재의 수종(2종)과 두께(5mm,10mm)에 따른 침투량 규명

(나) 침투량에 대한 적정처리 시간 규명

2. 2차년도 연구범위 및 연구수행 방법

가. 연구 범위

대판과 후판무늬목금속복합체의 접착제 선정에 관한 접착성 규명과 동시에 개발된 무늬목금속복합체마루판의 특성 및 기능성 규명을 통한 고성능 후판무늬목금속복합체적층합판 마루판의 개발 및 특성 규명

나. 연구수행 방법

(1) 대판과 후판무늬목금속복합체의 접착을 위한 접착제 선정과 접착 강도 규명

(가) 3개 접착제(기존사용 접착제와 이종재료용 접착제 2종) 중에서 우수접착제 선정

(나) 개발된 무늬목금속복합체마루판의 접착강도 규명

(다) 무늬목금속복합체의 TVOC (휘발성 유기화합물) 방출량 측정

(2) 개발된 무늬목금속복합체마루판의 특성 규명

(가) 비중, 함수율, 휨강도, 경도, 흡수율, 열전도도, 전기전도도, 치수안정성 등의 내구성을 측정하며, 내화성, 마모성 및 톱동에 의한 절삭 가공성, 타커못박음성, 드릴에 의한 구멍 뚫기등의 가공성을 측정하여 그 특성을 규명함으로써 안전도 및 수명 평가

(3) 개발된 무늬목금속복합체마루판의 기능성 시험

(가) 마루판의 원적외선 방사율 측정

(나) 복합체의 전자파 차폐율 측정

※추가 연구

(4) 후판무늬목금속복합체의 도장성 시험

(가) 현재 목질마루판에서 사용되는 최고 품질의 환경친화형 도료의 적용

(나) 도료의 도막 성능 측정

(다) 색상표현 방안 검토

(5) 개발된 무늬목금속복합체마루판의 경쟁력 분석

(가) 원가분석

제 3절 기대성과

1. 기술적 측면

중국을 최근 온돌바닥난방방식을 아파트에 적용하는 것을 권장하고 있으며 후판무늬목적층마루판을 요구하고 있으나 온돌 종주국인 한국도 아직 이를 해결하지 못하고 있다. 따라서 천연의 무늬를 그대로 간직하면서 뛰어난 고기능성의 온돌용 무늬목금속복합체적층마루판 제품이 성공적으로 개발된다면 복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판과 기술이 중국 일본을 비롯한 전통적으로 후판마루판을 선호하는 구미 각국에 수출되어 기술선점에 따른 각종 이익과 한국온돌의 세계화에 더욱 부응함은 물론 세계 마루판 제조 기술의 발전에 크게 기여할 것이다.

2. 경제적·산업적 측면

우리나라 바닥재의 시장 규모 1조 2000억 가운데 목질계 마루가 차지하는 시장은 약 6000억 정도를 차지하고 있다. 천연의 무늬를 그대로 간직하면서 뛰어난 고기능성의 온돌용 무늬목금속복합체적층마루판 제품의 개발은 복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판과 그 제조 기술이 국내의 경제 사회 발전에 크게 이바지함은 물론 중국 일본을 비롯한 전통적으로 후판마루판을 선호하는 구미 각국에 수출하여 최근 급격하게 증가하고 있는 온돌바닥 난방구조의 한국온돌의 세계화에 부응함은 물론 후판무늬목금속복합체적층마루판의 수요를 선점하여 세계 시장으로 진출하여 경제 발전에 크게 기여할 것이다.

3. 사회·문화적 측면

최근에 독일, 오스트리아, 덴마크등은 최근 주거용 건물의 30-50%를 에너지소모가 적고 열효율이 우수하며 인체에 쾌적한 온돌바닥난방방식을 채택하여 설치하고 있어 그 전파속도가 매우 빠르게 전개되고 있다. 또한 ISO 워킹그룹에 복사냉난방시스템에 한국의 온돌을 제안하면서 구체화되기 시작하여 2008년 3월에 NP에 채택됨으로서 '온돌의 국제표준화'를 위한 입지를 굳혀 가고 있는 이때 본 기술의 개발은 온돌의 세계화에 부응하여 사회, 문화적으로 그 파급 효과는 매우 크다 할 것이다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절 특허분석 측면

본 연구의 주제인 온돌용 후판무늬목금속복합체 적층마루판으로 나와 있는 것은 현재까지 없으며 온돌용 마루판에 관련한 특허는 한국만이 유일하게 다수 보유하고 있으며, 이에 대한 주된 내용은 마루바닥재의 구조와 시공방법, 바닥재 가공 및 접착방법, 온돌장치, 기능성보강, 페라민함침지 등을 이용한 무늬목층에 관련한 내용으로 되어 있어 온돌용 무늬목 자체의 후판에 대한 연구와 특허를 현재까지 갖고 있지 못하다. 또한 현재 연구 신청 팀이 발명한 16개의 특허도 이와 유사하여 온돌용 후판무늬목 자체의 두께를 높이지 못하고 있다. 금속을 목재에 주입처리하여 제품을 만든 기술은 1930년 독일에서 *lignum vitae* 목재 대신에 선박의 스크류베어링(screw bearing)으로 사용하기 위하여, Naeser과 Martel(1930, German Patents No. DRP 493,905, 506,477) 이 개발한 제품은 Bi 50%, Pb 31.2 Sn 18.8%의 조성으로 97°C의 용점을 갖고 있는 저온용융합금으로 목재에 주입처리하여 제품을 만들었으나, 활용도가 낮아 폐기되었다. 또한 이 기술은 인체에 유해한 납을 다량 함유하고 있어 사용할 수가 없고 다른 용도 개발이 미흡하였다. 따라서 본 연구와 같이 납이나 크롬 성분이 전혀 없이 인체에 무해하면서 고기능성을 부여하는 저온용융목재금속복합체의 온돌용 마루판으로의 기술개발은 전혀 이루어져 있지 않으므로 본 연구는 그 기술 개발의 기대효과가 매우 크다. 따라서 온돌의 가열에 따른 가혹한 조건에서 견딜 수 있는 마루바닥재의 표면무늬재의 하자를 없애고 고기능성을 부여하는 금속주입후판무늬재금속복합체의 제조와 그 기술을 개발하여 특허 등을 출원할 계획이며 현재 1건 출원 중이다.

제 2절 논문분석 측면

기존 논문은 온돌 마루의 TVOC(휘발성 유기화합물)이나 접착제의 성능 이용 분야에 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 가혹한 조건인 온돌용으로 금속을 목재에 주입하여 후판무늬목 금속복합체로서 고기능성을 부여하는 기술을 개발하고자 한다. 따라서 납이나 크롬이 들어 있지 않은 저온용융합금을 목재에 주입처리하여 후판무늬목 금속복합체를 제조하는 기술과 이러한 제품이 갖는 고기능성에 대한 논문을 미국임산학회지나 목재 공학회지 또는 가구학회지 등의 학술지 등에 게재할 계획이다.

본 연구의 주제인 온돌용 후판무늬목금속복합체 적층마루판은 목재 무늬의 독특함과 경도와 내마모성 및 무엇보다도 치수안정성과 휘고 갈라지고 터짐이 없는 깨끗한 외양으로 매우 경쟁성이 높고 목재보다 최소 3배 이상 오래 사용할 수 있으므로 탄소고정능력을 최소3배 이상 늘리는 효과를 가져오는 Green제품이며 친환경제품으로 그 연구에 대한 개발효과가 매우 크다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 연구개발의 최종목표 및 주요내용

1. 연구개발의 최종목표

- 가. 천연의 무늬를 그대로 간직한 고성능 후판무늬목금속화복합체의 처리기술 개발
- 나. 고성능 후판무늬목금속화복합체 적층합판 마루판의 개발 및 특성 규명

2. 연구개발의 주요내용

가. 납과 크롬이 들어 있지 않은 저온용융합금을 이용한 고성능 후판무늬목금속화복합체의 제조 기술 개발

- (1) 납과 크롬이 없는 저온용융합금의 조성과 적정 압력 및 침투처리 적정온도의 규명
- (2) 저온용융합금의 침투량과 적정 처리시간 규명

나. 개발된 저온용융합금을 이용한 고성능 후판무늬목금속화복합체 적층마루판의 개발과 그 특성 규명

- (1) 대판과 후판무늬목금속화복합체의 접착을 위한 접착제 선정과 접착 강도 규명
- (2) 비중, 함수율, 휨강도, 경도, 열전도도, 전기전도도, 치수안정성, 흡수율, 방사율, 내화성, 마모성 및 톱등에 의한 절삭성, 타커못박음성, 드릴에 의한 구멍 뚫기등의 가공성 및 VOC방산율을 측정하여 그 특성을 규명

제 2절 연차별 연구개발의 목표 및 연구수행 방법

1. 1차년도 연구개발 목표

천연의 무늬를 그대로 간직한 고성능 후판무늬목금속화복합체의 처리기술 개발

2. 1차년도 연구수행 방법

가. 납과 크롬이 없는 저온용융합금의 조성 and 압력 및 주입침투처리온도의 규명

- (1) 납과 크롬이 없는 저온용융합금(Bi, Sn, In)의 조성(3종) 결정 시험
- (2) 3종에 따른 압력 및 침투 처리 온도 60-70℃, 80℃, 138℃의 결정

- 나. 무늬목 두께에 따른 저온용융합금의 주입침투량과 처리 시간 규명
 - (1) 무늬목재의 수종(2종)과 두께(5mm, 10mm)에 대한 압력에 따른 침투량 규명
 - (2) 침투량에 대한 처리 시간 규명

3. 2차년도 연구개발 목표

고성능 후판무늬목금속복합체적층합판 마루판의 개발 및 특성 규명

4. 2차년도 연구수행 방법

- 가. 대판과 후판무늬목금속복합체의 접착을 위한 접착제 선정과 정착 강도 규명
 - (1) 3개 접착제(기존사용 접착제와 이종재료용 접착제 2종) 중에서 우수접착제 선정
 - (2) 개발된 무늬목금속복합체마루판의 접착강도 규명
 - (3) 무늬목금속복합체의 TVOC (휘발성 유기화합물) 방출량 측정

나. 개발된 무늬목금속복합체마루판의 특성 규명

- (가) 비중, 함수율, 휨강도, 경도, 흡수율, 열전도도, 전기전도도, 치수안정성 등의 내구성을 측정하며, 내화성, 마모성 및 톱등에 의한 절삭 가공성, 타커못박음성, 드릴에 의한 구멍 뚫기등의 가공성을 측정하여 그 특성을 규명함으로써 안전도 및 수명 평가

다. 개발된 무늬목금속복합체마루판의 기능성 시험

- (가) 마루판의 원적외선 방사율 측정
- (나) 복합체의 전자파 차폐율 측정

라. 추가 연구

- (1) 후판무늬목금속복합체의 도장성 시험
 - (가) 현재 목질마루판에서 사용되는 최고 품질의 환경친화형 도료의 적용
 - (나) 도료의 도막 성능 측정
 - (다) 색상표현 방안 검토
- (2) 개발된 무늬목금속복합체마루판의 경쟁력 분석
 - (가) 원가분석

제 3절. 1년차 연구 수행 결과

1. 공시 재료

가. 공시 목재

저온 용융합금 처리를 위해 이용한 목재 수종은 Radiata Pine, Walnut, Red Oak, White Oak 4개 수종을 사용하였으며, 마루판 수종의 크기는 현장에서 사용하는 900mm× 90mm (길이×폭)로 하여 5mm, 10mm의 조건으로 하여 금속의 침투량을 규명하였다.

나. 공시 금속

저온 용융합금 처리를 위해 이용한 금속은 비스머스(Bi: 융점 271.5℃), 주석(Sn: 융점 232.06℃), 인듐(In: 융점 156.76℃)의 3종의 금속을 중량비로 합금하여 이용하였다.

다. 가압 감압 실린더

저온 용융합금 처리를 위해 목재를 가압과 감압 및 가열을 할 수 있는 실린더를 Fig 1과 같이 제작하여 이용하였다.

2. 제조 공정

목재를 감압과 가압 및 가열을 할 수 있는 실린더(Fig 1) 내에서 가열에 의하여 미리 용융된 인체에 무해한 저온용융합금의 액체에 목재가 잠기도록 누름 장치를 사용하여 처리조에 잠기도록 하고 챔버의 문을 닫고 일정한 온도로 유지하도록 가열하면서 진공펌프에 의하여 감압을 하여 목재내의 공기를 제거(배기: 600-700mmHg)한 후에 다시 가압을 하여 목재 내에 액체상태의 저온용융합금을 주입한다. 주입이 목적인대로 완료되면 해압하고 챔버의 문을 열고 액체금속에 잠기도록 하는 누름장치를 위로 올리고 목재를 처리조의 액체금속으로부터 꺼내면서 표면에 묻어 있는 금속을 가열브레이드로 긁어내어 처리조에 다시 돌려 보낸다. 가압챔버내의 처리조로부터 바깥으로 나온 금속주입목재복합체는 냉각되고 샌딩을 하여 표면을 다듬으면 금속주입목재복합체의 제조는 완료된다.



Fig 1. 가압 감압 실린더

3. 5mm 목재의 Bi· Sn 합금 주입 후 변화 (크기: 900mm X 90mm X 5mm)

가. 압력의 영향

(1) 압력에 따른 금속주입량은 수종에 따라 차이가 나타났다. 라디에티파인은 10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm² 중에서 Table1과 같이 모두 같은 결과를 나타내어 10kgf/cm²이면 충분하였고 walnut는 10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm², 70kgf/cm²의 압력 중에서 30kgf/cm²이면 적정하였고 red oak도 30kgf/cm²이 적정한 것으로 나타났다. white oak는 10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm² 중에서 50kgf/cm² 이 제일 좋았다.

(2) 압력에 따라 금속주입량과 밀도가 크게 증가하였고 함수율, 흡수율, 두께팽윤율은 크게 감소하여 치수안정이 매우 높아졌다. 금속주입목재(50kgf/cm², 10'처리)의 흡수율은 RP의 경우, 대조구의 1.8% , walnut는 4.8%, red oak는 11.7%, white oak는 18.1%에 불과하며 50kgf/cm², 10분가압처리의 금속주입목재의 두께팽윤율은 RP대조구의 20.7%, walnut는 4.6%, red oak는 49%, white oak는 40.9%로서 두께방향이 접선방향이되느냐 경단방향이 되는냐에 따라 차이가 있으며 치수안정성이 매우 높아졌다.

나. 시간의 영향

- (1) 시간에 따라서 금속주입량은 달라졌으며 수종에 따라 차이가 있었다.
- (2) 시간에 따라 중량증가, 밀도는 증가하였고 함수율, 흡수율, 두께팽윤율은 감소하였다.
- (3) 진공시간의 증가도 금속주입에 영향을 미쳤으며 중량증가와 밀도는 증가하고 함수율, 흡수율, 두께팽윤율은 감소되었다.

Table 1. 5mm 목재의 Bi· Sn 합금주입 처리 후 중량 증가율

조건 (온도 186℃)			합금 주입 처리 후 중량증가율(%)							
진공 시간	압력	가압 시간	Radiata pine F=13.792***		Walnut F=109.133***		Red Oak F=97.851***		White Oak F=607.661***	
			mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
10' 00"	10kgf/cm ²	2' 30"	1290.08 ± 19.75	C	331.12 ± 15.43	B	206.48 ± 22.07	A	62.71 ± 4.84	A
		10' 00"	1244.06 ± 32.25	BC	295.81 ± 20.34	AB	287.72 ± 16.11	B	208.89 ± 9.32	B
	30kgf/cm ²	6' 30"	1270.83 ± 48.56	C	531.48 ± 39.21	C	314.20 ± 17.53	B	364.92 ± 11.34	C
		10' 00"	1194.05 ± 19.41	B	579.31 ± 26.71	D	479.34 ± 16.84	D	441.49 ± 14.14	D
	50kgf/cm ²	10' 00"	1268.59 ± 41.51	C	612.58 ± 33.79	D	448.63 ± 17.73	D	480.39 ± 17.50	E
	70kgf/cm ²	10' 00"			620.58 ± 23.92	D	404.38 ± 19.18	C		
5' 00"	30kgf/cm ²	6' 30"	1100.27 ± 25.56	A	261.52 ± 15.42	A				

P-Value: * 0.1, ** 0.05, ***0.01(이후 Table 동일함)

DT : DTcan's new Multiple Range Test(이후 Table 동일함)

Table 2. 5mm 목재의 Bi·Sn 합금주입 처리 후 밀도(g/cm³)

조건 (온도 186℃)			금속 주입 처리 후 밀도(g/cm ³)							
진공 시간	압력	시간	Radiata pine F=618.571***		Walnut F=154.559***		Red Oak F=166.785***		White Oak F=405.727***	
			mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
미 처리			0.41 ± 0.010	A	0.59 ± 0.023	A	0.58 ± 0.040	A	0.68 ± 0.069	A
10' 00"	10kgf/cm ²	2' 30"	6.13 ± 0.09	C	2.61 ± 0.12	B	2.06 ± 0.22	B	1.18 ± 0.09	B
		10' 00"	5.91 ± 0.15	BC	2.60 ± 0.18	B	2.43 ± 0.14	C	2.22 ± 0.10	C
	30kgf/cm ²	6' 30"	5.96 ± 0.23	BC	3.76 ± 0.28	C	2.44 ± 0.14	C	2.25 ± 0.15	C
		10' 00"	6.03 ± 0.10	BC	4.31 ± 0.20	D	3.61 ± 0.13	E	3.79 ± 0.12	D
	50kgf/cm ²	10' 00"	5.83 ± 0.19	B	4.43 ± 0.24	D	3.19 ± 0.13	D	3.94 ± 0.14	D
5' 00"	30kgf/cm ²	6' 30"	5.92 ± 0.14	BC	2.43 ± 0.14	B				

Table 3. 5mm 목재의 Bi·Sn 합금주입 처리 후 함수율(%)

조건 (온도 186℃)			금속 주입 처리 후 함수율(%)							
진공 시간	압력	시간	Radiata pine F=2160.958***		Walnut F=227.958***		Red Oak F=3469.911***		White Oak F=2498.135***	
			mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
미 처리			12.12 ± 0.596	C	12.02 ± 0.294	C	8.92 ± 0.350	D	9.47 ± 0.348	E
10' 00"	10kgf/cm ²	2' 30"	0.67 ± 0.05	B	0.88 ± 0.23	A	0.82 ± 0.04	BC	2.56 ± 0.14	D
		10' 00"	0.28 ± 0.02	A	1.53 ± 1.24	AB	0.66 ± 0.14	B	0.48 ± 0.09	B
	30kgf/cm ²	6' 30"	0.30 ± 0.02	A	0.15 ± 0.02	A	0.87 ± 0.05	C	0.70 ± 0.11	C
		10' 00"	0.43 ± 0.09	AB	0.11 ± 0.02	A	0.24 ± 0.05	A	0.30 ± 0.11	AB
	50kgf/cm ²	10' 00"	0.32 ± 0.08	A	0.08 ± 0.01	A	0.39 ± 0.04	A	0.24 ± 0.08	A
5' 00"	30kgf/cm ²	6' 30"	0.28 ± 0.04	A	0.53 ± 0.36	A				

Table 4. 5mm 목재의 Bi·Sn 합금주입 처리 후 흡수율(%)

조건 (온도 186℃)			금속 주입 처리 후 흡수율(%)							
진공 시간	압력	시간	Radiata pine F=107.286***		Walnut F=35.592***		Red Oak F=890.882***		White Oak F=2342.745***	
			mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
미 처리			148.27 ± 24.26	B	27.91 ± 5.85	C	32.83 ± 0.80	D	21.20 ± 0.44	E
10' 00"	10kgf/cm ²	2' 30"	5.47 ± 0.88	A	5.69 ± 1.33	AB	7.19 ± 0.35	C	16.68 ± 0.21	D
		10' 00"	2.54 ± 0.09	A	9.34 ± 3.71	B	7.67 ± 0.65	C	5.36 ± 0.24	C
	30kgf/cm ²	6' 30"	2.30 ± 0.21	A	1.85 ± 0.17	A	8.30 ± 0.55	C	5.70 ± 0.15	C
		10' 00"	2.97 ± 0.18	A	2.13 ± 0.25	A	2.56 ± 1.02	A	3.32 ± 0.31	A
	50kgf/cm ²	10' 00"	2.71 ± 0.11	A	1.33 ± 0.03	A	3.84 ± 0.16	B	3.84 ± 0.16	B
	5' 00"	30kgf/cm ²	6' 30"	2.65 ± 0.08	A	3.99 ± 1.64	A			

Table 5. 5mm 목재의 Bi·Sn 합금주입 처리 후 두께 팽윤율(%)

조건 (온도 186℃)			금속 주입 처리 후 두께 팽윤율(%)							
진공 시간	압력	시간	Radiata pine F=83.297***		Walnut F=88.510***		Red Oak F=99.005***		White Oak F=174.95***	
			mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
미 처리			4.39 ± 0.21	B	6.81 ± 0.72	C	4.48 ± 0.10	B	4.76 ± 0.28	C
10' 00"	10kgf/cm ²	2' 30"	0.69 ± 0.33	A	0.99 ± 0.58	A	1.37 ± 0.20	A	2.37 ± 0.19	B
		10' 00"	0.52 ± 0.30	A	1.78 ± 0.28	B	1.36 ± 0.30	A	1.34 ± 0.13	A
	30kgf/cm ²	6' 30"	0.73 ± 0.31	A	0.64 ± 0.10	A	1.41 ± 0.19	A	1.21 ± 0.08	A
		10' 00"	0.75 ± 0.27	A	0.87 ± 0.05	A	1.05 ± 0.36	A	1.37 ± 0.23	A
	50kgf/cm ²	10' 00"	0.91 ± 0.24	A	0.54 ± 0.31	A	1.22 ± 0.06	A	1.13 ± 0.10	A
	5' 00"	30kgf/cm ²	6' 30"	1.02 ± 0.02	A	1.15 ± 0.37	AB			

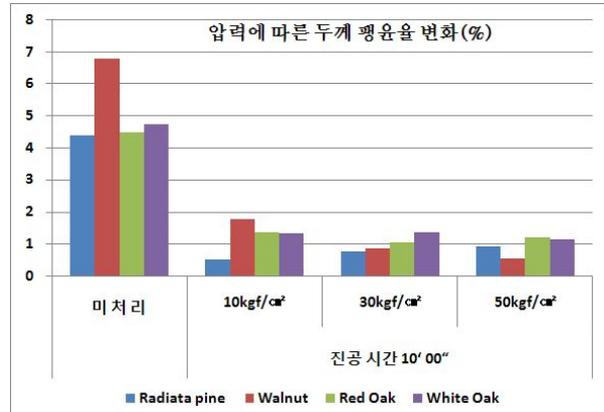
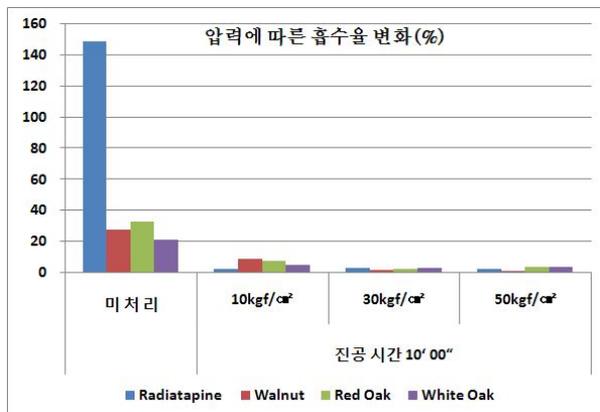
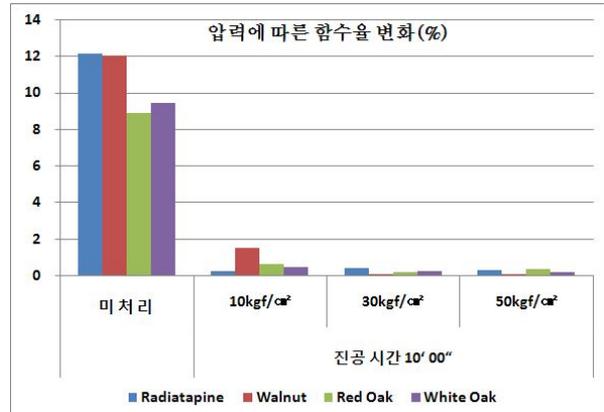
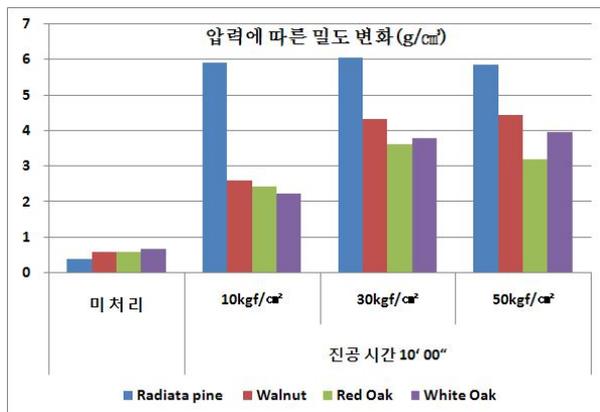
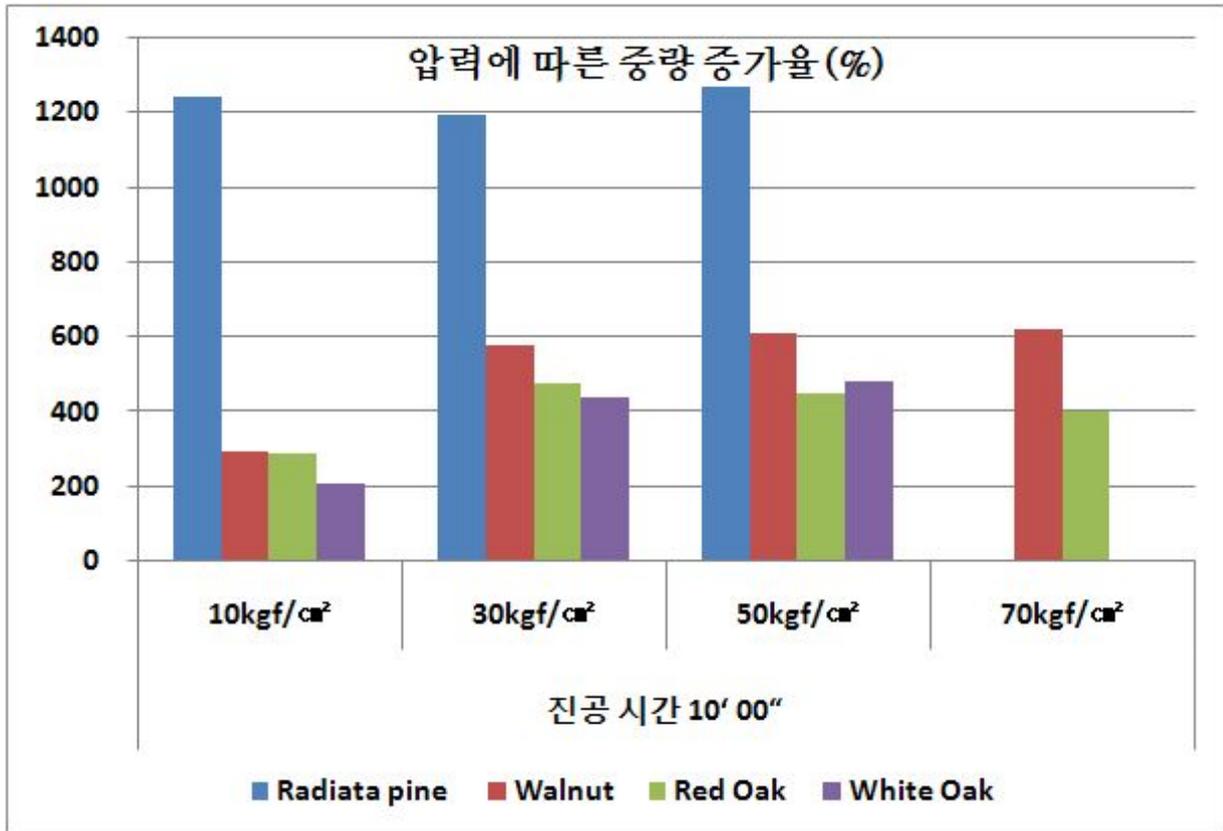


Fig 2. 진공 10', 시간10'일 때의 압력에 따른 Bi·Sn 합금주입 처리후 변화

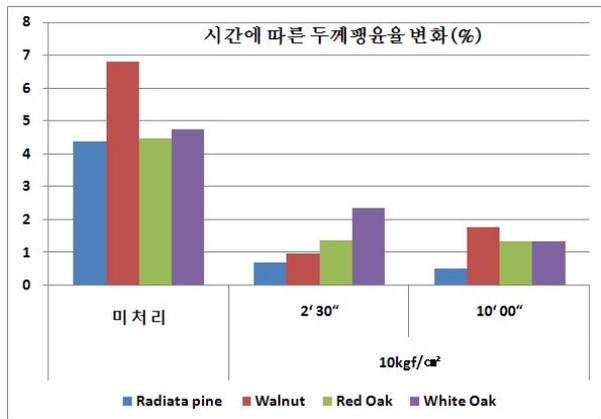
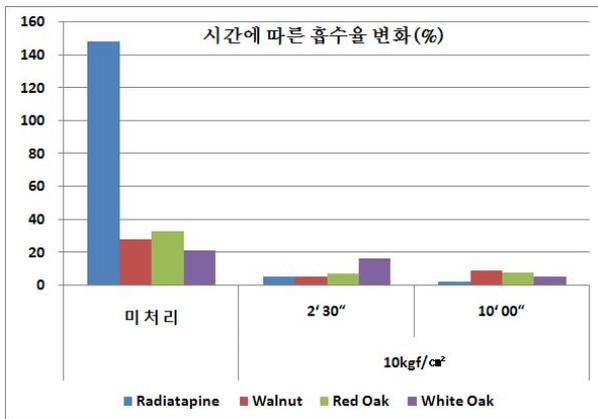
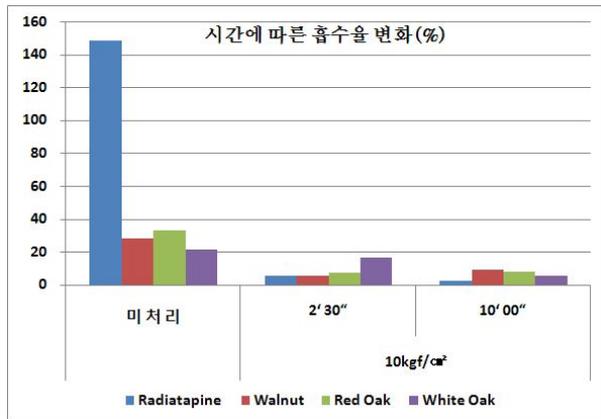
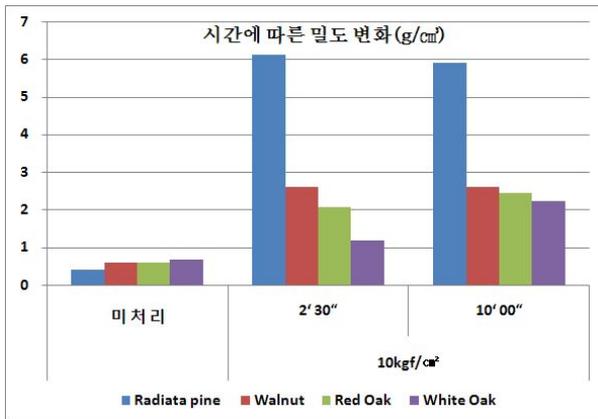
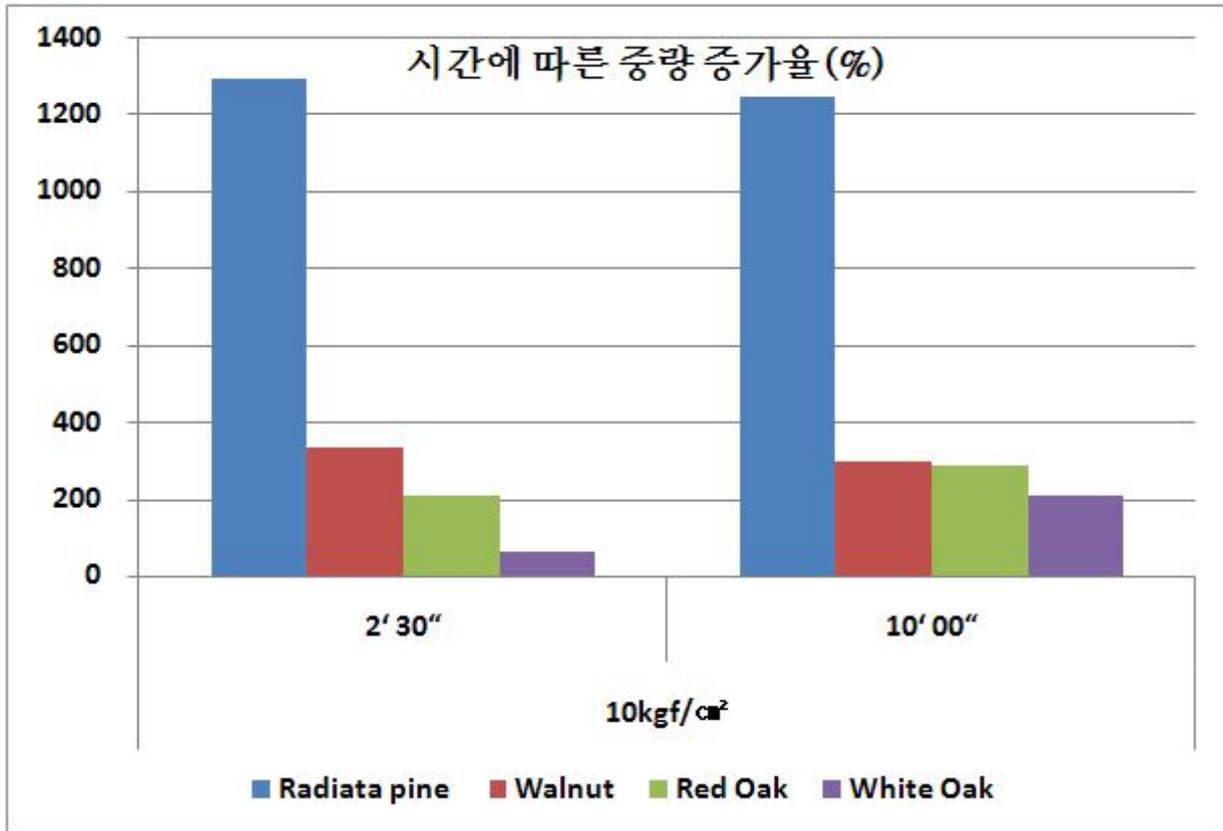


Fig 3. 압력 10kgf/cm², 진공 10'일 때의 시간에 따른 Bi·Sn 합금주입 처리후 변화

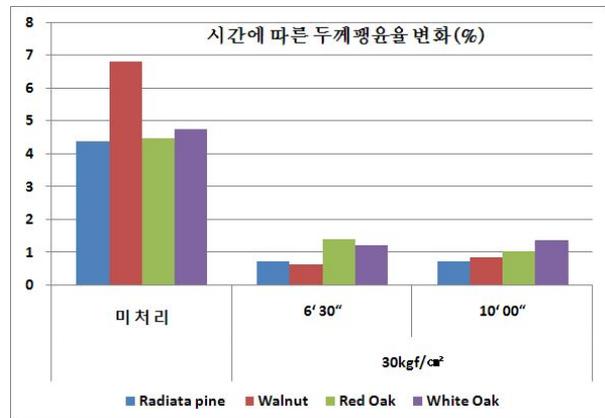
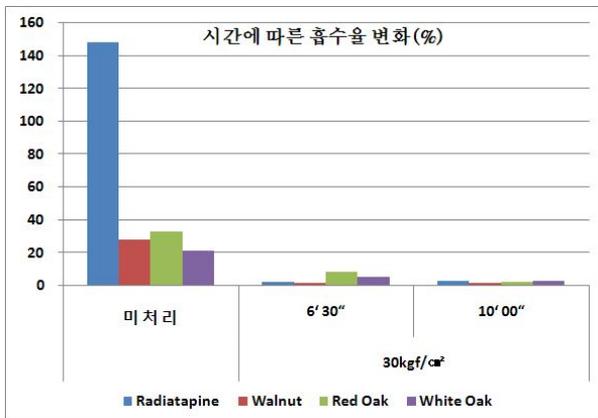
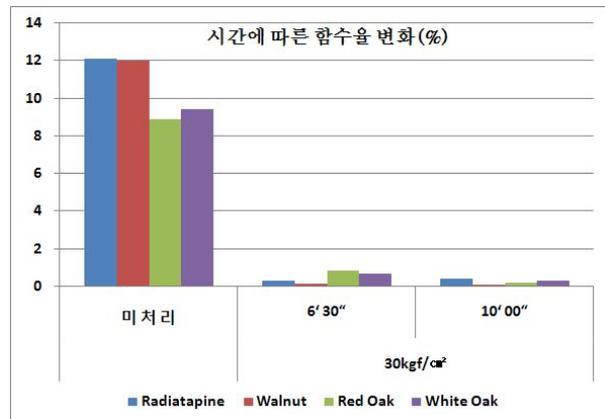
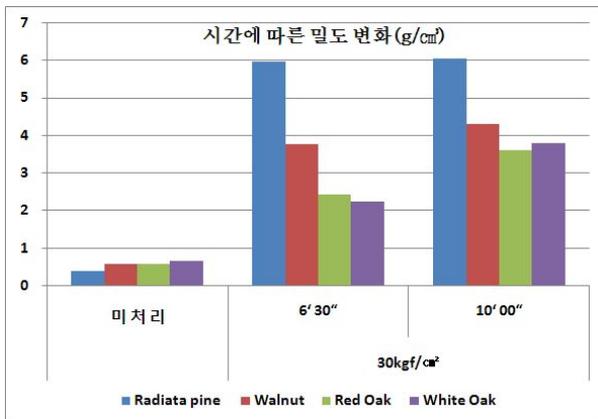
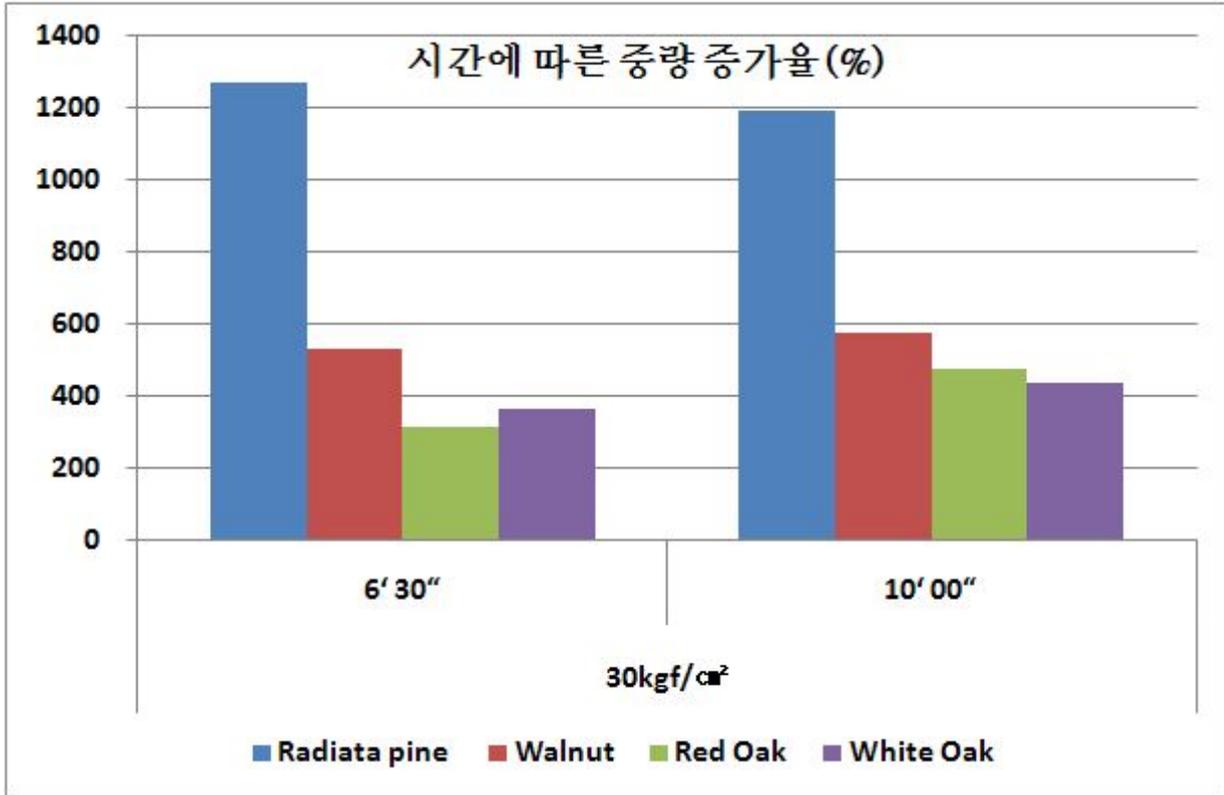


Fig 4. 압력 30kgf/cm², 진공 10'일 때의 시간에 따른 Bi-Sn 합금주입 처리후 변화

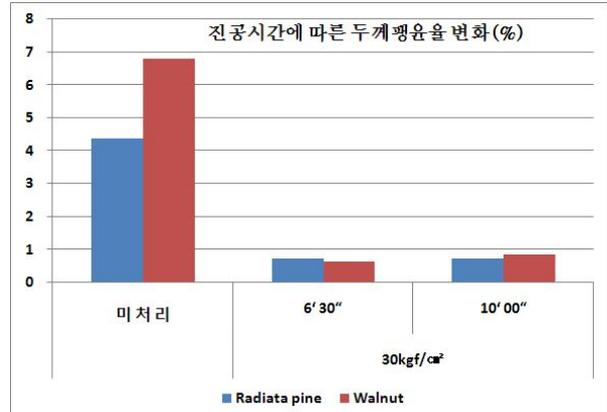
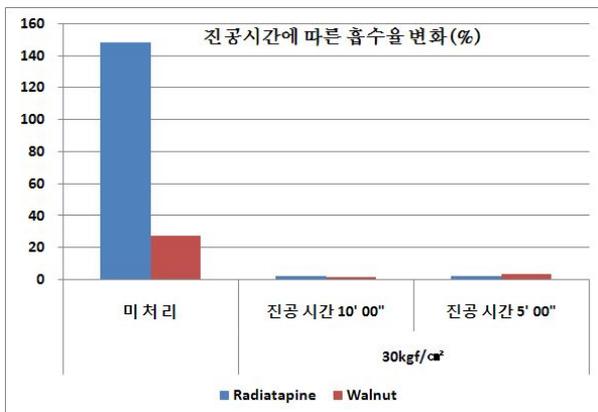
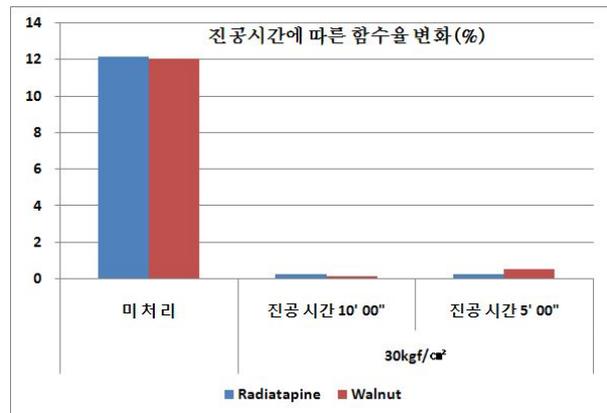
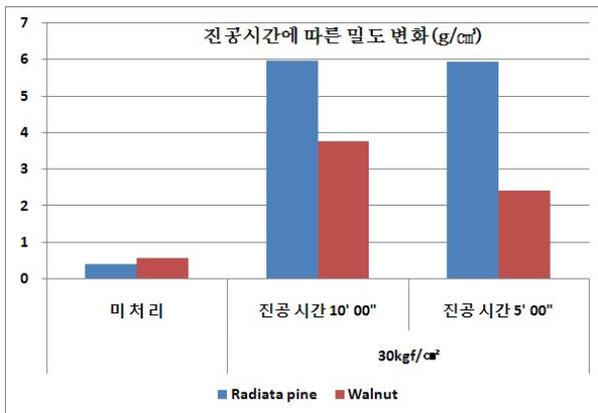
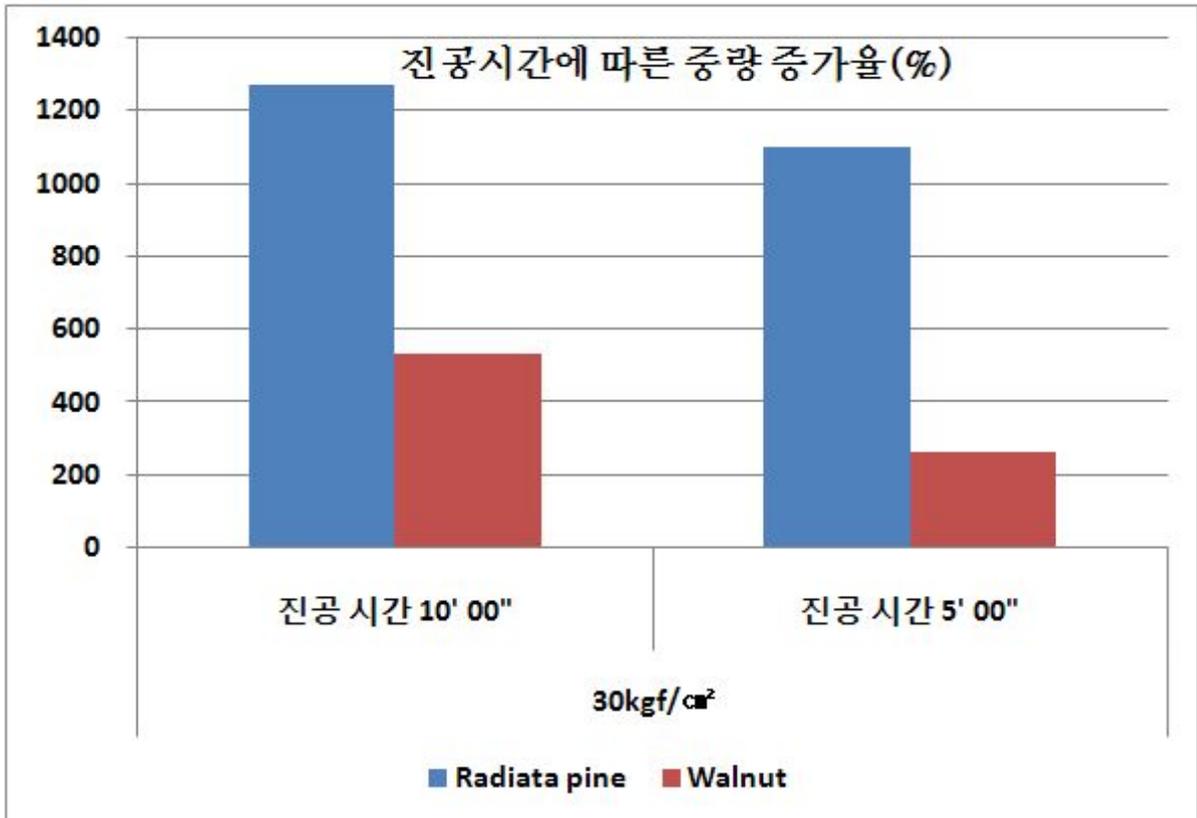


Fig 5. 압력 30kgf/cm², 압력 시간 6' 30"일 때의 진공 시간에 따른 Bi·Sn 합금주입 처리후 변화

4. 5mm 목재의 Bi·Sn·In 합금 주입 후 변화 (크기: 900mm X 90mm X 5mm)

가. 주입 온도의 영향

(1) 금속주입량은 온도에 따라 차이가 나타났다. 142℃와 183℃가 동일하게 나타났으나 전체적으로 볼 때 103℃, 142℃, 183℃ 세 가지 수준 중에 183℃가 가장 우수하였다.

(2) 금속주입량이 중량증가가 6.69배가 되면 밀도가 8.24배로 아주 크게 증가하면서 흡수율과 흡수율 및 두께팽윤율은 크게 감소하여 치수안정성이 매우 높아졌다. 183℃ 금속주입목재의 흡수율은 대조구의 5.9%, 두께팽윤율은 대조구의 10.9%로서 치수안정성이 매우 크게 높아졌다.

Table 6. 진공시간 10', 압력 50kgf/cm², 압력 시간 10'일 때의 온도에 따른 Walnut의 Bi·Sn·In 합금주입 후 변화

온도조건 (진공시간 10', 압력 50kgf/cm ² 압력시간 10')	중량증가율 (%) F=150.390***		금속 주입 처리 후 밀도(g/cm ³) F=479.717***		금속 주입 처리 후 흡수율(%) F=431.282***		금속 주입 처리 후 흡수율(%) F=50.866***		금속 주입 처리 후 두께팽윤율(%) F=93.113***	
	Mean ± SD	DT	Mean	DT	Mean	DT	Mean	DT	Mean	DT
미처리			0.58 ± 0.02	A	12.07 ± 0.87	B	27.91 ± 5.85	B	6.81 ± 0.72	C
183℃	669.24 ± 21.45	B	4.78 ± 0.15	C	0.48 ± 0.04	A	1.65 ± 0.02	A	0.74 ± 0.55	A
142℃	678.20 ± 32.92	B	4.97 ± 0.24	C	0.91 ± 0.29	A	3.97 ± 0.88	A	1.43 ± 0.19	AB
103℃	362.20 ± 19.83	A	2.79 ± 0.15	B	1.15 ± 0.18	A	5.53 ± 0.40	A	1.95 ± 0.35	B

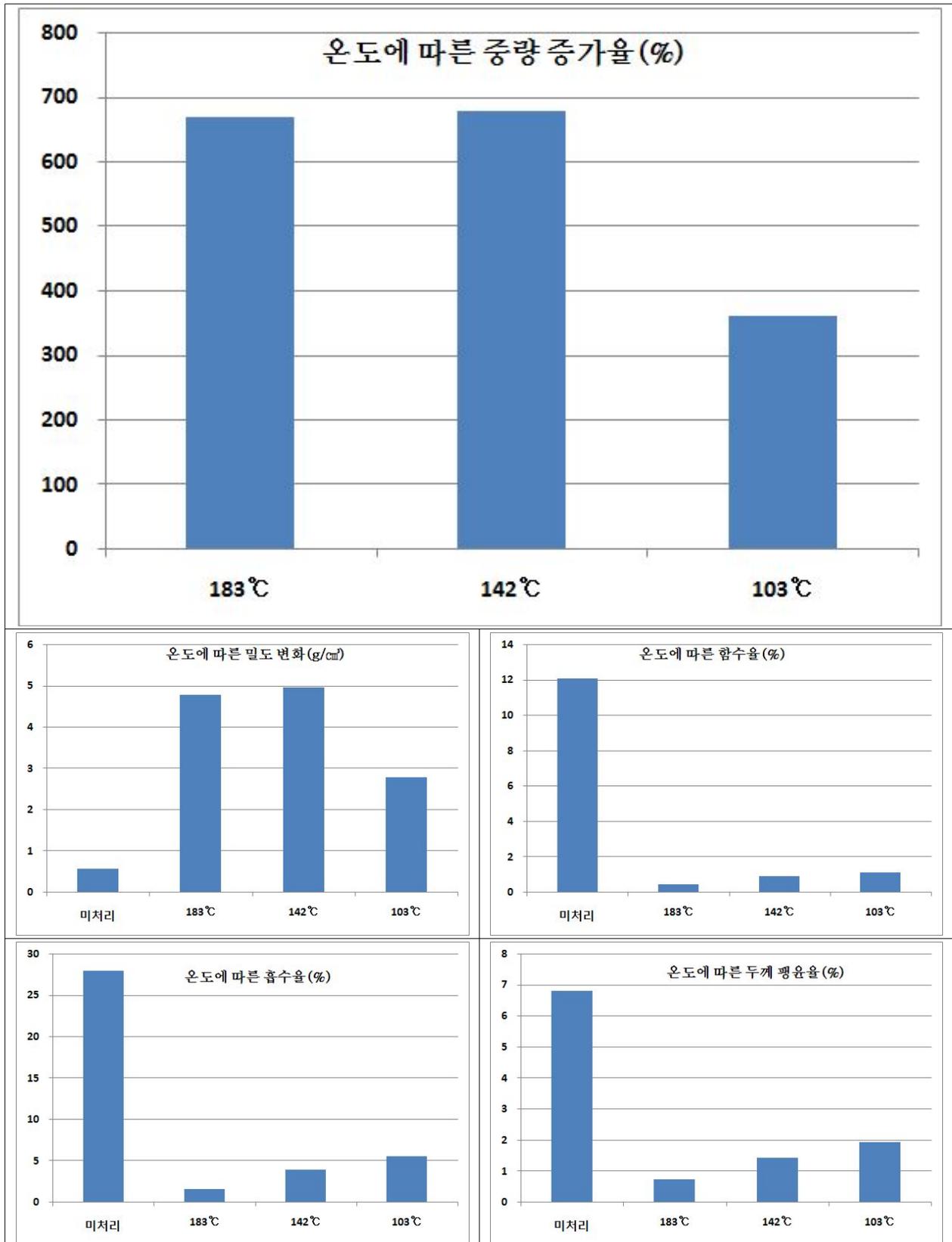


Fig 6. 진공시간 10', 압력 50kgf/ cm², 압력 시간 10' 일 때의 온도에 따른 Walnut 의 Bi Sn In 합금주입 후 변화

5. 10mm 목재의 Bi· Sn 합금 주입 후 변화 (크기: 900mm X 90mm X 10mm)

Table 7. 10mm 목재의 Bi· Sn 합금주입 처리 후 중량증가율(%)

조건 (진공 시간 10' 00")			금속 주입 중량증가율(%)				
			Radiata pine F=3.134**		Walnut F=56.027***		
압력	압력 시간	온도	Mean ± SD	DT	Mean	SD	DT
5kgf/cm ²	1' 30"	186 ℃	1196.33 ± 40.89	A			
10kgf/cm ²	2' 30"		1210.15 ± 59.06	A	135.07 ± 28.62		A
20kgf/cm ²	4' 30"		1208.17 ± 33.00	A	278.96 ± 45.03		B
30kgf/cm ²	6' 30"		1254.31 ± 50.73	A	533.65 ± 38.16		C
50kgf/cm ²	10' 00"	163 ℃	1293.20 ± 43.65	A	524.27 ± 39.17		C
50kgf/cm ²		173 ℃	1230.48 ± 79.92	A	510.37 ± 42.91		C
50kgf/cm ²		186 ℃	1287.95 ± 64.48	A	530.23 ± 31.88		C
50kgf/cm ²	11' 00"	163 ℃	1289.84 ± 52.57	A	570.72 ± 32.76		C
50kgf/cm ²		173 ℃	1249.69 ± 75.18	A	570.92 ± 21.33		C
50kgf/cm ²		186 ℃	1251.87 ± 55.93	A	530.89 ± 22.60		C

가. 압력과 온도의 영향

(1) Table 7에서 보는 바와 같이 Bi· Sn 합금 주입에 대한 압력의 영향은 라디에티파인의 경우 5kgf/cm², 10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm²의 압력에서 모두 같은 결과를 나타내어 5-10kgf/cm²이면 충분하였고 walnut는 10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm², 70kgf/cm²중에서 30kgf/cm²이 적정하였다. 따라서 수종에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다.

(2) 압력에 따라 금속주입량과 밀도가 크게 증가하였고 함수율, 흡수율, 두께팽윤율은 감소하여 치수안정이 매우 크게 높아졌다. 금속주입목재(50kgf/cm², 186, 10')의 흡수율은 RP의 경우, 대조구의 2.66% , walnut는 3.63%에 지나지 않았으며 마찬가지로 금속주입목재(50kgf/cm², 186, 10')의 두께팽윤율은 RP대조구의 19.78%, walnut는 21.82%로서 치수안정성이 매우 높아졌다.

3) 온도에 따라 163℃, 173℃, 186℃의 금속주입량의 차이는 표7에서 보는바와 같이 없었다. Bi·Sn의 용융점(138℃)이 높은 관계로 183℃가 가장 우수하였던 Bi·Sn·In 합금의 결과와는 다르게 나타났다.

나. 시간의 영향

- (1) 시간에 대한 영향은 수중에 따라 금속주입량이 표7처럼 차이가 나타났다.
- (2) 시간에 따라 중량증가, 밀도는 증가하였고 함수율, 흡수율, 두께팽윤율은 감소하였다.

Table 8. 10mm 목재의 Bi·Sn 합금주입 처리 후 밀도(g/cm³) 및 함수율(%)

조건 (진공 시간 10' 00")			금속 주입 처리 후 밀도(g/cm³)				금속 주입 처리 후 함수율(%)			
			Radiata pine F=74.725***		Walnut F=75.569***		Radiata pine F=762.279***		Walnut F=1795.005***	
압력	압력 시간	온도	Mean ± SD	DT	Mean ± SD	DT	Mean ± SD	DT	Mean ± SD	DT
미처리			0.41 ± 0.018	A	0.57 ± 0.031	A	11.99 ± 0.864	A	12.50 ± 0.387	E
5kgf/cm²	1' 30"	186℃	5.77 ± 0.20	BC			0.24 ± 0.01	B		
10kgf/cm²	2' 30"		5.61 ± 0.27	BC	1.22 ± 0.24	B	0.17 ± 0.01	B	1.03 ± 0.22	D
20kgf/cm²	4' 30"		5.41 ± 0.15	B	2.65 ± 0.44	C	0.15 ± 0.01	B	0.42 ± 0.04	C
30kgf/cm²	6' 30"		5.58 ± 0.22	BC	3.64 ± 0.26	D	0.16 ± 0.001	B	0.13 ± 0.01	AB C
50kgf/cm²	10' 00"	163℃	5.96 ± 0.20	C	3.72 ± 0.27	DE	0.01 ± 0.001	B	0.37 ± 0.03	BC
50kgf/cm²		173℃	5.59 ± 0.35	BC	4.03 ± 0.35	DE	0.02 ± 0.001	B	0.08 ± 0.01	AB
50kgf/cm²		186℃	5.83 ± 0.28	BC	3.82 ± 0.22	DE	0.04 ± 0.001	B	0.13 ± 0.01	AB C
50kgf/cm²		163℃	5.92 ± 0.24	C	4.05 ± 0.24	DE	0.03 ± 0.001	B	0.05 ± 0.001	A
50kgf/cm²		173℃	5.93 ± 0.36	C	4.17 ± 0.15	DE	0.04 ± 0.001	B	0.05 ± 0.001	A
50kgf/cm²		186℃	5.51 ± 0.24	BC	3.90 ± 0.17	DE	0.05 ± 0.001	B	0.33 ± 0.001	AB C

Table 9. 10mm 목재의 Bi·Sn 합금주입 처리 후 흡수율(%) 및 두께 팽윤율(%)

조건 (진공 시간 10' 00")			금속 주입 처리 후 흡수율(%)				금속 주입 처리 후 두께 팽윤율(%)			
			Radiata pine F=1479.891***		Walnut F=239.390***		Radiata pine F=36.549***		Walnut F=106.939***	
압력	압력 시간	온도	Mean ± SD	DT	Mean ± SD	DT	Mean ± SD	DT	Mean ± SD	DT
미처리			83.77 ± 1.64	D	33.57 ± 1.02	D	4.69 ± 0.71	C	6.72 ± 0.59	E
5kgf/cm ²	1' 30"	186℃	1.78 ± 0.17	A			1.39 ± 0.32	B		
10kgf/cm ²	2' 30"		1.38 ± 0.35	A	11.64 ± 1.58	C	0.76 ± 0.26	AB	3.82 ± 0.47	D
20kgf/cm ²	4' 30"		1.53 ± 0.39	A	5.62 ± 2.35	B	0.63 ± 0.34	A	1.87 ± 0.10	C
30kgf/cm ²	6' 30"		1.31 ± 0.50	A	1.65 ± 0.34	A	0.89 ± 0.15	AB	1.15 ± 0.11	AB
50kgf/cm ²	10' 00"	163℃	2.95 ± 0.76	AB	2.83 ± 1.00	A	1.23 ± 0.08	AB	1.47 ± 0.11	BC
50kgf/cm ²		173℃	2.36 ± 0.25	AB	1.39 ± 0.39	A	1.06 ± 0.17	AB	0.73 ± 0.06	A
50kgf/cm ²		186℃	2.23 ± 0.23	AB	1.22 ± 0.32	A	0.73 ± 0.10	AB	1.03 ± 0.16	AB
50kgf/cm ²	11' 00"	163℃	5.87 ± 1.06	C	0.97 ± 0.04	A	0.77 ± 0.45	AB	0.59 ± 0.34	A
50kgf/cm ²		173℃	4.23 ± 2.77	BC	2.63 ± 1.13	A	0.82 ± 0.29	AB	0.77 ± 0.46	A
50kgf/cm ²		186℃	2.37 ± 0.17	AB	2.48 ± 0.84	A	0.63 ± 0.13	A	0.80 ± 0.20	A

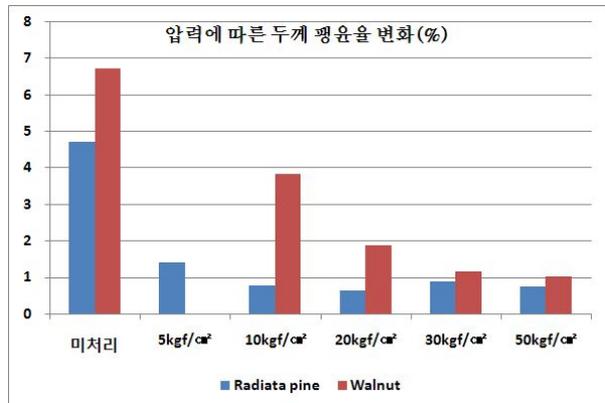
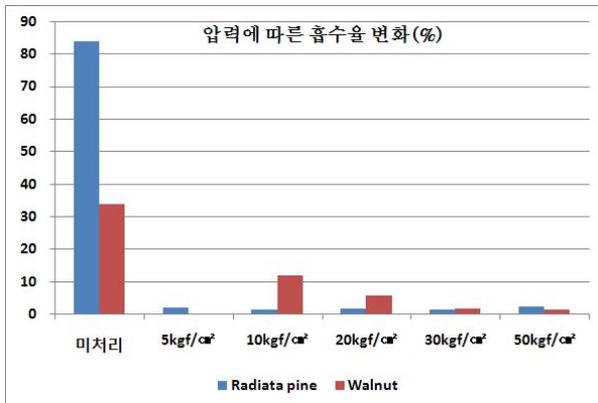
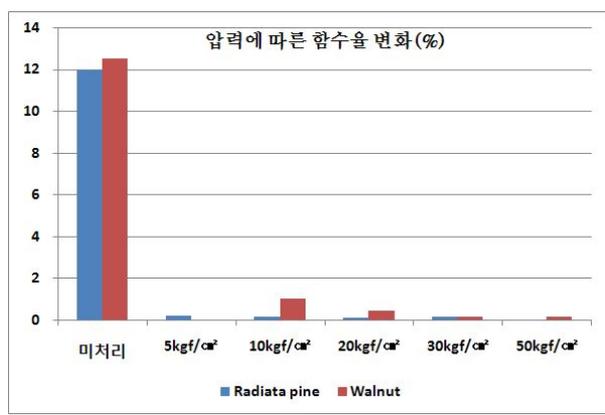
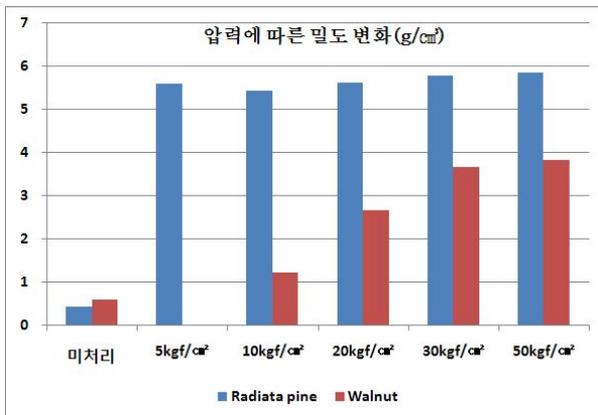
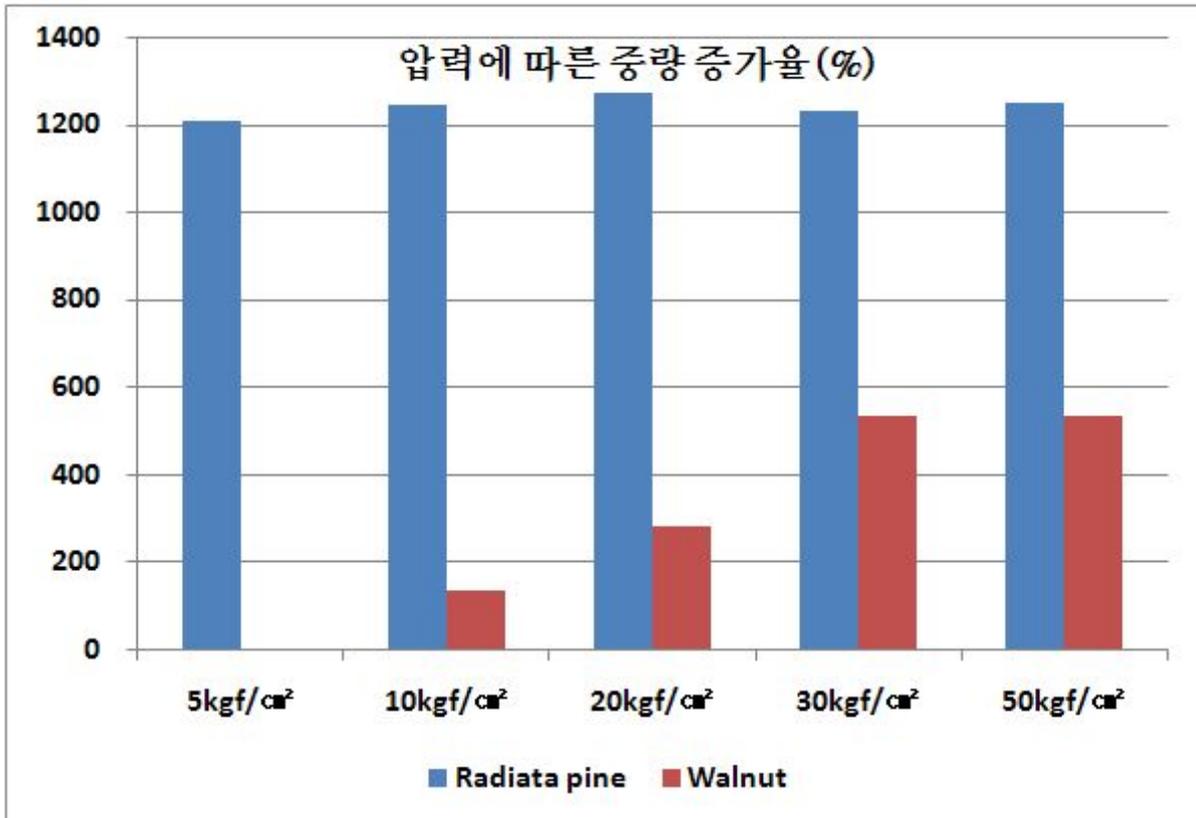


Fig 7. 압력에 따른 Bi·Sn 합금주입 처리후 변화

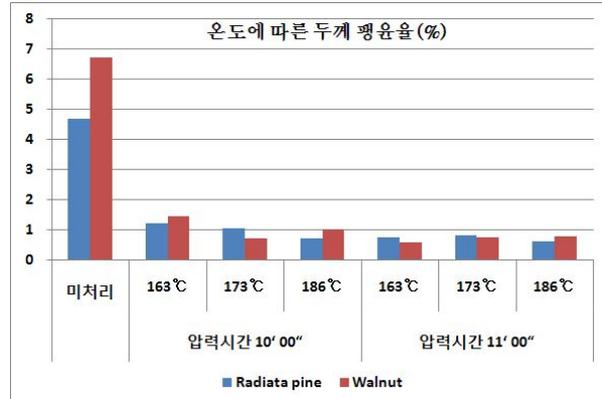
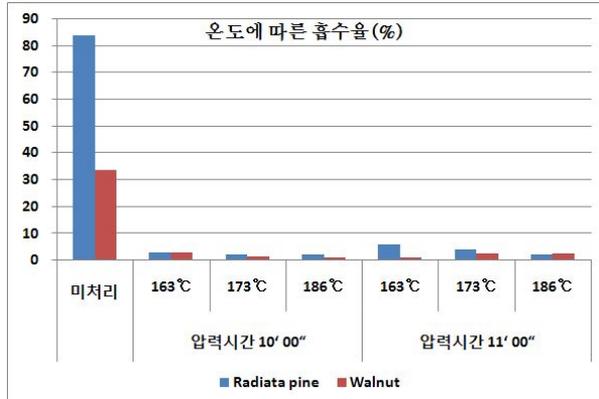
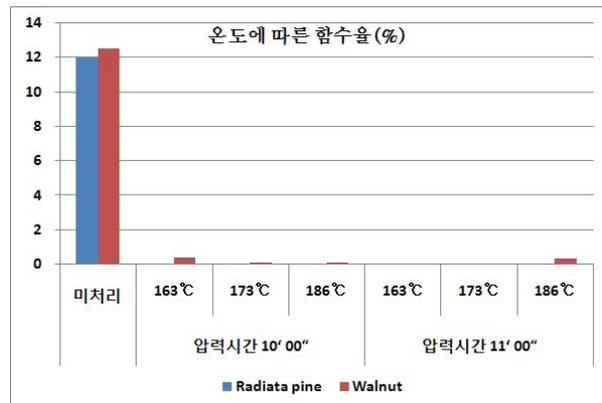
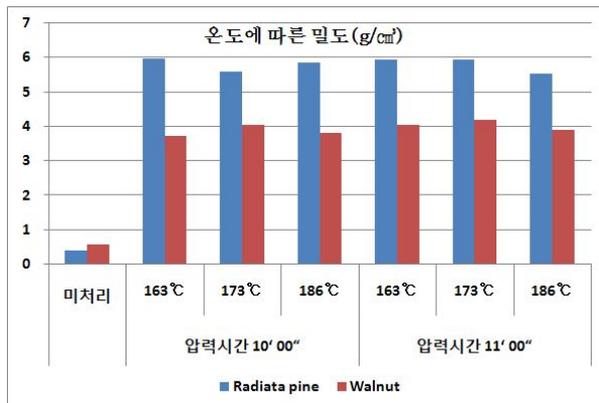
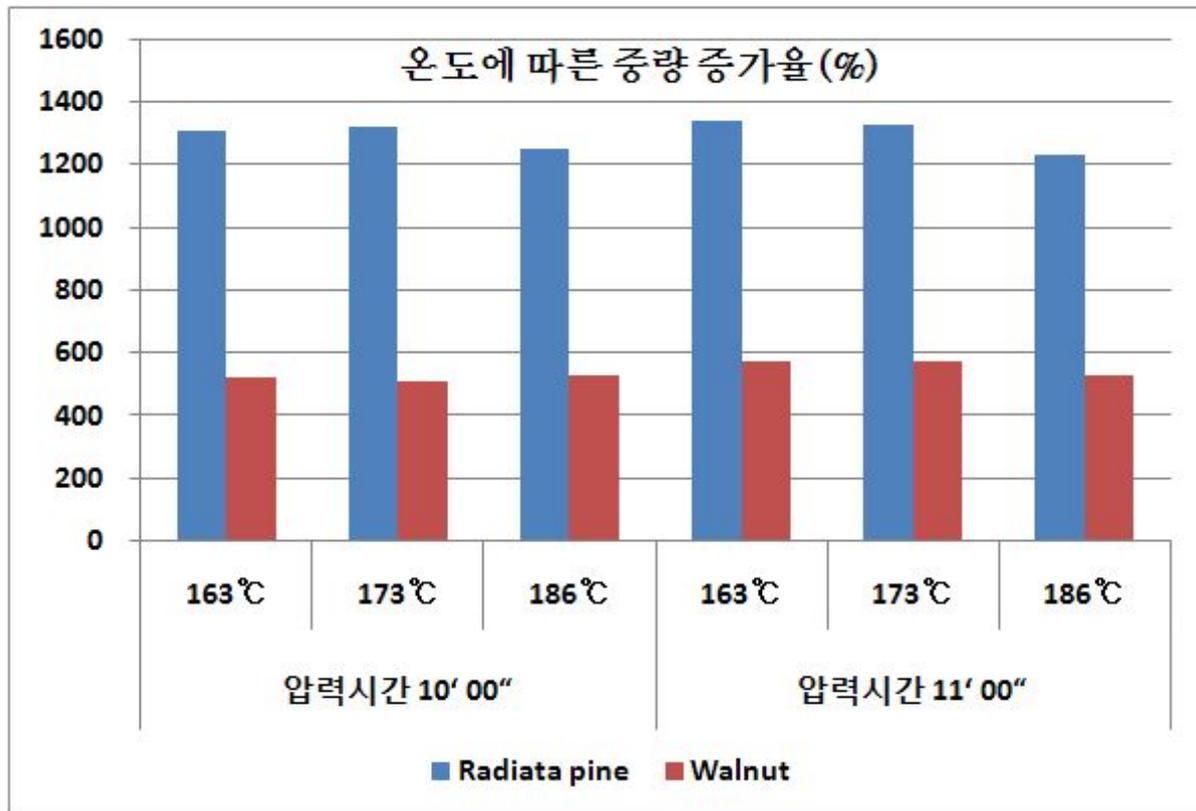


Fig 8. 압력 50kgf/cm²일 때의 온도에 따른 Bi·Sn 합금주입 처리후 변화

6. 3mm 목재에 Bi·Sn 합금 주입 후 변화 (크기: 900mm X 90mm X 3mm)

가. 주입효과

진공시간 10분, 압력 50kgf/cm², 압력 시간 10'(분), 처리온도 186℃일 때의 Bi·Sn 합금 주입에 따른 오동나무의 경우 중량증가율이 21.8배, 물푸레나무의 경우 7.9배 증가하였고 밀도는 대조구보다 20.4배, 물푸레나무는 7.9배 증가하였다. 흡수율은 오동나무의 경우 대조구 보다 73.1%나 감소되었고, 열처리된 물푸레나무의 경우를 대조구로 할 때 금속주입처리된 경우도 69.2%로 크게 감소하여 치수안정이 매우 높아졌다. 두께팽윤율은 오동나무의 경우 대조구 보다 73.1%나 감소되었고, 물푸레나무의 경우 대조구의 69.2%로 크게 감소하여 치수안정성이 매우 높아졌다.

Table 10. 진공시간 10', 압력 50kgf/cm², 압력 시간 10'일 때의 Bi·Sn 합금주입 후 변화

수종	중량증가율 (%) F=111.991*	금속 주입 처리 후 밀도(g/cm ³) F=347.761***		금속 주입 처리 후 흡수율(%) F=434.854***		금속 주입 처리 후 흡수율(%) F=14569.04***		금속 주입 처리 후 두께팽윤율(%) F=35.996***	
		값	구분	값	구분	값	구분	값	구분
오동나무 대조구		0.29 ± 0.02	A	5.93 ± 0.17	C	55.01 ± 0.61	D	2.60 ± 0.34	C
오동나무 금속주입처리제	2176.46 ± 184.00	5.91 ± 0.50	C	0.22 ± 0.01	A	3.18 ± 0.09	B	0.70 ± 0.16	A
Ash(열처리제) 대조구		0.61 ± 0.03	A	4.60 ± 0.44	B	8.89 ± 0.36	C	2.01 ± 0.38	B
Ash 금속주입처리제	788.52 ± 23.40	4.82 ± 0.12	B	0.57 ± 0.02	A	1.16 ± 0.15	A	0.62 ± 0.19	A

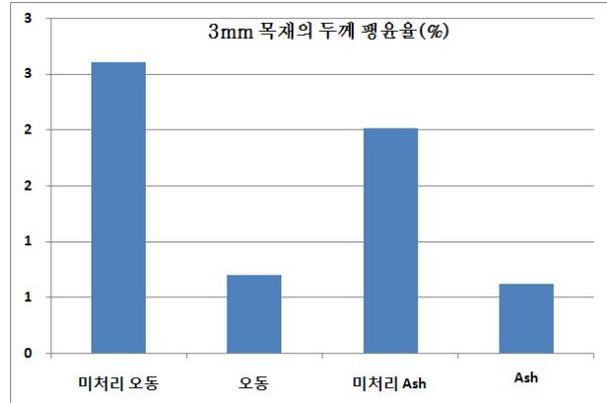
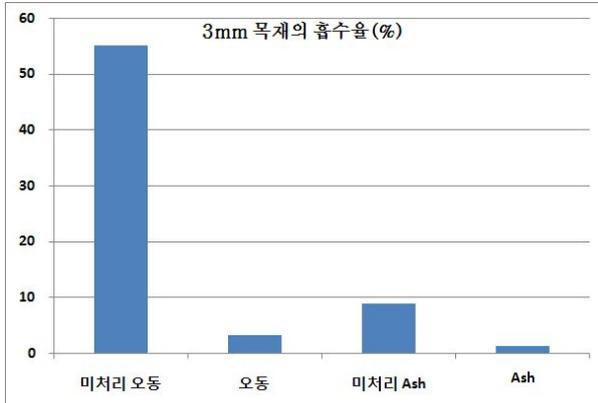
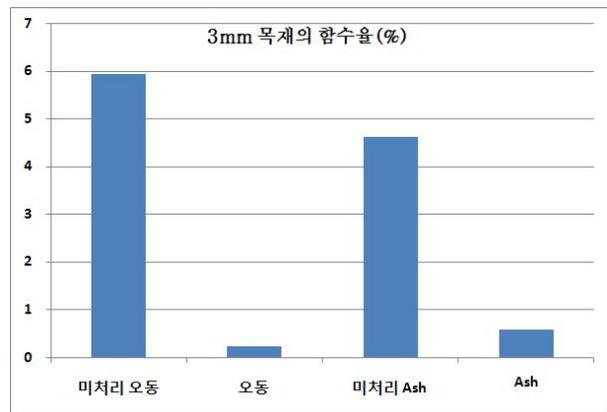
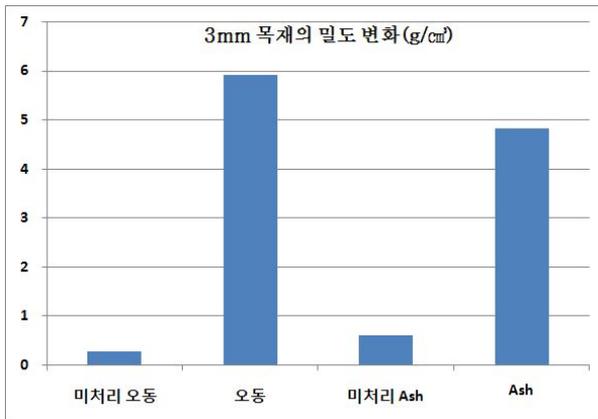
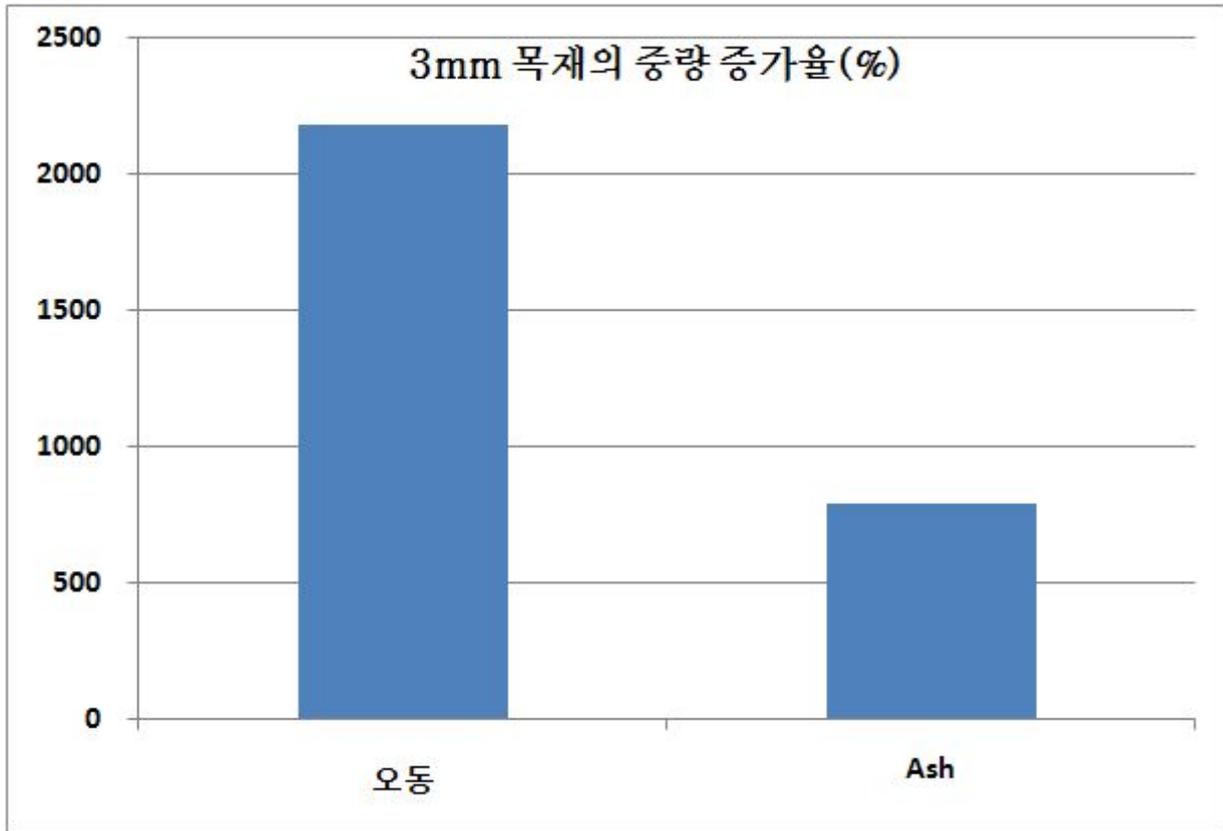


Fig 9. 진공시간 10', 압력 50kgf/cm², 압력 시간 10'일 때 3mm목재의 Bi·Sn 합금주입 후 변화

7. 부분주입처리재 및 완전주입처리재

수입재 walnut를 $20\text{kgf}/\text{cm}^2$ - 186°C -가압10분(진공10분+가압10분) 처리하면 Fig.10의 좌와 같이 표층으로부터 2~3mm까지 금속이 침투되고 중앙부분은 침투되지 않는다. Fig. 10은 금속주입 처리된 Walnut 목재를 1%사프라닌용액으로 목질부에 침투시켜 붉은 색을 띄우게 한 것이다. 시편길이는 90cm로서 중앙부위 즉 한 쪽 끝으로부터 45cm 부위를 절단한 단면의 사진이다. 오른쪽 그림은 100% 주입된 단면 [($50\text{kgf}/\text{cm}^2$ - 186°C -가압10분(진공10'+가압10')처리] 을 보이고 있다. (시편크기: 900mm X 90mm X 10mm)

Fig. 10의 좌측 사진은 2.8배의 중량증가와 4.65배의 밀도증가에 따라 흡수율은 33.57%에서 5.62%로 두께 팽윤율은 6.72%에서 1.87%로 감소되 치수안정이 매우 좋아졌으며 휨강도는 $89.2\text{N}/\text{mm}^2$ 에서 $149.9\text{N}/\text{mm}^2$ 로, 탄성계수는 $8141\text{N}/\text{mm}^2$ 로부터 $14718\text{N}/\text{mm}^2$ 로 경도는 18.20에서 41.98로 크게 증가하였으며, 부피마모율도 표층의 금속화로 인하여 0.424cm^3 에서 0.247cm^3 로 크게 개선되어 마루판의 성질이 매우 좋아졌다.

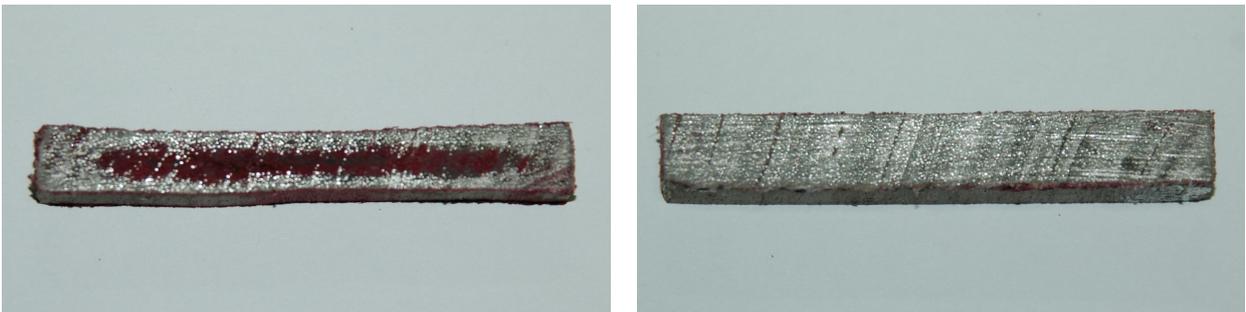


Fig. 10. 금속주입처리된 Walnut 목재의 중앙 중심부(Left: 부분주입 Right: 완전주입)

8. 전자현미경사진

Fig. 11은 금속주입Walnut의 전자현미경 사진이다. 중간왼쪽 사진의 아랫부분은 금속이 100% 주입된 부분으로 도관과 목섬유가 금속으로 채워져 있는 횡단면 사진이고 중간 오른쪽 사진은 이것을 150배로 확대한 것이며 아래쪽 왼쪽사진은 목섬유의 내강이 금속으로 채워진 사진(500배)이다. 아래쪽 오른쪽 사진은 경단면 사진으로 금속이 도관과 목섬유의 내강에 채워진 모습이다. 중간왼쪽 사진의 윗부분은 금속이 부분적으로 도관에만 금속으로 채워져 있는 모습이고 위쪽 왼편사진은 부분적으로 금속이 주입된 접선단면 모습이고 위쪽 오른쪽은 부분적으로 도관만 금속이 채워진 경단면 사진이다. 따라서 $20\text{kgf}/\text{cm}^2$ - 186°C -가압10분(진공10'+가압10')의 처리 조건에서 활엽수 환공재인 월넛트의 경우는 도관은 쉽게 금속이 주입되고 목섬유는 압력과 침투깊이에 따라 결정되며 유조직은 침투가 쉽게 되지 않음을 알 수 있었으며 Fig. 10의 왼쪽 사진의 경계부분의 확대 사진이 Fig. 11의 중간왼쪽 사진이다. Fig.12위쪽 왼편사진은 수입 라디에타파인의 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ - 186°C -가압10분(진공10'+가압10')처리에 의한 나이트 부근의 횡단면 사진이다. 그 오른쪽은 100배로 확대한 사진으로 조재부의 가도관의 큰 내강은 금속으로 주입되어 있었고 만재부의 가도관의 내강은 좁고 작아서 얼마 들

어가지 못함을 보여주고 있다. Fig.12의 중간 원편사진은 경단면 사진이고 아래쪽 원편 사진은 접선단면 사진으로 가도관이 금속으로 주입된 모습을 보여주고 있으며 밑쪽 맨 오른쪽 사진은 벽공구를 통하여 금속이 통과하여 원주상으로 고체가 되어 있는 모습을 보여 주고 있다.

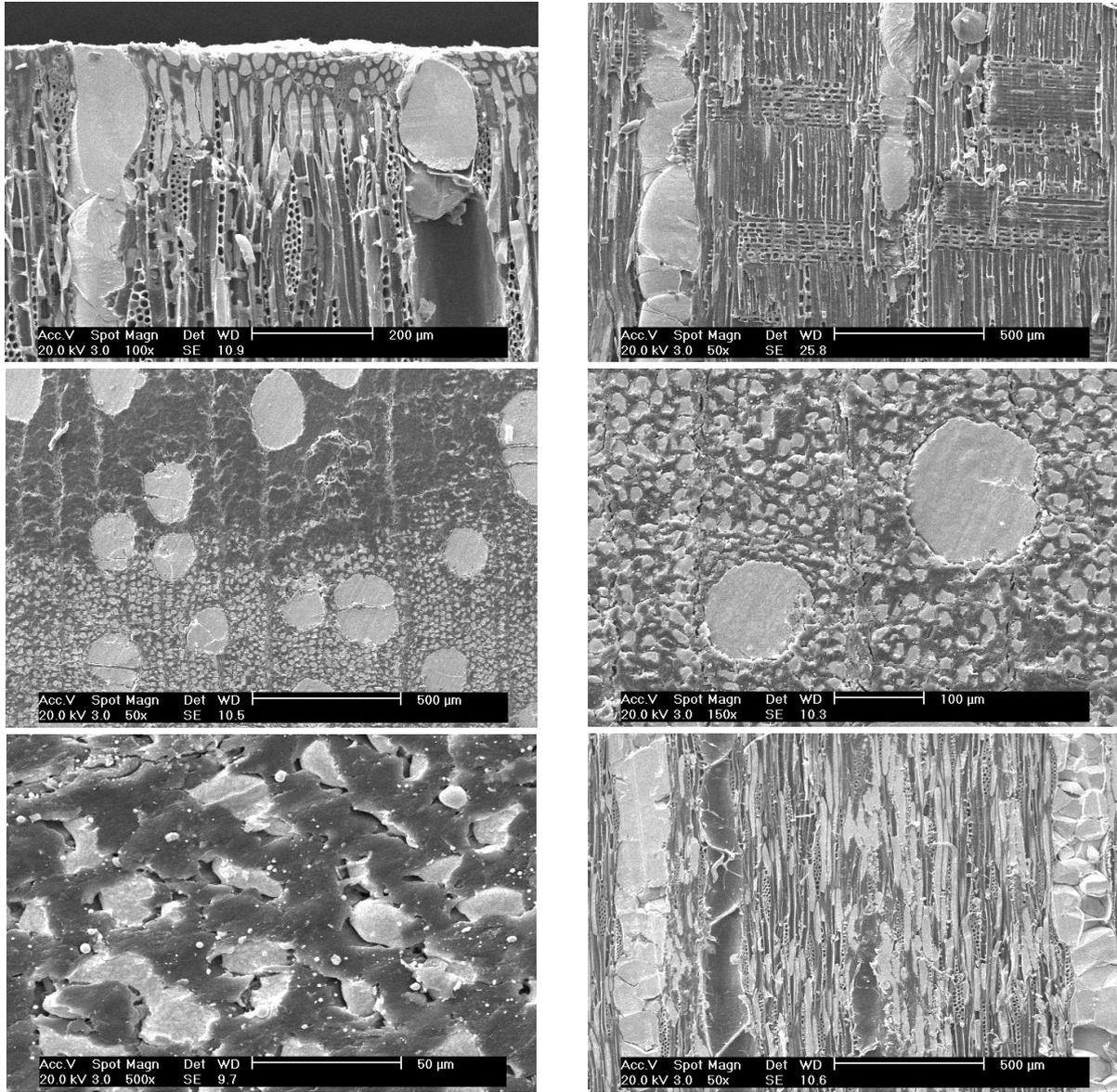


Fig. 11. View of low melting alloy impregnated Walnut

(Top Left: Tangential section of partly impregnated area, Right: partly impregnated radial section, Middle Left: Transverse section of boundary between fully impregnated region and partly impregnated area Right: Cross section of wood fiber and vessel in fully impregnated area Bottom Left: transverse section of wood fiber right: fully impregnated tangential view)

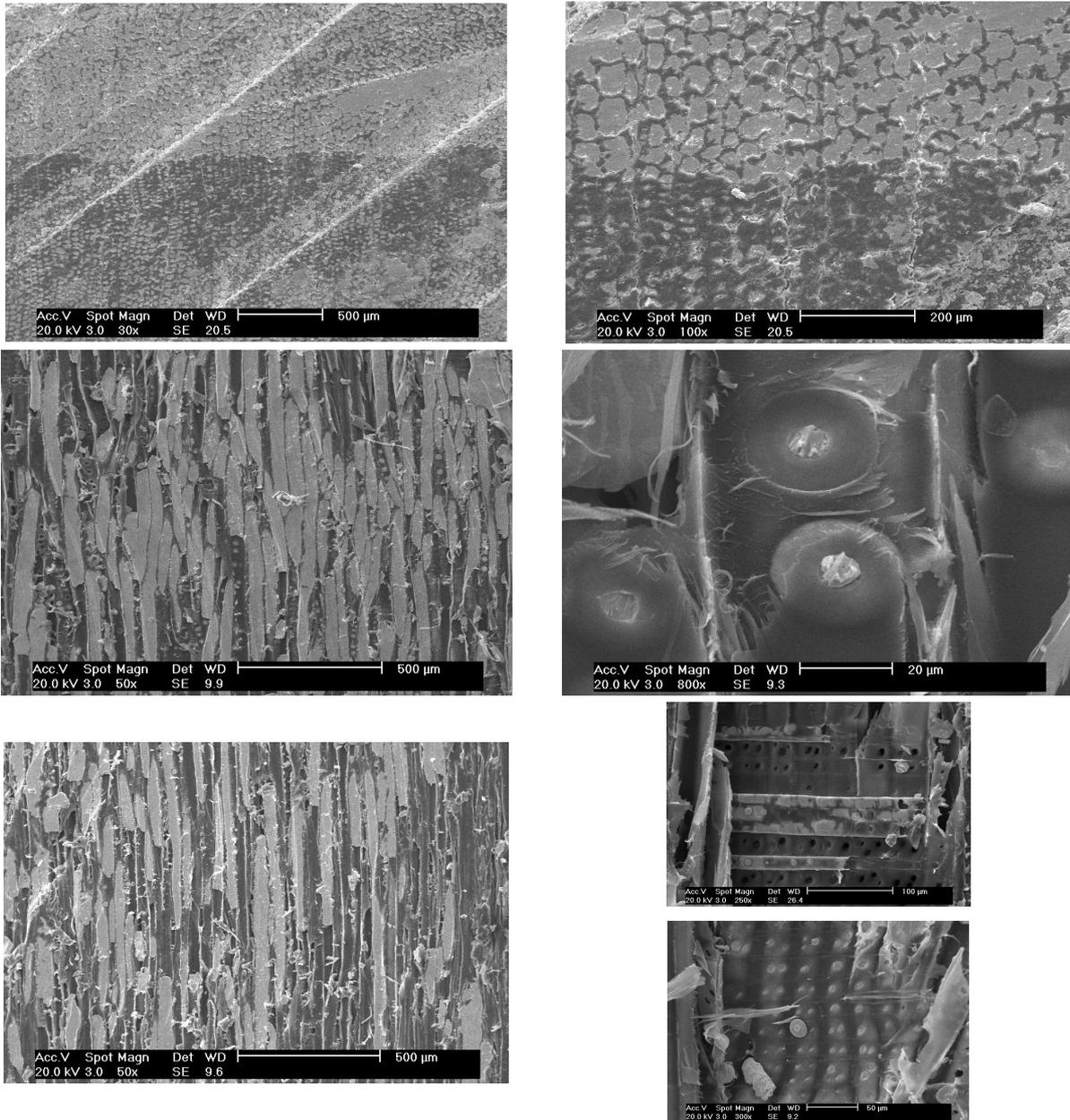


Fig. 12. View of low melting alloy fully impregnated *Pinus radiata*
 (Top Left: Transverse section of boundary area between early wood and late wood,
 Right: A closer view of annual ring, Middle left: Radial section showing alloy
 impregnated tracheids, right: bordered pit of tracheids showing impregnated alloy
 Bottom left: Tangential section of low melting alloy fully impregnated *Pinus radiata*
 right: partly impregnated cross field and pit canal showing impregnated alloy)

9. 주입처리전후의 목재 무늬 및 색상



Radiata pine(Pinus radiata D.)



Walnut



White Oak



Red Oak



Ash(heat treated sample)



Paulownia (Paulownia coreana U) 오동



색상: 금속 처리재의 색상은 전체적으로 회백색을 나타내며 많이 주입된 세포의 면적에 따라 합금의 색상을 나타내고 무늬는 나무가 갖는 고유한 무늬를 그대로 나타내고 있다.

Mandshurica Walnut

(*Juglans mandshurica* M) 국산 가래나무

Fig. 13. 수종별 금속주입처리 전후의 무늬 및 색상 변화

10. 주입합금의 용융점

비스머스(Bi: 융점 271.5℃)와 주석(Sn: 융점 232.06℃)을 사용하여 Bi: Sn의 중량비로 58: 42로 합금하면 용융온도가 138℃가 되며, 비스머스(Bi: 융점 271.5℃), 주석(Sn: 융점 232.06℃), 인디움(In: 융점156.76℃)의 3종 금속조성을 중량비로 57.5: 17.3: 25.2 (Bi: Sn: In)로 한 합금은 용융점이 78.8℃이고 58: 27: 15이면 90.5℃, 58: 32: 10이면 99℃, 58: 37: 5℃이면 119℃를 나타냄을 실험에 의하여 규명하였다. 그러나 인디움의 가격이 워낙 비싸므로 비스머스와 주석만을 사용하는 것으로 결정하였고 주거환경 내에서 마루판의 가열온도의 안정성을 고려하여 용융온도가 138℃인 Bi: Sn의 중량비가 58: 42인 합금으로 결정하였다.

제 4절 2년차 연구 수행 결과

1. 금속 주입목재의 특성 규명

가. Bi·Sn주입목재복합체의 제조

비스머스(Bi: 용점 271.5℃)와 주석(Sn: 용점 232.06℃)을 사용하여 Bi: Sn의 중량비로 58: 42로 합금하면 용융온도가 138℃가 되었다. 감압가압처리장치내에 가열에 의하여 미리 용융된 인체에 무해한 저온용융합금의 액체를 처리조에 유입하고 목재가 잠기도록 누름 장치를 사용하여 처리조의 금속액체에 목재가 잠기도록 하고 챔버의 문을 닫고 적절한 온도로 유지하도록 가열하면서 진공펌프에 의하여 감압을 하여 목재내의 공기를 제거(배기: 600-700mm Hg)한 후에 다시 가압(10-70kgf/cm²)을 하여 목재 내에 액체상태의 저온용융합금을 주입한다. 주입이 목적대로 완료되면 해압하고 챔버의 문을 열고 처리조의 누름 장치를 위로 올려 목재를 처리조의 액체금속으로부터 꺼내면서 표면에 묻어 있는 금속을 가열브레이드로 긁어내어 처리조에 다시 돌려보낸다. 가압챔버내의 처리조로부터 밖으로 나온 금속주입목재복합체는 냉각되고 샌딩을 하여 표면을 다듬으면 금속주입목재복합체의 제조는 완료된다.

나. Bi·Sn주입목재복합체의 특성

적정제조조건은 수종에 따라 달리 나타났다. 주입압력의 경우 radiata pine은 10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm²의 압력 중에서 Table 11, Table 12, Table 19에서 보는 바와 같이 5~10kgf/cm²이면 금속주입 중량증가율이 무처리재의 12배 정도에 달하였으므로 이 범위의 압력이면 적정하였고, walnut와 red oak는 30kgf/cm²이 적정한 것으로 나타났다.(Table 13 ~ Table 16). white oak는 50kgf/cm² (Table 17- Table 18)이 제일 좋았다. 적정온도는 온돌바닥재의 가온에 견딜 수 있는 온도 이상으로서 합금의 용융온도이상의 온도를 택하여야 하는데, 상한선은 목재에 열화를 가져오는 200℃ 이하여야 한다. Table 19에서 보는 바와 같이 163℃, 173℃, 186℃의 처리 온도간의 차는 없었으며 적정처리시간은 진공처리시간은 5분보다 10분이 좋았고 적정가압시간은 수종에 따라 금속주입량의 차이가 나타났는데 radiata pine은 2분30초, walnut, red oak 및 white oak는 10분이 제일 좋았다.

제조된 금속주입목재복합체의 성질은 금속의 주입량에 따라 Table 11~Table 20에서 보는 바와 같이 밀도가 크게 증가하였고 함수율, 흡수율, 두께팽윤율은 크게 감소하여 치수안정성이 매우 높아졌다. 예를 들면 radiata pine의 경우 밀도는 10kgf/cm²의 압력에 가압시간 2분30초의 경우 밀도는 무처리의 0.41로부터 6.13g/cm³으로 15.4배 증가하였으며 중량증가율은 1290%로 증가함에 따라 휨강도는 84N/mm²에서 186.8N/mm²로, 휨영율은 9009N/mm²에서 15853N/mm²으로, 경도는 11.57에서 51.06으로 증가하였으며 표면이 단단하여짐에 따라 부피마모도는 0.415에서 0.116cm³으로 감소되어 수명이 3.6배 증가 되었다. 흡수율은 148.3%에서 5.47%로 대폭 감소하였고 두께 팽윤율은 4.39%에서 0.69%로 크게 감소되어 마루판의 생명인 치수안정성이 매우 크게 향상되었다. 다른 수종에서도 마찬가지로의 결과를 나타내었다.

(1) Bi·Sn주입목재복합체(5mm)의 제조 조건에 따른 물리적인 성질 및 기계적인 성질
 Bi·Sn주입목재복합체(5mm)의 제조 조건에 따른 수종별 성질을 알기 위하여, 물리적인 성질로서 밀도, 함수율, 흡수율, 두께팽윤율, 전기 저항, 열전도도를 측정하였으며, 기계적인 성질을 알아보기 위하여 중량증가율, 휨강도, 휨영계수, 경도등을 실시하였다.

Table 11. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, Radiata pine)의 물리적인 성질

처리 방법*1	밀도 (g/cm ³)		함수율 (%)		흡수율 (%)		두께 팽윤율(%)		열전도도 (W/mK)		전기 저항 (Ω)	
	F=618.571***		F=2160.958***		F=107.286***		F=83.297***		F=439.041***		F=1.129	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.41 ± 0.01	A	12.12 ± 0.596	C	148.27 ± 24.26	B	4.39 ± 0.21	B	0.026 ± 0.010	A	×	
10kgf/cm ² -186℃-10분-2분30초	6.13 ± 0.09	C	0.67 ± 0.05	B	5.47 ± 0.88	A	0.69 ± 0.33	A	0.910 ± 0.045	D	1.46 ± 1.64	A
10kgf/cm ² -186℃-10분-10분	5.91 ± 0.15	BC	0.28 ± 0.02	A	2.54 ± 0.09	A	0.52 ± 0.30	A	0.844 ± 0.008	C	0.40 ± 0.14	A
30kgf/cm ² -186℃-10분-6분30초	5.96 ± 0.23	BC	0.30 ± 0.02	A	2.30 ± 0.21	A	0.73 ± 0.31	A	0.794 ± 0.021	B	0.10 ± 0.07	A
30kgf/cm ² -186℃-10분-10분	6.03 ± 0.10	BC	0.43 ± 0.09	AB	2.97 ± 0.18	A	0.75 ± 0.27	A	0.893 ± 0.020	D	0.33 ± 0.04	A
50kgf/cm ² -186℃-10분-10분	5.83 ± 0.19	B	0.32 ± 0.08	A	2.71 ± 0.11	A	0.91 ± 0.24	A	0.903 ± 0.030	D	0.16 ± 0.02	A
30kgf/cm ² -186℃-5분-6분30초	5.92 ± 0.14	BC	0.28 ± 0.04	A	2.65 ± 0.08	A	1.02 ± 0.02	A	0.906 ± 0.033	D	0.23 ± 0.18	A

Table 12. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, Radiata pine)의 기계적인 성질

처리 방법*1	중량증가율(%)		휨강도(N/mm ²)		휨영계수(N/mm ²)		경도(N/mm ²)		부피마모도(cm ³)	
	F=2160.958***		F=18.129***		F=19.92***		F=11.639***		F=1103.278***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리			84.0 ± 3.0	A	9009 ± 154	A	11.57 ± 0.34	A	0.415 ± 0.010	E
10kgf/cm ² -186℃-10분-2분30초	1290.08 ± 19.75	C	186.8 ± 12.1	B	15853 ± 5423	B	51.06 ± 4.18	BC	0.116 ± 0.002	A
10kgf/cm ² -186℃-10분-10분	1244.06 ± 32.25	BC	178.6 ± 9.6	B	21493 ± 1158	C	53.48 ± 7.96	BC	0.208 ± 0.005	D
30kgf/cm ² -186℃-10분-6분30초	1270.83 ± 48.56	C	223.9 ± 5.2	C	22895 ± 1195	BC	47.56 ± 2.82	B	0.144 ± 0.005	B
30kgf/cm ² -186℃-10분-10분	1194.05 ± 19.41	B	205.7 ± 4.7	BC	24025 ± 1298	BC	57.50 ± 11.40	BC	0.162 ± 0.003	C
50kgf/cm ² -186℃-10분-10분	1268.59 ± 41.51	C	195.2 ± 45.6	BC	26350 ± 2428	C	66.02 ± 10.18	C	0.118 ± 0.004	A
30kgf/cm ² -186℃-5분-6분30초	1100.27 ± 25.56	A	213.0 ± 12.2	BC	26017 ± 1352	BC	60.11 ± 15.87	BC	0.199 ± 0.005	D

Table 13. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, Walnut)의 물리적인 성질

처리 방법*1	밀도(g/cm ³) F=154.559***		함수율(%) F=227.958***		흡수율(%) F=35.592***		두께 팽윤율(%) F=88.510***		열전도도 (W/mK) F=334.189***		전기 저항(Ω) F=942.084***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.59 ± 0.023	A	12.02 ± 0.294	C	27.91 ± 5.85	C	6.81 ± 0.72	C	0.048 ± 0.018	A	×	
10kgf/cm ² ·186℃·10 분-2분30초	2.61 ± 0.12	B	0.88 ± 0.23	A	5.69 ± 1.33	AB	0.99 ± 0.58	A	0.212 ± 0.016	B	3.27 ± 2.19	A
10kgf/cm ² ·186℃·10 분-10분	2.60 ± 0.18	B	1.53 ± 1.24	AB	9.34 ± 3.71	B	1.78 ± 0.28	B	0.455 ± 0.044	E	11.16 ± 5.71	A
30kgf/cm ² ·186℃·10 분-6분30초	3.76 ± 0.28	C	0.15 ± 0.02	A	1.85 ± 0.17	A	0.64 ± 0.10	A	0.387 ± 0.003	D	3.91 ± 0.16	A
30kgf/cm ² ·186℃·10 분-10분	4.31 ± 0.20	D	0.11 ± 0.02	A	2.13 ± 0.25	A	0.87 ± 0.05	A	0.574 ± 0.016	F	0.49 ± 0.19	A
50kgf/cm ² ·186℃·10 분-10분	4.43 ± 0.24	D	0.08 ± 0.01	A	1.33 ± 0.03	A	0.54 ± 0.31	A	0.781 ± 0.023	G	0.36 ± 0.12	A
30kgf/cm ² ·186℃·5분 -6분30초	2.43 ± 0.14	B	0.53 ± 0.36	A	3.99 ± 1.64	A	1.15 ± 0.37	AB	0.310 ± 0.019	C	291.68 ± 11.77	B

Table 14. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, Walnut)의 기계적인 성질

처리 방법*1	중량증가율(%) F=109.133***		휨강도(N/mm ²) F=6.070**		휨영계수(N/mm ²) F=8.256***		경도(N/mm ²) F=218.427***		부피마모도(cm ³) F=102.645***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리			131.8 ± 16.3	A	13570 ± 991	A	18.18 ± 0.70	A	0.424 ± 0.014	D
10kgf/cm ² ·186℃·10 분-2분30초	331.12 ± 15.43	B	152.2 ± 36.4	A	14048 ± 2361	A	41.61 ± 2.73	B	0.349 ± 0.016	C
10kgf/cm ² ·186℃·10 분-10분	295.81 ± 20.34	AB	143.1 ± 30.7	A	14472 ± 1107	AB	69.65 ± 0.54	D	0.247 ± 0.018	B
30kgf/cm ² ·186℃·10 분-6분30초	531.48 ± 39.21	C	194.3 ± 12.0	B	16997 ± 1559	BC	78.98 ± 2.76	E	0.243 ± 0.018	B
30kgf/cm ² ·186℃·10 분-10분	579.31 ± 26.71	D	192.3 ± 11.3	B	15551 ± 882	AB	94.03 ± 7.11	F	0.209 ± 0.010	A
50kgf/cm ² ·186℃·10 분-10분	612.58 ± 33.79	D	208.6 ± 15.6	B	19174 ± 1089	C	96.67 ± 3.46	F	0.201 ± 0.011	A
30kgf/cm ² ·186℃·5 분-6분30초	261.52 ± 15.42	A	192.3 ± 10.9	B	19146 ± 1360	C	50.56 ± 1.37	C	0.409 ± 0.024	D

Table 15. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, Red Oak)의 물리적인 성질

처리 방법*1	밀도(g/cm ³) F=166.785***		함수율(%) F=3469.911***		흡수율(%) F=890.882***		두께 팽윤율(%) F=99.005***		열전도도 (W/mK) F=595.995***		전기 저항(Ω) F=45.432***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.58 ± 0.040	A	8.92 ± 0.350	D	32.83 ± 0.80	D	4.48 ± 0.10	B	0.090 ± 0.004	A	×	
10kgf/cm ² ·186℃·10분-2분30초	2.06 ± 0.22	B	0.82 ± 0.04	BC	7.19 ± 0.35	C	1.37 ± 0.20	A	0.253 ± 0.002	C	22.73 ± 3.22	D
10kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	2.43 ± 0.14	C	0.66 ± 0.14	B	7.67 ± 0.65	C	1.36 ± 0.30	A	0.292 ± 0.011	D	8.00 ± 0.85	BC
30kgf/cm ² ·186℃·10분-6분30초	2.44 ± 0.14	C	0.87 ± 0.05	C	8.30 ± 0.55	C	1.41 ± 0.19	A	0.220 ± 0.015	B	9.88 ± 1.77	C
30kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	3.61 ± 0.13	E	0.24 ± 0.05	A	2.56 ± 1.02	A	1.05 ± 0.36	A	0.454 ± 0.012	F	0.65 ± 0.35	A
50kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	3.19 ± 0.13	D	0.39 ± 0.04	A	3.84 ± 0.16	B	1.22 ± 0.06	A	0.392 ± 0.002	E	3.61 ± 1.26	AB

Table 16. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, Red Oak)의 기계적인 성질

처리 방법*1	중량증가율(%) F=97.851***		휨강도(N/mm ²) F=3.018*		휨영계수(N/mm ²) F=29.998***		경도(N/mm ²) F=35.98***		부피마모도(cm ³) F=56.074***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리			169.3 ± 8.8	A	15256 ± 774	A	25.66 ± 0.99	A	0.412 ± 0.011	D
10kgf/cm ² ·186℃·10분-2분30초	206.48 ± 22.07	A	174.2 ± 6.1	A	17071 ± 209	B	35.18 ± 2.98	B	0.359 ± 0.021	C
10kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	287.72 ± 16.11	B	177.6 ± 10.9	AB	17683 ± 525	BC	45.46 ± 0.46	C	0.309 ± 0.031	B
30kgf/cm ² ·186℃·10분-6분30초	314.20 ± 17.53	B	185.2 ± 8.4	AB	18771 ± 465	CD	56.76 ± 1.31	D	0.209 ± 0.012	A
30kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	479.34 ± 16.84	D	204.5 ± 33.1	B	19904 ± 613	DE	71.18 ± 9.65	E	0.283 ± 0.010	B
50kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	448.63 ± 17.73	D	205.7 ± 7.5	B	20852 ± 971	E	60.55 ± 6.20	D	0.232 ± 0.009	A

Table 17. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, White Oak)의 물리적인 성질

처리 방법*1	밀도(g/cm ³) F=405.727***		함수율(%) F=2498.135***		흡수율(%) F=2342.745***		두께 팽윤율(%) F=174.95***		열전도도 (W/mK) F=38.006***		전기 저항(Ω) F=142.36***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.68 ± 0.069	A	9.47 ± 0.348	E	21.20 ± 0.44	E	4.76 ± 0.28	C	0.130 ± 0.004	A	×	
10kgf/cm ² ·186℃·10분-2분30초	1.18 ± 0.09	B	2.56 ± 0.14	D	16.68 ± 0.21	D	2.37 ± 0.19	B	0.162 ± 0.000	A	×	
10kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	2.22 ± 0.10	C	0.48 ± 0.09	B	5.36 ± 0.24	C	1.34 ± 0.13	A	0.272 ± 0.028	BC	×	
30kgf/cm ² ·186℃·10분-6분30초	2.25 ± 0.15	C	0.70 ± 0.11	C	5.70 ± 0.15	C	1.21 ± 0.08	A	0.239 ± 0.023	B	×	
30kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	3.79 ± 0.12	D	0.30 ± 0.11	AB	3.32 ± 0.31	A	1.37 ± 0.23	A	0.280 ± 0.016	C	58.15 ± 3.18	
50kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	3.94 ± 0.14	D	0.24 ± 0.08	A	3.84 ± 0.16	B	1.13 ± 0.10	A	0.301 ± 0.027	C	115.00 ± 5.94	

Table 18. Bi·Sn주입목재복합체(5mm, White Oak)의 기계적인 성질

처리 방법*1	중량증가율(%) F=607.661***		휨강도(N/mm ²) F=28.133***		휨영계수(N/mm ²) F=80.078***		경도(N/mm ²) F=84.934***		부피마모도(cm ³) F=61.977***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리			119.2 ± 4.8	A	11565 ± 398	A	18.17 ± 1.97	A	0.443 ± 0.019	E
10kgf/cm ² ·186℃·10분-2분30초	62.71 ± 4.84	A	122.3 ± 7.9	A	12011 ± 996	A	24.09 ± 1.87	AB	0.421 ± 0.053	E
10kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	208.89 ± 9.32	B	147.2 ± 20.1	A	13801 ± 977	B	33.53 ± 5.90	B	0.290 ± 0.020	D
30kgf/cm ² ·186℃·10분-6분30초	364.92 ± 11.34	C	197.4 ± 31.5	B	18709 ± 1251	C	49.34 ± 0.39	C	0.235 ± 0.007	C
30kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	441.49 ± 14.14	D	225.8 ± 9.7	B	20829 ± 1190	D	90.02 ± 11.70	D	0.206 ± 0.006	AB
50kgf/cm ² ·186℃·10분-10분	480.39 ± 17.50	E	265.8 ± 26.6	C	23569 ± 729	E	95.38 ± 7.62	D	0.173 ± 0.006	A

(2) Bi·Sn주입목재복합체(10mm)의 처리 조건에 따른 물리적인 성질 및 기계적인 성질

Bi·Sn주입목재복합체(10mm)의 제조 조건에 따른 수종별 성질을 알기 위하여, 물리적인 성질로서 밀도, 함수율, 흡수율, 두께팽윤율, 전기 저항, 열전도도를 측정하였으며, 기계적인 성질을 알아보기 위하여 중량증가율, 휨강도, 휨영계수, 경도등을 실시하였다.

Table 19. Bi-Sn주입목재복합체(10mm, Radiata pine)의 물리·기계적인 성질

처리 방법*1	밀도 (g/cm ³) F=74.725***		함수율 (%) F=762.279***		흡수율 (%) F=1479.891***		두께 팽윤율 (%) F=36.549***		열전도도 (W/mK) F=10.348***		전기 저항 (Ω) F=0.781		중량증가율 (%) F=3.134**		휨강도 (N/mm ²) F=13.38***		휨영계수 (N/mm ²) F=22.724***		경도 (N/mm ²) F=17.123***	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.41 ± 0.018	A	11.99 ± 0.864	B	83.77 ± 1.64	D	4.69 ± 0.71	C	0.026 ± 0.010	A	×			90.0 ± 1.1	A	8152 ± 129	A	11.80 ± 0.32	A	
5kgf/cm ² -186℃-10분 1분30초	5.77 ± 0.20	BC	0.24 ± 0.01	A	1.78 ± 0.17	A	1.39 ± 0.32	B	1.128 ± 0.092	B	0.565 ± 0.233	A	1196.33 ± 40.89	A	178.6 ± 14.8	BCD	20197 ± 1123	DE	70.89 ± 7.08	C
10kgf/cm ² -186℃-10분 -2분30초	5.61 ± 0.27	BC	0.17 ± 0.01	A	1.38 ± 0.35	A	0.76 ± 0.26	AB	1.221 ± 0.035	B	0.440 ± 0.014	A	1210.15 ± 59.06	A	211.4 ± 17.7	E	22529 ± 1640	DE	79.13 ± 3.16	C
20kgf/cm ² -186℃-10분 -4분30초	5.41 ± 0.15	B	0.15 ± 0.01	A	1.53 ± 0.39	A	0.63 ± 0.34	A	1.236 ± 0.036	B	0.640 ± 0.269	A	1208.17 ± 33.00	A	204.4 ± 23.8	DE	21344 ± 2109	DE	79.15 ± 8.96	C
30kgf/cm ² -186℃-10분 -6분30초	5.58 ± 0.22	BC	0.16 ± 0.001	A	1.31 ± 0.50	A	0.89 ± 0.15	AB	1.328 ± 0.033	B	0.275 ± 0.035	A	1254.31 ± 50.73	A	202.4 ± 18.3	DE	21668 ± 1074	DE	84.47 ± 2.79	C
30kgf/cm ² -186℃-10분 -10분	5.75 ± 0.16	BC	0.08 ± 0.01	A	1.21 ± 0.28	A	0.88 ± 0.2	AB	1.214 ± 0.021	B	0.388 ± 0.042	A	1221.28 ± 60.53	A	197.4 ± 8.7	DE	20508 ± 1534	DE	75.68 ± 3.52	C
50kgf/cm ² -163℃-10분 -10분	5.96 ± 0.20	C	0.01 ± 0.001	A	2.95 ± 0.76	AB	1.23 ± 0.08	AB	1.404 ± 0.539	B	0.230 ± 0.001	A	1293.20 ± 43.65	A	153.8 ± 9.6	B	16184 ± 1838	B	50.03 ± 9.94	B
50kgf/cm ² -173℃-10분 -10분	5.59 ± 0.35	BC	0.02 ± 0.001	A	2.36 ± 0.25	AB	1.06 ± 0.17	AB	1.286 ± 0.046	B	0.528 ± 0.145	A	1230.48 ± 79.92	A	180.8 ± 12.2	BCD E	19448 ± 594	CD	71.25 ± 9.38	C
50kgf/cm ² -186℃-10분 -10분	5.83 ± 0.28	BC	0.04 ± 0.001	A	2.23 ± 0.23	AB	0.73 ± 0.10	AB	1.359 ± 0.140	B	0.400 ± 0.001	A	1287.95 ± 64.48	A	151.9 ± 19.0	B	17323 ± 1204	BC	82.82 ± 19.11	C
50kgf/cm ² -163℃-11분 -10분	5.92 ± 0.24	C	0.03 ± 0.001	A	5.87 ± 1.06	C	0.77 ± 0.45	AB	1.276 ± 0.368	B	1.050 ± 1.061	A	1289.84 ± 52.57	A	162.2 ± 4.5	BC	15409 ± 722	B	69.93 ± 6.30	C
50kgf/cm ² -173℃-11분 -10분	5.93 ± 0.36	C	0.04 ± 0.001	A	4.23 ± 2.77	BC	0.82 ± 0.29	AB	1.141 ± 0.039	B	0.330 ± 0.001	A	1249.69 ± 75.18	A	187.2 ± 29.1	CDE	18909 ± 1869	CD	74.31 ± 9.54	C
50kgf/cm ² -186℃-11분 -10분	5.51 ± 0.24	BC	0.05 ± 0.001	A	2.37 ± 0.17	AB	0.63 ± 0.13	A	1.152 ± 0.038	B	0.525 ± 0.361	A	1251.87 ± 55.93	A	195.0 ± 5.2	DE	20468 ± 2288	DE	82.12 ± 5.63	C

Table 20. Bi·Sn주입목재복합체(10mm, Walnut)의 물리·기계적인 성질

처리 방법*1	밀도 (g/cm ³) F=74.725***		함수율 (%) F=762.279***		흡수율 (%) F=1479.891***		두께 팽윤율 (%) F=36.549***		열전도도 (W/mK) F=10.348***		전기 저항 (Ω) F=0.781		중량증가율 (%) F=3.134**		휨강도 (N/mm ²) F=13.38***		휨영계수 (N/mm ²) F=22.724***		경도 (N/mm ²) F=17.123***	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.57 ± 0.031	A	12.50 ± 0.387	E	33.57 ± 1.02	D	6.72 ± 0.59	E	0.048 ± 0.018	A	×			89.2 ± 4.0	A	8141 ± 970	A	18.20 ± 1.42	A	
10kgf/cm ² -186℃-10 분-2분30초	1.22 ± 0.24	B	1.03 ± 0.22	D	11.64 ± 1.58	C	3.82 ± 0.47	D	0.058 ± 0.003	A	49.350 ± 0.212	D	135.07 ± 28.62	A	110.1 ± 14.4	AB	9648 ± 617	A	18.94 ± 0.84	A
20kgf/cm ² -186℃-10 분-4분30초	2.65 ± 0.44	C	0.42 ± 0.04	C	5.62 ± 2.35	B	1.87 ± 0.10	C	0.113 ± 0.007	A	3.975 ± 0.177	BC	278.96 ± 45.03	B	149.9 ± 31.6	BC	14718 ± 582	B	41.98 ± 1.78	B
30kgf/cm ² -186℃-10 분-6분30초	3.64 ± 0.26	D	0.13 ± 0.01	ABC	1.65 ± 0.34	A	1.15 ± 0.11	AB	0.256 ± 0.021	B	1.010 ± 0.198	A	533.65 ± 38.16	C	189.5 ± 7.3	CD	16831 ± 2565	BC	56.59 ± 4.26	B
30kgf/cm ² -186℃-10 분-10분	3.75 ± 0.11	DE	0.15 ± 0.02	ABC	1.97 ± 0.75	A	0.86 ± 0.09	A	0.679 ± 0.033	C	1.21 ± 0.078	A	543.26 ± 15.12	C	192.3 ± 9.2	CD	1984 ± 1364	C	80.66 ± 8.56	C
50kgf/cm ² -163℃-10 분-10분	3.72 ± 0.27	DE	0.37 ± 0.03	BC	2.83 ± 1.00	A	1.47 ± 0.11	BC	0.257 ± 0.066	B	2.010 ± 0.905	AB	524.27 ± 39.17	C	187.8 ± 21.1	CD	16418 ± 3041	BC	82.67 ± 18.49	C
50kgf/cm ² -173℃-10 분-10분	4.03 ± 0.35	DE	0.08 ± 0.01	AB	1.39 ± 0.39	A	0.73 ± 0.06	A	0.786 ± 0.036	D	2.440 ± 0.693	ABC	510.37 ± 42.91	C	150.0 ± 71.3	BC	16004 ± 4760	BC	83.89 ± 11.83	C
50kgf/cm ² -186℃-10 분-10분	3.82 ± 0.22	DE	0.13 ± 0.01	ABC	1.22 ± 0.32	A	1.03 ± 0.16	AB	0.669 ± 0.047	C	3.685 ± 1.959	BC	530.23 ± 31.88	C	183.0 ± 9.4	CD	20898 ± 3414	C	84.66 ± 6.31	C
50kgf/cm ² -163℃-11 분-10분	4.05 ± 0.24	DE	0.05 ± 0.001	A	0.97 ± 0.04	A	0.59 ± 0.34	A	0.677 ± 0.104	C	0.565 ± 0.092	A	570.72 ± 32.76	C	176.8 ± 3.1	CD	15695 ± 3540	B	78.22 ± 6.99	C
50kgf/cm ² -173℃-11 분-10분	4.17 ± 0.15	DE	0.05 ± 0.001	A	2.63 ± 1.13	A	0.77 ± 0.46	A	0.771 ± 0.014	D	1.390 ± 0.156	A	570.92 ± 21.33	C	200.6 ± 28.1	CD	16226 ± 1054	BC	79.24 ± 7.86	C
50kgf/cm ² -186℃-11 분-10분	3.90 ± 0.17	DE	0.33 ± 0.001	ABC	2.48 ± 0.84	A	0.80 ± 0.20	A	0.295 ± 0.038	B	4.300 ± 0.990	C	530.89 ± 22.60	C	205.0 ± 6.5	D	17654 ± 1039	BC	81.85 ± 9.23	C

다. Bi·Sn·In주입목재복합체의 제조

앞의 Bi·Sn주입목재복합체의 제조 방법과 동일한 방법으로 하였다. 수종으로는 Walnut을 사용하였으며, 이용한 합금으로는 3종의 인체에 안전한 금속, 비스머스(Bi: 용점 271.5℃), 주석(Sn: 용점 232.06℃), 인디움(In: 용점156.76℃)을 중량비로 57.5: 17.3: 25.2 (Bi: Sn: In), 용융점 78.8℃인 조성한 합금을 사용하였다. Bi: Sn: In조성비율에 따라 58: 27: 15이면 90.5℃, 58: 32: 10이면 99℃, 58:37:5℃이면 119℃를 나타내었다.

라. Bi·Sn·In주입목재복합체의 특성

(1) Bi·Sn·In주입목재복합체의 제조 조건에 따른 물리적인 성질 및 기계적인 성질

Bi·Sn·In주입목재복합체의 제조 조건에 따른 특성을 알아보기 위하여, 물리적인 성질로서 밀도, 함수율, 흡수율, 두께팽윤율, 전기 저항, 열전도도 실험을 실시하였으며, 기계적인 성질로서 중량증가율, 힘강도, 힘영계수, 경도, 부피마모도를 측정하였다.

수종을 Walnut으로 하여 압력 50kgf/cm²-진공시간 10분 가압시간 10분으로 하여 처리온도를 183℃, 142℃, 103℃로 각기 제조하였으며, 무처리는 금속주입처리를 하지 않은 원재료인 수종을 나타낸다. Table 22에서 보는바와 같이 중량증가율은 183℃나 142℃에서 대조구보다 669%,678%로 동일한 결과를 가져왔으나 기타 성질이 183℃의 처리가 우수한 것으로 나타났다(Table 21,22). 즉 압력 50kgf/cm²-183℃-진공시간 10분- 가압시간 10분의 3종 Bi·Sn·In주입목재복합체의 성질은 669%의 중량증가로 밀도가 0.58g/cm³에서 4.78g/cm³로 8.24배 증가하였으며 이로 인하여 힘강도는 132N/mm²에서 174N/mm²로, 힘영계수는 13570N/mm²에서 18786N/mm²으로 경도는 18에서 72로 증가하였고 부피마모도는 0.429cm³에서 0.08cm³로 크게 감소하여 마루판의 마모수명을 5.4배 증가시켰다. 함수율은 12%에서 0.48%로 흡수율은 27.9%에서 1.65%(대조구의 5.9%)로 두께 팽윤율은 6.8%에서 0.74%(대조구의 10.9%)로 크게 감소시켜 치수안정성을 매우 크게 향상시켰다.

Table 21. Bi·Sn·In주입목재복합체(5mm, Walnut)의 물리적인 성질

처리 방법	밀도(g/cm ³) F=479.717***		함수율(%) F=431.282***		흡수율(%) F=50.866***		두께 팽윤율(%) F=93.113***		열전도도 (W/mK) F=577.392***		전기 저항(Ω) F=18.656**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리	0.58 ± 0.02	A	12.07 ± 0.87	B	27.91 ± 5.85	B	6.81 ± 0.72	C	0.048 ± 0.018	A	×	
50kgf/cm ² -183℃-10분-10분	4.78 ± 0.15	C	0.48 ± 0.04	A	1.65 ± 0.02	A	0.74 ± 0.55	A	0.573 ± 0.021	D	0.763 ± 0.230	A
50kgf/cm ² -142℃-10분-10분	4.97 ± 0.24	C	0.91 ± 0.29	A	3.97 ± 0.88	A	1.43 ± 0.19	AB	0.478 ± 0.022	C	0.700 ± 0.141	A
50kgf/cm ² -103℃-10분-10분	2.79 ± 0.15	B	1.15 ± 0.18	A	5.53 ± 0.40	A	1.95 ± 0.35	B	0.148 ± 0.008	B	3.813 ± 0.972	B

Table 22. Bi·Sn·In주입목재복합체(5mm, Walnut)의 기계적인 성질

처리 방법	중량증가율(%) F=150.390***		휨강도(N/mm ²) F=12.069**		휨영계수(N/mm ²) F=78.382***		경도(N/mm ²) F=20.325***		부피마모도(cm ³) F=1277.293***	
	mean ± SD	DT *2	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
무처리			131.767 ± 16.317	A	13570.333 ± 990.588	B	18.180 ± 0.700	A	0.429 ± 0.011	C
50kgf/cm ² -183 °C-10 분-10분	669.24 ± 21.45	B	173.767 ± 8.150	B	18785.799 ± 881.148	C	72.061 ± 2.556	C	0.080 ± 0.003	A
50kgf/cm ² -142 °C-10 분-10분	678.20 ± 32.92	B	143.100 ± 0.500	A	12398.500 ± 87.500	B	67.742 ± 18.629	C	0.067 ± 0.003	A
50kgf/cm ² -103 °C-10 분-10분	362.20 ± 19.83	A	139.767 ± 1.950	A	10931.131 ± 152.523	A	47.855 ± 1.504	B	0.205 ± 0.011	B

2. 금속주입목재복합체 내화 성능 평가



Fig 14. 금속화 목재의 내화 성능평가 시간별 변화

가. 가열 시험 방법

Fig 14는 금속주입목재복합체의 내화 성능을 시험하기 위하여 석고보드와 금속주입된 radiata pine과 red oak, 그리고 주입 처리되지 않은 radiata pine과 red oak를 10cm높이에서 5분 동안 버너로 가열하였을 때의 시간별로 내화 상태를 나타낸 사진이다.

Fig 14에서 보는 바와 같이 무처리 목재는 가열 후 20초부터 불꽃을 내며 타는데 석고보드나 금속주입목재는 끝까지 불꽃을 내지 않았으며 석고보드나 금속주입목재는 적열상태를 유지하면서 주입된 금속이 녹아내리면서 연소를 방지하였다. 무처리 목재는 몇 5초 후부터 불꽃을 내면서 타기 시작하여 2분30초면 구멍이 나기 시작하는데 비하여 석고보드나 금속주입목재는 Fig 13처럼 그러하지 아니하였다.

나. 연소 성능 시험법

금속주입목재복합체의 내화 성능을 시험하기 위하여 KS F ISO 5660-1을 이용하여 측정하였다. Fig 15와 Table 23은 착화 후 300초 이후의 표면과 데이터를 나타낸 것으로, 원목에 비하여 탄화흔적이 나타나지 않으면서 매우 낮은 중량 변화율과 연기발생량, 열방출량, 산소소비량이 나타났다. 이러한 결과는 금속주입복합체는 원목에 비하여 연소가 쉽게 되지 않고 중량을 유지하여 매우 뛰어난 내화성을 보여 주고 있었다. 금속주입복합체 중에서는 금속이 가장 많이 주입된 Radiata pine이 내화성능이 가장 뛰어났다.

Table 23. 금속주입목재복합체의 연소 성능 시험

	pine 원목	금속주입목재복합체			
		Radiata pine	Walnut	Red oak	White oak
처음중량(g)	62.55	532.8	333.91	373	245.2
연소후중량(g)	12.72	531.4	279.9	369.1	213.11
중량변화값(g)	49.83	1.4	54.01	3.9	32.09
중량변화율	79.7%	0.3%	16.2%	1.0%	13.1%
연기발생량	219.981	1.097	23.865	21.29	33.734
전체산소소비량(g)	31.564	0.027	9.43	0.014	13.95
전체 열방출량(MJ/ m)	47.832	0.044	14.482	0.024	21.476



Fig 15 금속화 목재의 연소 성능 시험후 변화

3. 금속주입목재복합체 가공성 평가

금속주입목재복합체의 가공성을 위해 수종별로 톱에 의한 절삭, 드릴구멍뚫기, 나사못박기, 타카못박기를 시험하였다. Fig 16은 금속주입목재복합체의 가공성을 나타낸 것으로 일반 목재와 마찬가지로 톱에 의한 절삭 가공시 재단이 잘 되고 절삭 표면이 매끄럽게 나왔으며, 드릴 가공도 구멍의 옆 표면이 부서지지 않고 구멍가공이 매우 잘 되어 절삭성이나 드릴 작업성이 매우 우수함을 나타냈다. 또한 나사못이나 타카못에 의한 박음성도 매우 좋게 나왔다. 따라서 마루바닥재 가공에 문제가 없음을 알 수 있었다.



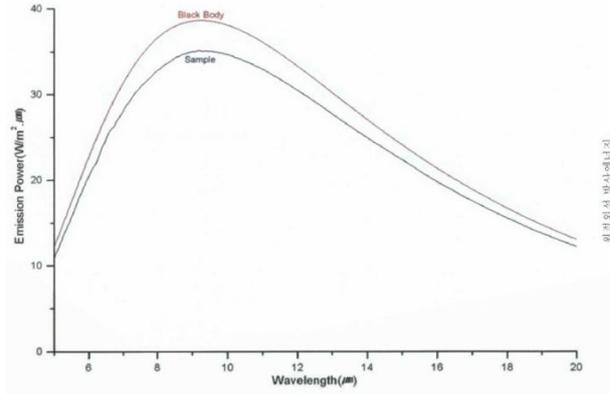
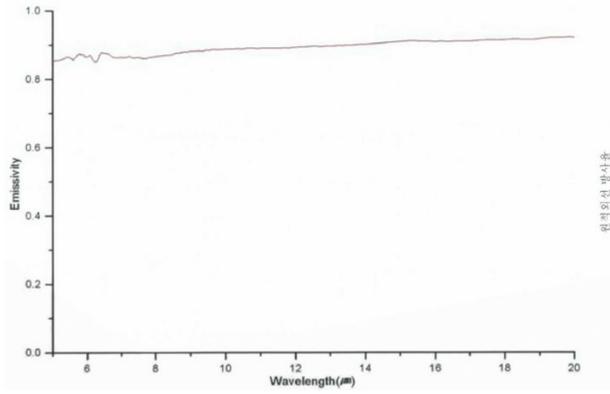
Fig 16. 금속주입목재복합체 가공성

4. 금속주입목재복합체의 원적외선 방사율

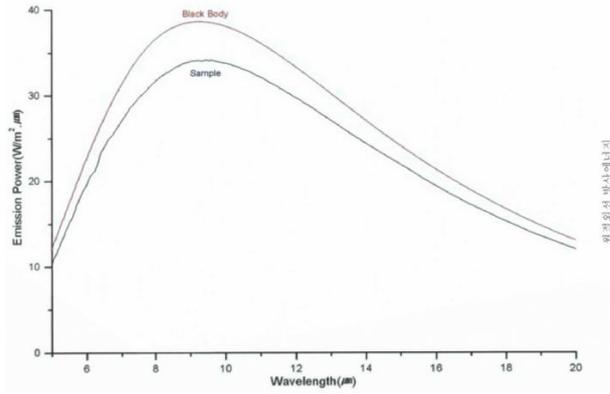
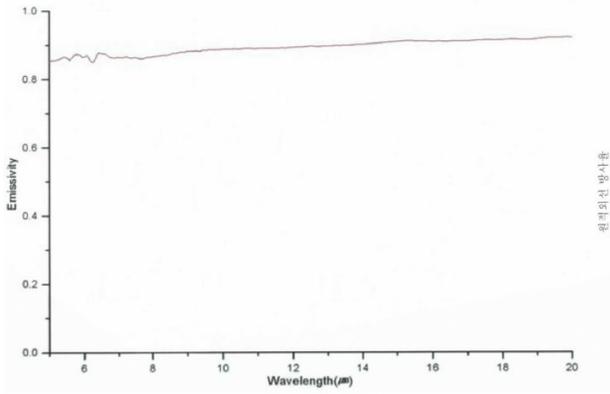
금속주입목재복합체의 원적외선 방사율을 측정하기 위하여 Table 24의 3개 수종을 한국건설생활환경연구소의 외뢰하여 FT-IR Spectrometer로 측정하였다. Table 24와 Fig 17은 그 결과로, 마루판으로서 사용할 때는 마루판이 받은 열을 실내로 이동시킬 때 복사열이 매우 중요한 기능을 발휘하는데 금속주입목재는 열전도율이 일반 목재보다 상당히 높아졌을 뿐만 아니라 (Radiata pine의 경우 0.026에서 0.910으로 35배 높아짐), 방사율도 Table 24에서 보는 바와 같이 89%로서 목재와 비슷한 수치를 보이고 있어 원적외선 방사물질의 기능을 충분히 발휘하고 있다. 이외의 물푸레나무나 Walnut의 경우도 목재와 비슷한 수치를 나타내고 있어 원적외선 방사물질로서의 기능이 충분히 나타남을 알 수가 있다.

Table 24. 금속주입목재복합체의 원적외선 방사율

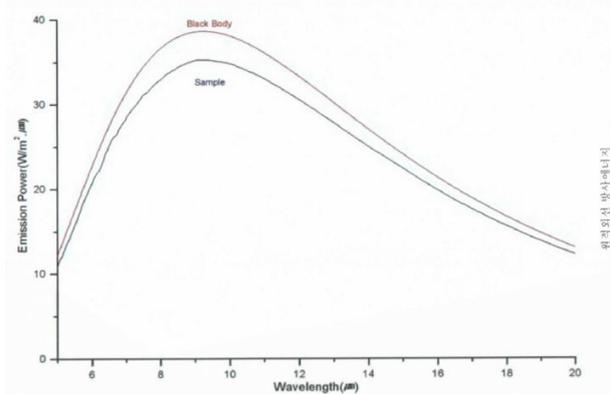
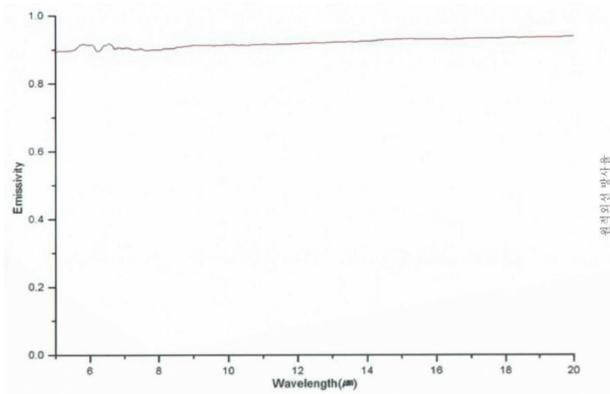
시험 항목	방사율 (측정온도:40,측정파장:5~20um)	방사에너지 (측정온도:40,측정파장:5~20um)
물푸레나무	0.91	3.67×10 ² W/m ²
금속주입물푸레나무	0.89	3.57×10 ² W/m ²
Radiata pine	0.914	3.68×10 ² W/m ²
금속주입 Radiata pine	0.89	3.59×10 ² W/m ²
Walnut	0.917	3.70×10 ² W/m ²
금속주입 Walnut	0.909	3.67×10 ² W/m ²
* FT-IR Spectrometer 측정결과		



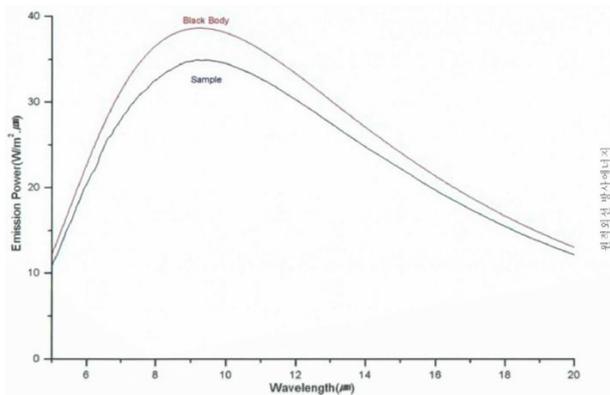
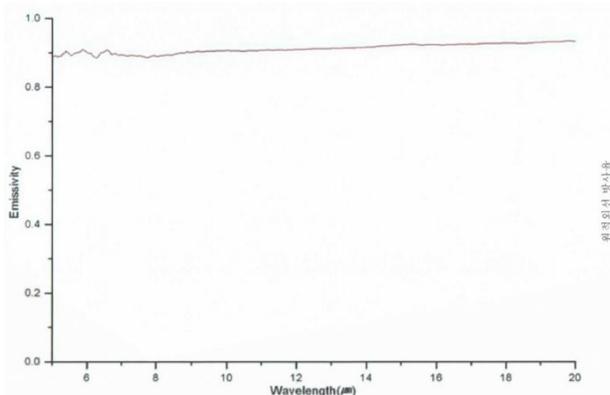
Radiata pine



금속주입 Radiata pine



Walnut



금속주입 Walnut

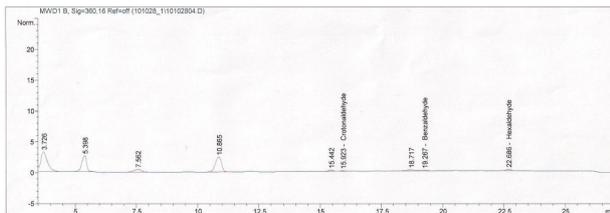
Fig 17. 금속주입목재복합체의 원적외선 방사율

5. 금속주입목재복합체의 TVOC

Table 25과 Fig 18은 금속주입목재복합체의 TVOC를 나타낸 것으로 금속주입된 Radiata pine과 Walnut 두 개의 수종을 KS F 1998의 소형챔버법에 의하여 열탈착식 가스크로마토질량분석기(Thermal Desorption Gas Chromatograph Mass Spectrometer ;TD-GC-MSD)를 이용하여 측정하였다. Table 25에서 보는바와 같이 금속주입목재의 경우 TVOC나 HCHO 모두가 최우수 등급보다 더 낮은 방출량을 나타내어 최우수등급의 친환경 재료임을 알 수가 있었다.

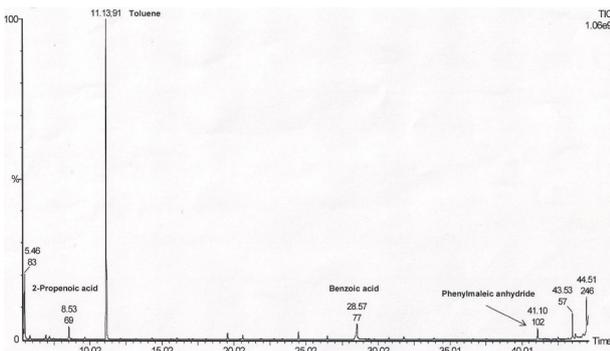
Table 25. 금속주입목재복합체의 TVOC

	TVOC (mg/m ² ·h)	최우수등급	HCHO (mg/L)	최우수등급
금속주입목재 (Radiata pine, Walnut)	0.013	0.1	0.007	0.3



TO11 Compounds	RetTime	Area	Amt/Area	Amount(%/f)
1 Formaldehyde	5.398	36.442	0.002	0.055
2 Acetaldehyde	7.766	-	-	-
3 Acrolein	11.171	-	-	-
4 Acetone	12.445	-	-	-
5 Propionaldehyde	14.755	-	-	-
6 Crotonaldehyde	15.923	1.267	0.004	0.005
7 Butyraldehyde	17.568	-	-	-
8 Isovaleraldehyde	19.267	1.181	0.001	0.001
9 Valeraldehyde	19.535	-	-	-
10 o-Tolualdehyde	20.271	-	-	-
11 m,p-Tolualdehyde	20.622	-	-	-
12 Hexaldehyde	22.686	2.904	0.005	0.014
13 2,5-Dimethylbenzaldehyde	23.550	-	-	-
Totals				0.075

Formaldehyde 0.055 mg/f = 0.007 mg/f/h



TO14 Compounds	R.T.	Height	Area	AE	mg/f	mg/f/h	%
1 Chloroform							
2 Ethane, 1,2-dichloro-							
3 Ethane, 1,1-dichloro-							
4 Benzene				0.000	0.000	0.000	0.00
5 Carbon tetrachloride							
6 Propane, 1,2-dichloro-							
7 Trichloroethylene							
8 1-Propane, 1,3-dichloro-, cis							
9 1-Propane, 1,3-dichloro-, trans							
10 Ethane, 1,1,2-trichloro-							
11 Toluene	11.126	89417944	95054180	0.053	0.026	0.007	52.30
12 Ethane, 1,2-dibromo-							
13 Tetraachloroethylene							
14 Benzene, chloro-							
15 Ethylbenzene							
16 m,p-Xylene							
17 Styrene							
18 o-Xylene							
19 Benzene, 1,3-dimethyl-							
20 Benzene, 1,2,4-trimethyl-							
21 Benzene, 1,2-dichloro-							
22 Benzene, 1,3-dichloro-							
23 Benzene, 1,4-dichloro-							
24 Benzene, 1,2,4-trichloro-							
25 1,3-Butadiene, 1,2,3,4-tetrachloro-							
Known Total			56054180	0.053	0.026	0.007	52.30
Unknown Total			51125641.89	0.08	0.02	0.01	47.70
Total Concentration			107180122	0.156	0.050	0.013	100.00

시료부피용 (Loading Factor) = 1.96 m³/f
환기회수 (Air Exchange Rate) = 0.50 /hour

Total Known: 0.007 mg/f/h
Total Unknown: 0.006 mg/f/h
Total concentration (TVOC) = 0.013 mg/f/h

Unknown Compounds	R.T.	CAS#	Area	AE	mg/f	mg/f/h	%
1 2-Propenoic acid	8.53	40-43-9	231269.75	0.003	0.001	0.000	2.18
2 Benzoinic acid	28.65	85-85-0	5776986	0.009	0.003	0.001	5.39
3 Phenylmaleic anhydride	41.10	36122-35-7	2102045	0.003	0.001	0.000	1.95

Fig 18. 금속주입목재복합체의 TVOC

6. 금속주입목재복합체의 전자과 차폐율

Table 26와 Fig 19는 금속주입목재복합체의 전자과 차폐율을 나타낸 것으로 금속주입된

Radiata pine과 Walnut 두 개의 수종을 ASTM4935-99, KS C 0304 :1998에 의거하여 한국전자파연구원에 의뢰하여 측정하였다. Table 26에서 보는바와 같이 일반 목재의 전자파 차폐율은 0%인데 반하여 금속주입목재복합체의 경우에는 92%에서 99.99%까지의 높은 전자파 차폐율을 나타남을 알 수가 있었다.

Table 26. 금속주입목재복합체의 전자파 차폐율

종류	Frequency(MHz)	Shielding Effectiveness(db)	Shielding Effectiveness(%)
백탄 숯보드	10 ~ 1000	17 ~ 37	98.00 ~ 99.98
오동나무	30 ~ 1500	0	0
금속화주입Walut	30 ~ 1500	11.3~41	92.59~99.99
금속화주입RadiataPine	30 ~ 1500	13.1~28.2	95.1~99.84

* 시험환경: 24±2℃,43±5%RH
 * 시험방법: ASTM 4935-99, KS C 0304 :1998
 * 차폐효율(%) = (1-10-A/10) × 100 (A dB의 차폐효율 경우)

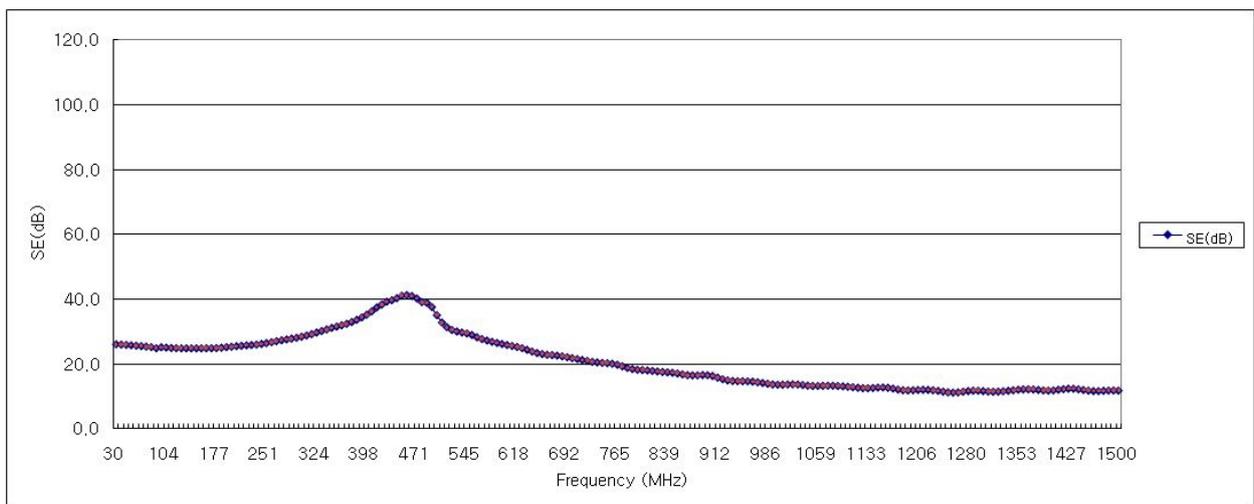
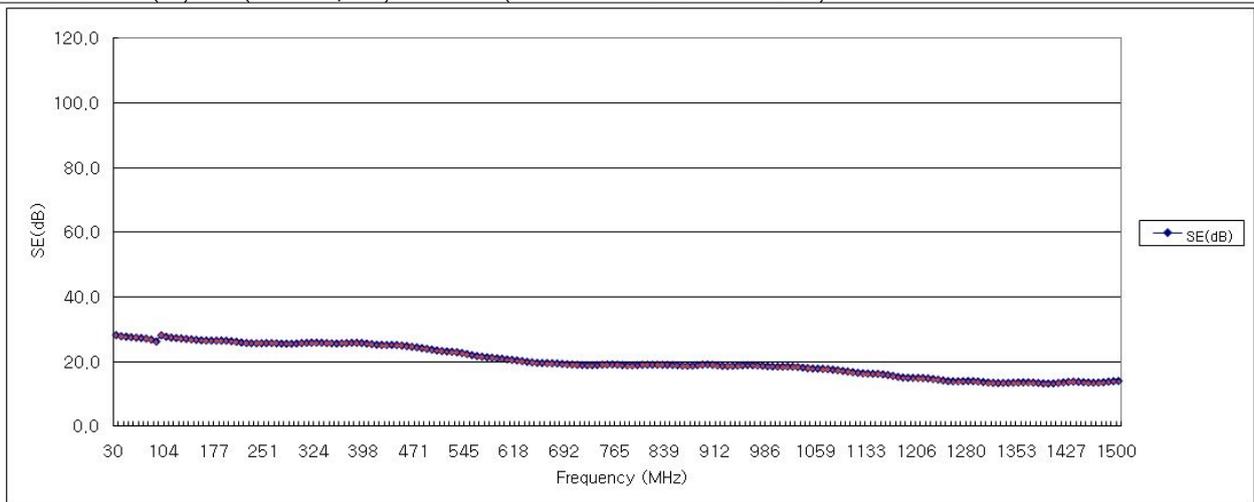


Fig. 19. 금속화주입 Radiata Pine(위)과 Walnut(아래)

7. 금속주입목재복합체와 합판의 접착제 별 접착강도 및 포름알데히드 방산량

가. 접착제 별 접착강도

Fig 20~23은 금속주입목재복합체를 대판인 합판에 접착할 때 접착이 잘 이루어지는지를 상태(비내수) 인장전단접착력, 준내수 인장전단접착력, 내수 인장전단접착력 시험과 침지 박리 접착력시험을 KS M 3720:2008 의거하여 측정한 결과다. 시험결과(그림 내의 괄호안의수치는 평균 목과율을 나타냄)로 비내수, 준내수, 내수 접착력 시험 모두에서 미처리재 이상의 접착력을 보였으며 에폭시 수지와 페놀수지는 준내수 접착력과 내수 접착력이 UMF나 UF보다 높게 나타났으며 특히 내수 접착력이 높게 나타났다. Fig 23은 내수 침지 박리 시험결과로 합판과의 박리율을 나타낸 것이다. 금속주입재가 미처리재인 목재보다 내수 침지 박리율이 낮게 나타나 내구성이 높게 나타났으며 모두 KS에 합격하였다. 따라서 금속화 처리가 접착력에 나쁜 영향을 미치지 않을 뿐만 아니라 박리도 적게 나타나 매우 우수한 성질을 나타내고 있었다. 이러한 이유는 금속처리재는 수분을 침투시키지 못하는 반면 무처리재는 상대적으로 수분이 잘 침투되므로 수분 스트레스가 영향을 주는 차이인 것으로 생각되어진다.

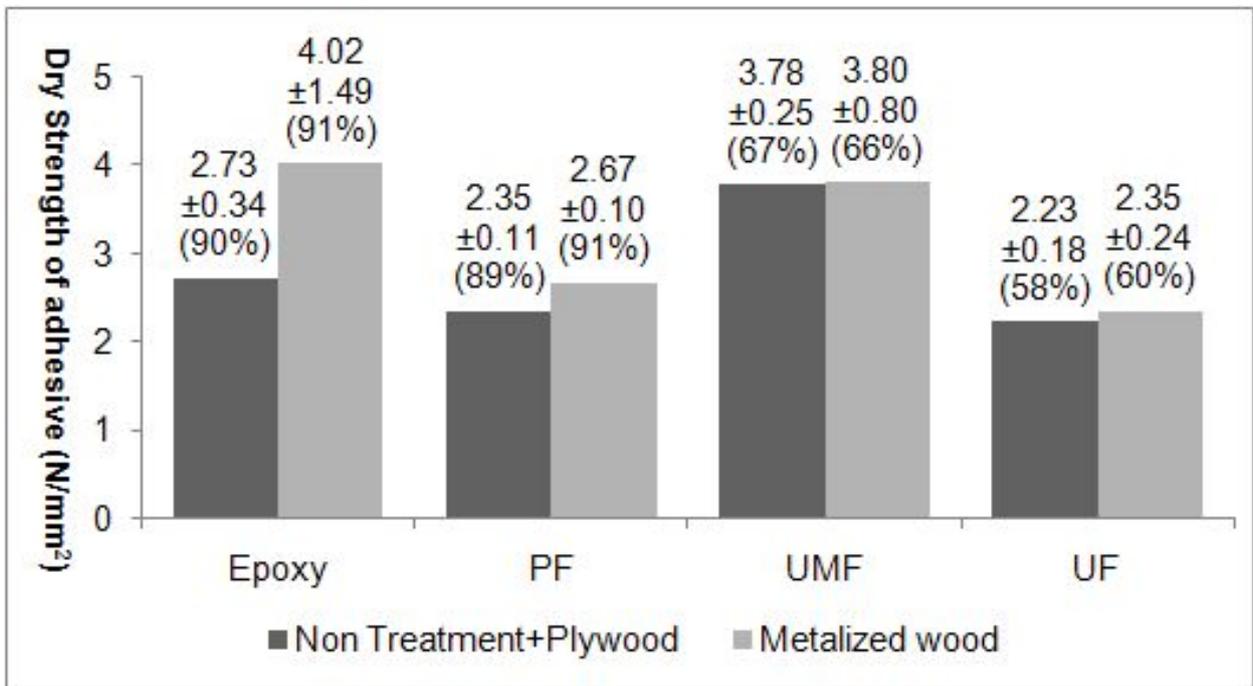


Fig 20. Dry Strength of adhesive of metalized wood

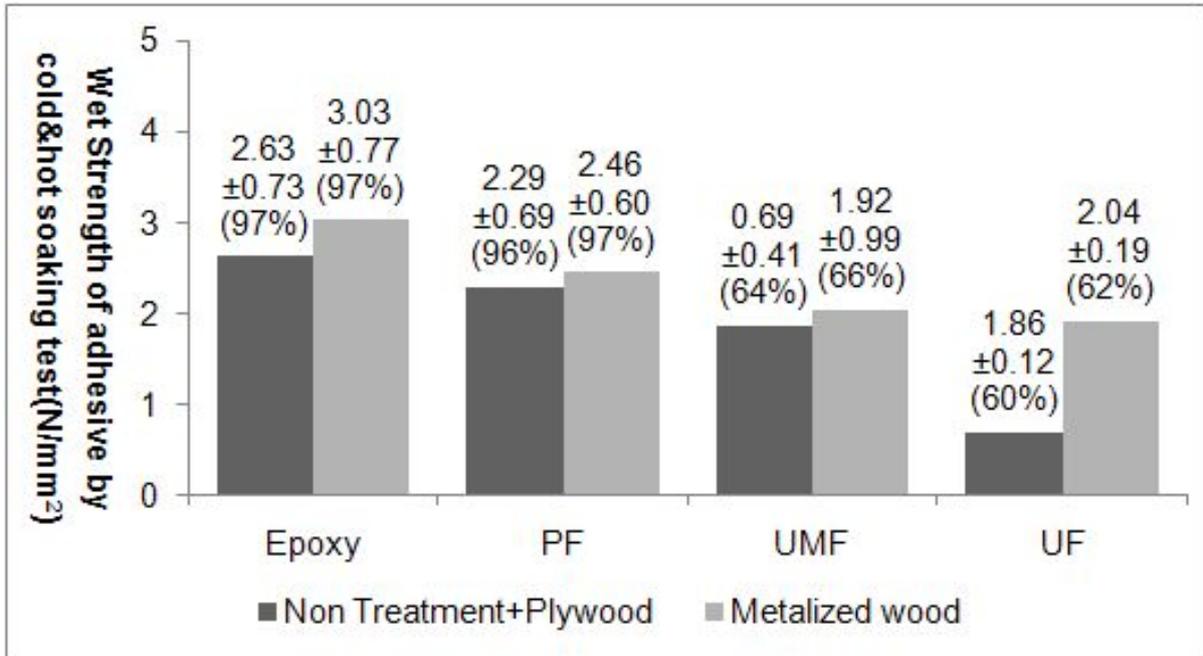


Fig 21. Wet Strength of adhesive by hot & cold bath test of metalized wood

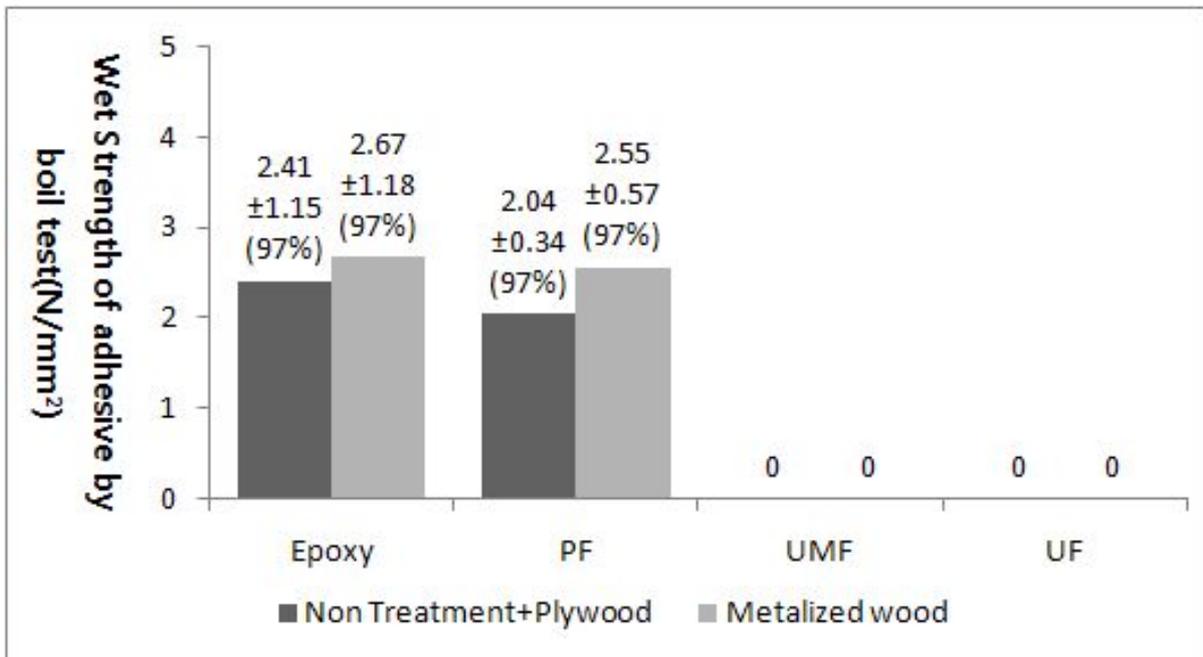


Fig 22. Wet Strength of adhesive by boil test of metalized wood

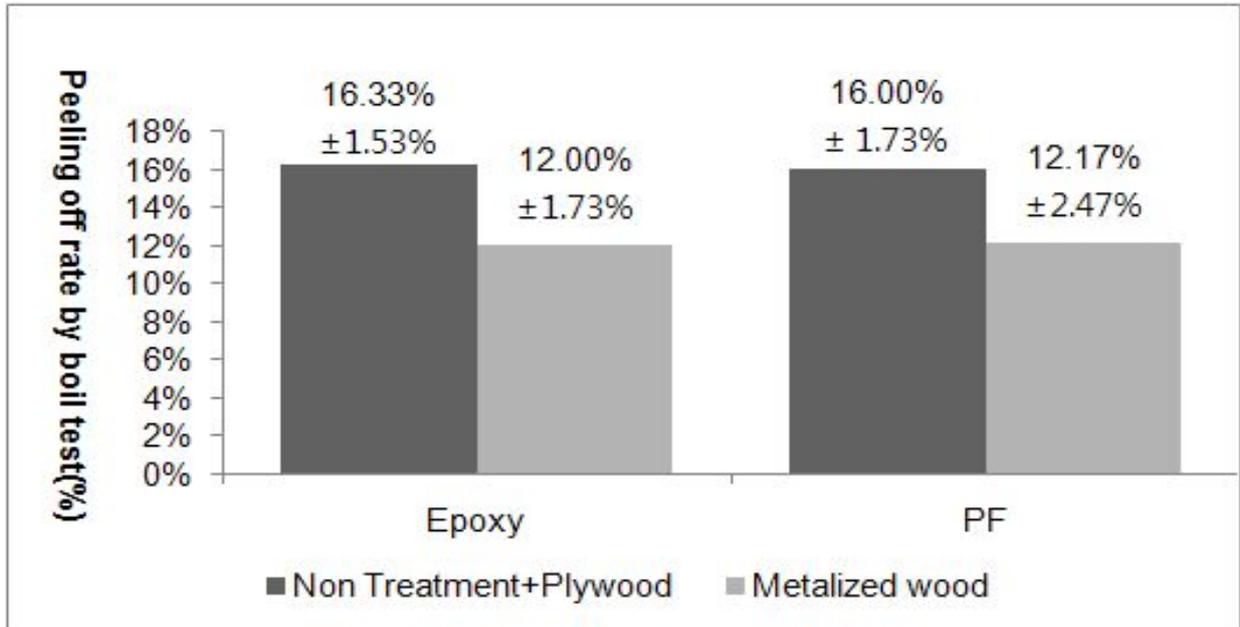


Fig 23. Peeling off rate by boil test of metalized wood

나. 포름알데히드 방산량

Table 27은 금속주입목재복합체화 합판의 접착후의 테시케이터법(KS M 1998)에 의한 포름알데히드 방산량을 나타낸 것이다. 이 때 사용한 UMF수지(NVC 54%, 최종 pH 6.5)와 UF수지(50%, pH 7.5)는 현재 합판회사에서 사용하는 E1등급을 사용하였으며, Epoxy수지(NVC 98%, pH 6.5)는 시중에서 구입하고 PF수지(몰비 페놀 : 37% 포르말린 = 1 : 1.63, NVC 60%, pH 11.5)는 실험실에서 제조하여 사용하였다. 금속주입목재복합체의 경우 Table 25에서와 같이 TVOC나 HCHO의 방산이 없는 최우수등급보다 더 우수한 재료이므로 금속주입목재와 합판을 대판으로 접착한 금속주입목재복합체 마루판의 경우는 Table 27에서 보는 바와 같이 접착제에 따라 결정됨을 알 수 있었다.

Table 27. 금속주입목재복합체화 합판의 접착제에 따른 포름알데히드 방산량

	Epoxy	PF	UMF	UF
HCHO (mg/L)	0.103	0.12	1.68	2.66

8. 금속주입목재복합체의 도장성 시험

금속주입목재복합체의 도장은 현재 목질마루판에서 사용되는 최고 품질의 환경친화형 도료를 적용하여 UV도장 공정으로하여 소지조정과정 (2 Head sander를 이용한 Sanding, #180, #240)을 거친 후, 하도, 중도, 상도 도장 공정을 거쳤다. UV코팅도료로서 1회의 하도와 2회의 상도라인공정을 거치는데 무용제 타입 우레탄 아크릴레이트계 UV도료를 사용하였고, 중도라인공정은 4회 공정으로서 무용제 타입 에폭시 아크릴레이트계 UV도료를 적용하여 도장하

였다. 도장된 금속주입목재복합체의 도막 성능은 KS F 3111에 의거하여 내한성, 내열성, 내산성, 내알카리성, 내마모성, 도막 밀착력을 측정 실험한 결과 모두 합격하였으며 복합체의 도장성이 목재와 차이 없이 매우 우수하였다. 색상표현은 항을 달리하여 설명하였다.

가. 내한성 및 내열성 시험

내한성 및 내열성 시험 결과 Fig 24과 같이 도막의 표면에 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 광택의 변화가 없어 품질기준에 모두 합격하였다. 이는 금속주입처리가 도막에 영향을 주지 않음을 알 수가 있다.

나. 내산성 및 내알카리성 시험

내산, 내알카리성 시험 Fig 25와 같이 도막의 변색이나 부풀음의 어떠한 변화도 일어나지 않았다. 이는 도막의 형성에 금속주입처리가 변화를 주지 않음을 알 수가 있다.

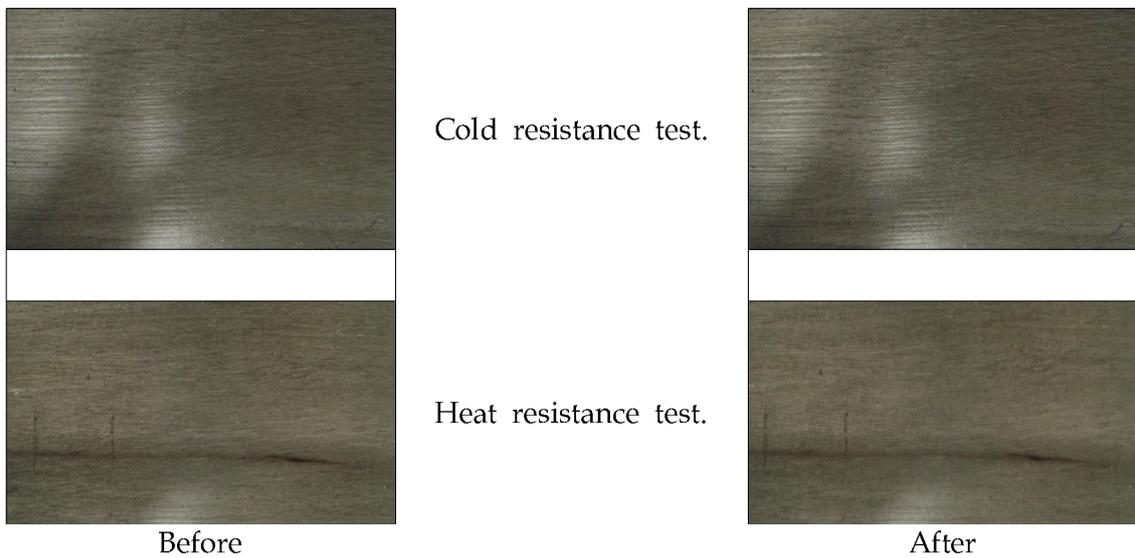


Fig 24. 내한성 및 내열성 시험

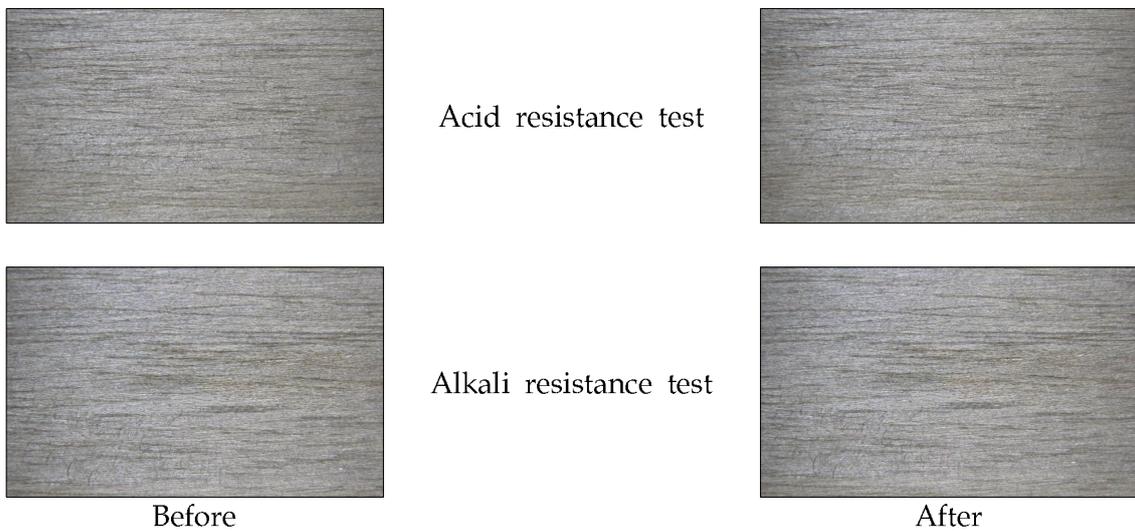


Fig 25. 내산, 내알카리성 시험

다. 내마모성 시험

금속주입목재복합체의 도장 후 도막의 내마모성시험결과 500회전 후 마모량이 0.63g 이었으며 목재의 도장 후 도막의 내마모성시험결과는 0.65g으로 차이가 거의 나타나지 않았다. 내마모성시험의 기준에서 흔들용은 회전수가 1,000회전에서 마모중점이 나타나지 않도록 되어 있는데 금속주입금속주입목재복합체의 도막에서 마모중점이 나타나지 않아 품질기준에 합격하였다.

라. 도막 밀착력 시험

금속주입목재복합체의 도장 후 도막의 도막밀착력의 시험결과 Fig 26에서 보는 바와 같이 테이프로 묻어나는 이물질이 없이 격자의 전체의 부위도 박리되지 않아 1등급으로 품질기준에 합격하여 금속주입목재복합체의 금속주입이 도막밀착력에 어떠한 나쁜 영향도 주지 않음을 알 수가 있었다.

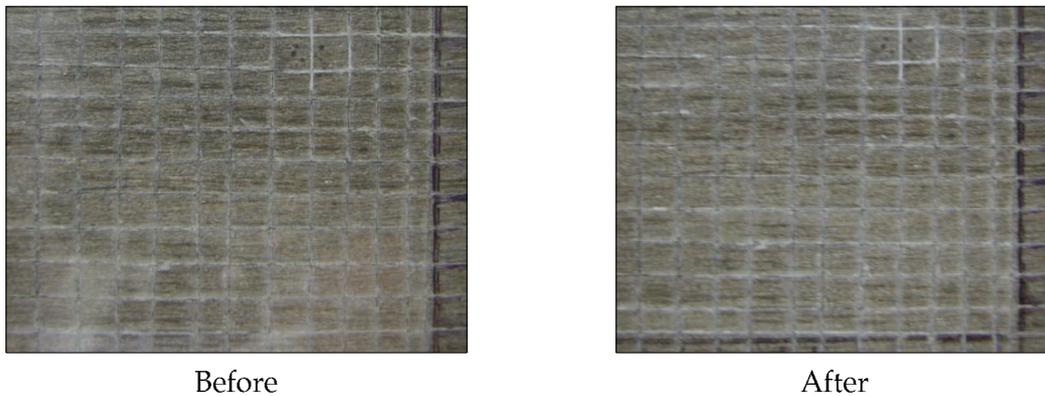


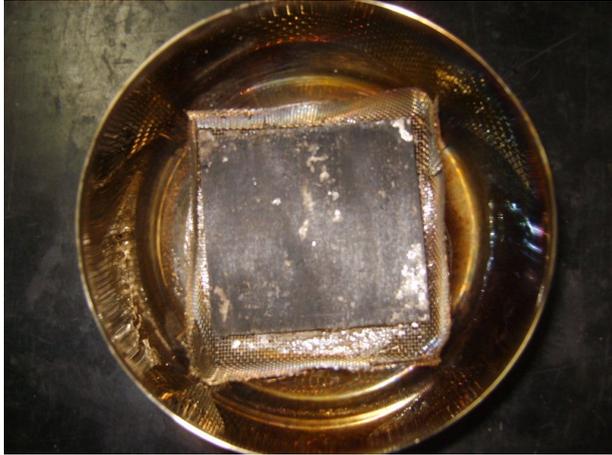
Fig 26. Adhesion test by masking tape

9. 금속주입목재복합체의 Recycle 시험 결과

금속주입목재복합체의 금속의 재활용 회수율을 알아보기 위하여 Fig 27과 같이 5×5×1cm 크기의 금속주입목재복합체를 용광로와 같은 높은 온도로 가열시키고 난 후 녹아나온 금속회수량을 측정하였다. 고온처리 후 금속주입목재복합체의 목재는 노란 색의 재로 변화였으며, 금속은 아래의 망을 통과하여 빠져나왔다. Table 28은 주입된 금속과 이후에 빠져 나온 금속을 양을 회수율로 나타낸 것으로 Radiata Pine은 고온처리 후 95%정도의 높은 금속 회수율이 나타났다. 만약 용광로를 통한 고온처리의 경우 슬래그를 걷어낼 때의 약간의 손실량만 빼고는 보다 높은 금속의 회수율을 기대할 수 있을 것이다.

Table 28. 금속주입목재복합체의 Recycle 비율

	목재 중량(g)	주입된 금속 중량(g)	Recycle 금속량(g)	회수율(%)
Radiata Pine	11.04	120.52	114.25	94.78%
Walnut	14.51	85.01	80.9	95.16%



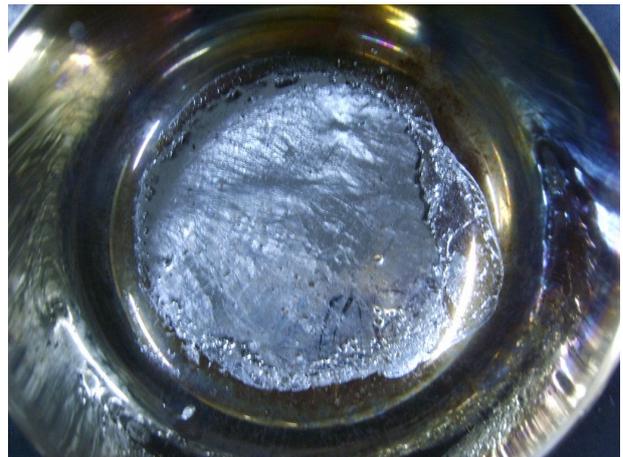
금속주입목재복합체



고온처리 과정



탄화후 남은 목재의 재



탄화 과정후 빠져 나온 금속

Fig 27. 금속주입목재복합체의 Recycle 시험

10. 국산 간벌재를 이용한 금속주입목재복합체의 특성

가. 공시재료

(1) 간벌재

금속주입목재로 사용된 간벌재는 충주연습림에서 1975~2005년까지 31년 된 가래나무 (*Juglans mandshurica* M)의 간벌재를 100×250×5mm의 크기로 재단하여 금속주입목재를 제조하였고 마루판으로의 이용을 위하여 실제크기 75×900×7.5mm로 실험을 실시하였다.

(2) 저온용융합금

금속주입목재에 사용된 금속은 인체에 무해하고 안전한 비스무스(Bi)와 주석(Sn)을 사용하였다. 비스무스의 용점은 271.5℃이고 주석의 용점은 232.06℃이다. 이 두 금속의 조성에 따라 용융점과 특성이 다르게 나타나는데 금속주입목재에 사용된 합금은 비스무스와 주석을 58 : 42의 중량비로 합금시킨 용융온도 138℃의 저온용융합금을 사용하였다.

나. 실험 방법

(1) 금속주입목재의 제조

목재를 가압과 감압 및 가열을 할 수 있는 실린더내에서 가열을 통해 미리 용융된 비스무스와 주석의 저온용융합금의 액체에 목재가 처리조에 잠기도록 하고 실린더의 문을 닫고 소정 온도로 유지하도록 가열하면서 진공펌프에 의하여 감압하여 목재 내의 공기를 제거한 후에 다시 가압하여 목재 속으로 액체상태의 저온용융합금을 주입한다. 처리조건에 따라 주입이 완료되면 압력 해제 후 목재를 처리조의 액체금속으로부터 꺼내면서 표면에 묻어 있는 금속을 가열브레이드로 긁어내어 처리조에 다시 돌려보낸다. 실린더 내의 처리조로부터 밖으로 나온 금속주입목재는 냉각되어지고 샌딩을 통하여 표면을 다듬으면 제조가 완료된다.

(2) 처리조건의 규명

금속주입가래나무의 제조조건으로 600-700mmHg로 감압유지시간 3 수준 (10분, 20분, 30분), 가압력은 3 수준(10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm²), 가압시간은 6분20초, 10분, 20분의 3수준으로 처리하였다. 처리온도는 용융점과 목재에 해를 주지 않는 200℃ 사이의 온도를 사용하여 3 수준(163℃, 176℃, 187℃)으로 처리 조건을 정하여 최적조건을 구명하고 실제 마루판 크기의 가래나무에 적용하였다.

(3) 처리된 금속주입가래나무의 주입형태 분석

금속주입 된 가래나무의 3단면을 채취하여 최대한 면을 깨끗이 하고 알루미늄 시료대 위에 전도성 접착제를 사용하여 마운팅하고 고진공상태에서 sputter coater (SCD 005)를 이용하여 gold coating 하였다. 제작한 3단면의 시료를 Philips사의 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope) XL30 ESEM TMP로 관찰하여 해부학적인 특성에 따른 금속의 주입형태를 살펴보았다.

다. 결과 및 고찰

Table 29~36은 가래나무를 금속 주입 조건별로 처리하였을 때의 물리·기계적인 성질을 나타낸 것이다. 감압시간에서는 진공펌프를 이용하여 실린더 내의 감압을 유지하는 시간으로 일반적인 약액 주입 시 감압시간은 30~60분 정도를 적용하지만 금속주입시 방부주입액 처리 온도보다 고온에서 처리하고 처리시편이 침목이나 전신주보다 두께가 얇기 때문에 10, 20, 30분 간격으로 30분 이내로 시험을 실시하였다. 감압시간에 따른 물리·기계적성질은 Table 29와 30에서 보는 것과 같이 거의 차이가 없었으며 흡수율은 마루판규격에 없는 내용이지만

참고로 측정하였으며 통계적으로 차이는 있었으나 전부 2%미만으로 무시해도 좋은 정도였고 두께팽윤율은 마루판의 KS 규격이 6%이하인데 전부 3%이하로 규격을 모두 만족시켰다. 따라서 경제성을 고려할 때 10분의 감압시간을 주는 것이 적합하였다.

처리온도는 용융점 138℃와 목재에 해를 주지 않는 200℃ 사이의 온도를 사용하였다. 처리온도에 따른 차이는 Table 31과 32에서 보는 바와 같이 모든 면에서 거의 차이가 없었고 187℃의 처리조건에서 함수율이 조금 더 낮은 것으로 나타났으며, 163℃에서 압력을 주기 위하여 질소가스를 주입할 때 내부온도가 138℃ 가까이 떨어져 처리조의 양 끝부분에서 약간의 합금이 굳는 현상이 나타났다. 따라서 작업의 용이성을 볼 때 금속의 빠른 용융과 위의 문제를 감안할 때 187℃가 적당하였다.

적정압력은 Table 33와 34에서 보듯이 물리·기계적성질이 압력 10kgf/cm²에서 가장 나빴으며, 30kgf/cm², 50kgf/cm²에서는 거의 비슷한 성질을 나타나 경제성을 고려할 때 30kgf/cm²의 압력이 적정압력으로 나타났으며, 적정가압시간은 Table 35와 36에서 보듯이 물리·기계적성질이 통계적으로 6분20초에서는 차이를 나타내었으며 10분과 20분의 가압시간에서는 성질의 차이가 나타나 않아, 10분이 적정가압시간 나타났다. 따라서 가래나무의 금속주입처리조건은 감압시간 10분, 온도 187℃, 압력 30kgf/cm², 가압시간 10분이 최적의 조건으로 나타났다.

Table 29. Physical properties of composites along with the vacuum time

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=0.679**		Moisture Content (%) F=0.438**		Water Absorption (%) F=25.208**		Thickness Swelling (%) F=0.124**		Thermal Conductivity (W/mK) F=0.399**		Electric Resistance (Ω) F=38.1**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
10'-50kgf/cm ² - 187℃-10'	4.92 ± 0.21	A	0.77 ± 0.2	A	1.30 ± 0.02	A	2.74 ± 0.54	A	0.5281 ± 0.0069	A	0.58 ± 0.05	A
20'-50kgf/cm ² - 187℃-10'	4.80 ± 0.3	A	0.81 ± 0.13	A	1.97 ± 0.18	B	2.69 ± 0.53	A	0.5194 ± 0.0257	A	0.43 ± 0.05	B
30'-50kgf/cm ² - 187℃-10'	4.64 ± 0.47	A	0.87 ± 0.05	A	1.45 ± 0.1	A	2.55 ± 0.32	A	0.5157 ± 0.0145	A	0.26 ± 0.58	C

Table 30. Mechanical properties of composites along with the vacuum time

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=0.651**		Bending Strength (N/mm ²) F=1.091**		Hardness (N/mm ²) F=0.667**		Abrasion depth (mm)
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	
10'-50kgf/cm ² - 187℃-10'	705.87 ± 21.6	A	193.97 ± 4.7	A	87.32 ± 20.52	A	0.072
20'-50kgf/cm ² - 187℃-10'	700.06 ± 27.24	A	200.4 ± 10.54	A	77.29 ± 12.4	A	0.072
30'-50kgf/cm ² - 187℃-10'	681.13 ± 43.32	A	211.9 ± 19.28	A	70.35 ± 27.12	A	0.048

Table 31. Physical properties of composites along with the temperature

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=0.562**		Moisture Content (%) F=4.187**		Water Absorption (%) F=1.046**		Thickness Swelling (%) F=0.122**		Thermal Conductivity (W/mK) F=0.712**		Electric Resistance (Ω) F=2.192**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
10 ¹ -50kgf/cm ² - 163°C-10'	4.79 ± 0.28	A	1.16 ± 0.04	B	1.71 ± 0.21	A	2.64 ± 0.48	A	0.549 ± 0.02	A	0.52 ± 0.05	A
10 ¹ -50kgf/cm ² - 176°C-10'	4.76 ± 0.18	A	0.83 ± 0.23	AB	1.72 ± 0.67	A	2.55 ± 0.34	A	0.5326 ± 0.01	A	0.65 ± 0.13	A
10 ¹ -50kgf/cm ² - 187°C-10'	4.92 ± 0.21	A	0.77 ± 0.2	A	1.30 ± 0.02	A	2.74 ± 0.54	A	0.528 ± 0.007	A	0.58 ± 0.05	A

Table 32. Mechanical properties of composites along with the temperature

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=1.050**		Bending Strength (N/mm ²) F=0.523**		Hardness (N/mm ²) F=0.441**		Abrasion depth (mm)
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	
10 ¹ -50kgf/cm ² - 163°C-10'	694.90 ± 48.27	A	202.67 ± 8.21	A	70.83 ± 21.81	A	0.048
10 ¹ -50kgf/cm ² - 176°C-10'	739.36 ± 57.74	A	200.53 ± 7.31	A	77.24 ± 31.36	A	0.072
10 ¹ -50kgf/cm ² - 187°C-10'	705.87 ± 21.6	A	196.97 ± 4.7	A	87.32 ± 20.52	A	0.072

Table 33. Physical properties of composites along with the pressure

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=253.337**		Moisture Content (%) F=14.557**		Water Absorption (%) F=205.43**		Thickness Swelling (%) F=4.231**		Thermal Conductivity (W/mK) F=402.761**		Electric Resistance (Ω) F=18.038**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
10 ¹ -10kgf/cm ² - 187°C-10'	1.66 ± 0.05	A	3.76 ± 1.19	A	13.37 ± 1.34	A	3.58 ± 0.3	A	0.1416 ± 0.02	A	0.95 ± 0.24	A
10 ¹ -30kgf/cm ² - 187°C-10'	4.67 ± 0.33	B	1.44 ± 0.24	B	2.01 ± 0.47	B	2.72 ± 0.36	B	0.5644 ± 0.03	B	1.2 ± 0.08	B
10 ¹ -50kgf/cm ² - 187°C-10'	4.92 ± 0.21	B	0.77 ± 0.2	B	1.30 ± 0.02	B	2.74 ± 0.54	B	0.5281 ± 0.007	B	0.58 ± 0.05	C

Table 34. Mechanical properties of composites along with the pressure

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=1190.203**		Bending Strength (N/mm ²) F=36.166**		Hardness (N/mm ²) F=26.198**		Abrasion depth (mm)
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	
10'-10kgf/cm ² - 187°C-10'	202.82 ± 16.97	A	145.6 ± 12.34	A	22.42 ± 2.4	A	0.218
10'-30kgf/cm ² - 187°C-10'	701.78 ± 9.44	B	189.47 ± 4.16	B	73.38 ± 10.38	B	0.08
10'-50kgf/cm ² - 187°C-10'	705.87 ± 21.6	B	193.97 ± 4.7	B	87.32 ± 20.52	B	0.072

Table 35. Physical of properties composites along with the pressing time

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=19.63**		Moisture Content (%) F=8.601**		Water Absorption (%) F=3.094**		Thickness Swelling (%) F=2.07**		Thermal Conductivity (W/mK) F=50.488**		Electric Resistance (Ω) F=18.9**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
10'-30kgf/cm ² - 187°C-6'20"	3.74 ± 0.26	A	1.78 ± 0.29	A	2.48 ± 0.2	A	2.97 ± 0.2	A	0.4111 ± 0.01	A	1.56 ± 0.19	A
10'-30kgf/cm ² - 187°C-10'	4.67 ± 0.33	B	1.44 ± 0.24	AB	2.01 ± 0.47	A	2.72 ± 0.36	A	0.5644 ± 0.03	B	1.18 ± 0.08	B
10'-30kgf/cm ² - 187°C-20'	4.8 ± 0.16	B	1.02 ± 0.11	B	1.87 ± 0.19	A	2.5 ± 0.28	A	0.5548 ± 0.02	B	0.98 ± 0.13	C

Table 36. Mechanical properties of composites along with the pressing time

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=36.072**		Bending Strength (N/mm ²) F=30.776**		Hardness (N/mm ²) F=1.022**		Abrasion depth (mm)
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	
10'-30kgf/cm ² -187 °C-6'20"	603.24 ± 19.89	A	162.01 ± 9.01	A	63.9 ± 5.69	A	0.104
10'-30kgf/cm ² -187 °C-10'	701.78 ± 9.44	B	189.47 ± 4.16	B	73.38 ± 10.38	A	0.08
10'-30kgf/cm ² -187 °C-20'	705.96 ± 25.29	B	201.67 ± 4.71	B	71.32 ± 12.34	A	0.08

5) 금속주입가래나무의 주입형태

가래나무는 반환공재로 도관분포수가 8~19/mm², 도관의 접선방향직경은 65~170 μ m, 길이는 240~740 μ m이고 단일천공이며 방사조직은 1~4열로 주로 동성형이며 목섬유의 길이는 610~1820 μ m로 이(1994)는 보고하고 있다. Fig 28의 횡단면 사진에서는 도관과 목섬유에 금속

으로 충전되어 있음을 볼 수 있고 방사단면 사진에서 유세포는 금속이 주입되지 않았음을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 Naeser(1930)와 Martel(1930)이 너도밤나무와 같은 환공재의 변재는 처리하기가 가장 좋으며 도관은 침투가 잘되고 방사조직은 침투가 안 되는 것으로 보고한 것과 동일한 결과를 가져왔다.

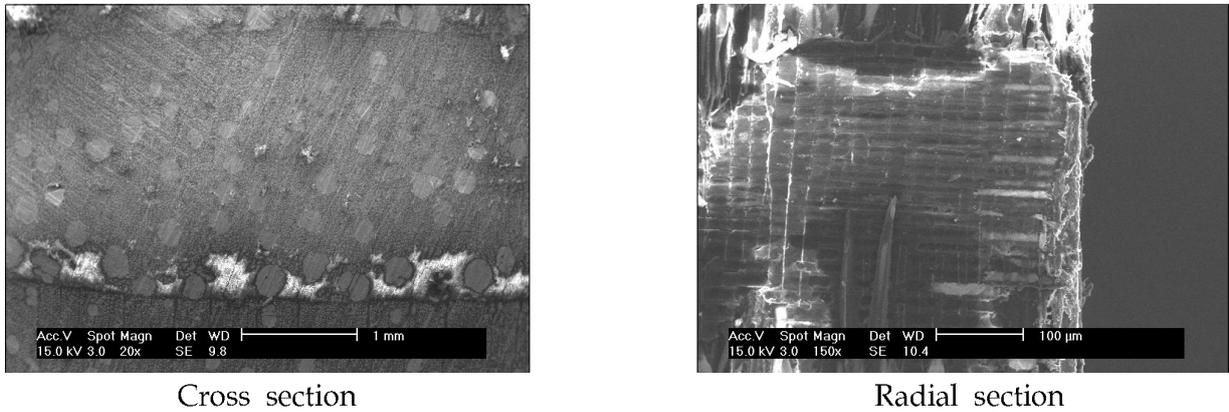


Fig 28. SEM micrographs of *Juglans mandshurica* impregnated with low melting alloy

11. 국내산 10개 수종의 금속주입목재복합체

가. 금속주입목재복합체

국내산 10개 수종을 적정조건으로 처리하여 금속주입처리후 성질을 알아보기 위하여 Bi-Sn 합금 주입처리를 실시하였다. white oak를 제외한 radiata pine, walnut, red oak, 가래나무의 경우 연구결과에서 얻은 적정처리 조건인 30kgf/cm²의 압력, 가압유지시간 10분과 진공시간 10분, 적정온도 186℃의 온도를 사용하였다. 국내산 10개 수종(낙엽송, 물푸레 나무, 소나무, 느티나무, 밤나무, 아카시아나무, 자작나무, 고로쇠 나무, 잣나무, 가래나무)을 크기 100×250×5mm³로 하여 진공시간 10분후 30kgf/cm²으로 가압시간 10분, 온도 186℃로 처리 하여 금속주입목재복합체를 제조하였다.

(1) 중량 증가율

Fig 29는 국내산 10개 수종의 중량증가율을 나타낸 것으로 소나무나 잣나무의 침엽수종이 800% 이상으로 가장 높은 증가율이 나타났으며, 활엽수종에서는 가래나무 자작나무등이 700%로 높게 나타났다. 아카시아를 제외한 모든 수종이 300%이상의 중량증가율을 나타냈다.

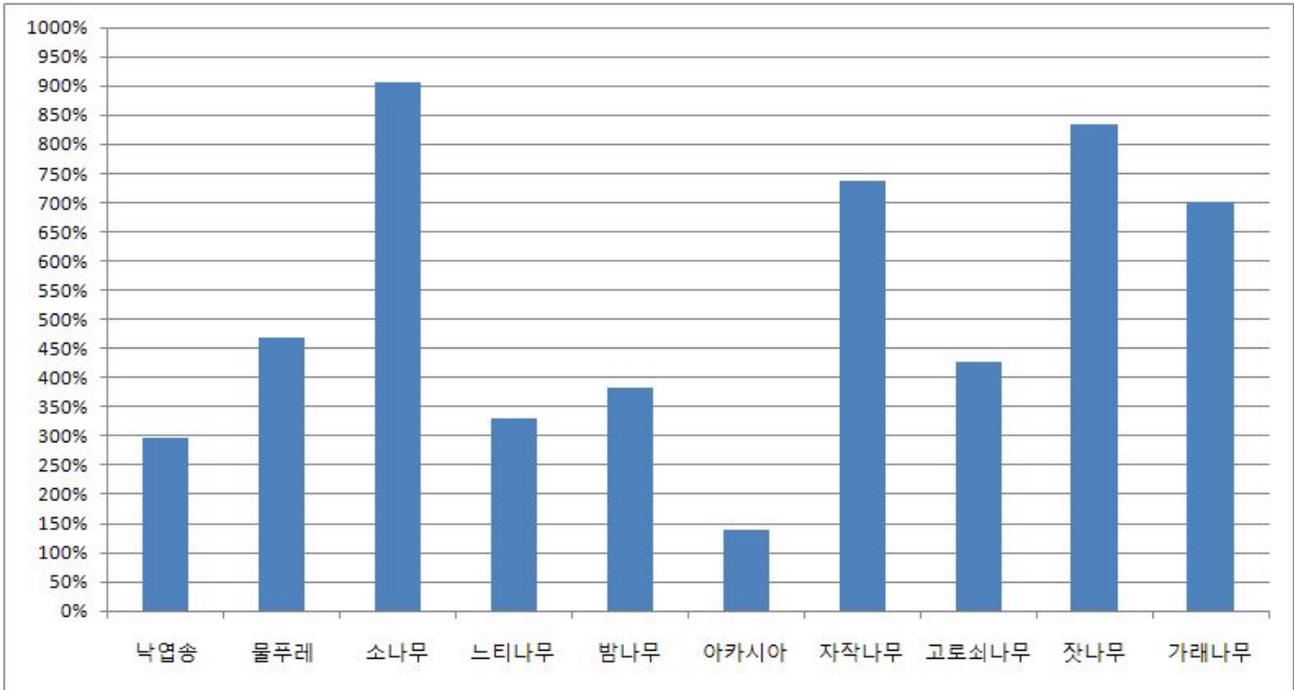


Fig 29. 국내산 10개 수종의 중량증가율

(2) 밀도 및 함수율

Fig 30은 금속주입 전후의 밀도를 나타낸 것으로 중량증가율에 비례하여 밀도가 상승하였으며, Fig 31은 금속주입 전후의 함수율을 나타낸 것으로 모두 1%이하로 크게 감소함을 알 수가 있었다. 따라서 밀도와 함수율의 변화에 따라 이 연구의 주된 수종에서 보고한 것처럼 치수안정성과 각종 물리 기계적인 성질의 향상을 기대할 수가 있을 것이다.

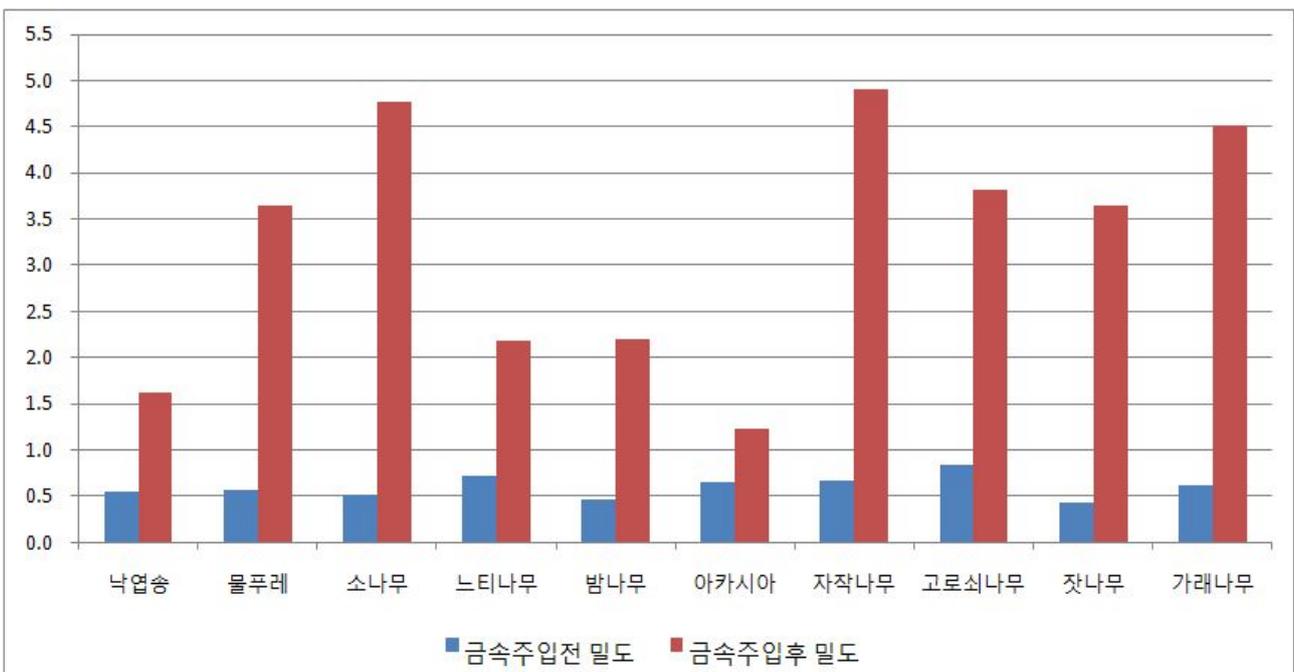


Fig 30. 국내산 10개 수종의 금속주입 전후의 밀도 변화

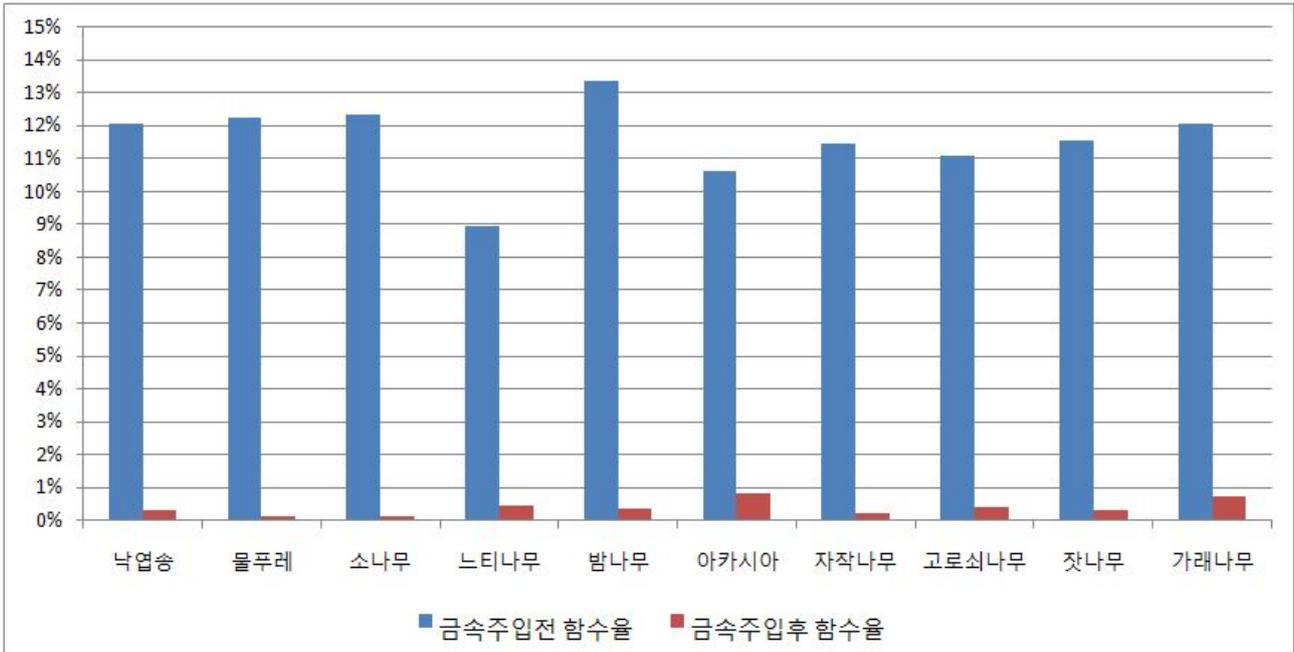


Fig 31. 국내산 10개 수종의 금속주입 전후의 함수율 변화

12. 금속주입목재복합체의 색상 표현

금속주입목재는 금속의 영향에 따라 나무 무늬는 그대로인데 색상이 회백색으로 바뀌게 된다. 회백색으로 바뀐 색상을 더 좋아하는 경우도 있지만 색상의 변화를 요구할 때를 대비하여 실험한 방법은 두 가지이다. 그 첫 번째는 착색도장에 의한 전통적인 방법이고 두 번째는 소재를 열처리하여 진한 색을 적절하게 나타내 도장하는 방법이었다. 두 가지 다 착색효과는 매우 좋았으며 금속주입목재복합체이라도 착색 도장에 아무 이상이 없음을 알 수 있었다. 열처리의 경우는 열처리에 의한 목재가 함수율이 낮아지므로 금속주입시 주입 효과가 높아지는 이점이 있으며 금속주입처리와 도장이 우수하게 되었다(Fig 42~Fig 43). 다음 사진(Fig 32~Fig 41.)들은 원목과 금속주입목재복합체를 도장과 착색 도장등을 통한 색상의 변화를 나타낸 것이다. 금속주입목재복합체의 색상은 전체적으로 원목의 색상에 금속의 색상인 회백색이 가미되어 중량증가율에 따라 회백상의 색상이 증가하게 된다. 도장성에서 이미 기술한 바와 같이 도장된 금속주입목재복합체의 도막 성능은 내한성, 내열성, 내산성, 내알카리성, 내마모성, 도막 밀착력은 전혀 문제가 없었고 일반목재의 도료 착색 도장처럼 도료의 착색을 통하여 그 색상을 조절 할 수가 있으므로 다양한 색의 변화가 가능함을 알 수 있었다.

1) 낙엽송

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 32. 낙엽송의 재색 변화

2) 물푸레 나무

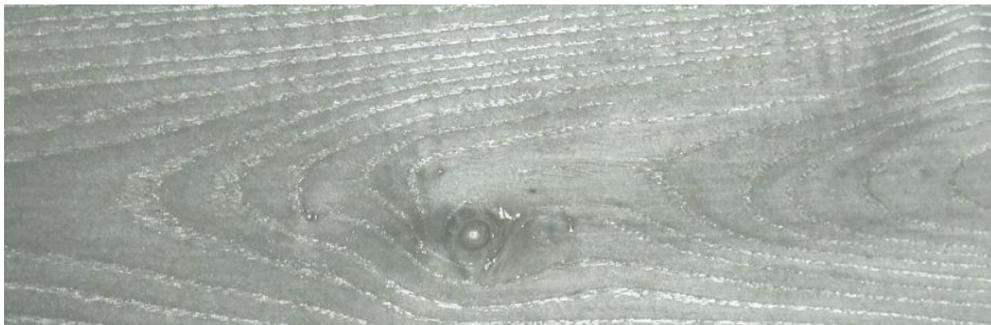
원목
미도장



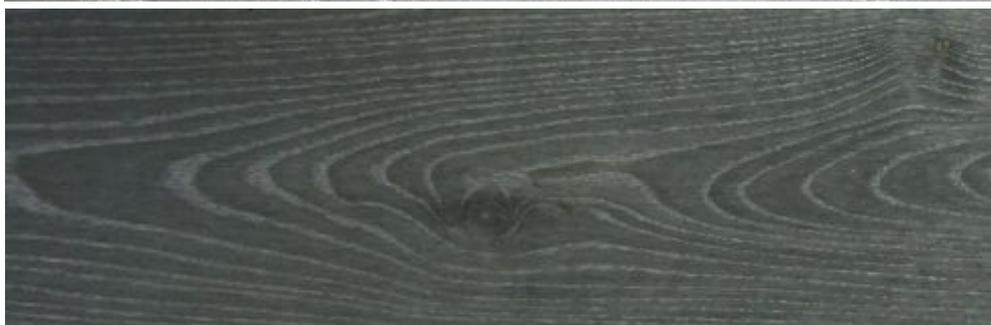
원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



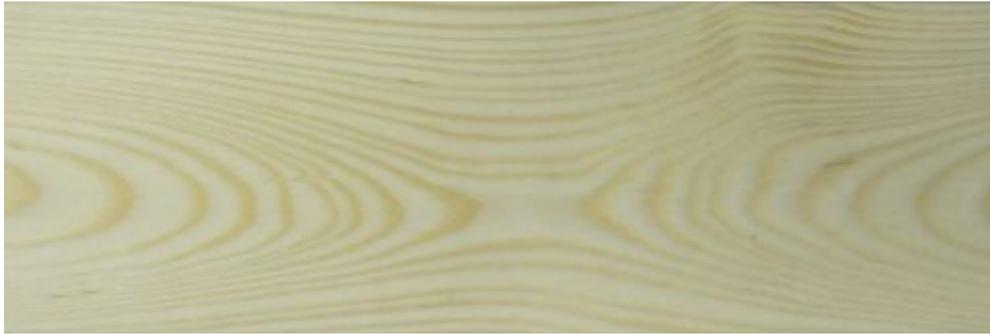
Fig 33. 물푸레나무의 재색 변화

3) 소나무

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 34. 소나무의 재색 변화

4) 느티나무

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 35. 느티나무의 재색 변화

5) 밤나무

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 36. 밤나무의 재색 변화

6) 아카시아

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 37. 아카시아의 재색 변화

7) 자작 나무

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 38. 자작나무의 재색 변화

8) 고로쇠 나무

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 39. 고로쇠 나무의 재색 변화

9) 잣나무

원목
미도장



원목
UV도장



금속주입
처리복합체
미도장



금속주입
처리복합체
UV도장



금속주입
처리복합체
UV착색도장



Fig 40. 잣나무의 재색 변화

10) 가래나무



Fig 41. 가래나무의 재색 변화

나. 열처리 목재의 금속주입처리를 통한 재색 변화

금속주입처리목재복합체의 두 번째 재색 변화 방법으로 열처리 온도와 시간에 따른 원목의 열처리를 통한 원목의 재색을 변화시킨 열처리재를 금속주입처리하여 금속주입처리목재복합체의 재색을 변화시키는 방법이다. 열처리를 많이 할수록 재색이 어두워지고 열처리재의 금속주입처리목재복합체의 재색도 어둡게 변화되는데, 도장처리를 통하여 그 재색과 무늬가 더 뚜렷하게 나타나게 되어 회백색이 상대적으로 얇어짐을 알 수가 있었다.

1) 열처리 물푸레나무

Ash
미도장



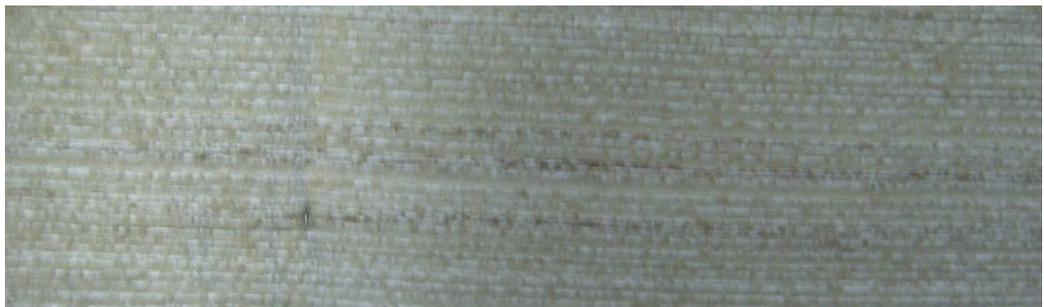
열처리 Ash
(Light 처리)
미도장



열처리 Ash
(Light 처리)
금속주입
처리복합체
미도장



열처리 Ash
(Light 처리)
금속주입
처리복합체
UV도장



열처리 Ash
(Medium
처리)



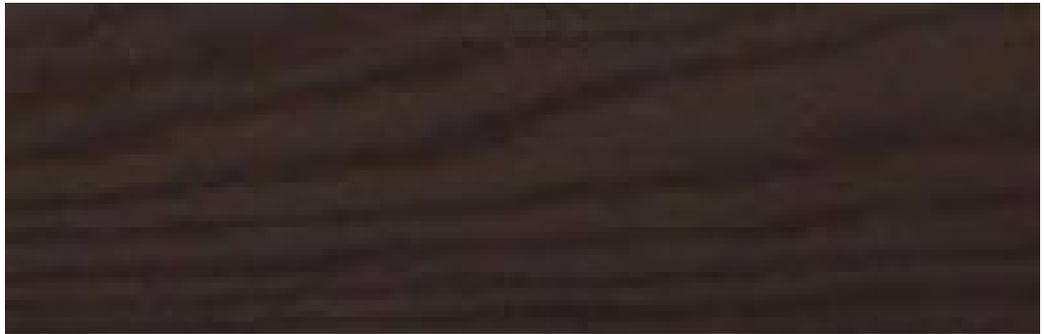
열처리 Ash
(Medium
처리)
금속주입
처리복합체



열처리 Ash
(Medium
처리)
금속주입
처리복합체
UV도장



열처리 Ash
(Dark 처리)



열처리 Ash
(Dark 처리)
금속주입
처리복합체



열처리 Ash
(Dark 처리)
금속주입
처리복합체
UV도장



Fig 42. 물푸레나무(Ash)의 열처리를 통한 재색 변화

2) 열처리 아카시아

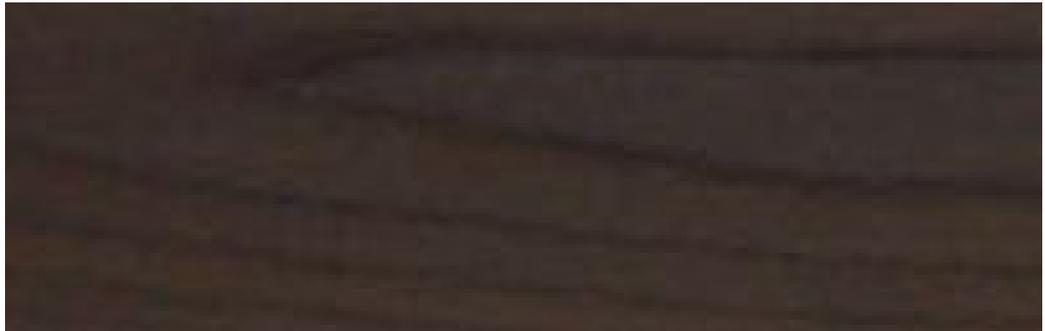
아카시아재
미도장



아카시아
금속주입
처리복합체
미도장



열처리
아카시아재
미도장



열처리
아카시아
금속주입
처리복합체
미도장



열처리
아카시아
금속주입
처리복합체
UV도장



Fig 43. 아카시아나무의 열처리를 통한 재색 변화

13. 개발된 무늬목금속복합체마루판의 경쟁력 분석

본 연구에 개발된 금속주입목재복합체의 금속가격이 2005년까지 추가비용 6-7 만원이면 금속 화목재가 가능했던 것이 현재 IT산업의 급속한 발전으로 4배까지 올라 현재로서는 경쟁력이 낮지만, 금속의 재활용이 90%이상 가능하고 금속주입목재복합체의 특성과 기능성을 살리는 고부가가치의 제품으로서의 활용(14항목 참조)이 가능하므로, 특별한 용도의 기능을 살린 별도의 연구가 필요하다고 할 수 있다.

Table 37. 무늬목금속복합체마루판의 평당 원가

구분	흑호두나무			비고 (단위 : 평)	
	1mm	2mm(원목마루)			
대판(합판)	3만원	3만원		7mm	
가공비	2만원	2만원			
단판(표면용)	3.5만원	7만원			
금속값 (가공비 포함)	257,620원 (30만원)	0		Bi+Sn	
원가	38.5만원	12만원			
판매가	50만원	25만원			
<p>*대판: 합판, 7mm Birch 합판, *가공비: UV도장, 대판에 표면단판 접착, 기타 가공 포함 *금속: Bi:Sn=58:42(중량비), \$20.9/kg:\$26.9/kg (합금:\$23.42/kg)1100원/\$-(25760원/kg) 1.0mm 두께의 Black Walnut = 10kg/평x \$23.42/kg x1100원/\$=257,620원 Black Walnut: SpGr 0.56-0.59, 한평에 100kg 합금 필요(10mm두께) 1mm 두께 257,600원 가격산정 2010.12월가격: 구입가격 2009.10.13 주석 29,612원/kg 비스무스 22,990원/kg</p>					
년도	가격/단위	2000	2005	2008	2010
Bi*1	\$/kg	5.73	9.13		20.9
Sn*2	\$/T		\$11,900 (Nov.24. 07)	\$25,000 (May,08)	\$26,920
In*3	\$/kg	\$94('02)		\$1,000(07)	
<p>*1: Bismuth Advocate News *2: Metal prices.com *3: "Mineral Commodities Summary 2007: Indium"</p>					

14. 2차년도 출발시 추가 요구사항 연구 결과

가. 마루판외 고부가가치 타용도 개발:

1) 목재무늬를 갖춘 방화문 용도: 아파트 현관 문등 도아류의 방화용 스킨패널로 사용가능. (방화성능은 방화성능항 참조)

일반적으로 현재 방화문은 코아에 질석보드를 사용하고 표면재로는 목재에 방화도료를 도장하거나 금속피복재를 사용하고 있으므로 방화문의 치장효과를 위한 얇은 피복재로서의 용도는 충분히 사업성이 있다고 생각된다.

2) 마루판전기 히팅: Fig 44와 Table 38은 열선 없이 발열하는 전기만으로 히팅되는 과정을 나타낸 것으로, 5분 후 최고 온도가 22도로부터 46도까지 상승하였으나 누전현상을 해결하지 못하였다. 지금까지 온돌용 바닥가열장치는 보일러 온수가열장치에 의한 파이프에 의한 순환 방법이나 전기히터 가열장치를 사용하고 있는데 새로운 방법으로 금속복합체를 그대로 가열장치로 이용하되 누전방지를 위한 누전방지도료를 적용하여 이 문제를 해결하는 연구가 계속 필요하다고 생각된다.

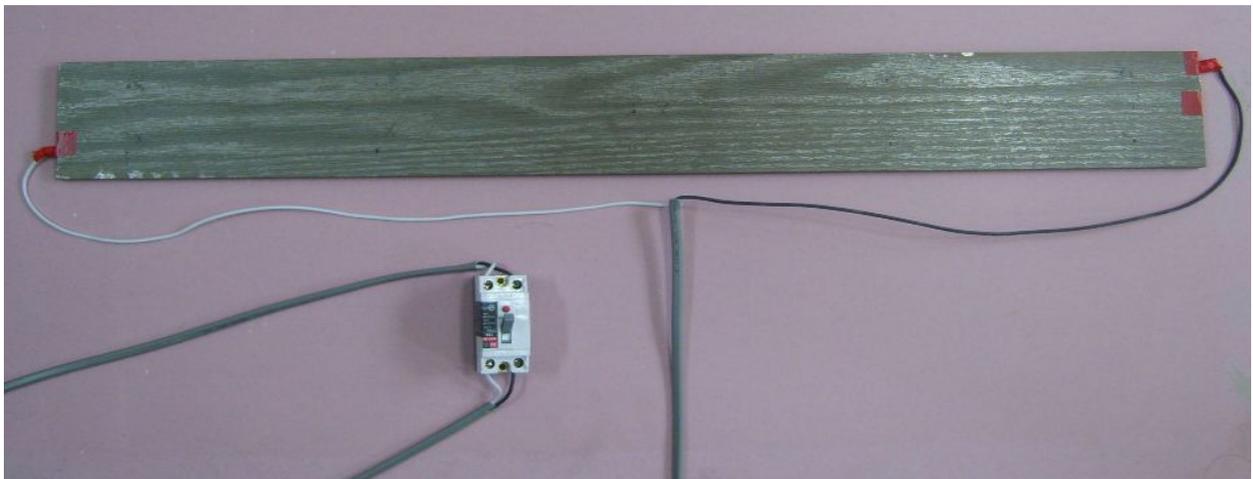
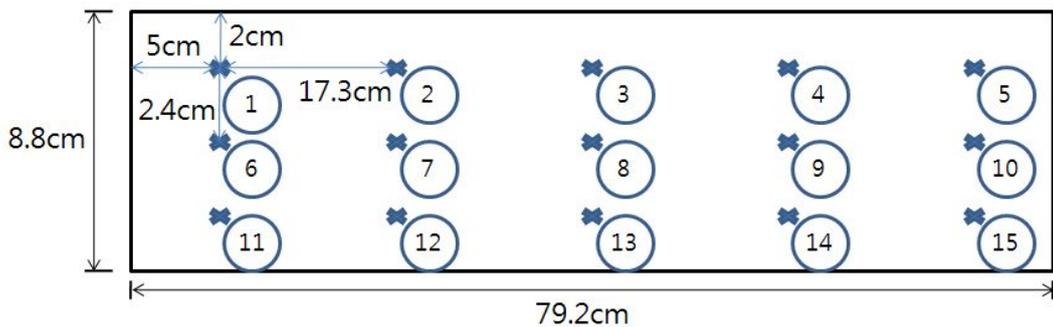


Fig 44. 금속주입 복합체의 전기 히팅

Table 38. 금속주입 복합체의 전기 히팅후 온도

시간	0분	3분	0~3분	0분	5분	0~5분
	처음온도(℃)	나중온도(℃)	온도변화량(℃)	처음온도(℃)	나중온도(℃)	온도변화량(℃)
1	22.8	24.4	1.6	22.3	26.1	3.8
2	23.8	30.8	7	24.3	34.2	9.9
3	24.4	27.6	3.2	24.5	30.5	6
4	24	24.9	0.9	23.7	26.1	2.4
5	24.2	41.3	17.1	24.7	46.8	22.1
6	22.7	27.7	5	22.2	29.4	7.2
7	23.9	27.4	3.5	23.7	28.3	4.6
8	24.3	25.4	1.1	23.9	26.6	2.7
9	23.9	24.4	0.5	23.4	25.3	1.9
10	24	36.3	12.3	24.2	43.3	19.1
11	22.7	26.9	4.2	22.1	28.1	6
12	23.3	23.3	0	22.8	23.6	0.8
13	23.9	23.7	-0.2	23	24	1
14	23.5	22.7	-0.8	22.7	22.4	-0.3
15	23.7	23.7	0	23.2	26.4	3.2

원 안	보 완 내 용
<p>1) 목재무늬를 갖춘 방화문 용도 ;아파트 현관 문등 도아류의 스킨패널로 사용가능(방화성능 참조)</p>	<p>1) 목재무늬를 갖춘 방화문 용도 : 아파트 현관 문등 도아류의 방화용 스킨패널로 사용가능 . (방화성능은 방화성능항 참조)</p> <p>일반적으로 현재 방화문은 코아에 질석보드를 사용하고 표면재로는 목재에 방화도료를 도장하거나 금속피복재를 사용하고 있으므로 방화문의 치장효과를 위한 얇은 피복재로서의 용도는 충분히 사업성이 있다고 생각된다.</p>
<p>2) 마루판전기 히팅: 열선 없이 발열 5분 후 최고 온도가 22도로부터 46도까지 상승하였으나누전현상을 해결하지 못하였으므로 앞으로 공동 연구로 해결 모색.</p>	<p>2) 마루판전기 히팅: Fig 44와 Table 38은 열선 없이 발열하는 전기만으로 히팅되는 과정을 나타낸 것으로, 5분 후 최고 온도가 22도로부터 46도까지 상승하였으나 누전현상을 해결하지 못하였다 . 지금까지 온돌용 바닥 가열장치는 보일러 온수가열장치에 의한 파이프에 의한 순환방법이나 전기히터 가열장치를 사용하고 있는데 새로운 방법으로 금속복합체를 그대로 가열장치로 이용하되 누전방지를 위한 누전방지도료를 적용하여 이 문제를 해결하는 연구가 계속 필요하다고 생각된다.</p>

나. 색상표현(2장 13)

가구 도장시 담색의 색상 조정은 일반적으로 소지 조정과 1차 하지 도장 후 착색으로 조정하는데 담색목재의 금속처리는 단순히 회백색으로 나타나므로 열처리를 통한 진한 무늬와 금속화의 배합으로 새로운 색상을 구현하여 고급화시켰습니다. 앞의 13과 같이 함수율을 낮추어 금속 주입도 안정화되고 색상도 유려하여 담색의 색상이 고급으로 표현되었다.

다. 소재의 인체안정성/유해성 검증

항침출성은 온도가 138℃가 아니면 금속이 다시 침출되어 나오지 않으므로 정상 주거환경에서 집안온도가 이온도에 오르지 않으므로 할 필요가 없으며 인체유해성은 인체를 중심으로 실험을 하려면 이것 자체가 지금개발하기 위하여 투입되는 연구비보다 훨씬 많은 연구비가 필요하므로 문헌과 이미 연구된 보문을 중심으로 사용된 금속이 무해하다는 것을 입증하며 문헌 내용은 제 6장에 표기하였으며, 그 내용의 요약은 비스머스와 주석은 중금속중 유별나게 독성이 제일 낮다. 따라서 지금까지 비스머스 복합물은 화장품과 약품 내복약 및 의료용 공정에 사용되고 있으며 주석은 음식포장용 캔으로 사용되고 있다는 내용으로 비스머스와 주석이 인체에 무해함을 입증하고자 한다.

라. 금속의 리사이클링

제 2장의 9에서처럼 고열 처리에 의하여 금속화처리된 목재의 금속이 용융되어 나오므로 이를 받아 내는 구조로 만든다면 금속의 90% 이상의 재활용이 가능하다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표달성도

연구년도	연구 범위	연구 내용	목표달성도
1차년도	금속화목재의 적정 제조조건 규명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 납과 크롬이 없는 저온용융 합금의 조성과 압력 및 주입침투처리온도의 적정조건 규명(합금 3종, 수종 2종) ▶ 적정 처리 시간 규명 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 적정제조조건 규명 100% 달성 ▶ 수종은 추가 2수종 총 4수종으로 수행하였음 ▶ 국산 10수종의 중량증가율과 복합체의 표면 무늬성 검토 추가 수행
2차년도	적정조건으로 제조된 후판무늬목금속복합체적층합판 마루판의 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 개발된 무늬목금속복합체 마루판의 물리기계적 특성 규명 ▶ 대판과 후판무늬목금속복합체의 접착을 위한 접착성 규명 ▶ 개발된 무늬목금속복합체 마루판의 기능성 규명 ▶ 심사자의 추가 연구 의견 반영 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 복합체의 물리기계적 특성 100% 달성 ▶ 복합체의 접착성 100% 달성 ▶ 복합체의 기능성 100% 달성 ▶ 복합체의 도장성 100% 달성 ▶ 복합체의 작업성 100% 달성 ▶ 복합체의 경제성 100% 달성

제2절 관련분야에의 기여도

1. 특허분야

가. 계획서에서 밝힌바와 같이 기존 특허는 구조와 시공방법, 바닥재 가공 및 접착방법, 온돌장치, 기능성보강, 메라민합침지등을 이용한 표면 무늬목층에 관련된 분야에 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 온돌의 가열에 따른 수분과 높은 온도에서의 가혹한 조건에서 견딜 수 있는 마루바닥재의 표면무늬재의 하자를 없애고 고기능성을 부여하는 금속주입후판무늬재금속복합체의 제조와 그 기술에 관련한 것으로 온돌용 금속주입 후판무늬목 금속복합체

적층 합판마루판 제조에 대한 기술을 개발하여 특허를 1건 출원하였다.

나. 금속을 목재에 주입처리하여 제품을 만든 기술은 1930년 독일에서 lignum vitae 목재 대신에 선박의 스쿠류베어링(screw bearing)으로 사용하기위하여, Naeser과 Martel(1930, German Patents No. DRP 493,905, 506,477) 이 개발한 제품은 Bi 50%, Pb 31.2 Sn 18.8%의 조성으로 97℃의 용점을 갖고 있는 저온용융합금으로 목재에 주입처리하여 제품을 만들었으나, 활용도가 낮아 폐기되었다. 또한 이 기술은 인체에 유해한 납을 다량 함유하고 있어 사용할 수가 없고 다른 용도 개발이 미흡하였다. 따라서 본 연구와 같이 납이나 크롬 성분이 전혀 없이 인체에 무해하면서 고기능성을 부여하는 저온용융목재금속복합체의 온돌용 마루판으로의 기술개발은 전혀 이루어져 있지 않으므로 본 연구는 그 기술 개발의 기대효과가 매우 크다.

2. 학문분야

가. 기존 논문은 온돌 마루의 TVOC(휘발성 유기화합물)이나 접착제의 성능 이용 분야에 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 수분과 높은 온도에서의 가혹한 조건에서 사용하는 온돌용으로 금속을 목재에 주입하여 후판무늬목 금속복합체로서 고기능성을 부여하는 기술을 개발한 것이다. 따라서 납이나 크롬이 들어 있지 않은 저온용융합금을 목재에 주입처리하여 후판무늬목 금속복합체를 제조하는 기술과 이러한 제품이 갖는 고기능성에 대한 것으로 관련 분야에 파급효과를 가질 것으로 생각한다.

나. 본 연구의 주제인 온돌용 후판무늬목금속복합체 적층마루판은 목재 무늬의 독특함과 경도와 내마모성 및 무엇보다도 치수안정성과 휘고 갈라지고 터짐이 없는 깨끗한 외양으로 매우 경쟁성이 높고 목재보다 최소 평균 3배 이상 오래 사용할 수 있으므로 탄소고정능력을 최소3배 이상 늘리는 효과를 갖는 Green제품이며 친환경제품으로 처리된 금속은 수명이 다된 후 재활용되므로 개발효과가 지구환경에 미치는 영향이매우 클 것으로 생각된다.

3. 제품 및 시장분석 측면

가. 국내바닥시장에서 목질바닥시장은 대체재인 PVC 시장의 수요를 흡수하며 단기간에 급속하게 성장해 왔으며 조정기를 거쳐 2015년까지 재성장 할 것으로 예상되는데 2015년 목질바닥시장은 1조가 넘을 것으로 예상된다. 본 제품의 개발로 주택용 뿐만 아니라 상업용 및 오피스용으로 시장이 확장될 것으로 예상되었으나 최근에 IT업계의 비약적인 성장과 발전으로 Bi와 Sn의 가격이 폭등하여 제조원가가 높아진 것이 경쟁력에 문제가 된다. 부가가치를 높이는 다른 용도의 개발 예를 들면 별도의 가열장치없이 금속화복합체로 가열을 할 수 있는 기술을 좀 더 발전시키거나 방화용 도아로 이용하도록 복합화 기술을 사용한다면 이 기술은 각광 받아 해외로 진출하여 소기의 목적을 이룰 수 있을 것으로 생각된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제1절 연구개발성과

특허 1건, 발표논문 2건, 학술대회발표 2건, 인력배출 2명(석사1명, 학사 1명(졸업최우수논문 선정))

가. 학술대회발표

(1) 강석구, 박계신, 서인수, 이종신, 이화형. 2010. Properties of low melting alloy impregnated radiata pine composites as a high performance floor for floor radiant heating system. 2010 International Furniture Design Conference, August 26,2010, KINTEX. Goyang-si, South Korea, Korea Furniture Society.

(2) 이화형. 2010. 바닥복사가열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체적층마루판의 개발. 2010 추계 충남대·충북대 공동 학술발표대회. 2010년 11월 13일 충남대학교 농생대 3호관 세미나실

나. 논문 발표

(1) 박계신, 이화형. 2011. 국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성. 농업과학연구지. 37(30) 457~464

2) 강석구, 박계신, 이호, 서인수, 이종신, 이화형. 2011. 북미산 흑호두나무 Bi-Sn 용융합금 복합체의 제조와 특성. 한국가구학회지 22(1) 55~63

다. 특허 출원

(1) 바닥복사가열시스템 마루판을 위한 안전한 고성능 금속주입목재복합체의 개발. 2010.02.12. 출원번호 10-2010-0013425

라. 인력양성 2명

(1) 석사학위.2011.02.26. 박계신. 논문 “ 국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성 ”

(2) 학사학위. 2011.02.26. 이호 최우수졸업논문 “북미산 호두나무 금속화 목재의 제조와 특성 ”

제2절 성과활용 계획

1. 연구의 결과를 정리하여 국내 및 국외 저명 학술지에 논문 게재
2. 국내 및 국외 학술회의에서 논문 발표
3. 각종 세미나에서 연구 결과 발표 및 홍보
4. 현장보급을 통한 제품의 우수성 홍보강화 방안 마련
5. 제품의 산업화를 위한 계획방안 마련
6. 에너지소모가 적고 열효율이 우수하고 인체에 쾌적한 온돌의 국제표준화에 맞추어 복사가 열시스템을 위한 고성능 후판무늬목금속복합체마루판의 제조 기술을 보다 발전시키고 용도와 기능성을 개발하여 중국 일본을 비롯한 전통적으로 후판의 무늬목을 선호하는 구미 각국에 수출하도록 하여 국가 경제 발전에 기여할 예정

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 금속별 해외과학기술정보

1. Bismuth(비스머스)

비스머스복합물은 화장품과 약품 내복약 및 의료용 공정에 사용된다. 비스머스는 중금속 중 유별나게 독성이 제일 낮다. 최근에 납의 독성이 잘 알려지면서 납의 대체용으로 비스머스가 많이 사용되고 있어 경제적 중요성이 매우 증가되고 있다.

Bismuth compounds are used in cosmetics, medicines, and in medical procedures. Bismuth has unusually low toxicity for a heavy metal. As the toxicity of lead has become more apparent in recent years, alloy uses for bismuth metal, as a replacement for lead, have become an increasing part of bismuth's commercial importance.

가. Health and cosmetics

Bismuth is an ingredient in some pharmaceuticals, but the use is declining.[24] Bismuth subsalicylate (the active ingredient in Pepto-Bismol and (modern) Kaopectate) is used as an antidiarrheal and to treat some other gastro-intestinal diseases (oligodynamic effect). Their mechanism of action is still not well documented. Bibrocathol is an organic compound containing bismuth used to treat eye infections. Bismuth subgallate (the active ingredient in Devrom) is used as an internal deodorant to treat malodor from flatulence (or gas) and faeces. Historically bismuth compounds were used to treat syphilis and today bismuth subsalicylate and bismuth subcitrate are used to treat peptic ulcers. Bismuth oxychloride is sometimes used in cosmetics. Bismuth subnitrate and bismuth subcarbonate are used in medicine.[3]

나. Toxicology and ecotoxicology This section requires expansion.

Scientific literature concurs with the idea that bismuth and its compounds are less toxic than lead or its other periodic table neighbours (antimony, polonium)[28] and that it is not bioaccumulative. Its biological half-life for whole-body retention is 5 days but it can remain in the kidney for years in patients treated with bismuth compounds.[29] In the industry, it is considered as one of the least toxic heavy metals.

Bismuth poisoning exists and mostly affects the kidney and liver. Skin and respiratory irritation can also follow exposure to respective organs. As with lead, overexposure to bismuth can result in the formation of a black deposit on the gingiva, known as a bismuth line.[30]

Bismuth's environmental impacts are not very well known. It is considered that its environmental impact is small, due in part to the low solubility of its compounds.[31] Limited information however means that a close eye should be kept on its impact.

다. 참고문헌

- (1) C. R. Hammond (2004). The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition. CRC press. ISBN 0849304857.
- (2) Joachim Krüger, Peter Winkler, Eberhard Lüderitz, Manfred Lück, Hans Uwe Wolf "Bismuth, Bismuth Alloys, and Bismuth Compounds" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2003, Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a04_171
- (3) HSBD Search for Bismuth Compound toxicology. Compare this data with a research on Lead compounds
- (4) Fowler, B.A. (1986). "Bismuth". In Friberg, L.. Handbook on the Toxicology of Metals (2nd ed.). Elsevier Science Publishers. pp. 117.
- (5) "Bismuth line". Farlex, Inc.. <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/bismuth+line>. Retrieved 8 February 2008.
- (6) Data on Bismuth's health and environmental effects.

2. Tin(주석)

주석은 매우 낮은 독성 때문에 음식포장용으로 주석도금용금속으로 사용된다. 철이 부식되지 않도록 주석도금을 하는데 보통 주석깡통이라고 이름 부르는 것은 대부분이 강철로 되어 있으며 여기에 주석도금을 한 것이다. 먹는 음식에 사용하므로 접촉하거나 주거환경에는 당연히 무해한 것으로 증명할 수 있다.

Another large application for tin is corrosion-resistant tin plating of steel. Because of its low toxicity, tin-plated metal is also used for food packaging, giving the name to tin cans, which are made mostly of steel.

Tin plays no known[citation needed] natural biological role in humans, and possible health effects of tin are a subject of dispute. Tin itself is not toxic but most tin salts are. Organotin compounds are very toxic. Tri-n-alkyltins are phytotoxic and, depending on the organic groups, can be powerful bactericides and fungicides. Other triorganotins are used as miticides and acaricides.

가. 참고문헌

- (1) Blunden, Steve; Wallace, Tony (2003). "Tin in canned food: a review and understanding of occurrence and effect". *Food and Chemical Toxicology* 41 (12): 1651 - 1662. doi:10.1016/S0278-6915(03)00217-5. PMID 14563390.

(2) "Eat well, be well – Tin". Food Standards Agency.

(3) <http://www.eatwell.gov.uk/healthissues/factsbehindissues/tins/>. Retrieved 2009-04-16.

3. Indium

From Wikipedia, the free encyclopedia

Pure indium in metal form is considered non-toxic by most sources. In the welding and semiconductor industries, where indium exposure is relatively high, there have been no reports of any toxic side-effects.

Indium is not known to be used by any organism. In a similar way to aluminum salts, indium (III) ions can be toxic to the kidney when given by injection, but oral indium compounds do not have the chronic toxicity of salts of heavy metals, probably due to poor absorption in basic conditions. Radioactive indium-111 (in very small amounts on a chemical basis) is used in nuclear medicine tests, as a radiotracer to follow the movement of labeled proteins and white blood cells in the body.

General properties

Name, symbol, number indium, In, 49

Pronunciation /'ɪndiəm/ IN-dee-əm

Element category post-transition metal

Group, period, block 13, 5, p

Standard atomic weight $114.818\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Electron configuration [Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p¹

Electrons per shell 2, 8, 18, 18, 3 (Image)

Physical properties

Phase solid

Density (near r.t.) $7.31\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Liquid density at m.p. $7.02\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Melting point 429.7485 K, 156.5985 °C, 313.8773 °F

Boiling point 2345 K, 2072 °C, 3762 °F

Heat of fusion $3.281\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Heat of vaporization $231.8\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Specific heat capacity (25 °C) $26.74\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

제 7 장 참고 문헌

1. 강석구, 이화형 2008. 녹차잎분말을 이용한 마루판의 유해 TVOC 제거효과, 목재공학 36(6):49~58
2. 강석구, 이화형 2010. 녹차잎분말을 사용한 마루판의 특성, 한국가구학회지 . 21(4):284~292
3. 김종인, 박종영, 이병후, 김현중 2002. 온돌용 목질마루판의 표면물성, 한국가구학회지(Vol. 13 no.1) 27~37
4. 박계신, 이화형. 2010. 국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성. 농업과학연구 37(3):457-464
5. 박상범. 2000. 낙엽송 마루판재의 표면강화 처리기술 개발(II). 목재공학회지 28(1): 28~35
6. 박종영, 조재성, 1997. 목질판재료 및 목질 마루판의 특성 평가(I). 한국목재공학회 97학술 발표논문집 : 63~73
7. 이병후, 김현중, 김종인, 김재성, 박종영. 2001. 마루판용 UV경화형 우레탄 아크릴계 도료의 도막성능. 2001 추계 학술발표논문집 : 107~109
8. 정연집, 엄영근, 윤형운. 2000. 마루바닥재. WIT 컨설팅. p. 13~324
9. 이화형. 2005. 한국산 5개 수종의 원적외선 방사율. 목재공학 33(1):17-20
10. 이화형등, 2008. 신고 목재물리 및 역학. 향문사.
11. 한국건설생활환경시험연구원. 2006. 원적외선시험. KICM-FIR-1005
12. 한국산업규격. 1998. 평면 재료의 전자파 차폐 효과 측정 방법. KS C 0304:1998
13. 한국산업규격. 1999. 목재의 흡수량 측정 방법. KS F 2204
14. 한국산업규격. 2006. 섬유판. KS F 3200
15. 한국산업규격. 2006. 파티클보드. KS F 3104
16. 한국산업규격. 2006. 보통합판. KS F 3101
17. 한국산업규격. 2008. 천연 무늬목 치장 마루판. KS F 3111
18. 한국산업규격. 2008. 접착제의 목재 인장 전단접착 강도 시험방법. KS M 3720:2008
19. Martel, P. 1930. Journal for Applied Chem. German patent No. DRP 506477
20. Naeser, G. 1930. Umshau 34,250; German patent No. DRP 493905
21. Rowell, Roger M and Peggy Konkol. 1987. Treatments that enhance physical properties of wood. Gen.Tech. Rep. FPL-GTR-55. Madsison,WI, USDA, Forest Product Laboratory, 12p

제 8 장 첨부 서류

1. 강석구, 박계신, 이호, 서인수, 이종신, 이화형. 2011. 북미산 흑호두나무 Bi-Sn 용융합금 복합체의 제조와 특성. 한국가공학회지 22(1) 55~63
2. 박계신, 이화형. 2011. 국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성. 농업과학연구지. 37(30) 457~464

북미산 흑호두나무 Bi-Sn 용융합금 복합체의 제조와 특성

강석구, 박계신, 이 호, 서인수, 이종신, 이화형†

충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과

Manufacturing and Properties of Bi-Sn Impregnated Wood Composites of *Juglans nigra*

Seog Goo Kang, Kye-Shin Park, Ho Lee, In Soo Seo, Jong Shin Lee, Hwa-hyoung Lee[†]

Department of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract: The metalized wood composites with natural grain of imported *Juglans nigra*, which was impregnated with low melting alloy were manufactured and evaluated in this study. And the proper manufacturing conditions was also investigated in this study. The low melting alloy with bismuth (Bi) and tin (Sn) which are harmless to humans, was applied to this new composites. The composites showed not only no defects of discoloration, delamination, swelling, and cracking, because of high dimensional stability and low thickness swelling, but also much improved performance such as high bending strength, high hardness, abrasion resistance, high thermal conductivity as floor materials. This study also suggested the proper impregnating condition, such as 10 minutes of the preliminary vacuum time, 186°C of the heating temperature and 10 minutes of the maintaining pressure time at the pressure of 30 kgf/cm². This metalized wood composites showed 7 times higher density than control, great increase in bending strength from 131.8 N/mm² to 192.3 N/mm², and great increase in hardness from 18.2 N/mm² to 94.0 N/mm². The composites demonstrated not only high emissivity of 91%, high shielding effectiveness of 92.59~99.99%, high fire resistance but also great decrease in abrasion depth, water absorption and thickness swelling.

Keywords: low melting alloy, wood composites, *Juglans nigra*, hardness, abrasion resistance

1. 서 론

우리나라 바닥재의 시장 규모 1조 2,000억 가운데 목질계 마루가 차지하는 시장은 약 6,000억 정도를 차지하고 있다. 그 동안 PVC바닥재가 선도하던 시장이 목질계 마루판으로 바뀌면서 친환경 인체친화적 바닥재로 전환되고 있다. 이 중에서도 가정용 바닥 난방용 플로어링은 오피스용과 달리 가

장 가혹한 사용조건에 노출되기 때문에 성능이 최고로 발휘되는 최우수품질을 갖추고 있지 않으면 안 된다. 더욱이 복사난방시스템에 한국의 온돌이 2008년 3월에 ISO NP (신규작업항목 제안)로 채택됨으로써 '온돌의 국제표준화'를 굳히게 되었다. 최근에 독일, 오스트리아, 덴마크 등은 최근 짓고 있는 주거용 건물의 30~50%에 온돌바닥 난방 방식의 구조를 설치하고 있어 에너지소모가 적고 열효율이 우수하고 인체에 쾌적한 온돌바닥 난방의 전파속도가 매우 빠르게 전개되고 있다. 현재 KS 규격에 맞추어 개발되어 유통되는 온돌용 무리

2010년 11월 7일 접수, 2010년 12월 20일 수정, 2011년 1월 13일 게재확정

† 교신저자 : 이 화 형 (hhlee@cmu.ac.kr)

목적층마루판은 표면 무늬목의 두께가 0.6 mm 이하의 얇은 것으로 개발되어 세계에서 선두 자리를 지키고 있으나 2 mm 이상의 온돌바닥 난방용 후판의 무늬목을 표면재로 갖는 적층마루판의 새로운 시장이 고급 온돌용 인목마루로서 국내 시장 및 중국을 비롯한 국외 시장에서 매우 강하게 요구되고 있다. 북미산 흑호두나무(American black walnut, *Juglans nigra*)는 현재 국내 마루판 표면재로 가장 많이 사용되는 수종의 하나로 많이 수입되고 있으며 어두운 자주빛 갈색을 띠는 반환공재로 목재의 무늬가 아름다워 가구나 마루판, 건축용 패널, 장식 및 여러 목공예품의 용도로 사용되고 있다. 따라서 북미산 흑호두나무의 저온용용 금속주입목재처리는 마루판의 수명과 기타 특성을 부가하여 고부가가치를 창출할 수 있을 것이다.

국내에서의 마루판에 대한 연구사례로서는 김 등(2002)은 마루판의 온돌용 목질마루판의 표면물성을 비교 평가하였으며, 박 등(1997)은 마루판의 기계적 성질, 수분적 특성 및 열적 특성을 평가하고, 온돌 모델시험을 실시하였으며, 정 등(2000)은 도장된 도료의 성능에 따라 내마모성 등에 차이가 나타남을 설명하였고, 박(2000)은 수지를 이용한 표면강화처리에 의해 낙엽송 마루판의 경도, 내마모성, 내충격성을 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 이 등(2001)은 목재마루판용 UV경화형 도료에 대한 도막의 물성을 평가하였으며, UV조사량 및 도료의 구성요소가 도막의 표면점탄성, 경도 등에 큰 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 강 등(2008)은 녹차잎 분말을 이용한 마루판의 유해 TVOC 제거효과와 이에 따른 마루판의 특성을 보고하였다.

금속을 목재에 주입처리하는 기술은 Naeser (1930)와 Martel (1930)이 개발한 것으로 Bi 50%, Pb 31.2%, Sn 18.8%의 조성으로 97°C의 용점을 지닌 저온용용합금으로 목재(10 × 40 × 5 cm³)를 실험실적인 방법으로 주입처리하여 제품을 만들었으며, lignum vitae 목재 대신에 선박의 스쿠류베어링(screw bearing)으로 사용하려고 연구하였으나 2차 세계대전이 끝나고 활용도가 낮아 기타 용도가 없이 폐기되었다. 뿐만 아니라 이 기술은 인체



Fig. 1. Photo image of specimens, *Juglans nigra*.

에 유해한 중금속인 납을 다량 함유하고 있어 현재로서는 사용할 수가 없는 기술이 되었다.

Rowell과 Peggy (1987)는 크롬을 함유한 저온용용합금으로 목재를 열처리하여 열처리목재인 Staybwood를 제조하였으며 이 제품의 치수안정성은 열처리온도와 처리시간이 증가함에 따라 증가하나 강도는 떨어지는 방법으로 이 처리에 사용하는 크롬이라는 중금속은 인체에 매우 치명적이므로 인체에 접촉하는 제품으로서의 매우 부적당하다.

따라서 본 연구는 인체에 무해한 Bi, Sn만을 사용한 저온용용합금을 제조하여 북미산 흑호두나무에 주입하여 금속주입목재를 만들 때 그 적정제조방법과 금속화목재의 특성을 구명하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

2.1.1. 호두나무

북미산 흑호두나무(American black walnut, *Juglans nigra*)로 기건 밀도 0.59, 함수율 12.02%이면서, 마루판으로 현재 시공하는 실내재 크기인 950 × 100 × 5 mm의 크기를 사용하였다.

2.1.2. 저온용용 금속

금속주입목재에 사용된 금속은 인체에 무해하고 안전한 비스무스(Bi)와 주석(Sn)을 사용하였다. 비스무스의 용점은 271.5°C이고 주석의 용점은 232.06°C이다. 이 두 금속의 조성에 따라 용융결과 특성이 다르게 나타나는데 금속주입목재에 사용된 합금은 비스무스와 주석을 58 : 42의 중량비로 합금시킨 용융온도 138°C의 저온용용합금을 사용하였다.

2.1.3. 도료

UV도장공정에 사용하는 도료는 대전 소재의 U 기업에서 분양받은 무용제 타입 우레탄 아크릴레이트계 UV도료와 무용제 타입 에폭시 아크릴레이트계 UV도료를 사용하여 도장하였다.

2.1.4. 접착제

금속주입 목재와 대판인 합판을 접착하기 위한 접착제로 페놀수지(NVC 60%, PH8.5)를 자체 제작하여 사용하였고, 에폭시 수지(NVC 100%, PH 5.5)는 시중에 유통되는 제품을 이용하였으며, UMF수지(NVC 54%, PH 6.5), UF수지(NVC 56%, PH 7.5)를 인천소재의 S기업에서 합판용 접착제로 사용되는 제품을 분양받아 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 금속주입목재의 제조

목재를 가압과 감압 및 가열을 할 수 있는 실린더(Fig. 2) 내에서 가열을 통해 미리 용융된 비스무스와 주석의 저온용융합금의 액체에 목재가 처리조에 잠기도록 하고 실린더의 문을 닫고 소정 온도로 유지하도록 가열하면서 진공펌프에 의하여 감압하여 목재 내의 공기를 제거한 후에 다시 가압하여 목재 속으로 액체상태의 저온용융합금을 주입한다. 처리조건에 따라 주입이 완료되면 압력 해제 후 목재를 처리조의 액체금속으로부터 꺼내면서 표면에 묻어 있는 금속을 가열 브레이드로 긁어내어 처리조에 다시 돌려보낸다. 실린더 내의 처리조로부터 밖으로 나온 금속주입목재는 냉각되어진 후 표면을 다듬으면 금속주입목재의 제조가 완료된다.

2.2.2. 처리조건

금속주입목재의 제조조건으로 700 mmHg로 감압유지시간 4조건(5분, 10분, 20분, 30분), 가압 3조건(10 kgf/cm², 30 kgf/cm², 50 kgf/cm²), 가압시간은 6분 20초, 10분, 20분의 3조건으로 처리하였으며, 처리온도는 용융점과 목재에 열화를 일으키지 않는 200℃ 사이의 온도를 사용하여 3조건(163



Fig. 2. Pressure treating cylinder.

℃ 176℃, 187℃)으로 처리 조건을 정하여 실제 마루판 크기의 복미산 흑호두나무에 적용하였다.

2.2.3. UV도장공정

UV도장공정은 금속주입목재처리 후 소지 조정과정(2 head sander를 이용한 sanding, #180, #240)을 거친 후, 하도, 중도, 상도 도장 공정을 거쳤다. UV코팅도료로서 1회의 하도와 2회의 상도라인공정을 거치는데 무용제 타입 우레탄 아크릴레이트계 UV 도료를 사용하였고, 중도라인공정은 4회 공정으로서 무용제 타입 에폭시 아크릴레이트계 UV 도료를 적용하여 도장하였다.

2.2.4. 물리·기계적인 성질

처리조건에 따라 제조된 금속주입목재의 물리적 성질을 알아보기 위하여 KS F 3104 (2006)에 의거하여 밀도와 흡수율을 측정하였고 KF F 3200 (2006)에 의거하여 흡수율과 흡수 두께 팽창율을 측정하였다. 열전도도는 Quick Thermal Conductivity Meter (QTM-500, 제조사 : KYOTO ELECTRONICS)를 사용하여 측정하였다. 전기저항은 전류계(DA-101B, 제조사 : SEJIN)를 사용하여 측정하였다. 기계적 성질은 KS F 2204 (1999)에 따라 목재의 흡수량 측정 방법과 같이 계산하여 중량증가율을 측정하였고, 휨강도는 KS F 3104 (2006)에 의거하여, 경도는 KS F 2212 (2004)에 의거하여 만능재료시험기(Universal Testing Machine, UTM, Timius Olsen Ltd., H-50K-ST, Redhill, England)로 측정하였다. 마모도시험은 KS F 3111 (2008)에 의

Table 1. Weight percent gain and dimensional stability of wood-metal composites along with the temperature.

Pressure- temperature- vacuum time- pressing time	Density (g/cm^3) F = 0.961**		Weight percent gain (%) F = 0.213**		Water absorption (%) F = 5.665**		Thickness swelling (%) F = 30.902**	
	mean \pm SD	DT	mean \pm SD	DT	mean \pm SD	DT	mean \pm SD	DT
	50 kgf/cm^2 -163 $^{\circ}C$ -10'-10'	3.72 \pm 0.27	A	524.27 \pm 39.17	A	2.83 \pm 0.1	A	1.47 \pm 0.11
50 kgf/cm^2 -173 $^{\circ}C$ -10'-10'	4.03 \pm 0.35	A	510.37 \pm 42.91	A	1.39 \pm 0.39	B	0.73 \pm 0.06	B
50 kgf/cm^2 -186 $^{\circ}C$ -10'-10'	3.82 \pm 0.22	A	530.23 \pm 31.88	A	1.22 \pm 0.32	B	1.03 \pm 0.15	C

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 2. Weight percent gain and dimensional stability of wood-metal composites along with the temperature.

Pressure- temperature- vacuum time- pressing time	Density (g/cm^3) F = 20.306**		Weight percent gain (%) F = 36.872**		Water absorption (%) F = 4.798**		Thickness swelling (%) F = 4.363**	
	mean \pm SD	DT	mean \pm SD	DT	mean \pm SD	DT	mean \pm SD	DT
	30 kgf/cm^2 -186 $^{\circ}C$ -5'-6' 20"	2.43 \pm 0.14	A	261.52 \pm 15.42	A	3.99 \pm 1.64	A	1.15 \pm 0.37
30 kgf/cm^2 -186 $^{\circ}C$ -10'-6' 20"	3.76 \pm 0.27	B	531.48 \pm 20.83	B	1.85 \pm 0.17	B	0.64 \pm 0.10	B
30 kgf/cm^2 -186 $^{\circ}C$ -20'-6' 20"	3.81 \pm 0.31	B	521.60 \pm 13.80	B	1.89 \pm 0.14	B	0.69 \pm 0.09	B
30 kgf/cm^2 -186 $^{\circ}C$ -30'-6' 20"	3.80 \pm 0.29	B	538.20 \pm 71.20	B	1.89 \pm 0.16	B	0.91 \pm 0.02	B

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

거하여 내마모도 측정기(Abrasion Tester, 제조사 : Taber)를 사용하여 마모량으로 측정하였다. 금속주입목재를 도장한 후의 도막의 성질은 KS F 3111에 의거하여 내한성, 내열성, 내산성, 내알카리성, 내마모성을 실험하였다.

2.2.5. 접착력 시험

금속주입목재를 대판인 합판에 접착할 때 접착이 잘 이루어지는지를 상대(비내수) 인장전단접착력, 준내수 인장전단접착력, 내수 인장전단접착력 시험과 침지 박리 접착력시험을 KS M 3720 : 2008에 의거하여 측정하였다.

2.2.6. 전자현미경 관찰

금속주입된 북미산 흑호두나무(*Juglans nigra*)의 주입형태는 Philips사의 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope) XL30 ESEM TMP로 관찰하였다.

2.2.7. 원적외선 방사율

금속주입된 북미산 흑호두나무의 원적외선 방사

율은 KICM-FIR-1005 : 2006에 의거하여 측정하였다.

2.2.8. 전자과 차폐율

금속주입된 목재의 전자과 차폐율은 KS C 0304 : 1998에 의거하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 적정처리조건 구명

3.1.1. 처리온도

처리온도는 용융점과 목재의 열화를 일으키지 않는 138~200 $^{\circ}C$ 사이의 온도를 사용하였는데 Table 1에서 보는 바와 같이 처리온도는 금속주입에 영향을 미치지 않았다. 그러나 실제 주입과정에서 163 $^{\circ}C$ 에서는 처리 중 가압을 위한 질소가스주입으로 실린더 내부의 온도가 138 $^{\circ}C$ 가까이 떨어져 실린더 내부에서 처리조의 시편 표면에 금속이 일부가 굳어지는 현상을 발생시켜 합금이 녹는 속도가 차이가 나타나므로 작업의 용이성을 고려해 볼 때

Table 3. Weight percent gain and dimensional stability of wood-metal composites along with the pressure.

Pressure-temperature-vacuum time-pressing time	Density (g/cm^3) F = 71.983**		Weight percent gain (%) F = 120.218**		Water absorption (%) F = 12.67**		Thickness swelling (%) F = 20.929**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
	10 kgf/cm^2 -186°C-10'-10'	2.60 ± 0.18	A	295.81 ± 20.34	A	9.34 ± 3.71	A	1.78 ± 0.29
20 kgf/cm^2 -186°C-10'-10'	4.31 ± 0.20	B	579.31 ± 26.71	B	2.13 ± 0.25	B	0.87 ± 0.05	B
50 kgf/cm^2 -186°C-10'-10'	4.43 ± 0.24	B	612.58 ± 33.79	B	1.33 ± 0.03	B	0.54 ± 0.31	B

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 4. Weight percent gain and dimensional stability of wood-metal composites along with the pressing time.

Pressure-temperature-vacuum time-pressing time	Density (g/cm^3) F = 6.933**		Weight percent gain (%) F = 6.189**		Water absorption (%) F = 2.273**		Thickness swelling (%) F = 2.657**	
	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT	mean ± SD	DT
	30 kgf/cm^2 -186°C-10'-6' 20"	3.76 ± 0.27	A	531.48 ± 20.03	A	1.85 ± 0.17	A	0.78 ± 0.04
30 kgf/cm^2 -186°C-10'-10'	4.31 ± 0.20	B	579.31 ± 26.71	B	2.13 ± 0.25	A	0.87 ± 0.05	A
30 kgf/cm^2 -186°C-10'-20'	4.39 ± 0.19	B	581.44 ± 15.38	B	1.82 ± 0.14	A	0.79 ± 0.07	A

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

186°C의 온도가 사용하기 적당하였다.

3.1.2. 감압시간

감압시간은 진공펌프를 이용하여 실린더 내의 감압을 유지하는 시간으로 일반적으로 약액 주입 시전 배기 감압시간은 15~60분 정도를 적용하지만 금속주입 시 방부 주입액 처리온도보다 고온에서 처리하고 두께가 톱목이나 전신주보다 얇기 때문에 30분 이내로 시험을 진행하였다. Table 2를 비교 하여 보면 10분 이상의 감압조건에서는 금속주입량이 큰 차이가 없으며 5분의 경우는 낮은 수치를 보여주었다. 따라서 10분의 감압시간이 적정처리조건으로 판단되었다.

3.1.3. 처리압력

Table 3의 가압의 조건을 비교하여 보면 10 kgf/cm^2 에서는 낮은 중량증가율이 나타나는 반면에, 30 kgf/cm^2 이나 50 kgf/cm^2 에서는 같은 중량증가율이 나타났다. 따라서 가압 처리 조건에서 30 kgf/cm^2 가 가장 적정 압력으로 나타났다.

3.1.4. 가압시간

적정가압시간은 Table 4에서 보는 바와 같이 통계 분석 결과 6분 20초에 금속주입율이 낮게 나왔으며, 10분과 20분의 경우는 같은 결과가 나타나므로 10분의 가압시간이 실험방법 중 적당하다고 판단되었다. 따라서 금속주입 복미산 흑호두나무의 최적조건은 감압시간 10분, 압력 30 kgf/cm^2 , 온도 186°C, 가압시간 10분으로 처리하는 것이 가장 경제적이며 효율성이 높았으며 이는 박 등(2010)이 발표한 반환공재인 가래나무와 같은 결과를 보였다.

3.2. 금속주입재의 성질

3.2.1. 물리적 성질

3.1에서 규명한 복미산 흑호두나무의 금속주입 적정 처리조건으로 판단된 온도 186°C, 감압시간 10분, 가압압력 30 g/cm^2 , 가압시간 10분으로 처리된 금속주입 처리재와 미처리재(대조구)의 물리적 성질 비교를 Table 5에 나타내었다. 밀도의 경우 금속주입재는 약 7배 가량 미처리재에 비하여 증가하였으며, 이러한 결과는 독일의 Naeser (1930)와 Martel (1930)가 보고한 Walnut 처리재의 비중

Table 5. Physical properties of Bi-Sn impregnated wood composites.

	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)	Thermal conductivity (W/mK)	Electric resistance (Ω)
Control	0.59 ± 0.023	12.02 ± 0.294	27.91 ± 5.85	6.81 ± 0.72	0.048 ± 0.018	×
Metalized wood	4.31 ± 0.20	0.11 ± 0.02	2.13 ± 0.25	0.87 ± 0.05	0.574 ± 0.016	0.49 ± 0.19

Table 6. Mechanical properties of Bi-Sn impregnated wood composites.

	Weight percent gain (%)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	Hardness (N/mm ²)	Abrasion depth (mm)
Control	×	131.8 ± 16.3	13570 ± 991	18.18 ± 0.70	4 ± 0.03
Metalized wood	579.31 ± 26.71	192.3 ± 11.3	15551 ± 882	94.03 ± 7.11	2 ± 0.015

3.83보다 약간 높은 결과를 나타냈다. 금속주입재의 흡수율은 제조과정에서 수분이 제거되고 목재의 공극이 금속으로 채워져 있으므로 수분이 목재 속으로 침투 또는 확산되어 들어가지 못하기 때문에 매우 낮게 나타났으며, 흡수율과 두께팽창율도 매우 낮게 나타났다. 일반 목재의 열전도도는 매우 낮으나 금속주입재는 금속의 영향으로 열전도도가 매우 높아 졌다. 전전목재의 전기 전도도는 절연체(이 등, 2008)이지만, 전도체인 금속이 주입되면서 전기가 통하게 됨을 Table 5에서 보여주고 있다. 이러한 결과는 박 등(2010)이 보고한 결과와 같은 경향을 보였다.

3.2.2. 기계적 성질

금속주입 처리재와 미처리재의 기계적 성질 비교를 Table 6에 나타냈다. 중량증가율에 있어서 579.31%로 6배에 달하는 증가를 보여주어 금속이 매우 잘 침투되었음을 알 수 있었다. 내마모도의 경우 무처리재의 마모깊이는 약 4 mm인데 반하여 금속화목재는 2 mm로 마모량이 절반으로 줄어들었다. 경도는 약 5배 가량의 큰 폭으로 증가하였다. 휨강도는 1.46배 증가하였다. 이러한 경향은 박 등(2010)이 보고한 경향과 일치하였다.

3.3. 금속주입재의 도막시험 결과

3.3.1. 내한성 및 내열성

도막의 표면에 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 현저

Fig. 3. Acid resistance test of metalized *Juglans nigra*.

한 광택의 변화가 없어 차이가 없었다.

3.3.2. 내산 및 내알카리시험

Fig. 3은 금속처리 후 도막처리된 북미산 흑호두나무의 내산 내알카리시험 결과로 도막의 표면에 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 광택의 변화가 나타나지 않아 모두 품질기준에 만족하였다.

3.3.3. 내마모성

금속주입 북미산 흑호두나무의 도막의 내마모성 시험결과 500회전 후 마모량이 0.63 g이었으며 내마모성시험의 기준인 1,000회전에서 마모중점이 나타나지 않아 품질기준에 합격하였다.

3.3.4. 접착력 시험

Figs. 4~6은 금속주입 북미산 흑호두나무의 시험결과(그림 내의 괄호안의 수치는 평균 목과율을

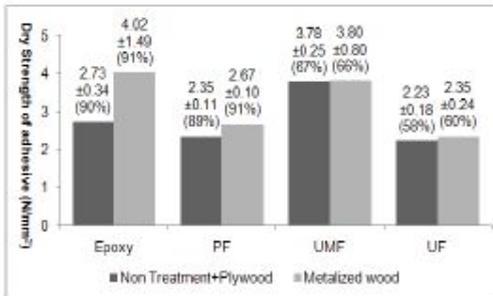


Fig. 4. Dry Strength of adhesive of metalized black walnut.

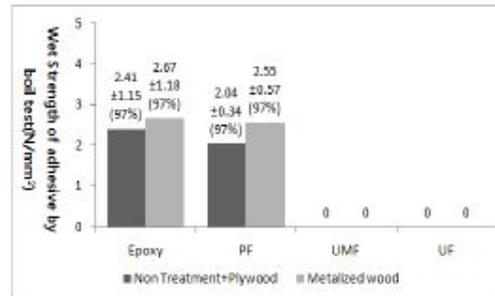


Fig. 6. Wet Strength of adhesive by boil test of metalized black walnut.

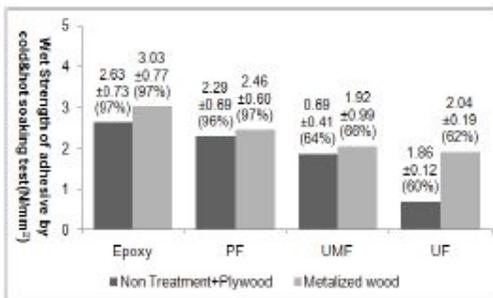


Fig. 5. Wet Strength of adhesive by hot & cold bath test of black walnut.

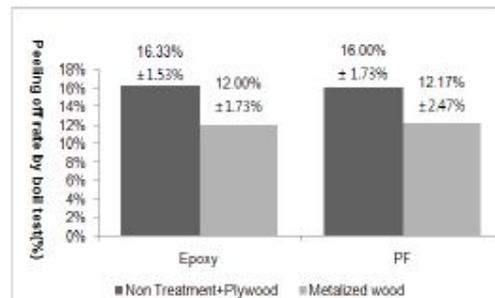


Fig. 7. Peeling off rate by boil test of metalized black walnut.

나타냄)로 비내수, 준내수, 내수 접착력 시험 모두에서 미처리재 이상의 접착력을 보였으며 에폭시 수지와 페놀수지는 준내수 접착력과 내수 접착력이 UMF나 UF보다 높게 나타났으며 특히 내수 접착력은 뛰어나게 높게 나타났으며 UMF나 UF는 전부 불합격으로 0이었다. Fig. 7은 내수 침지 박리 시험결과로 금속주입재가 미처리재보다 내수 침지 박리율이 보다 낮게 나타나 내구성이 높게 나타났다. 따라서 금속화 처리가 접착력에 나쁜 영향을 미치지 않을 뿐만 아니라 박리도 적게 나타났다. 이러한 이유는 금속처리재는 수분을 침투시키지 못하는 반면 무처리재는 상대적으로 수분이 침투되므로 수분 스트레스가 영향을 주는 차이인 것으로 생각되어진다.

3.3.5. 전자 현미경 사진

Fig. 8은 금속 주입된 복미산 흑호두나무의 전자 현미경 사진으로 맨 위쪽 왼쪽사진은 금속이 부분

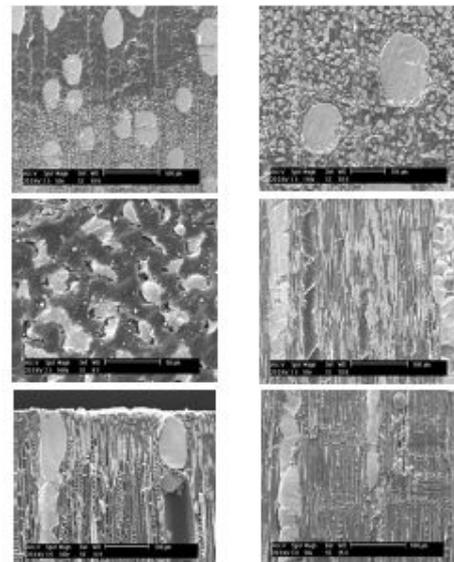


Fig. 8. SEM micrographs of black walnut impregnated with low melting alloy.

Table 7. Emissivity and emission power.

	Emissivity (40℃, 5~20 μm)	Emission Power (40℃, 5~20 μm)
<i>Juglans mandshurica</i>	0.909	$3.67 \times 10^2 \text{ W/m}^2$
Radiata Pine	0.914	$3.68 \times 10^2 \text{ W/m}^2$
<i>Juglans nigra</i>	0.917	$3.70 \times 10^2 \text{ W/m}^2$
Metallized <i>Juglans nigra</i>	0.909	$3.67 \times 10^2 \text{ W/m}^2$

적으로 들어간 부분과 100% 들어간 부분의 경계가 나타난 횡단면 사진으로 아랫부분은 금속이 100% 주입된 부분으로 도관과 목섬유가 금속으로 채워져 있는 모습이고, 위쪽 오른쪽 사진은 도관과 목섬유의 내강이 금속으로 충전되어 있는 상태를 150배로 확대한 것이다. 중간 왼쪽 사진은 목섬유의 내강이 금속으로 채워진 보다 확대된 사진(500배)이다. 중간 오른쪽 사진은 방사단면 사진으로 도관과 목섬유의 내강은 금속으로 채워져 있으나 유세 또는 금속이 들어가 있지 않음을 확인하여 주고 있는 모습이다. 위의 왼쪽 사진의 윗부분은 금속이 부분적으로 도관에만 금속으로 채워져 있는 모습이고 아래쪽 왼쪽 사진은 도관과 목섬유의 일부가 부분적으로 금속이 주입된 접선단면 모습이고 아래쪽 오른쪽은 부분적으로 도관만 금속이 채워진 방사단면 사진이다. 따라서 활엽수 반환공재인 북미산 흑호두나무의 경우 도관은 쉽게 금속이 주입되고 목섬유는 압력과 침투깊이에 따라 결정되며 유조직은 침투가 되지 않음을 전자현미경상으로 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 Naeser (1930)와 Martel (1930)이 너도밤나무와 같은 환공재의 변재는 처리하기가 가장 좋으며 도관은 침투가 잘되고 방사조직은 침투가 안 된다고 발표한 결과와 박등 (2010)이 발표한 반환공재인 가래나무를 금속주입할 때도 같다는 결과를 보고한 것과 동일하였다.

3.3.6. 원적외선 방사율

Table 7은 금속주입 북미산 흑호두나무 및 일반 목재의 원적외선 방사율 나타낸 것으로, 온돌용 마두판으로써 사용할 때는 마두판이 받은 열을 실내로 이동시킬 때 복사열이 매우 중요한 기능을 발휘

Table 8. Shielding effectiveness.

	Frequency (MHz)	Shielding effectiveness (db)	Shielding effectiveness (%)
Walnut	30~500	0	0
Metallized <i>Juglans nigra</i>	30~500	11.3~41	92.59~99.99

하는데, 금속주입목재는 열전도율이 일반 목재보다 상당히 높아졌을 뿐만 아니라, 일반목재나 미처리재와 비슷한 원적외선 방사율 수치를 보이고 있어 원적외선 복사기능을 충분히 나타내고 있었다. 이 (2005)는 한국산 5개 수종의 5~20 μm 범위에서의 측정된 원적외선 방사율은 40℃에서 90~91%를 나타내어 우수한 원적외선 물질임을 밝혔고 침·활엽수재 간이나 산공재와 환공재, 또한 밀도가 높은 수종이나 낮은 수종 간에도 원적외선 방사율과 방사에너지의 차이가 없다고 보고하였다. 따라서 금속화 복합처리된 목재의 방사율에 영향을 미치지 않았다고 볼 수 있었다.

3.3.7. 전자파 차폐율

Table 8은 전자파 차폐율을 나타낸 것으로 미처리재의 전자파 차폐율이 일반 목재와 마찬가지로 0인 반면에, 금속 처리된 호두나무의 경우에는 92.59~99.99%에 가까운 높은 전자파 차폐율을 보여 주었다.

4. 결 론

본 논문으로 인체에 무해한 Bi, Sn란을 사용한 저온 용융합금을 사용하여 북미산 흑호두나무의 금속주입목재를 위한 적정제조조건과 물리 기계적인 성질 및 접착과 도장에 대한 특성을 구명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 금속주입목재의 제작법 중 북미산 흑호두나무의 경우 최적의 조건은 온도 186℃, 감압시간 10분, 압력 30 kgf/cm², 가압시간 10분의 제조조건이 적정한 것으로 나타났다.

2) 금속주입목재의 색상은 북미산 흑호두나무의 무늬를 그대로 유지하면서 금속 특유의 색상인 회

백색이 가미되었다.

3) 최적의 조건에서 제조된 금속주입 복미산 흑호두나무의 물리 기계적인 성질은 무처리 목재에 비하여 밀도는 약 7배가 증가하면서 크게 향상되었다. 치수안정성은 흡수율과 두께팽창율이 크게 감소되어 매우 우수하게 되었고, 전기 전도도는 비전도체에서 전도체로 변하였으며, 열전도도는 무처리재에 비하여 10배 이상 증가되었다. 기계적인 성질에서 마모도는 50%로 감소되어 수명이 2배 정도 증가하였고, 휨강도는 1.46배, 경도는 5배로 증가하여 목재보다 매우 뛰어나게 나타났다.

4) 금속주입목재의 경우 원목이 갖지 않는 92.59~99.99%의 높은 전자파차폐율과 원적외선 방사율이 91%로서 매우 높게 나타났다.

5) 금속 주입 목재의 접착력은 미처리재보다 높은 접착력을 유지하였으며, 도장성능은 KS 품질기준을 모두 통과하였다.

사 사

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원의 “바다복사가열시스템을 위한 고성능후판무늬복합체적층마루판의 개발” 연구비에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

강석규, 이화형. 2008. 녹자일본말을 이용한 마루판의 유효 TVOC 제거효과, 목재공학 36(6): 49-58.
 강석규, 이화형. 2010. 녹자일본말을 사용한 마루판의 특성, 한국가구학회지 21(4): 284-292.
 김종인, 박종영, 이병후, 김현중. 2002. 은활용 목질마루판의 표면특성, 한국가구학회지 13(1): 27-37.
 박계신, 이화형. 2010. 국산 가래나무 간벌재활용을 위한

금속주입목재의 제조 및 특성, 농업과학연구 37(3): 457-464.
 박상범. 2000. 낙엽송 마루판재의 표면강화 처리기술 개발(II), 목재공학회지 28(1): 28-35.
 박종영, 조재성. 1997. 목질판재료 및 목질 마루판의 특성 평가(1), 한국목재공학회 97학술 발표논문집, 63-73쪽.
 이병후, 김현중, 김종인, 김재성, 박종영. 2001. 마루판용 UV경화형 우레탄 아크릴계 도료의 도막성능. 2001 추계학술발표논문집, 107-109쪽.
 경연집, 엄영근, 윤형운. 2000. 마루바닥재. WIT 권선탄. 13-324쪽.
 이화형. 2005. 한국산 5개 수종의 원적외선 방사율, 목재공학 33(1): 17-20.
 이화형 등. 2008. 신고 목재물리 및 역학, 향문사.
 한국건설생활환경시험연구원. 2006. 원적외선시험 KICM-FIR-1005.
 한국산업규격. 1998. 평면 재료의 전자파 차폐 효과 측정 방법. KS C 0304:1998.
 한국산업규격. 1999. 목재의 흡수량 측정 방법. KS F 2204.
 한국산업규격. 2006. 섬유판. KS F 3200.
 한국산업규격. 2006. 파티클보드. KS F 3104.
 한국산업규격. 2006. 보통합판. KS F 3101.
 한국산업규격. 2008. 천연 무늬목 치장 마루판. KS F 3111.
 한국산업규격. 2008. 접착제의 목재 인장 전단접착 강도 시험방법. KS M 3720:2008.
 Martel, P. 1930. Journal for Applied Chem. German patent No. DRP 506477.
 Naeser, G. 1930. Umshau 34,250; German patent No. DRP 493905.
 Rowell, R. M. and P. Konkol. 1987. Treatments that enhance physical properties of wood. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-55. Madsison, WI, USDA, Forest Product Laboratory, 12p.

국산 가래나무 간벌재활용을 위한 금속주입목재의 제조 및 특성

박계신¹ · 이화형^{1*}

Properties and Manufacturing of Low Melting Alloy Impregnated Wood Composites for using Domestic Thinned Logs of *Juglans mandshurica*

Kye-Shin Park¹ · Hwa-hyoung Lee^{1*}

ABSTRACT

The low melting alloy impregnated wood composites with natural grain of thinned *Juglans mandshurica* was made and evaluated in this study. And the proper manufacturing conditions was also investigated in this study. The low melting alloy with bismuth(Bi) and tin(Sn) which are harmless to humans, was applied for this novel composites, which showed not only no defects of discoloration, delamination, swelling, and cracking, because of high dimensional stability and low thickness swelling, but also much improved performance such as high bending strength, high hardness, low abrasion, high thermal conductivity as floor materials. This study also suggested the proper impregnating condition, such as 10 minutes of the preliminary vacuum time, 187°C of the heating temperature and 10 minutes of the maintaining pressure time at the pressure of 30kgf/cm². The produced composites showed 9 times higher density for small specimen, 6.6 times for actual size sample and great increase in bending strength from 102.05N/mm² to 189.47N/mm² for small size sample and to 205.4N/mm² for actual size sample, also great increase in hardness from 15.1N/mm² to 73.38N/mm² for small size sample and 64.87N/mm² for actual size sample. And the composites demonstrated great decrease in abrasion depth and in water absorption.

Key words: Low melting alloy, Wood composites, Thinned logs, *Juglans mandshurica*

1. 서 론

현재 전 세계적으로 바이오메스라는 새로운 에너지가 주목을 받고 있는 이 때 간벌재의 실질적 활용은 우리에게 커다란 도움을 줄 수 있다. 숲가꾸기 작업 후 간벌재가 2009년에 1,343,400m³에 달하고 있으나 수집실적은 819,000m³이며 배가공급활용으로 278,000m³, 무상지원활용으로 541,000m³로 쓰이고 있다.(Korea Forest Service, 2010) 따라서 수거비용과 운반비에 대비해 경제적인 가치는 현재까지 극히 적은 실정이다. Japan research society for promoting thinned logs(1983)의 보고에 의하면 간벌재의 유효활용방안으로 원목형태로는 공원시설, 지주목, 토목처리용(Nakatani Kazushi, 1997), 사방댐용(Lee 등, 2006) 등으로 사용할 수 있고 제재 가공재료로서 건축의 목재, 원예시설용 하우스, 가구공예품, 기타 제탄과 연료 등으로 활용할 수 있다고 보고하였으며 국내에서는 PB의 칩용이나 가로수지목과 같은 용도로 사용되고 있으며 칩으로 쓰이는 경우 보통 회사에서 1톤

당 약 8만원 정도 (운송비포함)의 가격으로 사용하고 있어 인건비에 대한 국가보조사업으로만 진행되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 간벌재를 이용한 고부가가치의 용도개발이 무엇보다 필요하다.

가래나무는 호두나무와 같이 반환공재로 목재의 무늬가 아름다워 가구나 악기 및 조각재로 사용되므로 간벌재를 바닥재로서 사용할 수 있도록 저온용융금속주입목재를 개발한다면 고부가가치를 창출할 수 있을 것이다. 우리나라 바닥재의 시장 규모 1조 2000억 가운데 목질계 마루가 차지하는 시장은 약 6000억 정도를 차지하고 있다. 그동안 PVC 바닥재가 선도하던 시장이 목질계 마루판으로 바뀌면서 친환경 인체친화적 바닥재로 전환되고 있다. 이 중에서도 가정용 바닥 난방용 플로어링은 오피스용과 달리 가장 가혹한 사용조건에 노출되기 때문에 성능이 최고로 발휘되는 최우수 품질을 갖추고 있지 않으면 안 된다. 더욱이 복사난방 시스템에 한국의 온돌이 2008년 3월에 ISO NP(신규규업 항목 제안)로 채택됨으로서 '온돌의 국제표준화'를 굳히게 되었다. 최근에 독일, 오스트리아, 덴마크 등은 최근 짓고 있는 주거용 건물의 30-50%에 온돌바닥난방방식의 구조를 설치하고 있어 에너지소모가 적고 열효율이 우수하며 인체에 쾌적한 온돌바닥난방의 진과속도가 매우 빠르게 전개되고 있다. 현재 KS 규격에 맞추어 개발되어 유통되는 온돌용 무늬목적층마루판은 표면 무늬목의 두께가 0.6mm 이

¹ 충남대학교 환경소재공학교(Department of Biobased materials, Chungnam National Univ, 305-764, Korea)
* Corresponding author: 이화형(Hwa-hyoung Lee)
Tel.: +82-42-821-5752 Fax: +82-42-824-9952
E-mail: hhlee@onu.ac.kr
2010년 11월 7일 투고
2010년 11월 28일 심사완료
2010년 12월 13일 게재확정

하의 얇은 것으로 개발되어 세계에서 선두 자리를 지키고 있으나 2mm 이상의 온돌바닥난방용 후판의 무늬목을 표 면재로 갖는 적층마루판의 새로운 시장이 고급 온돌용 원 목마루로서 국내 시장 및 중국을 비롯한 국외 시장에서 매우 강하게 요구되고 있다.

금속을 목재에 주입처리하는 기술은 Naeser(1930)와 Martel (1930)이 개발한 것으로 Bi 50%, Pb 31.2%, Sn 18.8%의 조성으로 97℃의 용점을 지닌 저온용융합금으로 목재(10×40×5 cm)를 실험실적인 방법으로 주입처리하여 제품을 만들었으며, lignum vitae 목재 대신에 선박의 스크류베어링 (screw bearing)으로 사용하려고 연구하였으나 2차세계대 전이 끝나고 활용도가 낮고 기타 용도가 없이 폐기되었다. 뿐만 아니라 이 기술은 인체에 유해한 중금속인 납을 다량 함유하고 있어 현재로서는 사용할 수가 없는 기술이 되었다.

Rowell과 Peggy(1987)는 크롬을 함유한 저온용융합금으로 목재를 열처리하여 열처리목재인 Staybwood를 제조하였으며 이 제품의 치수안정성은 열처리온도와 처리시간이 증가함에 따라 증가하나 강도는 떨어지는 방법으로 이 처리에 사용하는 크롬이라는 중금속은 인체에 매우 치명적이므로 인체에 접촉하는 제품으로서 매우 부적당하다.

따라서 본 연구는 이러한 바닥재의 필요성과 더불어 저 부가가치로 사용되어 왔던 가래나무 간벌재를 이용하여 인체에 무해한 저온용융합금을 주입하는 금속주입 적정제조 방법과 목재의 특성인 아름다운 무늬를 살리면서도 주입 금속의 특성으로 인하여 물리 기계적성질이 어떤지를 구명 하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시 재료

가. 간벌재

금속주입목재의 원료로 사용된 간벌재는 충주연습림에서 1975~2005년까지 31년 된 가래나무(*Juglans mandshurica* M)의 간벌재를 100×250×5mm의 크기로 재단하여 사용하여 적정처리조건이 구멍한 후 마루판으로 사용하는 실제크 기 75×900×7.5mm의 크기로 실험을 실시하였다.

나. 저온용융합금

금속주입목재에 사용된 금속은 인체에 무해하고 안전한 비스무스(Bi)와 주석(Sn)을 사용하였다. 비스무스의 용점은 271.5℃이고 주석의 용점은 232.06℃이다. 이 두 금속의 조성에 따라 용융점과 특성이 다르게 나타나는데 금속주입 목재에 사용된 합금은 비스무스와 주석을 58:42의 중량비 로 합금시킨 용융점 138℃의 저온용융합금을 사용하였다.

2. 실험 방법

가. 금속주입목재의 제조

목재를 가압과 감압 및 가열을 할 수 있는 실린더(Fig. 3) 내에서 가열을 통해 미리 용융된 비스무스와 주석의 저온 용융합금의 액체에 목재가 처리조에 잠기도록 하고 실린더 의 문을 닫고 소정 온도로 유지하도록 가열하면서 진공펌 프에 의하여 감압하여 목재 내의 공기를 제거한 후에 다시 가압하여 목재 속으로 액체상태의 저온용융합금을 주입한 다. 처리조건에 따라 주입이 완료되면 압력 해제 후 목재 를 처리조의 액체금속으로부터 꺼내면서 표면에 묻어 있는 금속을 가열브레이드로 긁어내어 처리조에 다시 돌려보낸 다. 실린더 내의 처리조로부터 밖으로 나온 금속주입목재 는 냉각되지 않고 샌딩을 통하여 표면을 다듬으면 금속주입 목재의 제조가 완료된다.



Fig. 1. *Juglans mandshurica*.



Fig. 2. The low melting alloy with bismuth(Bi) and tin(Sn).



Fig. 3. Pressure treating cylinder.



Fig. 4. *Juglans mandshurica* impregnated with low melting alloy.

나. 처리조건

금속주입목재의 제조조건으로 1) 600-700mmHg로 감압 유지시간 3수준(10분, 20분, 30분) 2) 가압력 3수준 (10kgf/cm², 30kgf/cm², 50kgf/cm²) 3) 가압시간은 6분20초, 10분, 20분의 3수준 4) 처리온도는 용융점과 목재에 해를 주지 않는 200℃ 사이의 온도를 사용하여 3 수준(163℃ 176℃, 187℃)으로 처리 조건을 정하여 최적조건을 구명하고 실제 마루판 크기의 가래나무에 적용하였다.

다. 물리·기계적인 성질

처리조건에 따라 제조된 금속주입목재의 물리적성질을 알아보기 위하여 KS F 3104(2006)에 의거하여 밀도와 함수율을 측정하였고 KS F 3200(2006)에 의거하여 흡수율과 흡수 두께 팽윤율을 측정하였다. 열전도도는 Quick Thermal Conductivity Meter(QTM-500, 제조사: KYOTO ELECTRONICS)를 사용하여 측정하였다. 전기저항은 진류계(DA-101B, 제조사: SEJIN)를 사용하여 측정하였다. 기계적성질은 KS F 2204(1999)에 따라 목재의 흡수량 측정 방법과 같이 계산하여 증량증가율을 측정하였고 휨강도는 KS F 3104(2006), 3200(2006)에 의거, 경도는 KS F 2212(2004)에 의거하여 만능재료시험기(Universal Testing Machine, UTM, Timius olsen Ltd., H-50K-ST, Redhill, England)로 측정하였다. 내마모도시험은 KS F 3111(2008)에 의거하여 내마모도 측정기(AbrasionTester, 제조사: Taber)를 사용하여 마모량으로 측정하였다.

라. 전자현미경 관찰

금속주입된 가래나무의 주입형태는 Philips사의 주사전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope) XL30 ESEM TMP로 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 적정처리조건 구명

가. 적정감압시간

감압시간은 진공펌프를 이용하여 실린더 내의 감압을 유지하는 시간으로 일반적인 약액 주입 시 감압시간은 30~60분 정도를 적용하지만 금속주입시 방부주입액 처리온도보다 고온에서 처리하고 처리시간이 침목이나 전신주보다 두께가 얇기 때문에 10, 20, 30분 간격으로 30분 이내로 시험을 진행하였으며 감압시간에 따른 물리·기계적성질은 Table 1과 2에서 보는 것과 같이 거의 차이가 없었으며 흡수율은 마루판규격에 없는 내용이지만 참고로 측정하였으며 통계적으로 차이는 있었으나 전부 2% 미만으로 무시해도 좋은 정도였고 두께팽윤율은 마루판의 KS 규격이 6% 이하인데 전부 3% 이하로 규격을 모두 만족시켰다. 따라서 경제성을 고려할 때 10분의 감압시간을 주는 것이 적합하다고 생각되었다.

나. 적정처리온도

처리온도는 용융점 138℃와 목재에 해를 주지 않는 20

Table 1. Physical properties of composites along with the vacuum time.

vacuum time pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=0.679**		Moisture Content (%) F=0.438**		Water Absorption (%) F=25.208**		Thickness Swelling (%) F=0.124**		Thermal Conductivity (W/mK) F=0.399**		Electric Resistance (Ω) F=38.1**	
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT
	10'-50kgf/cm ² -187℃-10'	4.92±0.21	A	0.77±0.2	A	1.30±0.02	A	2.74±0.54	A	0.5281±0.0069	A	0.58±0.05
20'-50kgf/cm ² -187℃-10'	4.80±0.3	A	0.81±0.13	A	1.97±0.18	B	2.69±0.53	A	0.5194±0.0257	A	0.43±0.05	B
30'-50kgf/cm ² -187℃-10'	4.64±0.47	A	0.87±0.05	A	1.45±0.1	A	2.55±0.32	A	0.5157±0.0145	A	0.26±0.58	C

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 2. Mechanical properties of composites along with the vacuum time.

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=0.651**		Bending Strength (N/mm ²) F=1.091**		Hardness (N/mm ²) F=0.667**		Abrasion depth (mm)
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	
	10'-50kgf/cm ² -187℃-10'	705.87±21.6	A	196.97±4.7	A	87.32±20.52	
20'-50kgf/cm ² -187℃-10'	700.06±27.24	A	200.4±10.54	A	77.29±12.4	A	0.072
30'-50kgf/cm ² -187℃-10'	681.13±43.32	A	211.9±19.28	A	70.35±27.12	A	0.048

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 3. Physical properties of composites along with the temperature.

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=0.562**		Moisture Content (%) F=4.187**		Water Absorption (%) F=1.046**		Thickness Swelling (%) F=0.122**		Thermal Conductivity (W/mK) F=0.712**		Electric Resistance (Ω) F=2.192**	
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT
10'-50kgf/cm ² -163°C-10'	4.79±0.28	A	1.16±0.04	A	1.71±0.21	A	2.64±0.46	A	0.5493±0.02	A	0.52±0.05	A
10'-50kgf/cm ² -176°C-10'	4.76±0.18	A	0.83±0.23	AB	1.72±0.67	A	2.55±0.34	A	0.5326±0.01	A	0.65±0.13	A
10'-50kgf/cm ² -187°C-10'	4.92±0.21	A	0.77±0.2	B	1.30±0.02	A	2.74±0.54	A	0.5281±0.007	A	0.58±0.05	A

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 4. Mechanical properties of composites along with the temperature

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=1.050**		Bending Strength (N/mm ²) F=0.523**		Hardness (N/mm ²) F=0.441**		Abrasion depth (mm)
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	
10'-50kgf/cm ² -163°C-10'	694.90±48.27	A	202.67±8.21	A	70.83±21.81	A	0.048
10'-50kgf/cm ² -176°C-10'	739.36±57.74	A	200.53±7.31	A	77.24±31.36	A	0.072
10'-50kgf/cm ² -187°C-10'	705.87±21.6	A	196.97±4.7	A	87.32±20.52	A	0.072

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 5. Physical properties of composites along with the pressure.

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=253.337**		Moisture Content (%) F=14.557**		Water Absorption (%) F=205.43**		Thickness Swelling (%) F=4.231**		Thermal Conductivity (W/mK) F=402.761**		Electric Resistance (Ω) F=18.038**	
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT
10'-10kgf/cm ² -187°C-10'	1.66±0.05	A	3.76±1.19	A	13.37±1.34	A	3.58±0.3	A	0.1416±0.02	A	0.95±0.24	A
10'-30kgf/cm ² -187°C-10'	4.67±0.33	B	1.44±0.24	B	2.01±0.47	B	2.72±0.36	B	0.5644±0.03	B	1.18±0.08	B
10'-50kgf/cm ² -187°C-10'	4.92 ±0.21	B	0.77±0.2	B	1.30±0.02	B	2.74±0.54	B	0.5281±0.007	B	0.58±0.05	C

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 6. Mechanical properties of composites along with the pressure.

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=1190.203**		Bending Strength (N/mm ²) F=36.166**		Hardness (N/mm ²) F=26.198**		Abrasion depth (mm)
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	
10'-10kgf/cm ² -187°C-10'	202.82±16.97	A	145.6±12.34	A	22.42±2.4	A	0.218
10'-30kgf/cm ² -187°C-10'	701.78±9.44	B	189.47±4.16	B	73.38±10.38	B	0.08
10'-50kgf/cm ² -187°C-10'	705.87±21.6	B	196.97±4.7	B	87.32±20.52	B	0.072

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

0°C 사이의 온도를 사용하였으며 처리온도에 따른 차이는 Table 3과 4에서 보는 바와 같이 통계적으로 거의 차이가 없었고 187°C의 처리조건에서 함수율이 조금 더 낮은 것으로 나타났다. 그 외의 모든 데이터는 거의 비슷하였지만 처리 시 163°C에서의 압력을 주기 위하여 질소가스를 주입할 때 내부온도가 138°C 가까이 떨어져 처리조의 양 끝 부분에서 약간의 합금이 굳는 현상이 나타났다. 따라서 작업의 용이성을 볼 때 금속의 빠른 용융과 위의 문제를 감

안할 때 187°C가 적당하다고 생각된다.

다. 적정압력

실린더에 가하는 적정압력은 Table 5와 6에서 보듯이 물리·기계적성질이 압력 10kgf/cm²에서 가장 좋지 않았으며 30kgf/cm², 50kgf/cm²에서는 거의 비슷한 성질을 나타내었다. 전기저항을 제외하고 30kgf/cm²와 50kgf/cm²의 통계적인 유의차가 없으므로 경제성을 고려할 때 30kgf/cm²의 압

Table 7. Physical of properties composites along with the pressing time.

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Density (g/cm ³) F=19.63**		Moisture Content (%) F=8.601**		Water Absorption (%) F=3.094**		Thickness Swelling (%) F=2.07**		Thermal Conductivity (W/mK) F=50.488**		Electric Resistance (Ω) F=18.9**	
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT
	10'-30kgf/cm ² -187°C-6'20"	3.74±0.26	A	1.78±0.29	A	2.48±0.2	A	2.97±0.2	A	0.4111±0.01	A	1.56±0.19
10'-30kgf/cm ² -187°C-10'	4.67±0.33	B	1.44±0.24	AB	2.01±0.47	A	2.72±0.36	A	0.5644±0.03	B	1.18±0.08	B
10'-30kgf/cm ² -187°C-20'	4.8±0.16	B	1.02±0.11	B	1.87±0.19	A	2.5±0.28	A	0.5548±0.02	B	0.98±0.13	C

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

Table 8. Mechanical properties of composites along with the pressing time.

vacuum time- pressure- temperature- pressing time	Weight Percent Gain (%) F=36.072**		Bending Strength (N/mm ²) F=30.776**		Hardness (N/mm ²) F=1.022**		Abrasion depth (mm)
	mean+SD	DT	mean+SD	DT	mean+SD	DT	
	10'-30kgf/cm ² -187°C-6'20"	603.24±19.89	A	162.01±9.01	A	63.9±5.69	
10'-30kgf/cm ² -187°C-10'	701.78±9.44	B	189.47±4.16	B	73.38±10.38	A	0.08
10'-30kgf/cm ² -187°C-20'	705.96±25.29	B	201.67±4.71	B	71.32±12.34	A	0.08

* DT : Duncan's new Multiple Range Test

력이 적당하였다.

라. 적정가압시간

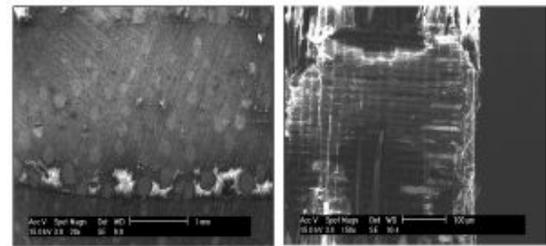
적정가압시간은 Table 7과 8에서 보듯이 물리·기계적성질이 통계적으로 6분 20초에서는 차이를 나타내었으며 전기저항을 제외하고 10분과 20분의 가압시간에서는 통계적으로 유의차가 없었다. 따라서 중요한 인자인 증량증가와 강도와 경도, 치수안정성, 마모깊이 등 경제성을 고려할 때 10분의 가압시간이 적당하였다.

2. 금속주입가래나무의 주입형태

가래나무는 환공공재로 도관분포수가 8-19/mm², 도관의 접선방향직경은 65-170μm, 길이는 240-740μm이고 단일천공이며 방사조각은 1-4열로 주로 동성형이며 목섬유의 길이는 610-1820μm로 Lee(1994)는 보고하고 있다. Fig. 5의 횡단면 사진에서는 도관과 목섬유에 금속으로 충전되어 있음을 볼 수 있고 방사단면 사진에서 유세포는 금속이 주입되지 않았음을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 Naeser(1930)와 Martel(1930)이 너도밤나무와 같은 환공공재의 변재는 처리하기가 가장 좋으며 도관은 침투가 잘되고 방사조각은 침투가 안 되는 것으로 보고한 것과 동일한 결과를 가져왔다.

3. 금속주입가래나무의 물리적 성질

금속주입가래나무의 물리적성질로 Fig. 6~11은 최적조



Cross section

Radial section

Fig. 5. SEM micrographs of *Juglans mandshurica* impregnated with low melting alloy.

건으로 처리한 작은 시편의 처리재와 실제 마루판 크기의 처리재를 무처리재와 비교한 것으로, 밀도(Fig. 6)는 0.52g/cm³에서 작은 크기의 처리재가 4.67g/cm³로 크게 증가하였고 실제 마루판크기의 처리재는 3.41g/cm³로 작은 시편의 처리재보다는 적은 값이 나왔다. 이는 처리재의 크기가 커져 주입 시 시편의 중간부분에서 표층과 달리 중심층부분이 주입되지 않는 부분이 발생한 결과로 밀도의 차이를 보였으나 표면에서부터 금속이 주입되어 효과를 발휘하는데 문제가 없었다. 독일에서 Naeser(1930)와 Martel(1930)가 실험하였던 금속주입기술에서도 0.6 이하의 비중을 갖는 Walnut을 처리 후 조건에 따라 0.95에서 3.83의 비중을 나타내었는데 본 실험에서의 밀도와 비교해 보면 실제크기 시편의 처리재와 거의 비슷한 결과를 나타냈다고 볼 수 있다. 함수율(Fig. 7)은 미처리재가 12.09%인데 비하여 작은 시편의 처리재가 1.44%, 실제 마루판크기의 처리재가 0.33%

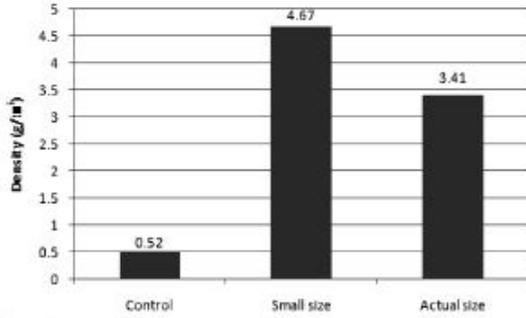


Fig. 6. Comparison of density between the control and the treated specimen of small and actual size.

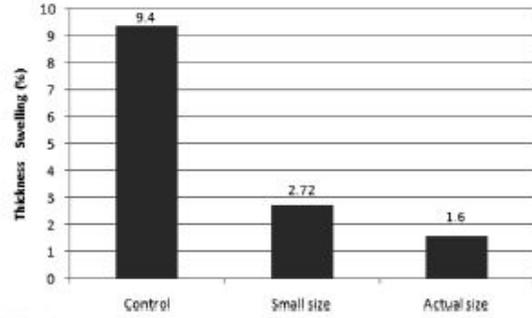


Fig. 9. Comparison of thickness swelling between the control and the treated specimen of small and actual size.

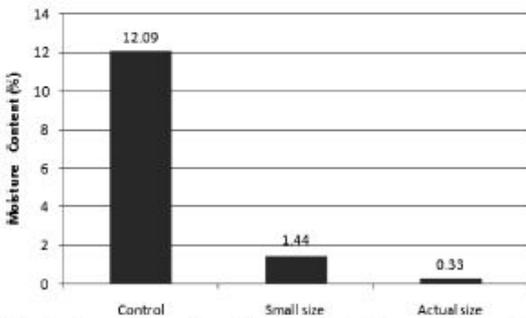


Fig. 7. Comparison of moisture content between the control and the treated specimen of small and actual size.

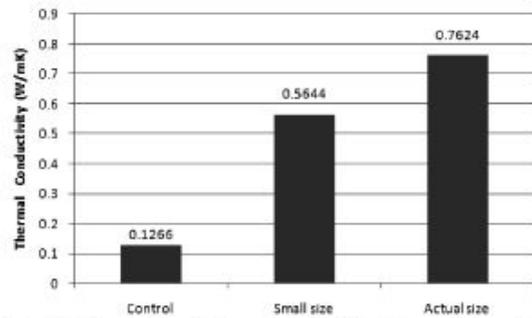


Fig. 10. Comparison of thermal conductivity between the control and the treated specimen of small and actual size.

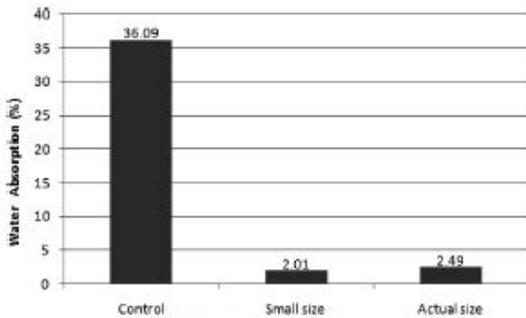


Fig. 8. Comparison of water absorption between the control and the treated specimen of small and actual size.

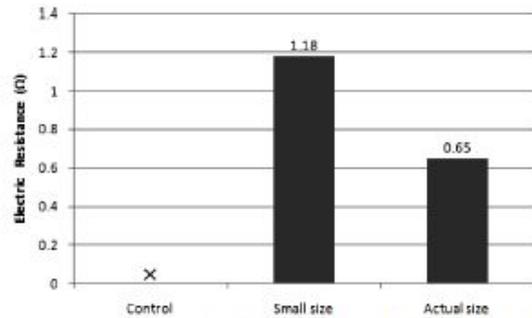


Fig. 11. Comparison of electric resistance between the control and the treated specimen of small and actual size.

로 함수율이 극히 낮았으며 흡수율(Fig. 8)도 처리 후 36.09%에서 2.01%, 2.49%로 각각 크게 감소하였다. 또한 두께팽윤율(Fig. 9)도 9.4%에서 작은 처리제가 2.72%, 실제 마루판크기의 처리제가 1.6%로 현저히 감소하여 매우 큰 치수안정성을 보였다. 열전도도(Fig. 10)는 작은 시편의 처리제가 4배, 실제크기의 처리제가 6배정도로 크게 증가하였고 전기저항(Fig. 11)은 처리 전 통하지 않던 전기가 금속으로 인하여 최적조건에서는 저항이 거의 없는 것으로 나타났다.

3. 금속주입가래나무의 기계적 성질

금속주입가래나무의 기계적성질로 Fig. 12~15는 최적조건으로 처리한 작은 시편의 처리제와 실제 마루판크기의 처리제를 무처리제와 비교한 것으로 중량증가율(Fig. 12)은 작은 시편의 처리제가 701.78%의 증가를 보였고 실제 마루판크기의 처리제가 471.75%의 증가를 보였는데 이는 밀도에서 설명한 바와 같이 시편길이중간부위에 중심층부분이 주입되지 않는 부분이 생겼기 때문이다. 휨강도(Fig. 13)

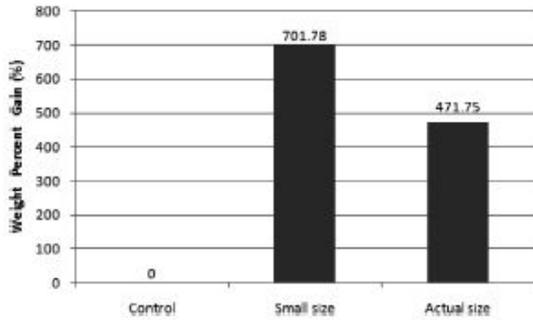


Fig. 12. Comparison of weight percent gain between the control and the treated specimen of small and actual size.

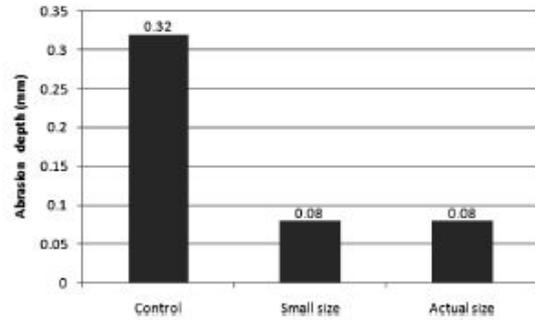


Fig. 15. Comparison of Abrasion depth between the control and the treated specimen of small and actual size.

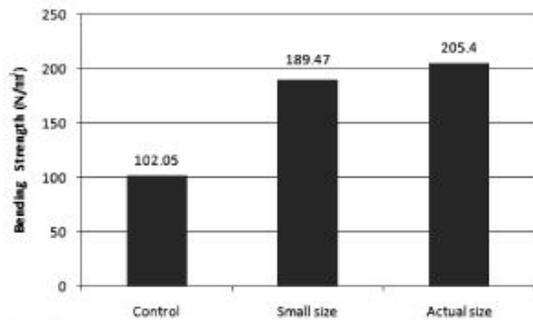


Fig. 13. Comparison of bending strength between the control and the treated specimen of small and actual size.

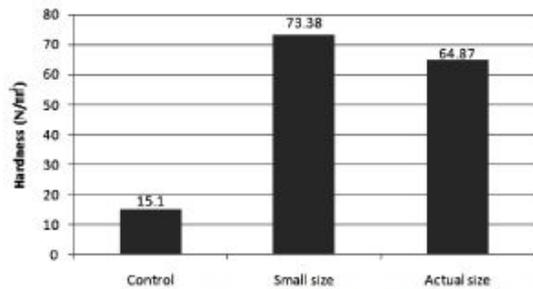


Fig. 14. Comparison of hardness between the control and the treated specimen of small and actual size.

는 작은 크기의 처리제와 실제 마루판크기의 처리제 모두 2배정도의 증가를 보였고 경도(Fig. 14)의 크기는 15.1N/mm²에서 작은 시편의 처리제가 73.38 N/mm², 실제 마루판크기의 처리제가 64.87N/mm²로 두 처리제 모두 크게 증가하였다. 작은 시편의 처리제 경도가 다소 큰 것은 실제 마루판크기의 처리제 길이중간부분의 주입되지 않는 부분이 발생 하에 생긴 것이나 차이는 거의 없었다. 독일에서 Naeser (1930)와 Martel(1930)가 실험하였던 금속주입기술에서 경도가 2~3배 증가한 것으로 보고하고 있으나 본 실험에서 4.86과 4.23배로 크게 나타난 것은 길이는 크나 두께가 보

다 얇은 치수의 차이에 따른 결과라고 생각된다. 마모량 (Fig. 15)은 마모되는 표층부위가 모두 금속으로 가득 차 있어 크기가 작은 시편의 처리제와 실제 마루판크기의 처리제 모두 같은 마모량결과를 갖는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 논문에서는 활용도가 낮은 가래나무 간벌재를 이용하여 고기능성의 금속주입목재를 제조하는 방법과 특성을 구명하기 위하여 적정처리조건과 금속주입목재의 물리·기계적성질을 구명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 금속주입목재의 색상은 합금의 색상인 회백색을 나타내어 고급스러운 느낌을 살리면서도 무늬는 가래나무가 갖는 고유한 무늬를 그대로 나타내어 금속이 가질 수 없는 천연의 느낌을 나타냈다.

2. 금속주입가래나무의 최적조건은 감압시간 10분, 압력 30kgf/cm², 온도 187℃, 가압시간 10분으로 처리하는 것이 가장 경제적이며 효율성이 높았다.

3. 최적조건에서 만들어진 금속주입가래나무는 무처리제에 비하여 처리제의 크기에 따라 물리적성질이 밀도가 작은 크기의 처리제가 9배, 실제크기의 처리제가 6.5배로 증가되었고 두께 팽윤율은 무처리제의 9.4%에서 1.6%, 2.72%로 매우 낮아졌으며 흡수율은 무처리제의 36.09%에서 2.01%, 2.49%로 대폭 감소하여 치수안정성이 매우 높아졌다. 또한 무처리제의 열전도율은 0.127W/mK에서 작은 크기의 처리제가 0.564W/mK, 실제크기의 처리제가 0.7624W/mK으로 매우 높아졌으며 비전도체인 목재가 전기저항이 1.18Ω, 0.65Ω을 가진 전기가 아주 잘 통하는 전도체로 바뀐 것으로 나타났다.

4. 최적조건에서 만들어진 금속주입가래나무간벌재는 무처리제에 비하여 처리제의 크기에 따라 기계적성질이 증량 증가율은 작은 크기의 처리제가 7배 실제크기의 처리제가 4.7배로 증가하였고 휨강도는 두 처리제 모두 2배 증가하였다. 또한 경도는 작은 크기의 처리제가 4.8배 실제크기의

처리재가 4.3배로 크게 증가하였다. 마모량은 0.32mm에서 2개의 처리재가 0.08mm로 4배 감소하여 수명이 4배정도 증가되는 것으로 나타났다.

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원의 “바닥복사 가열시스템을 위한 고성능후판무늬복합체적층마루판의 개발” 연구비에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. Japan research society for promoting thinned logs. 1983. A case study on effective utilization of thinned logs. Chikyusha.
2. Korea Forest Service 2010.08. Statistical Yearbook of Forestry(2010) No.40: 330.
3. Lee, D.H., D.W. Son, O.J. Kim. 2006. Wood-assembled porous dam using thinned logs at flood spillway and/or debris barrier, Korea Patent Number 100659472.
4. Lee, P.W. 1994. Structure of Korean wood species. 321 p. Jungminsa.
5. Martel, P. 1930. Journal for Applied Chem. German patent No. DRP 506,477.
6. Naeser, G. 1930. Umshau 34,250; German patent No. DRP 493905.
7. Nakatani Kazushi. 1997. Utilization of thinned logs for forest conservation project. Chisan. 41(11): 281-287.
8. Rowell, Roger M and Peggy Konkol. 1987. Treatments that enhance physical properties of wood. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-55. Madsison, WI, USDA, Forest Product Laboratory. 12 p.

주 의

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