

감가압법으로 주입한 피마자유-처리 목재의 내후성 평가

권오경* · 최영서** · 김다예** · 최원실* · 이영규* · 김권민*** · 최준원**** · 양 인**†

*서울대학교 농생명과학공동기기원
 08826 서울특별시 관악구 관악로 1
 **서울대학교 그린바이오과학기술원
 25354 강원도 평창군 대화면 평창대로 1447
 ***한국임업진흥원
 07570 서울특별시 강서구 공항대로 475
 ****서울대학교 국제농업기술대학원
 25354 강원도 평창군 대화면 평창대로 1447

(2022년 10월 30일 접수, 2022년 12월 28일 수정본 접수, 2023년 1월 13일 채택)

Weatherproof-properties Evaluation of Castor Oil-impregnated Wood Using a Vacuum-pressure Method

Ohkyung Kwon*, Yeong Seo Choi**, Daye Kim**, Wonsil Choi*, Young-kyu Lee*, Kwon-min Kim***, Joon weon Choi**** and In Yang**†

*National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea
 **Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea
 ***Korea Forestry Promotion Institute, Seoul, 07570, Korea
 ****Graduate College of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea

(Received 30 October 2022; Received in revised from 28 December 2022; Accepted 13 January 2023)

요 약

본 연구는 천연 목재방부제로서 피마자유(castor oil, CSO)의 적용 가능성을 평가하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 CSO를 감가압법으로 국내외 목재수종에 주입한 후, 주입능, 용탈성, 내후성 등을 조사하였다. CSO 주입능은 수종별 해부학적 구조의 차이로 인하여 솔송, 잎갈, 단풍, 신갈나무 순으로 측정되었으나, 모든 수종에서 목재 내로 효과적으로 주입되었다. 용탈성의 경우, 잎갈나무를 제외하고 주입능이 높은 수종에서 용탈되는 양이 많았다. CSO의 점도 저하를 위한 에탄올의 첨가는 주입능 및 용탈성에 부정적인 영향을 미쳤다. 중량감소율을 이용하여 조사한 CSO-주입/용탈 시편의 목재부후균에 대한 내후성은 대조구와 비교하여 대부분의 처리목에서 매우 우수하였다. 특히 갈색부후균인 *Fomitopsis palustris*에 대하여 CSO만으로 구성된 약액(CSO-2)을 처리한 대부분의 처리목에서 부후가 발생하지 않거나, 매우 낮은 중량감소율을 보였다. 이는 주입된 CSO가 용탈과정에서 목재 내에 잔류하여 발생한 결과로서 X-ray microscope 관찰을 통하여 CSO의 잔류를 확인할 수 있었다. 한편 CSO-2를 주입한 후, 2주간 염수에 용탈시킨 스트립 형태의 시편은 모든 절삭방향에서 길이 변화가 거의 일어나지 않았다. 또한 CSO-2 주입/용탈 시편을 야외에 2주간 노출시킨 후, 측정된 중량증가율과 길이팽윤율도 대조구 시편과 비교하여 매우 낮아 내수성이 크게 향상된 것을 확인하였다. 따라서 CSO는 목재부후균의 생장 억제뿐만 아니라 치수안정 효과까지 제공함으로써 다양한 실내외 환경에서 천연 목재방부제로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract – This study was conducted to evaluate the applicability of castor oil (CSO) as a natural wood preservative. CSO was treated into wood blocks prepared with domestic and imported wood species using a vacuum-pressure method, and then treatability, leachability and decay resistance of the CSO-treated wood blocks were examined. Although CSO was penetrated effectively into wood blocks of all wood species, the CSO-treatability was the highest in Western

† To whom correspondence should be addressed.
 E-mail: dahadad@snu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

hemlock, followed by Japanese larch (LA), soft maple and Mongolian oak due to the difference of its anatomical structure. Except for LA, the more retained, the more leached during a saline water-immersing process for 48h. The use of ethanol added to reduce the viscosity of CSO affected negatively the treatability and leachability of wood blocks. Decay resistance, which was evaluated by the weight loss of wood blocks exposed against *Fomitopsis palustris* (FOP) and *Trametes versicolor*, of the CSO-treated/leached wood blocks was superior to that of control. Especially, most of wood blocks treated with preserving solution composed of only CSO (CSO-2) did not decayed and showed a very low weight loss against FOP. The decay resistance results from CSO retained in wood blocks after leaching. The retention of CSO could identify using the observation of X-ray microscope. Length of wood strips, which were treated with CSO-2 and then immersed in saline water for 2 weeks, hardly changed in all cutting directions. In addition, weight gain and length-swelling rate of the wood strips were extremely low compared to those of control. These results indicate that moisture resistance of the wood strips was improved by the CSO treatment. It is concluded that the treatment of CSO using a vacuum-pressure method provides the decay resistance and dimensional stability of wood, and thus CSO can be used as a natural wood preservative on various indoor and outdoor circumstances.

Key words: Castor oil, Wood preservatives, Decay resistance, Vacuum-pressure treatment, Dimensional stability

1. 서 론

현재까지 주로 사용되고 있는 수용성 및 유용성 목재방부제의 환경 및 인체 유해성에 대한 논란이 지속적으로 제기되는 상황에서 목재의 부후 억제에 대한 천연 성분의 오일 및 추출물을 이용한 다양한 연구가 지난 20년간 수행되었다[1-3]. 이 연구에서 생리활성 특성을 가진 천연물이 열화를 일으키는 균류로부터 목재를 보호할 수 있으며, 결과적으로 환경 및 인체 유해성이 제기되고 있는 기존 목재방부제에 대한 대체 가능성이 제안되었다. 이 제안에서 환경 유해성을 최소화하면서 부후로부터 목재 및 목가공품을 보호하기 위한 지속가능한 기술개발의 필요성을 강조하였다. 이를 위하여 천연물만으로 구성된 방부제의 개발이 적절할 것이며, 이렇게 개발된 천연물-기반 목재방부제는 주택용 목가공품 제조에도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 기존 목재방부제는 저렴한 단가와 함께 장기간 우수한 방부효능을 유지하는 관계로 천연물-기반 목재방부제의 상용화를 위하여 비용 및 장기 효능 측면에서 해결방안의 마련이 요구된다.

목재 부후를 억제하기 위하여 사용되는 일반적인 접근방법에는 예방과 살균이 적용되고 있다. 예방은 부후 발생에 앞서 목재 내에서 균류의 생장을 억제하기 위한 최적의 환경적 조건을 제공하는 방법이다. 반면 살균은 부후가 발생한 목재에 직접 적용되는 방법으로 살균제를 처리한 이후부터 부후균의 생장을 억제하는 기능이 포함된다[4]. 또한 내후성이 우수한 수종의 선택, 내습성 부여, 부후균의 지역적 특성을 고려한 예방처리 등은 목재 보호를 위한 간접적인 역할을 수행한다. 이와 함께 살균처리에 의한 내후성의 장기 간 유지는 목재 내부로 약제 침투성과 밀접한 관련이 있다[5,6]. 따라서 국내에서 일반적으로 보고되는 갈색 및 백색 부후균의 생장을 억제하고, 이를 위하여 목재에 내습성 제공까지 가능한 방부제의 선택과 함께 국내 주요 이용수종에 대한 방부 약액의 침투성과 관련한 연구가 요구되는 실정이다.

목재는 20% 이상의 흡수율, 산소 가용성, 15-45 °C의 기온과 같은 환경 조건에서 균에 의한 부후가 발생할 가능성이 높아진다[7]. 따라서 레진, 식물성 또는 동물성 왁스, 식물성 오일과 같은 천연 소수성 물질을 이용한 수분 조절을 통하여 목재 부후균의 생장을 억제하여 목재를 보호하는 환경친화적인 방법에 대한 연구가 수행되었다[3,8-10]. 이 외에 살균성질을 보유한 천연성분을 목재에 주입한 후, 정착시켜 균류에 의한 부후로부터 보호하는 방법도 시도되었다[2,3,11]. 부후균의 생장 억제를 위하여 적용이 가능한 소수성

물질 가운데 유채유, 대두유, 아마유, 피마자유, 해바라기씨유, 홍화씨유 등과 같은 식물성 오일이 있으며, 이에 함유된 항균성 물질에 의한 부후균 및 흰개미에 대한 방부 및 방의 효과에 대한 여러 연구가 진행되었다[11,12]. 이 연구에서 식물성 오일을 가압, 침지, 감압 등과 같은 방법으로 목재에 주입하였으며, 감가압 처리가 목재에 가장 효과적으로 주입되는 방법으로 보고되었다[13,14]. 따라서 감가압법을 이용하여 식물성 오일을 다양한 목재에 주입한 후, 이에 대한 주입능, 용탈성 및 방부/방의 특성에 대한 연구가 필요할 것으로 사려된다.

목재방부제로 사용이 가능한 식물성 오일 가운데 피마자유는 화장품, 식품, 의약, 플라스틱, 윤활유 등과 같이 다양한 산업분야에 널리 사용되는 원료인 관계로 식용으로 주로 사용되는 식물성 오일과 비교하여 윤리학적 측면에서 사용에 제약이 없다[15,16]. 피마자(*Ricinus communis*)는 인도, 미얀마, 베트남 등을 포함한 아시아·태평양 지역의 반건조 지역을 중심으로 전세계적으로 분포하는 열대성 식물이다. 국내의 경우, 일부 지역에서 최근까지 소규모로 재배되고 있으나, 지구온난화에 따른 기온상승으로 향후 재배지역의 확대가 예상된다. 한편 피마자씨의 압착을 통하여 얻는 피마자유는 국내에서 대량공급이 불가능한 관계로 관련 제품생산에 대부분 수입산이 사용되고 있는 실정이다. 반면 피마자유의 세계 시장규모는 2021년 1.2억 달러로 바이오디젤 작물로 각광받으며, 2030년까지 1.9억 달러로 증가할 것으로 전망하고 있다. 피마자유는 항균성과 함께 흰개미에 대한 방의성까지 보유한 것으로 해외 여러 연구를 통하여 보고되었으나, 목재방부제로서 적용 가능성을 조사한 연구는 극히 제한적으로 보고되었다[17-21]. 즉, 대부분 흰개미에 대한 방의성 연구결과가 보고되었으며, 방부성에 대한 연구에서는 피마자유에 kerosene 또는 에탄올을 혼합한 방부제를 사용하거나, 이를 냉온침지법으로 주입하는 연구만 수행되었다. 국내의 경우, 목재에 대한 피마자유의 방부 및 방의 효과와 관련한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 주요 이용수종인 낙엽송, 참나무류와 함께 수입수종인 솔송 및 단풍나무에 피마자유를 감가압법으로 주입한 후, 이에 대한 침투능과 용탈성을 분석하고, 이렇게 주입/용탈 시편에 대하여 국내에서 주로 보고되는 대표적 백색 및 갈색 부후균에 대한 내후성 평가를 위한 중량감소율을 측정하였다. 또한 부후균의 생장을 억제할 수 있는 내습성 평가를 위하여 치수안전성 및 수분흡착성을 조사하였으며, 이 결과를 토대로 피마자유의 목재방부제로서 적용 가능성을 확인하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 공시재료

본 연구를 위하여 국내 대표적인 침엽수종인 낙엽송(*Larix kaempferi*, Japanese larch, 이하 LA)과 활엽수종인 신갈나무(*Quercus mongolica*, Mongolian oak, 이하 OK) 각재(25 mm × 25 mm × 500 mm)를 산림조합중앙회 동북목재유통센터(강원, 동해)에서 공급받아 공시목으로 사용하였다. 또한 국내 및 수입 수종 간의 방부 처리 효과를 비교하기 위하여 솔송(*Tsuga heterophylla*, Western hemlock, 이하 HL)과 단풍나무(*Acer saccharinum*, soft maple, 이하 MP) 각재를 (주)행복홈우드테크(전남, 무안)에서 공급받아 함께 공시목으로 사용하였다. 공급받은 각재는 등근톱을 이용하여 심변재 구분없이 정육면체(25 mm × 25 mm × 25 mm) 형태로 절삭한 후, 시편으로 사용하였다.

천연 방부제로 사용된 피마자유(castor oil, 이하 CSO)는 비정제 피마자유로 (주)에스엠그린(서울, 영등포)에서 구매하여 사용하였으며, 이 외에 사용된 시약은 랩스토리아이언스(충북, 청주)에서 구입하여 사용하였다.

2-2. 공시목의 조성분 분석

합수율은 105 °C의 오븐에서 24 시간동안 건조시킨 후, 데시케이터에서 상온까지 냉각시킨 목재시편의 건조 전후 중량으로 구하였다[22].

리그닌 함량은 66.5 ml의 진한 황산(농도: 95%)과 30 ml의 증류수를 비이커에 넣고 교반한 후, 3.5 ml의 증류수를 첨가하여 100 ml의 72% 황산 용액을 조제하였다. 각 시편의 목분 0.3 g와 3 ml의 72% 황산 용액을 100 ml 비이커에 넣고, 30 °C에서 1시간 동안 유리봉을 이용하여 충분히 교반하였다. 교반이 끝난 시료를 150 ml 용량의 삼각플라스크에 넣고 잔여물을 84 ml의 증류수로 세척하면서 3% 황산 용액으로 만들었다. 이 반응물이 있는 삼각플라스크를 고압증기멸균기에 넣고 120 °C의 온도에서 1시간동안 반응시킨 후, 꺼내어 24시간 동안 한쪽으로 비스듬한 상태로 방냉하였다. 방냉이 완료된 반응물을 일차적으로 glass 필터(1G3)를 부착시킨 흡입기로 여과시킨 후, 500 ml 증류수를 이용하여 이차적으로 세척하였다. 여과 및 세척시킨 시료를 칭량병에 넣고 16시간동안 건조 및 1시간 동안 냉각시킨 후, glass 필터의 무게를 측정하여 시료의 리그닌 함량을 측정하였다[23].

전섬유소 분석은 탈지된 시료 2.5 g를 250 ml 삼각플라스크에 넣고, 150 ml 증류수를 첨가하였다. 증류수가 첨가된 시료에 1 g의 아염소산나트륨과 0.2 ml 아세트산을 첨가한 후, 100 ml 삼각플라스크를 덮고 항온 수조(70~80 °C)에서 1시간동안 가온시켰다. 이 삼각플라스크의 반응물을 glass 필터(1G3)로 여과시키고, 증류수로 세척한 후, 50 ml 아세톤으로 재세척을 실시하였다. 다음으로 glass 필터를 105±2.5 °C의 오븐에서 16시간의 건조 및 데시케이터 내에서 1시간동안 냉각시킨 후, 전섬유소 함량을 구하였다[24].

추출물 함량은 원통 여과지에 담은 2 g의 시료에 2:1 비율로 혼합한 알코올-벤젠 용액 200 ml를 Soxhlet 추출기를 이용하여 8시간 추출한 후, 감압농축기를 이용하여 용매를 증발시켰다. 이를 105 °C 오븐에서 건조하여 무게를 측정하여 구하였다[24].

회분은 도가니에 1 g의 시료를 넣고 575±25 °C의 온도에서 1시간을 연소시킨 후, 전건 중량에 대한 무게 감소량을 계산하여 측정

하였다[25].

2-3. 피마자유 주입

목재시편 내로 주입되는 CSO와 함께 CSO의 점도 저하를 위하여 에탄올(이하 EtOH)을 첨가하였으며, 이렇게 준비한 처리액에서 EtOH 함량이 목재시편 내의 주입량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 CSO/EtOH를 각각 100 wt%/0 wt%, 75 wt%/25 wt%, 50 wt%/50 wt%로 조절된 CSO-기반 약액을 조제하였다. 이렇게 조제한 약액을 주문 제작한 주입관을 이용하여 목재시편에 주입하였다. 이를 상세히 설명하면, 12개의 목재시편을 2 L 폴리프로필렌 병에 3층으로 쌓았는데 각 층마다 플라스틱 망을 배치하여 목재시편 간의 밀착으로 CSO-기반 약액의 주입에 방해되는 요소를 최소화하였다. 약액의 주입은 모든 목재시편이 완전히 침지되도록 충분한 양의 CSO-기반 약액을 투입한 후, 주입관을 밀폐시키고 진공펌프로 550 mmHg까지 감압한 후, 30분간 유지하였다. 순차적으로 콤프레서를 이용하여 4 kgf/cm²로 가압한 후, 30분간 유지하면서 CSO-기반 약액을 주입하였다. 주입이 완료된 목재시편을 주입관에서 꺼내어 표면에 존재하는 CSO를 종이 핸드타올로 가볍게 문질러 제거하였으며, 이를 최소 24시간 동안 기건시킨 후, 중량을 측정하였다. 목재시편에 대한 CSO/EtOH 주입량은 초기 목재시편의 중량과 상기 주입/기건후 중량 차이로 계산하였으며, 초기 목재시편 중량 대비 주입된 CSO의 중량을 백분율로 계산한 것을 주입능(treatability)으로 명시하였다

2-4. 피마자유 주입 목재시편의 용탈

주입능 측정이 완료된 목재시편을 30 L의 플라스틱 박스에 넣고, 그 위에 플라스틱 망과 중량 추를 순차적으로 놓아 침지 과정에서 목재시편이 떠오르지 않도록 조절하였다. 다음으로 목재시편이 완전히 침지될 수 있도록 35 ppt 염도로 조제된 염수를 충분히 부은 후, 48시간 동안 용탈을 실시하였다. 용탈이 완료된 목재시편을 먼저 충분히 기건하고, 70 °C 오븐에서 24시간 동안 재건조한 후, 중량을 측정하였다. 목재시편으로부터 용탈되는 CSO 또는/그리고 EtOH 양은 주입과 용탈 목재시편의 중량 차이로 측정하였으며, 목재시편으로 주입된 CSO/EtOH 양에 대한 용탈된 양을 백분율로 나타내어 용탈성(leachability)으로 명시하였다.

2-5. 내후성 평가

CSO-주입 및 염수-용탈 목재시편의 내후성 평가는 KS F 2213에 기술된 시험방법에 준하여 시행하였으며, 상세한 과정은 다음과 같다[26]. 먼저 균의 배양을 위하여 2.5%의 glucose, 1%의 malt extract, 0.5%의 peptone, 0.3%의 potassium phosphate, 0.2%의 magnesium sulfate의 액상 배지를 조제하였다. 이렇게 조제한 80 ml의 액체배지를 12 cm×9 cm×20 cm(가로, 세로, 높이)의 유리병에 모래 300 g와 함께 넣고, 병을 흔들어 조제한 액상 배지가 균일하도록 조절하였다. 모래 배지가 완성된 유리병을 고압증기멸균기에서 121 °C에서 30분 동안 멸균시키고, 병을 충분히 냉각시킨 후에 갈색부후균인 *Fomitopsis palustris*(이하 FOP)와 백색부후균인 *Trametes versicolor*(이하 COV)를 각각 모래 배지에 접종하였다. 균주 접종 이후 균이 충분히 자라날 수 있도록 24±2 °C, 습도 75%의 항온습기에서 배양하였다.

부후균이 배양병의 모래 표면을 충분히 덮을 만큼 생장이 확인되

면 대조구인 무처리(non-treated wood block, 이하 NTW), 염수 침지(seawater-immersed wood block, 이하 SIW), CSO-주입/침지(CSO-1, CSO-2) 시편 3개를 각 배양병에 투입하였다. 이 과정에서 목재시편의 횡단면이 모래와 접촉하도록 조절하였으며, 목재시편 간에는 서로 접촉하지 않도록 일정한 간격을 유지하였다. 목재시편 투입이 완료된 배양병은 다시 24 ± 2 °C, 습도 75%의 항온항습기에 넣고 배양하였으며, 3주 간격으로 부후 양상을 관찰하였다.

항온항습기의 배양 시작일 기준으로 12주 후에 부후실험을 완료하였으며, 목재시편은 배양병에서 꺼내어 표면에 있는 균사를 부드러운 칫솔로 완전히 제거하였으며, 이를 50 °C 오븐에서 24시간 이상 건조한 이후 중량을 측정하였다. 균에 의하여 감소된 목재시편의 중량은 용탈 이후의 중량과 부후 이후의 중량 차이로 측정하였다. 즉, 용탈실험 이후의 건조한 목재시편의 중량에 대한 부후균에 의하여 감소된 중량을 백분율로 계산한 것을 중량감소율(weight loss)로 명시하였다.

2-6. 치수안전성

염수 침지에 의한 CSO-주입 목재시편의 치수 변화를 측정하기 위하여 종, 접선, 방사방향별 약 70 mm, 23~25 mm, 5.5 mm로 절삭한 스트립 형태의 목재시편을 준비하였다. 이 시편을 105 °C 오븐에서 12시간 이상 건조 및 테시케이터 내에서 충분히 방랭한 후, 방향별로 치수를 측정하였다. 다음으로 2.3절에서 서술한 방법과 동일하게 100 wt% CSO로 조제한 약액(이하 CSO-2)을 스트립 시편에 주입하였다. 이렇게 CSO-주입 시편의 각 방향별 치수를 측정함으로써 CSO 주입에 따른 치수변화를 조사하였다. 다음으로 CSO-주입 시편을 2.4절에서 설명한 방법과 동일하게 염수에 완전히 침지시킨 후, 2주간 유지하였다. 침지가 완료된 시편을 1주일 이상 충분히 기건시킨 후, 각 방향별로 치수를 측정하여 염수침지에 의한 길이변화를 확인하였다.

2-7. 수분흡착성

목재에 소수성의 지방산인 CSO 주입에 따른 수분흡착성 변화를 확인하기 위하여 CSO-2 주입 시편을 염수에 48시간 침지시킨 후, 1주일 이상 충분히 기건시킨 정육면체 형태의 목재시편을 NTW와 함께 고습한 8월에 2주간 야외에 노출시켰다. 수분흡착성은 목재시편의 야외노출 이전 중량 및 방향별 길이에 대한 야외노출 이후 측정치 간의 차이를 백분율로 계산하여 구하였다.

2-8. 현미경을 이용한 관찰

본 연구에서 사용된 목재시편에 대한 CSO 침투 정도를 조사하기 위하여 NTW와 함께 감가압법을 이용하여 CSO-2를 주입하고 염수에 침지시킨 후, 기건시킨 스트립을 x-ray microscope(Xradia 620 Versa, Zeiss, Oberkochen, Germany)를 이용하여 관찰하였다. 먼저 스트립 시편을 180도 평행 회전이 가능한 고정대에 수직 방향으로 고정하고, 회전축(rotation axis, 이하 RA) 광원으로부터 48 mm, RA 검출기로부터 53 mm 거리에 위치시켰다. 시편 전체의 저분해능 관찰은 0.4배 대물렌즈를 이용하여 88 μ m 분해능으로 관련 이미지를 얻었다. X선 광원을 이용한 관찰은 60 kV, 110 μ A 및 공기필터를 사용한 상태에서 6.5 W의 에너지를 사용하여 801개의 투영 이미지를 얻었다. 이렇게 얻은 시편 전체 이미지에서 상세 분석을 수행할 임의의 소관찰영역(Field of View, FOV)을 설정한 후, 이 영역에 대

하여 4배 대물렌즈를 이용하여 25 μ m 분해능으로 관찰하였다. 이를 위한 시편의 위치는 RA 광원으로부터 48 mm, RA 검출기로부터 63 mm 거리에 위치시킨 후, 저분해능 이미지를 얻기 위하여 사용된 조건과 동일하게 X선 조건을 설정하여 801개의 투영 이미지를 얻었다. 확보한 각도별 투영 이미지는 Dragonfly Pro(Object Research Systems, QC, Canada)를 이용하여 3차원 이미지 생성, 관찰영역 추출, 화상처리 과정을 거쳐 분석을 수행하였다.

2-9. 통계 분석

본 연구에서 조사된 주입능, 용탈성 및 치수안전성, 수분흡착성은 각각 12개의 정육면체 및 스트립 형태의 시편에 대한 측정치이며, 부후에 의한 중량감소율은 갈색 및 백색 부후균별 각각 6개의 정육면체 시편에서 얻은 측정치로부터 구하였다. 이 측정치를 다원변량 분석법에 의하여 통계학적으로 분석하였으며, 이에 대한 분석은 통계분석 프로그램을 이용하여 실시하였다. 모든 통계 처리는 95% 신뢰도를 적용시켰으며, 분산분석을 통하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 가진다고 분석된 결과에 대하여 최소유의차 검정법(least significant difference test)를 이용하여 각 실험군 간 차이에 대한 유의성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 공시목의 화학적 조성

Table 1은 본 연구에서 사용된 공시목의 조성분을 측정한 결과이다. 함수율은 7.1~9.7%로 각재를 확보한 후, 습도가 일정한 실내 연구실에서 장기간 보관한 관계로 큰 차이가 나타나지 않은 것으로 생각한다. 전섬유소 함량은 예상대로 침엽수인 HL과 LA보다 활엽수인 MP와 OK에서 높았으며, 반면 리그린 함량은 HL과 LA에서 높은 것으로 조사되었다. 에탄올과 벤젠 혼합용액을 이용하여 측정한 추출물 함량은 OK, HL, MP, LA 순이었으며, 회분 함량은 LA에서 가장 낮았으며, OK에서 가장 높았다.

3-2. 주입능

주입능은 목재시편 내의 약액 침투 정도를 평가하는 기준으로 본 연구에서는 정육면체 형태의 목재시편에 CSO를 주입한 후, 처리 전후의 중량차를 이용하여 계산하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다. 수종별 CSO 주입능을 비교한 결과, HL에서 가장 높았으며, LA, MP, OK 순으로 나타났다. 그러나 LA와 MP의 주입능 간에는 차이가 없었다($p=0.44$). 수종별 CSO 주입능의 차이는 목재시편의 밀도 차이에서 기인한 것이다. 예를 들면, 주입능이 가장 높은 HL은 기건밀도가 $0.42\sim0.43$ g/cm³으로 본 연구에서 사용된 공시목 가운데 가장 낮았으며, 결과적으로 공극 및 세포벽에 많은 CSO가 침투하여 나타난 결과라 생각한다[27]. 한편 LA, MP, OK의 기건밀도는 각각 $0.46\sim0.49$, $0.48\sim0.58$, $0.87\sim0.89$ g/cm³으로 CSO 주입능은 기건밀도의 증가와 함께 감소하는 것을 확인할 수 있었다[28-30].

방부액으로 사용된 CSO는 점도($0.6\sim0.8$ Pa·s)가 높아 분자량이 크며, 결과적으로 세포벽 내에 존재하는 미세공극에 CSO 주입이 어려울 것으로 사려되었다. 따라서 세포벽 내로 CSO 주입량의 증가를 위하여 CSO에 대한 용해도가 높은 에탄올을 용매로 첨가하여 점도를 저하시킨 후, CSO/에탄올 용액(이하 CSO/EtOH)을 목재 주입용 방부액으로 사용하였다. CSO에 EtOH의 첨가는 Fig. 1에서

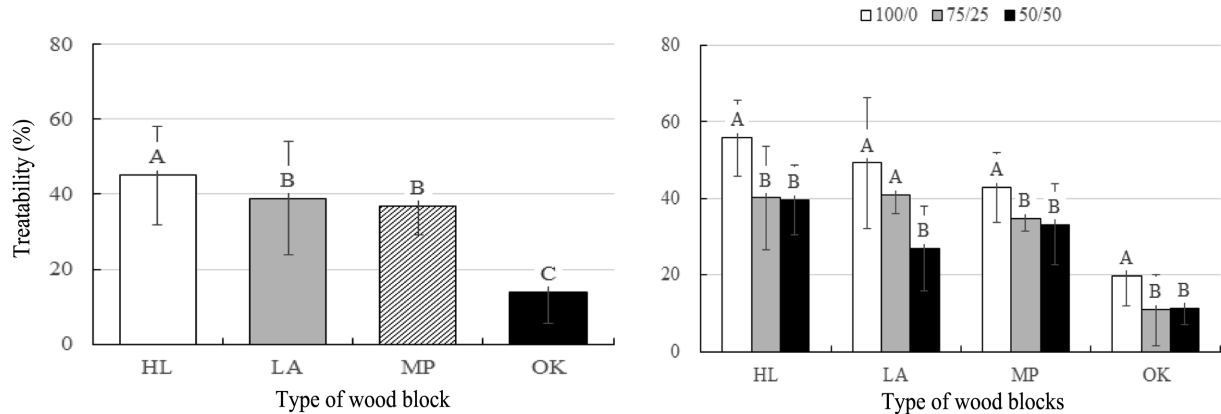


Fig. 1. Effects of type of wood blocks (left) and the ratio of castor oil to ethanol in treating suspensions (right) on the treatability of castor oil-based suspensions into wood specimens. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

보는 바와 같이 HL, MP, OK에서 주입능이 감소하는 것으로 분석되었다(HL: $p < 0.01$; MP: $p < 0.01$; OK: $p < 0.01$). 또한 CSO/EtOH에서 EtOH 함량의 증가(25 wt%에서 50 wt%)는 시편 내의 주입량에 영향을 미치지 않았다(HL: $p = 0.93$; MP: $p = 0.46$; OK: $p = 0.88$). 이와 같은 결과들은 EtOH의 첨가로 점도는 저하되었으나, CSO/EtOH가 침투하는 과정에서 EtOH에 의하여 세포내강 또는 세포벽 내의 미세 공극 표면에 존재하는 극성성분과 수소결합에 의한 마찰저항(frictional drag)이 발생하여 나타난 결과라 생각된다[31]. 반면 LA의 경우, 100 wt% CSO/0 wt% EtOH와 75 wt% CSO/25 wt% EtOH의 CSO 주입능 간에는 차이가 없었는데($p = 0.09$) 이는 LA에 존재하는 일정량의 비극성 추출물의 영향을 받은 것으로 판단된다[32]. 그러나 CSO/EtOH에서 EtOH 함량을 50 wt%까지 증가시켰을 때, 주입량은 크게 감소하였는데($p < 0.01$). 이는 상기에서 언급한 바와 같이 EtOH 함량이 크게 증가함에 따라 마찰저항이 증가하여 나타난 결과라 생각된다. 상기 주입능 결과를 토대로, 목재시편 내의 CSO 주입량 증가를 위하여 EtOH를 용매로 첨가한 CSO/EtOH의 사용은 적절하지 않을 것으로 생각한다.

3-3. 용탈성

용탈성은 침지과정에서 목재시편으로부터 용탈되는 약액의 양으로 용탈성이 낮을수록 투입된 약액이 목재 내에 많이 잔류한다는 것으로

의미한다. Fig. 2는 CSO-주입 시편을 염수에 48시간동안 침지시킨 후, 수종별 및 CSO/EtOH 구성비별 용탈량을 측정된 결과이다. 대조구의 용탈량은 HL, LA, MP, OK에서 각각 -0.04%, -0.69%, -0.98%, -0.35%로 중량이 증가하였는데 이는 염수 내에 존재하는 NaCl이 침지과정에서 목재 내의 공극 및 세포벽 내의 미세공극에 침투한 후, 양생 과정에서 목재시편 내에 잔류함으로서 나타난 결과이다. 수종별 용탈량은 HL MP, LA, OK 순으로 감소하였으며, LA와 OK 간에는 차이가 없었다($p = 0.11$). 수종별(HL, MP, LA 또는 OK) 간의 용탈량의 차이는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 시편 내에 CSO 주입량의 차이에서 기인한 결과라 사려된다. 한편 HL과 비교하여 LA의 낮은 용탈량은 LA의 해부학적 특성에서 기인한 것으로 생각한다. 즉 침 염수에서 CSO의 통로로 대부분 사용되는 가도관의 직경을 비교한 결과, HL 춘재의 직경은 50 μm 인 반면, LA 춘재의 직경은 25~40 μm 로 CSO의 주입 및 용탈과정에서 큰 직경의 가도관을 보유한 HL보다 LA 가도관에서의 마찰저항이 증가함에 따라 용탈량이 감소한 것으로 사려된다[31,33-35].

3.2절에서 언급한 바와 같이 CSO에 EtOH의 첨가는 목재시편 내로 CSO 주입량을 감소시켰으나, HL을 제외하고 LA, MP, OK의 용탈량에 EtOH 영향을 미치지 않았다(Fig. 2). 이와 같은 결과는 LA, MP, OK의 표면에 존재하는 소량의 CSO만 용탈되고 표층에서 내부까지 침투한 CSO는 잔류하여 나타난 결과라 추정된다. 반면 HL의

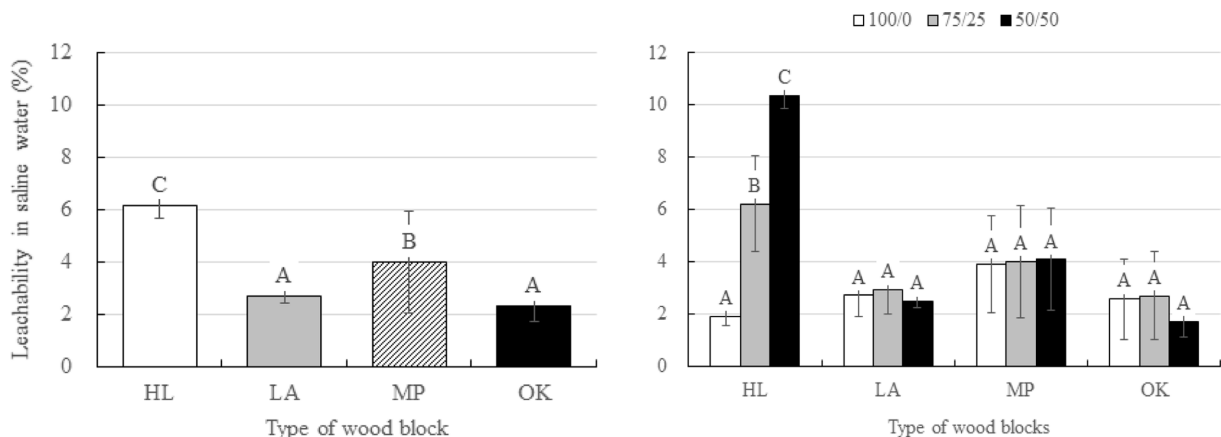


Fig. 2. Effects of type of wood blocks (left) and the ratio of castor oil to ethanol in treating suspensions (right) on the leachability of castor oil-based suspensions impregnated into wood specimens against saline water. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

경우, 표면 및 표층을 포함하여 상기에서 추정된 바와 같이 내부까지 깊게 침투한 CSO가 3 수종과 비교하여 상대적으로 넓은 직경의 가도관을 보유한 HL에서 마찰저항이 낮아 침지과정에서 많이 용탈되어 나타난 결과라 판단된다. 상기 추론들은 각 시편에 대한 CSO 주입 및 용탈 시편에 대한 현미경 관찰을 통하여 확인하였다.

3-4. 내후성

내후성은 방부약액을 주입 및 용탈시킨 목재시편을 부후균에 장기간(최소 12주) 노출시킨 후, 노출실험 전후의 중량차이로 평가하여 방부제로서 적용 가능성을 검증하는 항목이다. 본 연구에서 조사된 목재시편과 함께 침엽수인 소나무(*Pinus densiflora*)와 활엽수인 서어나무(*Carpinus laxiflora*)를 이용하여 갈색부후균인 *Fomitopsis palustris*(이하 FOP) 및 백색부후균인 *Trametes versicolor*(이하 COV)에 의한 부후정도를 중량감소율로 측정된 결과, 각각 44.4%, 57.6% 및 6.1%, 30.4%로 조사되었다. 따라서 FOP와 COV를 이용한 CSO의 방부효능 평가는 적절하게 수행된 것으로 판단된다.

무처리 대조구(NTW), 염수-침지 무처리재(SIW), 50 wt% CSO/50 wt% EtOH(이하 CSO-1) 그리고 100 wt% CSO(이하 CSO-2)를 주입한 후, 염수에 48시간 침지한 시편의 FOP 및 COV에 대한 방부효능의 결과는 Fig. 3과 같다. 먼저 수종별 NTW에 대한 FOP 부후정도는 MP, OK, LA, HL 순으로 측정되었는데 이는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 주로 분해하는 갈색부후균에 의하여 전섬유소

함량이 높은 MP와 OK에서 부후가 많이 일어나는 특징을 명확히 확인할 수 있었다(Table 1). CSO 처리 여부에 따른 부후정도를 비교한 결과, CSO-1 또는 CSO-2와 비교하여 NTW에서 부후가 많이 발생하였으며, SIW보다도 낮은 중량감소율을 나타내어 CSO의 우수한 방부효능을 확인할 수 있었다. CSO-1과 CSO-2 간의 방부효능을 비교하였을 때, HL과 LA에서는 CSO-2, MP에서는 CSO-1이 우수하였다. 이는 FOP에 대하여 방부효능을 보유한 CSO가 목재 내로 충분히 주입되고, 용탈과정에서 부후균의 생장을 억제할 수 있을 정도로 CSO 유효성분의 잔류에서 기인한 결과라 판단된다 [18-20]. 그러나 OK에서는 CSO-1과 CSO-2($p=0.24$), SIW와 CSO-1($p=0.85$) 그리고 SIW/CSO-2($p=0.12$)의 중량감소율 간에는 차이가 없었다. 또한 MP에서도 SIW와 CSO-2 간의 중량감소율은 차이가 없었다($p=0.15$). 이는 OK의 낮은 CSO 주입능과 MP의 높은 용탈성과 함께 시편의 표층에 존재하는 CSO의 용탈에 의하여 나타난 결과라 생각한다.

백색부후균인 COV에 대한 CSO-처리 시편의 부후정도를 조사한 결과를 보면, 수종과 상관없이 2~4%의 중량감소율을 보였으며, Fig. 3 하에서 보는 바와 같이 CSO-1과 CSO-2 간의 차이도 없었다(HL: $p=0.09$; LA: $p=0.08$; MP: $p=0.16$; OK: $p=0.45$). 한편 MP의 경우, NTW와 비교하여 CSO 처리에 의한 방부효능을 명확하게 확인할 수 있었다($p>0.01$). 그러나 CSO-1 및 CSO-2를 주입한 OK의 중량감소율은 NTW와 SIW와 차이가 없었다(NTW/CO-1: $p=0.07$;

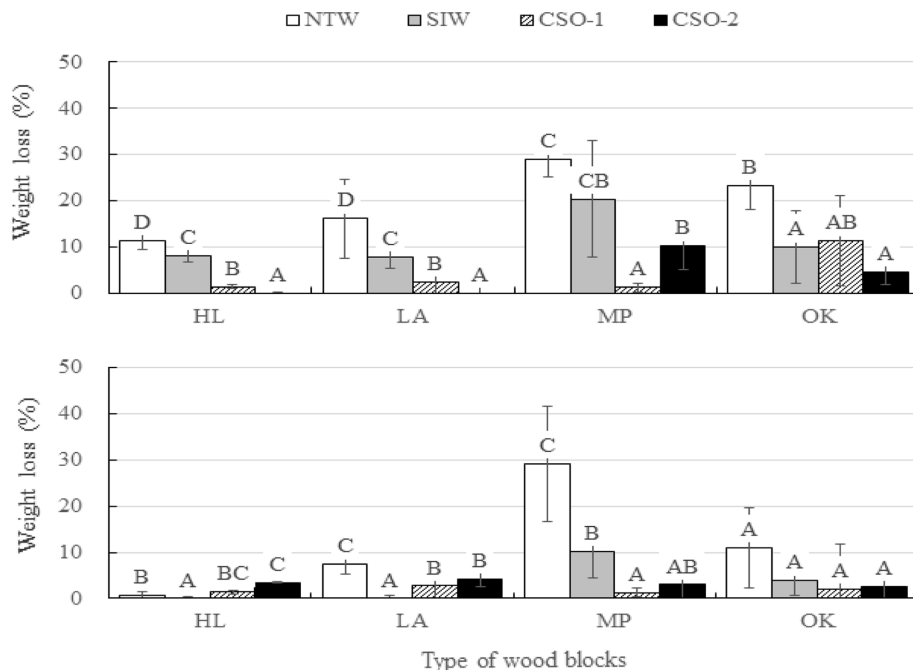


Fig. 3. Decay resistance of wood blocks treated with castor oil and then leached in saline water for 48h against *Fomitopsis palustris* (top) and *Trametes versicolor* (bottom). Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

Table 1. Chemical composition of wood species used in this study (unit: %)

Species	Moisture content	Holo-cellulose	Klason Lignin	Extractives	Ash
Western hemlock	8.3	66.1	28.9	4.5	0.4
Japanese larch	9.7	66.9	30.7	2.8	0.2
Sugar Maple	7.1	71.2	24.3	3.7	0.5
Mongolian oak	9.5	69.5	24.1	6.2	0.6

NTW/CO-2: $p=0.09$; SIW/CO-1: $p=0.23$; SIW/CO-2: $p=0.45$). 이와 같은 결과는 OK의 낮은 CSO 주입능과 염수를 이용한 침지과정에서 OK 표층에 존재하는 CSO의 용탈에 의하여 발생한 결과라 판단된다. LA의 경우, CSO-1 및 CSO-2 처리시편의 중량감소율이 NTW보다 낮았으나, SIW보다 높았다. 이와 유사하게 HL-SIW의 중량감소율도 CSO 처리 시편보다 낮았으며, NTW보다 SIW의 COV에 대한 우수한 방부효능을 본 연구에서 조사된 대부분의 시편에서 확인할 수 있었다. 이는 3.3에서 언급한 바와 같이 염수 침지과정에서 시편의 표면 및 표층에 잔류한 NaCl에 의하여 COV의 생장이 억제됨으로서 나타난 결과라 추정된다[36]. 그러나 이에 대한 추론을 확인하기 위하여 다양한 수종 및 염수의 NaCl 농도 등이 COV의 생장에 미치는 영향에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단되어 현재 저비중 목재수종을 이용한 동일한 연구를 수행하고 있다. 한편, HL의 NTW는 CSO-1($p=0.06$) 및 CSO-2($p=0.03$)로 처리한 HL 시편과 비교하여 중량감소율에 차이가 없거나 낮은 것으로 나타났는데 이는 부후 실험과정에서 배양병 내의 오염에서 기인한 결과라 판단된다.

부후 실험결과를 종합하면, CSO를 처리한 모든 시편에서 FOP에 대한 내후성을 확인할 수 있었으며, COV의 경우 CSO를 처리한 LA 및 MP 시편에서 NTW와 비교하여 우수한 내후성을 그리고 HL과 OK 시편에서도 3.5% 이하의 중량감소율을 보였는데 이 측정치는 KS F 2213의 목재 내후성 평가기준에서 최우수 등급인 “매우 큼” 조건을 모두 만족하는 것이다. 따라서 CSO의 천연 목재방부제로서 적용가능성을 확인할 수 있었다.

3-5. 치수안전성

치수안전성은 수분, 자외선, 저온과 같은 가혹한 외부환경에 의하여 목재가 수축 또는 팽윤하는 정도를 평가하는 것이다. Table 2는 NTW 및 CSO-2 시편을 2주간 염수에 침지시킨 후, 침지 전후의 길이 측정을 통하여 얻은 각 시편의 치수안전성을 분석한 결과이다.

수종별 NTW에 대한 치수변화율에서 HL, LA보다 MP, OK에서 높았으며, 각 수종별 절삭방향에 따른 치수변화율도 종, 접선, 방사방향 순으로 조사되었는데 이는 시편의 밀도 및 해부학적 구조 차이에서 나타나는 일반적인 결과이다. 각 수종별 NTW와 CSO-2 시편의 절삭방향별 치수변화율을 비교한 결과, 종방향 길이에서 예상한 바와 같이 모든 수종의 시편에서 차이가 없었다(HL: $p=0.99$; LA: $p=0.17$; MP: $p=0.43$; OK: $p=0.49$). 그러나 방사 및 접선 방향에서 측정된 모든 수종의 치수변화율은 NTW와 비교하여 CSO-2에서 크게 낮았는데 이는 비극성의 성질을 가진 CSO가 목재의 공극 및 세포벽 내의 미세공극까지 깊숙하게 침투한 관계로 침지과정에서 극성인 수분이 목재 내부까지 침투하지 못함에 따라 나타난 결과라 판단된다. 심지어 일부 침지 CSO-2에서 방사 또는/그리고 접선방향 길이가 감소하는 결과로부터 치수안전성뿐만 아니라 가혹한 조건의 노출환경에서 CSO 처리목의 옥외용 소재로서 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

3-6. 수분흡착성

목재는 수분의 흡착/탈착에 의하여 팽윤/수축 현상이 발생하며, 수분의 흡착으로 인한 습윤한 조건에서 부후균, 변색균 및 해충 등에 의한 생물학적 열화가 발생하는 관계로 대부분의 실내외 환경에서 수분의 흡착을 억제할 수 있는 다양한 방안을 적용하고 있다. Table 3은 NTW와 CSO-2 처리/용탈 시편을 2주간 옥외에 노출시킨 후, 측정된 중량증가율과 길이팽윤율의 결과이다. CSO-2를 주입/용탈시킨 모든 수종의 중량증가율은 NTW와 비교하여 크게 낮았는데 이는 소수성의 CSO가 공극을 포함하여 세포벽 내까지 침투하여 나타난 결과라 생각한다. 한편 수종간 수분 흡착에 의한 중량증가율을 비교하였을 때, 해부학적 구조에서 기인한 CSO의 주입량 및 용탈량 차이에서 영향을 받은 것으로 사료된다. 예를 들면 HL 또는 LA는 많은 주입량과 적은 용탈량 결과로부터 시편 내에 많은 CSO가 잔

Table 2. Thickness swelling (unit: %) of castor oil-treated wood strips immersed in saline water for 2 weeks

Direction	Treatment	Western hemlock	Japanese larch	Soft maple	Mongolian oak
Cross	Control	0.00 (A)	0.00 (A)	0.02 (A)	0.09 (A)
	Castor oil	0.00 (A)	0.00 (A)	0.00 (A)	0.00 (A)
Radial	Control	0.93 (B)	1.11 (B)	1.53 (B)	2.45 (B)
	Castor oil	-0.30 (A)	-0.28 (A)	-0.03 (A)	0.37 (A)
Tangential	Control	0.45 (A)	0.74 (B)	1.17 (B)	0.89 (B)
	Castor oil	-0.15 (A)	0.00 (A)	0.00 (A)	0.00 (A)

* Same capital letter (A and B) between control and castor oil-treated specimens in the column of treatment are not significantly different from each other at $p = 0.05$ (Students' t-test).

Table 3. Moisture adsorption (MA) and thickness swelling (TS) of castor oil-treated wood blocks exposed outdoor for 2 weeks. (unit: %)

	Direction	Treatment	Western hemlock	Japanese larch	Soft maple	Mongolian oak
MA	-	Control	10.51 (B)	10.34 (B)	10.81 (B)	9.75 (B)
		Castor oil	0.57 (A)	0.64 (A)	1.58 (A)	2.59 (A)
TS	Cross	Control	0.03 (A)	-0.03 (A)	0.03 (B)	0.03 (A)
		Castor oil	0.00 (A)	0.00 (A)	0.00 (A)	-0.04 (A)
	Radial	Control	2.08 (B)	2.17 (B)	3.27 (B)	2.65 (B)
		Castor oil	0.41 (A)	-0.64 (A)	0.73 (A)	0.10 (A)
	Tangential	Control	1.54 (B)	1.03 (B)	2.12 (B)	1.53 (B)
		Castor oil	0.13 (A)	-0.41 (A)	0.46 (A)	0.00 (A)

* Same capital letter (A and B) between untreated and Castor oil-treated specimens in the column of treatment are not significantly different from each other at $p = 0.05$ (Students' t-test).

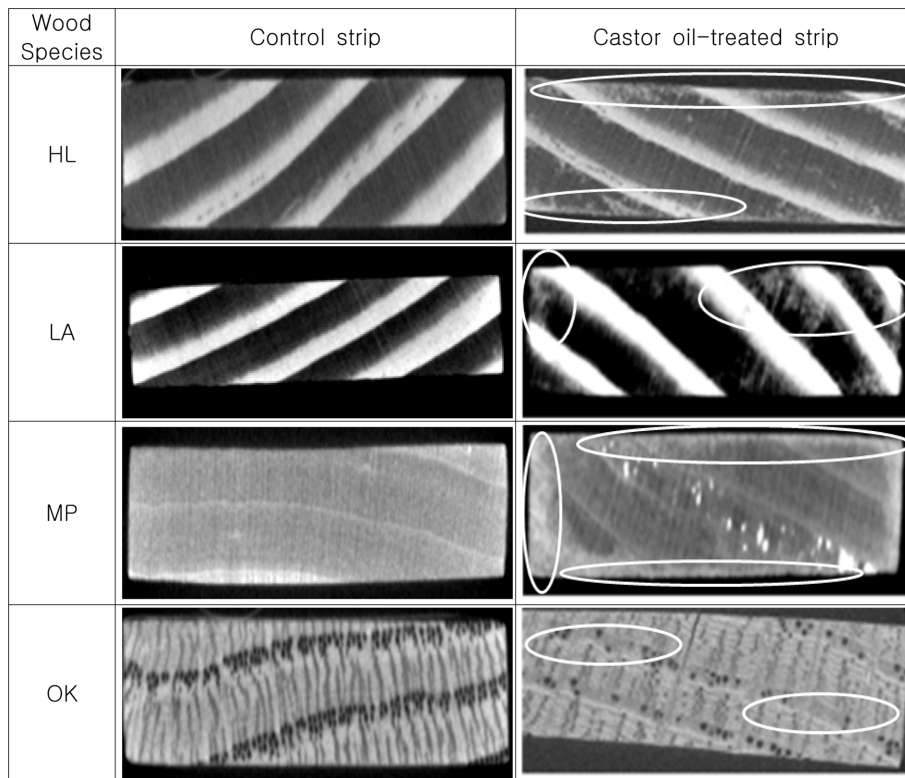


Fig. 4. Microscopic images of Western hemlock (HL), Japanese larch (LA), soft maple (MP) and Mongolian oak (OK) wood strips treated with castor oil and then leached in saline water for 2 weeks using an X-ray microscope. Areas marked by a white circle indicate the penetration of castor oil into a wood specimen.

류한 반면 OK는 타 수종편과 비교하여 주입량 대비 많은 용탈량으로 인하여 CSO 잔류량이 상대적으로 적어 가장 많은 수분이 흡착된 것으로 생각한다.

옥외 노출에 따른 시편의 길이팽윤율을 측정한 결과를 보면, Table 3에서 보는 바와 같이 대부분 시편의 종방향에서 차이는 없었으나(HL: $p=0.58$; LA: $p=0.34$; OK: $p=0.33$), MP에서 CSO-2와 비교하여 NTW에서 증가한 것으로 나타났다($p=0.02$). 또한 방사 및 접선방향 길이팽윤율은 모든 수종의 CSO-2보다 NTW에서 크게 증가하였다. 중량증가율 및 방향별 길이팽윤율 측정결과를 토대로 CSO 처리에 의하여 수분 흡착성이 크게 저하되는 것을 확인하였으며, 따라서 목재 방부제 외에 옥외용 목재제품의 치수안정제로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

3-7. 현미경을 이용한 관찰

CSO를 처리하지 않은 대조구 및 CSO-2를 주입한 이후 2주간 염수에서 용탈시킨 스트립 시편을 x-ray microscope로 관찰한 결과는 Fig. 4와 같다. OK 시편을 제외하고 모든 CSO-2 주입/용탈 시편의 경우, 횡단면에서 CSO가 침투한 것을 대조구와 비교를 통하여 명확하게 관찰할 수 있었다. 특히 침엽수인 HL과 LA에서는 표층에서 내부까지 CSO가 침투한 반면 활엽수인 MP에서는 주로 표층에 CSO가 침투한 것을 확인할 수 있었다. OK의 경우, 방사조직(ray)과 도관의 밝기가 밝아졌는데 이는 해부학적으로 OK에 많이 분포하는 목섬유 세포와 비교하여 넓은 직경의 방사조직 및 도관에 CSO가 침투하여 나타난 결과라 판단된다. 현미경 관찰을 통하여 수종별 CSO의 주입능 및 용탈성 차이의 원인을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 천연 목재방부제로서 피마자유의 적용 가능성을 평가하기 위하여 피마자유-처리 목재시편의 내후성 평가를 포함하여 주입능, 용탈성, 치수안정성, 수분흡착성에 대한 조사를 수행하였다. 본 연구에서 사용된 모든 수종에서 CSO의 주입을 확인할 수 있었으며, 공시목의 해부학적 구조 차이로 인하여 수종별 주입량에 차이가 발생하였다. 고점도인 CSO의 주입능 향상을 위한 EtOH의 첨가는 HL, MP, OK에서 주입능을 감소시켰으며, EtOH 첨가량의 증가는 주입능 증가에 영향을 미치지 않았다. 주입능 측정결과를 토대로 CSO는 감가압법을 통하여 목재 내로 효과적으로 주입되나, CSO에 EtOH 첨가는 CSO의 주입량 증가에 부정적인 영향을 미쳐 적합하지 않을 것으로 생각한다. CSO-주입 공시목의 염수에 대한 용탈량은 주입량 결과와 반대로 OK, MP, HL 순으로 증가하여 주입량과 밀접한 관계가 있었으나, LA는 주입량과 상관없이 비극성의 추출물로 인하여 용탈되는 양이 상대적으로 적은 것으로 추정된다. 용탈량 측정결과를 보면 수종별로 차이는 있었으나, 용탈량이 주입량보다 크게 적어 목재 내에서 CSO가 효과적으로 잔류하는 것을 확인할 수 있었다. 중량감소율을 이용하여 조사한 CSO-주입/용탈 시편의 목재부후균에 대한 내후성은 대조구와 비교하여 대부분의 수종에서 매우 우수하였으며, KS F 2213의 목재 내후성 평가기준에서 최우수 등급인 “매우 큼” 조건을 모두 만족하였다. 한편 각 부후균에 대한 CSO 방부액의 종류별 내후성을 비교한 결과를 보면, FOP에 대하여 CSO만으로 구성된 약액(CSO-2) 처리목에서 높았으며, COV의 경우 차이가 없었다. 주입능, 용탈성 및 내후성 결

과를 종합하면 CSO-2가 최적의 목재방부제라는 결론을 얻었다. CSO-2를 주입한 후, 2주간 염수에 용탈시킨 스트립 시편의 치수안정성을 대조구와 비교한 결과, 모든 절삭방향에서 길이 변화가 거의 일어나지 않았다. 또한 CSO-2 주입/용탈 시편을 야외에 장기간 노출시킨 후, 측정된 중량증가율과 길이팽윤율도 대조구 시편과 비교하여 매우 낮아 수분 흡착성이 크게 저하된 것을 확인하였다. 따라서 CSO 처리목이 가혹한 조건의 노출환경에서도 옥외용 소재로서 사용이 적합할 것으로 판단된다. 결과를 종합하면, CSO는 다양한 실내외 환경에서 목재에 내후성 및 치수안정성까지 제공하는 천연계 목재방부제로서 적용이 가능할 것으로 생각한다. 그러나 CSO 처리목의 상용화를 위하여 장기 야외노출 실험을 통한 효능을 검증하는 추가연구가 수행되어야 할 것으로 생각한다.

감 사

본 연구는 교육부의 “창의도전 연구기반 지원사업”의 지원에 의하여 수행되고 있습니다(NRF-2021R1I1A1A01050489). 본 연구를 위하여 여러 조언과 도움을 주신(주) 행복홈우드테크의 문명철대표님과 소재민차장님, 산림조합중앙회 동부목재유통센터의 원용안팀장님에게 감사드립니다.

References

- Evans, P., “Emerging Technologies in Wood Protection,” *For. Prod. J.*, **53**(1), 14-23(2003).
- Singh, T. and Singh, A. P., “A Review on Natural Products as Wood Protectant,” *Wood Sci. Tech.*, **46**(5), 851-870(2012).
- González-Laredo, R. F., Rosales-Castro, M., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Moreno-Jiménez, M. R. and Karchesy, J. J., “Wood Preservation Using Natural Products,” *Madera Bosques*, **21**, 63-76(2015).
- Šimůnková, K., Hýsek, Š., Reinprecht, L., Šobotník, J., Lišková, T. and Pánek, M., “Lavender Oil as Eco-friendly Alternative to Protect Wood against Termites without Negative Effect on Wood Properties,” *Sci. Rep.*, **12**, 1909(2022).
- Sonderegger, W., Glaunsinger, M., Mannes, D., Volkmer, T. and Niemz, P., “Investigations into the Influence of Two Different Wood Coatings on Water Diffusion Determined by Means of Neutron Imaging,” *Eur. J. Wood Wood Prod.*, **73**(6), 793-799(2015).
- Hýsek, Š., Fidan, H., Pánek, M., Böhm, M. and Trgala, K., “Water Permeability of Exterior Wood Coatings: Waterborne Acrylate Dispersions for Windows,” *J. Green Build.*, **13**(3), 1-16(2018).
- Meyer, L. and Brischke, C., “Fungal Decay at Different Moisture Levels of Selected European-grown Wood Species,” *Int. Biodeter. Biodegr.*, **103**, 23-29(2015).
- Terziev, N. and Panov, D., *Plant Oils as Green Substances for Wood Protection. Minimising the Environmental Impact of the Forest Products Industries*, Springer, Berlin/Heidelberg, 143-149 (2011).
- Humar, M. and Lesar, B., “Efficacy of Linseed- and Tung-oil-treated Wood against Wood-decay Fungi and Water Uptake,” *Int. Biodeter. Biodegr.*, **85**, 223-227(2013).
- Patachia, S. and Croitoru, C. Biopolymers for Wood Preservation. In *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials*, Elsevier, Amsterdam, 305-332(2016).
- Oyewole, O. I., Owoseni, A. A. and Faboro, E. O., “Studies on Medicinal and Toxicological Properties of *Cajanus cajan*, *Ricinus communis* and *Thymus vulgaris* Leaf Extracts,” *Res. J. Med. Plant*, **4**, 2004-2006(2010).
- Laredo, R. F. G., Castro, M. R., Guzmán, N. E. R., Infante, J. A. G., Moreno-Jiménez, M. R. and Karchesy, J. J., “Wood Preservation Using Natural Products,” *Madera Bosques*, **21**, 63-76(2015).
- Ibach, R. E., “Wood Handbook-Wood as an Engineering Material,” Gen. Tech. Replications. FPL-GTR-113. 463(1999).
- Archer, K. and Lebow, S., In: J.C.F. Walker (Ed.), *Primary Wood Processing: Principles and Practice: Wood Preservation*, Springer Dordrecht, New York, 297-338(2006).
- Kim, I. J., Nam, S. Y., Kim, M. J., Rho, C. W., Lee, J. G., Yun, T., Song, H. L. and Kim, H. S., “Growth Characteristics of Castor Bean (*Ricinus communis* L.) Collections,” *Korean J. Plant Res.*, **22**(1), 1-4(2009).
- Grand View Research, *Castor Oil & Derivatives Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Sebacic Acid, 12-HAS), By Application (Lubricants, Surface Coatings, Biodiesel), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030*(2022), <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/castor-oil-derivatives-industry> (Assessed at Oct 04, 2022).
- Momoh, A. O., Oladunmoye, M. K. and Adebolu, T. T., “Evaluation of the Antimicrobial and Phytochemical Properties of Oil from Castor Seeds (*Ricinus communis* Linn),” *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, **1**(10), 21-27(2012).
- Ahmed, S., Fatima, R., Nisar, M. S. and Hassan, B., “Evaluation of Castor Bean Oil on *Acacia Nilotica* as Wood Preservative against *Odontotermes obesus* (Ramb.) (Termitidae: Isoptera),” *Int. Wood Prod. J.*, **5**(1), 5-10(2014).
- Adenaiya, A. O., Ogunsawo, O. Y. and Onakpoma, I., Weight Loss and Compressive Strength of Castor Oil-treated *Pinus caribaea* (Morelet) Wood Exposed to Fungi,” *Pro Ligno* **12**(4), 41-52(2016).
- Ahmed, S., Fatima, R. and Babar Hassan, B., “Evaluation of Different Plant Derived Oils as Wood Preservatives against Subterranean Termite *Odontotermes obesus*,” *Maderas-Cienc Technol.*, **22**(1), 109-120(2020).
- Var, A. A., Yalçın, M., Yalçın, Ö. Ü. and Demir, M., Effects of Hot-cold Oil Treatment on Biological Resistance and Physical Properties of Brutia Pine Sapwood,” *Maderas-Cienc Technol.*, **23**(42), 1-12(2021).
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-base Materials,” ASTM D 4442-07(2005).
- Effland, M. J., “Modified Procedure to Determine Acid-insoluble Lignin in Wood and Pulp,” *Tappi*, **6**(10), 143e4(1977).
- Association of Official Analytical Chemists. “Analytical Methods for Chemical Composition. 15th ed., Arlington, Academic Press, Inc.(1990).
- American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Ash in Biomass,” ASTM E 1755-01(2005).
- Korean Industrial Standard, “Laboratory Test Method of Natural Decay Resistance of Wood,” KS F 2213(2018).
- DeBell, D. S., Singleton, R., Gartner, B. L. and Marshall, D. D., “Wood Density of Young-growth Western Hemlock: Relation to Ring Age, Radial Growth, Stand Density, and Site Quality,”

- Can. J. For. Res.*, **34**, 2433-2442(2004).
28. Hwang, W. and Kim, N., "Utilization of Domestic Small Timbers: Shrinkage and Swelling of Alkali-treated Woods," *J. Kor. For. Energy*, **18**(2), 70-77(1999).
 29. Park, Y., Han, Y., Park, J., Chang, Y., Yang, S., Chung, H., Kim., K. and Yeo, H., "Evaluation of Physico-Mechanical Properties and Durability of Larix kaempferi Wood Heat-Treated by Hot Air," *J. Kor. Wood Sci. Technol.*, **43**(3), 334-343(2015).
 30. Meier, E., "Difference Between Hard Maple and Soft Maple," (2022) <https://www.wood-database.com/wood-articles/differences-between-hard-maple-and-soft-maple/> [Assessed at August 12, 2022]
 31. Nicholas, D. D. and Siau, J. F., Wood Deterioration and its Prevention by Preservatives Treatments: Factors Influencing the Treatability of Wood, Syracuse University Press, New York, **2**, 299-343(1973).
 32. Schnabel, T., Barbu, M. C., Tudor, E. M. and Petutschnigg, A., "Changing in Larch Sapwood Extractives Due to Distinct Ionizing Radiation Sources," *Materials (Basel)*, **14**(7), 1613(2021).
 33. Rayirath, P., "Some Aspects of Western Hemlock Air Permeability," Master Thesis, The University of British Colombia, Vancouver, British Colombia(2009).
 34. Kedrov, G. B., "Functioning Wood," *Wulfenia*, **19**, 57-95(2012).
 35. Luostarinen, K., Tracheid Wall Thickness and Lumen Diameter in Different Axial and Radial Locations in Cultivated *Larix sibirica* Trunks," *Silva Fenn.*, **46**(5), 707-716(2012).
 36. Mori, T., Sudo, S., Kawagishi, H. and Hirai, H., "Biodegradation of Diuron in Artificially Contaminated Water and Seawater by Wood Colonized with the White-rot Fungus *Trametes versicolor*," *J. Wood Sci.*, **64**, 690-696(2018).

Authors

Ohkyung Kwon: Research Professor, National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea; zoom@snu.ac.kr

Yeong Seo Choi: Researcher, Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; choiys91@snu.ac.kr

Daye Kim: Researcher, Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; daye1001@snu.ac.kr

Wonsil Choi: Research Professor, National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea; choialla@snu.ac.kr

Young-kyu Lee: Research Professor, National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea; woodlee9@snu.ac.kr

Kwon-min Kim: Senior Researcher, Korea Forestry Promotion Institute, Seoul, 07570, Korea; kimkm@kofpi.or.kr

Joon weon Choi: Professor, Graduate College of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; cjw@snu.ac.kr

In Yang: Research Professor, Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; dahadad@snu.ac.kr