

피마자유/피마자왁스 주입목의 해양부표로서 적용 가능성 평가

문영주* · 이성재* · 최시연* · 권오경** · 최원실** · 이영규** · 조상만*** · 최준원**** · 양 인*†

*서울대학교 그린바이오과학기술연구원
25354 강원도 평창군 대화면 평창대로 1447
**서울대학교 농생명과학공동기기원
08826 서울특별시 관악구 관악로 1
***군산대학교 해양생명응용과학부
54150 전라북도 군산시 대학로 558
****서울대학교 국제농업기술대학원
25354 강원도 평창군 대화면 평창대로 1447

(2025년 8월 12일 접수, 2025년 11월 12일 수정본 접수, 2026년 3월 9일 채택)

Evaluating the Applicability of Wood Impregnated with Castor Oil and Hydrogenated Castor Oil as a Marine Buoy

Youngjoo Moon*, Seong Jae Lee*, Siyeun Choi*, Ohkyung Kwon**, Wonsil Choi**, Young-kyu Lee**, Sang-Man Cho***, Joon weon Choi**** and In Yang*†

*Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea

**National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

***Department of Marine Biotechnology, Kunsan National University, Gunsan, 54150, Korea

****Graduate College of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea

(Received 12 August 2025; Received in revised from 12 November 2025; Accepted 9 March 2026)

요 약

본 연구는 물김 양식용 소형부표 소재로서 지방산-주입 목재의 적용 가능성을 평가하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 삼나무(JAC), 라디에타 소나무(RDP), 편백나무(CYP)에 지방산으로 피마자왁스(HCO) 및 피마자유(CAO)를 침지, 감압, 감가압법으로 주입한 후, 이 시편에 대한 2주 또는 4주간 염수 침수를 통하여 주입량, 용탈성, 치수안정성, 휨강도를 측정하였다. 지방산 주입량은 RDP(97.62%)에 HCO(114.30%)를 감압(113.49%) 또는 감가압(145.82%) 처리한 시편에서 가장 많았으며, 이 시편이 염수에 대한 용탈 저항성도 가장 높았다. 한편, 지방산-주입 시편은 대부분 수축하였으나, 이 시편을 염수에 침수한 이후 측정된 부피팽윤율은 무처리 시편(JAC: 3.97%; RDP: 2.97%; CYP: 2.24%)과 비교하여 지방산 처리와 함께 감소하였으며, 특히 CAO(1.63%)보다 HCO(0.34%)를 감압 처리한 시편에서 낮았다. 또한 무처리 시편(JAC: 51 MPa; RDP: 53 MPa; CYP: 76 MPa)과 비교하여 HCO를 감압(JAC: 62 MPa; RDP: 67 MPa; CYP: 95 MPa) 또는 감가압(JAC: 66 MPa; RDP: 73 MPa; CYP: 111 MPa) 처리한 시편의 휨강도는 증가하였다. HCO를 감압법으로 처리하여 제조한 JAC-소형부표는 내충격성을 제외하고 전체 항목에서 해양수산부의 “친환경부표의 성능기준”을 만족하였다. 내충격성 개선을 위하여 목재 섬유방향의 수직인 횡방향으로 가공한 JAC에 HCO를 감압 처리한 소형부표는 내충격성 시험도 통과하였다. 본 연구의 결과와 함께 목재에 대한 국내 가용성, 제조 비용, 안전성 등과 같은 생산 조건을 고려하여 횡방향으로 가공한 JAC 소형부표에 HCO를 15분간 감압 처리하는 것이 목재 해양부표 제조를 위한 최적의 수종, 지방산 및 처리법으로 생각한다. 이 조건으로 제조한 JAC 소형부표는 물김 양식용 부표로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract – This study was conducted to evaluate the feasibility of fatty acid (FA)-impregnated wood as a material of marine buoys for the aquaculture of seaweed. Hydrogenated castor oil (HCO) or castor oil (CAO) as an FA was treated into Japanese cedar (JAC), radiata pine (RDP) and Japanese cypress (CYP) specimens using an immersion, vacuum

†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.

(Vac) and vacuum-then pressure (VAC-Pres) treatment. FA-impregnated specimens were submerged in saline water for 2 or 4 weeks, and measured subsequently its leaching resistance, TVS and bending strength. RDP (97.62%) treated with HCO (114.30%) using a Vac (113.49%) or Vac-Pres (145.82%) treatment showed the highest FA uptake and greatest resistance against saline water-leaching. Although most FA-impregnated specimens underwent shrinkage, total volumetric swelling (TVS) after saline-water submersion was lower than untreated control specimens (JAC: 3.97%; RDP: 2.97%; CYP: 2.24%), particularly TVS of Vac-treated specimens impregnated with HCO (0.34%) was lower compared to that with CAO (1.63%). Bending strength of specimens impregnated HCO using a Vac (JAC: 62 MPa; RDP: 67 MPa; CYP: 95 MPa) or VAC-Pres (JAC: 66 MPa; RDP: 73 MPa; CYP: 111 MPa) method increased significantly compared to that of control specimens (JAC: 51 MPa; RDP: 53 MPa; CYP: 76 MPa). JAC-marine buoy treated with HCO using a Vac method met the “Performance Standards of Environmental-friendly Buoys”, which was designated by the Ministry of Oceans and Fisheries of the Republic of Korea, in all categories except for impact resistance. JAC marine buoy fabricated with the transverse direction, which is a perpendicular direction of wood grain, and then treated with HCO using a Vac method passed the impact-resistance test. Considering the results of this study and production factors such as domestic availability of wood raw materials, manufacturing cost and safety, it is thought that transverse-processed JAC treated with HCO using a Vac method for 15 min can be classified as the optimal combination of wood species, fatty acid, and treatment method for manufacturing wooden marine buoys. It is believed that buoys produced with the conditions can be applied for the aquaculture of seaweed.

Key words: Seaweed aquaculture, Environmental-friendly buoy, Wooden marine buoy, Castor oil, Hydrogenated castor oil

1. 서 론

양식업을 통한 국내 생산량은 2021년 기준 약 233만 톤으로 김, 미역, 다시마 등과 같은 해조류가 가장 많은 부분을 차지하였으며, 굴, 홍합, 넙치, 전복 등을 비롯한 어패류도 상당 부분을 차지하였다[1]. 양식업에 이용되는 어구 중에 부표는 2020년에 약 5,500만 개가 사용되었으며, 이는 1,500~1,700개/ha가 사용되고 있는 것으로 추산할 수 있다[2]. 해양 부표의 국내 시장 규모는 2020년 4,300억 원에서 2023년 1조 2,000억 원으로 연평균 성장률이 24.1%를 기록하였다[1]. 양식용 부표 가운데 물에 잘 뜨고, 가볍고, 가격이 저렴한 발포 폴리스티리렌(EPS) 부표가 2020년까지 가장 많이 사용되었으나, 햇빛, 바람, 파도 등과 같은 가혹한 해상 환경에 매우 취약하여 해양 쓰레기 및 미세 플라스틱 발생원으로 판명되었다[3]. 따라서 해양수산부에서는 2025년까지 양식장에 EPS 부표의 사용을 금지하고, 친환경 부표로 대체하여 해양환경을 개선하겠다고 발표하였다[4].

해양 환경오염 문제를 해결하기 위하여 EPS 부표의 대체용으로 생산되고 있는 친환경 부표는 폐플라스틱, 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 발포 폴리프로필렌(EPP) 등을 이용하여 일체형 또는 모듈형으로 생산하고 있다[2]. 그러나 친환경 부표는 EPS 부표와 비교하여 고가이며, 고중량으로 어민의 육체적 부담을 가중시키고, 회수 및 재활용 시스템이 미흡하여 해양 쓰레기 문제의 해결에 효과가 낮으며, 가장 중요하게 원료가 대부분 HDPE 및 EPP를 이용하여 생산되고 있는 관계로 친환경성에 대한 의문이 지속적으로 제기되고 있는 상황이다[5]. 따라서 합성수지계 플라스틱 원료가 아닌 생분해성 원료를 부표 생산용 소재로 활용하는 기술 개발이 필요할 것으로 생각한다.

플라스틱계 원료를 제외하고 친환경 부표 생산용 소재로 알루미늄, 세라믹, 균사체, 대나무 등을 활용하는 기술이 개발되었다[5-8]. 그러나 상기 소재를 이용하여 제조한 친환경 부표는 소재의 내구성, 경제성, 재활용 가능성 등에 대한 지속적인 개선이 필요한 관계로 상용화 단계로 진입이 요원한 상황이다. 이에 대한 해결 방안으로 목재를 부표 생산용 소재로 이용하는 방안이 제기되었다. 목재는 재생 가능한 자원으로 중량 대비 높은 강도, 단열성, 가공성 및 작업성이 우수한 공학재료이다[9]. 목재를 해양부표 제조용 소재로

활용하기 위하여 2021년 해양수산부에서 공표한 “친환경부표 성능 기준”의 항목인 부력, 내충격성, 열피로도, 촉진내후성, 환경 유해성 등에 대한 기준을 통과가 필요하다[10]. 그러나 친수성의 수산기를 가진 성분으로 주로 구성된 목재 조직 내로 수분이 침투함에 따라 해상 환경에 매우 제한적으로 적용되고 있다. 따라서 목재를 해양 부표 소재로 이용하기 위하여 수분의 침투를 억제할 수 있는 물리 화학적 처리가 필요하다. 이를 위한 대표적인 방법으로 소수성 물질의 도포, 목재의 화학적 개질, 열처리, 불용성 물질인 열경화성 수지와 paraffin, montan wax 등의 함침 처리기술이 보고되었다[11-19]. 그러나 상기 도포제, 개질 및 함침용 화합물은 대부분 화석연료인 관계로 기후변화, 지구온난화, 환경오염 및 인체 유해성에 대한 논란의 중심에 있다. 따라서 천연물-유래 발수제로 처리한 목재의 내수성 및 다양한 특성을 확인하는 연구가 필요할 것으로 생각한다.

천연물-유래 발수제로 유채유, 대두유, 아마유, 피마자유, 해바라기씨유, 홍화씨유 등과 같은 식물성 오일 및 레진, 식물성 또는 동물성 왁스 등과 같은 소수성 물질을 가압, 침지, 감압 처리하여 목재에 주입하는 연구가 수행되었으며, 이 결과를 통하여 발수제로 처리한 목재의 특성 변화에 대한 결과를 보고하였다[20-23]. 이 외에 소나무의 잎과 수피에서 추출한 천연왁스를 처리한 소나무 및 너도밤나무가 수분의 침투를 억제하여 발수제로서 paraffin wax의 50%를 대체할 수 있으며, 목재에 왁스 주입이 치수 안정화와 함께 주입량, 수종, 왁스의 종류 및 특성에 따라 강도, 경도, 휨강도, 충격강도 등의 향상에 대한 결과도 보고되었다[24-27]. 이와 같이 왁스 처리에 따른 물성 향상은 목재의 주요 성분과 왁스 간 화학적 반응이 아닌 밀도 증가, 함유율 감소, 연성의 왁스 주입에서 기인한 결과이다[28]. 따라서 목재의 내수성, 내후성, 강도 등에 식물성 오일 및 왁스의 주입이 미치는 영향의 평가를 통하여 해상을 포함한 가혹한 노출 환경에 대한 적용 가능성을 확인하는 연구가 필요할 것으로 생각하나, 이와 관련한 연구는 거의 수행되지 않았다.

본 연구에서는 다양한 제품 생산에 널리 사용되는 비식용의 피마자유(castor oil, 이하 CAO)와 이의 수소화반응을 통하여 제조한 피마자 왁스(hydrogenated castor oil, 이하 HCO)를 국내 주요 침엽수종인 삼나무와 편백나무 그리고 수입 수종인 라디에타 소나무에 주입한 후, 주입량, 용탈성, 치수안정성, 휨강도 등의 측정 결과를 통

하여 최적 제조 조건으로 선정된 삼나무를 물김 양식에 사용되는 부표 형태로 제작한 후, HCO를 주입하여 목재 소형부표를 제조하였다. 이에 대한 HCO 주입량과 치수안정성 평가와 함께 해양수산부에서 고시한 “친환경부표의 성능기준”에 따라 모든 항목에 대한 시험을 통하여 HCO로 처리한 삼나무 소형부표의 물김 양식용 해상 적용 가능성을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 공시재료

물김 양식에 사용되는 어구 가운데 소형부표를 목재로 제조하기 위하여 국내산 삼나무(*Cryptomeria japonica* D., Japanese cedar, 이하 JAC)와 편백나무(*Chamaecyparis obtusa*, Japanese cypress, 이하 CYP) 그리고 수입산인 라디에타 소나무(*Pinus radiata* D., *radiata* pine, 이하 RDP)를 (주) 행복하우드테크(전남, 무안)에서 공급받아 공시목으로 사용하였다. 공시목으로 제작한 시편 및 소형부표에 대한 염수 및 해양 생물의 침입 억제력을 위하여 지방산인 플레이크 형태의 HCO와 비정제유인 액상의 CAO는 각각 Hebei Guanlang Biotechnology Co. Ltd.(Shijiazhuang, China)와 ㈜에스엠그린(서울, 영등포)에서 구매하여 목재 내로 주입을 위한 약액으로 사용하였다.

수중, 주입 지방산 및 처리법의 종류에 따른 지방산의 주입량 및 용탈성 그리고 지방산 주입 시편의 치수안정성 등의 차이를 조사하기 위하여 수중별 심변제 구분없이 정육면체의 wood block(25 mm × 25 mm × 25 mm), 소형 strip(70 mm × 25 mm × 5 mm, L × W × T), 대형 strip-10/30(150 mm × 50 mm × 10 mm 또는 30 mm, L × W × T) 및 판재(200 mm × 200 mm × 10 mm, L × W × T) 형태로 절삭한 후, 시편으로 사용하였다.

2-2. 지방산 주입

HCO는 상온에서 flake 형상의 고체인 관계로 오븐(105±5 °C)에서 12시간 이상 보관하여 액화시켰으며, CAO는 액상인 관계로 확보한 상태로 사용하였다. 이렇게 준비된 액상의 HCO와 CAO를 침지, 감압, 감가압법을 적용하여 목재 시편에 주입하였다. 각 처리 방법을 상세히 설명하면, 침지법은 유리 비이커(3 L)에서 실시하였는데 목재 시편 간의 밀착에 따른 주입량 차이를 최소화하기 위하여 polypropylene 망으로 각각 분리하였으며, 약액을 주입하는 모든 처리 과정에서 목재 시편의 부유를 방지하기 위하여 중량추를 시편 위에 올려 놓았다. 다음으로 액상의 지방산을 목재 시편이 충분히 담길 수 있도록 처리 용기에 부었는데 액상의 CAO는 상온에서 처리한 반면 HCO는 상온에서 고체상으로 변환되는 관계로 105 °C 오븐 내에서 6시간 및 15시간에 걸쳐 처리하였다. 감압법은 목재 시편이 완전히 침지 되도록 충분한 양의 액상 CAO 및 HCO를 유리 비이커에 투입한 후, 본 연구를 위하여 자체 제작한 주입관에 넣어 밀폐시키고 진공 펌프로 15분간 550 mmHg로 처리하였다[29]. CAO 및 HCO의 처리 과정에서 주입관의 온도는 각각 상온과 90 °C로 유지하였다. 감가압법은 감압법과 동일한 조건으로 감압한 후, 순차적으로 콤프레샤를 이용하여 15분간 4 kgf/cm²으로 가압하여 처리하였다. 각 처리법으로 약액 주입이 완료된 목재 시편의 표면에 존재하는 CAO 및 HCO는 종이 핸드타올로 가볍게 문질러 제거하였으며, 주입 시편을 5일간 기건한 후, 70 °C 오븐에서 48시간 건조하여 중량을 측정하였다. 지방산 주입량(uptake)은 최초 목재 시편의 중량 대비 건

조가 완료된 CAO- 또는 HCO-처리 목재 시편 중량의 백분율로 계산하여 구하였다.

2-3. 용탈성

목재 시편 내로 주입된 HCO 및 CAO의 내용탈성 평가를 위하여 주입 목재 시편을 플라스틱통에 넣고, 목재 시편이 부상하지 않도록 teflon 망 위에 중량추를 놓았다. 이 플라스틱통 내에 천일염을 이용하여 35 ppt(part per thousand)의 염도(35 g/L)로 조제한 염수를 충분히 부은 후, 2주 또는 4주(목재 소형부표만)에 걸쳐 용탈을 실시하였다. 용탈이 완료된 시편의 표면과 표층에 잔류할 수 있는 염은 5회 이상의 냉수 세척으로 제거하였다. 이렇게 세척된 시편을 최소 5일간 실험실 내에서 기건한 후, 70 °C 오븐에서 48시간 동안 건조하여 중량을 측정하였다. 시편에서 용탈되는 HCO 또는 CAO의 양은 주입 목재 시편과 용탈시킨 목재 시편의 중량 차이로 구하였으며, 목재 시편에 주입된 HCO 및 CAO의 양에 대한 용탈된 양의 백분율로 용탈성(leachability)을 계산하였다.

2-4. 치수안정성 평가

목재 시편의 염수 침수에 의한 치수 변화를 측정하기 위하여 70 °C 오븐에서 48시간 이상 건조한 다양한 형상의 시편을 데시케이터 내에서 충분히 방랭하였으며, 이 시편의 길이, 너비, 두께, 직경을 측정하였다. 다음으로 2.2에서 서술한 방법과 동일하게 HCO 및 CAO를 시편에 주입한 후, 5일간 기건 및 70 °C 오븐에서 48시간에 걸쳐 건조하였다. 이 시편의 치수 측정을 통하여 HCO 및 CAO 주입에 따른 치수 변화를 조사하였다. 다음으로 2.3에서 설명한 방법과 같이 염수에 2주 또는 4주간 침지한 시편에 대하여 냉수 세척, 5일간 기건 그리고 순차적으로 70 °C 오븐에서 48시간 동안 건조한 후, 길이, 너비, 두께, 직경을 재측정하였다. 이 측정치를 이용한 부피 차이를 백분율로 계산하여 부피팽윤율(total volumetric swelling, 이하 TVS)을 구하였으며, 이를 통하여 HCO 및 CAO 처리에 의한 목재 시편의 치수안정성을 비교하였다.

2-5. 휨강도

목재에 대한 HCO 및 CAO 처리가 강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2.2에서 서술한 바와 같이 대형 strip(150 mm × 50 mm × 10 mm, L × W × T)에 HCO 및 CAO를 처리하였다. 다음으로 염수에 2주간 침수한 시편을 냉수로 충분히 세척하고, 5일간 기건한 후, 70 °C 오븐에서 48시간 동안 건조하였다. 이 시편의 휨강도를 ASTM D 4761-19에 따라 Universal Testing Machine(Zwick/Rowell, Germany)를 이용하여 10 mm/min의 속도로 하중을 가하면서 측정하였다[30].

2-6. 목재 소형부표의 제작

목재 소형부표 제작을 위하여 JAC, RDP, CYP 원목을 100~110 mm × 100~110 mm × 2,400 mm 치수의 대단면재로 제제한 후, 50~55 °C로 조절된 열풍건조기를 이용하여 25% 내외의 평균 함수율로 인공 건조를 진행하였다. 건조 과정에서 발생할 수 있는 결함(틀어짐, 휨 등)을 방지하기 위하여 대패가공기를 이용하여 4면을 평삭하였다. 이렇게 준비된 대단면재를 현재 물김 양식에 대부분 사용되고 있는 polypropylene 소형부표(Fig. 1(a))와 동일한 길이(150±5 mm)로 재단한 후, 원주가공기를 이용하여 직경 100 파이로 초벌 가공하였다. 다음으로 목공선반기를 이용하여 직경 25 mm의 로프구를 가공한



Fig. 1. Images of marine buoy made with a) polypropylene, b) Japanese cedar, c) radiata pine and d) Japanese cypress.

후, 세부 원주 가공 및 측면 가공을 통하여 목재 소형부표를 제작하였다(Fig. 1(b, c, d)). 이렇게 제작된 목재 소형부표의 치수를 보면, 길이는 150 mm, 중앙부의 최대 직경은 80 mm, 최외부 최대 직경은 50 mm로 측정되었다.

제작된 목재 소형부표를 2.2에서 설명한 방법과 동일하게 HCO를 15시간 침지 또는 15분 감압 처리하여 주입한 후, 주입량을 구하였다. HCO-주입 목재 소형부표를 염수에 4주간 침수하여 용탈성과 TVS를 수중 및 처리 방법에 따라 비교 및 분석하였다. 이 결과를 통하여 최적 수중으로 선정된 JAC에 HCO를 15분 감압 처리하여 시제품을 제조하였으며, 이를 2021년 해양수산부에서 고시한 “친환경부표의 성능기준”에 따라 인증 획득을 위한 사전 시험을 실시하였다[10].

2-7. 통계 분석

본 연구에서 조사된 실험 인자는 수중(JAC, RDP, CYP), 지방산의 종류(HCO, CAO), 처리법(침지, 감압, 감가압법), 목재 시편의 형상(정육면체 wood block, strip, 판재, 소형부표 형상)으로 인자별로 지방산의 주입량과 용탈성 그리고 지방산-처리 시편의 치수안정성과 휨강도에 미치는 영향을 조사하였다. 각 물질은 24개의 wood block 및 소형 strip 그리고 3개의 대형 strip, 판재, 소형부표 측정치를 이용

하였으며, 상기 인자의 영향을 Minitab 프로그램(Minitab LLC, Anyang, South Korea)의 ANOVA 명령어를 이용하여 95% 신뢰 범위에서 분산분석을 수행하였다. 통계학적으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성이 있다고 분석된 결과에 대하여 Fisher's LSD(least significant different: 최소유의차) 검정을 위한 다중비교 방법 중에 가장 많이 사용되는 Student t-test에 의하여 각 평균값 간의 차이에 대한 유의성을 추가로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 지방산 주입능

JAC, RDP, CYP 시편(strip-10)의 HCO 및 CAO 주입량은 지방산 및 처리법의 종류와 상관없이 각각 62.90%, 97.62%, 56.45%로 RDP가 JAC와 CYP보다 많았다(JAC & RDP: $p < 0.01$; JAC & CYP: $p = 0.15$; RDP & CYP: $p < 0.01$). RDP($450 \sim 500 \text{ kg/m}^3$)의 밀도가 JAC($300 \sim 420 \text{ kg/m}^3$) 및 CYP($365 \sim 413 \text{ kg/m}^3$)보다 높음에도 불구하고 주입량이 많은 이유는 해부학적 구조와 심재의 화학적 조성의 차이에서 기인한 것으로 생각한다[31-33]. 즉, RDP에 존재하는 큰 직경의 수지구와 함께 넓은 가도관과 유연벽공을 통하여 용이하게 지방산이 이동한 반면 JAC는 작은 벽공구와 건조 과정에서 벽공의

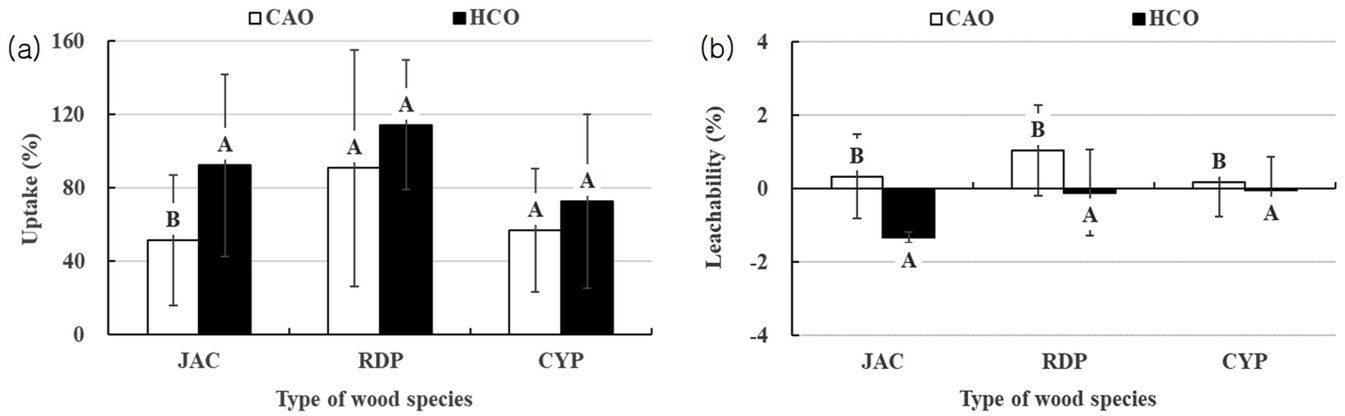


Fig. 2. Effects of castor oil (CAO) and hydrogenated castor oil (HCO) on the (a) uptake and (b) leachability of wood strips (JAC: Japanese cedar; RDP: radiata pine; CYP: Japanese cypress) treated with CAO and HCO. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

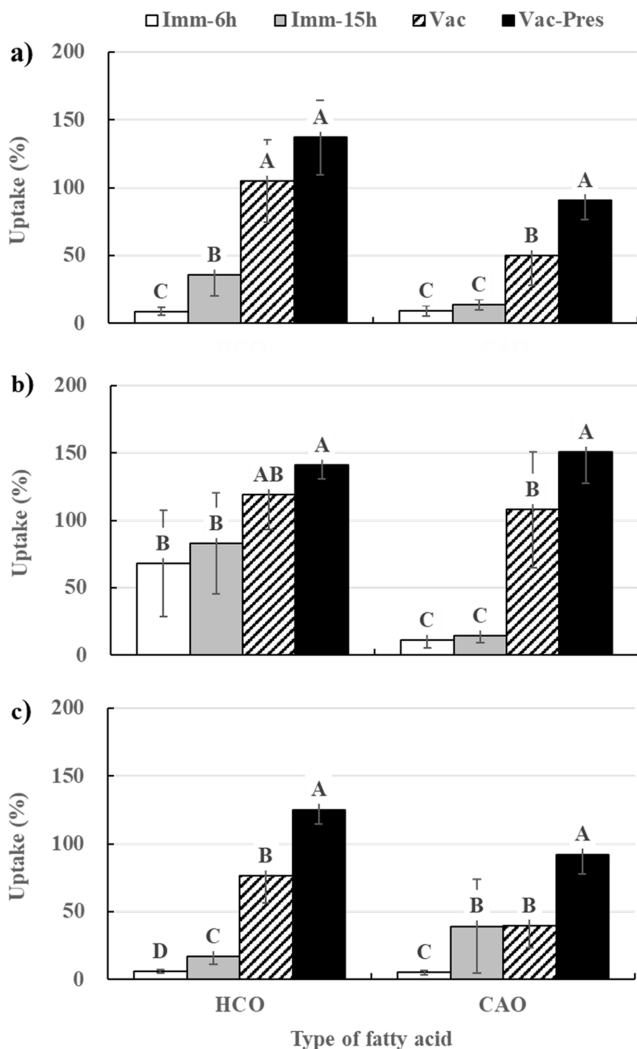


Fig. 3. Effect of the treating method (Imm-6h: immersion for 6h; Imm-15h: immersion for 15h; Vac: vacuum; Vac-Pres: vacuum and then pressure) on the uptake of hydrogenated castor oil (HCO) and castor oil (CAO) into the a) Japanese cedar, b) radiata pine and c) Japanese cypress strips with a dimension of 150 mm (L) × 50 mm (W) × 10 mm (T). Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

폐쇄 및 심재 추출물의 침착으로 지방산의 횡단면 유동이 제한되어 나타난 결과라 생각한다[34-37]. CYP의 경우, 지방산의 유동을 담당하는 가도관의 직경이 RDP보다 상대적으로 적어 침투성이 감소함에 따라 주입량이 적었던 것으로 판단된다[38].

Fig. 2(a)는 수종별 HCO와 CAO의 주입량을 비교한 결과로써 RDP($p=0.11$)와 CYP($p=0.13$)에서 주입량의 차이는 없었으나, JAC($p<0.01$)에서는 HCO 주입량이 CAO보다 많았다. 이는 HCO가 상온에서 고체화하는 관계로 고온에서 처리하는 과정에서 밀도가 가장 낮은 JAC 세포벽의 팽윤 정도가 RDP 또는 CYP보다 높아 나타난 결과라 추정된다[31-33]. 한편, HCO와 CAO 주입량을 처리법에 따라 비교한 결과를 보면, 수종 및 지방산의 종류와 상관없이 예상대로 침지법, 감압법, 감가압법 순으로 증가하였다(Fig. 3). 반면 HCO로 처리한 JAC($p=0.06$)와 RDP($p=0.13$)에서 감압법과 감가압법 처리한 시편에서 차이가 없었는데 이는 감압 처리만으로도 HCO가 충분히 목재 내로 침투한다는 것을 의미한다. 따라서 감압 처리한 HCO의 주입량에 대한 목재 크기의 영향을 확인하기 위하여 두께를 10 mm에서 30 mm로 증가시킨 시편을 HCO에 6시간

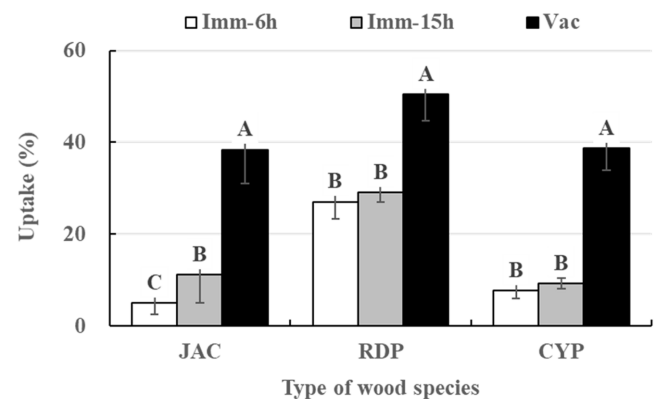


Fig. 4. Effect of the treating method (Imm-6h: immersion for 6h; Imm-15h: immersion for 15h; Vac: vacuum) on the uptake of hydrogenated castor oil (HCO) into the Japanese cedar (JAC), radiata pine (RDP) and Japanese cypress (CYP) strips with a dimension of 150 mm (L) × 50 mm (W) × 30 mm (T). Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

및 15시간 침지 그리고 15분간 감압 처리한 후, 주입량을 비교하였다(Fig. 4). 목재 시편의 두께가 증가함에 따라 주입량은 수중 및 처리법과 상관없이 전체적으로 감소하였으나, 감압 처리가 침지 처리보다 HCO를 모든 수종의 시편 내로 효과적으로 침투시킬 수 있다는 점을 확인할 수 있었다. 결과를 종합하면, HCO 및 CAO의 목재 내 주입량은 감가압법이 가장 많았으나, 15분간 감압 처리만으로도 깊숙이 침투하는 것으로 나타나 향후 대량 생산에 있어 생산성 및 안전성을 고려하여 감가압법보다 감압법이 최적의 처리법인 것으로 생각한다.

3-2. 용탈성

무처리 JAC, RDP, CYP strip-10 시편을 염수에 2주간 침수한 이후 측정된 증량은 각각 4.32%, 4.58%, 4.91% 증가하였다. 이는 염수 내에 존재하는 NaCl이 침수 과정 중에 목재의 공극 및 세포벽 내에 침투한 후, 충분한 세척에도 불구하고 목재 조직 내에 잔류하여 나타난 결과라 추정된다. 한편, 염수에 침수 처리한 무처리 시편의 수중별 증량증가율에는 차이가 없었다(JAC & RDP: $p=0.72$; JAC & CYP: $p=0.47$; RDP & CYP: $p=0.77$).

처리법과 지방산의 종류와 상관없이 HCO 및 CAO로 처리한 JAC, RDP, CYP의 용탈량은 각각 -0.72%, 0.02%, -0.28%로 RDP 및 CYP보다 JAC에서 낮았다(JAC & RDP: $p>0.01$; JAC & CYP: $p=0.02$; RDP & CYP: $p=0.08$). 주입량이 가장 많았던 RDP의 증량 감소율이 가장 높았는데 이는 RDP에 과도하게 주입된 지방산에서 기인한 결과라 생각한다. 반면 JAC 시편의 용탈량이 가장 낮았는데 이는 낮은 밀도로 인하여 지방산이 심층의 세포벽까지 침투함에 따라 침수 처리와 충분한 냉수 세척에도 불구하고 조직 내에 잔류하여 나타난 결과라 생각한다[39,40]. 한편, 지방산 처리 시편의 용탈량이 무처리 시편보다 높았는데 이는 지방산의 처리로 인하여 침수 과정에서 염수의 침투 정도가 적은 반면 무처리 시편은 염수가 세포벽 내부까지 침투한 후, 용탈 및 세척 이후에도 NaCl이 세포벽에 잔류하여 나타난 결과로 추정된다.

각 수종의 용탈량을 지방산별로 비교한 결과를 보면, HCO로 처리한 모든 수종의 시편에서 CAO로 처리한 시편보다 적었는데 이는 상온에서 고체상으로 변환하는 왁스형 HCO의 내수성에서 기인한 결과이다(Fig. 2(b)). HCO 및 CAO의 용탈량을 처리법에 따라 비교한 결과를 보면, JAC에서 HCO 용탈량은 6시간 침지 처리로 주입된 시편을 제외하고 차이가 없었으나, CAO 용탈량은 침지보다 감가압과 감압 처리한 시편에서 낮았다(Fig. 5). RDP에서 용탈되는 HCO와 CAO 양은 JAC와 유사하였으며, CYP에서는 지방산의 종류와 상관없이 감가압, 감압, 15시간, 6시간 침지 처리한 시편 순으로 용탈량이 증가하였다. 이와 같은 결과는 감가압 또는/그리고 감압 처리가 HCO와 CAO를 세포벽 내부까지 깊숙이 침투시켜 용탈에 대한 저항성을 나타낸 것으로 생각한다.

용탈성 결과를 종합하면, 용탈량은 수중별로 RDP와 CYP보다 JAC, 지방산별로 CAO보다 HCO 그리고 처리법별로 침지보다 감압 및 감가압 처리한 시편에서 적었다. 따라서 가혹한 해상 환경에서 장기간 노출된 목재의 내수성, 내구성, 내후성 등의 제고를 통한 치수안정성 향상을 위한 지방산 및 처리법으로 HCO와 감압 처리가 적합할 것으로 생각한다. 이를 위한 수중으로 국내 가공성, 가공성, 경제성 등을 고려하여 JAC가 가장 적합할 것으로 판단된다[41-43].

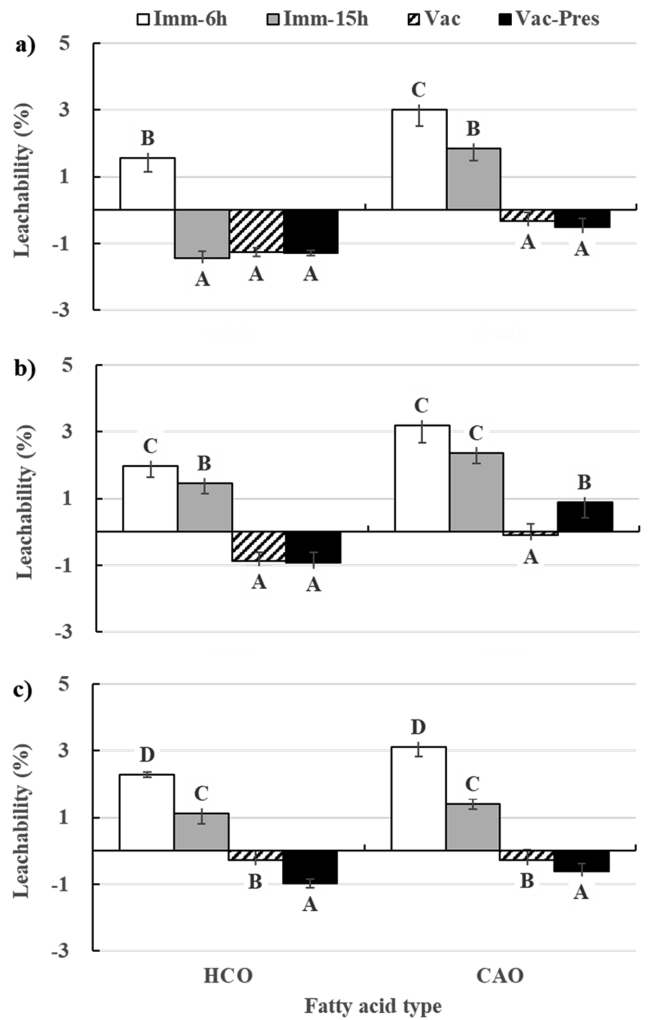


Fig. 5. Effect of the treating method (Imm-6h: immersion for 6h; Imm-15h: immersion for 15h; Vac: vacuum; Vac-Pres: vacuum and then pressure) on the leachability of hydrogenated castor oil (HCO) and castor oil (CAO) into the a) Japanese cedar, b) radiata pine and c) Japanese cypress strips with a dimension of 150 mm (L) × 50 mm (W) × 10 mm (T). The strips were submerged in the saline water for 2 weeks. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

3-3. 치수안정성

HCO 및 CAO 주입 전후의 방향별 길이 변화를 합산하여 얻은 JAC, RDP, CYP 시편(strip-10)의 TVS는 -0.52%, -0.61%, -0.38%로 모두 수축하였다. 이는 주입한 이후 양생과정에서 액상에서 고체상으로 변환하는 HCO와 목재 세포 내의 공극 및 세포 간극이 감압 과정에서 수축하면서 나타난 결과로 추정된다[44]. 한편, CYP의 지방산 주입 이후 TVS(이하 TVS-1)가 RDP보다 높았는데 이는 상대적으로 적은 지방산의 주입으로 치수 변화가 크지 않았던 것으로 생각한다(JAC & RDP: $p=0.28$; JAC & CYP: $p=0.06$; RDP & CYP: $p<0.01$). 반면 지방산 종류에 따라 TVS-1를 수중별로 비교한 결과, HCO와 CAO를 주입한 JAC에서 -1.09%와 -0.13%, RDP에서 -1.29%와 -0.14%, CYP에서 -0.80%와 -0.06%로 HCO를 주입한 모든 시편에서 TVS-1이 낮아 액상의 HCO가 양생 과정을 통하여 고체상으로 변환되면서 목재가 함께 수축한다는 상기 추론을 확인할 수 있었다

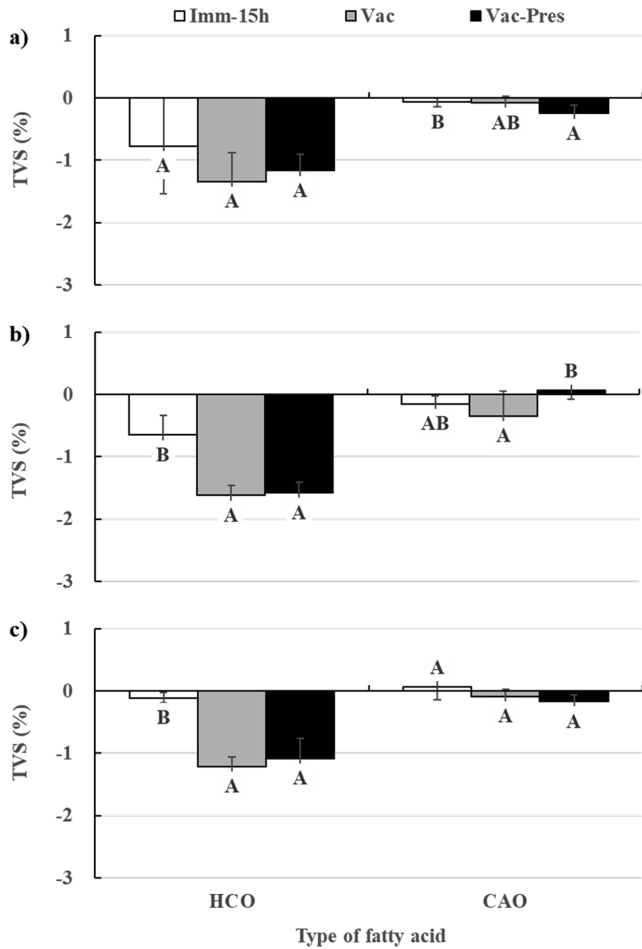


Fig. 6. Effect of the treating method (Imm-15h: immersion for 15h; Vac: vacuum; Vac-Pres: vacuum and then pressure) on the total volumetric swelling (TVS) of a) Japanese cedar, b) radiata pine and c) Japanese cypress strips with a dimension of 150 mm (L) × 50 mm (W) × 10 mm (T) after treating with hydrogenated castor oil (HCO) and castor oil (CAO). Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

(Fig. 6). 또한 침지보다 감압 또는 감가압 처리한 RDP와 CYP 시편의 TVS-1가 낮았는데 이는 목재를 액상의 지방산에 넣어 감압 또는 감가압하는 과정에서 공극 또는 세로 간극에 존재하는 공기의 배출로 인하여 수축한 것으로 판단된다.

HCO- 및 CAO-주입 시편을 2주간에 걸쳐 염수에 침수한 이후 측정된 JAC, RDP, CYP의 TVS(이하 TVS-2)는 각각 1.12%, 1.23%, 0.57%로 CYP에서 가장 낮았으며(JAC & CYP: $p=0.02$; RDP & CYP: $p<0.01$), JAC와 RDP 간에는 차이가 없었다($p=0.63$). 이와 같은 결과는 액체의 유통을 담당하는 가도관의 직경이 JAC와 RDP 보다 CYP에서 상대적으로 적어 염수의 침투성이 감소함에 따라 나타난 결과로 판단된다[38]. HCO와 CAO로 처리한 JAC, RDP, CYP의 TVS-2는 각각 0.93%와 1.55%($p=0.09$), 0.31%와 2.29%($p<0.01$), 0.18%와 0.83%($p<0.01$)로 HCO-주입 시편에서 낮았는데 이는 상온에서 고체상으로 변환하여 내수성을 나타내는 왁스인 HCO의 특성에서 기인한 결과이다.

처리법에 따라 TVS-2를 비교한 결과를 보면, CAO를 주입한

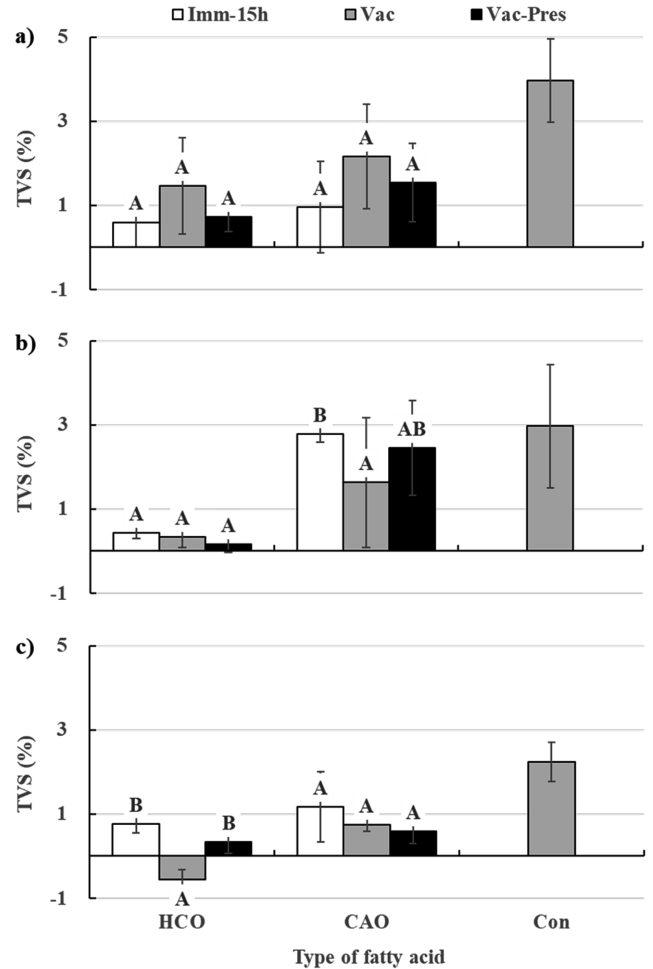


Fig. 7. Effect of the treating method (Imm-15h: immersion for 15h; Vac: vacuum; Vac-Pres: vacuum and then pressure) on the total volumetric swelling (TVS) of hydrogenated castor oil (HCO)-, castor oil (CAO)-treated and untreated (Con) a) Japanese cedar, b) radiata pine and c) Japanese cypress strips with a dimension of 150 mm (L) × 50 mm (W) × 10 mm (T). The strips were submerged in the saline water for 2 weeks. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

RDP와 HCO를 주입한 CYP에서 감압 처리가 15시간 침지 처리보다 낮았으며, 그 외에는 처리법에 따른 차이가 없었다(Fig. 7). 이는 수중에 따라 HCO 및 CAO 주입 정도에 차이가 있다는 것을 의미하며, 특히 RDP 및 CYP보다 밀도가 낮은 JAC는 HCO 및 CAO가 세포벽까지 충분히 침투하여 TVS-2가 처리법의 영향을 받지 않은 것으로 생각한다. 한편, 지방산을 처리하지 않은 대조구 시편의 TVS-2를 지방산 처리 시편과 비교하였을 때, HCO- 및 CAO-주입 JAC와 CYP 그리고 HCO-주입 RDP 시편에서 낮게 측정되어 HCO 및 CAO 처리가 침수 과정에서 목재 내로 수분의 침투를 억제하여 치수 안정화에 기여한다는 점을 확인할 수 있었다.

수중별 시편의 주입 이전 치수와 각 처리법에 의하여 HCO 또는 CAO를 주입한 시편의 침수 이후 치수의 차이를 분석한 결과를 종합하면, HCO를 감압법으로 처리한 시편이 수축한 이후 침수 처리를 통하여 원래 치수로 복원된 것으로 나타나 치수 안정화 측면에서 가장 적합한 처리법으로 판단된다.

3-4. 휨강도

무처리 JAC, RDP, CYP의 휨강도는 50.74 MPa, 53.07 MPa, 76.13 MPa로 CYP, RDP, JAC 순이었으며, 그 측정치는 기존 연구 결과와 큰 차이가 없었다[45-47]. 휨강도 측정에 사용된 시편을 염수에 2주간 침지한 이후, 기건 및 오븐 건조를 통하여 준비된 JAC, RDP, CYP(함수율: 11% 내외)의 휨강도는 49.80 MPa, 52.10 MPa, 76.11 MPa로 감소하였으나, 염수 침수 전후의 휨강도 차이는 유의하지 않았다. 반면 처리법과 상관없이 HCO 및 CAO를 처리한 이후 염수에 침수한 JAC($p < 0.01$), RDP($p = 0.43$), CYP($p < 0.01$) 시편의 휨강도는 각각 62.48 MPa과 51.84 MPa, 70.05 MPa과 66.61 MPa, 97.76 MPa과 72.80 MPa로 HCO를 주입한 JAC와 CYP가 CAO를 주입한 시편보다 높았다. 이와 같은 높은 휨강도는 상온에서 고체화된 HCO의 염수에 대한 높은 용탈 저항성에 영향을 받았을 것으로

사료된다. 반면 RDP는 3.1에서 언급한 바와 같이 해부학적으로 액체의 용이한 침투가 가능한 관계로 CAO가 세포벽 내부까지 주입됨에 따라 휨강도가 증가하여 HCO-주입 RDP와 차이가 없었던 것으로 생각한다.

각 수종에서 지방산별 처리법에 따라 휨강도를 비교한 결과, HCO를 처리한 JAC와 CYP에서 주입량이 많을수록 휨강도가 높았다(Fig. 8). RDP의 휨강도는 CAO 처리와 함께 증가하였는데 이는 JAC와 CYP보다 많은 CAO 주입량이 휨강도 증가에 영향을 미친 것으로 생각한다(Fig. 2). 반면 CAO로 처리한 JAC와 CYP의 휨강도는 무처리 시편과 차이가 없었다. 휨강도 측정 결과를 종합하면, CAO보다 HCO 그리고 주입량이 많은 감압 또는 감가압 처리 목재가 가혹한 조건의 노출 환경인 해상용 소재로서 적용이 가능할 것으로 생각한다.

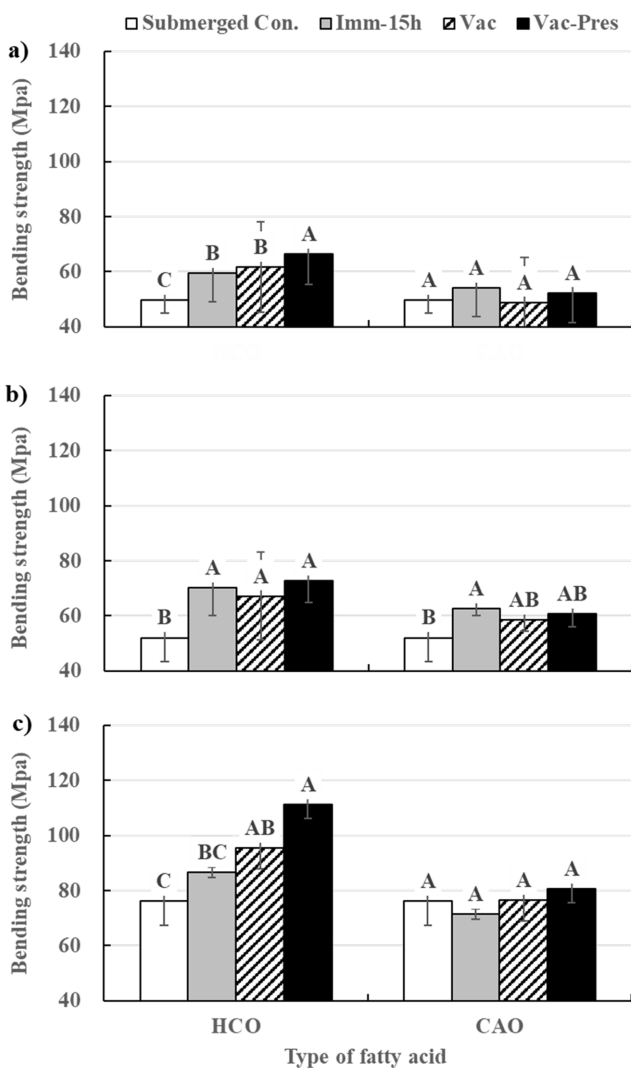


Fig. 8. Effect of the treating method (Imm-15h: immersion for 15h; Vac: vacuum; Vac-Pres: vacuum and then pressure) on the bending strength of untreated (Submerged Con.), hydrogenated castor oil (HCO)- and castor oil (CAO)-treated a) Japanese cedar, b) radiata pine and c) Japanese cypress strips with a dimension of 150 mm (L) × 50 mm (W) × 10 mm (T). The strips were submerged in the saline water for 2 weeks. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

3-5. 목재 소형부표 시제품

현재 물김 양식에 사용되고 있는 polypropylene 소형부표와 동일한 크기 및 형상으로 목재 소형부표를 JAC, RDP, CYP로 제작하였다(Fig. 1). 본 연구를 통하여 확인된 결과를 종합하여 목재 소형부표에 HCO를 15시간 침지 및 15분간 감압하여 처리하였는데 RDP에 주입된 HCO 양(40.52%)이 JAC(21.45%) 및 CYP(22.53%)보다 많았다(JAC & RDP: $p = 0.01$; JAC & CYP: $p = 0.90$; RDP & CYP: $p = 0.04$). 이는 3.1에서 설명한 바와 같이 해부학적으로 HCO의 용이한 주입이 가능한 RDP의 해부학적 구조에서 기인한 결과라 생각한다[34-37]. 한편, 다양한 크기 및 형상의 JAC 시편에 대하여 15분간 감압 처리하여 주입된 HCO 양을 비교한 결과를 보면, 대형 strip, wood block, 소형 strip, 판재, 목재 소형부표 순으로 감소하여 HCO 주입량에 대한 목재 치수 및 형상의 영향과 일정한 크기 이상에서 HCO 주입이 제한된다는 점을 확인할 수 있었다(Fig. 9). HCO-주입 JAC, RDP, CYP 소형부표를 4주간 염수에 침수한 이후 측정된 용탈량은 Fig. 10에서 보는 바와 같이 각각 2.28%, 4.67%, 2.24%로 RDP의 용탈량이 가장 많았다(JAC & RDP: $p = 0.04$; JAC & CYP: $p = 0.93$; RDP & CYP: $p = 0.03$). 이는 용이한 염수 침투가 가능한 RDP의 해부학적 구조와 많은 HCO 주입량에서 기인한 결과로 판단된다.

수종별 목재 소형부표의 HCO 주입량과 HCO-주입 소형부표의 용탈성을 처리법에 따라 비교한 결과를 보면, Fig. 10과 같이 감압 및 15시간 침지 처리한 JAC 시편 간에는 차이가 없었다(주입량: $p = 0.32$; 용탈성: $p = 0.75$), 그러나 RDP와 CYP의 주입량은 감압 처리한 시편에서 많았으며(RDP: $p = 0.04$; CYP: $p < 0.01$), 용탈량은 침지 처리한 시편에서 많았다(RDP: $p = 0.03$; CYP: $p < 0.01$). 이 결과로부터 목재 소형부표에 대한 HCO 주입시 침지법보다 감압법이 HCO의 주입 및 용탈 저항성 확보에 효과적인 방법이라는 것을 확인할 수 있었다.

JAC, RDP, CYP 소형부표에 HCO 주입 이전 및 이후의 길이, 최대 및 최소 직경, 로프구 직경의 측정을 통하여 구한 TVS-1은 각각 0.12%, 0.16%, 0.44%로 수종별 차이가 없었는데(JAC & RDP: $p = 0.95$; JAC & CYP: $p = 0.61$; RDP & CYP: $p = 0.52$), 이는 시편의 큰 치수와 HCO의 적은 주입량으로 치수 변화가 제한되어 나타난 결과라 생각한다. 유사하게 4주간 염수에 침수한 이후 측정된 JAC, RDP, CYP 소형부표의 TVS-2는 각각 0.66%, 1.23%, 0.58%로 차이가 없었으며(JAC & RDP: $p = 0.16$; JAC & CYP: $p = 0.81$; RDP & CYP:

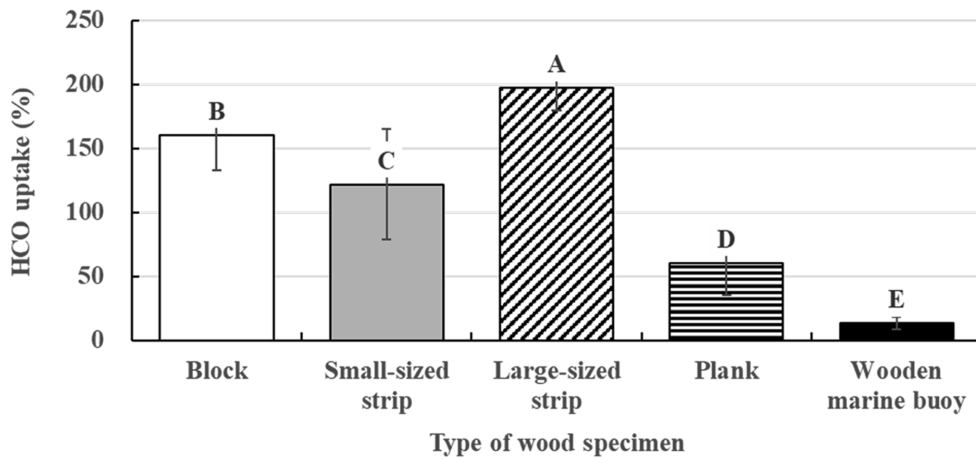


Fig. 9. Effect of the size and shape of wooden material on the uptake of hydrogenated castor oil (HCO), which were treated using a vacuum method for 15 minute, into wood specimens.

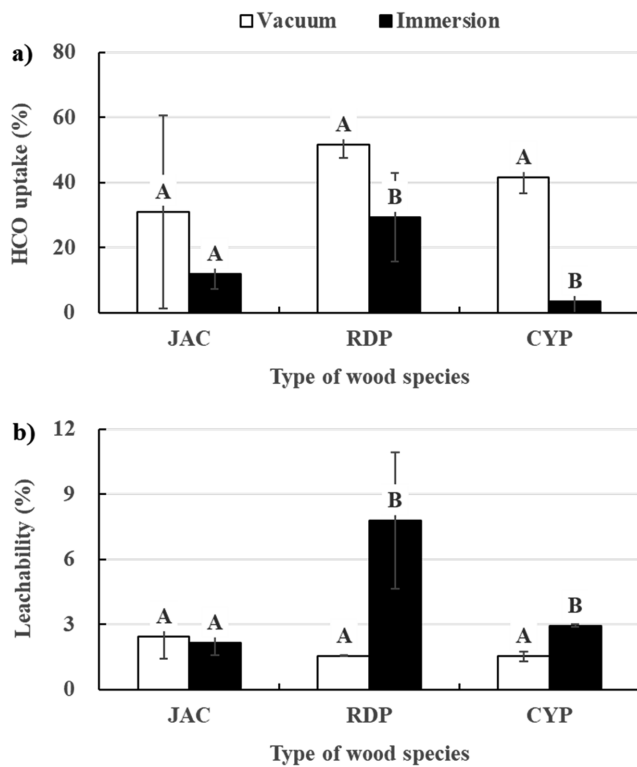


Fig. 10. The a) uptake of hydrogenated castor oil (HCO) penetrated into wooden marine buoys, which were made with Japanese cedar (JAC), radiata pine (RDP) and Japanese cypress (CYP), using a vacuum for 15 min or immersion for 15h treatment, and b) leachability of the HCO-treated wooden marine buoy submerged in saline water for 4 weeks. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

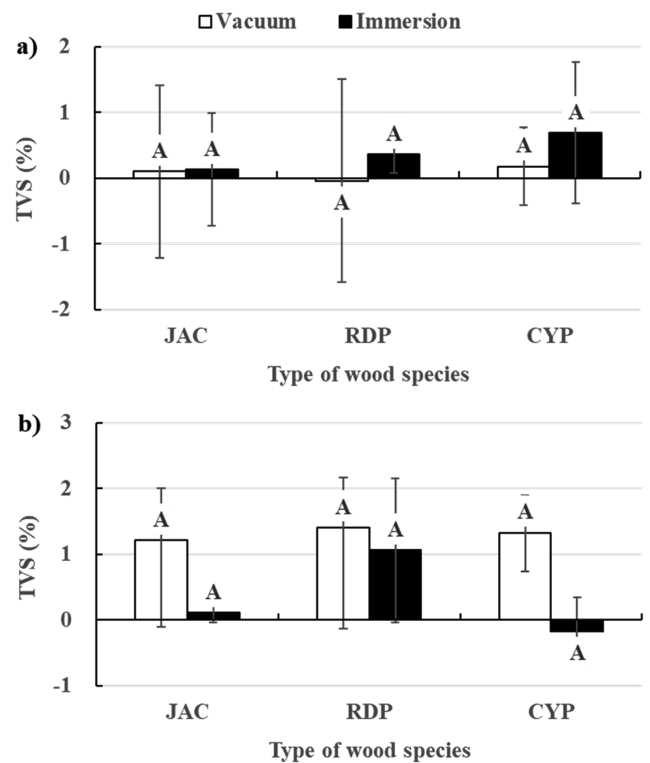


Fig. 11. Total volumetric swelling (TVS) of hydrogenated castor oil-treated wooden marine buoys, which were made with Japanese cedar (JAC), radiata pine (RDP) and Japanese cypress (CYP), using a vacuum or immersion treatment a) after treating and b) leaching in saline water for 4 weeks. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

$p=0.26$), 수중별 처리법에 따라 주입 및 용탈 이후 측정된 치수 변화를 통하여 측정된 TVS-2도 차이가 없었다(Fig. 11). 이는 HCO 처리로 인하여 목재 소형부표 내로 염수 침투의 억제와 시편의 큰 크기로 치수 변화가 제한되어 나타난 결과로 사료된다.

목재 소형부표에 대한 연구 결과와 목재 원료에 대한 국내 가용

성, 지방산 처리 비용 및 안전성 등을 고려하여 JAC에 HCO를 15 분간 감압 처리하여 시제품을 제조하였으며, 이를 이용하여 해양수산부에서 고시한 “친환경부표의 성능기준”에 따라 인증 확보를 위한 사전 시험을 진행한 결과, 내충격성 시험을 제외한 모든 항목의 기준을 만족하였다(Fig. 12). 목재 해양부표의 내충격성 시험 통과를 위하여 JAC 대단면재를 기존의 목재 섬유방향과 평행한 종방향에

시험성적서

성적서번호 : CT24-060877K

7. 시험결과

1) 목적지 해상부표

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고	시험장소
속진내후성시험(Xenon, 2 000 시간)후-광도양	-	(1) 광열, 광손, 녹아 내림 없음			A
유기주석화합물(Tributyltin, TBT)	mg/kg	(2) 불검출 (검출한계 0.5)			B
유기주석화합물(Triphenyltin, TPT)	mg/kg	(2) 불검출 (검출한계 0.5)			
납(Pb)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
카드뮴(Cd)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
바륨(Ba)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
셀레늄(Se)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
크롬(Cr)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
인티모니(Sb)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
비스(Ar)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
수은(Hg)	mg/kg	(3) 불검출 (검출한계 5)			
Polyarinated Di(phenyl) Ethers(PDEs)	mg/kg	(4) 불검출			
Polyarinated Bi(phenyl)s(PBBS)	mg/kg	(4) 불검출			
Tri(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Hexa(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Tri(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Nona(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 5)			
Tetra(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Tetra(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Deca(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 5)			
Deca(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 5)			
Nona(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 5)			
Di(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Octa(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 5)			
Penta(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Di(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			
Brona(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)			

총 4페이지 중 2페이지

양서TOP-12-01-03(1)

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함) 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

시험성적서

성적서번호 : CT24-060877K

Hepta(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)	B
Hexa(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)	
Octa(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 5)	
Penta(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)	
Hexa(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)	
Brona(phenyl) ether	mg/kg	(4) 불검출 (검출한계 2)	
Tetra(phenyl) ether A(TBPA)	mg/kg	(5) 불검출 (검출한계 10)	
Hexa(phenyl) ether(HBDD)	mg/kg	(5) 불검출 (검출한계 10)	
외수(길이)	mm	(1) 146	
외수(높이)	mm	(1) 79	
무게	kg	(1) 0.3	A
부력 (계산부력)	kgf	(1) 0.1	
부력 (측정부력)	kgf	(1) 0.3	
결로양	-	(1) 이상없음	
내충격성 (10 kg, 가시형)	-	(1) 피손	
열피로도시험 후 외형변화	-	(1) 균열, 파손, 팽창없음	
열피로도시험 후 부력 유지율	%	(1) 100.0	
내압시험 전 무게	kg	(1) 0.3	
내압시험 (1 bar) 후 무게	kg	(1) 0.3	
내압시험 (1 bar) 후 부력유지율	%	(1) 100.0	
침속부표	L	(1) 0.5	
가로세로비	-	(1) 0.53	

※ 시험장소

A : 인천광역시 남동구 당항로 85

B : 서울특별시 금천구 가산디지털1로 199 (가산동)

총 4페이지 중 3페이지

양서TOP-12-01-03(1)

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함) 유효하며, 사본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

Fig. 12. Performance test report of wooden marine buoy for acquiring the certification of environmental-friendly buoys designated by the Ministry of Oceans and Fisheries of the Republic of Korea.



Fig. 13. Images of a) testing equipment and b) wooden marine buoys used for determining impact resistance, c) testing results of wooden marine buoy processed in the c) longitudinal and d) horizontal directions.

서 수직인 횡단방향으로 가공하여 소형부표를 제작하였으며, 이에 대한 내충격성 시험을 진행한 결과 Fig. 13(d)와 같이 성능 기준을 통과하였다.

결과를 종합하면, HCO를 15분간 감압 처리하여 제조한 JAC 소형부표가 해상 적용을 위한 최적의 생산 조건인 것을 확인하였으나, 상용화를 위하여 시장성 확보와 함께 해양 친공충을 포함한 다양한 해양 생물에 대한 부착성, 물김 생산성, 기용 기간 등에 대한 추가 연구가 필요하며, 현재 이와 관련하여 현장 적용 연구가 진행되고 있다. 현장 연구 결과를 통하여 목재 소형부표가 상기 요구 사항을 만족하여 상용화될 경우, 미세 플라스틱 발생의 배제를 통한 깨끗한 수산물의 공급과 함께 해양 쓰레기 발생의 원인을 근본적으로 제거함으로써 효율적인 쓰레기 문제의 해결이 가능할 것으로 확신한다.

4. 결 론

본 연구는 물김 양식에 사용되고 있는 polypropylene 소형부표에 대한 미세 플라스틱 발생 원인을 근본적으로 해결하기 위하여 목재로 부표를 제작하는 방안을 조사하였다. 가혹한 해상 환경 및 수분의 흡탈착에 의한 목재의 치수 변화 및 파손, 해양 생물 부착에 의한 생물학적 열화 등의 역제를 위하여 지방산인 HCO와 CAO를 다양한 처리법으로 목재 시편에 주입하였으며, 이를 염수에 침수 처리하였다. 이 과정에서 얻은 지방산의 주입량과 용탈성, 지방산-처리 시편의 TVS 결과를 토대로 선정된 조건으로 HCO-주입 목재 소형부표를 제조한 후, 이에 대한 현장 연구를 통하여 해상 적용 가능성을 제시하고자 본 연구를 수행하였으며, 그 결과를 통하여 얻은 결론은 아래와 같다.

(1) 지방산 주입량은 수중별로 JAC나 CYP보다 RDP, 지방산별로 CAO보다 HCO 그리고 침지보다 감압 및 감가압 처리한 시편에서 많았다.

(2) 지방산을 처리하지 않은 시편의 중량은 염수 침수 이후 소폭 증가하였는데 이는 침수액에 포함된 NaCl이 목재 조직 내에 침투한 후, 세척 이후 조직 내에 잔류하여 나타난 결과이다. 수중, 지방산 및 처리법에 따른 용탈량은 각각 JAC, HCO, 감압 또는 감가압 처리한 시편에서 적었다.

(3) 지방산을 주입한 목재 시편은 수축하였으며, 특히 HCO를 감압 또는 감가압 처리하여 주입한 JAC 및 RDP 시편에서 TVS-1이 낮았다. 지방산-주입 시편을 염수에 침수한 이후 측정된 TVS-2는 무처리 시편과 비교하여 지방산 처리로 감소하였으며, 특히 CAO보다 HCO를 감압 처리한 시편에서 효과적이었다.

(4) CAO로 처리한 JAC와 CYP의 휨강도는 무처리 시편과 차이가 없었으나, HCO를 감압 또는 감가압 처리한 시편의 휨강도는 수중과 상관없이 유의하게 증가하였다.

(5) 목재 소형부표의 HCO 주입량은 JAC와 CYP보다 RDP에서 많았으며, 염수 침수 이후 측정된 용탈량은 15시간 침지보다 15분 감압 처리한 JAC 및 CYP 부표에서 낮았다. 한편, HCO를 처리한 이후와 HCO-주입 목재 소형부표의 염수 침수 이후 측정된 TVS는 모든 수중에서 차이가 없었다.

(6) 목재 섬유방향의 중방향으로 가공한 JAC 소형부표에 HCO를 감압 처리하여 제조한 시작품은 내충격성을 제외하고 전체 항목에

서 해양수산부의 “친환경부표의 성능기준”을 통과하였으며, 목재 섬유방향의 수직인 횡단방향으로 가공한 이후 HCO를 감압 처리한 JAC 소형부표는 내충격성 시험을 통과하였다.

본 연구의 결과와 목재 원료에 대한 국내 가용성, 제조 비용, 안전성 등과 같은 생산 조건을 고려하여 목재 섬유방향의 수직인 횡단방향으로 가공한 JAC 소형부표에 HCO를 15분간 감압 처리하는 것이 목재 해양부표 제조를 위한 최적의 수중, 지방산 및 처리법으로 확인되었다. 이 조건으로 생산된 목재 소형부표가 기존 polypropylene 소형부표의 대체용으로 적용이 가능할 것으로 생각한다. 그러나 목재 소형부표의 상용화를 위하여 시장성 확보와 함께 해양 친공충을 포함한 다양한 해양 생물에 대한 부착성, 물김 생산성, 기용 기간 등에 대한 추가 연구가 필요하며, 현재 이와 관련하여 현장 적용 연구가 진행되고 있다.

감 사

본 연구는 산림청의 “목재자원의 고부가가치 첨단화 소재개발 사업”의 지원에 의하여 수행되고 있습니다(2023490A00-2325-AA01). 본 연구를 위하여 여러 조건과 도움을 주신 ㈜행복홈우드 테크의 문명철대표님과 김다연과장님에게 감사드립니다.

References

- Kim, M. R., “Who Would Have Thought Buoys Made From Bundled PET Bottles Could be Eco-friendly?,” (2023) <https://www.thescoop.co.kr/news/articleView.html?idxno=56601> [Assessed at August 3, 2025]
- Ministry of Oceans and Fisheries and National Federation of Fisheries Cooperatives, “2021 Comprehensive Guide to the Eco-Friendly Buoy Distribution Support Program for Fishers,” (2021) https://www.mof.go.kr/synap/view.do?fn=MOF_ARTICLE_37989_20210413178cafffed490&fd=202508 [Assessed at August 3, 2025]
- Kim, M. S. and Park, H. S., “Nationwide, Tens of Millions of Aquaculture Buoys Mostly End up as Garbage,” (2025) <https://www.danbinews.com/news/articleView.html?idxno=31032> [Assessed at August 3, 2025]
- Lee, S. G., Kim, D. S. and Hwang, H. J., “Pursuing the Elimination of Styrofoam Buoys in Aquaculture Farms by 2025,” (2020) https://www.mof.go.kr/synap/view.do?fn=MOF_ARTICLE_32551_20200527172561c4605640&fd=202508 [Assessed at August 3, 2025]
- Kim, G. J., “Controversy Over the Effectiveness of the Eco-friendly Aquaculture Buoy Distribution Plan,” (2022) <http://www.tynewspaper.co.kr/news/articleView.html?idxno=22855> [Assessed at August 3, 2025]
- Kwon, O. J. and Kim, Y. N., “KIMST Leads Efforts to Eliminate Microplastics Through Development of Eco-Friendly Ceramic Buoys,” (2022) https://www.kimst.re.kr/tu/news/news_01/board.do?sessionid=IV5OnYa8jeEDilfC2OLASiw1RAKeA7AjKZEaX7CGTdkRMoEg7fJfJfMhr9dGb4oo.www-webwas_servlet_engine1?type=view&bno=153421765139823&searchDiv=&searchKeyword= [Assessed at August 3, 2025]
- Lie-Nielsen, K., “Meet the Mycologist Stopping Ocean Plastics,

- One Mushroom Buoy at a Time,' (2024) <https://modernfarmer.com/2024/07/stopping-ocean-plastics-one-mushroom-buoy-at-a-time/> [Assessed at August 3, 2025]
8. Hwang, H. C., "Environmentally Friendly Buoys," Kor. Patent No. 10-2017-0063032(2017).
 9. Rowell, R. M., "Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites," CRC Press, Boca Raton, 447-457(2005).
 10. Ministry of Oceans and Fisheries, Performance Standards for Environmental-friendly Buoys, MOF, Sejong(2021).
 11. Ramsden, M. J., Blake, F. S. R. and Fey, N. J., "The Effect of Acetylation on the Mechanical Properties, Hydrophobicity, and Dimensional Stability of *Pinus sylvestris*," *Wood Sci. Technol.*, **31**(2), 97-104(1997).
 12. Cai, X., Riedl, B., Zhang, S. Y. and Wan, H., "Effects of Nanofillers on Water Resistance and Dimensional Stability of Solid Wood Modified by Melamine-urea-formaldehyde Resin," *Wood Fiber Sci.*, **39**(2), 307-318(2007).
 13. Hsieh, C. T., Chang, B. S. and Lin, J. Y., "Improvement of Water and Oil Repellency on Wood Substrates by Using Fluorinated Silica Nanocoating," *Appl. Surf. Sci.*, **257**(18), 7997-8002(2011).
 14. Wang, S., Shi, J., Liu, C., Xie, C. and Wang, C., "Fabrication of a Superhydrophobic Surface on a Wood Substrate," *Appl. Surf. Sci.*, **257**(22), 9362-9365(2011).
 15. Epmeier, H., Westin, M. and Rapp, A., "Differently Modified Wood: Comparison of Some Selected Properties," *Scand. J. For. Res. Suppl.*, **19**(5), 31-37(2004).
 16. Xie, Y., Fu, Q., Wang, Q., Xiao, Z. and Militz, H., "Effects of Chemical Modification on the Mechanical Properties of Wood," *Eur. J. Wood Prod.*, **71**(4), 401-416(2013).
 17. Hazarika, A. and Maji, T. K., "Properties of Softwood Polymer Composites Impregnated with Nanoparticles and Melamine Formaldehyde Furfuryl Alcohol Copolymer," *Polym. Eng. Sci.*, **54**(5), 1019-1029(2014).
 18. Colak, M. and Peker, H., "Effects of Some Impregnation Chemicals and Water Repellents on the Hygroscopicity of Beech Wood," *Wood Res.*, **52**(1), 87-98(2007).
 19. Huang, X., Kocafee, D., Kocafee, Y., Boluk, Y. and Pichette, A., "Study of the Degradation Behavior of Heat-treated Jack Pine (*Pinus banksiana*) under Artificial Sunlight Irradiation," *Polym. Degrad. Stab.*, **97**(7), 1,197-1,214(2012).
 20. 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).
 21. Singh, T. and Singh, A.P., "A Review on Natural Products as Wood Protectant," *Wood Sci. Tech.*, **46**(5), 851-870(2012).
 22. Humar, M. and Lesar, B., "Efficacy of Linseed- and Tung-oi Treated Wood against Wood-decay Fungi and Water Uptake," *Int. Biodegr. Biodegr.* **85**, 223-227(2013).
 23. 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).
 24. Passialis, C. N. and Voulgaridis, E. V., "Water Repellent Efficiency of Organic Solvent Extractives from Aleppo Pine leaves and Bark Applied to Wood," *Holzforchung*, **53**(2), 151-155(1999).
 25. Taman, A. R., Mohamed, S. Z. and Negieb, Z. R., "Effect of Addition of Petroleum Wax on Wood Pulp for Paper Making" *Res. Ind.*, **35**(1), 52-56(1999).
 26. Papadopoulos, A. N. and Hill, C. A. S., "The Sorption of Water Vapour by Anhydride Modified Softwood," *Wood Sci. Technol.*, **37**(3-4), 221-231(2003).
 27. Liu, C., Wang, S., Shi, J. and Wang, C., "Fabrication of Superhydrophobic Wood surfaces via a Solution-immersion Process," *Appl. Surf. Sci.*, **258**(2), 761-765(2011).
 28. Scholz, G., Krause, A. and Militz, H., "Full Impregnation of Modified Wood with Wax," *Eur. J. Wood Prod.*, **70**(1-3), 91-98(2012).
 29. Choi, S., Lee, K. U., Kwon, O., Choi, W., Lee, Y., Cho, S., Choi, J. W. and Yang, I., "Evaluating the Applicability of Wood Treated with Fatty Acid as a Raw Material for Exterior Uses," *Korean Chem. Eng. Res.*, **63**(1), 108-122(2025).
 30. American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Based Structural Materials, ASTM International, West Conshohocken, ASTM D 4761-19(2019).
 31. Hong, N., Won, K., Yoo, B., Jung, S. and Byeon, H., "Mechanical Properties of *Cryptomeria japonica* by the Differences of Stand Characteristics in Southern Region of Korea," *J. Kor. Wood Sci. Technol.*, **43**, 320-326(2015).
 32. Jang, E. S., "Investigation of Sound Absorption Ability of Hinoki Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) Cubes," *J. Kor. Wood Sci. Technol.*, **50**, 365-374(2022).
 33. Oh, S. C., "Residual Strength Estimation of Decayed Wood by Insect Damage through in Situ Screw Withdrawal Strength and Compression Parallel to the Grain Related to Density," *J. Kor. Wood Sci. Technol.* **49**, 541-549(2021).
 34. Booker, R. E. and Evans, J. M., "The Effect of Drying Schedule on the Radial Permeability of *Pinus radiata* D. Don," *Holz als Roh- und Werkstoff*, **52**, 150-156(1994).
 35. Nakajima, T., Kobayashi, K. and Sugiyama, J., "Anatomical Traits of *Cryptomeria japonica* Tree Rings Studied by Wavelet Convolutional Neural Network," *Earth Env. Sci.*, **415**, 012027(2020).
 36. Patel, R. N., "Anatomy of Stem and Root Wood of *Pinus radiata* D. Don," *N. Z. J. For. Sci.* **1**, 37-39(1971).
 37. Xing, X., Li, S., Jin, J., Lin, L., Zhou, Y., Peng, L. and Fu, F., "Improving Gas Permeability and Characterizing the Multi-scale Pore Size Distribution of Radiata Pine (*Pinus radiata* D. Don) Treated via High-intensity Microwave," *Wood Sci. Technol.*, **57**, 1345-1367(2023).
 38. Tsuruta, K., Komatsu, H., Kume, T., Otsuki, K., Kosugi, Y. and Kosugi, K., "Relationship between Stem Diameter and Transpiration for Japanese Cypress Trees: Implications for Estimating Canopy Transpiration," *Ecohydrology*, **12**(5), e2097(2019).
 39. Kwon, O., Choi, Y. C., Kim, D., Choi, W., Lee, Y., Kim, K., Choi, J. W. and Yang, I., "Weatherproof-properties Evaluation of Castor Oil-impregnated Wood Using a Vacuum-pressure Method," *Korean Chem. Eng. Res.*, **61**(2), 302-311(2023).
 40. Kwon, O., Choi, Y. C., Choi, W., Lee, Y., Choi, J., Choi, J. W. and Yang, I., "Decay Resistance and Dimensional Stability of Wood Impregnated with Castor Oil Using a Pressure Treatment," *Holzforchung*, **77**(11-12), 879-888(2023).
 41. Itaka, S., "Economic Analysis of Cedar Plantation Management and Mega-Solar Replacement," *Forests*, **12**(3), 361(2021).
 42. Kim, K., Park, J., Park, B., Son, D., Park, J., Kim, W., Kim, B. and Shim, S., "Physical and Mechanical Properties of Heat-treated

- Domestic Cedar,” *Mokchae Konghak*, **37**(4), 330-339(2009).
43. Kim, C., Baek, G., Choi, B., Ha, J., Bae, E. J., Lee, K. and Son, Y. M., “Carbon Stocks of Tree, Forest Floor, and Mineral Soil in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* Stands,” *J. Kor. Soc. For. Sci.*, **109**(2), 169-178(2020).
44. Lyon, S., Bowe, S. and Wiemann, M., “Understanding Vacuum Drying Technologies for Commercial Lumber,” General Technical Report FPL–GTR–287, 1-5(2021).
45. Berard, P., Yang, P., Yamauchi, H., Umemura, K. and Kawai, S., “Modeling of a Cylindrical Laminated Veneer Lumber I: Mechanical Properties of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) and the Reliability of a Nonlinear Finite Elements Model of a Four-point Bending Test,” *J. Wood Sci.*, **57**, 100-106(2011).
46. Cerda, G. and Wolfe, R. W., “Bending Strength of Chilean Radiata Pine Poles,” *For. Prods. J.*, **53**(4), 61-65(2003).
47. Kijidani, Y., Morita, H., Aratake, S., Tsuyama, T. and Arima, T., “Partial Compression Strength of Sugi (Japanese cedar, *Cryptomeria japonica*) Wood near the Pith Perpendicular to the Grain,” *J. Wood Sci.*, **65**, 16(2019).

Authors

Youngjoo Moon: Researcher, Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; moon1224@snu.ac.kr

Seong Jae Lee: Researcher, Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; lsjae0501@snu.ac.kr

Siyeun Choi: Researcher, Institutes of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang, Gangwon-do, 25354, Korea; freety711@snu.ac.kr

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

Sang-Man Cho: Professor, Department of Marine Biotechnology, Kunsan National University, Gunsan, 54150, South Korea; gigas@kunsan.ac.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