



재생 목재와 철질 개재물 위험: 고재,
헛간재, 산업 재생재가 오디오 지지
소재로서 자기적으로 실격되는 이유

재생 목재와 철질 개재물 위험: 고재, 헛간재, 산업 재생재가 오디오 지지 소재로서 자기적으로 실격되는 이유

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

초록

재생 목재는 출처에 기반한 마케팅 프리미엄을 누린다. 한 세기 동안 풍화된 헛간 오크, 절거한 창고에서 꺼낸 피치파인, 퇴역 소해정이나 폐기 실험대에서 회수한 티크다. 낭만은 실재이고 지속 가능성 논거도 가볍지 않다. 그러나 지지 소재는 위에 놓인 케이블에 무엇을 하는지로 선택하지, 이력으로 선택하지 않는다. 재생 목재에는 출처가 단순히 허용하는 것이 아니라 적극 보장하는 결함, 즉 박힌 강자성 금속이 있다. 각못, 나사, 스테이플, 울타리 스테이플, 볼트, 철조망 파편, 박힌 납탄과 강철 산탄, 띠톱과 원형톱 찧가루는 실용 수명을 보낸 목재의 일상적인 비품이다. 드문 오염 사건이 아니다. 제재소가 헤드쇼 앞에 산업용 철질 검출기를 돌리고 재생 목재 야적장이 재고를 '금속 검출 완료'라고 광고하는 이유다.

헛간 오크, 산업 창고 파인·퍼, 해양·실험실 출처의 재생 티크, 와인 배럴 오크라는 네 출처 등급에서 재생 빌릿 96개를 플럭스게이트 기율기계에 통과시키고, 양성은 X선 컴퓨터 단층촬영으로 개재물 지도를 작성한 선별 연구를 보고한다. 96개 중 71개(74%)에서 강자성 개재물을 검출했으며 헛간 오크는 20개 중 19개가 실패했다. 박힌 강철 못 하나는 연구 고투자율 개재물이다. 연강의 μ_r 는 수백에서 수천 초반이며, 도체에서 수 mm 떨어진 곳에 국소 자기장 불연속을 둔다. 주변 목재가 아무리 유전적으로 깨끗해도 상쇄하지 못한다. 또한 박힌 철질 물체가 수십 년에 걸쳐 오크로 흘러보내는 확산성 상자성 탄닌산철 얼룩인 부식 헤일로로 특성화한다. 오염 체적은 금속 자체보다 몇 자릿수 크다. '금속 검출 완료' 재목조차 조잡한 산업 임계값만 통과할 뿐 Bosque, Ferro, Park, Tanaka(2026)가 정의한 서브밀리그램 오디오 등급에는 도달하지 못하는 이유를 보인다. Equatorial Elevation Blocks는 오직 초회 가공 플랜테이션 재목으로 만들며 재생 목재를 절대 사용하지 않는다. 재활용의 지속 가능성 논거에는 관리형 적도 플랜테이션이라는 다른 답으로 직접 응한다.

1. 서론

본 학술지의 관련 연구(Bosque, Ferro, Park, Tanaka, 2026)는 잔류 상자성 성분과 그것이 만드는 체적 자화율로 정의되는 구조용 목재 N등급 중립성 척도를 확립하고, 적도 플랜테이션 티크가 공급 상태에서 5N에 도달함을 보였다. 그 연구는 깨끗한 초회 가공 목재를 등급화했다. 재생 목재는 강자성 개재물 스캔에 '일상적으로' 실패하는 범주로 잠깐 언급하고 넘어갔다. 본 논문은 그 문장을 완전하고 실격에 충분한 세부로 확장한다. 구매자에게 재생 목재 문제는 각주가 아니기 때문이다. 가장 자주 받는 이의다. 관리형 적도 티크가 희귀하고 비싸며, 헛간과 오래된 창고에는 아름답고 치밀하며 치수 안정성이 높은 노령 목재가 가득하고 아니면 불태워질 텐데, 왜 그것으로 지지대를 만들지 않는가.

답은 금속학적이며 박빙이 아니다. 재생 목재는 이전 구조 수명을 보낸 것으로 정의되고, 구조 사용은 체결구를 뜻한다. 헛간 들보는 못, 대못, 볼트, 스테이플로 고정됐고, 창고 바닥 장선은 관통 볼트와 래그 나사를 썼고, 선박 목재는 철 드리프트 볼트와 철 핀으로 고정한 목심을 썼고, 실험대는 한 세기 동안 강철 브래킷과 각못 테두리를 달았다. 회수 과정에서 대부분의 금속은 빠진다. 일부는 남는다. 표면 아래에서 부러졌거나, 너무 깊이 박혀 카운터싱크됐거나, 알아볼 수 없는 덩어리로 부식됐거나, 처음부터 외부에서 보이지 않았기 때문이다. 재생업자는 보이는 금속을 제거한다. 기율기계는 보이지 않는 금속을 찾는다.

박힌 체결구를 메우고 숨길 외관 결함이 아니라 전자기적 실제로 취급한다. 케이블 지지대의 형상 때문에 신호 도체 수 mm 이내에 놓인 연구 고투자율 개재물이다. 지지 소재는 등급 케이블을 통제된 근접 전자기장 환경에 유지하기 위해 존재한다. 강철 못이 든 지지 소재는 우연히 케이블을 들고 있는 자기 결함이다.

2. 못 하나의 논증

상상할 수 있는 가장 비극적이지 않은 오염을 생각한다. 각못 하나가 표면과 같은 높이에서 부러져 보이지 않은 채, 그 밖에는 완벽한 재생 오크 빌릿 안에 묻혀 있다. 이 사례를 끝까지 검토할 가치가 있다. 가장 비극적이지 않은 사례만으로 실격이라면 뒤따르는 조사 통계는 장부 정리에 불과하기 때문이다.

깨끗하고 건조한 목재의 χ_v 는 $-6 \times 10^{-6}(\text{SI})$ 부근이다. 약하고 균일한 반자성으로, 정자기장을 교란하지 않고 점유해야 하는 소재에 바람직하다. 연강 못의 μ_r 는 수백에서 수천 초반이다. 따라서 목재-강철 경계 양측의 투자율 비는 몇%가 아니라 세 자릿수에서 여섯 자릿수다. 그 경계는 자기장 불연속이다. 반자성 목재를 매끄럽게 통과하는 정적·준정적 자속선을 개재물이 모으고 집중시키고 재방사하여 바로 위 표면에 수십~수백nT의 국소 자기장 기율기를 만든다. 케이블 지지대에서는 바로 그곳에 크래들과 케이블이 있다.

개재물은 벌크에 고르게 분포한 상자성 미량 금속 부하와 달리 구조를 가진 점원이다. 잔류자기를 띤다. 지구 자기장에 수십 년 놓인 강철 체결구는 영구 자기 모멘트를 획득한다. 따라서 개재물은 수동적 투자율 섭동이 아니라 고유한 고정 쌍극자를 가진 작은 영구자석이며, 나머지 설치 계통이 이루려는 적도 정렬에 무관심하다. 주변 목재의 어떤 속성도, 7N 자화율도, 기록적으로 낮은 ϵ_{ps_r} 도, 완벽한 목구 수직 제재도 하중 경로에 놓인 영구 쌍극자를 상쇄하지 못한다. 빌릿은 평균이 아니라 최약점으로 등급을 받으며 그 최약점은 못이다.

3. 조사: 출처 등급과 검출률

북미와 유럽의 확립된 재생 목재 야적장에서 네 출처 등급에 걸쳐 등급당 20~28개, 총 96개의 재생 빌릿을 조달했다. 모두 체결구 제거 상태로 판매됐고 세 등급은 '금속 검출 완료'라고 했다. 각 빌릿을 20 mm/s로 움직이는 전동 베드 위에서 3축 플럭스게이트 기율기계(Bartington Grad-13, 1 nT 분해능)에 통과시켰다. 관련 연구의 생산 티크 선별과 같은 장비·절차다. 반자성 배경 대비 5 nT를 넘는 이산 이상을 반환한

빌릿을 표시해 X선 컴퓨터 단층촬영(225 kV 마이크로포커스 소스, 90 um 복셀)으로 보내 개재물을 위치시키고 식별했다.

전체 검출률은 96개 중 71개(74%)였다. 등급별로 헛간 오크는 20개 중 19개가 실패하여 최악이었다. 각못, 철사못, 울타리 스테이플이 주된 개재물이었고 실패 빌릿당 이산 개재물 중앙값은 3개였다. 산업 창고 파인·퍼는 28개 중 22개가 실패했으며 래그 나사 축, 기계 볼트, 그리고 4개 빌릿에서는 조사하지 않은 전생의 납탄과 강철 산탄이 박혀 있었다. 해양·실험실 출처의 재생 티크는 25개 중 21개가 실패했다. 선박 목재에는 철 드리프트 볼트 파편과 핀틀 잔편, 실험대 티크에는 카운터싱크 강철 목나사가 있었다. 두 사례에는 기율기계를 통과한 황동도 있었지만 다른 이유로 실격된다. 와인 배럴 오크는 네 등급 중 최상이지만 23개 중 9개가 실패했고, 주원인은 후프 리벳 파편과 해체한 후프의 스테이플 철사였다.

CT 지도에서 두 가지를 강조한다. 첫째, 검출 개재물 대부분은 표면 아래에 있어 완성면에서 보이지 않았다. 육안 체결구 제거 후 살아남는 바로 그 집단이다. 둘째, 재생업자용 휴대 검출기라면 통과했을 여러 빌릿에서 작은 개재물 여러 개가 나타났다. 이전 띠톱 재제재의 쇠가루 껍데기와 스테이플 관부 등으로, 각각은 조잡한 검출 임계값 아래지만 집합적으로 분포 철질 부하다. 산업 검출기는 '톱날을 망가뜨릴 만큼 큰 못이 있는가'에 답하지 '이 빌릿은 자기적으로 깨끗한가'에 답하지 않는다. 후자를 위해 만들어지지 않았다.

4. 부식 헤일로

목재 안의 철질 물체는 안정적이고 자기완결적인 개재물이 아니다. 부식하고 부식 생성물을 주변 조직으로 방출한다. 오크에서는 열역학적으로 적극적이며 수세기 동안 알려진 화학으로 그렇게 한다.

오크 심재는 가수분해성 탄닌이 풍부하다. 젖은 오크와 접촉한 Fe는 산화하고, 생성된 제1철·제2철 이온이 수분 기율을 따라 목재로 이동해 탄닌과 착물을 이루어 탄닌산철을 만든다. 철-갈 잉크의 청흑색 화합물이자 남겨진 강철 체결구 주변 오크를 검게 물들이는 같은 반응이다. 헛간이나 지하실에서 수십 년이 지나면 박힌 못은 못 크기의 문제로 남지 않는다. CT와 ICP-MS가 물체 자체보다 한두 자릿수 크다고 보여주는 목재 체적으로 확산성 탄닌산철 헤일로를 흘려보낸다. 금속 중심은 강자성, 주변 헤일로는 상자성이다. 크고 불규칙하며 케이블측 표면까지 관통하는 헤일로는 어떤 면에서 더 나쁜 오염물이다. 펜치로 뽑을 수 없고 금속 검출기에 존재를 전혀 알리지 않기 때문이다.

알려진 개재물 주변에서 헛간 오크 빌릿 4개를 절단하고 방사형 트랜섹트를 따라 ICP-MS로 Fe를 지도화했다. Fe 농도는 금속 경계의 % 수준에서 물체로부터 15~40 mm 연장된 헤일로의 60~240 ppm 상자성 고원으로 낮아졌다. 전체 케이블 크래들을 삼킬 만큼 큰 체적에서 4N 상한 100 ppm을 훨씬 넘는 얼룩이다. 역사적 체결구 하나가 점이 아니라 영역을 오염시키는 기작이며, 재생 목재 마케팅이 가장 중시하는 탄닌 활성 활용수, 무엇보다 오크에 특이하다. 헛간 오크를 낭만적으로 만드는 출처, 즉 습한 구조물에서 Fe 곁에 한 세기 있었던 이력이 헤일로를 보장하는 바로 그 이력이다.

5. '금속 검출 완료'가 등급이 아닌 이유

'금속 검출 완료' 재고를 광고하는 재생 목재 야적장은 실제 공정을 정직하게 설명한다. 그 공정이 무엇을 제공하고 제공하지 않는지 분명히 말할 가치가 있다. 이 문구가 그렇지 않은데도 무오염 증명으로 흔히 읽히기 때문이다.

산업 목재 금속 검출은 기계를 보호하기 위해 존재한다. 재제재 라인의 철질 검출기는 초경 톱니를 이 빠지게 하거나 띠톱날을 깨뜨릴 만큼 큰 물체, 즉 못, 나사, 볼트에 작동하도록 조정한다. 임계값은 의도적으로 높다. 서브밀리그램 Fe 흔적마다 멈추는 라인은 판재를 자를 수 없다. 공구 손상이라는 통화로 고정된 생산 안전 인터록이며, 오디오 용도에서 빌릿을 실격시키는 집단을 설계상 그대로 통과시킨다. 서브밀리미터 쇠가루, 스테이플 철사 파편, 산탄, 그리고 무엇보다 검출기가 찾을 이산 물체가 없는 용해 상자성 헤일로다. 빌릿은 산업 검출기를 깨끗하게 통과하면서도 케이블측 면 전체에 200 ppm Fe 얼룩을 가질 수 있다.

오디오 중립성 등급은 다른 질문에 답하는 다른 측정이다. 공구 위험이 아니라 Bosque, Ferro, Park, Tanaka(2026)의 100 ppm(4N), 10 ppm(5N), 1 ppm(6N) Fe + Mn 경계로 정한다. 이산 개재물은 플럭스게이트 기율기 측정, 벌크 및 헤일로 자화율은 VSM과 ICP-MS로 검증한다. 두 임계값은 자릿수가 다르다. '금속 검출 완료'는 '톱을 망가뜨릴 만큼 큰 물체가 없음'을 뜻한다. '5N 중립'은 '이산 또는 용해 상태를 불문하고 모든 곳에서 Fe + Mn이 10 ppm 이하'를 뜻한다. 재생업자는 전자를 성실히 공급할 수 있어도 후자는 전혀 공급할 수 없다. 후자는 빌릿별 자력측정과 미량 금속 분석이 필요하고 어느 재생 목재 야적장도 수행하지 않으며, 대부분의 재생 빌릿은 주의를 기울여도 이력만으로 실패한다.

6. 지속 가능성 질문에 대한 다른 답

재생 목재를 지지하는 가장 강한 논거는 음향이 아니라 환경이다. 백년 목재를 재사용하면 새 벌목을 피하고, 온전한 소재를 소각 더미에서 지키며, 원래 생장에 내재된 노동을 존중한다. 우리는 그 논거를 진지하게 받아들인다. 반박하지 않고 철질 위험도 환경 비용도 없는 공급으로 응한다.

Equatorial Elevation Blocks는 지자기 적도 5 deg 이내의 임차·인증 플랜테이션에서 수확 시 재식재 제도 아래 재배한 관리형 플랜테이션 티크로 만든다. 관련 지속 가능성 비교는 재생 목재 대 노령림 벌목이 아니다. 그것은 거짓 선택이다. 재생 목재 대, 베기 위해 심고 서 있는 동안 탄소를 고정하며 정해진 윤벌 주기로 대체하는 관리형 플랜테이션이다. 관리형 적도 플랜테이션은 재활용이 높이 평가되는 환경 이점(노령림 압력 없음, 재생 가능한 순환)을 제공하면서 재생 목재가 구조적으로 제공할 수 없는 것 하나, 새것인 체결구 이력을 더 제공한다. 초회 가공 플랜테이션 목재는 못을 품은 적도, 탄닌산철 헤일로를 흘린 적도, 쇠가루를 뿌리는 재제재를 거친 적도 없다. 깨끗한 자기적 백지 상태로 도착하며, 이것만이 5N 등급에 도달할 수 있는 시작 조건이다.

마지막으로 재생 빌릿을 등급까지 복원하는 경로는 없다. 이산 개재물은 때로 파낼 수 있지만 구멍을 남기고 용해 헤일로에는 닿지 못한다. 헤일로는 얼룩진 체적을 잘라내야만 제거되며 심하게 얼룩진 헛간 들보에서는 사용 가능한 목재 대부분이다. 경제와 물리는 같은 방향을 가리킨다. 깨끗하게 자란 목재로 시작하는 편이, 자랄 때와 사용 중 모두 더러워진 목재에서 Fe를 쫓아내는 것보다 저렴하고 깨끗하며

계측학적으로 타당하다.

7. 결론

재생 목재, 고재, 헛간재, 산업 재생재가 오디오 지지 소재로 실격되는 이유는 미적 선호도 목재의 약점도 아니고 체결구 이력이다. 구조 사용은 박힌 Fe를 뜻하고, 박힌 Fe는 케이블 하중 경로의 영구 고투자율 개재물을 뜻하며, 탄닌 활성 활엽수에서는 그 금속보다 한 자릿수 큰 확산성 상자성 부식 헤일로로 뜻한다. 네 출처 등급의 재생 빌릿을 선별해 74%에서 강자성 개재물을 발견했다. 가장 낭만화된 등급인 헛간 오르는 20개 중 19개가 실패했다. 못 하나의 논증은 이런 개재물 하나만으로도 실격임을 보이므로 조사원은 문제를 과장하는 것이 아니라 과소평가한다.

재생 목재 마케팅의 '금속 검출 완료' 보증은 오디오 중립성 등급보다 몇 자릿수 거친 기계 보호 임계값이며, Bosque, Ferro, Park, Tanaka(2026)의 등급이 포착하려고 존재하는 서브밀리그램 및 용해 오염을 설계상 그대로 통과시킨다. 실제적이고 유용한 측정이지만 오디오 질문에는 답하지 않는다. 따라서 Equatorial Elevation Blocks는 오직 초회 가공 플랜테이션 재목으로 만들며 어떤 출처의 재생 목재도 사용하지 않는다. 재활용의 환경적 논거는 진실하며, 수확과 재식재를 위해 재배하는 관리형 적도 플랜테이션이 완전히 답한다. Fe 없이 지속 가능성의 이점을 가지며, 모든 등급 빌릿이 그래야 하듯 깨끗한 자기적 백지 상태에서 시작하는 목재다.

참고문헌

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). 구조용 목재의 자기 중립성 등급: 오디오 지지 소재를 위한 N등급 순도 분류. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). 발굴 고고학 철의 부식: 누출과 아카가네아이트의 세부. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). 목재 열화 과정과 관련된 Fe·황의 분포 및 화학종. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Fe 촉매에 의한 목재 탄수화물 산화. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). 재생 구조 목재의 철·비철 금속 검출 모범 지침. RWC Technical Bulletin TB-07, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). 목재 빌릿의 강자성 개재물 선별을 위한 플렉스케이트 기율기 측정과 컴퓨터 단층촬영. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.