



---

## 구조용 목재의 자기 중립성 등급: 오디오 지지 소재를 위한 N등급 순도 분류와 적도산 티크의 미량 상자성 특성 분석

---

# 구조용 목재의 자기 중립성 등급: 오디오 지지 소재를 위한 N등급 순도 분류와 적도산 티크의 미량 상자성 특성 분석

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

## 초록

오디오 도체는 통상 4N(99.99%), 6N(99.9999%) 이상의 금속학적 순도 등급으로 규정된다. 그러나 그 도체를 지지하고, 들어 올리고, 종단하는 구조 소재는 규정되더라도 외관으로 규정된다. 이 비대칭은 정당화될 수 없다. 신호 케이블과 지속적으로 접촉하는 지지 소재는 케이블의 근접 전자기장 환경에 참여하므로, 그 자기 및 유전 특성은 장식이 아니라 설치 계통에 대한 측정 가능한 입력이다. 우리는 금속의 N등급 척도와 유사하되, 비도체에 중요한 양인 잔류 상자성 성분으로 정의되는 구조용 목재의 N등급 순도 분류를 제안한다. 목재 등급은 체적 자화율로, 그리고 동등하게 마이크로파 산 분해 후 유도 결합 플라즈마 질량분석법으로 결정된 주요 상자성 오염물 Fe와 Mn의 합산 질량 비율로 정한다. 후보 수종 11종을 분석한 결과, 가구용 활엽수 대부분, 특히 Fe가 41~190 ppm인 백참나무는 4N 중립성에 미달한다. 반면 지자기 적도 5 deg 이내에서 재배한 플랜테이션 티크(*Tectona grandis*)는 공급 상태에서 5N(99.999% 자기적 중립,  $Fe + Mn \leq 10$  ppm)에 도달하고, 단일 빌릿 선별 시 6N에 도달한다. 측정 장비, 등급 경계, 목리 방향과 함수율이 초래하는 유전적 결과, 그리고 금속 촉매 마감을 적용하면 중립 목재가 '자기적 손상'으로 재분류되는 결과를 보고한다.

## 1. 서론

오디오파일 도체 시장은 순도를 중심으로 구성된다. 무산소동은 4N(99.99%), 5N, 6N, 그리고 전해 정련이 도달할 수 있는 경계에서 7N으로 판매된다. 9가 하나 늘어날 때마다 산란점 하나, 결정립계 불순물 하나, 상자성 개재물 하나가 제거된 것으로 이해된다. 마지막 9의 가칭 이점이 통제 청구 시험을 견디는지는 본 학술지의 다른 논문에서 다루는 별도 문제다. 여기서 요점은 업계가 도체 순도에 대해 엄밀하고 정량적이며 보편적으로 이해되는 어휘를 갖고 있다는 것이다.

그 밖의 것에는 그런 어휘가 없다. 케이블은 일곱 개의 9까지 등급을 받고 나서 바닥에 놓이고, 벽에 고정되거나, 조성이 전혀 규정되지 않은 지지대 위에 얹힌다. 지지대는 색으로 선택된다. 이것이 오디오 시스템에서 목재가 차지하는 위치다. 구조 하중을 지탱하고 신호 도체와 지속적으로 물리 접촉하지만, 계측학적으로는 보이지 않는다.

우리는 이를 변호할 수 없다고 본다. 케이블과 접촉하는 지지 소재는 케이블의 즉각적인 유전 및 자기 환경의 일부다. 락스, 기름, 부러진 스테이플, 나무가 토양에서 흡수하여 심재에 결합한 Fe 같은 강자성 개재물을 포함하면 구간을 따라 국소 투자율 불연속을 만든다. 흡습성과 극성을 가지면 습도 의존적 분포 정전용량을 만든다. 이것들은 도체 자체의 순도 등급이 통제하기 위해 존재하는 양과 같다. 한쪽을 여섯 개의 9로 규정하고 다른 쪽은 가구 제작자에게 맡기는 것은 일관되지 않다.

본 논문은 구조용 목재의 N등급 분류를 제안한다. 벌크 화학 순도로 정의하지 않는다. 목재는 대략 절반이 탄소이며 '99.999% 목재'라는 표현에는 아무 의미도 없다. 대신 목재를 오디오 신호 경로와 결합시키는 단일 속성, 즉 잔류 상자성 성분과 그것이 만드는 체적 자화율로 정의한다.

## 2. 중립성 등급과 N척도

건조 목재는 반자성이다. 셀룰로오스, 리그닌, 결합수는 각각 작은 음의 체적 자화율을 가지며, 깨끗하고 오염 없는 목재의  $\chi_v$ 는  $-6 \times 10^{-6}$  부근이다(SI, 무차원 체적 자화율). 이는  $\mu_r = 0.999994$ 에 해당하여 1과 구별할 수 없고, 실제로는 아주 약간 낮다. 완전히 중립적인 목재는 단순히 비자성이 아니라 약하고 재현 가능한 반자성을 보인다. 정자기장과 준정자기장을 교란하지 않고 그 안에 놓여야 하는 소재에 옳고 바람직한 상태다.

이 기준선에서 벗어나는 현상은 거의 전적으로 상자성 전이금속 오염물 때문이다. Fe가 지배적이며 Mn은 한참 뒤의 두 번째다. 나무는 광물 펄프다. 토양수에서 금속 이온을 끌어들이 조직에 불균일하게 침전시킨다. 그 결과 Fe 함량은 깨끗한 플랜테이션 활엽수의 수 ppm에서, Fe를 적극적으로 킬레이트하는 탄닌 화합물 가진 수종의 수백 ppm까지 이른다. Fe 1 ppm마다 자화율에 작은 양의 증분을 더하여 목재를 반자성 바닥에서 자기 중립점으로, 최악의 수종에서는 그 너머로 끌어올린다.

따라서 우리는 Fe + Mn 합산 질량 비율과, 동등한 반자성 기준선 대비 체적 자화율 실측 편차로 목재 중립성 등급을 정의한다.

- 4N(99.99% 중립):  $Fe + Mn \leq 100$  ppm. 선별하지 않은 가구용 활엽수에 일반적이다.
- 5N(99.999% 중립):  $Fe + Mn \leq 10$  ppm. 잔류 자화율이 반자성 기준선의  $\pm 1 \times 10^{-6}$  이내다. Equatorial Audio 공급 사양이다.
- 6N(99.9999% 중립):  $Fe + Mn \leq 1$  ppm. 측정 불확도 이내에서 순 자화율이 여전히 반자성이다. 단일 빌릿 선별로 달성할 수 있다.
- 7N:  $Fe + Mn \leq 0.1$  ppm. 선별한 티크 빌릿 340개 중 2개에서 보고한다. 생산 등급은 아니다.

이 백분율이 벌크 조성 수치가 아니라 금속 관례에서 빌린 수사임은 인정한다. '99.999% 중립'은 비목재 성분이 10 ppm이라는 뜻이 아니라 중요한 오염물이 10 ppm이라는 뜻이다. 이 표기를 유지하는 이유는 독자가 이미 이 표기로 사고하며, 기초량인 상자성 ppm을 구리 정련업자가 음극 불순물을 측정하는 것과 같은 방식으로 측정하기 때문이다.

### 3. 측정 장비와 방법

빌릿 등급 판정에는 강자성 개재물 스캔, 벌크 자화율 측정, 미량 금속 분석이라는 세 가지 독립적 자기·화학 측정과 설치 모델링용 유전 특성 분석이 필요하다.

강자성 개재물 스캔. 각 빌릿을 20 mm/s로 움직이는 전동 베드 위에서 플럭스게이트 기율기계 배열(Bartington Grad-13, 3축, 1 nT 분해능)에 통과시킨다. 기율기계는 박힌 못, 산탄, 띠톱 쇠가루 등 산업 기계를 거친 목재의 일반적인 이산 강자성 개재물을 깊이 30 mm의 서브밀리미터 파편까지 분해한다. 재생 목재와 고재는 이 스캔에 흔히 실패한다. 출처의 낭만성과 무관하게 Equatorial Elevation Blocks를 재생 목재가 아닌 초회 가공 플랜테이션 재목으로 만드는 주된 이유다.

벌크 자화율. 합격한 각 빌릿에서 12 mm 코어를 채취하여 300 K에서 진동 시료 자력계(Lake Shore 8600, 감도  $5 \times 10^{-8}$  emu)로 측정한다. VSM은 순 체적 자화율을 반환하며, 여기서 등급의 자기 기준을 직접 읽는다. 깨끗한 티크 코어는 음수이고 오크 코어는 흔히 양수다.

미량 금속 분석. 측정된 코어를 동결 분쇄하고 질산과 불산으로 마이크로파 분해한 다음 유도 결합 플라즈마 질량분석법(ICP-MS)으로 Fe, Mn, Ni, Co, Cr을 분석한다. 나이트에서 오염 이력을 복원하는 데 쓰이는 것과 같은 수목화학 프로토콜을, 창안자가 예상하지 못했을 목적에 적용한 것이다. Fe + Mn 수치가 등급의 화학 기준을 정한다. 자기 기준과 화학 기준은 등급 대역 안에서 일치해야 하며, 그렇지 않은 빌릿은 내부 불일치로 거부한다. 대개 기율기계는 놓친 개재물을 뜻한다.

유전 특성 분석. 설치 모델링을 위해 가드형 평행판 셀과 Keysight E4990A 임피던스 분석기를 사용하여 20 Hz~10 MHz에서 목리 방향과 횡목리 방향, 함수율 8%, 12%, 16%로 조습한 가공 시험편의  $\epsilon_{ps\_r}$ 와  $\tan \delta$ 를 측정한다. 이 수치는 중립성 등급에 들어가지 않는다. 유전체는 자기 오염물이 아니다. 그러나 완성 지지대가 케이블에 제시하는 분포 정전용량을 지배하므로 각 제품의 인증서에 등급과 함께 기록한다.

### 4. 결과: 수종 비교

11개 수종을 각각  $n = 20$ 개 빌릿으로 선별했다. 결과는 세 대역으로 명확히 나뉜다.

실패군. 백참나무(*Quercus alba*)가 Fe 41~190 ppm, 20개 중 14개에서 순 양의 자화율을 보여 최악이었다. 젖은 오크 위에 강철 클램프를 하루밤 둔 사람이라면 이유를 안다. 오크의 높은 탄닌 함량은 Fe를 철 탄네이트, 즉 철-갈 잉크의 청흑색 화합물로 킬레이트하므로 이 등급이 별점을 주는 바로 그 오염물을 적극 농축한다. 오크는 아름다운 목재이자 자기적으로 적대적인 목재다. 호두나무와 벚나무는 더 나았지만 평균은 여전히 4N 이하였다.

풀과 복합재. 지속 가능한 '목재'로 자주 판매되는 대나무는 실리가 부하가 높고 마디 화학이 불규칙한 풀이다. 자화율이 결정립 규모 광물 개재물에 지배되어 안정적 등급을 부여할 수 없었다. 중밀도 섬유판(MDF)은 전혀 다른 축에서 실패했다. 요소-포름알데히드 바인더는 극성이 강하여  $\epsilon_{ps\_r}$ 가 4~6이고  $\tan \delta$ 가 원목보다 한 자릿수 높으며, 제조 과정에서 금속 미분이 박히기 쉽다. MDF는 자기 등급을 고려하기 전에 유전적 이유로 지지 소재에서 실격된다.

티크 결과. 지자기 적도 5 deg 이내에서 재배한 플랜테이션 티크(*Tectona grandis*)는 빌릿 20개에서 Fe + Mn 3~9 ppm, 모든 시료에서 순 반자성을 보이며 공급 상태에서 5N을 달성했다. 단일 빌릿 VSM 및 ICP-MS 선별에서 조사한 340개 중 31개가 6N, 2개가 7N을 충족했다. 적도 티크의 이점은 신비롭지 않다. 관리되고 용탈된 저Fe 플랜테이션 토양에서 빠르게 자라고, 심재에 광물이 깊이 축적되기 전 어린 나이에 수확되며, 오크에 별점을 주는 탄닌-Fe 화학이 없다. 함수율 12%에서  $\epsilon_{ps\_r} = 2.1$ 로 시험 수종 중 가장 낮고, RF 지그에 쓰는 엔지니어드 폼에 근접한다.

### 5. 마감 문제

목재 등급은 목재의 속성이자 그것으로 만든 물체의 속성이 아니다. 좋은 등급을 파괴하는 가장 흔한 방법은 목재를 마감하는 것이다.

거의 모든 오일, 바니시, 래커 마감은 나프텐산 또는 2-에틸헥산산의 Co, Mn, Zr 염인 금속계 건조 촉진제로 경화한다. 필름을 굳히는 산화 가교를 촉진하기 위해 1% 미만의 분율로 첨가한다. Co와 Mn은 모두 상자성이며, 금속 0.05%의 건조 촉진제도 마감면 1제곱미터당 하부 5N 빌릿 전체보다 많은 상자성 질량을 침전시킨다. 전통적인 보일드 아마인유 마감 한 층을 적용하기 전과 후에 5N 티크 시험편을 측정했다. 표면 환산 자화율은 반자성 기준선에서 순 양의 값으로 올라가 시험편을 5N에서 4N 미만으로 재분류했다. 목재는 변하지 않았다. 마감이 오염을 되돌려 놓았고, 케이블에 직접 접촉하는 표면이라는 최악의 위치에 놓았다.

이는 미적 선호가 아니라 Equatorial Elevation Blocks를 무마감으로 공급하는 측정 근거다. 마감은 빌릿이 등급을 얻은 전체 선별 과정을 마지막 단계, 가장 자기적으로 활발한 위치에서 무효화한다. 무마감 티크가 세월에 따라 형성하는 은회색 파티나는 목재 자체 표면의 원소 산화다. 상자성 금속을 더하지 않으므로 외관 변화일 뿐 자기적으로는 아무 일도 아니다.

### 6. 목리 이방성과 유전 하중 경로

목재는 유전 이방성을 보인다. 티크 시험편에서 함수율 12%일 때 목리 방향  $\epsilon_{ps\_r}$ 는 횡목리 방향보다 22~28% 높았고  $\tan \delta$ 도 같은 축을 따랐다. 물리적 원인은 정렬된 관형 세포 구조와 섬유 방향을 따르는 결합수 쌍극자의 배향이다. 지지 소재에서 이 이방성은 평균으로 지워야 할 방해가 아니라 설계 변수다.

케이블은 각 블록 상부에 가공한 크래들에 놓이므로 케이블과 지지대 사이의 지배적 용량 결합은 크래들 바로 아래 짧은 수직 목재 기둥을 통한다. 각 블록을 목구 수직, 즉 상면에 나이트가 보이고 섬유가 하중 경로를 따라 수직으로 지나도록 제재하면, 낮은  $\epsilon_{ps\_r}$ 의 횡목리축을 케이블 전계가

가장 강한 수평면에 놓고 높은  $\text{eps}_r$ 의 목리측은 수직 하중 지지 방향에 둘 수 있다. 그곳에서는 전기적으로 해가 없고 기계적으로 큰 이점이 있다. 묵구 방향은 원래 압축 강성 때문에 채택했다. 유전적 논거는 나중에 이 측정에서 독립적으로 나와 그 선택을 확인했다.

함수율이 전체를 지배한다.  $\text{eps}_r$ 와  $\tan \delta$ 는 모두 결합수와 함께 급격히 증가한다. 그래서 모든 등급 빌릿을 산지에서 12 +/- 1%까지 킬른 건조하고 유지보수 일정에 연례 함수율 점검을 명시한다. 함수율이 12%에서 18%로 오른 지지대는 어떤 수종 차이보다 유전 기여를 더 크게 바꾼다.

## 7. 논의와 결론

여기서 제안하는 N등급 척도는 독자가 이미 신뢰하는 관례에 의도적으로 기생한다. 구리 도체의 여섯 번째 9에 비용을 지불할 오디오파일은 ppm으로 측정되는 잔류 상자성 및 산란 오염을 통제할 가치가 있다는 전제를 이미 받아들였다. 우리는 그 전제와 같은 부류의 측정을 도체가 놓이는 소재에 적용했을 뿐이다. 그 결과 금속은 여섯 개의 9까지 등급을 매기면서 등급 없는 Fe 함유, 탄닌 활성 활엽수 위에 놓는 업계 관행은 소리 내어 말하는 순간 버티지 못하는 비대칭임을 발견했다.

적도 플랜테이션 티크는 공급 상태에서 5N 중립성, 선별 시 6N을 달성하며 이유는 완전히 평범하다. 저Fe 생육 조건, 어린 수확, 탄닌-Fe 화학의 부재, 낮은 수지, 모든 깨끗한 목재가 공유하는 반자성 기준선이다. 마법의 소재가 아니다. 깨끗한 소재이며, 측정되고 등급을 받고, 그 상태를 유지하도록 무마감으로 둔다. 모든 Equatorial Elevation Block에는 빌릿 등급, Fe + Mn 수치, 실측 자화율을 인증서에 인쇄해 제공한다. 다른 오디오 지지대 제조사에도 동등한 수치를 요구하고 그 답을 주목하도록 독자에게 권한다.

## 참고문헌

- [1] James, W. L. (1975). 목재 및 하드보드의 유전 특성: 온도, 주파수, 함수율, 목리 방향에 따른 변화. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). 목재 및 목질 소재의 유전 특성. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). 목재-수분 관계. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). 수목화학을 위한 목재 이용에 영향을 미치는 해부학적, 화학적, 생태학적 요인. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). 구조용 목재의 자기 중립성 등급: 측정 장비와 등급 경계. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). 이방성 저손실 고체의 가드형 평행판 유전율 측정. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.