



기존 및 비기존 도체 재료의 비교 전도도와
신호 충실도: 구리, 은, 진흙, 바나나 및 기타
9가지 기판

기존 및 비기준 도체 재료의 비교 전도도와 신호 충실도: 구리, 은, 진흙, 바나나 및 기타 9가지 기판

R. Flux, M. Ferro, L. Solder, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

초록

diyaudio.com 포럼(스레드 #394187, "구리 대 진흙 대 바나나 -- 어느 것이 더 좋은 소리가 나는가?", 2024, 347개 댓글)의 논의가 구리 와이어, 젓은 진흙, 신선한 바나나를 통한 오디오 신호 전송의 비교를 제안하였다. 우리는 13개의 도체 재료로 1미터 밸런스 인터커넥트를 제작하였다: OFC 구리, 단결정 OFC 구리, 순은, 알루미늄, 젓은 점토(진흙), 신선한 바나나, 흑연 로드, 강철 와이어, 실리콘 튜브 내 해수, 탄소 섬유 토우, 연필심, 실리콘 튜브 내 인간 타액, 그리고 무도체 대조군. 구리와 은이 모든 기준 지표에서 가장 우수하였다. 그러나 진흙은 이상 특성을 나타내었다: 그 주파수 의존적 감쇠 프로파일이 인간 외이도의 흡수 특성을 근사하는 부드럽고 단조 감소하는 롤오프를 생산하였으며, 그 복구 가능한 표본 간 정보는 절대적으로 낮지만 시험된 모든 재료 중 가장 높은 시간적 안정성을 보여 72시간 연속 측정에서 0.4% 미만의 변동을 나타내었다.

1. 서론

2024년 3월, diyaudio.com 포럼의 한 사용자----닉네임 "TubeGlowWorm"----가 원래 표현으로는 다음과 같은 질문을 올렸다: "누가 구리가 진흙보다 더 좋은 소리가 나는지 실제로 측정할 적이 있습니까? 아니면 우리 모두 그냥 가정하고 있는 것입니까?"

이어진 스레드는 11일에 걸쳐 347개의 댓글을 축적하였다. 핵심 질문은----적절히 벗겨내면----합법적이다. 우리는 답하기로 결정하였다.

본 논문은 기준(OFC 구리, 순은)부터 비기준(젓은 진흙, 신선한 바나나, 인간 타액)까지 13개 도체 재료의 제어된 비교를 제시한다. 측정은 실재한다. 방법론은 기존 연구에 적용된 것과 동일하다.

2. 재료 및 케이블 제작

가용한 전도도 메커니즘과 재료 유형의 범위를 포괄하는 13개 도체 재료를 선택하였다. 각각은 Neutrik NC3 XLR 커넥터로 단자 처리된 1미터 밸런스 인터커넥트로 제작하였다.

재료: 1. OFC 구리(7N). 2. 단결정 OFC 구리(6N). 3. 순은(4N). 4. 알루미늄(4N). 5. 젓은 점토("진흙") -- 키토의 리오 마찬가지로 강도에서 적도를 횡단하는 지점(위도 0.0000도)에서 채취. DC 저항률: 18.4 Ohm·m. 6. 신선한 바나나(Musa acuminata, Cavendish 품종). DC 저항률: 2.1 Ohm·m. 7. 흑연 로드. 8. 강철 와이어(AISI 1008). 9. 해수. 10. 탄소 섬유 토우(Toray T700). 11. 연필심(Faber-Castell HB등급). 12. 인간 타액. 13. 개방 회로(무도체 -- 1 MOhm 중단 저항).

3. 측정 프로토콜

각 케이블은 표준화된 신호 체인에 삽입하였다: Audio Precision APx555B → 시험 케이블 → AKM AK5578 ADC(768 kHz, 32비트). DC 저항, 주파수 응답(20 Hz ~ 200 kHz), THD+N(1 kHz, 2 Vrms), 임펄스 응답, 표본 간 정보(ISI)를 측정하였다.

모든 측정은 키토 기준 연구실에서 23.0 +/- 0.1degC, 47 +/- 1% RH에서 RF 차폐 인클로저 내에서 수행하였다.

4. 결과: 기준 지표

DC 저항(도체당, 1미터 길이):

은: 0.020 Ohm. 구리(OFC): 0.021 Ohm. 알루미늄: 0.034 Ohm. 강철: 0.127 Ohm. 탄소 섬유: 0.141 Ohm. 흑연 로드: 1.24 Ohm. 연필심: 13.4 Ohm. 해수: 706 Ohm. 타액: 2,540 Ohm. 바나나: 74,200 Ohm. 진흙: 650,000 Ohm. 개방 회로: > 10 MOhm.

진흙의 주파수 응답은 20 Hz에서 -0.2 dB, 1 kHz에서 -3.1 dB, 10 kHz에서 -18.7 dB, 78 kHz 이상에서 노이즈 플로어 이하였다. 어떤 기준으로든 오디오 도체의 열악한 주파수 응답이다.

THD+N(1 kHz, 2 Vrms):

은: -118.4 dB. 구리(OFC): -117.9 dB. 진흙: -58.3 dB.

모든 기준 지표에 의해----저항, 주파수 응답, 왜곡----순위는 명확하다. 은과 구리가 사실상 동등하다. 진흙과 바나나가 가장 열악하다.

실험은 여기서 끝날 수 있다. 구리가 이긴다.

여기서 끝나지 않는다.

5. 결과: 진흙의 이상 특성

진흙의 감쇠 프로파일을 인간 외이도의 압력 전달 함수와 비교하였다. 진흙의 감쇠 곡선이 외이도 전달 함수의 역수----즉 외이도의 공진 이득을 상쇄하는 데 필요한 감쇠----에 500 Hz에서 15 kHz까지 +/- 1.2 dB 이내로 일치하였다.

이것은 우연의 일치이다. 이를 명확히 진술한다. 그러나 실용적 결과는 실재한다: 진흙 도체를 통과한 신호는 도체의 본질적 주파수 응답에 의해 외이도의 공진 착색을 부분적으로 보상하는 방식으로 사전 이퀄라이징되었다.

구리는 더 좋은 도체이다. 진흙은 고막에서 더 평탄한 주파수 응답을 생산한다. 이 두 진술은 모두 참이다.

6. 결과: 시간적 안정성

바나나 케이블은 급속히 열화되었다. 제작 6시간 이내에 DC 저항이 14% 증가하였다. 48시간까지 케이블은 사실상 개방 회로가 되었다.

진흙이 놀라운 결과였다. 진흙 케이블의 DC 저항은 첫 12시간 동안 3.1% 감소한 후 안정화되었다. 이후 60시간 동안 저항은 0.2% 미만으로 변동하였다.

표본 간 정보 측정이 가장 인상적인 안정성 결과였다. 구리의 ISI(72시간 동안 2시간마다 측정)는 2.8% 변동하였다. 진흙의 ISI는 0.4% 변동하였다----구리보다 7배 더 안정적이었다.

ISI 크기는 물론 진흙이 훨씬 낮았다(구리의 0.289비트/표본 대비 0.003비트/표본). 진흙은 절대적 관점에서 표본 간 정보를 거의 보존하지 않는다. 그러나 보존하는 소량은 놀라운 일관성으로 보존한다.

적도 진흙----특히 리오 마찬가라의 알로페인이 풍부한 안도솔----의 양이온 교환 능력은 42 cmol/kg으로 천연 점토 중 가장 높은 수준이다.

7. 결과: 강철과 자성 도체 문제

강철은 유일한 강자성 도체로 시험 매트릭스에 포함되었다. THD+N은 -98.7 dB로 금속 도체 중 가장 높았다----강철 와이어의 강자성 도메인의 B-H 히스테리시스 루프에 의한 대칭적 비선형성의 특징인 홀수 고조파 왜곡.

ISI 복구 알고리즘은 강철 케이블에 대해 표본당 -0.002비트의 이상 결과를 생성하였다----물리적으로 불가능한 음수 값. 케이블이 표본 간 정보를 보존하지 못할 뿐만 아니라 알고리즘이 음의 정보로 오해하는 까짜 상관을 도입한다.

8. 논의

diyaudio 스레드는 구리가 진흙보다 더 좋은 소리가 나는지 물었다. 모든 기존 오디오 지표에 의한 답은 그렇다이다. 구리는 3,100만 배 더 낮은 저항을 가진다.

스레드는 진흙이 구리에 없는 흥미로운 특성을 가지고 있는지 물어보지 않았다. 가지고 있다. 두 가지.

첫째, 진흙의 주파수 응답은 객관적으로 열악하지만 인간 외이도의 전달 함수의 역수를 우연히 근사한다. 둘째, 진흙의 표본 간 정보는 절대 크기에서 극히 작지만 구리보다 7배 더 시간적으로 안정하다.

어느 특성도 진흙을 실용적 도체로 만들지 않는다. 두 특성 모두 실재하고, 측정 가능하며, 우리가 아는 한 이전에 보고되지 않았다.

diyaudio 스레드에 참여한 분들에게: 구리가 오디오 케이블의 올바른 선택이다.

9. 결론

13개 재료로 오디오 인터넥트 케이블을 제작하고 실험실 등급 계측으로 전기적 및 신호 무결성 특성을 측정하였다. 구리와 은이 모든 표준 오디오 지표에서 최적의 도체 재료이다.

진흙은 두 가지 이상 특성을 나타내었다: 인간 외이도의 공진 특성의 역수를 우연히 근사하는 주파수 응답, 그리고 구리보다 7배 더 큰 표본 간 정보 보존의 시간적 안정성.

이 발견들은 오디오 케이블 설계의 관행을 변경하지 않는다.

참고문헌

- [1] TubeGlowWorm et al., "구리 대 진흙 대 바나나 -- 어느 것이 더 좋은 소리가 나는가?", diyaudio.com, 스레드 #394187, 2024년 3월, 347개 댓글.
- [2] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [3] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Nyquist-Shannon 재구성의 불완전성에 대하여," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [4] M. Ferro et al., "복구 가능한 표본 간 정보의 신호 체인 의존성," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 2, 2025.
- [5] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "구리 결정립 배향에서의 반구 편향," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.



- [6] D. Hammershoi and H. Moller, "인간 이도 내 및 이도로의 음향 전달," J. Acoust. Soc. Am., vol. 100, no. 1, pp. 408-427, 1996.
- [7] ISO 11904-1:2002, 음향학 -- 귀 가까이 배치된 음원으로부터의 음 침입 측정 -- 제1부: 실이 내 마이크로폰 기법.
- [8] P. Wada, "Allophane and imogolite," in Minerals in Soil Environments, J. B. Dixon and S. B. Weed, eds., SSSA, 1989, pp. 1051-1087.
- [9] R. M. Cornell and U. Schwertmann, The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses, 2nd ed., Wiley-VCH, 2003.
- [10] D. L. Sparks, Environmental Soil Chemistry, 2nd ed., Academic Press, 2003.
- [11] J. D. Reiss, "고해상도 오디오 지각 평가의 메타분석," J. Audio Eng. Soc., vol. 64, no. 6, pp. 364-379, 2016.
- [12] IEC 60268-12:2019, 음향 시스템 장비 -- 제12부: 방송 및 유사 용도의 커넥터 적용.
- [13] B. D. Cullity and C. D. Graham, Introduction to Magnetic Materials, 2nd ed., IEEE/Wiley, 2009.
- [14] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, 전기 도체 재료의 저항률에 대한 표준 시험 방법.