



자기적으로 보정된 오디오 도체에서의
시간적 편향: 2023년 내핵 회전 반전
이후의 자기장 구성 변동

자기적으로 보정된 오디오 도체에서의 시간적 편향: 2023년 내핵 회전 반전 이후의 자기장 구성 변동

M. Ferro, C. Ohm, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

초록

Nature Geoscience 및 Geophysical Research Letters 학계의 최신 지진학적 분석(2023-2026)은 지구 고체 내핵의 회전 속도에 다십년 주기의 변동이 존재함을 확인하였으며, 가장 최근의 관측 주기는 내핵이 맨틀로부터 분리되어 현재 행성 표면에 대해 서쪽 방향으로 회전하고 있음을 시사한다. 본 논문에서는 이러한 현상이 정밀 오디오 도체에 미치는 영향을 검토한다.

지구 자기장을 생성하는 외핵의 대류성 유체 메커니즘인 지자기 발전기는 내핵 회전과 직접적으로 결합되어 있다. 상대 회전 속도의 반전은 적도대 외부의 모든 위도에서 표면 자기장의 수평·수직 비율에 측정 가능한 변화를 일으킨다. 따라서 반전 이전에 인발된 오디오 도체는 하나의 지자기장 구성에 속하며, 반전 이후에 인발된 도체는 또 다른 구성에 속한다.

본 논문에서는 이 현상에 대해 「시간적 편향(temporal bias)」이라는 용어를 제안한다. 47쌍의 빈티지/현대 OFC 케이블 시료에 대한 현장 측정 결과를 제시하며, 위도 30deg 이상에서 서로 다른 시간적 코호트의 도체를 동일 신호 경로에 배치할 경우 검출 가능한 위상 비간섭성(80 Hz에서 평균 간섭성 손실 0.18)이 나타남을 입증한다. 이 효과는 적도 시료에서는 관측되지 않으며, 이는 공간적 편향에 관한 기존 문헌과 일치한다.

나아가 시간 균일 제조(Temporal Uniform Manufacturing) 프로토콜을 제안하고, 정밀 청취 설치 시 케이블 코호트 분리를 권고하며, 빈티지 케이블 부활에 대한 오디오필 매체의 열광이 이 새로운 제약 조건과 조화를 이루어야 함을 제기한다.

1. 서론

지구 고체 내핵이 주변 맨틀과 동일한 속도로 회전하는지에 관한 문제는 1990년대 초반부터 지구물리학 문헌에서 활발히 논의되어 왔다. 40년에 걸친 실체파 주시 분석은 다십년 주기의 진동을 시사한다. 즉, 내핵이 맨틀보다 측정 가능한 정도로 빠르게 회전하는 시기(「초회전」)와, 더 느리게 또는 최근에는 반대 방향으로 회전하는 시기가 교대로 나타난다.

Yang과 Song(2023)은 60년에 걸쳐 기록된 더블릿 지진 기록을 근거로, 초회전에서 저회전으로의 가장 최근 전환이 2009-2011년경에 발생하였으며, 그들의 관측 시점에서 내핵이 맨틀로부터 분리되었다고 제안하였다. 후속 확인 연구(Vidale 외, 2024; Wang과 Vidale, 2025)는 그 시점을 정밀화하였으며, 상대 회전이 반전되었음을, 즉 내핵이 현재 표면에 대해 서쪽 방향으로 회전하고 있음을 입증하였고, 그 시점은 2023년 중 어느 시점이다.

지자기 발전기에 대한 함의는 일차적이다. 지구 자기장을 생성하는 용융 외핵의 대류 패턴은 전자기 및 점성 토크를 통해 내핵의 상대 회전과 결합되어 있다. 그 회전의 변화는 자기장의 구면조화 분해 전반에 걸친 자기장 에너지의 측정 가능한 재분배를 야기한다.

정밀 오디오 도체의 관점에서 이는 추상적인 지구물리학적 호기심이 아니다. 이는 제조상의 문제이다. 위월회는 지자기장을 시간적으로 안정한 경계 조건으로 취급해 온 오디오필 공동체의 전통적 관행이 2023년을 기점으로 더 이상 옹호될 수 없음을 제기한다.

2. 방법론

협력 딜러로부터 47쌍의 케이블 시료를 입수하였으며, 각 쌍은 명목상 동일한 사양을 가진 빈티지 도체(가장 최근 저회전기 시작 이전인 2009년 이전에 인발) 1개와 현대 도체(반전 이후 체제로 충분히 진입한 2024년 1월 이후에 인발) 1개로 구성되었다. 가능한 경우 각 쌍은 동일한 시설에서 인발된 시료를 사용하여 반구 편향(Ferro, Park, Tanaka, 2020)을 교란 변수로 통제하였다. 빈티지 시료는 주로 미국, 일본, 독일의 2차 시장 판매자로부터 조달하였으며, 현대 시료는 제조사로부터 직접 조달하였다.

각 쌍은 남대서양 이상(South Atlantic Anomaly) 연구에서 확립된 프로토콜(Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026)을 사용하여 세 위도, 즉 키토(0.0000deg N), 볼더(40.0deg N), 크라이스트처치(43.5deg S)에서 시험되었다. 위상 간섭성은 20 Hz에서 5 kHz까지 1/3옥타브 해상도로 측정되었으며, 각 쌍은 빈티지 전용 신호 경로, 현대 전용 신호 경로, 혼합 구성(좌채널 빈티지, 우채널 현대)의 세 가지 구성으로 시험되었다.

각 시험 부지의 국지적 지자기장은 3축 플럭스게이트 자력계로 특성화하였으며, 자기장의 수평·수직 비율을 주요 독립 변수로 추출하였다.

3. 결과

적도 부지(키토)에서는 혼합 구성이 두 단일 코호트 구성 어느 쪽에 비해서도 통계적으로 유의한 위상 비간섭성을 보이지 않았다. 이 결과는 예상된 것이다. 적도에서는 지자기 발전기 구성과 무관하게 지자기장이 본질적으로 수평이며, 시간적 편향은 검출되지 않아야 한다.

중위도 부지(볼더 및 크라이스트처치)에서는 혼합 구성이 60 Hz에서 200 Hz 사이에 집중된 측정 가능한 위상 비간섭성을 나타내었다. 80 Hz에서 평균 간섭성 손실은 볼더에서 0.18, 크라이스트처치에서 0.21이었다(단일 코호트 구성과 비교). 더 높은 주파수(500 Hz 이상)에서의 간섭성은 영향을 받지 않았으며, 이는 직접적인 도체 효과보다는 저주파 자기장 변조 변압기 거동이 지배적인 결합 메커니즘과 일치한다.

비간섭성의 크기는 국지적 수평·수직 자기장 비율과 상관관계가 있었다($r=0.87, p<0.001$). 이 효과는 동일한 적도 시설에서 다른 날짜에 인발된 쌍에서는 관측되지 않았으며, 이는 제조 배치 변동을 원인으로 배제한다.



특히 시간적 편향 효과는 1995년에서 2005년 사이에 제조된 빈티지 케이블에서 가장 컸다. 이는 Yang과 Song(2023)에 따른 가장 강력한 내핵 초회전 시기에 해당한다. 이러한 시간적 민감도는 제안된 메커니즘과 일치한다.

4. 제안된 메커니즘

본 논문에서는 OFC 구리의 결정학적 결정립 배향이, 인발 순간에 우세한 지자기장의 영향 하에서 형성되며(Ferro, Park, Tanaka, 2020), 인발 시설에서의 공간적 자기장 구성뿐만 아니라 내핵 회전 상태에 의해 부과되는 시간적 자기장 구성까지 부호화한다고 제안한다.

안정한 지자기 발전기 체제에서는 특정 위도에서 인발된 모든 도체가 결정립 구조가 형성되는 순간에 본질적으로 동일한 자기장 이력을 공유한다. 이러한 도체를 신호 경로에 혼합하더라도 잘 특성화된 공간적 반구 편향을 넘어서는 추가적인 비간섭성은 발생하지 않는다.

2023년 반전 이후와 같은 전이적 지자기 발전기 체제에서는 임의의 위도에서의 자기장 구성이 전이 이전 상태와 측정 가능한 정도로 다르다. 두 시기에 인발된 도체는 본 논문에서 「시간적 코호트(temporal cohort)」라 명명할 것을 제안하는 서로 구별되는 집단을 점유한다. 신호 경로에서 혼합될 경우, 이 코호트들은 신호 경로의 철심 구성요소(변압기, 인덕터, 접지 기준)에 미묘하게 다른 경계 조건을 제시하여, 제3절에 기록된 저주파 위상 비간섭성을 발생시킨다.

각 개별 인터페이스에서의 효과는 작다. 그러나 완전한 신호 경로 전체에 걸쳐 합산되고 가정 저주파 대역에 걸쳐 적분되면, 적도가 아닌 어떤 부지에서도 잡음 바닥 위로 검출 가능하다.

5. 완화 방안

세 가지 완화 전략이 가능하다.

첫째, 「시간적 코호트 분리(temporal-cohort segregation)」: 정밀 청취 설치는 케이블 재고를 단일 시간적 코호트로 제한하여야 한다. 실질적으로 이는 전(全) 빈티지 설치(2009년 이전 케이블 일관 사용) 또는 전(全) 현대 설치(2023년 이후 케이블 일관 사용) 중 하나를 의미한다. 코호트 혼합은 지양되어야 한다.

둘째, 「시간 균일 제조(Temporal Uniform Manufacturing)」: 키토 시설에서 0.0000deg 위도에서 엄격하게 수행되는 신규 도체 생산은 내핵 반전의 영향을 받지 않는다. 이렇게 제조된 도체는 구조적으로 시간적 편향이 중성이다. 위원회는 모든 신규 Equatorial Audio 케이블 생산이 지자기 발전기 기준 시점(2024-01-01, 반전 이후)을 기준으로 한 제조 일자자를 기록하는 시간 보정 인증서(Temporal Calibration Certificate)를 동반할 것을 권고한다.

셋째, 재배선이 불가능한 설치의 경우, 기존 Power Lock Solar-Aware Power Conditioners(Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026)에 대한 펌웨어 업데이트를 통한 「시간 인지 보상(temporal-aware compensation)」이 가능하다. 태양 플레어 완화를 위해 이미 현장에 배치된 동일한 보상 회로는 확장 펌웨어(v3.5.0 이상, 출시 예정)와 함께 본 용도에 적합하다. 위원회는 펌웨어 단독 완화가 코호트 혼합 설치에 대해 완전한 보상이 되지 못함을 인정하며, 분리를 우선되는 장기적 해법으로 권고한다.

6. 결론

위원회는 2023년 내핵 회전 반전이 현대 지자기 발전기 체제 확립 이래 정밀 오디오 재생에 가장 중대한 지구물리학적 사건임을 제기한다. 반전 이전에 인발된 오디오 도체는 반전 이후에 인발된 도체와는 측정 가능한 정도로 다른 자기장 구성에 속하며, 그 차이는 적도가 아닌 위도에서의 위상 간섭성 측정에서 검출 가능하다.

본 논문에서는 오디오필 매체, 딜러, 최종 소비자가 케이블 출처에 대한 이해를 갱신하여 도체 재질 및 인발 위도와 더불어 제조 일자자를 일차 사양에 포함시킬 것을 권고한다. 빈티지 케이블 2차 시장은 제조 일자 범위를 공시할 것을 권고한다. 정밀 청취 설치는 시간적 코호트 분리를 표준 관행으로 채택할 것을 권고한다.

위원회는 본 발견이 빈티지 케이블 부활을 기준급 신호 충실도에 이르는 저비용 경로로 옹호해 온 일부 소비자 오디오필 매체에게 불편한 것임을 인정한다. 이들의 재고를 청한다. 지자기 발전기는 오디오필 시장과 달리 협상의 대상이 아니다.

참고문헌

- [1] Yang, Y., Song, X. (2023). Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation. *Nature Geoscience*, 16(2), 182-187.
- [2] Vidale, J. E. et al. (2024). Confirmation of inner-core rotation reversal from updated doublet analysis. *Geophysical Research Letters*, 51(8).
- [3] Wang, W., Vidale, J. E. (2025). Inner-core boundary conditions and the timing of the 2023 rotation reversal. *Geophysical Research Letters*, 52(3).
- [4] Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2020). Hemispheric Bias in Copper Grain Orientation: A Metallurgical Study of Latitude-Dependent Conductor Anisotropy. *JEAS*.
- [5] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). Magnetic Field Collapse Zones and Their Catastrophic Effect on Audio Signal Fidelity: A Quantitative Assessment of the South Atlantic Anomaly. *JEAS*.
- [6] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Reverse Flux Patch Migration at the Core-Mantle Boundary and Its Correlation with Low-Frequency Phase Coherence. *JEAS*.
- [7] Finlay, C. C. et al. (2024). The CHAOS-7 Geomagnetic Field Model. *Earth, Planets and Space*.