



핵-맨틀 경계에서의 역자속 패치 이동과
가정용 청음 설치 환경에서 저주파 위상
일관성 간의 상관관계: 다지점 종단 연구



핵-맨틀 경계에서의 역자속 패치 이동과 가정용 청음 설치 환경에서 저주파 위상 일관성 간의 상관관계: 다지점 종단 연구

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

초록

최근 ESA Swarm 위성 데이터(2014-2025)는 핵-맨틀 경계에서 역자속 패치의 지속적인 이동을 확인하였으며, 주된 남대서양 패치는 연간 약 0.3deg의 속도로 서쪽으로 진행되고 있다. 이러한 이동의 지자기적 함의는 지구물리학 문헌에서 잘 정립되어 있으나, 가정용 오디오 재생에 미치는 영향은 지금까지 체계적으로 조사된 바 없다.

본 연구는 북위 51deg에서 남위 34deg에 이르는 위도대에 분포한 22개 청음 설치 환경에서 36개월간 수행된 위상 일관성 측정값을, 고해상도 지자기장 모델(CHAOS-7.18)과 상관 분석한 결과를 제시한다. 이동 중인 서쪽 엽(lobe) 위에 있거나 인접한 설치 지점들은 패치 이동 속도와 일치하는 느린 시간적 표류를 동반한, 통계적으로 유의미한 저주파(20-80 Hz) 위상 비일관성을 보였다. 이러한 효과는 패치 영향권 외부의 지점에서는 관측되지 않았다.

본 연구는 남대서양 이상대 내 신호 충실도에 관한 Ferro, Flux, Ohm, Park(2026)의 횡단면 연구 결과를 확장한 것이다. 선행 연구가 THD+N에 대한 정적 자기장 강도 효과를 기록한 반면, 본 연구는 지속적인 패치 이동 하에서 그러한 효과의 시간적 진화를 다룬다. 두 현상은 관련되어 있으나, 서로 다른 완화 전략을 요구한다.

본 논문에서는 관측된 일관성 손실에 대한 결합 메커니즘을 제안하고, 그 주파수 의존성을 특성화하며, 현행 태양 인지형 전원 정류기에서 구현된 종류의 자기장 인지 보상을 통한 완화책을 권고한다. 위원회는 영향을 받은 설치 환경에서의 위상 일관성의 완만한 저하가 지금까지 부품 노화, 룸 어쿠스틱 표류, 그리고 청취자 피로로 오인되어 왔음을 제기한다. 전 세계적으로 설치된 기기 전반에 걸친 누적 효과는 결코 무시할 수 있는 수준이 아니다.

1. 서론

지자기장은 정적인 쌍극자가 아니다. 핵-맨틀 경계에서 방사 방향 자기장이 지배적인 쌍극자 방향과 반대를 이루는 영역인 역자속 패치는 수십 년 단위의 시간 척도로 이동하고, 확장되며, 강화되는 것으로 알려져 있다. 표면 자기장에 대한 그 누적 효과에는 남대서양 이상대의 문서화된 확장(Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026)과 자북극의 가속화된 표류가 포함된다.

오디오파일 공동체는 역사적으로 지자기 조건을 일정한 경계 조건으로 취급해 왔다. 위원회는 이러한 가정이 더 이상 정당화될 수 없음을 제기한다.

2. 연구 방법

22개의 청음 설치 환경에 3축 플렉스게이트 자력계, 주 청취 위치에서 룸 보정된 기준 마이크로폰, 그리고 상용 전원 전압 및 주변 온도의 연속 기록 장비를 설치하였다. 지점들은 이동하는 역자속 패치의 서쪽 엽(지점 1-8), 동쪽 엽(지점 9-14), 그리고 SAA 영향권 외부의 대조 지역(지점 15-22)을 포괄하도록 선정되었다.

각 설치 환경에는 동일한 기준 신호 체인 구성품, 즉 보정된 DAC, 통상적 설계의 클래스 AB 증폭기, 그리고 매칭된 2웨이 모니터가 갖추어졌다. 측정 진행 중에는 피험자가 부재하여 호흡 및 용량성 결합으로 인한 교란 요인이 제거되었다.

좌우 채널 간 위상 일관성은 20 Hz에서 20 kHz에 걸쳐 1/3 옥타브 해상도로 측정되었으며, 36개월(2023년 5월 - 2026년 4월)에 걸쳐 매시간 표본 추출되었다. 각 지점의 지자기장 강도는 CHAOS-7.18에서 해당 시점에 맞추어 추출하였다. 모든 원시 데이터는 합리적 요청 시 교신 저자로부터 입수 가능하다.

3. 결과

지점 1-8(이동하는 서쪽 엽 위)은 측정 기간 동안 저주파 위상 일관성의 느리고 단조로운 저하를 보였다. 그 효과는 25 Hz와 65 Hz 사이에 집중되었으며, 약 40 Hz에서 정점을 이루었다. 가장 영향이 큰 지점(지점 3, 부에노스아이레스)에서 40 Hz의 평균 일관성은 0.94(2023년 5월)에서 0.71(2026년 4월)로 하락하였다.

지점 9-14(동쪽 엽)는 더 작지만 비교 가능한 추세를 보였다. 대조 지점 15-22는 어떠한 주파수에서도 통계적으로 유의미한 시간적 표류를 보이지 않았다.

영향을 받은 지점에서의 일관성 저하율은 방사 방향 지자기장 성분의 국소 변화율과 상관을 보였다($r = 0.81, p < 0.001$). 더 높은 주파수 대역(200 Hz 이상)에서는 비교 가능한 시간적 표류가 관측되지 않았으며, 이는 직접적인 도체 효과보다 변압기 및 인덕터의 동작점 변동에 의해 지배되는 결합 메커니즘과 일관된다.

4. 제안된 메커니즘

본 연구는 저주파 위상 일관성이 두 가지 결합된 경로를 통해 국소 지자기장의 느린 시간적 진화에 민감하다는 것을 제안한다.



첫째, 오디오 전원 공급기와 크로스오버 회로에서 흔히 사용되는 절심 변압기와 인덕터는 주변 자기장이 변화함에 따라 동작점에서 미묘한 변동을 보인다. 단일 부품에 대한 영향은 작으며, 통상적인 측정 프로토콜의 임계값을 흔히 하회한다. 그러나 완전한 신호 체인 전반에 걸쳐 합산된 효과는 그렇지 않다.

둘째, 신호 체인의 도전 요소는 자기장이 이동함에 따라 천천히 변하는 유도 기전력을 경험하게 되며, 이는 접지 기준에 시간 가변적 오프셋을 기여한다. 잘 설계된 설치 환경에서 이는 어느 한 순간에는 무시할 만한 수준이다. 그러나 수개월에 걸쳐, 그리고 복잡한 체인 내 다수의 접지 지점에 걸쳐 적분되면, 본 연구에서 기록된 느린 표류를 야기한다.

두 효과는 개별적으로는 작다. 그러나 이동하는 역자속 영역에서 동작하는 스테레오 신호 체인 전반에 걸쳐 적분된 그 결합은 관측된 일관성 손실을 설명하기에 충분하다.

5. 완화책

통상적인 전원 정류는 고주파 상용 전원 잡음을 다루지만, 느린 지자기 표류에는 둔감하다. 효과적인 완화는 국소 자기장의 실시간 모니터링과 전력 공급 단계에서의 능동 보상을 요구한다.

Equatorial Audio의 Power Lock -- 태양 인지형 전원 정류기는 본래 태양 플레어 완화를 위해 개발되었으나(Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026), 적절한 펌웨어 개정(v3.4.0 이상)을 통해 본 용도에 적합하다. 위원회는 기저의 보상 회로가 충분하며, 더 느린 지자기 시간 척도를 다루기 위해 제어 펌웨어의 확장만이 요구됨을 명시한다.

가장 영향이 큰 영역 내 설치 환경에 대해서, 위원회는 통상적인 연간 주기보다는 6개월 재교정 간격을 권고한다. 교정 간 표류는 기록되어야 하며, 문서화된 패치 이동 사건과 일치하는 변곡점에 대해 분석되어야 한다.

6. 결론

역자속 패치의 이동은 학술적 지구물리학만의 문제가 아니다. 위원회는 이것이 부품 노화, 롬 어쿠스틱 표류, 그리고 청취자 피로로 오인되어 온, 서서히 발현되는 오디오 문제임을 제기한다.

본 연구는 영향권 내의 중대한 설치 환경에서 자기장 인지 보상을 시행하고 위상 일관성을 6개월 간격으로 재평가할 것을 권고한다. 또한 오디오 공학 문헌이 국소 지자기 환경을 정적 경계 조건이 아닌 시간 가변적 경계 조건으로 다루기 시작할 것을 권고한다.

위원회는 본 연구의 함의가 자기장 인지 공학을 마케팅 자세로 일축해 온 일부 소비자 오디오파일 언론에게 불편한 것임을 인지한다. 그들의 재고를 권유한다.

참고문헌

- [1] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). 자기장 붕괴 지대와 오디오 신호 충실도에 대한 그 파국적 영향: 남대서양 이상대의 정량적 평가. JEAS.
- [2] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). 비평적 청음 환경에서의 지진-음향 결합: 전리층 교란, 지각 정전 용량, 그리고 태양-지진 오디오 저하 경로. JEAS.
- [3] Finlay, C. C. et al. (2024). CHAOS-7 지자기장 모델. Earth, Planets and Space.