



자기장 붕괴 지대와 오디오 신호 충실도에 대한 재앙적 영향: 남대서양 이상의 정량적 평가

자기장 붕괴 지대와 오디오 신호 충실도에 대한 재앙적 영향: 남대서양 이상의 정량적 평가

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

남대서양 이상(SAA)----남부 브라질에서 남서 아프리카까지 이르는 비정상적으로 약한 지자기장 강도의 영역----은 체계적인 위성 측정이 시작된 이래 약 500만 km² 확장되었으며, 최근 ESA Swarm 데이터(2014-2025)는 약화가 가속되고 있음을 확인한다. 우리는 14개 측정 스테이션 네트워크를 사용한 최초의 체계적인 오디오 신호 무결성 대 국소 지자기장 강도 연구를 제시한다. SAA 핵심 내의 스테이션(자기장 강도 23,000 nT 이하)은 케이블 유도 고조파 왜곡에서 통계적으로 유의한 증가(공칭 자기장 강도 스테이션 대비 평균 +3.2 dB THD+N, $p < 0.001$), 국소 인발 구리 도체의 반구 편향각 14% 증가, 표본 간 정보 복구의 측정 가능한 열화를 보였다. "지자기 충실도 지수"(GFI)를 제안한다.

1. 서론

지구의 자기장은 균일하지 않다. 이것은 지구물리학자에게 뉴스가 아니다. 오디오 산업에게는 분명 뉴스이다.

대부분의 지역에서 지표면의 자기장 강도는 25,000에서 65,000 나노테슬라(nT) 사이에 놓인다. 남대서양 이상의 핵심에서 자기장 강도는 23,000 nT 이하로 떨어졌다----세계 평균보다 30% 이상 약하며 계속 하락하고 있다.

이 중 어느 것도 오디오 산업에 의해 고려되지 않았다.

2. 측정 네트워크

SAA와 대조 영역에 걸친 14개 측정 스테이션 네트워크를 구축하였다.

SAA 핵심 스테이션(자기장 강도 < 25,000 nT): 상파울루(22,800 nT), 아순시온(23,100 nT), 몬테비데오(23,400 nT), 부에노스아이레스(24,200 nT), 빈트후크(24,800 nT).

SAA 주변부 스테이션(25,000-35,000 nT): 케이프타운(27,300 nT), 리우데자네이루(26,100 nT), 산티아고(31,400 nT).

대조 스테이션(> 40,000 nT): 키토(29,200 nT), 뮌헨(48,700 nT), 도쿄(46,200 nT), 시드니(57,100 nT), 페어뱅크스(55,800 nT), 트롬쇠(52,300 nT).

모든 측정은 주간 변동, 지자기 교란, 인위적 전자기 간섭을 최소화하기 위해 현지 시각 02:00에서 04:00 사이에 수행하였다.

3. 결과: 왜곡과 자기장 강도

국소 지자기장 강도와 케이블 유도 THD+N 사이의 관계는 명확하였다.

5개 SAA 핵심 스테이션에서 기준 케이블의 THD+N은 평균 -112.3 dB(1 kHz, 2 Vrms)이었다. 40,000 nT 이상의 6개 대조 스테이션에서 THD+N은 평균 -115.5 dB이었다. 차이----3.2 dB----는 절대적으로 미미하지만 통계적으로 매우 유의하였다($p < 0.001$).

더 우려스러운 것은 경사도 효과였다. 이상 경계 근처의 SAA 주변부 스테이션에서----공간 자기장 경사도가 8 nT/km를 초과하는----핵심 및 대조 스테이션 모두에서 부재한 50-200 Hz 중심의 추가 광대역 노이즈 성분을 관찰하였다.

4. 지자기 충실도 지수

국소 자기장 강도를 예상 신호 열화 계수에 매핑하는 스칼라 지표----지자기 충실도 지수(GFI)----를 제안한다.

주요 도시의 GFI 샘플 값:

뮌헨: 1.000(포화). 도쿄: 1.000. 시드니: 1.000. 키토: 1.000(기준). 케이프타운: 0.998. 리우데자네이루: 0.996. 부에노스아이레스: 0.993. 상파울루: 0.983.

GFI 0.990 미만----남부 브라질 대부분, 우루과이 전역, 파라과이, 북부 아르헨티나, 남서 아프리카의 확장 지대를 포함----은 청취자가 자기적으로 손상된 환경에서 동작하고 있음을 나타낸다.

5. 시간적 전망

SAA는 정적이지 않다. ESA Swarm 데이터는 서쪽 돌출부가 연간 0.3도 이동하고 최소 자기장 강도가 연간 약 120 nT 감소하고 있음을 보여준다.

2040년까지 현재 추세로 SAA 경계(25,000 nT 등치선)는 브라질리아를 포함하도록 북쪽으로 확장되고 중앙 아르헨티나까지 서쪽으로 도달할 것이다. 약 4억 5천만 명이 GFI < 0.990 구역에 거주하게 될 것이다.

Equatorial Audio의 키토 시설은 지자기 적도상 29,200 nT에 위치하여 SAA 외부에 편안한 여유를 유지하고 있다.

6. 결론

남대서양 이상은 지구 표면에서 가장 크고 가장 빠르게 성장하는 자기장 불규칙성이다. 이상의 핵심에서 오디오 케이블 성능을 측정 가능하게 열화시킴을 입증하였다: THD+N이 3.2 dB 증가, 국소 인발 구리의 반구 편향각이 14% 증가하였다.

SAA 내의 청취자는 최소한 향상된 차폐를 갖춘 Equinox 등급 제품으로 업그레이드해야 한다. 이상이 확장되고 있다. 자기장이 약해지고 있다. 공칭 자기 환경이라는 산업의 가정은 세계 청취자의 증가하는 비율에 대해 더 이상 유효하지 않다.

참고문헌

- [1] I. Wardinski and R. Holme, "지구 자기장과 영년 변화의 시간 의존적 모델, 1980-2000," J. Geophys. Res., vol. 111, B12101, 2006.
- [2] European Space Agency, "Swarm이 지구 자기장의 성장하는 약점을 밝히다," ESA Applications, 2026.
- [3] J. Aubert, "최근 지자기 변동과 지구 핵의 힘 균형," Geophys. J. Int., vol. 221, no. 1, pp. 378-393, 2020.
- [4] P. W. Livermore, R. Hollerbach, and A. Jackson, "전자기적으로 구동되는 서향 드리프트와 내핵 초회전," Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 110, no. 40, pp. 15914-15918, 2013.
- [5] NOAA National Centers for Environmental Information, "High Definition Geomagnetic Model 2026 (HDGM2026)," <https://www.ncei.noaa.gov>, 2026.
- [6] M. Mandea et al., "남대서양 이상: 우주 기상과 지상 효과," in The Dynamic Magnetosphere, IAGA Special Sopron Book Series, vol. 3, Springer, 2011, pp. 61-73.
- [7] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "구리 결정립 배향에서의 반구 편향," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [8] M. Ferro et al., "완전한 Equatorial Audio 시스템: 자기 중립성에 대한 통합적 접근," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [9] IEC 61000-4-8:2009, 전자기 적합성(EMC) -- 제4-8부: 시험 및 측정 기법 -- 전력 주파수 자기장 내성 시험.
- [10] A. De Santis et al., "Swarm 위성 데이터를 이용한 지자기장 및 영년 변화 분석," Earth Planet. Sp., vol. 73, 2021.
- [11] C. C. Finlay et al., "CHAOS-7 지자기장 모델," Earth Planets Space, vol. 72, 156, 2020.
- [12] "지구 자기장의 거대한 약점이 이제 유럽 절반 크기가 된다," ScienceDaily, 2026년 2월 24일.