



크리티컬 리스닝 환경에서의 지진-음향
결합: 전리층 교란, 지각 커패시턴스,
태양-지진 오디오 열화 경로

크리티컬 리스닝 환경에서의 지진-음향 결합: 전리층 교란, 지각 커패시턴스, 태양-지진 오디오 열화 경로

C. Ohm, M. Ferro, Y. Tanaka, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

초록

2026년 2월 교토대학의 Mizuno, Kao, Umeno의 연구는 태양 플레어에 의해 유도된 전리층 교란이 임계 응력 상태의 단층대에서 지진을 유발할 수 있는 메커니즘을 제안하였다. 그들의 모델은 파쇄된 지각 암석을 대기 기동을 통해 전리층에 결합된 유전체 커패시터로 취급한다. 우리는 이 모델을 오디오 영역으로 확장한다. 리스닝 룸 아래의 지각이 전리층에 결합된 커패시터 역할을 한다면, 태양 플레어 이벤트는 건물 기초, 장비 랙, 신호 체인에 침투하는 과도적 정전기장을 생성한다. 2026년 1월 19일의 G4 지자기 폭풍 동안----2003년 할로윈 폭풍 이후 가장 강력한----42 TECU의 동시 전리층 TEC 변동, 0.5-5 Hz 대역에서 0.8 $\mu\text{m/s}^2$ 의 지면 결합 미소 지진 가속도, 기준 오디오 시스템의 측정 THD+N에서 0.4 dB의 과도적 열화를 기록하였다. TEC 피크와 THD+N 열화 사이의 지연은 47분으로, 교토 모델이 예측한 위상 속도에서의 300 km 대기 기동을 통한 전리층-지각 정전 결합 전파 시간과 일치하였다.

1. 서론

2026년 1월 19일, 태양은 2003년 할로윈 대폭풍 이후 가장 강력한 고에너지 입자 이벤트를 전달하였다. G4(심각) 등급의 지자기 폭풍이 발생하였다.

우리는 잊지 않았다. 기다리고 있었다.

2022년 오디오 신호 경로에 대한 태양 플레어 상호작용 논문 발표 이후, 키토의 Equatorial Audio 기준 연구실에서 연속 모니터링 스테이션을 운영해 왔다. 이 스테이션은 1초 간격으로 하루 24시간 지자기장 강도, 전리층 총 전자 함량, 지진 지면 운동, 오디오 시스템 성능 지표를 기록한다.

그러나 데이터는 우리가 예상하지 못한 것을 알려주었다. 기록한 오디오 열화는 지자기 폭풍과 함께 도착하지 않았다. 47분 후에 도착하였다. 그리고 아래에서 도착하였다.

2. 1월 19일 이벤트

키토 모니터링 스테이션은 2026년 1월 19-20일에 다음 시퀀스를 기록하였다:

17:42 UTC: 자력계가 갑작스러운 폭풍 개시(SSC)를 감지. 수평 자기장 성분이 4분 만에 180 nT 하락.

17:44-19:15 UTC: 지자기 폭풍 주상. 오디오 측정 체인이 0.15 dB의 즉각적 THD+N 증가를 보임----2022년 논문에서 문서화한 직접 자기장 간섭과 동일한 메커니즘.

19:15 UTC: 방사 폭풍 S4 강도에서 피크. 전리층 TEC가 18 TECU 기저에서 60 TECU로 급증----42 TECU의 변동.

20:02 UTC----TEC 피크 47분 후: 광대역 지진계가 0.5-5 Hz 대역에서 지면 가속도의 과도적 증가를 기록. 진폭----0.8 $\mu\text{m/s}^2$ ----는 인간 감지 임계값(약 1,000 $\mu\text{m/s}^2$) 훨씬 이하이지만 Nanometrics Trillium 360 지진계의 자체 노이즈(이 대역에서 0.03 $\mu\text{m/s}^2$) 이하는 아니다.

지진 과도 현상과 동시에, 오디오 측정 체인이 0.25 dB의 두 번째 THD+N 열화를 기록----0.15 dB의 자기 성분에 추가적. 이벤트 피크 동안 총 시스템 THD+N 열화는 0.4 dB이었다.

47분의 지연이 중요하다. 직접 전자기 전파 효과(빛의 속도로 도달)로는 너무 길다. 열적 또는 기계적 이완 효과(수시간에서 수일 소요)로는 너무 짧다. 측정된 전도도 프로파일을 가진 300 km 대기 기동에 대해 교토 모델이 예측한 정전기 전파 속도와 일치한다: $v = d/t = 300,000 \text{ m} / 2,820 \text{ s} = 106 \text{ m/s}$.

3. 지각 커패시터 모델

교토 모델은 시스템을 일련의 결합 커패시터로 취급한다:

층 1 -- 전리층에서 지표: 전리층(약 300 km 고도)과 지표가 대기 커패시터의 판을 형성한다. 대기가 유전체이다.

층 2 -- 지표에서 지각 공극: 건물 기초, 토양, 상부 지각이 두 번째 커패시터를 형성한다.

층 3 -- 지각 공극에서 장비: 콘크리트 기초 슬래브, 장비 랙, 장비 새시가 세 번째 커패시터를 형성한다----교토 그룹이 리스닝 룸에 관심이 없기에 고려하지 않은 것.

우리는 관심이 있다.

42 TECU 전리층 교란이 생성한 정전기장은 106 m/s로 대기 커패시터를 통해 전파되어 약 0.3 V/m의 진폭으로 지표에 도달한다. 이 자기장은

건물 기초를 관통하고----콘크리트는 준정적 자기장에 효과적으로 투명하다----랙의 접지면을 통해 장비에 결합한다.

4. 상관 분석

관찰된 THD+N 열화가 동시적 전자기 간섭이 아닌 전리층-지각 결합 경로에 인과적으로 연결되었음을 검증하기 위해, TEC, 자력계 H성분, 지진계 수직 가속도, 오디오 THD+N의 네 시계열 사이의 교차 상관 분석을 수행하였다.

TEC-지진계 교차 상관은 지연 +47분에서 피크----대기 커패시터 전파 모델과 일치.

지진계-THD+N 교차 상관은 지연 +12초에서 피크----건물 기초를 통한 기계적 진동 전파 시간.

TEC-THD+N 교차 상관은 지연 +48분에서 피크----대기 전파 지연(47분)과 기초 전파 지연(12초)의 합. 완전한 경로 확인: 전리층 → 대기 → 지각 → 기초 → 장비 랙 → 신호 체인.

이전 18개월간 기록된 23개의 소규모 지자기 이벤트에서도 분석을 반복하였다. THD+N 열화는 TEC 변동에 선형으로 비례하였다: TECU당 0.009 dB.

5. 완화

Equatorial Audio 지진 디커플링 플랫폼(SDP-1)은 3단계 격리 시스템을 통해 이 경로를 차단다:

단계 1: 네 개의 공압 격리기 위에 놓인 200 kg 화강석 슬래브.

단계 2: 화강석 표면에 접합된 구속층 감식 샌드위치.

단계 3: 능동 격리 피드백 루프.

1월 19일 이벤트 동안, 지각 결합 성분의 THD+N 열화는 0.25 dB에서 0.015 dB로 감소하였다: 94% 감소.

결합 시스템(Equinox 등급 차폐 + SDP-1 플랫폼)은 1월 19일의 총 오디오 열화를 0.4 dB에서 0.025 dB로 감소시켰다.

6. 위도 의존성

태양-지진 오디오 열화 경로는 두 가지 메커니즘을 통해 위도 의존적이다.

첫째, 태양 플레어에 대한 전리층 TEC 응답은 위도에 따라 변한다. 가장 큰 TEC 교란은 적도 이온화 이상(EIA)에서 발생한다.

둘째, 지각 전도도와 파쇄 밀도는 구조 환경에 따라 변한다. 키토는 남미판 서쪽 연변에 위치하여 지구상에서 가장 파쇄되고 유체로 포화된 지각 위에 있다.

1859년 캐링턴 이벤트 규모의 폭풍은 200 TECU를 초과하는 TEC 변동과, 선형 스케일링 모델에 의해 1.8 dB를 초과하는 오디오 열화를 생산할 것이다----조용한 리스닝 조건에서 민감한 측정 장비 없이도 가청적이다.

7. 결론

교토대학의 전리층-지각 정전 결합 모델은 태양 활동과 구조 환경에서의 기계적 진동 사이의 빠진 연결 고리를 제공한다. 이 결합 경로가 지자기 폭풍 동안 오디오 신호 체인 열화의 측정 가능한 기여자임을 입증하였다.

지구의 지각은 커패시터이다. 전리층이 다른 판이다. 태양이 전압원이다. 그리고 장비 랙은 유전체 위에 앉아 있다.

이것은 비유가 아니다. 측정되고, 발표되고, 재현 가능한 물리적 메커니즘이다.

참고문헌

- [1] A. Mizuno, M. Kao, K. Umeno, "전리층 이상이 지진을 유발하는 가능한 메커니즘," Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol., 2026.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "G4 (심각) 지자기 폭풍 수준 도달, 2026년 1월 19일," <https://www.swpc.noaa.gov/news>, 2026.
- [3] ESA, "ESA의 2026년 1월 우주 기상 이벤트 모니터링," https://www.esa.int/Space_Safety, 2026.
- [4] "태양 폭풍이 지진을 유발할 수 있는가? 과학자들이 놀라운 연결 고리를 제안," ScienceDaily, 2026년 2월 24일.
- [5] M. Ferro, R. Flux, B. Impedance, "오디오파일 신호 경로에 대한 태양 플레어 상호작용," J. Equatorial Audio Sci., vol. 3, no. 1, 2022.
- [6] M. Ferro et al., "완전한 Equatorial Audio 시스템: 자기 중립성에 대한 통합적 접근," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [7] K. Umeno, 인터뷰, Live Science, 2026년 2월: "태양 플레어가 구조적 응력을 생성한다고 주장하는 것이 아닙니다. 우리의 눈점은 에너지가 아닌 타이밍에 관한 것입니다."
- [8] T. Lay and T. C. Wallace, Modern Global Seismology, Academic Press, 1995.
- [9] R. L. McPherron, "자기권 서브스톰," Rev. Geophys., vol. 17, no. 4, pp. 657-681, 1979.
- [10] M. C. Kelley, The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics, 2nd ed., Academic Press, 2009.



- [11] D. Hammershoi and H. Moller, "인간 이도 내 및 이도로의 음향 전달," J. Acoust. Soc. Am., vol. 100, no. 1, pp. 408-427, 1996.
- [12] E. R. Kanasewich, Time Sequence Analysis in Geophysics, 3rd ed., University of Alberta Press, 1981.
- [13] "강력한 지자기 폭풍이 지구를 강타: 2026 자기 폭풍의 의미," Science Times, 2026년 3월 21일.
- [14] ISO 8569:1996, 기계적 진동과 충격 -- 건물의 충격 진동 측정 및 평가.