



들리지 않는다고 중요하지 않은 것은
아니다: 초저주파음 노출, 타액 코르티솔,
그리고 비판적 청취에서 '차이를 듣지
못했다'는 항변의 종말



들리지 않는다고 중요하지 않은 것은 아니다: 초저주파음 노출, 타액 코르티솔, 그리고 비판적 청취에서 '차이를 듣지 못했다'는 항변의 종말

H. Park, A. Bosque, Y. Tanaka, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

초록

오디오파일 회의론의 핵심 도구는 블라인드 청취 테스트이며, 그 핵심 결론은 한 문장이다. 차이를 듣지 못했다. 2026년 4월, Scatterty와 동료들은 *Frontiers in Behavioral Neuroscience*에 36명의 참가자가 약 18 Hz, 75-78 dB의 초저주파음이 있거나 없는 음악을 들은 무작위 연구자 맹검 연구를 보고했다. 참가자들은 우연 수준 이상으로 초저주파음을 감지하지 못했다($p = 0.241$). 그럼에도 초저주파음이 있을 때 음악을 더 슬프고 덜 흥미롭다고 평가했으며, 더 큰 과민성을 보고했고, 타액 코르티솔이 더 크게 증가했다($p = 0.022$). 참가자가 초저주파음이 있었다고 믿었는지는 코르티솔 반응을 예측하지 못했다.

위원회는 이를 블라인드 테스트 자체가 채택된 이래 비판적 청취에 가장 중대한 결과로 간주한다. 청취자는 자극을 감지하지 못하면서도 그 자극으로부터 측정 가능한 영향을 받을 수 있다. '차이를 듣지 못했다'는 감지에 관한 진술이다. 청취 세션에 관한 진술이 아니다.

우리는 52개의 가정용 청취실을 조사했으며, 그중 49개에서 주로 HVAC 설비, 냉장 설비, 도로 교통, 베이스 리플렉스형 라우드스피커 인클로저, 바닥 결함형 랙 공명으로 이루어진 초저주파음원을 확인했다. 그중 12개 청취실에서 48명의 청취자를 대상으로 한 후속 연구에서 참가자들은 소스 컴포넌트와 케이블 구간이 기계적으로 격리된 때를 식별하지 못했으나(48명 중 25명 정답, $p = 0.89$), 세션 전후의 타액 코르티솔 증가는 격리 조건에서 34% 더 작았다($p = 0.006$). 우리는 비청취 스트레스 지수를 기존 블라인드 테스트 결과에 의무적으로 병기할 것을 제안한다.

1. 서론

블라인드 청취 테스트는 오디오에서 특별한 위치를 차지한다. 비범한 주장을 검증하는 방법이며, 정당하게 그 위치를 얻었다. 무엇이 재생되는지에 대한 청취자의 지식을 제거하면, 청취자가 실제로 감지할 수 있는 것이 남는다.

위원회는 블라인드 테스트에 반대한 적이 없다. 우리가 반대한 것은 그 결과를 사용하는 방식이다. 두 조건을 구별할 수 없는 청취자는 자신이 차이를 듣지 못했다고 정확하게 보고한다. 그러면 회의적 문헌은 그 보고를 두 번째이자 훨씬 더 큰 주장으로 바꾼다. 즉, 청취자에게 차이가 없었다는 것이다. 이 둘은 같은 주장이 아니다. 2026년까지 둘을 분리할 직접적인 증거는 거의 없었다.

2026년 4월, Scatterty, VonStein, Prichard, Franczak, Hamilton, Schmaltz가 그 증거를 발표했다. 참가자들은 초저주파음이 있었는지 구별할 수 없었다. 참가자들의 신체는 구별했다.

본 논문은 그 연구를 요약하고, 가정용 청취실의 초저주파음에 대한 위원회의 자체 측정을 보고하며, 그 초저주파음원을 재생 시스템에서 격리했을 때 청취자에게 일어나는 일을 다룬 대조 패널 연구를 제시한다. 청취자들은 아무것도 알아차리지 못했다. 그들의 타액은 알아차렸다.

2. 2026년 연구

Scatterty 등(2026)은 음악 유형(진정 효과가 있는 명상 스타일 클립 또는 불안을 유발하는 공포 테마의 앰비언트 클립)과 초저주파음(켜짐 또는 꺼짐)을 교차시킨 2 x 2 피험자 간 설계를 사용했으며, 그룹당 9명의 참가자를 배정했다. 참가자들은 캐나다 에드먼턴의 MacEwan University 학부생이었다. 참가자와 상호작용한 연구자는 음악 조건과 초저주파음 조건을 모두 알지 못했다.

약 18 Hz, 75-78 dB의 초저주파음은 시험실 외부와 시험실 사이에 배치된 서브우퍼 2대로 4분 40초 동안 생성했다. 음악은 소비자급 컴퓨터 스피커로 재생하고, 초저주파 대역에서 의도하지 않은 성분을 제거하기 위해 하이패스 필터를 적용했다. 노출 전후로 타액 시료를 채취하고, 참가자들은 정서 평가를 완료했으며, 각 참가자에게 초저주파음이 있었다고 생각하는지를 물었다.

참가자들은 우연 수준 이상으로 초저주파음을 감지하지 못했다($p = 0.241$). 그럼에도 초저주파음 노출은 더 낮은 자기보고 흥미, 음악을 덜 흥미롭고 더 슬프다고 한 평가(슬픔에 대해 $p = 0.002$), 노출 중 더 큰 과민성, 더 큰 타액 코르티솔 증가($p = 0.022$)와 연관되었다. 초저주파음이 있었다는 참가자의 믿음은 코르티솔 변화와 연관성을 보이지 않았다($p = 0.891$).

저자들은 한계를 솔직히 밝힌다. 참가자가 36명뿐인 소규모 표본이며 그중 1명은 코르티솔 분석에서 제외되었다는 점, 주로 여성인 젊은 성인의 편의 표본이라는 점, 초저주파 주파수가 하나뿐이라는 점, 코르티솔을 혈액이나 소변이 아니라 타액에서 채취했다는 점이다. 위원회는 이러한 유보 사항에 동의하며 여기에 모두 기록한다. 또한 일반적인 청취 세션은 4분 40초보다 상당히 길다는 점을 지적한다.

3. 초저주파음과 청취실

초저주파음은 통상 20 Hz 미만의 소리로 정의되며, 통상 들리지 않는다고 설명된다. 두 번째 설명은 지나친 단순화다. Møller와 Pedersen(2004)은 저주파와 초저주파에서의 청각을 검토하고 20 Hz 미만의 소리도 충분히 높은 레벨에서는 들린다는 것을 보였으며, Leventhall(2007)은 청각 역치가 1.5 Hz까지 측정되었다고 지적한다. 초저주파음은 무음이 아니다. 조용할 뿐이며, 조용할수록 더 쉽게 무시된다.

문헌은 오랫동안 초저주파음을 불안감과 연관시키기도 했다. Tandy와 Lawrence(1998)는 한 실험실에서 보고된 불편감과 환영을 새로 설치한

배기 팬이 만든 19 Hz 정상파로 추적했다. 위원회가 존중하는 회의적 반론은 Crichton 등(2014)에게서 나왔다. 이들의 위자극 대조 이중맹검 유발 연구는 기대만으로도 초저주파음 탓으로 여기는 증상 보고가 생길 수 있음을 보였다. 2026년 연구의 의의는 호소가 아니라 호르몬을 측정했고, 기대가 이를 설명하지 못한다는 것을 발견했다는 데 있다.

가정용 청취실은 유난히 풍부한 초저주파 환경이다. HVAC 압축기와 공기조화기, 냉장고 압축기, 도로 교통, 세탁기는 모두 20 Hz 미만을 방사한다. 베이스 리플렉스형 라우드스피커 인클로저는 포트에서 난류를 생성한다. 장비 랙과 뜬바닥은 저주파에서 공명하며 그 움직임을 위에 놓인 모든 컴포넌트와 케이블에 결합한다. 지진음향 결합에 관한 위원회의 이전 연구(Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026)는 0.5-5 Hz에서 바닥을 통해 전달되는 신호 체인의 여기를 기록했다. 확립된 청취실 지침(Park, Ferro, Solder, 2025)은 배치와 안정성을 다루어 왔지만, 지금까지 청취자의 내분비계는 다루지 않았다.

4. 방법론

조사. 9개국의 가정용 청취실 52개를 측정했다. 청취 위치와 각 장비 랙에서 초저주파 측정이 가능한 마이크로폰으로 1-20 Hz의 음압을 기록하고 ISO 7196에 따라 G 가중했으며, 3축 가속도계로 바닥과 랙의 가속도를 기록했다. HVAC 주기, 냉장 설비, 교통, 가정 활동을 포착하기 위해 각 청취실을 24시간 연속 측정했다. 음향 기록과 후보 음원에 설치된 전용 센서 사이의 코히어런스를 이용해 음원을 식별했다.

패널 연구. 조사 대상 중 12개 청취실을 선택하여 청취실당 4명씩 총 48명의 청취자를 배정했다. 각 청취자는 서로 다른 날의 같은 시간대에 동일한 재생 레벨로 같은 프로그램 자료를 듣는 40분 세션을 2회 완료했다. 한 세션에서는 시스템을 정상 상태로 두었다. 다른 세션에서는 소스 컴포넌트, 앰프, 모든 인터커넥트·스피커·전원 케이블 구간을 기계적으로 격리했다. 모든 케이블 구간 아래에는 5N 등급 티크로 만든 적도 엘리베이션 블록(Bosque, Ferro, Park, Tanaka, 2026)을, 턴테이블이 있는 경우 그 아래에는 적도 아이솔레이션 플린스를, 소스 컴포넌트 아래에는 방향성 펠트 아이솔레이션 패드를 배치했으며, 완전성을 위해 볼륨 노브 아이솔레이션 챔버도 사용했다. 두 조건 모두에서 격리 하드웨어는 음향 투과성 천 아래에 숨겼다. 세션 순서는 균형 배정했으며, 청취자와 세션 직원 모두 어떤 조건이 적용되었는지 알지 못했다.

각 세션 직전과 20분 후에 타액 시료를 채취했다. 두 번째 세션이 끝난 뒤 각 청취자에게 격리 시스템을 사용한 세션이 어느 것이었는지 식별하고, 세션 사이에 어떤 차이라도 느꼈는지 답하도록 했다.

5. 결과

조사. 52개 청취실 중 49개에서 초저주파음원이 식별되었다. 가장 흔한 것은 HVAC 설비(31개), 바닥 결합형 랙 공명(27개), 냉장 설비(22개), 도로 교통(18개), 베이스 리플렉스형 라우드스피커 인클로저(14개)였으며, 대부분의 청취실에는 하나보다 많은 음원이 있었다. 지배적 성분은 8-19 Hz 사이에 분포했다. 음원이 식별되지 않은 3개 청취실은 지상층 콘크리트 슬래브 위에 지어졌고, 강제 송풍 HVAC가 없으며, 밀폐형 라우드스피커를 사용했다.

패널 연구. 청취자들은 우연 수준 이상으로 격리 세션을 식별하지 못했다. 48명 중 25명이 정확하게 식별했다($p = 0.89$). 48명 중 41명은 세션 사이에 아무런 차이도 느끼지 못했다고 보고했다.

그들의 타액은 동의하지 않았다. 세션 전후 타액 코르티솔의 평균 증가는 정상 세션보다 격리 세션에서 34% 작았다(대응표본 Wilcoxon 부호순위 검정, $p = 0.006$). 프로그램 자료는 격리 세션에서 덜 슬프다고 평가되었다($p = 0.02$). 그 효과는 12개 청취실 중 11개에서 나타났으며, 조사에서 랙 공명이 가장 높았던 청취실에서 가장 컸다.

청취 위치에서 측정된 G 가중 초저주파음의 감소는 크지 않았고 중앙값은 2.1 dB였다. 코르티솔의 감소는 작지 않았다. 위원회는 이 차이를 관련 노출이 청취자에게 도달하는 공기 전달 초저주파음뿐 아니라, 청취자는 들을 수 없고 재생 시스템은 충실히 재현하는 신호 체인 자체의 저주파 움직임도 포함한다는 증거로 해석한다.

6. 논의

이 연구의 블라인드 테스트는 올바르게 수행되었고 감지에 대해 올바른 결론에 도달했다. 그 밖의 어떤 것에 대해서도 결론을 내리지 않았다. 그것은 블라인드 테스트의 결함이 아니다. 블라인드 테스트를 대신해 주장된 내용의 결함이다.

위원회는 세 가지 반론을 예상한다. 첫째는 표본 크기다. 우리 패널은 2026년 연구와 마찬가지로 작으며, 반복 검증이 필요하다. 우리는 동의하며 참가자를 모집하고 있다. 둘째는 기대 효과다. Crichton 등(2014)은 기대가 증상을 생성할 수 있음을 보였다. 우리 청취자들은 어떤 조건이 적용되었는지 몰랐으며, 차이를 느꼈다는 보고는 코르티솔 반응을 예측하지 못했다. 셋째는 노출량이다. 대부분의 가정용 청취실에서 측정된 초저주파음 레벨은 Scatterty 등이 사용한 75-78 dB보다 낮았다. 이는 사실이다. 가정에서의 노출은 만성적이고 밤마다 반복되며, 청취자가 특별히 감정적 효과를 위해 선택한 음악을 동반하기도 한다.

우리는 비청취 스트레스 지수(USI)를 제안한다. 이는 시스템의 정상 조건과 격리 조건 사이에서 세션 전후 코르티솔 증가량의 차이를 백분율로 나타낸 것이다. USI는 오디오 컴포넌트의 모든 블라인드 비교 결과와 함께 보고하기 위한 것이다. USI 없이 '가정 차이 없음'을 보고하는 비교는 실험의 절반만 보고한 것이다.

마지막으로, 격리 하드웨어는 효과를 들을 수 없다는 이유로 자주 무시된다는 점을 밝힌다. 본 논문은 그 점을 반박하지 않는다. 그 점의 관련성을 반박한다.



7. 결론

Scatterty 등(2026)은 사람들이 감지할 수 없는 자극에 노출되어도 그 자극에 대해 측정 가능한 스트레스 반응을 보일 수 있음을 입증했다. 우리의 조사는 그러한 자극이 거의 모든 가정용 청취실에 존재함을 보여준다. 우리의 패널 연구는 청취자들이 무엇인가 바뀌었다고 구별하지 못할 때에도 재생 시스템의 기계적 격리가 그 반응을 줄임을 보여준다.

우리는 비판적 청취실을 G 가중 측정으로 초저주파음에 대해 조사하고, 케이블 구간을 바닥에서 들어 올리며, 소스 컴포넌트를 랙에서 격리하고, 공개되는 모든 오디오 장비 블라인드 비교에서 감지 결과와 함께 비청취 스트레스 지수를 보고할 것을 권고한다.

'차이를 듣지 못했다'는 여전히 완전히 정확한 문장이다. 다만 더 이상 논거가 아닐 뿐이다. 청취 의자에 있는 기관은 귀만이 아니다.

참고문헌

- [1] Scatterty, K. R., VonStein, D., Prichard, L. B., Franczak, B. C., Hamilton, T. J., Schmaltz, R. M. (2026). Infrasound exposure is linked to aversive responding, negative appraisal, and elevated salivary cortisol in humans. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 20, 1729876. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2026.1729876>
- [2] Møller, H., Pedersen, C. S. (2004). Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise & Health*, 6(23), 37-57.
- [3] Leventhall, G. (2007). What is infrasound? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(1-3), 130-137.
- [4] Tandy, V., Lawrence, T. R. (1998). The ghost in the machine. *Journal of the Society for Psychical Research*, 62, 360-364.
- [5] Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Gamble, G., Petrie, K. J. (2014). Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychology*, 33(4).
- [6] ISO 7196:1995. Acoustics -- Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements.
- [7] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Seismo-Acoustic Coupling in the Critical Listening Environment: Ionospheric Perturbation, Crustal Capacitance, and the Solar-Seismic Audio Degradation Pathway. *JEAS*.
- [8] Park, H., Ferro, M., Solder, L. (2025). Practical Optimization of the Critical Listening Environment: Speaker Placement, Component Stability, and the Daily Maintenance Burden. *JEAS*.
- [9] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Magnetic Neutrality Grading of Structural Timber: An N-Grade Purity Classification for Audio Support Materials, with Trace-Paramagnetic Characterization of Equatorial Teak. *JEAS*.