WHITE PAPER

마이크 수음 범위 – 오디오 성능에 영향을 미치는 요인

9월 2026

목차

1 서론 3
2 물리적 녹음 범위 3
3 다양한 환경에서 수행한 녹음 5
4 다양한 환경에서 수행한 녹음의 측정 결과 7
1 부록 9

1 서론

오디오 녹음 장치의 최대 수음 범위를 명확한 하나의 값으로 규정하기는 쉽지 않습니다. 성능이 음향 환경과 밀접하게 연관되어 있기 때문입니다. 기술 사양이 기본적인 기준을 제시하지만, 실제 녹음 범위는 설치 환경마다 달라지는 환경적·음향적 요인의 복합적인 상호작용에 따라 결정됩니다.

이 백서에서는 마이크가 어느 거리까지 소리를 안정적으로 수음할 수 있는지를 결정하는 주요 요인을 살펴보며, 음성 명료도를 주된 기준으로 삼습니다. 이러한 요인에는 배경 노이즈 레벨, 해당 노이즈의 스펙트럼 특성, 잔향 시간, 마이크 지향성, 그리고 마이크와 녹음 장치 자체에서 발생하는 노이즈가 포함됩니다.

실용적인 기준을 설정하기 위해 사람의 음성을 기준 음원으로 사용합니다. 노이즈는 측정값과 사람이 체감하는 노이즈 레벨의 상관성을 높이기 위해 A-가중 필터를 적용하여 측정합니다. 녹음된 음성의 신호 대 잡음비(SNR)는 음성 레벨에서 A-가중 노이즈 레벨을 뺀 값으로 계산하며, 단위는 데시벨(dB)입니다.*(SNR은 부록 참조)*. 실증 테스트 결과, 노이즈가 음성 주파수 범위 내에서 비교적 평탄한 주파수 응답을 보인다면 SNR이 약 0dB까지 낮아져도, 즉 노이즈와 음성의 레벨이 같아져도 음성 명료도를 허용 가능한 수준으로 유지할 수 있는 것으로 나타났습니다.

이러한 변수의 영향을 이해하면 설치자와 시스템 설계자가 실제 설치 환경에서 오디오 장치를 선택하고 배치할 때 더욱 합리적인 결정을 내릴 수 있습니다.

2 물리적 녹음 범위

마이크의 녹음 성능은 일반적으로 주변 환경의 배경 노이즈에 따라 달라집니다. 물리적 녹음 범위를 제한하는 주요 요인은 다음과 같습니다.

- **음압 레벨:** 모든 소리가 동일한 거리까지 전달되는 것은 아닙니다. 예를 들어 총성은 매우 높은 음압 레벨을 발생시키므로 최대 1km 떨어진 곳에서도 들릴 수 있습니다. 반면 사람의 음성은 상대적으로 작으며 거리가 멀어질수록 더 빠르게 약해집니다. 현실적인 수음 범위를 추정하려면 먼저 수음해야 하는 소리의 유형을 정의해야 합니다. 이를 통해 음원 레벨을 기준으로 녹음 가능한 범위의 상한을 정할 수 있습니다.
- **배경 노이즈:** 주변 환경의 소음이 클수록 마이크가 원하는 소리를 구분하여 수음하기가 어려워집니다. 배경 노이즈는 환경마다 다르며, 수음하려는 대상 소리와 직접적으로 경쟁합니다. 배경 노이즈에는 바람 소리, 교통 소음, 기계 소음, 군중 소음 등이 포함됩니다. 마이크가 설치된 위치의 노이즈 플로어가 높을수록 유효 수음 범위는 짧아집니다. 이 때문에 동일한 마이크라도 조용한 복도와 교통량이 많은 교차로에서는 성능이 크게 달라질 수 있습니다.
- **노이즈의 스펙트럼 특성:** 노이즈의 크기뿐만 아니라 노이즈가 차지하는 주파수 대역도 중요합니다. 사람의 음성은 주로 약 300Hz~3,400Hz의 중간 주파수 대역에 분포합니다. 배경 노이즈가 매우 낮거나 매우 높은 주파수 대역에 집중되어 있다면 음성 명료도를 방해할 가능성이 상대적으로 낮습니다. 하지만 노이즈가 수음하려는 대상 소리와 동일한 주파수 대역에 겹치면, 노이즈 레벨이 중간 정도이더라도 음성과 노이즈를 구분하기 어려워집니다.
- **마이크 위치의 잔향 시간:** 잔향은 원래의 음원이 멈춘 후에도 벽, 천장, 바닥 및 기타 표면에서 반사된 소리로 인해 음향이 지속되는 현상입니다. 잔향 시간이 길면 전체 음압 레벨과 신호 대 잡음비(SNR)가 허용 가능한 수준으로 보이는 경우에도 음성 명료도가 저하될 수 있습니다. 대형 빈 홀이나 타일 마감 공간처럼 잔향이 매우 심한 장소에서는 음성이 수없이 많은 실내 반사음과 함께 마이크에 도달하여 소리가 흐릿해집니다. 이로 인해 청취자와 녹음 시스템 모두 개별 단어를 명확하게 구분하기 어려워집니다.
- **마이크 설정의 지향성:** 마이크는 소리가 유입되는 방향에 따라 감도가 달라집니다. 무지향성 마이크는 모든 방향의 소리를 동일하게 포착하므로, 사방에서 발생하는 배경 노이즈와 잔향도 함께 수음하게 됩니다. 빔포밍을 위해 여러 대의 마이크를 배열하는 등의 지향성 구성은 특정 방향으로 감도를 집중시켜 다른 각도에서 유입되는 노이즈와 잔향의 영향을 효과적으로 차단합니다. 이를 통해 노이즈나 잔향이 심한 환경에서도 유효 수음 범위를 획기적으로 넓힐 수 있지만, 이는 마이크 배열이 향하고 있는 방향에만 제한적으로 적용됩니다.
- **마이크 및 녹음 장치의 자체 노이즈:** 모든 마이크와 오디오 녹음 장치는 자체 노이즈라고 불리는 미세한 내부 전기 노이즈를 발생시킵니다. 이 노이즈는 시스템이 포착할 수 있는 신호의 절대적인 하한선을 결정하는 기준이 됩니다. 주변 환경이 아무리 조용하더라도 자체 노이즈 플로어보다 작

은 소리는 선명하게 녹음할 수 없습니다. 마이크 성능을 비교할 때 자체 노이즈 사양이 낮을수록 더 작은 소리도 효과적으로 포착할 수 있음을 의미하며, 주변 노이즈 레벨과 잔향 시간이 충분히 낮다면 수음 범위를 더욱 확장할 수 있습니다.

분석을 단순화하기 위해 먼저 배경 노이즈, 반사음, 잔향이 전혀 없는 이상적인 환경을 가정하고 사람의 음성을 기준 음원으로 사용해 보겠습니다. 이러한 조건에서 핵심적인 질문은 다음과 같습니다. 허용 가능한 수음 범위의 임계값으로 어떤 신호 대 잡음비(SNR)를 적용해야 할까요?

실증 테스트를 통해 그 명확한 해답을 얻을 수 있습니다. 시스템 노이즈에 A-가중 필터를 적용하고 노이즈의 평균 실효값(RMS) 레벨을 음성의 평균 RMS 레벨과 비교해 보면, SNR이 0dB 미만으로 떨어질 때 비로소 음성 명료도가 저하되기 시작합니다. 따라서 사람의 음성을 녹음할 수 있는 한계 기준으로 0dB SNR을 적용합니다. 이는 노이즈의 주파수 응답이 백색 노이즈처럼 비교적 평탄하고 음성 주파수 범위 내에 있을 때 유효한데, 마이크 자체 노이즈가 일반적으로 이러한 특성을 지닙니다.

예를 들어, 1kHz 톤이 94dBspl로 재생될 때 디지털 마이크의 감도는 -36dBFSrms일 수 있습니다 *(dBFSrms는 부록 참조)*. (마이크 데이터시트의 기준에 따라 디지털화된 풀 스케일 사인파를 여기서는 0dBFSrms로 정의합니다)*(dBspl은 부록 참조)*. 이는 마이크 게인이 0dB로 설정된 경우, 디지털 MEMS 마이크가 내장된 대다수의 Axis 제품에 동일하게 적용됩니다. 배경 노이즈 레벨이 10dBspl(A) 미만인 매우 조용한 환경에 이 마이크를 설치하면 *(dBspl(A)는 부록 참조)*, 마이크 내부 노이즈가 전체 노이즈를 지배하게 됩니다. 이 예시에서 마이크 데이터시트에 명시된 디지털 출력은 -105dBFSrms(A)입니다. 해당 마이크의 SNR은 기준 레벨과 노이즈 플로어의 차이로 계산할 수 있습니다. 즉, −36 − (−105) = 69dB가 됩니다.

이 전기적 노이즈 플로어를 등가 음향 노이즈 레벨로 변환하면 94 − 69 = 25dBspl(A)가 됩니다.

이제 0dB SNR 환경에서 사람의 음성을 녹음할 수 있는 최대 거리를 계산해 보겠습니다. IITU 표준에 따르면 1m 거리에서 사람 음성의 공칭 평균 음성 레벨(ASL)은 약 57dBspl입니다. 반사물이 없는 자유 공간에서는 음압 레벨이 역제곱 법칙에 따라 거리에 비례하여 감소합니다:

$$dB = 20\log\frac{reference\ distance}{test\ distance}$$

.

기준 거리가 1m일 때 해당 마이크에서 0dB SNR에 도달하려면 음성 레벨이 25dBspl(A)까지 떨어져야 합니다. 이는 1m 기준 레벨에서 32dB 감소한 수치입니다. 이 공식을 다시 정리하면 다음과 같습니다:

$$test\ distance = \frac{reference\ distance}{10^{\frac{-(57-noise\ level)}{20}}} = \frac{1}{10^{\frac{-32}{20}}} = 39.8\text{m}$$

.

즉, 배경 노이즈나 바람, 잔향이 전혀 없는 자유 공간이라면 이 마이크는 이론적으로 약 40m 거리에서도 명료한 음성을 녹음할 수 있습니다. 이것이 바로 이론적인 최대 수음 범위입니다.

하지만 실제 환경에서는 마이크 내부의 노이즈 플로어보다 환경적 요인이 전체 노이즈 레벨에 훨씬 더 큰 영향을 미칩니다. 업무가 끝난 뒤 환기 시스템만 돌아가는 조용한 사무실의 배경 노이즈 레벨도 약 28~32dBspl에 달합니다. 이러한 노이즈만으로도 유효 수음 범위가 약 50%나 줄어들어 최대 수음 범위는 20m 안팎으로 감소합니다. 도심 실외 환경에서 녹음할 경우에는 다음과 같이 다양한 노이즈가 복합적으로 발생합니다. 여기에는 바람 소리, 교통 소음, 사람들의 활동으로 인한 소음 등이 포함됩니다. 무지향성 마이크를 사용할 때는 각각의 노이즈 레벨과 스펙트럼에 따라 실제 수음 범위가 크게 달라집니다. 예를 들어 교통 소음이 심한 곳이라면 최대 수음 범위가 2~4m로 크게 좁아질 수 있습니다.

현장에서 고려해야 할 실질적인 문제는 0dB SNR 임계값 부근에서 녹음된 음성의 경우 레벨이 너무 낮아 재생 시 사람의 청력 임계값 아래로 떨어질 수 있으므로, 제대로 듣기 위해서는 상당한 디지털 게인 증폭이 필요하다는 점입니다. 이어지는 녹음 예시에서는 멀리서 포착된 낮은 음성 레벨을 보완하기 위해 오디오 파일을 +40dB 증폭했습니다.

3 다양한 환경에서 수행한 녹음

이 섹션에서는 녹음 장소를 자세히 설명하고, 다양한 거리에서 캡처한 비디오 녹화 화면의 스크린샷과 음성 샘플을 함께 제공합니다.

예시 1: **고속도로의 교통 소음이 들리는 실외 환경. 배경 노이즈 레벨은 62~68dBspl[A] 범위에서 변하며, 약간의 바람 소리도 있습니다.**



그림 3.1 *녹음 장소는 고속도로와 가깝습니다(빨간색 점 참조).*



그림 3.2 *이 녹음 장소에서 Axis 신체 착용 카메라로 녹음할 수 있는 최대 거리는 4m입니다.*

녹음 내용을 들을 때는 헤드폰을 사용하는 것이 좋습니다.

예시 2:: **배경 노이즈 레벨이 32dBspl[A]인 조용한 복도. 이 환경에서는 복도가 긴 음향 도파관의 역할을 합니다. 소리는 복도를 따라 이동하면서 반사 표면에 여러 차례 반사되므로, 동일한 거리의 자유 공간에서보다 더 큰 음압으로 마이크에 도달합니다.**



그림 3.3 *최대 녹음 거리는 27m입니다.*

녹음 내용을 들을 때는 헤드폰을 사용하는 것이 좋습니다.

예시 3: **배경 노이즈 레벨이 42dBspl[A]인 넓은 로비. 이 환경에서는 벽면의 확산 패널 뒤에 흡음재가 설치되어 있어 대부분의 초기 반사음이 사라집니다. 거리가 멀어지면 소리는 바닥과 반사성 천장 사이에 형성된 음향 채널을 따라 전달됩니다.**

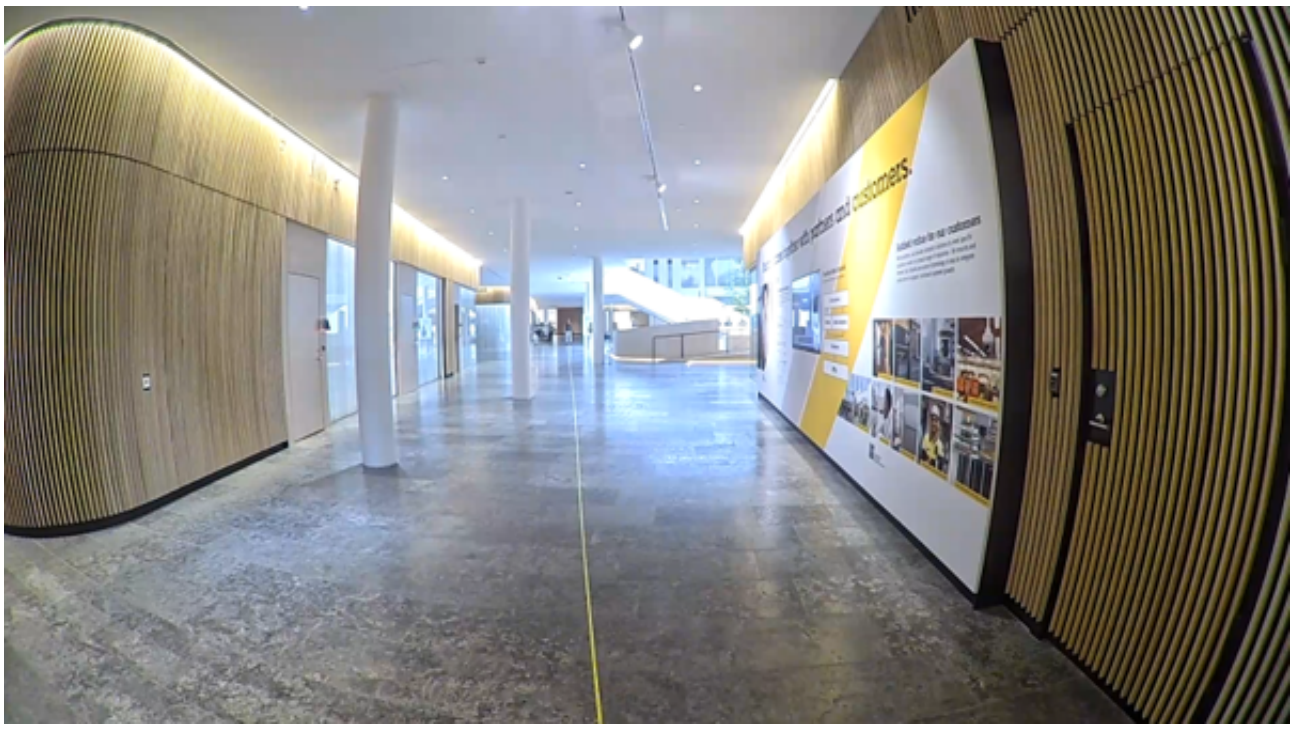


그림 3.4 최대 녹음 거리는 40m입니다. 말하는 사람은 거의 보이지 않지만 음성은 여전히 들립니다. 녹음 내용을 들을 때는 헤드폰을 사용하는 것이 좋습니다.

4 다양한 환경에서 수행한 녹음의 측정 결과

본 분석은 철저하게 사람의 음성 수음에 초점을 맞추고 있습니다. 총성과 같이 음압이 더 강력한 소리는 이보다 훨씬 더 먼 거리에서도 명확하게 들릴 수 있습니다. 녹음된 오디오에서 각 문장 단위로 분석 및 측정을 진행했으며, 녹음된 문장별로 신호 대 잡음비(SNR)를 추정했습니다.

여기서 SNR은 음성 + 노이즈 - 배경 노이즈의 수식으로 추정되었습니다. 원칙적으로는 음성 레벨 - 노이즈 레벨로 계산하는 것이 더 정확하지만, 실제 환경에서 노이즈를 완벽하게 배제하고 음성 레벨만을 측정하는 것은 불가능합니다. 따라서 음성 레벨이 노이즈 레벨에 가까울수록 SNR의 정확도가 낮아집니다.

장소 및 배경 노이즈:	교통 소음이 발생하는 실외 환경: 61–68dBspl[A]	조용한 복도: 32dBspl[A]	넓은 로비: 42dBspl[A]	반사음이 없는 완전한 무음 상태의 자유 공간
거리(m)	SNR [dB] (추정치)	SNR [dB] (추정치)	SNR ([dB] 추정치)	이론적 SNR = 음성 레벨 – 마이크 노이즈 [dB]
1	2.4	29.4	21.5	32.0
2	1.0	25.6	17.2	26.0
4	0.5	23.4	14.2	20.0
8	0.4	18.9	11.2	13.9
16	청취 불가	17.5	6.3	7.9
24	청취 불가	14.8	5.4	4.4

32	청취 불가	복도 구간이 너무 짧음	4.6	1.9
40	청취 불가	복도 구간이 너무 짧음	4.7	0.0

이론적으로 거리가 두 배가 되면 음성 레벨의 변화량은 -6dB가 되어야 합니다. 따라서 SNR도 그에 따라 감소해야 합니다. 이 표를 보면 복도와 로비의 SNR이 예상보다 높다는 것을 알 수 있습니다. 실내 반사음으로 인해 음압 레벨이 높아졌기 때문입니다. 특히 복도에서는 벽, 바닥, 천장이 소리의 도파관 역할을 합니다. 그 결과 음량과 SNR은 자유 공간의 이론적 SNR보다 약 10dB 높아집니다. 이는 복도에서 24m 거리로 테스트했을 때의 결과입니다.

단일 무지향성 마이크의 등가 음향 자체 노이즈보다 배경 노이즈가 높으면, 수음 범위는 마이크가 아니라 주변 환경의 배경 노이즈에 전적으로 좌우됩니다.

부록 1 부록

- 데시벨 음압 레벨**(dBspl):** 20μPa를 기준값으로 측정한 데시벨(dB) 단위의 음압 레벨입니다. 노이즈와 음성 레벨을 측정할 때는 일반적으로 시간 적분 RMS 레벨을 사용합니다. 이를 파워 레벨이라고 부르기도 합니다.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T2 - T1}\int_{T1}^{T2}[f(t)]^2\,dt}$$

  가장 널리 사용되는 두 가지 적분 시간은 시간 창이 125ms인 '고속 RMS'와 1초인 '저속 RMS'입니다. 노이즈 플로어를 분석할 때는 이보다 더 긴 시간 동안의 평균 레벨을 구하는 경우가 많습니다.

- **A-가중 필터를 적용한 음압 레벨 (dBspl[A]):** dB(A)로 표기하기도 합니다. dBspl 레벨에 사람의 청각 특성을 반영한 A-가중치를 적용한 값입니다. A-가중은 측정된 음압 레벨이 실제 사람이 느끼는 소리의 크기와 더 잘 일치하도록 마이크 신호를 필터링하는 방식입니다. 사람의 청각은 500Hz 미만의 저주파 대역과 10kHz 이상의 고주파 대역에서 감도가 떨어지기 때문에 이러한 필터링이 필요합니다.

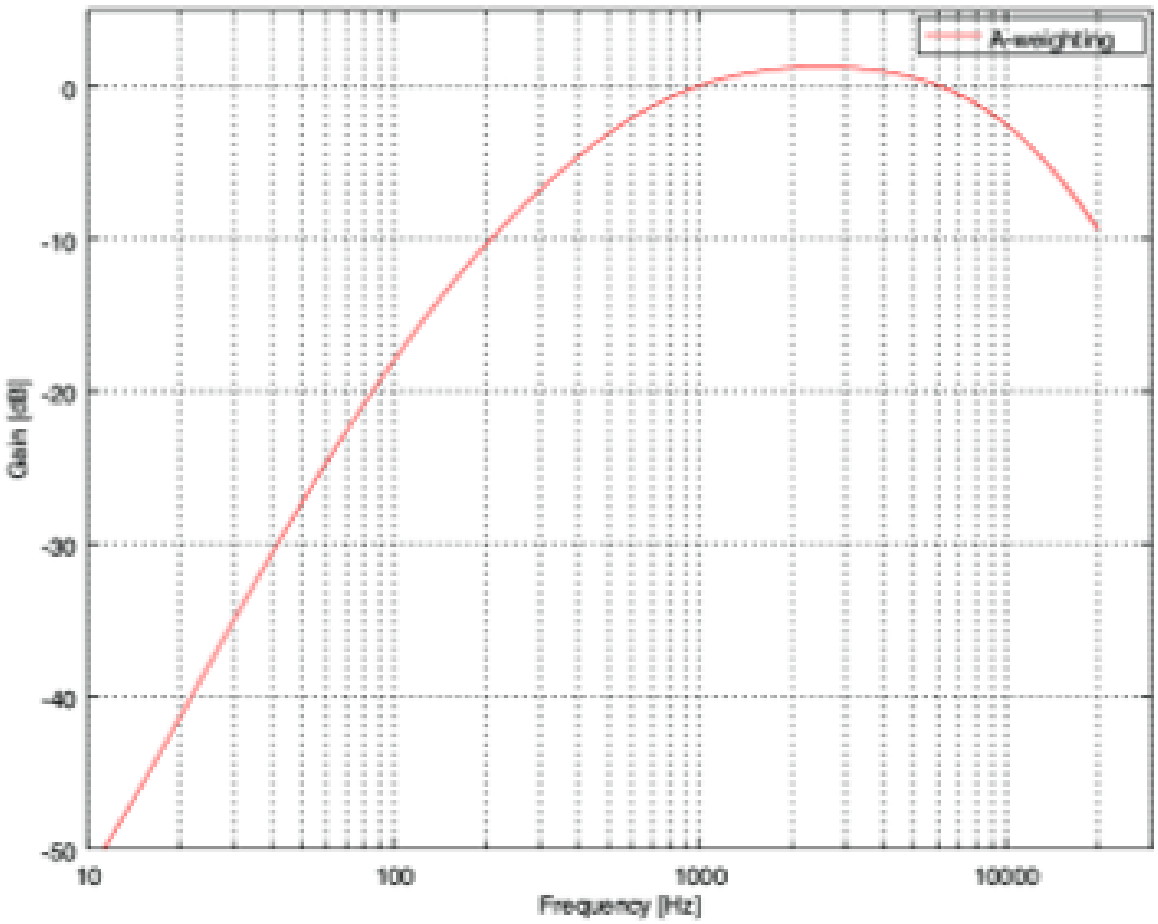


그림 .1 *A-가중 필터.*

- 데시벨 풀 스케일 피크**(dBFSpeak/dBFSp)**는 디지털 시스템에서 표현할 수 있는 최대 진폭(Full Scale)을 기준으로 한 디지털 오디오 진폭을 의미합니다. 클리핑이 발생하지 않는 최대 디지털 진폭의 사인파는 그 피크값이 0dBFSp가 됩니다.

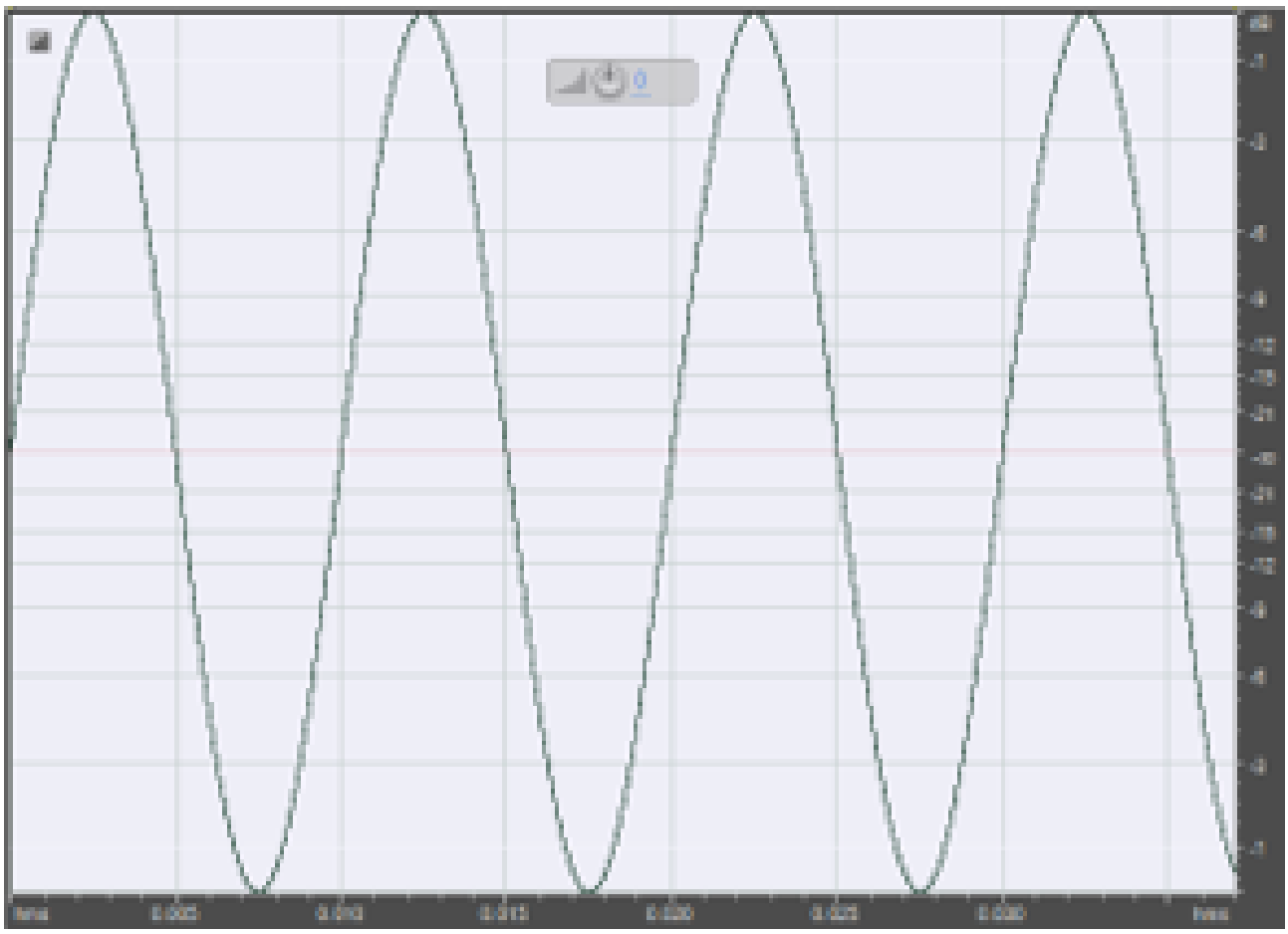


그림 .2 *진폭이 0dBFSpeak인 신호의 예시입니다.*

- **dBFSrms**는 디지털 신호의 오디오 파워 레벨을 의미합니다. 피크값이 0dBFSpeak인 풀 스케일 사인파라도 단위를 정의하는 방식에 따라 RMS 레벨이 달라질 수 있습니다. 마이크 데이터시트에서는 풀 스케일 사인파를 0dBFSrms로 정의하고 있으며, 본 백서에서도 동일한 이유로 이 정의를 따르고 있습니다. 일반적으로 풀 스케일 사인파를 -3dBFSrms로 정의하는 방식이 수학적으로 더 엄밀하며, 아날로그 영역에서의 RMS 및 피크 레벨 정의 방식과도 더욱 일관됩니다. 이 후자의 정의를 따를 경우 풀 스케일 구형파가 0dBFSrms가 됩니다.
- **마이크 감도**란 음향 입력이 1kHz 사인파일 때 1Pa, 0dB Pa 또는 94dBspl(동일한 음압 레벨을 나타내는 세 가지 표현) 기준에서 측정되는 마이크의 출력 레벨입니다.
- **신호 대 잡음비(SNR):** 오디오 레벨을 dB 단위로 표현할 때, 신호 레벨과 노이즈 레벨의 차이를 계산하여 나타낸 비율입니다.
- **마이크 SNR**은 완전한 무음 환경에서 94dBspl의 1kHz 테스트 톤을 재생했을 때 측정한 마이크의 출력 레벨과 자체 노이즈 레벨 간의 차이로 계산됩니다. 디지털 MEMS 마이크의 일반적인 SNR 수치는69dBspl[A] 수준입니다.
- 이 백서에서 말하는 **음성 SNR**은 사람의 음성 레벨과, 음성이 없을 때 측정한 A-가중 노이즈 레벨을 비교한 값을 의미합니다. SNR은 데시벨(dB) 단위로 측정됩니다. 음성의 이론적 수음 범위를 계산할 때, 허용 가능한 최저 SNR의 기준으로 0dB 음성 SNR을 사용합니다. 이러한 조건에서 언급되는 노이즈에는 마이크 자체 노이즈뿐만 아니라 환경 노이즈 및 전기적 노이즈가 모두 포함됩니다.
- **마이크 노이즈 레벨:** 마이크의 디지털 노이즈 레벨은 dBFSrms 단위로 측정됩니다. 일반적으로 최고 성능을 자랑하는 디지털 마이크의 이론적인 노이즈 플로어는 -105dBFSrms[A] 수준입니다.
- **마이크의 등가 음향 노이즈**는 94dBspl의 테스트 레벨에서 마이크의 SNR 값을 빼는 방식으로 계산할 수 있습니다. 이에 대한 가장 대표적인 계산 예시는 94 – 69 = 25dBspl[A]입니다.

T10245238_KO/KO/M1.4/2609

Axis Communications에 대하여

Axis는 보안, 안전, 운영 효율성 및 비즈니스 인텔리전스를 향상시켜 더 스마트하고 더 안전한 세상을 실현합니다. 네트워크 기술 회사이자 업계 선도 기업인 Axis는 영상 감시, 접근 제어, 인터콤 및 오디오 솔루션을 제공합니다. 이러한 솔루션은 지능형 분석 애플리케이션으로 보완되고 고품질 교육을 통해 지원됩니다.

50개 이상의 국가에서 약 5,000명의 Axis 임직원이 전 세계의 기술 및 시스템 통합 파트너와 협력하여 고객에게 최적의 솔루션을 제공하고 있습니다. Axis는 1984년에 설립되었으며 본사는 스웨덴 룬드에 있습니다.

© 2026 — Axis Communications AB. AXIS COMMUNICATIONS, AXIS, ARTPEC 및 VAPIX는 각 관할 지역에서 Axis AB의 등록상표입니다. 모든 다른 상표는 각 소유주의 재산입니다. Axis는 사전 통지 없이 수정할 권리를 갖고 있습니다.