

음향기기 성능의 **객관적** 측정 방법

Benchmark Media AHB2 파워앰프 측정과정

■ 글: 오현일 대표(STUDIO51) ■ 사진: 이신우 기자
■ 자료 제공: STUDIO51, (주)소니캐스트, 이신렬 음향공학 박사, (주)비엔피인터내셔널



좋은 음향을 좋은 음질로 듣기 위해서는 이어폰/헤드폰 혹은 스피커 등의 변환기(Transducer) 뿐 아니라 신호를 재생하는 소스기기, 신호를 전달하는 케이블, 신호를 증폭하는 앰프에 이르기까지 무엇보다도 중요하지 않은 것이 없다. 지난 호에는 (주)소니캐스트의 'Dirac Mk2' 및 'Dirac plus Mk2'의 측정을 통해 커널형 이어폰을 어떻게 측정하는지, 그리고 객관적인 음향 성능을 어떻게 평가하는지에 대해 알아보았다. 사실 이어폰, 헤드폰, 스피커는 기계적인 요소가 많고 감성적인 요소가 많아 지금까지는 음향 측정 장비를 이용한 객관적인 측정 성능보다는 주관적인 평가가 주로 이루어져 왔다.

하지만 앰프나 음향 재생기의 경우에는 특히 디지털기기 중심으로 음악 감상 환경이 바뀌면서 THD+N이나 다이내믹레인지 또는 비트 수와 주파수 재생 범위 등 손쉽게 성능을 확인할 수 있는 지표들이 사양서에 첨부되기 때문에 수치적으로 우수하면 좋은 기기로 인식되고 비싼 가격으로 이어지게 되었다. 파워앰프의 경우 단순히 앰프의 출력, THD, 그리고 브랜드로만 가격이 결정된 셈이었다.

그러나 실제로 제조사에서 제공하는 사양 값이 동일한 파워앰프라 할지라도 음악을 들어보면 청감상 차이는 매우 크게 나타난다. 그리고 이는 거의 미신의 영역이나 다름 없는 '구동력', '반응력' 등의 애매한 용어로 표현되어 있었다. 사실 파워앰프와 함께 연결되어 사용되는 스피커는 전기회로의 기본 요소인 저항, 커패시턴스, 인덕턴스의 요소를 모두 가지고 있다. 보통 스피커를 이야기할 때 저항만 이야기하지만 스피커가 갖고 있는 커패시턴스, 인덕턴스 성분은 전류와 전압간의 위상차를 가져온다. 다소 복잡한 이야기지만 쉽게 풀어보면 파워앰프의 성능 측정 시 8Ω 더미 저항을 연결한 것과 같은 8Ω 스피커를 연결한 것은 그 결과가 판이하게 다르다는 것이다.

파워앰프는 더미 저항보다 실제 스피커를 연결했을 때 훨씬 가혹한 환경에 처하게 된다. 또한 크로스오버 네트워크를 내장한 스피커의 경우 네트워크 회로의 설계 방법에 따라 파워앰프가 더욱 가혹한 상황에 처하게 된



더미저항을 사용할 경우 파워앰프 성능을 정확히 측정할 수 없다.

다. 말하자면 파워앰프의 성능을 정확하게 측정하기 위해서는 다양한 전류와 전압간의 위상차와 다양한 임피던스 상황에서 측정되어야 한다는 것이다. 그렇다고 실제 스피커를 물려서 측정하게 되면 스피커의 RLC 특성이 매우 복잡하고, 스피커의 왜곡이 앰프 왜곡보다 훨씬 크기 때문에 파워앰프 성능을 측정하는 것이 아니라 스피커 특성을 측정하게 된다. 그렇기에 스피커 RLC 성분을 정밀하게 모사할 수 있는 Active Loadbox와 같은 스피커 모사 장치가 필요하다. 아쉬운 점은 지금까지 이런 측정치를 제공하는 제조사가 거의 없었다는 것이다. 이는 제조사가 자사 앰프의 구체적인 성능이 밝혀지는 것을 싫어하는 부분도 있었겠지만 제대로 된 고가의 측정 장비가 없었던 이유도 크다.

하지만 Audio Precision, Audio Graph를 비롯한 음향기기 측정 장비 전문 제조사들의 꾸준한 노력으로 현재 각종 앰프들의 성능을 다각도로 측정할 수 있는 장비들이 출시되고 있어 오디오 업계가 건전하게 재편되는 상황까지 기대할 수 있게 되었다.



전기적 음향 성능 측정

전기적 음향 성능 측정은 어쿠스틱 음향 성능 측정 및 평가보다 어떤 면에서는 쉽고 명확하다고 할 수 있다. 3차원적으로 퍼져나가는 음향 특성을 측정하기 위해 무향실과 마이크로폰 어레이를 사용해야 하는 복잡한 어쿠스틱 음향 측정 및 평가와는 달리 전기적 음향기기 측정은 신호의 경로가 신호 선을 따라서만 움직이는 1차원적인 현상이고, 입력 신호 대비 출력 신호 특성을 비교만 하면 되기 때문에 측정은 물론 그 결과의 평가도 비교적 쉽다고 할 수 있다(물론 깊이 들어가면 전자기파와 같은 3차원적 신호 전파 현상도 미미하게 존재한다).

측정 장비는 입력 파형과 출력 파형을 비교함으로써 DUT(Device Under Test, 측정 대상 장비)의 평가가 이루어진다. 측정법에는 DAC, 파워앰프, 헤드폰 앰프와 같이 디지털 혹은 아날로그 신호를 DUT에 입력시키고 DUT 출력이 측정 장비에 연결되어 완전한 루프를 형성하는 클로즈드 루프(Closed Loop) 측정법과 신호음을 재생만 하는 스마트폰, MP3, DAC와 같이 DUT 출력이 측정 장비에 연결되어 있지 않은 오픈루프(Open-Loop) 측정법이 있다. 이번 측정의 DUT인 AHB2는 아날로그 입력과 출력을 가지는 장비이기 때문에 Closed-Loop 테스트로 진행했다.

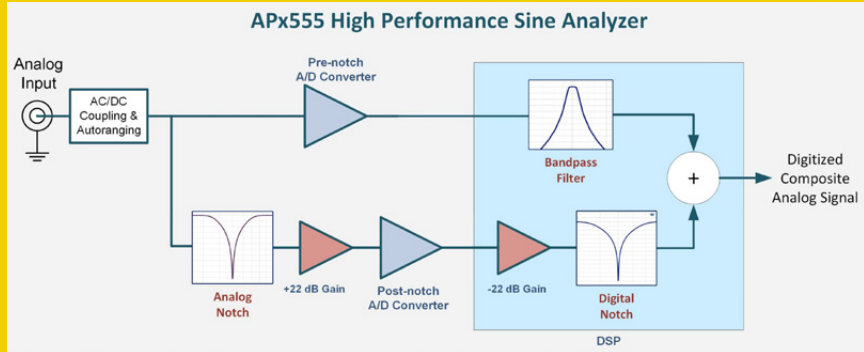
Benchmark Media의 AHB2는 아주 낮은 THD와 저잡음 성능을 가지고 있는 파워앰프로, 일부 성능은 AudioPrecision사의 APx525 장비 측정 범위를 벗어나, AudioPrecision의 한국 수입사인 B&P인터내셔널의 도움으로 AudioPrecision의 최상급 모델이자, 현존하는 가장 높은 성능의 전기적 음향 측정장비인 APx555를 지원받아 테스트를 진행하게 되었다. 이 자리를 빌어 고가의 최신 장비인 APx555 장비를 제공해주신 (주)비앤피인터내셔널에 감사를 표한다.

2

AudioPrecision APx 555

APx 555는 아날로그와 디지털을 동시에 적용한 듀얼 도메인 측정 기법을 사용하여 측정의 정확도를 높이고 노이즈 레벨을 극소화시킨 제품이다. APx555의 High Performance Sine Generator를 활성화시키면 기존의 DAC 대신에 아날로그 도메인의 RC 발진기가 동작하여 더욱 높은 순도의 사인파를 출력하며, High Performance Sine Analyzer를 활성화시킬 경우 아날로그 노치 필터링된 신호를 아날로그 증폭 후 ADC에 입력하고, 다시 디지털 상태에서 감쇄시킨 후 디지털 필터를 사용하여 노치 필터링을 추가로 적용시킴으로서 더욱 낮은 노이즈 레벨까지 측정할 수 있게 되었다. 입출력 단자로는 2개의 밸런스드와 언밸런스드 아날로그 입출력, AES/EBU, TOSLINK, SPDIF를 포함한 192K 디지털 입출력을 모두 지원한다. 추가로 Digital Serial, ARC를 포함한 HDMI, PDM, 블루투스 옵션을 통해 I/O를 확장시킬 수 있으며 새로운 Advanced Master Clock(AMC) 모듈은 외부 장비와 APx555를 동기시키기 위해 클럭 신호의 입출력을 가능하게 해준다.

또한 파워앰프 측정을 위한 특화된 기능이 돋보이는데 연속적인 최대 출력과 피크 최대 출력의 자동 측정, DIM 측정, 조정된 주파수 스윕을 이용한 파워 스펙트럼 보기, CEA-2006, CEA-490A 표준에 의해 규정된 측정 수행 및 일반적인 동위상 노이즈 제거 능력 측정뿐만 아니라 IEC60268 14.15.1 에 따른 CMRR 측정이 모두 가능하다.



디지털과 아날로그 신호처리를 동시에 적용한 하이브리드 측정 방식을 도입하여 현존하는 오디오 분석기 중 최고의 정밀도와 최저 노이즈 레벨을 나타낸다.



AudioPrecision APx 555는 현존하는 최고 성능의 오디오 분석기이다.

3 측정개요

어쿠스틱 음향측정과는 달리 전기적 음향성능 측정은 별도의 마이크로폰을 요구하지 않는다. 일반적인 DAC 및 앰프 연결법과 동일하게 측정 장비와 잘 차폐된 케이블을 이용하여 연결하면 된다. 또한 입출력 조건을 잘 맞추어야 하는데 디지털 입력기기의 경우에는 측정 장비의 디지털 출력 레벨과, 샘플링레이트를 맞추어야 하고, 아날로그 입력기기의 경우에는 제조사에서 정한 입력 레벨 혹은 자체 기준을 통해 최대 입력 레벨을 정의할 필요가 있다.

음향신호 측정 시 대역 폭과 가중 필터를 정의해야 한다. 본 측정에는 AES 및 IEC 표준에 근거하여 인간의 가청 한계인 20Hz~20kHz의 대역폭을 가지는 Elliptic 필터를 사용하였으며, 노이즈 및 SNR 측정에는 사람의 청감 곡선을 고려한 A-weighting 필터를 사용하였고, 디지털 신호음의 경우 CCIR-2K 필터를 사용하였다. 측정할 파워앰프인 AHB2는 Balanced 입력을 받으며, 제조사에서 +22dBu를 권장 입력 레벨로 정의하고 있기 때문에 잔류 노이즈 측정을 제외한 대부분의 입력 신호의 크기는 +22dBu로 정했다.

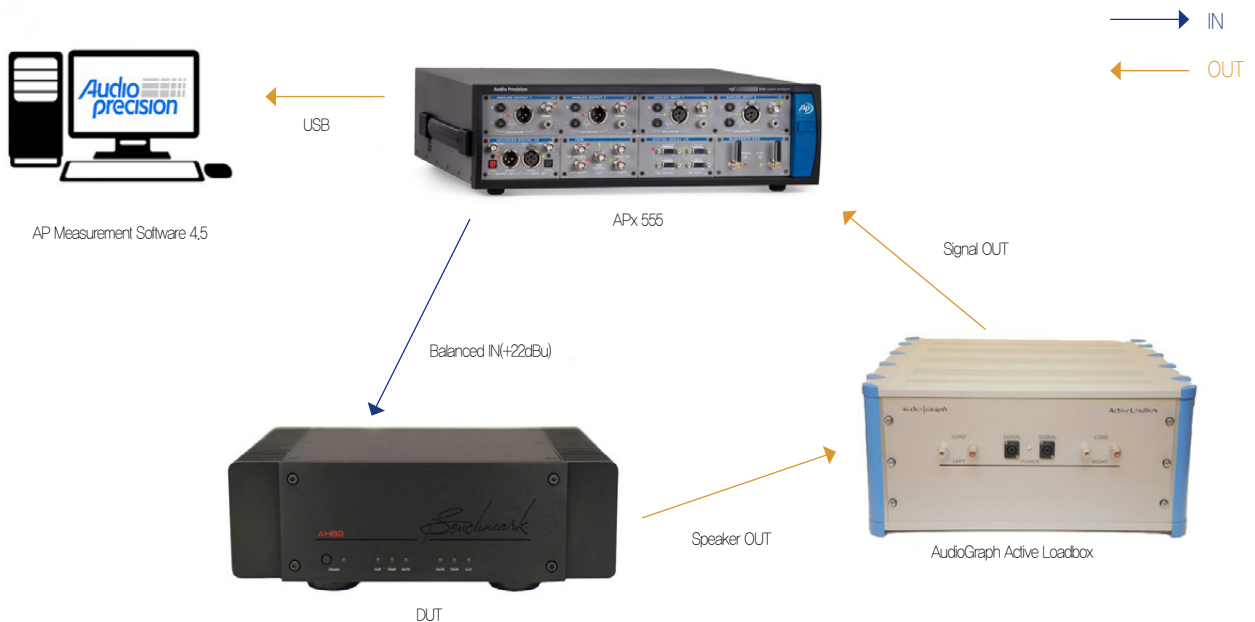


측정 대상이 될 DUT인 Benchmark Media AHB2 파워앰프



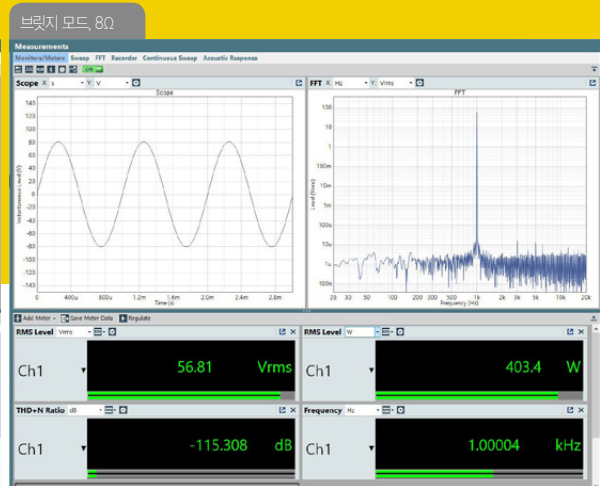
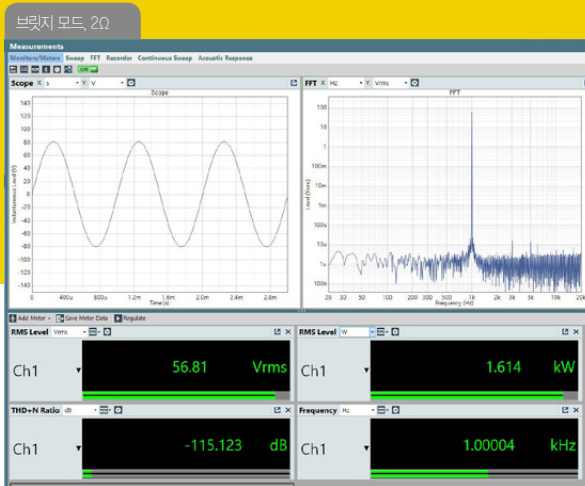
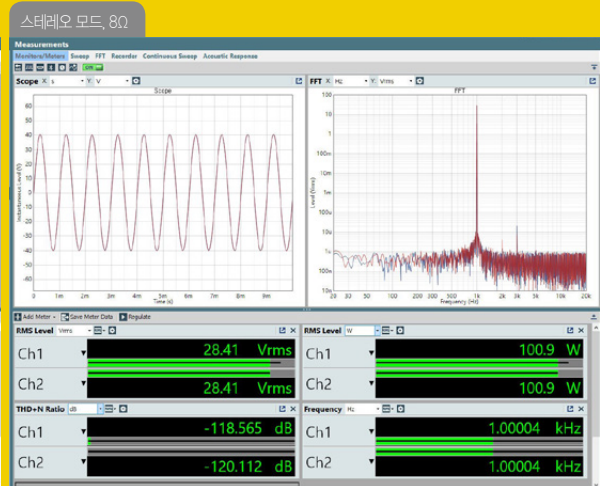
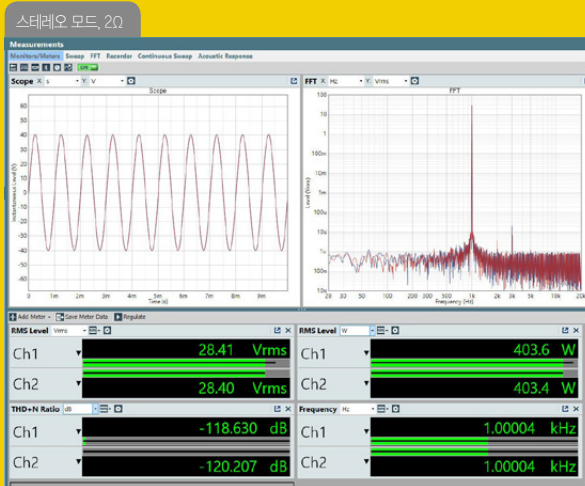
Audio Precision, Audio Graph를 비롯한 음향기기 측정 장비 전문 제조사들의 꾸준한 노력으로 현재 각종 앰프들의 성능을 다각도로 측정할 수 있는 장비들이 출시되고 있어 오디오 업계가 건전하게 재편되는 상황까지 기대할 수 있게 되었다.

AHB2는 파워앰프 제품으로 실제 부하인 스피커가 연결되어 동작하기 때문에 부하를 연결해 측정을 해야만 실제 성능을 파악할 수 있다. 하지만 스피커와 같은 실제 부하를 연결하게 되면 서두에 설명했듯이 측정 결과값에 스피커의 왜곡 성분이 반영되기 때문에 정확한 파워앰프 성능을 측정할 수 없다. 이를 해결하기 위해 실제 스피커 부하를 모사하는 Active Loadbox를 사용한다. Active Loadbox는 스웨덴 AudioGraph사에서 만든 장비로 1Ω, 2Ω, 4Ω, 8Ω 순수 저항성 부하와 0, ±30, ±60도 전압, 전류간 위상차를 가지는 인덕턴스(Inductance)와 커패시턴스(capacitance) 부하를 모두 가지고 있어 총 20가지의 스피커 모사가 가능하다. AHB2는 기본적으로 스테레오 파워앰프이나 두 채널을 합쳐서 두 배의 출력을 제공하는 브릿지(Bridge) 모드를 지원하기 때문에 브릿지 모드의 측정 과정도 모두 포함했다. 각 측정항목 옆의 괄호는 측정 장비의 입출력 조건에 대해 설명한다.

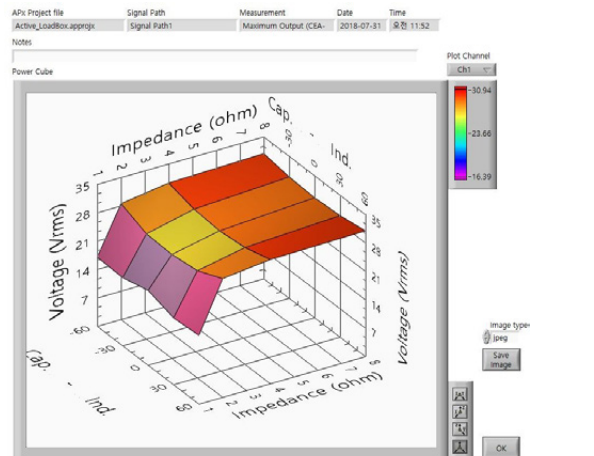


1. 최대 출력 (+22dBu, 1,000Hz, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz)

최대 출력은 음향기기가 출력할 수 있는 최대 크기값을 의미한다. 단위는 일반적으로 Vrms를 사용하나, 파워앰프의 경우에는 W(watt) 표기를 병행하며, 더미부하 연결 후 각 채널당 출력을 나타낸다. 일반적으로 낮은 임피던스를 연결할수록 더 많은 전류를 흘려 보내고 더 큰 출력을 내보내며 모든 부하 조건에서 평탄한 파워큐브 응답을 나타내는 앰프가 대부분의 스피커를 손쉽게 구동시키는 좋은 앰프라고 말할 수 있다.



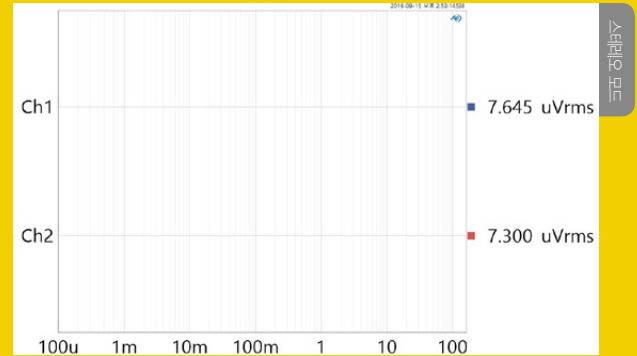
그래프를 보면 알 수 있듯이 8Ω에서 4Ω에 이르기까지 출력 전압 강하는 거의 발견할 수 없으며, 2Ω 부하 연결 시에도 전압 강하는 매우 적다. 무엇보다 하프 랙 사이즈의 작은 파워앰프임에도 불구하고 브릿지 모드 2Ω 출력이 1,600W에 이른다. 또한 주목할 점은 파워큐브 응답인데 스테레오 모드에서 1Ω 부하 ±30°, ±60° 위상 차 부하 조건에서도 출력을 동일하게 나타내는 놀라운 특성을 나타냈다.



스테레오 모드에서의 파워큐브 응답

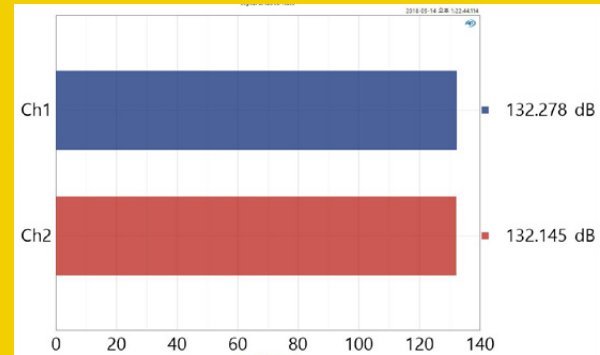
2. 잔류 노이즈 (Silence undithered, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz, A-wgt)

잔류 노이즈는 기기가 자체적으로 발생하는 노이즈를 말한다. 측정값이 낮을수록 '화이트 노이즈' 라고 불리는 기기 잡음이 작아지기 때문에 미세한 신호음까지 잘 표현할 수 있다. 스테레오 모드에서 약 7.5 μ Vrms의 노이즈 레벨을 나타낸다. 이는 상당히 고가의 DAP나 DAC 장비에서 볼 수 있는 측정 값으로, 이어폰을 연결하여 듣더라도 잡음을 듣기 어려운 정도의 노이즈 레벨 수준이다. 이 제품은 스피커를 연결하는 파워앰프임을 상기한다면 매우 조용한 환경에서도 앰프가 원인이 되어 발생하는 노이즈를 듣는 것은 불가능하다. 브릿지 모드에서는 다소 상승한 10.5 μ Vrms이지만 이 역시 극히 작은 레벨이다.

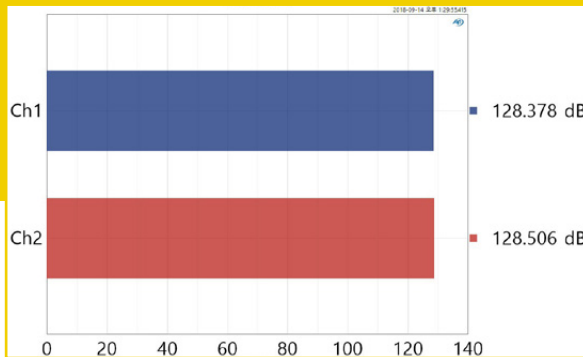


3. SNR (1,000Hz, +22dBu, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz, A-wgt)

SNR(Signal to Noise Ratio)은 신호대 잡음비의 약자다. 1번에서 측정한 최대출력과 2번에서 측정한 잔류 노이즈 사이의 간격을 dB로 표기한다. 이미 1, 2번 항목에서 우수한 측정값을 나타냈기 때문에 좋은 결과를 쉽게 예상할 수 있다. 스테레오 모드의 경우 132.2dB로 매우 우수하다. 브릿지 모드의 경우 잔류 노이즈가 다소 상승했음에도 불구하고 높아진 출력으로 인해 134.8dB에 이르는 SNR을 나타낸다.



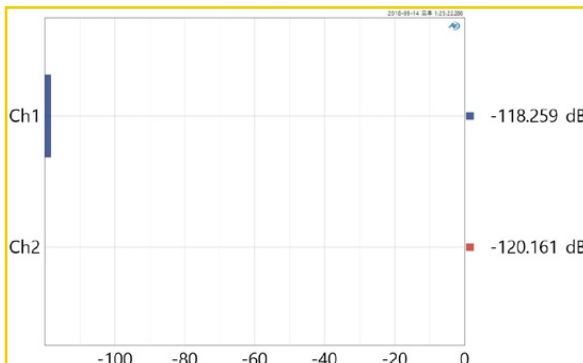
스테레오 모드에서 SNR은 약 132.2dB를 기록했다.



스테레오 모드에서 DNR은 약 128.5dB를 나타낸다.

4. DNR (1,000Hz, -60dB, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz, CCIR-2K wgt)

DNR(Dynamic Range)는 -60dBFS 신호음을 사용하여 측정한다. 기본적으로 SNR과 동일한 값이 나오나, -60dBFS 신호음과 웨이팅 필터가 달라 DNR쪽이 3~4dB 정도 작다. 몇몇 DUT에서는 노이즈 게이트(Noise Gate) 기능이 들어 있어 입력 신호음이 없거나, 매우 작은 신호음이 출력 중일 때 신호 출력을 차단시켜 정상적인 측정이 불가능한 경우도 있다. 이 경우 DNR 측정은 불가능하며 SNR값을 사용한다. 이 제품은 별도의 노이즈게이트 기능이 없어 SNR보다 약간 작은 DNR 값을 나타낸다. 이 값은 앞서 설명했듯이 -60dBFS 신호음과 웨이팅 필터 영향에 따른 것이다. 브릿지 모드에서는 131.4dB 값을 나타냈다.



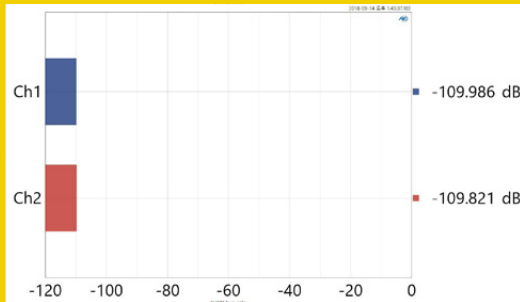
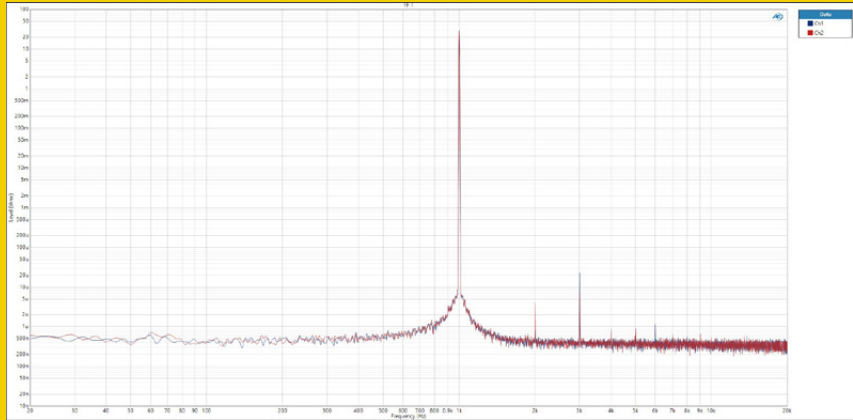
스테레오 모드에서 THD+N는 -120dB에 가까운 값을 보인다.

5. THD+N (1,000Hz, +22dBu, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz)

THD+N(Total Harmonic Distortion + Noise)는 DUT의 배음 왜곡과 노이즈를 측정한다. 앰프가 최대 출력으로 동작하는데도 THD+N은 거의 기기 자체 노이즈 레벨과 비슷한 수준을 나타낸다. 두 배의 출력으로 동작하는 브릿지 모드에서도 -118dB를 상회하는 값을 보여 매우 우수한 성능을 나타낸다.

6. THD+N FFT (1,000kHz, +22dBu, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz)

이는 THD+N 측정값을 고속 푸리에 변환 (Fast Fourier Transform)을 통해 주파수 축에서 표현한 그래프이다. 짝수차 배음 왜곡은 비대칭 혹은 DC-offset 왜곡을 의미하고, 홀수차 배음 왜곡은 컴프레션 혹은 클리핑 왜곡을 의미한다. 그래프로 보았을 때 2차, 3차 왜곡이 보이긴 하지만 크기 값에 주목할 필요가 있다. 크기 값은 20 μ Vrms로 앞서 측정 기기의 노이즈 레벨과 큰 차이가 없다. 일반적인 오디오 측정 장비라면 이것을 상회하는 노이즈 레벨 값을 가져 FFT에서 볼 수 없게 된다.



스테레오 모드 IMD 측정 시 -110dB에 가까운 값을 보인다.

7. IMD (SMPTE, 41Hz, 7,993Hz, 4:1 ratio,

CCIF 18kHz, 20kHz 1:1 ratio +22dBu, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz)

IMD (Inter Modulation Distortion)는 상호 변조 왜곡을 나타낸다. THD는 하나의 사인파를 통해 배음 왜곡을 측정한다면 IMD는 두개의 사인파를 사용하여 상호 변조 왜곡을 측정하기 때문에 THD 보다 실제 음원에 근접한 특성을 보인다. IMD 왜곡은 일반적으로 사람의 귀에 더욱 잘 감지된다고 알려져 있지만 현재 음향기기 측정에서 잘 쓰이지는 않는다. THD+N 보다는 좀 더 엄격한 기준이라고 할 수 있다.

두 개의 사인파를 동시에 입력하여 측정하는 IMD는 스테레오 모드에서 -110dB, 브릿지 모드에서 -113.3dB로 매우 우수하지만 상대적으로 THD보다는 작은 값이다. 이는 DUT 측정 값이 아닌 APx 555 장비의 High Performance Sine Analyze 가 IMD 측정을 지원하지 않아 측정기기의 IMD 값이 함께 측정되었기 때문으로 해석된다.

8. 주파수 응답 (1Hz~96kHz, +22dBu, HPF: 20Hz, LPF: 100kHz)

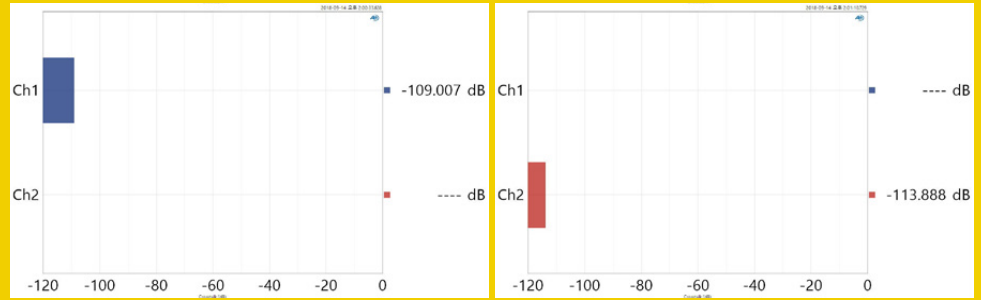
주파수 응답 (Frequency Response)는 DUT의 음색과 대역 폭을 판단한다. 평탄하고 넓은 대역 폭을 가진 DUT가 좋은 음향기기이다. 주파수 응답은 최대 출력에서 측정했음에도 불구하고 20kHz까지 완벽하게 평탄하다. 이는 입력되는 신호가 원음 그대로 증폭됨을 의미한다.



빨간색은 스테레오 모드이고, 파란색은 브릿지 모드 측정값이다.

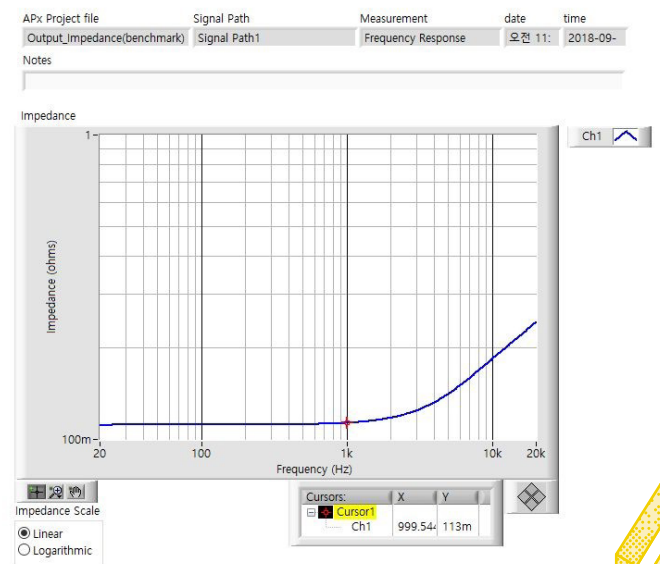
9. 크로스토크 (10kHz, +22dBu, HPF: 20Hz, LPF: 20kHz)

크로스토크는 좌우 채널의 간섭 정도를 나타낸다. 크로스토크 값이 낮을수록 좌우가 더 명확하게 분리된 스테레오 이미지를 전달하며, 내부에 흐르는 신호간의 전자기파 상호 간섭이 적다는 뜻이기 좋은 설계를 바탕으로 제작된 음향기이라고 할 수 있다. 고주파수로 갈수록 전자기파에 의한 크로스토크 값은 나빠지는데 AHB2는 크로스토크가 -110dB 수준으로 다른 채널에 미치는 영향이 거의 없음을 알 수 있다.



스테레오 모드에서 Ch1과 Ch2의 분리도는 110dB에 이른다.

출력 임피던스 값은 1kHz에서 0.1Ω 수준이지만 이는 측정 케이블의 성능과 관련이 크다.



10. 출력 임피던스 / 댐핑 팩터

[20~20kHz, 20dBu, HPF: 20Hz, LPF: 100kHz]

출력 임피던스는 앰프 출력단의 임피던스를 측정한다. 출력 임피던스가 낮을수록 댐핑 팩터 값이 높아진다. 임피던스 그래프의 변동 폭이 큰 스피커일수록 출력 임피던스값에 민감하게 반응하며 출력 임피던스가 낮을수록 댐핑(특히 공진주파수 부근)값이 높아져 좋은 소리를 출력한다. 출력 임피던스는 1kHz에서 0.1Ω 수준인데 제조사에서 제공한 0.02Ω과 비교했을 때 현저히 높은 수치이다. 이는 앰프의 실제 출력 임피던스가 아닌 측정 시 케이블의 도선 저항이 측정치에 함께 반영되었기 때문이다. 테스트에 사용된 케이블 도선 저항을 테스트로 재보니 0.1Ω에 가까운 값이 측정되어 0.02Ω이 앰프출력 임피던스 값을 확인할 수 있었다.

4 결론

IMD 왜곡은 일반적으로 사람의 귀에 더욱 잘 감지된다고 알려져 있지만 현재 음향기 측정에서 잘 쓰이지는 않는다. THD+N 보다는 좀 더 엄격한 기준이라고 할 수 있다.

Benchmark Media AHB2는 모든 측정 항목에서 최상위 수준의 전기적 음향 성능을 나타냈다. 하프랙 사이즈의 소형 제품임에도 불구하고 다양한 부하에서도 일정한 전압을 공급했고, 브릿지 모드에서는 2Ω에서 1,600W의 출력 성능을 보여 주었다. 또한 스테레오 모드에서는 매우 가혹한 동작 환경인 1Ω 임피던스 부하, ±30, ±60도 인덕턴스, 커패시턴스 부하 조건에서도 일정한 전압을 출력했다. 이는 시중에 '구동하기 어려운 스피커'라고 일컫어지는 낮은 임피던스 및 위상이 크게 틀어진 스피커에서도 거의 완벽한 구동이 가능하다고 할 수 있다.

또한 첨단 측정 장비의 측정 한계를 초과하는 SNR과 THD 수치는 매우 인상적이다. 8Ω에서 100W, 2Ω에서 400W까지 출력 가능한 스테레오 모드는 일반적인 사용 환경에서도 결코 부족한 출력이 아니지만, 더욱 큰 출력이 필요하다면 브릿지 모드를 사용해서 2Ω에서 1,600W 까지 출력이 가능하기 때문에 다양한 환경에서 사용이 가능한 범용적인 고성능 파워앰프라고 말할 수 있다. Ⓜ