Peak and Harmonic Analyzer ver.1.0.0 User Manual

Hwang Il Seok[1]

[1] *H.I.S. Violin Atelier* / `www.hisviolins.com` / `hisviolins@gmail.com`

November 20, 2026

본 프로그램은 입력된 소리(Sound file)의 Power spectrum을 표시하고, 그 Power spectrum이 가지고 있는 여러 개의 Peak 위치(주파수), 또는 기본음(f0)과 배음(Harmonic)의 위치를 한 번에 표시해 주는 프로그램입니다.

일반적으로 Power spectrum에는 셀 수 없이 많은 Peak가 있으므로, 본 프로그램은 그중 어떤 Peak를 표시할지 고르는 필터로《Prominence》와《Min Peak Height》두 가지를 제공합니다. Prominence는 Peak가 주변보다 돌출한 정도로서 이 값보다 많이 돌출한 Peak만 표시합니다. Min Peak Height는 Peak 꼭지점의 값(데시벨)으로, 이 값보다 높은 Peak만 표시합니다.

악기음처럼 배음이 있는 소리는 기본음(f0)과 배음의 위치를 Peak 필터와 관계없이 따로 찾아 표시합니다. 이중음(Double stop)이나 화음처럼 두 개 이상의 음이 함께 울리는 소리는 음마다 배음 세트를 따로 찾아 구분해서 표시하며(최대 5개 세트), Peak와 배음은 각각 따로 표시하거나 숨길 수 있습니다. 또한 최대 8개의 소리를 하나의 그래프에 겹쳐서 표시하여 여러 소리를 비교할 수 있습니다.

계산 과정은 다음과 같습니다. 임의의 소리 A가 있을 때,

1. A의 중앙부에서 Analysis Length만큼 발췌하여 주파수 스펙트럼(FFT : Fast Fourier Transform)을 구한다.
2. 마이크 보정을 선택한 경우, 스펙트럼에서 마이크의 주파수 특성을 보정한다.
3. Prominence 값보다 많이 돌출하고 Min Peak Height 값보다 높은 Peak만 추출하여 그 꼭지점에 주파수를 표시한다.
4. 배음이 있는 소리이면 기본음(f0)과 배음의 위치를 찾아 표시한다. 두 개 이상의 음이면 음마다 배음 세트를 따로 표시한다.

1 용도

어떤 소리가 가진 Peak 또는 배음을 한 번에 확인하거나, 여러 소리의 Peak 또는 배음을 하나의 그래프에 표시하여 비교하고 싶은 경우에 사용할 수 있습니다.

바이올린의 경우 예를 들면 다음과 같습니다.

- 앞판, 뒷판의 작업 과정 중 Mode 1, 2, 5의 탭톤(Tap tone) 확인 및 비교
- 연주음의 기본음(f0)과 배음의 위치·크기 확인
- 이중음, 화음에서 각 음의 배음과 서로 겹치는 배음 확인
- 같은 음을 서로 다른 조건(악기, 현, 세팅 등)에서 녹음하여 Peak와 배음 비교

2 인스톨

본 프로그램은 포터블 버전이므로 설치 작업은 필요 없습니다. 압축을 풀고《Peak_and_Harmonic_Analyzer_v.X.X.X》폴더에 있는《Peak_and_Harmonic_Analyzer_v.X.X.X.exe》파일을 더블 클릭하면 바로 프로그램이 실행됩니다. 단, 컴퓨터의 사양에 따라 실행에 시간이 오래 걸리는 경우가 있습니다.

3 준비사항

3.1 사운드 파일의 준비

본 프로그램에서는 최대 8개의 소리를 입력/분석 할 수 있으므로 상황에 맞게 사운드 파일을 준비합니다.

3.2 사운드 파일의 조건

사운드 파일을 준비/녹음할 때 지켜야 할 사항입니다.

- 정확한 튜닝과 정확한 피치(음정)
- 압축되지 않은 wave 파일(확장자 : wav). 8, 16, 24, 32 bit 정수 및 32 bit 실수(float) 형식 모두 가능
- 모노(mono, 1채널) 형식을 추천. 스테레오 파일은 두 채널을 평균하여 모노로 바꾸어 분석
- 샘플링 주파수는 44.1[kHz]를 추천
- 사운드 파일의 길이는 Analysis Length(기본 1.0초)보다 길게. 1초 이상을 추천

3.3 주의 사항

소리를 녹음할 때는 가급적 녹음하는 실내의 공명음이 함께 녹음되지 않도록 해야 합니다. 가장 좋은 방법은 무향실에서 녹음하는 것이며, 그렇지 않은 경우에는 조용한 야외(소리를 반사할 건물이 없는 들판 등) 또는 커튼 등으로 흡음 처리가 잘 된 방에서 녹음하는 것을 추천합니다. 어쩔 수 없이 실내의 공명음이 함께 녹음 된 경우에는 분석시 그 부분을 고려하여 판단하여야 합니다.

서로 비교할 소리는 반드시 같은 마이크로, 같은 위치·거리·녹음 레벨에서 녹음합니다. 조건이 다르면 그 차이가 Peak의 높이에 그대로 나타납니다.

4 화면 구성

프로그램을 실행하면 Figure 1과 같은 화면이 나타납니다. 화면은 세로선을 경계로 2열로 나뉘어 있으며, 좌측에는 사운드 파일과 분석 설정, 우측에는 마이크 보정과 계산 버튼이 있습니다. 각 항목의 번호는 대략적인 사용 순서입니다.

번호	항목	내용
1	SELECT SOUND FILES	분석할 사운드 파일 입력 (최대 8개)
2	FFT SETTINGS	FFT Size, Window, Analysis Length
3	PEAK SETTINGS	Peak 표시/숨김, 표시할 Peak를 고르는 필터
4	HARMONICS	배음 표시/숨김, 배음 세트 수 등
5	AXIS SETTINGS	그래프 X축(Linear/Log, 범위)과 Y축의 범위
6	MIC CALIBRATION	마이크 보정
7	CALCULATION	그래프 창 방식, 계산 버튼, 결과 표

Table 1: *화면의 구성*

버튼의 색은 그 버튼의 상태를 나타냅니다.

색	의미
Sound 1	입력이 필요함 (파일을 아직 입력하지 않음)
Sound 1	입력 완료 / 계산 가능
Calculate Sound 1	지금은 사용할 수 없음

Table 2: *버튼 색의 의미*

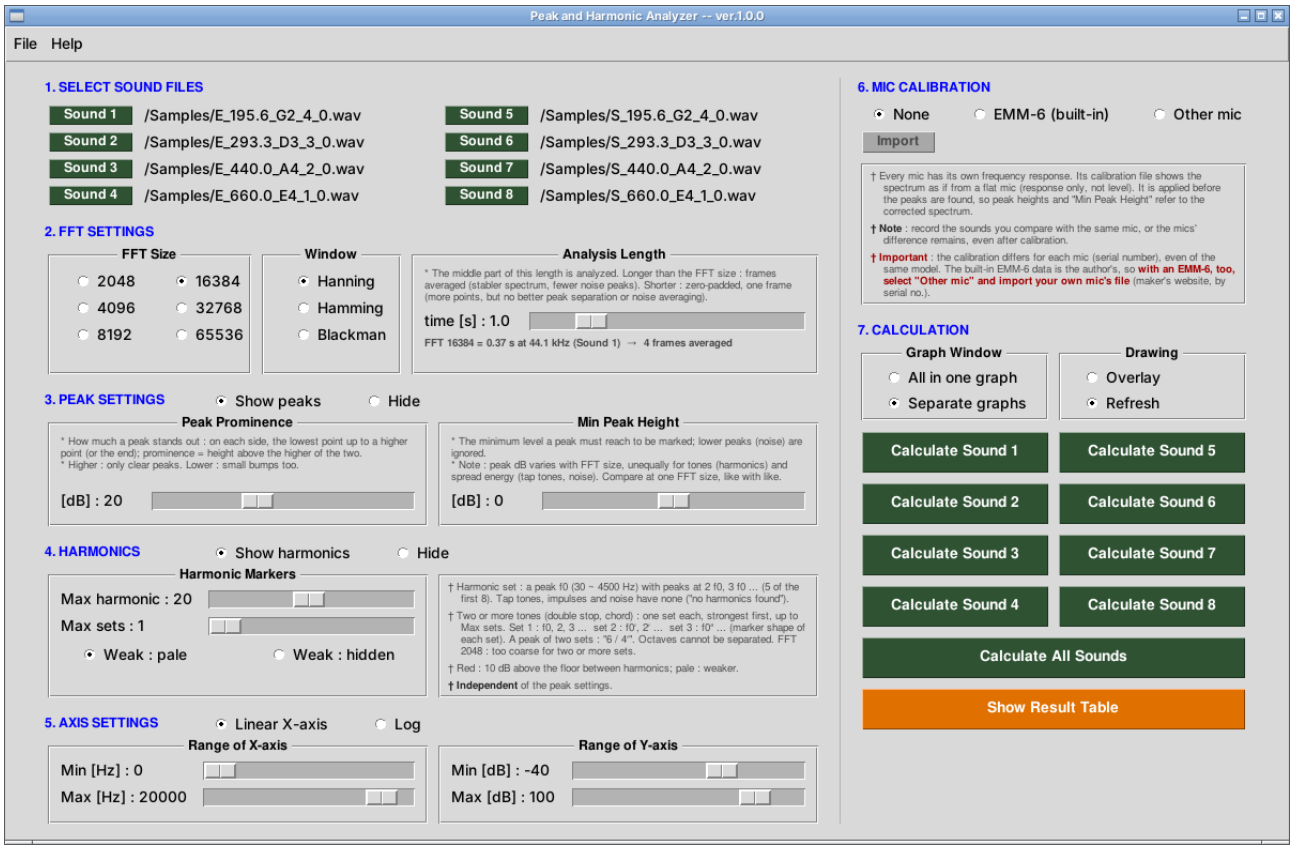


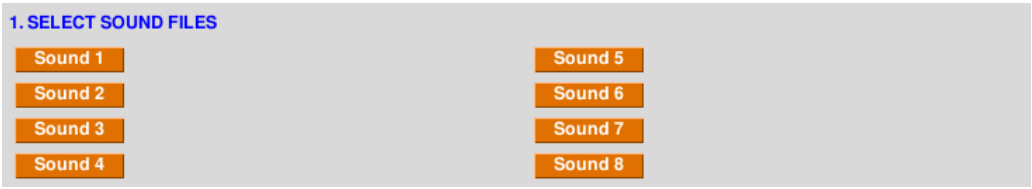
Figure 1: *프로그램 화면 (사운드 파일 8개를 입력한 상태)*

5 사용법

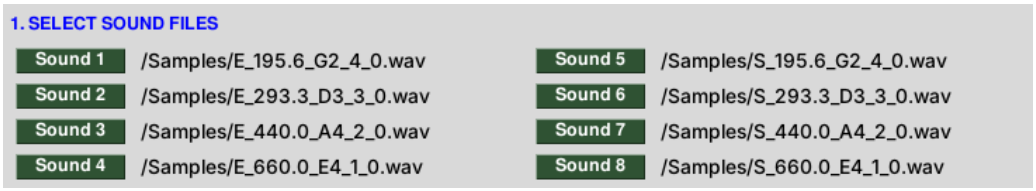
5.1 1. SELECT SOUND FILES

[Sound 1]을 클릭하여 미리 준비된 사운드 파일을 찾아서 입력하고, 나머지 파일도 동일한 방식으로 입력합니다. 파일이 입력되면 버튼이 주황색에서 녹색으로 바뀌고, 우측에 그 파일의 경로와 파일명이 표시됩니다(Figure 2). 긴 경로는 가운데를 '...'로 줄여서 표시합니다. 입력할 때 다음 경우에는 안내창이 나타납니다.

- 스테레오 파일 : 모노로 바꾸어 분석한다는 안내. 한 채널이 비어 있으면 레벨이 약 6[dB] 낮아진다는 경고
- 소리가 없는 파일 (모든 값이 0)
- 파일이 Analysis Length보다 짧은 경우 : 파일 전체를 분석한다는 안내
- 읽을 수 없는 파일 : 오류 메시지가 나타나고 이전에 입력된 파일이 그대로 유지됨



(a) *입력 전*



(b) *입력 후*

Figure 2: *사운드 파일 입력*

5.2 2. FFT SETTINGS

■ **FFT Size** : FFT(Fast Fourier Transform)는 일반적으로 말하는 [주파수 분석]과 같은 것입니다. FFT Size는 한 번에 분석하는 샘플 수로서, 클수록 주파수 해상도가 높아집니다(분석 구간이 FFT Size 이상일 때). 2048 ~ 65536 중에서 선택하며(기본 16384), 44.1[kHz]에서 16384는 0.37초, 65536은 1.49초에 해당합니다.

■ **Window** : 데이터를 잘라낼 때 어떤 모양으로 잘라내는지 결정하는 것으로서 결과는 아주 조금의 차이만 나타냅니다. 일반적으로는 Hanning(기본)을 사용합니다.

■ **Analysis Length** : 사운드 파일의 중앙부에서 이 길이(0.1 ~ 5.0초, 기본 1.0초)만큼만 발췌하여 분석합니다. 발췌한 구간이 FFT Size보다 길면 FFT Size 길이의 구간들(50% 겹침)을 평균하므로 스펙트럼이 안정되고 잡음 Peak가 줄어듭니다. FFT Size보다 짧으면 FFT Size까지 0으로 채워 한 구간만 분석하는데, 이때는 스펙트럼의 점만 많아질 뿐 가까운 Peak가 더 잘 구분되지 않고 잡음도 평균되지 않습니다. 파일이 이 길이보다 짧으면 파일 전체를 분석합니다.

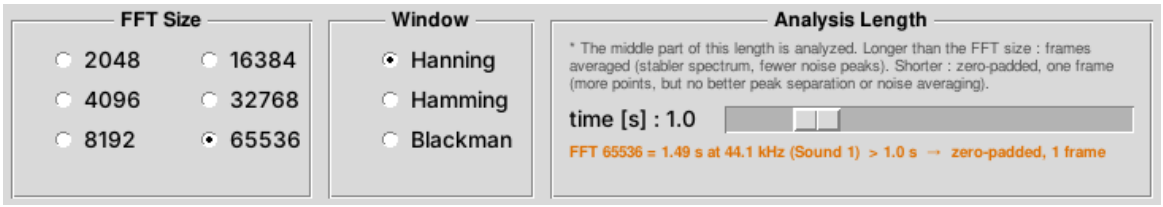
연주음처럼 지속되는 소리는 기본값(1.0초)이 적당하며, 탭톤처럼 금방 사라지는 소리는 소리가 대부분 사라질 때까지의 시간과 비슷하게 정하는 것이 좋습니다.

슬라이더 아래의 상태 줄에는 처음 입력한 파일의 샘플링 주파수를 기준으로 FFT Size의 시간과 분석 방식이 표시됩니다(파일이 없으면 44.1[kHz]로 가정하고 (assumed)로 표시). 평균할 때는 회색으로 구간 수가, 한 구간만

들어갈 때는 1 frame (no averaging)이, 0으로 채울 때는 주황색으로 zero-padded가 표시됩니다(Figure 3). 주황색이면 FFT Size를 줄이거나 Analysis Length를 늘리는 것이 좋습니다.



(a) *FFT 16384 : 4개 구간 평균*



(b) *FFT 65536 : 0으로 채움*

Figure 3: *FFT SETTINGS와 상태 줄*

5.3 3. PEAK SETTINGS

제목 옆의 [Show peaks] / [Hide]로 Peak 표시를 켜고 끕니다(기본 Show). Hide이면 그래프에 Peak의 마커와 주파수가 표시되지 않고 아래 두 슬라이더는 회색으로 비활성화되므로, 배음만 보고 싶을 때 사용합니다. 아래 두 필터는 수많은 Peak 중에서 어떤 것을 표시할지 고르며, 두 조건을 모두 만족하는 Peak만 표시됩니다(Figure 4).

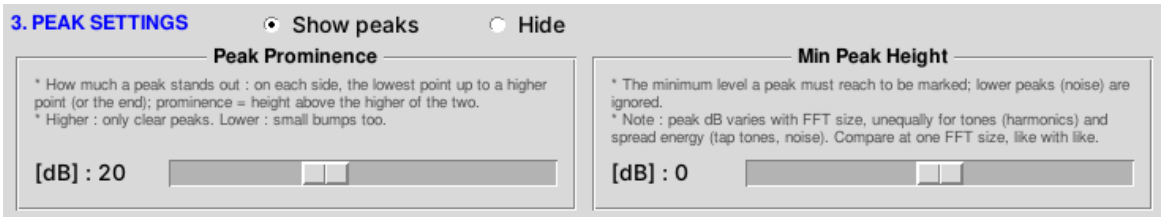


Figure 4: *PEAK SETTINGS*

■ **Peak Prominence** : Peak가 주변보다 얼마나 돌출되었는가를 의미하는 값으로, 이 값보다 많이 돌출한 Peak만 표시합니다(1 ∼ 50[dB], 기본 20[dB]). 값을 높이면 뚜렷한 Peak만, 낮추면 작은 Peak까지 표시됩니다.

Prominence는 scipy 모듈의 find_peaks로 계산하며, 원리는 다음과 같습니다(Figure 5).

1. Peak 꼭대기의 높이에서 왼쪽과 오른쪽으로 각각 수평선을 긋는다. 선은 **그 Peak보다 높은 곳**을 처음 만날 때까지(없으면 그래프의 끝까지) 뻗으며, 그 사이에 있는 더 낮은 Peak들은 그냥 지나간다.
2. 이 수평선이 걸쳐 있는 범위(Peak부터 선이 멈춘 곳까지)를 각각 왼쪽 구간, 오른쪽 구간이라고 한다. 각 구간에서 **구간 전체의 가장 낮은 점**을 찾는다. 바로 옆의 골짜기가 아니라 구간 안의 최저점이다.
3. 두 최저점 중 **높은 쪽**이 기준선이며, Prominence = Peak의 높이 − 기준선이다. 그림의 세로선은 Peak에서 기준선까지의 길이, 즉 Prominence이다.

등산에 비유하면, 그 봉우리에서 더 높은 봉우리로 건너가려면 최소한 얼마나 내려가야 하는가가 Prominence입니다.

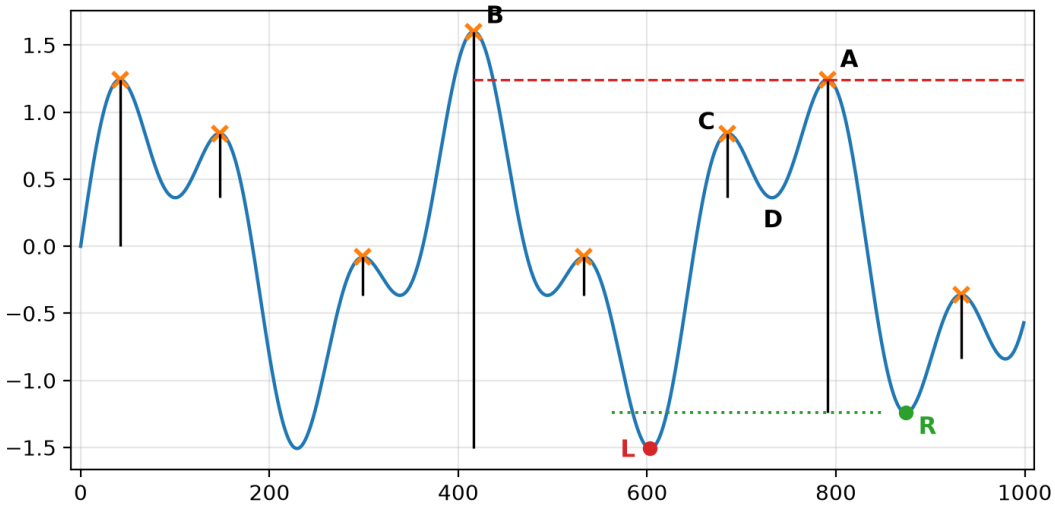


Figure 5: *Prominence의 계산 (세로선 : 각 Peak의 Prominence)*

Figure 5는 scipy 설명서의 예제 신호[1]로 그린 것이며, 세로선은 각 Peak의 Prominence입니다.

- Peak A (1.24) : 왼쪽 선은 더 높은 B에서 멈추므로, 그 사이의 작은 Peak C와 골짜기 D를 지나 구간 최저점 L(−1.51)이 왼쪽 최저점이다. 오른쪽 선은 끝까지 가며 최저점은 R(−1.24)이다. 높은 쪽인 R이 기준이므로 Prominence는 $1.24 - (-1.24) = 2.48$이다.
- Peak B (1.60) : 가장 높은 Peak이므로 양쪽 선이 모두 그래프 끝까지 가며, 양쪽 최저점이 모두 −1.51이다. Prominence는 3.11로 가장 크다.
- Peak C (0.84) : 왼쪽 선은 B까지 가서 최저점이 L(−1.51), 오른쪽 선은 A에서 멈춰서 최저점이 D(0.36)이다. 높은 쪽인 D가 기준이므로 Prominence는 $0.84 - 0.36 = 0.48$이다.

따라서 큰 Peak의 어깨에 붙은 작은 Peak는 높이가 높아도 Prominence가 작고, 주변에서 가장 높은 Peak는 넓은 범위의 최저점을 기준으로 하므로 Prominence가 큽니다. 스펙트럼에서는 Prominence가 클수록 주변보다 뚜렷하게 솟은 Peak라는 뜻입니다. Figure 6[2]도 같은 방법을 색으로 구분하여 보여줍니다.

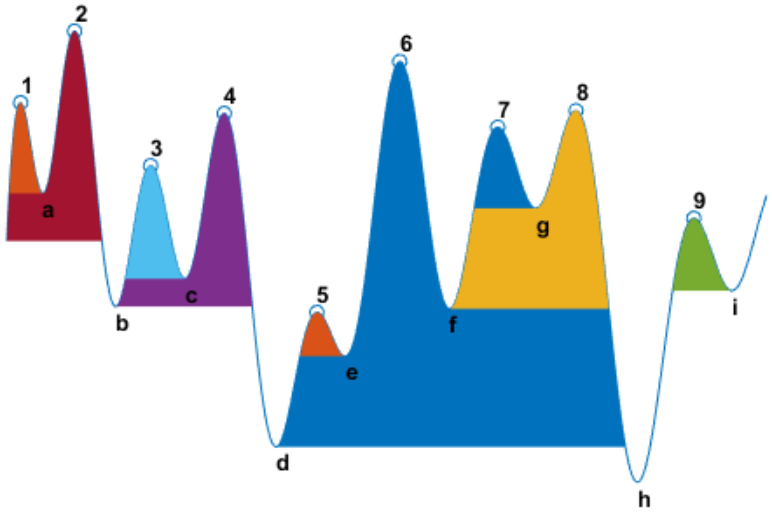


Figure 6: *Prominence : 파형 돌출 정도의 설명*

[1] 출처 : `https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.signal.peak_prominences.html` (이 페이지의 예제 그림을 바탕으로 A, B, C, D, L, R과 수평선을 추가하여 다시 그림)
[2] 출처 : `https://www.mathworks.com/help/signal/ug/prominence.html`

■ **Min Peak Height** : Peak 꼭지점의 값이 이 값보다 높은 Peak만 표시합니다(−120 ∼ 120[dB], 기본 0[dB]). 값이 10, 20, 30[dB]인 세 개의 Peak가 있을 때 15로 정하면 20과 30[dB]의 Peak만 표시됩니다. Figure 7은 0[dB]일 때로 0[dB] 이상의 Peak가 모두 표시되지만, 40[dB]로 정한 Figure 8에서는 40[dB] 이상의 Peak만 표시됩니다(두 그림은 배음 표시를 끈 상태, X축 Max 6,000[Hz]).

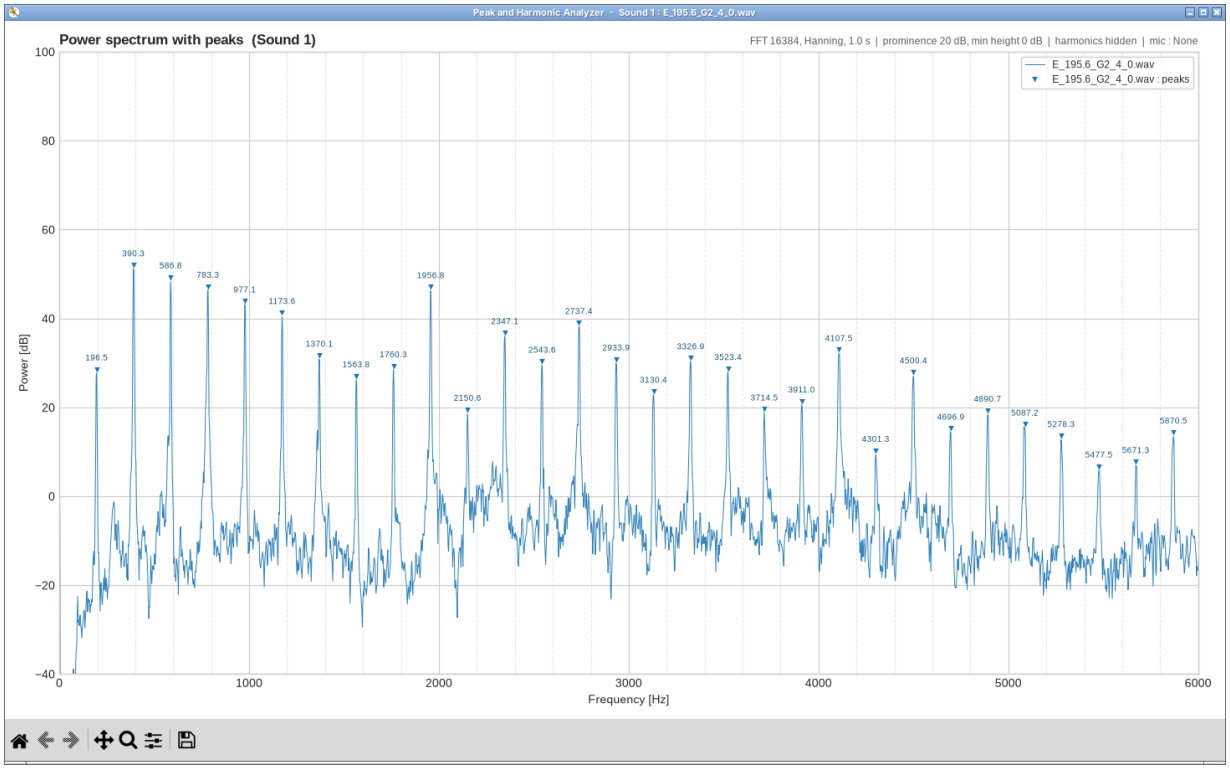


Figure 7: *Min Peak Height = 0[dB] 일 때*

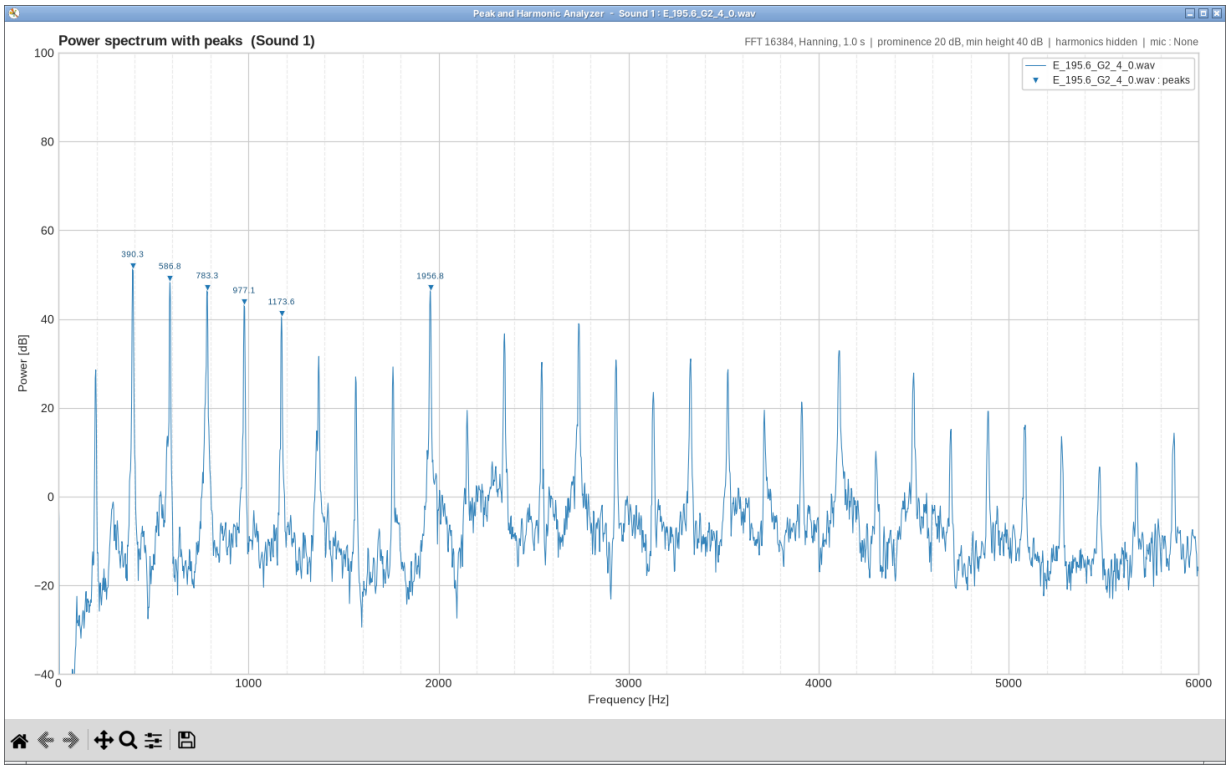


Figure 8: *Min Peak Height = 40[dB] 일 때*

■ **주의** : Peak의 높이(dB)는 FFT Size에 따라 달라지며, 배음이 있는 소리(연주음)와 에너지가 넓게 퍼진 소리(탭톤, 잡음)는 달라지는 정도가 서로 다릅니다. 배음 하나의 에너지는 거의 한 점에 모이지만, 퍼진 에너지는 FFT Size가 클수록 한 점에 들어가는 양이 줄어들기 때문입니다. 따라서 Peak의 dB 값은 같은 FFT Size로 계산한, 같은 종류의 소리끼리만 비교해야 합니다.

5.4 4. HARMONICS

악기음처럼 배음이 있는 소리에서 기본음(f0)과 배음의 위치를 표시합니다(Figure 9). 이 표시는 Peak 설정과 관계없이 따로 동작하므로, 필터 설정 때문에 Peak로 표시되지 않은 배음도, Peak 표시를 숨긴 경우에도 배음은 표시됩니다.

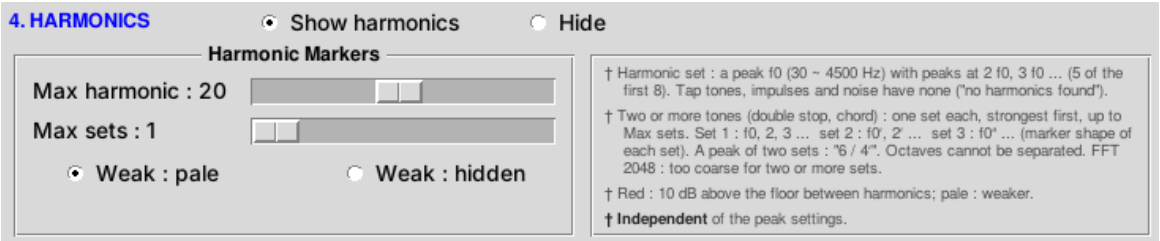


Figure 9: *HARMONICS*

- [Show harmonics] / [Hide] : 제목 옆에서 배음 표시를 켜고 끕니다(기본 Show). Hide이면 아래 옵션은 회색으로 비활성화됩니다.
- [Max harmonic] : 표시할 최대 배음 번호입니다(1 ~ 40, 기본 20).
- [Max sets] : 찾을 배음 세트의 최대 수입니다(1 ~ 5, 기본 1). 이중음이면 2, 삼중음이면 3으로 정합니다.
- [Weak : pale] / [Weak : hidden] : 약한 배음을 연하게 표시할지(기본), 숨길지 정합니다.

배음은 Peak 위에 빨간 마커로 표시되며, 그 위의 번호 f0, 2, 3, ...는 배음 번호입니다(f0 = 1번 배음). 마커의

테두리는 그 소리의 선 색이므로 여러 소리를 한 그래프에 그려도 구분됩니다. 찾은 f0 값은 범례에 표시됩니다. 주변보다 10[dB] 이상 솟은 배음은 진한 빨간색, 그보다 약한 배음은 연한 빨간색입니다.

■ **배음 세트** : 배음 세트란 하나의 음이 가진 기본음과 그 배음들의 묶음입니다. 단음은 세트가 1개, 이중음은 2개, 삼중음은 3개입니다. 세트는 강한 음부터 1, 2, 3 . . . 번이 되며, 마커의 모양과 번호의 표기로 구분합니다(Table 3).

세트	마커	배음 번호	범례
1	삼각형	f0, 2, 3, . . .	harmonics 1 (f0 . . . Hz)
2	마름모	f0′, 2′, 3′, . . .	harmonics 2 (f0 . . . Hz)
3	사각형	f0″, 2″, 3″, . . .	harmonics 3 (f0 . . . Hz)
4	원	f0‴, 2‴, 3‴, . . .	harmonics 4 (f0 . . . Hz)
5	오각형	f0⁗, 2⁗, 3⁗, . . .	harmonics 5 (f0 . . . Hz)

Table 3: *배음 세트의 표시 (세트가 1개이면 범례는 harmonics (f0 . . . Hz))*

두 세트가 같은 Peak를 공유하면(예: G와 D의 이중음에서 D의 2번째 배음 = G의 3번째 배음) 마커를 위로 쌓고 번호를《2 / 3′》처럼 한 줄로 함께 표시합니다.

■ **찾는 방법** : 스펙트럼의 Peak(30 ∼ 4500[Hz])를 하나씩 f0 후보로 놓고, f0, 2f0, . . . 8f0 위치에 실제로 배음 Peak가 있는지 확인합니다. 주변보다 10[dB] 이상 솟고 가장 큰 Peak에서 60[dB] 이내인 Peak가 f0 자신을 포함하여 8개 중 5개 이상일 때만 배음 세트의 후보로 인정합니다. 이때 다음 두 경우는 후보에서 제외합니다.

- 후보의 배음이 모두 다른 후보의 배음으로 설명되는 경우 : 예를 들어 G와 D의 이중음은 G보다 한 옥타브 낮은 음의 2, 3, 4, 6, 8번째 배음처럼 보이지만, 실제로는 G와 D의 배음입니다.
- 후보가 다른 후보의 배음(2f0, 3f0 . . .)인 경우

남은 후보 중에서 아직 다른 세트에 속하지 않은 배음의 에너지가 가장 큰 것부터 세트 1, 2, . . . 가 됩니다. 세트 1보다 30[dB] 넘게 약한 세트는 잡음이나 공명으로 보고 표시하지 않습니다. 그런 다음 k번째 배음은 k×f0의 ±1% 안에서 가장 높은 점으로 정하며, 현의 배음은 고음으로 갈수록 조금씩 높아지므로 찾은 배음마다 f0를 다시 계산하여 다음 배음을 찾습니다.

■ **한계** : 탭톤, 임펄스, 잡음, 순수한 Sine wave처럼 배음 구조가 없는 소리는 범례에《no harmonics found》로 표시되고 배음은 표시되지 않습니다. 기본음이 30[Hz] 미만이거나 스펙트럼에서 Peak로 나타나지 않는 소리도 찾을 수 없습니다. 그 밖에 다음과 같은 한계가 있습니다.

- 옥타브 관계의 두 음(예: G3과 G4)은 높은 음의 배음이 모두 낮은 음의 배음과 겹치므로 원리상 한 세트로 표시됩니다.
- FFT Size가 작으면 배음을 서로 구분할 수 없어 표시되지 않거나(예: 저음에 2048), 두 개 이상의 세트를 정확히 찾지 못합니다. 두 개 이상의 세트는 FFT Size 4096 이상, 가능하면 기본값(16384) 이상에서 사용하십시오.
- 네 음의 화음처럼 배음이 촘촘히 겹치는 경우에는 일부 음을 찾지 못할 수 있습니다.

범례의 f0는 Peak 꼭대기를 보간한 값이므로 Peak에 표시된 주파수와 소수점 아래가 조금 다를 수 있습니다.

5.5 5. AXIS SETTINGS

제목 옆의 [Linear X-axis] / [Log]로 X축의 눈금을 고르고(기본 Linear), 아래에서 X축의 표시 범위(Min, Max : 0 ∼ 22,050[Hz], 50[Hz] 단위, 기본 0 ∼ 20,000[Hz])와 Y축의 표시 범위(Min −120 ∼ 0[dB], Max 0 ∼ 120[dB], 기본

−40 ∼ 100[dB])를 정합니다. 눈금과 범위는 결과를 보여주는 방식만 바꿀 뿐 분석 결과에는 영향이 없습니다. Log 눈금에서 Min이 0이면 20[Hz]부터 표시합니다. Min이 Max보다 크거나 같으면 계산 버튼을 눌렀을 때 오류 메시지가 나타나고 계산하지 않습니다.

5.6 6. MIC CALIBRATION

마이크마다 고유한 주파수 특성이 있으므로, 마이크 보정 파일을 적용하면 마이크의 주파수 특성이 보정되어 평탄한 특성의 마이크로 측정한 것과 같은 스펙트럼이 표시됩니다. 단, 보정되는 것은 주파수별 편차(곡선의 모양)이며 절대 음압 레벨은 아닙니다. 보정은 Peak를 찾기 전에 적용되므로 Peak의 높이와 Min Peak Height는 보정된 스펙트럼 기준입니다.

- [None] (기본) : 보정하지 않음
- [EMM-6 (built-in)] : 내장된 Dayton Audio EMM-6 보정값 (본인이 사용하는 측정용 마이크의 값)
- [Other mic] : 다른 마이크의 보정 파일을 [Import]로 입력. 파일이 없으면 버튼이 주황색, 정상 입력되면 녹색으로 바뀝니다(Figure 10).

[중요] 마이크의 보정값은 같은 EMM-6 모델이라도 마이크마다(시리얼 번호마다) 모두 다릅니다. 내장된 EMM-6 보정값은 본인이 사용하는 마이크의 값이므로, EMM-6를 사용하더라도 반드시 [Other mic]를 선택하고 자신의 마이크 시리얼 번호에 맞는 보정 파일을 [Import]하십시오. 보정 파일은 제조사 홈페이지에서 마이크의 시리얼 번호를 입력하여 받을 수 있습니다.

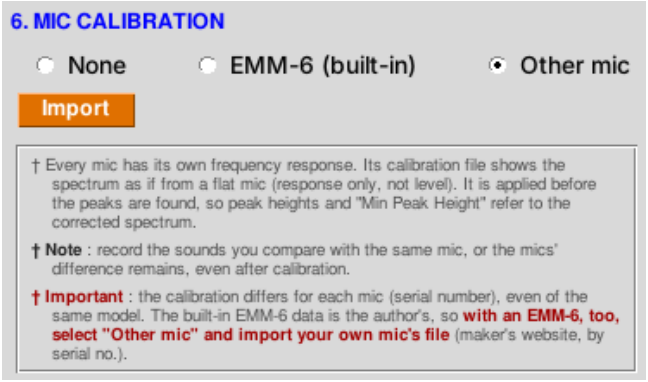


Figure 10: *Other mic 선택 (보정 파일 입력 전)*

보정 파일은 [주파수(Hz) 보정값(dB)] 두 열로 된 텍스트 파일(.txt, .cal, .frd)입니다. *, ”, #, ; 로 시작하는 줄과 숫자가 아닌 줄은 무시합니다. 입력할 때 내용을 검사하여 텍스트 파일이 아니거나, 소수점을 쉼표로 썼거나(예: “20,00 -3,3”, 유럽식 숫자 형식), 데이터가 10개 미만이거나, 주파수가 오름차순이 아니거나 중복되거나, 1[kHz]를 포함하지 않거나, 보정값이 ±30[dB]를 넘으면(절대 레벨 데이터) 오류 메시지를 띄우고 이전 파일을 유지합니다. 데이터가 20 ∼ 20,000[Hz]를 다 덮지 않으면 범위 밖에서는 끝 값을 쓴다는 안내가 나타납니다.

■ **보정 파일의 형식** : 아래와 같이 한 줄에 [주파수(Hz) dB 값]을 공백 또는 탭으로 구분하여 적습니다. REW 등에서 흔히 쓰이는 형식입니다.

```
* Mic Model : xxxxxx xxx-xx
* Freq(Hz)  dB
10.000      -1.717
10.481      -1.717
...
23594.406   -5.440
24000.000   -5.440
```

dB 값은 그 주파수에서 마이크가 평탄한 특성보다 얼마나 크게(+) 또는 작게(−) 녹음하는지를 나타냅니다. 프로그램은 이 값의 부호를 바꾸어 스펙트럼에 더하여 보정합니다. 예를 들어 위 파일에서 24,000[Hz]의 값이 −5.440이면 그 주파수에서 +5.440[dB]가 보정됩니다. 파일의 주파수 사이 값은 로그 주파수 축에서 보간하여 사용합니다. 일부 제조사는 편차 대신 이미 부호를 바꾼 보정값을 제공하므로, 이 경우에는 부호가 반대가 되니 파일의 설명을 확인하십시오.

5.7 7. CALCULATION

■ **Graph Window** : [Separate graphs](기본)는 소리마다 각각의 그래프 창에 그립니다. [All in one graph]는 모든 소리를《All sounds》창 하나에 겹쳐서 그리므로 여러 소리의 Peak를 비교할 때 사용합니다.

■ **Drawing** : [Refresh](기본)는 같은 소리의 이전 결과를 지우고 다시 그리므로, 옵션을 바꿔 가며 볼 때 곡선이 쌓이지 않습니다. [Overlay]는 지우지 않고 덧그리며, 같은 소리를 다시 그리면 새 색으로 그려지고 범례에 #2, #3 . . . 이 붙습니다. 그래프 창이 닫혀 있으면 새 창을 엽니다.

■ **계산 버튼** : [Calculate Sound 1] ∼ [Calculate Sound 8]은 파일이 입력된 소리만 녹색으로 활성화됩니다. [Calculate All Sounds]는 입력된 모든 소리를 한꺼번에 계산하며, 녹색의 계산 버튼을 모두 누른 것과 같습니다 (Figure 11).

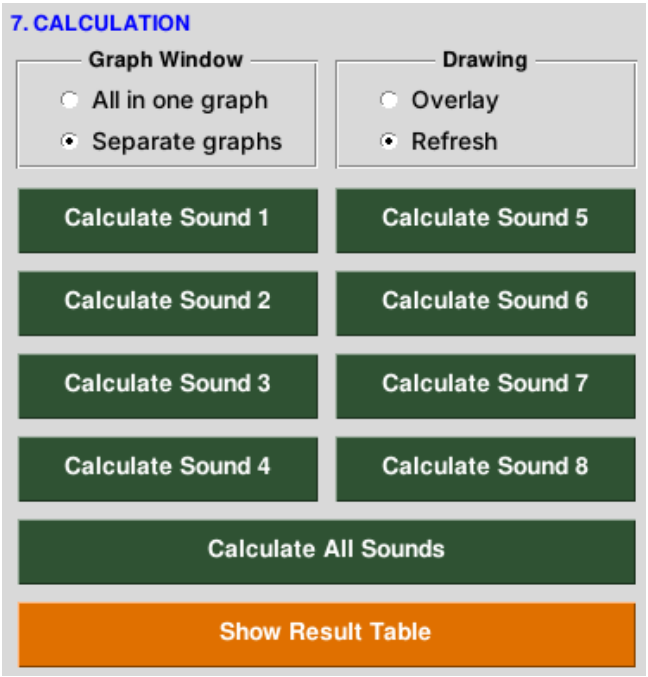


Figure 11: *CALCULATION (파일 8개 입력)*

계산 버튼을 누르면 다음 경우에 먼저 안내창이 나타나며, [OK]를 누르면 계산을 계속합니다. [Calculate All Sounds]는 모든 소리의 안내를 안내창 하나에 모아서 보여줍니다.

- 파일이 Analysis Length보다 짧은 경우 (파일 전체를 분석)
- 실제로 분석하는 구간이 FFT Size보다 짧은 경우 (0으로 채워 한 구간만 분석)

Other mic를 선택하고 보정 파일을 입력하지 않은 경우에는 오류 메시지가 나타나고 계산하지 않습니다.

■ **결과 그래프** : 그래프 제목의 왼쪽에는 무엇을 그렸는지(Peak, 배음)가, 오른쪽에는 계산에 사용한 설정이 표시됩니다. 설정은 FFT Size, Window, Analysis Length, Prominence와 Min Peak Height(Peak를 숨기면 peaks

hidden), 최대 배음 번호와 세트 수(배음을 숨기면 harmonics hidden), 마이크 보정입니다. 창의 제목에는 소리의 번호와 파일명이 표시됩니다.

Peak에는 소리마다 다른 모양의 마커와 그 주파수[Hz]가, 배음에는 빨간 마커와 배음 번호가 표시되고, 범례에는 소리마다 스펙트럼, Peak, 배음 세트(f0)가 표시됩니다. 범례의 항목이 많으면 글자를 줄여 2열로 표시합니다. 그래프 창 아래의 도구 막대로 그래프를 확대하거나 그림 파일로 저장할 수 있습니다. 프로그램을 닫으면 열려 있는 그래프 창도 함께 닫힙니다.

■ **결과 표** : [Calculate All Sounds] 아래의 [Show Result Table]을 누르면 Figure 12과 같이 계산한 소리의 Peak와 배음을 표로 보여주는 창이 열립니다. 그래프에서는 Peak와 배음의 주파수만 알 수 있지만, 이 표에서는 각각의 값[dB]도 확인할 수 있습니다. 이 버튼은 항상 주황색이며, 아직 계산한 소리가 없으면 안내창이 나타납니다.

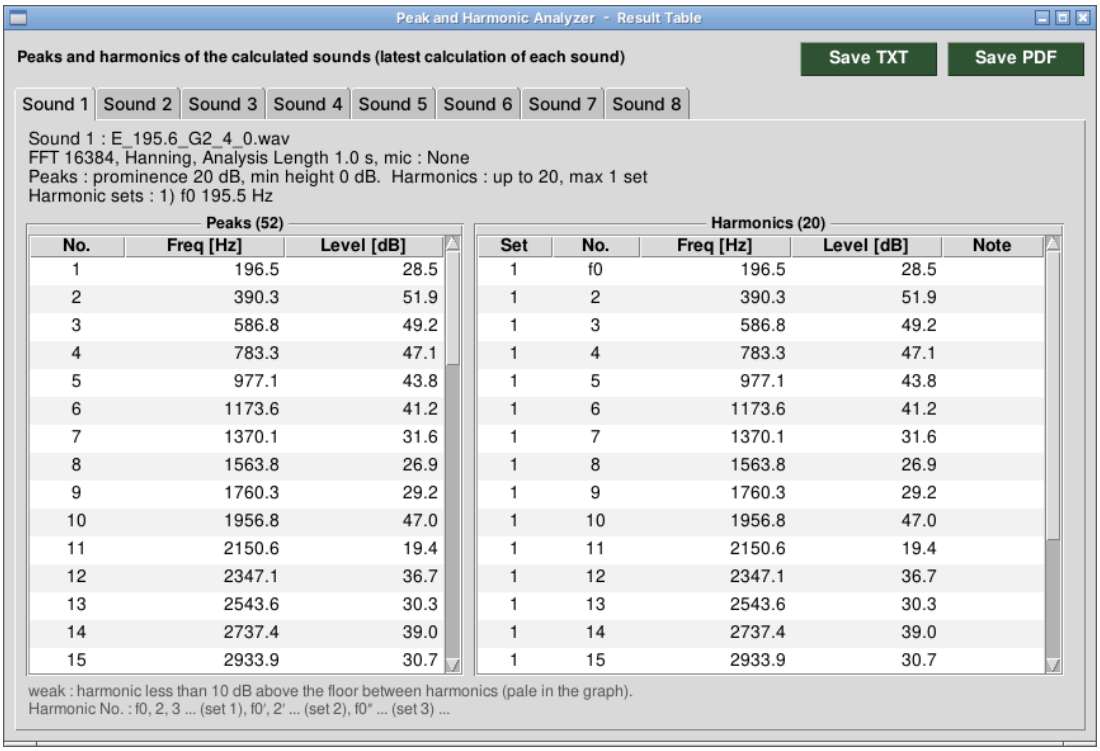


Figure 12: *Result Table (8개 소리를 계산한 후, Sound 1)*

- 계산한 소리마다 탭이 하나씩 있으며, 각 소리의 마지막 계산 결과를 보여줍니다. 탭의 위쪽에는 파일명, 계산에 사용한 설정, 찾은 배음 세트의 f0가 표시됩니다.
- 왼쪽 표는 Peak(No., 주파수[Hz], 값[dB]), 오른쪽 표는 배음(세트, 배음 번호, 주파수[Hz], 값[dB], Note)입니다. 주변보다 10[dB] 이상 솟지 않은 약한 배음은 회색 글자로 표시되고 Note에 weak가 적힙니다.
- 그래프에서 Peak나 배음을 숨겨도 표에는 모두 나옵니다. 따라서 Peak를 숨기고 배음만 그린 경우에도 Peak의 값을 확인할 수 있습니다.
- 표 창을 열어 둔 채 다시 계산하면 내용이 바로 바뀌며, 사운드 파일을 바꾸면 그 소리의 탭은 사라집니다.
- 오른쪽 위의 [Save TXT] / [Save PDF]로 계산한 모든 소리의 표를 텍스트 파일 또는 PDF 파일(A4, 소리마다 새 페이지)로 저장합니다.

6 사용예

바이올린 G현의 개방현 소리를 분석한 예입니다. [Sound 1]에는 바이올린에 장착한 현의 소리(`E_195.6_G2_4_0.wav`)를, [Sound 5]에는 울림통이 없는 현 자신만의 소리(`S_195.6_G2_4_0.wav`)를 입력하고, 같은 방식으로 D, A, E현의 소리도 입력합니다(Figure 1). X축의 Max만 6,000[Hz]로 바꾸고 나머지 옵션은 기본값 그대로 둡니다.

6.1 한 소리의 Peak와 배음

[Calculate Sound 1]을 누르면 Figure 13과 같은 결과가 나옵니다. 파란색 선이 Power spectrum이며, Peak에는 ▼ 마커와 주파수가, 배음에는 빨간 삼각형(▲)과 배음 번호가 표시됩니다. 범례에서 찾은 f0는 195.5[Hz]입니다.

이 소리는 f0(196.5[Hz])보다 2번째 배음(390.3[Hz])이 약 23[dB] 크며, 2 ∼ 6번째 배음과 10번째 배음(1956.8[Hz])이 특히 강합니다. 배음은 20번째(약 3.9[kHz])까지 모두 진한 빨간색이므로 모두 뚜렷한 배음입니다. 4[kHz] 이상에는 21번째 이후의 배음이 Peak로만 표시됩니다(Max harmonic 20).

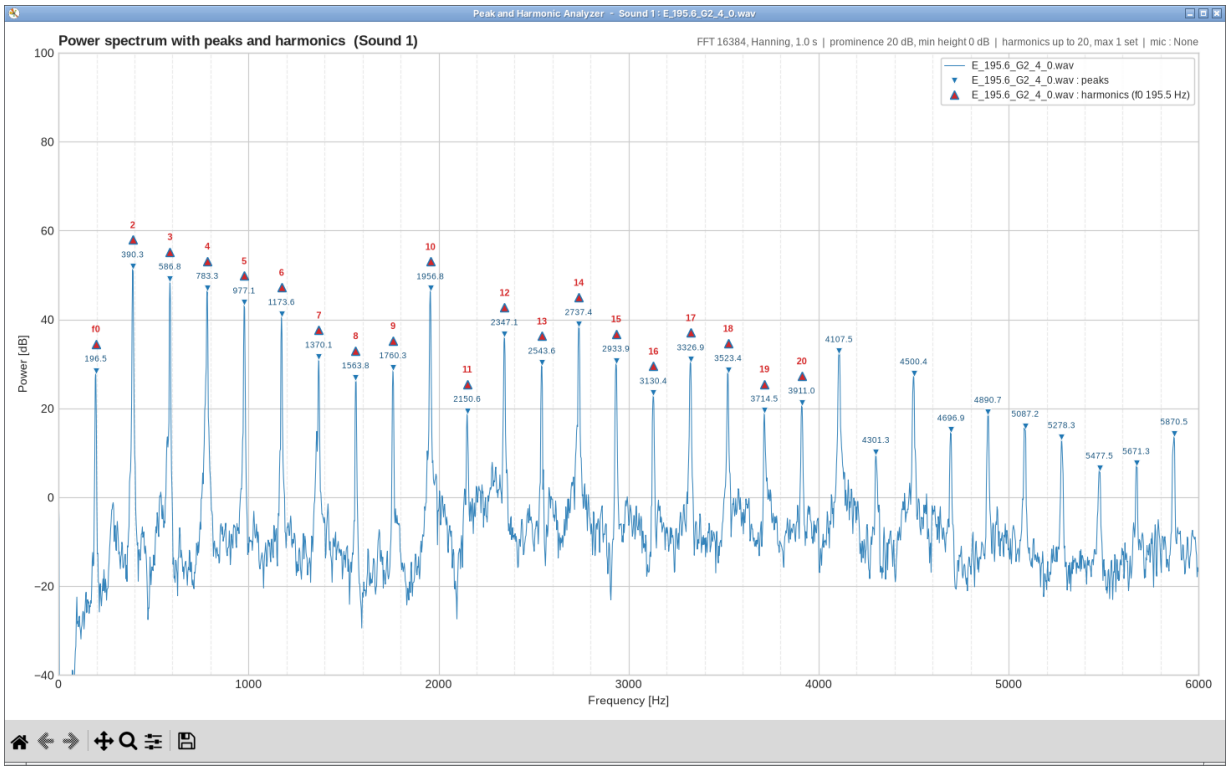


Figure 13: *결과 (G현, Sound 1)*

6.2 두 소리의 비교

[All in one graph]를 선택하고 [Calculate Sound 1], [Calculate Sound 5]를 차례로 누르면 Figure 14와 같이 두 소리가 한 그래프에 겹쳐서 표시됩니다. 파란색은 바이올린에 장착한 현, 갈색은 현 자신만의 소리이며, 배음 삼각형의 테두리 색으로 어느 소리의 배음인지 구분합니다.

바이올린에 장착한 소리는 20개 배음 모두에서 현 자신의 소리보다 크며, 특히 2번째 배음(390[Hz])은 현 자신의 소리에서는 아주 약하지만(−3.6[dB]) 바이올린에서는 가장 큰 배음입니다(약 52[dB]). 반대로 현 자신의 소리는 4번째 배음(783[Hz])이 가장 큽니다. 이 예에서 현 자신의 소리의 2번째 배음은 Min Peak Height(0[dB])보다 낮아 Peak로 표시되지 않았지만 배음 표시에는 나타나 있으므로, 배음 표시가 Peak 필터와 따로 동작한다는 것을 알 수 있습니다. 단, 두 소리의 높이 차이는 같은 마이크, 같은 위치·녹음 레벨로 녹음한 경우에만 의미가 있습니다

(3.3 절).

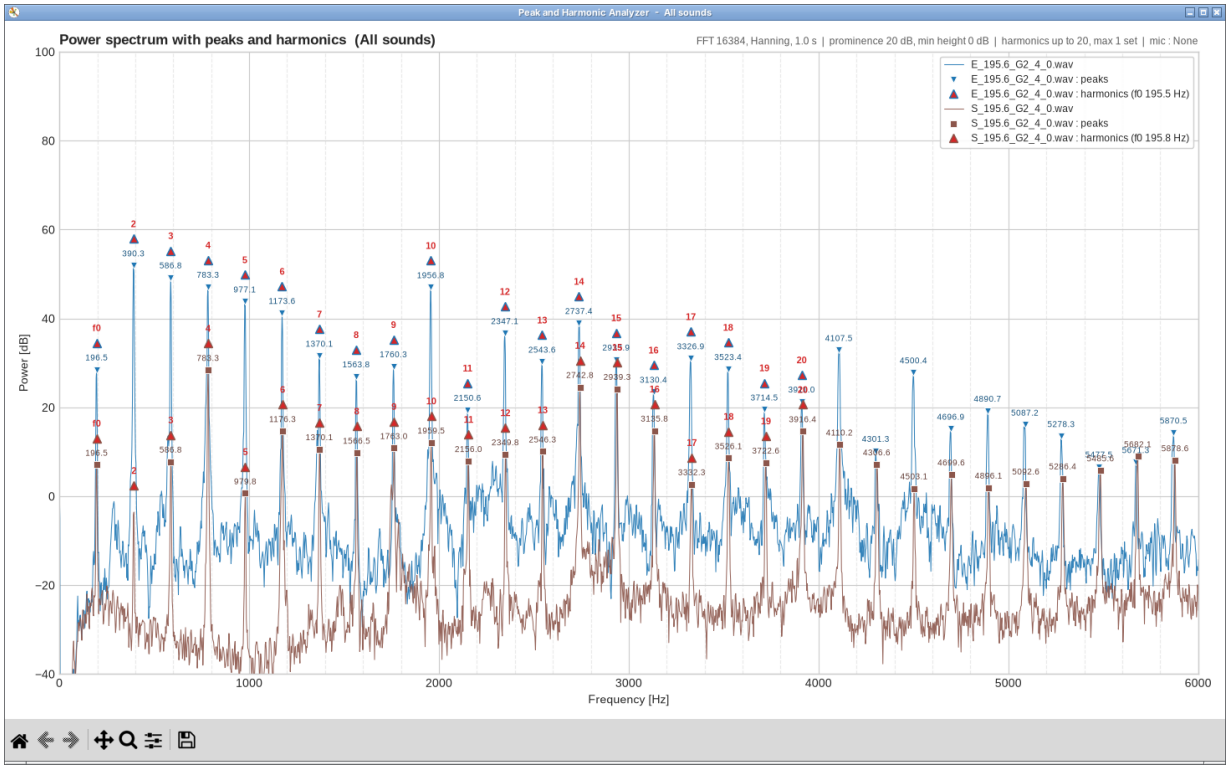


Figure 14: *결과 (G현, 바이올린에 장착한 현과 현 자신의 소리 비교, All in one graph)*

6.3 이중음의 배음 세트

G현과 D현을 함께 연주한 이중음의 예입니다. 여기서는 [Sound 1]의 G현 소리와 [Sound 2]의 D현 소리를 같은 크기로 섞어 만든 파일(`E_GD.wav`)을 [Sound 1]에 입력하였습니다. Graph Window는 [Separate graphs]로 되돌리고, X축의 Max는 6,000[Hz] 그대로 둡니다.

Max sets가 1(기본)이면 더 강한 D(f0 293.1[Hz])의 배음 세트만 표시됩니다. Max sets를 2로 바꾸고 계산하면 Figure 15과 같이 G(f0 195.5[Hz])의 배음 세트가 두 번째 세트(마름모, f0′, 2′, . . .)로 함께 표시됩니다.

G와 D는 완전5도(2 : 3)이므로 D의 짝수 번째 배음은 G의 3의 배수 번째 배음과 같은 Peak입니다. 그래서 586.8[Hz]에는《2 / 3′》, 1173.6[Hz]에는《4 / 6′》, 1760.3[Hz]에는《6 / 9′》처럼 두 세트의 번호가 함께 표시되고 마커가 위로 쌓입니다.

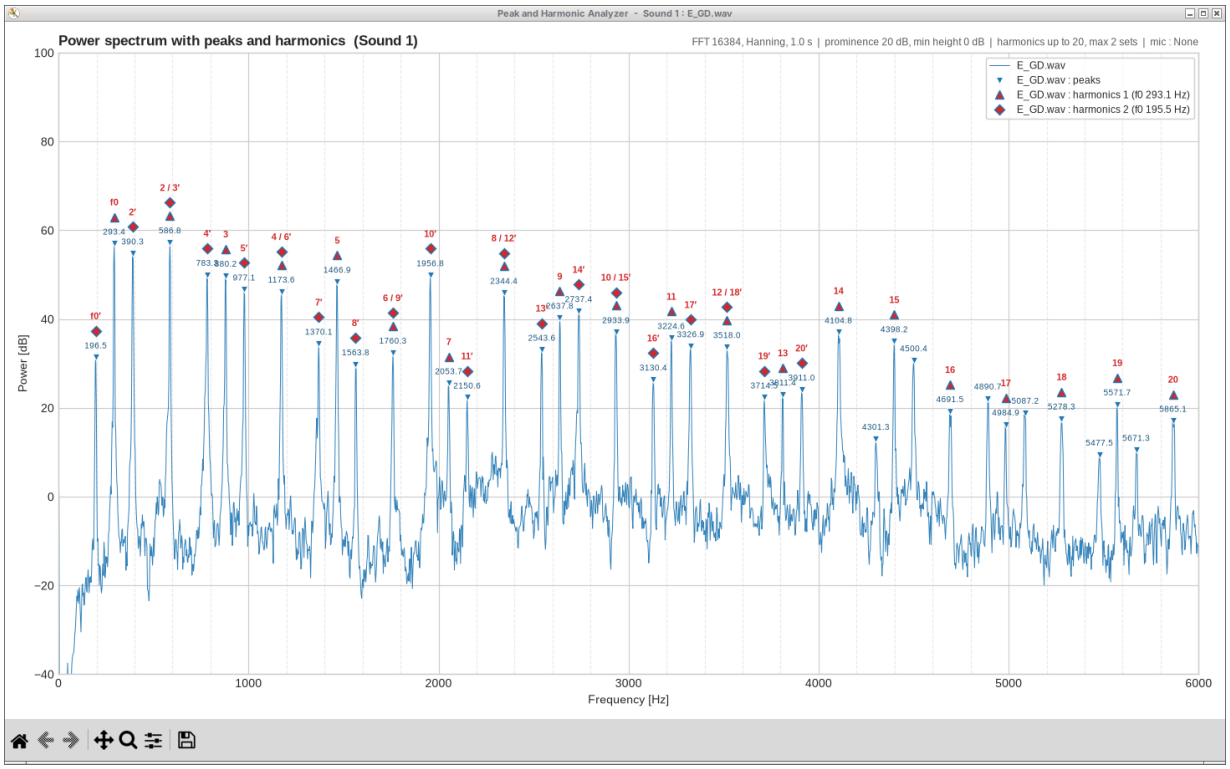


Figure 15: *결과 (G현과 D현의 이중음, Max sets 2)*

PEAK SETTINGS에서 [Hide]를 선택하면 Figure 16와 같이 Peak의 마커와 주파수 없이 배음만 표시되어, 두 음의 배음 구조를 보기 쉽습니다.

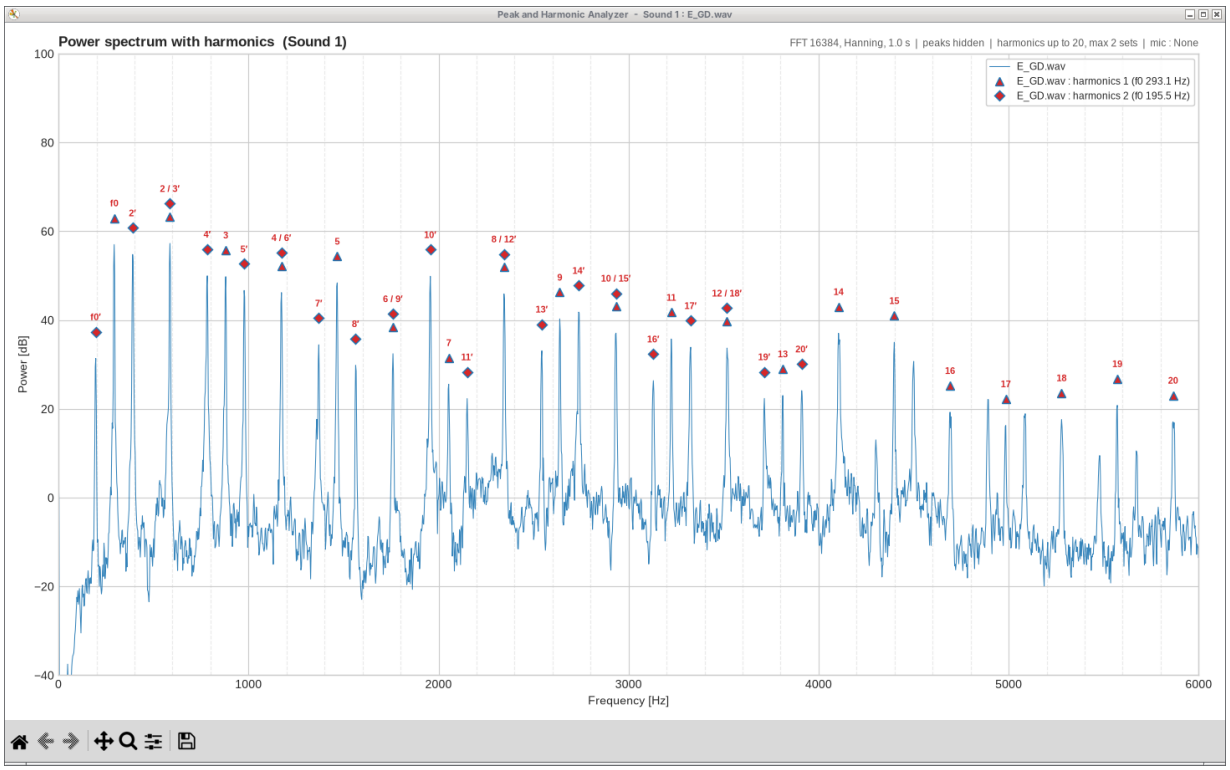


Figure 16: *결과 (G현과 D현의 이중음, Max sets 2, Peak 숨김)*

7 주요 기능

- Peak 표시 : Prominence와 Min Peak Height로 고른 Peak의 위치와 주파수 표시
- 배음 표시 : 기본음(f0)과 배음의 위치를 Peak 필터와 관계없이 표시
- 여러 배음 세트 : 이중음, 화음에서 음마다 배음 세트를 구분하여 표시(최대 5개), 공유하는 배음은 함께 표시
- Peak와 배음을 각각 표시/숨김
- 결과 표 : Peak와 배음의 주파수와 값[dB]을 소리별 탭의 표로 표시, TXT / PDF로 저장
- 최대 8개의 소리를 한 그래프 또는 각각의 그래프에 표시, Refresh / Overlay 선택, [Calculate All Sounds]
- 주파수 분석 : Analysis Length 전체를 구간별로 평균, FFT Size 2048 ~ 65536, 상태 줄과 안내창
- 마이크 보정 (EMM-6 내장, 다른 마이크 보정 파일 입력 및 검사)
- 8/16/24/32 bit 및 실수형 wav 파일, 스테레오 파일 지원 (모노로 변환)
- 2열 화면 구성, 버튼 색으로 상태 표시, 창 크기 조절과 스크롤, 마우스 휠로 슬라이더 조절

8 개발 환경과 사용 환경

본 프로그램은《Python 3.11 + Tkinter》(NumPy, SciPy, Matplotlib) 환경에서 개발되었으며《Windows 11》에서 동작 확인되었습니다.