Sound Comparison Analyzer ver.4.1.0, User Manual

Hwang Il Seok[1]

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

November 21, 2026

본 프로그램은 두 소리의 주파수 특성 차이를 그래프로 보여줍니다. 각 소리의 스펙트럼(주파수별 크기)을 구해 한쪽에서 다른 쪽을 빼면 주파수마다의 차이를 알 수 있습니다. 하지만 소리의 스펙트럼은 매우 복잡하여, 그대로 빼면 그 차이도 복잡해져 해석하기 어렵습니다.

그래서 각 스펙트럼의 포락선(Envelope)을 먼저 구한 뒤 포락선끼리 뺍니다. 포락선은 스펙트럼의 전체 모양을 나타내는 완만한 곡선이므로, 그 차이도 하나의 단순한 선이 되어 어느 주파수에서 얼마나 커지거나 작아졌는지 쉽게 읽을 수 있습니다. 이는 차이 스펙트럼(difference spectrum), 또는 X를 출력, Y를 입력으로 볼 때 dB로 나타낸 전달 함수와 같습니다.

계산 과정은 다음과 같습니다.

1. X, Y 각각의 주파수 스펙트럼(FFT : Fast Fourier Transform)을 구한다.
2. 각 스펙트럼의 포락선을 구한다.
3. X의 포락선에서 Y의 포락선을 빼서 차이(X − Y)를 구한다.

포락선을 구하는 방법은[1] LPC, True Envelope, Smoothing, MGCE, LTAS 중에서 고릅니다(5.2절). 결과 그래프는 증폭되는 범위(Live Zone), 감쇠되는 범위(Dead Zone) 등으로 나누어 해석하며, 프로그램이 존(Zone)과 스팟(Spot)을 자동으로 판별해 그래프와 표로 보여줍니다(5.6절, 7장).

[1] LPC (Linear Predictive Coding/선형 예측 분석) : 소리를 공명 필터로 모델링하는 방법으로, 주로 음성 신호 분석에서 사용됩니다. True Envelope : 배음 Peak의 꼭대기를 잇는 포락선. Smoothing : 주파수 대역별로 평균하는 방법. MGCE (Mel-Generalized Cepstrum Envelope) : 사람의 귀처럼 저음 쪽을 늘린 주파수 축에서 구하는 포락선. LTAS (Long-Term Average Spectrum) : 파일 전체의 평균 스펙트럼. 자세한 내용은 5.2절 참조.

1 용도

두 소리의 차이나 소리의 변화를 알고 싶을 때 사용합니다. 바이올린의 예는 다음과 같습니다.

- 사운드포스트의 위치 변화에 따른 소리 변화
- 브릿지의 형상 변화에 따른 소리 변화
- 현 교체에 따른 소리 변화
- 바이올린 몸통만의 음향 특성 (같은 현의 소리를 몸통이 있을 때와 없을 때 녹음하여 비교)

몸통의 음향 특성을 측정하는 방법에는 이 밖에도 Tap tone(주요 공명 확인), 브릿지 어드미턴스 측정(임펄스 해머 등 전용 장비 사용) 등이 있습니다. 본 프로그램은 마이크 하나로 녹음한 두 소리를 비교하므로 별도의 장비가 필요 없고, 다른 악기나 악기 외의 소리에도 사용할 수 있습니다.

2 설치

포터블 버전이므로 설치가 필요 없습니다. 압축을 풀고 《Sound_Comparison_Analyzer_v.X.X.X》 폴더의 《Sound_Comparison_Analyzer_v.X.X.X.exe》를 더블클릭하면 실행됩니다. 컴퓨터 사양에 따라 실행에 시간이 걸릴 수 있습니다.

3 준비 사항

3.1 사운드 파일의 준비

분석할 사운드 파일을 준비합니다. 최대 4쌍(X1-Y1, X2-Y2, X3-Y3, X4-Y4)을 입력할 수 있으며, 결과는 항상 X − Y로 표시됩니다. 따라서 **비교 대상(이후 소리, Target / After)을 X에, 기준(이전 소리, Reference / Before)을 Y에** 넣습니다.

- 사운드포스트의 위치 변화 : X = 이동한 후의 소리, Y = 기준 위치의 소리
- 바이올린 몸통의 증폭 특성 : X = 현을 장착한 바이올린의 소리, Y = 울림통이 없는 현 자체의 소리

악기 전체의 음색을 비교하려면 여러 음을 연주한 소리(음계, 곡의 일부 등)를 LTAS 방법(5.2절)으로 분석합니다.

3.2 사운드 파일의 조건

사운드 파일의 조건은 다음과 같습니다.

- 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. 함께 계산하는 파일은 모두 같은 샘플링 주파수여야 함
- 사운드 파일의 길이는 Analysis Length(기본 1.0초)보다 길게. 1초 이상을 추천

3.3 주의 사항

녹음할 때는 실내의 공명음이 함께 녹음되지 않도록 합니다. 무향실이 가장 좋고, 그렇지 않으면 조용한 야외(반사할 건물이 없는 들판 등)나 커튼 등으로 흡음 처리가 잘 된 방을 추천합니다. 실내 공명음이 함께 녹음되었다면 분석할 때 이를 고려해야 합니다.

X와 Y는 반드시 같은 마이크로, 같은 위치·거리·녹음 레벨에서 녹음합니다. 마이크가 다르면 마이크의 특성 차이가 X − Y에 그대로 남고, 녹음 레벨이 다르면 결과 그래프 전체가 위아래로 이동해 존(Zone) 판별이 틀어집니다.

4 화면 구성

프로그램을 실행하면 Figure 1과 같은 화면이 나타납니다. 좌측에는 사운드 파일, 포락선 방법, FFT 설정이, 우측에는 X축, 마이크 보정, 존/스팟 판별, 계산 버튼이 있습니다. 항목 번호는 대략적인 사용 순서입니다.

번호	항목	내용
1, 2	SELECT SOUND SET X / Y	비교할 사운드 파일 입력 (X 4개, Y 4개)
3	ENVELOPE METHOD	포락선을 구하는 방법(5가지)과 그 옵션, 짧은 설명
4	FFT SETTINGS	FFT Size, Window, Analysis Length
5	RANGE OF X-AXIS	그래프 X축의 눈금(Linear/Log)과 범위
6	MIC CALIBRATION	마이크 보정
7	ZONE / SPOT DETECTION	존(Zone)과 스팟(Spot)의 자동 판별 (표시 방식, T, Q, Spot height)
8	CALCULATION	그래프 창 방식, 계산 버튼

Table 1: 화면의 구성

화면에는 간단한 설명이 있으며, 자세한 내용은 이 설명서를 참고하시기 바랍니다. 버튼의 색은 버튼의 상태를 나타냅니다.

색	의미
Sound X1	입력이 필요함 (파일을 아직 입력하지 않음)
Sound X1	입력 완료 / 계산 가능
LTAS + Smoothing	선택된 포락선 방법, 그리고 그 방법에서만 쓰는 버튼(X all − Y all)
X1 - Y1	지금은 사용할 수 없음 (또는 선택되지 않은 포락선 방법)

Table 2: 버튼 색의 의미

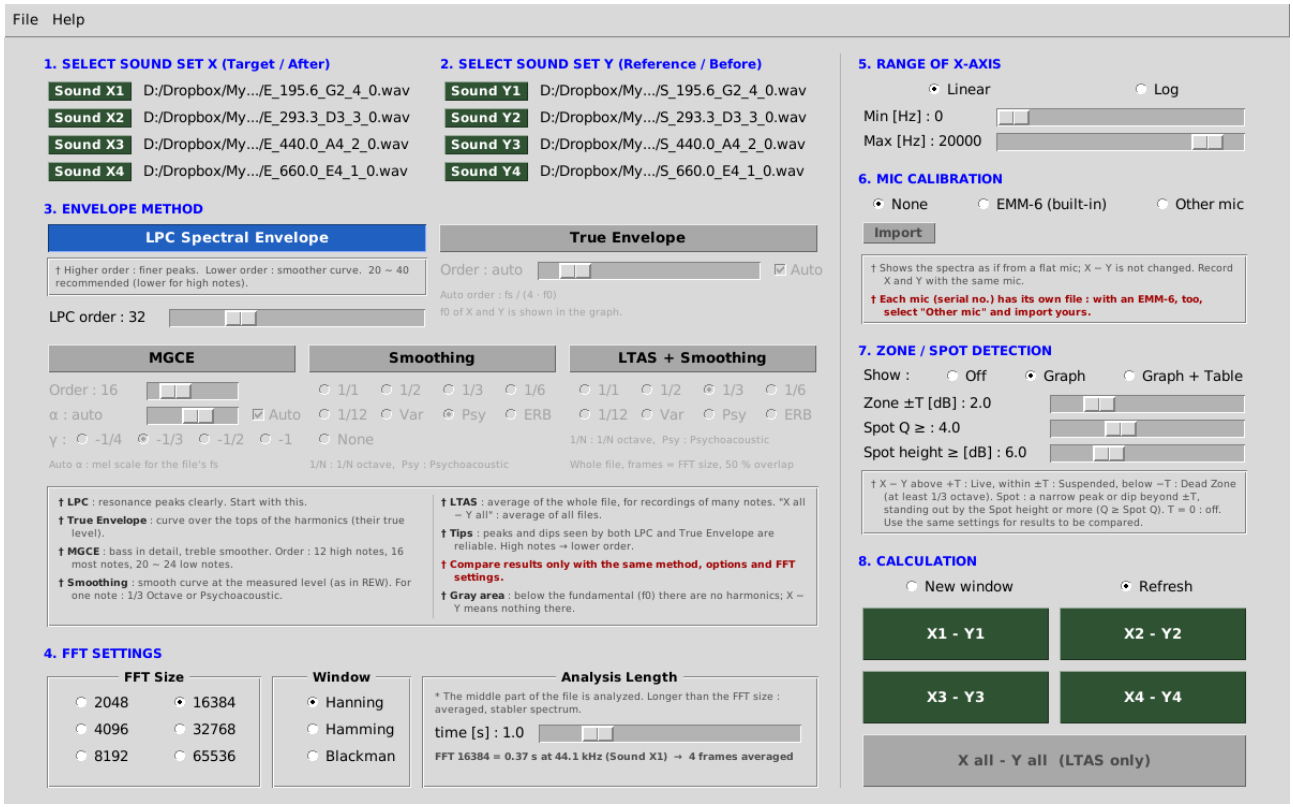


Figure 1: 프로그램 화면 (사운드 파일 *8*개를 입력한 상태)

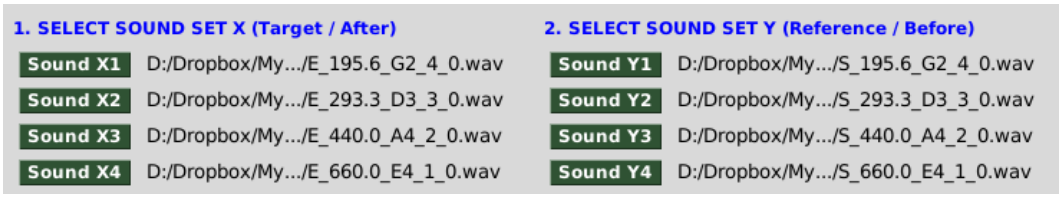
5 사용법

5.1 1, 2. SELECT SOUND SET X / Y

[Sound X1]을 클릭해 사운드 파일을 입력하고, 나머지 파일도 같은 방식으로 입력합니다. 입력되면 버튼이 주황색에서 녹색으로 바뀌고 우측에 파일의 경로와 이름이 표시됩니다(Figure 2). 계산은 [X1 − Y1] ∼ [X4 − Y4]의 쌍으로 하므로 그에 맞게 입력합니다.



(a) 입력 전



(b) 입력 후

Figure 2: 사운드 파일 입력

다음 경우에는 안내창이 나타납니다.

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

5.2 3. ENVELOPE METHOD

Power spectrum의 포락선을 구하는 방법을 선택합니다. 방법 버튼을 누르면 그 방법의 옵션만 활성화되며, 그래프의 X축도 그 방법에 맞는 눈금(Linear / Log)으로 바뀝니다.

■ **해상도와 X축 :** 해상도는 곡선이 몇 Hz 폭까지 구분해서 따라가는지를 뜻합니다. LPC와 True Envelope는 저음부와 고음부의 해상도가 고르므로 Linear 축으로 보여줍니다. MGCE, Smoothing, LTAS는 저음부의 해상도가 세밀하고 고음부는 성기므로 Log 축으로 보여줍니다. Log 축은 저음부를 넓히고 고음부를 좁혀 그리므로, 이런 방법의 곡선도 화면에서는 세밀함이 고르게 보입니다.

방법	원리	X축	저음부 해상도	고음부 해상도	적합한 경우
LPC	공명 필터 모델	Linear	고름	고름	공명 Peak의 위치
True Envelope	배음 꼭대기를 잇는 곡선	Linear	고름	고름	배음의 실제 크기
MGCE	저음을 늘린 축의 포락선	Log	세밀	성김	저음의 공명을 자세히
Smoothing	주변 대역의 평균	Log	세밀	성김	측정 레벨 그대로의 경향
LTAS	파일 전체의 평균 + Smoothing	Log	세밀	성김	여러 음, 여러 파일의 평균

Table 3: 포락선을 구하는 방법 (해상도는 *Hz* 기준)

■ **LPC (Linear Predictive Coding)**

- 원리 : 소리를 공명 필터로 보고 그 필터의 응답을 곡선으로 그립니다. 곡선이 공명 Peak를 따라가며, 잡음이나 배음 사이의 골짜기에 영향을 적게 받습니다.
- 해상도 : 저음부와 고음부가 고릅니다.
- 설정 : [LPC order](1 ∼ 128, 기본 32). 값이 높을수록 좁은 Peak까지 따라가지만, 너무 높으면 포락선이 Power spectrum 자신과 비슷해집니다. 20 ∼ 40을 추천하며, 고음에서는 48 정도부터 개별 배음을 따라갑니다.
- 적합한 경우 : 공명 Peak의 위치를 뚜렷하게 볼 때. 골짜기(Dip)는 덜 정확합니다.

■ **True Envelope**

- 원리 : 켑스트럼(MGCE 참조) 평활화를 반복하여 배음 Peak의 꼭대기를 지나는 곡선을 구합니다. 배음 사이의 골짜기에 끌려 내려가지 않습니다.
- 해상도 : 저음부와 고음부가 고르며, 배음 간격보다 성깁니다(배음 간격의 약 4배). 이보다 좁은 공명은 나타나지 않습니다.
- 설정 : [Auto](기본)이면 기본음(f0)을 찾아 차수(Order)를 fs / (4 × f0)로 정합니다(fs : 샘플링 주파수). 곡선이 배음 하나하나를 따라가지 않고 꼭대기를 잇도록, 배음 간격(f0)에 맞춰 차수를 낮게 잡는 방식입니다. 예를 들어 44.1[kHz] 파일에서 G3(196[Hz])는 56, A4(440[Hz])는 25가 됩니다. 찾은 f0는 그래프에 표시됩니다. 배음 구조가 확인되지 않는 소리(탭톤 등)는 f0를 정할 수 없으므로 안내창이 나타나며, 이때는 Auto를 끄고 [Order](10 ∼ 200)를 직접 정합니다.
- 적합한 경우 : 배음의 실제 크기(배음 꼭대기의 레벨)를 볼 때

■ MGCE (Mel-Generalized Cepstrum Envelope)

- 원리 : 켑스트럼(스펙트럼의 로그를 다시 푸리에 변환한 값)의 앞쪽 몇 개 계수로 포락선을 그립니다. 주파수 축을 청감 척도(Mel scale)에 맞게 바꿔 계산하므로 저음이 더 세밀합니다.
- 해상도 : 저음부는 세밀하고 고음부는 성깁니다. 같은 차수일 때, 44.1[kHz] 파일이면 약 2[kHz] 아래에서 LPC보다 약 3배 세밀하고, 약 7[kHz] 위에서는 LPC보다 성깁니다.
- 설정 : [Order](4 ∼ 64, 기본 16)는 고음 12, 대부분의 음 16, 저음 20 ∼ 24 정도를 추천하며, 너무 높으면 곡선이 개별 배음을 따라갑니다. [α]는 주파수 축에서 저음 쪽을 늘리고 고음 쪽을 줄이는 정도로, [Auto](기본)이면 늘리고 줄인 주파수 축이 사람의 청감 척도(Mel scale)에 가장 가깝게 되는 값을 샘플링 주파수에 맞춰 계산합니다(44.1[kHz]에서 0.544). [γ]는 분석 방식으로(기본 $-1/3$), $\gamma = -1$, $\alpha = 0$이면 LPC와 같고 0에 가까울수록 더 완만한 곡선이 됩니다.
- 적합한 경우 : 저음의 공명을 자세히 볼 때

■ Smoothing

- 원리 : 각 주파수 주변 대역의 레벨을 평균합니다. 곡선이 실제 측정 레벨에 놓이며, 대역보다 넓은 Peak와 골짜기를 모두 따라갑니다.
- 해상도 : 저음부는 세밀하고 고음부는 성기며, 그 정도는 옵션에 따라 다릅니다(Table 4).
- 설정 : 1/1 ∼ 1/12 (1/N Octave), Var (Variable), Psy (Psychoacoustic, 기본), ERB (Equivalent Rectangular Bandwidth), None 중에서 고릅니다.
- 적합한 경우 : 측정 레벨 그대로의 대략적인 경향을 볼 때

옵션	100[Hz]에서	1[kHz]에서	10[kHz]에서	특징
1/3 Octave	23[Hz]	230[Hz]	2.3[kHz]	1/1 ∼ 1/12도 같은 비율
Var	1.4[Hz]	120[Hz]	2.3[kHz]	저음부가 가장 세밀함
Psy (기본)	23[Hz]	120[Hz]	1.2[kHz]	Peak에 가중치
ERB	35[Hz]	130[Hz]	1.1[kHz]	사람의 귀가 구분하는 폭. 단순 평균
None	FFT 결과 그대로			

Table 4: *Smoothing* 옵션별로 평균하는 대역의 폭

■ LTAS (Long-Term Average Spectrum)

- 원리 : 파일 전체를 FFT Size 길이의 구간으로 나누어(50% 겹침) 평균한 뒤, 선택한 Smoothing을 한 번 적용합니다. 여러 음을 연주한 소리 파일이면 배음 사이의 빈 곳이 채워져 몸통의 공명이 연속된 곡선으로 나타납니다. 한 음만 반복한 소리 파일은 빈 곳이 채워지지 않습니다.
- 해상도 : 선택한 Smoothing 옵션을 따릅니다(기본 1/3 Octave).
- 설정 : 파일 전체를 쓰므로 Analysis Length는 비활성화됩니다. [X all – Y all] 버튼으로 여러 파일을 평균할 수 있으며, 파일마다 LTAS를 먼저 구한 뒤 같은 비중으로 평균하므로 파일의 길이는 결과에 영향을 주지 않습니다.
- 적합한 경우 : 여러 음을 연주한 소리, 여러 파일의 평균

■ Smoothing과 LTAS의 기본값 : Smoothing은 주로 한 음의 소리를, LTAS는 주로 여러 음의 소리를 분석하므로 기본값이 다릅니다. 한 음의 스펙트럼은 배음 사이가 비어 있어, 1/3 Octave 같은 단순 평균은 배음 간격이 넓은 고음에서 빈 곳까지 평균해 곡선이 처지기 쉽습니다. Psychoacoustic은 Peak에 가중치를 두어 처짐이 적으므로 Smoothing의 기본값으로 했습니다. LTAS는 배음 사이가 이미 채워져 있어 Peak를 강조할 필요가 없으므로, 에너지를 그대로 평균하는 1/3 Octave를 기본값으로 했습니다. 1/3 Octave는 음향 측정에서 흔히 쓰는 해상도이며 존(Zone)으로 판별하는 최소 폭과 같습니다.

■ 방법 선택 요령

1. 먼저 어떤 소리인지에 따라 고릅니다.

- 여러 음을 연주한 소리(음계, 곡의 일부 등) → LTAS
- 한 음을 지속해서 연주한 소리 → LPC, True Envelope, MGCE, Smoothing 중에서 선택 (아래 2). LTAS도 쓸 수 있으며, 이때는 Analysis Length 대신 파일 전체를 분석한 Smoothing과 같습니다.
- 여러 파일을 합쳐서 보려면(한 음의 파일이라도) → LTAS의 [X all – Y all]

2. 한 음의 소리라면, 보고 싶은 것에 맞게 고릅니다.

보고 싶은 것	방법	특징
공명(Peak)의 위치를 뚜렷하게	LPC	Peak가 뾰족하게 나타남. 골짜기는 덜 정확함
배음의 실제 크기(배음 꼭대기의 레벨)	True Envelope	배음 사이의 골짜기에 끌려 내려가지 않음
저음의 공명을 자세히	MGCE	같은 차수의 LPC보다 저음부 해상도가 약 3배
측정 레벨 그대로의 대략적인 경향	Smoothing	실제 측정 레벨에 놓이는 완만한 곡선

Table 5: 한 음의 소리에서 방법 선택

3. 알아 둘 점

- 처음에는 LPC(기본값)로 보고 True Envelope로 확인하기를 추천합니다. 두 방법에 함께 나타나는 Peak와 Dip은 믿을 만하고, 한 방법에서만 보이는 것은 방법 자체의 특성일 수 있습니다.
- 한 음의 스펙트럼은 배음이 있는 주파수에만 정보가 있습니다. 고음(E현 등)일수록 배음 간격이 넓어 정보가 줄어드므로 차수(Order)를 기본값보다 낮추는 것이 좋습니다. 차수가 너무 높으면 포락선이 개별 배음을 따라가 들쭉날쭉해집니다.
- Smoothing은 1/3 Octave 또는 Psychoacoustic을 추천합니다. 더 세밀한 옵션은 대역이 배음 사이에 빠져 곡선이 들쭉날쭉해지므로 여러 음의 LTAS에만 적합합니다. Peak를 강조하려면 Psychoacoustic, 강조 없이 실제 에너지를 보려면 1/3 Octave나 ERB를 고릅니다.

- 서로 비교할 결과는 반드시 같은 방법과 옵션(차수, FFT Size, Analysis Length 등)으로 계산합니다. 방법이나 옵션이 다르면 같은 소리도 결과가 달라집니다.

■ **회색 영역 :** 배음이 있는 소리이면 기본음(f0)보다 낮은 부분이 회색으로 표시됩니다(7장).

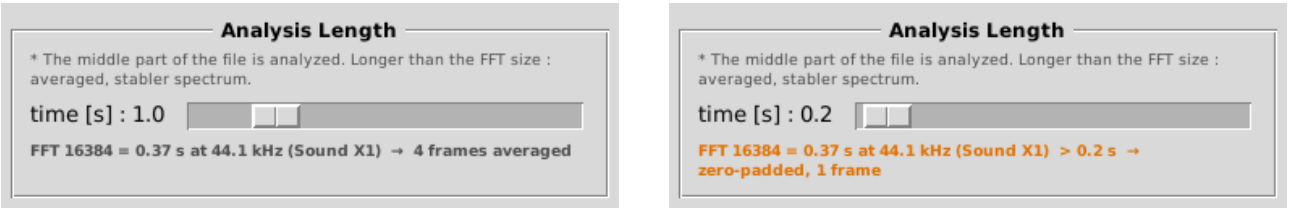
5.3 4. FFT SETTINGS

■ **FFT Size :** FFT(Fast Fourier Transform)는 주파수 분석이며, FFT Size는 한 번에 분석하는 샘플 수입니다. 클수록 주파수 해상도가 높아집니다(분석 구간이 FFT Size 이상일 때). 44.1[kHz]에서 16384(기본)는 0.37초, 65536은 1.49초입니다.

■ **Window :** 분석할 데이터를 잘라내는 모양입니다. 결과의 차이는 아주 작으며, 보통 Hanning(기본)을 씁니다.

■ **Analysis Length :** 사운드 파일의 중앙에서 이 길이(0.1 ~ 5.0초, 기본 1.0초)만 분석합니다. FFT Size보다 길면 FFT Size 길이의 구간들(50% 겹침)을 평균하므로 스펙트럼이 안정되고 잡음 Peak가 줄어듭니다. 짧으면 0으로 채워 한 구간만 분석하는데, 스펙트럼의 점만 많아질 뿐 가까운 Peak의 구분이나 잡음은 나아지지 않습니다. 파일이 이 길이보다 짧으면 파일 전체를 분석합니다.

슬라이더 아래 상태 줄에는 처음 입력한 파일의 샘플링 주파수로 계산한 FFT Size의 시간과 분석 방식이 표시됩니다(파일이 없으면 44.1[kHz]로 가정하고 (assumed) 표시). 평균할 때는 회색으로 구간 수가, 0으로 채울 때는 주황색으로 zero-padded가 표시됩니다(Figure 3). 주황색이면 FFT Size를 줄이거나 Analysis Length를 늘립니다.



(a) *FFT 16384 : 4*개 구간 평균 **(b)** *Analysis Length 0.2*초 : *0*으로 채움

Figure 3: *Analysis Length*와 상태 줄

5.4 5. RANGE OF X-AXIS

그래프 X축의 눈금([Linear] / [Log])과 표시 범위([Min], [Max], 0 ~ 22,050[Hz])를 정합니다. 기본 범위는 0 ~ 20,000[Hz]이며, Log 눈금에서 Min이 0이면 20[Hz]부터 표시합니다. Y축은 자동입니다.

눈금은 보여주는 방식만 바꿀 뿐 분석 결과에는 영향이 없습니다. 포락선 방법을 고르면 그 방법의 해상도에 맞는 눈금으로 자동으로 바뀌며(Table 3), 이후 직접 바꿀 수 있습니다.

- Linear : LPC, True Envelope. 저음부와 고음부의 해상도가 고릅니다. Log 눈금으로 바꾸면 저음부가 늘어나 곡선이 거칠게 보입니다.
- Log : MGCE, Smoothing, LTAS. 저음부의 해상도가 세밀하고 고음부는 성깁니다. Linear 눈금으로 바꾸면 저음부가 들쭉날쭉하고 고음부는 뭉개져 보입니다.

낮은 주파수의 공명을 자세히 볼 때는 LPC도 Log 눈금이 도움이 됩니다. 존/스팟의 자동 판별은 X축의 Min ~ Max 범위 안에서만 합니다(5.6절).

5.5 6. MIC CALIBRATION

마이크마다 고유한 주파수 특성이 있습니다. 보정 파일을 적용하면 평탄한 특성의 마이크로 측정한 것과 같은 스펙트럼과 포락선이 표시됩니다. 보정되는 것은 주파수별 편차(곡선의 모양)이며 절대 음압 레벨은 아닙니다.

- [None] (기본) : 보정하지 않음
- [EMM-6 (built-in)] : 내장된 Dayton Audio EMM-6 보정값 (제작자가 사용하는 마이크의 값)
- [Other mic] : 다른 마이크의 보정 파일을 [Import]로 입력. 파일이 없으면 버튼이 주황색, 입력되면 녹색입니다(Figure 4).

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

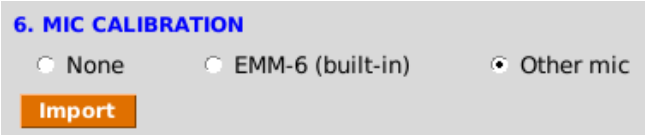


Figure 4: *Other mic* 선택 (보정 파일 입력 전)

보정 파일은 [주파수(Hz) 보정값(dB)] 두 열로 된 텍스트 파일(.txt, .cal, .frd)입니다. *, ", #, ; 로 시작하는 줄과 숫자가 아닌 줄은 무시합니다. 텍스트 파일이 아니거나, 소수점이 쉼표이거나(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.

X와 Y에 같은 보정이 적용되므로 X − Y(붉은색 선)는 보정 여부와 관계없이 같습니다. 보정은 X, Y 각각의 스펙트럼과 포락선의 레벨만 바꿉니다.

■ **보정 파일의 형식 :** 한 줄에 [주파수(Hz) dB 값]을 공백 또는 탭으로 구분해 적습니다(REW 등에서 흔히 쓰는 형식).

```
* Mic Model :  xxxxxx xxx-xx
* Freq(Hz) dB
10.000      -1.717
10.481      -1.717
10.985      -1.717
...
23594.406   -5.440
24000.000   -5.440
```

dB 값은 그 주파수에서 마이크가 평탄한 특성보다 얼마나 크게(+) 또는 작게(−) 녹음하는지입니다. 프로그램은 부호를 바꾼 값을 스펙트럼과 포락선에 더해 보정합니다. 예를 들어 위 파일의 24,000[Hz] 값이 −5.440이면 +5.440[dB]를 보정합니다. 파일의 주파수 사이 값은 로그 주파수 축에서 보간합니다. 일부 제조사는 이미 부호를 바꾼 보정값을 제공하므로 파일의 설명을 확인하십시오.

5.6 7. ZONE / SPOT DETECTION

결과 그래프(X − Y)의 존(Zone)과 스팟(Spot)을 자동으로 판별합니다(Figure 5). 판별 규칙은 7장에 있습니다.

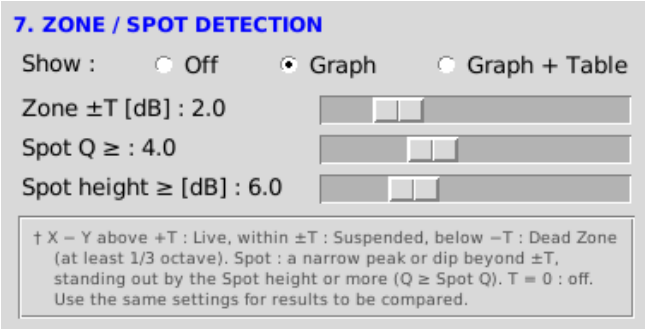


Figure 5: *7. ZONE / SPOT DETECTION*

■ **Show :** 판별 결과를 보여주는 방식입니다.

- [Off] : 판별하지 않음. Zone guide(±T 띠)만 그립니다.
- [Graph] (기본) : 결과 그래프에 존 막대와 스팟 표시를 그립니다.
- [Graph + Table] : 그래프와 함께 판별 결과를 표로 보여주는 창을 엽니다.

■ **Zone ±T [dB] :** 존을 나누는 기준값입니다(0 ∼ 10[dB], 0.5 단위, 기본 2[dB]). 결과 그래프에 ±T의 녹색 점선과 그 사이의 연한 녹색 띠(Zone guide)가 그려집니다. 곡선이 +T 위면 Live, ±T 안이면 Suspended, −T 아래면 Dead Zone입니다. 0이면 Off로 표시되고 띠와 판별이 모두 없습니다. T를 정하는 방법은 7장에 있습니다.

■ **Spot Q ≥ :** 스팟으로 판별할 Peak / Dip의 뾰족한 정도입니다(1.0 ∼ 10.0, 0.1 단위, 기본 4). Q가 이 값 이상인 좁은 Peak / Dip만 스팟으로 표시됩니다. Q 4는 폭이 Peak 주파수의 1/4 이하라는 뜻입니다(7장).

■ **Spot height ≥ [dB] :** Peak / Dip이 주변 곡선보다 솟은(꺼진) 높이(Height)의 기준입니다(1 ∼ 20[dB], 0.5 단위, 기본 6[dB]). 이 값 이상인 것만 스팟으로 표시되므로, 스팟이 너무 많으면 이 값을 높입니다(7장).

■ **판별 범위 :** X축의 Min ∼ Max 범위(5.4절) 안에서 20[Hz] 이상, 회색 영역(배음이 있는 소리의 f0 이하)을 뺀 부분만 판별합니다.

■ **그래프 표시 :** 각 존의 주파수 범위를 X축 바로 위에 두꺼운 막대로 표시합니다. 막대의 시작과 끝이 그 존의 시작과 끝 주파수이며, 막대의 색은 존의 종류를 나타냅니다. Live (주황), Suspended (녹색), Dead (검정). 스팟은 Live Spot을 곡선 바로 위에 주황색 ▲로, Dead Spot을 곡선 바로 아래에 검정색 ▼로 표시하고, 주파수(예: 2.05k)를 함께 적습니다. 범례에는 존의 범위(예: Live Zone (> +2.0 dB))와 스팟의 기준(예: Live Spot (Q ≥ 4, height ≥ 6 dB))이 표시됩니다.

■ **판별 결과 창 (Graph + Table) :** 위에서부터 계산 정보, 판별 결과의 표, 판별 기준(Zone, Spot)과 각 열의 뜻이 있습니다(Figure 11(b)). 표에는 존마다 그 안의 스팟이 아래 줄에 들여 쓰여 있으며, 각 열의 뜻은 Table 6과 같습니다.

열	존(Z1, Z2, …)	스팟(S1, S2, …)
No	Z1, Z2, … : 주파수 순서	S1, S2, … : 속한 존의 아래 줄에 들여 씀
Type	Live / Suspended / Dead Zone	Live Spot(좁은 Peak) / Dead Spot(좁은 Dip)
From, To [Hz]	존의 시작과 끝	Peak(Dip) 양쪽에서 높이(Height)의 절반이 되는 주파수
Peak [Hz]	–	Peak의 꼭대기(Dip의 바닥)의 주파수
Level [dB]	존 안 X − Y의 **중앙값**(평균이 아님). 존의 평소 레벨	Peak(Dip)에서의 X − Y 값
Height [dB]	–	Peak가 주변 곡선보다 솟은(Dip이 꺼진) 높이. 0[dB]로부터의 높이가 아님
Width [oct]	존의 폭(옥타브)	From ∼ To의 폭(옥타브)
Q	–	Peak / (To − From). 클수록 좁고 뾰족함

Table 6: 판별 결과의 열

Level과 Height의 차이 : Level은 0[dB] 기준의 값, 즉 X가 Y보다 얼마나 크거나 작은지입니다. Height는 Peak(Dip)가 주변보다 얼마나 솟았는지(꺼졌는지)로, 곡선의 모양을 나타냅니다. Peak에서 양쪽으로 곡선을 따라가 그 Peak보다 높은 곳이 나오기 전까지의 가장 낮은 곳을 각각 찾고, 둘 중 높은 쪽에서 Peak까지 잰 높이가 Height입니다(Dip은 위아래를 뒤집어 잼). 예를 들어 Figure 6의 S2는 Level −12.2[dB], Height 17.4[dB]이므로, 주변(약 +5[dB])보다 17.4[dB] 꺼진 Dip의 바닥에서 X가 Y보다 12.2[dB] 작다는 뜻입니다. 존의 Level에 중앙값을 쓰는 것은 존 안의 큰 Peak나 Dip에 끌려가지 않기 위해서입니다.

■ **저장 (Save TXT / Save PDF) :** 판별 결과 창의 내용을 저장합니다. 두 파일의 내용과 순서는 같습니다 (Figure 6, 7).

1. 계산 정보 : 프로그램 버전, 그래프 창의 순번(#3)과 계산 쌍, 파일 이름, 방법과 옵션, FFT Size, T, Q와 Spot height, 판별 범위(f0부터 시작하면 그 값), 존과 스팟의 수
2. 판별 결과의 표 (Table 6)
3. Criteria : 존과 스팟의 판별 규칙 요약 (7장)
4. Columns : 각 열의 뜻 (Table 6의 영어 요약)

[Save PDF]는 계산 정보와 표 사이에 결과 그래프를 넣어 A4 크기로 저장합니다. 행이 많으면 표가 다음 쪽으로 이어지고, 판별 기준과 열의 뜻은 표 끝에 붙습니다. [Save TXT]는 열을 탭으로 구분한 UTF-8 텍스트 파일이므로 엑셀에서 바로 열 수 있습니다.

기본 파일명은 `SCA_X2-Y2_LPC_yyyymmdd-hhmmss` 형식입니다. Refresh 방식(5.7절)에서는 같은 버튼을 다시 누르면 판별 결과 창도 새 결과로 바뀝니다.

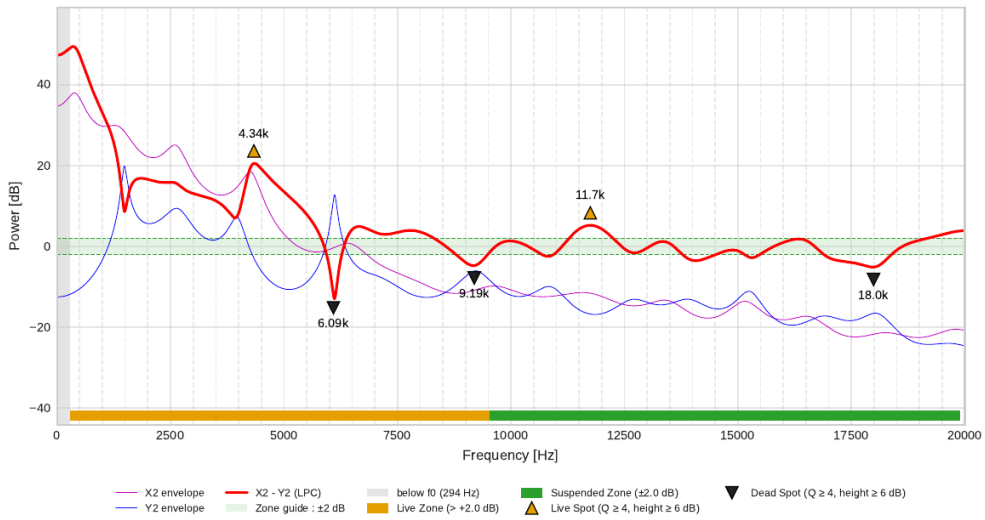
Sound Comparison Analyzer ver.4.1.0 - #3 X2 - Y2

Files : X2 = E_293.3_D3_3_0.wav, Y2 = S_293.3_D3_3_0.wav

Method : LPC, order 32, FFT 16384

T = 2 dB, Spot Q = 4, Spot height = 6 dB, judged 294 ~ 20000 Hz (from f0 294 Hz)

Zones : 2, Spots : 5 (Live 2, Dead 3)



No	Type	From [Hz]	To [Hz]	Peak [Hz]	Level [dB]	Height [dB]	Width [oct]	Q
Z1	**Live Zone**	294	9530	–	+16.7	–	5.02	–
S1	Live Spot	4125	4976	4338	+20.5	13.5	0.27	5.1
S2	Dead Spot	5969	6249	6091	-12.2	17.4	0.07	21.8
S3	Dead Spot	8557	9672	9192	-4.8	9.7	0.18	8.2
Z2	**Suspended Zone**	9530	19904	–	-0.4	–	1.06	–
S4	Live Spot	11128	12433	11750	+5.2	10.4	0.16	9.0
S5	Dead Spot	16754	18537	17990	-5.2	9.0	0.15	10.1

Criteria :

Zone	Live above +T, Suspended within ±T, Dead below −T; at least 1/3 octave wide (narrower parts are merged into the neighboring Zone).
Spot	a narrow peak (Live) or dip (Dead) : Height ≥ Spot height, Q ≥ Spot Q, above +T (Live) / below −T (Dead), and T or more beyond the Level of its Zone.

Columns :

No	Z1, Z2 ... : Zones in frequency order. S1, S2 ... : Spots, listed (indented) under the Zone they lie in.
Type	Live / Suspended / Dead Zone; Live Spot (narrow peak) / Dead Spot (narrow dip).
From, To [Hz]	Zone : where it begins and ends. Spot : the two sides of the peak (dip), at half its Height.
Peak [Hz]	Spot : frequency of the top of the peak (bottom of the dip).
Level [dB]	Zone : median of X − Y over the Zone (its usual level, not the mean). Spot : X − Y at the peak (dip).
Height [dB]	Spot : how far the peak rises above (the dip falls below) the curve around it (prominence), not the level above 0 dB.
Width [oct]	From .. To in octaves (1 = one octave, 0.5 = half an octave).
Q	Spot : Peak / (To − From). The higher, the narrower and sharper the Spot.

1 / 1

Figure 6: 저장된 *PDF* (*X2 − Y2, LPC*). 위에서부터 계산 정보, 결과 그래프, 판별 결과의 표, 판별 기준(*Criteria*), 열의 뜻 (*Columns*)

```
Sound Comparison Analyzer ver.4.1.0  -  #3  X2 - Y2
Files : X2 = E_293.3_D3_3_0.wav,  Y2 = S_293.3_D3_3_0.wav
Method : LPC, order 32,  FFT 16384
T = 2 dB,  Spot Q = 4,  Spot height = 6 dB,  judged 294 ~ 20000 Hz  (from f0 294 Hz)
Zones : 2,  Spots : 5 (Live 2, Dead 3)

No    Type            From [Hz]  To [Hz]  Peak [Hz]  Level [dB]  Height [dB]  Width [oct]     Q
Z1    Live Zone             294     9530          –       +16.7            –         5.02     –
  S1  Live Spot            4125     4976       4338       +20.5         13.5         0.27   5.1
  S2  Dead Spot            5969     6249       6091       -12.2         17.4         0.07  21.8
  S3  Dead Spot            8557     9672       9192        -4.8          9.7         0.18   8.2
Z2    Suspended Zone       9530    19904          –        -0.4            –         1.06     –
  S4  Live Spot           11128    12433      11750        +5.2         10.4         0.16   9.0
  S5  Dead Spot           16754    18537      17990        -5.2          9.0         0.15  10.1

Criteria :
  Zone : Live above +T, Suspended within ±T, Dead below −T;  at least 1/3 octave wide (narrower parts are
    merged into the neighboring Zone).
  Spot : a narrow peak (Live) or dip (Dead) :  Height ≥ Spot height,  Q ≥ Spot Q,  above +T (Live) / below
    −T (Dead),  and T or more beyond the Level of its Zone.

Columns :
  No : Z1, Z2 ... : Zones in frequency order.  S1, S2 ... : Spots, listed (indented) under the Zone they lie
    in.
  Type : Live / Suspended / Dead Zone;  Live Spot (narrow peak) / Dead Spot (narrow dip).
  From, To [Hz] : Zone : where it begins and ends.  Spot : the two sides of the peak (dip), at half its
    Height.
  Peak [Hz] : Spot : frequency of the top of the peak (bottom of the dip).
  Level [dB] : Zone : median of X − Y over the Zone (its usual level, not the mean).  Spot : X − Y at the
    peak (dip).
  Height [dB] : Spot : how far the peak rises above (the dip falls below) the curve around it (prominence),
    not the level above 0 dB.
  Width [oct] : From .. To in octaves (1 = one octave, 0.5 = half an octave).
  Q : Spot : Peak / (To − From). The higher, the narrower and sharper the Spot.
```

Figure 7: 저장된 *TXT* (*X2 − Y2, LPC*). 실제 파일에서는 표의 열이 탭으로 구분되며, 여기서는 보기 쉽게 열을 맞추고 긴 줄을 나누어 표시함

5.7 8. CALCULATION

■ **New window / Refresh :** [New window]는 누를 때마다 새 그래프 창을 엽니다. [Refresh](기본)는 같은 버튼이 마지막으로 그린 창에 다시 그리므로, 옵션을 바꿔 가며 비교할 때 창이 늘어나지 않습니다(그 창이 닫혀 있으면 새 창을 엶). 그래프 창 제목에는 순번, 계산 쌍, 방법과 옵션이 표시됩니다.

■ **계산 버튼 :** [X1 − Y1] ∼ [X4 − Y4]는 두 파일이 모두 입력된 쌍만 녹색으로 활성화됩니다. [X all − Y all]은 LTAS를 고르고 X, Y 파일이 하나 이상씩 있을 때 파란색으로 활성화되며, 모든 X 파일과 모든 Y 파일을 각각 같은 비중으로 평균해 비교합니다(Figure 8).

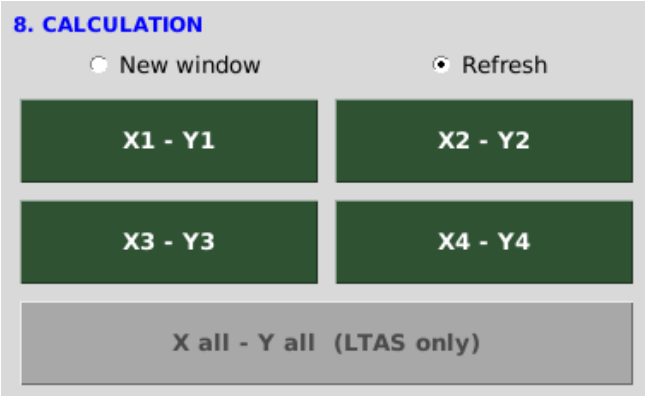


Figure 8: 계산 버튼 (파일 *8*개 입력, *LPC* 선택)

다음 경우에는 계산 전에 안내창이 나타나며, [OK]를 누르면 계산을 계속합니다.

- 파일이 Analysis Length보다 짧은 경우 (파일 전체를 분석)
- 실제로 분석하는 구간(LTAS는 파일 전체)이 FFT Size보다 짧은 경우 (0으로 채워 한 구간만 분석)
- X와 Y 중 한쪽만 배음이 있는 경우 (7장 회색 영역)

샘플링 주파수가 다른 파일을 함께 계산하거나, Other mic를 고르고 보정 파일을 입력하지 않으면 오류 메시지가 나타나고 계산하지 않습니다. 그래프 창 아래의 도구 막대로 확대하거나 그림 파일로 저장할 수 있습니다.

6 사용예

바이올린 몸통의 증폭 특성을 알아보는 예입니다. [SOUND SET X]에는 현을 장착한 바이올린의 소리를, [SOUND SET Y]에는 울림통이 없는 현만의 소리를 G, D, A, E 현 순서로 입력합니다(Figure 1). 나머지 옵션은 기본값입니다.

6.1 한 음의 비교 (X1 – Y1, LPC)

LPC를 고르고 [X1 – Y1] 버튼을 누르면 Figure 9와 같은 결과가 나옵니다.

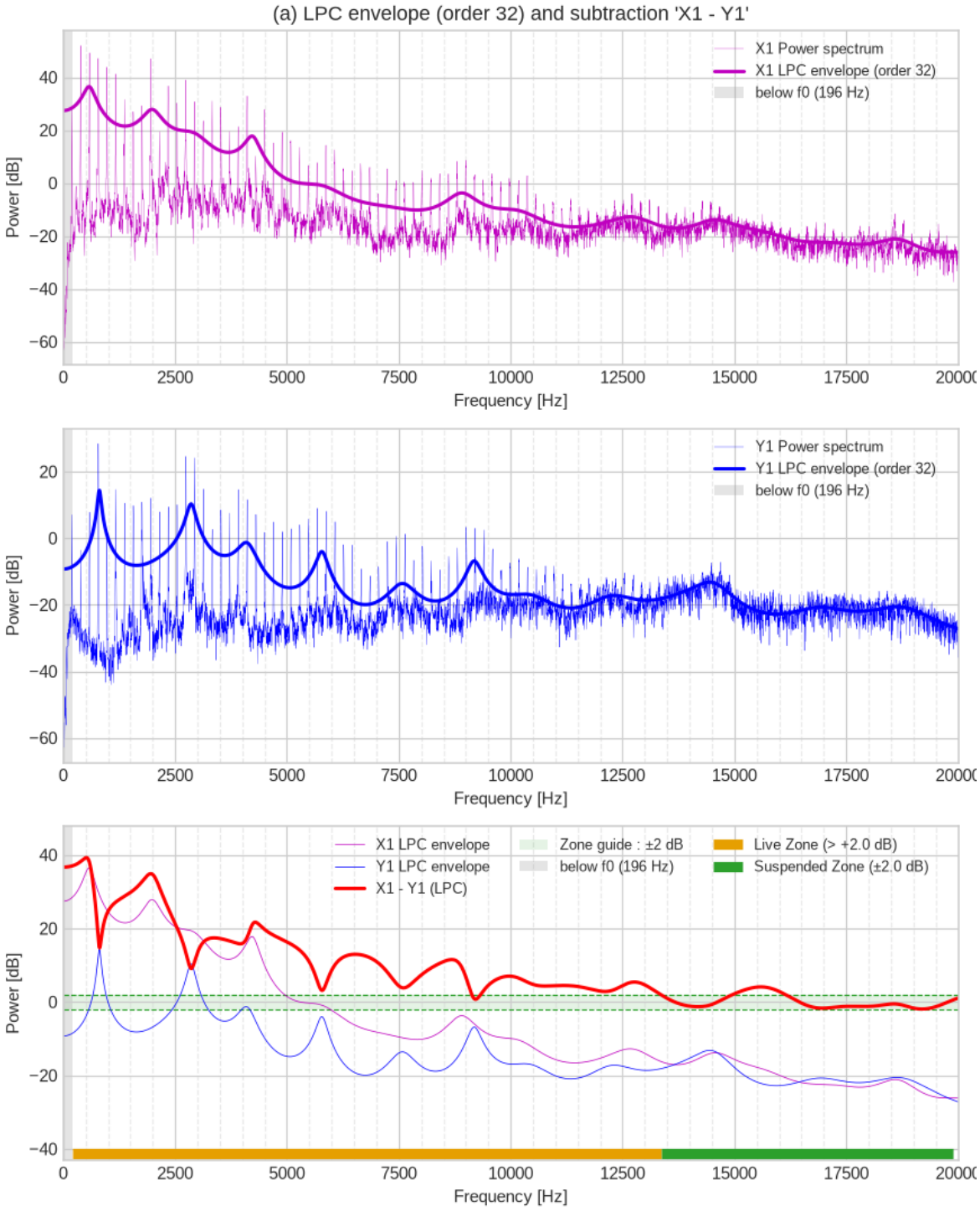


Figure 9: 결과 (*G현, LPC*)

■ 결과값 설명 :

- 위의 보라색 그래프는 X1의 분석 결과로, 얇은 선은 Power spectrum, 굵은 선은 포락선(LPC envelope)입니다.
- 가운데 파란색 그래프는 Y1의 분석 결과입니다(선의 뜻은 위와 같음).
- 아래 그래프의 보라색, 파란색 선은 위의 두 포락선이며, 붉은색 선은 그 차이(X – Y), 즉 결과 그래프입니다.
- 범례의 회색 칸(below f0 (196 Hz))은 G현 소리의 기본음(f0, 196[Hz])보다 낮은 영역으로, 이 음의 성분이

아니므로 판별하지 않습니다(7장 회색 영역).

- 녹색 띠는 존(Zone) 판별을 돕는 Zone guide(기본 ±2[dB])입니다(5.6절, 7장).
- X축 바로 위의 막대는 자동 판별한 각 존의 주파수 범위입니다. 주황색은 Live Zone, 녹색은 Suspended Zone이며, 스팟이 있으면 Live Spot은 주황색 ▲, Dead Spot은 검정색 ▼로 표시됩니다(5.6절, 7장).

결과 그래프의 값이 +10[dB]이면 그 주파수에서 X1이 Y1보다 10[dB] 크다는 것, 즉 몸통을 거치며 소리가 10[dB] 증폭되었다는 뜻입니다. 0이면 변화가 없고, 음수이면 감쇠된 것입니다.

Figure 9의 결과 그래프(붉은색)를 보면 약 2[kHz]에서 약 35[dB], 4.3[kHz]에서 약 22[dB]의 큰 증폭이 있고, 500[Hz] 이하에서도 약 38[dB]의 증폭이 있습니다. 0.8[kHz]와 2.9[kHz] 부근은 주변보다 증폭이 작습니다. 증폭은 고음으로 갈수록 줄어 약 13[kHz] 이상에서는 거의 0[dB]입니다. 자동 판별 결과는 약 13.4[kHz]까지 Live Zone, 그 이상은 Suspended Zone이며, 기본값(Spot height 6[dB])에서는 스팟이 없습니다.

6.2 여러 음의 평균 (X all − Y all, LTAS)

LTAS + Smoothing을 고르고 [X all − Y all] 버튼을 누르면 4개 현의 소리를 평균해 비교한 결과가 나옵니다(Figure 10). 여러 음을 평균하므로 특정 배음에 덜 치우칩니다(이 예는 개방현 4음뿐이라 배음 사이가 다 채워지지는 않음). 약 290[Hz]에서 약 52[dB]로 증폭이 가장 크고, 1[kHz], 2.2[kHz], 3.3[kHz] 부근에서도 증폭이 두드러지며, 고음으로 갈수록 증폭이 줄어듭니다. 자동 판별 결과는 약 76[Hz] 이상 거의 전 대역이 Live Zone이고, 0.97[kHz]에 Live Spot이 있습니다. LTAS에는 회색 영역이 없어 20[Hz]부터 판별하지만, 가장 낮은 음(G현, 196[Hz])보다 낮은 부분은 어느 음의 성분도 아니므로 의미가 없습니다.

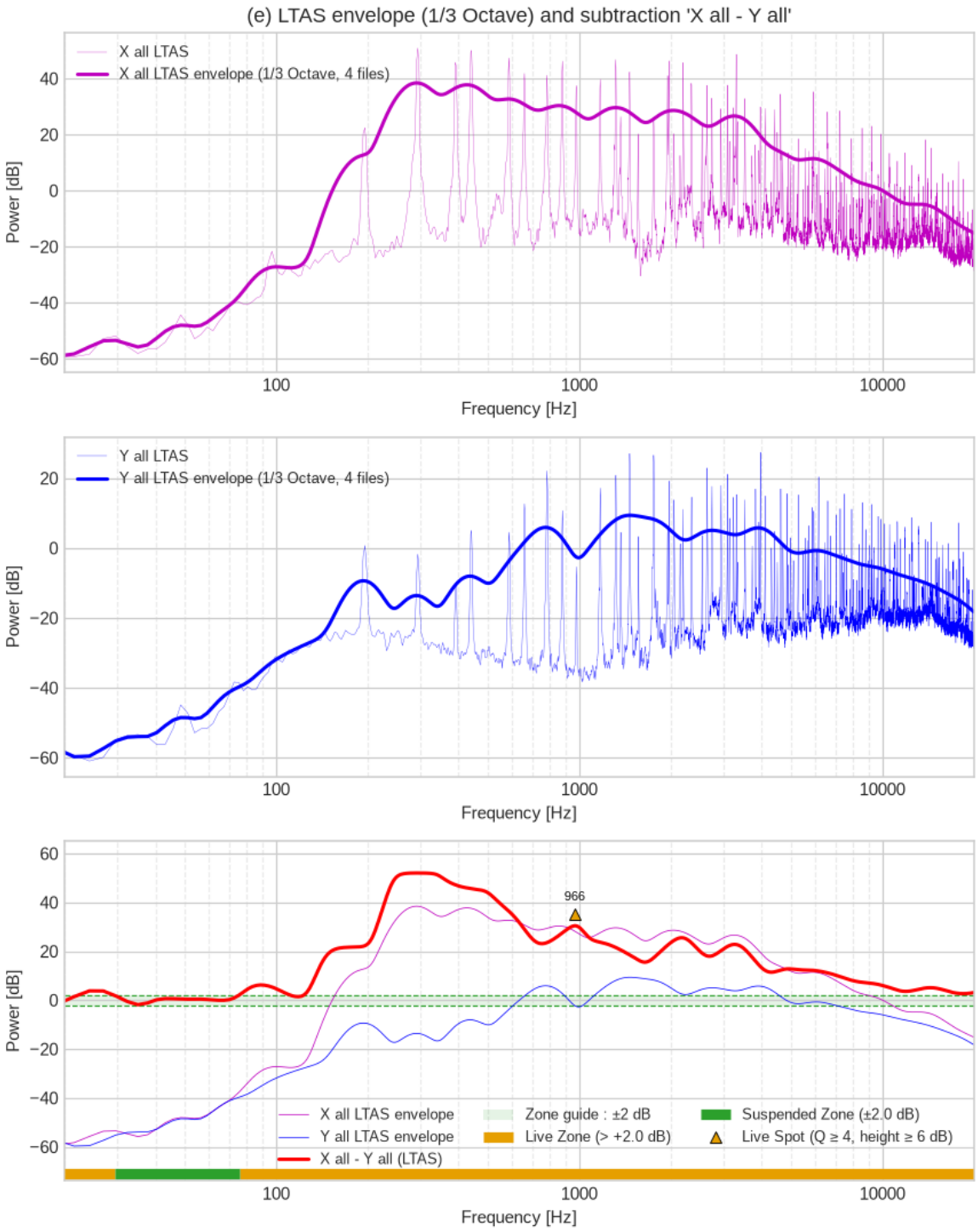


Figure 10: 결과 (*4*개 현의 평균, *LTAS 1/3 Octave, Log* 눈금)

7 결과 그래프의 해석

결과 그래프(붉은색 선, X − Y)는 Table 7의 5가지 유형으로 나누어 해석합니다. Show를 Graph 또는 Graph + Table로 하면 프로그램이 아래 규칙으로 자동 판별합니다(5.6절).

구분	명칭	판별	설명
존	**Live Zone**	+T 위	증폭되는 범위
	Suspended Zone	±T 띠 안	증폭도 감쇠도 없는 범위
	Dead Zone	−T 아래	감쇠되는 범위
스팟	**Live Spot**	좁게 솟은 Peak, +T 위	국지적 증폭
	Dead Spot	좁게 꺼진 Dip, −T 아래	국지적 감쇠

Table 7: 결과 그래프의 *5*가지 유형 (존은 모두 폭 *1/3* 옥타브 이상)

■ **존(Zone)의 판별 :** 존은 X가 Y보다 커졌는지(Live), 작아졌는지(Dead), 차이가 없는지(Suspended)를 주파수 범위로 나타낸 것입니다. 곡선의 각 점을 +T 위, ±T 안, −T 아래로 나눈 뒤, 1/3 옥타브보다 좁은 부분은 가장 좁은 것부터 이웃 존에 합칩니다(양쪽 이웃이 같은 종류면 그 종류로, 아니면 더 넓은 쪽으로). 그래서 띠를 잠깐 벗어나는 짧은 출렁임은 존을 나누지 않으며, 그런 부분은 스팟으로 판별됩니다.

T는 어느 정도의 차이까지 "차이 없음"으로 볼지 정하는 값입니다. 같은 소리를 같은 조건으로 다시 녹음해도 연주의 세기, 마이크 위치 등의 작은 차이 때문에 결과가 보통 1 ∼ 2[dB] 달라지므로 기본값을 2[dB]로 했습니다. 같은 소리를 두 번 녹음해 X, Y로 비교하면 결과 그래프가 0 부근에서 오르내리는 폭이 곧 측정의 오차이므로, 이 폭에 맞춰 T를 정할 수도 있습니다. 서로 비교할 결과는 같은 T로 계산합니다.

■ **스팟(Spot)의 판별 :** 스팟은 좁은 범위에서 X가 Y보다 커지거나(Live) 작아진(Dead) 곳입니다. 결과 그래프의 Peak(Live Spot 후보)와 Dip(Dead Spot 후보) 중 다음 네 조건을 모두 만족하는 것만 스팟으로 판별합니다.

1. 높이 : 주변보다 [Spot height](기본 6[dB]) 이상 솟아(꺼져) 있음
2. 뾰족함 : Q가 [Spot Q] 이상 (Q = Peak 주파수 / 폭, 폭은 높이의 절반에서 잼)
3. 실제 변화 : Live Spot은 Peak가 +T 위, Dead Spot은 Dip이 −T 아래
4. 존과의 차이 : 속한 존의 평소 레벨(X − Y의 중앙값)보다 T 이상 높음(낮음)

조건 3은 스팟도 존과 같은 기준으로 X가 실제로 커지거나 작아진 곳이어야 한다는 뜻입니다. 예를 들어 Dead Zone 안에서 솟았지만 +T에 못 미치는 Peak는 "덜 감쇠된 곳"일 뿐이므로 Live Spot이 아니며, Live Zone 안에서 꺼졌지만 −T 위에 있는 Dip도 Dead Spot이 아닙니다. 조건 4가 없으면 존의 끝과 옆의 높은 Peak 사이의 단순한 골짜기가 Dead Spot으로 판별됩니다(그 골짜기의 깊이와 Q는 양옆의 높이와 거리로 정해지므로 높이나 Q만으로는 걸러지지 않음). 큰 Peak가 그 자체로 존으로 판별된 경우처럼 스팟이 존의 절반을 넘으면, 존 대신 스팟 주변 ±1 옥타브의 중앙값을 기준으로 합니다.

폭을 높이의 절반에서 재는 것은 높이가 2 ∼ 3[dB]인 작은 Peak에는 −3[dB]가 되는 곳이 없을 수 있기 때문입니다. 높이가 6[dB] 이상이면 이 폭은 −3[dB] 대역폭과 같아져, Q가 일반적인 정의(Peak 주파수 / −3[dB] 대역폭)와 일치합니다.

폭 = Peak 주파수 / Q이므로, Spot Q는 스팟으로 판별할 폭의 상한을 Peak 주파수에 대한 비율로 정합니다(Table 8).

Q	**폭 / Peak 주파수**	**폭 [옥타브]**	**예 : 1[kHz] Peak의 폭 [Hz]**
1.4	1/1.4 (71%)	1.00	710
2	1/2 (50%)	0.71	500
3	1/3 (33%)	0.48 (≈ 1/2)	333
4 (기본)	**1/4 (25%)**	**0.36 (≈ 1/3)**	**250**
5	1/5 (20%)	0.29	200
8.7	1/8.7 (11.5%)	0.17 (≈ 1/6)	115
10	1/10 (10%)	0.14	100

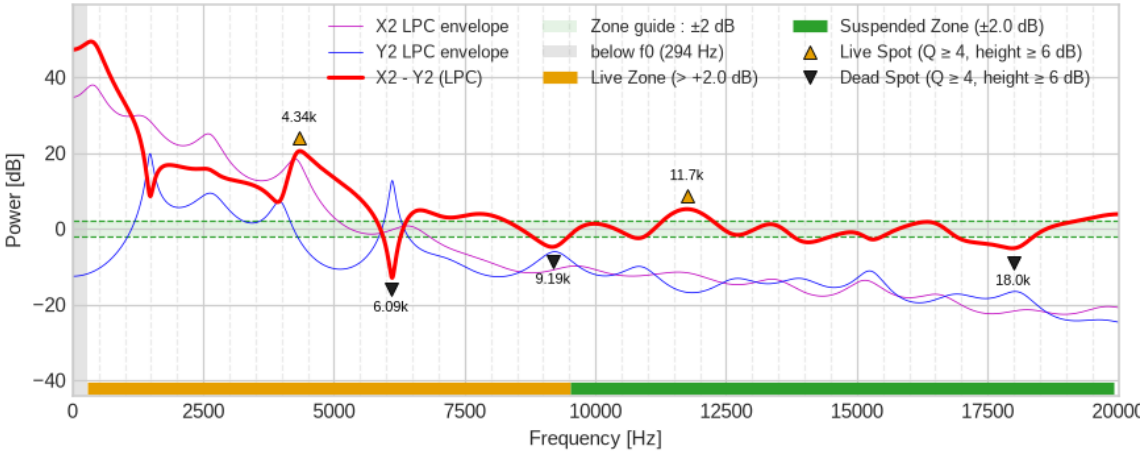
Table 8: *Spot Q*와 스팟의 폭 (이 폭 이하인 것만 스팟으로 판별)

Q 4와 Spot height 6[dB]로 정한 이유 : Q 4는 폭이 Peak 주파수의 1/4, 약 1/3 옥타브입니다. 1/3 옥타브는 존으로 판별하는 최소 폭이므로, 이보다 좁게 솟거나 꺼진 것을 스팟으로 판별합니다. Spot height 6[dB]는 주변보다 진폭이 2배라는 뜻으로, 확실히 두드러진 것만 남깁니다. 높은 차수의 LPC 등에서 생기는 얕은 잔물결은 Q가 커도 높이가 낮아 걸러집니다. Q나 Spot height를 낮추면 더 넓거나 얕은 것까지 스팟으로 판별되어 스팟의 수가 늘어납니다. 서로 비교할 결과는 T와 마찬가지로 같은 Q와 Spot height로 계산합니다.

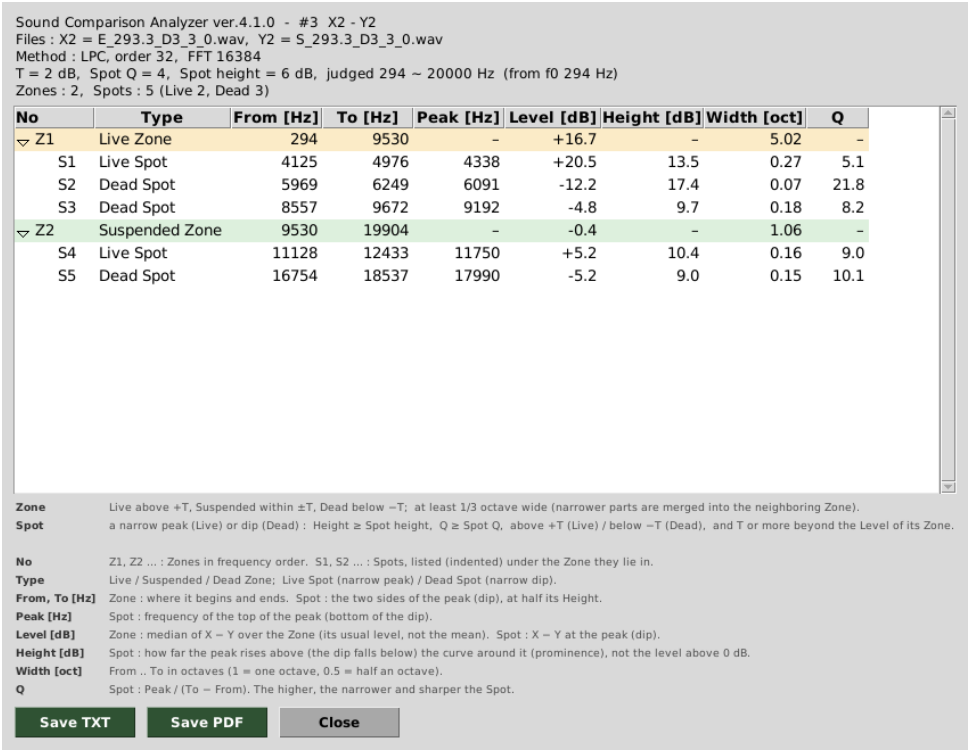
단, 존과 스팟의 판별은 X와 Y를 같은 녹음 레벨(게인, 거리)로 녹음한 경우에만 의미가 있습니다.

■ **판별 예 :** Figure 11은 6장의 X2 − Y2(D현, LPC)를 Show [Graph + Table]로 계산한 결과입니다. 약 9.5[kHz]까지 Live Zone(중앙값 +16.7[dB])이고 그 이상은 Suspended Zone입니다. Live Zone 안에는 4.34[kHz]의 Live Spot(+20.5[dB], Height 13.5[dB], Q 5.1), 6.09[kHz]의 뚜렷한 Dead Spot(−12.2[dB], Height 17.4[dB], Q 21.8), 9.19[kHz]의 Dead Spot이 있고, Suspended Zone 안에는 11.7[kHz]의 Live Spot과 18.0[kHz]의 Dead Spot이 있습니다. 10.9[kHz]와 14.1[kHz] 부근의 작은 Dip들은 −T 아래로 내려가지만 높이가 3.8[dB], 5.4[dB]로 Spot height(6[dB])에 못 미칩니다. 1.5[kHz] 부근의 Dip은 크게 꺼졌지만 값이 약 +9[dB]로 여전히 증폭되는 곳이므로 Dead Spot이 아닙니다(조건 3).

6.1절의 X1 − Y1(Figure 9)은 약 13.4[kHz]까지 Live Zone, 그 이상은 Suspended Zone입니다. 15.6[kHz] 부근에서 띠 위로 잠깐 올라가는 부분은 높이가 5.4[dB]로 기본값에서는 스팟이 아니며, Spot height를 5[dB]로 낮추면 Live Spot으로 판별됩니다.



(a) 결과 그래프 (존 막대와 스팟 표시)



Sound Comparison Analyzer ver.4.1.0 - #3 X2 - Y2
Files : X2 = E_293.3_D3_3_0.wav, Y2 = S_293.3_D3_3_0.wav
Method : LPC, order 32, FFT 16384
T = 2 dB, Spot Q = 4, Spot height = 6 dB, judged 294 ~ 20000 Hz (from f0 294 Hz)
Zones : 2, Spots : 5 (Live 2, Dead 3)

No	Type	From [Hz]	To [Hz]	Peak [Hz]	Level [dB]	Height [dB]	Width [oct]	Q
Z1	Live Zone	294	9530	-	+16.7	-	5.02	-
S1	Live Spot	4125	4976	4338	+20.5	13.5	0.27	5.1
S2	Dead Spot	5969	6249	6091	-12.2	17.4	0.07	21.8
S3	Dead Spot	8557	9672	9192	-4.8	9.7	0.18	8.2
Z2	Suspended Zone	9530	19904	-	-0.4	-	1.06	-
S4	Live Spot	11128	12433	11750	+5.2	10.4	0.16	9.0
S5	Dead Spot	16754	18537	17990	-5.2	9.0	0.15	10.1

Zone Live above +T, Suspended within ±T, Dead below −T; at least 1/3 octave wide (narrower parts are merged into the neighboring Zone).
Spot a narrow peak (Live) or dip (Dead) : Height ≥ Spot height, Q ≥ Spot Q, above +T (Live) / below −T (Dead), and T or more beyond the Level of its Zone.

No Z1, Z2 ... : Zones in frequency order. S1, S2 ... : Spots, listed (indented) under the Zone they lie in.
Type Live / Suspended / Dead Zone; Live Spot (narrow peak) / Dead Spot (narrow dip).
From, To [Hz] Zone : where it begins and ends. Spot : the two sides of the peak (dip), at half its Height.
Peak [Hz] Spot : frequency of the top of the peak (bottom of the dip).
Level [dB] Zone : median of X − Y over the Zone (its usual level, not the mean). Spot : X − Y at the peak (dip).
Height [dB] Spot : how far the peak rises above (the dip falls below) the curve around it (prominence), not the level above 0 dB.
Width [oct] From .. To in octaves (1 = one octave, 0.5 = half an octave).
Q Spot : Peak / (To − From). The higher, the narrower and sharper the Spot.

Save TXT | Save PDF | Close

(b) 판별 결과 창

Figure 11: 존/스팟의 자동 판별 ($X2 - Y2$, LPC, $T = 2[dB]$, $Q = 4$, $Spot\ height = 6[dB]$)

결과 그래프는 같은 소리라도 포락선의 종류와 옵션(차수, Smoothing 등), FFT 설정(FFT Size, Analysis Length)에 따라 달라집니다. 목적에 맞는 옵션을 고르고(5.2절 방법 선택 요령), 서로 비교할 결과는 반드시 같은 옵션으로 계산합니다.

■ **회색 영역 (f0 이하) :** 분석하는 소리에는 배음이 있을 수도(악기음 등), 없을 수도(탭톤, 임펄스, 스윕, 잡음 등) 있습니다. 프로그램은 먼저 배음이 있는지 확인하고, 배음이 있는 소리일 때만 기본음(f0)보다 낮은 부분을 회색으로 칠하고 판별에서 뺍니다. 배음이 없는 소리는 f0가 없으므로 회색 없이 전 대역을 그대로 비교합니다.

배음이 있는 소리에서 f0 이하가 의미가 없는 이유는 다음과 같습니다. 예를 들어 바이올린으로 A4를 연주한 소리는 440[Hz](f0)와 그 정수배(880[Hz], 1320[Hz], ⋯)의 배음으로 이루어지므로, 그 음이 가진 가장 낮은 성분은 440[Hz]입니다. 440[Hz] 아래에도 활 잡음, 어택의 과도음, 공간의 소리 등이 있을 수 있지만 그 음의 성분이 아니

므로, 두 음을 비교하는 데 쓸 수 없습니다. 또한 LPC, True Envelope, MGCE는 배음 Peak를 잇는 포락선이므로, f0 아래의 곡선은 측정값이 아니라 f0 Peak 근처의 높이에 머문 곡선입니다(LPC는 배음 Peak에 맞춘 공명 모델의 꼬리이고, True Envelope과 MGCE는 켑스트럼 계산에서 스펙트럼이 0[Hz]를 중심으로 대칭이므로 −f0와 +f0의 Peak 사이를 곡선이 덮어 잇습니다). Smoothing의 곡선은 f0 아래도 측정값이지만, 그 음의 성분이 아니므로 같은 기준으로 회색을 칠합니다.

위·가운데 그래프는 각각 X, Y의 f0를, 결과 그래프는 둘 중 높은 f0를 기준으로 하며, 한쪽만 배음이 있으면 그쪽의 f0를 씁니다. LTAS(여러 음의 평균)는 f0를 하나로 정할 수 없으므로 회색을 칠하지 않지만, 같은 이유로 가장 낮은 음의 f0보다 낮은 부분은 의미가 없습니다.

배음은 다음과 같이 확인합니다. 소리의 주기성으로 f0 후보를 찾은 뒤(30 ∼ 4500[Hz]), f0, 2f0, ⋯ 8f0 위치에 배음 Peak가 있는지 봅니다. 주변보다 10[dB] 이상 솟고 가장 큰 Peak에서 60[dB] 이내인 Peak가 8개 중 5개 이상이면 배음이 있는 소리로 봅니다. FFT Size가 작아 배음을 구분할 수 없으면(예: 저음에 FFT Size 2048) 배음이 없는 것으로 처리되어 회색이 표시되지 않습니다.

X와 Y 중 한쪽만 배음이 있으면(예: 연주음과 탭톤) 계산 전에 안내창이 나타납니다. 배음 있는 소리는 에너지가 배음에 모여 있고 배음 없는 소리는 넓게 퍼져 있어, FFT Size에 따라 두 소리의 레벨이 서로 다르게 변합니다. 그래서 X − Y 곡선 전체의 높이가 FFT Size에 따라 달라지므로, 곡선의 모양(어디가 솟고 꺼지는지)만 비교할 수 있고 0[dB] 기준의 존 판별은 할 수 없습니다. 둘 다 악기음인데 이 안내창이 나타나면 한쪽의 f0를 찾지 못한 것이므로 FFT Size를 키워 보십시오.

8 주요 변경 사항

- 프로그램 이름 변경 : Sound Comparing Analyzer → Sound Comparison Analyzer
- 존(Zone)과 스팟(Spot)의 자동 판별 : 새 항목 7. ZONE / SPOT DETECTION (Zone ±T, Spot Q, Spot height, Show : Off / Graph / Graph + Table), 결과 그래프의 존 막대와 스팟 표시
- 판별 결과 창 : 존과 스팟의 표, TXT / PDF 저장
- 화면 구성 : 4. FFT SETTINGS를 좌측열로 이동, 계산은 8번으로, 화면의 설명문을 꼭 필요한 내용만 짧게 정리
- 기본값 : 그래프 창 Refresh, Show Graph
- 닫힌 그래프 창에 Refresh로 다시 그릴 때 생기던 오류 수정
- 포락선 방법 : LPC에 True Envelope, Smoothing, MGCE, LTAS 추가 (5가지)
- [X all − Y all] : 입력된 모든 파일의 평균 비교 (LTAS)
- 주파수 분석 : Analysis Length 전체를 구간별로 평균 (이전에는 FFT Size만큼만 사용), DC 성분 제거
- Analysis Length 최대 5.0초, 상태 줄과 안내창 추가
- 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)
- 기본음(f0) 아래 회색 영역 표시(배음 구조가 확인된 소리만), 그래프 창 New window / Refresh 선택
- 결과 그래프의 Zone guide(±T [dB])
- 새 화면 구성 (2열), 버튼 색으로 상태 표시, 창 크기 조절과 스크롤, 마우스 휠로 슬라이더 조절

9 개발 환경과 사용 환경

본 프로그램은 'Python 3.11 + Tkinter'(NumPy, SciPy, Matplotlib)로 개발되었으며 'Windows 11'에서 동작을 확인했습니다.