그래픽 안내서

Windows용 LUFScale - 버전 2.2.3

빠른 시작

LUFScale의 기능

LUFScale는 파일의 라우드니스를 측정하고, 정규화 작업에서는 트루 피크를 제어하면서 체감 음량을 LUFS 목표로 실제 조정합니다. 각 원본의 전체 길이를 분석한 뒤 출력을 다시 측정하고 검증합니다. 결과는 태그나 호환 플레이어에 의존하지 않으며, 파일 간 음량이 더 일관되고 편차는 표시되며 원본은 변경되지 않습니다.

자유 소프트웨어와 재배포

LUFScale는 GNU GPL-3.0-or-later로 배포되는 자유 소프트웨어입니다. 라이선스 조건에 따라 사용·연구·수정·재배포할 수 있습니다. 소스 코드, 고지, 타사 라이선스가 배포본에 포함됩니다. 소프트웨어는 보증 없이 제공됩니다.

1

오디오 파일 추가

오디오 파일이나 폴더를 추가합니다.

2

대상

대상 폴더를 선택합니다.

3

설정

프리셋과 작업을 선택합니다.

4

시작

처리를 시작하고 진행 상황을 확인합니다.

주요 기능

- MP3, FLAC, WAV, AIFF, M4A, OGG, Opus의 균일화, ReplayGain 또는 분석.
- 각 파일을 따로 측정하고 선택한 목표로 처리합니다.
- 폴더 구조, 지원 메타데이터와 표지를 보존하며 원본은 바뀌지 않습니다.
- 병렬 처리, 캐시, 재개, QC, CSV, 진행률, CPU, LUFS 기록.
- 12개 언어의 화면과 PDF 안내서.

설정 - 오디오 / 옵션

주요 기능

적용 형식

LUFScale은 MP3, FLAC, WAV, AIFF, M4A, OGG, Opus를 지원합니다. 라우드니스 측정, LUFS 목표, 정규화 모드의 True Peak 상한, 처리 설정과 품질 검사는 MP3뿐 아니라 지원 형식 전반에 적용됩니다. 코덱과 일부 보정은 출력 형식에 따라 달라집니다. MP3 예시는 특정 사례이며 일반 기능을 MP3로 제한하지 않습니다.

프리셋

라우드니스 목표, 최대 트루 피크와 오디오 품질을 일관된 조합으로 한 번에 적용합니다. 값을 수동으로 바꾸면 사용자 지정을 선택합니다.

파일별 처리

각 파일의 측정값과 개별 게인으로 True Peak 한도 안에서 목표 LUFS에 접근합니다.

ITU-R BS.1770

LUFScale는 기준 자료에서 검증된 유일한 방식인 전체 길이 이력 측정을 자동으로 사용합니다.

작업

균일화는 오디오를 실제로 바꿉니다. ReplayGain은 스트림을 복사하고 태그를 추가합니다. 분석만은 오디오를 만들지 않습니다.

음량

이 설정은 라우드니스 목표의 바로가기이며 시스템의 재생 음량을 바꾸지 않습니다.

• 부드럽게: -18 LUFS - 더 차분하고 다이내믹 여유가 크며 리미터가 작동할 가능성이 낮습니다.
• 보통: -16 LUFS - 균형 잡힌 절충안으로 개인 라이브러리의 시작점에 적합합니다.
• 크게: -14 LUFS - Spotify 보통 재생 목표에 가까운 더 선명한 음량이지만 제한 처리가 더 필요할 수 있습니다.
• 사용자 지정 - 다른 LUFS 목표를 직접 입력합니다.

이 값은 실용적인 선택이며 보편적 표준은 아닙니다.

라우드니스 목표

라우드니스 목표는 트랙 전체에 대해 원하는 통합 라우드니스이며 LUFS로 표시합니다. 덜 음수인 값이 더 크게 들립니다. -14 LUFS는 -16 LUFS보다 큽니다. 피크 제한 전 2 LU 차이는 약 2 dB의 레벨 차이입니다.

참고: 더 차분하고 다이내믹한 결과는 -18 LUFS, 일반적인 균형은 -16 LUFS, 스트리밍 스타일의 큰 결과는 -14 LUFS입니다. 플랫폼은 자체 재생 정규화를 적용할 수 있습니다.

이 목표만으로 트랙 내부의 다이내믹이 평탄해지지는 않습니다. 최대 트루 피크 때문에 클리핑 없이 목표에 도달할 수 없으면 결과가 조금 더 낮을 수 있습니다.

최대 트루 피크

최대 트루 피크는 도달할 음량이 아니라 상한입니다. 샘플 사이의 피크를 포함해 복원된 파형의 가장 높은 피크를 dBTP로 제한하여 인코딩 또는 트랜스코딩 뒤 클리핑 위험을 줄입니다.

• -1.0 dBTP - 일반적인 배포 상한이며 출력 피크가 가장 높습니다.
• -1.5 dBTP - 기본값이며 MP3에 신중한 절충안입니다.
• -2.0 dBTP - 재인코딩될 파일이나 높은 라우드니스 목표에 유용한 추가 여유입니다.
• 0 dBTP - 여유가 없으므로 MP3에는 권장하지 않습니다.

더 음수인 값은 보호를 늘리지만 매우 다이내믹한 트랙이 LUFS 목표에 정확히 도달하지 못하게 할 수 있습니다.

정규화 시 True Peak 상한은 모든 형식에 적용됩니다. MP3 예시는 M4A/AAC, OGG/Vorbis, Opus의 주의점에도 도움이 됩니다. 부록의 추가 내부 여유 1 dB는 MP3 출력의 동적 처리 전용입니다.

오디오 품질

압축 형식의 품질과 크기 사이의 균형을 정합니다. 숫자가 낮을수록 품질과 비트레이트가 높습니다. 이 설정은 LUFS 목표나 최대 트루 피크를 바꾸지 않습니다.

• 0 - 세부 보존에 권장하는 최고 품질.
• 1~2 - 매우 높은 품질.
• 3~4 - 품질/크기의 좋은 균형.
• 5~9 - 손실이 더 큰 작은 파일.

FLAC은 값과 관계없이 무손실입니다. WAV와 AIFF는 이 설정을 무시하고 원본과 호환되는 PCM 샘플레이트와 비트 깊이를 유지합니다. MP3, M4A, OGG, Opus에서 낮은 값은 원본보다 높은 비트레이트를 요구하여 출력이 더 커질 수 있습니다. 높은 값은 보통 크기를 줄이지만 VBR을 자주 사용하므로 같은 바이트 수를 보장하지 않습니다. 손실 형식을 재인코딩해도 이미 잃은 정보는 복원되지 않습니다.

병렬 처리

동시에 처리할 수 있는 파일 수를 정합니다.

• 자동은 최대 4개 작업으로 시작합니다. CPU 측정이 가능하면 매초 확인하여 사용률이 70% 아래일 때 작업 하나를 추가하고 92% 위일 때 하나를 줄입니다.
• 자동은 감지된 논리 프로세서 수를 넘지 않으며 절대 상한은 16개 작업입니다.
• CPU 측정이 불가능하면 동적 조정 없이 감지된 상한을 바로 사용합니다.
• 숫자 값은 동시 작업의 최대 수이며 CPU 사용률 목표가 아닙니다.

작업을 늘리면 큰 묶음이 빨라질 수 있지만 부하, 온도와 디스크 접근이 증가합니다. 자동이 나타날 때까지 -를 누르십시오.

설정 - 오디오 / 옵션

주요 기능

기존 파일 덮어쓰기

대상에 있는 기존 파일만 바꾸며 원본은 덮어쓰지 않습니다.

중단 후 계속

같은 설정으로 완료한 파일을 찾아 다시 처리하지 않습니다.

자동 품질 관리

품질 검사는 모든 지원 형식에 적용됩니다. M4A, OGG, Opus도 검사하지만 동적 MP3 또는 FLAC/WAV/AIFF 전용 보정 루프는 사용하지 않습니다. ReplayGain에서는 신호 보존과 태그를 확인하며 오디오 자체의 정규화를 보장하지 않습니다.

품질 관리를 사용하면 동적 MP3를 최대 세 번 다시 계산할 수 있습니다. FLAC/WAV/AIFF는 최대 두 번 보정할 수 있습니다. 매 시도를 다시 측정해 최상의 출력을 보존합니다.

QC를 끄면 적합 판정이나 보정 재시도를 하지 않습니다. 균일화 출력은 로그와 CSV를 위해 다시 측정합니다. 분석 전용은 출력을 만들지 않으므로 출력 QC도 수행하지 않습니다.

CSV 보고서 만들기

측정값, 시간, 경고가 담긴 CSV만 만들고 진단 JSON은 추가하지 않습니다.

놓기 또는 붙여넣기 후 자동 시작

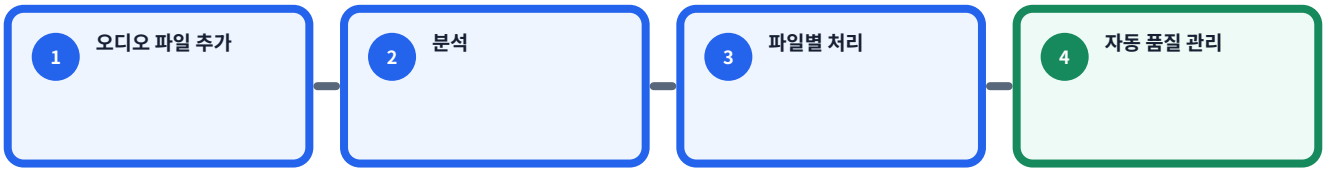
대상이 준비된 경우 소스를 추가하자마자 처리를 시작합니다.

이미 적합한 파일 건너뛰기

목표 ±0.10 LU 이내이고 True Peak 한도 이하인 파일은 재인코딩 없이 복사됩니다.

처리 중 수행되는 작업

LUFScale는 기준 자료에서 검증된 유일한 방식인 전체 길이 이력 측정을 자동으로 사용합니다.



병렬 처리

동시에 처리할 수 있는 파일 수를 정합니다.

- 자동은 최대 4개 작업으로 시작합니다. CPU 측정이 가능하면 매초 확인하여 사용률이 70% 아래일 때 작업 하나를 추가하고 92% 위일 때 하나를 줄입니다.
- 자동은 감지된 논리 프로세서 수를 넘지 않으며 절대 상한은 16개 작업입니다.
- CPU 측정이 불가능하면 동적 조정 없이 감지된 상한을 바로 사용합니다.
- 숫자 값은 동시 작업의 최대 수이며 CPU 사용률 목표가 아닙니다.

작업을 늘리면 큰 묶음이 빨라질 수 있지만 부하, 온도와 디스크 접근이 증가합니다. 자동이 나타날 때까지 -를 누르십시오.

처리 중 시스템의 전체 CPU 사용량입니다.

분석

분석만은 실행마다 FFmpeg로 각 원본 전체를 다시 측정합니다. 처리 전 그래프와 진행률은 파일별로 움직이며 출력과 출력 QC는 없습니다.

처리 중 수행되는 작업

LUFScale는 기준 자료에서 검증된 유일한 방식인 전체 길이 이력 측정을 자동으로 사용합니다.

중단 후 계속

같은 설정으로 완료한 파일을 찾아 다시 처리하지 않습니다.

자동 품질 관리

품질 검사는 모든 지원 형식에 적용됩니다. M4A, OGG, Opus도 검사하지만 동적 MP3 또는 FLAC/WAV/AIFF 전용 보정 루프는 사용하지 않습니다. ReplayGain에서는 신호 보존과 태그를 확인하며 오디오 자체의 정규화를 보장하지 않습니다.

품질 관리를 사용하면 동적 MP3를 최대 세 번 다시 계산할 수 있습니다. FLAC/WAV/AIFF는 최대 두 번 보정할 수 있습니다. 매 시도를 다시 측정해 최상의 출력을 보존합니다.

QC를 끄면 적합 판정이나 보정 재시도를 하지 않습니다. 균일화 출력은 로그와 CSV를 위해 다시 측정합니다. 분석 전용은 출력을 만들지 않으므로 출력 QC도 수행하지 않습니다.

라우드니스 변화

파일마다 오른쪽에 점이 추가됩니다. 이전은 항상 측정한 원본입니다. 정규화의 이후는 실제로 다시 측정한 출력입니다. ReplayGain의 두 번째 점선 그래프는 원본 음량과 저장된 Track Gain으로 재생을 예상합니다. ☒ 기호와 호환 플레이어 안내는 전달 파일의 물리 측정이 아님을 뜻합니다. 비호환 플레이어는 원래 음량을 유지하며, 호환 플레이어도 프리앰프나 클리핑 방지에 따라 결과가 달라질 수 있습니다. 두 그래프는 동일한 고정 ±6 LU 눈금을 유지합니다. 분석 전용에는 이후 출력이 없습니다.

분석만 - 파일 생성 없이 시뮬레이션

분석 전용에서는 각 측정이 끝날 때마다 처리 전 그래프, 로그, 진행률이 파일별로 갱신되고 처리 후는 움직이지 않습니다.

처리 기록

각 줄은 파일 또는 일반 처리 단계를 설명합니다.

- 성공한 줄은 파일 이름으로 바로 시작하며 '성공'을 반복하지 않습니다.
- 적합, 재개, 건너뜀, 취소, 오류는 유용한 정보를 더할 때 표시됩니다.
- 레벨은 입력 -> 다시 측정한 출력, 이어서 품질 관리 결과를 표시합니다.
- 경고와 오류는 파일 이름, 경로, 세부 정보가 있는 별도 목록을 엽니다. 일시 정지 중이나 처리 후 사용할 수 있고 각 목록을 저장할 수 있습니다.

색상: 녹색=성공, 주황=경고, 빨강=완료되지 않은 파일, 청보라=재개, 회색=정보 · 건너뜀 · 취소.

QC 경고-라우드니스는 다시 측정한 출력이 예상값에서 ±0.60 LU보다 더 벗어났음을 뜻합니다. 더 음수인 값은 더 작고, 덜 음수인 값은 더 큽니다. 편차는 절댓값으로, -14.00 대신 -14.69이면 0.69 LU입니다. 파일은 생성되며 변환 실패가 아닙니다. 듣기에 괜찮다면 조치가 필수는 아닙니다. 엄격한 목표가 필요하면 세부 정보와 CSV를 확인하고 목표 및 True Peak 한계를 점검한 뒤 다시 처리하십시오. 이 메시지만으로 한계, 인코더 또는 보정 한계 중 원인을 확정할 수 없습니다.

QC 경고-피크는 다시 측정한 True Peak가 선택한 한계를 0.25 dB 넘었음을 뜻합니다. 파일은 생성됩니다. 계속되면 더 낮은 LUFS 목표나 -2.0 dBTP 같은 더 안전한 피크 한계를 선택해 다시 처리하십시오.

누적 시간은 모든 병렬 작업 시간을 합산합니다. 총 시간은 실제 경과 시간입니다.

ReplayGain에서 로그는 변하지 않은 물리적 라우드니스, 메타데이터에 쓴 게인과 설정 목표를 표시합니다. 품질 관리가 켜진 상태의 '오디오 유지 및 태그 확인'은 라우드니스와 피크를 원본과 비교하고 태그를 다시 읽었다는 뜻이며 파일이 물리적으로 목표값에서 측정된다는 뜻은 아닙니다.

예상 총 시간: 계산 중…

예상 총 시간: 12분 - 약 14:30에 완료됩니다. '12분'은 예상 총 소요 시간이고 '14:30'은 예상 종료 시각입니다. 자정을 넘으면 시각 앞에 날짜 수가 자동으로 추가됩니다(예: '2일. 14:30').

처리 로그 색상 안내

성공	감지된 이상 없이 처리가 완료되었습니다.
적합	오디오를 변경하지 않고 복사했습니다. 원본이 이미 목표와 피크 한도를 충족했습니다.
경고	출력은 생성되었지만 측정값 하나가 허용 범위를 벗어났습니다.
취소됨	처리를 사용자가 중단했습니다. 오류가 아닙니다.
오류	해당 파일의 처리를 완료하지 못했습니다.

권장 설정과 기준

프리셋	라우드니스 목표	최대 트루 피크	오디오 품질
음악 보관함 - 권장	-16 LUFS	-1.5 dBTP	0
강한 스트리밍	-14 LUFS	-1 dBTP	0
다이내믹 음악	-18 LUFS	-2 dBTP	0

이 프리셋은 앱의 실용적인 선택이며 보편적인 표준이 아닙니다.

세 가지 유용한 확인

처리되지 않음

지원되는 오디오 원본을 하나 이상 선택하고 원본과 다른 대상 위치를 지정했는지 확인하십시오.

FFmpeg를 찾을 수 없음

애플리케이션 빌더를 다시 실행하거나 FFmpeg를 설치한 뒤 다시 시작하십시오.

피크 경고

더 낮은 트루 피크 상한 또는 더 낮은 라우드니스 목표를 선택한 뒤 파일을 다시 처리하십시오.

공식 기술 참고 자료

FFmpeg 필터 - loudnorm / ebur128:
https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html

FFmpeg 코덱 - libmp3lame 및 오디오 인코더:
https://ffmpeg.org/ffmpeg-codecs.html

ITU-R BS.1770-5(11/2023), 프로그램 라우드니스와 트루 피크:
https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1770-5-202311-I/en

EBU R 128 v5.0(21/11/2023):
https://tech.ebu.ch/publications/r128

ReplayGain 원본 규격:
https://wiki.hydrogenaudio.org/index.php?title=Original_ReplayGain_specification

기술 부록

원본 파일은 이동하거나 수정하지 않습니다.

작업

정규화는 각 파일을 별도로 처리하고 True Peak 상한 아래에서 LUFS 목표를 맞춘 뒤 출력을 다시 측정합니다. ReplayGain은 오디오 샘플을 바꾸지 않습니다. 분석만은 측정과 요청 시 CSV 보고서를 만들지만 오디오 파일은 만들지 않습니다.

품질 관리가 켜지면 ReplayGain은 전달 파일을 다시 측정해 물리적 라우드니스와 피크가 그대로인지 확인하고 Track 태그를 검사합니다. 성공은 오디오 보존과 태그 존재를 확인할 뿐 물리적으로 목표에 도달했다는 뜻은 아닙니다.

QC를 끄면 적합 판정이나 보정 재시도를 하지 않습니다. 균일화 출력은 로그와 CSV를 위해 다시 측정합니다. 분석 전용은 출력을 만들지 않으므로 출력 QC도 수행하지 않습니다.

ITU-R BS.1770

FFmpeg loudnorm은 ITU-R BS.1770에 따라 통합 라우드니스 I, LRA, 임계값과 트루 피크 TP를 측정합니다.

기준 분석

LUFScale는 기준 자료에서 검증된 유일한 방식인 전체 길이 이력 측정을 자동으로 사용합니다.

파일별 처리

각 파일의 측정값과 개별 게인으로 True Peak 한도 안에서 목표 LUFS에 접근합니다.

MP3 전용: 동적 처리

선형 경로에 적합하지 않은 MP3에는 1.00 dB 낮은 내부 트루 피크 목표를 적용하되 -9 dBTP 아래로 내리지 않습니다. 지정 목표는 사용자와 QC 기준으로 유지됩니다.

오디오 품질

MP3는 LAME, M4A는 FFmpeg AAC, OGG는 Vorbis, Opus는 libopus를 사용합니다. FLAC은 무손실이며 WAV/AIFF는 원본 호환 PCM을 유지합니다.

이미 적합한 파일 건너뛰기

목표 ±0.10 LU 이내이고 True Peak 한도 이하인 파일은 재인코딩 없이 복사됩니다.

자동 품질 관리

품질 검사는 모든 지원 형식에 적용됩니다. M4A, OGG, Opus도 검사하지만 동적 MP3 또는 FLAC/WAV/AIFF 전용 보정 루프는 사용하지 않습니다. ReplayGain에서는 신호 보존과 태그를 확인하며 오디오 자체의 정규화를 보장하지 않습니다.

품질 관리를 사용하면 동적 MP3를 최대 세 번 다시 계산할 수 있습니다. FLAC/WAV/AIFF는 최대 두 번 보정할 수 있습니다. 매 시도를 다시 측정해 최상의 출력을 보존합니다.

병렬 처리

FFmpeg 작업은 병렬로 실행됩니다. 누적 시간은 작업량의 합이며 실제 경과 시간이 아닙니다. 캐시와 재개는 원본, 설정, 출력을 확인하며 분석 전용은 의도적으로 캐시를 무시합니다.

Windows용 빌드

모든 경로는 압축을 푼 소스 패키지 루트를 기준으로 합니다:

Windows (x64) - 64비트 Windows 10 1809 이상 또는 Windows 11에서 다음을 실행합니다:

```
.\Create_Offline_Installer_Windows.cmd
```

생성되는 파일:

```
dist\LUFScale-2.2.3-Setup-x64.exe
dist\LUFScale-2.2.3-Setup-x64.exe.sha256
dist\LUFScale-2.2.3-Portable-x64.exe
dist\LUFScale-2.2.3-Portable-x64.exe.sha256
```

.exe Setup (LUFScale을 일반 방식으로 설치해 정기적으로 사용할 때 권장)
.exe Portable (설치 없이 바로 실행하거나 다른 컴퓨터로 옮길 수 있음)
.sha256 (해당 .exe 파일의 SHA-256 지문)

기술 부록 - 계산과 공식

L = LUFS, TP = dBTP, G = dB

ITU-R BS.1770

$$z_i = (1/T_g) \int x_i^2(t)\, dt$$
$$L_K = -0.691 + 10 \log_{10}(\Sigma\, G_i z_i)$$

K 가중 채널 에너지를 합산해 통합 라우드니스를 계산합니다.

ITU-R BS.1770 - 게이팅

$$T_g = 400 \text{ ms; overlap} = 75\ \%$$
$$\Gamma_a = -70 \text{ LKFS; } \Gamma_r = \Gamma_{loud} - 10 \text{ LU}$$

절대 및 상대 게이트가 통합 측정에 사용할 블록을 선택합니다.

파일별 처리

$$G_{file} = L_{target} - L_{input}$$

각 파일의 측정값과 개별 게인으로 True Peak 한도 안에서 목표 LUFS에 접근합니다.

출력 없는 예상

$$G_{est} = L_{target} - L_{input}$$
$$TP_{est} = \min(TP_{input} + G_{est}, TP_{limit})$$

분석만은 결과를 예상할 수 있지만 오디오와 출력 QC를 만들지 않습니다.

이미 적합한 파일 건너뛰기

$$|L_{in} - T| \le 0.10 \text{ LU}$$
$$TP_{in} \le TP_{max}$$

목표 ±0.10 LU 이내이고 True Peak 한도 이하인 파일은 재인코딩 없이 복사됩니다.

라우드니스 변화

$$\Delta = L - T$$
$$R_{display} = [-6, +6] \text{ LU ; } \tau_{QC} = \pm 0.60 \text{ LU}$$

이전은 물리적 음량입니다. ReplayGain의 두 번째 그래프는 저장된 게인으로 호환 재생을 예상합니다.

자동 품질 관리

$$|L_{out} - L_{expected}| > 0.60 \text{ LU}$$
$$TP_{out} > TP_{limit} + 0.25 \text{ dB}$$

품질 검사는 모든 지원 형식에 적용됩니다. M4A, OGG, Opus도 검사하지만 동적 MP3 또는 FLAC/WAV/AIFF 전용 보정 루프는 사용하지 않습니다. ReplayGain에서는 신호 보존과 태그를 확인하며 오디오 자체의 정규화를 보장하지 않습니다.

품질 관리를 사용하면 동적 MP3를 최대 세 번 다시 계산할 수 있습니다. FLAC/WAV/AIFF는 최대 두 번 보정할 수 있습니다. 매 시도를 다시 측정해 최상의 출력을 보존합니다.

QC를 끄면 적합 판정이나 보정 재시도를 하지 않습니다. 균일화 출력은 로그와 CSV를 위해 다시 측정합니다. 분석 전용은 출력을 만들지 않으므로 출력 QC도 수행하지 않습니다.

ReplayGain - 오디오 재인코딩 없음

$$G_{tag} = L_{target} - L_{input}$$
$$P_{peak} = 10^{TP/20}$$

ReplayGain은 게인을 계산해 REPLAYGAIN_TRACK_GAIN/PEAK를 기록합니다. 오디오는 재인코딩 없이 복사되며(-c:a copy), 호환 플레이어만 태그를 적용합니다. 물리 LUFS와 True Peak는 바뀌지 않습니다.

ReplayGain은 호환 플레이어에서 사용하는 라이브러리의 재생 음량을 재인코딩 없이 가역적으로 맞출 때 유용합니다. 모든 플레이어에서 물리적으로 목표값이 측정되는 파일을 제공하려면 정규화를 사용하십시오.

기술 부록 - 자동 품질 관리

L_t = LUFS 목표, TP_req = 지정 한도, TP_g = 0.05 dB 여유

적용 형식

측정과 품질 기준은 지원 형식에 적용됩니다. «MP3 전용»으로 표시된 내부 목표와 피드백 보정 수식은 동적 MP3 루프를 설명합니다. 보정 횟수 제한은 FLAC/WAV/AIFF를 별도로 명시하며 M4A, OGG, Opus에 일반화할 수 없습니다.

선형 loudnorm 적용 조건

$$G = L_t - I$$
$$TP_{pred} = TP_{in} + G$$
$$m_{TP} = TP_{req} - TP_{pred} \geq 0.05$$
$$m_{LRA} = LRA_t - LRA_{in} \geq 0.05$$

예측 트루 피크와 LRA 여유가 각각 0.05 이상일 때만 선형 모드를 사용합니다.

MP3 - 초기 내부 트루 피크

$$TP_{safe} = TP_{req} - 1.00\ dB$$
$$TP_{int,0} = \max(-9\ dBTP, TP_{safe})$$

동적 MP3의 내부 목표는 지정 한도보다 1.00 dB 낮게 시작하며 -9 dBTP를 하한으로 합니다.

엄격한 적합

$$|L_{out} - L_t| \leq 0.50\ LU$$
$$TP_{out} \leq TP_{req}$$

출력 라우드니스가 목표의 ±0.50 LU 이내이고 트루 피크가 지정 한도 이하일 때 엄격히 적합합니다.

MP3 - 피크 보정

$$TP_g = 0.05\ dB$$
$$e_{TP} = TP_{out} - (TP_{req} - TP_g)$$
$$TP_{int,n+1} = TP_{int,n} - e_{TP}$$

피크가 한도를 넘으면 다음 내부 목표를 초과량과 0.05 dB 여유만큼 낮춥니다.

MP3 - 낮은 라우드니스 보정

$$r = \min[(L_t - 0.45) - L_{out},$$
$$(TP_{req} - 0.05) - TP_{out}]$$
$$TP_{int,n+1} = TP_{int,n} + r$$

라우드니스가 낮으면 피크 여유 안에서 내부 목표를 L_t - 0.45 LU 쪽으로 높이며 0.01 dB 미만은 적용하지 않습니다.

최적 시도

$$p = \max(0, TP_{out} - TP_{req})$$
$$e_L = \max(0, |L_{out} - L_t| - 0.50)$$
$$d_L = |L_{out} - L_t|$$
$$\text{score} = (p>0, e_L>0, p, e_L, d_L)$$

사용 가능한 시도 중 피크 상한, 라우드니스 허용 오차, 목표와의 절대 차이 순으로 평가합니다. 동적 MP3 및 FLAC/WAV/AIFF 보정에 적용됩니다.

보정 횟수 제한

$$N_{MP3} \leq 3;\ N_{lossless} \leq 2$$

동적 MP3는 최대 세 번, FLAC·WAV·AIFF는 두 번 보정합니다. 조건을 만족하면 일찍 끝납니다.

QC 경고와 재시도 목표

$$\Delta L = L_{out} - L_t$$
$$QC_{alert} \Leftrightarrow |\Delta L| > 0.60 \vee TP_{out} > TP_{req} + 0.25$$
$$strict_{OK} \Leftrightarrow |\Delta L| \leq 0.50 \wedge TP_{out} \leq TP_{req}$$
$$retry_{MP3} \Leftrightarrow \neg strict_{OK} \wedge |TP_{int,n+1} - TP_{int,n}| \geq 0.01$$

QC는 ±0.60 LU와 +0.25 dB에서 경고하며 재시도는 0.01 dB 이상 단계로 엄격한 한도를 목표로 합니다.