음질 분석용 상용 소프트웨어 비교

신 성 환, 이 정 권
한국과학기술원 기계공학과 소음진동연구센터

A comparison of commercial software for the sound quality analysis

Sung-Hwan Shin and Jeong-Guon Ih
Center for Noise and Vibration Control, Department of Mechanical Engineering, KAIST,
soulshin@kaist.ac.kr, J.G.Ih@kaist.ac.kr

요약

제품 발생 소음의 음질 (sound quality)에 대한 관심이 높아지면서, 음질 제어가 제품 경쟁력 향상에 중요한 고려 요소가 되었다. 이러한 음질에 대한 객관적인 분석을 위하여 다수의 상용 프로그램이 개발되고 있지만 라우드니스 (loudness)를 제외한 음질인자 (sound quality metrics)들은 아직 표준화 작업이 이루어지지 않았기 때문에 프로그램에 따라 차이가 발생하고 있다. 본 연구에서는 음질 분석을 위한 4 개의 상용 프로그램을 이용하여 일정 신호의 라우드니스, 샤프니스 (sharpness), 러프니스 (roughness), 변동강도 (fluctuation strength)를 계산하고, 그 결과를 비교, 분석하였고, 이미 표준화 된 라우드니스를 포함한 음질인자들의 계산 결과는 프로그램에 따라 무시할 수 없는 차이가 나타남을 확인하였다. 이는 제품의 음질 평가 시 사용된 분석 프로그램 따라 그 결과가 다를 수 있음을 의미한다. 본 연구를 통해서 얻은 결과는 향후 음질 인자의 표준화 및 음질 지수 개발에 중요한 자료로 사용 될 수 있다.

1. 서론

최근 제품 개발의 품질 평가 부분에서 발생 소음의 음질 평가 부분이 매우 중요한 부분으로 고려되고 있다. 기존 음질에 대한 평가는 제품 관련 전문가들에 의한 청음실험에 기본을 두었지만, 이 방법은 시간 및 경제적인 어려움뿐 아니라 평가의 신뢰성과 일관성에도 문제가 제기되고 있다. 따라서 최근에는 이러한 청음실험을 대신할 객관적인 측정 방법, 즉 음질인자들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 이를 계산할 여러 가지 상용 프로그램들이 개발되고 있다. 그러나 음질인자 중 라우드니스를 제외한 인자들은 아직 표준화 작업이 이루어지지 않았기 때문에 동일한 신호를 분석할 때 프로그램에 따라 차이가 나타날 수 있다.

본 연구에서는 현재 사용되고 있는 대표적인 상용 음질 분석 프로그램 중 4 개를 선택해서, 동일한 신호에 대한 계산 결과를 비교, 분석하고자 한다. 각 프로그램에서 계산되는 음질인자는 음질 분석을 위해 가장 널리 사용되는 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도이다. 비교를 위해서 사용되는 신호는 크게 두 가지로 나뉘어진다. 첫번째는 각 음질인자의 단위 (unit)을 제시하는 기준신호 (reference signal)이고[1], 두 번째는 음질인자 계산의 주파수 특성을 표현할 수 있는 광대역소음 (BBN: broad band noise), 진폭변조음 (amplitude modulation tone) 등이 사용되었다[2].

2. 음질인자 비교

본 장에서는 각 음질인자에 대해서 간단히 설명하고, 각 프로그램들의 계산 값들을 비교 분석한다.

2.1 라우드니스 (loudness)

라우드니스는 주관적으로 인지되는 소리의 크기이고, 샤프니스, 러프니스, 변동강도 등 다른 음질인자의 발생 원인을 설명하는데 사용되는 가장 중요한 인자이다. 라우드니스의 단위는 'sone'이고, 1 sone 은 40 dB 를 갖는 1 kHz 순음으로 정의된다. 라우드니스에 대한 계산 방법은 현재 ISO532B[3]에 표준화되어 있다. 표 1 은 라우드니스의 기준 신호 40 dB, 1 kHz 순음에 대한 각 프로그램의 라우드니스 계산 값 (N) 이고,

그림 1 은 비라우드니스 (specific loudness, N')를 비교한 결과이다.

표 1. 라우드니스 기준 신호의 계산 결과

프로그램	A	B	C	D
N (sone)	0.96	1.00	1.00	0.98

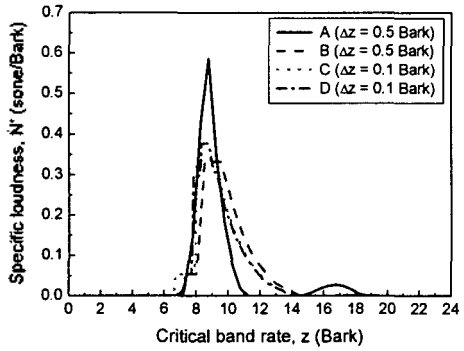


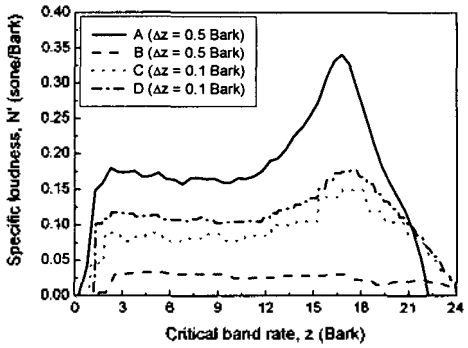
그림 1. 라우드니스 기준 신호의 비라우드니스 비교

표 1 에서 라우드니스 값은 모든 프로그램에서 1sone 을 나타내고 있지만, 그림 1 의 임계대역 (critical band)에 대한 라우드니스 분포인 비라우드니스 비교에서는 ISO 에 규격화 되어 있음에도 불구하고 임계대역에 따라 그 값에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이는 계산 시 적용되는 필터의 특성이 프로그램마다 다르기 때문으로 생각된다. 이러한 문제는 라우드니스 계산에서 임계대역, 즉 주파수 특성을 나타내기 위한 신호로 사용된 핑크노이즈 (pink noise)에 대한 계산 결과에서 나타난다. 표 2 를 보면 그림 1 에서 8.5Bark (1kHz)과 관련된 비라우드니스 값이 큰 A 와 D 프로그램에 의한 계산 값이 B 와 C 프로그램에 의한 값보다 크게 나타나고, 분석 신호 중 일부에 대한 비라우드니스 비교인 그림 2 에서도 동일한 결과를 얻을 수 있다.

표 2. 핑크노이즈의 음압레벨 (SPL)에 따른 라우드니스 비교 (단위: sone)

프로그램 / SPL(dB)	A	B	C	D
30	1.40	0.58	0.60	0.79
40	4.04	2.21	2.20	2.62
50	8.87	5.44	5.40	6.12
60	17.30	11.35	11.20	12.50
70	31.94	21.97	21.60	23.92
80	57.94	40.93	40.30	44.53

(a)



(b)

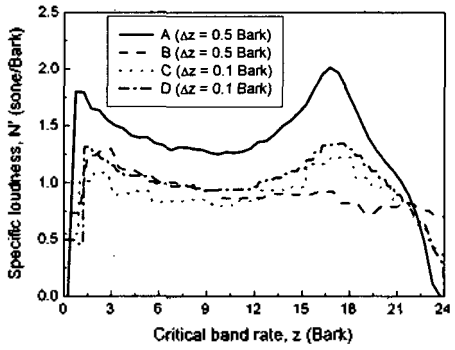


그림 2. 핑크노이즈의 음압레벨 (SPL)에 따른 비라우드니스 비교. (a) 40 dB, (b) 70 dB

2.2 샤프니스 (sharpness)

샤프니스는 주관적으로 인지되는 음의 날카로운 정도이고, 단위는 'acum'이다. 1acum 은 60 dB 를 갖는 1 kHz 순음으로 정의된다. 표 3 은 샤프니스의 기준 신호, 60 dB, 1 kHz 순음에 대한 샤프니스 값 (S)이다. 프로그램 A, B 의 경우 시간에 대한 샤프니스 값 (S vs time) 만을 계산할 수 있기 때문에 이에 대한 평균값을 계산하였다. 모든 프로그램의 결과에서 기준신호에 대한 샤프니스 값이 1 acum 을 나타내고 있다.

표 3. 샤프니스 기준 신호의 계산 결과

프로그램	A	B	C	D
S (acum)	1.02	1.08	1.00	0.97

프로그램 D 만이 임계대역에 대한 샤프니스, 즉 비샤프니스 (specific sharpness, S' (acum/Bark))을 제공하기 때문에, 임계대역에 따른 샤프니스 계산 특성을 알아보기 위해, 각 임계대역과 관련된 60dB 대역 소음을 분석하였다. 그 결과인 그림 3 에서 샤프니스 값은 관련된 임계대역의 중심 임계대역율에 따라 나타난다. 4.5 Bark (450 Hz), 8.5 Bark (1 kHz)

에서는 계산 값이 서로 비슷하거나 프로그램 B, C 의 값이 약간 크게 나타나고 있지만, 13.5 Bark (2.15 kHz), 17.5 Bark (4 kHz), 21.5 Bark (8.5 kHz)의 경우에는 프로그램 A, D 의 값이 상대적으로 더 크다. 이와 같은 원인은 각 프로그램마다 적용되는 알고리즘이 다르거나, 라우드니스에서 언급한 것처럼 적용되는 필터 특성의 차이 때문으로 판단된다.

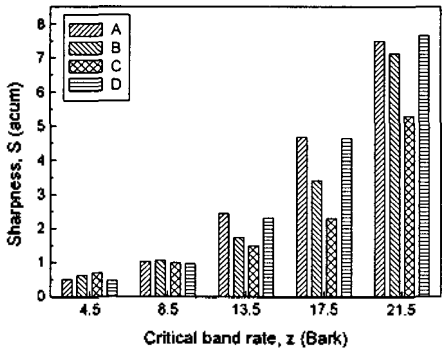


그림 3. 60 dB 를 갖는 임계대역소음 (critical band wide noise)의 샤프니스 비교

2.3 러프니스 (roughness)

러프니스는 주관적으로 인지되는 음의 거친 정도이고, 단위는 'asper'이다. 1asper 는 70 Hz 의 변조주파수 (modulation frequency)와 100%의 변조도 (modulation factor)를 갖는 60 dB, 1 kHz 음이다. 표 4 는 러프니스의 기준 신호에 대한 러프니스 계산 값 (R)이고, 그림 4 는 같은 신호의 비러프니스 (specific roughness, R' (asper/Bark))을 비교한 것이다. 프로그램 B 의 경우는 제외하면 모두 1 asper 를 나타내고 있지만, 라우드니스의 경우와 마찬가지로 비라우드니스의 분포는 프로그램에 따라 큰 차이를 가진다. 프로그램 A 의 경우, 8.5Bark 에서 최대값을 가지면서 이론과 가장 일치하는 결과를 나타내고, 다음으로 프로그램 D 에서 상대적으로 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

두 번째로 70 Hz 의 변조주파수를 갖는 60dB, 1kHz 음 (AM-tone)의 변조도에 따른 러프니스 값을 계산하였고, 그 결과를 그림 5 에서 Zwicker 에 의한 임상실험 결과[1]와 비교하였다. 프로그램 C 와 D 가 비슷한 결과를 나타내고 있고, 임상실험 결과와도 상대적으로 잘 일치하고 있다. 그러나 프로그램 A 의 경우는 임상실험 결과와 비교할 때 1.5 – 2 배 정도의 값을 갖고, 프로그램 B 의 경우는 러프니스 기준 신호의 계산 결과와 마찬가지로 다른 프로그램들과 매우 다른 계산 결과를 나타낸다.

표 4. 러프니스 기준 신호의 계산 결과

프로그램	A	B	C	D
R (asper)	0.98	0.22	1.06	1.06

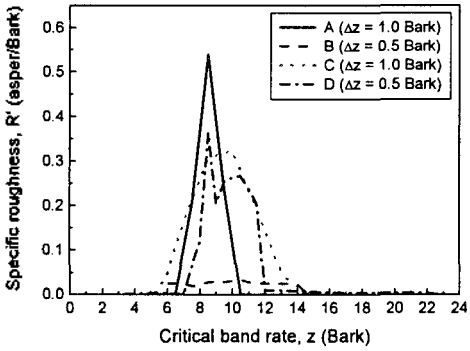


그림 4. 러프니스 기준 신호의 비러프니스 비교

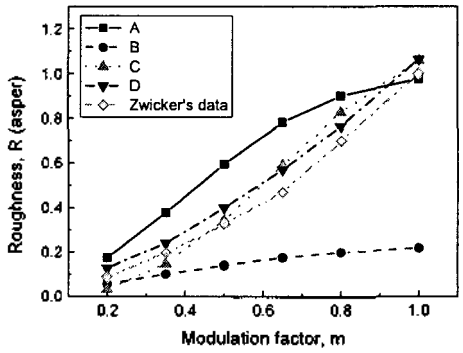


그림 5. 변조도에 따른 70 Hz 변조주파수를 갖는 60 dB, 1 kHz 음 (AM-tone)의 러프니스 비교

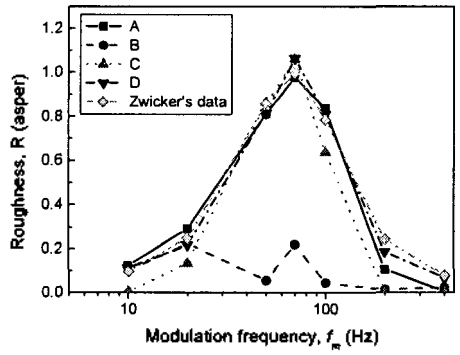


그림 6. 변조주파수에 따른 변조도 100%를 갖는 60 dB, 1 kHz 음 (AM-tone)의 러프니스 비교

세번째로 100% 변조도를 갖는 60 dB, 1 kHz 음 (AM-tone)의 변조주파수에 따른 러프니스 값을 계산하였고, 그 결과를 그림 6 에서 Zwicker 에 의한 임상실험 결과[1]와 비교하였다. 프로그램 B 를 제외한 세 프로그램에서 변조주파수에 따른 러프니스 값은

임상실험 결과와 잘 일치하고 있음을 나타낸다. 그러나 그림 4 에서 확인했던 것처럼 비라우드니스 분포에서는 임계대역에 따른 차이가 나타난다.

2.4 변동강도 (fluctuation strength)

변동강도는 주관적으로 인지되는 음의 변동 정도이고, 단위는 'vacil'이다. 1vacil 은 4 Hz 의 변조주파수와 100%의 변조도를 갖는 60 dB, 1 kHz 음이다. 표 5 는 변동강도의 기준 신호에 대한 변동강도 계산 값 (FL)이다. 프로그램 A, C, D 의 경우는 1vacil 에 대해서 7% 오차 범위에서 그 값을 갖고, 프로그램 B 는 10%이상의 상대적인 오차를 갖는다. 그림 7 에서는 다른 음질인자들의 비교와 마찬가지로 비변동강도 (specific fluctuation strength, FL' (vacil/Bark))의 분포가 프로그램에 따라 차이를 있음을 알 수 있다.

표 5. 변동강도 기준 신호의 계산 결과

프로그램	A	B	C	D
FL (vacil)	1.02	1.14	1.03	1.07

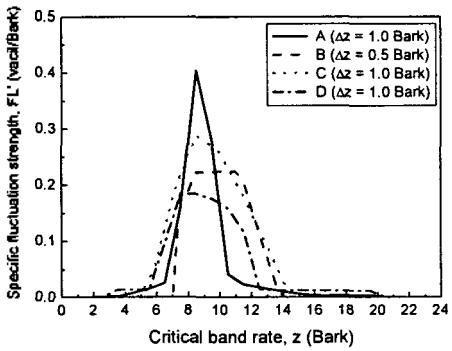


그림 7. 변동강도 기준 신호의 비변동강도 비교

다음은 98% 변조도를 갖는 70 dB, 1 kHz (AM-tone) 음의 변조주파수에 따른 변동강도 값을 계산하였고, 이 결과를 그림 8 에서 Zwicker 에 의한 임상실험 결과[1]와 비교하였다. 프로그램 C, D 가 임상실험 결과와 비슷한 값을 갖는 반면, 프로그램 A 는 상대적으로 작은 값을, 프로그램 B 는 상대적으로 큰 값을 나타내고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 음질 분석에 사용되는 대표적인 음질인자인 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도의 계산을 위해 개발된 여러 가지 상용 프로그램을 비교, 분석하였다. 전체적으로 각 음질인자의 단위를 나타내는 기준 신호에 대한 값은 큰 차이가 없지만, 임계대역에 따른 분포를 나타내는 비라우드니스, 비러프니스, 비변동강도에서는 상당히 큰 차이를 나타내고 있다. 특히 ISO 에 표준화된 라우드니스 계산에서도 광대역소음의 경우에서는 그 값에 차이가 나타남을 알 수 있었다. 이는 각 프로그램 상의 필터 특성에서 기인하는 것으로 보인다. 이로부터 러프니스와 변동강도 역시 광대역소음에 대한 분석에서는 현재 나타나는 차이보다 더 큰 오차가 나타날 것을 예측할 수 있다. 이러한 결과는 제품의 음질 평가 시 사용된 분석 프로그램 따라 그 결과가 다를 수 있음을 의미한다. 본 연구를 통해서 얻은 결과는 향후 음질 인자의 표준화 및 음질 지수 개발에 중요한 자료로 사용 될 수 있을 것이다.

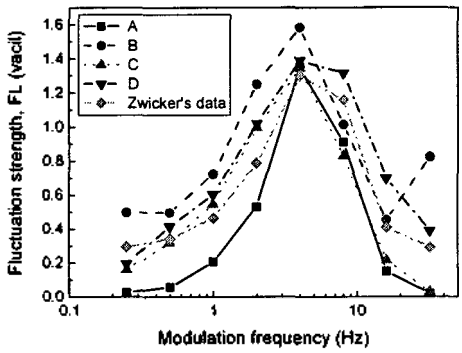


그림 8. 변조주파수에 따른 변조도 98%를 갖는 70 dB, 1 kHz 음 (AM-tone)의 변동강도 비교

후 기

본 연구는 BK21 사업에서 일부 지원을 받아 진행되었습니다.

참고문헌

1. E. Zwicker, H. Fastl, *Psychoacoustics: Fact and Models*, 2nd updated Ed., Springer, New York, 1999.
2. H. Fastl, "Calibration signal for meters of loudness, sharpness, fluctuation strength, and roughness", InterNoise '93, pp. 1257~1260, Leuven, Belgium, 1993.
3. ISO532, "Acoustics-Method for Calculating Loudness Level", International Organization for Standardization, 1975.