임계 대역 필터를 이용한 과도음의 라우드니스 계산 모델

Calculation Model of Time Varying Loudness by Using the Critical-banded Filters

정 혁*, 이 정 권**
(Hyuk Jeong*, Jeong-Guon Ih**)

요 약

라우드니스(loudness)는 음질 평가에 있어서 가장 중요한 음질 인자로 간주되고 있고, 그 계산을 위해 정상음에 대한 국제규격도 마련되어 있다. 본 연구에서는, 이의 일반화를 위해 라우드니스 계산 모델에 과도음 해석 과정을 포함한 새로운 방법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 과도 신호의 대역 분할 및 대역별 음압 레벨 변화 예측을 위한 신호 처리 기법과 과도음에 대한 청각 반응을 모델링한 포스트 마스킹(post-masking) 및 라우드니스 시간 적분 모델이 도입되었다. 또한 순음의 라우드니스 해석에서 기존 라우드니스 모델이 갖고 있는 신호 해석 상의 문제점을 개선하기 위하여 임계 대역폭의 1/2 간격으로 배치된 총 47개의 임계 대역 필터를 이용하였다. 제안된 모델의 유효성을 확인하기 위하여 기존의 임상 실험 결과 비교하였고, 예측치와 임상치는 아주 좋은 일치 경향을 가짐을 확인하였다.
핵심용어: 음질평가, 라우드니스, 과도음, 임계대역 필터
투고분야: 소음 및 공력음향 분야(10.2)

ABSTRACT

It is known that the loudness is one of the most important metrics in assessing the sound quality and a calculation method for loudness has been standardized for steady sounds. In this study, a new loudness model is suggested for dealing with the transient sound for a unified analysis of various practical sounds. A signal processing technique is introduced for this purpose, which is required for the band subdivision and the prediction of band-level change of transient sounds. In addition, models for the post-masking and the temporal integration are adopted in the analysis of the loudness of transient sounds. In order to solve the problem of the conventional loudness model in the pure-tone signal processing, a critical band filter is employed in the analysis, which consists of 47 critical filters having a filter spacing of a half of the critical bandwidth. For testing the effectiveness of the present model, the predicted responses are compared with the experimental data and it is observed that they are in good agreements.
Key words: Sound quality analysis, Loudness, Transient sound, Critical-band filter

I. 서 론

지난 수 십년 간 Zwicker[1]를 비롯한 심리 음향 학자들의 연구를 통해서 음질(sound quality)에 큰 영향을 미치는 음질 인자들, 즉 라우드니스(loudness), 러프니스(roughness), 샤프니스(sharpness), 변동 강도(fluctuation strength) 등이 정의 되었으며, 각 음질 인자의 모델링 작업이 지금까지도 이루어지고 있다. 이러한 음질 인자들 중에서 주관적으로 느끼는 소리의 크기를 의미하는 라우드니스는 그 자체로서도 음질을 결정하는 중요한 인자이며, 러프니스, 샤프니스, 변동 강도 등의 속성을 설명하는데 유용한 음질 인자이다. Zwicker는 음질 인자의 주파수 분석 단위인 임계 대역(critical band)을 기본으로 하는 라우드니스 측정 모델을 제안하였으며, 이 방법은 현재 국제 표준으로 인증되어 라우드니스 측정에 널리 이용되고 있다[2]. Moore와 Glasberg[3]는 연속적인 비 라우드니스를 산출하는 라우드니스 모델을 제안하였고, 최근에는 청각계의 특성을 고려한 시간-주파수 해석법[4] 및 Moore와 Glasberg의 도입한 라우드니스 계산 모델[5]이 제안되기도 하였다. 그러나 이러한 방법들은 아직까지 표준화되지 못하여 널리 사용되지 못하기 때문에 Zwicker의 기존 모델을 일반화하여 과도음을 해석하는 것이 오히려 유용할 것이다.

* 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어기술연구소, 가상현실연구개발센터
** 한국과학기술원 기계공학과, 소음 및 진동제어 연구센터
접수일자: 2000년 3월 28일

과도음(transient sound)의 음질 인자 측정을 위해, Zwicker는 자신의 라우드니스 계산 모델을 보완하여 아날로그 형태의 과도음 라우드니스 측정 기기를 개발하였다[6]. 그러나 Zwicker의 과도음 라우드니스 측정 방법은 개략적인 내용만이 소개되었을 뿐, 구체적인 회로도 등이 문헌에 언급되지 않았기 때문에 이를 구현하기가 어렵다. 다행히 컴퓨터 프로그래밍이 가능한 정상음 라우드니스 측정 방법[7]이 문헌에 구체적으로 소개되어 있기 때문에, 과도음의 라우드니스 측정 방법에 필요한 각 단계별 아날로그 알고리즘을 디지털 알고리즘으로 변환한다면, Zwicker의 방법과 유사한 과도음의 라우드니스 측정 모델을 구현할 수 있다. 본 연구에서는 Zwicker의 아날로그 알고리즘으로부터 컴퓨터에서 구현이 가능한 과도음의 라우드니스 모델을 제시하고, 기존의 임상 실험 결과와의 비교를 통해 그 유용성을 확인하고자 한다.

II. 과도음의 라우드니스 모델

과도음의 라우드니스 해석을 위한 Zwicker의 방법으로부터 그림1과 같은 기본 흐름도를 구성할 수 있다. 그림 1에서 p(t)와 N(t)는 각각 시간 t에서의 음압 신호 및 라우드니스 출력값이다. 라우드니스 해석에서는 일반적으로 20Hz에서 16kHz의 주파수 범위의 소음 성분이 포함되어야 하기 때문에 마이크로폰으로부터 입력된 음향 신호는 40kHz 이상으로 샘플링된다. 현재 디지털 오디오의 포맷으로 주로 이용되는 샘플링 주파수는 44.1kHz 또는 48 kHz로서 본 연구에서도 이에 근거한 해석 방법을 제안한다. 다음은 라우드니스 해석을 위한 각 단계를 기술한 것이다.

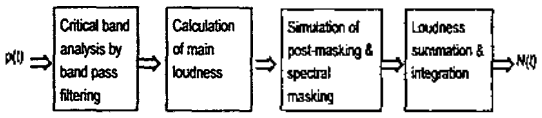

그림 1. 과도음 라우드니스 모델의 개요
Fig. 1. Schematic diagram of time-varying loudness model.

2.1. 대역 분할 및 대역별 엔빌롭 추출

A/D 변환된 음향 신호는 1/3 옥타브 또는 24개 임계 대역으로 주파수 분할될 수 있다[7]. 1/3 옥타브 또는 24개 임계 대역 분할은 필터의 경계 주파수가 이웃하는 필터의 통과 대역에 중첩되지 않기 때문에, 순음(pure tone)이 동일한 필터의 통과 대역에 위치하더라도 주파수에 따라 전체 라우드니스에 상당한 차이가 발생할 수 있다[8]. 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 본 연구에서는 24개의 각 임계 대역 사이에 각 임계 대역의 중심 주파수를 경계 주파수로 하는 23개의 임계 대역 필터를 추가로 구성하고, 음향 신호를 47개의 임계 대역으로 분할 하였다[8].

또한, 본 연구에서는 디지털 라우드니스 측정 모델을 다루고 있기 때문에, Zwicker 알고리즘의 아날로그 필터 대신에 디지털 필터를 이용한 대역 분할 방법이 필요하다. 이를 위해 Zwicker가 언급한 아날로그 필터의 특성으로부터 바이리니어 변환(bilinear transform)을 이용하여 최초의 샘플링 주파수에 대한 디지털 필터를 구성할 수 있으며, 각 임계 대역별로 대역 분할 할 수 있다. 그러나 가청 주파수 대역을 포함하는 라우드니스 해석에는 A/D 변환 시, 40kHz 이상의 매우 높은 샘플링 주파수가 요구되고 가장 낮은 주파수의 임계 대역폭이 100Hz에 불과하기 때문에 바이리니어 변환 과정에서의 수치적 오차로 인해 필터의 안정성이 문제가 될 수 있다. 또한 높은 샘플링 주파수로 A/D 변환된 신호를 낮은 주파수 대역까지 필터링을 수행하면 불필요한 계산이 매우 증가하기 때문에 이에 대한 해결 방법으로서 리샘플링(resampling) 기법을 도입한 대역 분할을 고려하였다[9]. 리샘플링을 이용하면 필터링 될 신호의 데이터 길이가 리샘플링 비율에 따라 줄어들기 때문에, 신호 데이터와 필터 상수간의 승적(convolution)에 의한 계산량이 감소되고 따라서 계산 효율이 증가 된다. 또한 리샘플링에 의해 필터의 대역폭에 대한 샘플링 주파수의 비율이 줄어들게 되어 필터의 안정성을 확보할 수 있다.

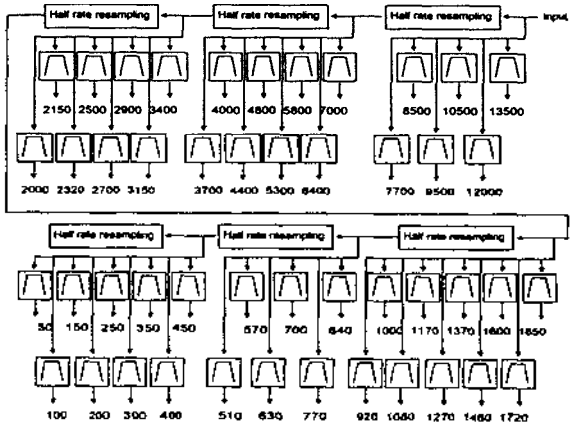

그림 2. 라우드니스 해석을 위한 47개 임계 대역 분할 과정. 그림의 숫자는 각 임계 대역 필터의 중심 주파수(Hz)를 나타냄
Fig. 2. Procedure in critical band analysis using 47 critical band filters for the present time-varying loudness model. Each number in the figure represents the center frequency in Hz of each critical band filter.

그림 2는 1/2 비율 리샘플링을 도입한 임계 대역 분할 과정이며 각 과정은 다음과 같다: 1) A/D 변환되어 입력된 음향 신호는 각 샘플링 단계별로 주어진 임계 대역 필터에 의해 주파수 분할 된다. 2) 안티-앨리어징 (anti-aliasing)을 위한 저역 통과 필터링 과정을 거친다. 3) 1/2 비율로 데이터를 재구성하는 리샘플링 과정에 의해 데이터의 길이를 절반으로 줄인다. 4) 중심 주파수가 50Hz가 될 때까지 과정 1) 3)을 반복한다. Zwicker가 제안한 필터의

주파수 특성을 고려하여 3차 버터워쓰(Butterworth) 필터가 대역 분할에 사용되었으며, 1/2 비율로 데이터를 재구성하기 위한 저역 통과 필터로서는 8차 타원형(elliptic) 필터가 사용되었다. 각 대역 통과 필터와 저역 통과 필터의 주파수에 따른 크기 응답은 그림 3 및 그림 4와 같다.

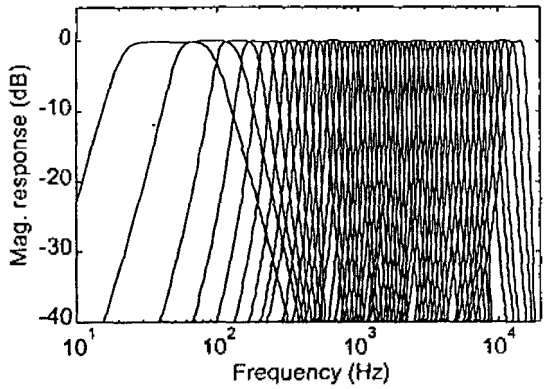

그림 3. 라우드니스 해석을 위한 47개 임계 대역 필터의 크기 응답 특성

Fig. 3. Magnitude responses of 47 critical band filters for calculating the loudness.

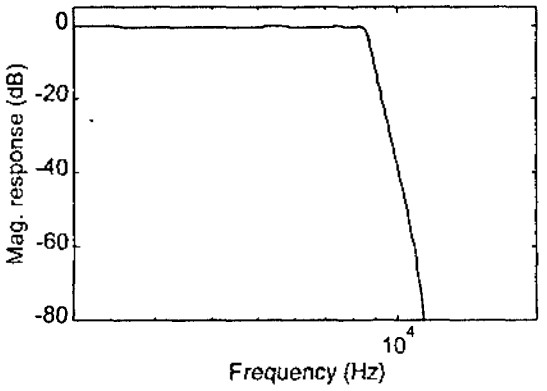

그림 4. 리샘플링을 위한 저역 필터의 크기 응답 특성

Fig. 4. Magnitude response of the anti-aliasing low-pass filter for the resampling.

한편 대역별로 분할된 신호로부터 엔빌롭(envelope) 추출 과정을 거쳐 각 대역별 음압 레벨을 구할 수 있다. Zwicker[6]는 임상 실험을 근거로 하여 과도음의 라우드니스 해석을 위한 최적의 시간 해상도를 2ms로 가정하였다. 따라서 각 대역별로 음압 레벨을 2ms의 간격으로 추출하여야 한다. 본 연구에서는 아날로그 필터에 기본한 Zwicker의 엔빌롭 추출 방법으로부터 각 대역별 엔빌롭을 추출하기 위한 알고리즘을 제시하고자 한다.

각 임계 대역 필터에 의해 분할된 음향 신호를 제공하여 순간 파워를 구하고, 순간 파워 신호로부터 1 극(pole) 저역 통과 필터를 이용하여 평균 음압 파워의 엔빌롭을 구한다. Zwicker의 모델 [6]에서는 각 대역별 음압 레벨 변화를 구하기 위해 1kHz 이상의 고주파 대역에 대해 시간 상수가 2ms인 아날로그 타입의 저역 통과 필터를 이용하였다. 시간 상수가 2ms인 1 극 저역 통과 필터는 다음과 같이 디지털 과정으로 바꿀 수 있다[9].

$$y_n=(1-A)\cdot y_{n-1}+A\cdot u_n, \qquad n=0,1,2,3,\ldots \quad (1)$$

여기서 u는 엔빌롭 추출 이전의 음압 파워 신호, y는 추출된 음압 파워의 엔빌롭이며, 상수A는 1극 필터의 시간 상수에 대한 샘플링 주기이다.

1극 저역 통과 필터링에 의해 각 대역별 순간 파워 엔빌롭은 2ms 간격으로 리샘플링을 하게 된다. 이는 과도음의 라우드니스 해석을 위하여 Zwicker가 제안한 최적의 값이다. 2ms 간격으로 리샘플링된 신호로부터 다음과 같이 L을 구할 수 있다:

$$L=10\cdot\log_{10}(p^2/p_{ref}^2)\ (dB) \quad (2)$$

여기서, p^2는 식 (1)에서 구한 음압 파워의 엔빌롭이며 p_{ref}^2는 기준 음압 강도인 4×10^{-10} Pa^2이다.

한편, 1 kHz 미만의 주파수 대역에서는 엔빌롭 추출을 위한 1극 저역 필터의 시간 상수인 2ms가 너무 작기 때문에 이에 대한 수정이 필요하다. 본 연구에서는 1극 저역 필터에 의해 추출된 순음의 음압 레벨이 0.5 dB 오차 한계 내에서 일치하도록 그림 5와 같이 1극 필터의 시간 상수를 설정하였다. 1kHz 미만의 주파수 대역에서 평균 음압을 구하려면 각 대역에서의 샘플링 주기와 필터의 시간 상수가 일정한 비율을 가지면 되는데, 이러한 개념으로부터 필터의 시간 상수를 구하였다. 그림 6은 구성된 엔빌롭 추출 과정을 통해서 구한 60dB 순음의 음압 레벨을 각 임계 대역의 중심 주파수에 대해 나타낸 것으로서, 주파수에 관계 없이 최대 오차가 0.5dB 미만임을 확인할 수 있다.

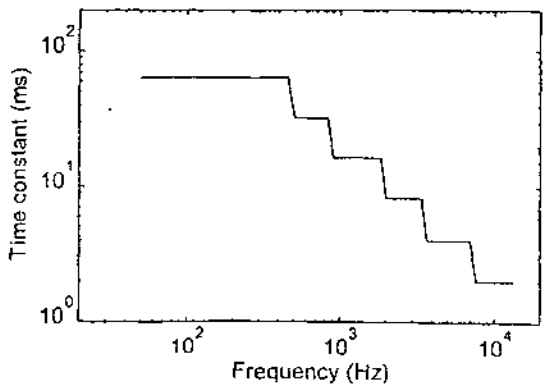

그림 5. 주파수 대역에 따른 엔빌롭 추출 필터의 시간 상수 설정

Fig. 5. Time constants of the single-pole low-pass filters for the envelope extraction.

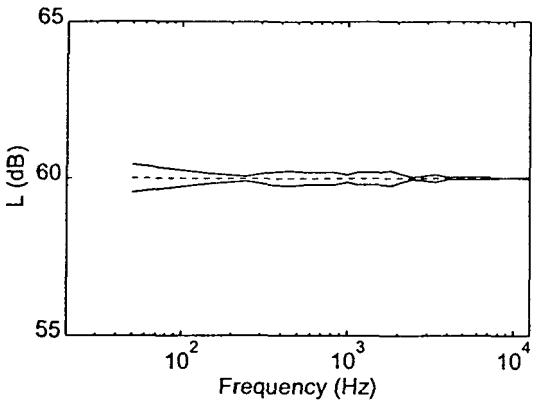

그림 6. 임계 대역 해석 시, 1극 저역 통과 필터링에 의해 추출된 60dB 순음의 순간 음압 레벨 한계

Fig. 6. Upper and lower limits of instantaneous sound pressure level of pure tone with 60dB calculated by the single-pole low-pass filtering.

2.2. 외이에서 중이로의 음향 감쇠

실제 청각계에 의해 인지되는 음향 신호는 외이와 중이를 거치면서 감쇠된다. 따라서, 대역 통과 필터링 과정에서 구해진 임계 대역 음압 레벨에는 외이와 중이에 의한 음향 감쇠 특성이 고려되어야 한다. 라우드니스 모델을 위해 Zwicker가 가정한 음향 감쇠, La는 그림 7과 같다.

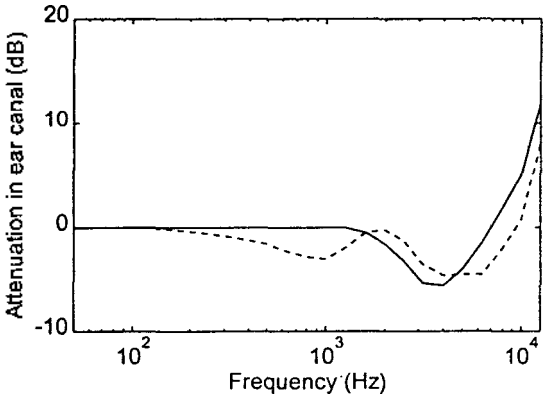

그림 7. 기존 모델에서 가정된 외이에서 중이로의 음향 감쇠 곡선 [1]: —, 자유음장; - - - - -, 확산음장

Fig. 7. Sound attenuation in the ear canal [1]: , free field; , diffuse field.

2.3. 주 라우드니스(main loudness) 계산

외이에서 중이로의 음향 감쇠가 고려된 임계 대역 레벨은 라우드니스 지각량과 선형적인 관계가 아니기 때문에 임계 대역 레벨을 라우드니스 지각량과 선형적으로 나타내기 위한 방법이 요구된다. Zwicker는 이를 위하여 다음과 같은 식을 제안하였다[1].

$$N' = N_0 \cdot 10^{0.025 L_{TQ}} \cdot \left[\left(1 - s + s \cdot 10^{0.1(L_z - L_{TQ})}\right)^{0.25} - 1\right] (\text{sone/Bark}). \quad (3)$$

여기서 N_0는 비례 상수, L_{TQ}는 절대 가청 역치 레벨, s는 역치 인자, L_z는 내이까지 전달되는 임계 대역 z에서의 음압 레벨, 즉 임계 대역 레벨이다. Zwicker가 가정한 L_{TQ}는 그림 8과 같다.

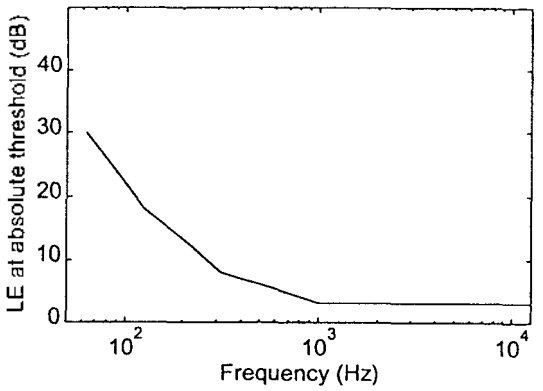

그림 8. 본 연구에서 가정한 절대 가청 역치에서의 가진 레벨

Fig. 8. Excitation level at the threshold in quiet being used in the present loudness model.

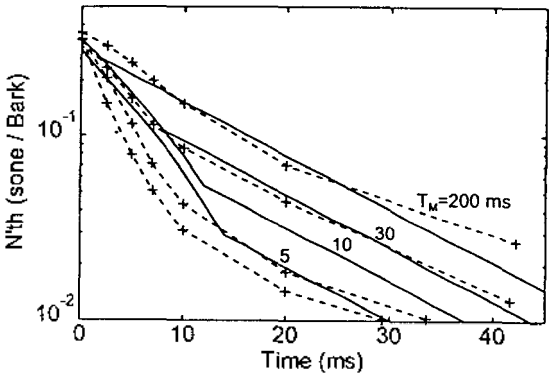

그림 9. 기존의 포스트 마스킹 계산 모델[11]을 이용한 60dB, 2kHz 순음의 포스트 마스킹 패턴: - - + - - 임상 실험 결과; —, 포스트 마스킹 적용후. TM은 마스커(masker)의 노출시간을 의미함

Fig. 9. Post-masking patterns of 2kHz pure tone with 60dB SPL, which is represented by the decay of specific loudness Nth as a function of masker duration TM [11] : - - + - - experiment; —, post-masking model.

2.4. 포스트 마스킹(post-masking)의 고려

청각계는 음향 신호에 의한 자극이 주어졌다가 멈추더라도 일정 시간 내에는 새로운 자극에 둔감해 지는 특성을 가지고 있다. 이를 포스트 마스킹 현상이라고 하며 포스트 마스킹은 라우드니스의 시간 변화와 동일한 모양으로 가정할 수 있기 때문에 과도음의 라우드니스 모델에는 이에 대한 고려가 필요하다. 포스트 마스킹 현상은 음향 신호의 노출 시간에 따른 비선형 함수로서 나타나며 Zwicker는 다이오우드(diode)를 이용한 포스트 마스킹 모의 방법을

제안하였다[6]. 또한 최근에는 이 방법의 디지털 알고리즘이 Widmann[10]에 의해 제안되었고, 이 방법은 Zwicker의 아날로그 방법의 결과와 유사한 특성을 보이고 있음이 확인되었다. Widmann의 방법은 그 구체적인 알고리즘이 프로그램 리스트로 공개 되어 있어서 과도음 라우드니스 모델에 대한 적용이 용이하다. 그림 9는 Widmann의 방법을 적용하여 60dB, 2kHz 순음의 노출시간에 따른 포스트 마스킹 곡선을 나타낸 것으로 임상 실험 결과[10]와 유사함을 확인할 수 있다.

2.5. 스펙트럴 마스킹(spectral-masking)의 고려

시간 축에서 뿐만 아니라 주파수 축에서도 큰 자극에 의해 주변 주파수 대역에서 자극에 둔감한 현상이 발생하는데 이를 스펙트럴 마스킹(spectral-masking)이라고 한다. 스펙트럴 마스킹을 고려한 비 라우드니스의 구체적인 계산 알고리즘은 24개 임계 대역 필터를 이용한 Zwicker의 방법[7]에 근거한다. 기존의 24개 임계 대역을 이용한 방법이 1Bark 폭의 주 라우드니스를 나타내는 것과는 달리 47개 임계 대역을 이용한 방법에서는 0.5Bark 폭의 막대 그래프로 나타낸다. 그림 10은 940Hz, 60dB 순음의 주 라우드니스와 비 라우드니스를 나타낸 것으로서, 막대 그래프 형태로 나타난 주 라우드니스로 부터 경사 라우드니스(slope loudness)를 구하는 것은 기존의 알고리즘[7]과 동일하다. 한편 전체 라우드니스 값은 비 라우드니스를 임계 대역에 대해서 적분함으로써 계산할 수 있다.

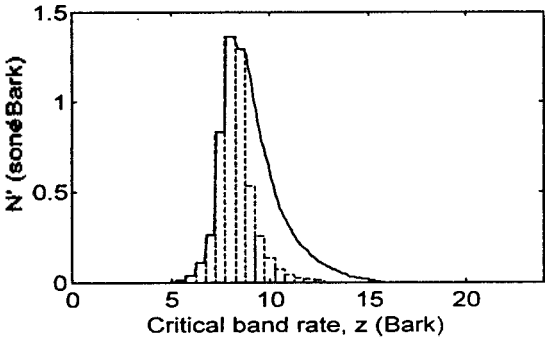

그림 10. 비 라우드니스 패턴 계산의 예제 (940Hz, 60dB 순음): —, 비 라우드니스; - - - -, 주 라우드니스.

Fig. 10. An example pattern of specific loudness calculation for 940Hz pure tone with 60dB SPL:— , specific loudness; - - - -, main loudness.

2.6. 라우드니스 시간 적분(loudness temporal integration)

임계 대역에 대해서 비 라우드니스 패턴을 적분하면 전체 라우드니스를 계산할 수 있다. 이때 비 라우드니스가 시간에 따라 연속적으로 구해졌기 때문에 라우드니스 값도 시간에 따른 함수로서 주어진다. 그러나 인간의 청각계는 동일 레벨의 음향 신호가 주어졌을 때 그 노출 시간에 따라서 음의 크기를 다르게 지각한다. 라우드니스 시간 적분은 이를 구체화한 것으로서 청각에 의해 인지되는 라우드니스는 시간 적분 이후 최대 라우드니스 값이 된다. 기존의 문헌[1]에는 약 45ms의 "특별한" 저역 통과 필터를 이용하여 시간 적분을 수행하였다고 기록되어있으나, 이 특별한 저역 통과 필터에 대한 구체적인 내용은 언급되어 있지 않다.

본 연구에서는 시간 적분 과정으로 1극, 1영 시스템을 가정했으며, 주파수 영역에서의 시간 적분 충격 응답인 H(z)는 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$H(z)=\frac{B(z)}{A(z)}=\frac{b_1+b_2z^{-1}}{1+a_2z^{-1}}\ . \tag{4}$$

여기서, a_2, b_1, b_2는 각각 0.952, 0.308, -0.260 이다. 그림 11에서 실선은 2kHz, 57dB 순음의 노출 시간에 따른 라우드니스 레벨을 새로 구성한 필터 상수로부터 계산한 것으로, 임상 실험 결과[1]와 본 연구에서의 해석 결과가 매우 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

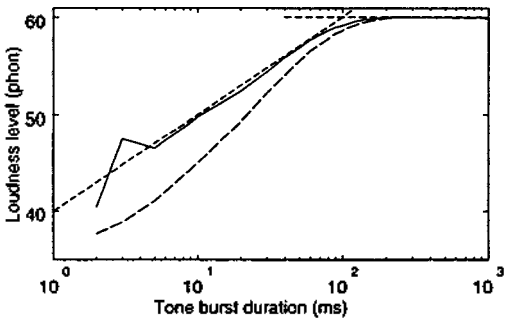

그림 11. 노출 시간에 따른 라우드니스 레벨 비교: —, 1영- 1극 저역 통과 필터를 이용한 경우; — — 1극 저역 통과 필터를 이용한 경우; - - - -, 임상 실험 근사치

Fig. 11. Loudness level of a burst of 2kHz tone with 57dB SPL as a function of burst duration: —, calculated by 1-zero, 1-pole low-pass filter; — —, calculated by 1-pole low-pass filter; - - - -, approximated from experiments[1].

III. 결 론

본 연구에서는 과도음의 라우드니스를 계산할 수 있는 구체적인 디지털 모델을 실현하였다. 본 연구에서 제안된 라우드니스 모델에는 디지털 필터를 이용한 과도음의 대역 분할 및 엔빌롭 추출 과정이 포함되어 있다. 임계 대역 필터의 안정성 확보와 계산 효율 향상을 위하여 몇 단계의 리샘플링된 음향 신호로부터 대역 통과 필터링을 하여 각 임계 대역별 음향 신호를 얻었다. 또한 과도 음향 신호의 라우드니스 해석에 적합한 시간 간격으로 각 대역별 음압 레벨 변화를 구하기 위하여 각 대역별 순간

음압 파워에 1극 저역 필터링을 하였다. 한편, 순음이 필터의 경계에 위치 할 때 발생되는 기존 방법의 문제점을 개선하기 위하여 중첩된 47개 임계 대역 필터를 이용하였으며, 기존의 비 라우드니스를 구하는 과정도 이에 맞도록 수정되었다. 한편 라우드니스 시간 적분 과정은 기존의 1극 저역 필터를 이용하는 대신, 1극 1영 필터를 이용함으로써 임상 실험 결과에 더욱 근접한 과도음의 라우드니스 해석 결과를 얻을 수 있었다.

과도 음향 신호 해석을 위한 본 연구에서의 라우드니스 계산 모델은 정상음 해석을 위한 기존의 라우드니스 해석 방법을 포함하고, 또한 과도음의 청각계 특성이 반영되었기 때문에 일반화된 모델이라고 할 수 있다. 따라서, 본 연구의 결과는 임의 과도음의 객관적 음질 평가나 여러 종류의 제품에서 발생되는 소음의 음질 향상 및 대책을 위한 소음원 파악 등에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. E. Zwicker and H. Fastl, *Psychoacoustics, Facts and Models* (Springer-Verlag, Berlin, 1990).
2. ISO 532 B, "Acoustics-method for calculating loudness level," International Organization for Standardization, 1975.
3. B. C. Moore and B. R. Glasberg, "A review of Zwickers loudness model," Acustica 82, pp. 335-345, 1996.
4. H. Jeong and J.-G. Ih, "Implementation of the new algorithm using the STFT with variable frequency resolution for the time-frequency auditory model,"J. Audio Eng. Soc. 47, pp.240-251, 1999.
5. J.-G. Ih and H. Jeong, "Measurement of time varying loudness by using the short time Fourier transform with variable frequency resolution," Proc. Sound Quality Symposium, pp. 67 70, Ypsilanti, 1998.
6. E. Zwicker, "Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds," J. Acoust. Soc. Am. 62, pp. 675 682, 1977.
7. E. Paulus and E. Zwicker, "Computer programs for calculating loudness from third-octave band levels or from critical band levels," Acustica 27, pp. 253-266, 1972.
8. 정혁, 이정권, "임계대역 필터를 이용한 과도음의 라우드니스 모델, 한국음향학회 하계학술대회 논문집," pp.279-282, 전주, 1998.
9. J. W. Waite, "A multi-rate bank of digital bandpass filters for acoustic applications," Hewlett-Packard J., pp. 73-81, April 1993.
10. ANSI S1.11, "Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters," American National Standard, 1986.
11. U. Widmann, R. Lippold and H. Fastl, "A computer program simulating post-masking for applications in sound analysis systems," Proc. Noise Con 98, pp. 451-456, Ypsilanti, 1998.

▲ 정 혁(Hyuk Jeong) 1969년 8월 23일생

1991년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(학사)
1993년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(석사: 음향학)
1999년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과(박사: 음향학/심리음향)
1999년 9월~2000년 2월 : 한국과학기술원 기계기술연구소 박사후 연수과정 (Post Doc.)
2000년 3월 현재 : 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어 기술연구소 가상현실연구개발센터 청각정보연구팀 선임연구원
※ 주관심분야 : 심리 음향, 신호 처리, 음질 해석, 시간-주파수 해석

▲ 이 정 권(Jeong-Guon Ih)

1979 : 서울대학교 기계공학과(학사)
1981 : 한국과학기술원 기계공학과(석사; 음향학)
1985 : 한국과학기술원 기계공학과(박사; 음향학/소음제어)
1979~1990 : 대우자동차 기술연구소 NVH담당(대리/과장/차장)
1987~1988 : 영국 Southampton Univ., ISVR, Research Staff
1999~2000 : 영국 Loughborough Univ., 수학과, 초빙교수
1990~현재 : 한국과학기술원 기계공학과 교수(조교수/부교수/정교수)