

Understanding a New Method as Powerful Prevention of Noise-Induced Hearing Loss: Kurtosis Metric

Sunghwa You¹, Chanbeom Kwak², Saea Kim², Jangwon Lee², Seungyeop Jeong²,
Eunsung Lee², Hyunwook Song², Nour Alsabbagh², Woojae Han¹

¹Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea

²Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon, Korea

소음성 난청의 효율적인 예방을 위한 첨도 측정법의 이해

유성화¹ · 박찬범² · 김세아² · 이장원² · 정승엽² · 이은성² · 송현욱² · Nour Alsabbagh² · 한우재¹

한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 · 청각언어연구소¹, 한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과²

Purpose: In general, energy metrics, i.e., LAeq 8 hours, have been applied as a risk indicator of noise exposure. However, there are some limitations of LAeq measurement since it considers only the amount of average energy of noise and is not appropriate for measuring the complex noise. In light of this, the kurtosis metrics have been introduced by many contemporary researchers to be applied as an alternative measure. **Methods:** In the main body, we introduced the weakness of current noise exposure criteria, compared between Gaussian and non-Gaussian noise, briefly explained the concepts of kurtosis metrics, and scrutinized more applications of the kurtosis metrics by summarizing previous 7 research papers. **Results:** Compare to the Gaussian noise, the non-Gaussian noise has been found to have stronger cochlear damage effects on the outer and inner hair cells and led to permanent hearing loss in the higher frequencies. Noise exposure trauma levels were dramatically increased as the kurtosis levels increased. Although kurtosis metrics are a good indicator or measure, it still need to be adjusted in terms of frequency-specificity. **Conclusion:** Since the kurtosis metrics are not implemented in Korea, especially in the industrial field, we need to develop a new measurement approach using the kurtosis metrics on workers and then provide scientific based criteria for effectively preventing their potential risk of developing noise-induced hearing loss.

Key Words: Kurtosis, Gaussian noise, Non-Gaussian noise, Complex noise, Noise-induced hearing loss.

Received: April 5, 2018 / **Revised:** May 28, 2018 / **Accepted:** May 29, 2018

Correspondence: Woojae Han, Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology, College of Natural Science, Hallym University, 1 Hallym Daehakgil, Chuncheon 24252, Korea

Tel: +82-33-248-2216 / **Fax:** +82-33-256-3420 / **E-mail:** woojaehan@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

소음성 난청은 직업으로 인해 발생하는 대표적인 10대 질병 중 하나이다. 전 세계적으로 700~1,000만 명의 근로자가 85 dBA 이상의 소음에 노출되고 있으며(Davis et al., 2009), 이는 국제표준화기구(International Standard Organization, ISO), 미국직업안전위생국(Occupational Safety and Health Association, OSHA), 미국국립표준기구(American National Standard Institute), 미국국립직업안전위생연구소(National Institute for

Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 지정한 소음 노출의 위험 기준을 넘어서는 수준이다. 현재 전 세계적으로 통용되는 소음 노출의 위험 기준은 노출 소음의 정도를 에너지 미터법에 근거해서 산정하고 있다. 미국의 경우, 노동부에서 제정한 Walsh-Healey ACT에 따르면 8시간 측정평균(LAeq 8 h)에 근거하여 90 dBA까지 소음의 노출을 허용하고 있다. 유럽에서는 노출된 소음의 총 에너지를 기반으로 한 동등에너지가설(Equal Energy Hypothesis, EEH)에 따라 85 dBA의 소음 강도에서 3 dB씩 강도가 증가할수록 8시간의 허용시간을 50%씩

줄이는 3 dB 교환율(exchange rate)을 소음 노출의 기준으로 규정하고 있다. 한편, 국내에서는 미국과 동일하게 90 dBA의 소음 강도에서 5 dB씩 강도가 증가할수록 8시간의 허용시간을 반으로 줄이는 5 dB 교환율을 소음 노출의 기준으로 준수하고 있다.

이러한 에너지 미터법에 근거하여 8시간 동안 노출된 소음 강도의 평균적 측정은 소음의 특성이 지속적인 가우시안 소음(Gaussian noise)일 경우 소음성 난청을 예방하는 기준으로 적합하다. 하지만 충격음과 함께 결합되어 제시되는 복합 소음인 비가우시안 소음(non-Gaussian noise or complex noise)에는 적합하지 않다. 즉, 비가우시안 소음을 에너지 미터법에 근거하여 측정할 경우 다양한 주파수적 특성을 구체적으로 반영하지 못하며 평균적 에너지 양(평균 강도)만 고려하는 한계를 갖는다. 따라서 현재의 소음성 난청 예방 기준인 에너지 미터법의 적용은 최근 다수의 연구자에 의해 소음성 난청의 효과적인 예방 및 효율적인 청력 보존의 관점에서 적절치 못하다고 주장되었고(Canlon et al., 1988; Davis et al., 2009; Hamernik & Ahroon, 1998; Zhao et al., 2010), 그 해결 방안으로써 침도 측정법이 제시되었다(Davis et al., 2009; Hamernik et al., 2003; Zhao et al., 2010). 소음의 강도와 시간적 특성을 민감하게 반영하는 통계적 미터법인 침도 측정법은 복합 소음의 노출과 이로 인한 유모세포 손상의 높은 상관성을 제시하기 때문에 소음 노출 허용 기준을 제시할 때 평균 에너지 미터법인 LAeq와 함께 침도 측정법을 적용하는 것이 매우 바람직하다(Davis et al., 2009; Zhao et al., 2010). 이에 본 종설에서는 현재 적용되고 있는 소음노출기준의 한계점을 언급하고, 가우시안과 비가우시안 소음의 차이점, 침도 측정법의 기본적 이해, 소음 노출에 대한 침도 측정법의 적용 연구 등에 관하여 기술하고자 한다. 또한, 향후 연구 방향에 대한 침도 측정법의 긍정적인 적용을 제안한다.

WEAKNESS OF CURRENT NOISE EXPOSURE CRITERIA

소음 노출로부터 근로자의 청력 손상을 평가 및 보호하기 위해 equivalent sound levels, peak pressure levels, noise exposure rating 등과 같은 다양한 소음 측정 방법이 제시되어 왔고, 매개 변수에 대한 허용 수준은 국제표준화기구(ISO), 미국직업안전위생국(OSHA), 미국국립직업안전위생연구소(NIOSH) 등에서 공통적으로 제안하는 기준이 통용되고 있다(Alldrisi et al., 1990). 그러나 미국직업안전위생국의 직업적 소음노출기준(OSHA, 2014)은 8시간 가중 평균, 허용 소음 노출을 90 dBA와 5 dB 교환율로 규정하는 반면, 미국국립직업안전위생연구소(NIOSH, 1998)는 8시간 가중 평균의 허용 소음 노출을 85 dBA와 3 dB 교환율로 권고하는 등 각 기구별로도 그 시작 기

준과 교환율에서 획일적이지 않다. 차이점을 좀 더 면밀히 살펴보면, 미국직업안전위생국의 5 dB 교환율은 8시간의 근무 조건에서 지속적인 소음 노출 동안 여러 번의 간헐적인 소음 노출의 중단 시(예를 들어, 근로자의 휴식 시간) 근로자의 일시적 역치 변동(Temporary Threshold Shift, TTS) 중 일정 부분이 회복될 수 있음을 가정하고 있다(Sriwattanatamma & Breyse, 2000). 이에 반해, 미국국립직업안전위생연구소의 85 dBA의 3 dB 교환율 적용은 동등에너지가설(EEH)에 근거하여 음향 에너지의 분포와 관계없이 동등한 양의 음향 에너지는 그에 상응하는 청력 손실을 유발함을 내포하고 있다(Suter, 1992). 다시 말해 동등에너지가설은 잠재적인 소음성 외상이 노출의 총 A-가중 데시벨(에너지 = 힘 × 시간)과 직접적으로 관련된다고 강조하고 있다(Eldred, 1976; Ward et al., 1961).

2000년대에 들어와서는 Hamernik & Qiu(2001), Harding & Bohne(2004), Qiu et al.(2006), Hamernik et al.(2007)에 의해 새로운 연구 결과가 제시되면서 기존의 동등에너지가설에 근거한 청력 보존 전략은 궁극적으로 근로자의 소음성 난청 예방에 적절하지 않다는 의견이 제기되었다. 즉, 그들의 연구 결과에서는 공통적으로 단위 시간당 동등한 에너지를 가진 지속적인 소음, 규칙적 혹은 불규칙적 충격음, 지속적인 소음과 충격음이 결합된 복합 소음 등 소음의 각기 다른 유형과 특징에 따라 청력 손실의 정도가 다르게 나타날 수 있음이 증명되었고, 기존의 소음 강도와 노출 시간 사이의 상충 관계를 기반으로 한 에너지 미터법과 비교하여 보다 자세하고 과학적인 기준을 세우는 데 근거로써 주장되었다(Davis et al., 2009).

GAUSSIAN AND NON-GAUSSIAN NOISE

가우시안 소음이란 충격음 없이 거의 일정한 스펙트럼을 나타내는 지속적인 소음(steady-state noise)을 뜻한다(Hamernik et al., 2003). 대표적인 예로 백색소음(white noise)이 있으며, 일을 할 때 근로자에게 지속적으로 노출되는 베를 소리, 보일러 소리, 에어컨 소리, 환기 소리 등이 있다. 따라서 특성상 일반적이면서도 사람들의 귀에 지속적인 강도로 제시되는 소음을 가우시안 소음이라고 정의된다. 반면, 복합 소음(complex noise) 또는 간헐적인 소음(intermittent noise)이라고도 불리는 비가우시안 소음은 일정한 강도를 지닌 지속적인 소음 내에 여러 번의 간헐적인 충격음이 함께 결합되어 제시된다. 예를 들어, 펀치프레스업(95.3 dBA), 직물업(105 dBA), 금속가공업(95 dBA) 등에서 종사하는 근로자는 지속적인 소음이 제시되는 환경 내에서 지속적인 소음의 강도보다 큰 간헐적인 충격음에 노출되고 있다. 비가우시안 소음 내에 지속적인 소음과 간헐적인 고강도 충격음의 차이는 약 20~30 dB 정도 상이할 수 있으며, 충

격음의 결합방식 혹은 패턴에 따라 청력 손상의 정도 및 양상이 달라질 수 있다(Suter, 2017). 다시 말해, 지속적인 소음과 충격음을 모두 포함한 비가우시안 소음은 지속적인 소음과 충격음이 각각 제시될 때보다 훨씬 큰 시너지 효과를 나타낸다(Hamernik et al., 2003).

Figure 1을 통해, 4가지 비가우시안 소음의 특징을 나타내는 예를 제시하였다. Figure 1의 A와 B는 동일한 시간 동안 제시된 비가우시안 소음으로서, Figure 1A에 나타난 두 가지 비가우시안 소음은 간헐적인 충격음이라는 공통점은 있지만 제시된 충격음의 길이에는 차이가 있다. Figure 1B의 비가우시안 소음은 Figure 1A에서 나타난 소음과 다르게 충격음의 강도 크기가 시간에 따라 변화하며, 두 가지 소음 역시 각각 제시된 충격음의 길이가 다르다(Passchier-Vermeer, 1973). 만일, 에너지 미터법에 따라 단위시간 내 소음의 강도를 측정한다면, 평균적 에너지만을 고려하기 때문에 패널 A와 B에 제시된 다른 두 가지 소음은 충격음의 길이에 관계없이 같은 강도의 소음으로 측정되어 소음성 난청 예방 기준에 적용될 수 있다. 따라서, 비가우시안 내에서 각기 다른 충격음의 특성을 보다 잘 반영하기

위한 측정 방법이 필요하다.

CONCEPT OF KURTOSIS METRICS

Erdreich(1986)는 강한 환경 소음을 보다 정교하게 수치화하기 위해 노출된 소음의 형태가 평균에 얼마나 집중되어 있는지(peakedness)와 얼마나 넓게 분포하고 있는지(tailedness)를 반영하는 인자로서 첨도(kurtosis)를 제시하였다. 통계학적으로 1차 적률(1st moment)은 평균(mean), 2차 적률(2nd moment)은 분산(variance)이라고 표현한다. 또한, 3차 적률(3rd moment)은 왜도(skewness), 4차 적률(4th moment)은 첨도를 정의하는 데 사용한다. 첨도는 4차 적률을 분산의 제곱으로 나눈 값이며, 확률 분포의 뾰족한 정도를 나타내는 수치이다. 계산 과정에서 측정된 모든 소음의 양을 각각 표준값으로 전환하고 표준값은 측정값에 4배를 한 후 측정치의 수로 나누어 β 값을 얻는다(Figure 2의 왼쪽 패널 수식 참조). 시각적 이해를 돕기 위해 Figure 2의 오른쪽 패널에 3가지 크기의 첨도를 제시하였다. 첨도는 β 값을 통해 도수 분포가 얼마나 뾰족한지 혹은 얼마나 평평한지를 나타내는 척도이므로, 얻어진 β 값이 0보다 크지만 3보다 작으면 분포는 완첨(platykurtic, 평평함), 3과 같으면 중첨(mesokurtic, 높이가 정상적임), 3보다 크면 급첨(leptokurtic, 뾰족함)이라 한다.

일정 시간 동안 소리의 압력 대 시간 파형을 분석하였을 때, 충격음이 포함된 비가우시안 소음의 경우 가우시안 소음보다 높은 진폭의 분포(variable x)로 인해 급첨($\beta > 3$)으로 나타난다. 따라서, 급첨($\beta > 3$)을 나타내는 비가우시안 소음은 가우시안 소음의 노출에 비해 청력 손실에 유해한 요소가 된다.

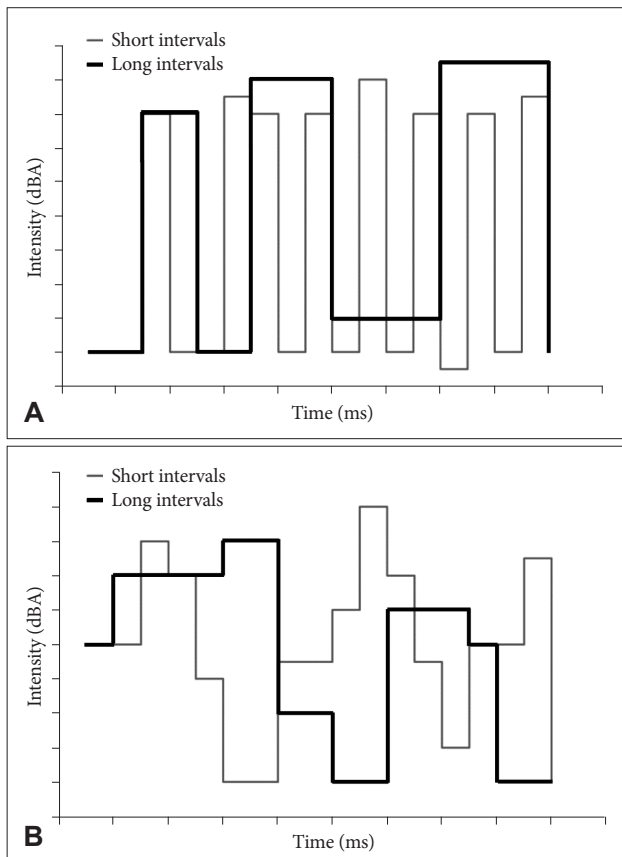


Figure 1. Graphical example of the short-interval and long interval non-Gaussian noise. A: Comparison of short-interval and long-interval noise for intermittent noise exposure. B: Comparison of short-interval and long-interval noise for varying noise exposure.

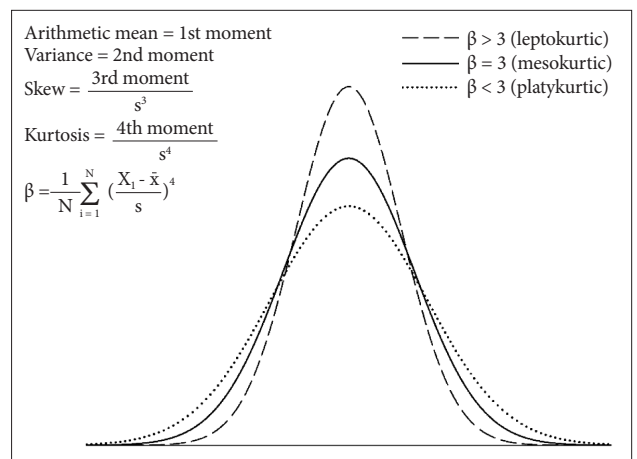


Figure 2. Left panel: The variable x is amplitudes of the pressure-time waveform at discrete points over some periods of time. The Nth order moment is defined as the average of $(X_i - C)^N$, where the C is a constant. In the presented formulas, also represents the standard deviation and \bar{x} represent the expected value. Right panel: Instruction of the descriptive statistical display for distributions of the variable x.

APPLICATION OF KURTOSIS METRIC FOR NOISE EXPOSURE STUDY

많은 선행연구들은 비가우시안 소음 노출 시 청력 손실의 정도와 유병률을 효과적으로 예측하기 위한 측정법으로 침도를 사용하였다. Lei et al.(1994)의 연구에서는 44마리의 친칠라를 3가지 소음으로 나누어 가우시안 소음, 폭발음(106 dB peak SPL)이 결합된 비가우시안 소음, 충격음(125 dB peak SPL)이 결합된 비가우시안 소음에 5일 동안 지속적으로 노출시켰다. 실험에 사용된 3가지의 소음은 모두 동일한 에너지와 스펙트럼을 지녔지만 침도값만 다르게 적용하였다. 예를 들어, 가우시안 소음의 침도값(β)은 3, 폭발음과 결합된 비가우시안 소음의 침도값은 21, 충격음과 결합된 비가우시안 소음의 침도값은 84였다. Figure 3을 통해, 각각의 소음에 노출된 세 그룹의 모세포 손실 정도(Figure 3A-C)와 영구적 역치 변동(TTS) (Figure 3D)을 제시하였다. 구체적으로 침도값이 $\beta = 3, 21, 84$ 의 소음을 비교했을 때, 노출된 소음의 침도값이 클수록 유모세포의 잠재적 손상은 극적인 상승이 나타났고 고주파수에서 보다 많은 양의 유모세포 손실이 나타났다. 일반적으로 외유모세포의 손상이 두드러지지만, $\beta = 84$ 의 침도값을 지닌 비가우시안 소

음에 노출된 후에 내유모세포의 손실은 중·저주파수까지 확장된다(Figure 3C). 또한 비가우시안 소음($\beta = 84$)에 노출 시 가우시안 소음($\beta = 3$)보다 약 40 dB HL의 영구적 청력 손실 차이가 나타난다(Figure 3D). 이에 근거하여, LAeq 측정법을 이용하여 소음을 측정한다면, 유모세포 손상의 차이 및 소음 노출 정도, 청력 손실의 상관관계를 확인할 수 없다.

Dunn et al.(1991)의 연구에서는 16마리의 친칠라를 두 그룹으로 나누어 각각 가우시안 소음(pink noise), 비가우시안 소음(충격음)에 노출시켰다. 5일 동안 하루 4시간씩 소음에 노출시켰으며, 30일 이후 청력 역치를 측정된 결과, 예상한 대로 비가우시안 소음 그룹의 청력 역치 변동은 가우시안 소음에 노출된 그룹의 청력 역치 변동보다 유의미하게 더 크게 나타났다. Lataye & Campo(1996)의 연구 또한, 29마리의 기니피그 두 그룹을 대상으로 진행하여 LAeq의 적용 적합성을 확인하기 위하여 동일한 음향 스펙트럼을 갖는 가우시안 소음과 비가우시안 소음을 비교하였다. 저자들은 LAeq의 소음 측정법 적용은 정확한 손상위험기준(damage-risk criterion)이 아님을 보고하였고, 가우시안 소음과 비가우시안 소음 모두 적용할 수 있는 청력 손실 예방 측정법이 새로이 제안되어야 한다고 결론 지었다. 제시된 3가지 동물 연구의 결과를 종합해 보면, 비가우시안 소음의

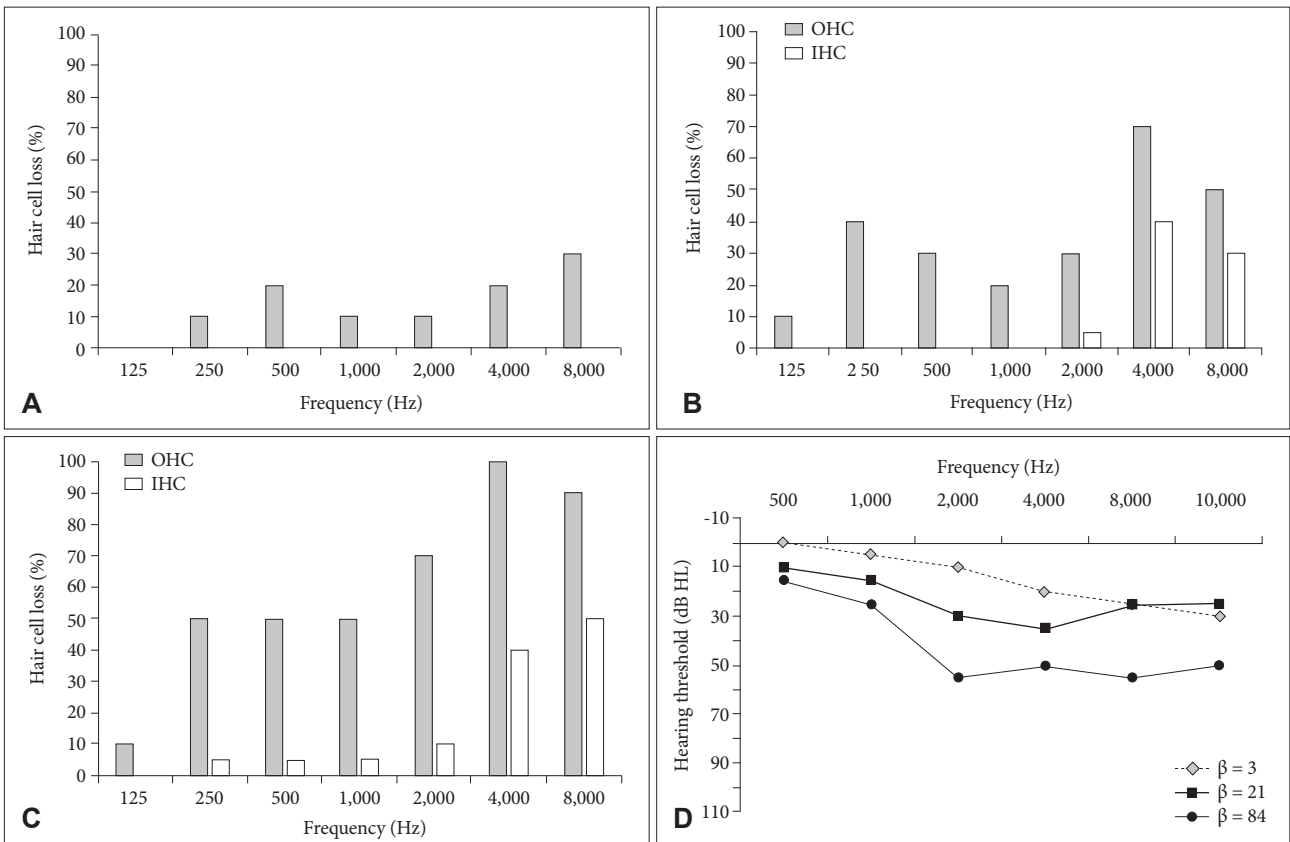


Figure 3. Damage percentage of outer and inner hair cell loss based on different beta values, i.e., $\beta = 3$ (A), $\beta = 21$ (B), $\beta = 84$ (C), and its potential pure-tone audiometric results. It is a graphical display inferred from data of Lei et al. (1994). OHC: outer hair cell, IHC: inner hair cell.

노출로 인한 청력 손실은 동등한 에너지 분포를 가진 가우시안 소음의 노출로 인한 청력 손실과 비교했을 때 더욱 두드러지게 나타났다(Dunn et al., 1991; Lataye & Campo, 1996; Lei et al., 1994).

Zhao et al.(2010)의 연구에서는 두 산업 공장에 종사하는 근로자의 청력 손실의 유병률을 비교하였다. 공장 A는 8시간 평균 95~105 dBA의 가우시안 소음을 가진 섬유업이었고, 공장 B는 8시간 평균 95 dBA의 소음과 125 dB peak SPL의 충격음이 결합된 비가우시안 소음을 갖는 금속 가공업이었다. 두 공장에서 발생하는 소음을 침도 측정법으로 계산한 결과, 공장 A의 침도값(β)은 3.3, 공장 B의 침도값(β)은 40이었다. 공장 A(가우시안 소음)와 공장 B(비가우시안 소음)의 각 소음을 축적 소음(cumulate noise exposure, CNE¹)으로 로지스틱 회귀(Logistic Regression) 모델에 적용시켰다. 가우시안 소음에 노출된 공장 A의 평균 축적 소음값은 110.6 ± 6.0 dB, 비가우시안 소음에 노출된 공장 B의 평균 축적 소음값은 103.2 ± 4.2 dB로 공장 A의 평균 축적 소음값이 7 dB 더 높았다. 그러나 공장 A의 평균 소음 수준이 더 높음에도 불구하고 2, 4, 6, 8 kHz에서 청력 손실(≥ 30 dB HL)이 발생하는 유병률은 두 공장의 근로자에게서 동일하게 나타났고, 오히려 공장 B의 근로자는 공장 A의 근로자에 비해 근무 연수가 높아질수록 더 빠르게 청력 손실의 유병률이 높아졌다. 다시 말해, 공장 B의 근로자는 공장 A의 근로자와 비교하여 평균 7 dB 정도 낮은 축적 소음을 가졌지만, 해를 거듭하면서 잠재적인 청력 손실의 발생 가능성은 더 높게 분석되었고, 비가우시안 소음에 노출된 근로자는 가우시안 소음에 노출된 근로자보다 고주파수 난청이 발생할 확률이 40.9% 더 높다고 예측되었다. 이러한 결과는 앞선 동물 실험의 연구 결과와 유사하였고, 비가우시안 소음 노출은 지속적인 에너지 증가를 갖는 가우시안 소음에 노출된 경우보다 청력 손실에 더 위험함을 다시 한 번 강조한다(Davis et al., 2009; Hamernik et al., 2003; Qiu et al., 2006, 2007).

종합해 보면, 침도(β)는 정점(peak)과 시간(temporal)에 민감한 통계적 특성을 가지며 이를 통해 비가우시안 소음 노출로 인한 잠재적 청력 손실을 보다 민감하게 탐지할 수 있다(Davis et al., 2009; Hamernik et al., 2003; Qiu et al., 2006, 2007). 고정된 동등 에너지 수준에서 침도가 증가함에 따라 소음으로 인한 청력 손실이 증가한다는 것을 보여주었고, 이는 LAeq 측정법과 결합된 침도 측정법이 청력 보존의 목적을 위한 소음 평가에 유용하게 적용될 수 있는 가능성을 시사한다.

Table 1에서는 침도 측정법을 적용한 7개의 선행연구들을 분석하여 정리하였다. 근로자를 대상으로 연구한 Zhao et al. (2010)의 논문을 제외하고는 대부분의 논문에서 친칠라를 대

상으로 가우시안 소음과 비가우시안 소음의 제시 강도를 여러 단계로 달리하면서 일정 시간의 소음 노출 후 변화된 청력 역치를 측정하였다. 7개의 논문에서 공통적으로 소음 노출로 인한 정확한 청력 손실을 측정하는데 소음의 특성을 고려한 침도 측정법이 효과적인 방법이라고 보고하였다. 또한, 90 dBA 이상의 가우시안 소음과 $\beta > 3$ 의 충격음이 결합된 비가우시안 소음에 노출될 경우, 산업체 근로자의 모세포 손실에 크게 유해할 수 있음을 결론 지었다.

CONSIDERATION OF KURTOSIS METRIC

정리해 보면, 비가우시안 소음으로 인한 청력 손상을 효과적으로 측정하기 위해 침도 측정법을 적용해야 하고 중요한 변수로서 침도값과의 연관성을 이해하는 것은 매우 중요하다. 그러나 침도 측정법의 적용이 비가우시안 소음을 측정하는 데 가장 우수한지는 아직 고려해야 할 점도 분명 존재한다. Qui et al.(2006)은 106마리의 친칠라에게 90~110 dBA의 가우시안 소음에 침도값을 달리하며 노출시켰을 때, 90 dBA의 LAeq에 노출된 그룹은 침도값의 변화에 관계없이 동일한 정도의 청력 손상을 보였지만, 90 dBA보다 높은 강도의 소음에선 비가우시안 소음에 노출된 친칠라에게서 더 큰 청력 손상이 나타났다. Harding & Barbara(2004)의 연구 또한 416마리의 친칠라에게 500 Hz와 4 kHz의 옥타브 밴드의 소음을 사용하였고, 4 kHz에서는 86~90 dBA, 500 Hz에서는 95 dBA보다 높은 강도의 소음에 노출되었을 때 LAeq에 의해 예측된 것보다 많은 청력 손실이 발견되어 주파수에 따라 침도에서 고려해야 할 부분이 있음을 시사하였다. 즉, LAeq ≤ 90 dBA의 소음 측정에 있어서는 기존 LAeq 측정법인 동등에너지가설을 적용할 수 있으나, 90 dBA보다 높은 고강도의 소음을 측정 시 기존의 소음 측정방법은 소음 노출 및 그 손상을 과소평가할 수 있기 때문에 침도가 적용된 소음 측정이 필요하다.

한편 Zhu et al.(2009)은 복합 소음의 위험성을 평가하기 위한 수단으로써 침도를 포함한 14가지의 소음 측정 지표(noise metric)를 적용하고 실험하였다. 친칠라를 대상으로 평균 100 dB SPL의 다양한 특성의 소음들과 여러 수준의 침도를 적용하여 제시한 후 각 소음의 측정 지표와의 상관성을 비교 분석한 결과, 침도는 주파수 상관성(frequency correlation), 소음 상관성(noise correlation), 전반적 상관성(overall correlation)의 3가지 모든 측면을 고려하여 분석하기에는 강력한 측정법은 아니라고 주장하였다. 그러나 Zhu et al.(2009)의 결과는 실제 산업 환경의 근로자가 노출되는 복합 소음이 아닌 실험실에서 인위적으로 조작된 소음이기 때문에 산업 현장의 실제 소음을 적용하여 3가지 상관성을 다시 분석할 필요가 있다. 더불어 비가우

¹CNE = LAeq 8 h + 10 log T (where T is exposure time in years).

Table 1. A summary of seven papers estimating the kurtosis metric as noise exposure

Researchers (year)	Sample	Methodology	Outcomes
Hamernik et al. (1993)	3 groups of chinchillas: <ul style="list-style-type: none"> • 10 in the G noise ($\beta = 3$) • 10 in the non-G noise ($\beta = 27$) • 10 in the pure impact exposure ($\beta = 189$) 	<ul style="list-style-type: none"> • The hearing thresholds were measured by using the AEP • All the animals in 3 groups were exposed to 90 dB SPL for 5 days • The average of ATS and the PTS were measured 	<ul style="list-style-type: none"> • The kurtosis in measuring the ATS was not significant, but it was significant in measuring the PTS • The interaction between the kurtosis and frequency in measuring the ATS and PTS was significant • Non-G noises produced greater PTS at higher frequencies than the G noises
Hamernik et al. (2003)	17 groups of chinchillas: <ul style="list-style-type: none"> • 11–16 animals in each group 	<ul style="list-style-type: none"> • The hearing thresholds were measured by using the AEP • The groups were exposed to continuous LAeq = 100 dBA for 20–30 min per a day (total 5 days) • The exposure conditions varied using different G, non-G, or noise bursts with the kurtosis ranging from $\beta = 3$ to $\beta = 105$ 	<ul style="list-style-type: none"> • All of the non-G noise exposure conditions had led to a greater noise exposure trauma in terms of ATS, PTS, OHC loss, and IHC loss than the G noise exposure for the same LAeq levels • With increasing the levels of kurtosis, the permanent damage was higher
Davis et al. (2006)	9 groups of chinchillas: <ul style="list-style-type: none"> • 11 or 12 animals in each group 	<ul style="list-style-type: none"> • The hearing thresholds were measured by using AEP • All the groups were exposed to continuous non-G noises (composed of broadband noise bursts and band-limited impacts) at different LAeq levels • The kurtosis metric was used to measure the extent of noise exposure trauma 	<ul style="list-style-type: none"> • There was no difference found between the G and non-G noise in producing the noise exposure trauma at the lowest intensities • The non-G noise exposure had produced higher noise exposure trauma compared to the G noise at the same intensity level (LAeq = 90 dBA) • By extracting the energy from the impulsive transient noises, the trauma effect might be reduced
Qiu et al. (2006)	9 groups of chinchillas: <ul style="list-style-type: none"> • 11 or 12 animals in each group 	<ul style="list-style-type: none"> • The hearing thresholds were measured by using the AEP • The exposure conditions were: either LAeq 90, 100, or 110 dBA using different G, non-G, or noise bursts with the kurtosis ranging from $\beta = 3$ to $\beta = 45$ 	<ul style="list-style-type: none"> • For the lowest LAeq level (90 dBA), the noise exposure trauma produced by G and non-G noises showed no difference • For the LAeq levels > 90 dB, the noise exposure trauma was higher in the non-G noise exposure compared to the G noise exposure of the same LAeq level • Higher levels of kurtosis showed a higher possibility of developing hearing loss
Hamernik et al. (2010)	Several groups of chinchillas: <ul style="list-style-type: none"> • 8 animals in each group 	<ul style="list-style-type: none"> • All the groups were exposed to interrupted non-G noise for 8 hours for 3 weeks at LAeq = 97 dBA • Each group was exposed to 1 of 12 different noise conditions (the noises had the same spectrum but differed in the temporal structure) 	<ul style="list-style-type: none"> • The hearing loss was found to get higher with increasing the value of kurtosis at the same LAeq level • Although the noise exposure trauma did not differ with changing the temporal composition of the noises, kurtosis measurement considering adjunct spectral energy should be used for evaluation of industrial noise exposure

Table 1. A summary of seven papers estimating the kurtosis metric as noise exposure (continued)

Researchers (year)	Sample	Methodology	Outcomes
Zhao et al. (2010)	2 groups of workers: • 163 in the G noise group • 32 in the non-G noise group	<ul style="list-style-type: none"> SPL noise was measured by using a dosimeter, and real-time sound recording was done by using a sound level meter The kurtosis was computed using a 40-sec time window for 5 min noise recordings The CNE was used to quantify the noise exposure for each subject 	<ul style="list-style-type: none"> Kurtosis for G noise = 3.05 and for non-G noise = 75.56 LAeq 40 s for G noise = 117.5 dBA and for non-G noise = 107.2 dBA CNE for G noise = 110.6 and for non-G noise = 103.2 The mean kurtosis (β) for G noise = 3.3 and for non-G noise = 40 The factor K for G noise = 3.1 and for non-G noise = 5.6
Qiu et al. (2013)	29 groups of chinchillas: • 6–8 animals in each group	<ul style="list-style-type: none"> The hearing thresholds were measured by using the AEP The animals were exposed to 97 dB SPL for either 5 days continuously or interrupted schedule for 19 days: 2 groups were exposed to either G noise for continuous 5 days or G noise for interrupted 19 days, 3 groups were exposed to 1 of 3 continuous non-G noise for 5 days ($\beta = 25, 50, \text{ or } 100$), 24 groups were exposed to non-G noise for interrupted 19 days 	<ul style="list-style-type: none"> For the groups that were exposed to interrupted 19 days, the kurtosis main effect on the PTS, IHC, OHC for the non-G and G noises was demonstrated by showing a significant effect of the group and the interaction between the group and frequency For the groups that were exposed to continuous 5 days, the kurtosis main effect for the non-G noises was demonstrated by showing a significant effect of the group on the PTS, IHC, and OHC. However, the interaction between the group and frequency showed a significant effect only on the IHC and OHC The exposure trauma was found to be higher with increasing the kurtosis level

The papers of table summary are in chronological order. AEP: auditory evoked potential, SPL: sound pressure level, ATS: asymptotic threshold shift, PTS: permeant threshold shift, G: gaussian, CNE: cumulative noise exposure, IHC: inner hair cell, OHC: outer hair cell

시안 소음은 충격음의 경우 적어도 90 dBA 이상의 소리가 대부분이므로 침도의 사용을 우선적으로 고려하는 것이 중요하며, 침도 이용 시 자극의 상대적인 정점들(relative peaks)과 충격음의 지속 시간, 신호의 반복 주기를 반영함으로써 노출 자극의 시간적, 강도적 특성을 가져 간헐적인 소음의 측정에 있어 유리하다는 장점이 있다(Erdreich, 1986; Hamernik & Qui, 2001). 따라서 구체적인 침도 적용 연구를 수행하여 현재의 침도 측정법을 보완할 필요가 있다.

CONCLUSIONS

산업안전보건공단의 보고에 따르면 소음성 난청은 2016년 국내 산업 근로자의 건강진단 결과 가장 많이 발생한 직업병이며, 소음성 난청 유소견자(D1)는 2000년 1,368명에서 2016년 11,456명으로 8.47배 높아졌고, 전년 대비 1,414건(14.1%)의 증가 추세를 보였다(KOSHA, 2016) (Figure 4). 앞서 언급한 대로, 현재 국내의 소음 노출 적용 기준은 미국직업안전위생국(OSHA)에 근거하여 90 dBA의 최대 8시간 노출로 규정한다. 소음 노출 기준보다 5 dB씩 높을수록 근로시간이 50%씩 감소하는 5 dB 교환율 법칙이 적용되며, 최대 작업장 소음 노출은 115 dBA이다.

국내의 관련 문헌들을 살펴보면, 국내 22,384개의 사업장을 대상으로 2001년도에 실시한 작업환경 소음노출평가 결과에서 Roh & Phee(2003)는 총 5,785개의 업체가 90 dBA 기준을 초과하는 사업장으로 분류하였고, 2002~2005년 동안 실시한 Jang & Chung(2007)의 연구에서는 3~4만 개 사업장의 작업 환경에서 소음을 측정된 결과 전체 사업장의 90% 이상이 1일 8시간 작업기준 90 dBA 소음노출기준을 초과하였다. 앞서 언급했듯이 이러한 측정 결과는 8시간 평균인 LAeq의 90 dBA 강도 기준을 적용한 분석이기 때문에 본 종설에서 설명한 소음의 특성과 비가우시안 소음의 패턴을 측정하는 데 침도 측정법을 적용하지 못하였다. 이러한 결과 분석은 산업 근로자의 축적 소음에 따른 잠재적 청력 손실을 예측하기에는 매우 큰 한계가 있다고 단언할 수 있다.

본 종설에서는 가우시안 소음과 비가우시안 소음의 차이를 설명하면서 비가우시안 소음 측정에 적합한 침도 측정법을 소개하였다. 많은 선행연구들에서는 가우시안 소음과 비교 시, 비가우시안 소음에 따른 보다 큰 청력 손실의 정도에 대해 위험성을 경고하고 있다. 즉, 동일한 강도로 지속되는 가우시안 소음에 비해 동일한 강도의 소음과 더불어 간헐적인 충격음이 혼합되어 나타나는 비가우시안 소음의 노출로 인한 청력 손실의 위험성은 더 치명적이다. 따라서 기존에 획일적으로 사용되던 소음 노출의 평균 강도와 시간을 적용한 에너지 미터법의 한계점에 침도 측정법을 적용한다면 보다 과학적인 예방법을 제시

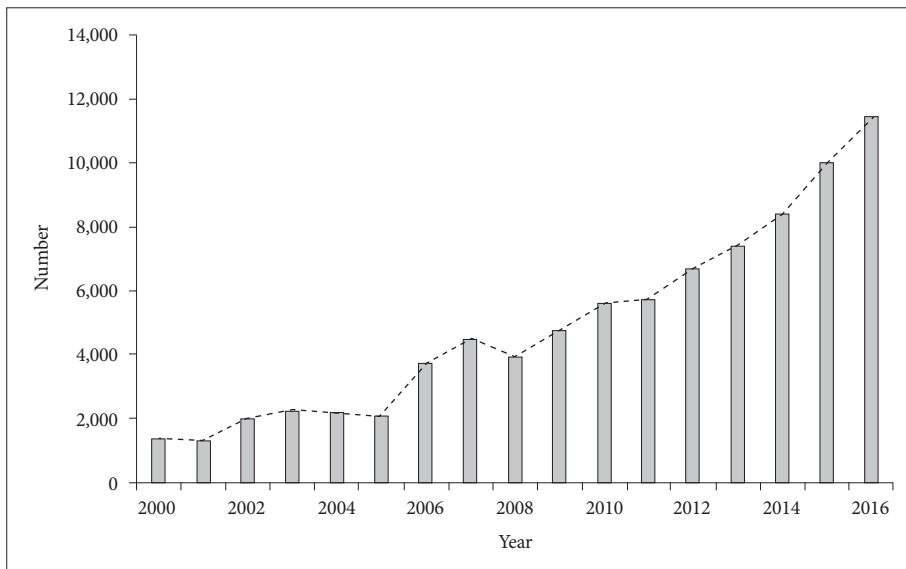


Figure 4. Number of workers and its tendency with suspicious noise-induced hearing loss from 2000 to 2016 in South Korea (data extracted from KOSHA, 2016).

할 수 있을 것으로 기대한다.

전 세계적으로, 대략 1,000만 명에 가까운 많은 수의 산업체 근로자가 85 dBA 이상의 고강도 소음에 노출되고 있기 때문에 (Davis et al., 2009), 노출 소음의 복합적 특성 및 시너지적 위험성에 대한 심도 있는 이해와 이를 통한 철저한 대처가 필요하다. 또한, 산업체 근로자뿐만 아니라 복합 소음의 일종인 유희적 소음에 노출되는 일반 대중의 소음성 난청의 예방 및 청력 보존의 관점에서 보다 정밀한 소음 노출 수준의 측정과 예방 기준이 매우 시급하다. 거리의 소음에 노출되면서 휴대용 음향 기기를 통한 고강도의 음악 청취, 스포츠 관람 시 발생하는 경기 소음 및 응원 소음에의 노출, 군부대에서의 훈련 시 사용되는 다양한 총기류의 소음 등 두 가지 이상의 소음이 복합되어 발생하는 복합적 유희적 소음의 비가우시안적 분석과 해석이 명확히 제시되어야 하겠다. 이를 위해 청각 전문가는 노출되는 소음의 특성을 고려한 정확한 측정법의 사용은 물론 효율적인 소음성 난청의 예방과 보존을 위해 보다 분별 있는 소음 측정을 고려해야 할 것이다.

중심 단어 : 침도 측정법·가우시안 소음·비가우시안 소음·복합 소음·소음성 난청.

Ethical Statement

N/A

Acknowledgments

N/A

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict interests.

Funding

This research was completed while being supported by National Re-

search Foundation of Korea (NRF-2017R1A1A1A05001299).

REFERENCES

Alldrisi, M., Jamil, A. T. M., Al-Jiffry, M. S., Jefri, M. A., & Erturk, F. (1990). Evaluation of noise stresses in Jeddah industrial estate. *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, 25(8), 873-896.

Canlon, B., Borg, E., & Flock, A. (1988). Protection against noise trauma by pre-exposure to a low level acoustic stimulus. *Hearing Research*, 34(2), 197-200.

Davis, R. I., Qiu, W., & Hamernik, R. P. (2006). Noise-induced hearing loss from non-Gaussian equal energy exposures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(5), 3128-3129.

Davis, R. I., Qiu, W., & Hamernik, R. P. (2009). Role of the kurtosis statistic in evaluating complex noise exposures for the protection of hearing. *Ear and Hearing*, 30(5), 628-634.

Dunn, D. E., Davis, R. R., Merry, C. J., & Franks, J. R. (1991). Hearing loss in the chinchilla from impact and continuous noise exposure. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 90(4 Pt 1), 1979-1985.

Eldred, K. (1976). Demographics of noise pollution with respect to potential hearing loss. In Henderson, D., Hamernik, R. P., Dosanjh, D. S., & Mills, J. *Effects of Noise on Hearing* (pp. 3-20). New York, NY: Raven Press.

Erdreich, J. (1986). A distribution based definition of impulse noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 79(4), 990-998.

Hamernik, R. P. & Ahroon, W. A. (1998). Interrupted noise exposures: Threshold shift dynamics and permanent effects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(6), 3478-3488.

Hamernik, R. P., Ahroon, W. A., Hsueh, K. D., Lei, S. F., & Davis, R. I. (1993). Audiometric and histological differences between the effects of continuous and impulsive noise exposures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93(4 Pt 1), 2088-2095.

Hamernik, R. P. & Qiu, W. (2001). Energy-independent factors influencing noise-induced hearing loss in the chinchilla model. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(6), 3163-3168.

Hamernik, R. P., Qiu, W., & Davis, B. (2003). The effects of the amplitude distribution of equal energy exposures on noise-induced hearing loss: The kurtosis metric. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114(1), 386-395.

Hamernik, R. P., Qiu, W., & Davis, B. (2007). Hearing loss from interrupted, intermittent, and time varying non-Gaussian noise exposure: The applicability of the equal energy hypothesis. *The Journal of the Acousti-*

- cal Society of America*, 122(4), 2245-2254.
- Hamernik, R., Qiu, W., & Davis, R. (2010). The use of the kurtosis metric in the evaluation of industrial noise exposures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(4), 2456.
- Harding, G. W. & Bohne, B. A. (2004). Noise-induced hair-cell loss and total exposure energy: Analysis of a large data set. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(5 Pt 1), 2207-2220.
- Jang, J. K. & Chung, K. J. (2007). *A Study on the Management of Noise in Work-Environments*. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute.
- Lataye, R. & Campo, P. (1996). Applicability of the L_{eq} as a damage-risk criterion: An animal experiment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 99(3), 1621-1632.
- Lei, S. F., Ahroon, W. A., & Hamernik, R. P. (1994). The application of frequency and time domain kurtosis to the assessment of hazardous noise exposures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 96(3), 1435-1444.
- Ministry of employment and labor. (2016, February). *Workers' Health Examination Practices*. Korea Occupational Safety and Health Agency. Retrieved from <http://www.kosha.or.kr/>.
- Occupational Safety and Health Administration. (2014). *Regulations (Standards-29 CFR)-Table of Contents*. Washington, DC: US Department of Labor.
- Passchier-Vermeer, W. (1973). Proceedings of the international congress on noise as a public health problem: *Noise Induced Hearing Loss from Exposure to Intermittent and Varying Noise*. (pp. 169-200). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Qiu, W., Davis, B., & Hamernik, R. P. (2007). Hearing loss from interrupted, intermittent, and time varying Gaussian noise exposures: The applicability of the equal energy hypothesis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(3), 1613-1620.
- Qiu, W., Hamernik, R. P., & Davis, B. (2006). The kurtosis metric as an adjunct to energy in the prediction of trauma from continuous, non-Gaussian noise exposures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(6), 3901-3906.
- Qiu, W., Hamernik, R. P., & Davis, R. I. (2013). The value of a kurtosis metric in estimating the hazard to hearing of complex industrial noise exposures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(5), 2856-2866.
- Roh, Y. M. & Phee, Y. G. (2003). Analysis of industry types exceeding noise exposure limit in Korea. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(1), 53-61.
- Sriwattanatamma, P. & Breyse, P. (2000). Comparison of NIOSH noise criteria and OSHA hearing conservation criteria. *American Journal of Industrial Medicine*, 37(4), 334-338.
- Suter, A. H. (1992). *The Relationship of the Exchange Rate to Noise-Induced Hearing Loss*. Cincinnati, OH: Alice Suter and Assoc.
- Suter, A. H. (2017). Occupational hearing loss from non-Gaussian noise. *Seminars in Hearing*, 38(3), 225-262.
- U.S. Department of Health and Human Services. (1998, June). *Criteria for a Recommended Standard*. Centers for Disease Control and Prevention. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/>.
- Ward, W. D., Fleer, R. E., & Glorig, A. (1961). Characteristics of hearing losses produced by gunfire and by steady noise. *Journal of Auditory Research*, 1(5), 325-356.
- Zhao, Y. M., Qiu, W., Zeng, L., Chen, S. S., Cheng, X. R., Davis, R. I., et al. (2010). Application of the kurtosis statistic to the evaluation of the risk of hearing loss in workers exposed to high-level complex noise. *Ear and Hearing*, 31(4), 527-532.
- Zhu, X., Kim, J. H., Song, W. J., Murphy, W. J., & Song, S. (2009). Development of a noise metric for assessment of exposure risk to complex noises. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(2), 703-712.