

가

†
,

An Assessment of Noise Exposure by Job and Dosimeter Parameters Setting in Automobile Press Factory

Jee Yeon Jeong[†] · Seunghyun Park · GwangYong Yi · Naroo Lee · Ki Ho You · Junsun Park · Ho Keun Chung

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

Noise-induced hearing loss(NIHL) was the highest rate (43.5%~58.5% from 1996 to 1998) of positive findings through specific medical program in Korea. There were much more NIHL at workers of automobile manufacturing factories than other manufacturing factories.

The specific aim of the present study was to determine the noise exposure of automobile press lines, according to their job titles, press line types(auto, semiauto), dosimeter parameters setting. There were a total 11 press lines sampled at a automobile manufacturing company. Among those press lines, 10 press lines were autolines with acoustic enclosure, one semiauto press line was no acoustic enclosure

Noise exposure data were sampled for an work shift using noise dosimeter, which recorded both time-weighted average(TWA) and 1-min average.

The mean OSHA TWA(Korea TWA with threshold 90) was 80.7 dB(A) \pm 4.7 dB(A) for leader, 82.8 dB(A) \pm 4.5 dB(A) for pallette man, 76.7 dB(A) \pm 4.3 dB(A) for press operators, 76.6 dB(A) \pm 5.6 dB(A) for crane operators, 77.1 dB(A) \pm 2.8 dB(A) for forklift drivers, whereas the mean NIOSH TWA was 88.9 dB(A) \pm 1.7 dB(A) for leader, 89.6 dB(A) \pm 2.1 dB(A) for pallette man, 86.7 dB(A) \pm 1.8 dB(A) for press operators, 88.5 dB(A) \pm 2.0 dB(A) for crane operators, 87.7 dB(A) \pm 1.0 dB(A) for forklift drivers. While L10 for NIOSH TWA samples was 84.8 dB(A) ~ 87.3 dB(A), L10 for OSHA TWA samples was 69.5 dB(A) ~ 77.4 dB(A). L10 means that the TWA for 90% of the samples exceeded L10.

Among OSHA TWA(Korea TWA with threshold 90) samples for pallette man, 7.7 % exceeded 90 dB(A), the OSHA permissible exposure level, but OSHA TWA samples for the

other job titles didn't. Among NIOSH TWA samples, the samples over 85 dB(A), the NIOSH recommended exposure limit, was 100% (leaders), 83.3 %(operators), 97.4%(pallette man), 100%(forklift drivers), 91.7 %(crane operator). The results of One-way random effects analysis of variance models shows that the difference between job titles was significant by OSHA TWA($p<0.05$), but not significant by NIOSH TWA($p>0.05$). NIOSH TWA samples were significantly higher than OSHA TWA samples($P<0.05$).

Regression analysis was used to obtain relationships between OSHA TWA samples and NIOSH TWA samples. In this case the coefficient of determination = 0.90, which shows the high degree association between two methods. Regression equation, NIOSH TWA = 0.552 * OSHA TWA + 42.13 dB(A), shows that if OSHA TWA is known, NIOSH TWA can be predicted by the equation. The mean TWA difference between threshold 80 dBA and 90 dBA was significant($p<0.01$).

While the TWA noise exposures were 7.7% above the Korea(OSHA) PEL, they were more than 83.3% over NIOSH REL. Automobile workers were exposed to noise level that could be potentially damaging to their hearing. It found that there is approximately 25% excess risk of hearing loss even if a worker is protected to the PEL in according to NIOSH study. So these data demonstrate the need of engineering control for noise reduction of press line and comprehensive hearing conservation programs for whole workers(press operator, crane operator, forklift driver). The Noise measurement criteria of Korea has no definition about threshold value. So I suggest that we should set the threshold value by law.

Key Words : Press, Noise, Job titles, Threshold value

: 2001 7 4 , : 2001 11 28

† : (34-6,

Tel : 032-5100-902, E-mail : Jeong@koshanet)

2. 방법

1) 소음 측정

대상 사업장 프레스 부서 중 실제 프레스 작업을 담당하고 있는 프레스 생산과 소속 근무자 250명을 대상으로 누적소음 노출량을 측정하였다. 사용된 누적소음 측정기(Model Quest 400, Quest Technologies사, USA)는 사용 전 · 후에 소음보정기(Model QC-10, Quest Technologies사, USA)를 사용하여 1000Hz 114dBA에서 보정하였다. 작업장의 일반적인 소음 수준 평가를 위해 소음측정기(Model Quest 1400, Quest Technologies사, USA)를 사용하였으며, 역시 사용 전 · 후에 소음보정기를 사용하여 1000 Hz 114dBA에서 보정을 실시하였다.

2) 직무별 소음노출 평가

예비조사 결과 프레스 작업의 경우 작업자의 직무에 따라 소음에 노출되는 정도가 달랐다. 따라서 프레스 작업을 직무별로 구분하여 평가를 시도하였다. 즉 조장(leader), 프레스 운전자(press operator), 프레스제품 출구 쪽 근무자(pallette man), 지게차 운전자(forklift driver) 및 크레인 운전자(crane operator)로 나누어서 누적 소음량을 평가하였다. 누적소음 평가시 NIOSH와 OSHA 측정방법을 이용하였다. NIOSH의 누적소음 측정방법은 TH 값을 80dBA, ER를 3dBA, Criterion level을

85dBA 설정하여 측정토록 하고 있으며, OSHA의 경우 허용기준 초과여부 판단을 위해서는 그 값을 90dBA, 5dBA, 90dBA로 각각 규정하고 있다. 우리나라 누적소음 측정 방법의 경우 소음측정법위에 대한 명확한 규정이 없기 때문에 TH 값을 80dBA, 90dBA로 나누어서 측정하였으며, 이때 ER은 모두 5dBA로 설정하였다. 직무별 소음노출량 차이 검정은 분산분석을 실시하였다.

3) TH 값 차이에 따른 누적소음 노출량 평가

누적소음기로 누적소음 측정시 측정값에 영향을 미치는 인자는 TH와 ER 값이다. 이번 조사에 사용된 누적소음측정기인 Quest 400은 하나의 기기 안에 측정 조건을 달리하여 2가지 조건의 누적소음을 동시에 측정할 수 있도록 개발된 제품이다. 누적소음 측정기의 특성치 중 ER은 우리나라 및 OSHA에서 규정하고 있는 5dBA로 고정시켜 놓고 TH 값을 dose meter 1에 80dBA, dose meter 2는 90dBA로 설정하여 동일조건의 소음에 대하여 누적소음량을 측정하였으며, TH 값 차이에 따른 누적소음 측정량의 차이를 알아보기 위해 paired t-test를 실시하였다.

3. 자료분석

측정된 자료의 분석은 SPSS(Version

7.5, SPSS Inc.)를 이용하여 자료분포 및 차이검정 등 통계분석 하였으며, 그림의 작성은 Sigmaplot (Version 3.02, Jadel Corp.)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 직무별 소음 노출특성

프레스 직무별로 NIOSH 및 OSHA 방법에 따라 측정한 결과를 시료수, 최대값, 최소값, 시간가중평균값(TWA, Time Weighted Average) 및 L10, L50, L90 percentile를 나타낸 것이 표 1이다. 여기서 L10 percentile이라 함은 전체 시료중 90%는 L10 percentile값을 초과한다는 의미이다.

직무별 NIOSH 측정방법에 의한 평가의 경우, 조장(leader), 지게차 운전자(forklift driver)는 측정된 전원에서 권고기준인 85dBA를 초과하였으며, 프레스 운전자(press operator), 파렛트맨(pallette man), 크레인 운전자(crane operator)는 83.3%, 97.4%, 91.7%가 각각 권고기준인 85dBA를 초과하였다. 그러나 OSHA 방법에 따라 평가한 결과는 NIOSH 방법에 따라 측정한 결과와 큰 차이를 보이고 있다. 노출기준(허용기준)인 90dBA를 초과하는 경우는 파렛트맨 뿐이며, 초과율도 7.7%에 불과하다. 이는 두 방법 간의 근본적인 차이인 ER[NIOSH : 3dB, OSHA(Korea) :

Table 1. Descriptive statistics of noise exposure according to job titles

Job title	No. [†]	NIOSH method/OSHA method [*]							
		Min	Max	Mean	SD [‡]	L10	L50	L90	% > limit(85/90)
Leader	12	87.2	92.3	88.9	1.7	87.3	88.3	90.8	100
	23	72.2	89.1	80.7	4.7	75.1	80.4	86.1	0
Operator	6	84.4	89.4	86.7	1.8	84.8	86.7	88.9	83.3
	13	67.7	83.5	76.7	4.3	74.0	75.3	81.3	0
Pallette man	39	83.2	93.1	89.6	2.1	87.5	90.2	92.2	97.4
	56	74.1	94.1	82.8	4.5	77.4	82.9	88.3	7.7
Crane operator	12	85.0	91.1	88.5	2.0	86.1	88.9	90.7	91.7
	19	67.0	85.1	76.6	5.6	69.5	77	83.7	0
Forklift driver	9	86.5	89.2	87.7	1.0	86.6	87.9	88.7	100
	16	71.7	81.0	77.1	2.8	73.4	77.7	80.4	0

*: OSHA method results in bold, which is same as Korean method results with the TH 90dBA

†: Number of TWA samples

‡: Standard deviation.

5dB], TH[NIOSH : 80dB, OSHA : 90dB] 및 노출기준(NIOSH : 85dBA, OSHA (Korea) : 90dBA)이 다르기 때문이다 (Seshagiri, 1998; Legris, 1998). 직무별 소음 노출특성을 보면 Palette man이 가장 높은 소음에 노출되고 있고, 다음으로는 조장이었으며, 크레인 운전자와 지게차 운전자 및 프레스 운전자는 비슷한 수준의 소음에 노출되고 있었다. 이러한 소음 노출분포의 특성은 작업상황과 프레스라인에 설치된 소음방지시설 때문인 것으로 판단된다. 전체 프레스라인 중 소음방지 시설인 방음상자가 설치 되어있지 않은 곳은 프레스 5 라인뿐이었다. 파렛트맨의 경우 프레스 라인에서 생산되는 최종 제품이 작업대에 낙하되면 이를 지게차 운전자가 다음공정으로 실어 나르기 좋게 하기 위해 일정한 높이로 제품을 쌓는 작업을 하는 사람들이다.

파렛트 맨의 작업위치는 제품 출구쪽 이어서 프레스 작업시 발생하는 소음이 직접 전달되는 위치이고, 또한 제품이 작업대에 낙하하면서 발생하는 소음에 그대로 노출되고 있었다. 철판 작업대에 제품이 낙하하면서 발생하는 소음은 86 - 96dBA 정도였으며, 생산되는 제품의 크기, 그리고 제품의 낙하 높이를 좌우하는 작업대의 경사도에 따라 차이가 있었다. 조장이 파렛트 맨 다음으로 높은 소음에 노출되고 있었던 것은, 조장의 경우 해당 프레스 라인의 전체적인 업무를 실무 선에서 총괄하는 사람으로서 조원 중 결원이 생길 경우 대신해서 업무를 수행하는 경우가 많았는데, 조원의 대부분이 파렛트 맨이기 때문에 이들의 업무를 대신하여 수행하는 경우가 많았기 때문인 것으로 판단된다.

크레인 운전자의 경우 NIOSH 측정방법에 의한 측정결과(TWA)는 88.5dBA, OSHA 측정방법에 의한 측정결과(TWA)는 76.6dBA로 양 측정방법간에 12.1dBA의 차이를 보였다. 이 차이는 TH와 ER의 차이에 의한 것으로 소음분포를 고려해보면 TH 값이 큰 영향을 준 것으로 판단된다. OSHA 측정방법은 90dBA이상의 소음만 누적하는 반면 NIOSH 측정방법의

Table 2. The analysis of variance of noise exposure by job titles

	NIOSH method / OSHA method *				
	SS [†]	d.f. [‡]	MS [§]	F value	p-value
Inter-Job title	63.459 922.170	4 4	15.865 230.542	4.352	< 0.05
Intra-Job title	266.135 2505.749	77 126	3.646 20.539		
Total	329.594 3427.917	81 130		11.225	< 0.05

* : OSHA method results in bold, which is same as Korean method results with TH 90dBA,

† : sum of squares, ‡ : degree of freedom, § : mean squares

경우 80dBA이상의 소음을 누적시킨다. 크레인 운전자의 경우 리모콘으로 작업장을 걸어다니면서 크레인을 운전하고 있었는데, 작업내용을 보면 원재료가 적재된 지역(배경소음 : 75-85dBA)에서 일정한 크기로 절단된 강판(원재료) 다발을 각 프레스 라인의 첫 공정에 운반하는 작업이 주 작업이며, 각 프레스 라인의 경우 하루에 2-5회 정도 금형을 수시로 교체하는데 금형 교체시 금형을 운반해주는 역할도 하고 있었다. 따라서 크레인 운전자 대부분의 소음 노출은 90dBA 미만인 것으로 나타났다.

프레스 운전자 역시 크레인 운전자와 비슷한 소음 노출특성을 갖고 있었다. 각 프레스라인은 2 - 5대의 프레스를 일렬로 배치시켜 각 프레스에서 제품생산에 필요한 공정을 거치게된다. 형상을 조성하는 Drawing 공정, 구체적 모형과 구멍을 만드는 Trimming, Piercing 공정, 차체 접합시 필요한 용접부위를 만드는 Flange 공정 그리고 완전한 형상을 만들기 위한 Restriking 공정으로 이루어지고 있다. 각 프레스를 작동시키는 조작 패널의 주위치는 프레스라인에 설치된 방음상자 외부에 설치되어 있기 때문에, 프레스 작업시 발생하는 소음에 직접적으로 노출되는 경우는 많지 않았다. 지게차 운전자의 경우 NIOSH 측정방법에 의한 누적 소음치는 87.7dBA, OSHA 방법에 의한 경우는 77.1dBA로 나타났다. 지게차 운전자의 경우 제품 출구쪽인 파렛트맨의 작업위치에서 제품을 적재하는 적재대의 위치를 조정해주고 적재된 제품을 타 공정으로 이

동시키는 작업을 하는 사람이다. 운전석은 개방되어 있기 때문에 지게차 운전자의 주 소음 노출원은 파렛트맨의 소음원과 동일하였다. 그러나 제품을 정리하고 이동시키는 역할을 하는 관계로 파렛트맨 위치에서 소음에 노출되는 시간이 적기 때문에 파렛트맨에 비하여 노출되는 소음의 정도가 낮은 것으로 보인다.

직무에 따라 노출되는 소음의 차이가 통계적으로 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 분산분석을 실시하여 보았다. 분석에 사용된 모든 자료는 분산분석 전에 분포성을 알아보기 위해 Kolmogorove-Smirnov 검정결과 정규분포를 하고 있었다(p=0.098).

표 2에서 보는 바와 같이 직무별 소음노출정도는 NIOSH, OSHA 측정방법 모두 통계적으로 유의한 차이가 나는 것으로 나타났다(p<0.05). 따라서 어느 직무간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 지 알아보기 위해 duncan의 다중범위검정을 NIOSH, OSHA 측정방법별로 각각 실시한 결과가 표 3, 4와 같다.

NIOSH 측정방법에 따른 누적소음 평균치의 경우 표 3 결과에서 알 수 있듯이 프레스 운전자와 지게차 운전자는 차이가 없었으며, 지게차 운전자, 크레인 운전자, 조장간에도 역시 차이가 없었다. 그러나 파렛트 맨 과 프레스 운전자 간에는 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 표 4는 OSHA 측정방법에 직무별 누적소음 평균치 차이를 분석한 결과이다. 크레인 운전자, 프레스 운전자, 지게차 운전자 간에는 유의한 차이가 없었으며, 역시 조장과 파렛트 맨

Table 3. The results of Duncan's multiple range test by NIOSH method

Press Lines	No. *	Subset for $\alpha = 0.05$		
		1	2	3
Press operator	6	86.7		
Forklift driver	9	87.7	87.7	
Crane operator	12		88.5	88.5
Leader	12		88.9	88.9
Palette man	39			89.6

* : No. of samples

Table 4. The results of Duncan's multiple range test by OSHA method

Press Lines	No. *	Subset for $\alpha = 0.05$	
		1	2
Crane operator	19	76.6	
Press operator	13	76.7	
Forklift driver	16	77.1	
Leader	23		80.7
Palette man	56		82.8

* : No. of samples

ER
1
L10, L50, L90

가
가
NIOSH
OSHA
가
NIOSH
2. Threshold

OSHA
가
NIOSH
가
OSHA
가
OSHA
가
NIOSH
가
80dBA 90dBA

가
L10,
L50, L90 percentile
TH 80dBA
(TWA) 86.3dBA
80.1dBA
6.2dBA
가

paired t-test
Kolmogorove -Smirnov
(p=0.087).

가
90
(p<0.01).
dBA TH
15.2%, 11.9%
OSHA

85dBA
TH 80
가 57.6%
TH 90dBA 2
(1995)
56
32 (57.1%) TH 80dBA
, 12 (21.4%)
90dBA, 10 (17.9%) 50dBA,
70dBA 85dBA
1 (1.8%)

1999
, 2000
80dBA TH

가
TH
1 TH
TH 80dBA

Table 5. Descriptive statistics of noise exposure according to threshold value

Threshold(dBA)	No. *	Min	Max	Mean	SD†	L10	L50	L90	%>85	% > 90
80	59	77.6	99.7	86.3	4.2	81.2	85.8	92.0	57.6	15.2
90	59	72.2	99.5	80.1	7.3	72.7	79.5	91.2	20.3	11.9

* : Number of TWA samples

† : Standard deviation

(, 1998), 6 1 (1 ~ 10) 6
Response가 Slow
Weighting A (80dBA 8
) 6 1 5
TH 11 (TH 90dBA 가
가 가 . TH)
dB 99-29 , 1999. 11.29)
(, 1999c). 6
“ 85dBA
OSHA
80 6 ~
-130dBA 가 85dBA , ()
(OSHA, 1996; OSHA, 1999). 85dBA
TH 80dBA 6 1
, 11 (TH 90dBA TH 80dBA
) 가 가
8 85dBA Threshold (TH
90dBA , 80dBA, TH 90dBA)
가 TH 90dBA
TH 80dBA
6dBA 가
OSHA 가 TH 80dBA
TH 가 TH 85dBA
90dBA 90dBA 가
TH 90dBA 가 85dBA
43 “ ” 98 TH 90dBA , 85dBA
” “ 3 TH
TH 90dBA, ER 5dBA 80dBA TH
가 6 TH 80dBA TH
90dBA
가 80dBA

Table 6. Descriptive statistics of noise exposure according to press lines

Press Line	No.*	Mean	SD†	L10	L50	L90	% > 90
2	20	82.5	4.3	78.3	82.8	86.5	4.3
4	15	81.8	4.5	75.0	83.4	86.1	0
5	29	86.3	6.6	77.8	85.6	94.7	33.3
7	11	79.8	3.3	76.1	79.5	84.3	0
8	5	79.8	8.7	72.7	76.1	90.8	16.7
10	16	79.7	4.0	75.0	80.4	84.8	0
11	17	78.1	4.4	72.9	78.1	81.4	0
12	14	77.0	3.4	73.0	77.4	81.9	0

* : Number of TWA samples, † : Standard deviation

(Stephenson, 1980; NIOSH, 1998),
80dBA 가
85dBA

IV. 결 론

우리나라 소음성난청 유소견자 발생의 대표적 업종인 자동차 산업에 있어서, 주요 소음발생 부서인 프레스 공정을 대상으로 실시한 직무별 소음노출특성, 누적소음기 특성치 설정차이에 따른 누적소음 평가결과와 이러한 평가결과를 바탕으로 소음측정방법에 대한 관련법규 고찰을 통한 우리나라 누적소음 측정방안에 대한 제안은 다음과 같다.

1. 직무별 소음 노출특성

NIOSH 측정방법에 의한 직무별 누적소음 평가의 경우, 조장(leader), 지게차 운전자(forklift driver)는 권고기준인 85dBA를 측정된 전원에서 초과하였으며, 프레스 운전자(press operator), 팔레트맨(pallette man), 크레인 운전자(crane operator)는 83.3%, 97.4%, 91.7%가 각각 권고기준인 85dBA를 초과하였다. 그러나 OSHA 방법에 준하여 평가한 결과는 NIOSH 측정방법과는 큰 차이를 보이고 있다. 노출기준(허용기준)인 90dBA를 초과하는 경우는 팔레트맨 뿐이며, 초과율도 7.7%에 불과하다. 이는 두 방법간의 측정방법에서의 근본적인 차이인 ER 및 TH에 기인한 것으로 판단된다. NIOSH 측정방법과 OSHA 측정방법간의 차이는 두 방법간에 ER이 서로 다르기 때문도 하겠지만 직무별 소음 분포 중 L10, L50, L90 값에서 알 수 있듯이 작업도중 발생하는 소음분포의 특성이 90dB 미만의 소음이 많았기 때문인 것으로 판단된다.

2. Threshold 값 차이에 따른 누적소음 노출량 차이

TH 값이 80dBA인 경우 시간가중 평균소음(TWA)은 86.3dBA였으며, TH 값이 90dBA인 경우는 80.1dBA로 프레스 공정에서의 두 측정방법간에는 매우 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 우리나라 노출기준인 90dBA 초과율도 TH값 차이에 따라 각각 15.2%(TH 80dBA), 11.9%(TH

90dBA)로 차이가 났다. TH 값 차이에 따른 회기분석결과 상관계수(r)가 0.95로 높은 상관관계를 나타냈으며, 이때 회기방정식은 다음과 같았다.

$$\text{TWA(TH 90dBA)} = 0.552 \times \text{TWA(TH 80dBA)} + 42.13$$

3. 소음측정에 관한 작업환경측정 실시 규정검토 및 누적소음 측정방안 제안

우리나라의 소음에 관련된 작업환경측정관련 법규, 현장소음 평가결과, 관련문헌 등 여러 상황을 종합해 볼 때 노출기준 초과여부를 판단하기 위한 작업환경측정의 경우 TH 90dBA로, 특수건강진단 대상자 선정을 위한 85dBA이상의 소음에 노출되는 작업장 판단을 위한 측정은 TH 80dBA로 하는 것이 타당하다고 판단된다.

REFERENCES

- 김광중, 김해준, 이은일. 우리나라 소음측정평가 및 개선방안에 관한 연구. 고려대학교 환경의학연구소; 1994.
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 고시 제 97-65호, 노동부; 1998.
- 노동부. 제 29회 노동통계연감. 노동부; 1999a.
- 노동부. 1998년 근로자건강진단 실시결과. 노동부; 1999b.
- 노동부. 근로자건강진단 실시기준. 노동부고시 제99-29호, 노동부; 1999c.
- 노동부. 산업안전보건법. 노동부; 2000.
- 노동부. 작업환경측정 및 정도관리 규정. 노동부 고시 제 2001-20호, 노동부; 2001.
- 양홍석, 이광목, 원정일. 소음노출량 측정기의 Set Up 방법간의 시간가중평균값(TWA)의 차이. 한국산업위생학회지 1995;5(2):193-199
- 산업안전보건연구원. 사업장 보건관리를 위한 업종별 산업보건편람 및 표준공정분류체계 개발. 산업안전보건연구원; 1999. p.593~655
- Legris, M., and P. Poulin. Noise exposure profile among heavy equipment operators, associated laborers, and crane operators. Am. Ind. Hyg. Assoc. J 1998; 59:774-778
- National Institute for Occupational Safety and Health. Occupational noise exposure(revised criteria 1998). NIOSH, Centers for Disease for Control and Prevention, U.S. Department of Health and Human Services, DHHS(NIOSH) Publication No. 98-126, Cincinnati, OH; 1998. p.19~32
- Occupational Safety and Health Administration. OSHA Technical manual. Occupational Safety and Health Administration. U.S. Department of Labour. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.; 1996. p.II: 5-1~II:5-8
- Occupational Safety and Health Administration. 29 CFR 1910.95. Occupational noise exposure. Occupational Safety and Health Administration. U.S. Department of Labour. Government Printing Office, Washington D.C.; 1999.
- Seshagiri, B. Occupational noise exposure of operators of heavy trucks. Am. Ind. Hyg. Assoc. J 1998; 59:205-213
- Stephenson, MR, CW Nixon, and DL Johnson. Identification of the minimum noise level capable of producing an asymptotic temporary threshold shift. Aviat. Space Environ. Med 1980; 51(4):391-396
- Ward, WD. Anatomy & physiology of ear: normal and damaged hearing. Chapter 5. In: Berger, EH, WD Ward, JC Morrill, LH Royster, eds. Noise & hearing conservational manual. 4th ed. Akron, OH: American Industrial Hygiene Association; 1986. pp 177-195