

소음노출량측정기의 Set Up 방법간의 시간가중평균값(TWA)의 차이

가톨릭대학교 산업보건대학원 산업위생학과, 노동부 작업환경과*

양홍석 · 이광목 · 원정일*

— Abstract —

Difference of Time Weighted Averages in Different Setting Ups for Noise Dosimeter

Hong Seok Yang · Kwang Mook Lee · Jung Il Won*

*Department of Occupational Hygiene, Graduate School of Occupational Health,
Catholic University, Seoul, Korea
Work Environmental Division, Ministry of Labour**

This study was designed to investigate the difference of time weighted average(TWA) of noise levels and noise doses by the different operating parameter settings such as exchange rate, threshold level and criterion level for noise dosimeter in the field measurements of noise at industrial working environments. The time weighted averages of noise level and noise doses for noise working environments were determined by noise dosimeter on 80 workers employed at 20 industrial establishments of 8 industries.

The results obtained were as follows:

1. The mean time weighted average(TWA) of the noise working environments by the operating parameter settings showed 93.4 dB(A) in 3 dB of exchange rate, 80 dB of threshold level and 90 dB of criterion level 92.0 dB(A) in 3 dB-exchange rate, 90 dB-threshold level and 90 dB-criterion level, in 90.8 dB(A) in 5 dB of exchange rate, 80 dB of threshold level and 90 dB of criterion level, and 86.7 dB(A) in 5 dB of exchange rate, 90 dB of threshold level and 90dB of criterion level.
2. In group of noise level less than 90 dB(A), mean TWAs of 80 dB of threshold level were significantly higher than that of 90 dB of threshold level in 3 dB and 5 dB of exchange rate.
3. The case exceeded threshold limit value of noise was 49(61.3 %) in 3dB, 80dB and 90 dB setting, 44(55.0 %) in 3 dB, 90 dB, 90 dB setting, 33(41.3 %) in 5 dB, 80 dB, 90 dB setting and 26(32.5 %) in 5 dB, 90 dB, 90 dB setting.

Above considerations in mind, it is suggested that exchange rate and threshold level be specified in related laws and regulations in the evaluation of working environments noise.

I. 서 론

공업의 발달로 인하여 작업장에서 사용되는 기계가 대형화 되어 가고 있고 그로 인한 작업장의 소음은 매년 증가추세에 있다. 1991년부터 1993년까지의 3년동안 전국 작업환경측정기관의 유해인자별 측정결과 자료(작업환경측정기술협의회, 1993)를 종합하여 분석한 결과 1991년에 32.8%, 1992년에 31.4%, 1993년에 23.3%의 노출기준 초과율을 보였다. 그리고 전국 특수건강진단기관에서 실시한 특수검진실시 결과 소음성 난청의 유소견율은 1988년에 1990명 이었고 그 숫자는 매년 증가하여 1991년에는 3998명에 이르고 있는 실정이므로(대한산업보건협회, 1992, 노동부, 1993) 소음작업장에 대한 작업환경관리에 문제점이 있음을 시사하고 있다. 산업안전보건법 93조에서는 강렬한 소음이 발생하는 옥내작업장에 대하여 작업환경측정을 실시하도록 규정하고 있다. 산업안전보건법 2조에서는 작업환경측정이란 작업환경의 실태를 파악하기 위하여 해당 근로자 또는 작업장에 대하여 사업주가 측정계획을 수립하여 시료의 채취 및 그 분석 평가를 하는 것을 말한다(정우영, 1991). 그리고 작업장에서 발생하는 유해인자의 농도를 정확하게 파악하여야 개선의 참고자료 또는 개선의 효과를 평가하는데 중요한 자료로 이용할 수 있다.

작업장에서 발생하는 유해인자는 대부분의 경우 연속적으로 발생되는 경우가 적으므로 발생인자에 따라서는 실제 발생농도와 측정 농도가 차이를 보이는 경우가 있다. 특히 소음은 작업장에서 연속적으로 발생되는 경우가 적은 실정이다. 그리고 발생되는 소음수준이 연속음의 경우는 지시소음계(sound level meter)(ANSI, 1983)와 소음노출량측정기(noise dosimeter)(ANSI, 1991)의 차이가 적지만 다양한 소음환경에서는 특히 단속음이 발생하는 작업장에서는 지시소음계의 측정치는 해당 작업장의 소음수준을 대표하기는 어렵기 때문에 소음노출량측정기의 사용을 적극 권장하고 있는 실정이다(김광중 등, 1994). 그런데 측정기관마다 소음노출량측정기의 측정기초자료입력(exchange rate, threshold level, criterion level)시 exchange rate를 3dB 또는 5dB 사용하는 기관이 있고 threshold level은

50 dB, 70 dB, 80 dB, 85 dB, 90 dB로 set up하여 사용하고 있어서 소음의 측정 및 평가에 있어서 일관성이 결여되고 있는 실정이다.

그리고 각 국의 법규를 보면 소음노출량측정기의 측정기초자료입력(exchange rate, threshold level, criterion level)에 관한 규정이 있는데 우리나라의 경우 법규에 소음에 관한 노출기준은 exchange rate를 미국의 OSHA와 동일한 5 dB로 사용하면서도 94고시 34조 3항에서는 exchange rate를 3 dB로 한 Leq(노동부, 1994)의 개념을 혼용하여 규정하므로 노출기준 자체를 모호하게 만들고 있다.

이에 본 조사는 사업장에 소음수준이 소음노출량측정기의 set up을 달리 하였을 때 어떻게 달라지는가를 알아보기 위하여 set up을 바꾸어 가면서 사업장의 소음을 측정, 분석하였고 소음에 관한 관계법령을 고찰하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

서울 시내 및 경기도 지역에 소재한 소음발생 사업장 중 소음측정 조사표를 작성하여 지시소음계로 예비조사를 실시한 결과 소음수준이 80 dB(A) 이상인 20개 사업장의 80명 근로자의 작업을 대상으로 측정하였으며 이를 한국표준 산업분류표(노동부 1992)에 따라서 지하철, 읍셋인쇄, 운전, 제본, 지류제조, 가구, 차량수선, 프레스의 8개 업종으로 분류하였다.

2 방법

1) 소음 측정 방법

소음발생 사업장의 예비조사결과 각 단위 작업장에서 지시소음계의 소음수준이 80dB(A) 이상으로 발생하는 작업장에서 현행 노동부의 작업환경측정 방법에 준하여 근로자를 동일 노출집단으로 결정하여 이들 근로자 귀위치(반경 30cm 이내)에 소음노출량측정기(Noise dosimeter; MO-705, Larson, USA)의 마이크로폰을 부착 시킨후 작업시간중 법적 측정시간인 6시간 동안 소음수준을 측정하였다. 그리고 소음노출량측정기의 측정조건은 exchange rate를 5dB, threshold level을 80dB로 그리고

criterion level을 90dB로 set up하여 측정하였다.

2) 측정 자료 분석

소음발생 사업장의 단위 작업장소에서 노동부의 작업환경측정방법에 준하여 측정된 자료를 관련 프로그램인 705-Larson & Davis Inc. version 2.0 (Larson & Davis, 1992)에서 threshold level은 80 dB, 90 dB으로 변형시켜 보았고 exchange rate는 3 dB과 5 dB로 변형시켜 Dose값의 변화와 시간가중평균(time weighted average, TWA)값의 변화를 분석하였다. 그리고 통계처리는 SAS 통계프로그램으로 하였고 소음노출량측정기의 set up 방법중 exchange rate가 3 dB과 5 dB인 경우에서 threshold level을 80 dB과 90 dB로 놓았을 경우에 노출기준(90 dB(A)) 초과군과 노출기준(90 dB(A)) 이하군으로 나누어 각 자료간의 paired t-test를 실시하였다.

성 적

소음노출량측정기의 set up 방법별 각 업종의 소음노출수준은 표 1과 같다. 소음의 시간가중평균치는 지하철업종이 111.7 dB(A)-113.9 dB(A)로 가장 높았고 다음이 저류업종(88.6 dB(A)-92.6 dB(A)), 가구업종(86.3 dB(A)-92.3 dB(A)), 프레스업종(87.9 dB(A)-91.6 dB(A)), 제본업종(84.3 dB(A)-90.0 dB(A)), 운전업종(81.1 dB(A)-90.0 dB(A)), 읍셋 업종(75.4 dB(A)-88.7 dB(A)), 차량 수선업종(78.3 dB(A)-87.9 dB(A))의 순이었다. 그리고 업종 구분없이 전체 평균으로 보았을 때 exchange rate, threshold level, criterion level을 각각 3 dB, 90 dB, 90 dB로 하였을 때 93.4 dB(A)로 가장 높았고, 그 다음이 3 dB, 90 dB, 90dB에서 92.0 dB(A), 5 dB, 80 dB, 90 dB에서 90.7 dB(A), 5 dB, 80 dB, 90 dB에서 86.7 dB(A)로 가장 낮았다.

그리고 소음의 노출기준인 90 dB(A) 이하군과 초과군으로 나누어 소음노출량측정기의 set up 방법별로 소음노출 수준을 비교한 바(표 2) 소음노출 기준 이하군에 있어서 시간가중평균치(TWA)는 ex-change rate가 3 dB인 경우 threshold level 이 80 dB에서 85.5±2.4 dB(A)로서 90 dB에서의 81.3±5.3 dB(A)보다 매우 유의하게 높았으며

(P<0.01) exchange rate가 5 dB인 경우에도 threshold level이 80dB에서 84.7±4.0 dB(A)로서 90dB에서의 77.8±9.3 dB(A)보다 매우 유의하게 높았다(P<0.001). 그러나 소음노출기준 초과군에서는 소음노출량측정기의 set up 방법별로 유의한 차가 없었다.

소음노출량측정기 set up 방법별 각 업종의 노출 기준 초과율은 표 3과 같다. 초과율은 읍셋업종이

Table 2. Mean Time Weighted Average by exchange rate and threshold level of noise dosimeter

Exchange rate (dB)	Threshold level (dB)	Noise level(M±SD)	
		80 - 90 (dB(A))	90 - (dB(A))
3	80	85.5 ± 2.4*	94.9 ± 7.0
3	90	81.3 ± 5.3	94.6 ± 7.1
5	80	84.7 ± 4.0**	95.8 ± 7.8
5	90	77.8 ± 9.3	95.3 ± 8.1

* : P<0.01 , ** : P<0.001

Table 3. Distribution of TWA exceeding 90dB(A) among set-ups for noise dosimeter and industries

Industry	Exchange rate(dB)	3	3	5	5
Threshold level(dB)	80	90	80	90	90
Criterion level(dB)	90	90	90	90	90
Offset (n*=10)	4 (40.0)	2 (20.0)	1 (10.0)	1 (10.0)	
Rotary press (n=10)	6 (60.0)	6 (60.0)	5 (50.0)	2 (20.0)	
Book binding (n=10)	7 (70.0)	6 (60.0)	3 (30.0)	3 (30.0)	
Press (n=10)	6 (60.0)	5 (50.0)	5 (50.0)	3 (30.0)	
Subway (n=10)	10 (100.0)	10 (100.0)	10 (100.0)	10 (100.0)	
Furniture (n=10)	5 (50.0)	5 (50.0)	2 (20.0)	2 (20.0)	
Sanitary napkin (n=10)	8 (80.0)	8 (80.0)	6 (60.0)	4 (40.0)	
Car service (n=10)	3 (30.0)	2 (20.0)	1 (10.0)	1 (10.0)	
Total (n=80)	49 (61.3)	44 (55.0)	33 (41.3)	26 (32.5)	

() : %, * : sample size

Table 1. Mean noise levels by industries with different setting up for noise dosimeter

Industry	Exchange rate(dB)	3	3	5	5
	Threshold level(dB)	80	90	80	90
	Criterion level(dB)	90	90	90	90
Offset	Ldose*	116.0 (135.9)	93.2 (140.3)	66.6 (53.1)	34.3 (58.1)
	LVL**	88.7 (4.1)	85.7 (6.7)	85.6 (4.6)	75.4 (10.3)
Rotary- press	Ldose	138.5 (122.8)	121.4 (126.0)	88.2 (34.6)	64.7 (45.2)
	LVL	90.0 (3.8)	86.6 (8.8)	88.4 (3.6)	81.1 (13.7)
Book- binding	Ldose	146.4 (128.8)	136.3 (131.6)	96.4 (56.3)	82.6 (61.2)
	LVL	90.0 (4.5)	88.3 (7.1)	88.4 (5.1)	84.3 (11.5)
Press	Ldose	210.2 (207.2)	200.9 (212.0)	122.2 (76.8)	108.7 (84.8)
	LVL	91.6 (4.2)	90.8 (5.4)	90.2 (4.6)	87.9 (8.1)
Subway	Ldose	37619.2 (46451.6)	37619.2 (46451.6)	2339.2 (1623.8)	2335.2 (1625.8)
	LVL	113.9 (4.0)	113.9 (4.0)	111.7 (3.9)	111.7 (3.9)
Furniture	Ldose	203.9 (143.0)	190.8 (143.8)	90.9 (43.7)	72.8 (45.8)
	LVL	92.3 (2.7)	91.9 (2.9)	88.6 (3.5)	86.3 (5.1)
Sanitary napkin	Ldose	237.3 (170.1)	223.7 (177.0)	130.3 (66.2)	113.8 (76.9)
	LVL	92.6 (3.7)	91.8 (4.9)	91.0 (4.0)	88.6 (7.3)
Car service	Ldose	116.6 (166.1)	108.9 (164.5)	44.0 (42.3)	32.7 (39.4)
	LVL	87.9 (4.9)	86.9 (5.7)	82.1 (5.2)	78.3 (7.5)
Total	LVL	93.4	92.0	90.7	86.7
		(8.5)	(9.2)	(8.9)	(11.1)

*: Average of dose (%), **: Average of TWA (dB(A)), (): Standard deviation.

10~40 %, 운전업종이 20~60 %, 제본업종이 30~70 %, 프레스업종이 30~60 %, 가구제조업종이 20~50 %, 지류업종이 40~80 %, 차량수선업이 10~30 %이었으나 지하철업종은 100 %이었다. 전 업종간 소음노출량측정기 set up 방법간의 초과율

은 3 dB, 80 dB, 90 dB(exchange rate, threshold level, criterion level)에서 61.3 %, 3 dB, 90 dB, 90 dB일 경우 55.0 %, 5 dB, 80 dB, 90 dB일 경우 41.3 %, 5 dB, 90 dB, 90 dB일 경우에는 32.5 %의 초과율을 보였다.

III. 고 찰

소음노출량측정기와 소음계는 소음성 난청을 예방하기 위한 작업장 소음 조사에 널리 사용되어 왔다. 소음계는 정상 소음(steady noise) 측정에는 적합한 것이지만 간헐적 소음(intermittent noise)을 측정할 때는 불편함은 물론 정확성도 문제되어 왔다. 근래에 와서 개인용 소음노출량측정기가 우리 나라에도 많이 보급되면서 작업환경 측정기관에서 이 측정기가 널리 쓰이게 되었다.

소음노출량측정기는 직분형 소음계의 하나이며 개인 노출량을 측정하는 장치로서 그 기능을 보면 일정 간격마다 소음을 감지하여 그 자료를 그대로 또는 일정시간 간격의 평균치로 환산하여 기억장치에 기억하였다가 측정이 완료된 후 기억된 자료를 분석함으로써 소음의 시간적 변동, 특정 소음의 분포, 소음 노출량(noise dose), 등가소음, 8시간 가중평균 음압(time weighted average, TWA) 등을 구할 수 있는 장비이다. 따라서 일정한 기간 동안의 소음발생을 총체적으로 측정 나타내주는 기계라고 할 수 있다. 그래서 연속적인 정상소음이든 단속적인 간헐소음이든 정확하게 측정 평가할 수 있다. 또 개인별로 장착하는 것이어서 작업위치에 따른 소음수준의 변동이 있어도 실 노출량 측정이 가능하다.

이 기기의 set up시 입력하여주는 측정 조건으로는 exchange rate, threshold level, criterion level이 있는데 이중 threshold level은 cutting off라고도 하며 이 threshold level 이하의 소음은 기억장치에 기억되지 않도록 하는 조건이다. 즉 측정에서 제외하는 것이다. criterion level은 소음의 8시간 노출기준치로서 우리 나라의 경우는 90dB이다(노동부, 1994). 또 하나의 입력조건은 exchange rate로서 등가에너지 법칙에 입각한 힘이 2배(a doubling of power)가 되는 것을 몇 dB 증가로 정할 것인가를 정하여주는 계수이다. 즉 이 기계가 최종적으로 표시하여주는 소음노출량(dose)은 다음 식으로 표시된다.

$$\text{dose} = \frac{100}{T_c} \int_0^T 10^{(L_a - L_c)/q} dt$$

(T_c = 8 시간, L_c =criterion level(90 dB),

$$q = (\text{exchange rate}) / \log 2$$

여기에서 exchange rate를 3 dB로 입력하였다면($q=10$) 소음노출량은 측정된 8시간 평균소음수준이 90 dB인 경우 100 %로 표시되고 93 dB인 경우 200 %가 된다. 따라서 이 식에서 q 값과 L_c 값이 달리 입력되면 같은 소음에 노출되더라도 소음 노출량이 달라지며 측정 소음의 평가(TWA)가 달라진다.

본 연구에서 실측된 소음의 경우도 exchange rate를 3 dB와 5 dB로 입력하고 나머지 threshold level, criterion level을 동일하게 입력하였을 때 업종에 따라서는 2 내지 10 dB까지 TWA가 변하였다. 그리고 exchange rate와 criterion level을 동일하게 두고 threshold level을 80 dB 와 90 dB로 변경하였을 때도 역시 업종에 따라 10 dB까지 TWA가 변하였다. 또 노출기준 초과율에서도 40 %까지 차이를 보였다.

노출기준 이하의 소음 영역에서는 set up 방법을 달리 하여 쓸 경우 TWA값이 유의하게 달라졌다. 이는 노출기준 근처의 소음을 평가할 때 문제점이 될 수 있다. 외국의 경우에는 소음노출량측정기 사용 시 set up에 관한 세부 규정이 명시되고 있는데 OSHA에서는 등가에너지 법칙에서는 소음의 음압이 2 배가되면 3 dB이 증가하는 것이지만 일반적인 소음은 단속적인 것이므로 인체에 미치는 영향은 5 dB 증가시 2배의 작용이 있다고 보아야 한다는 보고서(Intersociety Committee Report, 1967)에 따라 exchange rate는 5 dB, threshold level은 80 dB, criterion level은 90 dB로 규정하고 있고 미국방성(U.S. Air Force, 1973)의 경우는 exchange rate 4 dB, threshold level 80 dB, criterion level 85 dB로 규정하고 있다. 그리고 ISO(1981)에서는 exchange rate 3 dB, threshold level 75 dB, criterion level 85 dB를 권장하고 있다.

따라서 ISO(1981)의 3 dB법은 간헐적인 소음의 영향을 과대하게 산정하게되고 OSHA의 5 dB법은 큰 소리에서는 소음의 영향을 과소평가하게되는 단점을 가지고 있다. 그래서 이 두 방식간의 절충으로 미국방성(U.S. Air Force, 1973)에서는 4 dB법을 사용하고 있으며 독일의 Kraak(1982)는 exchange rate를 6 dB로 하는 것이 적절하다고 주장한 바도 있다.

우리 나라 소음노출량측정기의 보유 및 사용실태를 보면 보유실태는 73개 측정기관중 소음노출량측정기를 61개 기관이 보유하고 있고 12개 기관이 소음노출량측정기를 보유하고 있지 않았다. 그리고 소음노출량측정기를 보유하고 있는 61개 기관중 소음노출량측정기로 사용하고 있는 기관은 56개 기관이고 5개 기관이 저시소음계로 사용하고 있다. 그리고 소음노출량측정기의 set up 방법은 exchange rate를 3 dB로 사용하는 기관이 6개 기관이고 5 dB 사용하는 기관이 50개 기관이다. 그리고 threshold level은 80 dB(A)로 사용하는 기관이 32개(57.1 %) 기관으로 나타났고 90 dB(A)로 사용하는 기관이 12개(21.4 %) 기관이고 50 dB(A)은 10개(17.9 %)기관, 70 dB(A)와 85 dB(A)가 각각 1개(1.8 %)기관이 set up 하여 사용하고 있고 criterion level은 전국 작업환경측정기관이 90dB(A)로 사용하고 있다. 우리 나라의 소음의 노출기준은 5dB법에 의한 노출시간이 제시되고 있으나 94고시 34조 3항(노동부, 1994)에서 노출량 산출 시는 3 dB법을 제시하고 있어서 노출기준 자체를 모호하게 만들고 있다. 따라서 작업환경측정기관에서 소음노출량측정기를 set up할 때 3 dB법을 이용하는 기관이 6개 기관이고 5 dB법을 사용하는 기관이 50개 기관이 있어서 소음평가에 차이를 가져오고 있다. 따라서 노출기준과 고시에서 제안하고 있는 방법을 같은 exchange rate를 이용하는 것으로 통일하여야 하겠고 또 소음노출량측정기의 set up시의 threshold level과 criterion level에 관한 규정도 마련하여 소음평가에 통일성이 있도록 하여야 한다.

그러나 exchange rate를 3 dB로 할 것인지 5dB로 할것인지에 관해서는 더 연구가 되어야 하며 허용기준과 관련된 문제이므로 전문가들의 논의를 거쳐야 할 것으로 본다.

IV. 결 론

소음노출량측정기의 set up 방법중 세가지 인자인 exchange rate, threshold level 및 criterion level을 달리 하였을 때 사업장의 소음평가가 얼마나 달라지는가를 알아 보고자 8개 업종 20개 사업장의 80명에 대하여 소음노출을 측정한 결과는 다음과 같았다.

1. 소음노출량측정기 set up 방법간 전체 평균 TWA는 exchange rate, threshold level 및 criterion level이 3 dB, 80 dB, 90 dB인 경우 93.4 dB (A), 3 dB, 90 dB, 90 dB인 경우 92.0 dB(A), 그리고 5 dB, 80 dB, 90 dB인 경우 90.7 dB(A), 5 dB, 90 dB, 90 dB인 경우 86.7 dB(A)이었다.

2. 소음노출기준인 90 dB(A)이하군에 있어서 소음평균값은 exchange rate 3 dB인 군과 5 dB인 군 각각에서 threshold level 80 dB군이 90 dB군보다 매우 유의하게 높았으나 소음노출기준 초과군에서는 유의한 차가 없었다.

3. 소음노출기준 초과건수율은 exchange rate, threshold level, criterion level이 3 dB, 80 dB, 90 dB에서 61.3 %, 3 dB, 90 dB, 90 dB에서 55.0 %, 5 dB, 80 dB, 90 dB에서 41.3 %, 5 dB, 90 dB, 90 dB에서 32.5 % 이었다.

이상의 결과로 보아 소음 측정 및 평가 방법에 있어서 관계법령에 소음측정에 관한 세부사항인 exchange rate와 threshold level 및 criterion level이 규정되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 김광중, 김해준, 이은일 : 우리나라 소음측정평가 및 개선방안에 관한 연구, 고려대학교 환경의학연구소, 1994.
- 노동부 : 한국표준산업분류, 서울, 노동부, 1992.
- 노동부 : 특수건강진단종합연보, 서울, 노동부, 1993.
- 노동부 : 산업위생업무편람, 서울, 문원사, 1994.
- 대한산업보건협회 : 보건진단연차보고서, 서울, 대한산업보건협회, 1992.
- 작업환경측정기술협의회 : 작업환경측정종합연보, 서울, 작업환경측정기술협의회, 1993:9-25.
- 정우영 : 산업안전관계법규, 서울, 동화기술, 1991:17-252.
- ANSI : Specification for Sound Level Meters(S 1.4), New York: American National Standards Institute, 1983.
- ANSI : Specification for Personal Noise Dosimeters (S 1.25), New York: American National Standards Institute, 1991.
- Intersociety Committee Report: Guideline for noise exposure control, Am Ind Hyg Assoc J, 1967;28:418-424.
- ISO : Acoustic-determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing im-

parment, Geneva, ISO, 1981.

Kraak W : Investigations on criteria for the risk of hearing loss due to noise, In: Tobias JV, Schubert ED, editors. *Hearing Research and Theory*, Vol. 1. New York, Academic Press, 1982:187-303.

Larson & Davis : *Noise Dosimeter Operation Manual*, Utah, Larson & Davis, 1992.

U.S. Air Force : *Harzadous Noise Exposure*, U.S. Air Force Regulation No.161-35, Washington DC, U.S. Air Force, 1973.