

절삭설비의 소음환경평가에 관한 연구

이 내 우 · 허 현 철 · 전 성 균 · 이 진 우*
부경대학교 안전공학과 · 양산대학 산업안전과 · 한국산업안전공단
(1999년 5월 6일 접수)

A Study of Assessment on Occupational Noise Environment for Metal Working Facility

Nae-Woo Lee, Hyun-Chul Huh, Sung-Kyun Jeon*, and Jin-Woo Lee**

Dept. of Safety Engineering, Pukyong National University, Pusan, 608-739, Korea

*Dept. of Industrial Safety, Yangsan College, Kyung Nam, 626-740, Korea

**Technical Experts Team, Pusan Regional office, KISCO, Pusan, 602-061, Korea

(Manuscript received 6 May, 1999)

To develop managing guidance of occupational noise exposure for metal working facility, we have studied about drafting contour map of noise exposure, methods of noise assessment and actual calculation method of time weighted noise exposure.

Therefore we have suggested that contour maps of noisy workplace are very important for controlling metal working fluid facility and two kinds of noise assessment method, so called, personal and static exposure are necessary to avoid argument between workers and managing group. Finally we would like recommend that the Korean specification of noise exposure should be modified to protect ONIHL(occupational noise induced hearing loss).

Key words : noise exposure, contour map, time weighted average, occupational environment, metal working.

1. 서 론

산업 현장에서 많이 쓰이는 절삭설비(Metal Working : MW)는 매우 다양하나 주로 자동차 생산업종, 농기구 제조업종, 각종 기계기구 생산업종, 경금속 가공업종 등에서 매우 광범위하게 사용되고 있다. 이들 업종에서 연마, 절단, 천공, 드릴링, 터닝(turning)등을 수행하는 많은 근로자들이 다량의 MWF(metal working fluids) 뿐만 아니라 열악한 소음환경에 노출되고 있다.^{1~3)}

MWF는 금속제품을 가공하는 과정에서 절삭공구와 가공되는 금속간의 마찰을 줄여 마모를 최소화시키고, 가공표면의 특성을 좋게 하며 가공되는 금속표면이 유착되거나 녹아 붙는 것을 방지하는 등의 역할을 한다. 이러한 특성때문에 MWF는 각종 금속 가공을 하는 업종에서 널리 사용하게 되었고, 이들의 Oil mist 에 대한 허용기준을 엄격히 제한하려는 국제적인 움직임을 보이고 있다.^{4,5)}

그러나 많은 작업장이 과다한 소음폭로에 시달리고 있기 때문에, ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienist)는 근로자의 청력손실을 방지하기 위하여 소음에 대한 폭로기준을 8시간 작업시를 기준하여 85 dB(A)을 제시하였고 작업시간에 따라 기준

을 구체화시켰다. 그 궁극적인 목표는 평균 주파수가 0.5, 1, 2 및 3 KHz 등인 작업장에서 40년간 종사한 근로자의 청력손실이 2 dB을 초과하지 않도록 하고자 함에 그 목적이 있다.⁶⁾

OSHA(Occupational Safety and Health Administration)는 MWF에 관한 허용기준 등에 대한 산업위생학적 및 공학적인 관리, 경제적 및 기술적인 유용성 등에 대한 모든 정보를 종합하여 새로운 기준을 만들 것을 검토하고 있고, 이것은 1996년에 OSHA가 선정된 10대 과제중의 하나일 정도로 산업보건상의 큰 과제로 대두되고 있다.

우리나라의 소음기준은 8시간 폭로에 90 dB(A)로 되어 있을 뿐만 아니라,⁷⁾ 작업환경의 측정장소나 방법에 대한 기준이 모호하여 측정시마다 사업장의 요청에 따르는 경우가 많고 측정결과에 대하여도 그 신뢰도를 의심하는 경우가 대단히 많으므로 노사갈등의 소지가 되고 있다. 따라서 열악한 소음환경에 있는 절삭설비에 대하여 객관성이 있는 측정결과와 소음환경을 조사하여 소음계적도(contour map of noise)를 작성함으로써 실제적인 현황 파악과 장기적인 소음관리대책을 세울 수 있다. 소음측정방법에 있어서도 개인폭로(personal exposure)와 위치

폭로(static exposure)로 행한 결과에 대하여도 신뢰도를 가지게 한다.⁸⁻⁹⁾ 그리고 여러가지의 근무형태에 따른 소음의 측정방법을 예시함으로써, 실제적인 소음환경측정방법을 개선할 수 있는 기준을 제시하고 효율적인 소음환경관리를 하고자 함에 그 목적이 있다.

2. 배경 이론^{10,11)}

2.1. 소음압력

데시벨(decibel)로 나타내어지는 소음측정치는 주어진 기준소음압력에 대한 실제소음압력의 비율의 제곱에 상용대수를 취하고 10배를 한 것으로서 계산식(1)과 같이 계산할 수 있고 그 계산결과는 Table 1과 같다. 여기서 압력 p 는 rms(root mean square)이고, p_0 는 기준소음압력으로서 20μ pascal 이다.

$$L_p(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (1)$$

Table 1. Decibel to Pascal-squared conversion

dB(A)	Pa ²	dB(A)	Pa ²	dB(A)	Pa ²	dB(A)	Pa ²	dB(A)	Pa ²
75	0.013	85	0.13	95	1.3	105	13	115	130
75.5	0.014	85.5	0.14	95.5	1.4	105.5	14	115.5	140
76	0.016	86	0.16	96	1.6	106	16	116	160
76.5	0.018	86.5	0.18	96.5	1.8	106.5	18	116.5	180
77	0.020	87	0.20	97	2.0	107	20	117	200
77.5	0.023	87.5	0.23	97.5	2.3	107.5	23	117.5	230
78	0.025	88	0.25	98	2.5	108	25	118	250
78.5	0.028	88.5	0.28	98.5	2.8	108.5	28	118.5	280
79	0.032	89	0.32	99	3.2	109	32	119	320
79.5	0.036	89.5	0.36	99.5	3.6	109.5	36	119.5	360
80	0.040	90	0.40	100	4.0	110	40	120	400
80.5	0.045	90.5	0.45	100.5	4.5	110.5	45	120.5	450
81	0.050	91	0.50	101	5.0	111	50	121	500
81.5	0.057	91.5	0.57	101.5	5.7	111.5	57	121.5	570
82	0.063	92	0.63	102	6.3	112	63	122	630
82.5	0.071	92.5	0.71	102.5	7.1	112.5	71	122.5	710
83	0.080	93	0.80	103	8.0	113	80	123	800
83.5	0.090	93.5	0.90	103.5	9.0	113.5	90	123.5	900
84	0.10	94	1.0	104	10	114	100	124	1000
84.5	0.11	94.5	1.1	104.5	11	114.5	110	124.5	1100

2.2. $E_{A,T}$ 측정

소음가중폭로치 $E_{A,T}$ (Pa²h)를 측정하기 위한 방법은 PSEM (personal sound exposure meter)을 사용하거나 적분식 평균소음계를 사용한다. 일정기간동안의 $E_{A,T}$ 는 다음식을 이용하여 연속가중폭로치 $L_{Aeq,T}$ 로부터 계산이 가능하다.

$$E_{A,T} = 4 \times T \times 10^{0.1(L_{Aeq,T} - 100)} \quad (2)$$

만약 시간 T 가 $E_{A,T}$ 를 측정하기 위해 세분화된 시간 간격 T_i 로 나누워진다면 $E_{A,T}$ 는 다음 방정식에 의해

계산된다.

$$E_{A,T} = \sum_i E_{A,T_i} \quad (3)$$

따라서 하루의 총 소음폭로량 $E_{A,T}$ 를 계산하기 위하여는 부분적인 소음폭로량을 합하기만 하면 된다.

2.3. $L_{Aeq,T}$ 측정

어떤 시간동안의 연속적인 소음가중폭로값 $L_{Aeq,T}$ (dB)를 측정하기 위한 방법은 적분식 평균소음측정계를 사용하는 방법이다. 만약 측정시간 간격 T 가 L_{Aeq,T_i} 를 측정하기 위해 세부적인 시간간격 T_i 로 나누워진다면, $L_{Aeq,T}$ 는 다음 중의 한가지 방법에 의해 계산된다.

- 1) 하루중의 업무형태가 수시로 변하여 각각에 대한 폭로량을 계산하여 합하는 방법.
- 2) 다음의 방정식에 따라서 일괄적으로 계산하는 방법

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_i (T_i \times 10^{(L_{Aeq,T_i})/10}) \right] dB \quad (4)$$

2.4. $L_{Aeq,8h}$ 측정

8시간보다 많은 업무를 하는 작업일에 대한 소음폭로 효과를 비교하기 위하여는, 8시간상당 소음가중폭로 $L_{Aeq,8h}$ 에 대응하는 폭로치를 계산할 필요가 있다. 다음은 8시간에 상당하는 폭로를 계산하는데 쓰여진 방법들이다.

- 1) Table 2에 나타난 $L_{Aeq,8h}$ 와 $E_{A,T}$ 값의 상관관계를 이용하는 방법이 있다.
- 2) 다음의 방정식에 따라 계산할 수 있다.

$$L_{Aeq,8h} = L_{Aeq,T} + 10 \log_{10} \left[\frac{T}{8} \right] \quad (5)$$

- 3) 정상작업 8시간에 대응하는 소음폭로량 계산은 다음식(6)을 이용하여 $E_{A,T}$ 로부터 계산할 수 있다.

$$L_{Aeq,8h} = 10 \log_{10} \left[\frac{E_{A,T}}{3.2 \times 10^{-9}} \right] \quad (6)$$

식 (6)으로부터 유도된 $E_{A,T}$ 에 상당하는 값으로서 선택된 $L_{Aeq,8h}$ 의 계산은 Table 2의 표로 나타내었다.

2.5. $L_{(Aeq,8h)_n}$ 의 측정

많은 작업일수에 대한 평균소음폭로기준이 요구된다면, 전 기간에 대한 $L_{Aeq,8h}$ 의 평균값은 각 작업일수에 대한 $L_{(Aeq,8h)_i}$ 로부터 결정되며 다음의 방법으로 가능하다.

$$L_{(Aeq,8h)_n} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{(Aeq,8h)_i})} \right] dB \quad (7)$$

2.6. $L(norm)_{Aeq,8h}$

주 5일간 작업일수에 대한 소음폭로량이 요구되면, 전 일수에 대한 $L(norm)_{Aeq,8h}$ 의 계산은 각 작업일에 대한 $L_{(Aeq,8h)_i}$ 의 값으로부터 계산이 가능하며, 다음의 방법에서 가능하다.

$$L(norm)_{Aeq,8h} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{0.1(L_{(Aeq,8h)_i})} \right] dB \quad (8)$$

3. 실험

3.1. 실험장치

소음측정은 소음계[電子測器(株) Type 1051]를 사용

Table 2. Relationship between $L_{Aeq,8h,dB}$ and $E_{A,T}$ values (Normative)

$L_{Aeq,8h,dB}$	$E_{A,T} Pa^2h$
75	0.10
76	0.13
77	0.16
78	0.20
79	0.25
80	0.32
81	0.40
82	0.51
83	0.64
84	0.80
85	1.0
86	1.3
87	1.6
88	2.0
89	2.5
90	3.2
91	4.0
92	5.1
93	6.4
94	8.0
95	10
96	13
97	16
98	20
99	25
100	32
101	40
102	51
103	64
104	80
105	100

하여 개인폭로와 위치폭로에 대한 것을 구분하여 측정하였다. 그리고 작업장의 소음환경에 대한 작업환경관리를 위하여 법적기준치를 초과한 작업의 소음계적도(cotour map of noise)를 작성하는데도 사용하였다.

3.2. 실험방법

본 연구에 필요한 소음측정은 절삭설비로서 기기의 가공을 많이 하고 있는 K중공업 사업장에서 실시하였고, 작업장의 배치도면은 Fig. 1과 같다. 그 중에서 A작업장에는 다수의 plano miller, boring machine 및 radial drill을 이용하는 기계조립장이고, B작업장에는 공정장치의 가공을 위한 수치제어식 plano miller가 밀폐공간에 있고, 그 주위에서는 용접업무가 수행되고 있으며, C작업장에는 제관과 용접업무를 하기 위한 작업장으로서 역시 수치제어식 plano miller가 밀폐공간에 설치되어 있는 공

정이다. 그 측정결과는 지속적인 사업장 관리에 활용될 것이다.

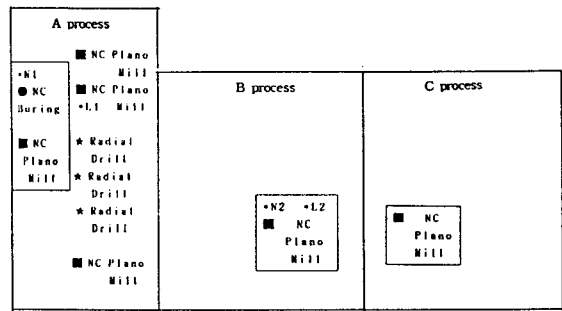


Fig. 1. Layout of experimental factory.

3.2.1. 개인폭로측정

소음의 개인폭로측정은 ACGIH 기준에 의해 시간가중평균(TWA : Time Weighted Average)으로 계산하였으며 소음계의 위치는 귀로부터 30 cm 이내에 부착하여 측정하였다.

3.2.2. 위치폭로측정

위치폭로측정은 작업장 전체에 대표성이 있는 곳을 선정하여 측정하였으며, 측정방법은 일정한 지점이 선정되면 바닥으로부터 1.5 m 되는 높이에서 측정하였다. 특히 위치폭로 측정시에는 균일한 소음폭로수준에 있는 작업장에 많은 근로자들이 작업할 때의 측정은 근로장소를 대표할 수 있는 4곳 이하에서 행하고 전면적에 고르게 분포될 수 있도록 시험하였다. 소음의 크기측정은 앞서 작업하는 작업자의 경우, 의자바닥의 중심에서 0.8 m 높이가 되는 높이에서 측정되었다.

어떤 면적에 대한 대표적인 $L_{Aeq,T}$ 를 얻기 위하여는 측정된 $L_{Aeq,T}$ 값들을 산술평균하였다. 만약 한 면적에서 측정된 $L_{Aeq,T}$ 의 가장 큰 값과 작은 값의 차이가 2 dB(A) 보다 크면, 한 장소에 대한 개인적인 측정을 행하고, $L_{Aeq,T}$ 를 측정하기 위한 집단 면적이 세분화되었다. 집단 면적에 대한 L_{peak} 값의 최고 높은 값이 그 면적의 값이 된다.

3.2.3. 소음 계적도

소음계적도는 작업장의 4면의 길이를 균일하게 등분하여 같은 위치를 잇는 연결선을 긋고, 각각의 교점의 위치에서 소음을 측정한 후 그 결과치를 기록하였다. 비슷한 값을 나타내는 결과치끼리 연결하여 등고선과 같은 형태로 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 작업환경 측정

4.1.1. 소음환경기준의 비교

국제적인 작업환경의 측정기준(ACGIH)에서 소음환경 기준과 한국의 소음기준을 비교하여 Table 3과 4에 나타

내었다.^{12,13)} 이 결과에 의하면 한국의 소음기준이 월등히 높게 책정되어 있고, 특히 한국의 기준에는 피해가 매우 클 것으로 예측되는 순간적인 노출에 대한 기준은 책정도 되지 않고 있다. 그리고 측정방법에 대한 기준이 명확하지 않은 것도 큰 문제로 등장하고 있으므로 이를 보완하여야 한다.

Table 3. Comparison of noise exposure limits between ACGIH and Korea^{12,13)}

Units	Duration per day	Strength of sound level dB(A)	
		ACGIH	Korea
Hours	24	80	-
	16	82	-
	8	85	90
	4	88	95
	2	91	100
	1	94	105
Minutes	30	97	110
	15	100	115
	7.50	103	-
	3.75	106	-
	1.88	109	-
	0.94	112	-
Seconds	28.12	115	Refer to table 3
	14.06	118	
	7.03	121	
	3.52	124	
	1.76	127	
	0.88	130	
	0.44	133	
	0.22	136	
	0.11	139	

Table 4 Permissible limits of noise exposure for shocking(ACGIH)

Permissible times per day	Strength of shocking dB (A)
100	140
1,000	130
10,000	120

4.1.2. 작업환경 측정현황

K중공업 사업장의 절삭설비에 대한 연도별 작업환경 측정결과 중에서 소음에 대한 결과치를 Table 5에 나타내었다. 이 사업장의 소음측정결과에 의하면 측정시마다 측정횟수, 측정위치 및 측정장소가 일치하지 않아 일관성이 없으므로 비교하기가 대단히 어렵다. 이러한 현상은 환경측정기준 등에 의한 원칙에 근거하지 않고, 측정시에 사업장의 관리자나 근로자의 요청에 따라 수시로 변경하여 행하여진 것으로 사료된다. 그러나 C작업장의 경우는 소음환경의 개선에 많은 진척이 있었음을 알 수 있다. 실제로 소음원을 격벽이나 패널 등으로 격리시키고 작업자의 작업범위를 가능한 이격시켰다. 이 측정시

의 평균부하는 약 85% 인 것을 나타내었으며 Table 5의 결과치를 보면 상당히 많은 부분이 법정기준치를 초과하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이 결과로서는 개인폭로값인지 위치폭로값인지를 구별할 수 없으나, 위치폭로값인 것으로 추측된다. 이 경우의 개인폭로값을 측정하면 대단히 높았을 것으로 예측된다.

Table 5. Noise determination result of metal working factory (at 85 % load)

	Fy-95		Fy-96		Fy-97	
	Jan.-June	July-Dec.	Jan.-June	July-Dec.	Jan.-June	July-Dec.
A : Mechanical working	81.0	84.0		94.7 77.5 87.4		
B : Processing & welding	80.0 95.0	85.0 98.0	83.4			
C : Piping & welding	103.0	101.0	91.4 89.0	82.4	77.8 84.0 77.4 79.5	93.1 85.3 76.4 80.4 82.1

4.2. 개인폭로 측정결과

Fig. 2는 공정의 부하가 약 40 % 일때 일주일간의 개인폭로 측정결과를 평균하여 나타내고 있으며, 이렇게 낮은 부하일때에도 C작업장의 경우에는 작업환경기준치를 대부분 초과하고 있음을 나타내고 있다. 이 그림이 제시하고 있는 것은 근로자의 청력손실에 직접적으로 관여되고 있는 소음의 개인폭로값이므로 대단히 중요함을 알 수 있고, 작업환경 측정시에는 개인폭로값과 위치폭로값을 구분하여 관리하여야 됨을 의미하고 있다.

4.3. 위치폭로 측정결과

작업장 A, B 및 C 공정에 대한 소음의 대표적인 위치폭로 측정결과를 Fig. 3 에 나타내고 있다. 이 결과에서는 위치폭로 측정결과가 개인폭로 측정결과보다 대체적으로 낮다는 것을 알 수 있다. 또한 위치폭로 측정결과치는 측정위치에 따라 많은 차이를 나타낼 수 있고, 실제적으로 청력손실에 대한 기여도는 위치폭로의 측정치보다 개인폭로 측정치의 기여도가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 우리나라의 작업환경 측정항목 중에서 소음의 측정치는 개인폭로와 위치폭로 결과치를 구분하여 측정할 필요가 있다. 물론 개인폭로의 측정치가 작업환경 측정의 기준값으로 되어야 하는 것은 당연한 것이지만, 현실적으로 실행되지 않고 있으므로 조속한 시일내에 ACGIH 기준과 같이 개인폭로측정치를 기준으로 변경하여 적용할 필요가 있다.

4.4. 소음레절도 작성

소음레절도는 A, B 및 C 공정중에서 소음이 대체적으로 높은 B, C공정에 대한 예시를 Fig. 4, 5 에 작성해

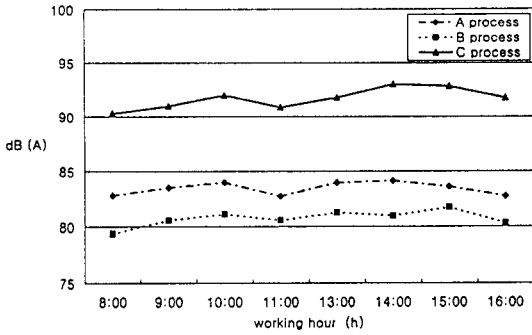


Fig. 2. Personal noise exposure at 40% load.

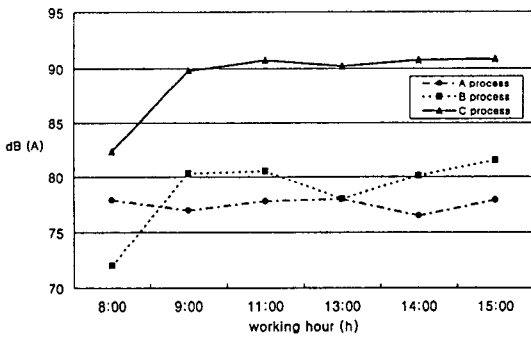


Fig. 3. Static noise exposure at 40% load.

보았다. 이 계획도는 지도의 등고선과 같이 유사한 크기의 소음측정 결과치를 연결하여 소음의 크기별로 구분한 지역을 설정함으로써 효율적인 소음관리를 하고자 하는 것이 그 목적이다. 물론 소음계획도는 위치폭로 측정결과들을 보다 상세히 정리하여 작업환경 관계자나 산업위생 관리자들이 효율적으로 관리할 수 있도록 하고자 하는 측면에서 출발한 것이다. 따라서 이 소음계획도를 공정별, 시간대별 그리고 공정의 부하별로 작성하여 관리한다면, 소음폭로에 대한 관리는 가장 효율적인 방법이 될 것이 분명하다. 이 방법은 현재의 작업환경 측정에 대한 미비점을 검증할 수 있는 절대적인 방법이 될 것이며, 이 방법이 더욱 발전된다면 기업의 경영자에게는 가장 신뢰할 수 있는 자료로 사용될 것이며, 근로자는 작업환경으로 인한 문제로 노사간의 불화를 야기시킬 수 있는 가능성이 없어지게 될 것은 분명하다. 이 분야의 근무자들에게도 공정개선이나 순환보직 등의 목적에 잘 활용된다면 최대의 효과를 거둘 수 있다.

4.5. 사례연구

4.5.1. 일일업무형태에 따른 계산

하루의 작업중에서 많은 업무형태의 변화로 각기 다른 소음원에 폭로되어 일일의 상당가중소음압력 및 일일 총폭로수준 등을 계산하기 위하여 제시된 두가지 방법을 4.5.1.1 및 4.5.1.2에 나타내었고, Table 6은 소음에 폭로된 실제사례를 나타내었다.

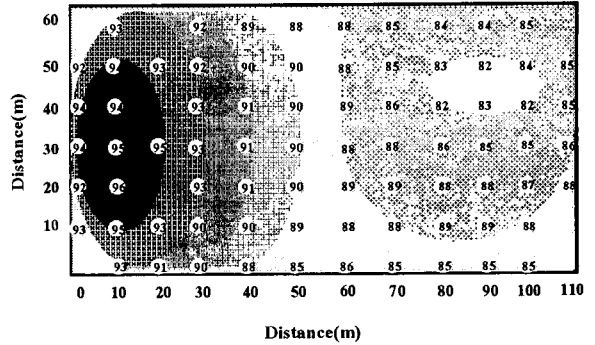


Fig. 4. Contour map of noise in B process at 40% load : Unit [dB(A)].

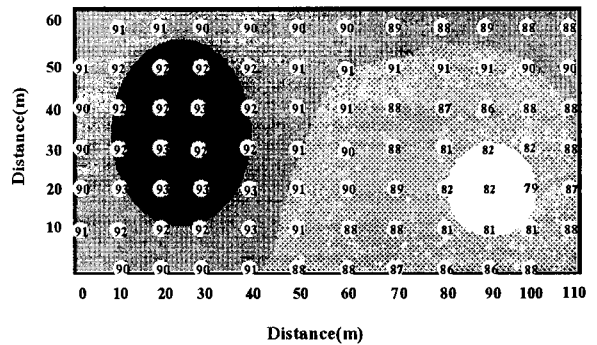


Fig. 5. Contour map of noise in C process at 40% load : Unit [dB(A)].

Table 6. Noise exposure details

Machine/Process	Measured noise level L_{Aeq, T_i} , dB(A)	Duration of exposure, T_i , h
Planer	102	0.5
Circular saw	98	4.0
Power drill	89	2.5
Hammering	92	2.0

4.5.1.1. 환산표를 이용하는 방법

1) 소음가중폭로치 ($E_{A,T}$: A Weighted noise exposure)의 계산

각각의 부분적인 L_{Aeq, T_i} 값을 Table 1에 나타난 파스칼제곱값의 결과치로부터 환산함으로써 각 공정에 대한 부분소음폭로값이 결정되고, 부분소음폭로값 E_{A, T_i} 를 얻기 위하여 이러한 파스칼제곱값을 각각의 폭로시간 T_i 를 곱한다. 이 결과치의 값은 Table 7에 나타내어져 있다. $E_{A,T}$ 은 단순히 부분소음폭로에 대한 산술적인 합이다.

2) 매 시간 상당가중소음압력 (A_{avgT} : Equivalent continuous a weighted sound pressure level)

실제 작업일의 9시간 폭로에 대한 평균 파스칼제곱값

Table 7. Example of procedure for calculation $E_{A,T}$

Machine/process	Measured noise level L_{Aeq, T_i} dB(A)	Duration of exposure, T_i h	Pascal squared (Appendix 1) Pa^2	Partial noise exposure E_{A, T_i} Pa^2h
Planer	102	0.5	6.3	3.2
Circular saw	98	4.0	2.5	10
Power drill	89	2.5	0.32	0.8
Hammering	92	2.0	0.63	1.3
Total daily noise exposure time, h		9.0		
Total daily noise exposure for 9 h, $E_{A,T}$, Pa^2h				15.3

은 위에서 측정된 총 소음폭로값을 9시간으로 나누면 된다. 그러므로 총 하루동안의 폭로에 대한 9시간 평균 파스칼제곱값은 15/9이고 이것은 1.7 Pa^2 이다. 그 $L_{Aeq, 9h}$ 은 Table 1에서 1.7을 보면 되고, 그러므로 $L_{Aeq, 9h}$ 은 96.0 dB(A) 과 96.5 dB(A) 사이에 있고, 그것은 거의 전체 숫자와 같다. 따라서 $L_{Aeq, 9h} = 96$ dB(A)와 같다.

3) 8시간 상당가중 소음압력($L_{Aeq, 8h}$: 8hr equivalent weighted sound pressure level)

8시간의 폭로에 대한 평균 파스칼제곱값은 정상작업이 8시간이므로, 위에서 측정된 일일 총폭로값을 나누면 얻어진다. 그러므로 총 하루동안의 소음폭로에 대한 8시간상당 평균 파스칼 제곱값은 15/8 이고, 이것은 1.9 Pa^2 와 같다. $L_{Aeq, 8h}$ 은 Table 1의 1.9에서 얻어진다. 따라서 $L_{Aeq, 8h} = 97$ dB(A)이다.

4.5.1.2. 계산식을 이용하는 방법

1) $E_{A,T}$: 여러가지 기계작업의 각각에 대한 부분적인 소음폭로 (E_{A, T_i})는 방정식(2)와 (3)을 이용하여 계산한다. Table 6에 있는 데이터를 이용하여 부분적인 소음폭로값은 아래와 같이 계산이 가능하다.

$$E_{A,T} = 4 \times [(0.5 \times 10^{0.1(102-100)}) + (4.0 \times 10^{0.1(98-100)}) + (2.5 \times 10^{0.1(89-100)}) + (2.0 \times 10^{0.1(92-100)})] = 15.32 Pa^2 h$$

2) $L_{Aeq,T}$: 방정식(4)를 이용하여 어떤 시간동안의 연속적인 소음가중폭로값이 계산되며, Table 4에 있는 데이터를 이용하여 소음가중폭로값은 아래와 같이 계산이 가능하다.

$$L_{Aeq, 9h} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{9} \{ (0.5 \times 10^{0.1(102)}) + (4.0 \times 10^{0.1(98)}) + (2.5 \times 10^{0.1(89)}) + (2.0 \times 10^{0.1(92)}) \} \right] = 96.3 dB(A)$$

3) $L_{Aeq, 8h}$: 방정식(5)를 이용하여 8시간 상당가중 소음압력의 계산을 할 수 있으며, 노출시간이 9시간이고 $L_{Aeq, 9h}$ 가 96dB(A)이므로 아래와 같이 계산이 가능하다.

$$L_{Aeq, 8h} = 96 + 10 \log_{10} \left[\frac{9}{8} \right] = 97 dB(A)$$

4.5.2. 정상작업일수에 따른 $L_{(Aeq, 8h)}$ 의 계산

업무의 형태가 바뀔수 있기 때문에 업무를 수행하는

주간동안에 매일의 업무가 바뀌는 사람에 대한 총 소음폭로에 대한 실예를 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Example normlaized total daily noise exposure levels

Day	$L_{(Aeq, 8h)}$, dB(A)
Monday	85
Tuesday	97
Wednesday	100
Thursday	102
Friday	85

4.5.2.1. 환산표를 이용하는 방법

일일 $L_{(Aeq, 8h)}$ 은 파스칼 제곱시간으로 환산되고, 이러한 모든 값들은 주 5일의 작업기간동안에 대한 총 파스칼 제곱시간을 얻기 위하여 합해진다. 이 결과는 작업일수 전체에 대한 평균 파스칼 제곱을 얻기 위하여 작업일수로 나눈다. 이 평균 파스칼제곱시간에 대한 값은 평균 $L_{Aeq, 8h}$ 를 얻기 위하여 Table 2를 사용하여 계산하며, 그 결과는 Table 9에 나타내었다. 그러므로 5일간의 작업일에 대한 평균 파스칼 제곱값은 101/5이고 이것은 20.2 Pa^2h 이다. Table 2를 이용하면 $L_{(Aeq, 8h)}$ 의 값은 98 dB(A)이다.

Table 9. Example of procedure for calculating Pascal-squared hour value for 5n working days

Day	$L_{(Aeq, 8h)}$, dB(A)	Pascal-squared hours Pa^2h
Monday	85	1
Tuesday	97	16
Wednesday	100	32
Thursday	102	51
Friday	85	1
Total Pascal-squared hours		101

4.5.2.2. 계산식을 이용하는 방법

일주일동안에 5일간 작업을 하는 경우에 $L_{(Aeq, 8h)}$ 은

방정식(4)를 이용함으로써 계산이 가능하며, Table 8에 있는 데이터를 이용하여 5일간 작업하는 소음가중폭로값은 아래와 같이 계산된다.

$$L_{(Aeq,8h)5} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{5} [(10^{0.1(85)}) + (10^{0.1(97)}) + (10^{0.1(100)}) + (10^{0.1(102)}) + (10^{0.1(85)})] \right]$$

$$= 98dB(A)$$

4.5.3. 초과작업일수에 따른 $L_{(norm)Aeq, 8h}$ 의 계산

어떤 작업자가 주 6일간의 작업일수동안에 일일 작업 유형의 변화에 따른 소음폭로수준은 Table 10에 나타낸 바와 같다.

Table 10. Example normalized total daily noise exposure levels

Day	$L_{(Aeq,8h)1}$, dB(A)
Monday	85
Tuesday	97
Wednesday	100
Thursday	102
Friday	85
Saturday	99

4.5.3.1. 환산표를 이용하는 방법

매일의 $L_{(Aeq,8h)1}$ 를 파스칼 제곱시간값으로 변환시키고, 모든 이 값들은 6일동안의 총 파스칼 제곱시간값을 얻기 위하여 합산한다. 그 결과는 주 5일간의 파스칼 제곱시간값으로 환산하기 위하여 5로 나눈다. 이 파스칼 제곱시간값은 $L_{(norm)Aeq, 8h}$ 를 얻기 위하여, Table 2를 사용하여 계산한 것을 Table 11에 나타내었다.

그러므로 주 5일간의 작업일로 환산한 파스칼 제곱시간값은 126/5 이고, 이것은 25.2 Pa²h 이다. Table 2를 사용하여 계산한 $L_{(norm)Aeq, 8h}$ 은 99 dB(A) 이다.

4.5.3.2. 계산식을 이용하는 방법

$L_{(norm)Aeq, 8h}$ 은 방정식(8)을 사용하여 계산될 수 있고, Table 8에 있는 데이터를 사용하여 아래와 같이 계산이 가능하다.

$$L_{(norm)Aeq, 8h} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{5} [(10^{0.1(85)}) + (10^{0.1(97)}) + (10^{0.1(100)}) + (10^{0.1(102)}) + (10^{0.1(85)}) + (10^{0.1(99)})] \right]$$

$$= 99dB(A)$$

6. 결 론

질소산화물의 소음환경에 대한 평가를 위하여 소음측정 방법에 따른 차이점, 소음계적도 등을 작성하고, 관련규정을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기존의 작업환경 측정규정은 그 방법이나 위치 등에 대한 미흡한 부분이 너무 많기 때문에 실질적인 방법이 되지 못함으로 대폭적으로 보완이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Table 11. Example calculation of Pascal-squared hour value normalized to a five day working week

Day	$L_{(Aeq,8h)1}$, dB(A)	Pascal-squared hours value Pa ² h
Monday	85	1
Tuesday	97	16
Wednesday	100	32
Thursday	102	51
Friday	85	1
Saturday	99	25
Total Pascal-squared hours		126

2) 소음환경의 측정방법을 개인폭로와 위치폭로로 구별하여 측정하고 관리한다면 데이터에 신뢰성도 높고, 작업환경에 대한 노사간의 분쟁의 소지도 대폭 감소될 것으로 추측된다.

3) 소음환경에 노출된 작업장에서는 공정전체에 대하여 공정별, 시간대별 및 부하별로 소음 계적도를 작성하여 관리한다면, 가장 효과적이고 장기적인 계획하에서 작업환경의 개선이 가능하게 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 1998년의 연구실시에 의해 수행되었던 결과 중의 일부로서 이를 지원해 준 부경대학교와 남호주 Adelaide대학교 공중보건학과와 관계자에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Wilsey, P. W., et al, Exposures to Inhalables and "Total" Oil Mist Aerosol by Metal Machining Shop Workers, 1996, AIHA Journal(57), 1149-1153pp.
- 2) Steven J. et al, Evaporation of Mineral Oil in a mist Collector, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1996, 11(10), 1204-1211pp.
- 3) Susan R. Woskie et al, Exposure Assessment for a Field Investigation of the Acute Respiratory Effects of Metalworking Fluids. I. Summary of Finding, 1996, AIHA Journal (57), 1154-1162pp.
- 4) Notice of Intended Change-Oil Mist, Mineal, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1993, 8(5), 494-501pp.
- 5) James B. D'Arcy, Metalworking Fluids Symposium, 1996, AIHA Journal(57), p.1127.
- 6) ACGIH, 1997, TLVs and BEIs, ISBN 1-882417-19-4, Cincinnati.
- 7) 한국산업안전공단, 노동부고시 제91-21호, 유해물질의 허용농도, 서울, 1991.
- 8) William K. et al, Development and Operation of a System to Monitor Occupational Noise Exposure Due to Wearing a Headset. Appl. Occup. Environ.

- Hyg., 1996, 11(4), 261-265pp.
- 9) Australia / New Zealand Standard, Occupational noise management, AS/NZS 1269, 1998.
 - 10) Australian / New Zealand Standard, Occupational noise management, Part 1 : Measurement and assessment of noise immission and exposure, 1998.
 - 11) Conferences Proceedings for AIOH98, Capitalising Occupational Hygiene, AIOH 17th Annual Conference, December, 1998, Canberra.
 - 12) ACGIH, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, TLVs and BEIs, ISBN 1-882417-23-2, Cincinnati, 1998.
 - 13) 한국산업안전공단, 노동부고시 제91-20호, 작업환경 측정방법, 서울, 1991.