

터널공사현장 근로자의 소음노출 특성 평가

Exposure Characteristics to Noise Among Tunnel Construction Workers

김 갑 배* · 장 재 길†
Kab Bae Kim and Jae-Kil Jang

(Received June 28, 2013 ; Revised August 30, 2013 ; Accepted August 30, 2013)

Key Words : Noise Exposure(소음노출), Noise Dosimeter(누적소음노출량측정기), Tunneling Work(터널작업), NATM Method(NATM 공법), Shield TBM Method(셴드 TBM 공법)

ABSTRACT

The noise levels of workers in tunnel sites are likely to be high because tunneling work places are confined space. However, research on the noise exposure levels of tunneling workers have not been performed intensively due to restricted accessibility to tunnel construction sites. The aim of this study is to evaluate the noise exposure levels for workers engaged in tunneling work sites. Noise dosimeters were used for monitoring workers' noise exposure level in 5 tunneling work sites in accordance with the Notification of the Ministry of Labor. Among 5 tunneling work sites, 4 of them used NATM tunneling method and 1 work site used shield TBM tunneling method. The average noise exposure levels of NATM tunneling workers was 81.1 dB(A) and 15.4 % of the workers' noise level were exposed more than 90 dB(A) which is the exposure limit value. In Shield TBM tunneling method, 4.3 % of the workers were exposed more than 90 dB(A) of noise level, the average noise exposure levels of TBM tunneling workers was 84.1 dB(A)

1. 서 론

건설업 근로자의 업무상 질병 문제는 지속적으로 제기되어 왔으나 제조업과는 다른 건설업의 특성상 근로자 보건관리에 많은 어려움이 있다. 건설업은 일용 또는 임시직 형태의 근로자들이 많고 일정한 생산현장 없이 단위작업에 따라 건설현장이 달라지므로 근로자의 직업병 예방을 위해 필요한 각 유해인자에 대한 작업환경측정·분석 자료도 많지 않다¹⁾.

건설업에서 작업환경측정을 실시한 결과를 보면, 2006년 이전에는 측정을 많이 실시하지 않다가

2006년 9,485건, 2007년 13,908건, 2008년 14,012건, 2009년 16,101건으로 해마다 증가하는 추세를 보이고 있다. 작업환경 측정인자는 4년 동안 소음이 16,012건으로 가장 많았으며, 노출기준 초과 건수도 소음이 872건수로 가장 높은 비율을 차지하는 등 소음이 건설현장의 주요 유해인자로 파악되고 있다²⁾.

건설현장에서 사용되는 건설기계 34종, 302대를 대상으로 하여 소음도를 조사 및 분석한 결과를 보면 기계로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 대상 건설기계류의 평균 소음도는 66.1~95.7 dB(A)이고 15 m 떨어진 거리에서는 62.5~89.2 dB(A)로 평가되었다.

† Corresponding Author ; Member, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
E-mail : cihjj@kosha.net
Tel : +82-32-510-0801, Fax : +82-32-518-0864

* Member, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

A part of this paper was presented at the KSNVE 2013 Annual Spring Conference

† Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

그리고 7.5 m에서 15 m로 거리가 두배가 될 때 소음의 거리감쇠 경향은 굴삭기 5.1 dB, 향타기 4.5 dB을 비롯하여 콘크리트 피니셔, 아스팔트 피니셔 등의 정상소음을 발생하는 건설기계류는 5.8 dB을 보인다고 보고되었다⁽³⁾.

장태순 등은⁽⁴⁾ 고속도로 건설공사에서 사용하는 굴삭기, 브레이커, 향타기 등 건설 기계류에서 발생되는 소음 특성에 대하여서도 각각 소음원 7.5 m와 15 m에서 측정하여 평가하였고 브레이커의 소음이 전체 측정 결과에 지배적인 영향을 준다고 하였다.

이와 같이 건설기계류의 소음-진동 특성에 대한 연구나 건설기계의 소음저감기술 등에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 왔으나 건설현장에 종사하는 근로자에 대한 실질적 소음노출 수준 및 소음 감소 대책에 연구는 많이 이루어지지 않았다. 특히 터널의 굴착에 사용되는 일부 건설기계는 소음의 수준이 비교적 높고, 한정된 공간에서 발생하므로 종사 근로자들에 대한 영향이 높을 수 있는 반면에 작업 현장에 대한 접근성 등의 제한으로 발생 소음의 수준에 대한 연구가 쉽지 않은 편이다.

도로공사 작업 근로자에 대하여 누적소음노출량 측정기(noise dosimeter)를 사용하여 시간가중평균(time-weighted average, TWA)으로 평가한 소음노출평가 연구에 의하면 도저운전 근로자는 81.7 dB(A), 그레이더 운전 근로자는 79.6 dB(A), 거푸집 공사 근로자는 74.0 dB(A) 및 82.3 dB(A)의 소음에 노출되었다고 하였으나 이는 터널과 같은 한정된 공간에서 근로자에게 노출되는 소음수준이 아닌 실외 작업에 근무하는 근로자에 대한 측정결과였다⁽⁵⁾.

터널에서 사용하는 기계에서 발생하는 소음을 근로자가 작업하는 위치에서 측정한 결과는 점보드릴에서 평균 113.0 dB(A)으로 가장 높은 소음이 발생하였고, 다음으로 백호, 페이로더, 숏크리트 장비, 그리고 고소작업차에서 각각 평균 99.9 dB(A), 92.4 dB(A), 94.3 dB(A) 및 90.8 dB(A)의 소음이 발생한다고 보고된 바 있다⁽⁶⁾.

이와 같이 터널 작업에 사용되는 건설 기계에서 발생하는 소음수준은 비교적 높은 편이나, 실제 근로자에게 노출되는 소음수준에 대한 연구는 거의 이루어지지 않아 터널 공사작업에 종사하는 근로자들에게 노출되는 소음수준을 파악이 필요하다. 따라서 건설업의 터널작업에 종사하는 근로자를 소음에 의

한 건강장해로부터 보호하기 위한 방안의 마련에 기여하고자 이 연구를 추진하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상

터널작업을 실시하는 국도건설 공사, 지하철 공사 및 철도노반 신설공사현장 5곳에 대하여 터널 내에서 건설기계를 사용하여 작업하는 장비기사 및 터널 공 등 근로자 개인에게 노출되는 소음 수준에 대한 평가를 실시하였다.

현장 노출평가를 실시한 5개의 사업장 중 4개의 사업장은 NATM(New Austrian Tunneling Method) 공법을 사용하였고 1개의 사업장은 SHIELD TBM(tunnel boring machine)공법을 사용하였는데 이 두가지 터널공법에 따른 근로자 소음노출 수준도 비교하여 보았다.

NATM공법은 터널 단면 형성을 위해 폭약에 의한 발파력을 이용하여 지반을 굴진해 나가며, 굴진 과정에서 라이닝 콘크리트 작업이 완료될 때 까지 원지반의 이완으로 인한 지지력 저하의 방지 및 안정성 확보를 위하여 와이어 메시, 락볼트, 숏크리트 등으로 보강하면서 터널을 형성하는 공법이다.

TBM 공법은 발파와 인력에 의존한 NATM 공법과 달리 굴진장비를 이용한 터널 굴착공법으로 쉴드(SHIELD) 공법이 대표적이다. 쉴드 TBM 공법은 커터헤드를 회전시켜 원형터널을 뚫고 굴착 후 허물어지지 않도록 미리 제작된 콘크리트(precaster concrete)로 원호상의 단편(segment)을 이어 붙여서 터널 형상 만드는 공법이다⁽⁶⁾.

2.2 측정 및 분석방법

근로자에게 노출되는 소음은 CASELLA사의 누적소음노출량측정기(Model : CEL-350)를 사용하여 일일 작업시간동안 근로자들에게 노출되는 누적소음노출량(dose)을 측정하였다. 누적소음노출량 측정은 고용노동부고시 제2011-25호(작업환경측정 및 정도관리규정)에 따라 측정기기를 criteria 90 dB, exchange rate 5 dB, threshold 80 dB로 설정하여 측정하고 시간가중평균소음(TWA)으로 평가하였다⁽⁷⁾.

측정대상이 되는 근로자의 귀에 근접한 위치에 누적소음노출량측정기를 설치하여 측정하였으며, 측

정은 작업이 이루어지는 전체 작업시간동안 계속하여 측정하였다.

누적소음은 식 (1)에 의해 측정된 노적소음 노출량을 8시간 시간가중평균 소음수준 값으로 평가하여 1일 8시간 작업 소음노출 기준인 90 dB(A)와 비교하여 노출기준 초과여부를 판단하였다.

$$TWA = 16.61 \log\left(\frac{D}{100}\right) + 90 \quad (1)$$

TWA : 시간가중평균소음(dB(A))
 D : 누적소음 노출량(%)

누적소음 노출량은 전체 작업시간 동안의 누적소음 노출량으로 만약 측정시간이 실제 작업시간 이하라면 다음의 식 (2)에 의해 전체작업시간 동안의 누적노출량으로 환산되어야 한다⁽⁸⁾.

$$D = D' \times \frac{H}{T} \quad (2)$$

D : 전체 작업시간동안의 누적소음노출량(%)
 D' : 실 측정시간동안의 누적소음노출량(%)
 H : 전체 작업시간(Hr)
 T : 실제 측정시간(Hr)

3. 연구 결과

3.1 NATM공법 종사 근로자 소음노출 수준

NATM 터널공법 건설현장 4개소의 종사 근로자들의 직종은 점보드릴 기사(jumbo drill operator), 백호 기사(backhoe operator), 슛크리트 장비 기사(shotcrete machine operator), 차징카라 불리는 고소작업차 기사(high-altitude operation car operator) 및 페이로더 기사(payloader operator) 등 건설 장비를 운전하는 근로자와 기타 터널 공사인부인 터널공(tunneling worker)으로 분류된다. 터널공은 건설 장비를 운전하는 장비기사와 달리 특화된 일정한 작업을 실시하기보다는 터널공사에서 발생하는 부수적인 일에 대한 작업보조의 역할에 가까웠다. 예를 들면 터널 밖에서 철근작업이나 터널 내에서 슛크리트 장비 기사나 점보드릴 기사 등의 보조 역할 및 작업장 정리 등의 업무를 수행하였다.

동일한 공법으로 공사를 수행하여 전반적인 작업내용 및 작업방법은 사업장별로 차이가 없었으나, 근로자 소음 노출평가 당시의 작업공정률 및 작업내용에 따라 공사에 투입되는 건설 장비는 달라져 실제 사업장별로 측정대상이 된 근로자의 직종은 사업장별로 차이가 발생하였다.

근로자들의 근무형태는 하루 2교대 근무로 근무시간은 아침 7시부터 저녁 7시까지의 주간 조와 저녁 7시부터 다음날 아침 7시까지 근무하는 야간조로 약 12시간 정도 작업하였다.

터널공, 백호 기사, 고소작업차 기사 및 페이로더 기사들은 대부분 전체 작업시간 동안 유사한 작업을 꾸준히 실시하고 있어 8시간동안 지속적으로 동일

Table 1 Workers' noise exposure level in company A

No	Type of work	Dose(%)	8Hr- TWA(dB)
1	Backhoe operator	7.60	71.4
2		19.90	78.4
3		10.70	73.9
4		13.70	75.7
5	High-altitude operation car operator	58.80	86.2
6		29.90	81.3
7		15.00	76.3
8	Tunneling worker	158.10	93.3
9		4.10	66.9
10		196.20	94.9
11		55.80	85.8
12		132.90	92.1
13		9.60	73.1
14		62.90	86.7
15		18.90	78.0
16		76.70	88.1
17		46.80	84.5
18		20.40	78.5
19		78.90	88.3
20		16.30	76.9
21		25.30	80.1
22		94.80	89.6
23	113.70	90.9	
24	107.30	90.5	
25	90.10	89.2	
26	Payloader operator	1.40	59.2
27		3.70	66.2
28		7.60	71.4
29		9.90	73.3
30		2.80	64.3
31		12.50	75.0

한 수준의 작업에 의해 소음이 누적되었다고 판단되었다. 따라서 측정된 누적소음 노출량을 8시간 시간가중평균 소음수준(8Hr - TWA)으로 평가하고, 고용노동부 고시(제2012-31호 : 화학물질 및 물리적인 자의 노출기준)에 의하여 1일 8시간 작업에 대한 소음노출 기준인 90 dB(A)와 비교하여 기준 초과여부를 판단하였다.

숏크리트 장비 및 점보드릴 기사는 근무시간 내내 작업을 하는 것이 아니라 작업이 있을 때만 터널 내에서 작업을 하였으며, 통상 작업시간은 2시간 내외였고 나머지 시간은 터널 밖에서 대기하거나 휴게실 등에서 휴식을 취하였다. 따라서 숏크리트 장비 기사와 점보드릴 기사의 경우 작업을 하지 않는 나머지시간 동안에는 80 dB(threshold)를 넘지 않는 소음에 노출된다고 판단하여 실제 터널 내에서 작업이 이루어지고 있는 동안만 소음을 측정 한 후 이를 8시간 시간가중평균 소음수준값으로 환산하여 소음노출 기준과 비교하고 기준 초과여부를 판단하였다.

A 사업장에서는 백호 기사, 고소작업차 기사 및 페이로더 기사 등 건설 장비를 운전하는 근로자와 기타 터널 공사인부인 터널공에 대하여 누적소음 노출량을 측정하였다.

Table 1에서 보듯이 백호 기사는 71.4~78.4 dB(A)의 소음에, 고소작업차 기사는 76.3~86.2 dB(A)의 소음에, 터널공은 66.9~94.9 dB(A)의 소음에, 그리고 페이로더 기사는 59.2~75.0 dB(A)의 소음에 노출되었다.

A 사업장에서는 17명의 터널공 중 5명의 근로자가 소음 노출기준 이상인 90 dB(A) 이상의 소음에 노출되었으며, 건설기계 운전자를 포함한 나머지 근로자들은 기준 이하의 소음에 노출되고 있었다. B 사업장에서는 백호 기사, 숏크리트 장비 기사, 점보드릴 기사 및 페이로더 기사 등의 건설장비 운전 근로자 및 터널공에 대하여 누적소음 노출량을 측정하였다.

B 사업장에서는 Table 2와 같이 백호 기사는 70.2~84.6 dB(A)의 소음에 노출되었으며, 숏크리트 장비 기사는 68.2 dB(A)의 소음에 노출되었다. 점보드릴 기사는 82.5~84.2 dB(A)의 소음에, 터널공은 78.0~94.0 dB(A)의 소음에, 그리고 페이로더 기사는 65.9~81.3 dB(A)의 소음에 노출되었다.

B 사업장에서도 터널공 11명 중 3명이 90 dB(A)

Table 2 Workers' noise exposure level in company B

No	Type of work	Dose(%)	8Hr- TWA(dB)
1	Backhoe operator	7.50	71.3
2		6.50	70.2
3		47.60	84.6
4		39.90	83.4
5	Shotcrete machine operator	4.90	68.2
6	Jumbo drill operator	44.80	84.2
7		44.20	84.1
8		40.90	83.5
9		35.60	82.5
10		44.80	84.2
11		37.30	82.9
12		36.60	82.8
13		41.20	83.6
14		42.20	83.8
15		Tunneling worker	33.60
16	67.10		87.1
17	45.20		84.3
18	135.30		92.2
19	91.40		89.4
20	96.30		89.7
21	102.00		90.1
22	89.70		89.2
23	24.60		79.9
24	174.20		94.0
25	19.00	78.0	
26	Payloader operator	20.40	78.5
27		30.10	81.3
28		18.20	77.7
29		3.50	65.9
30		10.90	74.0

이상의 소음에 노출되었으며, 나머지 근로자들은 노출기준 이하의 소음에 노출되는 것으로 나타났다. C 터널 현장에서는 숏크리트 장비 및 페이로더를 운전하는 기사 및 터널공에 대하여 누적소음 노출량을 측정하였다.

C 사업장에서는 Table 3에서 보듯이 숏크리트 장비 기사는 71.5~74.7 dB(A)의 소음에, 터널공은 69.8~94.3 dB(A)의 소음에, 페이로더 기사는 68.2~76.9 dB(A)의 소음에 노출되었다.

C 사업장에서도 터널공 10명 중 4명만 90 dB(A) 이상의 소음에 노출되었으며, 나머지 근로자들에 대

Table 3 Workers' noise exposure level in company C

No	Type of work	Dose(%)	8Hr- TWA(dB)
1	Shotcrete machine operator	7.60	71.5
2		12.00	74.7
3		148.10	92.8
4	Tunneling worker	25.60	80.2
5		130.80	91.9
6		181.10	94.3
7		29.40	81.2
8		142.10	92.5
9		10.00	73.4
10		6.10	69.8
11		47.90	84.7
12		9.10	72.7
13		Payloader operator	16.40
14	4.89		68.2

해서는 노출기준 이하의 평가 결과가 나타났다. D 사업장에서는 백호 기사, 고소작업차 기사 및 페이로더 기사 등의 건설장비 운전 근로자와 터널공에 대하여 누적소음 노출량을 측정하였다.

D 사업장에서는 Table 4와 같이 백호 기사는 71.0~83.0 dB(A)의 소음에 노출되었으며, 고소작업차 기사는 77.4 dB(A)의 소음에 터널공은 70.8~92.7 dB(A)의 소음에 그리고 페이로더 기사는 69.2~82.8 dB(A)의 소음에 노출되었다.

D 사업장에서도 터널공 17명 중 4명이 90 dB(A) 이상의 소음에 노출되었으며, 나머지 근로자들은 노출기준 이하의 소음에 노출되는 것으로 나타났다.

3.2 TBM공법 종사 근로자 소음노출 수준

쉴드 TBM 터널공법 건설현장 종사 근로자들의 직종은 터널 굴진장비를 조작하는 쉴드 기사(shield operator), 쉴드 기사를 보조하여 쉴드 굴착부에서 작업하는 쉴드 터널공(shield worker), 쉴드 굴진에 의해 발생한 버력을 운반하는 기관차 기사(locomotive operator), 기관차를 통해 운반된 버력을 상부로 이동하기 위한 수직구 크레인에서 버력상자를 크레인에 체결하는 등 관련 작업을 수행하는 수직구 크레인 작업자(vertical shaft crane worker) 그리고 그 밖의 작업 작업을 수행하는 터널공(tunneling worker)로 구분되었다.

쉴드 TBM 터널현장인 E 사업장도 NATM 공법

Table 4 Workers' noise exposure level in company D

No	Type of work	Dose(%)	8Hr- TWA(dB)	
1	Backhoe operator	7.20	71.0	
2		14.40	76.0	
3		26.00	80.3	
4		30.10	81.3	
5		31.20	81.6	
6		34.20	82.3	
7		38.00	83.0	
8	High-altitude operation car operator	17.40	77.4	
9	Tunneling worker	7.00	70.8	
10		12.50	75.0	
11		13.00	75.3	
12		13.20	75.4	
13		16.10	76.8	
14		37.00	82.8	
15		39.80	83.3	
16		42.70	83.9	
17		42.80	83.9	
18		62.20	86.6	
19		68.10	87.2	
20		74.40	87.9	
21		76.90	88.1	
22		105.10	90.4	
23		113.90	90.9	
24		140.90	92.5	
25		144.90	92.7	
26		Payloader operator	5.60	69.2
27			15.50	76.6
28	24.40		79.8	
29	36.90		82.8	

현장과 마찬가지로 근로자들의 근무형태는 하루 2교대 근무로 근무시간은 아침 7시부터 저녁 7시까지의 주간 조와 저녁 7시부터 다음날 아침 7시까지 근무하는 야간조로 작업하였다.

쉴드 TBM 공법에서는 거의 대부분의 근로자들이 전체 작업시간 동안 매우 유사한 작업을 꾸준히 실시하고 있어 8시간동안 지속적으로 동일한 수준의 작업에 의해 소음이 누적되었다고 판단되었다. 따라서 측정된 누적소음 노출량을 8시간 시간가중평균

Table 5 Workers' noise exposure level in company E

No	Type of work	Dose(%)	8Hr- TWA(dB)
1	Locomotive operator	32.10	81.8
2		35.60	82.6
3		36.50	82.7
4		39.80	83.4
5		60.80	86.4
6		62.20	86.6
7		62.00	86.6
8		64.70	86.9
9		67.60	87.2
10		69.80	87.4
11	Shield operator	74.00	87.8
12		9.70	73.2
13		15.50	76.6
14		23.20	79.5
15		25.20	80.1
16	Shield worker	36.60	82.7
17		45.30	84.3
18		51.40	85.2
19		59.60	86.3
20		76.10	88.0
21	Tunneling worker	22.30	79.2
22		24.40	79.8
23		28.30	80.9
24		29.20	81.1
25		35.40	82.5
26		35.70	82.6
27		36.20	82.7
28		38.00	83.0
29		38.60	83.1
30		39.80	83.3
31		42.00	83.8
32		45.40	84.3
33		48.80	84.8
34		53.80	85.5
35	59.40	86.2	
36	58.80	86.2	
37	88.00	89.1	
38	87.80	89.1	
39	95.20	89.6	
40	104.40	90.3	
41	207.40	95.3	
42	Vertical shaft crane workers	31.40	81.6
43		34.30	82.3
44		35.20	82.5
45		35.30	82.5
46		43.40	84.0
47		45.20	84.3

소음수준(8Hr - TWA)으로 평가하고 1일 8시간 작업 고용노동부의 소음노출 기준인 90 dB(A)와 비교하여 기준 초과여부를 판단하였다.

Table 5에서 보듯이 기관차 기사는 81.8~87.8 dB(A)의 소음에 노출되었으며, 쉴드 기사는 73.2~80.1 dB(A)의 소음에, 쉴드 터널공은 82.7~88.0 dB(A)의 소음에, 수직구 크레인 작업자는 81.6~84.3 dB(A)의 소음에 그리고 터널공은 79.2~95.3 dB(A)의 소음에 노출되었다.

E 사업장에서도 터널공 21명 중 2명이 90 dB(A) 이상의 소음에 노출되었으며, 나머지 근로자들은 노출기준 이하의 소음에 노출되는 것으로 나타났다.

4. 고 찰

터널작업 종사 근로자이 노출되는 소음수준에 대해서 터널공법 및 직종별 차이점을 보기 위해 PASW 18.0(IBM사, 미국) 통계프로그램을 활용하여 분석을 실시하였다.

NATM 공법으로 터널공사를 시행하는 A사업장 근로자들에게 노출되는 소음수준의 평균은 80.0 dB(A), 표준편차는 9.2 dB(A), B사업장 근로자들에게 노출되는 평균소음수준은 82.1 dB(A), 표준편차는 6.7 dB(A), C사업장 근로자들에게 노출되는 평균 소음수준은 80.3 dB(A), 표준편차는 8.4 dB(A)이었고, D사업장 근로자들은 평균 81.5 dB(A)에 소음에 노출되었고 표준편차는 6.4 dB(A)였다. 그리고 NATM 공법으로 작업을 하는 현장 전체 근로자에게 노출되는 소음의 평균은 81.1 dB(A), 표준편차는 7.7 dB(A)였다.

쉴드 TBM 공법으로 터널공사를 시행하는 E사업장 근로자들에게 노출되는 소음수준의 평균은 84.1 dB(A)이고 표준편차는 3.7 dB(A)였다.

자료의 정규성 검정결과 두 공정 모두 Kolmogorof-Smirnof 검정에서 유의확률이 0.05 이상으로 정규성을 만족하였다. 공법 간 소음수준 비교를 위해 독립표본 T-검정을 실시한 결과 등분산성의 유의확률은 0.05이하로 등분산이 가정되지 않았으며, 등분산이 가정되지 않은 경우의 T-검정에 대한 유의확률은 0.012로 통계적으로 두 공법 간에 유의한 차이는 있는 것으로 나타났다.

Fig. 1에는 2개 터널공법에 따른 근로자 노출 소음

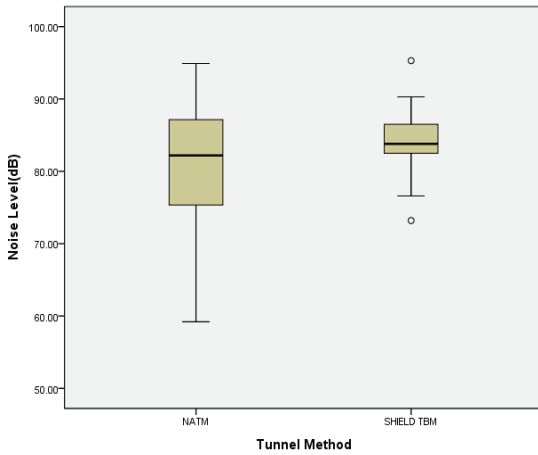


Fig. 1 Box plot for tunnel method

Table 6 Noise exposure level by type of work

Type of work	8Hr-TWA (dB)	Range	Arithmetic mean TWA (dB)	Standard deviation (dB)	
NATM method	Tunneling worker	66.9 ~ 94.9	28.0	84.7	7.2
	Jumbo drill operator	82.5 ~ 84.2	1.7	83.5	0.6
	Backhoe operator	70.2 ~ 84.6	14.4	77.6	5.1
	Shotcrete machine operator	68.2 ~ 74.7	6.5	71.5	3.2
	high-altitude operation car operator	76.3 ~ 86.2	9.9	80.3	4.5
	Payload operator	59.2 ~ 82.8	23.0	73.0	6.6
Shield TBM method	Locomotive operator	81.8 ~ 87.8	6.0	85.4	2.3
	Shield operator	73.2 ~ 80.1	6.9	77.4	3.2
	Shield worker	82.7 ~ 88.0	5.3	85.3	2.0
	Tunneling worker	79.2 ~ 95.3	16.1	84.9	4.0
	Vertical shaft crane workers	81.6 ~ 84.3	2.7	82.9	1.1

수준에 대한 결과를 상자그림으로 도시하였다. 상자 그림의 가운데 선은 중위수를 나타내고 있다.

각 공법별 터널작업 근로자의 직종 간의 소음노출 수준을 파악하기 위해 Table 6에 직종별 소음노

Table 7 Results of Duncane post hoc analysis

No	Type of work	N	Subgroup at $p=0.05$		
			1	2	3
1	Shotcrete machine operator	3	71.4667		
2	Payload operator	17	72.9588		
3	Shield operator	4	77.3500	77.3500	
4	Backhoe operator	15	77.6267	77.6267	
5	high-altitude operation car operator	4		80.3000	80.3000
6	Vertical shaft crane workers	6		82.8667	82.8667
7	Jumbo drill operator	9		83.5111	83.5111
8	NATM tunneling worker	56			84.6500
9	Shield tunneling worker	21			84.8762
10	Shield worker	5			85.3000
11	Locomotive	11			85.4000
Significant level			.064	.071	.152

출수준에 대한 결과를 종합하여 범위, 평균 및 표준편차를 제시하였다.

NATM 공법의 터널공에게 노출되는 소음수준은 66.9~94.9 dB(A)이었고, 점보드릴 기사들은 82.5~84.2 dB(A)의 소음에 노출되어 점보드릴 작업자의 편차가 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 이는 다른 직종과 달리 1개 사업장에서만 측정된 결과값에 영향을 받은 것으로 판단된다.

백호 기사에게 노출되는 소음수준은 70.2~84.6 dB(A)였으며, 슛크리트 장비 기사는 68.2~74.7 dB(A), 고소작업차 기사는 76.3~86.2 dB(A), 페이로더 기사는 59.2~81.3 dB(A)의 소음에 노출되었다.

쉴드 TBM 공법의 기관차 기사는 81.8~87.8 dB(A)의 소음에 노출되었으며, 쉴드 기사는 73.2~80.1 dB(A)의 소음에, 쉴드 터널공은 82.7~88.0 dB(A)의 소음에, 수직구 크레인 작업자는 81.6~84.3 dB(A)의 소음에 그리고 터널공은 79.2~95.3 dB(A)의 소음에 노출되었다.

직종별 근로자 소음노출 수준 차이를 확인하기 위해 일원배치 분산분석을 실시한 결과 $p=0.000$ 로 직

종간의 소음노출에 매우 유의한 차이가 있었다.

분산분석에서 각 직종별로 Duncane의 사후분석을 실시한 결과는 Table 7에 정리되어 있다. Table 7의 결과를 살펴보면 숏크리트 장비 기사, 페이로더 기사, 쉘드 기사 및 백호 기사 간에는 평균에 유의한 차이가 없으며 쉘드 기사, 백호 기사, 고소작업차 기사, 수직구 작업자 및 점보 기사 간에도 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 고소작업차 기사, 수직구 작업자, 점보드릴 기사 NATM 공법 터널공 및 쉘드 TBM 공법 터널공 및 쉘드 작업자와 기관차 기사 간에도 유의성이 없는 것으로 나타났다.

다른 직종 상호간에는 소음노출 수준에 유의성이 있는 것으로 분석되고 있다. Fig. 2에서는 직종별 노출 수준을 상자그림으로 도시하여 상호 비교가 가능하도록 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 숏크리트 장비 기사 및 페이로더 기사와 터널공 및 기관차 기사 간의 소음 노출수준 차이를 뚜렷하게 확인할 수 있다.

이러한 직종별 차이는 터널공이 실제로 수행하고 있는 작업과 연관이 큰 것으로 보인다. 터널공의 경우, 이 직종 작업자의 작업형태는 특화된 일정한 작업을 실시하기보다는 터널공사에서 발생하는 부수적인 일에 대한 작업보조의 역할에 가까웠다. 예를 들면 터널 밖에서 철근작업이나 터널 내에서 숏크리트 장비 기사나 점보드릴 기사 등의 보조 역할 및 작업장 정리 등의 업무를 수행하였다. 특히, NATM 공법에서 일부 터널공들은 점보드릴의 붐이 직접 암벽을 굴착하는 부분에서 보조작업을 하기도 하였는데 이들 근로자들은 비교적 높은 소음에 노출되었으며, 고소음 장비 근처에서 작업하는 빈도가 적은 근로자들은 비교적 낮은 소음에 노출된 것으로 판단된다.

점보드릴 기사들은 발파 작업 전 화약을 장약하기 위한 굴착작업 시에만 2시간 전후 터널 내에서 작업을 하였고 작업이 없을 때는 터널 밖에서 대기하였다. 점보드릴에서 발생하는 소음이 타 장비에 비해 높음에도 불구하고 개인 누적소음 노출량에 있어서는 타 장비 기사들에 대한 소음 노출량과 큰 차이가 없는 것은 작업시간이 비교적 짧은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 점보드릴 작업에 투입되는 터널공들은 높은 소음수준에 노출되는 반면 점보드릴 기사들은 밀폐·차폐된 운전석에서 주로 장비

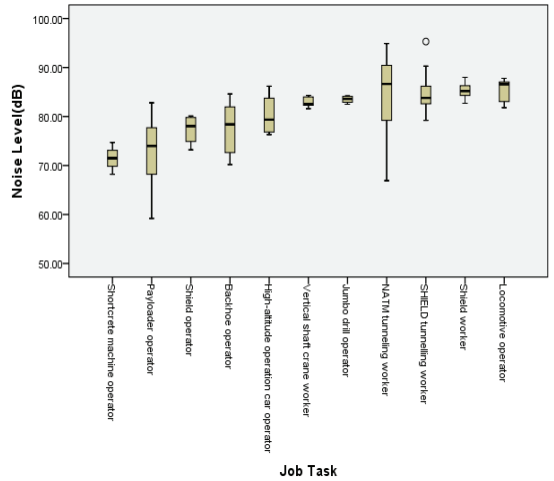


Fig. 2 Box plot for type of tunnel workers

를 조작하여, 외부에서 발생하는 소음이 감소되어 전달됨으로서 터널공들에 비해 낮은 소음에 노출되었다.

따라서 가급적이면 점보드릴 붐대가 암벽을 굴착하는 부분에는 터널공을 투입하지 않는 것이 바람직하며, 불가피하다면 특정 근로자만 점보드릴 작업에 투입하지 말고 터널공을 교대로 투입한다면 개인별로 노출되는 소음수준을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

점보드릴 기사 및 숏크리트 장비 기사를 제외한 대부분의 장비기사들은 근로시간 동안 지속적으로 작업을 실시하였지만 근로시간과 작업 특성에 따라 직종 간에 특성이 있는 소음노출 결과를 보였다.

쉘드 TBM 공법의 터널공 중 쉘드 굴착 부분에 쉘드 기사를 보조하는 터널공은 동 작업만을 실시하여 쉘드 작업자로 별도 분류하여 일반 터널공과 비교하였다. 쉘드 TBM 공법의 일반 터널공과 쉘드 작업자의 평균소음수준은 큰 차이가 없었다. 다만, NATM 공법 터널공 중 90 dB(A)를 초과하는 소음에 노출되는 근로자는 대부분 터널 굴착 부근에서 작업하는 근로자였으나, 쉘드 TBM 공법의 굴착 부위에서 작업하는 쉘드 작업은 90 dB(A) 이하의 소음에 노출되었다.

쉘드 TBM 터널공 중 90 dB(A) 이상의 소음에 노출되는 근로자는 2명으로 같은 공정에서 주간 및 야간조로 원료배합 작업 등을 하였다. 이들의 작업 공간은 버력을 실어 나르는 기관차 레일 옆의 공간

으로 컴프레샤 등이 있었으며, 분진에 의한 영향을 감소시키기 위해 비닐 커튼으로 밀폐되어 있었다.

정형식⁹⁾ 등에 의하면 TBM 공법은 기계화된 공정으로 인하여 경제적인 뿐만 아니라 공사기간의 단축이라는 이점과 함께 공학적인 측면에서 여굴의 방지, 소음 및 분진 발생 감소 등의 장점이 있다고 하였다. TBM 공법은 발파 및 천공 등의 작업이 없어 작업장에서 발생하는 소음수준, 특히 환경적인 측면에서의 소음 수준은 NATM 공법에 비해 낮을 수 있으나, 이 연구에서 보듯이 근로자에게 노출 되는 소음수준에 있어서는 TBM 공법에 종사하는 근로자의 소음수준이 NATM 공법 근로자보다 더 높았다.

NATM 공법의 주요 소음원인 발파 작업 시 모든 근로자들이 발파 지점과 멀리 떨어진 안전한 지대에 대피한 상태에서 발파를 하고 있었으며, 건설장비 기사들은 별도의 밀폐·차폐된 운전석에서 작업을 하여 NATM 공법에서 발생하는 실제 소음은 TBM 공법에 비하여 높을 수 있으나 근로자들에게 노출되는 소음수준은 높지 않은 것으로 판단되었다.

발파에 의한 NATM 공법과 달리 굴진장비를 이용한 쉘드 TBM 공법에서는 실제 굴착면에서 발생하는 소음 및 굴착면에서 작업하는 근로자들에게 노출되는 소음 수준은 높지 않았으나, 쉘드 TBM 공법에 따른 부대시설인 버력을 처리하기위한 컨베이어 벨트나 기관차 등에서 발생하는 소음이 근로자에 노출 수준에 영향을 준 것으로 판단되었다.

이 연구에서는 터널건설현장에서 소음에 노출되는 근로자에 대해 보고된 문헌상의 자료는 국내외에서 찾기가 어려워 타 자료와 이 연구의 결과를 상호 비교하여 기술하기 어려운 제한점이 있었고 특히, 쉘드 TBM 공법을 사용한 터널공사가 현재 국내에서는 활발히 이루어지지 않아 동 공법을 사용한 현장에 대한 측정이 1개소만 이루어진 제한점이 있었다.

5. 결 론

건설현장의 터널 굴착에 사용되는 일부 건설기계는 소음의 발생수준이 비교적 높고, 제한된 작업 공간에서 발생하므로 종사 근로자들에 대한 영향이 높을 수 있는 반면에 측정을 위한 현장 접근성 등의 제한으로 발생 소음의 수준에 대한 연구가 잘 이루어

어지지 못한 편이다. 이에 터널 작업에 종사하는 근로자들이 노출되는 소음수준을 파악하여, 터널작업에 종사하는 근로자의 소음으로 인한 건강장해 예방에 기여하고자 하였다.

현장 노출평가를 실시한 5개의 사업장 중 4개의 사업장은 NATM공법을 사용하였고 1개의 사업장은 SHIELD TBM공법을 사용하였다.

NATM 공법의 터널공에게 노출되는 소음수준은 66.9~94.9 dB(A)이었고, 점보드릴 기사들은 82.5~84.2 dB(A)의 소음에 노출되었다. 백호 기사에게 노출되는 소음수준은 70.2~84.6 dB(A)였으며, 슛크리트 장비 기사는 68.2~74.7 dB(A), 고소작업차 기사는 76.3~86.2 dB(A), 페이로더 기사는 59.2~81.3 dB(A)의 소음에 노출되었다. 전체 측정대상 근로자 104명 중 90 dB(A)를 초과하는 소음에 노출된 근로자는 16명으로 15.4%이었으며, 모두 터널공이었다.

쉘드 TBM 공법의 기관차 기사는 81.8~87.8 dB(A)의 소음에 노출되었으며, 쉘드 기사는 73.2~80.1 dB(A)의 소음에, 쉘드 터널공은 82.7~88.0 dB(A)의 소음에, 수직구 크레인 작업자는 81.6~84.3 dB(A)의 소음에 그리고 터널공은 79.2~95.3 dB(A)의 소음에 노출되었다. 전체 측정대상 근로자 47명 중 90 dB(A)를 초과하는 소음에 노출된 근로자는 2명으로 4.3%이었으며, 모두 터널공이었다.

이와 같이 90 dB(A)를 초과하는 소음수준에 노출되는 근로자 비율은 NATM 공법이 더 높았으나, 근로자들에 노출되는 평균 소음수준은 쉘드 TBM 공법이 84.1 dB(A)로 NATM 공법의 81.1 dB(A)보다 높았다.

현재까지 국내 터널공사 현장에서 TBM공법의 활용은 1%에 미만이거나 기존의 발파공사에 비해 안전하고 소음이 적고 최근 TBM 기술의 국산화 성공 등으로 TBM 공법을 활용한 터널 공사가 크게 늘어날 전망이다¹⁰⁾.

소음 노출기준인 90 dB(A) 이하로 소음수준을 관리한다는 관점에서, 노출기준 초과 근로자 비율로 판단할 때 쉘드 TBM 공법이 NATM 공법에 비해 근로자에게 노출되는 소음수준을 기준 이하로 관리하는데 더 유리하다고 판단되나, 쉘드 TBM 터널 공법으로 공사하는 현장이 많지 않아 1개 현장만 측정결과로 평가한 점은 이 연구의 제한점으로 향후 TBM 공법을 활용한 터널시공이 더 활발해져 TBM 공사 현장

이 많아지면 동 공법 종사 근로자 소음노출 수준에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

(1) Kwon, Y. J., 2005, Research on the Risk Assessment of Hazardous Substances and Health Management of Workers in Construction site, Ministry of Employment and Labor.

(2) Lee, I. S., Park, H. H. and Seo, H. K., 2011, Development of Applicable Health Management Manual for Construction Business, Occupational Safety and Health Research Institute.

(3) Kang, D. J., Lee, W. S., Lee, J. W. and Hong, J. K., 2005, Characteristic of Construction Machinery Noise and Vibration, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 645~651.

(4) Jang, T. S., Kang, H. M., Kim, C. H., Lee, K. J., Lee, J. K. and Yoon, J. W., 2007, A Study on the Characteristic of Expressway Construction Noise, Proceeding of the Korean Society of Environmental Engineers Annual Fall Conference, pp. 1649~1652.

(5) Choi, J. Y., Mun, J. S., Won, J. I. and Park, H. C., 2000, Health Hazardous Substances in Construction Work in Korea, J Korean Soc Occup Environ Hyg, Vol. 10, No. 1, pp. 74~92.

(6) Jang, J. K., Kim, K. B. and Park, H. H., 2012, Development of Applicable Health Management Manual for Construction Business II-civil Engineering Project, Occupational Safety and Health Research Institute.

(7) Notification No. 2011-13 of Ministry of Employment and Labor, 2011, Threshold Limit Values of Chemical Substances and Physical Substances.

(8) Berger, E. H., Royster, L. H., Royster, J. D., Driscoll, D. P. and Layne, M., 2003, The Noise Manual, AIHA Press, Virginia, Chap. 7.

(9) Chung, H. S., Lee, S. H. and Park, J. B., 1995, A Study on the Excavation Efficiency in Rock Mass Applied TBM Method, Korean Geological Society, Vol. 11, No. 1, pp. 51~61.

(10) <http://www.kict.re.kr/cs/article.asp?page=3&bidx=13594&SFIELD=>XT=&scate=&bgn=R&gbn=A04>



Kab Bae Kim,

Education : BS, Environmental Science, Keimyung University, Daegu, Korea, 1999. MSc, Sound and Vibration Studies, ISVR, Southampton, U.K., 2008.

Job Experience : Korea Occupational Safety and Health Agency (2000~Current). Certification : Engineering in occupational hygiene of Korea.



Jae-Kil Jang, PhD, CIH

Education : M.Ph., Environmental Health, Seoul National University, Seoul, Korea, 1987. M.S., Safety and Health Science, University of Southern California, California, USA, 1994. Ph.D., Public Health/

Environmental and Occupational Health, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL, USA, 2001.

Job Experience : Korea Occupational Safety and Health Agency(1984~Current). Certification : Certified Industrial Hygienist(CIH) of USA, Professional engineering in occupational hygiene of Korea.