

건설장비에 의한 터널작업의 소음환경 실태

Noise Generation Characteristic for Tunnel Construction Equipments

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

(Received July 11, 2013 ; Revised September 6, 2013 ; Accepted September 6, 2013)

Key Words : Construction Equipment(건설기계), Tunneling Work(터널작업), Sound Level Meter(지시소음계), Noise Level(소음수준), Insulation Effect(차음효과)

ABSTRACT

Workers engaged in construction works have been exposed to high levels of noise during their work in tunnels. Noise is one of the major health hazards for employees working in construction sites. The aim of this study is to evaluate the noise levels generating from tunneling equipments such as jumbo drills, backhoes, payloaders, shotcrete machines and service cars. Explosion and turbo fan noises were also monitored. A high precision sound level meter was introduced for measuring LAeq, LAFmax, LAFmin and LCpeak noises in 5 tunneling work sites that were located in Seoul, Kyunggi-do and Kangwon-do areas with NATM and shield methods. The highest noise was recorded by explosion(151.9 dB LCpeak) followed by jumbo drills of higher than 110 dB(A) LAeq. Backhoe normally generated 90~110 dB(A) LAeq while breaking work of rock showed additional around 5~15 dB(A). Noise exposure levels for payloaders and shotcrete machine scored more than 90 dB(A) which might be a source of noise-induced hearing loss. Additional research in revealing noise levels from construction equipments operating in tunneling works may enhance the protection of workers who exposed to noise primarily at the sites.

1. 서 론

건설업에서는 다양한 기계와 장비가 사용되고 있으며 종사하는 근로자도 여러 유해인자에 노출되고 있다^(1,2). 특히 터널작업은 공정의 특성상 발파와 천 공작업이 필수적이어서 일부 터널건설 근로자의 경우 작업 중 90 dB(A)의 노출기준을 초과하는 소음에 노출될 수 있음이 보고되기도 하였다^(3,4).

건설장비의 소음은 미국 환경부(United States-

Environmental Protection Agency, US-EPA)가 57종 건설장비 소음을 측정하여 소형 트럭의 최소 55 dB(A)에서 항타기의 최대 95 dB(A)까지를 보고한 바 있다⁽⁵⁾. 국내에서는 강대준 등이 34종의 건설장비를 대상으로 콘크리트 펌프차의 64.3 dB(A)에서 브레이커의 95.7 dB(A)까지로 보고하였다⁽⁶⁾.

우리나라 터널건설에 있어서 소음도의 조사와 연구는 환경문제와 관련하여 여러 가지 평가방법과^(7,8) 대책들이⁽⁹⁻¹¹⁾ 제시되고 있다. 실제로 터널 내 소음은 사용되는 기계음 뿐만 아니라 터널 벽면에서의

† 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

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

반사음 등의 영향이 존재하므로 예측치나 시뮬레이션 결과를 활용하는 경우가 많으며 외국의 경우도 유사하여 환경소음 문제와 대책에 관심이 있으나 현장 실측값을 활용하는 경우는 적었다⁽¹²⁻¹⁴⁾.

이와 같이 건설 기계류의 소음에 대해서는 일부 연구가 진행되었으나 터널 건설장비의 소음에 대한 실측자료는 매우 제한적이다. 또한 장비에서 발생하는 소음도 중요하지만 지질이나 터널의 형태와 같은 현장 조건과 작업의 양태에 따라 소음수준이 차이나므로 결과의 해석도 쉽지 않은 편이다⁽¹¹⁾.

터널에서 발생하는 소음은 음에 노출되는 근로자가 1차적인 보호 대상이므로 이에 대한 현장 평가가 중요하다. 따라서 이 연구에서는 터널작업에 종사하는 근로자를 소음에 의한 건강장해로부터 보호할 수 있는 방안의 수립을 위한 자료를 제공하고자 현장에서 가동되고 있는 터널 건설장비로부터 발생하는 소음의 수준을 직접 측정하여 평가 하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상

이 연구에서 측정의 대상이 된 터널현장은 고속국도건설 공사(1개소) 지하철 공사(2개소) 및 철도노반 신설공사(2개소) 등 5곳이었다. 지역적으로는 서울시에 1곳, 경기도에 2곳, 인천에 1곳 및 강원도에 소재한 1곳의 건설현장이 포함되었다. 각 건설현장의 특성을 정리하면 Table 1과 같다. 대상 터널의 시공 공법상으로 보게 되면 NATM(New Austrian Tunnel Method)을 사용하는 현장이 4개소였으며 천공과 발파가 없는 비교적 최신의 쉴드(shield) 공법을 적용한 현장이 1개소가 포함되었다.

2.2 연구 방법

조사 대상 터널 내에서 가동되고 있는 건설장비로부터 발생하는 소음수준을 측정자의 안전을 고려하여 장비의 3~5m 이내 최대한 가까운 위치에서 측정하였다. 측정시간은 각각의 장비가 실제로 가동되는 시간을 기준으로 짧게는 수초에서 길게는 1분 내외로 하였다. 사용된 장비는 덴마크 B&K사의 지시소음계(Hand-held Analyzer Type 2250)이었다.

고용노동부의 고시에 따라 A특성 청감보정회로와

Table 1 Characteristics of construction site subjects

Name of site	Location	Class of construction	Type of tunnel construction	Soil type	Tunnel Shape (H×W)
A	Kyungi-do	Railroad	NATM*	Rock	Oval (8×10 m)
B	Kangwon-do	Highway	NATM*	Rock	Oval (8×13 m)
C	Incheon	Subway	NATM*	Rock	Oval (7×9.5 m)
D	Kyungi-do	Railroad	NATM*	Rock	Oval (8×10 m)
E	Seoul	Subway	Shield	Silt	Round (7.5×10 m)

* NATM : New Austrian Tunnel Method

느린 지시침 동작을 적용하였다⁽¹⁵⁾. 아울러 빠른 지시침 상태의 A특성의 최고음과 최소음을 기록하는 LAFmax와 LAFmin을 측정하였다. 또한 전 주파수를 거의 동일하게 가중하는 C특성 순간최고음압수준인 LCpeak도 측정하여 소음특성을 종합적으로 파악할 수 있도록 하였다. 지시소음계에 기록된 음은 제조사(B&K사)가 제공하는 소프트웨어(BZ 5503 Measurement Partner Suite)를 사용 분석하였다.

측정대상 터널 건설장비는 현장에서 널리 사용되는 점보드릴(jumbo drill), 백호(backhoe), 페이로더(payloader), 쏫트기(shotcrete machine), 차징카(service truck) 등으로 하였으며 일부 현장에서는 발파에 따른 소음과 배풍기의 배출소음도 측정하였다. 쉴드 공법 현장에 대해서는 쉴드 앞, 쉴드 유압기 가동 및 쉴드 컨베이어 부근과 현장 내부에서 토사의 처리를 위해 운행하고 있는 소형 기관차와 환기용 배풍기의 배출음에 대한 측정을 실시하였다.

3. 연구 결과

A 작업장에서는 점보드릴, 쏫트기 및 터보팬에 대한 소음도가 측정되었다. 점보드릴의 암반천공 시 측정된 A특성 등가소음은 평균 114.8 dB(A)에 해당하였고 LAFmax의 평균은 116.0 dB(A)에 도달하였다. C특성 순간최고음압수준을 나타내는 LCpeak의 평균은 128.0 dB(C)을 기록하였다. 콘크리트 뿔칠 등에 이용되고 있는 쏫트기의 A특성 등가소음과 C특성의 순간최고음의 평균은 93.1 dB(A)와 116.3 dB(C)이었다(Table 2).

대부분의 터널 건설현장에서 발파로 인해 발생되

Table 2 Noise levels generating from tunnel construction equipments at site A

Tunnel equipment	n*	Data type	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB(A)]	LAFmin [dB(A)]	LCpeak [dB(C)]
Jumbo drill	10	Range	112.9~115.4	114.4~116.6	110.2~114.0	125.9~129.1
		Mean	114.8	116.0	112.5	128.0
Shortcrete M/C	4	Range	92.6~93.9	95.7~97.6	90.9~92.3	115.8~116.1
		Mean	93.1	96.5	91.5	116.3
Turbo fan	3	Range	90.4~91.0	91.8~94.3	89.4~89.9	111.2~112.7
		Mean	90.8	92.7	89.6	111.9

* number of samples

Table 3 Noise levels generating from tunnel construction equipments at site B

Tunnel equipment	n*	Data type	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB(A)]	LAFmin [dB(A)]	LCpeak [dB(C)]
Jumbo drill	5	Range	102.6~111.6	105.4~118.8	102.0~110.4	117.0~129.1
		Mean	106.7	110.6	105.8	121.5
Shortcrete M/C	3	Range	95.0~101.4	99.0~109.9	81.3~93.0	118.0~121.6
		Mean	98.2	105.4	87.2	119.8
Payloader	4	Range	88.6~97.8	94.4~116.2	82.6~93.7	117.3~133.6
		Mean	93.2	104.5	88.0	124.7
Backhoe (Rock breaking)	4	Range	103.6~108.8	110.9~114.9	85.5~86.8	127.6~133.6
		Mean	106.2	112.9	86.2	130.6
Service car	4	Range	87.5~96.5	96.0~106.5	80.5~93.7	114.6~122.1
		Mean	90.1	100.2	85.3	117.2
Explosion	2	Range	112.9~115.2	140.3~143.8	42.5~51.3	151.9~151.9
		Mean	114.1	142.1	46.9	151.9

* number of samples

는 분진을 제거하기 위해 사용하는 터보형 배풍기 소음의 측정은 배출구 가까이에서 총 3회 이루어졌다. LAeq, LAFmax 및 LCpeak의 평균은 90.8 dB(A), 92.7 dB(A) 및 111.9 dB(C)로 조사되었다.

B 작업장의 점보드릴 소음의 평균은 LAeq가 106.7 dB(A)이었으며 LCpeak는 121.5 dB(C)의 평균을 나타내었다. 숏트기의 경우 평균으로 A특성 등가소음은 98.2 dB(A)이었으며, C특성 순간최고음압수준은 119.8 dB(C)이었다.

Table 4 Noise levels generating from tunnel construction equipments at site C

Tunnel equipment	n*	Data type	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB(A)]	LAFmin [dB(A)]	LCpeak [dB(C)]
Jumbo drill	4	Range	106.3~107.5	108.5~112.3	90.4~102.6	120.9~123.7
		Mean	107.0	110.7	95.7	122.6
Shortcrete M/C	3	Range	91.6~91.8	94.6~95.1	89.6~89.7	118.7~119.4
		Mean	91.7	94.9	89.7	119.1
Backhoe	4	Range	96.3~100.2	106.0~108.0	92.0~99.2	112.5~117.4
		Mean	98.4	106.9	94.9	114.2

* number of samples

페이로더의 LAeq는 평균 93.2 dB(A)이었으며 LCpeak의 평균은 124.7 dB(C)로 나타났다. 백호에 대해서는 이 장비가 현장에서 암석 굴진 브레이킹 작업을 실시할 때 측정되었다. LAeq, LAFmax 및 LCpeak의 평균은 각각 106.2 dB(A), 112.9 dB(A) 및 130.6 dB(C)를 기록하였다.

고소 작업에 동원되는 차장카의 A특성 등가소음의 평균은 90.1 dB(A)로 나타났다. 이 현장의 소음 발생은 간헐적인 특성을 지니고 있어 LAFmin은 평균 85.3 dB(A)이었다. LCpeak는 117.2 dB(C)의 평균값을 기록하였다.

B 현장 발파지점의 약 50 m 거리에서 발파음을 측정하였다. C특성 순간최고음압수준은 평균 151.9 dB(C)로 상당한 수준에 이르렀으며 A특성 등가소음 수준은 평균 111.4 dB(A)이었다.

Table 4에서 나타낸 바와 같이 C 현장에서는 점보드릴, 숏트기 및 백호에 대한 소음을 측정하였다. 점보드릴이 암반을 굴착 시 A특성 등가소음과 LCpeak의 평균은 각각 107.0 dB(A)와 122.6 dB(C)이었다. 숏트작업 평균 소음은 91.7 dB(A), 94.9 dB(A) 및 119.1 dB(C)의 LAeq, LAFmax 및 LCpeak를 기록하였다. 백호에 대한 소음수준은 LAeq, LAFmax 및 LCpeak의 평균이 각각 98.4 dB(A), 106.9 dB(A), 114.2 dB(C)이었다.

D 현장의 백호 작업 A특성 등가소음, A특성 최고음은 평균 90.1 dB(A) 및 96.2 dB(A)이었으나 LAFmin의 경우에는 평균 86.4 dB(A)로 소음발생의 변동성이 크게 나타났다. 환기장치의 소음발생수준은 비교적 평탄하여 평균으로 LAeq, LAFmax 및

Table 5 Noise levels generating from tunnel construction equipments at site D

Tunnel Equipment	n*	Data type	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB(A)]	LAFmin [dB(A)]	LCpeak [dB(C)]
Backhoe	5	Range	88.7~91.4	93.2~99.3	85.0~88.0	110.6~118.0
		Mean	90.1	96.2	86.4	114.5
Turbo fan	5	Range	111.3~111.6	112.6~112.9	109.7~110.2	129.3~130.2
		Mean	111.4	112.7	110.1	129.7

* number of samples

Table 6 Noise levels generating from tunnel construction equipments at site E

Tunnel equipment	n*	Data type	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB(A)]	LAFmin [dB(A)]	LCpeak [dB(C)]
Before Shield	7	Range	88.8~91.1	90.1~97.4	87.4~89.6	109.9~114.4
		Mean	90.2	92.5	88.9	112.3
Shield hydraulic equipment	5	Range	88.2~90.5	93.2~94.8	85.4~88.4	108.2~111.1
		Mean	89.9	93.6	86.7	109.2
Shield Conveyer	5	Range	86.7~89.2	88.6~91.8	83.1~86.0	106.9~109.1
		Mean	87.6	90.3	85.1	108.2
Locomotive X	8	Range	92.0~98.6	98.0~106.9	88.3~96.9	112.2~116.2
		Mean	96.3	99.5	94.1	114.1
Locomotive Y	8	Range	98.1~101.1	99.5~104.3	93.8~99.9	115.4~119.5
		Mean	100.1	101.4	98.7	117.2
Turbo fan	6	Range	88.7~93.6	94.4~111.2	81.5~90.1	116.6~126.2
		Mean	92.0	97.9	88.3	120.4

* number of samples

LCpeak가 111.4 dB(A), 112.7 dB(A) 및 129.7 dB(C)로 조사되었다(Table 5).

E 작업현장은 쉴드 공법을 적용하고 있어 굴착용 쉴드와 부속장비인 컨베이어 벨트 및 기관차 등을 대상으로 측정하였다(Table 6). 먼저 쉴드가 가동 시 굴착면 하단부로부터 약 4 m 떨어진 지점에서 측정된 소음수준은 평균값으로 LAeq가 90.2 dB(A), LAFmax가 92.5 dB(A), LAFmin이 88.9 dB(A)이었고, LCpeak는 112.3 dB(C)을 나타내었다.

세그먼트(segment)의 벽면 부착 시 쉴드 유압장치에서 발생하는 소음은 평균으로 LAeq, LAFmax

및 LCpeak가 89.9 dB(A), 93.6 dB(A) 및 109.2 dB(C)를 기록하였다.

쉴드 굴착 시 발생하는 암석 등의 배출에 사용되는 컨베이어벨트 가동 시 발생하는 평균 소음은 LAeq로 87.6 dB(A)와 LCpeak로 108.2 dB(C)로 쉴드 굴착시 발생하는 소음보다 약간 낮았다.

세그먼트 등 필요 자재와 토출 암석 등을 배출하는 기관차 X는 A특성 등가소음 수준이 평균 96.3 dB(A)와 C특성 최고음압수준이 114.1 dB(C)로 비교적 평탄한 음으로 기록되었다. 기관차 Y에서는 평균 LAeq 및 LCpeak가 100.1 dB(A) 및 117.2 dB(C)로 기관차 X보다 약 2~5 dB 낮았다.

이 작업장에서 공기를 치환하는데 사용되는 배풍기의 발생 소음을 방음벽 하단에 설치된 환기구를 통해 측정하였다. 평균값으로 LAeq, LAFmax 및 LCpeak는 92.0 dB(A), 97.9 dB(A) 및 120.4 dB(C)로 기록되었다.

4. 고 찰

4.1 장비별 소음발생 실태

조사된 5개 현장에서 터널 건설에 널리 사용되고 있는 장비들을 대상으로 소음발생 실태를 평가하였다. 먼저 장비별로 발생하는 A특성 등가소음(LAeq)을 정리하여 Fig. 1에서 박스 플롯(box plot)으로 도시하였다.

평균을 기준으로 보면 폭발(낮은 배경음 포함)과 점보드릴 작업이 110 dB(A)를 넘는 큰 소음을 발생시키고 있음을 알 수 있으며, 터보팬, 백호 및 쉴드 공정의 기관차가 유사한 소음수준을 나타내었다. 백호는 자료의 범위가 넓고 평균이 높은 것은 일부 암석 브레이킹 작업이 측정에 포함되었기 때문이다.

3개 현장에서 측정된 터보팬의 경우, 2개는 평균 90 dB(A) 정도로 유사하였으나 나머지 1곳의 소음이 큰 것에 기인하여 자료 범위가 넓고 평균도 높게 나타났다. 이는 배풍기의 형식이나 용량과 관련이 있는 것으로 보이나 본 조사에서는 설치 위치 접근 불가능으로 일일이 확인하지 못하였다.

점보드릴은 3개 건설현장에서 조사되었는데 암반의 종류, 점보의 형식과 회전속도, 그리고 제조년도와 및 사용기간 등에 따라 발생하는 소음이 차이가 있을 것으로 예상되었으나 관련 자료의 현장 파

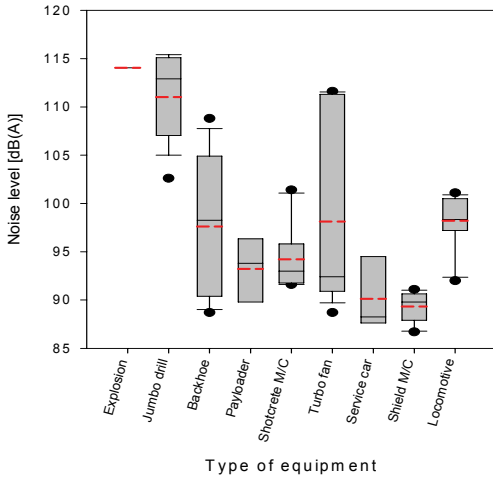


Fig. 1 Box plot for LAeq noise levels generating from tunnel construction equipments

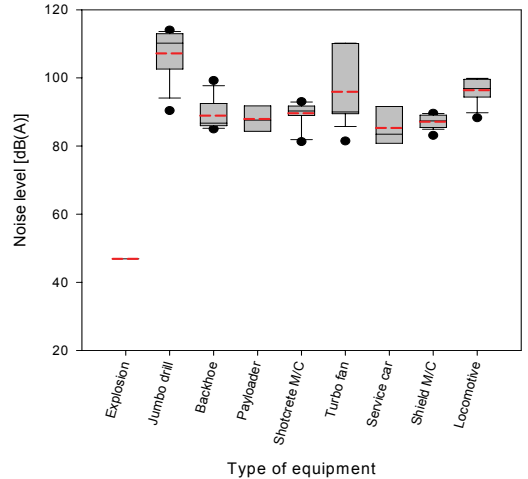


Fig. 3 Box plot for LAFmin noise levels generating from tunnel construction equipments

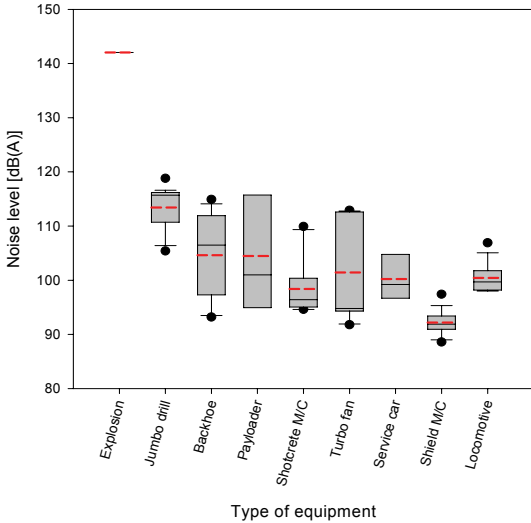


Fig. 2 Box plot for LAFmax noise levels generating from tunnel construction equipments

악이 충분하지 못해 연관성을 제시하지는 못하였다. 설드 공법에서는 조사된 자료 중 가장 낮은 수준과 범위를 나타내었는데 이는 1개 현장에서만 측정된 결과에 기인하므로 더 많은 작업현장을 대상으로 심층적 조사를 실시할 필요성을 제시하고 있다. LAFmax 그래프를 보면 타장비보다 폭발음이 140 dB(A)를 초과하는 높은 수준을 기록하고 있으며, 점보드릴과 백호 및 페이로더가 그 뒤를 잇고 있다. LAeq보다는 장비별 소음의 폭이 좁은데 이는

LAeq가 평균과 유사한 의미를 가진 것과 달리 LAFmax는 장비별로 발생하는 최고음을 기록한 것과 연관이 있는 것으로 판단된다(Fig. 2).

LAFmin은 Fig. 3에 제시하였는데 폭발음은 배경음 때문에 낮게 나타났다. 점보드릴의 고소음 발생함을 알 수 있으며 나머지 장비는 평균적으로 85~95 dB(A)의 수준으로 변동의 폭은 LAFmax보다 적었다. 하지만 발생하는 소음이 시간에 따라 높고 낮은 흐름을 가지는 경우라도 최저음은 80 dB(A) 이하로 내려가지는 않을 수 있음을 암시하고 있다.

LCpeak의 경우는 장비가 발생시키는 순간소음을 전 주파수별로 거의 그대로 기록하므로 음원의 최대 에너지에 근사한다. Fig. 4에 결과를 도시하였다. 장비별 LCpeak는 최고음압수준을 나타내므로 전반적으로 LAFmax와 유사하나 10 dB 정도 높다.

4.2 밀폐에 따른 방음효과

터널현장에서 근로자는 장비의 외부에서 발생음에 그대로 노출되는 경우도 있지만 운전석 내부에서 차음에 의한 보호를 받는 경우도 있다. 차음의 확인을 위해 일부 장비에 대해 운전석 내외부의 소음을 비교하여 Table 7에 정리하였다. 비교 측정이 이루어진 장비는 점보드릴과 백호였으며 페이로더에 대해서는 측정자료의 수가 적어 제시하지 못하였고, 나머지 차장카, 숏트기 및 터보팬과 설드 공정은 작업의 특성상 밀폐의 의미가 없는 개방형 작업으로

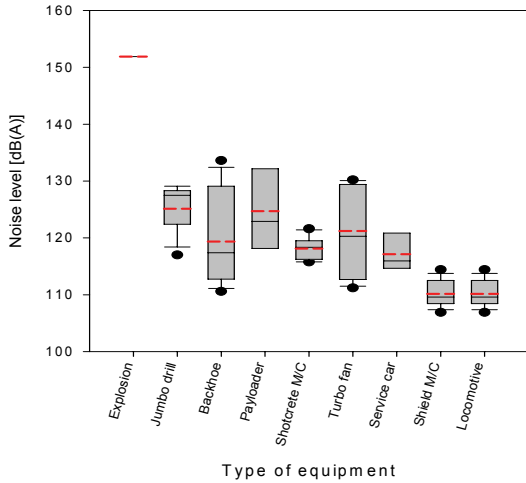


Fig. 4 Box plot for LCpeak noise levels generating from tunnel construction equipments

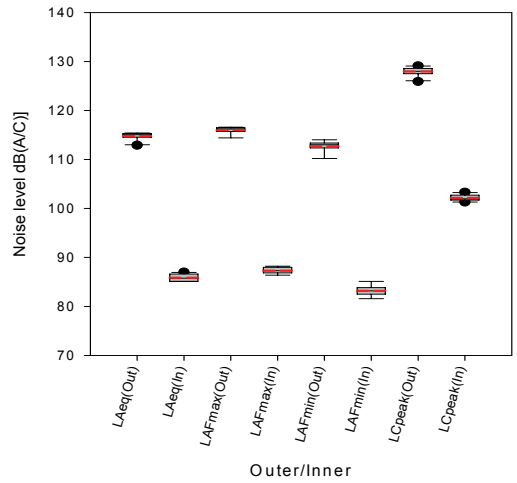


Fig. 5 Box plot for the noise insulation effect of operation box for jumbo drill

Table 7 Compariosin of noise levels inside and outside of tunnel construction equipments

Tunnel equipment	In/ out	n*	Data type	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB(A)]	LAFmin [dB(A)]	LCpeak [dB(C)]
Jumbo drill	Outer	10	Range	112.9~115.4	114.4~116.6	110.2~114.0	125.9~129.1
			Mean	114.8	116.0	112.5	128.0
	Inner	10	Range	85.1~87.0	86.4~88.7	81.6~85.1	101.3~103.3
			Mean	85.9	87.5	83.3	102.2
Backhoe	Outer	9	Range	88.7~100.2	93.2~108.0	85.0~99.2	110.6~118.1
			Mean	93.8	100.9	90.2	114.4
	Inner	8	Range	75.3~89.0	79.2~99.1	69.3~88.2	103.9~109.1
			Mean	80.5	87.5	75.8	106.8

* number of samples

비교측정의 의미가 없었다.

점보드릴의 운전석 내외부 소음도 차이는 Fig. 5에 도시된 바와 같이 LAeq, LAFmax, LAFmin 및 LCpeak 모두 25내지 30 dB에 이르러서 아주 큰 차음효과가 있음을 알 수 있었다. 이는 운전 근로자의 측면에서도 상당히 고무적인 사실이며 운전석이 개방된 일부 점보기의 경우 방음 운전석을 설치할 때 근로자의 청력보호에 상당한 효과를 가져 올 수 있음이 입증되었다. 통계적으로 독립표본 t-검정 (independent t-test)을 각각 실시한 결과 LAeq, LAFmax, LAFmin, LCpeak 모두 0.01%에서 유의

한 감소 효과를 나타내었다($p=0.000$).

A 현장의 점보 드릴과 같은 형식의 장비가 현장에서 사용된다면 운전석 내부 근로자는 소음성난청에 이환될 가능성이 거의 없다. 미국산업위생전문가 협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)가 권장하는 3 dB의 반감률(Exchange rate, ER)을 적용하여⁽¹⁶⁾ 하루 2시간 연속으로 작업하고 8시간 기준으로 85 dB(A)에 노출되는 경우의 8-hrs 시간가중 실노출수준을 계산해 보면 79 dB(A)로 소음성난청으로부터 거의 안전한 수준으로 판단할 수 있었다.

백호 운전석에서의 차음효과는 점보드릴에 비해 LCpeak를 제외하고는 차음의 범위가 넓었으나 효과는 8~16 dB 정도로 만족할 수준이었다(Fig. 6). 이 결과는 점보드릴이 한 사업장 1개 장비에 대해 측정된 것에 비해 백호는 다른 2개 현장의 각 2대의 장비에 대해 차음효과를 측정된 것에 영향을 받은 것으로 보인다. 형식, 제조사 및 제조년도가 다른 장비를 대상으로 하였으므로 당연한 결과로 볼 수 있다. 차음에 의한 소음감소효과를 독립표본 t-검정을 통해 검정한 결과 4개 측정변수 모두에서 유의한 감소효과가 나타난 것이 입증되었다($P=0.000$).

터널 건설장비의 소음수준에 대한 연구결과는 국내의 경우 강대준 등의 연구가 구체적으로 건설기계의 소음발생수준을 제시한 드문 자료이다⁽⁶⁾. 연구에 따르면 34종 302대의 건설기계를 대상으로 측정을

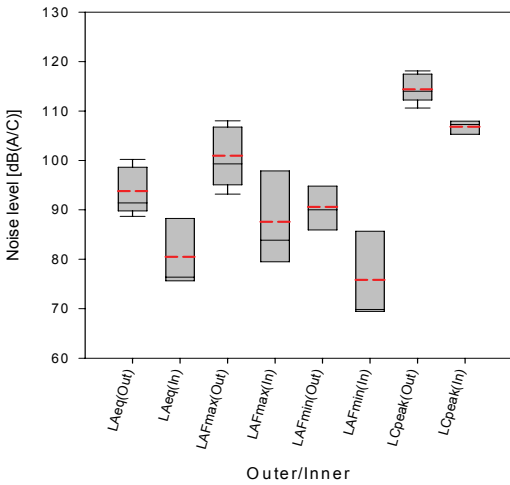


Fig. 6 Box plot for the noise insulation effect of operation box for backhoe

실시한 결과 90 dB(A) 이상의 A특성 등가소음을 발생시킨 장비는 평균값으로 향타기가 93.1 dB(A), 착암기가 95.9 dB(A) 및 브레이커가 95.7 dB(A)이었다. 이 자료는 기계로부터 7.5 m 떨어진 지상의 반구형 개방공간에서 측정된 것이다. 착암기나 브레이커에 대한 결과는 점보드릴이나 백호의 브레이킹 작업과 유사하여 고소음 기계류에 해당하였다. 장태순 등은 고속도로 건설공사 장비의 소음발생 특성을 연구하면서 브레이커 파쇄공사, 착암기 및 백호의 경우 7.5 m 지점에서 각각 97 dB(A), 82 dB(A) 및 75.7 dB(A)의 소음이 발생한다고 하여 비교적 낮은 소음수준도 존재할 수 있음을 보고하였다⁽¹⁷⁾.

이동옥은 건설기계인 대형 굴삭기의 경우 110 dB(A)의 소음도를 넘지 않는 데 비해 굴삭기에 장착된 브레이커를 사용하여 암석 브레이킹 작업을 실시하는 경우 120 dB(A)을 초과하는 소음이 발생할 수 있음을 제시하였다⁽¹¹⁾.

Cannon은 1972년에 점보드릴에서 120 dB(A)와 페이로더에서 101 dB(A)의 소음이 발생할 수 있음을 보고하였다⁽¹⁸⁾. 점보드릴은 아니지만 Savich와 Wylie는 근로자의 귀 위치를 기준으로 수동으로 작동되는 여러 가지 형태의 착암기에서 111.5~116.3 dB(A)의 소음이 발생됨을 제시하기도 하였다⁽¹⁹⁾.

Yoshinaga 등은 백호 소음수준을 분석하여 음원의 파워수준은 계산하였다⁽²⁰⁾. 단 한대를 측정대상으로 하였지만 여러 대의 마이크로폰을 배열로 사용하

여 실측된 결과에 따르면 백호는 평균 100.9 dB(A)의 소음 발생원이 될 수 있는 것으로 나타났다. Johkoh 등은 저소음 터널용 젯트팬 개발을 보고하면서 이 장비에서 발생하는 소음이 85 dB(A)라고 보고한 바 있다⁽²¹⁾.

발파음 관련으로는 김낙영 등이 터널공사 중 소음의 영향 평가를 사례로 제시하였고⁽⁷⁾, 김낙영과 이준우는 터널건설 중 발생하는 발파소음의 저감방안을 제시하였다⁽⁸⁾. 또한 채희문 등도 발파소음 저감을 위한 터널의 일방향 굴진 사례를 제시하였으나 실측 자료를 제공하지는 않았다⁽⁹⁾.

노상림 등은 미국 광무국의 자료를 인용하여 발파 시 거리에 따라 100~160 dB(A)의 소음이 발생할 수 있다고 하였다⁽¹⁰⁾. 발파에 따른 음원의 소음도는 160~180 dB(L)에 이를 수 있음이 알려져 있다⁽²²⁾. 외국의 경우 Ishida 등은⁽²³⁾ 터널 발파음 예측식을 제시하면서 약 250 m 거리에서의 발파음이 134~143 dB(F)임을 보고하였다. 실제 발파음 측정은 기술적으로 용이하지 않으며 사용된 화약의 양이나 암반 조건 등 작업과 측정거리에 따라 다르게 된다.

Bender 등은 1970년대에 점보드릴의 배기음, 착암음 및 붐대에서 방사되는 소음의 저감책을 실현한 결과 13~18 dB의 효과를 보고하였다⁽²⁴⁾. Reeves는 점보드릴 발생 소음 저감을 위해 다양한 노력을 시도하였는데 완전 밀폐가 아닌 상태에서 흡음재를 사용해 보았으나 차음효과가 나타나지는 않았다⁽²⁵⁾.

Richard는 캐나다의 광산에서 점보드릴을 대상으로 완전 밀폐형 운전석을 설치해 본 결과 외부 소음은 115~122 dB(A)이었으나 내부에서는 86~89 dB(A)로 나타나 평균 약 30 dB(A) 정도의 차음효과가 있음을 보고한 바 있다⁽²⁶⁾.

E 현장에서 측정된 쉘드 공정에서의 소음수준에 관해서는 발표된 논문을 거의 확인할 수 없어 고찰이 어려웠다. 다만 NATM 공법 등에서 사용되는 점보드릴 등의 장비는 지속적으로 소음을 발생시키는 것은 아니어서 근로자는 실 작업시간 동안만 소음에 노출된다. 그러나 쉘드 장비는 거의 전 시간 동안 가동되므로 근로자가 연속음에 노출되어 높은 수준의 소음에 대한 위험도를 가질 가능성도 있다.

이 연구에서 조사된 건설장비 발생 소음수준에 대한 자료는 작업 시간 실제로 발생하는 소음을 측정된 것으로 근로자의 소음노출수준에 크게 영향을

주는 장비의 실 가동시간은 고려하지 않은 결과이다. 현장 근무 근로자가 실제 어느 정도 소음에 노출되고 있는지를 확인하기 위해서는 누적소음 노출량측정기(noise dosimeter)를 사용 하여야 한다. 이 연구는 측정 대상이 된 장비의 제조자, 규격 및 사용년수와 같은 특성이 측정 대수의 한계 등으로 조사되지 못한 제한점도 아울러 지니고 있다.

5. 결 론

5개 터널건설 현장 장비에서 발생하는 소음을 측정·평가하였다. 대상은 점보드릴, 뿔호, 페이로더, 차징카 및 숏트기이며 발파음과 터보팬에 대한 측정도 시도되었다. NATM 공법 외에 쉘드 공법을 적용한 작업현장 1곳도 포함되었다.

가장 큰 소음원은 발파음으로 소음원으로 부터 약 50 m 지점에서 140 dB(A) 초과 최대소음이 기록되었다. 다음으로는 점보드릴에서 발생하는 소음으로 A특성 등가소음으로 110 dB(A)를 초과하였다.

뿔호의 경우 90~100 dB(A)의 A특성 등가소음을 평균적으로 발생시키다가 브레이킹 작업 시는 5~15 dB(A) 소음발생도가 상승할 수 있었다. 페이로더는 A특성 등가소음으로 93.2 dB(A)가 관찰되었으며, 숏트작업에서도 평균 90 dB(A) 이상의 등가소음이 기록되었다. 차징카의 경우 A특성 평균 소음이 92~98 dB(A)에 이를 수 있어 근로자에게서 소음성난청이 발생할 가능성이 있는 수준으로 평가되었다.

일부 장비에 대해 운전석의 차음효과를 측정·평가한 결과 점보드릴의 경우 약 30 dB(A)에 이르러 근로자보호 측면에서 매우 만족할 만한 수준이었으며, 뿔호의 경우에도 8~16 dB(A)로 완벽하지는 않았으나 나름대로 우수한 수준으로 판명되었다.

국내외적으로 터널작업에서 발생하는 소음수준에 대해서는 많은 연구자료가 확보되어 있지 않다. 터널에서 발생하는 고소음 장비로부터 근로자의 청력을 보호하기 위해서는 음원의 수준을 정량화하는 연구가 지속되어야 하며, 이를 통해 근로자 노출실태를 파악하는 한편 저소음장비 구매와 방음설비를 갖춘 장비를 확보하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 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.
- (2) 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.
- (3) Jang, J. K., Kim, K. B. and Park, H. H., 2012, Development of Applicable Health Management Manual for Construction Business-focused on Civil Engineering, Occupational Safety and Health Research Institute.
- (4) Lee, I. S., Park, H. H. and Seo, H. K., 2011, Development of Applicable Health Management Manual for Construction Business-focused on Building Construction, Occupational Safety and Health Research Institute.
- (5) United States Department of Transportation, Construction Handbook Ch. 9. 4HWA-HEP-06-015, Washington. DC. 2006.
- (6) 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.
- (7) Kim, N. Y., Kim, T. S., Park, Y. H. and Lee, J. W., 2011, Tunnel under Construction Practices for Noise and Vibration Impact Assessment, Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 161~162.
- (8) Kim, N. Y. and Lee, J. W., 2011, A Study on the Mitigation Under Tunnel Construction, Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 498~499.
- (9) Chae, H. M., Kim, Y. J., Kim, S. K. and Kim, C. H., 2005, Tunnel Excavation in one Direction to Reduce Blasting Noise, Tunnel & Underground Space, Vol. 15, No. 5, pp. 325~329.
- (10) No, S. L., Kim, U. Y., Jo, Y. C., Lee, S. P. and Yu, J. Y., 2004, The Development of Soundproof Systems for the Blasting Noise Reduction in Tunnels, Explosives & Blasting, Vol. 22. No. 1, pp. 67~74.
- (11) Lee, D. W., 2005, Noise Fighting in

Construction Equipment, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 109~112.

(12) Petronio, L. and Poletto, F., 2002, Seismic-whole-frilling by Using Tunnel Boring Machine Noise, Geophysics, Vol. 67, No. 6, pp. 1798~1808.

(13) Ho, W., Crockett, A. and Raine, A., 2006, Measurement and Prediction of Groundborne Noise and Vibration from a Tunnel Boring Machine, Technical Acoustica, Vol. 25, No. 6, pp. 658~664.

(14) Vogiatzis, K., 2012, Environmental Ground Borne Noise and Vibration Protection of Sensitive Cultural Receptors Along the Athens Metro Extension to Piraeus, Science of the Total Environment, Vol. 439, pp. 230~237.

(15) Korean Ministry of Employment and Labor, 2012, Notification No. 2012-31, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents.

(16) American Conference of Government Industrial Hygienists, 2013, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices of 2013.

(17) Jang, T. S., Kang, H. M., Kim, C. H., Lee, K. J., Lee, J. K. and Yuon, J. W., 2007, Proceeding of the Korean Society of Environmental Engineers Annual Autumn Conference, pp. 1649~1652.

(18) Cannon, M., 1972, Noise Reduction for Equipment Operations Underground, Mining Congress Journal, Vol. 58, No. 3, pp. 36~41.

(19) Savich, M. and Wylie, J., 1975, Noise Attenuation in Rock Drills, Canadian Mining Journal, Vol. 96, No. 10, pp. 39~45.

(20) Yoshinaga, H., Hayashi, A., Yamamoto, H. and Yoshida, K., 2006, Noise Control Engineering; Inter-noise 2006, Institute of Noise Control Engineering, pp. 642~651.

(21) Johkoh, M., Nishioka, T. and Kanno, T., 2008, Development of High-speed Low-noise Jet Fan for Modern Tunnel Ventilation System, Turbo Machine of Japan, Vol. 36, No. 11, pp. 53~58.

(22) Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 1995, Handbook of Noise and Vibration.

pp. 2~145.

(23) Ishida, S., Kakigi, H. and Shinji, M., Proposal of Predictive Equations for the Sound Pressure Spectrum Levels of the Blast Noise in the Tunnel, Tunnel Engineering of Japan, Vol. 67, No. 3, pp. 81~86.

(24) Bender, K. B., Dixon, N. R., Rubin, M. N. and Bartholomae, R. C., 1980, Noise Control of Jumbo-mounted Percussive Drills, Noise Control Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 128~137.

(25) Reeves, E. R., 2005, Assessment of Noise Controls Commonly used on Jumbo Drills and Bolters in Western United States Underground Metal Mines, Mining Engineering, Vol. 57, No. 1, pp. 41~47.

(26) Richard, R., 1975, Total Environmental Control on Drill Jumbos, 1975, Canadian Mining Journal, Vol 35, No. 10, pp. 54~58.



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.



Kab Bae Kim,

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

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