

소방차량 창문 개폐와 구조장비 작동 방식에 따른 소음수준 및 주파수 특성 비교

김성호^{1,3} · 박해동¹ · 박현희¹ · 권지운² · 정기호^{3,4*}

¹한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, ²소방청 국립소방연구원,
³울산대학교 안전보건전문학과, ⁴울산대학교 산업경영공학전공

Analysis of Noise Levels and Frequency Characteristics Based on Fire Vehicle Window States and Rescue Equipment Operation Modes

Sungho Kim^{1,3} · Hae Dong Park¹ · Hyunhee Park¹ · Jiwoon Kwon² · Kihyo Jung^{3,4*}

¹Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

²National Fire Research Institute, National Fire Agency

³Department of Safety and Health, University of Ulsan

⁴School of Industrial Engineering, University of Ulsan

ABSTRACT


Objectives: Firefighters are exposed to various harmful factors. Prominent among them is noise, which can lead to hearing loss. Once hearing is damaged, its recovery is nearly impossible. Firefighters are reported to be exposed to brief but high levels of noise from sirens, horns, and rescue equipment, but research in this area in South Korea is limited. The objective of this study was to evaluate the noise levels of sirens, horns, and radios in fire vehicles based on whether the windows are open or closed, and to investigate the noise sources of rescue equipment primarily used by rescue personnel.


Methods: Nine types of fire vehicles were examined in this study: ambulance, rescue vehicle, pump truck, mountain rescue vehicle, safety support vehicle, equipment transport vehicle, command vehicle, water tanker, and fire investigation vehicle. A total of 31 samples of rescue equipment were analyzed, including 36 samples when including the breathing apparatus charging stations. The equipment used for noise source evaluation was a 1/3 octave band frequency analyzer. The measured values included LAeq, LCpeak, and LAFmax, and the LAeq and LCpeak values were assessed for each frequency. The noise levels inside the fire vehicles were evaluated based on the window status (whether open or closed) with noise sources including sirens, horns, radios, and simultaneous noise. For the rescue equipment, the evaluation was conducted from the position of a rescuer's ear during operation.


Results: There was a statistically significant difference ($p < 0.05$) in all noise sources based on the window status, with noise levels increasing when the windows were open. The 1/3 octave band analysis of the motor-driven siren and electric siren in the rescue vehicle showed that the motor-driven siren produced higher noise levels at high frequencies. In the worst-case scenario (simultaneous noise, windows open), the highest noise levels were observed in the command vehicle, with a noise level of 103.1 dBA (123.1 dBC), followed by the mountain rescue vehicle at 99.9 dBA (111.1 dBC).


*Corresponding author: Kihyo Jung, Tel: 052-259-2709, E-mail: kjung@ulsan.ac.kr
93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, 44610


Received: February 5, 2025 Revised: March 7, 2025, Accepted: March 19, 2025

 Sungho Kim <https://orcid.org/0000-0002-0158-1244>

 Hae Dong Park <https://orcid.org/0000-0002-3497-0369>

 Hyunhee Park <https://orcid.org/0000-0003-1506-9505>

 Jiwoon Kwon <https://orcid.org/0000-0002-5556-7894>

 Kihyo Jung <https://orcid.org/0000-0003-3316-2762>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

When comparing the noise levels of rescue equipment based on the drive method, pneumatic equipment showed a statistically significant difference ($p < 0.05$), with battery-powered equipment producing lower noise levels than engine-driven equipment. The noise levels of cutters and chainsaws were lower in the battery-powered versions compared to engine-driven models, but the difference was not statistically significant. While cutting metal with a cutter, an increase in noise levels was observed in the high-frequency range (4–8 kHz).

Conclusion: The noise levels generated by fire vehicles and rescue equipment are high, and exposure to such noise could lead to hearing loss in firefighters. Therefore, engineering measures should be implemented to reduce noise in fire vehicles, and battery-powered equipment is recommended over engine-driven models for rescue operations. Additionally, the implementation of appropriate hearing conservation programs, including the use of hearing protection by firefighters, is necessary.

Key words: Firefighter, noise assessment, fire vehicle, rescue equipment

I. 서 론

소방공무원은 다양한 유해요인(소음, 화학물질, 분진, 연기 등)에 노출되며(Lees et al., 1995; Tubbs, 199), 다양한 외상 및 질병(화상, 압, 근골격계질환, 직업성 스트레스, 심혈관계질환, 전염병 등)에 노출되어 있다(Cimino et al., 1995; Gist & Woodall, 1995; Golden et al., 1995; Melius, 1995; Reichelt & Conrad, 1995; Weaver & Arndt, 1995). 2023 소방청 통계연보에 따르면 소방공무원의 수는 67,358명이며, 소방관 1명이 담당하는 인구수는 780명이다. 전문 구조대원의 수는 5,432명으로 매년 증가하고 있으며, 구조출동 건수는 연간 1,199,183건으로 구급출동(3,564,720건) 다음으로 많다(NFARI, 2023). 구조대원은 화재 사고를 포함하여 교통사고, 승강기, 인명 고립, 자살 추정, 위치 확인, 산악, 수난, 끼임, 붕괴, 깔림, 누출 사고, 폭발, 테러 의심, 항공기 사고, 벌집 제거, 동물처리, 잠금장치 개방 등 아주 다양한 업무를 수행한다.

소방공무원의 청각은 업무를 수행함에 있어서 매우 중요한 요소이다. 소방관은 무전을 통해서 현장 상황을 듣고, 대원들과 소통하기 때문에 좋은 청각은 소방공무원에서 필수 요소라고 할 수 있다(Hong et al., 2008). 그러나 직업적 소음 노출로 인한 청력 손실은 치명적이며, 한번 손실되면 회복되는 경우가 거의 없다(NIH, 1990). 지금까지 수행된 기존 연구를 보면 소방관은 짧지만, 강도 높은 소음에 노출되며(Rackl et al., 1979; Tubbs, 1985; Tubbs, 1991; Tubbs, 1994; Hong & Samo, 2007; Hong et al., 2008; Lee et al., 2011; Neitzel et al., 2013; Kang., 2019), 주로 노출되는 소음원은 차량 사이렌, 에어혼, 무전기, 비상벨, 엔진 소음 및 구조장비(체인톱, 공기압력 끌 등)로 알려져 있

다(Ewigman et al., 1990; Hong & Samo, 2007; Hong et al., 2008). Reischl et al.(1976)는 차량 사이렌, 에어혼, 무전 소음이 100 dBA를 초과한다고 보고하였고, Rackl & Decker(1979)는 출동 시 모터식 사이렌 소음으로 최대 110 dBA 수준의 소음에 노출된다고 발표하였다. Davis & Dotson(1987)는 구조대원 소방관이 사용하고 있는 구조 장비의 소음수준이 115 dBA를 초과하였고, 구출, 구조, 강제 진입, 화재 현장 환기 등의 활동 시 소방관들은 높은 소음에 노출된다고 보고하였다. Burkell(1978)는 구조대원 소방관이 사용하는 구조장비 중 공기압력 끌과 휘발유 엔진톱에서 발생하는 소음은 110~120 dBA 수준이며, 또한 높은 압력을 낼 수 있는 가스관이 파열되었을 때 140 dBA를 초과하는 소음에 노출된다고 보고하였다. 이론적으로 소방차의 사이렌 소음은 120 dBA 이상 소음이 나도록 설계되어 있으며, 이는 소방차량 도로 확보 및 시민들의 안전을 위해 필요한 수준이다(Hong & Samo, 2007). 한국에서는 법정 긴급자동차의 사이렌 소리는 차 전방으로부터 20 m 떨어진 위치에서 90 dB 이상, 120 dB 이하로 규정하고 있다(MOLIT, 2024).

본 연구의 목적은 소방차량에서 발생하는 사이렌, 경적, 무전기의 소음을 창문 개폐에 따라 측정하고, 구조장비의 구동 방식별 소음 특성을 비교하는 것이다. 이를 통해 소방공무원의 청력 손실 위험을 줄이기 위한 효과적인 소음 저감 대책 및 청력 보호 방안을 마련하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 소방서 3곳(A, B, C)에서 소방차량 9종

(구급차, 구조차, 물탱크차, 장비운반차, 산악구조차, 안전 지휘차, 지휘차, 펌프차, 화재조사차)의 실내 소음을 측정하였다. 소방서 A에서는 구급차, 구조차, 물탱크차, 장비운반차, 지휘차, 펌프차의 실내 소음을 측정하였고, 소방서 B에서는 구급차, 구조차, 물탱크차, 산악구조차, 지휘차, 펌프차의 실내 소음을 측정하였다. 마지막으로, 소방서 C에서는 구급차, 구조차, 안전지휘차, 지휘차, 펌프차, 화재조사차를 대상으로 실내 소음을 측정하였다.

본 연구는 소방서 3곳에서 구조장비 10종에서 발생하는 소음을 측정하였다. 소방서 A는 총 7종(17대), 소방서 B는 총 7종(11대), 그리고 소방서 C는 총 4종(6대)의 구조장비를 사용할 때 발생하는 소음을 평가하였다. 본 연구에 고려된 구조장비의 수는 공기압력 장비(8대), 절단기(7대), 체인톱(7대) 순으로 많았다. 구조장비의 구동 방식은 배터리식 방식 13대, 엔진 방식 12대, 압축 방식 11개로 조사되었다.

2. 소음 측정 및 평가 방법

소방차량 및 구조장비의 소음 측정은 주파수 분석 기능이 있는 지시소음계(Type 2250, B&K, Naerum, Denmark)를 사용하였고, 주파수 분석은 Type 4189 마이크로폰(B&K, Naerum, Denmark)을 장착하였고, 정확도는 Class 1($0.5 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$), 주파수 분석($1/3$ 옥타브 밴드) 범위는 $12.5 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$ 이었고, 소음 측정 가능 범위는 $20 \sim 140 \text{ dB}$ 이다. 소음수준은 L_{Aeq} , $L_{C,peak}$, L_{AFmax} , L_{AFmin} 로 나타냈는데, L_{Aeq} 는 A 가중치(낮은 소음수준에 대한 사람 귀의 반응을 따르도록 보정)를 적용한 일정 시간 동안의 평균 소음수준이며, $L_{C,peak}$ 는 C 가중치(높은 소음수준에서의 사람 귀의 반응을 따르도록 보정)를 적용한 순간적으로 발생한 최대 소음수준이며, L_{AFmax} , L_{AFmin} 는 A 가중치와 빠른(Fast) 반응 특성을 고려한 측정된 가장 크고, 작은 소음수준을 말한다.

소음의 측정은 소방차량의 내부에서 운전자의 귀 주

변에서 실시하였다. 소방차량의 소음 측정은 소음원(배경소음, 배경소음 + 사이렌, 배경소음 + 경적, 배경소음 + 무전기 소음)에 대해 창문 개폐에 따라 각각 측정하였다. 구조장비의 소음 측정 위치는 장비 사용자의 귀 영역에서 이루어졌다. 구조장비의 소음 측정은 배경소음, 배경소음 + 각 구조장비 작동 소음으로 구분하여 측정하였고, 일부 구조장비(예: 체인톱)는 물체를 절단할 때의 소음을 평가 대상으로 하였다. 구조장비의 소음 측정 시간은 $30 \sim 60$ 초로 하였고, 차량 소음은 주변 상가의 민원 발생으로 인해 10초 내외로 하였다.

3. 데이터 처리 및 분석

본 연구는 SPSS 29.0 통계 패키지(IBM Corp, NY, USA)를 사용하고 유의수준 0.05를 적용하여 통계분석을 수행하였다. 소방차량의 실내 소음수준이 소음원과 창문 개폐에 따라 차이가 있는지 대응표본(paired-sample) t 검정을 통해 분석하였다. 창문 개폐에 따른 사이렌, 경적, 동시 소음의 차이를 독립표본 t 검정으로 소음수준을 비교하였다. 창문 개폐에 따른 소방 차량별 소음원에 대한 소음수준(dB) 차이를 표로 나타냈다.

구조장비의 구동 방식별 소음수준을 비교하기 위해서 독립표본 t 검정을 사용하였다. 한편, 본 연구는 주파수별($1/3$ 옥타브 밴드) 소음수준의 비교를 위해 Sigma Plot 14.0 패키지(Systat Software Inc, CA, USA)를 사용하여 주파수별 소음수준 변화를 시각화하였다.

III. 결 과

1. 소방차량

소방차량의 내부 소음수준은 창문이 개방된 경우가 창문이 닫힌 상태보다 높은 것으로 나타났다(Table 1). 소방차량의 내부에서 측정된 배경소음은 소방차량의 창문이 개방된 경우 68.7 dBA 로 나타나 창문이 닫힌 상태의 45.8 dBA 보다 높았다. 또한, 소방차량에서 발생할 수 있는 소음원(예: 사이렌, 경적)이 있을 때도 창문

Table 1. Comparison of L_{Aeq} noise levels (dBA) between background noise and noise sources

Window status	Mean(SD)				<i>P</i> -value
	N	Background	N	Noise level*	
Open	4	68.7(5.1)	67	88.5(7.6)	< 0.01
Close	18	45.8(14.6)	65	81.3(6.3)	< 0.01

* Total noise level of fire vehicles including electro-mechanical siren, electronic siren, horn, and simultaneous noise

Table 2. Comparison of L_{Aeq} noise levels (dBA) by noise source based on the window status of fire vehicles

Noise sources	N	Mean(SD)		<i>P</i> -value
		Open	Close	
Air horn	16	82.7(8.3)	76.0(6.1)	< 0.01
Electronic siren	18	88.9(5.1)	81.7(4.5)	< 0.01
Electro-mechanical siren	14	88.3(4.9)	81.7(6.4)	< 0.01
Simultaneous noise*	17	94.4(6.6)	85.6(4.8)	< 0.01

* Activated the three types of sources(electronic siren, electro-mechanical siren, and horn)

Table 3. Comparison of L_{Aeq} noise levels (dBA) by noise sources for each fire vehicle based on window status

Fire vehicle	Electro-mechanical siren			Electronic siren			Air horn			Radio of LTE*	Radio of UHF*	Simultaneous noise†		
	Close	Open	ΔL	Close	Open	ΔL	Close	Open	ΔL	Close	Close	Close	Open	ΔL
Ambulance	78.0	84.2	6.2	79.8	88.7	8.9	68.3	75.4	7.1	77	91.2	81.6	89.6	8
Rescue vehicle	87.7	93.6	5.9	79.8	90	10.2	82.3	91	8.7	81.1	77.3	88.9	96.7	7.8
Water tanker	81.2	87.3	6.1	78.5	82.6	4.1	69.9	74.8	4.9	83.1	83.8	81.5	90.8	9.3
Mountain rescue vehicle	86.1	91.6	5.5	93.7	99.3	5.6	78.6	84.5	5.9	85.1	84.7	95.5	99.9	4.4
Safety support vehicle				77.8	86.5	8.7	75.7	77.3	1.6	76.2	91.1	80.1	85.2	5.1
Equipment transport vehicle				86.7	91.3	4.6	69.8	73.6	3.8	85.2	88.4	87.8	91.9	4.1
Command vehicle	72.8	88.1	15.3	82.7	92.6	9.9	75.3	84.3	9	85.4	87.4	82.9	103.1	20.2
Fire pump truck	84.3	86.7	2.4	81.9	85.8	3.9	82.3	88.7	6.4	77.3	82.5	89.2	92.2	3
Fire investigation vehicle				82.2	86.8	4.6	72.1	79.7	7.6	74.1	88.9	82.8	88	5.2
Mean	81.7	88.3	6.6	81.7	88.9	7.2	76	82.3	6.3	80.6	85.1	85.6	94	8.4

* Only measured a radio (LTE, UHF) noise level with a closed window

† Activated the three types of sources (electronic siren, electro-mechanical siren, and horn)

Table 4. Comparison of $L_{C \cdot peak}$ noise levels (dBC) by noise sources for each fire vehicle based on window status

Fire vehicle	Electro-mechanical siren			Electronic siren			Horn			Radio of LTE*	Radio of UHF*	Simultaneous noise†		
	Close	Open	ΔL	Close	Open	ΔL	Close	Open	ΔL	Close	Close	Close	Open	ΔL
Ambulance	92.8	98.0	5.2	95.2	103.3	8.1	90.1	94.3	4.2	100.7	111.1	97.5	104.4	6.9
Rescue vehicle	99.5	106.4	6.9	96.6	103.7	7.1	99.5	107.5	8	105.3	102.6	104.1	111.1	7
Water tanker	96.2	101.8	5.6	98.1	99.7	1.6	96.6	99.3	2.7	104.2	106.9	101.2	105.7	4.5
Mountain rescue vehicle	107.8	109.0	1.2	111	115.1	4.1	104.7	105.3	0.6	109.9	110	112.4	114.4	2
Safety support vehicle				95.2	102.4	7.2	92.7	95.4	2.7	100.9	114	97.3	103.4	6.1
Equipment transport vehicle				103.5	107.1	3.6	95.8	93.5	-2.3	111.8	109.8	104.4	108.3	3.9
Command vehicle	94.1	103.0	8.9	100.9	107.5	6.6	96.3	100.6	4.3	108.5	108.3	104.2	123.1	18.9
Fire pump truck	97.8	101.1	3.3	102.8	101.5	-1.3	100.9	103.8	2.9	104.7	107.1	104.2	108.3	4.1
Fire investigation vehicle				95.9	100.1	4.2	90.4	97.3	6.9	97.8	112	99.1	102.9	3.8
Mean	97.0	102.5	5.5	99.3	104	4.7	96.5	100.5	4	104.9	108.1	102.8	110	7.2

* Only measured a radio (LTE, UHF) noise level with a closed window

† Activated the three types of sources (electronic siren, electro-mechanical siren, and horn)

이 개방된 경우 88.5 dBA로 창문이 닫힌 상태의 81.3 dBA 보다 높았다. 이러한 경향성은 소음원 종류와 관계없이 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다 (Table 2).

창문 개폐에 따른 소음원(모터 사이렌, 전기 사이렌, 경적, 동시 작동)의 평균 소음수준의 차이는 각각 6.6 dBA, 7.2 dBA, 6.3 dBA, 8.4 dBA이며, 창문이 개방된 경우가 닫힌 상태보다 소음수준은 증가하는 것으로

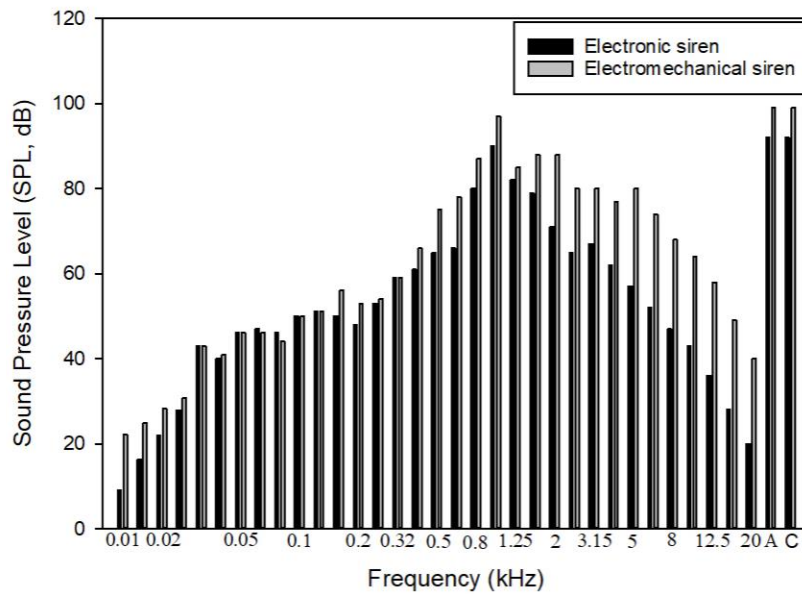


Figure 1. Comparison of 1/3 octave band noise levels between the electronic siren and electro-mechanical siren of the rescue vehicle

파악되었다(Table 3, Table 4). 예를 들면, 모터식 사이렌 구조공작차는 창문을 닫으면 소음수준이 87.7 dBA(99.5 dBC)이지만, 창문을 개방하면 93.6 dBA(106.4 dBC)로 소음수준이 5.9 dBA(6.9 dBC) 증가한다. 한편, 지휘차는 창문 개방에 따른 소음 증가 비율이 다른 소방차량보다 현저히(L_{Aeq} : 9.0~20.2 dBA, L_{Cpeak} : 4.3~18.9 dBC) 큰 것으로 나타났다.

한편, 모터식 사이렌은 0.5~20 kHz 영역에서 소음수준이 전기식 사이렌보다 높은 경향을 보였다(Figure 1).

2. 구조장비

체인톱은 소음수준이 99.2 dBA로 가장 높았고, 차량 구출을 위한 공기압력 장비는 소음수준은 84.6 dBA로 파악되었다(Table 5). 수상 구조 시 프로펠러 작동 소음은 107.9 dBA였고, 공기호흡기의 충전공기 제거 시 소음수준은 104.9 dBA로 나타났다. 한편, 동물포획 시 사용하는 로프총과 마취총은 충격소음으로 각각 138.2 dBC, 133.6 dBC로 거의 140 dBC의 소음수준에 노출되었다.

Table 5. Comparison of noise levels of rescue equipment used for different tasks in rescue operations

Types of an equipment	N	Mean(SD)		
		L_{Aeq}	L_{AFmax}	L_{Cpeak}
Total	35	92.4(16.4)	98.0(14.4)	113.3(14.7)
Chain saw	6	99.2(19.4)	102.6(15.7)	115.8(16.1)
Cutter	7	90.0(18.2)	93.9(14.4)	107.1(13.4)
Cutting saw	2	95.6(1.6)	96.9(1.3)	111.5(1.8)
Generator	1	90.7	91.8	110.0
Pneumatic equipment	8	84.6(10.8)	88.4(7.8)	103.8(8.8)
Propeller	1	107.9	111.6	127.7
Rope gun	2	103.7(2.2)	118.2(0.8)	138.2(1.6)
Tranquilizer gun	2	96.7(1.2)	108.0(0.5)	133.6(0.4)
Air gun	2	109.7(7.6)	113.1(5.9)	125.9(7.6)
Fill in the SCBA	2	79.9(4.1)	92.9(3.7)	107.4(3.2)
Remove the SCBA	2	104.9(1.8)	111.6(0.4)	123.3(1.1)

* Abbreviation: SCBA, Self-contained breathing apparatus; SD, Standard deviation

Table 6. Comparison of noise levels among the model of rescue equipment

Equipment	Model (N [*])	Types of power	L _{Aeq}	L _{Cpeak}	L _{AFmax}	L _{AFmin}
Chain saw	540ixp	Battery	100.5	114.1	102.8	96.6
	Bci300		95.5	108.8	96.8	64.0
	SE/365		113.1	130.1	115.3	87.3
	560XP	Engine	113.7	129.9	115.9	85.0
	Special 365 (N=2)		109.9	124.0	110.6	108.7
Cutter	K970Rescue	Engine	113.6	128.7	115.3	99.2
	HS-119 (N=3)		95.0	108.7	97.0	73.4
	DTM51	Battery	83.8	100.6	86.7	57.3
	DCT405		94.1	107.0	95.3	93.3
	K 535		91.3	104.5	93.6	55.3
Cutting saw	DJR186	Battery	94.5	110.2	95.9	93.2
	DCS389		96.7	112.7	97.8	69.1
Generator	GX 160 Honda 5.5	Engine	90.7	110.0	91.8	87.1
Pneumatic equipment	Lukas	Engine	96.2	115.3	100.7	88.3
	W-SAM 20		92.6	111.6	93.5	92.0
	Holmatro (N=4)	Engine or battery	94.2	110.6	96.6	82.8
	Unknown [†]	Battery	63.5	92.0	78.7	56.6
	Unknown [†]		84.7	102.3	85.4	84.0
Propeller	ME30MH	Engine	107.9	127.7	111.6	102.7
Rope gun	STR-300 (N=2)	Compress	103.7	138.2	118.7	50.1
Tranquilizer gun	STN 312N (N=2)		95.7	133.6	108.0	51.0

* There is only one sample without (N)

† Unidentified model of this equipment

Table 7. Noise comparison based on the power of rescue equipment

Equipment	Battery type			Engine type			P-value
	N	Mean(SD)	Range	N	Mean(SD)	Range	
Chain saw	2	98.0(3.5)	95.5–100.5	4	99.8(25.0)	62.4–113.7	0.897
Cutter	6	86.1(6.4)	57.1–106.1	1	113.6(–)	–	–
Pneumatic equipment	4	80.7(3.5)	78.6–84.7	4	92.7(3.5)	87.9–96.2	0.030

구조장비의 모델에 따라 소음수준이 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 6). 체인톱 중 가장 소음수준이 컸던 모델은 560XP 엔진식으로 113.7 dBA이었고, 가장 소음수준이 낮았던 모델은 Bci300 모델로 95.5 dBA로 나타났다. 절단기는 K970Rescue 엔진식이 113.6 dBA로 가장 높았으며, DTM51는 83.8 dBA로 가장 낮았다.

엔진식 구조장비는 배터리식보다 소음수준이 높은 것으로 분석되었다(Table 7). 예를 들면, 공압식 구조장

비는 엔진식일 때 소음수준이 92.7 dBA로 배터리식의 80.7 dBA보다 현저히 높았다. 이러한 경향성은 체인톱과 절단기에서도 같이 나타났으나, 표본 크기가 작아 통계적으로 유의하지는 않았다.

한편, 절단기는 금속 소재를 절단할 때 0.2 kHz 이상의 주파수 영역의 소음수준이 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다(Figure 2). 특히, 금속 소재를 절단할 때는 그렇지 않을 때와 비교하여 4–8 kHz 영역의 소음수준이 현저히 증가하는 것으로 파악되었다.

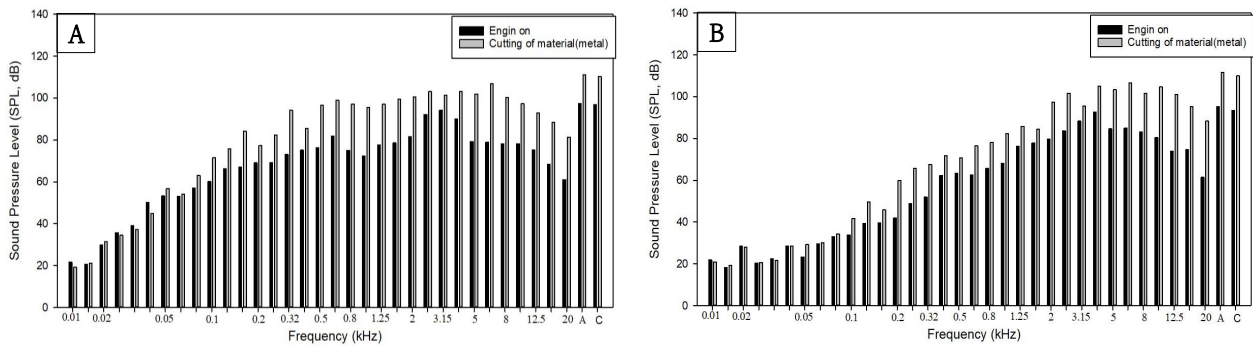


Figure 2. Comparison of 1/3 octave band noise levels during actual metal cutting with two types of the cutter (A. model: HS-199, B. model: DCT405)

IV. 고 찰

본 연구는 소방차량의 소음원과 구조장비 사용 시 발생하는 소음수준을 분석한 것으로, 소방공무원의 청력 손실 예방을 위한 과학적 근거를 제시하였다. 연구 결과를 바탕으로 소방차량 내부의 소음 저감 대책 및 구조장비의 저소음 모델 도입 필요성을 제안하였다. 또한 소방공무원의 청력 보호를 위한 적절한 보호구 사용 및 청력보존 프로그램 시행의 중요성은 제시하였다.

Neizel et al.(2013)은 소방관이 청력 손실을 일으킬 수 있는 높은 소음에 노출되고 있으며, 그중에서 사이렌과 구조장비(extraction equipment)의 작동 소음이 주요하다고 보고하였다. Root et al.(2013)도 창문을 닫은 상태에서 사이렌을 작동하였을 때의 실내 소음수준이 84 dBA이나, 창문을 개방하면 92 dBA로 소음수준이 증가(8 dBA)한다고 보고하였다. 또한, Park & Lee(2018)도 모터사이렌, 경적, 사이렌 작동 시 창문을 개방했을 때 소음수준이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 창문 개방 시 통계적으로 유의하게 소음수준이 증가하였고, 사이렌 소음이 다른 소음원에 비해 컸다.

본 연구는 9종의 소방차량을 대상으로 사이렌(모터·전기식), 경적, 무전기(LTE·UHF), 동시 소음(모터·전기식 사이렌, 경적)을 창문 개폐에 따라서 평가하였다. 긴급 차량의 사이렌 작동 시 차량 내부의 소음에 관한 국내 규정은 없지만, Morzynsik & Gorski(2008)는 사이렌으로 인한 실내 소음수준이 90 dBA를 초과하면 청력 손실의 위험이 있다고 보고하였다. 본 연구의 결과에 따르면 창문을 닫았을 경우 모터식 사이렌의 소음이 모두 90 dBA를 초과하지 않았고, 전기식 사이렌

은 산악구조차(93.7 dBA)를 제외하고 모두 90 dBA를 초과하지 않았다. 하지만 창문을 개방했을 때는 모터식 사이렌은 구조공작차(93.6 dBA)와 산악구조차(91.6 dBA)에서 90 dBA를 초과하였고, 전기식 사이렌은 구조공작차(90.0 dBA), 산악구조차(99.3 dBA), 장비운반차(91.3 dBA), 지휘차(92.6 dBA)에서 90 dBA를 초과하였다. Root et al.(2013)는 소음수준 감소 대책으로 창문을 닫는 것을 제시하였으나, 소방청(NFA, 2023)의 보도자료에 따르면 최근 3년간 소방차 교통사고(612건) 중 절반 이상이 교차로(321건, 52%)에서 발생하고 있으며, 그로 인해 교차로에서 사이렌 외에도 유도봉 등을 통해 차량을 통제하는 것이 필요하다. 따라서 소음 노출 감소를 목적으로 차량의 창문을 닫는 것은 근본적인 대책이 될 수 없다고 판단된다.

Park & Lee(2018)은 3종의 소방차량(구급차, 구조차, 펌프차) 내부에 흡음재를 부착하여 사이렌 및 경적으로 인한 소음감소 효과에 관해 연구하였다. 내부 흡음재는 피크소음(dBC)의 수준을 통계적으로 유의하게 감소시킨다고 보고하였으나, 흡음재를 설치할 수 없는 차량의 유리 등으로 인한 유의미한 소음감소 효과는 없다고 보고하였다. 한편, 소방차량은 아니지만 Saleh et al.(2017)는 건설 차량 내부에 흡음 매트를 설치하여 차량 내부 운전자의 소음수준을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. Gorski(2014)는 사이렌의 위치에 따라 차량 내부의 운전자 위치에서 노출되는 소음수준에 차이가 있다고 보고하였다. 차량 위쪽에 사이렌이 위치할 때 소음이 87 dBA이었으나, 보닛에 위치할 때는 76 dBA로 소음수준이 낮아졌다. Park & Han(2021)은 고출력 전방 지향성 사이렌이 출동 시 전방 차량이나 보행자의 긴급상황 발생의 인식성을 높이고, 차량 내부에 탑승한

소방관의 소음노출을 줄일 수 있다고 보고하였다.

본 연구는 9종의 차량의 사이렌(모터 · 전기식), 경적, 무전기(LTE · UHF), 동시소음(모터 · 전기식 사이렌, 경적 동시 작동)을 측정하였다. 긴급출동의 경우, 차량 운전자와 탑승 대원이 동시소음에 노출되며, 교통을 통제하기 위해서는 창문을 개방하고 출동할 때가 많다. 이러한 상황에서 가장 높은 소음에 노출되는 차량은 지휘차이며, 소음수준은 103.1 dBA이었다. 지휘차는 모든 소방차량 앞에서 차량을 통제해야 해서 4~6개의 전기식 사이렌과 1~2개의 모터식 사이렌을 탑재하고 있어 가장 높은 소음에 노출되는 것으로 추정된다. 다음으로 구조 직무에서 사용하는 구조공작차, 산악구조차의 창문 개방 시 동시소음이 96.7 dBA와 99.9 dBA로 다른 직무보다 높은 소음에 노출되는 것으로 나타났다.

미국에서는 신속하게 현장에 도착해야 하는 긴급한 상황 시 Code-3 responses(사이렌, 에어혼, 방송) 출동을 실시한다(Tubbs, 1991). Reischl et al.(1979)는 Code-3 발동 시 차량 내부의 옥타브밴드 소음을 측정하였다. 사이렌 소음은 106 dBA, 에어혼 소음은 105 dBA, 라디오 소음은 107 dBA, 엔진 소음은 104 dBA로 조사되었고, 가장 높은 소음의 주파수는 사이렌 2 kHz(105.3 dBA), 에어혼 1k Hz(105.3 dBA), 라디오 0.5 kHz(108 dBA), 엔진소음 2 kHz(100.3 dBA)로 나타났다. 본 연구에서는 A 소방서의 펌프차의 실내 소음수준이 전기식 사이렌 86 dBA, 모터식 사이렌 82.8 dBA, 에어혼 84.6 dBA, 무전기 소음 89.1 dBA이었으며, 가장 높은 소음의 주파수는 전기식 사이렌 0.8 kHz(91.6 dBA), 모터식 사이렌 0.8 kHz(87.8 dBA), 에어혼 1.25k Hz(90.8 dBA), 라디오 소음 2.5kHz(96.3 dBA)이었다. 본 연구와 Reischl et al.(1979)에서 모두 라디오 소음이 가장 컸다. 사이렌 발동 시 3 m(10 ft) 지점에서의 소음 수준은 모터식 사이렌이 전기식 사이렌보다 높은 소음수준을 보였다(Eldred & Sharp, 1972).

본 연구는 cutter 2종을 제외하고 모든 구조장비의 소음수준이 90 dBA를 초과하였다. Root et al.(2013)도 소방관들이 사용하는 구조장비의 소음을 평가하였는데 85 dBA를 초과하였다고 보고하고 있어 본 연구와 비슷한 결과를 보였다. 구조대원은 군경력과 취미활동(소음 발생)이 청력 손실에 영향을 줄 수 있다(Rackl & Decker, 1979). 구조대원은 출동 중 사이렌, 경적 및 무전 소음에 노출될 수 있고, 군경력 등으로 인한 청력

손실이 이미 진행되고 있는 것(Rackl & Decker, 1979)을 고려한다면 청력 손실에 취약한 직무인 것으로 판단된다.

Neizel (2013)은 차량 문을 개방할 때 사용하는 공기압력 끌을 사용하여 철 구조물을 절단할 때 발생하는 최대 소음수준이 114.6 dBA로 보고하였다. 본 연구는 공기압력 장비의 소음수준이 92.6~96.2 dBA 수준으로 Neizel & Hong(2013) 연구보다 낮았다. 이러한 결과는 본 연구에서 공기압력 장비의 엔진만 켜 상태에서 소음을 측정하였기 때문에 구조물을 절단하면서 측정된 기존 연구보다 낮은 것으로 추정된다. 따라서, 실제 소방공무원이 공기압력 장비를 사용할 때 노출되는 소음 수준은 본 연구의 측정치보다 높을 것으로 예상된다.

체인톱 5종에 대한 소음수준은 95.5~113.7 dBA로 나타났다. 체인톱은 엔진식과 배터리식으로 구분할 수 있는데, 엔진식이 112.3 dBA이었고, 배터리식은 98.0 dBA이었다. Root et al.(2013)는 본 연구와 유사하게 체인톱 4종의 소음수준을 99~108 dBA으로 보고하였다.

기존 연구에서 소방관에 대한 청력 보호구 착용 인식 및 착용도가 낮다고 보고하고 있었다(Hong & Samo, 2007; Hong et al., 2008). 하지만 청력 보호구 착용은 소방공무원의 청력을 보호하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 그러나 청력 보호구를 착용하는 것은 임무 수행 중 동료와의 의사소통을 어렵게 하고 착용상 불편감으로 인해 사용을 꺼리는 경향이 있다. 소방관은 출동 중 무전뿐만 아니라 대원 간에도 소통이 중요하기 때문에 일반적인 청력보호구만으로는 의사소통 한계에 봉착하게 된다. 하지만 기술의 발달로 최근에는 의사소통이 가능한 청력 보호구가 상용화(Hong et al., 2008)되고 있고, 차량 내부 통신 시스템 및 노이즈 캔슬링 기술을 활용하여 주변의 소음이 있더라도 의사소통이 가능한 기술이 개발되고 있다. 또한, 소비자 맞춤형 인간공학적 청력 보호구 등이 개발되면 청력 보호구의 사용에 대한 인식도는 개선될 것으로 전망된다. 따라서 이러한 기술이 소방공무원의 청력 보호에 적용될 수 있도록 향후 청력 보호구 개발 연구 및 지원이 필요하다고 사료된다.

V. 결 론

소방차량 내부의 소음수준은 창문 개방 여부에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 창문을 개방한 상태

에서 모터·전기식 사이렌 및 경적을 모두 가동하였을 때, 소방차량의 종류와 관계 없이 실내 소음수준이 85 dBA를 초과하였다. 구조장비의 작동소음은 일부 절단기를 제외하고 대부분 90 dBA를 초과하였다. 엔진방식이 배터리식에 비해 높은 소음수준을 보였으나, 공기압력 엔진 방식 장비만이 배터리식보다 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 구조 직무 소방공무원은 소방차량 소음과 구조장비 작동 소음에 단시간이지만 높은 소음에 노출될 수 있다. 따라서, 고소음 작업을 수행하는 소방공무원은 적절한 청력보호구를 착용하는 것이 권장되며, 각 소방서는 소방공무원의 청력 보호를 위해서 적합한 청력보존 프로그램을 시행하는 것이 필요하다.

References

- Burkell CJ. Fireground noise levels give sound reasons for hearing protection. *Fire Engineering* 1978; 131(3):39-41
- Cimino VG, Krosner SM, Hanumadass ML. Burn injuries in firefighters. *Occupational Medicine* 1995;10(4): 707-720
- Davis PO, Dotson CO. Physiological aspects of fire fighting. *Fire Technology* 1987;23:280-291
- Eldred KM, Sharp BH. Are present horns, whistles, and sirens necessary for communication?. *International Conference on Transportation and the Environment*. N.Y.; Soc Automot Engrns 1972:277-285
- Ewigman BG, Kivlahan CH, Hosokawa MC, Horman D. Efficacy of an intervention to promote use of hearing protection devices by firefighters. *Public Health Rep* 1990;105(10):53-59
- Gist R, Woodall SJ. Occupational stress in contemporary fire service. *Occupational Medicine* 1995;10(4): 763-787
- Golden A, Markowitz SB, Landrigan PJ. The risk of cancer in firefighters. *Occupational Medicine* 1995; 10(4):803-820
- Gorski P. Occupational exposure to noise from authorized emergency vehicle sirens. *JOSE* 2014; 20(3):515-523
- Hong O, Samo D. Hazardous decibels: hearing health of firefighters. *AAOHN J* 2007;55(8):313-319
- Hong O, Samo D, Hulea R, Eakin B. Perception and attitudes of firefighters on noise exposure and hearing loss. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2008;5:210-215
- Kang TS. Task-specific noise exposure assessment of firefighters. *J Environ Health Sci* 2019;45(6): 569-576
- Lee LK, Kang TS, Ham SH, Kim JI, Yang YS et al. Noise exposure according to the time activity pattern and duties of firefighters. *J Environ Health Sci* 2011; 37(2):94-101
- Lees PS. Combustion products and other firefighter exposures. *Occupational Medicine* 1995;10(4): 691-706
- Melius JM. Cardiovascular disease among firefighters. *Occupational Medicine* 1995;10(4):821-827
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport(MOLIT). Regulations on the performance and standards of motor vehicles and motor vehicle parts. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport Ordinance No. 1413. 2024
- Morzynski L, Gorski P. Warning device in privileged vehicles integrated with an active noise reduction system. 2008;(7-8):24-27
- National Fire Agency(NFA). Over half of fire truck traffic accidents in the past three years occurred at intersections. Online report. 2023
- National Fire Agency Research Institute(NFARI). National Fire Agency Statistical Yearbook. Publication No. 11-1661000-000001-10. 2023.
- National Institutes of Health(NIH). Consensus development conference statement: noise and hearing loss. Bethesda, MD: U.S. Department of Health & Human Services, 1990.
- Neitzel RL, Hong O, Quinlan P, Hulea R. Pilot task-based assessment of noise levels among firefighters. *Int J Ind Ergon* 2013;43(6):479-486
- Park JS, Lee SY. Study on soundproofing experiments of firefighting vehicles to prevent hearing loss in firefighters. National Fire Agency Research Institute in Korea. 2018.
- Park JS, Han DH. An application assessment of acoustic hailing device siren to protect firefighters from noise exposure. *Fire & Safety Research* 2021;2:122-130
- Rackl J, Decker TN. Effect of firetruck noise on firefighters' hearing. *The Journal of Auditory Research* 1979;19:271-275
- Reischl U, Bair H, Reischl P. Fire fighter noise exposure. *Am Ind Hyg Assoc J* 1976;40(6): 482-489
- Reichelt PA, Conrad KM. Musculoskeletal injury. *Occupational Medicine* 1995;10(4):735-746

Root KS, Schwenker C, Autenrieth D, Sandfort DR, Lipsey T et al. Firefighter noise exposure during training activities and general equipment use. J Occup Environ Hyg 2013;10:116-121

Saleh S, Woskie S, Bello A. The use of noise dampening mats to reduce heavy-equipment noise exposures in construction. SHOWN. 2017;8:226-230

Tubbs RL. Health hazard evaluation: The City of New York Fire Department (HHE report 81-459-1603). Cincinnati, OH: National Institute for occupational Safety and Health. 1985

Tubbs RL. Occupational noise exposure and hearing loss in fire fighters assigned to airport fire stations. American Industrial Hygiene Association Journal 1991;52(9): 372-378

Tubbs RL. Evaluating risk of noise induced hearing loss for fire fighters in a metropolitan area (Publication No. HETA 88-0290-2460). Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health. 1994

Tubbs RL. Noise and hearing loss in firefighting. Occupational Medicine 1995;10(4):843-856

Weaver VM, Arndt SD. Communicable disease and firefighters. Occupational Medicine 1995;10(4): 747-762

<저자정보>

김성호(연구위원), 박해동(연구위원), 박현희(선임연구위원), 권지운(연구관), 정기효(교수)