

건설기계 로더 소음도 현황 및 분석

박형규¹, 정준식², 이연주¹, 김우정¹, 구진회^{1*}
¹국립환경과학원 생활환경연구과, ²낙동강유역환경청 측정분석과

Analysis of Sound Power Level of Construction Equipment Loader

Hyung-Kyu Park¹, JoonSig Jung², Yeonjoo Lee¹, WooJung Kim¹, JinHoi Gu^{1*}

¹Indoor Environment & Noise Research Division, National Institute of Environmental Research

²Nakdong River Basin Environmental Office

요약 건설기계에서 방출되는 소음은 공사장 주변 주민들과 소음분쟁의 주요 원인이 된다. 소음 저감을 위해 현장에서는 기계별 특성과 작업 공정에 맞는 소음 저감 대책 기술개발이 이루어지고 있으며, 제도적으로는 소음발생건설기계 소음관리기준의 운영을 통해 저소음 건설기계 생산을 유도하고 있다. 소음 저감 대책 수립 시 주변 환경 영향을 먼저 검토해야 함을 고려할 때 발생원인 건설기계의 소음도 수준은 우선적으로 분석되어야 할 것이다. 본 연구에서는 공사장, 공장, 축사 등 현장에서 다양하게 활용 빈도가 높은 로더를 대상으로 저소음표시제도 시행 전·후에 따른 소음도 현황을 비교·분석하여 제도 시행 효과를 분석하고자 하였다. 연구 방법으로 2008년 이후 국내 제작·수입 판매되는 로더 327기의 음향파워레벨을 통계적으로 분석하였고, 건설기계 소음관리기준 단계별 생산된 로더의 소음도 비교를 통한 제도 운영 효과를 검증하였다. 엔진 출력(kW)과 형식에 따른 소음도, 생산지(국산·수입)에 따른 소음도 비교, 구동 방식(바퀴형·궤도형)에 따른 소음도를 비교하였다. 그 결과 소음관리기준이 단계별로 강화되는 시점에 생산된 제품의 소음도가 낮아지는 경향을 확인하였고, 엔진 출력이 증가하면 소음도는 약 (1.4 ~ 2.5) dB(A) 정도 증가하고, 엔진 형식이 변경되면서 소음이 (2.8 ~ 4.3) dB(A) 저감됨을 확인하였다. 225 kW 초과 제품군에서는 국내 생산제품이 3.4 dB(A) 낮았으며, 바퀴형 로더가 2.4 dB(A) 낮게 나타났다. 본 연구에서 분석된 건설기계 로더의 소음도 현황 및 발생 특성은 향후 현장에서 소음 저감 대책으로 저소음 건설기계 선택 시 기초 자료로 활용이 기대된다.

Abstract This study analyzes the current state of noise from loaders that are often used on construction sites and in factories. As a study method, statistical analysis was conducted on sound levels from 327 loaders sold since 2008 after production in Korea or from import. Results show the noise levels of loaders produced when the noise management standard was stepwise-enhanced tend to be lower. In terms of the relation between engine power and noise, as engine power output increased, noise rose by 1.4 to 2.5 dB(A). With a change in engine type to Tier4, noise was reduced by up to 2.8 to 4.3 dB(A). In the group of large loaders at over 225 kW, the noise of made-in-Korea loaders and that of wheel loaders was low at 3.4 dB(A) and 2.4 dB(A), respectively.

Keywords : Loader, Construction Equipment, Sound Power Level, ANOVA, Noise

본 논문은 국립환경과학원 “음원별 생활 소음의 성가심 평가연구(1)”(NIER-2021-01-01-061)의 일환으로 수행되었음.

*Corresponding Author : JinHoi Gu(National Institute of Environmental Research)

email: mossad61@korea.kr

Received July 12, 2022

Revised August 9, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

1. 서론

공사 현장에서 발생하는 소음 저감 방안으로 2008년 부터 환경부에서 시행 중인 소음발생건설기계 소음도 검사 제도는 2014년 소음표시제에서 관리기준으로 전환하여 2022년 현재까지 세 번의 기준 강화를 통해 운영되고 있다[1]. 소음 관리기준을 초과하는 기기에 대해서는 수입·판매를 금지하고 있다. 대상 건설기계는 굴착기(Excavator), 로더(Loader), 다짐기계(Compactor machine), 공기 압축기(Air Compressor), 발전기(Generator), 콘크리트 절단기(Concrete Cutter) 등 6종이며, 그 외 천공기(Drill Rig), 항타 및 항발기(Pile Driver), 유압 브레이커(Hydraulic Breaker) 등 3종에 대해서는 소음도 검사 후 그 소음도 값을 기기에 부착하고 수입·판매를 할 수 있는 소음표시제로 운영하고 있다. 해당 건설기계의 소음도 현황은 공공데이터 포털(www.data.go.kr)에 공개하며, 건설기계 제조업체에는 저소음 기계 개발을 유도하고, 소비자들에게는 소음도가 낮은 제품을 선택하는데 도움을 주고 있다.

건설 현장 특성상 공정별 투입되는 건설기계가 다양하며, 이로 인한 다양한 소음의 발생과 민원이 존재한다. 따라서 이러한 건설기계에서 방출되는 소음 특성을 파악하고, 저감 방안을 세우는 것이 우선적으로 선행되어야 한다[2].

로더는 차량에 부착된 버킷을 유압으로 작동시키면서 토사나 골재를 덤프차량에 적재 및 운반하는 기계로 농업용, 축사, 공사장, 아스팔트 포장 작업과 시멘트 공장, 광산등 사용 빈도가 높고 목적에 따라 다양한 출력(kW)의 기기가 운영되고 있다[3].

따라서 본 연구에서는 2008년부터 국내에 판매된 로더 327기의 음향파워레벨(PWL: Sound Power Level, 이하 PWL)을 측정하여 분석하였다. 본 연구에서 측정한 로더는 국·내외에서 생산된 사용기간이 없는 새제품을 대상으로 실시하였다. 로더의 측정·분석은 현재 시행중인 건설기계 소음관리기준과 생산시기에 따른 소음도 비교를 통하여 소음저감 효과에 대한 분석을 하였다. 또한 엔진출력(kW)과 엔진형식(Tier2, Tier3, Tier4f), 국내·외 생산제품에 따른 소음도를 비교 분석하였다. 본 연구에서 얻어지는 결과를 통하여 건설 현장에서 운영 중인 로더 소음에 특성과 향후 건설기계 소음도 관리기준 운영에 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

2. 연구방법

2.1 로더 소음 측정 현황

로더 소음도 분석은 2008년 이후 현재까지 국내에 판매된 로더-바퀴형(Wheel) 296기, 로더-궤도형(Crawler) 31기 전량에 대한 음향파워레벨을 분석하였다. 소음관리 기준의 출력(kw)에 따른 연도별 측정 대수는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Number of measurements (Loader).

Model year	Engine Grade	Engine Power (kW) =P					
		Wheel			Track		
		≤55	55<P ≤225	225<P ≤500	≤55	55<P ≤225	225<P ≤500
2008	Tier 2	28	43	12	6	2	0
2009	Tier 2	3	3	0	0	0	1
2010	Tier 3	1	9	1	0	0	0
2011	Tier 3	2	7	3	0	2	0
2012	Tier 3	0	11	1	0	2	0
2013	Tier 3	4	3	0	1	2	0
2014	Tier 3	0	11	4	0	1	0
2015	Tier 3	0	19	4	2	1	0
	Tier 4f	10	5	2	0	1	0
2016~2022	Tier 4f	44	45	21	5	4	1
ALL		296			31		

2.2 음향파워레벨 측정방법

2.2.1 소음측정을 위한 로더 가동조건

건설기계 음향파워레벨 측정은 ‘소음발생 건설기계 소음도 검사 방법’(환경부 고시 2020-55호)에 명시된 기계 가동의 조건에 따라 실시하였다. 측정 당시 엔진 출력(kW)은 최고 출력 상태이며, 엔진 팬(Fan)은 가동 방식에 따라 기준에 맞게 운영하고 소음 측정은 기기 특성에 맞게 현장에서 사용되는 동작을 모식화한 동작을 반복하며 측정하였다. 로더 소음 측정시 동작 방법은 정지 유압 모드 소음과 전·후진 주행 소음을 합산하여 평가한다. 정지 유압 모드는 엔진 최대 속력에서 버킷을 최대 높이의 75%까지 들어 올리고 내리는 동작을 반복하며 가상의 상차 작업을 하며 발생하는 유압 계통의 소음을 측정한다. 주행 모드는 전·후진 실제 주행시 소음을 측정하게 되어있으며, 전진 모드는 시험장을 바퀴형 8km/h 궤도형은 4km/h의 속도로 주행을 하며, 후진모드는 바퀴·궤도형 모두 속력 규정은 없다. 시험장 바닥 재질은

바퀴형은 일반적인 콘크리트 및 아스팔트 바닥에서 측정을 하도록 규정하고 있다. 궤도형은 주행시 무한궤도가 지면 마찰로 발생하는 소음을 제거하기 위해 주행 바닥만 모래 입경 2mm 최소 깊이 0.3m로 만든 전용 시험장에서 주행 소음 측정을 하도록 규정되어 있다.

2.2.2 로더 음향파워레벨 측정

로더의 음향파워레벨 측정은 '소음 발생 건설기계 소음도 검사 방법(환경부 고시 2020-55호)과 '음향-음압법에 의한 소음원의 음향파워레벨 측정 방법-반사면상 전자유음장에서의 실용측정방법 (KS I ISO3744:2002)에 따라 실시하였다[4]. 소음도 측정장소는 소음도 값에 영향을 미칠 수 있는 배경소음(Background noise)이 낮으며, 주변 50m 이내에 반사물이 존재하지 않는 장소에서 실시하였다. 소음 측정 분석기기는 B&K 社の PULSE Program을 이용하여 측정 및 분석 하였다.

Fig. 1는 건설기계 중 로더_바퀴형(스키드)와 로더_궤도형(스키드), 휠로더(굴절식) 소음도 측정 사진이다.

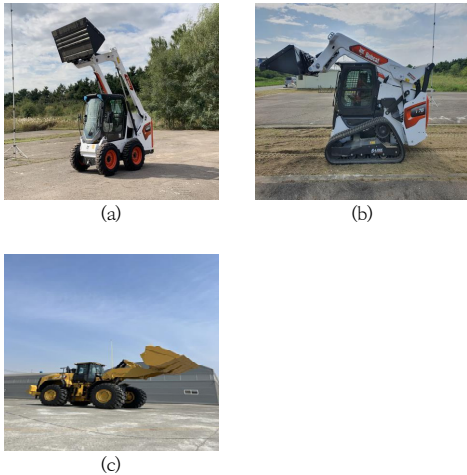


Fig. 1. Measurement of the sound power level (a)Loaderwheel(skid)(b)LoaderTrack(skid)(c)Wheel Loader

측정된 정지유압 음압레벨은 다음 Eq. (1)을 이용하여 대상기기의 정지유압 음압레벨로 산정하게 된다.

$$\bar{L}_{eq,4} = 10 * \log \left(\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 10^{0.1L_{eq,i}} \right) dB \quad (1)$$

여기서, $\bar{L}_{eq,4}$: 평균음압레벨 (dB(A))
 $L_{eq,i}$: i 번째 마이크로폰 등가소음도(dB(A))

전·후진 주행모드의 음압레벨은 다음 Eq. (2)를 이용하여 대상기기의 주행모드 음압레벨로 산정하게 된다.

$$L_{eq,3} = 10 \log \frac{1}{T_1 + T_2} \left[(T_1 \times 10^{0.1L_{eq,1}}) + (T_2 \times 10^{0.1L_{eq,2}}) \right] \quad (2)$$

여기서,

- T_1 : 주행로를 전진 주행모드로 통과하는 시간(s)
- T_2 : 주행로를 후진 주행모드로 통과하는 시간(s)
- $L_{eq,1}$ 및 $L_{eq,2}$: T_1 및 T_2 시간 동안의 등가소음도 (dB(A))

정지유압모드와 주행모드의 측정된 소음도값을 아래의 Eq. (3)으로 합산하여 로더의 총 등가소음도를 계산한다.

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[0.5 \times 10^{0.1L_{eq,3}} + 0.5 \times 10^{0.1L_{eq,4}} \right] dB \quad (3)$$

여기서,

- $L_{eq,3}$: 주행모드에서의 등가소음도 (dB(A))
- $\bar{L}_{eq,4}$: 정지 유압 모드에서의 등가소음도(dB(A))

산정된 기기의 평균음압레벨을 배경소음 보정(K1)과 측정환경 보정(K2)하여 Eq. (4)와 같이 건설기계의 음향파워레벨을 산출한다.

$$L_w = L_{eq,T} - K_1 - K_2 + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) dBA \quad (4)$$

여기서, $L_{eq,T}$: 합산평균음압레벨 (dB(A))

L_w : 음향파워레벨 (dB(A))

K_1 : 배경소음 보정값

K_2 : 환경보정값

S : 측정면의 면적(m^2) , $2\pi r^2$

S_0 : 기준 면적 ($1m^2$)

여기에서 반구면 r (m)은 일반적으로 대상 기기의 길이(L)를 기준으로 결정되며 다음과 같다.

- 반구면, r은 $L < 1.5 m$ $r = 4 m$
- $1.5 m \leq L < 4 m$ $r = 10 m$
- $4 m \leq L$ $r = 16 m$

2.2.3 건설기계 소음도 관리기준

소음발생건설기계 소음관리기준은 2014년 굴착기,

다짐기계, 로더, 공기압축기 4종에 대해서 시행되어 2018년 2단계 2022년 공기압축기와 콘크리트 절단기 2종이 추가되어 최종 3단계로 운영되고 있다. 소음기준 강화는 대상기기의 출력별로 시기는 상이하나 최종 기준은 최초 시행 기준과 비교하여 3 dB(A) 강화되어 운영되고 있다. Table 2는 로더 소음 관리기준 변화를 나타낸 것이다.

Table 2. Change of construction equipment noise management standard.

Grade	Wheel			Track		
	≤ 55	55<P ≤225	225<P ≤500	≤ 55	55<P ≤225	225<P ≤500
Stage I 14'.02.14	104	85+11*logP	85+11*logP	106	87+11*logP	87+11*logP
Stage II 18'.10.01	101	85+11*logP	82+11*logP	103	87+11*logP	84+11*logP
Stage III 20'.10.01	101	82+11*logP	82+11*logP	103	84+11*logP	84+11*logP

3. 결과

3.1 로더 소음도 현황 및 소음관리기준 비교

2008년 이후 2022년 3월까지 국내 제작 및 수입되어 판매된 로더 327대의 음향파워레벨(PWL)을 분석한 결과, 소음도의 범위는 93.0~119.0 dB(A)로 조사되었으며, 103.6±4.1 dB(A)의 평균값을 가지는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Status of sound power level by production year.

Year(N)	Loader Sound Power Level (dB(A))			
	1Range	Mean±2SD	3GM	50th
2008(91)	95~113	105.3±3.56	105.3	106.0
2009(6)	101~118	105.2±6.61	105.0	102.5
2010(12)	98~111	103.3±3.55	103.3	103.0
2011(14)	101~114	104.9±3.58	104.9	104.5
2012(14)	101~114	106.9±3.31	106.9	107.5
2013(10)	101~117	105.9±4.30	105.8	105.5
2014(17)	100~119	105.1±5.03	104.9	104.0
2015(44)	99~109	103.2±2.63	103.1	103.0
2016(24)	98~109	103.6±3.02	103.5	103.0
2017(19)	95~109	102.4±3.86	102.3	103.0
2018(11)	96~107	100.4±3.77	100.3	100.0
2019(18)	96~109	100.2±4.40	100.1	98.5
2020(19)	96~108	100.1±3.44	100.1	99.0
2021(22)	93~109	101.9±4.14	101.8	102.5
2022(6)	97~103	99.5±2.58	99.5	99.0
Total(327)	93~119	103.6±4.12	103.6	103.0

¹Range: minimum and maximum, ²SD: standard deviation, ³GM: Geometric mean.

연도별 소음도 현황과 건설기계 소음도 표시제 시행 기간(2008~2014.2)과 건설기계 소음관리기준 단계별 기간과 측정된 소음도 값 비교를 통해 소음도검사 제도의 소음저감 유도 효과를 분석하였다[5]. Table 4는 소음표시제와 소음도 관리기준등급이 적용되는 시기에 생산된 로더(바퀴형) 296대의 소음도 현황을 정리한 것이다.

Table 4. Comparison of the noise of the loaders produced in the same period according to each step of construction equipment noise management standard.

Grade	Wheel Loader Sound Power Level (dB(A))		
	≤ 55	55<P ≤225	225<P ≤500
~ 2014.02	103.3 (36)	105.3 (83)	108.6 (17)
Stage I (N)	100.9 (37)	103.5 (42)	107.9 (20)
Stage II (N)	98.9 (14)	99.4 (14)	107.5 (2)
Stage III (N)	97.6 (8)	101.1 (14)	105.3 (9)

소음표시제 기간에 생산된 로더 평균 소음도 값은 출력에 따라 3개 그룹(55 kW 이하, 55~225 kW 이하, 225 kW 초과)으로 나누어 분석하였다. 출력에 따른 평균 소음도는 각각 103.3 dB(A), 105.3 dB(A), 108.6 dB(A) 나타났으며, 건설기계 소음관리기준 시행 1단계 시기의 소음도 평균은 각각 100.9 dB(A), 103.5 dB(A), 107.9 dB(A) 정도 수준으로 소음표시제 기간에 생산된 기기들 보다 각각 2.4 dB(A), 1.8 dB(A), 0.7 dB(A) 낮아진 것으로 분석되었다. 소음관리기준 마지막 기준(3단계)이 시행된 2020년 이후 현재 판매되는 로더의 소음도 평균은 각각 97.6 dB(A), 101.1 dB(A), 105.3 dB(A) 수준으로 소음표시제 기간에 생산된 기기들과 비교시 출력별로 55 kW 이하는 5.7 dB(A), 55~225 kW 이하는 4.2 dB(A), 225 kW 초과 로더에서는 3.3 dB(A) 이상 낮아진 것으로 분석되었다. 관리기준 시행 시점인 2014년을 기준으로 로더의 소음도가 점차 낮아지는 것으로 나타났다. 건설기계 소음관리기준 제도운영이 건설기계 소음 저감을 유도하는 효과를 객관적인 수치로 확인할 수 있었다.

3.2 엔진 출력에 따른 소음도 현황

로더를 사용하는 현장은 농업용, 측사, 일반 공사장, 도로포장, 야적장, 광산 등 다양하며 그 사용처에 따른 기기의 작업 능력 요구사항에 맞게 엔진 출력(kW) 범위

Table 5. Status of Loader sound power level depending on engine power(kW).

Engine Power (P=kW)	Wheel-Loader Sound Power Level (dB(A))									
	1Range	Mean±2SD	3GM	p-value	post-hoc	5th	25th	50th	75th	95th
Total (N=296)	93.0-119.0	103.6±4.2	103.5	P(0.01) (F=12.614)	-	97.0	101.0	103.0	107.0	110.0
^a P≤55 (N=95)	93.0-109.0	101.2±3.4	101.2		b, c	95.8	99.0	101.0	104.0	107.0
^b 55 < P ≤ 225 (N=153)	96.0-118.0	103.9±3.9	103.8		a, c	97.0	101.0	103.0	106.0	110.0
^c 225 < P (N=48)	102.0-119.0	107.6±3.1	107.6	p(0.01) (F=50.820)	a, b	102.5	106.0	107.0	109.0	113.6

¹Range: minimum and maximum, ²SD: standard deviation, ³GM: Geometric mean,

가 다양하게 생산이 된다. 또한 선행연구 결과 로더에서 발생하는 소음중 엔진소음이 가장 기여율이 높다는 연구 결과가 있었으며[6], 본 연구에서는 엔진 출력이 소음도에 미친 영향을 살펴보았다.

바퀴형 로더를 건설 기계소음 관리기준에 맞게 출력의 크기별로 3개 그룹으로 나누어 분석을 실시하였다 (Table 5). 통계적 분석은 SPSS package (SPSS Inc,USA,Ver.12)을 이용하여, 산술평균, 최소-최대, 기하평균, 중위수의 기술통계 값을 산출하였다. 출력 제작 국 등의 변수별 소음도 비교는 ANOVA(분산분석), t-test을 이용하여 분석하였다.

로더_바퀴형을 엔진 출력에 따라 소음도를 분석한 결과, 55 kW 이하의 로더의 경우는 101.2±3.4 dB(A), 55 ~ 225 kW 이하는 103.9±3.9 dB(A), 225 kW 초과 로더는 107.6±3.1 dB(A) 나타났다. 로더의 엔진 출력이 증가하면서 그룹간 소음도 크기는 약 3.0 dB(A) 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 엔진 출력과 소음도의 관계는 통계적으로 유의미한 결과를 보였다(p<0.01).

로더_궤도형을 엔진 출력에 따라 나눈 소음도 값을 분석한 결과, 55 kW 이하는 100.9±2.5 dB(A) 55~225 kW 이하는 105.5±2.5 dB(A), 225 kW 초과 소음도는 각 110.0±1.4 dB(A) 나타났다. 로더의 엔진 출력이 증가하면서 그룹간 소음도 크기는 약 4.5 dB(A) 정도 증가하는 것으로 분석되었다(Table 6).

바퀴형과 궤도식 형태에 따른 소음도를 비교한 결과 55 kW 이하 기기들은 소음도 값 차이가 0.3 dB(A) 정도로 구동 방식에 따른 차이가 미미하게 나타났고, 55~225 kW 이하의 기기들은 소음도 평균 1.7 dB(A), 225 kW 초과 기기는 2.4 dB(A) 궤도식 로더가 소음도가 높게 나타났다. 다만, 측정된 기기 대수가 궤도식의 경우 바퀴형의 10% 정도인 31 대 정도가 분석되어 향후 데이터 축적 후 재분석이 필요하다고 사료 된다.

Table 6. Status of Loader sound power level depending on engine power(kW).

Engine Power (P=kW)	Crawler-Loader Sound Power Level (dB(A))		
	¹ Range	Mean± ² SD	³ GM
Total (N=31)	97.0-111.0	103.5±3.72	103.0
P≤55 (N=14)	97.0-106.0	100.9±2.5	100.0
55 < P ≤ 225 (N=15)	102.0-110.0	105.5±2.5	105.0
225 < P (N=2)	109.0-111.0	110.0±1.4	110.0

¹Range: minimum and maximum, ²SD: standard deviation, ³GM: Geometric mean,

3.3 엔진 형식에 따른 소음도 현황

우리나라의 건설기계 엔진은 배출가스 규제에 따라 Tier1(2004)에서 현재 Tier4f (2015)이 시행되고 있으며 현재 유럽과 같은 Stage V 시행을 앞두고 있다[7].

로더 바퀴형의 출력(kW)에 따른 소음도 변화 분석 결과를 같은 출력구간에서 엔진의 형식(Tier2, Tier3, Tier4f)에 따라 재분류하여 소음도 변화를 분석하였다(Table 7).

55 kW 이하에서 엔진 형식간 소음도차이는 Tier2는 103.4±3.3 dB(A), Tier3는 101.9±2.3 dB(A), Tier4f는 99.6±2.9 dB(A)로 나타났다. Tier2 엔진에서 Tier4f 엔진으로 변경되면서 3.8 dB(A) 저감되는 것으로 나타났다.

55~225 kW 미만의 그룹에서 엔진 형식간 소음도 차이는 Tier2는 105.7±3.5 dB(A), Tier3는 104.5±3.5 dB(A), Tier4f는 101.4±3.4 dB(A)로 Tier2에서 Tier4f로 변경되면서 소음도는 4.3 dB(A) 저감 되었다(p<0.01).

225 kW 초과 그룹의 엔진 형식간 소음도 차이는 Tier2는 109.2±2.5 dB(A), Tier3는 108.5±4.2 dB(A), Tier4f는 106.4±2.1 dB(A)로 Tier2에서 Tier4f로 변경되면서 소음도는 2.8 dB(A) 저감 되었다(p<0.05). 따라

서 본 연구에서는 엔진의 형식 변화에 따라 소음도 값이 유의하게 변화했다는 것을 확인하였다.

저감 폭이 가장 큰 그룹은 55 ~ 225 kW로 4.3 dB(A) 저감이 된 것으로 분석되었다. 배기가스를 저감하기 위해 설계된 엔진이 결과적으로 소음 저감 효과를 나타낸 것으로 나타났으며, 구체적인 원인 규명은 차후 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다[8,9].

Table 7. Status of excavator sound power level depending on engine type.

	Wheel-Loader Sound Power Level (dB(A))			
	¹ Range	² Mean±SD	p-value	post-hoc
P ≤ 55 Total (N=95)	93.0-109.0	101.2±3.4	-	
^a Tier2 (N=29)	95.0-109.0	103.4±3.3	p<0.01 (F=15.542)	c
^b Tier3 (N=18)	98.0-106.0	101.9±2.3		c
^c Tier4 (N=48)	93.0-106.0	99.6±2.9		a, b
55 < P ≤ 225 total (N=153)	96.0-118.0	103.9±3.9	-	
^d Tier2 (N=48)	99.0-118.0	105.7±3.5	p<0.01 (F=20.762)	f
^e Tier3 (N=55)	99.0-117.0	104.5±3.5		f
^f Tier4(N=50)	96.0-108.0	101.4±3.4		d, e
P < 225 total(N=48)	102.0-119.0	107.6±3.1	-	
^g Tier2 (N=12)	106.0-113.0	109.2±2.5	p<0.05 (F=4.376)	i
^h Tier3 (N=13)	102.0-119.0	108.5±4.2		-
ⁱ Tier4 (N=23)	102.0-109.0	106.4±2.1		g

¹Range: minimum and maximum, ²GM: Geometric mean

3.4 제작국에 따른 소음도 비교

로더(바퀴형)의 제작국에 따른 소음도 비교를 위해 전체 297기 중 국내 (110기) 생산과 수입(187) 생산 제품 2 분류로 나누어 소음도 수준을 평가해보았다(Fig. 2).

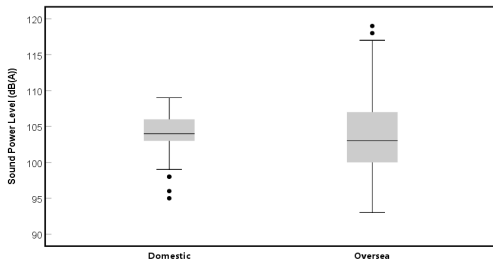


Fig. 2. Status of sound power level depending on the area of production (domestic · overseas)

로더를 두 그룹으로 나누어 소음도를 비교한 결과, 국내 생산제품의 평균 소음도는 105.1 dB(A), 국외 생산제품은 106.4 dB(A)로 나타났다. 국외 생산제품이 국내 생산 제품보다 평균 1.3 dB(A) 이상 높게 나타났다. 국내 생산 제품의 범위(최소-최대)는 95~109 dB(A) 나타났고, 국외 수입제품은 93~ 119 dB(A) 넓은 소음도 범위를 나타냈다. 소음도 평균 중간값인 상위 50 %의 소음도는 국산 제품 104 dB(A) 국외 제품이 103 dB(A)로 1 dB(A) 이상 높게 분석되었다.

국내 · 외 생산제품 출력 별로 생산되는 비율과 소음도 수준을 분석하였다(Table 8). 생산지에 따른 소음도 비교한 결과, 출력 55 kW 이하의 소형 기기들은 소음도 차이는 0.3 dB(A)로 나타났다. 생산 비율이 약 50 % 정도인 55~225 kW 기기들 소음도 비교한 결과, 국내 제품이 약 1.7 dB(A) 낮은 것으로 분석되었고, 대형 기종인 225 kW 초과 기기들의 소음도 비교 결과 국내 생산제품이 3.4 dB(A) 낮은 것으로 분석되었다. 즉, 출력이 55 kW 이하의 스키드로더 형태의 소형기종으로 경우 생산지에 따른 소음도 차이는 미미하였으나, 엔진 출력이 높아지는 중 · 대형 기종으로 갈수록 소음도 수준은 국내 생산제품이 수입 제품에 비해 소음도가 낮은 것으로 분석되었다.

Table 8. Sales ratio and sound power level by output depending on the area of production.
unit: dB(A)

Engine Power (kW)	Origin			
	Domestic		oversea	
	¹ L.M. dB(A)	Ratio (%)	¹ L.M. dB(A)	Ratio (%)
≤55	102.3	23.6	102.5	37.4
55 < P ≤ 225	104.9	55.5	106.6	49.2
225 < P	107.0	20.9	110.4	13.4

¹L.M.: Logarithmic Mean

4. 결론

본 연구에서는 2008년 이후 국내에 판매되는 로더 327기의 소음도 수준을 분석하여 저소음표시제도 시행 전후에 따른 소음도 현황을 비교 · 분석하여 효과를 분석하고자 하였다. 분석 결과는 현재 판매 또는 운용되고 있는 로더의 소음 수준을 평가하는 기초 자료로 이용될 수 있으며, 향후 건설기계 소음관리기준 강화 시 근거 자료로의 활용이 가능할 것으로 보인다. 또한 로더의 소음

도 자료 공개를 통해 소비자에게 구매 · 선택시 기초 자료로 활용이 가능할 것이다.

소음분석은 소음관리기준 적용단계별, 엔진 출력(kW) 별, 엔진형식별, 생산지별, 및 로터의 종류별에 따른 소음도로 구분하여 분석 · 비교하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1) 로터 327기의 소음도 분석 결과 전체 소음도 평균은 103.6 ± 4.1 dB(A)로 분석되었다. 제조시기에 따른 소음도 분석 결과를 건설기계 소음표시제 기간(최종 3단계 관리기준 기간)에 생산된 기기들과 비교한 결과, 출력별로 55 kW 이하 5.7 dB(A), 55~225 kW 이하 4.2 dB(A), 225 kW 초과는 3.3 dB(A) 이상 낮아진 것으로 분석되었다. 이는 소음발생건설기계 소음관리기준 제도가 로터의 소음저감을 유도하는데 일부 기여한 것을 객관적인 수치로 확인하였다. 특히 3단계 기준 시행 후 생산되는 55 kW이하 로터 바퀴형의 소음도 평균은 관리기준인 101 dB(A)보다 3.4 dB(A) 낮은 수준으로 현재 소음저감 기술 수준에 맞는 관리 기준값 설정을 위한 논의가 필요하다고 사료된다.

2) 로터 엔진 출력에 따른 소음도 관계를 분석한 결과, 바퀴형 로터의 소음도 평균은 55 kW 이하는 101.2 ± 3.4 dB(A), 55~225 kW 이하는 103.9 ± 3.9 dB(A), 225 kW 초과는 107.6 ± 3.1 dB(A)로 나타났고, 각 그룹간 소음도 차이는 약 3 dB(A) 정도로 나타났다. 로터_궤도형의 소음도 평균은 55 kW 이하는 100.9 ± 2.5 dB(A), 55~225 kW 이하는 105.5 ± 2.5 dB(A), 225 kW 초과는 110.0 ± 1.4 dB(A) 나타났으며, 각 그룹간 소음도 차이는 약 4.5 dB(A) 정도씩 나타났다. 로터의 엔진룸에서 발생하는 소음이 소음도 수준에 기여율이 가장 높다는 선행 연구결과[5]와 같이 사용자에게 요구에 따라 높은 작업 능력을 위해 출력이 높은 고출력 엔진을 사용하면서 방출되는 소음이 로터 소음을 증가시킨 것으로 분석된다.

3) 로터의 구동 방식에 따른 소음도 비교는 바퀴형과 궤도형 같은 출력 구간에서 소음도 차이는 55 kW 이하는 0.3 dB(A)로 소음도 차이가 미미하게 나타났고, 55~225 kW 이하는 1.7 dB(A), 225 kW 초과 로터의 소음도는 2.4 dB(A)로 궤도형 로터가 소음도가 높게 나타났다. 궤도형 로터가 사용되는 환경은 현장 바닥이 고르지 못하고 질퍽한 환경으로 이러한 환경에서 이동하기 위해 사용되는 무한궤도에서 발생하는 소음과 고르지 못한 바닥을 이동하기 위해 엔진의 출력을 높게 사용하는데 기

인하는 것으로 사료된다.

4) 엔진 형식이 Tier2 → Tier3 → Tier4f로 3단계로 변경되면서 소음 저감은 각 출력별로 55 kW는 3.8 dB(A), 55~225 kW 이하에서는 4.3 dB(A), 225 kW 초과에서는 2.8 dB(A) 저감된 것으로 나타났다. 배기가스 규제를 위한 기기 설계 변경이 소음 저감이라는 부가적인 효과를 가져온 것으로 확인되었다.

5) 국내 제작과 수입제품에 따른 소음도 비교 결과 로터 바퀴형의 경우 국내 제품 소음도 평균 105.1 dB(A), 국외 제품 106.4 dB(A)으로 국내 제품이 1.3 dB(A) 낮은 것으로 나타났다. 출력에 따른 국내 · 외 소음도 평균 소음도 값은 출력 55kW 이하 기기들은 차이가 없었으며, 55~225 kW 기기는 국내 생산 제품 104.9 dB(A)로 국외 생산제품 보다 1.7 dB(A) 낮게 분석되었다. 출력 225 kW 초과되는 대형로터는 국내 생산제품 소음도 평균값이 107.0 dB(A)로 수입 제품보다 3.4 dB(A) 낮게 분석되었다. 즉, 출력이 낮은 스키드 로터의 경우 국내 · 외 생산지에 따른 소음도 차이는 없었으나, 출력이 높은 대형 로터는 국내 생산 제품이 수입 제품보다 소음도가 낮은 경향을 나타냈다.

건설기계 중 로터의 소음에 관한 연구 결과는 향후 공사현장에서 발생하는 소음저감 및 대책 방안을 만들기 위한 기계 선택 시 기초 자료로 활용이 기대한다.

References

- [1] "Enforcement rules of the noise and vibration control act Index 18.2", Ministry of Environment, 2021.
- [2] H. K. Park, J. S. Jung, "Analysis of sound power level of high-noise construction machinery excavator", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.9, pp.240-246, Sep. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.9.240>
- [3] D. J. Kang, W. S. Lee, J. W. Lee, J. K. Hong, "Characteristics of Construction Machinery Noise and Vibration", *Korean Society for Noise and Vibration Engineering(KSNVE)*, Vol.15, No.99, pp.645-651, Jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.5050/KSNVN.2005.15.6.645>
- [4] KS I ISO 3744:2015 "acoustics-Determination of sound power levels and sound energy levels of noise source using sound pressure-Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane", p.79, Korea Industrial Standards Commission, 2021, p.79.
- [5] J. H. Gu., W. S. Lee, C. Y. Seo, J. W. Lee, "Study on

a Applicability of the Low Noise Labeling System for a Construction Machinery”, *Korean Society for Noise and Vibration Engineering(KSNVE)*, Vol.23, No.200, pp.982-986, Nov. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5050/ksnve.2013.23.11.982>

- [6] D. H. Kim, "Identification of the noise characteristics of wheel loaders and reduction measures", *Korean Society for Noise and Vibration Engineering, KSNVE, GYEONGJU, KOREA*, pp.55-64, April 2004.
- [7] S. I. Kwon, "The new standard of Domestic Construction and Agricultural Equipments", *The korean Society of Automotive engines*, 2020, pp.24-26.
- [8] S. H. Choi, N. Y. Kim, H. Jung, J. K. Lee, H. B. Kwon, "A Study on the Validity of using DPF for Construction Machine", *The korean Society of Automotive engines, KOREA*, pp.341-346, May 2012.
- [9] D. W. Lee. "Noise Fighting in Construction Equipments", *Korean Society for Noise and Vibration Engineering, KSNVE*, DAEGU, KOREA, pp.109-112, May 2005.

박 형 규(Hyung-Kyu Park) [정회원]



- 2007년 8월 : 한양대학교 공학대학원 (환경공학 석사)
- 2004년 1월 ~ 현재 : 국립환경과학원

〈관심분야〉
소음·진동, 빛 공해, 건설기계, 음질평가

정 준 식(Joon-Sig Jung) [정회원]



- 2014년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과 (보건학박사)
- 2014년 3월 ~ 2017년 3월 : 국립환경과학원 생활환경연구과 Post. Doc Researcher
- 2017년 8월 ~ 2019년 2월 : 국립환경과학원 생활환경연구과 연구사
- 2019년 2월 ~ 현재 : 낙동강유역환경청 측정분석과 환경연구사

〈관심분야〉
환경 보건학, 산업 보건학, 인체노출평가

이 연 주(Yeon Joo Lee) [정회원]



- 2020년 2월 : 강원대학교 일반대학원 BIT의료융합학과 (공학석사)
- 2020년 7월 ~ 현재 : 국립환경과학원 생활환경연구과 전문연구원

〈관심분야〉
빛공해

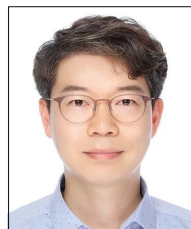
김 우 정(Woo Jung Kim) [정회원]



- 2021년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2021년 4월 ~ 현재 : 국립환경과학원 생활환경연구과 전문연구원

〈관심분야〉
소음진동, 건축음향

구 진 회(Jin Hoi Gu) [정회원]



- 2006년 4월 ~ 2016년 1월 : 국립환경과학원 연구사
- 2016년 1월 ~ 2019년 2월 : 전북지방환경청 측정분석과 연구사
- 2019년 2월 ~ 현재 : 국립환경과학원 생활환경연구과 연구관

〈관심분야〉
생활소음 연구, 빛공해 특성 평가