

소선회 미니굴삭기 운전실 내부 및 외부 소음평가

Estimation of Noise in and out the Cabin of Zero Tail Type Mini Excavator

이종호* · 이성일** · 김철호** · 박종성** · 손민규**

Chong-Ho Lee, Sung-Il Lee, Cheol-Ho Kim, Jong-Sung Park, Min-Kyu Sohn

Key Words : Zero Tail Type Mini Excavator(소선회 미니굴삭기), Cabin(운전실), LwA(음향 파워레벨)

ABSTRACT

Zero tail type mini excavator is small in size and capacity compared with medium or large excavator. Therefore noise and heat problems are major issues in design due to layout of each components such as engine and hydraulic module. It is necessary to assure reduction of noise and vibration in construction machine, due to be enforced regulation for high noise construction machinery at home and abroad. The objective of this study is to provide basic data which is apply to predict noise effect in detail design stage by estimating noise of cabin for zero tail type mini excavator.

1. 서 론

현재 국내에서 생산되고 있는 굴삭기의 대부분은 5톤 이상급의 중대형 굴삭기가 주종을 이루고 있다. 하지만, 수요자의 요구가 다양화됨에 따라 건설기계가 점차적으로 소형화되는 추세에 있으며 건설기계의 최대 생산국이며 수요국가인 유럽, 미국, 일본에서도 미니굴삭기에 대한 수요가 증가하고 있다. 소선회 미니굴삭기는 통상적으로 1-5톤급의 용량을 가지고 있으며 자체 트랙 반경내에서 스윙모션을 이루며 후방장애물의 구애를 받지 않고 선회 상부체도 손상이 없는 작업특성을 가지고 있기 때문에 도심지의 공사나 협소한 공간에서 우수한 작업효율을 나타낸다. 또한 소선회 미니굴삭기는 기존의 중대형 굴삭기와는 달리 엔진 및 유압모듈을 비롯한 각 전장품들의 구조적인 배치가 운전실 아래로 집중되어지기 때문에 각 부품들이 제한된 공간 내에 콤팩트하게 설계되어야 한다. 따라서, 초기 설계 단계에서부터 소음 및 발열문제가 중요한 설계변수가 된다.

또한, 굴삭기를 포함한 일반적인 건설기계로 인하여 생기는 소음은 전체소음분쟁 건수의 80%를 차지하는 것으로 환경소음 통계에 나타나 있으며 고소음 기기에 대한 규제들이 국내외적으로 점차 강화되고 있는 실정이다. 80년대 초 국제

표준화기구(ISO)에서 고소음 기계에 대한 소음표시제도를 제안한 이래 매년 소음표시 품목이 확대되고 있으며, EC 회원국들은 통일된 지침인 Directive/2000/14/EC를 제정하여 건설기계에 대한 소음표시의무제 및 인증제를 시행하고 있다. 따라서 엄격한 소음한도 설정 및 소음표시의무제로 인하여 고소음기계에 대한 수입규제가 더욱 강화될 전망이다. 아울러 외국에서 제작된 건설기계에 대해서는 더욱 까다로운 규제를 통과해야 수입이 가능하도록 관리를 하고 있으므로 건설기계 자체의 저소음, 저진동 설계가 필수적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 3톤급 소선회 미니굴삭기에 관한 운전실 내부 및 외부 소음에 관한 음압레벨을 측정하여 상세설계 단계에서 소음에 대한 영향을 예측하는데 활용하고자 한다.

2. 운전실 내부 소음 측정

2.1 측정 대상 장비

미니굴삭기 소음 측정에 사용된 대상 장비는 현재 외국에서 시판되고 있는 K사의 제품이며, 운전실 내부 소음과 외부 소음을 측정하였다. Table 1은 측정하고자 하는 모델에 대한 주요 제원을 나타내고 있다.

* 한국생산기술연구원, 지능형산업설비팀
E-mail : jhlee@kitech.re.kr
Tel : (041)589-8312, Fax : (041)589-8320

** 한국생산기술연구원

Table 1 Specification

item		specification	
Machine weight (Cabin/Canopy)(Kg)		3590/3480	
Bucket capacity, SAE/CECE(m ³)		0.11/0.10	
Engine	Model	D1503-M-EBH-2-EC	
	Type	Water cooled, diesel engine	
	Output ISO9249	PS/RPM	26.6/2300
		KW/RPM	19.6/2300
	Number of cilinders	3	
Displacement(cc)	1499		
Max digging force	Arm KN(Kg _f)	18.3(1870)	
	Bucket KN(Kg _f)	31.1(3180)	
Travelling speed(Km/h)		4.6/3	
Noise level LwA		96dBA	

2.2 운전실 음압레벨 측정

(1) 측정조건

건설기계에 대한 운전실 소음에 관해서는 공식적으로 소음 한계가 규정되어 있지 않지만 외부 소음도의 규정 만족 외에 실질적으로 소비자가 판단하는 부분으로서 중요한 요소라고 할 수 있다.

본 시험에서는 실제 운전자가 의자에 앉았을 때 귀의 위치에 마이크론을 위치시키며 정적 (static) 상태에서 각 RPM별 소음도를 측정하였다. 측정에 사용된 장비는 B&K 4190 Free-Field 1/2" 마이크론과 B&K 2690A Conditioning 앰프를 사용하였으며 LMS 장비를 통하여 측정하여 분석하였다. Fig. 1은 운전실내에 마이크론을 설치한 사진이며 마이크론의 위치는 삼발이를 통하여 운전자 귀 위치로 설정되었다.

굴삭기 운전 시 일정한 RPM 상승이 어려워 가능한 RPM 구분을 세밀히 하여 운전자 소음을 측정하였다. 최저 1117 RPM에서 최고 2557 RPM까지 모두 17개의 RPM 별 소음을 측정하였다.

(2) RPM별 측정 결과

Fig. 2 는 RPM 별로 측정된 운전자 소음을 나타내고 있

다. 전체적으로 RPM이 올라가면서 소음이 커지는 경향을 볼 수 있으나 1387 RPM에서 특이하게 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 측정 대상 장비의 구조적 공진 현상으로 판단되며 음향 공진과 맞물려 크게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 3은 1000 Hz 이상에서의 소음은 크게 기여하지 않아 1000 Hz까지만 나타낸 그래프이며 가로 축은 주파수 세로 축은 RPM을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 1800 RPM 이상에서 주로 기여하는 것은 1, 1.5, 3, 10, 30 order 이며 특히 10, 30 order가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 200, 430, 700, 780 Hz 근처에서 RPM의 변화에 관계없이 소음이 큰 것으로 보아 캐빈 공진이 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2의 1387 RPM에서의 음압 특이성을 생각해 보면 Fig. 3에서 1387 RPM의 운전 중에는 34.6 Hz(1.5 order)와 230.6 Hz(10 order)의 하모닉 성분이 많이 나타나고 있으며 특히 1/3 옥타브 630 Hz 대역이 주위의 RPM 영역에서 보다 크게 나타내기 때문으로 보이며 이는 230 Hz의 하모닉 성분인 690 Hz (30 order) 성분이 크게 나타내기 때문이다.

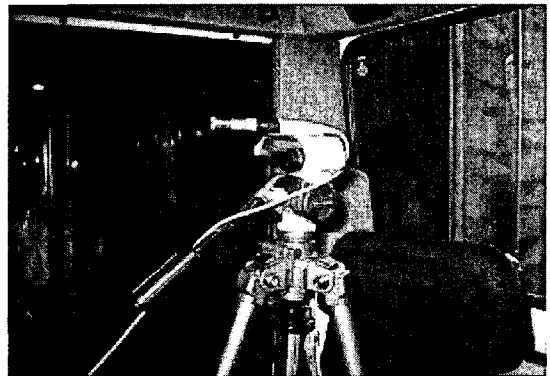


Fig. 1 Setup of microphone

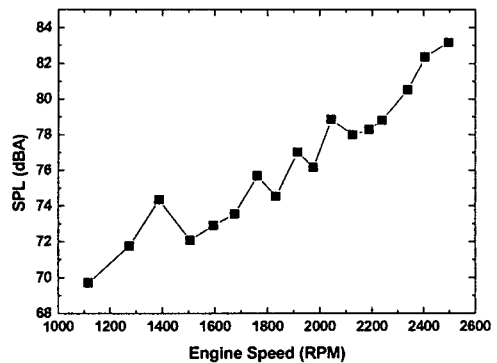


Fig. 2 Measured SPL(overall) at driver's ear

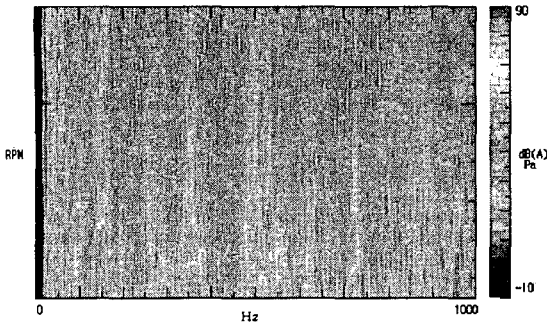


Fig. 3 Measured SPL by colormap

3. 외부소음 측정

3.1 외부 전후좌우 4방향에서의 음압레벨 측정

굴삭기의 소음 측정은 최소, 최대 RPM 운전(static) 시 전, 후, 좌, 우 4방향에서 1m 떨어진 거리, 1m 높이에서 측정하였으며 측정 결과를 Table 2에 나타내었으며 측정은 B&K 4190 Free-Field 1/2" 마이크로폰과 B&K 2690A Conditioning 앰프를 사용하였으며 LMS 장비를 통하여 측정하여 분석하였다.

측정된 결과는 표에서 보는 것과 같이 굴삭기 후방의 소음이 크게 나왔으며 이는 엔진이 뒤쪽에 위치하기 때문이다. 그러나 최저 RPM인 1058 RPM으로 운전 시에는 굴삭기의 후방이 아닌 우측 소음이 크게 나타났으며 1/3 옥타브 500 Hz 밴드의 소음에 의한 영향으로 나타났다. 이는 뒤 절에서 논의하겠지만 낮은 RPM에서는 1/3 옥타브 500 Hz 밴드의 소음이 크게 나타나는 반면 RPM이 증가할수록 다른 주파수 대역의 소음에 묻혀 버리는 결과를 보이고 있다.

Table 2. Noise of excavator [dBA]

RPM	front	back	left	right
1058	63.93	67.56	64.70	68.59
2496	78.01	80.28	78.01	77.15

3.2 엔진덮개 개폐에 따른 음압레벨 측정

굴삭기 중 가장 소음이 크게 발생하는 엔진에 대한 차음의 효과를 알아보기 위하여 최저, 최고 RPM으로 운전 시 엔진 룸 덮개의 개폐 여부에 따른 소음을 측정하였다.

엔진과 마이크로폰과의 거리를 1m로 하였으며 측정은

B&K 4190 Free-Field 1/2" 마이크로폰과 B&K 2690A4 Conditioning 앰프를 사용하였으며 LMS 장비를 이용하여 측정하여 분석하였다.

측정된 결과를 Table 3에 나타내었으며, 1084 RPM에서는 4.31 dB 그리고 2493 RPM에서는 5.12 dB의 소음 감소 효과를 가져왔다.

Table 3. Noise at front of engine room [dBA]

RPM	Engine cover CLOSE	Engine cover OPEN	Noise reduction
1084	69.60	73.91	4.31
2493	81.40	86.52	5.12

3.3 굴삭기 측면 음압레벨 측정

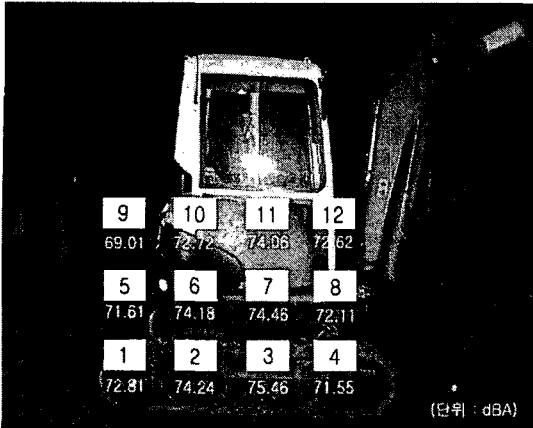
앞서 언급한 굴삭기의 전후좌우의 소음 중 최저 RPM에서 엔진이 위치한 후방쪽이 아닌 우측의 소음이 크게 나타났다. 이를 확인하기 위하여 굴삭기 우측의 50cm 거리의 면을 12 (3x4) 지점을 선정하여 각 지점의 음압을 측정하여 비교하였다.

측정은 B&K 4190 Free-Field 1/2" 마이크로폰과 B&K 2690A4 Conditioning 앰프를 사용하였으며 엔진 운전을 1074 RPM으로 고정하여 마이크로폰을 옮겨가며 각 지점의 소음을 LMS 장비를 통하여 측정하여 분석하였으며 측정된 소음을 Table 4에 나타내었으며 이것을 보기 쉽게 Fig 4와 같이 등고선 처리를 하여 나타내었다. 그림에서 보듯이 가장 큰 소음이 발생하는 쪽은 굴삭기의 엔진 쪽이 아니라 캐빈 우측 기어 박스 쪽에서 소음이 많이 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

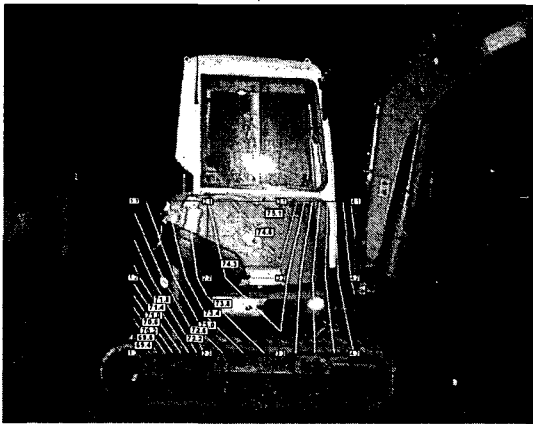
이것으로부터 낮은 RPM의 영역에서는 캐빈 우측의 기어 박스에서의 소리가 크게 난다는 것을 알 수 있으며 RPM이 점차 올라가면서 엔진 소음에 묻혀 버리는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4. Measured noise of right surface [dBA]

points	1x	2x	3x	4x
x1	69.01	72.72	74.06	72.62
x2	71.61	74.18	74.46	72.11
x3	72.81	74.24	75.46	71.55



(a) Measured SPL(overall) at each points



(b) Measured sound level by contour
Fig. 4 Measured noise at right surface

4. 결론

본 연구에서는 3톤급 소형 미니굴삭기에 관한 운전실 내부 및 외부에 관한 소음특성을 측정하여 아래와 같은 측정결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 내부운전자 소음은 최고 엔진 RPM에서 83.5 dBA로 동급용량의 다른 모델에 비해 다소 큰 소음도를 보이는 것으로 나타났다.
- 2) 외부 전후좌우의 소음에서는 엔진이 위치한 후방의 소음이 크게 나타났으나 최저 RPM의 경우 운전자 기준 우측 기어박스에서 더 큰 소음이 나타남을 알 수 있다.
- 3) 엔진덮개의 차음효과는 최저 RPM에서 4.1 dB 최고 RPM에서 5.3 dB의 효과를 가져오는 것으로 측정되었다.

후 기

본 연구는 한국기전공업의 주관 하에 시행되었으며 시험에 도움을 주신 대우중합기계 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 박상규 등, 2004, "건설기계 소음표시의무제도 연구", 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 554~558.
- (2) 김추호 등, 1995, "굴삭기 운전실 소음저감에 관한 연구", 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 89~93.
- (3) KS A ISO 3740, 2002, "음향-소음원의 음향 파워레벨 측정방법-기본규격의 이용을 위한 지침서"
- (4) KS A ISO 3744, 2002, "음향-음압법에 의한 소음원의 음향 파워레벨측정방법-반사면상 준자유 음장에서 실용측정방법"