

# 저소음 로더 개발에 관한 연구

전 두 환\*

## Noise reduction study of wheel loader

Du Hwan Chun

### 1. Introduction

기계 및 장비로부터의 소음이 우리 생활에 문제시되기 시작한 것은 아마도 18세기말 산업 혁명이후부터 시작되었다 해도 과언은 아닐 것이다. 실제 미국의 예를 보면 1970년 OSHA(Occupational Safety and Health Act) 규정이 제정된 이래 작업환경에 영향을 주는 소음과 관련한 규제는 지속적으로 강화되어 왔으며, 특히 90년대에 들어서는 전 세계적으로 환경 관련 단체들과 소비자들의 요구에 부응하여 과도한 소음을 발생하는 기계 및 장비들에 대한 소음규제가 유럽과 같은 지역별 공동체의 규정 외에도, 심지어는 각 국가별로 자국의 이익을 위한 별도 규정이 제정되어 시행되는가 하면, 특정 국가에 대하여는 더욱 까다로운 규제를 통과해야 수출을 할 수 있는 상황에 있다.

과도한 소음을 발생하는 장비들중 건설 중장비의 소음은 심각한 수준으로, 본 연구는 국내에서도 생산 수출하는 건설 중장비의 대표적인 장비중의 하나인 로더(Loader)의 개발에 관한 내용으로, 수출을 위해서는 cabin 내의 소음 및 외부소음 수준이 수출 검정 및 판매 전략 면에서 모두 쟁점화 되어있지만, 최근 들어 특히 외부소음의 저감에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 본 연구에서는 cabin내 소음 및 외부 소음 저감을 위한 연구개발 과정을 단계별로 소개하고, 설계변경을 위한 다양한 소음 측정 및 분석을 통해 최종 목표인 저소음 로더개발에 관한 내용을

소개 하고자 한다.

### 2. Test procedure

#### 2.1 Base line test

##### 2.1.1 Cab 내 소음

Cab내 소음은 차량의 운전 및 정지상태에서의 음압 측정으로 SAE J919와 Directive 86/662/EEC 의 ANNEX III 에 따라 시행되었다.

##### 2.1.2 외부소음

외부소음은 음향출력레벨(Sound Power Level)로 표시하며, 측정방법은 Directive 79/113/EEC 의 ANNEX I 을 따랐으며, 측정을 좀더 용이하게 하기 위해 반구의 반경을 7.5m로 사용하였다. Fig.1 과 Table 1은 6개의 측정 점의 위치를 보여주고 있다.

Table 1. 6개 측정 점의 좌표 (단위 : m)

측정점	x	y	z
2	5.25	5.25	1.5
4	-5.25	5.25	1.5
6	-5.25	-5.25	1.5
8	5.25	-5.25	1.5
10	-2.025	4.875	5.325
12	2.025	-4.875	5.325

### 2.2 Noise Source Identification

#### 2.2.1 Sound intensity mapping

소음원 규명을 위해 음향 인텐시티 측정이

\*영남대학교 섬유학부 섬유기계전공

이용되었으며, 차량이 정지한 상태에서 엔진을 최고속도(2300 rpm)와 2100 rpm(rated)의 두가지 경우로 나누어 측정이 이루어졌으며, 로더 전체 표면을 50개로 나누어 측정 결과를 mapping, 분석하였다.

### 2.2.2. Structural modal test

구조물의 modal 특성 확인을 위해 impact hammer kit를 이용한 frequency response function의 측정 및 modal analysis가 수행되었으며, 기계요소들의 구조진동 및 소음 특성과의 관계를 규명하기 위하여 다양한 방법들이 이용되었다 (회전요소의 소음 신호에 대한 time averaging method, coherence analysis, engine sweep analysis 등).

## 3. Test Results

### 3.1 Base line test

#### 3.1.1 Cab 내 소음

Cab 내 소음은 로더 주행중(속도: 2nd 기어)에 측정되었으며, 엔진 최고속도에서 83.0 dBA로 나타났다. Fig.2는 측정된 소음의 frequency spectrum을 나타내고 있다.

#### 3.1.2 외부소음

외부소음은 sound power level로 측정되며 엔진의 최고속도 및 rated speed에서 각각 113.9 dBA와 111.9 dBA로 측정되었다. 측정결과와 요약은 Table 2에 정리되어 있다.

Table 2. 외부소음(sound power level, dBA)

	2300 rpm	2100 rpm
Location 2	86.0	83.5
Location 4	89.2	87.8
Location 6	89.3	87.5
Location 8	85.2	84.0
Location 10	89.7	87.6
Location 12	89.0	86.4
Sound Power Level	113.9	111.9

## 3.2 Noise Source Identification

### 3.2.1 Sound intensity mapping

Fig.3a와 Fig.3b는 엔진 최고속도에서 측정한 음향 인텐시티의 overall level을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 소음의 최고치는 engine hood의 윗부분에서 나타나고 있고(일반적으로 push type cooling fan을 사용하는 장비에서의 최고 소음은 장비 뒷면의 radiator access door 부분에서 형성됨), 이러한 현상은 engine hood 바로 밑에 위치하는 radiator에 장착된 cooling fan shroud에 의한 구조 진동에서 기인된 것으로 판명되었고, 결과는 fan shroud의 재설계에 중요한 역할을 하였다.

Fig.2의 cab 내 소음을 분석하면, 우선 몇 가지 주요 소음원으로 500 Hz와 700 Hz 부근에서 확인할 수 있다. 이는 엔진의 최고속도(2300 rpm)에서 유압펌프(9 teeth 기어 펌프)와 cooling fan(8 blade, fan drive pulley ratio = 0.8)의 회전 주파수의 2차 harmonic 성분이 각각 690 Hz와 490 Hz인 것을 쉽게 계산할 수 있다.

Fig.4와 Fig.5는 engine sweep test 동안 유압배관에서 측정된 가속도를 나타내며, 엔진 회전수는 저속, 고속, 다시 저속으로 변화함을 보여준다. 이 측정결과는 약 2000 rpm 영역에서 "grawl noise"의 현상 및 유압 맥동 주파수의 harmonic 성분도 함께 보여주고 있다.

Fig.6부터 Fig.8까지는 유압 시스템의 단계별 개선을 통해 cab 내 소음이 점차 향상되어 감을 보여주고 있으며, engine sweep test 동안의 소음 주파수 특성을 나타낸다. Fig.6은 변경전의 소음 측정 결과이고, Fig.7은 emergency steering line을 pressure reducing valve cartridge로부터 분리 시킨 후 측정된 소음이며, Fig.8은 accumulator의 유압배관의 위치를 변경시킨 후의 소음 측정값을 나타낸다. 이런 설계변경을 거쳐 "grawl noise" 성분이 거의 제거되었음을 알 수 있다.

문제시되는 또다른 주파수는 200 Hz에도 존재하며, 이것은 모서리 부분 유리창의 공진으로 나타났으며, 진동원은 injection pump

로 판명되었다.

## 4. Noise Reduction Scheme

### 4.1 Cab 내 소음

모두 9가지의 소음 저감 단계를 거쳐 83 dBA 에서 75 dBA 까지 소음이 줄어들었으며, 각 단계별 시험 조건은 아래와 같고, 그 결과는 Table 3 에 정리 되어있다.

Case 1 : 초기 개발 당시 문제시된 유압 소음(sqeeek noise)을 제거한 후 측정된 base line data. Fig.9 에 cab 내 소음 주파수 특성이 1/3 octave band 로 나타나 있다.

Case 2 : Accumulator를 장비의 몸체 옆면에 수직으로 재배치 한 후 연관된 유압 배관을 새로 배열함. 최종적인 배관 설계는 transmission housing 위로 유압배관을 설치함으로 "grawl noise"를 거의 제거하였다 (Fig.8 참조).

Case 3 : Radiator 덮개를 약 2/3 가량 제진재와 흡음재로 덮은 결과 팬 소음이 두드러지게 감소했으며, 이 측정 결과로 shroud의 구조 및 radiator에의 장착 방법 등이 보강되었다.

Case 4 : 유압펌프의 inlet과 outlet line을 차음재로 처리한 결과 유압맥동의 1차 및 2차 harmonic성분의 소음저감 효과가 나타났다. Fig.2의 base line data에서도 유압맥동 성분이 지배적이었으므로, 보다 근본적인 개선으로 유압펌프의 맥동저감을 펌프 외주업체에 의뢰하였다.

Case 5 : Cab내의 toe pan area를 흡음제로 처리한 경우이며 toe pan area와 cab 바닥면의 구조진동측정시, 이 부분이 약 700 Hz영역에서 공진 현상이 있음을 확인하였다.

Case 6 : Cab 뒤편의 air-duct 부분을 흡음 처리한 경우이며, cab 뒤편의 C-post 부분도 증공인 상태라 상당량의 소음이 흘러 들어오는 경로로 확인되었으며, post의 설계 변형을 통해 통로를 차단하였다.

Case 7 : Cooling fan을 교체하였으나 cab내 소음은 개선되지 않은 경우이며, fan의 교체 보다는 shroud의 제진/흡음처리가 fan소음을 줄이는데 효과적으로 나타났고, 이는 Fig.11a

부터 Fig.11d 에서 보여준 팬 소음의 time averaging method에 의한 비교에서 쉽게 확인되었다 (a와b는 shroud 의 제진/흡음 처리 전 측정치이고, c와d는 처리후의 측정값).

Case 8 : Engine hood의 side door panel을 흡음 처리한 경우.

Case 9 : Cab내 headliner를 별도 흡음처리한 경우 (Fig.10 참조).

Table 3. 단계별 Cab 내 소음(dBA)

Case 1	83.0
Case 2	83.5
Case 3	82.0
Case 4	80.5
Case 5	79.0
Case 6	77.5
Case 7	77.8
Case 8	76.4
Case 9	75.0

### 4.2 외부 소음

외부소음은 반구면상의 6개의 측정 점의 음압측정으로부터 sound power level을 각각 구함으로써 외부소음의 개선을 단계별로 비교하였으며, 9개의 소음저감 단계를 거치는 동안 rated speed 에서 약 113 dBA 로부터 (팬 교체를 감안한 수치) 108.7 dBA 까지 저감 효과를 얻었고, 결과는 Table 4 에 정리되어있다.

Case 1 : 초기 개발당시 유압소음 제거후의 base line data.

Case 2 : Radiator 덮개를 약 2/3 가량 제진재와 흡진재로 처리한 경우.

Case 3 : Cooling fan을 교체한 경우 (cab 소음저감의 Case 7 참조)이며, fan blade는 regular pitch를 갖고 있고, 약 1 dBA 의 외부소음 증가를 나타냈다.

Case 4 : Cooling fan을 mixed pitch를 갖는 fan으로 교체한 경우로, regular pitch fan보다는 개선되었으나, original cooling fan보다는 개선되지 못했다.

Case 5 : Radiator 덮개를 재설계를 통해 구조 변경을 시키고 두께도 2.5mm로 늘린 경우.

Case 6 : Radiator access door 내부면을 흡음처리한 경우.

Case 7 : Engine muffler를 차음재로 처리한 경우.

Case 8 : Articular joint area에 차음 커튼을 단 경우.

Case 9 : Radiator access door의 윗부분을 흡음처리한 경우.

Table 4. 단계별 외부소음 (dBA)

	2100 RPM	2300 RPM
Case 1	119.9	113.9
Case 2	(110.8)	112.4
Case 3	111.8	114.0
Case 4	111.2	113.2
Case 5	110.7	112.6
Case 6	109.7	111.8
Case 7	109.5	111.5
Case 8	108.8	111.2
Case 9	108.7	111.0

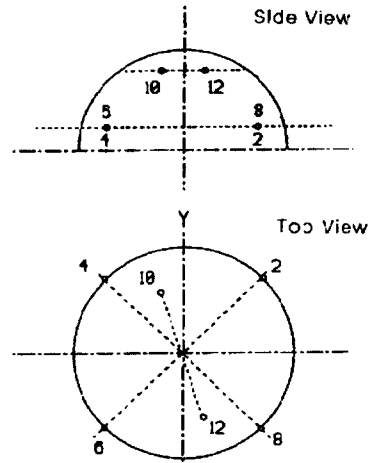


Fig.1 Geometry of Six Measuring Points

## 5. 참고문헌

1. SAE Handbook, Vol. 3, SAE Inc.
2. Fahy, F.J. "Sound Intensity", Elsevier Applied Science.
3. Ewins, D.J. "Modal Testing : Theory and Practice", Research Studies Press, 1986
4. Beranek, I.L. "Noise and Vibration Control", Institute of Noise Control Engineering, 1988
5. Norton, M.P. "Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers", Cambridge Univ. Press, 1989

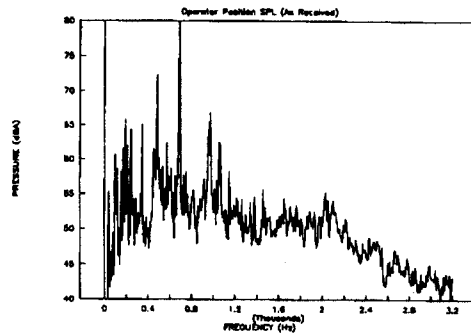


Fig.2 Cab noise spectra at high idle



Fig.3a Sound Intensity Mapping

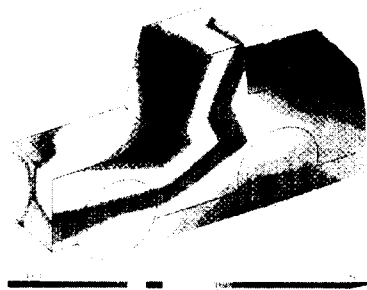


Fig.3b Sound Intensity Mapping

Remote Control Valve Hydraulic Line on Cab Floor

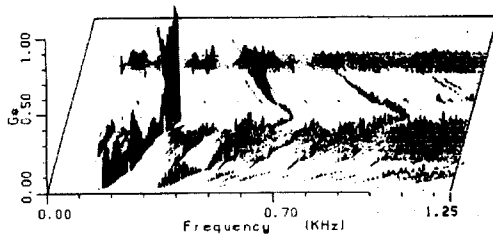


Fig.4 Acceleration level by engine sweep.

Emergency Steering Hydraulic Line

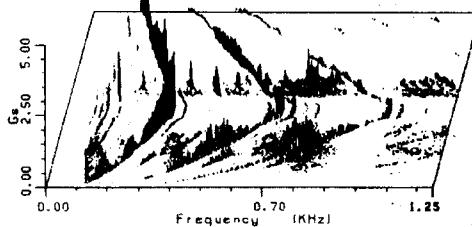


Fig.5 Acceleration level by engine sweep

w/ Emergency Steering Line

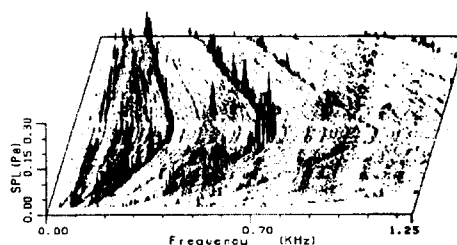


Fig.6 Cab noise spectra by engine sweep

w/ Emergency Steering Line disconnected

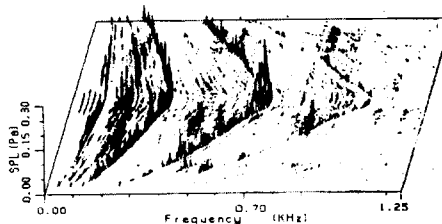


Fig.7 Cab noise spectra by engine sweep

w / Revised accumulator Hyd. pumbing

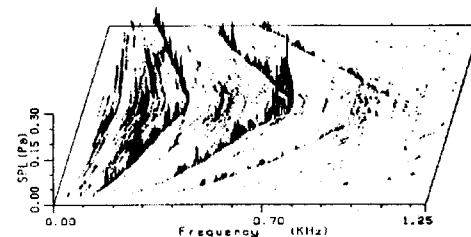


Fig.8 Cab noise spectra by engine sweep

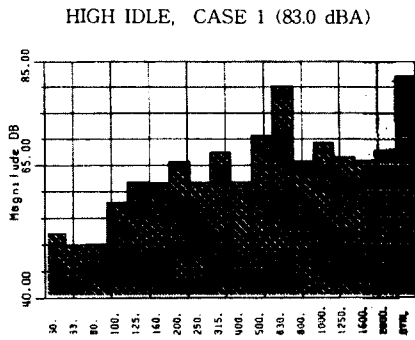
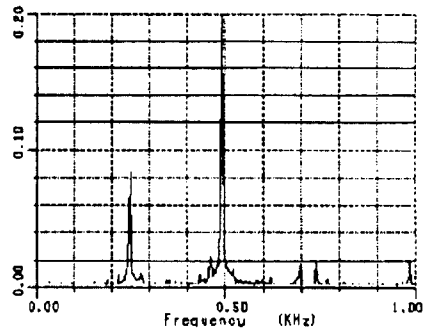


Fig.9 Cab noise spectra



(b)

Fig.11 a,b Fan noise (time & freq. resp.) before shroud modification

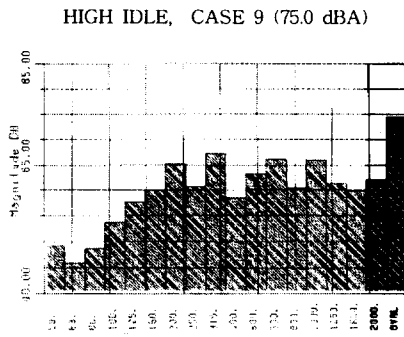
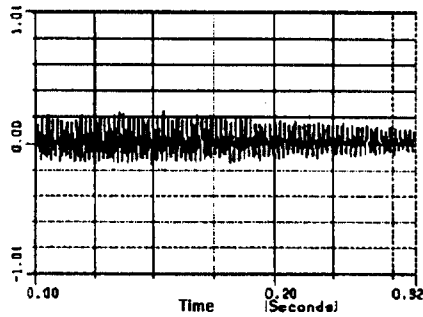
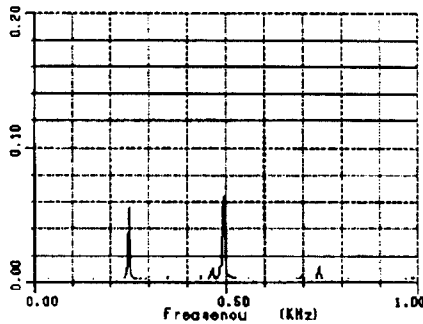


Fig.10 Cab noise spectra

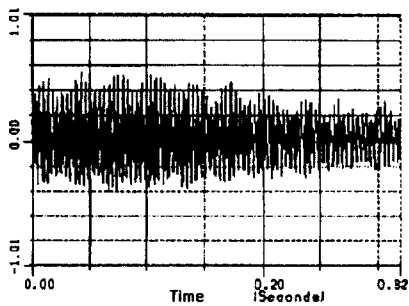


(c)



(d)

Fig.11 c,d Fan noise (time & freq. resp.) after shroud modification



(a)