

굴삭기 운전자의 전신진동 및 작업소음 평가

°연정택, 박상규*

Evaluation of Whole-Body Vibration and Occupational Noise for Excavator Drivers

Jeong Taek Youn, Sang Kyu Park

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the whole-body vibration and occupational noise for excavator drivers. Measurement, evaluation and assessment were based on the ISO 2631 and OSHA. Average vibration level was 0.65m/s^2 (z axis) for breaking work and 0.36m/s^2 (z axis) for excavating work. Vibration levels during breaking work exceed the health guidance caution zone and this means that the drivers are exposed to potential health risks. Average daily noise exposure level was 86.4 dB(A) for breaking work and 84.6 dB(A) for excavating work.

1. 서론

최근 건설현장에서 불도저, 굴삭기 등과 같은 중장비를 사용함으로써 시간적, 경제적 측면에서 큰 효율성의 향상을 가져왔다. 그러나 이러한 건설장비들은 인근주변의 생활환경이나 운전근로자의 작업환경의 측면에서 새로운 문제점을 발생시키고 있으며 그중 가장 대표적인 것이 소음과 진동문제이다. 이러한 문제는 주위 건물이나 구조물, 인근 주민들에게 영향을 미칠 뿐만 아니라 건설장비 내부로 전달되어 운전근로자들에게 전신진동과 소음에 관련한 여러 질병을 야기 시키게 된다. 실제로 환경분쟁조정위원회에 접수된 환경관련 민원 중 1999년 현재 전체 민원의 89%가 소음진동에 관련한 민원이며 대부분 건설현장과 관련한 분쟁이었다⁽¹⁾. 1996년도 조사에 의하면 미국, 캐나다, 유럽의 몇 개 나라에서 운전근로자들의 4-7%정도가

장기간동안 잠재적으로 위험한 전신진동에 노출된 것으로 보고되었다.⁽²⁾ 또한 1997년 NIOSH와 Burdorf 등의 발표에 의하면 전신진동이 직업과 관련한 요통의 중요한 요소라고 보고하고 있다.⁽³⁾

특히 장기간의 운전으로 인한 전신 진동에의 노출은 자세유지와 근육의 힘, 요추부위 신경계 전달에 문제를 일으키는 위험인자로서 목, 어깨, 심혈관계 향상성, 내분비계, 소화기계, 중추신경계, 심폐기관, 소화기계, 말초신경계 등의 신체전반에 걸쳐 다양한 곳에 영향을 미친다.⁽⁴⁾ 이러한 위험으로 인해 미국에서는 1960년대 Wright-Patterson 공군 기지에서 전신진동에 대한 연구가 광범위하게 진행된 이래 미국 국립 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 1971년부터 1984년까지 버스운전자, 트럭운전자, 중장비운전자 등 여러 직업군에 대한 역학연구를 수행하였으며⁽⁵⁾ 선진국에서는 이미 상당부분 그 나라의 특성에 따른 연구가 진행 중에 있다. 그러나 국내에서의 연구는 아직 소수에 지나지 않으며 노동관련 법규에서도 측정 및 평가

* 정희원, 연세대학교 환경공학과

° 연세대학교 환경공학과 대학원

방법이나 규제기준 등이 명시되어 있지 못한 실정이다. 근로자의 경우도 전진진동과 인체의 상관관계에 대해 사실상 모르고 있으며 중요성도 인식하고 있지 못하고 있다.

따라서 본 조사에서는 건설장비 중 가장 보편적인 장비인 굴삭기를 운전하는 근로자를 측정 대상으로 하여 굴삭과 암반 파쇄 작업시 발생하는 전진진동과 굴삭기 실내소음의 크기를 조사하였다. 전진진동은 ISO 2631의 기준⁽⁶⁾을, 소음은 OSHA(Occupation Safety & Health Administration)의 기준⁽⁷⁾을 이용하여 근로자에 대한 건강장해 가능성과 전진진동에의 폭로와 인체 영향에 대한 상관관계를 파악하였다.

2. 측정 대상 현황

2.1 대상차량

중양고속도로 제 18공구에서 작업중인 굴삭기 중 총중량 28t~29t의 무한 궤도식(crawler type)차량을 대상으로 굴삭작업과 암반 파쇄 작업시 발생하는 전진진동과 실내소음을 측정하였으며 표-1에 측정대상차량을, 표-2에 이들 중 H사의 차량제원을 그리고 그림 1에 각각의 작업을 수행하는 굴삭기를 나타내었다.

Table 1. Excavators for measurements

모델명	작업유형별 대수			출고년도
	굴삭	암반파쇄	총 대수	
HL 280	1		1	1995
MX 292 LC	2	2	4	1996-1997
Robex 2800 KLC	1	1	2	1996-1997
Robex 2900 LC-3	1	1	2	1998
Solar 280 LC-III	2	2	4	1997
Solar 290 LC-V		1	1	1997
Total	7	7	14	

Table 2. Specification of an Excavator

항 목	단 위	계 원	
운전중량	Kg	28,600	
버킷용량	m ³	1.1~1.6	
엔진	모델	-	D6AU-C
	정격출력	ps/rpm	180/1,900
	최대코오크	Kg · m/rpm	74/1,500
작업 성능	선회속도	rpm	10.3
	주행속도(1속/2속)	Km/h	3.1/4.7
	등판능력	도	35
	최대굴삭력	ton	16.7(18.3)
외관	전장	mm	10,580
	전폭	mm	3,200
	전고	mm	3,320
하부	덤블러중심간거리	mm	4,020
	트랙중심간거리	mm	2,600
	최저지상고	mm	500
	접지압	Kg/cm ³	0.55
	롤라수(상/하)	개	2*2/9*2
	슈폭	mm	600
적용 범위	최대굴삭반경	mm	10,800
	최대굴삭깊이	mm	7,500
	최대덤프높이	mm	7,110
	최대굴삭높이	mm	10,160

2.2 운전근로자

운전경력 10년 이상의 전문운전자로 1일 작업량은 오전 7시부터 오후 6시까지 총 11시간 중 점심시간(1시간)을 제외한 10시간으로 특별한 사유(작업중지, 장비보수 등)외에는 거의 모든 시간을 차량에 탑승하여 작업을 수행한다.

3. 측정방법

3.1 측정장비

굴삭기에서 발생하는 전진진동의 크기를 측정하기 위하여 진동기록장치(DAT data recorder : RD-135T, TEAC), 전진진동용 pad형 3축 가속도계, 증폭기가 사용되었으며, 녹음된 자료는 실험실에서 주파수신호분석기(FFT analyzer : SA-74A, RION, symphonie, 01dB)를 이용하여 정밀 분석



a) Breaking



b) Excavating

Figure 1. Working type of excavators.

하였다.

또한, 소음을 측정하기 위하여 누적소음측정기 (Dosimeter : Q-400, Quest)를 이용하였다.

정하기 위해 누적소음측정기(Dosimeter)의 마이크로폰을 운전근로자의 귀에 가장 가까운 곳(주로 어깨견장이나 상의 깃)에 설치하였다(그림 4).

3.2 방법

3.2.1 진동

진동이 인체에 노출되는 양을 측정하기 위해 운전자가 작업을 수행하는 동안 차량과 주로 접하는 부위(운전석)에 전신진동용 가속도계를 설치하였다(그림 2).



Figure 2. Location of acceleration pad(seat)

진동이 발생하는 각각의 방향은 ISO 2631에서 제시한 자료를 근거로 차량의 진행방향인 운전자의 앞뒤방향을 x축, 좌우방향을 y축, 그리고 상하방향을 z축으로 설정하였으며 그림 3과 같다.

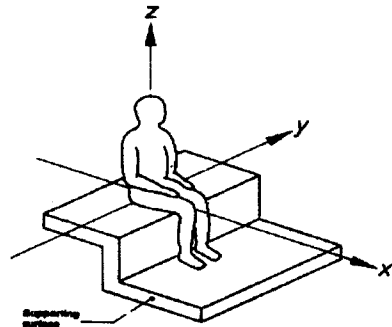


Figure 3. Basicentric coordinate system (seated position)

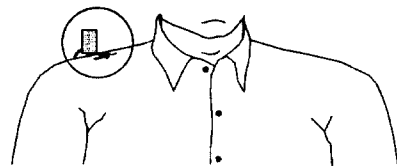


Figure 4. Location of dosimeter microphone

3.2.2 소음

실제 인체에 노출되는 소음의 양을 정확하게 측

측정조건은 OSHA manual에서 정한 변환을 5dB, 평가기준 90dB, 역치수준 80dB, 주파수 응답 특성은 A 그리고 동특성은 느림(slow)로 설정하였다.

4. 평가방법 및 기준

4.1 진동

ISO에서는 진동에 대한 노출 기준을 ISO-2631에 규정하고 있으며 part-1과 part-2로 구분하여 이동차량과 건물에서 발생하는 진동의 인체에 대한 영향을 평가하고 있다. 평가를 위한 가속값의 계산은 진동자재에서 발생한 가속도를 각 축에 해당하는 주파수 가중인자(weighting factor)와 축방향보정인자(multipling factor)를 곱하여 최종적으로 가중 가속도값(total weighted acceleration)으로 환산한다. 또한 이 기준에서는 값을 적용함에 있어 기본적으로 가장 큰 가속도 값을 기준으로 폭로량을 평가하는 우세축 방법(dominant axis method)을 이용하도록 하고 있으나 최근의 개정된 기준에 의하면 각 축의 값이 크게 차이를 보이지 않을 경우 벡터합 방법(vector sum method)을 사용할 것을 권장하고 있다. 벡터합 방법에 의해서 가속도를 구하는 공식은 아래와 같다.

$$a_w = \sqrt{(1.4a_{ax})^2 + (1.4a_{ay})^2 + (1.0a_{az})^2}$$

본 조사에서는 이 두 값을 dom값과 sum값으로 나타내어 각각의 경우를 동시에 기준과 비교하였다.

ISO 2631 part-1에서는 이동차량에서 발생하는 진동의 영향에 대해 그림 5와 같은 Health Guidance Caution Zone을 설정하여 이동차량에서 발생한 진동수준이 이 범위 아래 있으면 인체에 대한 어떠한 영향도 명확하게 보고되어 지지 않거나 객관적으로 관찰되어지지 않은 것으로, 이 범위

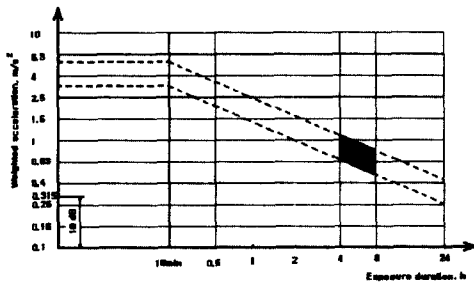


Figure 5. Health guidance caution zone

내에 있으면 진동에 대해 잠재적인 위험이 내재되어 있는 것으로, 이 범위를 넘어서면 인체건강에 대한 위험가능성이 있는 것을 의미한다.

4.2 소음

OSHA에서는 1일 근로시간을 8시간으로 정하여 8시간의 시간가중 평균값(8 hour time-weighted average : TWA₈)에 대한 1일 허용노출한계(permissible exposure limit : PEL)를 90dB(A)로 정하였다. 5dB의 변환율에 따른 근무시간(노출시간)별 PEL값을 표-3에 나타내었다.

Table 3. Permissible exposure level(PEL)

exposure duration/day	dB(A)
16.0	85
10.6	88
8.0	90
6.0	92
4.0	95
2.0	100
1.0	105
0.5	110
0.25	115

5. 결과 및 분석

5.1 작업상황

크게 굴삭작업과 암반 파쇄작업이 진행되고 있었다. 각각 독립적으로 작업이 진행되기도 하지만 이들 작업이 동시에 진행되기도 하는데, 파쇄작업을 통해 발생한 파쇄물을 바로 트럭으로 옮기거나 흩어진 파쇄물을 한 곳에 쌓아놓기 위해 굴삭작업이 같이 진행되는 경우를 그 예로 들 수 있다.

5.2 진동

총 14대의 장비를 대상으로 작업형태의 변동이 없는 것으로 가정하여 전체 작업을 대표하는 기간에 대해 총 1200초(20분)동안 굴삭기에서 발생하는 진동을 측정하였으며 표-4에 나타내었다.

Table 4. Vibration exposure level
(Total weighted acceleration, m/s^2)

번호	장비명	작업	X축	Y축	Z축	SUM
v-1	MX 292 LC	암반 파쇄	0.34	0.17	0.65	0.75
v-2	Robex 2900 LC-3		0.32	0.21	0.76	0.85
v-3	Robex 2800 KLC		0.29	0.21	0.86	0.93
v-4	Solar 280 LC-III		0.39	0.30	0.42	0.64
v-5	Solar 290 LC-V		0.43	0.24	0.70	0.86
v-6	Solar 280 LC-III		0.25	0.16	0.58	0.66
v-7	MX 292 LC		0.35	0.17	0.58	0.70
평균			0.34	0.21	0.65	0.77
v-8	Robex 2800 KLC	굴삭	0.23	0.10	0.25	0.36
v-9	MX 292 LC		0.23	0.12	0.47	0.54
v-10	Solar 280 LC-III		0.28	0.25	0.37	0.52
v-11	Solar 280 LC-III		0.23	0.18	0.46	0.54
v-12	MX 292 LC		0.23	0.12	0.36	0.44
v-13	Robex 2900 LC-3		0.26	0.12	0.36	0.46
v-14	HL 280		0.20	0.15	0.25	0.35
평균			0.24	0.15	0.36	0.46

각 축의 경우 모든 장비에서 Z축, X축 그리고 Y축의 순으로 크기를 나타내어 Z축이 우세축(dominant axis)을 나타내었다. 우세축으로 볼 때 암반 파쇄작업은 평균 $0.65m/s^2$ (sum : 0.77) 굴삭작업은 $0.36m/s^2$ (sum : 0.46)로 파쇄작업의 경우가 높은 값을 나타냈다.

그림 6은 각 작업별 임의의 차량에 대한 주파수 분석을 나타내고 있다. 차종마다 약간의 차이가 있지만 정격출력은 약 2000rpm 전후이며 굴삭작업을 진행할 때 1400~1800rpm에서 주로 작업을 수행하며 작업을 수행하지 않고 공회전 상태에서는 약 800~1200rpm을 유지한다. 이러한 출력의 영향으로 20~40Hz 부근에서 peak를, seat cushion의 작용과 작업의 특성(breaker의 사용, arm의 움직임 등)에 의해 저주파 영역(10Hz 이하)에서 peak를 나타낸 것으로 예측된다. 그러나 작업의 다양성, 차량의 수명과 노후상태, 운전자의 작업방식에 따라 다소간의 차이는 있을 것으로 판단된다.

5.3 소음

총 14대의 장비를 대상으로 1일 작업시간(07:00~18:00)동안 운전근로자들에게 노출되는 소음의

양을 측정하였는데 측정시간은 602분 ~ 350분이었으며 표-5에 각 장비별 측정값을 나타내었다.

Table 5. Daily noise exposure level

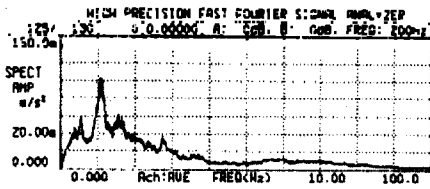
번호	차량모델	작업	노출량 (dB(A))	측정시간 (min)
n-1	solar 280LC-III	암반 파쇄	86.1	593
n-2	solar 290LC-V		89.8	594
n-3	robex 2800KLC		84.0	350
n-4	mx 292 LC		83.5	525
n-5	solar 280LC-III		88.5	560
평균			86.4	524
n-6	robex 2800KLC	굴삭	92.1	567
n-7	mx 292 LC		74.6	556
n-8	robex 2900 LC-3		86.6	576
n-9	solar 280LC-III		83.5	547
n-10	mx 292 LC		84.5	571
n-11	robex 2800KLC		86.8	581
n-12	robex 2900 LC-3		83.3	602
n-13	mx 292 LC		85.7	563
n-14	mx 292 LC		84.7	581
평균			84.6	572

n-6과 n-7을 제외하고 전반적으로 85dB(A)을 전후한 소음에 노출된 것으로 나타났는데 암반 파쇄 작업은 86.4dB(A), 굴삭작업은 84.6dB(A)로 암반 파쇄작업이 2dB정도 높았다. 작업수행에 있어 암반 파쇄 작업과 이때 발생하는 암반 파쇄물 트럭으로 옮기거나 작업의 용이성을 위해 한 곳으로 쌓아놓는 작업이 동시에 진행되는 경우가 있는데 n-2, n-5, n-8이 동일 장소에서 작업을 수행하고 있었으며 상호 발생소음으로 인해 다른 장비에 비해 높은 값을 나타내었다.

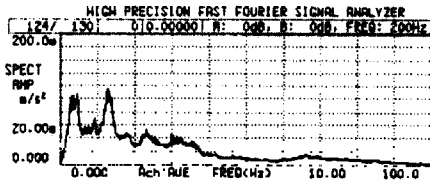
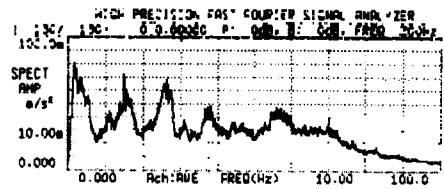
6. 평가 및 고찰

6.1 진동

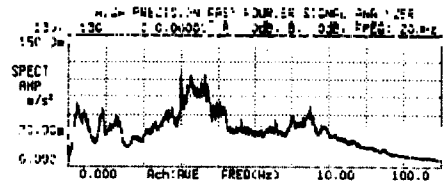
굴삭작업 7대, 암반 파쇄작업 7대 등 총 14대의 장비에 대해 측정을 수행한 결과 우세축에 대한 암반 파쇄작업은 평균 $0.65m/s^2$ 로 8~10시간의 Health guidance caution zone과 비교할 때 이 영역내에 위치해 있어 진동에 대해 잠재적인 위험이



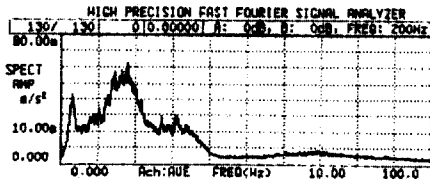
v - 1



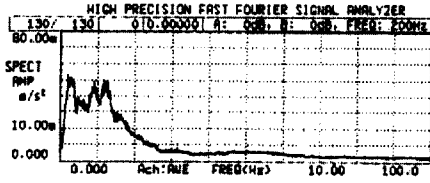
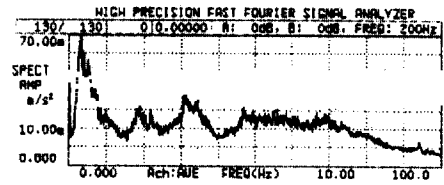
v - 3



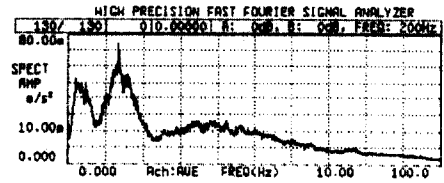
a) breaking works



v - 9



v - 11



b) excavating works

Figure 6. Frequency spectrum of several excavators

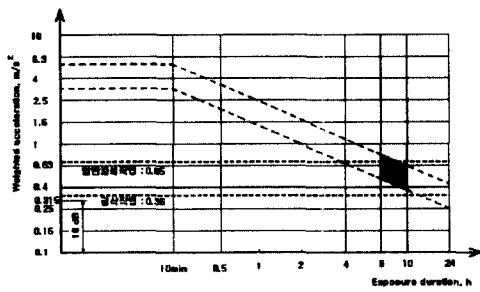
(left : x-axis, right : z-axis)

내재되어 있을 것으로 예상된다. 그러나 평균값이 zone의 상단 경계에 인접해 있고 몇몇 장비들은 이 zone을 초과하므로 인체영향에 대한 위험성을 배제 할 수 없다. 이는 벡터합에 의한 평가로 판단 할 경우 평균 0.77m/s^2 로 이 zone을 초과하게 되어 인체위험성에 대한 가능성이 보다 확실히 예상된다. 굴삭작업의 경우 평균 3.6m/s^2 로 이 영역 아래에 위치해 있어 운행으로 인한 건강 장애가 없을 것으로 예상된다. 그러나 이는 평균값으로 평가한 것으로 일부 차량에 대해서는 평균 이상의 값을 나타내므로 인체의 영향을 무시할 수는 없다. 그림 7에 우세축과 벡터합 방법에 의해 얻은 결과를

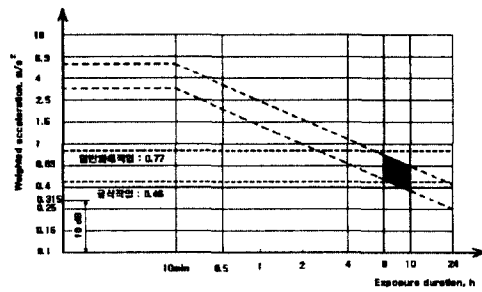
Health guidance caution zone에 나타내었다.

6.2 소음

총 14대의 장비(굴삭 : 9대, 암반 파쇄 : 5대)를 대상으로 장비와 작업시 발생하는 소음이 운전근로자에게 미치는 작업소음을 측정하여 OSHA의 허용노출수준(PEL)과 비교한 결과 암반 파쇄작업은 평균작업시간 524분에 대해 약 86.4 dB(A)를, 굴삭작업은 평균작업시간 572분에 대해 약 84.6 dB(A)를 얻어 600분(10시간)에 대해 88dB(A)로 정한 허용기준을 초과하지 않은 것으로 나타났다.



(Dominant axis method)



(Vector sum method)

Figure 7. Health guidance caution zone & vibration exposure level

그러나 일부 장비의 경우 동시에 한 장소에서 작업이 진행되고 있는데 이들 장비들은 기준 이상의 노출수준을 나타내었다. 그림 8에 각 장비의 소음 수준과 허용노출수준을 비교하여 나타내었다.

5) E. Thaleimer, "Practical approach to measurement and evaluation of exposure to whole-body vibration in the workplace", Seminars in Perinatology, Vol 20, No 1, 1996, pp. 77-89

6) International Organization for Standardization, "Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirement". ISO 2631-1, Geneva, 1997

7) Occupation Safety & Health Administration, "Noise Measurement", OSHA Technical Manual, Sec III, Chap 5

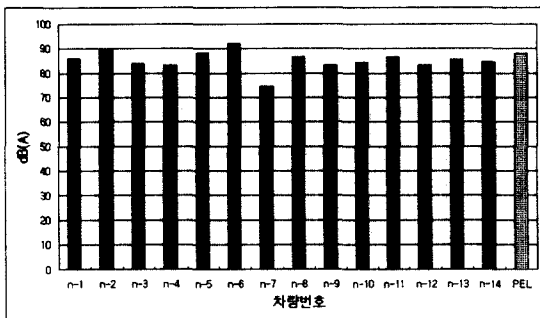


Figure 8. PEL & noise levels of excavators

7. 참고문헌

- 1) 환경분쟁조정위원회, 1999, "환경분쟁조정사례집", pp. 1~3
- 2) M. Bovenzi, "Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace", Seminars in Perinatology, Vol 20, No 1, 1996, pp. 38-53
- 3) E. Johanning, "Evaluation and management of occupational low back disorders", American J of Ind Med 37, 94-111
- 4) Griffin. M. J., "Handbook of human vibration", London, Academic Press, 1990