

굴삭기 종사자의 전신진동 노출 평가 및 요인 분석

최호달 · 김현옥[‡] · 성재혁 · 최재욱¹⁾ · 양홍석²⁾

가톨릭대학교 산업보건대학원 · 고려대학교 예방의학교실¹⁾ · 한국안전환경연구원²⁾

Exposure assessment and factor analysis of whole body vibration for excavator workers

H.D. Choi · H.W. Kim[‡] · J.H. Sung, J.W. Choi¹⁾ · H.S. Yang²⁾

Graduate School of Occupational Health, Catholic University
Department of Preventive Medicine, Collage of Medicine, Korea University¹⁾
Korea Institute for Environmental Hygiene and Safety²⁾

This study was performed to evaluate whole-body vibration(WBV) exposure level to excavator workers and to analyze the frequency characteristics of the WBV by the type of attachment, the bucket and breaker capacity(m³), and the type of wheel of excavator and by the condition of ground. Measurements of WBV were made by putting an accelerometer on the seat of excavator using the ISO 2631-1(1997) method. The excavators were analyzed during actual working conditions, using the triaxial seat accelerometer 4322 (Bruel & Kjaer, Denmark), the vibration intergrater Type 2231 (Bruel & Kjaer, Denmark), and the real time signal analyzer Type 2144 (Bruel & Kjaer, Denmark). The accelerometer was properly calibrated to 10m/s² at 159.2 Hz between each measurement. The collected data of WBV were analyzed using paired-t, student's t, and ANOVA according to the variables selected.

The results obtained were as follows ;

1. The level of WBV for Z axis(0.21 ~0.40m/s²) was more dominant than those of for X axis(0.11 ~ 0.21m/s²) and for Y

axis(0.09 ~ 0.15m/s²).

2. The levels of WBV were significantly higher for the excavators with the breaker, with tires, and working on the hard ground(rock) respectively compared to that of with the bucket, with tracks, and working on the soft ground(soil) for all three axes(P<0.01). No significant difference was found among the bucket and breaker capacities (m³) for all three axes.

3. The highest levels of WBV with the bucket were found at the 1~2 Hz in X and Y axes and at the 3~4 Hz in Z axis. With the breaker, the highest level of WBV was found at the 5~6 Hz in X axis, 3~6 Hz in Y axis, and 10~11Hz in Z axis, respectively.

In conclusion, it was found that the level of WBV during excavator work was affected more by the type of the attachment and the condition of ground.

Key Words : Vibration, Whole-body vibration, WBV, Excavator

I. 서 론

1997년에 국제표준화기구(International

Organization for Standardization, ISO)에서는 전신진동에 대한 인간의 노출정도 지침을 개정하여 발간하였다. 이 가이드와

비슷한 가이드가 수십 년 동안 알려졌음에도 불구하고 대부분의 연구에서는 손으로 전달되어진 진동의 위험을 경고하고 있으나 전신진동에 관한 건강위험의 여론은 적게 존재한다.

전신진동 발생의 대표적인 장비로 중장비를 들 수 있는데 과거의 연구들은 중장

접수일 : 2002년 10월 16일, 승인일: 2002년 12월 23일

‡ 교신저자 : 김현옥(서울시 서초구 반포동 505번지 가톨릭의대 예방의학교실

Tel : 02-590-1237, Fax : 02-532-3820, E-mail : hwkim@catholic.ac.kr)

비 운전자가 팔, 어깨, 목, 그리고 허리의 근골격계 손상에 영향을 받는다는 것을 보여주고 있다. 이런 근골격계 손상은 움직임이 없는 자세, 작업장도, 전신진동, 어색한 자세 등이 오랜 기간 노출됨으로써 나타난다(Kittusamy & Buchholz, 2001). 대부분의 연구들에서는 전신진동에 장기간 노출 시 근골격계에 영향을 준다고 보고되고 있다. 가장 빈번히 보고되는 효과는 요통(low-back pain), 척추의 조기퇴행성변화(early degeneration of the spinal system)와 요부추간판탈출증(herniated lumbar disc)이다(Hulshof & Velthuis, 1987).

굴삭기는 건설기계의 대표적 기계로 가장 많은 82,345대가 등록되어 가동중이다(건설교통부, 2002). 굴삭기를 비롯한 중장비는 작업의 성격상 일반차량과는 다른 특수한 구조와 동역학적인 운전조건을 갖고 있으며, 주행 및 정지 상태에서 불규칙한 동적 하중을 지속적으로 받는다. 이러한 동역학적인 작업조건아래서 발생하는 큰 동적 하중은 장비의 피로수명 저하와 함께 진동/소음 측면에서 운전자의 작업환경 및 주변환경을 크게 악화시키는 요소가 된다(김형근 등, 1995). 일반적으로 굴삭기의 진동 발생 원은 엔진의 회전수, 바퀴와 지표면과의 마찰 등으로 크게 구분할 수 있으며, 바퀴의 재질(타이어, 무한케도), 작업면의 종류(암면, 흙면), 운전습관 등 여러 가지 내외부적인 인자들에 영향을 받는다.

전신진동은 불편과 성가심의 원인이 될 수 있으며 인간의 동작능력에 영향을 끼치고 또는 건강과 안전에 위협을 준다(ISO, 1997). 그러나 인체중심의 노출 평가에 관련된 국내 연구는 지하철 전동차에서 전신진동 특성에 관한 연구(정상욱과 박상규, 1997), 굴삭기 운전자의 전신진동 및 작업 소음 평가(연정택과 박상규, 2000), 지게차 종사자의 전신진동 노출 평가(문석준과 최재욱, 2000)외에는 거의 없는 실정이며, 한국소음진동학회에서 발표된 전신진동에 관한 몇 편의 논문은 차량통행으로 발생하는 도로진동의 전파특성

(박준철 등, 1999), 한국인 앉은 자세에 대한 의자 진동의 머리 전달에 관한 실험적 연구(박용화와 정완섭, 2000)등 기계공학 적 진동에 주안점을 둔 논문이므로 전신진동 관련 기기별 인체 중심의 노출평가 및 요인 분석의 기본자료가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 굴삭기의 용량, 바퀴 재질, 부착기 사양과 작업면 상태로 구분하여 전신진동 수준을 평가하고, 각 요인 중 전신진동 수준에 가장 많이 영향을 주는 변수를 분석하며 작업 형태가 상이한 부착기별 주파수 특성을 파악하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 대상

연구대상은 2002년 3월부터 4월까지 서울, 천안에 소재한 도로공사현장을 담당 한 D건설사, S건설사에서 사용한 굴삭기에 대해 진동수준을 평가했다. 굴삭기의 일반적인 특성 및 작업면 조건을 부착기, 용량, 바퀴, 작업면 상태로 구분하여 측정 한 수를 표 1에 정리하였다.

부착기는 한 대의 굴삭기가 breaker와 bucket을 작업의 필요에 따라 번갈아 사용하며, 용량 및 바퀴는 제작당시 정해진 규격대로 부착하고 있었다. Bucket의 용량 표시방법에는 크게 두 가지가 있으나 한국의 경우 건설기계 관리법 시행규칙의 유럽건설기계협의회(Committee for European Construction Equipment) 규정을 따랐으나 2000년 8월 시행규칙을 변경하여 미국자동차기술자협회규격(Society of Automotive Engineers) 규정에 따라 표현하도록 하였다(건설교통부, 2000). 단, 굴삭기 제조회사별로 bucket 및 breaker의 용량이 조금씩 차이가 나고있어 일반적으로 건설 현장에서 주로 사용되는 대표적인 용량을 선택하여 분석 비교하였다. 작업면은 암반이나 딱딱한 재질의 작업과 흙이나 모래 등과 같이 부드러운 재질로 나누어 진동수준을 비교 분석하였다.

2. 방법

1) 측정방법

본 실험에서는 굴삭기에서의 진동을 측정하기 위하여 ISO 2631-1(1997)의 방법에 따라 가속도계를 굴삭기 좌석 위에 설치하였으며, 측정자와 좌석 사이의 좌석 위에서 측정하였다. 그림 1.에서는 측정 장비의 구성을 나타내고 있고, 정상적인 작업이 이루어지는 상황에서 측정하였다.

또한, 측정자의 불필요한 운동으로 인한 흔들림(rocking) 현상과 좌석 재질의 상이성으로 인한 자료의 혼란을 예방하기 위해 충분한 감도를 갖고 있는 세 개의 아주 가벼운 가속도 센서를 가벼운 금속정육면체 위에 수직으로 올려놓고 딱딱한 고무판 중앙에 자리잡힌 그림 1의 b인 가속도계(Triaxial Seat-Accelerometer 4322, Bruel & Kjaer, Denmark)를 이용하여 불필요한 측정값을 최소화하였다(ACGIH, 2002).

2) 측정기구

주파수 가중된 진동 가속도를 측정하기 위하여 그림 1의 c인 적분형 진동측정기기(Integrating Vibration Type 2231, Bruel & Kjaer, Denmark)를 그림 1의 d인 인체진동 필터(Human Vibration Unit 2522, Bruel & Kjaer, Denmark)와 연결한 후 그림 1의 a인 실시간 신호분석기기(Real Time Signal Analyzer Type 2144, Bruel & Kjaer, Denmark)와 연결하여 측정하였으며, 1/3 옥타브 범위과장(one-third octave band spectra)은 실시간 신호분석기기로 주파수의 범위를 0 Hz ~ 100 Hz로 선택한 후 기기 내에 내장되어 있는 프로그램(Software Version 1.40 Program, Bruel & Kjaer, Denmark)을 사용하여 측정자료를 모두 저장한 후 실험실에서 프린터로 출력하였다. 이들 기기는 진동측정 전후에 대하여 159.2 Hz에서 10ms로 보정하여 처리하였다. 그림 2.에서는 측정 및 분석 장비 개략도를 나타내었다.

Table 1. Number of measurement for each factors of excavator

attachment	capacity	wheel	ground condition
breaker(30)	0.6 m ³ (10)	tire(5)	hard(5) soft(5)
		track(5)	hard(5) soft(5)
	0.8 m ³ (10)	tire(5)	hard(5) soft(5)
		track(5)	hard(5) soft(5)
	1.0 m ³ (10)	tire(5)	hard(5) soft(5)
		track(5)	hard(5) soft(5)
bucket(30)	0.6 m ³ (10)	tire(5)	hard(5) soft(5)
		track(5)	hard(5) soft(5)
	0.8 m ³ (10)	tire(5)	hard(5) soft(5)
		track(5)	hard(5) soft(5)
	1.0 m ³ (10)	tire(5)	hard(5) soft(5)
		track(5)	hard(5) soft(5)

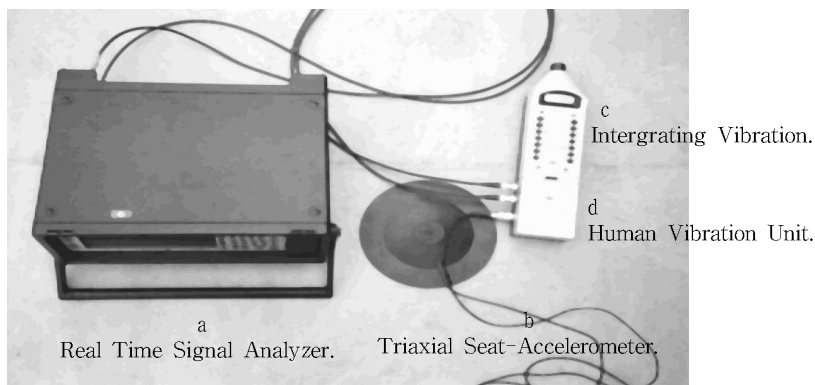


Figure 1. Photograph of measurement system.

3) 평가방법

본 실험에서는 그림 3.와 같이 X, Y, Z 세 방향을 모두 고려하여 측정하였으며, 식 1.에 의해서 계산되어졌다.

$$a_w = [1/T \int_0^T a_w(t) dt]^2 \dots\dots\dots (1)$$

$a_w(t)$ 는 시간개념이 들어간 가중 가속도 값이고, T는 측정하는 동안의 시간을 나타내며 측정 단위는 m/s^2 을 적용하여 평가하

였다.

만약, Z 방향의 a_w 값이 X, Y의 값과 유사하다면 측정된 가속도 값에 주파수 보정치와 축 방향 보정치를 고려한 값으로써 식 2.에 의해서 계산되어졌다.

$$SUM = [(1.4a_{w,x})^2 + (1.4a_{w,y})^2 + (a_{w,z})^2]^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, $a_{w,x}$, $a_{w,y}$, $a_{w,z}$ 는 X, Y, Z 방향의 진동 가속도 실효치로서 주파수 가중된 값 (frequency weighting value) 이며, 계수 1.4는 X, Y축 방향의 보정치 (axis multiplying factor)를 나타낸다.

3. 자료분석

수집된 자료의 분석은 SAS for Windows V 8.1을 이용하여 정규성 검정을 한뒤 대수 변환하여 각 변수별 X, Y, Z, SUM에 대해 기하평균, 기하표준편차를 구하였다.

부착기, 작업면 분석은 paired t-test, 바퀴는 student's t-test, 용량은 분산분석 (ANOVA)을 이용했다. 각각의 변수가 혼란변수로 작용하여 이 혼란변수를 제어하기 위해 부착기, 작업면, 바퀴, 용량에 대해 독립변수로 설정하고 진동 가속도값 중 대표 값인 SUM값을 종속변수로 구성하여, 4 요인 분산분석을 통해 진동수준에 유의한 영향을 주는 변수를 비교 분석했다.

III. 연구결과

1. 부착기 사양별 전신진동 수준 비교

Breaker와 bucket에 따른 전신진동 가속도 수준을 비교한 결과는 표 2와 같다. 각각의 전신진동 가속도 수준에 대한 paired t-test를 실시한 결과 X축의 경우는 breaker가 $0.21m/s^2$ 으로 bucket의 $0.11m/s^2$ 보다 높았고($P<0.01$), Y축의 경우도 breaker가 $0.16m/s^2$ 으로 bucket의 $0.09m/s^2$ 보다 높았다($P<0.01$). Z축의 경우도 역시 breaker가 $0.40m/s^2$ 으로 bucket의 $0.21m/s^2$ 보다 높았으며($P<0.01$), 가중 가속도 값인 SUM값 역시 breaker가 $0.64m/s^2$ 으로 bucket의 $0.32m/s^2$ 보다 높았다($P<0.01$). X, Y, Z축 중 가장 큰 값을 보이는 축은 breaker, bucket 모두 Z축이 우세 축으로 상 하 진동 값이 가장 큰 것으로 나타났다.

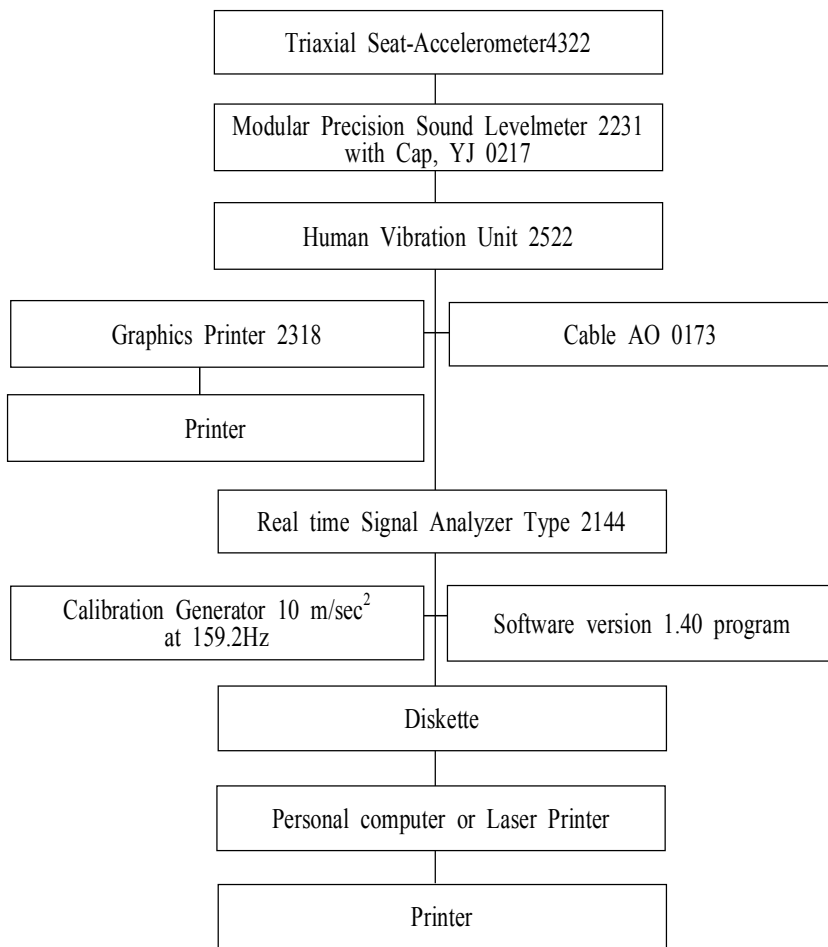


Figure 2. Diagram of whole body vibration measurement system.

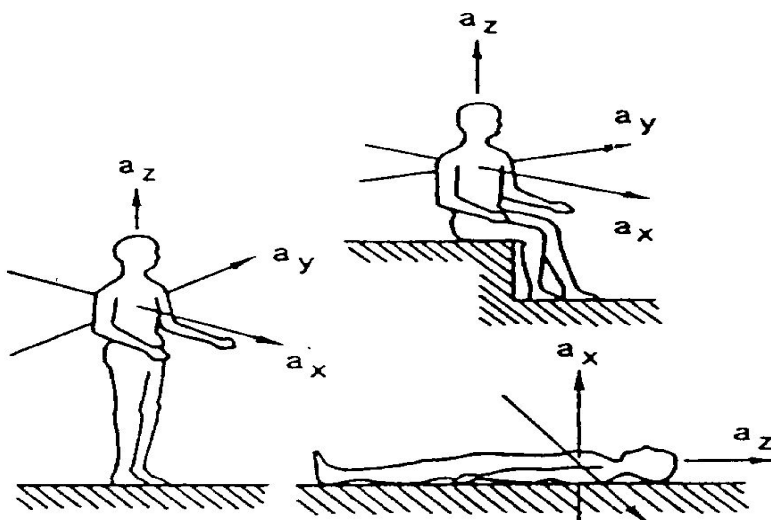


Figure 3. Biodynamic coordinate system for acceleration measurements.

2. 바퀴 사양별 전신진동 수준 비교

Tire와 track에 따른 전신진동 가속도 수준을 비교한 결과는 표 3과 같다. Tire와 track의 전신진동 가속도 수준에 대한 student's t-test를 실시한 결과 X축의 경우는 tire가 0.18m/s^2 으로 track의 0.13m/s^2 보다 높았고($P<0.01$), Y축에서도 tire의 전신진동 가속도 수준이 0.14m/s^2 으로 track의 0.10m/s^2 보다 높았으며($P<0.01$), Z축에서도 역시 tire가 0.31m/s^2 으로 track의 0.27m/s^2 보다 높았다($P<0.01$). 가장 가속도 값인 SUM값은 tire가 0.50m/s^2 으로 track의 0.41m/s^2 보다 높았다($P<0.01$). X, Y, Z축 중 가장 큰 값을 보이는 축은 tire, track 모두 Z축이 우세 축으로 상 하 진동 값이 가장 큰 것으로 나타났다.

3. 용량별 전신진동 수준 비교

용량별(0.6m^3 , 0.8m^3 , 1.0m^3) 전신진동 가속도 수준을 분산분석(ANOVA)으로 비교한 결과는 표 4와 같다. X축은 0.6m^3 , 0.8m^3 에서 0.16m/s^2 으로 1.0m^3 의 0.15m/s^2 보다 높았고, Y축은 0.8m^3 에서 0.13m/s^2 으로 0.6m^3 의 0.11m/s^2 , 1.0m^3 의 0.12m/s^2 보다 높았으며, Z축의 경우는 0.8m^3 에서 0.31m/s^2 으로 0.6m^3 의 0.29m/s^2 , 1.0m^3 의 0.26m/s^2 보다 높았다. 가장 가속도 값인 SUM값은 0.8m^3 이 0.48m/s^2 으로 가장 높았고, 0.6m^3 이 0.46m/s^2 , 1.0m^3 이 0.42m/s^2 순으로 나타났다. 단, 용량에 따른 X, Y, Z축 및 SUM값 비교 시 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. X, Y, Z축 중 가장 큰 값을 보이는 축은 0.6m^3 , 0.8m^3 , 1.0m^3 모두 Z축이 우세한 축으로 상 하 진동 값이 가장 큰 것으로 나타났다.

4. 작업면 상태에 따른 전신진동 수준 비교

암면 작업과 흙면 작업에 따른 전신진동 가속도 수준을 비교한 결과는 표 4와 같다. 암면과 흙면의 전신진동 가속도 수준에 대한 paired t-test를 실시한 결과 X축의 경우는 암면이 0.18m/s^2 으로 흙면의 0.13m/s^2 보다 높았고($P<0.01$), Y축에서도 암면

Table 2. Whole body vibration levels by the type of attachment

Axis	Breaker(30)		Bucket(30)	
	GM [†]	GSD [‡]	GM [†]	GSD [‡]
X	0.21 ^{**}	1.80	0.11	1.59
Y	0.16 ^{**}	1.77	0.09	1.55
Z	0.40 ^{**}	1.64	0.21	1.60
SUM	0.64 ^{**}	1.45	0.32	1.44

† GM(geometric mean), ‡ GSD(geometric standard deviation)

**P<0.01

() : Number of measurement

Table 3. Whole body vibration levels by the type of wheel

Axis	Tire(30)		Track(30)	
	GM [†]	GSD [‡]	GM [†]	GSD [‡]
X	0.18 ^{**}	1.80	0.13	1.85
Y	0.14 ^{**}	1.79	0.10	1.71
Z	0.31 ^{**}	1.76	0.27	1.82
SUM	0.50 ^{**}	1.67	0.41	1.63

† GM(geometric mean), ‡ GSD(geometric standard deviation)

** P<0.01

() : Number of measurement

Table 4. Whole body vibration levels by the type of bucket capacity(m)

Axis	0.6m ³ (20)		0.8m ³ (20)		1.0m ³ (20)	
	GM [†]	GSD [‡]	GM [†]	GSD [‡]	GM [†]	GSD [‡]
X	0.16	1.94	0.16	2.08	0.15	1.55
Y	0.11	0.80	0.13	1.80	0.12	1.75
Z	0.29	1.82	0.31	1.74	0.26	1.82
SUM	0.46	1.73	0.48	1.67	0.42	1.59

† GM(geometric mean), ‡ GSD(geometric standard deviation)

() : Number of measurement

Table 5. Whole body vibration levels by the ground condition

Axis	Hard(60)		Soft(60)	
	GM [†]	GSD [‡]	GM [†]	GSD [‡]
X	0.18 ^{**}	1.91	0.13	1.73
Y	0.15 ^{**}	1.84	0.10	1.61
Z	0.36 ^{**}	1.68	0.23	1.74
SUM	0.57 ^{**}	1.55	0.36	1.61

† GM(geometric mean), ‡ GSD(geometric standard deviation)

** P<0.01

() : Number of measurement

값인 SUM값은 암면이 0.57m/s²으로 흙면의 0.36m/s²보다 높았다(P<0.01).

축의 특성은 X, Y, Z축 중 가장 큰 값을 보이는 축은 암면, 흙면 모두 z축이 우세 축으로 상하 진동 값이 가장 큰 것으로 나타났다.

5. 부착기별 주파수 특성

굴삭기에 발생한 가속도 수준을 1/3 옥타브 밴드로 나누어 0 ~ 100 Hz의 주파수 범위에서 관찰한 결과를 breaker작업과 bucket작업으로 나누어 X, Y, Z축 방향으로 대하여 그림 4와 그림 5에 표시하였다.

Breaker 작업의 경우 현저한 가속도 수준을 나타내는 주파수 범위는 0 ~ 50 Hz로 구간 내에서 요철이 심하게 나타나고 있으며, X축은 5 ~ 6 Hz, Y축은 3 ~ 6 Hz, Z축은 5 ~ 6 Hz, 10 ~ 11 Hz에서 극대 값을 보이고 있다. Bucket 작업의 경우 현저한 가속도 수준을 나타내는 주파수 범위는 0 ~ 10 Hz로 비교적 저주파 영역에서 높은 진동수준을 발생하고 있으며, X축, Y축에서는 1 ~ 2 Hz에서 극대 값을 보이고 있으며, Z축에서는 3 ~ 4 Hz에서 극대 값을 보이고 있다.

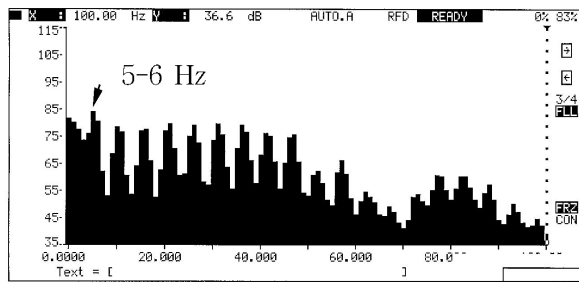
6. 4요인 분산분석

부착기, 바퀴, 용량, 작업면을 독립변수로 설정하고, 진동 가속도 값 중 가장 가속도 값인 SUM값을 종속변수로 설정하여 각각의 변수에 대한 분석을 실시한 결과는 표 6과 같다.

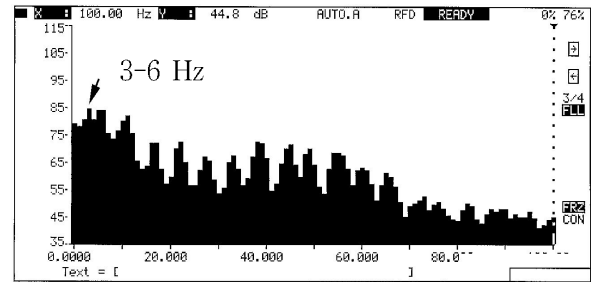
이들 변수 중 진동 값에 유의한 영향을 미치는 인자로는 부착기, 작업면, 바퀴 순으로 나타났고, 용량은 진동 값에 유의한 영향을 주지 못했다. 부착기와 작업면은 교호작용(F=8.42, P=0.0046)이 있는 것으로 나타났으며, 교호작용의 해석은 표 7과 같다.

진동수의 크기 순으로 변수를 나타내면 착암기를 부착하고 암면작업을 한 경우가 진동수가 가장 높았으며, X, Y, Z, SUM값의 GM(GSD)은 0.25m/s²(1.86), 0.19m/s²(1.85), 0.47m/s²(1.59), 0.75m/s²(1.51) 이었으며, bucket

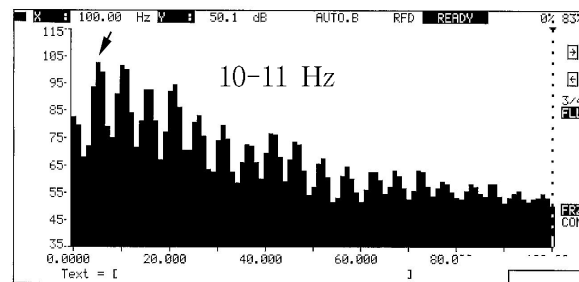
의 전신진동 가속도 수준이 0.15m/s²으로에서도 역시 암면이 0.36m/s²으로 흙면의 0.10m/s²보다 높았으며(P<0.01), Z축 0.23m/s²보다 높았다(P<0.01). 가장 가속도



a) X-axis

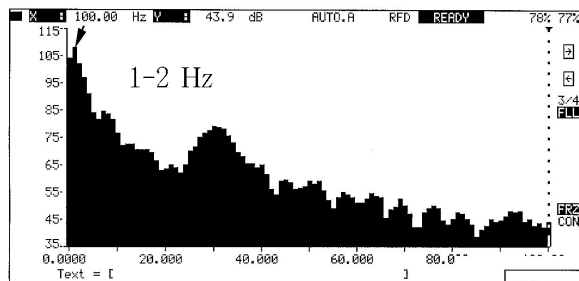


b) Y-axis

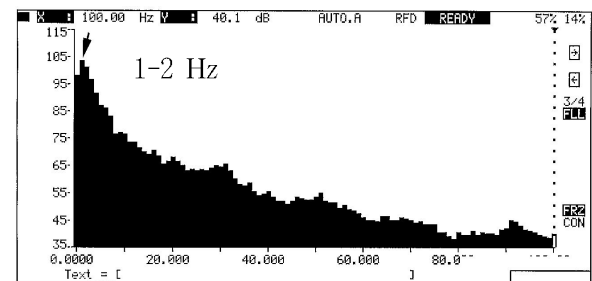


c) Z-axis

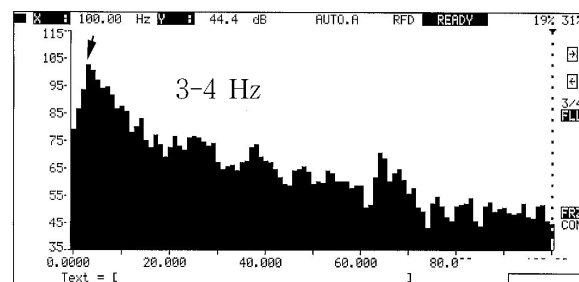
Figure 4. The results of frequency analysis of whole body vibration with a breaker attached.



a) X-axis



b) Y-axis



c) Z-axis

Figure 5. The results of frequency analysis of whole body vibration with a bucket attached.

Table 6. Factors affecting WBV among excavators

Group	F-value	P-value
Attachment	206.36	0.0001
Wheel	16.30	0.0001
Capacity	1.92	0.1518
Ground condition	83.41	0.0001
Attachment*Ground condition	8.42	0.0046

Table 7. Interpreting significant interactions of attachment and ground condition
unit : m/s^2

Axis	Breaker*hard	Breaker*soft	Bucket*hard	Bucket*soft
	GM [†] (GSD [‡])	GM [†] (GSD [‡])	GM [†] (GSD [‡])	GM [†] (GSD [‡])
X	0.25(1.86)**	0.18(1.68)	0.14(1.69)	0.09(1.36)
Y	0.19(1.85)**	0.13(1.60)	0.11(1.62)	0.08(1.36)
Z	0.47(1.59)**	0.34(1.61)	0.28(1.54)	0.15(1.29)
SUM	0.75(1.51)**	0.55(1.28)	0.43(1.27)	0.24(1.19)

† GM(geometric mean), ‡ GSD(geometric standard deviation)

** P<0.01

을 부착하고 흙면작업을 한 경우가 진동수가 가장 낮았으며, X, Y, Z, SUM값의 GM(GSD)은 $0.09\text{m/s}^2(1.36)$, $0.08\text{m/s}^2(1.36)$, $0.15\text{m/s}^2(1.29)$, $0.24\text{m/s}^2(1.19)$ 이었고, 변수간 유의한 차이를 보였다($P<0.01$).

그러나, 착암기를 부착하고 흙면에서 작업을 한 경우와 bucket을 부착하고 암면에서 작업을 한 경우는 Y, Z간 진동수 차이를 발견 할 수 없었다.

IV. 고 찰

국제표준화기구(ISO)에서는 전신진동 측정 및 평가방법에 대한 일반론을 제시하고 있으며, 전신진동의 인체 영향을 피폭되는 진동의 양에 따라 안락도 한계(comfort limit), 활동성 및 작업 효율성 한계(activity and working proficiency limit), 그리고 보건 및 안전한계(limit for health and safety)로 구분한다. 가전제품, 철도차량 및 승용차 등의 진동은 직접제품의 품질 즉, 진동 안락도에 관련된다. 특히 국내 자동차 업계의 승차감 개선을 위한 연구 분야가 이러한 범주에 속한다. 그리고, 숙련된 작업자의 진동환경, 산업용기계, 국방 운송차량 등의 진동은 안락도중대보다는 작업효율 및 활동성의 향상을 위

하여 진동을 우선 고려한다. 그리고, 비행기 조종사, 선박 근무자, 트럭 및 산업용 중장비 운전자, 그리고 국방 운송 체계의 운전자들과 같은 장기간의 진동피폭을 수반하는 경우는 인체의 건강 보전과 안전을 위한 진동 문제를 고찰하여야 한다(정완섭 등, 2000). 개정된 ISO 2631-1의 주파수 범위는 1 Hz 이하까지 확장되어졌고, 평가는 평가방법이기 보다는 RMS(root mean square) 가속도의 주파수가중(frequency weighting)에 기초를 두었다(ISO, 1997).

전신진동에 관하여 잠재된 건강위험에 관한 여론은 국소진동에 비해 적게 존재한다. 비록 여러 질병들이 전신진동에 노출된 노동자들 사이에 더 자주 일어나는 것으로 보고되어졌지만 주로 직업적인 노출 때문에 일어나는 손상이나 질병은 아직 확실히 증명되지 않았다(Hulshof & Veldhuijzen, 1987). 다만, 전신진동이 직업과 관련한 요통의 중요한 요소라고 보고하고 있다(Miyashita et al., 1992). 미국의 경우 차량, 기기 등의 사용으로 전신진동에 노출되는 작업자는 칠백만 명 이상으로 추계 되고 있으며, 트럭 및 버스 운전자, 중장비 운전자와 광부들이 직업적으로 전신진동에 노출되고 있다(LaDou, 1999). 1년에 백만 명의 노동자들이 1987

년 미국에서 직업상 요통으로 고통 받았다. 이것은 상해와 병과 관련된 모든 직업의 20%를 나타낸다. 1986년에 요통으로 인한 장애의 총 보상금은 미국에서 11억 달러였다. 1974년 국립직업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health)는 팔백만 명의 노동자 또는 미국노동자 9%가 진동에 노출되어 졌다고 추정했는데 그 진동의 80%는 전신진동이다(Johanning, 1991).

본 연구는 국내에서도 전신진동 노출에 관한 건강장해 가능성에 대한 연구의 필요성이 있다고 판단되어 보편적으로 가장 많이 사용되는 중장비인 굴삭기의 전신진동량을 조사하였다.

전반적인 전신진동 발생량을 sum값으로 표시하면 최대, 최소치의 범위는 $0.17 - 2.41\text{m/s}^2$ 으로 이는 지게차에서의 전신진동 노출수준인 $0.23 - 1.32\text{m/s}^2$ (문석준과 최재욱, 2000)보다 최대치의 경우 2배 가량 높게 나타나고 있었으며, breaker와 bucket 작업 경우 평균치는 0.64m/s^2 , 0.32m/s^2 으로 굴삭기에서의 파쇄작업과 굴삭작업시 전신진동 노출수준인 0.77m/s^2 , 0.46m/s^2 (연정택과 박상규, 2000)과 유사하게 발생하고 있었다.

굴삭기의 부착기 사양별 전신진동 발생량 조사결과 breaker가 bucket의 작업보다 2배 가량 높은 유의한 차이(표 2)를 보이고 있었다. 이는 breaker 특성상 부드러운 면보다는 딱딱한 면을 작업하고, 그에 따른 차체의 반동에 의해 진동 발생량이 높게 평가 된 것으로 사료된다. 바퀴 사양별 전신진동 발생량 조사결과 tire가 track 보다 높은 유의한 차이(표 4)를 보이고 있었다. 이는 차체의 안정에서 track이 안정성이 높은 것으로 사료되며, tire가 부착된 굴삭기는 이동이 용이하며, track 보다 작업반경이 넓고, 작업 시 움직이는 폭이 커 진동 값에 영향을 미친 것으로 보인다. 현장에서는 tire의 이런 점 때문에 지면과 고정할 수 있는 장치를 일부 tire 굴삭기에 부착하여 굴삭 작업시 사용하고 있다. 추후 연구에서는 비교 평가가 이루어져야 할 것이다. 용량별 전신진동 발생량 조사결과와 용량에 따른 진동 값의 유의한 차

이(표 3)는 거의 없는 것으로 나타났다. 용량이 커지므로 서, 작업 시 큰 동적 하중을 받지만 굴삭기 차체도 용량과 비례하여 커지므로 안정성이 증대되어 용량별 진동 값은 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다으며, 이는 용량에 대한 진동수준 변화보다 외적인 요인에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 작업면에 따른 전신 진동 발생 량 조사결과 암면 작업이 흙면 작업보다 높은 유의한 차이(표 5)가 있는 것으로 나타났다. 암면 작업 시 차체에 가해지는 저항이 커 더 높은 진동수준을 나타내는 것으로 사료된다.

진동에 관한 값은 서로 영향을 줄 수 있는 많은 변수들에 의해 변화된다. 가장 명백한 상호작용 변수는 길 표면의 성질과 운반기구의 속도이다(Griffin, 1978). 본 연구에서도 굴삭기의 용량, 바퀴의 변수보다 길 표면의 성질과 부착기의 종류에 의한 변수가 진동 값의 차이를 나타내고 있었다.

굴삭기에서 발생된 가속도 수준을 0 ~ 100Hz의 주파수 범위 내에서 관찰한 결과 bucket 작업의 경우 X, Y축은 1 ~ 2Hz, Z축은 3 ~ 4Hz에서 극대 값을 보이며, 10 Hz 이하에서 현저히 감소되는 것으로 나타났다. Breaker 작업의 경우 X, Y, Z 축 모두 요철이 심하게 나타나고 있으나 0 ~ 10Hz 내에서 극대 값이 나타났다. 이는 breaker의 짧고 주기적인 충격으로 인한 진동수준의 변화라고 사료된다.

미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 권장되어지는 한계는 공명현상에 의해 Z축은 4 ~ 8Hz, X축, Y축은 1 ~ 2Hz에서 최소치로 평가되고, 전신 진동 노출 작업자가 1일 8시간 동안 전신 진동에 폭로된다고 하면 X, Y, Z 축 방향에서 측정된 RMS값을 0.5ms^{-2} 이하로 추천하고 있다(ACGIH, 2002). 본 실험에서 bucket 작업의 경우 X, Y, Z축은 최소 주파수 평가구역에서 극 값이 나타나고 있었으며(그림 4, 그림 5), 본 실험에 참여한 작업자가 8시간 동안 전신진동에 노출된다고 가정하면 굴삭기 20대에서 측정된

120개의 측정샘플 중 58개 측정 샘플이 0.5ms^{-2} 을 상회하여 48 %의 초과율을 나타냈다. 따라서 전신진동에 대한 직업적 노출이 있는 근로자들은 전신진동에 의한 건강 장애에 대한 교육이 이루어져야 할 것이며, 배치 전 과 배치 후 전문의를 통한 신체검진을 수행하기 위해 행정적 제도의 뒷받침이 필요하리라 사료된다.

엔진 및 동력전달장치에서 발생하는 진동은 인체의 주파수 특성의 관점에서 볼 때 인체가 상대적으로 덜 민감한 고주파 성분을 포함하고 있으나 작업시의 충격력이나 노면 가진에 의한 진동은 상대적으로 인체가 민감한 저주파수 성분을 많이 포함하고 있다. 일반차량 등에서 차축에 장착된 완충스프링이나 흡진기(Shock absorber) 등을 통해 노면 가진에 의한 진동이 흡수되나 중장비에는 차축 현가 장치가 없어서 노면 진동이 인체에 직접 전달된다(김형근 등, 1995). 따라서 작업시 충격력과 노면 진동에 의해 저주파에서 극대 값이 나타난 것으로 보인다. 그러나 일반차량에 장착하는 차축 현가 장치를 중장비에 부착하는 것은 기능상 곤란하며, 인체에 전달되는 저주파 진동을 저감시키기 위해 캡 마운트(cab mount) 또는 시트 현가계(seat suspension)가 주로 사용되므로 전신진동 저감을 위해서는 지속적인 연구가 필요하리라 사료된다.

부착기, 바퀴, 용량 및 작업면과 가속도 수준을 분석한 결과 부착기 사양, 작업면 상태, 바퀴 사양 순으로 유의한 요인으로 채택되었고, bucket의 용량은 유의한 변수가 아니었다. 부착기와 작업면 사이에는 상호 교호작용이 있는 것으로 나타났다. 이는 향후 굴삭기를 비롯한 중장비의 전신진동 저감을 위한 관리 방향을 제시하는데 중요한 정보를 제공하리라 사료된다.

본 연구의 제한점으로 굴삭기의 노화, 시트의 재질, 시트의 노화상태, 바퀴 타입 굴삭기의 일부 고정장치, 운전자의 작업 특성 등에 대한 조사가 이루어지지 못했으므로 향후 보다 다양한 관련변수에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 굴삭기의 bucket 및 breaker의 용량, 바퀴 사양, 부착기 사양, 작업면 상태로 구분하여 진동수준 및 주파수 특성을 파악하고, 각 변수 중 진동수에 영향을 주는 변수를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 대부분의 측정값에서 X축은 0.11 ~ 0.21ms^{-2} , Y축은 0.09 ~ 0.15ms^{-2} , Z축은 0.21 ~ 0.40ms^{-2} 으로 Z축이 우세 축으로 나타났다.

2. Breaker 작업이 bucket 작업에 비해, tire 굴삭기가 track 굴삭기 비해, 암면 작업이 흙면 작업에 비해 X, Y, Z축의 진동 값이 유의하게 높게 나타났다. 그러나, bucket과 breaker용량에 따른 X, Y, Z축 비교 시 진동 값에 유의한 차이는 발견할 수 없었다.

3. Bucket 작업시 현저한 가속도 수준을 나타내는 주파수 범위는 0 ~ 10 Hz로 비교적 저주파 영역에서 높은 진동수준이 발생하고 있고, X축 및 Y축에서는 1 ~ 2 Hz, Z축에서는 3 ~ 4 Hz에서 극대 값이 나타났다. Breaker 작업시 현저한 가속도 수준을 나타내는 주파수 범위는 0 ~ 50 Hz로 구간 내에서 요철이 심하게 나타나고 있으며, X축 5 ~ 6 Hz, Y축 3 ~ 6 Hz, Z축 10 ~ 11 Hz에서 극대 값이 나타났다.

4. 부착기 사양, 바퀴 사양, bucket의 용량 및 작업면 상태의 변수에서 진동 값에 유의한 영향을 미치는 것은 부착기 사양, 바퀴 사양, 작업면 상태이었다.

이상의 연구결과로 굴삭기의 전신진동 수준 중 우세 축은 Z축 이었고, 발생 주파수 범위는 X, Y, Z축 모두 저주파 영역에서 극대 값이 나타났으며, 고주파 영역으로 갈수록 감소했다. 그리고 전신진동 수준에 영향을 주는 상호작용 변수는 bucket 및 breaker용량, 바퀴재질보다 부착기 종류나 작업면 상태에 따라 전신진동 노출 수준이 크므로 굴삭기는 운전자의 진동노출방지를 위한 캡 마운트(cab mount)와 의자에 대한 방진시스템에 대해 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

REFERENCES

- 건설교통부. 건설기계등록현황, 2002
- 건설교통부. 건설기계관리법 시행규칙, 2000
- 김형근, 송세철, 권순기, 이정희, 설증민. 시트 현가계 설계를 위한 시트-인체계의 진동 해석. 한국소음진동학회지 1995; 5(1): 67-73
- 문석준, 최재욱. 지게차 종사자의 전신진동 노출 평가. 고려대학교 보건대학원 보건학석사 학위논문 2000
- 박준철, 유승도, 신동석, 이정희, 설증민. 차량통행으로 발생하는 도로진동의 전파특성. 한국소음진동공학회지 1999; 9(1): 25-32
- 박용화, 정완섭. 한국인 앉은 자세에 대한 의자 진동의 머리 전달에 관한 실험적연구. 한국소음진동공학회 창립10주년 기념 소음진동학술대회 논문집 2000; 138-143
- 정상욱, 박상규. 지하철 전동차에서 전신진동 특성에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(1): 87-98
- 정완섭, 최재본. 인체진동에 대한 ISO와 KS 표준안의 비교분석. 한국소음진동학회 창립10주년 기념 소음진동학술대회 논문집 2000; 227-230
- 연정택, 박상규. 굴삭기 운전자의 전신진동 및 작업소음 평가. 한국소음진동공학회 창립10주년 기념 소음진동학술대회 논문집 2000; 125-131
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2002
- Griffin MJ. The evaluation of vehicle vibration and seats. Applied Ergonomics 1978; 9(1): 15-21
- Hulshof C, Veldhuijzen van Zanten BV. Whole-body vibration and low-back pain. A review of epidemiology studies. International Archives of Occupational & Environmental Health 1987; 59: 205-220
- International Organization for Standardization. Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration. Part 1: General requirements. ISO 2631-1, Geneva, 1997
- Johanning E. Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. Scandinavian Journal of work Environmental Health 1991; 17: 414-419
- Johanning E, Wilder D.G, Landrigan P.J, Pope, M.H. Whole-Body Vibration Exposure in Subway Cars and Review of Adverse Health Effects. Journal of Occupational Medicine 1991; 33(5): 605-612
- Kittusamy K, Buchholz B. An Ergonomic Evaluation of Excavating Operations: A Pilot Study. Applied Occupational and Environmental Hygiene 2001; 16(7): 723-726
- Ladou J. Occupational and Environmental Medicine, Appleton and Lange, 1999
- Miyashita K, Morioka I, Tanabe T, Iwata H, Takeda S. Symptoms of construction workers exposed to whole body vibration and local vibration. International Archives of Occupational & Environmental Health 1992; 64(5): 347-351
- Wasserman DE. An Overview of Occupational Whole-Body and Hand-Arm Vibration. Applied Occupational and Environmental Hygiene 1996; 11: 266-269