

손으로 전달된 관리기 진동의 분석과 방진대책

Analysis and Isolation of Walking-type Cultivator Vibration Transmitted to Operator's Hands

박영준 김경욱
정회원 정회원
Y. J. Park K. U. Kim

ABSTRACT

This study was intended to measure and analyze hand-transmitted vibrations from cultivator in idle and operation modes for three different types of field works. Based on this analysis a time for the white finger syndrome to appear on 10% of the operators was estimated assuming that their daily exposure is 3 hours. The 4 methods to reduce the hand vibration were also proposed and compared with each other. The results of the study were summarized as follows :

The highest vibration level was recorded during trenching operation, resulting in a total average vibration of 11.5 m/s². Followings were 7.6 m/s² during rotary tillage and 7.0 m/s² for weeding. When exposed to these levels of vibrations three hours a day, the white finger syndrome is likely to appear in 4 years for trenching, 6.2 years for rotary tillage and 6.8 years for weeding operations. Isolation of hand vibration performed by a rubber pad, anti-vibration gloves, a handle anti-vibration device and engine mounts were respectively 15.7%, 16.5%, 26.1% and 27.0%, resulting in most effective methods of the handle anti-vibration device and engine mounts. A better performance of about 33.9% was achieved when both the handle anti-vibration device and engine mounts were used.

Keywords : Hand-transmitted vibration, White finger syndrome, Anti-vibration device, Walking-type cultivator.

1. 서 론

기계에서 사람으로 전달되는 진동은 작업 정도와 생산성을 저하시킬 뿐만 아니라 건강에도 나쁜 영향을 미친다. 사람에게 전달되는 진동에는 전신 진동과 국소 진동이 있다. 전신 진동은 서있는 상태에서 발바닥을 통하여 전달되는 진동을 말하며, 국소 진동은 신체의 특정 부분으로 전달되는 진동

으로서, 주로 손을 통하여 전달되는 진동을 말한다. 이러한 진동이 인체에 미치는 영향을 구명하고 이를 차단하기 위한 연구는 일찍부터 많은 연구자들의 관심의 대상이 되어 왔다(정 등, 1993).

보행형 관리기는 다른 농업 기계에 비하여 손으로 전달되는 진동이 심한 기계이다. 특히, 구굴 작업의 경우에는 관리기 자체의 진동과 구굴기가 토양과 충돌할 때 일어나는 심한 진동이 핸들을 통

This paper was submitted for publication in June 2002; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in July 2002. The authors are Y. J. Park, Graduate Student and K. U. Kim, Professor at the Seoul National University. The corresponding author is Y. J. Park, Graduate Student, School of Bio-resources and Materials Engineering Seoul National University, 441-744, Suwon Korea. E-mail: <pyj7277@snu.ac.kr>.

하여 운전자의 손과 팔로 직접 전달된다. 이러한 손진동은 운전자에게 피로감을 주며, 작업에 대한 집중력을 잃게 한다. 또한, 장기간 손진동에 노출 되면 손이 차가워지고 손가락이 하얗게 변화되는 백지 현상(white finger syndrome)이 일어나며, 손과 손가락의 마비, 육신거림, 피부 감각력의 저하, 팔의 무기력증 등 각종 기능 장애의 원인이 된다(ISO, 2001). 그러나 손진동이 각종 기능 장애의 원인이 됨에도 불구하고 이에 대한 연구는 충분하지 않다. 국내의 경우, 농업 기계와 관련된 손진동의 기초 자료와 연구는 전무한 실정이다. 최근, 농업기계가 점차 승용화되고 있으나 보행형 기계가 모두 승용화되기는 어렵다. 따라서, 특히, 진동이 심한 보행형 기계에 대해서는 앞으로 손진동에 대한 대책을 강구하지 않으면 안 될 것이다.

본 연구는 보행형 관리기로서 로터리, 제초, 구굴 작업을 수행할 때 손으로 전달되는 진동의 특징을 실험적으로 구명하고, 이를 이용하여 손진동에 의한 기능 장애의 발생 시기와 관리기에 대한 손진동 방지 대책을 제시할 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 손진동 분석 대상 관리기

본 연구에서 손진동 측정 대상으로 사용한 보행형 관리기는 국내 D사에서 제작한 4.2 kW급 관리기로서, 그 제원은 표 1에서와 같다.

Table 1 Specifications of walking-type cultivator used for measurement of hand vibration

Items		Specifications
Rated power/speed		4.2 kW/3200 rpm
Displacement		247 cc
Weight		1,520 N
Tire		4.00-7
Transmission Gears	Forward	4
	Backward	4
	Rotary	8
PTO speed	Low speed	894 rpm
	High speed	1568 rpm

나. 손진동 측정 장비

관리기의 손잡이를 통하여 손으로 전달되는 진동을 측정하고 이를 분석하기 위한 계측과 신호처리 절차는 그림 1에서와 같이 하였다. 계측과 신호 처리에 사용된 장비는 3개의 가속도계, 증폭기, 테이프 레코더, 신호 분석기, 가속도계 고정용 어댑터, 가속도 보정기이며 각 장비의 제원은 표 2에서와 같다.

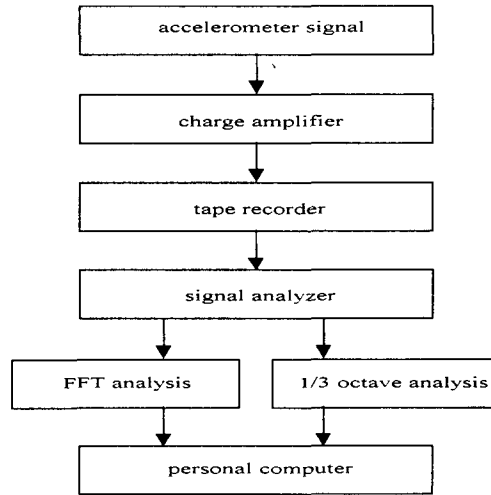


Fig. 1 Block diagram of signal processing.

Table 2 Specifications of equipment used for measurement and analysis of hand vibrations

Equipment	Specifications
Signal analyzer	2 ch. signal analyzer 50 to 25,600 line FFT 25 kHz input module Generator and sampling module 25 kHz zoom processor
Accelerometers	Sensitivity: $10 \pm 2\%$ pC/m/sec ² Freq. range: 0.2~26,000 Hz
Tape recorder	Freq. range: 0~10 kHz in 8ch. 16 bit quantization
Charge amplifier	Freq. range: 0.3~40,000 Hz Max input: 7 V (rms)
Calibration exciter	Frequency: 159.15 Hz Acceleration: 10 m/sec ² (rms) Velocity: 10 mm/sec (rms) Displacement: 10 μ m (rms)

Table 3 Working conditions for vibration measurement

Operation	Rotary tillage	Weeding	Trenching
Work speed (m/s)	0.7	0.7	0.36
Engine speed (rpm)	3,000	3,000	3,780
Main gear shift	Low F2	Low F2	Low F2
Rotary speed (rpm)	318	318	754
Tilling depth (cm)	6~10	3~6	10~15
Wheel type	tire	tire	wheel

다. 관리기 작업과 조건

손진동 측정 대상 작업은 설문 조사를 통하여 작업 빈도가 가장 높고, 작업 시 진동 수준이 가장 높은 것으로 나타난 3개의 작업 즉, 중경 로터리 작업, 중경 제초 작업, 구굴 작업으로 하였으며, 표 3은 각 작업의 작업 조건을 나타낸 것이다.

일일 진동노출 시간(daily exposure duration)은 작업별 일일 평균 작업 시간을 조사하여 결정하였다. 각 작업의 일일 평균 작업 시간은 작업 목적에 따라 차이가 있으나 대체로 작업당 평균 일일 2~5시간 정도인 것으로 조사되었다.

라. 손진동 측정

손진동을 분석하기 위한 좌표계는 그림 2에서와 같이 ISO 5349-1: 2001의 생체 동역학 좌표계(Biodynamic coordinate system) X_h, Y_h, Z_h 로 하였으며, 관리기에 대한 좌표계는 관리기의 진방을 향하는 방향을 y 축, 지면을 향하는 방향을 z 축, yz 면에 수직인 오른쪽 방향을 x 축으로 하였다.

가속도계는 어댑터에 장착하여 어댑터를 손가락 사이에 끼우고 손으로 핸들을 밀착하여 핸들에서 손으로 전달되는 진동을 측정하였다. 손으로 전달된 진동은 가속도계를 통하여 전기 신호로 변화되어 증폭기로 전달되고 증폭된 가속도 신호는 테이프 레코더에 저장되도록 하였다. 증폭기와 테이프 레코더의 작동 범위는 각 가속도계의 감도를 고려하여 설정하였다. 저장된 데이터는 신호 분석기의

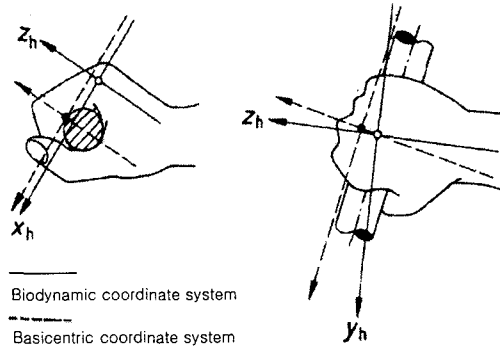


Fig. 2 Coordinates for hand vibration analysis.

FFT과 1/3 옥타브 분석 기능을 이용하여 6.3~1,250 Hz의 범위에서 주파수 분석을 실시하였다.

각 작업에 대한 손진동 수준은 손진동을 30초씩 5회 측정하여, 그 중 20초간 측정 데이터의 평균을 구하고 이를 다시 산술 평균하여 구하였다. 정확한 가속도 수준을 측정하기 위하여 측정 전후에는 보정기를 사용하여 가속도계를 모두 보정하였다.

마. 손진동 분석과 평가 방법

손진동 분석과 평가는 ISO 5349-1: 2001과 ISO 5349-2: 2001의 손진동 측정과 평가 방법에 따라 수행하였다.

일일 진동 노출량(daily vibration exposure), $A(8)$ 은 진동의 크기와 일일 진동 노출 시간을 이용하여 구할 수 있다. 그러나, 작업에 따라 일일 진동 노출 시간이 다르기 때문에 일일 진동 노출량은 8시간을 기준으로 한 에너지 등가 주파수-보정 총진동값(energy-equivalent frequency-weighted vibration total value), $a^{hveq, 8h}$ 로 나타내었다. 즉, $a^{hveq, 8h}$ 는 $A(8)$ 로 표현되며, 다음 식으로 구하였다.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \tag{1}$$

여기서, a_{hv} = total value of vibration vectors x, y and z directions

T = total daily duration of exposure to vibration a_{hv}

T_0 = reference duration of 8 hours (28800 s).

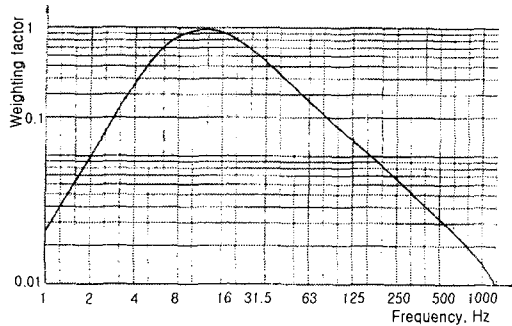


Fig. 3 Frequency-weighting curve, W_{hi} for hand-transmitted vibration.

또한, rms 주파수-보정 가속도, a_{hw} 는 식 (2)에 서와 같이 구하였다.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad (2)$$

여기서, W_{hi} = weighting factor for the i th one-third octave band

a_{hi} = rms acceleration measured in the i th one-third octave band, m/s^2

a_{hw_x} , a_{hw_y} , a_{hw_z} 는 각각 x, y, z방향의 주파수-보정 가속도(a_{hw})를 나타내며 총 진동값, a_{hw} 는 3축 가속도의 벡터합으로써 나타낼 수 있다. 즉,

$$a_{hw} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2} \quad (3)$$

그림 3은 1/3 옥타브 밴드의 중심 주파수에 대한 보정 계수, W_{hi} 를 나타낸 것이다.

일일 진동 노출량과 진동의 영향은 식 (4)를 이용하여 평가하였다. 식 (4)는 특정 진동에 노출되었을 때 노출 집단의 일부에서 질병이 야기될 가능성이 있는 연수를 나타낸 것이다.

$$D_y = 31.8[A(8)]^{-0.106} \quad (4)$$

여기서, $A(8)$ = daily vibration exposure

D_y = group mean total exposure duration in year.

바. 손진동 방지의 원리

관리기의 엔진과 작업 노면의 불규칙으로 인하여 유발된 진동은 관리기의 프레임과 핸들을 통하

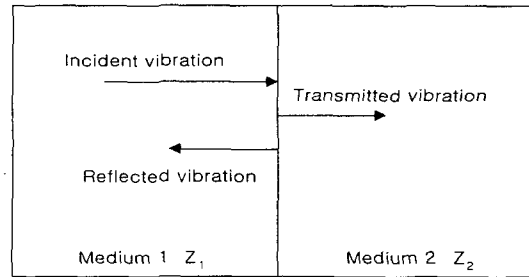


Fig. 4 Reflection and transmission of incident vibration normally between different characteristic impedances.

여 운전자의 손으로 전달된다. 프레임과 핸들을 통하여 전달된 진동은 진동 전달 매질의 특성에 따라 변화된다. 즉, 그림 4에서와 같이 매질에 의한 진동 반사율과 투과율에 의하여 변화된다. 반사율은 두 매질의 임피던스 차가 클수록 증가된다. 금속에서 고무로 진동이 전달될 때 반사율은 약 99.1%가 된다. 따라서 프레임과 핸들을 통하여 전달되는 진동을 효과적으로 차단하는 방법으로서 금속으로 된 진동 전달 매질의 중간에 고무를 삽입하는 방법을 채택하였다.

진동 반사율과 투과율을 수학적으로 표현하면 식 (5)과 식 (6)에서와 같다.

$$\text{진동 반사율 } R_I = \left[\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right]^2 \quad (5)$$

$$\text{진동 투과율 } T_I = \frac{4Z_2 Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (6)$$

여기서, $Z = \rho \times c$. 특성 임피던스

ρ = 밀도

c = 진동 전달 속도

진동 반사율과 투과율은 두 매질의 임피던스 차이가 클수록 즉, $Z_1 \gg Z_2$ 또는 $Z_2 \gg Z_1$ 일수록 $R_I \rightarrow 1$, $T_I \rightarrow 0$ 가 된다. 일반적으로 금속과 고무의 특성 임피던스는 각각 28.5×10^6 Pa.s/m, 0.065×10^6 Pa.s/m이므로 식 (5)와 (6)을 이용하여 진동 반사율과 투과율을 구하면 각각 R_I 는 0.991이며 T_I 는 0.009가 된다. 즉, 금속을 통하여 전달되는 진동은 금속과 금속 사이에 임피던스의 특성이 다른 고무를 삽입함으로써 전달되는 진동을 감소시킬 수 있다.

사. 손진동 방지 대책

손진동을 방지하기 위한 장치는 구조가 간단하고 성능이 우수하며 설치가 쉬워야 한다. 본 연구에서는 이러한 조건에 적합한 4가지 방진 대책을 비교하여 평가하였다.

(1) 고무 패드

관리기의 손잡이에 두께가 4 mm인 고무 패드를 감아 손으로 전달되는 진동을 감소시키는 방법이다. 사용한 고무 패드의 밀도는 1,243 kg/m³이었다. 크기가 120 mm×82 mm인 패드를 강력 접착제와 테이프를 이용하여 손잡이에 접착하고 손잡이를 잡는다.

(2) 방진 장갑

시중에 판매되고 있는 O사의 방진 장갑을 이용하여 손으로 전달되는 진동을 감소시키는 방법이다. 방진 장갑의 바닥은 3 mm 두께의 특수 방진 소재인 인조 가죽으로 되어 있다. 장갑과 손 사이에 가속도계를 설치하기 위하여 장갑의 일부를 절단하여 방진 실험을 수행하였다.

(3) 핸들 방진 장치

핸들 방진 장치는 관리기의 프레임에서 핸들로 전달되는 진동을 감소시키기 위한 방진 고무 소켓으로서 그림 5에서와 같이 한 쪽은 프레임과 연결되고 다른 한 쪽은 핸들이 소켓의 내부에 끼워지도록 한 것이다. 소켓의 내경은 43 mm로 하고, 내부 벽에는 강력 접착제로써 크기가 185 mm×82 mm이고 두께가 8.5 mm인 방진 고무판을 부착하였으며, 길이는 170 mm로 하였다. 소켓의 재질은 플레임과 같은 주철로 하였으며, 방진 고무의 밀도는 1,200 kg/m³이었다. 핸들 방진 장치는 핸들의 왼쪽과 오른쪽 두 곳에 설치하였다.

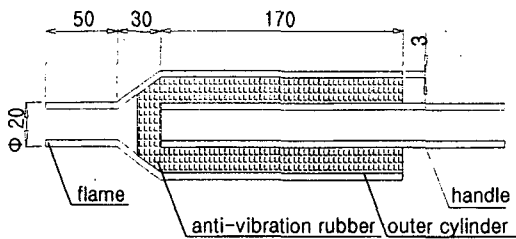


Fig. 5 Anti-vibration device designed for the handle.

(4) 엔진 마운트

엔진에서 본체로 전달되는 진동을 감소시키기 위하여 엔진 마운트에 합성 고무로 된 방진 패드를 설치하였다. 방진 패드는 두께가 13 mm이고, 가로, 세로의 크기가 250 mm×140 mm이며, 밀도가 1,243 kg/m³인 것을 사용하였다.

이상과 같은 방진 대책에 대하여 방진 효과를 실험적으로 측정하였다. 방진 효과는 손으로 전달된 진동 수준을 1/3 옥타브 중심 주파수의 함수로 나타내어 비교하였다.

3. 결과 및 분석

가. 관리기의 진동 특성

그림 6, 7, 8은 각각 중경 로터리, 중경 제초, 구굴 작업에서 손으로 전달된 진동을 FFT로 분석한 결과이다. 분석 결과에 의하면, 진동 수준이 가장 높은 방향은 y 방향 즉, 관리기의 전후 방향이었으며, 그 다음으로는 z 방향 즉, 상하 방향과 x 방향 즉, 좌우 방향으로 나타났다.

중경 로터리 작업과 중경 제초 작업에서는 엔진 속도가 3,000 rpm이었으므로 엔진 속도의 영향으로 인하여 50 Hz에서 피크 가속도가 나타났다. 또한, 구굴 작업에서는 엔진 속도가 3,780 rpm이었으므로 63 Hz에서 피크 가속도가 나타났다. 즉, 관리기로 작업할 때, 손으로 전달되는 진동의 피크값은 엔진 속도에 해당되는 주파수에서 나타났다.

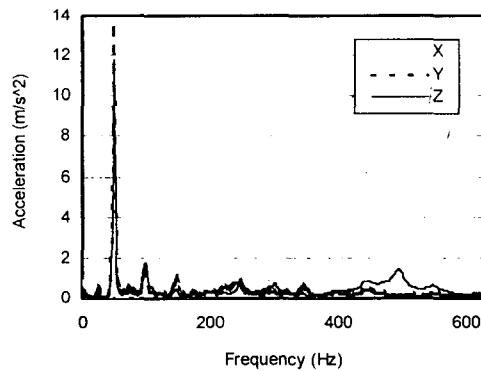


Fig. 6 Frequency analysis of vibration transmitted to hand at rotary tillage work.

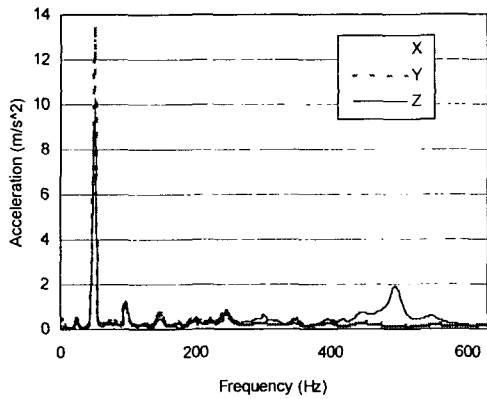


Fig. 7 Frequency analysis of vibration transmitted to hand at weeding work.

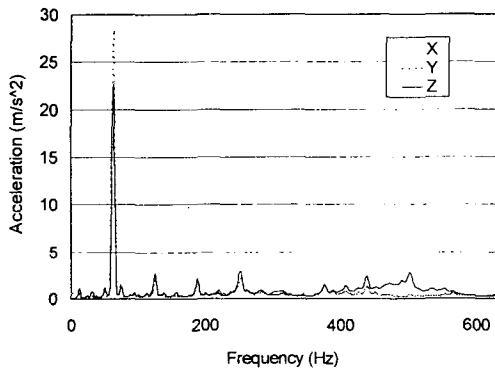


Fig. 8 Frequency analysis of vibration transmitted to hand at trenching work.

가속도 피크는 그림 6, 7, 8에서와 같이 모두 엔진 속도와 그 정수 배에 해당되는 주파수에서 나타났으며, 그 크기는 3~5 m/s²이었다.

나. 작업별 1/3 옥타브 분석

(1) 공회전 상태에서 작업기별 진동 수준

공회전 상태에서 작업기별 손진동에 대한 1/3 옥타브 분석 결과는 표 4에서와 같다. 표 4는 5회씩 측정하여 구한 a_{hvx} , a_{hvy} , a_{hvx} 의 평균 가속도와 총 진동값, a_{hv} 을 나타낸 것이다. 공회전 상태에서는 엔진 이외의 다른 가진원이 없었기 때문에, 엔진 속도가 가장 빠른 구굴기를 부착하였을 때

Table 4 Average values of frequency weighted acceleration at idle mode

	a_{hvx}	a_{hvy}	a_{hvx}	a_{hv}
	m/s ²			
Rotary tillage	1.1	4.7	4.1	6.3
Weeding	1.1	4.6	3.9	6.2
Trenching	2.3	8.2	7.0	11.1

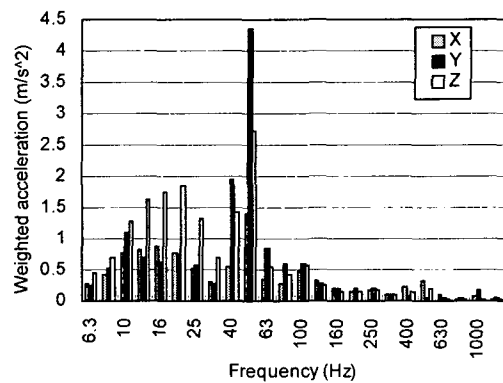


Fig. 9 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand in rotary operation.

총 진동값이 가장 큰 것으로 나타났다. 중경 로터리와 중경 제초기를 부착하였을 때는 엔진 속도가 같은 수준이었기 때문에 총 진동값도 비슷한 수준이었다. 구굴기를 부착하였을 때의 진동 수준은 중경 로터리와 중경 제초기를 부착하였을 때보다 약 1.7~1.8배 정도 높았다.

(2) 작업 상태에서 작업기별 진동 수준과 예상 진동 장애 발생 시기

그림 9, 10, 11은 각각 작업을 수행할 때 손으로 전달된 진동을 1/3 옥타브 대역으로 분석한 결과이다.

3작업에서 모두 유사한 경향이 나타났으며, 중경 로터리 작업과 중경 제초 작업의 경우, 중심 주파수가 50 Hz일 때 전후 방향의 진동 수준이 가장 높았고 구굴 작업의 경우에는 63 Hz일 때 가장 높았다. 50 Hz 이하의 주파수에서는 중경 로터리 작업과 중경 제초 작업의 상하 방향의 진동

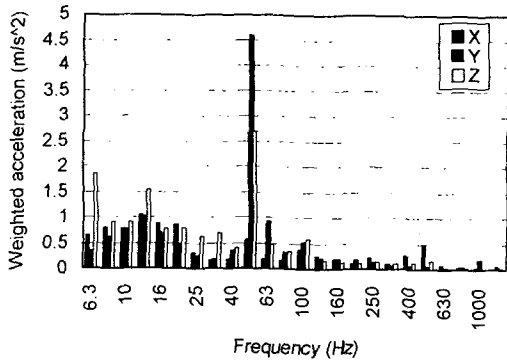


Fig. 10 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand in weeding operation.

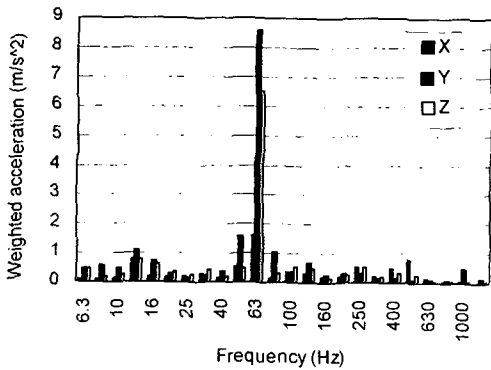


Fig. 11 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand in trenching operation.

이 수평 방향보다 높았다. 그러나, 구굴 작업에서는 50 Hz 이하에서도 수평 방향의 진동 수준이 높았다. 전 주파수 대역에서, 작업할 때의 진동 수준은 공회전 상태에서보다 높았으며 특히, 50 Hz 이하의 주파수 대역에서는 진동 수준이 더욱 높았다. 이러한 현상은 평탄하지 못한 지면이 원인인 것으로 판단된다.

구굴 작업의 손진동 수준은 표 5에서와 같이 11.5 m/s²으로서 가장 높게 나타났으며 중경로터리 작업의 경우는 7.6 m/s², 중경 제조 작업의 경우는 7.0 m/s²로 나타났다. 중경 로터리 작업의 총 진동값, a_h은 공회전 상태에서 보다 1.21배, 중경 제조 작업의 경우에는 1.13배, 구굴 작업의 경우에는 1.05배로 나타났다. 즉, 작업할 때 손으로 전달된

Table 5 Average frequency-weighted acceleration at operation mode

	a_{hux}	a_{huy}	a_{huz}	a_{hv}
	m/s ²			
Rotary tillage	2.5	5.3	4.9	7.6
Weeding	2.3	5.1	4.2	7.0
Trenching	2.3	9.0	6.8	11.5

Table 6 Total vibration level and expected time for white finger to occur at operation mode

	Exposure time (h)	Total vibration level A(8) (m/s ²)	Expected time D _v (year)
Rotary tillage	2	3.8	7.7
	3	4.7	6.2
	4	5.4	5.3
	5	6.0	4.7
Weeder	2	3.5	8.4
	3	4.3	6.8
	4	4.9	5.8
	5	5.5	5.2
Trencher	2	5.8	5.0
	3	7.1	4.0
	4	8.1	3.4
	5	9.1	3.1

총 진동값은 공회전 상태에서 보다 약 5~20% 큰 것으로 나타났다.

기준 작업 시간을 8시간으로 한 에너지-등가 주파수-보정 총 진동값, A(8)과 진동 노출 후 진동 장애가 일어날 것으로 예상되는 시기는 표 6에서와 같이 나타났다. 실제 작업 시간을 2~5시간으로 가정하였기 때문에 진동 노출 가속도 수준은 구굴 작업에서 가장 높았다. 작업 시간을 1일 3시간으로 가정하였을 때 작업자의 10% 이상에서 백지 현상(white finger syndrome)이 나타날 것으로 예상되는 시기는 중경 로터리 작업의 경우 약 6.2년 후, 중경 제조 작업의 경우 약 6.8년 후, 구굴 작업의 경우 약 4년 후인 것으로 예측되었다.

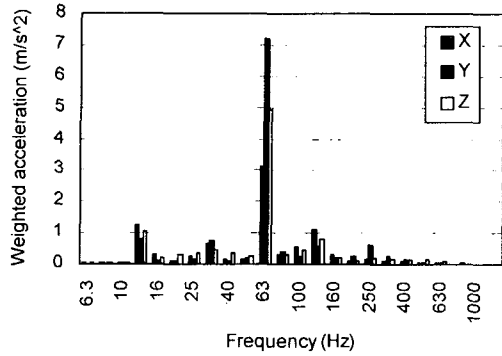


Fig. 12 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand with trencher-attached cultivator at idle mode when rubber pad was installed on the handle grip.

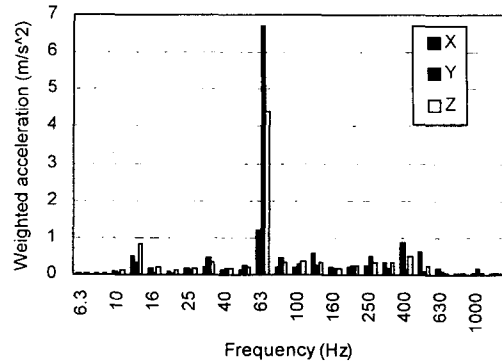


Fig. 14 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand with trencher-attached cultivator at idle mode when anti-vibration device was installed on the handle.

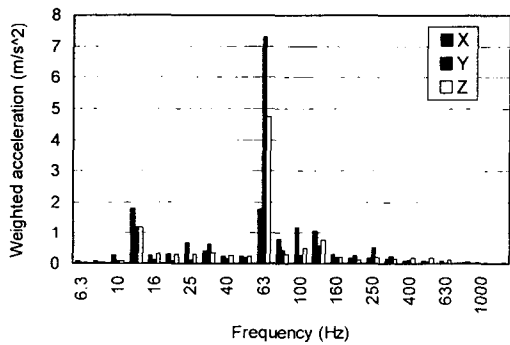


Fig. 13 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand with trencher-attached cultivator at idle mode when anti-vibration glove was used.

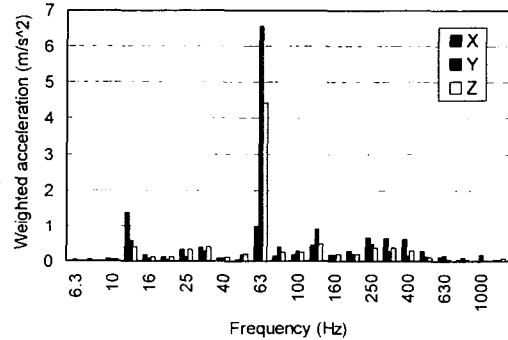


Fig. 15 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand with trencher-attached cultivator at idle mode when rubber pad was used as engine mount.

다. 방진 장치의 진동 차단 효과

방진 장치의 효과는 3가지 작업 중 진동 수준이 가장 높은 구굴 작업에서 공회전 상태로 수행하였다. 즉, 공회전 상태에서 방진 장치가 있을 때와 없을 때의 손으로 전달된 진동 수준을 비교 분석하였다. 그림 12의 고무 패드와 그림 13의 방진 장갑의 경우에서와 같이 200 Hz 이상의 고주파 성분의 가속도 수준은 크게 감소되었으나 160 Hz 이하의 x 방향 저주파 가속도 수준은 오히려 증가하였다. 일반적으로 인체에 해를 주는 진동은 100

Hz 이하의 저주파 진동이므로 고무 패드와 방진 장갑을 이용한 방진 대책은 실질적으로 큰 효과가 없는 것으로 나타났다.

그림 14와 그림 15에서와 같이 핸들 방진 장치와 엔진 마운트를 이용한 방진 대책은 고주파 성분뿐만 아니라 저주파 성분까지 전체적으로 진동 저감의 효과가 크게 나타났다.

표 7은 각각의 방진 장치를 설치하고 5회씩 반복하여 측정된 X_h, Y_h, Z_h 방향의 가속도 $a_{hvx}, a_{hvy}, a_{hvz}$ 의 평균 가속도와 총 가속도 즉, 총 진동 값(ahv)을 나타낸 것이다. 이를 구굴 작업의 가속

Table 7 Average frequency-weighted acceleration when rubber pad, anti-vibration glove, handle anti-vibration device and engine mount were used, respectively

	a_{hux}	a_{huy}	a_{huz}	a_{hv}
	m/s ²			
Rubber pad	3.7	7.3	5.2	9.7
Anti-vibration glove	3.3	7.5	5.1	9.6
Handle anti-vibration device	2.0	6.8	4.6	8.5
Engine mount	2.2	6.7	4.6	8.4
Handle anti-vibration device & Engine mount	1.6	6.4	3.7	7.6

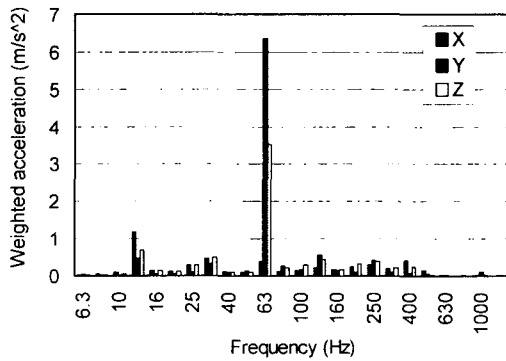


Fig. 16 1/3 octave frequency analysis of vibration transmitted to hand with trencher-attached cultivator at idle mode when anti-vibration device and engine mount were used.

도와 비교하면 고무 패드와 방진 장갑을 사용하였을 때는 y 방향과 z 방향의 가속도가 감소되었으나, x 방향의 가속도는 오히려 증가하였다. 즉, x 방향의 저주파 성분은 고무 패드와 방진 장갑에 의하여 증폭되는 것으로 나타났다. 그러나, 핸들 방진 장치와 엔진 마운트를 이용하였을 때는 전체적으로 모든 방향의 가속도가 같은 수준의 비율로 감소된 것으로 나타났다. 각 장치의 방진 효과를 총 진동값(a_m)으로 나타내면, 고무 패드는 15.7%,

방진 장갑은 16.5%, 핸들 방진 장치는 26.1%, 엔진 마운트는 27.0% 정도 감소된 것으로 나타났다.

또한, 방진 효과가 좋은 핸들 방진 장치와 엔진 마운트를 결합하였을 때는 그림 16에서와 같이 33.9%의 진동 감소 효과가 나타났다.

결론적으로, 핸들의 손잡이 부분에 특성이 다른 재질의 손잡이를 부착하여 진동을 차단하는 방식은 고주파 성분의 진동을 감소시키는 데는 큰 효과가 나타났으나 저주파 성분의 진동을 감소시키는 데는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 또한, 핸들 방진 장치와 엔진 마운트를 이용한 경우에는 전 구간의 주파수 영역에서 방진 효과가 균일하게 나타났다. 인체에 나쁜 영향을 미치는 손진동은 고주파 성분보다는 저주파 성분이므로 저주파 성분을 감소시킬 수 있는 방진 장치가 보다 효과적인 방진 대책이 될 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 보행형 관리기로서 중경 로터리 작업, 중경 제초 작업, 구굴 작업을 수행할 때 손으로 전달되는 진동의 특성을 실험적으로 구명하고, 이를 이용하여 손진동으로 인한 기능 장애가 일어날 것으로 예상되는 시기와 관리기에 대한 손진동 방지 대책을 제시할 목적으로 수행되었다.

진동 측정은 각 작업의 준비 상태 즉, 공회전 상태와 작업을 수행중인 상태로 구분하여 측정하였으며, 손진동 방지 대책은 고무 패드, 방진 장갑, 핸들 방진 장치, 엔진 마운트 등 4개의 방진 장치를 제작하여 설치하고 각 장치에 대한 방진 효과를 분석하였다.

연구 결과에 의하면 손진동이 가장 큰 작업은 구굴 작업으로서 총 진동값은 11.5 m/s²이었으며, 중경 로터리 작업은 7.6 m/s², 중경 제초 작업은 7.0 m/s² 수준이었다. 즉, 구굴 작업시의 진동 수준은 로터리 작업시의 1.5배, 제초 작업시의 1.6배인 것으로 나타났다. 또한, 전후 방향의 진동은 좌우 또는 상하 방향의 진동보다 큰 것으로 나타났다. 구굴기를 부착한 상태, 중경로터리를 부착한 상태, 중경제초기를 부착한 상태에서의 공회전 상태 진동 수준은 각각 11.1 m/s², 6.3 m/s², 6.2 m/s²으로서 작업 상태의 진동 수준과 비교하여 각각 96.5%, 82.9%, 88.6% 수준이었다.

1일 작업 시간을 3시간으로 가정하였을 때 이러한 수준의 진동 노출에서는 구굴 작업의 경우 4

년, 중경 로터리 작업의 경우 6.8년, 중경 제초 작업의 경우 6.2년 후에는 작업자의 약 10%에서 백지 장애 현상이 나타날 것으로 예상된다. 그러나 실제 관리기의 1일 사용 시간은 3시간 이하이므로 백지 장애 현상이 나타나는 시기는 더 길 것으로 판단된다. 또한, 일반적으로 관리기 사용자는 보행형 관리기 뿐만 아니라 보행형 경운기, 보행형 이앙기 등을 함께 사용하는 경우가 많기 때문에 이러한 경우에는 손진동의 영향이 더욱 클 것으로 예상된다.

관리기의 손진동에 대한 방진 대책으로는 고무 패드의 경우 15.7%, 방진 장갑의 경우 16.5%, 핸들 방진 장치의 경우 26.1%, 엔진 마운트의 경우 27.0%의 진동 감소 효과가 나타났으며, 핸들 방진 장치와 엔진 마운트가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 이는 특히 저주파 진동을 감소시키는 데 효과적인 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

1. 김대원. 2000. 인체의 팔굽진동 특성에 관한 실험적 해석. 한국소음진동공학회지 10(2):299-305.
2. 연정택, 박상규, 김소연, 이태영, 장재연. 1999. 금속가공 작업자의 국소진동 평가. 한국산업위생학회지 9(2):52-65.
3. 정수식, 김경욱, 문계송. 1993. 농용 트랙터의 승차진동 평가에 관한 연구(III) - 승차진동의 측정과 평가 -. 한국농업기계학회지 18(3):191-198.
4. International Organization for Standardization. 2001. ISO 5349-1: 2001(E). Mechanical vibration- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration- Part 1: General requirements.
5. International Organization for Standardization. 2001. ISO 5349-2: 2001(E). Mechanical vibration- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.
6. Yibin, Y., L. Zhang, F. Xu and M. Dong. 1998. Vibratory characteristics and hand-transmitted vibration reduction of walking tractor. Transaction of ASAE 41(4):917-922.