

트랙터 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 특성

Characteristics of Ride Vibrations in Rotary Tillage and Plowing Operations by Tractor

박영준 박서범 김경욱
정회원 정회원
Y. J. Park S. B. Park K. U. Kim

ABSTRACT

This study was intended to investigate the characteristics of ride vibrations transmitted to tractor operator during rotary tillage and plowing operations. Seat accelerations of a 41 ps diesel tractor in rotary tillage and plowing were measured and evaluated as specified in the ISO 2631-1. Effects of working speed and tilling depth on ride vibration were investigated. The level of ride vibration was also evaluated in terms of health guidance caution zones. Some of the results of the study are as follows:

1. The level of ride vibration in plowing was about 4.3 times greater than in rotary tillage.
2. The effect of working speed in rotary tillage differs depending upon the tillage depth. The level of ride vibration was increased with the speed, but it decreased over a certain tillage depth. Fore and aft vibration was 2.2-2.7 times severer than horizontal and vertical vibrations. Dominant frequency band was 1-3.15 Hz in fore and aft, 1-3.15 Hz and 16-25 Hz in horizontal, and 16-25 Hz in vertical directions.
3. Plowing reduced the ride vibration by 42.8~50.2%. But its positive effect decreased as the plowing speed increased. In plowing operation, ride vibration was similar degrees in fore and aft, horizontal and vertical directions. The dominant frequency band in plowing operation was 1-2.5 Hz in fore and aft, 1-2.5 Hz in horizontal, and 1-8 Hz in vertical directions.
4. On a basis of daily work hours of 4, total level of ride vibrations in plowing operation is likely to be harmful to operator's health.

Keywords : Ride vibration, Rotary tillage, Plowing.

1. 서 론

트랙터 작업은 주로 논, 밭 또는 비포장 도로에서 수행된다. 따라서 트랙터 운전자는 작업 중 진동, 소음, 먼지 등에 노출되기 쉽다. 소음과 먼지는 안전책을 통하여 어느 정도 차단할 수 있으나, 진동을 차단하는 데는 특별한 대책이 요구된다.

트랙터 진동에 장기간 노출되었을 때 일어날 수 있는 신체 이상, 작업 능력의 저하 등은 이미 많은 문헌을 통하여 지적된 바 있다(Liljedahl, 1979; Mosely and Griffin, 1986). 다양한 형태의 지면 가진은 인체에 유해한 저주파 진동의 주원인이 된다. 따라서, 선진국에서는 트랙터 운전자에 대한 승차 진동의 안전 수준을 구명하기 위하여 많은 연구가 수행된 바 있으나(Prasad et al., 1995;

Mehta and Tewari, 2000) 국내에서는 아직 국산 트랙터의 승차 진동 평가와 감소 대책에 대한 논의가 활발하지 못한 형편이다. 정 등(1993)에 의하면 국내에서 생산되고 있는 농업용 트랙터의 승차 진동 수준은 국제 표준 ISO 2631(ISO, 1972)의 8시간 내피로 한계를 넘는 수준인 것으로 나타났다. 이 연구에서는 콘크리트 노면과 비포장 도로에서 트랙터의 승차 진동 수준을 측정하였으며, 포장 작업의 승차 진동 수준을 구명하지 못하였다.

본 연구는 주요 트랙터 작업의 하나인 로터리 작업과 쟁기 작업을 수행할 때, 경심과 작업 속도에 따라 트랙터의 승차 진동 수준을 평가하고, ISO 2631-1(ISO, 2001)을 기준으로 한 진동 노출 한계 시간을 구명하기 위하여 수행되었다. 로터리와 쟁기 작업의 승차 진동 수준은 작업기의 형식과 종류, 트랙터의 형식과 크기, 포장 상태

This paper was submitted for publication in February 2004; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2004. The authors are Y. J. Park, Graduate Student, S. B. 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, 151-742, Seoul Korea. E-mail : <pyj7277@hanmail.net>.

트랙터 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 특성

등에 따라서 다르기 때문에 특정 조건에서 수행된 본 연구에서는 승차 진동의 절대적인 수준보다는 상대적인 특징을 고찰하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 트랙터

승차 진동 수준을 측정하기 위하여 본 연구에서 사용한 트랙터는 국내 T사에서 제작한 41 ps급 트랙터로서 약 8년 정도 사용하였으며, 그 제원은 표 1에서와 같다.

Table 1 Specifications of tractor used for evaluation of ride vibration

Items	Specifications
Model	TA 4140
Rated power/speed	41 ps diesel/2,600 rpm
Weight distribution	Front 7 kN Rear 10 kN
Tires	Front 8-18 4PR Rear 13.6-28 6PR
Tire pressure	Front 148 kPa Rear 152 kPa
Transmission gears	Forward 16 Backward 16
PTO speed	588, 704, 1057, 1321 rpm

트랙터 좌석의 구조 및 치수는 그림 1과 같으며, 좌석의 현가장치로 스프링상수가 790.3 kN/m 이고, 크기가 2.5×3.5×0.5 cm 인 방진패드 2개가 사용되었다.

나. 승차 진동 측정

승차 진동을 측정하기 위한 기준 좌표계는 그림 2에서와 같이 좌석의 중심을 원점으로 하고 트랙터의 전진 방향을 +x축, 전진 방향에서 운전자의 왼쪽을 +y축, +x축과 +y축으로 구성되는 xy 평면의 연직 상방을 +z축으로 설정하였다. 승차 진동은 3축 가속도계가 부착된 좌형 진동 측정 장치를 이용하여 측정하였으며, 좌형 진동 측정 장치는 운전석의 중앙에 설치하여 운전자가 깔고 앉을 수 있도록 하였다. 좌형 진동 측정 장치로써 측정할 시간 영역의 가속도 신호는 테이프 레코더에 저장한 후

unit : cm

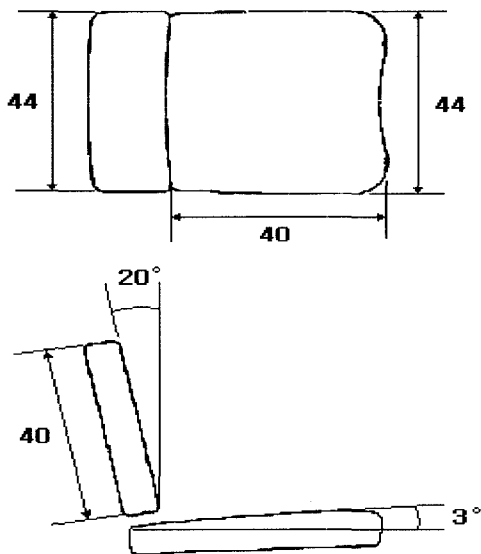


Fig. 1 Dimensions of the tractor seat.

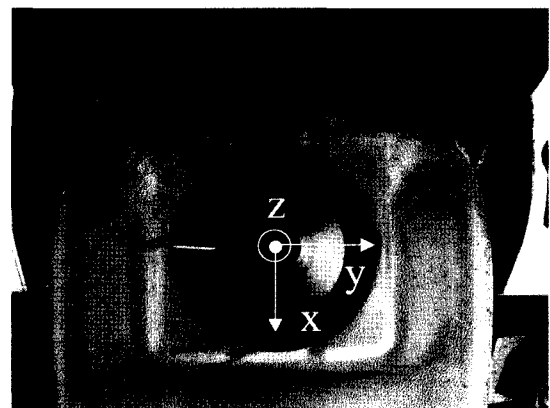


Fig. 2 A view of ride meter mounted on the tractor seat.

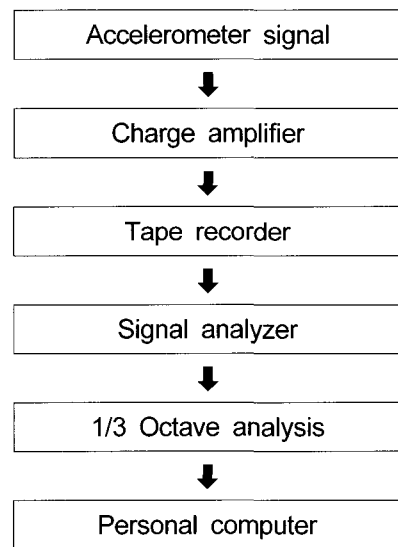


Fig. 3 Block diagram of signal processing.

추후 실험실에서 주파수 분석을 실시하였다. 진동 측정 은 로터리 작업과 쟁기 작업의 작업 조건별로 각각 30초 씩 3회 실시하였으며, 각 작업의 진동 수준은 이를 평균 하여 구하였다. 가속도계의 보정은 측정 전후 모두 실시 하였다. 그림 3은 측정된 가속도 신호의 처리 절차를 나 타낸 것이며, 표 2는 계측과 신호 처리에 사용된 가속도 계, 증폭기, 테이프 레코더, 신호 분석기, 가속도 보정기 의 제원을 나타낸 것이다.

Table 2 Specifications of instruments used for mea-
surement and analysis of ride vibration

Equipment	Specifications
Signal analyzer	4 ch. signal analyzer 50 to 6,400 line FFT 25 kHz input module Generator and sampling module 25 kHz zoom processor
Accelerometers	Sensitivity : $0.3 \pm 2\%$ 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 μm(rms)

다. 승차 진동 분석과 평가

승차 진동의 분석과 평가는 ISO 2631-1에 따라 실시 하였다. 실험실에서 테이프 레코더에 저장된 시간 영역의 가속도 신호를 재생하여 이를 0.8~80 Hz 범위에서 1/3 옥타브 중심 주파수 대역의 rms 가속도로 변환하였다. x, y, z축 방향의 승차 진동 수준은 다시 각 방향의 rms 가 속도에 그림 4의 수직 및 수평 방향에 대한 주파수 보정 값을 곱하여 구하였다. 즉, x, y, z축 방향의 주파수 보정 rms 가속도는 식 (1)에서와 같이 구하였다(ISO, 2001).

$$a_w = \sqrt{\sum_i (W_i a_i)^2} \tag{1}$$

여기서, W_i = i번째 1/3 옥타브 중심 주파수 대역에 대 한 보정 계수,
 a_i = i번째 1/3 옥타브 중심 주파수 대역의 rms 가속도, m/s²

승차 진동의 총 진동 수준, a_v 는 3축 방향의 주파수 보 정 rms 가속도의 벡터 합으로서 식 (2)에서와 같이 구하 였다(ISO, 2001).

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \tag{2}$$

여기서, a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} 는 각각 x, y, z방향의 주파수 보정 rms 가속도이고, k_x , k_y , k_z 는 각각 x, y, z축 방향의 상수로서 $k_x=1.4$, $k_y=1.4$, $k_z=1.0$ 이다.

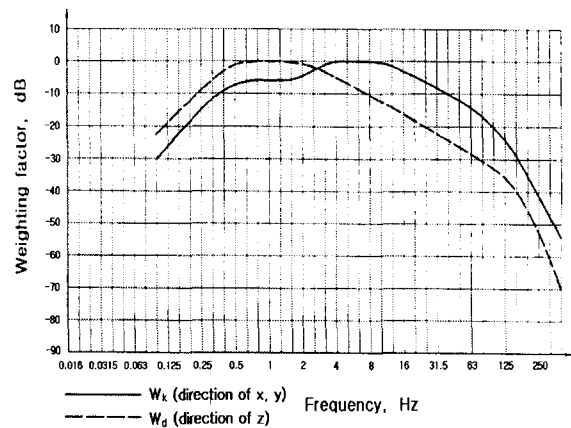


Fig. 4 Frequency weighting curves for ride vibration.

ISO 2631-1에 의한 진동 노출 한계 시간은 운전자의 건강을 기준으로 한 그림 5의 건강 주의 영역을 기준으 로 평가하였다. 건강 주의 영역은 2개의 점선으로 표시 된 상한선과 하한선 내부의 영역이며 상한선 위의 영역 은 건강상 위험을 초래할 수 있는 영역이다. 진동 노출 한계 시간은 rms 가속도와 하한선이 만나는 지점의 시간 을 말하며 건강에 영향을 미치지 않을 것으로 기대되는 최대 노출 시간을 나타낸다. 인체에 미치는 영향이 같은 두 승차 진동의 크기와 노출 시간은 식 (3) 또는 (4)로써 나타낼 수 있다(ISO, 2001). 그림 5에서 방법 1의 영역은 식 (3)을 적용할 때의 건강 주의 영역이고, 방법 2의 영 역은 식 (4)를 적용할 때의 건강 주의 영역이다. 그러나, 이러한 건강 주의 영역은 모두 노출 시간이 4-8시간 범 위일 때 가장 적절한 것으로 알려져 있다.

$$a_{w1} \cdot \sqrt{T_1} = a_{w2} \cdot \sqrt{T_2} \tag{3}$$

$$a_{w1} \cdot \sqrt[4]{T_1} = a_{w2} \cdot \sqrt[4]{T_2} \tag{4}$$

여기서, a_{w1} , a_{w2} = 진동 1과 진동 2의 주파수 보정 rms 가속도,
 T_1 , T_2 = 진동 1과 진동 2의 노출 시간

트랙터 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 특성

본 연구에서는 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 노출 한계 시간을 방법 1의 영역과 방법 2의 영역을 모두 적용하여 결정하였다.

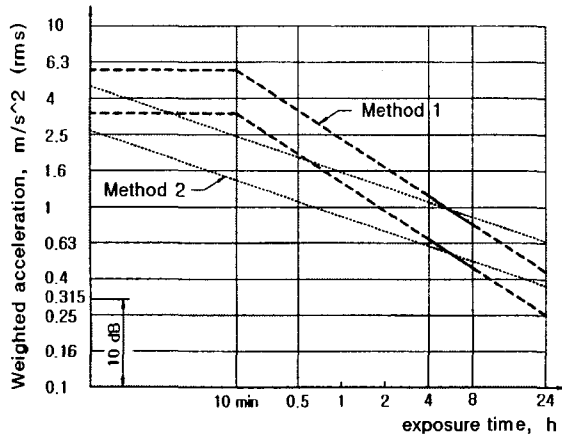


Fig. 5 ISO 2631-1 Health guidance caution zones.

Table 3 Operational conditions for rotary tillage

Main gear shift	Sub gear shift	Work speed, km/h	Engine speed, rpm	Tilling depth, cm	
				Max	Min.
1	L	1.0	3200	22	0
				11	
2	L	1.5	3300	22	0
				11	
3	L	2.0	3300	22	0
				11	

Table 4 Operational conditions for plowing

Main gear shift	Sub gear shift	Work speed, km/h	Engine speed, rpm	Load, yes/no	Tilling depth, cm
3	M	5.0	3000	Y	18
				N	0
4	M	7.0	3200	Y	18
				N	0
1	H	9.0	3200	Y	18
				N	0

라. 작업 조건

작업 조건은 작업 속도와 경심으로써 결정하였다. 로터리 작업에서는 취급 설명서의 작업 조건표를 이용하여, 표 3에서와 같이 작업 속도를 3수준으로 구분하고, 각 작업 속도에서는 경심이 없는 경우와 경심이 각각 11 cm, 22 cm인 3가지 경우로 설정하였다. 쟁기 작업에서도 표 4에서와 같이 작업 속도를 3수준으로 구분하였으며, 각 작업 속도에서는 경심이 18 cm인 경우와 경심이 없는 경우로 구분하였다.

로터리 작업과 쟁기 작업에서 경심이 0인 경우는 단지 승차 진동 수준을 비교하기 위한 조건으로서, 해당 작업기를 부착하여 설정한 작업 속도로 포장을 주행하는 조건이었다.

작업은 작업 속도와 경심에 따라 최소 10 m에서 최대 90 m까지 실시하였으며, 데이터 측정은 각 작업 조건에서 30초씩 3회 실시하였다. 작업시 운전자의 자세는 트랙터로 작업할 때의 일반적인 자세로서, 양손은 조향 핸들을 잡고 양발은 트랙터의 플랫폼을 가볍게 밟은 상태에서 등을 좌석 등받이에 밀착하여 정면을 주시하는 자세로 하였으며 좌형 진동 측정 장치는 작업자의 둔부와 밀착, 고정되어 위치 변화가 없도록 하였다. 트랙터 운전자는 건강 상태가 양호한 25세의 남성으로서 운전자의 트랙터 작업 경력은 1년 정도이었다.

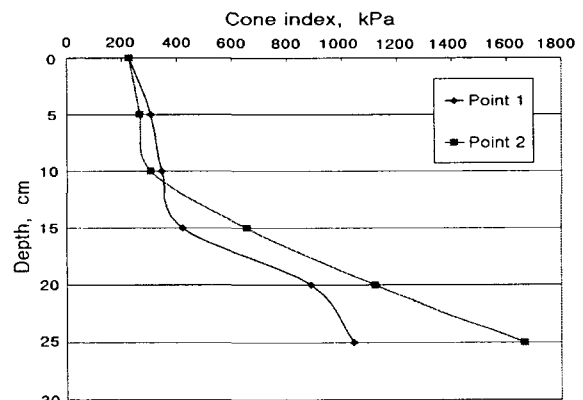


Fig. 6 Cone index vs. soil depth of test field.

마. 포장 조건

실험 포장은 작물 수확이 끝난 밭으로 하였으며, 미농무성 분류법에 의한 포장의 토성은 점토, 실트, 모래의 비율이 각각 9%, 51.2%, 39.8%인 미사질 양토(silt loam)이었다.

실험 토양의 강도(strength)는 ASAE 표준 원추(ASAE, 2003)를 사용한 원추 관입기로써 측정하였으며, 관입 속도는 30 mm/s로 하였다. 그림 6은 토양 깊이에 따른 시험 포장의 원추 지수를 나타낸 것이다. 최대 원추 지수는 25 cm 깊이에서 1.0~1.7 MPa 정도이었다. 시험 포장의 함수율은 3지점에서 샘플을 채취하여 오븐에서 105°C로 24시간 이상 건조한 후 측정하였으며, 평균 함수율은 21.2%(w.b.)이었다.

3. 결과 및 분석

가. 작업별 진동 분석

그림 7, 8, 9는 각각 경심이 11 cm일 때 로터리 작업의 x, y, z축 방향의 승차 진동 수준을 나타낸 것이다. 전체적으로 로터리 작업은 작업 속도가 빠를수록 모든 방향에서 승차 진동 수준도 높았으며, x축 방향의 진동 수준이 y축과 z축 방향보다 높았다. 진동 수준이 가장 낮은 방향은 y축 방향이었다. 진동 수준이 상대적으로 높은 주파수 대역은 모든 작업 속도에서 x축 방향의 경우

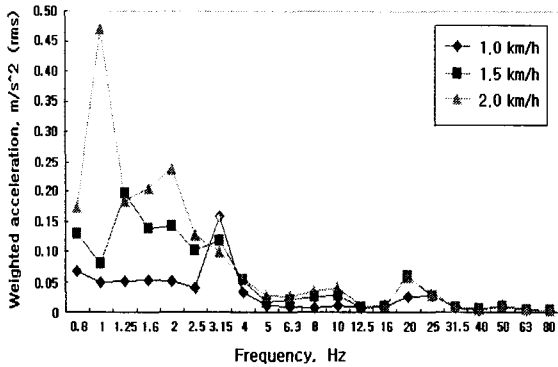


Fig. 7 X-axis ride vibration at a rotary tilling depth of 11 cm.

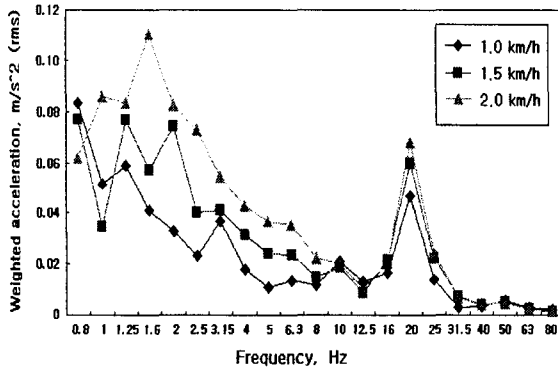


Fig. 8 Y-axis ride vibration at a rotary tilling depth of 11 cm.

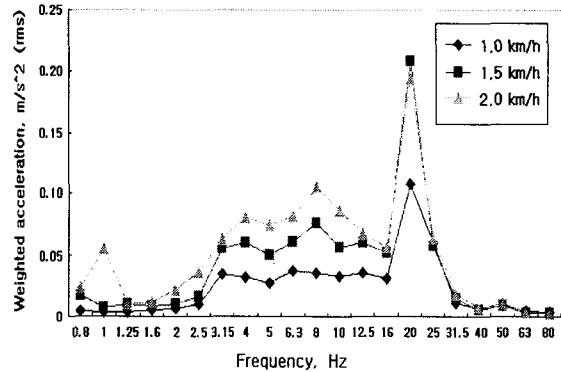


Fig. 9 Z-axis ride vibration at a rotary tilling depth of 11 cm.

1~3.15 Hz, y축 방향의 경우 1~3.15 Hz와 16~25 Hz, z축 방향의 경우 16~25 Hz이었으며, 각 방향의 최대 승차 진동 수준은 작업 속도가 2.0 km/h일 때 각각 0.47, 0.11, 0.22 m/s²이었다. 경심이 0일 때와 22 cm일 때에도 1/3 옥타브 주파수 대역별 승차 진동의 경향은 경심이 11 cm일 때와 유사하였다.

표 5는 로터리 작업 조건에 따라 측정된 3축 방향의 주파수 보정 승차 진동 수준과 이들의 벡터 합 즉, 총 승차 진동 수준을 나타낸 것이다. 경심이 있을 때의 총 승차 진동 수준은 경심이 없을 때보다 높았으나, 경심의 증가에 따라 총 승차 진동 수준이 증가한 것은 아니었다. 승차 진동에 미치는 로터리 작업 속도의 영향은 경심에 따라 달랐다. 경심이 11 cm인 경우에는 작업 속도에 따라 총 승차 진동 수준도 증가하였으나, 경심이 0이거나 22 cm인 경우에는 작업 속도가 각각 1.5 km/h, 1.0 km/h 일 때 진동 수준이 최대이었다. 즉, 이보다 느리거나 빠른 작업 속도에서는 승차 진동 수준이 낮았다. 최

Table 5 Ride vibration levels in rotary tillage

Work speed (km/h)	Tilling depth (cm)	awx m/s ² (rms)	awy m/s ² (rms)	awz m/s ² (rms)	av m/s ² (rms)
1.0	0	0.12	0.08	0.13	0.19
	11	0.12	0.15	0.16	0.30
	22	0.45	0.10	0.14	0.48
1.5	0	0.28	0.12	0.14	0.33
	11	0.37	0.18	0.28	0.49
	22	0.31	0.15	0.12	0.36
2.0	0	0.19	0.14	0.17	0.29
	11	0.65	0.24	0.30	0.76
	22	0.35	0.18	0.16	0.42

트랙터 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 특성

대 총 승차 진동 수준은 경심이 11 cm일 때 2.0 km/h 속도에서 0.76 m/s² 이었으며 경심이 22 cm일 때는 1.0 km/h 속도에서 0.48 m/s²이었다.

그림 10, 11, 12는 각각 쟁기 작업시 x, y, z축 방향의 승차 진동 수준을 나타낸 것이다. x축 방향의 경우에는 1~2.5 Hz 주파수 대역에서 승차 진동 수준이 가장 높았

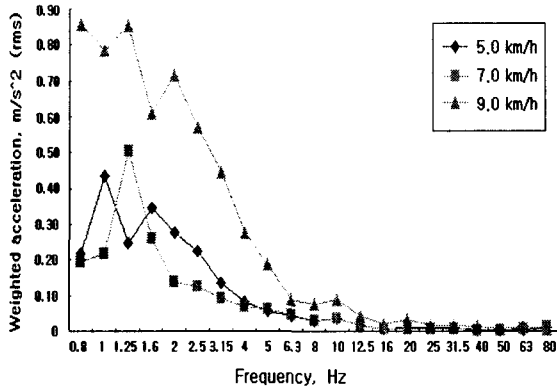


Fig. 10 X-axis ride vibration at a plowing depth of 18 cm.

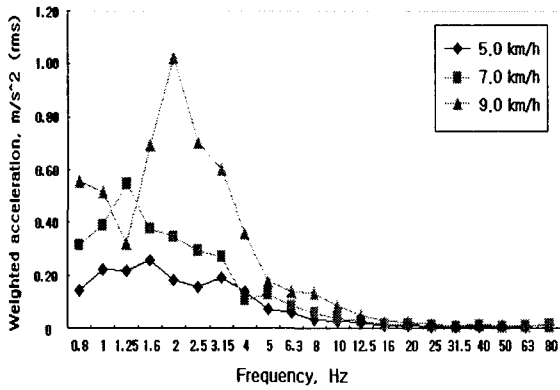


Fig. 11 Y-axis ride vibration at a plowing depth of 18 cm.

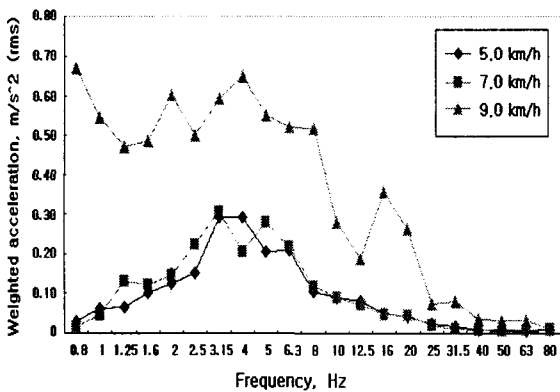


Fig. 12 Z-axis ride vibration at a plowing depth of 18 cm.

으며 최대 진동 수준은 0.85 m/s²이었다. y축과 z축 방향의 경우에는 각각 1~2.5 Hz, 1~8 Hz 주파수 대역에서 진동 수준이 높았으며 최대 진동 수준은 각각 1.02 m/s², 0.67 m/s²이었다.

표 6은 쟁기 작업 조건에 따라 측정한 3축 방향의 주파수 보정 승차 진동 수준과 이들의 벡터 합 즉, 총 승차 진동 수준을 나타낸 것이다. 쟁기 작업시 총 승차 진동 수준은 쟁기 작업을 하지 않을 때보다 오히려 42.8 ~ 50.2% 감소하였다. 즉, 쟁기 작업으로 승차감이 오히려 향상된 것으로 나타났다. 이는 트랙터 진동의 일부가 쟁기 작업에 의하여 토양에 흡수되었기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 9.0 km/h로 작업시 x축의 진동수준이 쟁기작업을 하지 않았을 때에 비해 현저히 크게 나타났는데 이는 작업 속도 증가시 특히 작업 진행 방향인 x축 방향에서 부하변동이 심하였고 이로 인해 작업 깊이와 작업속도를 일정하게 유지하기 어려워서 나타난 현상으로 판단된다. 이러한 쟁기 작업에 의한 진동 감소 효과는 작업 속도가 증가함에 따라 감소하였다. 쟁기 작업 속도가 승차 진동에 미치는 영향은 작업 속도에 따라 승차 진동 수준도 증가하는 것이었다. 작업 속도가 5.0 km/h에서 9.0 km/h로 증가하였을 때 총 승차 진동 수준은 193.7% 증가하였으며 특히 작업 속도가 9.0 km/h일 때 각 축에서의 진동 수준은 150~235.4% 로 크게 증가하였다. 쟁기 작업시 x, y, z축 방향의 승차 진동도 작업 속도와 함께 증가하였으나, 각 방향의 차이는 크지 않았다. 작업 속도가 9.0 km/h일 때 x, y, z축 방향의 승차 진동 수준은 각각 1.90, 1.80, 1.94 m/s²로서 큰 차이가 없었다. 특히 로터리 작업시 상대적으로 낮았던 y축 방향의 승차 진동 수준이 쟁기 작업에서는 크게 나타났다. 이는 쟁기 작업시 쟁기의 길이가 로터리 보다 길어 3점 히치에 쟁기가 고정되어 있다 하더라도 히치에 의한 고정효과가 로터리보다 떨어지기 때문에 쟁기가 y축 방향으로 많이 흔들려서 나타난 결과라고 판단된다.

Table 6 Ride vibration levels in plowing

Work speed (km/h)	Load, yes/no	A _{wx} m/s ² (rms)	A _{wy} m/s ² (rms)	A _{wz} m/s ² (rms)	A _v m/s ² (rms)
5.0	Y	0.76	0.55	0.58	1.11
	N	1.32	1.11	0.87	1.94
7.0	Y	0.68	1.00	0.63	1.37
	N	1.30	2.19	1.04	2.75
9.0	Y	1.90	1.80	1.94	3.26
	N	1.12	2.31	1.90	3.10

Table 7 Comparison of ride vibrations in rotary tillage and plowing

	Total ride vibration, m/s^2 (rms)	Frequency band at dominant ride vibration, Hz		
		x-axis	y-axis	z-axis
Rotary tillage	0.30~0.76	1~3.15	1~3.15 16~25	16~25
Plowing	1.11~3.26	1~2.5	1~2.5	1~8

표 7은 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 수준을 비교하여 나타낸 것이다. 쟁기 작업의 승차 진동 수준은 로터리 작업에서보다 4.3배 높게 나타났다. 즉, 쟁기 작업시의 승차감이 로터리 작업에서보다도 나쁜 것으로 나타났다. 승차 진동 수준이 높았던 주파수 대역은 쟁기 작업의 경우 1-2.5 Hz 및 1-8 Hz이었으며, 로터리 작업의 경우에는 1-4 Hz 및 16-25 Hz인 것으로 나타났다. 로터리 작업과 쟁기 작업에서 모두 인체에 가장 큰 영향을 미치는 1-4 Hz의 주파수 대역에서 진동 수준이 크게 나타났다(ISO, 1972). 이는 트랙터의 승차 진동에 대한 개선의 필요성을 나타낸 것이라 하겠다.

주파수 영역별 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 수준은 각각 그림 13과 14에서와 같다. 그림 13과 14는 x, y, z축 방향의 승차 진동 수준을 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 rms 가속도로써 나타낸 것이다. 승차 진동의 주파수 분포는 로터리 작업과 쟁기 작업에서 모두 유사한 형태로 나타났으나, z축 방향의 승차 진동은 로터리 작업에서 그 대역이 넓었다. 또한, 진동 수준도 로터리 작업에서 더 균등한 형태로 나타났다.

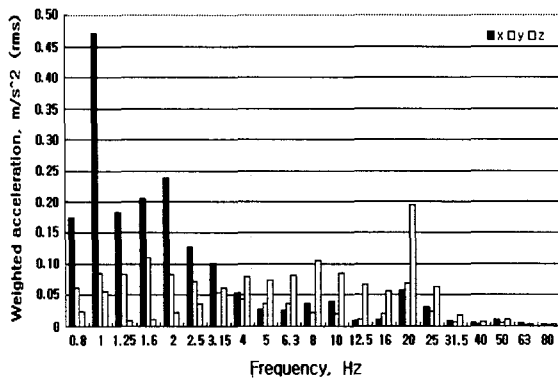


Fig. 13 1/3 octave frequency analysis of ride vibration in rotary tillage of 11 cm depth at a velocity of 2.0 km/h.

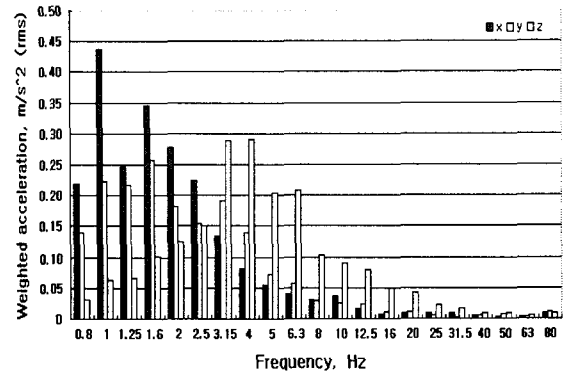


Fig. 14 1/3 octave frequency analysis of ride vibration in plowing of 18 cm depth at a velocity of 5.0 km/h.

그림 15, 16은 작업 속도 9.0 km/h일 때 쟁기작업의 진동 수준을 x, y, z축 방향으로 나타내어 ISO 2631에서 제시한 내피로 한계선과 비교하여 나타낸 것이다. x, y축의 경우 1-3.15 Hz 주파수 대역에서 8시간 내피로 한계를 초과하고 있고, z축의 경우 2-8 Hz 주파수 대역에서 8시간 내피로 한계를 초과하고 있다. 내피로 한계는 작업의 효율성을 기준으로 한 것이며 효율성의 저하는 한계선 이상의 초과 진동수준에 의해 발생한다.

표 8과 9는 로터리와 쟁기 작업시의 진동수준을 8시간 내피로 한계와 비교하여 한계 초과 여부를 나타낸 것이다. 표에서 -는 진동수준이 8시간 내피로 한계 내에 있다는 것을 의미한다. 로터리 작업의 경우 작업 속도 1.0 km/h, 경심 11 cm일 때와 작업 속도 2.0 km/h, 경심 11 cm 일 때 x축의 진동 수준이 주파수 대역 1~2 Hz에서 8 시간 내피로 한계를 초과하고 있다. 하지만 y, z축의 진동 수준은 모든 로터리 작업 조건에서 8시간 내피로 한계에 안전한 것으로 나타나고 있다.

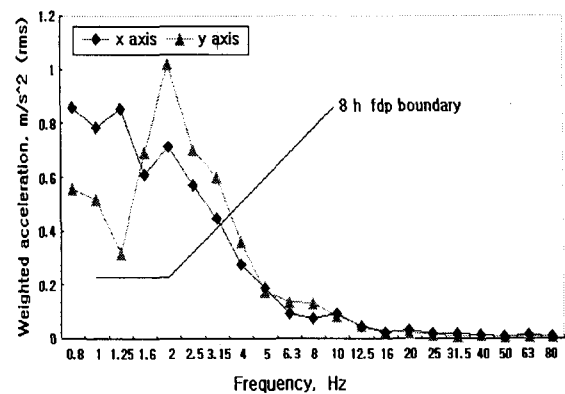


Fig. 15 X, Y-axis ride vibration in plowing of 18 cm depth at a velocity of 9.0 km/h.

트랙터 로터리 작업과 쟁기 작업의 승차 진동 특성

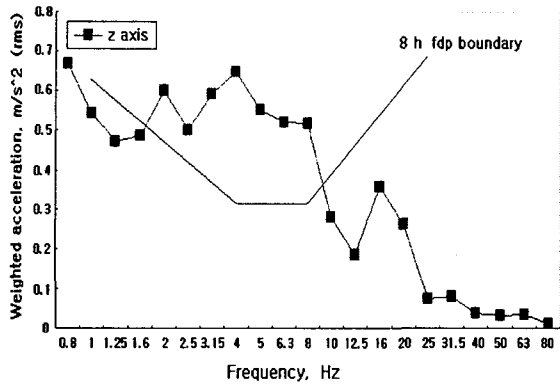


Fig. 16 Z-axis ride vibration in plowing of 18 cm depth at a velocity of 9.0 km/h.

Table 8 8 hr Fatigue-decreased proficiency boundary for rotary tillage

Work speed (km/h)	Tilling depth (cm)	Frequency band, Hz		
		x	y	z
1.0	0	-	-	-
	11	1.25	-	-
	22	-	-	-
1.5	0	-	-	-
	11	-	-	-
	22	-	-	-
2.0	0	-	-	-
	11	1~2	-	-
	22	-	-	-

Table 9 8 hr Fatigue-decreased proficiency boundary for plowing

Work speed (km/h)	Load, yes/no	Frequency band, Hz		
		x	y	z
5.0	Y	1~2	1.6	-
	N	1~2.5	1.25~3.15	3.15
7.0	Y	1.25~1.6	1~2.5	-
	N	1~2	1~3.15	3.15
9.0	Y	1~3.15	1~3.15	2~8
	N	1.25~2.5	1~4	2.5~8

쟁기 작업의 경우 x, y축의 진동 수준은 모든 작업 조건에서 8시간 내피로 한계를 초과하고 있으며, z축의 진동 수준은 작업 속도 5.0 km/h 와 7.0 km/h 로 작업할 때를 제외한 작업 조건에서 8시간 내피로 한계를 초과하고

있다. 또한 쟁기 작업시 8시간 내피로 한계를 초과하는 주파수 대역은 x, y의 경우는 1~4 Hz, z축의 경우는 2~8 Hz로 나타났다. 전체적으로 8시간 내피로 한계를 초과하는 작업 조건은 쟁기 작업이 로터리 작업보다 많았으며 8시간 내피로 한계를 초과하는 주파수 대역은 x, y축의 경우 1~4 Hz, z축의 경우 2~8 Hz로 나타났다.

나. 작업별 노출 한계 시간

표 10과 11은 그림 4를 이용하여 로터리와 쟁기 작업의 승차 진동 수준이 건강에 해를 줄 것으로 예상되는 노출 한계 시간을 구한 것이다. 표에서 ∞는 진동 수준이 건강에 영향을 미치는 수준보다 낮은 경우이며, -는 진동 수준이 커서 건강에 대한 위험도가 큰 것을 의미한 것이다. 그림 5에서 노출 한계 시간이 4시간일 때 영역 1에 의한 최대 진동 수준은 약 0.65 m/s²이고, 영역 2에 의한 최대 진동 수준은 약 0.60 m/s² 이었다. 따라서, 일일 작업 시간을 4시간으로 가정하였을 때 로터리 작업에 의한 승차 진동 수준은, 작업 속도가 2.0 km/h이고 경심이 11 cm인 경우를 제외하면, 건강에 영향을 미치지 않는 수준인 것으로 나타났다. 작업 속도가 2.0 km/h이고 경심이 11 cm일 때의 노출 한계 시간은 1.6~2.6시간이었다. 따라서 이 작업 조건에서 일일 작업 시간이 1.6-2.6 시간 이상이면 승차 진동은 건강에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 일일 작업 시간이 8시간일 때는, 작업 속도가 1.0 km/h이고 경심 22 cm인 경우, 작업 속도가 1.5 km/h이고 경심이 11 cm인 경우, 작업 속도가 2.0 km/h이고

Table 10 Limit exposure time for rotary tillage

Work speed (km/h)	Tilling depth (cm)	a _w , m/s ² (rms)	Limit time of vibration exposure, h	
			Method 1	Method 2
1.0	0	0.19	∞	∞
	11	0.30	16	∞
	22	0.48	7.1	8
1.5	0	0.33	15.5	∞
	11	0.49	7	8
	22	0.36	12.5	∞
2.0	0	0.29	16	∞
	11	0.76	2.6	1.6
	22	0.42	9.4	13.2

Table 11 Limit exposure time for plowing

Work speed (km/h)	Load, yes/no	a _v , m/s ² (rms)	Limit time of vibration exposure	
			Method 1	Method 2
5.0	Y	1.11	1.4 h	25 min
	N	1.94	1/2 h	10 min
7.0	Y	1.37	1 h	13 min
	N	2.75	16 min	-
9.0	Y	3.26	10 min	-
	N	3.19	10 min	-

경심이 11 cm인 경우 건강에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각각의 경우 노출 한계 시간 즉, 건강에 영향을 미치지 않을 것으로 예상되는 최대 일일 작업 시간은 표 10에서와 같이 영역 1을 적용하였을 경우에는 각각 7.1, 7, 2.6 시간이었으며, 영역 2를 적용하였을 경우에는 각각 8, 8, 1.6시간으로 나타났다.

쟁기 작업에서는 일일 작업 시간이 4시간일 때와 8시간일 때 모두 경심에 관계없이 승차 진동은 건강에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 쟁기 작업 속도가 5.0, 7.0, 9.0 km/h일 때 노출 한계 시간은 영역 1을 적용하였을 경우 각각 1.4시간, 1시간, 10분인 것으로 나타났다. 경심이 없는 경우에도 노출 한계 시간은 각각 1/2시간, 16분, 10분인 것으로 나타났다. 즉, 쟁기 작업은 로터리 작업보다 노출 한계 시간이 짧아 건강에 대한 위험이 로터리 작업에서보다 크게 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 로터리 작업과 쟁기 작업을 수행할 때 경심과 작업 속도에 따라 운전자의 승차 진동 수준을 평가하고, ISO 2631-1을 기준으로 한 진동 노출 한계 시간을 구명하기 위하여 수행되었다. 로터리 및 쟁기 작업의 승차 진동 수준은 작업기의 형식과 종류, 트랙터의 형식과 크기, 포장 상태 등에 따라서 다르기 때문에 특정 조건에서 수행된 본 연구에서는 승차 진동의 절대적인 수준보다는 상대적인 특징을 고찰하고자 하였다. 본 연구에서 도출된 로터리 작업과 쟁기 작업에 대한 승차 진동의 특징은 다음과 같다.

(1) 쟁기 작업의 총 승차 진동 수준은 로터리 작업보다 4.3배 정도 높았다.

(2) 로터리 작업의 총 승차 진동 수준은 작업 속도에

따라 증가하였으나, 경심에 따라서는 반드시 증가하지 않았다. 즉, 작업 속도의 영향은 경심에 따라 달랐다. 어떤 한계 경심을 지나면 승차 진동은 오히려 감소하는 것으로 판단된다. x축 방향의 진동 수준이 y축과 z축 방향보다 2.16~2.73배 높았으며, 진동 수준이 상대적으로 높은 주파수 대역은 x축 방향의 경우 1~3.15 Hz, y축 방향의 경우 1~3.15 Hz와 16~25 Hz, z축 방향의 경우 16~25 Hz이었다.

(3) 일일 작업 시간을 4시간으로 가정하였을 때 로터리 작업의 승차 진동 수준은 건강에 큰 영향을 미치지 않는 수준인 것으로 나타났다. 그러나 작업 속도가 2.0 km/h이고 경심이 11 cm일 때의 노출 한계 시간은 1.6~2.6 시간이었으며, 그 이상 작업하였을 때는 건강에 대한 주의가 요망되는 것으로 나타났다.

(4) 쟁기 작업의 총 승차 진동 수준은 쟁기 작업을 하지 않을 때보다 42.8~50.2% 감소되었다. 즉, 쟁기 작업으로 승차감이 향상되는 것으로 나타났다. 이는 트랙터 진동의 일부가 쟁기 작업에 의하여 토양에 흡수되기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 진동 감소 효과는 작업 속도가 증가함에 따라 감소하였다.

(5) 쟁기 작업에서는 작업 속도가 증가함에 따라 x, y, z축 방향의 승차 진동도 모두 증가하였으나, 각 축간의 차이는 크지 않았다. 승차 진동 수준이 높았던 주파수 대역은 x축 방향의 경우 1~2.5 Hz, y축 방향의 경우 1~2.5 Hz, z축 방향의 경우 1~8 Hz이었다.

(6) 일일 작업 시간을 4시간으로 하였을 때 쟁기 작업의 승차 진동은 건강에 영향을 미치는 수준인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Chung S. S., K. U. Kim and G. S. Mun. 1993. Evaluation of ride vibration of agricultural tractors(III) - measurement and evaluation of ride vibrations -. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 18(3):191-198.(in Korean).
2. International Organization for Standardization. 1972. ISO 2631, Guide for the evaluation of human exposure to whole body vibration. Geneva Switzerland.
3. International Organization for Standardization. 2001. ISO 2631-1, Mechanical vibrations and shock - evaluation of human body exposure to whole-body vibration - Part1: General requirements. Geneva Swit-

- zerland.
4. Liljedahl, J. B., W. M. Carleton, P. K. Turnquist and D. W. Smith. 1979. Tractors and their power units. 3rd ed. John Wiley & Sons.
 5. Metha, C. R. and V. K. Tewari. 2000. Seating discomfort for tractor operators - a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25(6): 661-674.
 6. Mosely, M. J. and M. J. Griffin. 1986. Effects of display vibration and whole-vibration on visual performance. *Ergonomics* 29:977-983.
 7. Prasad, N., V. K. Tewari and R. Yadav. 1995. Tractor ride vibration - a review. *Journal of Terramechanics* 32(4):181-197.