

## 농업용 트랙터의 승차 진동 수준 평가

김호중 김경욱

### Evaluation of Ride Vibrations of Agricultural Tractors

H. J. Kim K. U. Kim

#### Abstract

This study was conducted to evaluate ride vibrations experienced by tractor operators during plowing, rotovating, and transporting operations in Korea. Field data of ride vibrations were taken at the operator-seat interface from 49 tractors and analyzed on the basis of ISO 2631-1 and EU Directive 2002/44.

Of the measured ride vibrations 15.4% in the plowing and 12.5% in farm road transport exceeded the 8-hour fatigue decreased proficiency boundary in the fore and aft directions at frequencies from 1 to 5 Hz. 93.9% exceeded the 8-hour potential health risk of ISO 2631-1. The ride vibrations exceeding the 8-hour exposure limit were 38.5% in plowing, 31.6% in rotovating, 100% in farm road transport and 88.9% in concrete road transport. Although most tractor operators were not exposed to ride vibrations greater than the 8-hour exposure limit value (ELV) of EU Directive 2002/44, 7.7% of the operators in the plowing experienced greater vibrations than the ELV in the fore-aft direction. Farm road transport produced greater vibrations than any other operations. Concrete road transport, plowing and rotovating operations followed next. Limit criteria for ride vibration exposure differ depending upon the guidelines. Exposure limit of the health guidance caution zone of ISO 2631-1 is lowest among its kinds.

**Keywords :** Ride vibration, Agricultural tractor, Exposure limit value (ELV), Exposure action value (EAV), Fatigue-decreased proficiency boundary, Absorbed power

#### 1. 서론

농업 기계의 편의성에 대한 최근 조사 보고서(Park et al., 2004)에 의하면 운전자의 불편 사항은 대부분 작업시 발생하는 소음, 진동, 먼지 등이었으며 이는 특히 트랙터에서 현저하게 나타났다. 트랙터의 안전캡 장착이 보편화되면서 소음과 먼지는 어느 정도 해결되었으나 진동은 아직까지 해결되지 못하고 있는 실정이다. 작업 특성상 트랙터 운전자는 높은 수준의 진동에 장시간 반복적으로 노출되기 때문에 피로 누적, 요추 통증, 목 부위 통증 등 근골격계의 질환이 발생할 위험성이 높다.

선진국에서는 트랙터 운전자의 건강과 안전 및 작업 능률

을 높이기 위하여 승차 진동에 대한 많은 연구가 수행되었으나(Stayner et al., 1984; Marsili et al., 2002; Deprez et al., 2005) 국내에서는 트랙터 운전자의 승차 진동을 측정하여 분석한 연구는 많지 않다(Chung et al., 1992; Park et al., 2004). 특히, 실제 농민들이 트랙터 작업을 수행할 때 노출되는 진동 수준을 측정하여 분석한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 국산 및 수입 트랙터를 대상으로 쟁기 작업, 로터리 작업, 농로 운반 작업, 콘크리트 도로 운반 작업을 수행할 때 운전자가 노출되는 승차 진동을 측정하여 그 수준을 구명하고, 이를 건강과 안전의 관점에서 평가하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 승차 진동 측정 트랙터

본 연구에서 승차 진동 측정 대상으로 선정한 트랙터는 국내 4개 제조업체의 경기도 지역 대리점을 통하여 추천받은 22.0~73.5 kW 범위의 트랙터 중에서 소유자가 측정을 허락한 49대로 하였다(Kim, 2008). 트랙터는 출력, 국산, 수입별로 일정 대수를 추천받았으나, 측정 현장에서 트랙터 소유자의 개인 사정으로 측정이 불가능한 경우, 측정 현장 주위에서 작업하던 트랙터를 추가로 측정하는 경우 등이 발생하여 실제 측정에 참여한 트랙터 대수는 표 1에서와 같이 출력별로 차이가 많았다. 또한 44.1 kW 미만의 트랙터는 대부분 국산 트랙터이였으며, 44.1 kW 이상의 트랙터는 모두 수입 트랙터이였다.

**Table 1** Number of tractors from which ride vibration data were taken

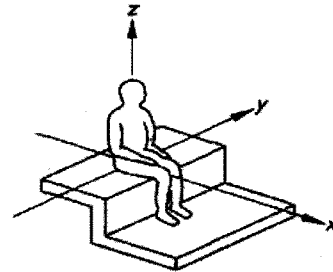
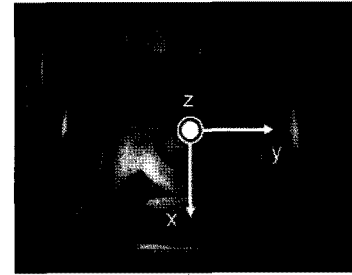
Work \ Power, kW	< 36.7	36.7~44.1	44.1~51.4	≥ 51.4	Total
Plowing	1	9	2	1	13
Rotovating	1	10	3	5	19
Farm road	-	6	1	1	8
Concrete road	2	4	1	2	9
Total	4	29	7	9	49

### 나. 승차 진동 측정

승차 진동은 트랙터 소유자와 작업 일시를 약속하고 작업 현장을 방문하여 작업할 트랙터에 측정 장비를 설치한 후 운전자가 평소와 같은 방식으로 작업하는 상태에서 측정하였다.

승차 진동의 기준 좌표계는 그림 1에서와 같이 좌석의 중심을 원점으로 하여 트랙터의 전진 방향을 +x축, 전진 방향에서 운전자의 좌측 방향을 +y축, x-y축으로 구성되는 xy 평면의 연직 상방을 +z축으로 설정하였다. 기준 좌표계의 방향과 일치하여 3축 좌형 진동 측정 장치를 운전석 중앙에 설치하고 운전자가 깔고 앉은 상태에서 3축 방향의 진동을 동시에 측정하였다. 진동 측정 장치의 가속도계는 측정할 때마다 보정하였으며, 1회 측정 시간은 40초 이상으로 하였다. 반복수는 쟁기 작업과 로터리 작업의 경우 3~6회, 농로와 콘크리트 도로 운반의 경우 1~3회로 하였다. 측정된 3축 방향의 가속도는 테이프 레코더에 저장하였다.

대상 작업은 쟁기 작업, 로터리 작업, 농로 운반 작업, 포장 도로 운반 작업으로 하였다. 측정시 작업 속도는 쟁기 작업과 운반 작업의 경우 5~7 km/h, 로터리 작업의 경우 2~3 km/h



**Fig. 1** Coordinates set for vibration measurement.

이였으며, 쟁기 작업과 로터리 작업의 경심은 20~30 cm이였다. 포장, 농로, 콘크리트 도로는 일반적인 농과 포장 지역 내에 있는 농로 및 콘크리트 노면으로 하였으며, 특별한 조건을 두지 않았다. 승차 진동의 측정은 김포, 부천, 시흥, 안산 지역에서 2007년 3월 31일부터 5월 18일 사이에 실시하였다.

표 2는 3축 좌형 승차 진동 측정 및 분석에 사용된 장비의 주요 제원을 나타낸 것이다.

### 다. 승차 진동의 분석과 평가

테이프 레코더에 저장한 3축 방향의 가속도는 실험실에서 재생하여 데이터의 이상 여부를 확인한 후 수치화 및 주파수 분석을 실시하였다. 수치화와 주파수 분석을 위한 샘플링은

**Table 2** Specifications of equipments used for measurement and analysis of ride vibrations

Equipment	Model	Specifications
Signal analyzer	B&K 3560	4ch. signal analyzer 50-6,400 line FFT 25 kHz input module Generator & sampling module 25 kHz zoom process
Accelerometers	B&K 4321	Sen.: 1 pC/m/sec <sup>2</sup> (± 2%) Freq.: 0.1-2 kHz
Tape recorder	Sony PC208Ax	Freq.: 0-10 kHz 16 bit quantization
Charge amplifier	B&K 5974	Freq.: 0.3-40,000 Hz Max. input: 7 V(rms)
Calibration exciter	B&K 4294	Frequency: 159.15 Hz Accel.: 10 m/s <sup>2</sup> (rms) Vel.: 10 mm/s(rms) Displ.: 10 μm(rms)

각각  $\Delta t=0.00488$  sec,  $\Delta f=0.0125$  Hz로 하였다. 본 연구에서는 작업 중 트랙터 운전자가 노출되는 진동 수준의 실태를 구명하고자 하였기 때문에 반복이 있는 경우에는 평균값을 구하여, x, y, z축에 대한 총 49개의 시간 영역과 주파수 영역 데이터를 이용하여 승차 진동 수준을 평가하였다.

승차 진동 수준은 ISO 2631-1(1985), ISO 2631-1(1997), EU Directive 2002/44, 흡수 동력(Lee and Pradko, 1968)을 기준으로 평가 하였으며, 진동 데이터의 분석과 평가 방법은 각각의 기준에서 규정한 방법에 따라 실시하였다.

1) ISO 2631-1

1~80 Hz 범위의 주파수 영역 데이터를 이용하여 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 RMS 가속도를 구하고, 각 중심 주파수에 대한 주파수 보정 계수를 곱하여 식 (1)에서와 같이 주파수 보정 RMS 가속도를 구한다.

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

여기서,  $a_w$  = 주파수 보정 RMS 가속도,  $m/s^2$

$W_i$  =  $i$ 번째 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 보정 계수

$a_i$  =  $i$ 번째 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 RMS 가속도

식 (1)로써 구한 x, y, z축에 대한 진동 수준은 ISO 2631-1에서 제시한 내피로 한계(fatigue-reduced proficiency boundary)를 기준으로 평가하였다. 총 승차 진동 수준은 x, y, z축에 대한 주파수 보정 RMS 가속도  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$ 를 이용하여 식 (2)에서와 같이 총 승차 진동을 구하고, ISO 2631-1(1997)의 건강 주의 영역(health guidance caution zone)을 기준으로 평가하였다.

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

여기서  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ 는 각각 x, y, z축 방향의 보정 계수로서  $k_x = 1.4$ ,  $k_y = 1.4$ ,  $k_z = 1.0$ 이다.

ISO 2631-1은 그림 2에서와 같이 진동의 크기와 노출 시간에 따라 잠재적인 위험이 존재하는 건강 주의 영역의 상한선과 하한선을 제시하였다. 상한선 위의 영역은 건강상 위험을 초래할 수 있는 영역이고, 하한선 아래의 영역은 위험을 초래하지 않을 것으로 기대되는 영역이다.

크기와 노출 시간이 다른 두 진동의 영향은 식 (3) 또는 (4)가 만족될 때 동일하다.

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

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

여기서  $a_{w1}$ ,  $a_{w2}$ 은 진동 1과 진동 2의 주파수 보정 RMS 가속도이고,  $T_1$ ,  $T_2$ 는 진동 1과 진동 2의 노출 시간이다. 식 (3)과 (4)에 의한 건강 주의 영역은 그림 2에서 빗금친 부분이다. 두 식에 의한 건강 주의 영역이 일치하는 노출 시간은 1일 4~8시간이다. 진동 한계는 1일 노출 시간이 4시간일 때는  $1.143 m/s^2$ 이고, 8시간일 때는  $0.808 m/s^2$ 이다. 또한 잠재적인 건강 위험 한계는 1일 노출 시간이 4시간일 때는  $0.572 m/s^2$ 이고 8시간일 때는  $0.404 m/s^2$ 이다.

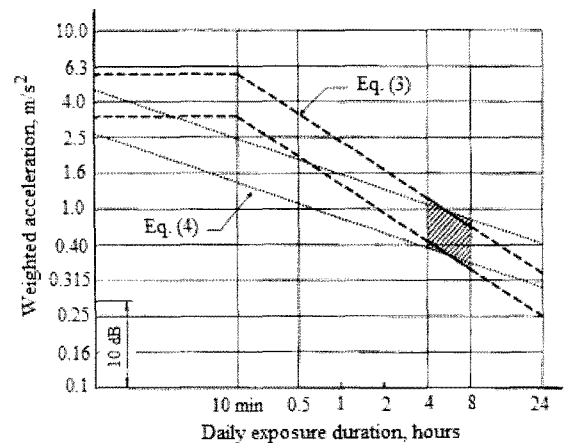


Fig. 2 Health guidance caution zone of ISO 2631-1.

2) EU Directive 2002/44

EU Directive 2002/44는 전신 진동에 대한 노출 기준으로서 EAV(Exposure Action Value)와 ELV(Exposure Limit Value)를 제시하였다. EAV는 고용주가 진동을 줄이기 위한 조치를 취해야 할 전신 진동 수준이고, ELV은 노출되어서는 안 될 진동 수준이다. 1일 작업 시간을 8시간으로 하였을 때 EAV와 ELV는 각각  $0.5 m/s^2$ ,  $1.15 m/s^2$ 이다.

EAV와 ELV는 ISO 2631-1에서와 같이 한 축에 대한 주파수 보정 RMS 가속도로서 나타낸다.

3) 흡수 동력

흡수 동력  $P_{av}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$P_{av} = \sum_{i=0}^N K_i A_{i,rms}^2 \tag{5}$$

$A_{i,s}$  = 주파수  $f_i$ 에서 RMS 가속도,  $m/s^2$

$K_i$  = 주파수  $f_i$ 의 흡수 동력 계수,  $\frac{W}{(m/s^2)^2}$

1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 흡수 동력 계수  $K_f$ 는 Lee and Pradko(1968)가 제시한 값을 이용하여 보간법으로 구하였다. 흡수 동력의 주파수 범위는 1~10 Hz이다. 흡수 동력은 스칼라량이기 때문에 다자유도 시스템의 흡수 동력은 각 축 방향의 흡수 동력을 합하여 구할 수 있다. 즉,

$$P_{t,av} = P_{x,av} + P_{y,av} + P_{z,av} \quad (6)$$

여기서,  $P_{t,av}$  = 총 흡수 동력, W

$P_{x,av}, P_{y,av}, P_{z,av}$  = x, y, z 축 방향의 흡수 동력, W

노외 차량에 대한 흡수 동력의 한계는 6~10 W이며, 승차감이 양호한 흡수 동력의 범위는 0.5~0.6 W이다.

### 3. 결과 및 분석

#### 가. 승차 진동 수준

작업별 x, y, z축 방향의 주파수 보정 RMS 가속도 수준은 표 3에서와 같이 나타났으며, 그림 3과 4는 각각 농로 운반 작업에서 측정된 시험 트랙터의 x축과 z축 방향의 승차 진동을 나타낸 것이다. 쟁기 작업에서는 측정 트랙터의 15.4%가 1~5 Hz 범위에서, 농로 운반 작업에서는 12.5%가 2~5 Hz 범위에서 x 방향으로 8시간 내피로 한계를 초과하였다(Fig. 3). y 방향으로는 모든 작업에서 8시간 내피로 한계를 초과하지 않았으며, z 방향에서는 농로 운반 작업에서만 측정 트랙터의 25%가 2.3~3.4 Hz 범위에서 8시간 내피로 한계를 초과하였다(Fig. 4). 작업별 평균 승차 진동의 수준은 농로 운반 작업에서 가장 높았으며 시멘트 도로 운반, 쟁기 작업, 로터리 작업 순이었다.

그림 2의 건강 주의 영역을 기준으로 한 측정 트랙터의 승차 진동 수준은 표 4에서와 같이 나타났다. 표 4에서와 같이, 쟁기 작업과 농로 운반 작업에서는 측정 트랙터 모두 잠재적인 건강 위험 수준을 초과하였으며, 특히 농로 운반 작업에서는 모두 8시간 노출 한계를 초과하였다. 8시간 노출 한계를 초과한 트랙터는 쟁기 작업에서 38.5%, 로터리 작업에서 31.6%, 콘크리트 운반 작업에서 88.9%이었다. 전체적으로

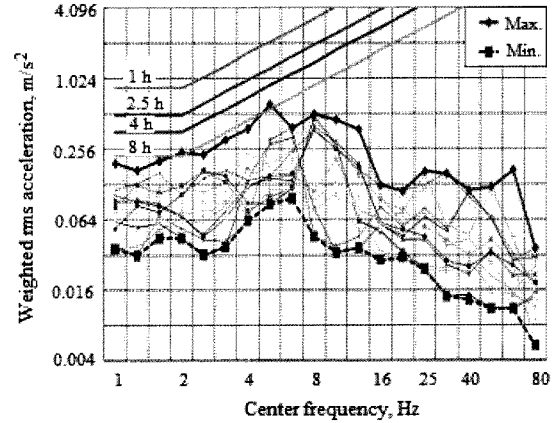


Fig. 3 x-axis ride vibrations in farm road transport.

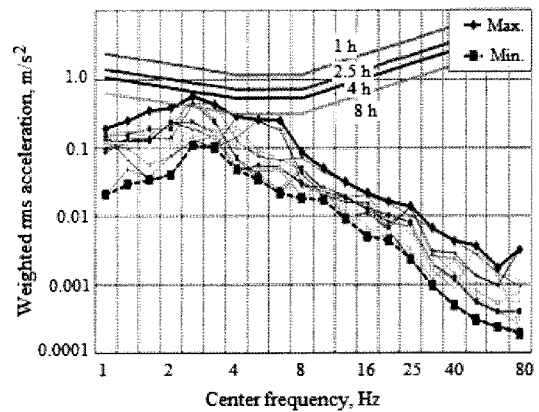


Fig. 4 z-axis ride vibrations in farm road transport.

Table 4 Ride vibrations exceeding the potential health risk and exposure limit of ISO 2631-1

Operations	% of ride vibrations exceeding the potential health risk		% of ride vibrations exceeding the exposure limit	
	4 hour	8 hour	4 hour	8 hour
Plowing	100.0	100.0	7.7	38.5
Rotovating	52.6	89.5	5.3	31.6
Farm road	100.0	100.0	50.0	100.0
Concrete road	88.9	88.9	33.3	88.9

측정 트랙터의 93.9%가 1일 작업 시간 8시간을 기준으로 한 잠재적인 건강 위험 수준을 초과하는 것으로 나타났다.

Table 3 Ride vibrations measured during tractor operations

Operations	Horizontal, m/s <sup>2</sup>		Vertical, m/s <sup>2</sup>	Max. total, m/s <sup>2</sup> (average)
	x-axis	y-axis	z-axis	
Plowing	0.257-1.703	0.261-0.554	0.144-0.533	0.573-2.564 (0.895)
Rotovating	0.110-0.885	0.118-0.530	0.160-0.413	0.382-1.349 (0.698)
Farm road	0.340-1.098	0.386-0.724	0.376-0.891	0.856-1.801 (1.338)
Concrete road	0.081-0.734	0.088-0.964	0.137-0.475	0.255-1.176 (0.996)

나. EAV와 ELV

표 5는 1일 작업 시간 8시간을 기준으로 한 EAV와 ELV를 초과한 측정 트랙터의 비율을 나타낸 것이다. 대부분의 트랙터는 8시간 기준 ELV를 초과하지 않았으나 쟁기 작업에서는 측정 트랙터의 7.7%가 x축 방향으로 ELV를 초과하였다. 8시간 EAV를 기준으로 하였을 때는 표 5에서와 같이 많은 트랙터가 EAV를 초과하였다. 특히 수직 진동보다는 x축 방향의 수평 진동에서 EAV를 초과하는 트랙터가 많았다. x축 방향의 EAV를 초과하는 트랙터는 쟁기 작업에서 23.1%, 로터리 작업에서 21.1%, 농로 운반 작업에서 87.5%, 콘크리트 노면 운반 작업에서 44.4%이었다. 특히 농로 운반 작업에서는 50%의 이상의 트랙터가 x, y, z축 방향으로 EAV를 초과하였다. EAV를 초과하는 승차 진동은 수직 진동보다는 수평 진동에서 높았다.

Table 5 Ride vibrations exceeding the EAV and ELA of EU Directive 2002/44

Operations	% of ride vibrations exceeding the 8-hour EAV			% of ride vibrations exceeding the 8-hour ELV		
	x	y	z	x	y	z
Plowing	23.1	7.7	7.7	7.7	0	0
Rotovating	21.1	5.3	0	0	0	0
Farm road	87.5	62.5	50.0	0	0	0
Concrete road	44.4	44.4	0	0	0	0

다. 흡수 동력

표 6은 측정된 RMS 가속도를 이용하여 구한 작업별 흡수 동력의 범위와 허용 한계인 6 W를 초과하는 트랙터의 비율을 나타낸 것이다. 허용 한계를 초과하는 트랙터는 쟁기 작업에서 7.7%, 농로 운반 작업에서 25%이었으며, 대부분의 트랙터는 허용 한계를 초과하지 않았다.

흡수 동력은 RMS 가속도를 이용한 승차 진동 즉, 건강 위험 영역, EAV, ELV와 주파수 해석 범위가 다르기 때문에 10 Hz 이하의 저주파 진동의 크기가 작을 경우에는 승차 진동 수준이 높아도 흡수 동력은 작은 값을 나타낸다.

Table 6 Absorbed power of tested tractor operators

Operations	Max. absorbed power, W	% of ride vibrations exceeding the acceptable limit of 6 W
Plowing	1.14-25.28	7.7
Rotovating	1.08-2.20	0
Farm road	3.82-8.01	25.0
Concrete road	1.06-2.57	0

라. 기관 출력과 사용 연수의 영향

기관 출력과 트랙터의 사용 연수가 승차 진동에 미치는 영향을 구명하기 위하여 기관 출력은 42.6 kW, 사용 연수는 3년을 기준으로 측정 트랙터를 구분하여 승차 진동의 크기를 비교하였다. 쟁기 작업과 로터리 작업에서는 기관 출력이 크고 사용 연수가 짧을수록 승차 진동 수준이 작아지는 경향을 나타내었으나 농로와 콘크리트 노면 운반 작업에서는 이러한 경향이 나타나지 않았다. 그림 5는 측정 트랙터의 승차 진동을 기관 출력과 사용 연수에 따라 나타낸 것이다.

기관 출력이 42.6 kW인 소형 트랙터로서 사용 연수가 3년 이상인 트랙터의 승차 진동 수준은 ISO 2631-1의 8시간 노출 한계를 초과하였으나 나머지 트랙터는 당장 건강상의 위험을 초래할 정도는 아니었다.

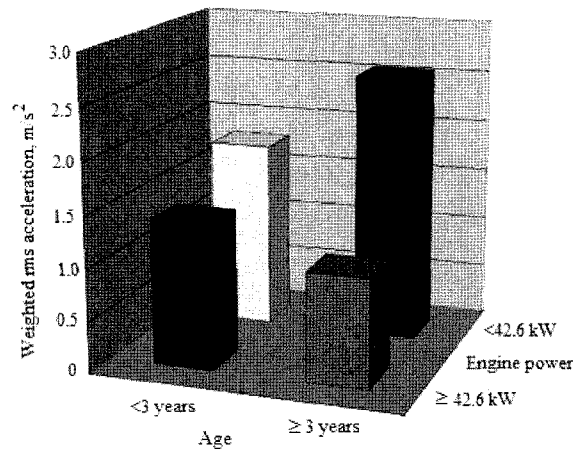


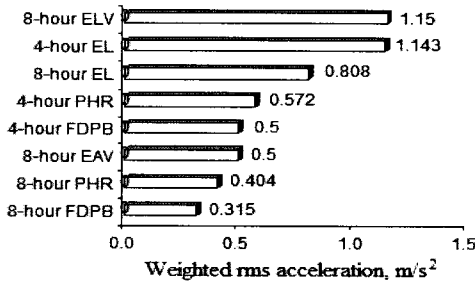
Fig. 5 Ride vibration by engine power and age of tractors.

마. 평가 기준

승차 진동 수준은 평가 기준에 따라 다르다. 따라서, 같은 승차 진동도 평가 기준에 따라 노출 한계를 초과하는 경우와 초과하지 않는 경우가 있다.

ISO 2631-1의 내피로 한계는 주파수 범위에 따라 그 수준이 다르며, 가장 낮은 수준은 수직 진동의 경우 4~8 Hz, 수평 진동의 경우 2 Hz 이하이다. 그러나 ISO 2631-1의 잠재적 건강 위험 영역은 주파수와 진동 방향을 모두 고려한 총 승차 진동 수준으로 나타내며, EAV와 ELA는 주파수만을 고려하여 진동 방향에 따라 진동 수준을 나타낸다.

ISO 2631-1의 내피로 한계, 잠재적 건강 위험 영역, EU Directive 2002/44의 EAV와 ELV 중 가장 가혹한 기준은 잠재적 건강 위험 영역이고, 4~8 Hz의 주파수 범위에서는 내피로 한계이다. 그림 6은 ISO 2631-1과 EU Directive 2002/44의 평가 기준을 비교하여 나타낸 것이다.



ELV: Exposure limit value  
 EAV: Exposure action value  
 PHR: Potential health risk  
 FDPB: Fatigue decreased proficiency boundary

Fig. 6 Exposure limit criteria of ride vibration.

#### 4. 결론

본 연구는 쟁기 작업, 로터리 작업, 농로 운반 작업, 콘크리트 노면 운반 작업시 트랙터 운전자가 노출되는 승차 진동 수준을 평가하기 위하여 수행되었다. 49대의 트랙터로부터 실제 작업시 승차 진동을 측정하였으며, ISO 2631-1, EU Directive 2002/44의 전신 진동 노출 기준에 따라 승차 진동 수준을 평가하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) ISO 2631-1의 8시간 내피로 한계를 초과하는 트랙터는 쟁기 작업에서 15.4%, 농로 운반 작업에서 12.5%이었으며, 전후와 수평 방향으로 주파수 범위는 각각 1~5 Hz, 2~5 Hz이었다.
- (2) ISO 2631-1의 8시간 기준 노출 한계를 초과하는 트랙터는 쟁기 작업에서 38.5%, 로터리 작업에서 31.6%, 농로 운반 작업에서 100%, 콘크리트 노면 운반 작업에서 88.9%이었다. 그러나 대부분의 트랙터는 8시간 기준 잠재적 건강 위험 영역을 초과하는 것으로 나타났다.
- (3) 대부분의 트랙터는 8시간 기준 EU Directive 2002/44의 ELV를 초과하지 않았으나 쟁기 작업에서는 측정 트랙터의 7.7%가 x축 방향으로 ELV를 초과하였다. 그러나, x축 방향의 EAV를 초과하는 트랙터는 쟁기 작업에서 23.1%, 로터리 작업에서 21.1%, 농로 운반 작업에서 87.5%, 콘크리트 노면 운반 작업에서 44.4%이었다. 특히 농로 운반 작업에서는 50%의 이상의 트랙터가 x, y, z축 방향으로 EAV를 초과하였다. EAV를 초과하는 승차 진동은 수직 진동보다는 수평 진동에서 높았다.
- (4) 흡수 동력의 한계를 초과한 트랙터는 쟁기 작업과 농로 운반 작업에서 각각 7.7%, 25%이었으나 로터리 작업과 콘크리트 노면 운반 작업에서는 없었다.
- (5) 작업별 승차 진동 수준은 농로 운반 작업에서 가장 높았고, 콘크리트 노면 운반 작업, 쟁기 작업, 로터리 작업 순

이였다.

- (6) 기관 출력이 42.6 kW 미만이고 사용 연수가 3년 이상인 트랙터의 승차 진동 수준은 ISO 2631-1의 8시간 노출 한계를 초과하였으나 나머지 트랙터는 당장 건강상의 위험을 초래할 정도는 아니었다.
- (7) 승차 진동의 평가 기준은 ISO 2631-1의 잠재적 건강 위험 영역이 가장 가혹한 것으로 나타났다.

#### 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제 번호: 200703010 33018)의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### 참 고 문 헌

1. Chung, S. S., G. S. Mun and K. U. Kim. 1992. Evaluation of ride vibration of agricultural tractors (III) -Measurement and evaluation of ride vibrations-. Journal of Korean Society of Agricultural Machinery 18(3):191-198.
2. Deprez, K., D. Moshou, J. Anthonis, J. De. Baerdemaeker and H. Ramon. 2005. Improvement of vibrational comfort on agricultural vehicles by passive and semi-active cabin suspensions. Computers and Electronics in Agriculture 49(3):431-440.
3. European Union Directive 2002/44/EC. 2002. Council directive on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). European Union, Brussels, Belgium.
4. ISO Standard 2631-1. 1997. Mechanical vibrations and shock -Evaluation of human body exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements. International Organization for Standardization, Paris.
5. ISO Standard 2631-1. 1985. Mechanical vibrations and shock -Evaluation of human body exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements. International Organization for Standardization, Paris.
6. Kim, H. J. 2008. Evaluation of ride vibrations of agricultural tractors, Unpublished MS thesis. Seoul National University.
7. Lee, R. A. and F. Pradko. 1968. Analytical analysis of human vibration. Transactions of SAE 77(1):346-360.
8. Marsili, A., L. Ragni, G. Santoro, P. Servadio and G. Vassalini. 2002. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: Comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. Biosystems engineering 81(1):35-47.
9. Park, Y. J., S. B. Park and K. U. Kim. 2004. Characteristics of ride vibrations in rotary tillage and plowing operations by tractor. Journal of Biosystems Engineering 29(3):207-216. (In Korean)
10. Stayner, R. M., T. S. Collins and J. A. Lines. 1984. Tractor ride vibration simulation as an aid to design. Journal of Agricultural Engineering Research 29(4):345-355.