

수송 트레일러의 충격 흡수 장치 개발(I)
- 보급기종에 대한 특성 및 진단 -

Development of Vibration Absorption Device for the
Transportation-Trailer System(I)
- Characteristics for the existing vehicle -

| | | | |
|-----------|------------|-----------|-----------|
| 이흥주 | 홍종호 | 이성범 | 김성엽 |
| 정회원 | 정회원 | 정회원 | 정회원 |
| H. J. Lee | J. H. Hong | S. B. Lee | S. Y. Kim |

ABSTRACT

This study was aimed to identify how the main body vibration of power tiller will be transmitted to the trailer, and to find out the basic information for damage reducing method of agricultural products during transportation. The vertical vibration acceleration level was measured at 6 positions, i.e. engine, hitch, seat, and three parts of trailer (front, middle, and rear) for the not driving but at the engine speeds of 1,000rpm and driving at 0.35m/s. The results of this research could be summarized as follows;

1. For not driving, the accumulated acceleration level up to 120Hz was 50% of total accelerations at engine part, and those were 28~41% at other parts. Those up to 40Hz were 20~30% at engine and hitch part, and 2~8% at trailer part. And those up to 20Hz were 13~20% at engine and hitch part, and 1~4% at trailer part.
2. For the driving with 0.35m/s at paved road, the average vertical accelerations were in the range of 0.005~0.058m/s². The lowest value of 0.005m/s² was showed at engine part, and the value of 0.031~0.058m/s² was showed at trailer part.
3. For the driving with 0.35m/s, the accumulated value of average vertical accelerations showed the lowest value at engine parts and showed 5 times value of engine part at trailer part, especially highest value at middle part of trailer.
4. For the driving with 0.35m/s, the accumulated acceleration level up to 120Hz was 75% of total accelerations at engine part, and those were 20~42% at other parts. And, those up to 20Hz and 40Hz were 24~26% at engine part, and 0.1~0.6% at trailer part.

Keywords : Vertical acceleration, Vibration absorption, Power tiller-trailer system.

1. 서 론

청과류는 수송과 취급기간 중에 충격, 마찰, 눌

림, 타박 등에 지속적으로 노출된다. 그러므로 농산물의 품질을 저하시키는 물리적인 손상을 최소화하기 위한 최적의 수송방법을 선택할 필요가 있다.

This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2001. The paper was submitted for publication in September 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in 2003. The authors are H. J. Lee, J. H. Hong, S. B. Lee and S. Y. Kim, Dept. of Bioresources Machinery, Hankyong National University. The corresponding author is J. H. Hong, Professor, Dept. of Bioresources Machinery, Hankyong National University, Ansong, 456-749 Korea. E-mail : <jhhong@ hnu.hankyong.ac.kr>.

수송 중에 일어나는 과채류의 손실에 대한 연구보고는 국내에서는 전무하고, 유럽과 구미 등에서는 대형 냉동 트럭에 의한 수송을 대상으로 활발한 연구가 이루어지고 있다. 이와 관련된 주요 논문들을 정리하여 보면 주요 쟁점은 수송 중에 발생된 가속도와 주파수의 크기, 적재방법과 적재 위치, 3차원 진동과 수송속도에 따라 농산물이 어떤 손상을 입으며 저장성과 상품성에 어떻게 영향을 미치는가 하는 문제로 요약된다.

충격흡수 시스템이 갖추어진 대형 냉동 트레일러에 체리, 복숭아, 배, 토마토를 수송했을 때 3.5Hz에서 수직가속도가 가장 크게 나타났고 9~25Hz에서는 이보다는 약간 감소했다. 또한 6~18Hz에서는 트레일러의 모든 위치에서 수직가속도의 크기가 비슷하게 나타났고 3.5 Hz에서만 트레일러의 앞쪽보다 뒤쪽에서 수직가속도가 적은 것으로 보고하였다(Hinsch, 1993).

파레트에 배를 적재하여 수송중의 진동수를 변화시켜 배의 물리적 손상관계를 연구한 실험에서 진동수 40Hz 이하에서 손상의 위험이 가장 크게 나타났고, 3.5~18.5Hz에서 가장 큰 손상을 입었으며 상자의 상층부가 하단부에 비하여 3~4배가 많은 가속도가 측정되었다(Slaughter, 1993. Hinsch, 1992). 진동으로 인한 과일의 물리적 손상은 미생물 증식이나 과일 자체의 생리적 변화를 초래하는 원인이 되며 결국 품질저하로 이어진다. 수송 중 진동으로 인해 과일이 유동되어 표면이 탈색되며 결국 타박상으로 나타난다. 더욱이 진동으로 손상된 과일은 습도마저 저하되어 품질저하의 원인으로 된다(Sommer, 1957). 2~40Hz의 진동수에서는 하단의 상자로부터 상단의 상자로 갈수록 가속도가 증폭되는 반면, 40~100Hz에서는 완화되는 경향을 보였다. 결국 2~40Hz 사이의 진동이 과일 수송에 가장 큰 피해를 주므로 포장 및 트레일러의 충격방지 장치 등에 각별한 주의가 필요하다(Slaughter, 1993).

궁극적으로는 트레일러에 전달되는 진동을 줄이기 위해서는 트레일러에 판 스프링(Steel-spring suspension)이나 코일 스프링(Air-ride suspension)을 장착하고 연결 히치 부분에 스프링 등의 충격흡수 시스템을 장착하여 트레일러에 전달되는 진동요인을 제거하거나 최소화시키는 방법을 강구하여야 한다(Hong, 2001).

본 연구에서는 동력경운기 트레일러에 기존의 운송 트럭에서 채택하고 있는 현가장치를 장착하여 저주파 진동을 줄이고, 엔진과 트레일러의 연결히치부분에 스프링과 진동 흡수 가황고무를 장착한

시스템을 개발하여 작업자가 편안한 운전을 할 수 있게 하고 수송 중인 농산물은 손상을 최소화하는 방안을 찾고자 하였다. 이 과제를 수행하기 위해서 우선 기존의 동력경운기 트레일러가 수송중인 농산물의 손상에 영향을 미칠 수 있는 위험범위 안에 있는지를 파악하기 위하여 엔진의 진동주파수가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험용 트레일러

본 시험에 사용된 동력경운기는 정격출력 10PS의 수냉식 디젤엔진을 탑재한 중량 384kg인 이륜형이며, 트레일러는 일반적으로 농가에서 많이 사용되고 있는 진동흡수장치가 전혀 없는 것으로서 구체적인 사양은 <표 1>과 같다.

Table 1 Specifications of the trailer used in the study

| Item | | Specifications |
|-------------------------------------|---------------------|----------------|
| Load capacity (kg) | | 1,000 |
| Dimension of trailer (mm) | Length | 3,470 |
| | Width | 1,360 |
| | Height from surface | 1,560 |
| Dimension of loading unit (mm) | Length | 1,820 |
| | Width | 940 |
| | Height | 310 |
| Tire pressure (kg/cm ²) | Front | 1.5 |
| | After | 1.0 |
| Tire size | | 6.00-16LT-6PR |

나. 측정장치구성

진동가속도의 측정은 일반적으로 X, Y, Z축의 가속도를 측정하여 분석한다. 그러나 Slaughter 등(1993)의 연구에 의하면 수평진동은 수직진동에 비하면 경미하여 충격에 의한 농산물의 품질저하에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 분석하였고, 稻藥 등(2000)이 소형 농용 트랙터를 대상으로 시험한 결과에 의하면 Z축의 가속도가 Y축의 가속도보다 오히려 크다는 상반된 결과를 발표하였다. Slaughter

등의 시험은 충격 흡수 시스템이 장착된 모형 트레일러를 진동발생 장치에 올려 정적 상태로 시험한 시뮬레이션에 의한 결과이고, 稻葉 등은 3m/s의 속도로 실제 농로에서 시험한 결과로서 상반된 결과가 도출된 것으로 보인다. 따라서, 본 시험에서는 1차원 수직가속도만을 측정·분석하였으며, <그림 1>과 같이 엔진의 상단부분 1곳, 엔진과 트레일러의 연결 히치부분 1곳, 트레일러 운전석 1곳, 트레일러의 전방, 중앙, 후방 중앙부로 프레임으로 지지되어 있는 바닥지점 각 1곳 등 총 6 지점에 측정센서를 부착했고 순간 진동이 발생할 수 있는 여지를 사전에 차단하여 수직진동가속도를 측정하였다. 트레일러의 형상은 완전평면이며 두께가 일정하고 힘이 없는 하나의 강체로 보았으며, 회전관성과 전단변형은 무시하였다. 진동가속도 측정센서 및 FFT

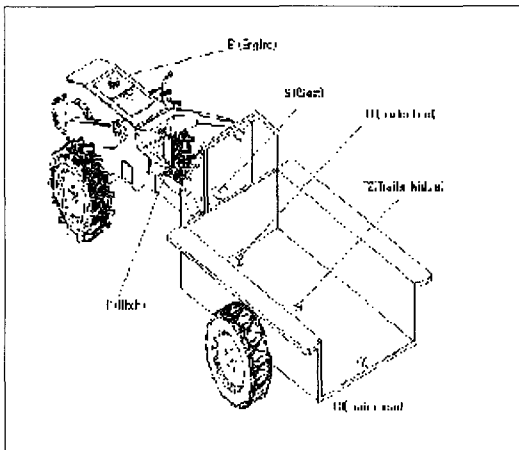


Fig. 1 Sensing position of the vertical accelerations for the power tiller-trailer system.

(Fast Fourier Transformer) 분석기의 사양은 <표 2>와 같고 측정장치의 시스템구성은 <그림 2>와 같다.

실험에 앞서 각 센서의 정확한 감도 값이 나오고 있는지를 측정하기 위하여, 각각의 센서를 159.2Hz로 일정한 주파수를 발생시키는 여진측정기(Calibration Exciter)에 부착시켜 여진측정 프로그램의 분석을 통해 각 센서가 가지고 있는 기본 감도를 측정하여 측도를 설정하였다. 여진측정기의 사양은 <표 3>과 같고, <그림 3>은 측정 장면이다.

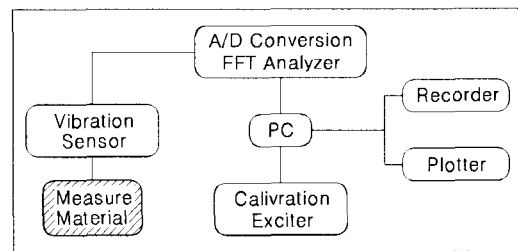


Fig. 2 Components of the vibration measuring system.

Table 3 Specifications of the calibration exciter

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Type | 4294 |
| Level ACC. | 10 m/s ² (RMS) |
| Display | 10 μm |
| Frequency | 159.2 Hz |
| Max. Load | 70 g |
| Automatic switch off time | 103 sec |

Table 2 Specifications of the acceleration sensor and FFT analyzer

| Acceleration sensor (1-D) | | FFT analyzer | |
|---------------------------|---------------|---------------------|----------------|
| Sensitivity | 482 ~ 525mV/g | Frequency Range | 1 ~ 20 kHz |
| Measuring range | ± 10g | Conversion | 24-bit DAC |
| Resonance frequency | 22.0 Hz | Dynamic range | 110 db |
| Temperature range | 0 ~ 65°C | Coupling | AD(4 mA) |
| Transverse sensitivity | 1.0% | Dimensions(mm) | 340 × 58 × 295 |
| | | Weight | 4.9kg |
| | | Calibration Exciter | 159.2 Hz |

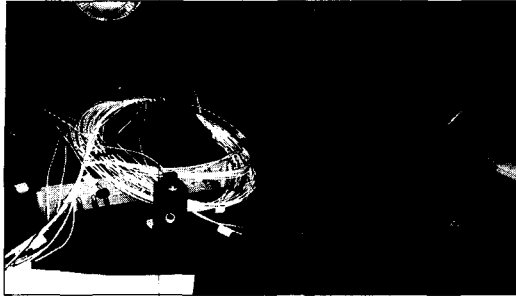


Fig. 3 A view of calibration for the measuring sensor.

다. 시험방법 및 분석

Petter(1998), Hinsch(1993), Slaughter(1993) 등의 연구결과를 종합하여 보면 농산물 수송 시에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 진동가속도와 주파수의 크기라고 분석되어 있고, 특히 진동 주파수의 크기가 결정적인 영향을 미치는 것으로 분석되어 있다. 20Hz미만의 주파수가 딸기 등 연약한 과일의 수송 손실에 영향을 미치고, 40Hz 미만의 주파수는 복숭아, 토마토 등의 수송손실에 영향을 미치며, 120Hz 미만의 주파수가 배, 사과, 감자 등의 수송 손실에 영향을 미치는 범위로 지적되어 있으므로 이 범위 내에 있는 주파수의 비율을 파악하여 기존 트레일러의 사용 가능성을 점검하였다.

누적 값의 산정은 매 20Hz 사이의 평균 수직진동 가속도 값을 500Hz의 주파수까지 누적으로 합산한 것이다. 이것은 대부분의 측정부분에서 500Hz 이상의 주파수가 발생될 때에는 진동가속도의 크기가 나타나지 않았기 때문이다.

과채류를 수확하여 수집하고 운반하는 도중에 엔진이 운행중인 상태로 트레일러가 정지된 경우에 더욱 큰 손상요인이 발생하는 것으로 지적됨을 상기하여 주행이 정지된 상태에서 엔진의 출력에 따른 진동주파수와 진동수직가속도의 크기를 측정했고, 동력경운기가 주행중인 상태에서 엔진의 진동이 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 경사도가 없는 아스팔트 포장 도로에서 실제로 주행할 때의 진동주파수와 진동가속도의 변화를 측정했다.

동력경운기 엔진속도를 1,000rpm의 정격회전수로 운전한 상태에서 기체가 정지된 상태와 기체가 운

송중인 상태로 구분하여 시험하였고, 수송중의 주행속도는 0.35m/s로 조절하여 정속주행이 되도록 노력하였다. 측정값은 주행 후 약 10초가 경과된 위치에서 10초 동안 발생된 측정값의 평균값을 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 정적(미주행)상태

수확된 농산물을 수집 운반하는 과정에서 엔진만 운행된 상태로 주행이 정지될 경우의 손상을 예측하기 위하여 동력경운기 엔진속도를 1,000rpm의 정격회전수로 운전한 상태에서 기체가 정지된 상태로 측정된 평균 수직진동가속도는 <그림 4>와 같다. 그 측정값은 0.01m/s²에서 0.055m/s²까지의 범위에 있었다. 엔진부분이 0.055m/s²로 가장 크고, 그 다음이 시트부분으로 0.021m/s² 이었으며, 트레일러 부분은 0.007m/s²에서 0.015m/s² 정도의 값으로 측정되었다. 트레일러의 부위별로는 전방부분이 가장 크고, 후방 부분이 가장 적게 나타났다.

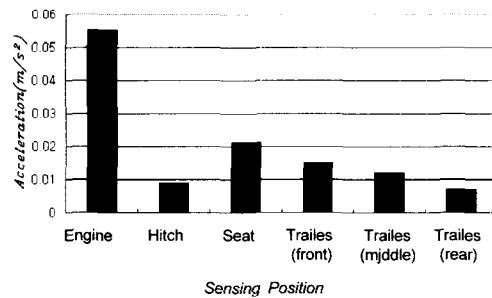


Fig. 4 The average accelerations by the sensing position at rated engine horsepower.

진동주파수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도의 변화는 <그림 5>와 같다. 측정된 모든 부위에서 평균 수직진동가속도의 값은 낮은 주파수에서 진동가속도의 값이 크게 나타나 점차 높은 주파수로 갈수록 그 값이 작아지는 경향을 보이며, 120Hz 정도에 달하면 현저히 줄어드는 경향을 보였고, 특히 이러한 현상은 엔진부분과 히치부분에서 뚜렷하였다. 시트부분은 380Hz의 범위에 이르기까지 그

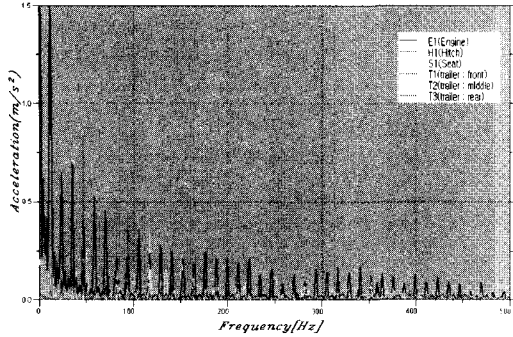


Fig. 5 Vertical accelerations by the sensing position at rated engine horsepower.

값이 고르게 분포되어 있었고, 또한 $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}^2$ 에 달하는 높은 순간가속도가 몇 차례 발생되었다. 트레일러의 전방, 중앙, 후방 부분도 대부분 100Hz에서 170Hz 정도까지 분포되어 있었고 40Hz에서 120Hz에서 한 두 차례 0.8 m/s^2 에 이르는 순간가속도가 발생되었다.

Petter(1998), Hinsch(1993), Slaughter(1993) 등의 연구 결과로 미루어 농산물 수송손실에 결정적인 영향을 미친다는 120Hz 미만의 평균 수직진동가속도의 값을 누적분포도로 분석한 결과는 <그림 6>과 같다. 120Hz에 이르기까지 모든 측정 부위에서 비슷한 경향을 보여 엔진부위의 진동가속도가 현저히 높았고 나머지 부위의 값은 크게 차이는 없었으나 엔진부위에 비하여는 1/4정도에서 1/12정도로 적게 나타난 경우도 있었다. 20Hz 이내에서도 엔진부위에 비하여는 1/4에서 1/36으로 적게 나타났고, 40Hz 이내에서도 1/5에서 1/21로 적게 나타났다. 차체가 정지된 상태에서 발생하는 엔진의 진동이 트레일러로 전달되는 크기는 생각보다 많지는 않았지만 0.1 m/s^2 내외로 농산물의 손상에 지장을 주는 범위에 있는 것으로 판단되었다.

같은 방법으로 20Hz, 40Hz, 120Hz까지의 누적 값을 전체 값에 대한 비율로 표시한 결과는 <그림 7>과 같았다. 120Hz 미만의 진동가속도가 차지하는 비율이 엔진부분에서는 전체 값의 50%를 차지했고 나머지 부분에서는 28~41%를 차지했다. 40Hz 미만에서는 엔진부분과 히치부분의 진동이 20~30%를 차지했으며, 트레일러 적재함 부분에서도 2~8%로 비교적 큰 비중을 차지했다. 20Hz미만에서는 엔

진부분과 히치부분의 진동이 13~20%를 차지했으며, 트레일러 적재함 부분에서도 1~4%로 비교적 큰 비중을 차지했다. 40Hz와 20Hz 미만에서는 엔진부분과 히치부분의 진동가속도가 차지하는 비중이 현저히 높았다.

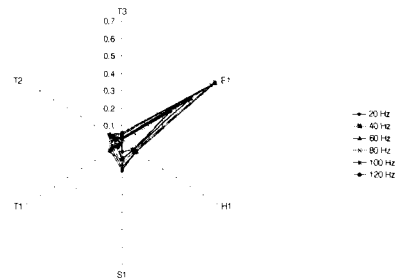


Fig. 6 The accumulated accelerations by frequencies at rated engine horsepower.

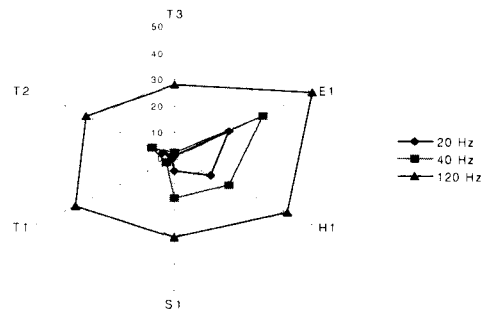


Fig. 7 The accumulated accelerations rate by frequencies at rated engine horsepower.

나. 동적(주행)상태

동력경운기 엔진속도를 1,000rpm의 정격회전수로 운전한 상태에서 트레일러가 아스팔트 도로 위에서 주행 중일 때 측정된 평균 수직진동가속도는 <그림 8>과 같다. 그 측정값은 $0.005 \sim 0.058 \text{ m/s}^2$ 의 범위 내에 있었다. 엔진부분이 0.005 m/s^2 로 가장 적고, 그

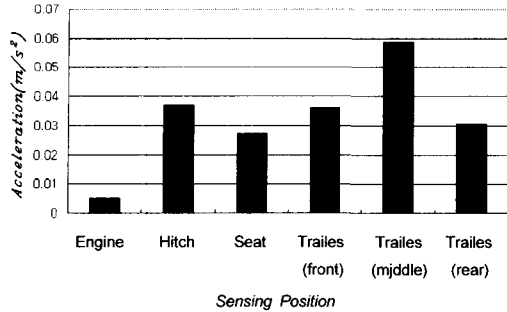


Fig. 8 The average accelerations when the power tiller is driving at 0.35 m/s.

다음은 시트부분으로 0.027m/s²이었다. 히치부분은 0.037m/s²이었고, 트레일러부분은 0.031~0.058m/s² 정도의 값으로 측정되었다. 트레일러에서는 중앙부분의 값이 가장 큰 것으로 나타났다.

진동주파수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도의 크기는 <그림 9>와 같다. 측정된 대부분의 부위에서 평균 수직진동가속도의 값은 낮은 주파수에서 진동가속도의 값이 크게 나타나 점차 높은 주파수로 갈수록 그 값이 작아지는 경향을 보였으나 트레일러 중앙부분은 80Hz와 120Hz 정도에서 급격히 높은 값을 나타냈고 그 이후에도 500Hz에 달할 때까지 3~4차례 높은 순간 가속도가 나타났다.

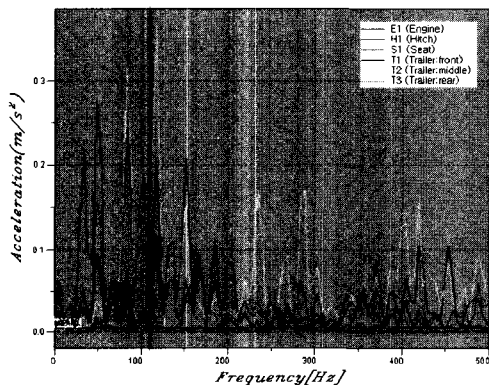


Fig. 9 Vertical accelerations when the power tiller is driving at 0.35m/s.

농산물 수송손실에 결정적인 영향을 미치는 120Hz 미만의 평균 수직진동가속도의 값을 누적분포도로 분석한 결과는 <그림 10>과 같다. 120Hz에

이르기까지 모든 측정 부위에서 비슷한 경향을 보였으나 엔진부위의 값이 현저히 낮았다. 그러나 트레일러에서는 120Hz에 달했을 때는 엔진부분에 비하여 5배 이상 높은 값이었고 특히 트레일러 중앙부분에서의 값이 현저히 높았다. 그러나 트레일러의 모든 부분에서 20Hz 미만과 40Hz 미만의 값에서는 비슷하였다. 결과적으로 기체가 정지된 상태일 때는 엔진의 진동이 가장 크게 나타나지만 주행 중일 때는 트레일러의 진동이 가장 크고 엔진의 진동은 가장 적게 나타나는 상반된 결과로 나타났다. 또한 기체가 주행 중일 때 트레일러 부분에서의 진동분포 크기는 중앙부분에서 가장 큰 것으로 나타나 Slaughter(1993) 등의 연구 보고인 대형 냉동 트레일러에서 시험한 뒷부분에 갈수록 진동이 많아진다는 결과와는 차이가 있었다. 이것은 차체의 주행 속도와 도로여건, 바퀴축의 수와 배열, 화물의 적재 하중과 적재방법 등 여러 요인에 관련된 것으로 판단된다.

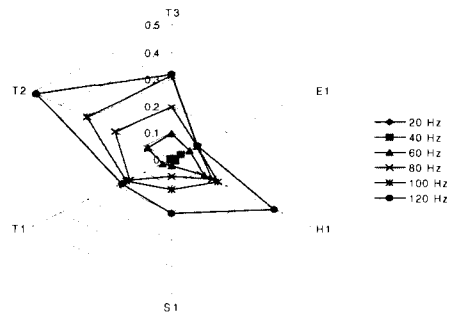


Fig. 10 The accumulated accelerations by frequencies when the power tiller is driving at 0.35m/s.

같은 방법으로 20Hz, 40Hz, 120Hz까지의 누적 값을 전체 값에 대한 비율로 표시한 결과는 <그림 11>과 같았다. 120Hz 미만의 진동가속도가 차지하는 비율이 엔진부분에서는 전체 값의 75%를 차지했고, 나머지 부분에서는 20~42%를 차지했다. 40 Hz 미만에서는 엔진부분의 진동이 26%를 차지했으며 트레일러 적재함 부분에서는 0.2~0.6%로 극히 적은 비중을 차지했다. 20Hz미만에서도 엔진부분의

진동이 24%를 차지했으며, 트레일러 적재함 부분에서도 0.1~0.3%로 극히 적은 비중을 차지했다. 농산물의 소송 손실에 큰 영향을 미치는 것으로 보고된 120Hz 미만의 진동가속도가 차지하는 비율이 트레일러에서 20~42%에 이르러 진동감소 대책이 요구된다.

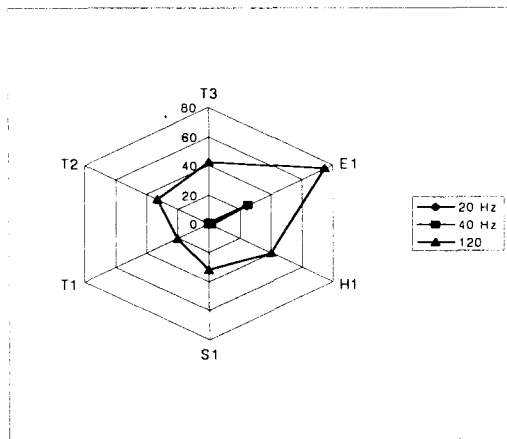


Fig. 11 The accumulated accelerations by frequencies when the power tiller is driving at 0.35m/s.

4. 요약 및 결론

본 연구는 동력경운기의 차체 진동이 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 엔진 정지상태와 주행상태에서 트레일러의 히치부분, 시트부분, 적재부분의 수직진동가속도를 측정하여 그 진동가속도와 주파수의 크기가 수송 중인 농산물에 손상을 입힐 수 있는 범위 안에 있는지를 파악하고 그 손상방법을 줄이기 위한 방안을 강구하기 위한 기초시험으로 시행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 정적인 상태에서 120Hz 미만의 진동가속도가 차지하는 비율이 엔진부분에서는 전체 값의 50%를 차지했고, 나머지 부분에서는 28~41%를 차지했다. 40Hz 미만에서는 엔진부분과 히치부분의 진동이 20~30%를 차지하였고, 트레일러 부분에서는 2~8%를 차지했다. 20Hz 미만에서는 엔진부분과 히치부분의 진동이 13~20%를 차지했으며, 트레일러 부분에서는 1~4%를 차지했다.

2) 0.35m/s로 아스팔트 도로에서 주행할 때의 평균 수직진동가속도는 0.005~0.058m/s²의 범위 내에 있었다. 엔진부분이 0.005m/s²로 가장 적었고, 트레일러부분은 0.031~0.058m/s²의 값으로 측정되었다.

3) 동적인 상태에서 120Hz 미만의 평균 수직진동가속도의 누적 값은 엔진부위의 값이 현저히 낮았으며, 트레일러 부분이 엔진부분에 비하여 5배 이상 높은 값이었고 특히 트레일러 중앙부분에서의 값이 현저히 높았다.

4) 동적인 상태에서 평균진동가속도의 누적 값은 120Hz 미만일 때는 엔진부분이 전체 값의 75%를 차지했고, 나머지 부분에서는 20~42%를 차지했다. 20Hz와 40Hz미만에서는 엔진부분이 24~26%를 차지했으며, 트레일러 적재함 부분에서는 0.1~0.6%를 차지했다.

참고 문헌

1. Boyette, M. D. and R. P. Rohrbach. 1993. A Low-Cost, Portable, Forced-Air Pallet Cooling System. Trans. of the ASAE. 98(1):97-104.
2. Grant, S. W., M. T. Turczyn, B. H. Ashby, N. D. Halle, G. D. Schmidt, F. W. Wheaton and W. L. Wheaton. 1986. Potato Bruising During Transport. Trans. of the ASAE. 29(3):1176-1179.
3. Hinsch, R. T., D. C. Slaughter, W. L. Craig and J. F. Thompson. 1993. Vibration of Fresh Fruits and Vegetables During Refrigerated Truck Transport. Trans. of the ASAE. 36(3):1039-1042.
4. Hong, J. H and H. J. Lee. 2000. Optimum Transport Systems of Agricultural Products(I). -Accumulated Heat Units and Shelf Life-. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery. 5(2):142-147.
5. Hong, J. H and H. J. Lee. 2001. Optimum Transport Systems of Agricultural Products(II). -Vibration Characteristics of the Transporting Trailer-. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery. 26(4):315-322.
6. Hong, J. H., S. B. Lee and S. Y. Kim. 2002. 3 Dimensional Vibration Characteristics of Power Tiller-Trailer System. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery. 7(2):40-47.

7. Lee, H. J., J. H. Hong and S. Y. Kim. 2002. Vertical Vibration Characteristics of Power Tiller-Trailer System. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery. 7(2):33-39.
8. Petter. 1998. Transportation and Handling of Fresh Fruits and Vegetables. Acme Manufacturing Company. 1-47.
9. Slaughter, D. C., R. T. Hinsch and J. F. Thomson. 1993. Assessment Vibration Injury to Bartlett Pears. Trans. of the ASAE. 36(3):1043-1047.
10. Wright, F. S. and W. E. Splinter. 1968. Mechanical Behavior of Sweet Potatoes Under Slow Loading and Impact Loading. Trans. of ASAE. 11(2):765-770.
11. 稻葉英毅, 酒井憲司, 笹尾彰, 澁澤榮. 2000. 小型農用トラクタ道路走行時におけるオペレータへの衝撃振動. 第59回農業機械學會年次大會講演要旨. 日本農業機械學會. 59:1-2.