

# 동력경운기 트레일러 현가장치 개발

## Vibration Absorption Characteristics by the Suspension System of the Power Tiller Trailer

홍종호\*   강인철\*   이홍주\*   이성범\*   김성엽\*  
정희원   정희원   정희원   정희원   정희원  
J. H. Hong   I. C. Kang   H. J. Lee   S. B. Lee   S. Y. Kim\*

### 1. 서론

농산물은 육로를 통한 트레일러 수송 과정에서 파손의 우려가 있고, 진동으로 인한 물리적 손상은 미생물 증식이나 농산물 자체의 생리적 변화를 초래하는 원인이 되어 결국 품질 저하를 가져올 수 있다. 수송중 가속도의 변화와 진동은 농산물의 탈색 현상과 타박상을 초래하여 상품 가치를 저하시키는 주요 요인으로 지목되고 있다.

본 연구는 수송과정 중에 트레일러의 저주파 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 근원적으로 방지하기 위하여 동력 경운기 트레일러에 현가 장치(Suspension)를 장착하여 트레일러를 통해 과일상자에 전달되는 진동요인을 제거하거나 저주파진동을 최소화시키는 방법을 강구하고자 하였다. 따라서 동력경운기의 차체 진동이 현가 장치를 통해 과일상자에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 엔진출력에 따른 현가 미장착 트레일러와 장착트레일러의 수직진동가속도를 측정하고 비교분석 하여 현가 장치가 장착된 트레일러의 진동가속도와 주파수의 크기가 수송중인 농산물의 손상을 줄일 수 있는 범위 안에 있는지를 파악하기 위한 실험으로 실시하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시험용 트레일러 및 현가장치

본 시험에 사용된 동력경운기는 수냉식 디젤엔진으로 정격출력 10PS, 중량 384kg인 이륜형이고, 트레일러의 적재정량은 1,000kg, 최대 지상고 1,500mm, 적재함은 길이 1,850mm, 폭 940mm, 높이 330mm인 4각형의 Nonsuspension system으로 진동흡수장치가 전혀 없는 것이고, 진동흡수장치(Suspension system)를 구성하기 위하여 최대적재중량 480kg이 가해질 때 최대 처짐 42mm로 Suspension을 설계하여 트레일러에 장착하였다.

배의 적재방법은 <그림 1>과 같이 4층으로 평행하게 탑재하였고, 진동가속도의 측정은 일반적으로 X, Y, Z축의 가속도를 측정하여 분석한다. 그러나 Slaughter등(1993)의 연구에 의하면 수평진동은 수직진동에 비하면 경미하여 충격에 의한 농산물의 품질저하에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되고 있다.

---

\* 한경대학교 생물자원기계학과

따라서 본 시험에서는 수직진동을 적재된 과일상자 전·후, 상·하 8지점에 센서를 장착하고, 현가 장치가 없는 트레일러와 현가 장치가 부착된 트레일러를 RPM별로 수직진동가속도를 측정하였다. 중량 15kg의 과일상자를 균일 간격으로 2열씩 4단으로 총 중량 360kg을 적재하였으며, 현가 장치 미장착시와 장착시 각 RPM에서 과일상자에 발생하는 진동가속도 값을 비교 분석하여 그래프로 표시하였다.

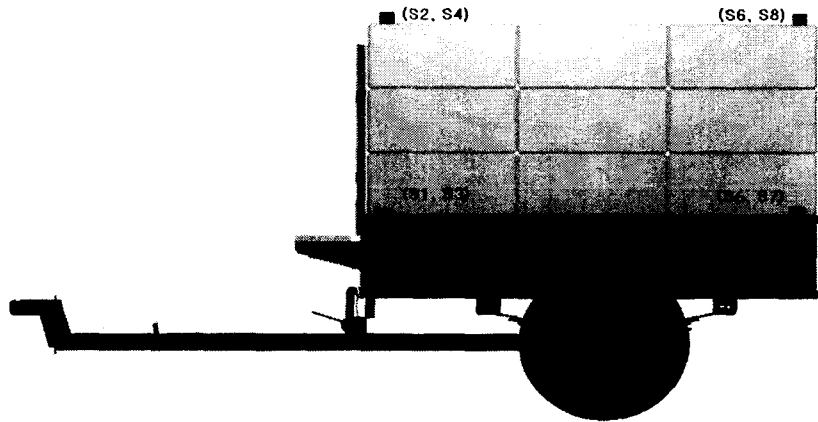


Fig.1 Specifications of the acceleration sensor and FFT analyzer.

트레일러의 형상은 완전평면이며 두께가 일정하고 휨이 없는 하나의 강체로 보았으며 회전관성과 전단변형은 무시하였다. 진동가속도 측정센서 및 FFT분석기의 사양은 <표 1>과 같다.

Table 1. Specifications of the acceleration sensor and FFT analyzer.

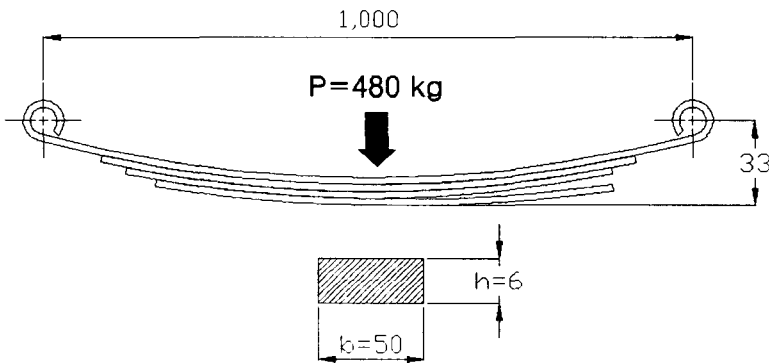
Acceleration sensor		FFT analyzer	
Sensitivity	500 mV/g	Frequency range	1~20 kHz
Frequency reange	0.2~3,700 Hz	Conversion	16 bit
Resonance frequency	18 kHz	Display	7.8" color TFT LCD
Temperature range	-50~120°C	Coupling	AD (4 mA)
Weight	148 g	Dynamic range	80 db (typical)
Size	26.7×30.5×54.6 mm	Interface	Rs 232c/422 scsi

진동흡수장치(Suspension system)를 구성하기 위하여 최대적재중량 480kg이 가해질 때 최대 처짐 42mm로 Suspension을 설계하여 트레일러에 장착하였다. 곁판 스프링을 구성하는 판 두께 h가 같은 경우 스프링 상수 k 및 응력  $\sigma$ 의 관계식은 식(1), 식(2)와 같고, 처짐의 계산식(3)과 같다.

$$k = \frac{2P}{\delta} = \frac{6 EI_0}{K_1 l^3} = \frac{Enbh^3}{2 K_1 l^3} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{6 l}{nbh^2} P = \frac{3 Eh}{2K_1 l^2} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{3}{8} \cdot \frac{P/4l^3}{nb^2 E} \quad (3) \\ &= \frac{3}{8} \cdot \frac{120 \times (1000)^3}{4 \times 50 \times 6^2 \times (2 \times 10^4)} \\ &= 41.67 \text{ mm} \end{aligned}$$



#### 나. 시험방법

엔진출력 500rpm(저속), 1,000rpm(고속)에서 10초 동안에 발생된 수직진동가속도를 현가 장치 장착시 와 미장착시 과일상자 중량 15kg으로 총 24상자를 4층으로 적재하여 앞·뒤 상·하 8지점에서 진동주파수 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석하였다.

농산물이 적재된 정적인 상태에서 엔진의 출력에 따른 진동주파수와 진동수직가속도의 크기를 측정하였다. 10초 동안에 발생된 수직진동가속도를 각 부위에서 동시에 0Hz에서 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 저속운전에서의 현가 장착 및 미장착시 평균진동가속도

저속운전에서(500rpm) 현가 미장착 트레일러와 현가 장착 트레일러의 평균수직진동가속

도의 값은 <그림 2>, <그림 3>과 같다. 현가 미장착 트레일러 전방부분의 평균수직진동가속도 값은  $4.3 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ , 후방부분은  $3.5 \times 10^3 \text{ m/sec}^2$ 으로 후방보다 전방의 평균수직진동 값이 높은 것으로 나타났고, 현가 장착 트레일러의 전방은  $2.8 \times 10^3 \text{ m/sec}^2$ , 후방은  $2.1 \times 10^3 \text{ m/sec}^2$ 으로 현가 미장착 트레일러 실험 때와 같이 트레일러의 전방이 후방보다 높은 평균수직진동 값으로 측정되었다. 현가 장착 트레일러가 미장착 트레일러보다 전달되는 수직진동이 38% 이상 감소되는 것으로 분석되었다. 평균수직진동가속도가 현가 장착 트레일러에서는 100Hz 미만에 분포된 반면 현가 미장착 트레일러의 경우 200Hz까지 고르게 분포되어 있었다.

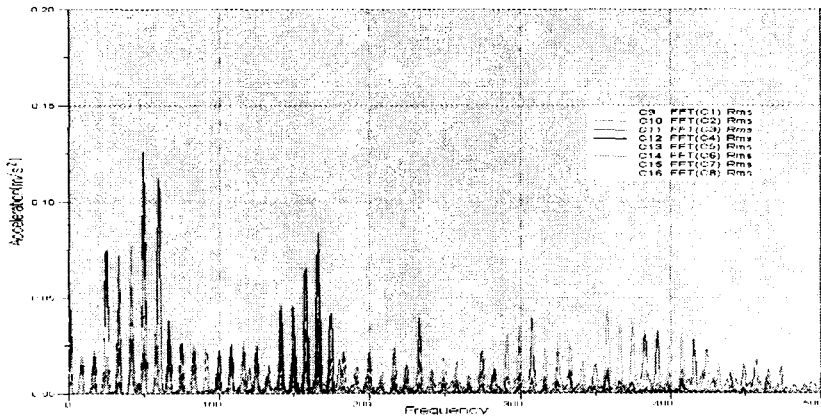


Fig. 2. The average vertical acceleration of the non-suspension trailer at low engine speed (500rpm).

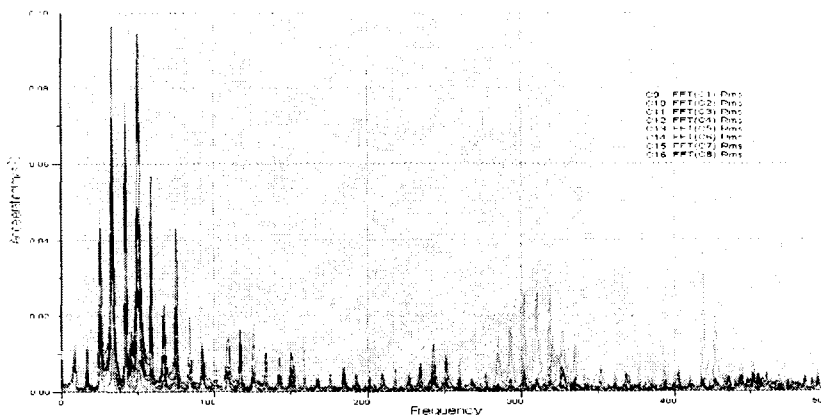


Fig. 3. The average vertical acceleration of the suspension trailer at low engine speed (500rpm).

트레일러에 적재된 과일상자의 평균수직진동가속도 값은 현가 미장착 트레일러 전방하단  $5.9 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ , 전방상단  $2.8 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ , 후방하단  $5.2 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ , 후방상단  $2 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ 으로

상단부위 보다 하단부위 과일상자에서의 평균진동가속도 값이 높게 측정되었고, 현가 장착트레일러 전방하단  $3.4 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 전방상단  $2.3 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 후방하단  $3 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 후방상단  $1.2 \times 10^3 \text{m/s}^2$ 으로 현가 미장착 트레일러와 마찬가지로 하단부위 평균수직진동가속도의 값이 높게 측정되었다.

트레일러 좌측과 우측의 평균수직진동가속도의 값이 좌측  $4.1 \times 10^2 \text{m/sec}^2$  우측  $3.7 \times 10^2 \text{m/sec}^2$ 으로 트레일러 좌측부분이 높게 측정되었다. 이것은 트레일러 바닥 면을 지나는 프레임 접합부 위치의 문제로 추측되며, 접합부 위치에 관련된 실험을 통하여 정확한 결과를 다시 확인해 볼 필요가 있다.

#### 나. 고속운전에서의 현가장착 및 미장착 트레일러의 평균진동가속도

현가 미장착 트레일러와 현가 장착 트레일러의 정격속도(1000rpm)에서 평균수직진동가속도 값은 <그림 4>, <그림 5>와 같다. 현가 미장착 트레일러 전방부분의 평균수직가속도는  $5.2 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 후방부분은  $4.4 \times 10^3 \text{m/s}^2$ 으로 전방의 평균수직진동가속도가 높게 측정되었고, 현가 장착트레일러의 전방은  $3.7 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 후방은  $2.8 \times 10^3 \text{m/s}^2$ 으로 현가 미장착 트레일러 실험 때와 마찬가지로 전방이 후방보다 큰 평균수직진동가속도가 측정되었다. 현가 장착 트레일러의 평균수직진동가속도가 50Hz에서  $2.1 \times 10^1 \text{m/s}^2$ 의 순간가속도로 나타났고, 현가 장착 트레일러에서 역시 50Hz에서  $2.3 \times 10^1 \text{m/s}^2$ 에 이르는 순간가속도가 측정되었다.

현가 미장착 트레일러 전방부분의 평균수직가속도는  $5.2 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 후방부분은  $4.4 \times 10^3 \text{m/s}^2$ 으로 전방의 평균수직진동가속도가 높게 측정되었고, 현가 장착트레일러의 전방은  $3.7 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 후방은  $2.8 \times 10^3 \text{m/s}^2$ 으로 현가 미장착 트레일러 실험 때와 마찬가지로 전방이 후방보다 큰 평균수직진동가속도가 측정되었다. 현가 장착 트레일러의 평균수직진동가속도가 50Hz에서  $2.1 \times 10^1 \text{m/s}^2$ 의 순간가속도로 나타났고, 현가 장착 트레일러에서 역시 50Hz에서  $2.3 \times 10^1 \text{m/s}^2$ 에 이르는 순간가속도가 측정되었다.

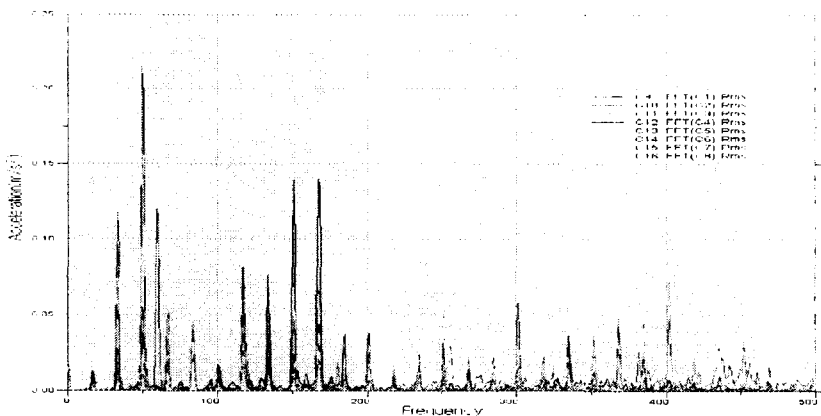


Fig. 4. The average vertical acceleration of the non-suspension trailer at high engine speed (1,000rpm).

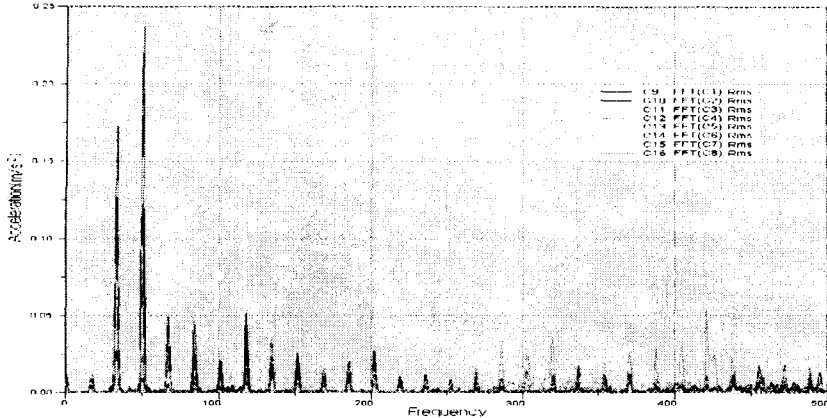


Fig. 5. The average vertical acceleration of the suspension trailer at high engine speed (1000rpm).

트레일러에 적재된 과일상자의 평균수직진동가속도의 값은 현가 미장착 트레일러 전방하단  $6.8 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ , 전방상단  $3.6 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ , 후방하단  $6.2 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ , 후방상단  $2.7 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ 로 상단부위보다 하단부위에서 높은 평균수직진동가속도가 측정되었으며, 현가 장착 트레일러 전방하단  $4.3 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ , 전방상단  $3.3 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ , 후방하단  $3.9 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ , 후방상단  $1.7 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ 으로 현가 미장착 실험때와 마찬가지로 하단부위가 평균진동가속도 값이 높게 측정되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 트레일러의 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 방지하기 위하여 동력경운기 트레일러에 현가장치를 부착한 후 적재된 농산물의 위치에 따른 진동수직가속도를 측정, 현가 미장착 트레일러와 비교 분석하여 농산물에 전해지는 진동의 감소율을 측정하기 위해 실시하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 저속운전(500rpm)에서 현가 장착 및 미장착 상태에서의 최대수직진동가속도는 미현가 트레일러 전방부에서  $1.3 \times 10^1 \text{m/s}^2$ , 후방부에서  $9 \times 10^2 \text{m/s}^2$  그리고, 현가 장착 트레일러 전방부에서  $1.2 \times 10^1 \text{m/s}^2$ , 후방부에서  $5.7 \times 10^2 \text{m/s}^2$ 으로 전방부분이 후방부분보다 크게 측정되었다. 평균수직가속도는 미현가 트레일러에서  $4 \times 10^3 \text{m/s}^2$ , 현가 장착트레일러에서  $3 \times 10^3 \text{m/s}^2$ 으로 나타나 500rpm에서 현가 장착트레일러의 평균수직진동이 38%감소하는 것으로 분석되었다. 또한 평균수직진동가속도가 현가 장착트레일러에서는 100Hz미만에 분포되어 있는 반면 미장착트레일러의 경우 200Hz까지 고르게 분포되어 있는 것으로 분석되었다.

2) 고속운전(1,000rpm)에서 최대수직진동가속도는 미현가 트레일러 전방부에서  $2 \times 10^1 \text{m/s}^2$ , 후방부에서  $1.5 \times 10^1 \text{m/s}^2$  그리고, 현가 장착트레일러 전방부에서  $2.3 \times 10^1 \text{m/s}^2$ , 후방부  $1 \times 10^1 \text{m/s}^2$ 으로 고속운전에서도 전방부에서 최대수직진동가속도가 높게 측정되었다. 또한 현가 장착 트레일러의 평균수직진동이 31% 감소하는 것으로 분석되어 저속운전 다음으로 평균수

직진동이 줄어들는 것으로 나타났다.

## 5. 참고 문헌

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 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) 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
- 6) King, G. A and K. G. Henderson. 1998. Shelf-life of Stored Asparagus is Strongly Related to Post-harvest Accumulated Heat Units. Annual Applied Biology in Great Britain. 112: 329-335
- 7) Petter. 1998. Transportation and Handling of Fresh Fruits and Vegetables. Acme Manufacturing Company. 1-47
- 8) 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
- 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) 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
- 11) 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