

동력경운기 트레일러의 진동감쇠장치 개발(I) †

- 수직진동 특성 -

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

- Vertical Vibration Characteristics -

홍종호* 이홍주* 이성범* 김성엽* 강인철*

정희원 정희원 정희원 정희원 정희원

J. H. Hong H. J. Lee S. B. Lee S. Y. Kim I. C. Kang

1. 서론

수송 중에 일어나는 과채류의 손실에 대한 주요 자료들을 정리하여 보면 주요 쟁점은 수송 중에 발생된 가속도와 주파수의 크기, 적재방법과 적재 위치, 3차원진동과 수송속도에 따라 농산물이 어떤 손상을 입으며 저장성과 상품성에 어떻게 영향을 미치는가 하는 문제로 요약된다. 그러나 우리나라의 농가에서 운반용으로 주로 사용되고 있는 동력경운기 트레일러는 현가장치와 진동흡수장치가 없는 것으로 농산물의 운송시에 발생하는 충격·진동 등으로 인해 많은 수송 손실이 예상된다. 결론적으로 트레일러에 전달되는 진동을 줄이기 위해서는 트레일러에 스프링 시스템을 장착하고, 엔진과 연결되는 히치 부분에 진동흡수 시스템을 장착하여 트레일러에 전달되는 진동을 최소화시키는 방법을 강구하여야 한다.

본 연구에서는 동력경운기 트레일러에 기존의 운송 트럭에서 채택하고 있는 현가장치를 장착하여 저주파 진동을 줄이고, 엔진과 트레일러의 연결 히치 부분에 진동을 흡수할 수 있는 가황고무를 장착한 진동흡수 시스템을 개발·장착하여 수송 중에 발생하는 진동요인을 최소화하는 방안을 찾고자 하였다. 또한, 운송 중에 발생하는 진동가속도 중에서도 수직진동 가속도가 가장 큰 것으로 보고되어 있고, 농산물의 수송 손실에도 수직진동가속도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고되어 있는 것으로 미루어 기존의 동력경운기 트레일러와 비교하여 개발된 진동흡수 시스템의 수직진동 감쇠효과를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험용 트레일러

본 시험에 사용된 동력경운기는 정격출력 10PS의 수냉식 디젤엔진을 탑재한 중량 384kg 인 이륜형이며, 트레일러는 일반적으로 농가에서 많이 사용되고 있는 진동흡수장치가 전혀

† 본 연구는 한경대학교 2002년 산학연 컨소시엄사업의 연구비 지원으로 수행되었음

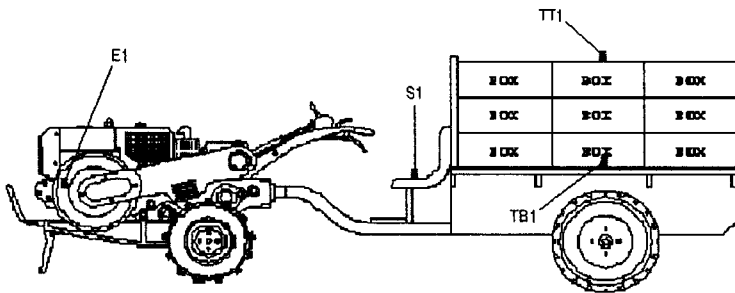
* 한경대학교 생물자원기계학과

없는 것과 본 연구에서 개발된 진동흡수 및 현가장치를 장착한 것을 사용하였다.

나. 측정장치구성

수송 중에 발생하는 진동가속도 중에서도 수직진동가속도가 가장 큰 것으로 보고되어 있고, 농산물의 수송 손실에도 수직진동가속도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 파악되어 있어 본 시험에서는 수직가속도의 크기와 진동주파수의 크기를 측정하여 농산물의 수송손실에 영향을 미치는 범위를 분석하였다. 가속도측정 센서의 부착 지점은 <그림 1>과 같이 엔진의 상단부분 1곳, 트레일러의 운전석부분 1곳, 트레일러의 면적중심 부분에 적재된 배 상자의 1층과 4층 각각 1곳으로 등 총 4 지점에 측정센서를 부착했고, 순간 진동이 발생할 수 있는 여지를 사전에 차단하기 위하여 프레임이 설치된 곳을 택하여 수직진동가속도를 측정하였다.

트레일러의 형상은 완전평면이며 두께가 일정하고 휨이 없는 하나의 강체로 보았으며, 회전관성과 전단변형은 무시하였다. 진동가속도 측정센서 및 FFT(Fast Fourier Transformer) 분석기의 사양은 <표 1>과 같다.



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

Table 1. 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

다. 현가장치 및 진동흡수장치 개발

진동흡수 현가장치(Suspension system)는 최대적재하중 480kg이 작용할 때 최대 처짐량이 42mm가 되도록 설계하였다. 이와 같은 기준으로 설계 제작된 트레일러의 현가장치는 <그림 2>와 같고, 설계 관련 공식은 다음과 같다. 즉, 겹판 스프링을 구성하는 판 두께(h)가 같으므로 스프링 상수(k) 및 응력(σ)의 관계식은 식(1), 식(2)와 같고, 처짐 계산식은 (3)과 같다.

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

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

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

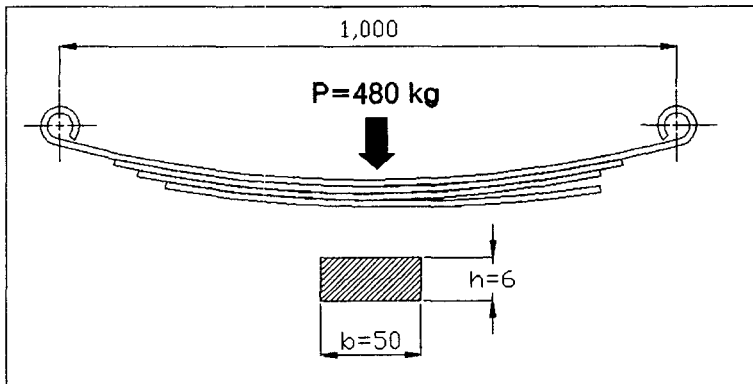


Fig. 2. Schematic diagram of steel suspension system used in this study.

또한, 트레일러 연결 히치의 진동흡수장치는 <그림 3>과 같이 코일스프링과 기황고무로 구성되어 있으며, 구체적인 설계 사양은 다음과 같다.

코일스프링은 최대견인력 240kg(동력경운기 사양의 기준에 따름), 최대충격력 1000kgm/s(수송 중 정지할 때, 최대하중 500kg, 2m/s의 최대속도로 진행될 때를 기준)의 충격력에 견딜 수 있도록 설계하였다. 통형 방진고무의 흡수 스프링상수 k는 다음 식으로 계산되며, 1mm당 315kg의 하중을 흡수할 수 있다.

는 아스팔트 포장 도로에서 실제로 주행할 때 진동주파수와 진동가속도의 변화를 측정했다.

즉, 동력경운기 엔진속도를 1000rpm의 정격회전수로 운전한 상태에서 기체가 정지된 상태와 기체가 운송중인 상태로 구분하여 시험하였고, 수송중의 주행속도는 0.35m/s로 조절하여 정속주행이 되도록 노력하였다. 진동가속도 측정은 주행 후 약 10초가 경과된 위치에서 10초 동안 측정된 값의 평균값을 200Hz까지의 범위 내에서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 정적(미주행)상태에서의 진동 특성

(1) 각 위치별 평균수직진동가속도

수확된 농산물을 수집 운반하는 과정에서 엔진만 운행된 상태로 주행이 정지될 경우의 손상을 예측하기 위하여 기존의 트레일러와 진동흡수 및 현가장치를 부착한 트레일러를 대상으로 수직진동가속도를 측정하였다. 동력경운기 엔진속도를 1000rpm의 정격회전수로 운전한 상태에서 기체가 정지된 상태에서 측정한 각 위치별 평균 수직진동가속도는 <그림 4>와 같다. 그 측정값은 엔진부분이 가장 크고 트레일러 적재부분에서 가장 낮은 것으로 나타났으며, 기존 트레일러에 비하여 진동 흡수 및 현가장치를 부착한 트레일러에서 수직진동가속도가 바닥부분에서는 0.0036m/s^2 에서 0.011m/s^2 정도로, 적재한 배 상자 4층부분에서는 0.0011m/s^2 에서 0.0004m/s^2 로 거의 1/3 수준으로 감소하는 것으로 나타났다.

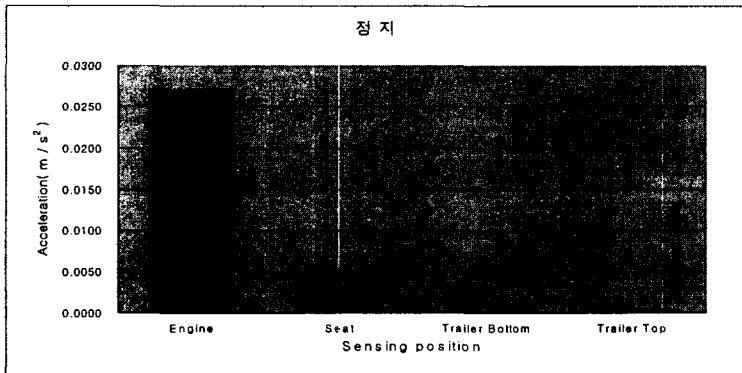


Fig. 4. The average vertical accelerations by the sensing positions for not-driving.

(2) 진동주파수별 평균수직진동가속도

주행하지 않는 상태에서 방진장치가 없는 기존의 트레일러와 진동흡수 및 현가장치가 부착된 트레일러의 진동주파수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도의 변화는 <그림 5>와 같다.

엔진부분에서는 거의 비슷한 값으로 나타났으나, 운전석은 0.0051m/s^2 에서 0.0032m/s^2 로, 트레일러 바닥부분은 0.0036m/s^2 에서 0.0011m/s^2 로, 그리고 적재된 배상자의 4층부분은

0.0011m/s²에서 0.0004m/s²로 진동흡수 및 현가장치를 장착한 트레일러에서 평균수직진동가속도 값이 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

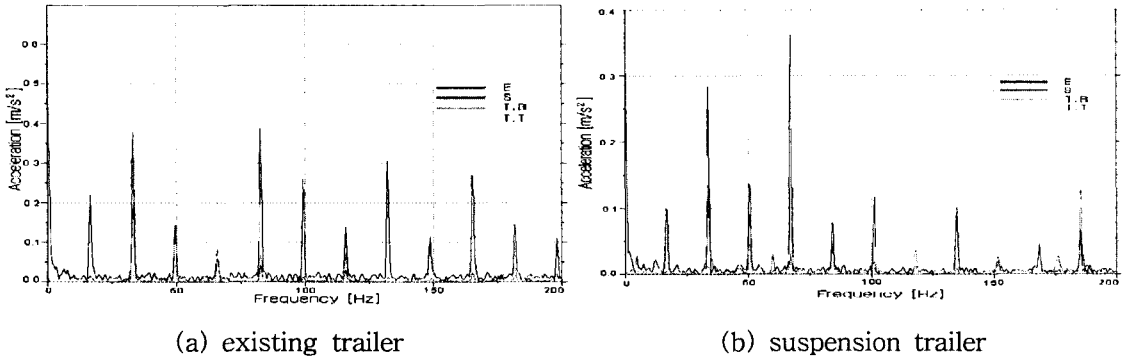


Fig. 5. The vertical accelerations by the frequencies for the existing and suspension trailer when the power tiller is not driving.

나. 동적(주행)상태에서의 진동 특성

(1) 각 위치별 평균진동가속도

동력경운기 엔진속도를 1000rpm의 정격회전수로 운전한 상태에서 트레일러가 아스팔트 포장 도로 위에서 0.35m/s로 주행 중일 때 방진장치가 없는 기존의 트레일러와 진동흡수 및 현가장치가 부착된 트레일러의 평균 수직진동가속도는 <그림 6>과 같다.

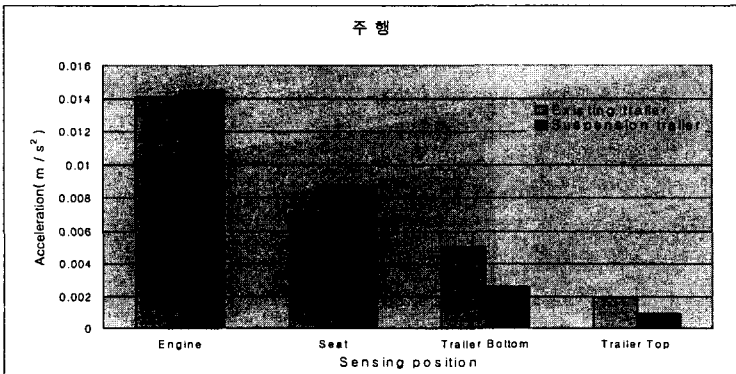


Fig. 6. The average vertical accelerations by the sensing positions for driving at 0.35m/s.

엔진부분 및 운전석 부분에서는 거의 비슷한 값으로 나타났으나, 트레일러 바닥부분에서는 0.0050m/s²에서 0.0026m/s²로, 적재한 배 상자 4층부분에서는 0.0019m/s²에서 0.0009m/s² 정도의 값으로 나타났다. 즉 진동흡수 및 현가장치가 있는 트레일러에서 기존의 트레일러에 비하여 약 1/2정도로 평균수직진동가속도 값이 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 진동주파수별 평균수직진동가속도

포장도로 위를 0.35m/s로 주행 중일 때 방진장치가 없는 기존의 트레일러와 진동흡수 및 현가장치가 있는 트레일러의 진동주파수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도의 변화는 <그림 7>과 같다.

엔진 및 운전석부분에서는 거의 비슷한 값으로 나타났으나, 트레일러 바닥부분에서는 0.0050m/s²에서 0.0026m/s²로, 적재한 배 상자의 4층부분에서는 0.0019m/s²에서 0.0009m/s²로 진동흡수 및 현가장치를 장착한 트레일러에서 평균수직진동가속도 값이 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

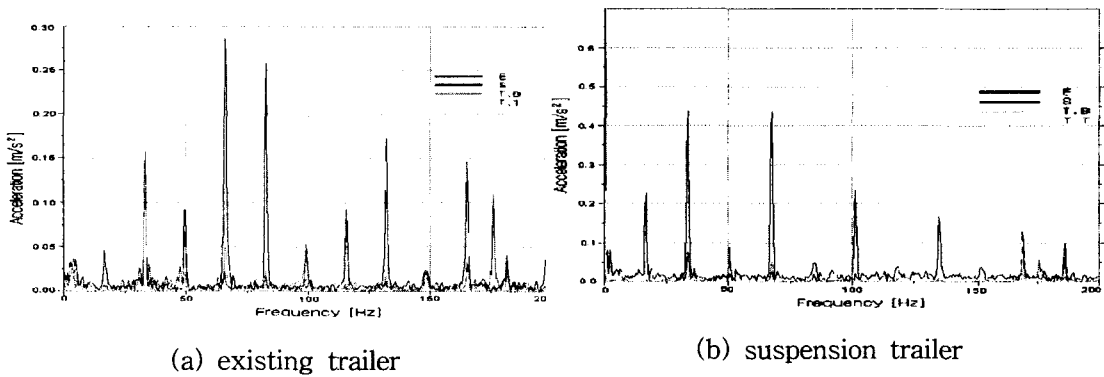


Fig. 7. The vertical accelerations by the frequencies for the existing and suspension trailer when the power tiller is driving at 0.35m/s.

다. 진동가속도의 누적분포도

주행하지 않을 때 방진장치가 없는 기존의 트레일러와 진동흡수 및 현가장치가 있는 트레일러에서의 각 위치별 수직진동가속도 누적 분포도는 <그림 8>과 같다. 또한, 아스팔트 포장도로 위에서 0.35m/s로 주행할 때, 방진장치가 없는 기존의 트레일러와 진동흡수 및 현가장치가 있는 트레일러에서의 각 위치별 수직진동가속도 누적 분포도는 <그림 9>와 같다.

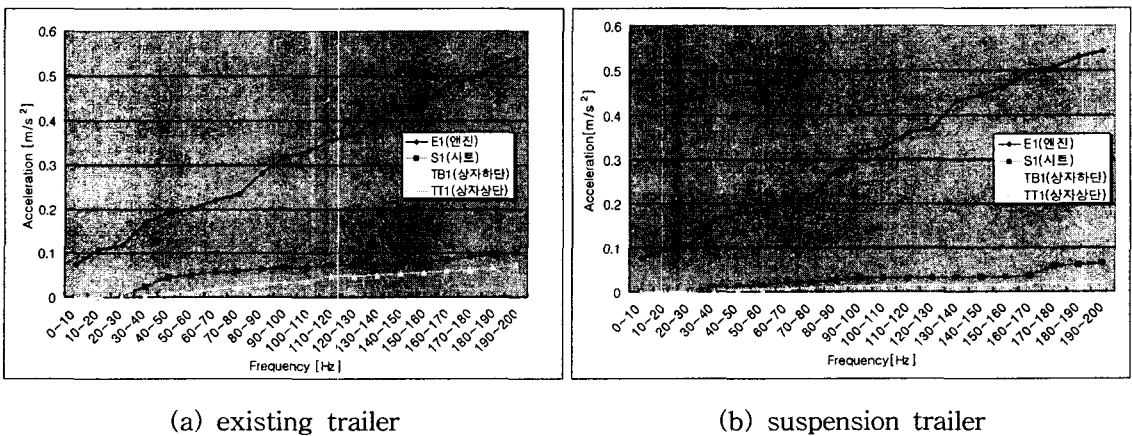
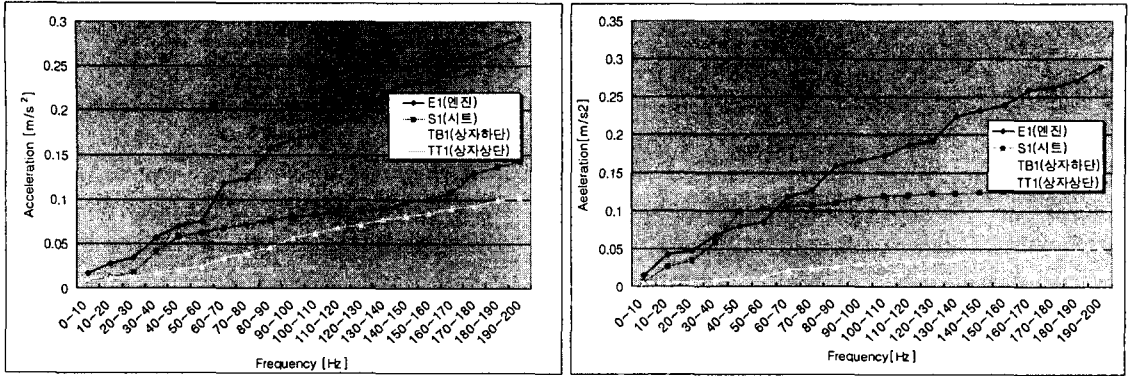


Fig. 8. The accumulated accelerations by the frequency for the existing and suspension trailer when not driving.



(a) existing trailer

(b) suspension trailer

Fig. 9. The accumulated accelerations by the frequency for the existing and suspension trailer when driving at 0.35m/s.

4. 요약 및 결론

본 연구는 동력경운기 트레일러에 기존의 운송 트럭에서 채택하고 있는 현가장치를 장착하여 저주파 진동을 줄이고, 경운기 본체와 트레일러의 연결 히치 부분에 진동을 흡수할 수 있는 가황고무를 장착한 시스템을 개발·장착하여 수송 중에 발생하는 진동요인을 최소화하는 방안을 찾고자 실시하였으며, 개발된 진동흡수 및 현가장치 시스템의 평균수직진동가속도 감소 효과를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 주행하지 않는 정적인 상태에서 엔진부분에서는 거의 비슷한 평균수직가속도 값으로 나타났으나, 운전석은 0.0051m/s^2 에서 0.0032m/s^2 로, 트레일러 바닥부분은 0.0036m/s^2 에서 0.0011m/s^2 로, 그리고 적재한 배상자의 4층부분은 0.0011m/s^2 에서 0.0004m/s^2 로 진동흡수 및 현가장치를 장착한 트레일러에서 평균수직진동가속도 값이 약 1/3 수준으로 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 아스팔트 포장도로 위를 0.35m/s 로 주행 할 때, 엔진 및 운전석부분에서는 거의 비슷한 값으로 나타났으나, 트레일러 바닥부분에서는 0.0050m/s^2 에서 0.0026m/s^2 로, 적재한 배상자의 4층부분에서는 0.0019m/s^2 에서 0.0009m/s^2 로 진동흡수 및 현가장치를 장착한 트레일러에서 평균수직진동가속도 값이 약 1/2 수준으로 감소하는 것으로 나타났다

참 고 문 헌

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. 稲葉英毅, 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. Petter. 1998. Transportation and Handling of Fresh Fruits and Vegetables. Acme Manufacturing Company. 1-47
7. 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
8. 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
9. 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
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): 75-770