

동력경운기-트레일러 시스템의 수직 진동 특성

Vertical Vibration Characteristics of Power Tiller-Trailer System

이홍주* 홍중호* 김성엽*

정희원 정희원 정희원

H. J. Lee J. H. Hong S. Y. Kim

1. 서론

농산물 취급자는 전체 수송기간 동안 청과류의 품질을 어떻게 유지할 것인가 하는 기술적인 면에 더 많은 관심을 기울이고 있다. 대부분의 농산물은 선적하기 전의 품질만으로도 목적지에 도착했을 때의 품질을 예측할 수 있다. 신선도가 높은 농산물은 신선도가 떨어지는 농산물에 비해 병원균의 침투에 강하고, 기계적인 손상과 물리적 피해에 대한 저항력이 크다. 동일한 조건으로 수송될 때 양질의 농산물은 품질이 낮은 농산물에 비해 손실이 적고, 수송비용을 많이 들이는 것이 양질의 농산물을 수송하는 한가지 방법이다(McGregor, 1989).

농산물의 품종과 수확 당시의 성숙도 등의 생리화적인 요소는 농산물의 초기 품질에 영향을 미친다. 이 사실은 껍질이 연한 과일이 병원균 감염과 손상에 영향을 받기 쉬운 것처럼 품종과 수확 당시의 안정도가 체리의 저장기간에 영향을 미치는 것으로 확인되었다(Veazis, 1997). 더욱이 청과류는 수송기간중의 대기조건의 변화에 더 큰 영향을 받는다. 전체 수송기간동안 농산물이 최적의 저장온도를 유지하는 것은 유통과정 중의 취급 등으로 인해 현실적으로 어렵고 더욱이 여러 종류의 원예작물이 함께 선적된다면 문제가 더욱 복잡하고 심각해진다. 농산물의 시장성을 안정시키기 위해서는 병원균의 침투, 물리적 손실, 수출국의 대기변화에 대한 저항력이 높은 품종을 선택하고 최상의 성숙도에 도달했을 때에 수확해야 하는 것은 말할 필요도 없거니와 동시에 수송방법과 수송수단을 어떻게 선택하는가 하는 것이 무엇보다도 중요하다(Petter, 1998).

농산물의 품질은 최종 소비지에 도착할 때까지의 일련의 취급과정에서 일어나는 생리적, 환경요인에 의해 좌우되며 단 한번의 부주의에 의한 취급도 바로 품질저하를 일으키며 되돌릴 수는 없는 결과를 만든다. 농산물은 수확된 후부터 계속해서 호흡, 증발, 대사작용을 계속한다. 이런 제반 활동에 기인된 품질손실을 수송과정에서 회복시킬 수는 없으며 단지 농산물은 자체내의 대사작용에 의해서만 에너지를 공급받아 품질을 유지해야 한다. 수확 직후부터 농산물은 세포의 부패로 인해 품질이 저하되기 시작하며 저장기간이 줄어들게 된다. 부연하면 농산물은 수확 후부터는 품질을 유지하는 것만이 가능한 것이지 품질을 향상시킬

* 한경대학교 생물자원기계학과

수는 없다는 말이다(McGregor,1989). 결국 농산물은 수송하고 처리하는 동안의 온도변화, 수분감소, 가스발생 빈도, 물리적 손상, 위생상의 문제 등에 노출된다. 양질의 청과물을 목적지까지 수송하기 위한 최선의 방법은 처음부터 양질의 농산물을 선정하여 전체의 취급과정을 통해 최상의 품질을 유지시키는 방법뿐이다. 청과류는 수송과 취급기간 중에 충격, 마찰, 눌림, 타박 등에 지속적으로 노출된다. 그러므로 농산물의 품질을 저하시키는 물리적인 손상을 최소화하기 위해 최선의 처리와 수송방법을 선택할 필요가 있다.

본 연구는 수송과정 중에 트레일러의 저주파 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 근원적으로 방지하기 위하여 동력경운기 트레일러에 현가장치(Suspension System)를 장착하고 연결 히치 부분에 진동흡수 시스템을 장착하여 트레일러에 전달되는 진동요인을 제거하거나 저주파 진동을 최소화시키는 방법을 강구하고자 하였다.

따라서 동력경운기의 차체 진동이 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 엔진의 출력에 따른 트레일러의 히치부분, 운전석부분, 적재부분(트레일러)의 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 시행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험용 트레일러

본 시험에 사용된 동력경운기는 수냉식 디젤엔진으로 정격출력 10PS, 중량 384kg인 이륜형이고, 트레일러의 적재정량은 1000kg, 최대 지상고 1500mm, 적재함은 길이 1850mm, 폭 940mm, 높이 330mm인 4각형의 Nonsuspension system으로 진동흡수장치가 전혀 없는 것이며, 일반적으로 농가에서 많이 사용되고 있는 것을 사용했다.

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 분석된 반면, 稻葉 등(2001)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/sec의 속도로 실제 농로에서 시험한 결과로서 상반된 결과가 도출된 것으로 보인다. 따라서 정적인 상태와 동적인 상태의 실제 도로에서 엔진에서 발생한 진동가속도의 크기가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악해 볼 필요가 있다.

본 시험에 사용된 측정센서의 부착위치는 <그림 1>과 같으며 측정부위는 엔진의 상단부

분 1곳, 엔진과 트레일러의 연결 히치 부분 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 소지를 사전에 차단하여 수직진동가속도를 측정하였다. 트레일러의 형상은 완전평면이며 두께가 일정하고, 힘이 없는 하나의 강체로 보았으며, 회전관성과 전단변형은 무시하였다. 진동가속도 측정센서 및 FFT분석기의 사양은 <표 1>과 같다.

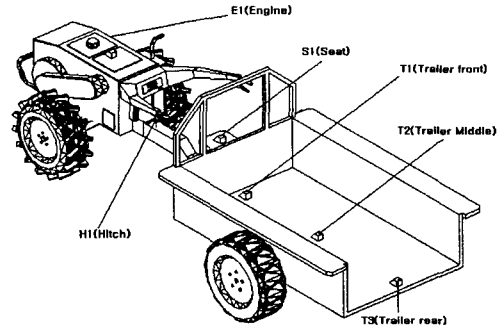


Fig. 1. Sensing Positions of the vibration sensors on the trailer.

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℃	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

다. 시험방법

엔진을 시동한 상태에서 엔진의 진동가속도가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 농산물이 적재되지 않은 정적인 상태에서 엔진의 출력에 따른 진동주파수와 진동수직가속도의 크기를 측정했고 농산물 적재 시와 농로에서의 실제 구동 시험은 추가로 실시할 계획이다.

엔진회전수 500rpm(저속), 1000rpm(정격속도), 1200rpm(고속)에서 10초 동안에 발생된 수직진동가속도를 엔진부위와 트레일러에서 진동주파수 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석했다.

3. 결과 및 고찰

가. 저속운전에서의 측정위치별 평균진동가속도

저속운전(500rpm)에서 측정위치별 평균진동가속도는 <그림 2>와 같다. 0.01%에서 0.027%까지의 비슷한 범위 내에 있었다. 그러나 운전자가 앉는 시트부분의 진동이 가장 크고, 트레일러 맨 앞쪽부분의 진동이 그 다음으로 크게 나타났다. 시트부분은 다른 측정부위에 비

하여 위치가 높고 프레임에 의하여 지지되어 있기 때문에 발생할 수 있는 떨림 현상이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

또한, 저속운전에서 진동주파수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도는 <그림 3>과 같다. 엔진부분과 히치부분은 100Hz미만 에 분포되어 있었고, 운전석부분은 400Hz의 범위까지 고르게 분포되어 있었으며, 트레일러부분(전방, 중앙, 후방)도 대부분 100 Hz 정도까지 분포되어 있었지만 0.3~1.0%에 이르는 순간가속도가 각각 한 두 차례 나타났다. 트레일러 전방부분이 가장 큰 1.0%이었고 중앙 및 후방 부분은 0.3%의 크기로 비슷했다.

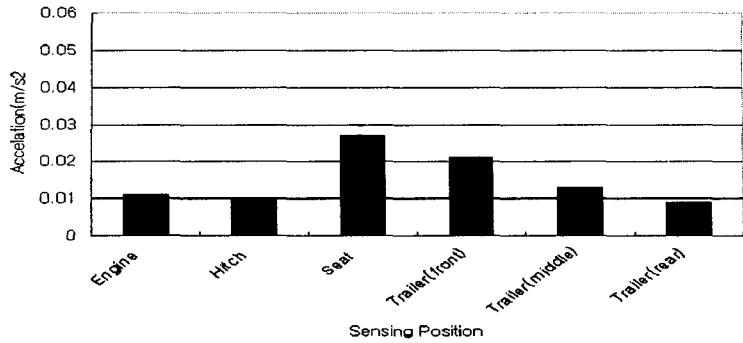


Fig. 2. Average accelerations by the sensing position at low(500rpm) speed.

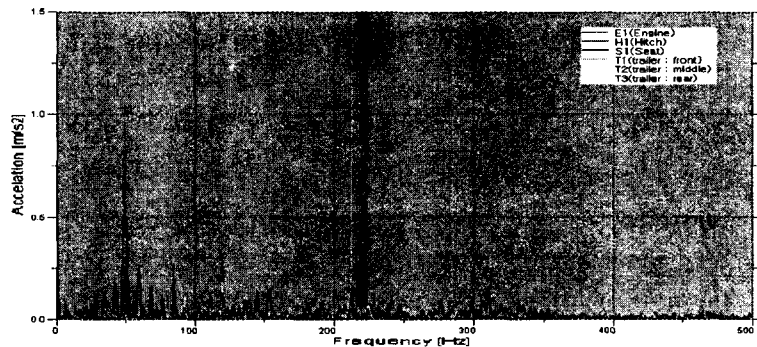


Fig. 3. Vertical accelerations by the sensing position at low(500rpm) speed.

나. 정격속도에서의 측정위치별 평균진동가속도

정격속도(1000rpm)에서 측정위치별 평균진동가속도는 <그림 4>와 같다. 0.01%에서 0.055%까지의 범위 내에 있었다. 엔진부분이 0.055%로 가장 크고, 나머지 부분은 0.01%정도로 거의 비슷한 값으로 측정되었다.

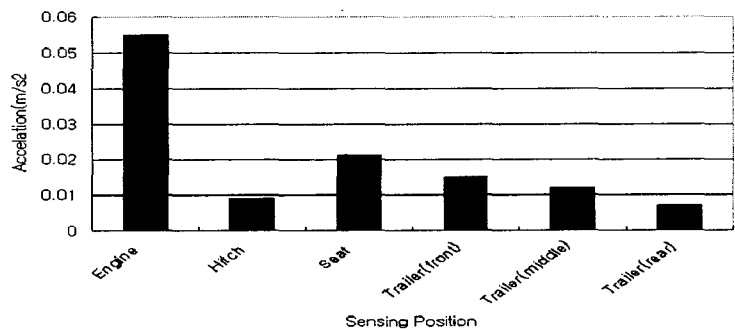


Fig. 4. Average accelerations by the sensing position at medium(1000rpm) speed.

정격출력운전에서 진동주

과수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도는 <그림 5>와 같다. 엔진부분과 히치부분은 저주파에서 큰 진동가속도가 발생되어 점차 고주파로 갈수록 낮아지는 경향을 보이며 300Hz정도에 달하면 거의 정속 운행되는 것으로 분석되었다. 운전석 부분은 379Hz의 범위까지 고르게 분포되어 있었으나

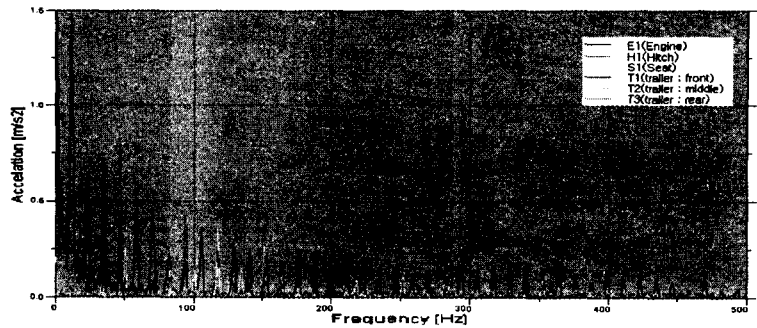


Fig. 5. Vertical accelerations by the sensing position at medium(1000rpm) speed.

0.2~0.3%의 높은 순간가속도가 두 차례 발생되었다. 트레일러의 전방, 중앙, 후방 부분도 대부분 100Hz에서 170Hz 정도까지 분포되어 있었고 40Hz에서 120Hz에서 한 두 차례 0.8%에 이르는 순간가속도가 발생되었다. 전방부분이 가장 큰 0.8%이었고 중앙, 후방 부분은 각각 0.4%, 0.2%의 크기로 나타났으며 이 값은 저속운전 때와 같은 경향이였다.

다. 고속운전에서의 측정위치별 평균진동가속도

고속운전(1200rpm)에서 측정위치별 평균진동가속도는 <그림 6>과 같다. 0.011%에서 0.023%까지의 범위 내에 있었다. 엔진부분, 운전석부분, 트레일러의 전방부분에서 높은 것으로 측정되었으나 그 차이는 아주 작았다. 이 결과는 정격속도운전과 거의 동일한 경향이였다.

고속운전에서 진동주파수에 따른 측정위치별 평균수직진동가속도는 <그림 7>과 같다. 엔진부분, 히치부분, 운전석부분은 400Hz정도까지 고르게 분포되어 있었고, 엔진부분과 히치부분은 80Hz에서, 운전석부분은 140Hz에서 한차례씩 각각 0.8%, 0.5%, 0.3%의 순간 가속도가 발생되었다. 트레일러의 전방, 중앙, 후방 부분에서도 대부분 500Hz까지 고르게 나타났고 0.3% 정도의 높은 순간가속도가 두 세 차례 발생되었다.

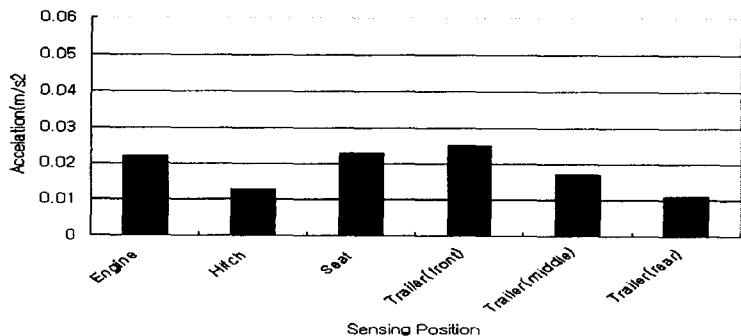


Fig. 6. Average accelerations by the sensing position at high(1200rpm) speed.

4. 요약 및 결론

본 연구는 동력경운기의 차체 진동이 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 엔진의 출력에 따른 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 시행하였다.

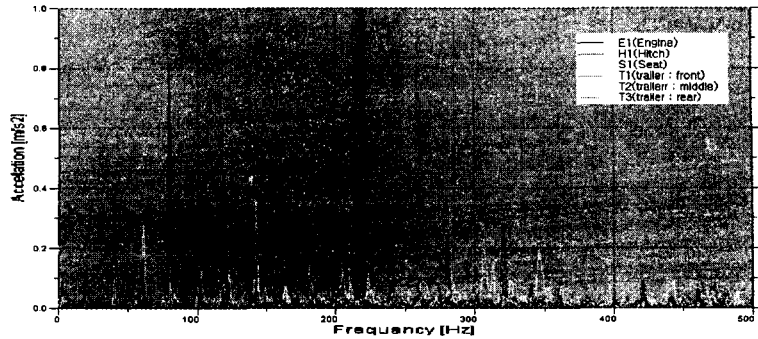


Fig. 7. Vertical accelerations by the sensing position at high(1200rpm) speed.

본 연구의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 저속운전에서 평균수직진동가속도는 0.01%에서 0.027%까지의 범위 내에 있었다. 그러나 운전자가 앉는 시트부분의 진동이 가장 크고, 트레일러 맨 앞쪽부분의 진동이 그 다음으로 크게 나타났다. 시트부분은 다른 측정부위에 비하여 위치가 높고 프레임에 의하여 지지되어 있기 때문에 발생할 수 있는 떨림 현상이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.
- 나. 저속운전에서 평균수직진동가속도는 엔진부분과 히치부분은 100Hz미만에 분포되어 있었고, 운전석부분은 400Hz의 범위까지 고르게 분포되어 있었다. 트레일러의 전방, 중앙, 후방 부분도 대부분 100Hz 정도까지 분포되어 있었지만 0.3~1.0%에 이르는 순간가속도가 각각 한 두 차례 나타났다.
- 다. 정격출력운전에서 평균수직진동가속도는 엔진부분과 히치부분은 저주파에서 큰 진동가속도가 발생되어 점차 고주파로 갈수록 낮아지는 경향을 보이며 300Hz정도에 달하면 거의 정속 운행되는 것으로 분석되었다. 운전석부분은 379Hz의 범위까지 고르게 분포되어 있었으나 0.2~0.3%의 높은 순간가속도가 두 차례 발생되었다.
- 라. 정격출력에서 평균수직진동가속도는 트레일러의 전방, 중앙, 후방 부분은 대부분 100Hz에서 170Hz 정도까지 분포되어 있었고 40Hz에서 120Hz에서 한 두 차례 0.8%에 이르는 순간가속도가 발생되었다. 전방부분이 가장 큰 0.8%이었고 중앙, 후방 부분은 각각 0.4%, 0.2%의 크기로 나타났으며 이 값은 저속운전 때와 같은 경향이였다.
- 마. 고속운전에서 평균수직진동가속도는 엔진부분, 히치부분, 운전석부분은 400Hz정도까지 고르게 분포되어 있었고, 엔진부분과 히치부분은 80Hz에서, 운전석부분은 140Hz에서 한 차례씩 각각 0.8%, 0.5%, 0.3%의 순간 가속도가 발생되었다. 트레일러의 전방, 중앙, 후방 부분도 대부분 500Hz까지 고르게 나타났고 0.3% 정도의 높은 순간가속도가 두 세 차례 발생되었다.

5. 참고문헌

1. 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
2. Hong, J. H and H. J. Lee. 2000. Optimum Transport Systems of Agricultural Products(Ⅰ). -Accumulated Heat Units and Shelf Life-. The Korean Society for Agricultural Machinery. 5(2): 142-147
3. 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
4. Hinsch, R. T., D. C. Slaughter, W. L. Craig and J. F. Thompson. 1993. Vibration of Fresh Fruits and Vegetables During Refrigerated Track Transport. Trans. of the ASAE 36(3): 1039~1042
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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