

동력경운기-트레일러 시스템의 3차원 진동 특성

3 Dimensional Vibration Characteristics of Power Tiller-Trailer System

홍중호* 이성범* 김성엽*

정희원 정희원 정희원

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

1. 서론

농산물의 품질은 생산자에서 최종 소비자에게 도착될 때까지의 일련의 취급과정에서 발생하는 생리적, 환경요인에 의해 좌우되며 단 한번의 부주의에 의한 취급도 바로 품질저하로 연결되는 되돌릴 수는 없는 나쁜 결과를 만든다. 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.

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 보고되어 다른 연구자들과는 상반된 결과를 보고했다(Hinsch, 1993). 트럭과 기차로 감자를 수송할 때 수확 후 즉시 수송할 때는 20%의 타박상(Shatter bruise)이 나타났고, 저장되었던 감자를 수송했을 때는 45%의 타박상이 나타났지만 심한 타박상은 3%정도였다. 적재시(Landing dock)의 거칠은 취급(Rough handling)으로 인한 타박상이 수송 중에 생기는 타박상 보다 많았고 멍든 상처(Blackspot bruise)로 인한 손상은 갓 수확한 감자를 수송할 때는 없었고 저장된 감자를 수송했을 때는 1%정도 발생했다(Grant, 1986). 과일을 높게 적재할 때 사과가 받는 스트레스를 이완시키는 방법을 개발하려는 연구에서 0.7~1.7m/s로 수송할 때의 스트레스 이완 기능은 정적 적재율에서 나타난 결과와는 유의성이 없었다. 과일 충격을 유한요소법에 의해 해석한 시뮬레이션 결과에서 동전단 이완 기능으로 계산된 결과가 정전단 이완기능으로 계산된 결과보다는 실험적 결과로 얻은 값에 더 접근했다(Chen, 1986).

파레트에 배를 적재하여 수송중의 진동수를 변화시켜 배의 물리적 손상관계를 연구한 실험에서 진동수 40Hz이하에서 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 과

* 한경대학교 생물자원기계학과

일 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). 수송중의 진동 피해가 적재물의 상층부에서 가장 심하고 가속도는 9.8%에 해당되었다(O'Brien, 1965).

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.

본 연구는 수송과정 중에 트레일러의 저주파 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 근원적으로 방지하기 위하여 동력경운기 트레일러에 현가장치를 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 3차원 진동가속도를 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

진동측정은 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/s의 속도로 실제 농로에서 시험한 결과로서 상반된 결과가 도출된 것으로 보인다. 따라서 정적

인 상태와 동적인 상태의 실제 도로에서 엔진에서 발생된 진동가속도의 크기가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악해 볼 필요가 있다.

본 시험에 사용된 측정센서의 부착위치는 <그림 1>과 같으며 측정부위는 엔진의 상단부분과 트레일러의 최후방 중앙부의 프레임으로 지지되어 있는 바닥지점을 택하여 측정센서를 부착했고 순간 진동이 발생할 수 있는 소지를 사전에 차단하여 X, Y, Z축의 3차원 가속도를 측정하였다. 트레일러의 형상은 완전평면이며 두께가 일정하고, 휨이 없는 하나의 강체로 보았으며, 회전관성과 전단변형은 무시하였다. 진동가속도 측정센서 및 FFT분석기의 사양은 <표 1>과 같다.

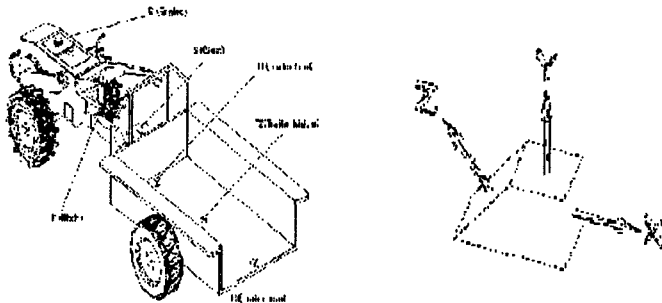


Fig1. Sensing Position of the vibration sensor and sensing setting stage.

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

엔진만 시동한 상태에서 엔진의 진동가속도가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 농산물이 적재되지 않은 정적인 상태에서 엔진의 출력에 따른 X, Y, Z축의 진동주파수와 진동가속도의 크기를 측정했고 농산물 적재 시와 농로에서의 실제 구동 시험은 추가로 실시할 계획이다.

엔진회전수 500rpm(저속), 1000rpm(정격출력), 1200rpm(고속)에서 10초 동안에 발생된 X, Y, Z축의 평균진동가속도를 엔진부위와 트레일러의 끝 부분에서 진동주파수 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석했다.

3. 결과 및 고찰

가. 저속운전에서의 평균진동가속도

저속운전(500rpm)에서 진동주파수에 따른 엔진부위에 대한 X, Y, Z축의 평균진동가속도는 <그림 2>와 같다. X축(수평)의 평균진동가속도의 값은 0.0085 ㎍이었고, Y축(수직)은 0.0238 ㎍이었으며, Z축은 0.0182 ㎍이었다. 평균 수직가속도가 수평가속도보다는 2.8배 이상 높게 나타났고, Z축보다는 1.3배 이상 높은 것으로 측정되었다. 이것은 Hinsch(1993) 등이 발표한 결과와 일치되는 결과이며 정지상태가 아닌 농로를 주행하면서 측정하면 도로의 불균일로 인한 충격 등의 영향으로 더욱 큰 차이가 생길 것으로 예측되며 수직 진동의 감소에 대한 트레일러의 개량이나 적재 방법에 대한 개선방안이 강구되어야 하겠다. 수평 및 수직 평균진동가속도는 5~300Hz까지 넓게 산재되어 있는 반면 Z축의 평균진동가속도의 값은 20~150Hz사이에 집중되어 있었다.

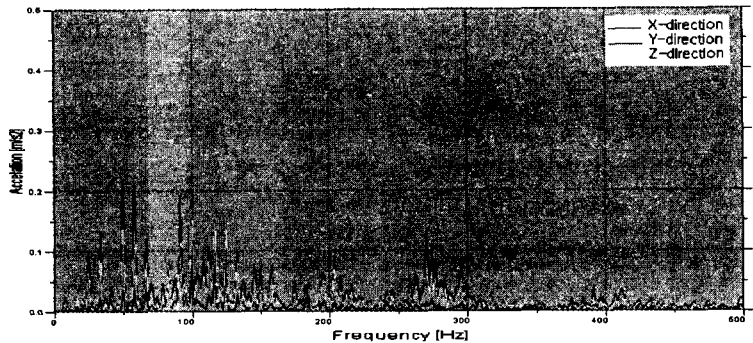


Fig. 2. 3-Dimensional vibration accelerations at engine part in low(500rpm) speed.

엔진의 평균진동가속도의 변화가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위한 X, Y, Z축에서의 진동주파수의 변화에 대한 평균진동가속도는 <그림 3>과 같았다. 트레일러에서 평균수평가속도의 값은 0.0162 ㎍이었고, 수직평균가속도 값은 0.013 ㎍이었으며, Z축은 0.0106 ㎍이었다. X, Y, Z축 공히 0.01 ㎍ 내외로 거의 비슷한 값으로 나타나 엔진부위와는 차이를 보이지만 그 값은 모두 약간씩 감소되었다. 그러나 주목해야 할 점은 X, Y, Z축 공히 90Hz 내외에서 높은 가속도가 발생되어 저주파 형태로 변화된다는 것이다. 수평최대가속도 값은 80Hz에서 0.19 ㎍로 전체 평균가속도 값의 12배였고, 수직최대가속도 값은 90Hz에서 0.34 ㎍으로 전체 평균가속도 값의 26배였으며, Z축의 최대가속도 값은 80Hz에서 0.18 ㎍로 전체 평균가속도

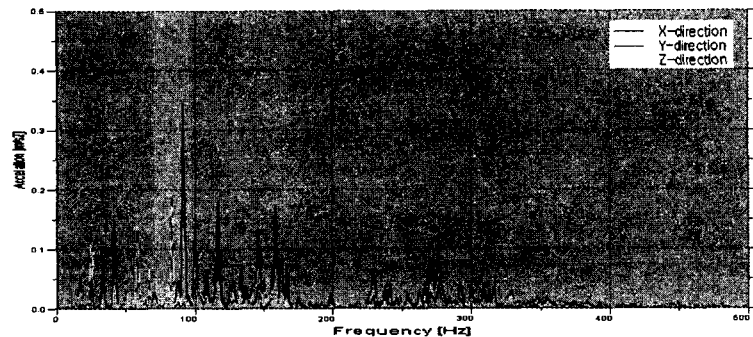


Fig. 3. 3-Dimensional vibration accelerations at trailer part in low(500rpm) speed.

값의 17배에 달했다. 특히 Y축과 Z축에서 이러한 현상이 더욱 심해 실제 도로 주행 시에는 충격으로 인한 최대진동가속도의 크기가 더욱 증가될 것으로 예상할 수 있다. 특히 100Hz미만의 저주파가 농산물 수송손실의 가장 큰 요인이 되므로 이에 대한 방지 대책이 요망된다 (Hinsch, 1992. Slaughter, 1993).

나. 정격속도에서의 평균진동가속도

정격속도(1000rpm)에서 진동주파수에 따른 엔진부위에 대한 X, Y, Z축의 평균진동가속도는 <그림 4>와 같다. 평균수직가속도가 수평가속도보다는 2.7배 낮게 나타났고, Z축보다는 1.3배 높은 것으로 측정되었다. 이 결과는 Z축에서는 저속 운전 시와 같은 결과이나 수직가속도에서는 반대되는 결과로 나타났다. 3축 모두 평균진동가속도는 30-300Hz까지 넓은 범위에 분포되어 있었다. 그러나 최대가속도 값은 수평가속도는 270Hz에서 0.38%였고, 수직가속도는 120Hz에서 0.18%였으며, Z축에서는 270Hz에서 0.28%로 나타났다.

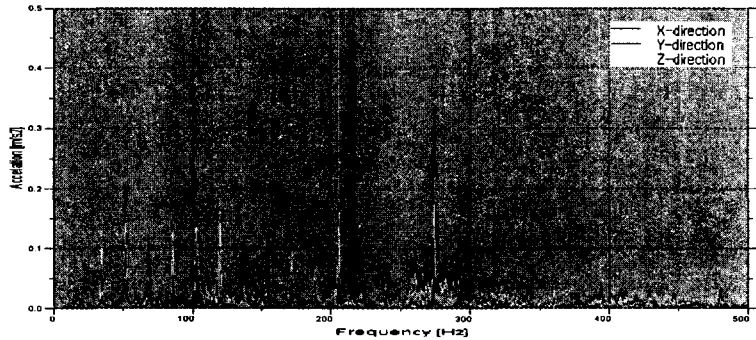


Fig. 4. 3-Dimensional vibration accelerations at engine part in medium(1000rpm) speed.

트레일러에서의 X, Y, Z축의 진동주파수의 변화에 대한 평균진동가속도는 <그림 5>와 같다. 트레일러에서 평균수평가속도의 값은 0.0164%였고, 수직평균가속도 값은 0.011%였으며, Z축은 0.0104%이었다. X, Y, Z축 공히 0.01% 내외로 거의 비슷한 값으로 나타나 저속운전에서와 거의 비슷한 값으로 나타났다. 그러나 X, Y, Z축 공히 20~300Hz의 넓은 범위에 안에서 0.05% 정도의 높은 가속도가 발생되었다. 수평최대가속도 값은 100Hz에서 0.31%로 전체 평균가속도 값의 19배였고, 수직최대가속도 값은 70Hz에서 0.29%으로 전체 평균가속도 값의 26배였으며, Z축의 최대가속도 값은 110 Hz에서 0.28%로 전체 평균가속도 값의 27배에 달

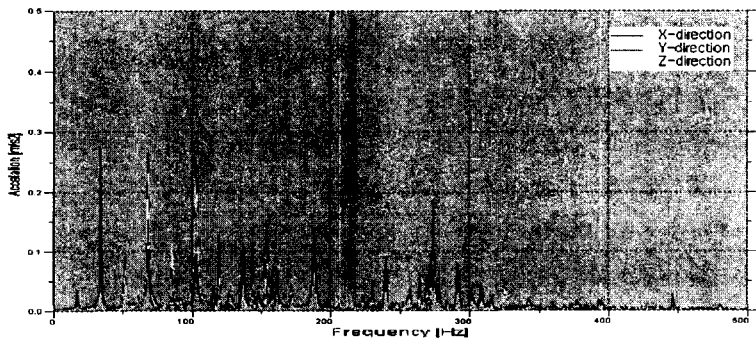


Fig. 5. 3-Dimensional vibration accelerations at trailer part in medium(1000rpm) speed.

했다. 전체적으로 최대가속도가 발생하는 진동주파수는 40Hz에서 100Hz 사이에서 발생되어 농산물의 수송손상에 가장 큰 영향을 미치는 범위 내에 분포되어 있다.

다. 고속운전에서의 평균진동가속도

고속운전(1200rpm)에서 진동주파수에 따른 엔진부위에 대한 X, Y, Z축의 평균진동가속도는 <그림 6>과 같다. 평균수직가속도는 0.01m/s²로 수평가속도 0.03m/s²보다는 3배 낮게 나타났고, Z축의 0.02m/s²보다는 2

배 낮은 것으로 측정되어 이 결과는 저속운전 때와 일치된다. 3축 모두 평균 진동가속도는 30~350Hz까지 넓은 범위에 분포되어 있었다. 그러나 최대가속도 값은 X, Y, Z축 공히 100 Hz에서 나타났으며 X축에서는 0.31m/s²이었고, Y축에서는 0.18m/s²이였으며, Z축에서는 0.28m/s²로 나타났다.

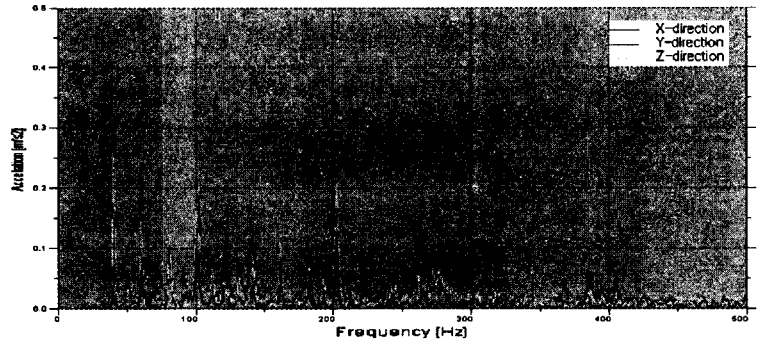


Fig. 6. 3-Dimensional vibration accelerations at engine part in high(1200rpm) speed.

트레일러에서의 X, Y, Z축의 진동주파수의 변화에 대한 평균진동가속도는 <그림 7>과 같다. 트레일러에서 평균수평가속도의 값은 0.0293m/s²이었고, 수직평균가속도 값은 0.0194m/s²이였으며, Z축은 0.022m/s²이었다. X, Y, Z축 공히 0.02~0.03m/s² 내외의 높은 가속도를 보였다. 특히 X, Y, Z축 공히 40~170Hz사이에서 0.03m/s² 정도의 높은 가속도가 발생되었다. 최대 가속도 값은 X, Y, Z축 공히 60Hz에서 나타났고 X축에서는 1.2m/s²로 전체 평균가속도 값의 31 배였고, 수직최대가속도 값은 1.1m/s²으로 전체 평균가속도 값의 57배였으며, Z축의 최대가속도 값은 1.9m/s²로 전체 평균

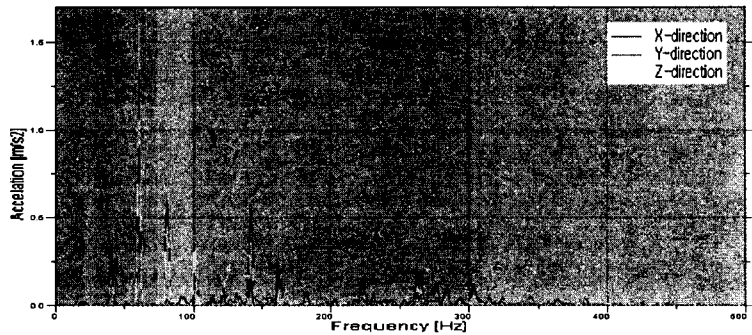


Fig. 7. 3-Dimensional vibration accelerations at trailer part in high(1200rpm) speed.

가속도 값의 86배에 달했다. 최대가속도가 발생하는 진동주파수가 60Hz로 농산물의 수송손상에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 우려되는 결과이다. 특히 농민들이 동력경운기를 운전할 때 습관적으로 최대 속도로 운전하고 있는 관행은 농산물 수송손실에 가장

큰 문제점으로 지적될 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 동력경운기의 엔진진동이 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 엔진의 출력에 따른 트레일러의 3차원 진동가속도를 측정하여 그 진동가속도와 주파수의 크기가 수송 중인 농산물에 손상을 입힐지를 파악하고 그 손상방법을 줄이기 위한 방법을 강구하기 위한 기초시험으로 시행하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 저속운전에서 엔진부위의 평균진동가속도 값은 X축이 0.0085 ㄹ이었고, Y축은 0.0238 ㄹ이었으며, Z축은 0.0182 ㄹ이었다. 평균수직가속도가 X축보다는 2.8배 이상 높게 나타났고, Z축보다는 1.3배 이상 높은 것으로 측정되었다
- 나. 저속운전에서 트레일러의 평균진동가속도 값은 X축이 0.0162 ㄹ이었고, Y축이 0.013 ㄹ이었으며, Z축은 0.0106 ㄹ이었다. 수평최대가속도 값은 80Hz에서 0.19 ㄹ로 전체 평균가속도 값의 12배였고, 수직최대가속도 값은 90Hz에서 0.34 ㄹ으로 전체 평균가속도 값의 26배였으며, Z축의 최대가속도 값은 80Hz에서 0.18 ㄹ로 전체 평균가속도 값의 17배에 달했다.
- 다. 정격출력에서 트레일러의 평균진동가속도 값은 X축이 0.0164 ㄹ이었고, Y축이 0.011 ㄹ이었으며, Z축은 0.0104 ㄹ이었다. 수평최대가속도 값은 100Hz에서 0.31 ㄹ로 전체 평균가속도 값의 19배였고, 수직최대가속도 값은 70Hz에서 0.29 ㄹ으로 전체 평균가속도 값의 26배였으며, Z축의 최대가속도 값은 100Hz에서 0.28 ㄹ로 전체 평균가속도 값의 27배에 달했다.
- 라. 고속운전에서 트레일러의 평균진동가속도의 값은 X축이 0.0293 ㄹ이었고, Y축이 0.0194 ㄹ이었으며, Z축은 0.022 ㄹ이었다. 최대가속도 값은 X, Y, Z축 공히 60Hz에서 나타났고 X축에서는 1.2 ㄹ로 전체 평균가속도 값의 31배였고, 수직 최대가속도 값은 1.1 ㄹ으로 전체 평균가속도 값의 57배였으며, Z축의 최대가속도 값은 1.9 ㄹ로 전체 평균가속도 값의 86배에 달했다. 최대가속도가 발생하는 진동주파수가 60Hz로 농산물의 수송손상에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 우려되는 결과이다.

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