

동력경운기 트레일러 바닥의 폴리스티렌 몰딩이 수직진동에 미치는 영향

Vertical Accelerations by Mounting Polystyrene Material on Bottom of Power Tiller Trailer

이홍주* 홍종호* 이성범* 김성엽*
정회원 정회원 정회원 정회원

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

1. 서론

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. 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 취급 기간 중에 충격, 마찰, 눌림, 타박 등에 지속적으로 노출된다. 그러므로 농산물의 품질을 저하시키는 물리적인 손상을 최소화하기 위해 적절한 취급과 안전한 수송방법이 필요하다.

본 연구는 트레일러의 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 방지하기 위하여 동력경운기 트레일러 바닥에 폴리스티렌을 깔고 엔진을 운전할 때 발생한 진동과 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 상태로 운전할 때 발생한 진동이 배 상자의 위치에 따라 어떻게 전달되는지를 파악하여 배 상자의 적재위치에 따른 진동가속도의 크기와 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 및 측정장치구성

본 시험에 사용된 동력경운기는 정격출력 10PS의 수냉식 디젤엔진을 탑재한 것으로 중량 384kg인 이륜형이며, 트레일러의 적재정량은 1000kg, 최대 지상고는 1500mm이다. 적재함은 길이 1850mm, 폭 940mm, 높이 330mm인 4각형의 Nonsuspension system으로 진동흡수장치가 전혀 없는 것이며, 일반적으로 농가에서 많이 사용되고 있는 것을 사용했다.

* 한경대학교 생물자원기계학과

배의 적재방법은 <그림 1>과 같이 4층으로 평행하게 탑재하였고, 트레일러 바닥은 시중에서 가장 많이 유통되고 있는 건축자재용 발포 폴리스티렌 보온재 (고밀도 1호, 강도 30kg/mm², 두께 20mm)를 진행방향으로 바닥표면의 반을 깔았고 나머지 반의 바닥에는 그대로 두었다.

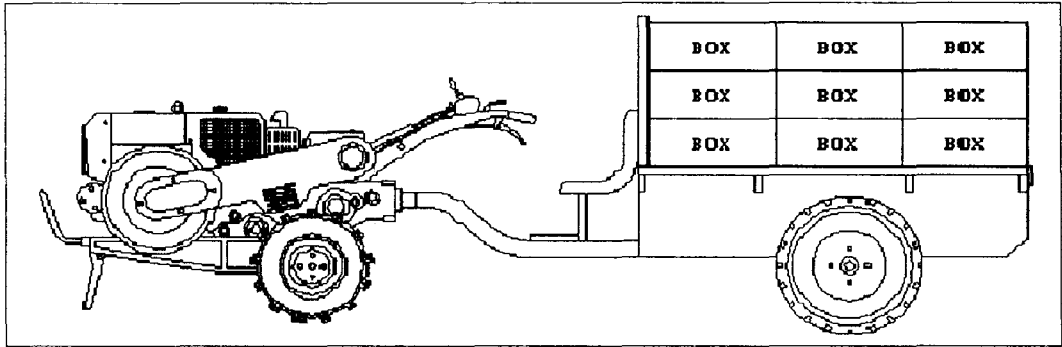


Fig. 1. Schematic diagram of the transporting trailer loaded with pear boxes.

측정부위는 Slaughter 등의 연구결과에서 트레일러 후방 상층부의 진동이 가장 크고 농산물의 안전수송에 가장 위험한 지점이라는 결과를 참고하여 트레일러 뒤쪽에 적재된 배 상자의 1층 상층부와 4층 상층부 각 1곳, 바닥재 처리 한 곳과 하지 않은 곳 등 총 4개 지점에 측정센서를 부착하였으며, 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 같으며, 또한 본 시험에 사용된 측정장치의 시스템구성은 <그림 2>와 같다.

실험에 앞서서 각 센서의 정확한 감도 값이 나오고 있는지를 측정하기 위하여, 각각의 센서를 여진추정기(Calibration Exciter)에 부착시켜 여진추정 프로그램을 통해 각 센서가 가지고 있는 기본 감도를 측정하였다.

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

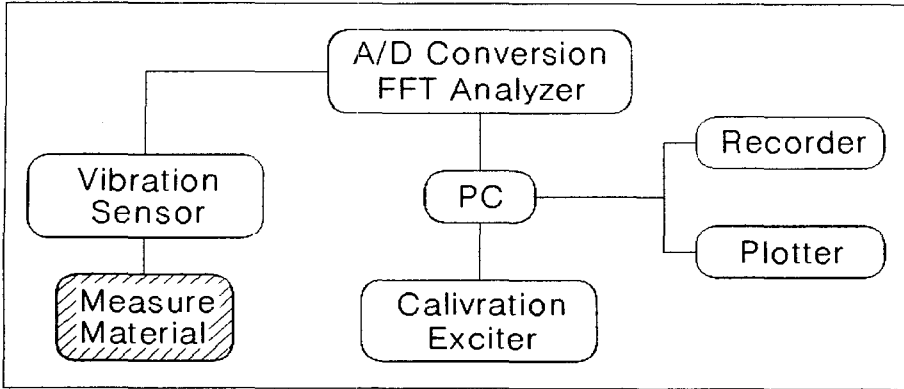


Fig. 2. Components of the vibration measuring system

나. 시험방법

엔진을 시동한 상태에서 엔진의 진동가속도가 트레일러에 어떻게 전달되는지를 파악하기 위하여 차량 정지상태에서 엔진회전수를 500rpm(저속), 1,000rpm(정격속도)으로 조정하여 시험하였다.

배 한 상자의 무게는 15kg으로 총 24상자를 4층으로 탑재하여 시험하였다(총 중량 360 kg). 농산물이 적재된 정적인 상태에서 엔진의 출력에 따른 진동주파수와 수직진동가속도의 크기를 측정하였다. 10초 동안에 발생된 수직진동가속도를 각 부위에서 동시에 0Hz에서 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 적재위치에 따른 수직진동가속도

엔진이 500rpm의 저속으로 운전될 때 트레일러에 전달되는 주파수별 수직진동가속도의 크기는 <그림 3>과 같다.

1층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 전체 평균수직가속도는 각각 0.003 $\%$ 와 0.005 $\%$ 이었으며, 최대수직가속도도 각각 0.04 $\%$ 와 0.08 $\%$ 로 측정되었다. 따라서 바닥재를 처리하지 않은 경우가 2배 정도의 수직가속도를 더 많이 받는 것으로 나타났다. 또한, 두 처리 모두 300Hz와 500Hz의 크기까지 주파수가 넓게 분포되어 있었고 특히 바닥재를 처리하지 않고 수송할 경우에는 300Hz에 이를 때에도 0.04 $\%$ 의 높은 가속도가 발생되는 것으로 나타났다.

4층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 전체 평균 수직가속도는 각각 0.0006 $\%$ 와 0.003 $\%$ 이었으며, 바닥재를 처리한 경우는 진동이 거의 나타나지 않는 반면 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 크게 감소하지 않았다. 최대수직가속도도 각각 0.03 $\%$ 와 0.07 $\%$ 로 측정되어 바닥재를 처리하지 않은 경우가 2배 이상의 진동을 더 많

이 받는 것으로 나타났다.

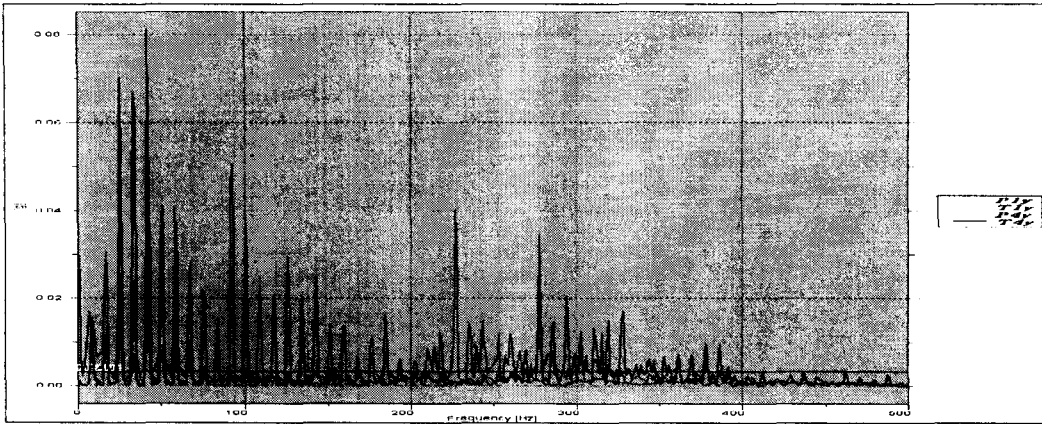


Fig. 3. The average vertical acceleration by frequencies at low speed (500rpm).

엔진이 1,000rpm의 정격속도로 운전될 때 트레일러에 전달되는 주파수별 수직진동가속도의 크기는 <그림 4>와 같다.

1층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우 평균수직가속도는 각각 0.005㎍와 0.006㎍로 비슷하였으며, 최대수직가속도도 각각 0.10㎍와 0.17㎍로 측정되어 비슷한 수직진동가속도를 나타냈다. 또한, 두 처리 모두 500Hz의 주파수에 이르기까지 가속도가 발생되어 바닥재의 처리가 크게 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

4층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우 평균수직가속도는 각각 0.0005㎍와 0.0008㎍로 측정되어 처리하지 않은 경우가 1.6배정도 높은 것으로 나타났다. 최대수직가속도도 각각 0.038㎍와 0.070㎍로 측정되어 바닥재를 처리하지 않은 경우의 수직진동가속도가 약 2배정도 높게 나타났다.

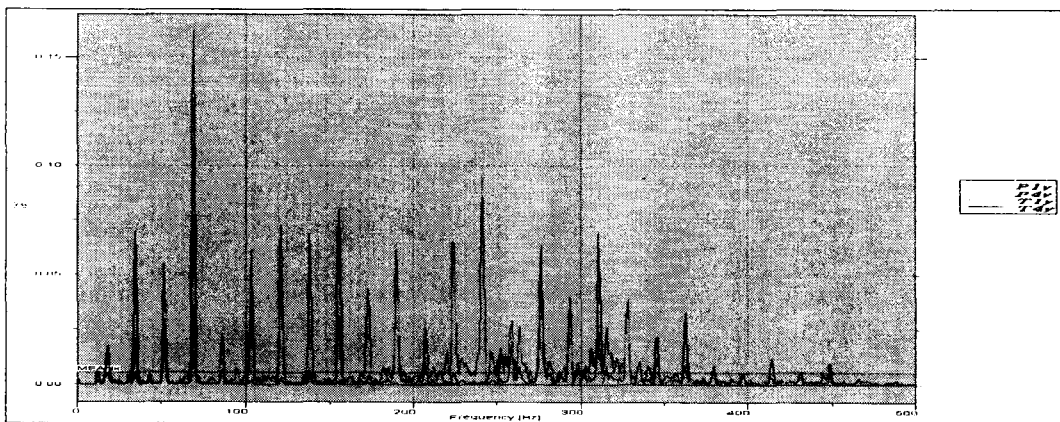


Fig. 4. The average vertical acceleration by frequency at standard speed(1000rpm).

나. 수직진동가속도의 누적분포도

엔진이 500rpm의 저속으로 운전될 때 트레일러에 전달되는 주파수별 평균수직진동가속도의 누적분포도는 <그림 5>와 같다.

1층 배 상자에서의 누적분포도는 바닥재를 처리한 경우에 500Hz에 이를 때까지 가속도가 점점 증가되었고, 처리하지 않은 경우에 300Hz 이상의 주파수에서는 가속도가 발생되지 않았다. 그러나 바닥재를 처리하지 않은 경우가 낮은 주파수의 발생이 많고 전체 발생된 가속도도 2배정도 많은 것으로 나타나 농산물의 손상을 더욱 가중시키는 것으로 분석되었다.

4층 배 상자에서의 누적분포도는 바닥재를 처리한 경우에 140Hz이상의 주파수에서는 가속도가 발생되지 않았고, 처리하지 않은 경우에 100Hz이상의 주파수에서는 가속도가 발생되지 않았다. 그러나 바닥재를 처리하지 않은 경우가 처리한 경우보다 가속도의 발생이 10배 이상 큰 것으로 나타나 바닥재만 간단히 깔아도 트레일러의 진동을 많이 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 1층 배 상자에서의 진동은 500Hz에 이르기까지 넓게 분포되어 있고 4층 배 상자에서의 진동은 100Hz 미만의 저주파가 많이 발생되어 상대적으로 고층에 적재된 농산물이 수송 중에 입게 되는 손상이 클 것으로 예상된다.

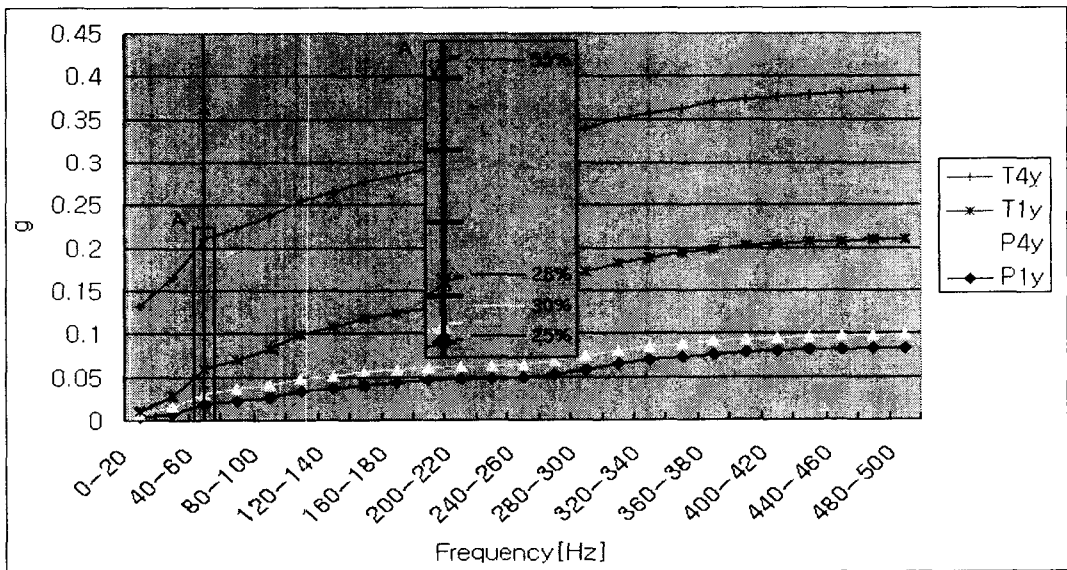


Fig. 5. The accumulated accelerations by frequencies at low speed (500rpm).

100Hz미만의 진동가속도가 배의 수송손실에 결정적인 영향을 미친다는 Shaugter(1993) 등의 연구결과를 적용하여 분석하였다. 즉, 누적분포도가 거의 평행선에 이르는 500Hz까지의 총 누적 진동가속도 중에서 100Hz 미만이 차지하는 비율을 분석한 결과, 4층 배 상자에서는 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 55%, 처리한 경우에는 30%로 나타나 바닥재를 처리한 경우가 상대적으로 매우 적은 저주파가 발생되었다. 1층 배 상자에서는 폴

리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 28%로, 처리한 경우의 25%보다 약간 높게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 결과적으로 총 발생주파수중 100Hz 미만의 저주파가 차지하는 비중이 전체 발생주파수의 1/4 이상을 차지하는 것으로 분석되어 트레일러에 현가장치 등을 설치하여 저주파 발생 요인을 줄이는 방법이 절실히 필요하다.

엔진이 1000rpm의 정격속도로 운전될 때 트레일러에 전달되는 주파수별 평균수직진동가속도의 누적분포도는 <그림 6>과 같다.

1층 배 상자에서의 누적분포도는 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우 모두 500 Hz에 이르기까지 일정하게 가속도가 증가되는 경향을 보였다.

4층 배 상자에서의 누적분포도도 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우 모두 140Hz이상의 주파수에서는 가속도가 거의 발생되지 않는 비슷한 경향을 보였다. 그러나, 바닥재를 처리하지 않은 경우가 처리한 경우보다 가속도의 발생이 2배 이상 큰 것으로 나타나 바닥재만 간단히 깔아도 트레일러의 진동을 반 이상 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 1층 배 상자에서의 진동은 500Hz에 이르기까지 넓게 분포되어 있고 4층 배 상자에서의 진동은 100Hz미만의 저주파가 많이 발생되어 상대적으로 고층에 적재된 농산물이 수송 중에 입게되는 손상이 클 것으로 예상된다.

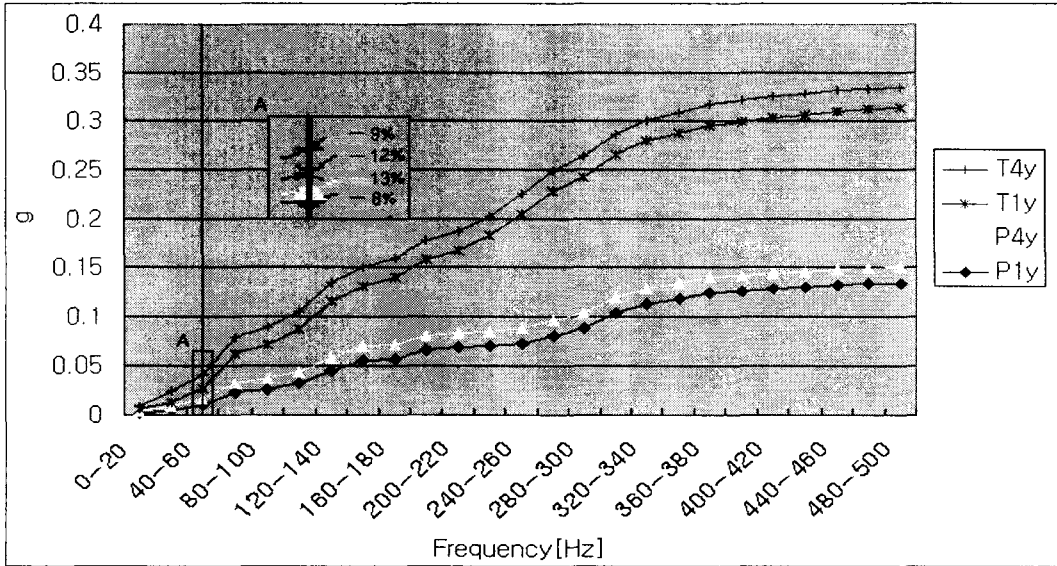


Fig. 6. The accumulated accelerations at standard speed (1000rpm)

그리고, 누적분포도가 거의 평행선에 이르는 500Hz까지의 총 누적 진동가속도 중에서 100Hz 미만이 차지하는 비율을 분석한 결과, 4층 배 상자에서는 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 12%, 처리한 경우에는 13%로 나타나 비슷한 발생 빈도를 보였다. 1층 배 상자에서도 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 9%로, 처리한 경우의 8%와 비슷한 경향을 보였다. 결과적으로 총 발생주파수 중 100Hz 미만의 저주파가 차지하는 비중

이 전체 발생주파수의 1/10 정도를 차지하는 것으로 분석되어 정격출력으로 엔진을 운전하는 것이 저주파 발생을 줄이는 한가지 방법이 될 수 있다고 판단된다.

4. 요약 및 결론

트레일러의 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 방지하기 위하여 동력경운기 트레일러 바닥에 폴리스티렌을 깔고 엔진을 운전할 때 발생한 진동과 바닥재를 처리하지 않은 상태로 운전할 때 발생한 진동이 배 상자의 위치에 따라 어떻게 전달되는지를 파악하여 배 상자의 적재위치에 따른 진동가속도의 크기와 주파수의 크기가 수송 중인 농산물에 손상을 입힐 수 있는 범위 안에 있는지를 파악하기 위한 기초시험으로 시행하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 저속운전에서는 총 누적 진동가속도 중에서 100Hz 미만이 차지하는 비율이 4층 배 상자에서는 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 55%, 처리한 경우에는 30%로 나타나 바닥재를 처리한 경우가 상대적으로 매우 적은 저주파가 발생되었다. 1층 배 상자에서는 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 28%, 처리한 경우의 25%보다 약간 높게 나타났다. 그러나 그 차이는 크지 않았다. 따라서, 총 발생주파수 중 100Hz 미만의 저주파가 차지하는 비중이 전체 발생주파수의 1/4 이상을 차지하는 것으로 분석되어 트레일러에 현가장치 등을 설치하여 저주파 발생 요인을 줄이는 방법이 절실히 필요하다.

2) 정격운전에서는 총 누적 진동가속도 중에서 100Hz 미만이 차지하는 비율이 4층 배 상자에서는 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 12%, 처리한 경우에는 13%로 나타나 비슷한 발생 빈도를 보였다. 1층 배 상자에서도 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 9%, 처리한 경우의 8%와 비슷한 경향을 보였다. 결과적으로 총 발생주파수 중 100Hz 미만의 저주파가 차지하는 비중이 전체 발생주파수의 1/10 정도를 차지하는 것으로 분석되어 정격출력으로 엔진을 운전하는 것이 저주파 발생을 줄이는 한가지 방법이 될 수 있다고 판단된다.

5. 참고문헌

- 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) 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) 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
- 12) 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