

동력경운기 트레일러 바닥의 폴리스티렌 몰딩이 3차원진동에 미치는 영향

3-Dimensional 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

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.

Hinsch 등(1993)에 의하면 충격흡수 시스템이 갖추어진 대형 냉동 트레일러에 체리, 복숭아, 배, 토마토를 수송하였을 때 3.5Hz에서 수직가속도가 가장 크게 나타났고 9~25Hz에서는 이보다 약간 감소하였다. 또한 6~18Hz에서는 트레일러의 모든 위치에서 수직가속도의 크기가 비슷하게 나타났고 3.5Hz에서만 트레일러의 앞쪽보다 뒤쪽에서 수직가속도가 적은 것으로 보고되어 다른 연구자들과는 상반된 결과를 보고하였다. Grant 등(1986)에 의하면 트럭과 기차로 감자를 수송할 때 수확 후 즉시 수송할 때는 20%의 타박상(Shatter bruise)이 나타났고, 저장되었던 감자를 수송할 때는 45%의 타박상이 나타났지만 심한 타박상은 3%정도였다. 적재시의 거칠은 취급으로 인한 타박상이 수송 중에 생기는 타박상 보다 많았고 명든 상처로 인한 손상은 갓 수확한 감자를 수송할 때는 없었고 저장된 감자를 수송할 때는 1%정도 발생했다. Slaughter 등(1993)에 의하면 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.

진동으로 인한 과일의 물리적 손상은 미생물 증식이나 과일 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 되며, 수송중의 진동피해가 적재물의 상층부에서 가장 심한 것으로 알려졌다. 즉, Slaughter(1993)에 의하면 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 주는 것으로 나타났다.

* 환경대학교 생물자원기계학과

따라서 본 연구는 트레일러의 진동으로 인한 농산물의 품질저하를 방지하기 위하여 동력 경운기 트레일러 바닥에 폴리스티렌을 깔고 엔진을 운전할 때 발생된 진동과 바닥재를 처리 하지 않은 상태로 운전할 때 발생된 진동이 배상자의 위치에 따라 어떻게 전달되는지를 파악하여 배 상자의 적재위치에 따른 진동가속도의 크기와 주파수의 크기가 수송 중인 농산물 에 손상을 입힐 수 있는 범위 안에 있는지를 파악하고 그 손상방법을 줄이기 위한 방안을 장구하기 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 1000kg이고 최대 지상고는 1500mm이다, 적재 함은 길이 1850mm, 폭 940mm, 높이 330mm인 4각형의 Nonsuspension system으로 진동흡 수장치가 전혀 없는 것이며, 일반적으로 농가에서 많이 이용되고 있는 것을 사용하였다.

배의 적재방법은 <그림 1>과 같이 4층으로 평행하게 탑재하였고, 트레일러 바닥은 시중 에서 가장 많이 유통되고 있는 건축자재용 발포 폴리스티렌 보온재(고밀도 1호, 강도 30 kg/mm², 두께 20mm)를 진행방향으로 바닥표면의 반을 깔았고 나머지 반의 바닥에는 그대로 두었다. 측정부위는 Slaughter 등의 연구결과에서 트레일러 후방 상층부의 진동이 가장 크 고 농산물의 안전수송에 가장 위험한 지점이라는 보고로 미루어 트레일러 뒤쪽에 적재된 배 상자의 1층 상층부와 4층 상층부 각 1곳, 폴리스티렌 바닥재를 처리한 곳과 처리하지 않은 곳 등 총 4개 지점에 측정센서를 부착하였으며, 순간 진동이 발생할 수 있는 소지를 사전에 차단하여 X, Y, Z축의 3차원 수직진동가속도를 측정하였다. 트레일러의 형상은 완전평면이 며 두께가 일정하고 휨이 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.

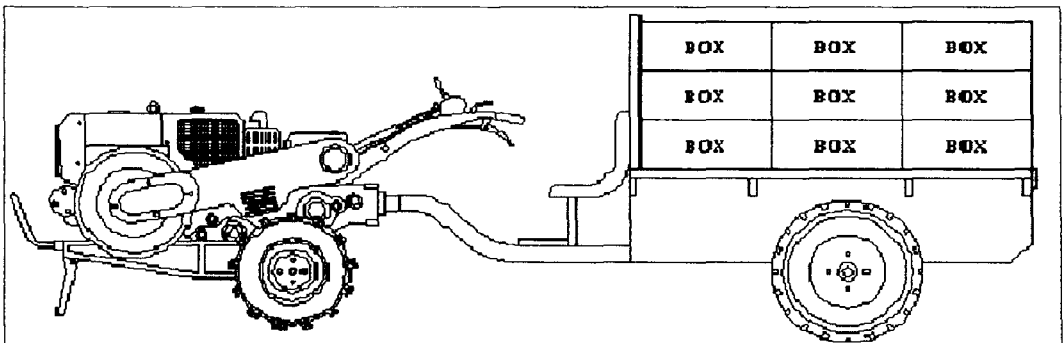


Fig. 1. Schematic diagram of the transporting trailer loaded with pear boxes.

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

Acceleration sensor(3-D)		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

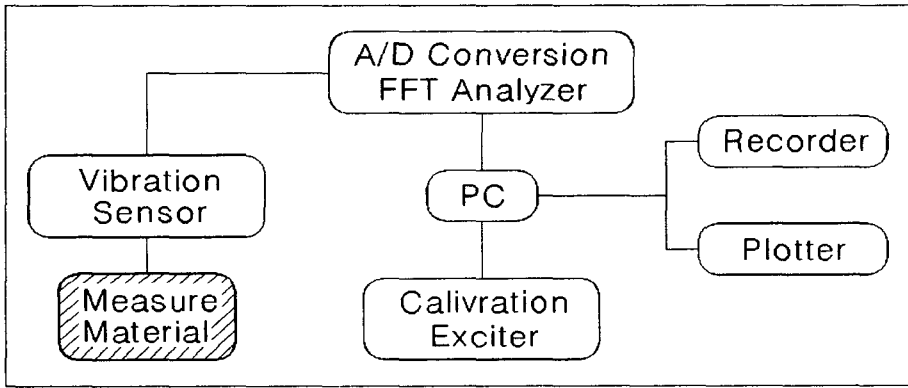


Fig. 2. Components of the vibration measuring system

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

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 전체 24상자를 4층으로 탑재하여 시험하였다(총 중량 360 kg). 농산물이 적재된 정적인 상태에서 엔진의 출력에 따른 진동주파수와 X, Y, Z축의 진동 가속도의 크기를 진동주파수 500Hz까지의 범위 내에서 측정 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 적재위치에 따른 3축 진동가속도

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

1층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 평균수직가속도는 각각 0.0033㎍와 0.0045㎍이었다. 최대수직가속도는 각각 0.04㎍와 0.08㎍로 측정되어 바닥재를 처리하지 않은 경우가 2배 정도의 가속도를 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 최대 0.04㎍의 높은 가속도가 발생하는 것으로 나타났다.

4층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우의 전체 평균 3축가속도 크기는 X, Y, Z축에서 각각 0.0005~0.0006㎍로 비슷한 크기로 발생하였고 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 X, Y, Z축에서 각각 0.0008㎍, 0.0026㎍, 0.0098㎍로 크게 나타나 바닥재를 처리한 경우 처리하지 않은 경우보다 1/2~1/20으로 진동을 크게 감소시킬 수 있었다.

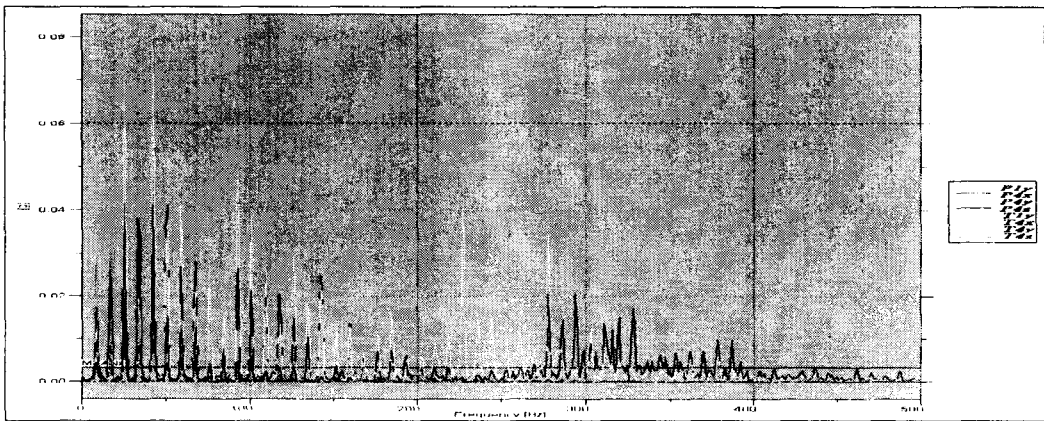


Fig. 3. The average 3-D acceleration by frequencies at low speed (500rpm).

엔진이 1,000rpm의 정격속도로 운전될 때 트레일러에 전달되는 주파수별 3축 진동가속도의 크기는 <그림 4>와 같다.

1층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 평균수직가속도는 각각 0.0053㎍와 0.0065㎍이었다. 바닥재를 처리한 경우의 최대수직가속도는 0.010㎍로 측정되어 바닥재를 처리하지 않은 경우의 0.170㎍보다 약 1/2 정도의 가속도를 받는 것으로 나타났다. 또한, 두 처리 모두 500Hz의 크기까지 주파수가 넓게 분포되어 있었고 특히 바닥재를 처리하지 않고 수송할 경우에는 300Hz에 이를 때에도 최대 0.10㎍의 높은 가속도가 발생하는 것으로 나타났다.

4층의 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우의 전체 평균 3축가속도는 X, Y, Z축에서 공히 0.0005~0.0006㎍로 비슷한 크기로 발생하였고 바닥재를 처리하지 않은 경우에도 X, Y, Z축에서 공히 0.0006~0.0008㎍로 나타나 비슷한 크기를 보였다.

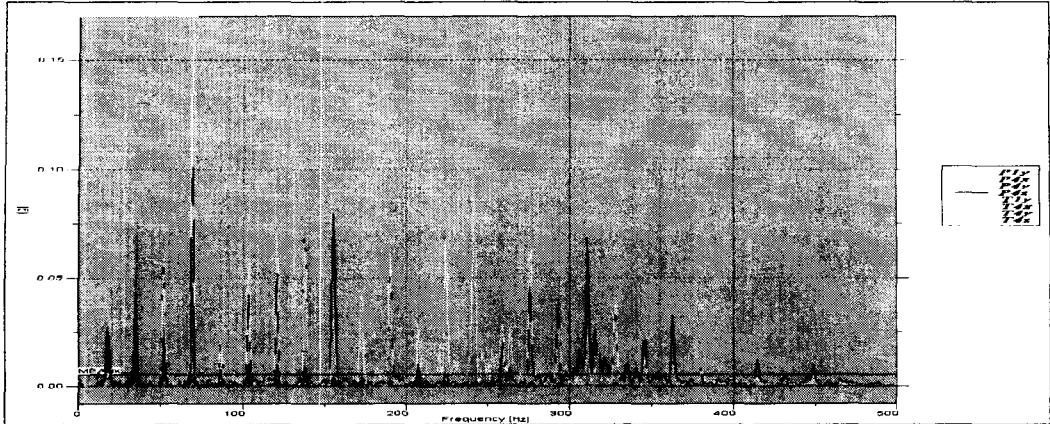


Fig. 4. The average 3-D acceleration by frequencies at standard speed (1000rpm).

나. 3축 진동가속도의 누적분포도

엔진이 500rpm의 저속으로 운전될 때의 3축 평균 진동가속도의 누적분포도는 <그림 5>와 같다.

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

4층 배 상자에서의 누적분포도는 바닥재를 처리한 경우에는 발생된 진동의 90%가 X축과 Y축에서는 100Hz이내에서, Z축에서는 140Hz이내에서 가속도가 발생하였다. 그러나 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 X축에서는 60Hz이내에서, Y축에서는 100Hz이내에서, Z축에서는 140Hz이내에서 가속도가 발생되어 바닥재를 처리하지 않은 경우에 더 많은 저주파가 발생된 것으로 나타나 심각한 수송손실이 예상된다.

100Hz 미만의 진동가속도가 배의 수송손실에 결정적인 영향을 미친다는 Shaughter(1993) 등의 연구결과를 적용하여 분석하였다. 즉, 누적분포도가 거의 평행선에 이르는 500Hz까지의 총 누적 진동가속도 중에서 100Hz 미만이 차지하는 비율을 분석한 결과, 진동가속도의 크기가 가장 큰 4층 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우와 처리한 경우에 Y축에서는 각각 58%와 33%, X축에서는 각각 38%와 30%, Z축에서는 각각 60%와 38%로 나타나 바닥재를 처리한 경우가 상대적으로 매우 적은 저주파가 발생되었다. 또한, 1층 배 상자에서의 Y축에서도 각각 33%와 22%로 나타나 같은 경향을 보였다. 따라서, 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우에 처리하지 않은 경우보다 8~25%까지 저주파 발생을 줄일 수 있었고 특히 충격 등으로 발생할 수 있는 수직진동가속도 중에서 저주파 발생을 25% 이상 감소시킬 수 있었다.

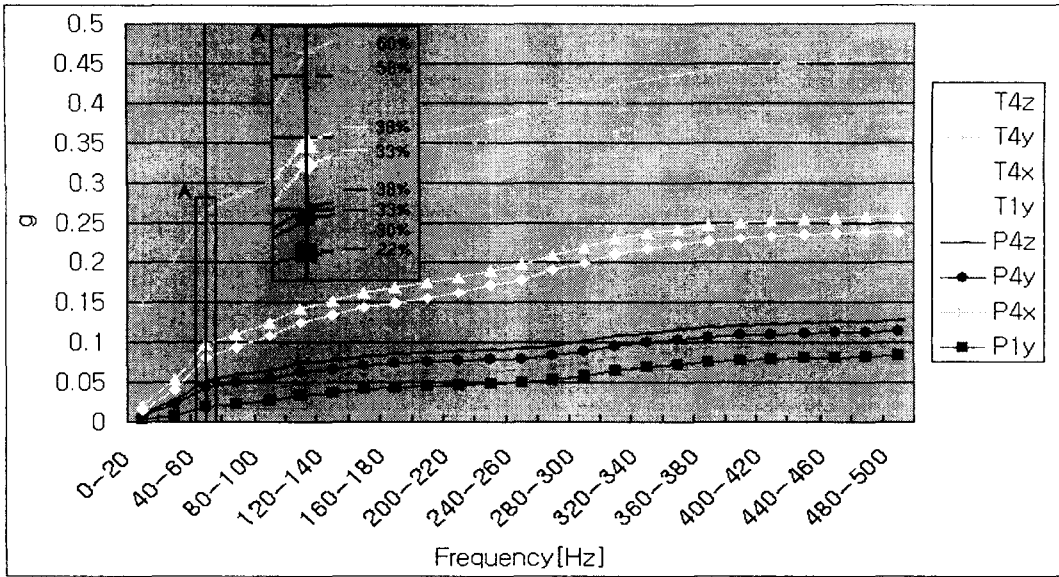


Fig. 5. The accumulated accelerations by frequencies at low speed (500rpm).

엔진이 1,000rpm의 정격속도로 운전될 때 3축 평균 진동가속도의 누적분포도는 <그림 6>과 같다.

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

4층 배 상자에서의 누적분포도는 바닥재를 처리한 경우에는 발생된 진동의 80%가 X축에서는 180Hz이내에서, Y축과 Z축에서는 140Hz이내에서 대부분의 가속도가 발생하였다. 그러나 바닥재를 처리하지 않은 경우에는 X축에서는 120Hz이내에서, Y축에서는 100Hz이내에서, Z축에서는 160Hz이내에서 대부분의 가속도가 발생되어 바닥재를 처리하지 않은 경우에 더 많은 저주파가 발생된 것으로 나타나 수송손실이 클 것으로 예상된다.

또한, 누적분포도가 거의 평행선에 이르는 500Hz까지의 총 누적 진동가속도 중에서 100Hz미만이 차지하는 비율을 분석한 결과, 진동가속도의 크기가 가장 큰 4층 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우와 처리한 경우에 Y축에서는 각각 18%와 19%, X축에서는 각각 14%와 13%, Z축에서는 각각 20%와 19%로 나타나 양 처리 모두 비슷한 비율의 저주파가 발생되었다. 또한, 1층 배 상자에서의 Y축에서도 각각 11%와 12%로 나타나 비슷한 경향을 보였다. 따라서, 농산물 수송을 위한 하역작업 시에도 엔진을 정격속도로 운전하여 저주파 발생 비율을 줄이는 지혜가 필요하다고 판단된다.

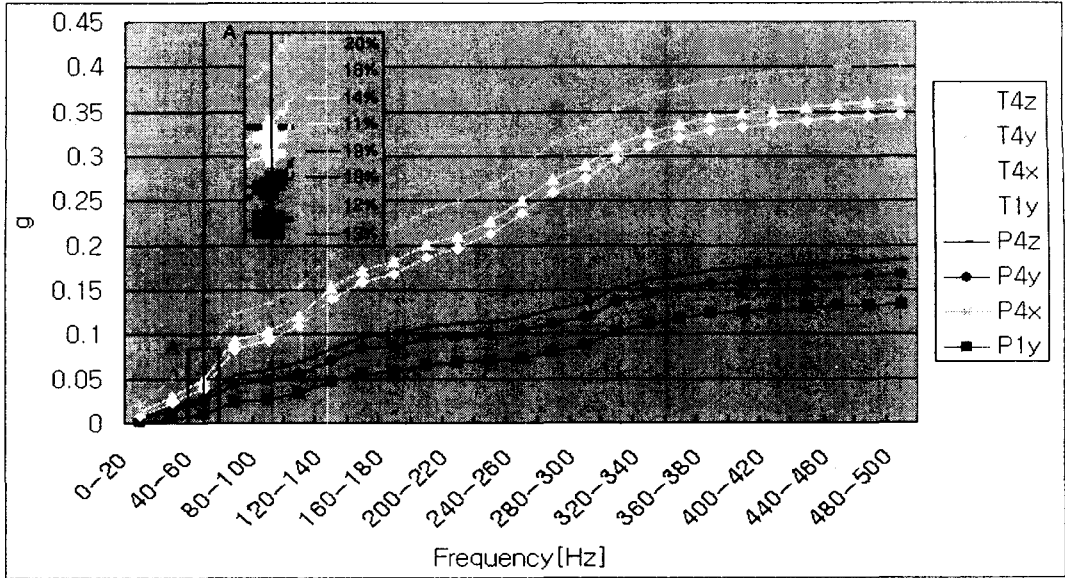


Fig. 5. The accumulated accelerations by frequencies at standard speed (1000rpm).

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 4층 배 상자에 어떻게 전달되는지를 파악하여, 발생한 진동가속도가 수송 중인 농산물에 손상을 입힐 수 있는 범위 안에 있는지를 파악하기 위하여 시행하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 저속운전에서 진동가속도의 크기가 가장 큰 4층 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우와 처리한 경우에 Y축에서는 각각 58%와 33%, X축에서는 각각 38%와 30%, Z축에서는 각각 60%와 38%로 나타나 바닥재를 처리한 경우가 상대적으로 매우 적은 저주파가 발생되었다. 또한, 1층 배 상자에서의 Y축에서도 각각 33%와 22%로 나타나 같은 경향을 보였다. 따라서, 폴리스티렌 바닥재를 처리한 경우에 처리하지 않은 경우보다 8~25%까지 저주파 발생을 줄일 수 있었고 특히 충격 등으로 발생할 수 있는 수직진동가속도 중에서 저주파 발생을 25% 이상 감소시킬 수 있었다.

2) 정격운전에서 진동가속도의 크기가 가장 큰 4층 배 상자에서 폴리스티렌 바닥재를 처리하지 않은 경우와 처리한 경우에 Y축에서는 각각 18%와 19%, X축에서는 각각 14%와 13%, Z축에서는 각각 20%와 19%로 나타나 양 처리 모두 비슷한 비율의 저주파가 발생되었다. 또한, 1층 배 상자에서의 Y축에서도 각각 11%와 12%로 나타나 비슷한 경향을 보였다. 따라서, 농산물 수송을 위한 하역작업 시에도 엔진을 정격속도로 운전하여 저주파 발생 비율을 줄이는 지혜가 필요하다고 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