

## 과실 수송 차량에 대한 진동의 계측과 분석

### Vibration measurement and analysis for fruits transportation vehicle.

김만수\* 김기복\*\* 조병관\* 정현모\*\*\* 김기석\* 박정길\* 김동진\*  
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원  
M. S. Kim K. B. Kim B. K. Cho H. M. Jung G. S. Kim J. G. Park D. J. Kim

#### 1. 서론

과실류 및 청과물은 수확 후 소비자에게 전달되기 전까지 저장, 선별 및 수송의 과정 중에 자체의 손상이 발생할 수 있다. 특히 수송과정 중 발생할 수 있는 다양한 진동 및 충격 현상은 과실 및 과실포장화물이 갖는 자체의 공진주파수 구간에서 가장 큰 손상을 유발하므로 수송 과정에서 제품의 손상을 최소화 시키는 방안이 강구되어야 한다.

일반적으로 수확된 농산물의 유통과정 중에 발생하는 기계적인 손상으로 인한 손실률은 약 30~40%에 이르는 것으로 알려져 있으며 이중에서 상당부분을 차지하고 있는 수확 후 수송과정 중에 발생하는 기계적인 영향으로 인한 손상을 줄이는 것은 더욱 중요한 부분으로 인식되고 있다.

과실의 수송방법으로는 화물차량을 이용하는 것이 가장 일반적이며 화물차량에 의한 과실의 수송 중 손상을 유발하는 요인으로서는 온도, 습도와 같은 환경적인 요인과 차량과 도로 상에서 유입되는 진동, 충격과 같은 물리적인 요인을 들 수 있다. 이중에서 수송용 화물차량에서 계측되는 진동 및 충격값들은 과실의 손상과 직접적으로 연관되어 있으며 적정포장설계를 통한 제품의 손상을 줄이기 위해서는 수송경로, 도로 상태와 적제상태에 따른 차량에 작용하는 진동 및 충격량 및 그 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다.

외국의 경우 과실의 수송경로 및 수송방법에 따른 수송차량내의 계측실험이 다양하게 수행되고 있으며 이러한 실험 자료는 과실의 수송 중 손상량을 예상할 수 있도록 수학적 모델의 개발에 활용되어 과실 및 농산물의 적정수송방법을 제안하고 있으며 또한 수송시 발생하는 과실의 손상을 최소화하여 경제적인 손실을 줄이고 과실류 적정포장설계의 개발에도 많은 자료를 제공하고 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 수송차량에 대해 도로 상태와 트럭내 화물적재부위에 따른 진동신호를 계측하여 과실의 수송 중 발생할 수 있는 진동의 유형과 그 크기를 분석하였다.

---

\* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 생물산업기계 전공  
\*\* 한국표준과학연구원 삶의 질 표준부  
\*\*\* 경북과학대학 패키징매니지먼트과

## 2. 재료 및 방법

본 연구는 그림 1에서와 같이 최대적재량이 1톤인 트럭의 화물적재공간의 앞, 중간 및 뒷 부분에 3축의 가속도계를 부착하여 주행 중에 발생하는 진동을 계측하였으며 실험에 사용된 차량은 그림 2와 같이 Leaf-spring방식의 후륜 현가장치를 장착한 1톤 소형트럭을 이용하였다.

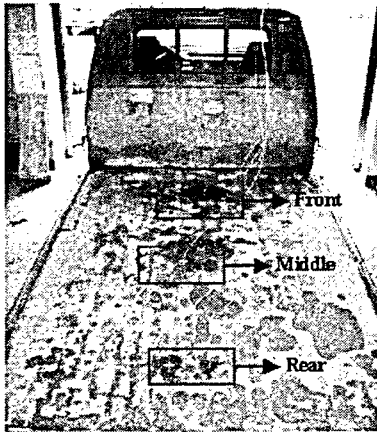


Fig. 2. Accelerometers attached on truck bed (front, middle, rear position).

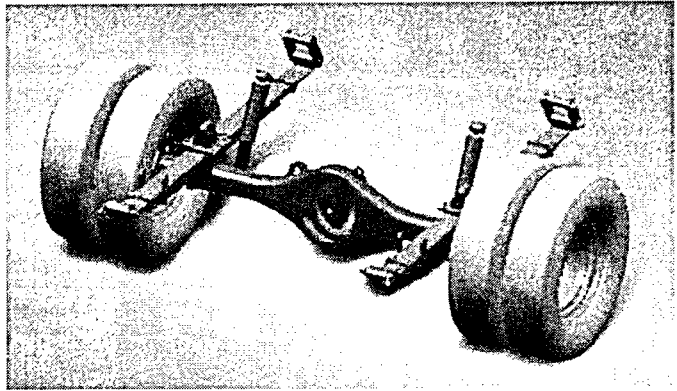


Fig. 3. Leaf-spring type suspension in rear wheel

주행 중 차량의 진동신호를 계측하기 위한 실험장치는 3축의 가속도계, 계측된 진동신호를 증폭시켜주는 증폭기, 일정 구간의 주파수를 계측하기 위한 컨트롤러 및 16채널의 아날로그 입력이 가능한 A/D보드가 내장된 컴퓨터기반의 데이터 수집, 저장장치로 구성되어 있고 시스템의 개략도는 그림 3과 같으며 실제 실험에 사용된 장치는 그림 4와 같다.

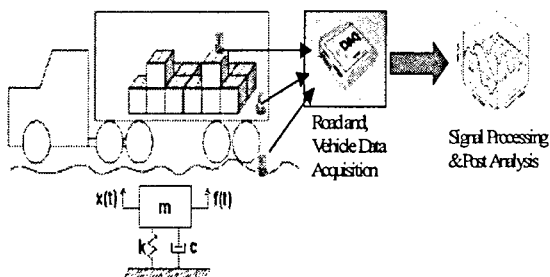


Fig. 4 Schematic diagram of the vibration measurement and analysis.

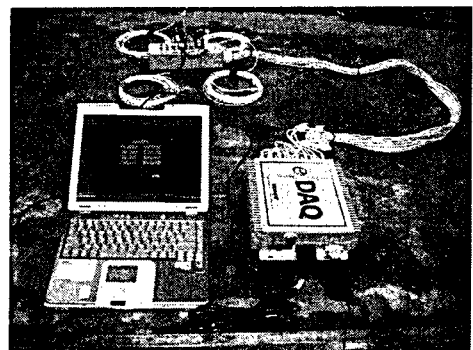


Fig. 4. Vibration measurement and recording apparatus.

본 연구에서의 주행 중 진동의 계측실험은 3종류의 다른 노면상태와 주행조건을 갖는 도로에서 수행되었으며 실험도로는 아스팔트의 고속도로, 시멘트의 시골 국도 및 농가에서 흔히 볼 수 있는 비포장 흙길의 3종류를 대상으로 하였고 그림 5는 실험 차량이 주행한 3종류의 도로를 보여준다.



(a) Express way      (b) Road paved with cement      (c) Unpaved road

Fig. 5. Three kinds of road on which vibration measurement has been done.

주행 중인 차량에서의 진동계측 실험은 각각의 실험대상도로(고속도로, 농가도로 I, 농가도로 II)에서 3번씩 반복 계측하였으며 계측작업은 주행이 시작되는 순간부터 정지하는 순간의 모든 신호에 대해 정해진 500Hz의 sampling rate로서 실시간 계측하였다. 각각의 도로에 대한 주행거리, 주행속도 및 주행시간은 표 1에서와 같다.

Table 1. Travelling distance speed, and time on the tested roads.

Roads	Road condition	Travelling distance(km)	Travelling speed(km/hr)	Travelling time (min.)
Expressway	Paved with asphalt	40	80	30
Road I	Paved with cement	10	40	15
Road II	Unpaved	5	20	15

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 차량의 적재함에 설치된 가속도계 위치에 따른 진동특성

주행 차량의 적재함에는 그림 1에서와 같이 앞, 중간 및 뒷부분에 가속도계를 설치하였으며 가속도계가 설치되어있는 위치에 따른 진동신호를 계측하였다. 적재함의 앞, 중간 및 뒷부분에서 계측된 상하방향의 진동신호 가속도는 그림 6과 표 2과 같다.

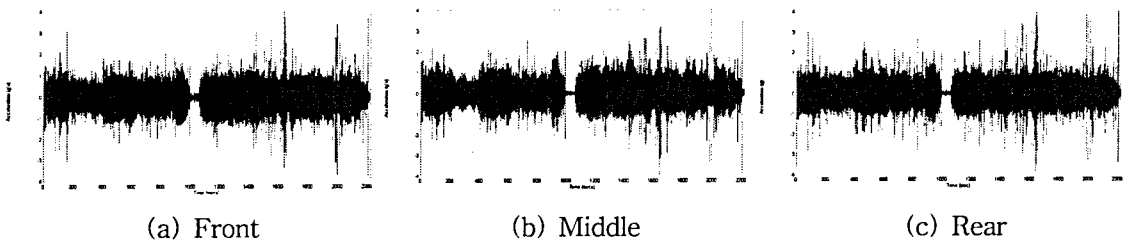
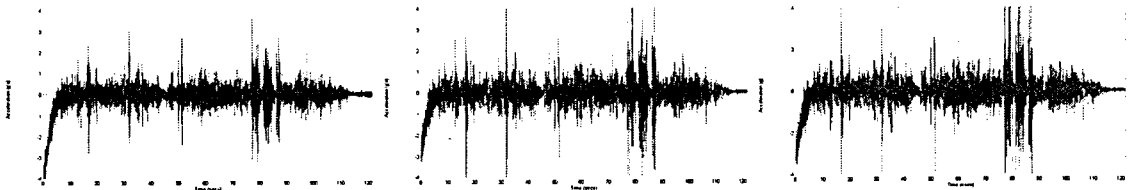
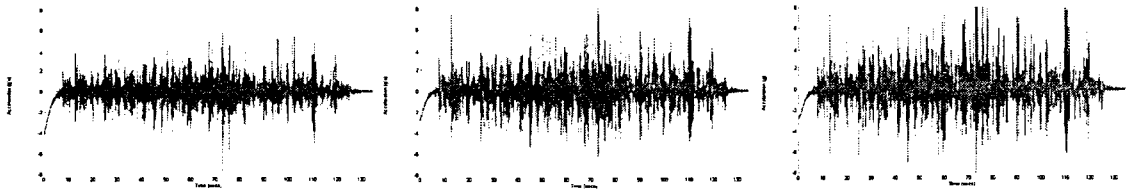


Fig. 6. Up-down acceleration according to accelerometer position on truck bed.(Expressway)



(a) Front (b) Middle (c) Rear

Fig. 7. Up-down acceleration according to accelerometer position on truck bed.(Road paved with cement)



(a) Front (b) Middle (c) Rear

Fig. 8. Up-down acceleration according to accelerometer position on truck bed.(Unpaved road)

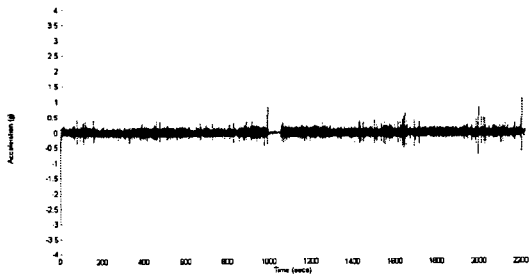
Table 2. The max., min. and rms acceleration measured according to accelerometer position on truck bed

가속도	Express way			Road paved with cement			Unpaved road		
	front	middle	rear	front	middle	rear	front	middle	rear
max.(g)	4.2286	5.5632	5.3621	3.5963	5.4451	8.2321	6.0786	8.3731	14.1621
min.(g)	-5.0371	-4.9987	-3.9923	-3.2462	-4.9925	-6.6098	-8.7122	-6.2576	-7.9435
rms(g)	0.3596	0.3810	0.3346	0.3356	0.4427	0.4666	0.7148	0.9922	1.0568

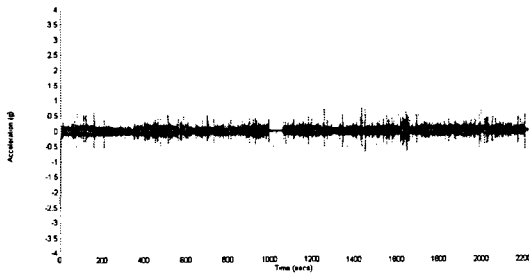
그림 8과 표 2에서와 같이 차량 적재함의 앞, 중간 및 뒷부분에 부착한 가속도계에서 측정된 가속도 진폭값은 고속도로의 경우 가속도계의 부착위치에 상관없이 유사한 값을 보이고 있으나 시멘트도로와 비포장 흙길의 경우에는 적재함의 앞, 중간에 비해 뒷부분에서 측정된 진폭값이 훨씬 큰 값을 보이고 있으며 이는 외국에서의 연구결과와 유사한 것으로 농산물 및 과일류의 모의수송환경 진동실험에 이용되는 PSD프로파일은 차량 적재함의 뒷부분에서 측정된 가속도신호를 근거로 생성되어야 할 것으로 판단되었다.

### 3.2 진동방향에 따른 진폭(g)

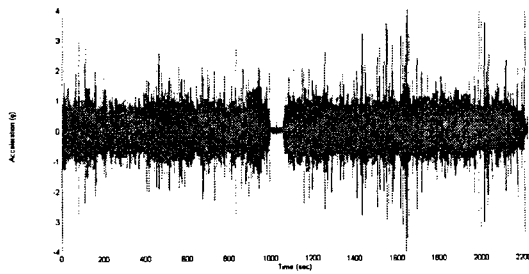
주행 차량에서 측정되는 진동신호는 진행방향에 대해 전후(x방향), 좌우(y방향) 및 상하(z방향)의 세 가지 방향으로 발생되고 이 3축 방향의 진동신호를 측정하기 위해 트럭 적재함의 뒷부분에 3축의 가속도계를 부착하였다. 각각의 실험대상 도로에서 측정된 3축 방향의 가속도(g)값은 그림 9, 10, 11과 같으며 최대값, 최소값 및 rms값은 표 3과 같다.



(a) acceleration on the front-rear direction vibration

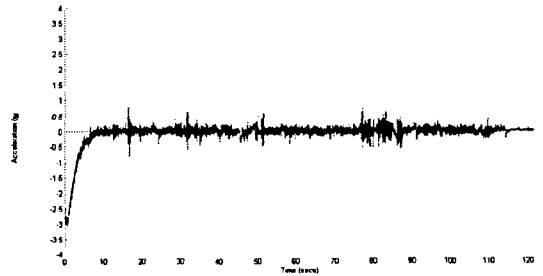


(b) acceleration on the right-left direction vibration

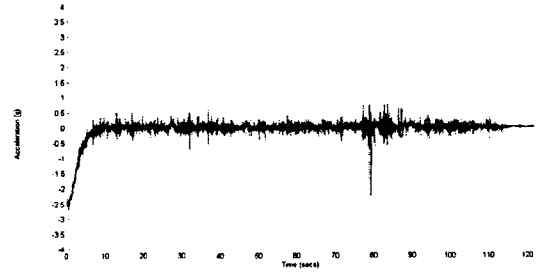


(c) acceleration on the up-down direction vibration

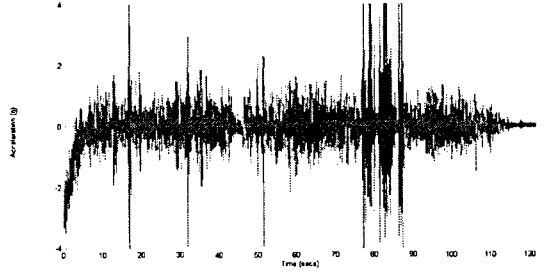
Fig. 9. Measurement of vibration amplitude in the express way.



(a) acceleration on the front-rear direction vibration

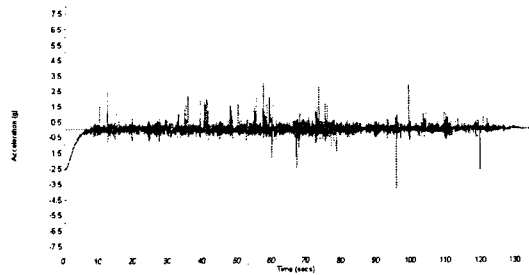


(b) acceleration on the right-left direction vibration

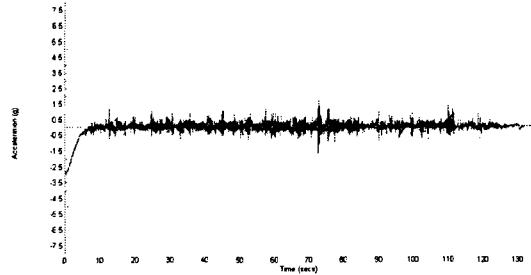


(c) acceleration on the up-down direction vibration

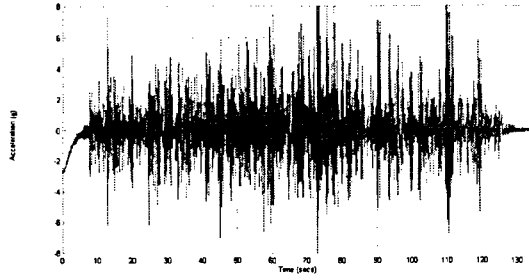
Fig. 10. Measurement in the road paved with cement.



(a) acceleration on the front-rear direction vibration



(b) acceleration on the right-left direction vibration



(c) acceleration on the up-down direction vibration

Fig. 11. Measurement in unpaved road

Table 3. The max., min. and rms value of the measured acceleration.

가속도	Express way			Road paved with cement			Unpaved road		
	Front-Rear	Right-Left	Up-Down	Front-Rear	Right-Left	Up-Down	Front-Rear	Right-Left	Up-Down
max.(g)	1.1099	0.7299	<b>5.3621</b>	0.8046	0.7455	<b>8.2321</b>	1.6708	2.9911	<b>14.1621</b>
min.(g)	-2.9467	-2.6496	<b>-3.9923</b>	-3.0558	-2.7214	<b>-6.6098</b>	-2.9281	-3.7927	<b>-7.9435</b>
rms(g)	0.1001	0.0967	<b>0.3346</b>	0.3893	0.3493	<b>0.5614</b>	0.3993	0.3681	<b>1.0537</b>

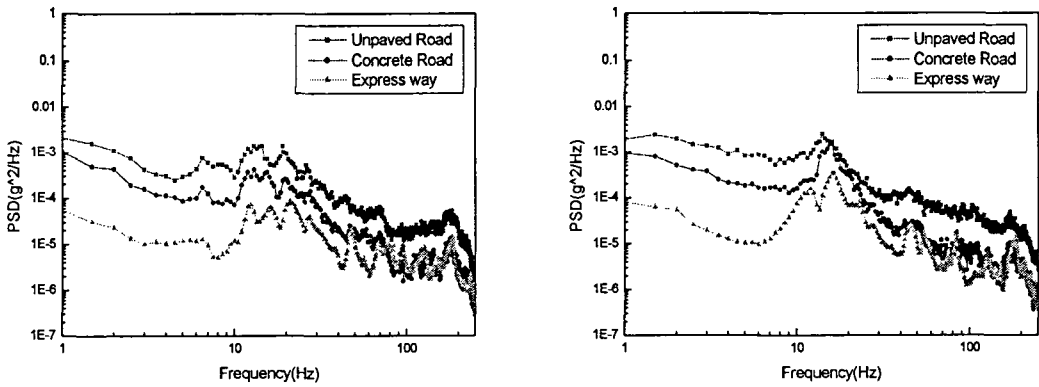
그림 9, 10, 11과 표 3에서 보여지듯이 차량에서 계측된 진동신호는 진동의 작용방향에 따라 크게 차이를 보인다. 차량이 진행되는 전후방향(x방향)과 좌우방향(y방향)에서의 진폭은 서로 유사한 값을 보이고 있으나 상하방향(z방향)에서 계측된 진동신호는 고속도로의 경우 최대 5.3621g, 시멘트도로는 최대 8.2321g, 비포장 흙길의 경우는 14.1621g로서 전후, 좌우의 진폭값보다 최소 4.8배에서 최대 8.5배의 높은 값을 보였다. 이러한 현상은 포장화물 수송 시 진동에 의한 손상은 주로 상하진동에 의하여 주로 발생된 것을 의미한다.

### 3.3 계측된 진동신호의 PSD프로파일

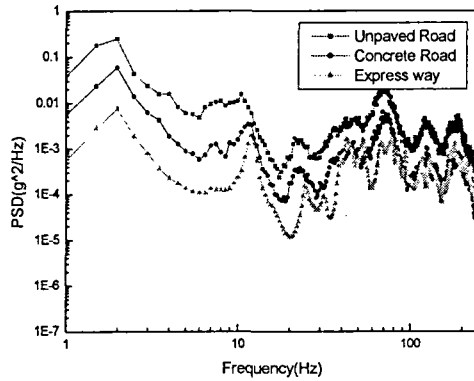
주행 중 계측되어 저장된 진동신호를 분석하기 위해서는 잡음이 제거된 PSD(Power Spectral Density)가 널리 이용된다. 일정한 주파수 구간에서 평균 PSD를 아래 식(1)과 같이 정의된다.

$$PSD = (1/BW) \sum (RMS gi^2) / N \quad (1)$$

여기서,  $RMS gi$ 는 정해진 주파수구간 중 임의의 순간에 계측된 가속도  $g$ 값의 실효값이며  $N$ 은 계측실험 중 계측된 데이터의 수를 말한다. 본 연구에서는 식(1)에 의해 계산된 PSD값을 이용하여 작성된 실험대상도로별, 진동의 작용방향별 PSD프로파일은 그림 12와 같으며 동일 주행도로와 주행속도로서 3회 반복, 측정된 평균 PSD의 최대값과 이때의 주파수 대역은 표 4에 나타내었다.



(a) acceleration on the front-rear direction vibration (b) acceleration on the right-left direction vibration



(c) acceleration on the up-down direction vibration

Fig. 12. PSD measurement for individual vibration input direction.

Table 4. Averaged PSD value of the measured vibration.

Accel.	Express way			Road paved with cement			Unpaved road		
	Front-Rear	Right-Left	Up-Down	Front-Rear	Right-Left	Up-Down	Front-Rear	Right-Left	Up-Down
PSD $(g_{rms})^2/Hz$	0.00011348	0.00034294	0.007522	0.0019115	0.0014869	0.058655	0.0026061	0.0024887	0.24598
Freq.(Hz)	0.976562	16.1133	2.44141	0.976562	16.1133	2.44141	0.976562	14.1602	2.44141

차량 적재함의 뒷부분에 설치한 3축 가속도계의 계측결과, 진동의 전후, 좌우 및 상하의 입력방향 중 상하로 가해지는 진동이 가장 큰 PSD값을 나타내었으며 이때의 주파수는 2.4Hz로서 고속도로, 시멘트 도로 및 비포장 흙길의 모든 경우에서 동일한 주파수이었다. 계측된 모든 진동 신호에 대해 PSD는 0.1~20Hz의 주파수구간에서 z축 방향으로 진동이 입력 될 경우 가장 큰 값을 나타냈으며 0.1~20Hz의 주파수 구간 중 비포장 흙길에서 계측된 가

속도의 최대값은 14.162g, PSD는  $0.24598 (g_{rms})^2/Hz$ 이며 농가의 시멘트도로는 가속도의 최대값은 8.232g, PSD는  $0.058655 (g_{rms})^2/Hz$ 이고 고속도로의 경우 가속도의 최대값은 5.3621g, PSD는  $0.007522 (g_{rms})^2/Hz$ 인 것으로 확인되어 비포장 흙길에서 측정된 PSD가 아스팔트의 고속도로와 시멘트도로에서 측정된 PSD값보다 훨씬 큰 값을 갖는 것으로 확인되었다. 실험 결과에서 나타난 바와 같이 측정된 진동신호로부터 생성된 PSD프로파일을 볼 때, 최대 PSD값은 주로 2~5Hz 구간의 주파수 대역에서 발생되고 주파수가 증가할수록 PSD는 대체로 감소하는 경향이었으며 이는 주행차량의 속도, 도로의 상태 및 트럭의 종류에 따라 PSD의 분포에 영향을 미칠 수 있다는 외국의 연구사례들과 유사한 결과이었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 수송 중인 과실에서 발생하는 손상을 방지하고 과실류의 적정포장설계에 중요한 자료가 될 수 있는 수송용 차량의 진동신호를 분석하기 위해 고속도로, 시멘트도로와 흙길에서의 진동을 측정하고 가속도 특성을 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고속도로에서는 가속도계의 부착위치에 따라 진폭의 차이가 미미하였으나 시멘트도로와 비포장 흙길에서는 가속도계의 부착위치가 차량 적재함의 뒷부분이었을 경우가 가장 큰 것으로 나타났다.
2. 진동 방향별 진동특성은 상하방향(z방향)의 진동이 전후(x방향), 좌우(y방향)에 비해 훨씬 큰 진동 특성치들을 나타내었다.
3. 주행차량의 상하방향(z방향)으로 입력되는 진동의 최대가속도는 고속도로의 경우 5.3621g, 시멘트 도로는 8.232g이며 비포장흙길은 14.162g이었고 이 값들은 주행도로에 관계없이 2.4Hz 주파수에서 발생되었다. 또한 최대 PSD는 고속도로의 경우  $0.007522 (g_{rms})^2/Hz$ , 시멘트도로는  $0.058655 (g_{rms})^2/Hz$ 이고 비포장 흙길에서는  $0.24598 (g_{rms})^2/Hz$ 로 나타났으며 주파수가 높아질수록 PSD는 점차 감소하는 경향이었다.

#### 5. 참고문헌

1. Hinsch RT, Slaughter DC, Craig WL, Thompson JF. "Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport." Trans ASAE 1993;36(4):1039-1042
2. Singh SP, Marcondes J. "Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload." J. Test. Eval. 1992;20(6):466-469
3. Singh SP, Antle JR, Burgess G. "Comparison between lateral, longitudinal, and vertical vibration levels in commercial truck shipments." Packag. Technol. Sci. 1992; 5: 71-75
4. Slaughter DC, Hinsch RT, Thompson JF. "Assessment of vibration injury to Bartlett pears." Trans. ASAE 1993; 36(14): 1043-1047
5. Chesson, J. H. and M. O'Brien. 1971. "Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation." TRANSACTIONS of the ASAE 14(2):222-224