

# 농용 트랙터의 乘車 振動 평가에 관한 연구(II)

— 승차 진동 측정 및 분석 시스템의 개발 —

## Evaluation of Ride Vibration of Agricultural Tractors(II)

— Development of a Measurement and Analysis System of Ride Vibrations —

鄭 守 植\*

S. S. Chung

文 啓 松\*\*

G. S. Moon

金 景 旭\*

K. U. Kim

### Summary

This study was carried out to develop a measurement and analysis system of ride vibrations of tractors. The system consists of a portable digital computer, a PCL-812 PG interface card for A/D conversion, two accelerometers, two signal conditioners, a DC-AC power inverter and a DC power supplier. The computer programs installed in the system for data acquisition and analysis were also developed. It was intended that the system should be cheap enough to be afforded by college laboratories but reliable in its functions of measurement and analysis. Characteristics of the components and methods used in the system development were discussed.

#### 1. 서 론

乘車 振動을 평가하기 위해서는 먼저 이를 정확하게 측정하고 분석할 수 있는 계측 장비가 필요하다. 국내에서 市販되고 있는 승차 진동 측정과 분석 장비는 대부분 外國產 제품으로서 그 가격이 비싸고 또, 그 종류도 일부 회사의 제품으로 제한되어 있기 때문에 財政이 빈약한 大學 研究室에서는 구입하기가 어려운 실정이다. 그러나, 최근에는 마이크로 컴퓨터를 이용한 계측 기술이 발전함에 따라, 실험실 수준에서도 이를 활용한 低價의 측정과 분석 시스템을 구성할 수 있다. 본 연구는 개인용 컴퓨터를 기본으로 한 승차 진동 측정과 분석 시스템을 개발하기 위하여 시도되었다.

#### 2. 연구사

Gerke(1978)는 농용 트랙터의 승차 진동을 측정하기 위하여 고무 패드 위에 2개의 壓電 抵抗(piezo-resistive)형 가속도 변환기를 설치한 좌형 진동계를 사용하였다. 가속도 변환기 중 하나는 수직 방향, 다른 하나는 수평 방향의 가속도를 측정하였다. 그는 좌형 진동계를 이용하여 먼저 승차 진동을 측정하고, 아날로그 데이터 신호를 100Hz 이하의 저주파 대역으로 필터링하여, 현장에서 磁氣 테이프 레코더에 기록하였다. 다시, 실험실에서 기록한 신호를 再生하여, 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 수치화하고 독자적으로 개발한 분석 프로그램을 이용하여 진동의 크기를 1/3옥타브의 중심 주파수에 대한

\* 서울대학교 농업생명과학대학

\*\*현대정공 기술연구소

평방 제곱근(root mean square)의 값으로 표시하였다.

승차 진동을 측정하는 데 필요한 장비와 방법에는 미국 자동차공학회의 표준 SAE J1013 (1980)과 국제 표준 기구의 표준 ISO 7096(1982)의 규정이 있다. SAE J1013에서 승차 진동은 가속도 변환기로서 측정하며, 이 변환기는 가속도의 크레스트 계수(피크 값/rms 값)가 3정도인 것으로서  $0.1 \sim 10 \text{m/s}^2$  rms 범위의 가속도를 측정할 수 있는 것이어야 한다고 하였다. 또한, 이 가속도 변환기의 고유 주파수는 300Hz 이상이어야 하고, 순간적인 충격에도 변환기의 내부와 외부에 손상이 없어야 한다고 하였다. 좌형 진동계는 운전자와 좌석 사이에 설치하며, 좌형 진동계의 바닥은 연하고 부드러운 재질로서 지름이  $200 \pm 50 \text{mm}$  이어야 하며 그 중앙에 지름이  $75 \pm 5 \text{mm}$  인 금속 원판을 부착하도록 하고 있다. ISO 7096 (1982)에서는 좌형 진동계의 바닥 지름을  $250 \pm 50 \text{mm}$ , 가속도 변환기의 크레스트 계수를 6정도로 규정하고 있으나, 다른 부분은 SAE J1013의 내용과 동일하다.

全身 振動의 露出 限界를 규정한 ISO 2631 (1985)은 승차 진동을  $1 \sim 80 \text{Hz}$  범위에서 수직, 수평 좌우와 전후의 3축으로 구별하여 측정하도록 규정하고 있으며, 전신 진동을 평가하기 위한 방법과 기준을 제시하고 있다.

Randall(1988)은 가속도 변환기, 신호 증폭기, 신호 조정기, 검출기, 주파수 분석기 등 여러 가지 승차 진동의 측정 장비와 분석 장비의 작동 원리를 소개하고, 신호 분석에 필요한 기본 이론과 기술을 소개한 바 있다.

### 3. 승차 진동 측정 및 분석 시스템 개발

#### 가. 승차 진동 측정 및 분석 시스템의 개요

승차 진동 측정 및 분석 시스템은 차량이 주행할 때 운전자에게 전달되는 승차 진동을 측정하고, 이를 ISO 2631의 분석 방법에 따라 분석할 수 있는 장비와 소프트웨어를 말한다. 본 연구에

서는 가속도 변환기의 아날로그 신호를 실험 현장에서 수치화하는 방식을 택하여 승차 진동을 측정하고 분석하는 시스템을 개발하였다. 이 방법은 아날로그 데이터를 磁氣 테이프 레코드에 기록하여 분석하는 종래의 방식에 비하여 高價의 자기 테이프 레코드를 사용할 필요가 없기 때문에 시스템을 구성하는 하드웨어의 비용을 절감할 수 있다. 이 방법이 가능한 것은 고성능 휴대형 컴퓨터와 아날로그-디지털 변환 장치를 이용한 데이터 수집 기술이 최근 크게 발전하였기 때문이다.

아날로그 데이터를 수치화하고 이를 저장하는 장치는 개인용 컴퓨터를 기본으로하여 국내에서 구입이 용이하고 가격이 싼 것을 선택하였으며, 필요한 주변 기기와 분석에 필요한 소프트웨어는 연구실에서 독자적으로 개발하였다. 본 연구에서 개발한 승차 진동 측정 및 분석 시스템은 시중에서 300만원 정도인 좌형 진동계, 3000만원 정도인 테이프 레코더, 3500만원 정도인 신호 분석기를 사용하여 시스템을 구성하는 경우에 비하면 약 1/20 정도의 비용이 소요된다. 그러나, 승차 진동을 측정하고 분석하는 기능은 트랙터의 승차 진동을 평가하는 데 충분히 이용할 수 있는 精度의 것으로 판단된다. 다음은 이 시스템을 개발하기 위하여 설정한 기본 설계 방향이다.

- 1) 측정된 진동 신호를 실험 현장에서 디지털 신호로 변환하여 저장한다.
- 2) 전원은 시험 차량의 축전지를 이용한다.
- 3) 측정 시스템은 시험 차량에 쉽게 설치하고 분리할 수 있어야 한다.
- 4) 데이터 수집, 저장, 분석에 필요한 프로그램은 독자적으로 개발한다.

#### 나. 승차 진동 측정 및 분석 장치의 구성 요소

##### (1) 좌형 진동계

본 연구에서 제작한 좌형 진동계는 수평과 수직 방향의 진동을 측정할 수 있도록 2개의 가속도 변환기를 각각 수직 방향과 수평 방향으로 설치한 것이다. 좌형 진동계의 밑부분은 SAE J

1013, ISO 7096의 표준에 따라 지름이 202mm인 원형 고무판을 사용하여 제작하였으며, 고무판의 중앙에 지름이 80mm인 금속 원판을 접착하고 그 위에 금속 정육면체를 고정하였다. 가속도 변환기는 각각 정육면체의 윗면과 측면에 고정하였다. 가속도 변환기를 보호하기 위하여 가속도 변환기가 고정된 금속 정육면체 전체를 플라스틱 원통으로 덮고, 원통의 외부에 완충재인 스티치폼을 채워서 좌형 진동계 전체의 외형이 키가 낮은鐘 모양이 되도록 하였다. 가속도 변환기의 리드 케이블은 플라스틱 튜브를 사용하여 외부의 충격을 피할 수 있도록 하였으며, 케이블 끝에는 연결 코넥터를 부착하여 케이블을 연결하고 분리하는 데 편리하도록 하였다. 좌형 진동계와 신호 조정기 사이의 케이블은 실드 케이블을 사용하여 외부의 영향으로부터 진송 신호를 보호할 수 있도록 하였으며, 그 길이도 신호 진송에 영향이 없는 3m로 하였다. Fig. 1은 본 연구에서 제작한 좌형 진동계의 구조와 치수를 나타낸 것이다.

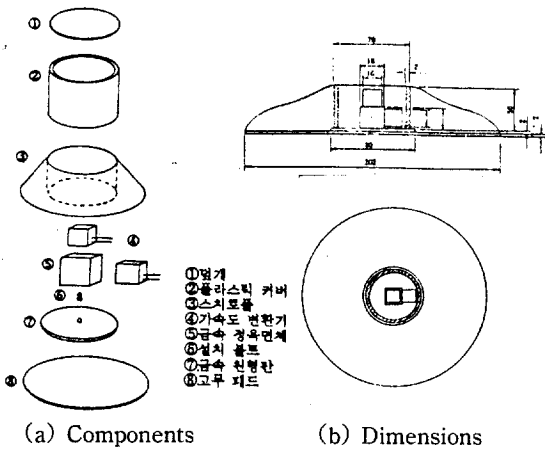


Fig. 1 Ride meter

(2) 가속도 변환기

좌형 진동계의 가속도 변환기는 스트레인 게이지형 가속도 변환기로서 측정 범위가 각각  $\pm 10g$ ,  $\pm 20g$ 인 것을 사용하였다. 승차 진동을 측정하기 위한 가속도 변환기의 측정 범위는 보통  $\pm 3g \sim \pm 5g$  정도가 적당하나 측정 범위가 큰 것을 사용한 이유는 단지 연구실에서 이를 보유하

고 있었기 때문이었다. 그러나, 본 연구에서 사용한 가속도 변환기는 SAE J1013, ISO 7096의 요구 조건을 만족하였기 때문에 트랙터의 승차 진동을 측정하는 데는 사용이 가능한 것으로 판단하였다.

변환기에서 요구되는 입력 전압은 1~3V(AC, DC)의 靜電壓이었으며, 출력 전압의 感度는 0.5 mV/V이고, 고주 주파수는  $\pm 10g$ 의 경우 490Hz,  $\pm 20g$ 의 경우 750Hz이었다. 최고 허용 過負荷는 正格 出力 범위의 3배 즉, 크레스트 계수는 3이고, 非直線性和 히스테리시스는 정격 출력의 1% 이하이었다.

(3) 신호 조정기

신호 조정기(signal conditioner)는 가속도 변환기에서 요구되는 정전압을 공급하는 입력 전원과 가속도 변환기의 출력 신호를 증폭하는 增幅器의 기능을 동시에 수행할 수 있도록 연구실에서 독자적으로 제작하였다. 신호 조정기의 회로는 文獻(Malmstadt 등 1981, Beckwith 등 1982)을 참고로 하여 설계하였으며, 필요한 集積回路는 市中에서 구입이 가능한 것을 사용하였다.

제작한 신호 조정기에는 선택 기능을 두어 입력 전압은 AC 110V 혹은 220V 중에서, 출력 전압은 DC 2.5V 혹은 5V 중에서, 증폭비는 1,000배 혹은 10,000배 중에서 필요에 따라 선택할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 입력 전압을 AC 110V, 정전압을 DC 2.5V, 증폭비를 1,000으로 선택하였다. 신호 조정기는 소형, 低價로 제작할 수 있었으며 성능은 본 연구의 목적을 달성하는 데 적합하였다.

Fig. 2는 제작한 신호 조정기의 회로도이다.

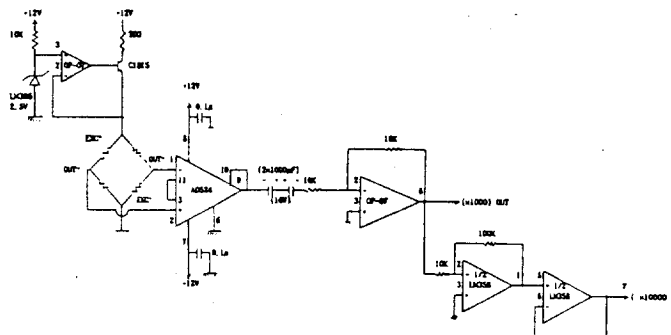


Fig. 2 Circuit diagram of signal conditioner

(4) PCL-812 PG 인터페이스 카드

자료 수집 장치에 사용한 인터페이스 카드 PCL-812 PG는 한도 엔지니어링사 제품으로 한 개의 보드에 A/D 변환기, DIO, D/A 변환기를 설치한 것이다. 승차 진동 측정 시스템에서 사용한 기능은 A/D 변환기이다. 본 인터페이스 카드의 A/D 변환기는 12비트 카드이고, 16개의 입력 채널을 가지고 있다. 입력 신호의 전압 범위는  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $\pm 2.5V$ ,  $\pm 1.25V$ ,  $\pm 0.625V$ ,  $\pm 0.3125V$ 로 소프트웨어적으로 조정할 수 있도록 하였으며, 최대 변환 속도는 30KHz이다. 본 연구에서는 최대 입력 전압 범위를  $-312.5 \sim +312.5mV$ 로 설정하여, A/D 변환 기능이 0.15mV의 分解能을 갖도록 하였다.

(5) 노트북형 컴퓨터

자료 수집 장치에 사용한 컴퓨터(CPU 80286, 12MHz)는 IBM-PC/AT와 互換性이 있는 것으로서 크기가  $310 \times 240 \times 50mm$ 이고 무게가 3.5kg인 小型, 輕量의 노트북형 컴퓨터이다. 데스크 탑 컴퓨터와 동일한 확장 기능을 가지는 확장 팩을 외부에 부착할 수 있도록 되어 있다. 기억 용량(RAM)은 2MB로서 본 연구에서 필요한 量의 데이터를 수집하는 데 적절하였다. 플로피 디스크와 하드 디스크의 용량은 각각 3.5인치, 1.44MB와 20MB로서 필요한 프로그램과 워드 프로세서 작업을 수행하는 데 충분하였다. 컴퓨터의 전원은 트랙터의 축전지를 사용하였다. DC-AC 변환기를 사용하여 트랙터의 축전지부터 AC 100V를 얻고, 이를 어댑터를 통하여 컴퓨터에 공급하였다.

(6) 노트북형 컴퓨터와 PCL-812 PG 인터페이스 카드의 접속

노트북형 컴퓨터와 PCL-812 PG 인터페이스 카드를 접속할 때, 다음과 같은 2가지 문제가 발생하였다. 첫째, PCL-812 PG 인터페이스 카드는 데스크 탑 컴퓨터용으로 제작된 것이었기 때문에 노트북형 컴퓨터에는 內藏하여 사용할 수 없었다. 둘째, 이 인터페이스 카드에서 요구하는 전압과 노트북 컴퓨터에서 지원하는 전압이 서로 일치하지 않았다.

첫번째 문제는 인터페이스 카드를 노트북 컴퓨터의 외부에 설치하고, 카드의 접속 핀과 컴퓨터의 외부 확장 팩을 평케이블로 연결하여 해결하였다. 두번째 문제는 다음과 같이 해결하였다. 우선 인터페이스 카드의 핀(pin) 배열을 조사하여 전원 핀인 B3, B7, B9의 위치와 그 특성을 찾았다. Fig. 3에서와 같이 B3번 핀에서 요구되는 5V, 50mA는 컴퓨터 자체에서 공급할 수 있었으나,  $-12V$ , 14mA와 12V, 50mA을 요구하는 B7, B9번 핀에는 별도의 입력 전원이 필요하였다. 이 입력 전원을 만들기 위하여 다음과 같은 3가지 방법을 試圖하였다.

첫째 방법에서는 컴퓨터에서 지원하는 5V를 IC MAX 743 칩을 이용하여  $\pm 12V$ 로 승압하였으나, 인터페이스 카드에 負荷를 걸었을 때 전압 降下가 일어나 원하는 목적을 달성할 수 없었다. 두번째 방법에서는 컴퓨터가 지원하는 전원으로서는 평소에 사용하지 않는 핀의 12V를 사용하였다. 그러나, 첫번째 경우에서와 같이 전압 강하가 발생하여 사용할 수 없었다. 따라서, 컴퓨터가 지원하는 전원은 인터페이스 카드에서 요구하는 전압을 공급할 수 없었다. 세번째 방법은 2개의 12V, 3Ah 축전지를 사용하여 외부에서  $\pm 12V$ 를 공급하는 방법으로서, 이 방법에 의하여 전원 공급의 문제를 해결하였다. 이 때 외부의

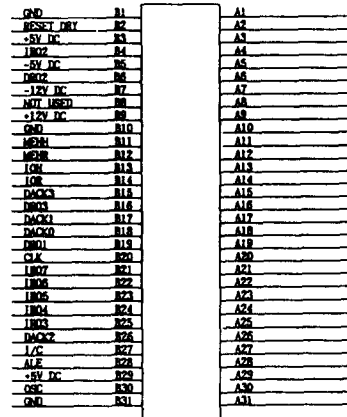


Fig. 3 Pin arrangement of PCL-812PG interface card

전원은 인터페이스 카드에만 공급되도록 하고 컴퓨터 쪽으로는 흐르지 않도록 케이블 연결에 특히 주의하였다.

(7) 축전지

축전지는 인터페이스 카드에서 요구되는 DC  $\pm 12V$ , 14mA, 50mA를 공급할 수 있도록 12V, 3 Ah 축전지 2개를 사용하여 제작하였다. 한 축전지의 +극과 다른 축전지의 -극을 연결하여 COM 단자를 만들고, 하나는 COM 단자와 축전지의 나머지 +을 연결하여 +12V 전원 단자를, 다른 하나는 COM 단자와 나머지 -극을 연결하여 -12V 전원 단자를 만들었다. 이 축전지를 계속 사용하기 위해서는 축전지를 충전시켜야 하므로, 본 연구에서는 변압기를 개조하여 충전기를 제작하였다. 충전시에는 12V의 건전지가 2개이므로 2개를 동시에 충전할 수 있도록 하였다.

(8) DC-AC 전력 변환기

신호 조정기와 노트북형 컴퓨터의 전원은 트랙터의 축전지를 이용하였으며, 축전지의 직류를 교류로 전환하기 위하여 DC-AC 전력 변환기를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 DC-AC 전력 변환기는 12V의 직류를 입력하여, 100V와 110V 2가지 교류를 출력한다. 110V 전원은 병렬로 연결하여 각각 10g와 20g 가속도 변환기의

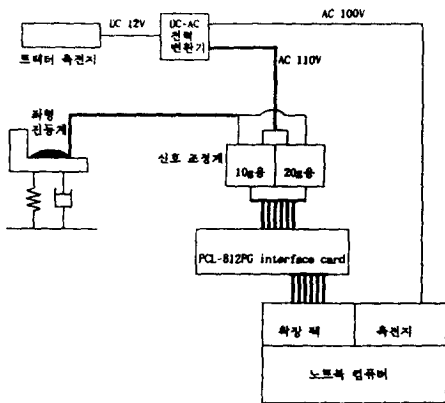


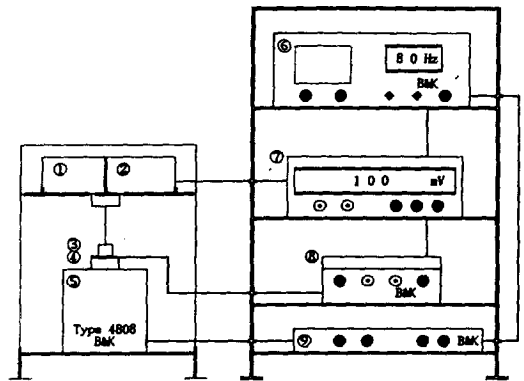
Fig. 4 Data acquisition system

신호 조정기에서 사용하고 100V 전원은 노트북형 컴퓨터에서 사용하였다. 전력 변환기의 출력 파형이 계측기의 전원으로서 적당하지 않은 초고주파인 矩形波이었기 때문에 저주파 통과 필터를 사용하여 고주파 성분에 의한 영향을 감소시켰다. Fig. 4는 승차 진동을 측정하기 위한 계측 시스템과 각 구성 장비를 나타낸 것이다.

4. 측도 설정

가. 가속도 변환기의 측도 설정

加振器로써 기준 가속도 변환기와 시험 가속도 변환기에 일정한 진동을 가하고 기준 변환기와 시험 변환기의 출력 신호를 비교하여 시험 변환기의 측도를 설정하였다. 시험 가속도 변환기의 線形性은 가진기의 주파수가 일정한 상태에서 가진기의 진동과 변환기의 출력 전압과의 관계를 직선화하여 나타내었다. 주파수 특성은 가진기의 주파수에 따라 입력 진동의 크기에 대한 시험 변환기의 출력 전압의 비로써 나타내었



- ①10G용 신호 조정기(Signal Conditioner)
- ②20G용 신호 조정기(Signal Conditioner)
- ③가속도 변환기(KYOWA, 10G & 20G)
- ④기준 가속도 변환기
- ⑤가진기(Vibration Exciter, Type 4808 B & K)
- ⑥정현파 발생기(Sine Random Generator, Type 1027 B&K)
- ⑦디지털 멀티미터(Digital Multimeter, FLUKE 8860A)
- ⑧정밀 감도 조정 증폭기(Precision Conditioning Amplifier, Type 2560 B & K)
- ⑨전력 증폭기(Power Amplifier Type 2712 B & K)

Fig. 5 Calibration of accelerometer

다. 속도 설정 작업은 한국표준과학연구원의 소음·진동 실험실에서 실시하였다. Fig. 5는 가속도 변환기의 속도 설정 과정을 나타낸 것이고

Table 1은 가속도 변환기에 대한 속도 설정의 결과를 나타낸 것이다.

Table. 1 Calibration curve of accelerometers

ACCELEROMETER	FREQUENCY RANGE	LINEARTY	COEFFICIENT OF DETERMINT	STANDARD ERROR
10g	0-400Hz	$Y=26.29X+0.3333$	0.99995	0.134872
20g	0-405Hz	$Y=60.16X+0.1809$	0.99994	0.07238

X : Input acceleration( $g=9.81m/s^2$ )

Y : Output voltage(mV)

### 5. 컴퓨터 프로그램

승차 진동 측정 시스템의 소프트웨어는 측정 한 가속도 신호를 수치화하고 이를 플로피 디스켓에 저장하는 데이터 수집 프로그램과 수치화 한 진동 데이터를 분석하는 데이터 분석 프로그램으로 구성되어 있다. 프로그램은 모두 터보 C++ 언어로써 작성하였다.

#### 가. 데이터 수집 프로그램

데이터 수집 프로그램은 좌형 진동계로부터 출력되는 수직과 수평 진동 신호를 수치화하여 이를 플로피 디스켓에 두 개의 파일로 저장하는 프로그램이다. 이 프로그램은 충분한 데이터 영역을 확보하기 위하여 원거리 힙(heap)에서 사용하지 않는 메모리를 리턴하는 함수와 원거리 포인터를 만드는 함수를 사용하였다.

따라서, 터보 C++에서 지원하는 제한된 데이터 영역을 확장하여 원하는 양의 데이터를 수집, 저장할 수 있도록 한 것이다. 그리고, 사용자가 정의하는 헤더(head) 파일을 만들어 기본 변수에 대한 값을 설정하고 일반적인 변수들은 매크로 함수를 만들어 프로그램을 편리하게 이용할 수 있도록 하였다. 설정한 기본 변수는 A/D 변환에 사용되는 기본 입출력 포트의 번지와 샘플링 시간 간격이다. 또한, 본 연구에서 사용한 PCL-812 PG 인터페이스 카드는 입력 채널 별로 데이터를 기록하기 때문에 원하는 채널로 분리

하여 데이터를 기록하고 저장하도록 하였다.

데이터 수는 프로그램을 실행할 때 사용자가 입력할 수 있도록 하고, 저장 파일명은 시스템 날짜를 리턴하는 함수를 사용하여 실험 날짜가 파일명에 기록되도록 하여 실험 데이터 파일을 쉽게 분류할 수 있도록 하였다. 데이터 수집 프

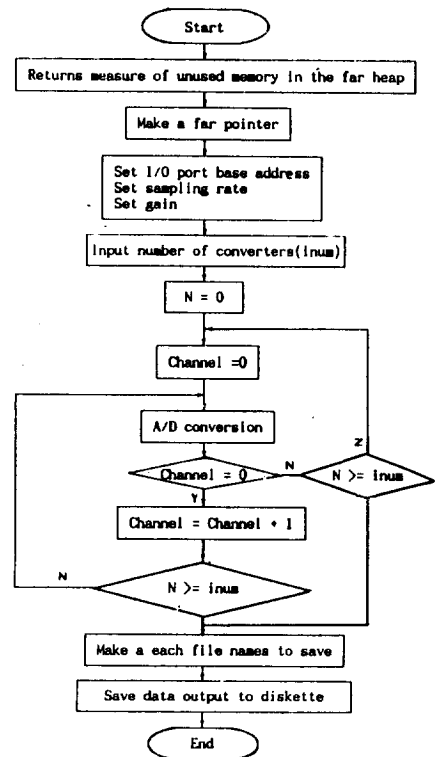


Fig. 6 Flow chart of data acquisition program

로그래를 실행하면 화면에 32,760×N가 표시되며 데이터 수를 결정하기 위한 N을 입력하여야 한다. N을 1~5 중에서 선택하면 샘플링 시간 간격이 나타나며 A/D 변환 프로그램이 실행된다. 다음에는 A/D 변환 프로그램의 실행 시간이 리턴되어 수집한 총 데이터 수와 샘플링 시간 간격으로 구한 이론적인 실행 시간을 비교할 수 있도록 되어 있다. Fig. 6은 데이터 수집 프로그램의 유통도이다.

나. 데이터 분석 프로그램

데이터 분석 프로그램은 플로피 디스크에 저장한 진동 데이터를 실험실에서 再生하여 분석하는 프로그램이다. 메모리 배當은 데이터 수집 프로그램에서와 같은 방법으로 수행하였다.

프로그램이 수행하는 분석 과정은 다음과 같다. 먼저, 측정 데이터의 적합성 여부를 판단하기 위하여 데이터를 시간 함수의 그래프로 표현한다. 적합한 것으로 판단된 데이터를 지정하면 이를 취하여 수치적인 방법으로 저주파수 통과 필터링을 한다. 필터링한 데이터는 속도 설정으로 결정된 가속도-출력 전압과의 관계식을 이용하여 가속도 단위로 변환시킨다. 변환된 데이터는 평균이 0이 되도록 가속도의 크기를 조정한다 다음, Cooley-Tukey 알고리즘을 채택한 FFT를 이용하여 시간 함수의 데이터를 주파수 함수의 데이터로 변환한다. FFT 프로그램은 N개의 시계열 데이터  $x(0), x(1), \dots, x(N-1)$ 을

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i)W^{ik}, k=0,1,2,\dots,N-1$$

$$W = \exp(-j2\pi/N)$$

와 같이 푸리에 변환한다. 이의 역변환은

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X(i)W^{-in}, n=0,1,2,\dots,N-1$$

$$W = \exp(-j2\pi/N)$$

이다. 보통 FFT 계산에서는 스펙트럼의 중간 부분(mainlobe)을 무수한 부엽(sidelobe)들로 분산시키기 때문에 스펙트럼 漏出(leakage)이 발생하는데 이 누출을 감소하기 위하여 FFT 계산을 수행하기 이전에 코사인 테이퍼 데이터窓을

사용하여 데이터의 초기와 마지막 부분을 테이퍼링하였다. FFT 후에는 일정한 상수를 곱하여 코사인 테이퍼 데이터窓에 의한 값의 변형을 補正하였다.

마지막으로 국제 표준 규격 ISO 2631의 내 피로 한계와 비교할 수 있도록 1/3 옥타브 중심 주파수에 대한 rms 가속도를 구하도록 하였다. Fig. 7은 데이터 분석 프로그램의 유통도이다.

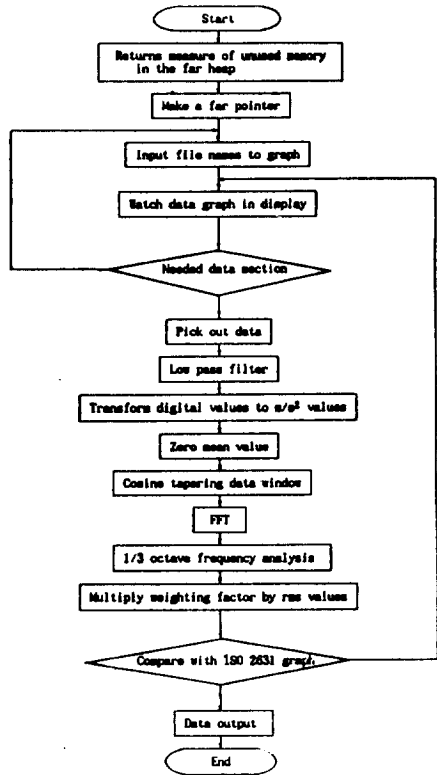


Fig. 7 Flow chart of data analysis program

6. 승차 진동 측정 및 분석 시스템의 검증

가. 승차 진동 측정 장치

승차 진동 측정 장치의 검정은 각 구성 장비의 작동 상태와 주어진 가속도의 측정 여부를 확인하는 방법으로 수행하였다. 좌형 진동계의 가속도 변환기와 신호 조정기는 속도 설정 과정에서 이미 그 작동 상태를 확인하였기 때문에 가속도

의 측정 여부를 검정할 때는 가속도 변환기의 신호 대신에 함수 발생기로부터 가속도 변환기와 동일한 전압 수준의 정현파 신호를 발생하여 신호 조정기의 입력 신호로 사용하였다. 신호 조정기에서 가속도 변환기로 출력하는 DC 2.5V 정전압은 디지털 멀티미터로써 확인하였으며, 신호 조정기의 출력 신호는 오실로스코프에서 모니터하여 데이터 수집 장치의 입력에 적합한 상태로 증폭되었음을 확인하였다. PCL-812 PG 인터페이스 카드의 작동 상태는 제작 회사에서 제공하는 카드 테스트 프로그램을 사용하여 확인하였다. 주어진 가속도 신호는 정상적으로 신호 조정기와 PCL-812 PG 카드를 통하여 컴퓨터로 입력되었으며, 측정 장치의 작동 상태도 안정적이었다.

나. 데이터 수집 프로그램

Fig. 8은 함수 발생기에서 출력한 신호로서 크기가  $3g(g=9.8m/s^2)$ 이고 주파수가 9Hz인 가속도 신호에 해당되는  $\pm 95mV$ , 9Hz의 아날로그 신호를 데이터 수집 프로그램을 이용하여 PCL-812 PG 인터페이스 카드에서 수치화한 후 그 결과를 쿼트로 프로 패키지 프로그램으로 그린 것이다. 이 그림은 인터페이스 카드의 채널 1을 이용한 것이나, 채널 2를 이용한 결과도 일치하였다. 데이터 수집 프로그램의 신뢰성을 나타낼 수

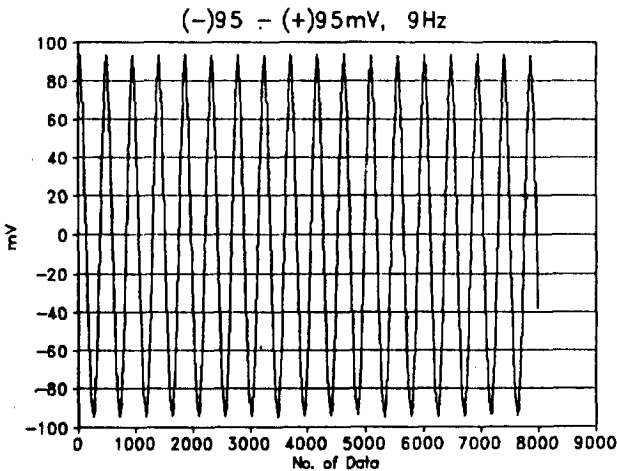


Fig. 8 Digital playback of analog data

있는 방법으로서 프로그램에서 설정한 샘플링 시간 간격과 프로그램이 실행될 때 리턴하는 데이터의 입력과 출력 사이의 시간을 비교하는 방법이 있다. 본 연구에서 샘플링 시간 간격을 1/4,000로 하고, 데이터의 수를 16,380으로 하였을 때 총 A/D 변환에 필요한 시간은 4.095초이다. 이 시간과 실제 16,380개의 수치 데이터를 얻는데 소요된 시간을 비교하여 그 차이가 없음을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서 개발한 데이터 수집 프로그램은 아날로그 신호를 수치화하고 이를 디스켓에 저장하는 기능을 확실하게 수행할 수 있는 것으로 판단하였다.

다. 데이터 분석 프로그램

데이터 분석 프로그램은 측정 데이터의 적합성 여부를 판단하기 위하여 측정된 데이터를 시간 함수로 출력하는 부분과 시간 함수의 가속도 데이터를 주파수 함수의 데이터로 변환하는 FFT(Fast Fourier Transform) 부분으로 구성되어 있다.

첫번째 부분의 검정은 순위가 500씩 증가할 때마다 데이터의 값이 교대로  $\pm 2048$ 이고 나머지는 모두 0인 데이터를 입력하여 이를 시간 함수로 출력한 결과가 같은가를 비교하는 방법으로 수행하였다. Fig. 9는 그 결과를 나타낸 것으로서 데이터의 출력이 정확한 것임을 알 수 있다.

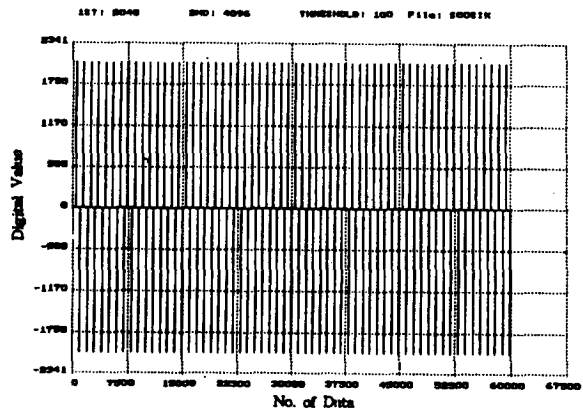


Fig. 9 Display of digitized data



두번째 부분은 푸리에 변환과 그 역변환이 같은 프로그램 안에서 정상적으로 실행되는가를 확인하여 검정하였다.

이 검정에 사용한 시계열 실험수는  $\cos(18\pi i/N)$ 이고, 데이터 수  $N$ 은  $2^8$ 으로 하였다. Fig. 10은 검정 결과를 나타낸 것이다.

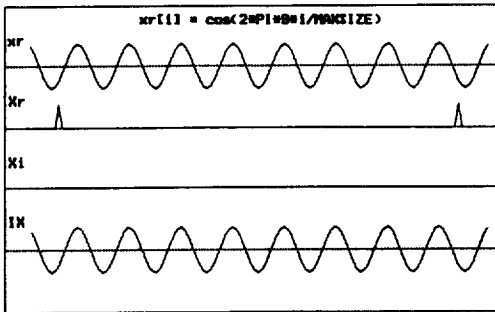


Fig. 10 Results of FFT

## 7. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터 운전자의 승차 진동을 측정하고 이를 분석하기 위한 승차 진동 측정 시스템을 개발한 것이다. 측정 시스템은 소형, 경량의 장비를 사용하여 휴대할 수 있도록 하였으며, 비용도 대학 연구실 수준에서 조달할 수 있는 정도의 것으로 구성하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 수직 방향(z-axis)과 수평 방향(y-axis)의 가속도를 측정할 수 있는 좌형 진동계를 제작하였다.

2) 좌형 진동계에서 출력되는 가속도 신호를 증폭하기 위한 신호 조정기를 설계하여 제작하였다.

3) 노트북형 컴퓨터와 데스크탑용 인터페이스 카드를 연결하기 위하여 확장 팩을 이용하고 이 장치에 필요한 전원 장치를 개발하였다.

4) 본 시스템은 샘플링 시간 간격이 최대 1/8000까지 가능하고, 최대 샘플링 시간 간격을 1/

8000초로 하였을 때, 데이터 수집 시간은 최대 20.5초까지 가능하였다. 그러나, 최대 범위내에서 필요에 따라 샘플링 시간 간격과 데이터 수를 조절할 수 있도록 하였다.

5) 데이터 수집과 분석 프로그램을 개발하여 측정된 승차 진동의 수준을 ISO 2631의 진동 노출 기준과 비교할 수 있도록 하였다.

## 참고 문헌

1. Bendat, J. S. and A. G. Piersol. 1971. Random data: Analysis and Measurement Procedures. Wiley-Interscience.
2. Beckwith, T. G., N. L. Buck and R. D. Marangoni. 1982. Mechanical measurements. 3rd ed., Addison-Wesley Publishing Company.
3. Crandall, S. H. and W. D. Mark. 1973. Random vibration in mechanical systems. Academic Press Inc.
5. Embree, P. and B. Kimble. 1991. C language algorithms for digital signal processing. Prentice-Hall Inc.
6. Freeland, R. S., F. D. Tompkins, L. R. Wilhelm and J. R. Starten. 1991. Instrumentation for measuring tractor chassis acceleration. Applied engineering in agriculture. 7(3): 300-304.
7. Gerke, F. G. 1978. Measurement of terrain input vibrations in farm tractor. Unpublished MS thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.
8. International Organization for Standardization. 1979. Agricultural wheeled tractors and field machinery-Measurement of whole-body vibration of the operator (ISO 5008) Geneva, ISO
9. International Organization for Standardization. 1980. Agricultural wheeled tractors-Operator seat-Measurement of transmitted vibration.(ISO 5007/TR). Geneva, ISO

10. International Organization for Standardization. 1982. Earth-moving machinery-operator seat-transmitted vibration (ISO 7096) Geneva, ISO.
11. International Organization for Standardization. 1985. Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration (ISO 2631 /1), Geneva, ISO.
12. International Organization for Standardization. 1987. Mechanical vibration and shock-Mechanical mounting of accelerometers. (ISO 5348) Geneva, ISO.
13. International Organization for Standardization. 1990. Human response to vibration-measuring instrumentation (ISO 8041) Geneva, ISO.
14. Kim, K. U. 1981. Ride simulation of passive, active, and semi-active seat suspension for off-road vehicles. Unpublished Ph D thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
15. Ludeman, L. C. 1986. Fundamentals of digital signal processing. Harper & Row Publishers, Inc.
16. Malmstadt, E. 1981. Electronics and instrumentation for scientists. The Benjamin/Cummings publishing company.
17. Newland, D. E. 1975. Random vibrations and spectral analysis. Longman Inc., New York.
18. Publication 225. 1966. Octave, half-octave and third band filters intended for the analysis of sounds and vibrations. International Electrotechnical Commission
19. Randall, R. B. 1988. Vibration measurement equipment and signal analysis. Shock vibration handbook, 3rd ed. by C. M. Harris, pp. B-1~B-49. McGraw-Hill Book Company.
20. Rummer, D. I. and R. B. Rummer. 1990. Measuring whole-body vibration of forest equipment operators with a digital data acquisition system. Computer and Electronics in Agriculture 5: 213-222.
21. SAE J1013. 1980. Measurement of whole body vibration of the seated operator of off-highway work machines. SAE Recommended Practice.
22. 김기형. 1991. 터보 C 활용. 정보문화사.
23. 李炳植. 1989. 메카트로 · 센서활용 핸드북. 도서출판 세운.
24. 하영호, 김수중. 1990. 디지털 신호해석. 흥릉과학출판사.