

12축 인체 피폭 진동 측정장치 개발

정 완섭^(*), 서 재갑⁽¹⁾, 김 철 중⁽¹⁾, 은 희준⁽¹⁾

Development of 12-Axis Measurement system for Assessing Exposed Whole-Body Vibration

Wan-Sup Cheung^(*), Jae-Gab Suh⁽¹⁾, Chul-Jung Kim⁽¹⁾, Hee-Joon Eun⁽¹⁾

ABSTRACT

This paper addresses the issues and difficulties encountered in developing a 12-axis measurement system for the assessment of whole-body vibration exposed from the body contact area. The contents of related survey work and the ideas from Professor Griffin in ISVR, that have led to its successful development, are introduced here. The developed 12-axis measurement system is shown to satisfy the international standards of ISO 2631 and BS 6841 in EC. This system is expected to play a key role in assessing the ride quality of passenger cars that is rapidly becomes much interest in Korean car-makers and tyre-makers.

1. 서론

인체 진동 피폭량은 도구의 사용과 운송수단의 발달로 계속 증가되고 있다. 인체에 피폭되는 진동은 손, 발, 엉덩이 그리고 등 부위와 같이 인체의 접촉부를 통하여 전달된다. 이렇게 피폭되는 진동 양에 따라 인체에 미치는 영향은 안락감 저하, 활동성 및 작업 효율성의 침해, 그리고 건강과 안전 손실로 나타난다(1-3). 특히, 안락감 저해 요소는 가전류 및 자동차의 품질에 직접 영향을 미치게되며, 활동성 및 작업 효율성 침해는 산업 현장의 제품 생산성 저감을 초래하게되며, 그리고 건강과 안전 성 보호는 복지국가를 지향하고 있는 국가의 당면 과제이다. 이러한 진동 피폭에 의한 복합적 현상의 접근은 우선 인체 접촉부의 피폭 진동양 측정 및 평가로부터 시작된다. 그러나, 선진 외국의 진동 전문 측정기 공급체에서조차도 인체 피폭 진동을 효율적으로 측정할 수 있는 장치를 공급하지 못하고 있다. 따라서, 진동 피폭에 의한 복합적 현상의 접근을 위한 일단계로 인체피폭 진동 측정에 수반되는 문제점 파악과 대책 마련을 위하여 1994년부터 1995년 말까지 수행된 연구 내용을 본 논문은 소개한다.

2. 고 정밀 인체 피폭 진동 측정 장치

(1) 한국표준과학연구원

본 연구 초기에 수행한 인체 진동관련 사전 연구조사(4,5)에서, 국내외적으로 소수의 국한된 소음·진동 연구소에서만 관련 연구 사료가 발표되고 있을 뿐이다. 따라서, 인체관련 진동 연구분야에서 세계에서 가장 앞선 영국 ISVR의 M. Griffin 교수팀을 방문하여 측정 시스템 개발에 대한 제원과 인체 감응특성 평가안에 관련된 자료 수집을 수행하였다. 그리고, 진동 관련 국제 표준 규격들(6,7)을 분석 또한 수행하였다. 이러한 사전연구 조사의 결과를 기초로하여, 12축(발 부위 3축, 엉덩이 부위의 왕복 3축 및 회전 3축, 그리고 등 부위의 3축)에 대한 피폭 진동양을 동시에 측정할 수 있는 고정밀 측정 시스템 개발에 관한 제원을 구축하였다. 특히, 범용 진동 센서로 전신 피폭 진동을 정밀하게 측정할 수가 없다는 한계점은 0.1 Hz - 100 Hz 저주파 진동 측정 범위의 요구 조건과 그리고 3축의 회전 가속도의 동시 측정이란 요구조건을 필요 한다. 본 절에서는 이같은 저주파 진동 성분과 회전 각 가속도의 동시 측정 문제점을 해결할 수 있는 방안과 구체적 시스템 개발에 관련된 기술을 소개한다.

2-1. 12-축 전신 피폭 진동 측정 장치

현재 가장 체계적인 전신 피폭진동 측정 방법은 발 부위 3축 (X_f 축 = 전후 방향, Y_f 축 = 좌우 방향, Z_f 축 = 상하 방향), 엉덩이 부위의 왕복 3축 (X_s 축 = 전후 방향, Y_s 축 = 좌우 방향, Z_s 축 = 상하 방향) 및 회전 3축 (R_x 축 = 전방향 회전 축: Roll, R_y 축 = 좌측 회전 축: Pitch, R_z 축 =

상 방향 회전 축:Yaw), 그리고 등 부위의 3 축 (X_b 축 = 전후 방향, Y_b 축 = 좌우 방향, Z_b 축 = 상하 방향)으로 각각 구성된 12-축 측정법이다. 이를 Griffin의 12 자유도계라고 하며, 현재 BS 6841의 진동 측정축이다. 이는 Fig. 1과 같이 구성된다. 그러나, 전신 피폭 진동 관련 국제 표준 규격 ISO 2631의 측정점은 항상 3 축에 국한되어 있다.

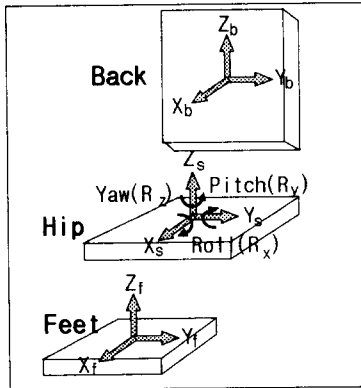


Fig. 1. Griffin's 12 axes for the measurement of whole-body vibration.

측, 서 있는 자세에서는 양 발 부위 3 축, 앉은 자세에서는 엉덩이부의 3 축(회전 진동성분 측정 없음), 누워있는 자세에서는 등부위 3 축에 각각 국한된다. 그러나, 본 연구에서 채택한 12 자유도계 측정계는 이러한 한계점을 해결할 수 있는 보다 일반화된 측정계임을 알 수 있다. 특히, 국내 자동차 및 타이어 제조사에서 깊은 관심을 보이고 있는 승차감 평가를 위하여는 12 축 측정계가 ISO 2631의 3 축 측정계보다 신뢰성 있는 결과를 제공할 수 있다는 점은 최근 연구 [1,5]에서 나타나 있다. 따라서, 양발로 전달되는 진동 가속도양을 측정하기 위하여 양발 지지판, 엉덩이 부위의 왕복 및 회전 가속도들을 측정하기 위한 깔판형 지지틀, 그리고 등 부위의 전달 진동 가속도를 측정하기 위한 원형 평판을 각각 설계 제작 하였다.

특히, 이들 지지 판들은 인체 접촉부를 통한 전달 진동양 측정에 저해 요인들을 최소화하기 위하여 ISVR의 Griffin 교수 연구팀의 협조를 얻어 제작되었다. Fig. 2는 금번 연구과정에 개발한 인체 피폭 장치를 차량용 의자에 설치한 사진을 보이고 있다.

2.2. 진동 센서 및 신호 증폭기

양 발, 엉덩이 그리고 등의 접촉 부위를 통하여

피폭되는 진동성분 가운데 인체에 가장 민감한 반응 보이는 가속도 성분은 약 0.1 Hz - 20 Hz 범위의 저주파 성분들이다^[1-3]. 이러한 저주파 가속도 성분의 정밀한 측정은 기계적 구조물 진동 측정에 널리 이용되는 범용 가속도 센서로 측정이 불가능하다.

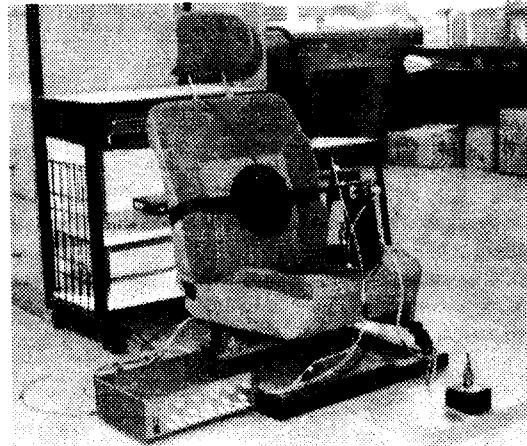


Fig. 2. 12-axis vibration measurement setup.

그리고, 인간이 치명적 손상이 없이 활동할 수 있는 환경에서 최대 순간 피폭 진동양은 피크치로 약 5 g ($g =$ 중력 가속도) 이하의 범위이다. 이러한 저주파 진동 성분과 최대 진동 폭의 필요조건을 만족하면서 동시에 측정 정밀도를 최대화를 얻기 위하여 Table 1과 같은 제원을 만족하는 고 정밀급 가속도 센서를 선정하였다.

양 발과 엉덩이 부위로 피폭되는 진동 센서는 힘 평형(Force balance) 원리를 이용한 서보 가속도 센서이다. 반면에, 등 부위로 피폭되는 진동은 반도체형 Full bridge형 가속도 센서로 증폭기를 센서 내부에 장착하고 있다. Table 2는 이들 센서들의 출력 진동 신호의 증폭기들에 대한 제원을 보이고 있다. 서보 가속도 및 반도체형 센서들은 ± 15 V 외부 직류전원 공급을 필요로 한다. 그리고, 미소한 진동양 정밀 측정을 위하여 0.1% 이하의 선형성을 갖는 고 정밀 계측 증폭기(Instrument amplifier)를 설계 제작하였다. 특히, 본 장치는 향후 국내 자동차 관련 제작사와 의자류 및 타이어 제작사들을 위한 현장 실험 규격을 만족하기 위하여 외부 전자파에 의한 잡음거감과 저전력 소모형으로 실차 시험에 적합도록 하였다.

3. 전신 피폭 진동신호 수집 장치

인체 피폭 진동은 일차적으로 진동 센서에 의하여 전기적인 신호로 변환되고, 전기적 진동 신호는 이

차적으로 신호 증폭장치에의하여 수 Volt 이상의 전압 신호로 증폭된다. 본 연구에서는 이러한 진동 신호를 실 시간 대역에서 범용 PC를 이용하여 디지털 신호로 변환할 수 있는 신호 수집 장치를 개발하였다. 본 장치의 기본적인 제원은 Table 3 과 같다. 고속 고정밀 디지털 변환을 위하여 Data Translation사의 2 개의 동일한 DT-2838 보드를 이용하여 16 채널 동시 신호수집을 이룩하였다.

Fig. 3은 본 장치의 개략적 구성도를 보이고 있다. 본 신호 수집 장치에 관련된 하드웨어 제어와 고속 디지털 신호 전달에 관련된 소프트웨어 개발은 일반 사용자의 수준을 초월하는 어려운 작업이다. 특히, 본 연구에서는 이러한 문제점을 일반 사용자가 전혀 느끼지 않도록 하기위하여, 현재 PC 사용환경의 표준이 된 윈도우용 제어 프로그램으로 개발하였다. 실제 사용 환경은 HP사의 VEE (Visual Engineering Enviroment)^[8]에서 운용된다. 따라서, 일반 사용자는 단지 PC 마우스를 이용하여 그래픽 아이콘 조작만으로 원하는 신호를 RAM 디스크 장치에 실시간으로 저장할 수 있다. 물론 수집 신호의 기록 양은 사용자 PC의 메모리의 크기에 좌우된다. 그리고, 디지털로 기록된 신호를 MATLAB과 같은 응용S/W에서 직접 읽을 수 있는 파일 변환 기능또한 제공한다.

4. 결론

본 연구는 인체 진동 감응과 관련된 93 년도의 사전 연구조사 결과와 영국 ISVR의 M. Griffin 교수팀의 협조를 얻어 12축 인체 피폭 진동 측정 장치의 성공적 개발 사례를 소개하고 있다. 특히, 본 인체 피폭 진동 측정 시스템은 국제 표준 규격(ISO 2631) 및 EC 관련 규격(BS 6841)을 충분히 만족할 수 있는 표준형 측정 장치이다. 개

발된 측정 시스템과 더불어 감성적 진동 평가안을 국내 차량 제조회사, 차량 의자 공급사, 그리고 타이어 메이커에 소개할 예정이며, 이를 인체관련 진동에 대한 연구 장비, 즉 승차감 평가를 위한 측정 표준 시스템으로 활용할 예정이다.

참고 문헌

- (1) M. J. Griffin, *Handbook of Human Vibration*, Academic Press: London, 1990.
- (2) K.C. Parsons and M. J. Griffin, "Methods for Predicting Passanger Vibration Discomfort," *Society of Automotive Engineers Technical Paper Series 831029*, 1983.
- (3) M. J. Griffin, "Evaluation of Vibration with Respect to Human response," *Society of Automotive Engineers Technical Paper Series 860047*, 1986.
- (4)정 완섭 외 6 인, 역학 연구부 사전 연구조사: 제 3 장 진동이 인체에 미치는 영향, KRISS-94-045-IR, 한국 표준 과학 연구원, pp. 92-107, 1994.
- (5)정 완섭 외 5 인, 역학 연구부 사전 연구조사: 제 3 장 저주파 진동 센서의 교정과 응용, KRISS-95-064-IR, 한국 표준 과학 연구원, pp. 59-70, 1995.
- (6) ISO 2631, *Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1 (1985): Geberal Requirements, Part 2 (1989): Human Exposure to Continuous and Shock-Induced Vibration in Building (1 to 80 Hz), Part 3 (1985): Evaluation of Exposure to Whole-Body z-Axis Vertical Vibration in the Frequency range 0.1 to 0.63 Hz, Part 4 (1988): Evaluation of Crew Exposure to Vibration on Board Sea Going Ships (1 to 80 Hz)*, International Ognization for Standardization, 1 rue de Varembe, Case Postale 56, CH-1211, Geneve 20, Switzerland.
- (7) BSI 6841: 1987, *Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock*, British Standards Institute, 2 Park Street, London W1A 2BS, U.K.
- (8)HP VEE User's and Reference Manual, 1993.

Table 1. Specifications of Vibration Sensors.

Exposed Area	Composite Error ⁽¹⁾	Measurement Axes	Frequency Range	Temperature Range
Feet	< 0.2 % (±10 g _{max})	3	DC ~ 150 Hz	-50 °C ~ 85 °C
Seat	< 0.2 % (±10 g _{max})	3		
	< 0.2 % (±1.5k rad/s ² _{max})	3		
Back	< 1 % (±10 g _{max})	3		-40 °C ~ 120 °C

(1) Composite error includes effects of hysteresis, non-linearity, resolution and threshold errors.

Table 2. Specifications of amplifiers for vibration sensors

Exposed Area	Input Channels	Amplifier Classification	Selectable Gain	Global Linearity
Feet	3	Instrument Amplifier	1, 10, 100, 1000	≤ 0.2 %
Seat	6 (3+3)			≤ 0.7 %
Back	3			

Table 3. Specifications of PC-based data acquisition system.

Maximum Channels	Bit Resolution	Acquisition Rate	Data Transfer
16 (Simultaneous Sampler/Holder)	16	-2×160 KWords/s (Dual Channels) -16×15 KWords/s (Simultaneous 16 Channels)	Dual Channel Direct Memory Access to RAM Disk

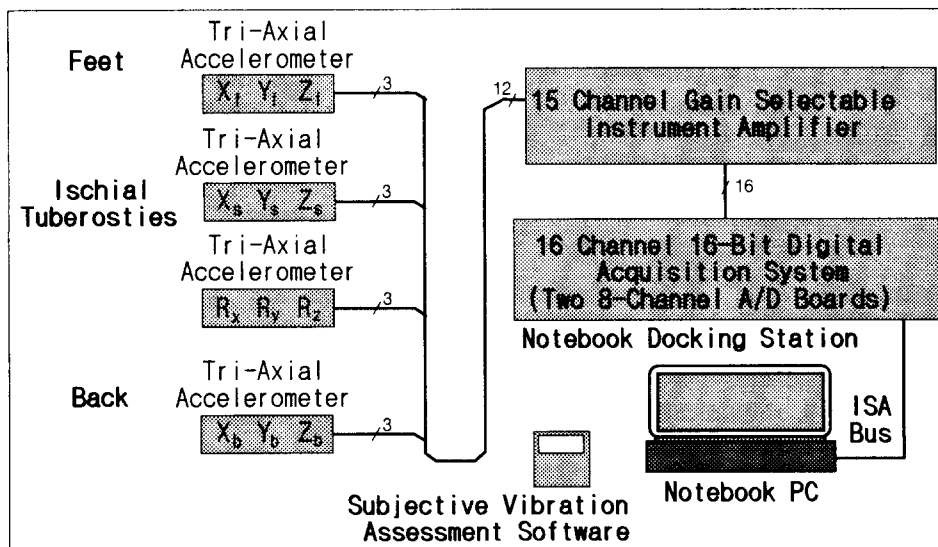


Fig. 3. Schematic diagram of whole-body vibration Measurement system.