

농용 트랙터 시트의 진동 승차감 평가

Ride Quality Evaluation of Agricultural Tractor Seats

이종광* 박세진** 강영선*** 강이석*
J. K. Lee S. J. Park Y. S. Kang E. S. Kang

ABSTRACT

The ride quality of agricultural tractor seats is evaluated based on the vibration of the human bodies. Tractor ride vibration levels have been measured at the person-seat interface along 7 axes(3 translational axes at the feet, 3 translational axes on a seat surface and 1 axis at the seat back), under different operating conditions. Since one of the most important parameters for ride comfort is the level and duration of the root mean square acceleration experienced, the ride values, such as the seat effective amplitude transmissibility, the component ride value, and the overall ride value based on acceleration root mean square are evaluated for a conventional tractor using frequency weighting functions and axis multiplying factors. The ride indices are also studied considering to the variation of vehicle speed and road profile.

1. 서론

트랙터와 같은 험로 차량 운전자의 안락감과 안전은 작업 공간의 설계, 다양한 조작 장치들의 위치, 소음과 진동, 온도, 가시성과 같은 운전자의 환경에 크게 영향을 받는다. 특히 운전자에게 전달되는 진동의 효과는 노면의 조건, 운전 속도, 작업 조건, 차체 및 좌석의 완충장치 등의 여건에 따라 각기 달라질 수 있다. 일반적인 농용 트랙터는 차륜 현가장치가 없고, 불규칙한 지면 위에서 작업함으로써 작업자는 높은 수준의 진동에 노출되어 있다. 이러한 트랙터의 진동을 분석하고 저감시키기 위한 기초 연구로써 기관의 가진력을 포함한 동적 트랙터 모델을 이용하여 트랙터의 구조적인 설계 변수가 좌석 진동에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션을 수행한 연구가 수행되었다[6]. 또한 다분히 주관적인 경향을 띄는 승차감을 객관적 지수로 표현하기 위한 많은 노력이 이루어져서[1,2,3,4,5] 일반적인 측정 방법이 ISO 2632와 BS 6841에 제시되어 있다.

본 연구의 목적은 현재 국내에서 사용되고 있는 농용 트랙터 시트의 승차진동을 측정하고, 진동의 수준 및 서스펜션의 성능을 평가하는데 있다. 이를 위해 12축의 진동 승차감 측정 모듈을 구성하였으며, 인체 피폭 진동을 측정하여 승차감 지수와 의자지수(SEAT value)를 구해봄으로써 시트의 성능을 평가해 보았다.

* 충남대학교 공과대학 기계설계공학과

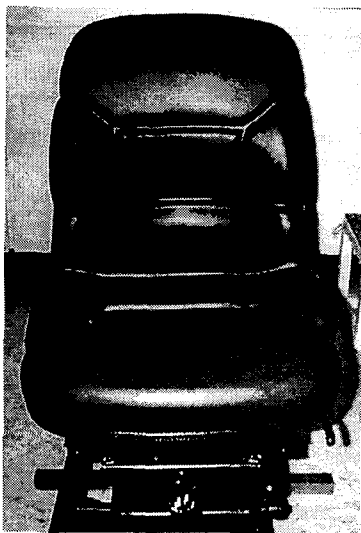
** 한국표준과학연구원 인간정보그룹

*** 동양물산기업(주) 중앙기술연구소

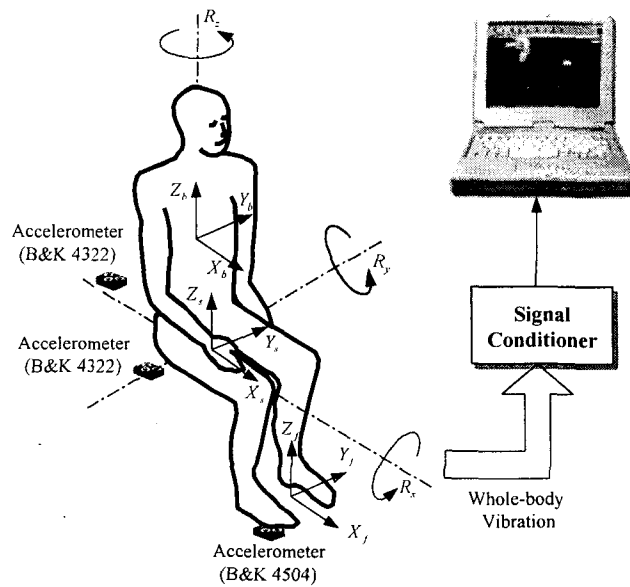
2. 실험조건 및 장치

Fig. 1의 (a)는 실험에 사용된 농용 트랙터 시트, (b)는 인체 피폭 진동 측정장치의 개략도를 보이고 있다. 발, 엉덩이, 등 부위의 접촉부를 통해 인체에 피폭되는 진동량을 측정하기 위해 Griffin[1]이 제안한 12축 인체 측정 장치를 구성하였으며, 비교적 영향이 적은 5개의 방향을 생략한 인체 접촉부위 7축, 그리고 시트 서스펜션의 성능을 보기 위한 1축 등 총 8축에서 진동을 측정하였다. 실제로 제외된 5방향의 가속도는 전체승차감지수에 미치는 영향이 미미하여 현재 널리 쓰이는 12축 측정법과 크게 다르지 않다고 볼 수 있을 것이다. 실험에 사용된 가속도계는 piezo-electric 형태로 족부(foot)와 시트 서스펜션 상부는 B&K4504, 둔부(hip)와 요부(lumbar)는 시트 가속도계(B&K 4322)를 사용하였다. 둔부와 요부는 각각 엉덩이뼈 결절(ischial tuberosities) 부근과 요추지지(lumbar support) 위치에 벨트로 고정하여 측정하였다. 각 신호는 1kHz의 속도로 digital recorder(Sony DAT 216A)에 기록되었다.

실험은 포장도로와 비포장도로에서 주행중에 각각 이루어졌으며, 또한 주행속도의 영향을 평가하기 위하여 속도를 증가시키며 승차감 지수와 SEAT 지수를 분석하였다. 실험에 사용된 트랙터는 55마력의 모델 T550이었으며, 2명의 운전자가 정속운전을 하는 동안 주행속도가 안정되는 시점에서 약 2분 동안 측정을 수행하였다.



(a) Photograph of tractor seat



(b) Schematic of measurement system

Fig. 1 Experimental Setup

3. 승차감 지수

앉은 자세에서의 전신 진동은 인체와 시트의 접촉부(족부, 둔부, 요부)를 통해서 전달되며, 접촉부의 위치 및 방향, 가해지는 진동 주파수의 성분에 따라 사람의 몸은 다른 인지도를 보인다. 이렇게 접촉부의 위치 및 축 방향에 대한 상대적인 인지 정도를 수치화 한 인자를 축가중계수(axis multiplying factor)라 하며 진동 성분의 주파수에 따른 인체가 느끼는 정도를 등가화한 것을 주파수 가중함수(frequency weighting function)라 한다. 축방향과 진동의 주파수에 따른 가중치는 Griffin에 의해 실험적으로 정의되었다[1].

3.1 전체 승차감 지수

요소승차감지수(component ride value)는 각 측정축에 대해 승차감에 기여하는 양을 정량화 한 것이다. 이는 각축에 대해서 측정된 가속도의 전력 밀도함수 $P_{ii}(f)$, 주파수 가중함수 $w_i(f)$, 축가중계수 k_i 에 의해 식(1)과 같이 구해진다.

$$\text{Component Ride Value}_i = k_i \left[\int P_{ii}(f) w_i(f)^2 df \right]^{1/2} \quad (1)$$

또한 모든 측정 축에 대해 가중치된 전신 피폭 진동의 총량을 나타내는 전체 승차감 지수(overall ride value)는 식(2)와 같이 N 개 측정 점의 요소 승차감 지수의 제곱합의 자승근으로 정의된다. 따라서 이는 승차감의 대표치라 할 수 있으며, 이 값이 작을수록 인체에 민감한 진동량이 적게 인체에 전달되므로 승차감이 우수하다고 할 수 있다.

$$\text{Overall Ride Value} = \left[\sum_{i=1}^N (\text{Component Ride Value})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

3.2 의자 지수(seat effective amplitude transmissibility, S.E.A.T)

의자 지수는 의자 하부 지지대의 Z_f 방향 입력 진동의 실효치에 대한 둔부 Z_s 방향의 진동 실효치의 비로써 정의된다. 즉 의자 하부, 지지대의 가진 입력 가속도 전력밀도함수 $P_f(f)$ 와 운전자 둔부 Z_s 방향의 가속도 파워 스펙트럴덴시티 $P_{ss}(f)$ 를 가중 함수 제곱 $w_b(f)^2$ 을 각각 이용하여 관심 주파수 대역에서 의자 지지대 및 둔부의 제곱 평균 가속도 값을 각각 계산한다.

$$S.E.A.T = \left[\frac{\int_{f_0}^{f_1} P_{ss}(f) w_b(f)^2 df}{\int_{f_0}^{f_1} P_f(f) w_b(f)^2 df} \right]^{1/2} \quad (3)$$

의자 지수는 어느 정도의 진동을 줄여주고 있는지의 비를 나타내며, 입력이 동일한 조건에서 비교가 가능하다. 이 지수는 f_0 와 f_1 의 선정에 따라 값이 달라지게 되어, 백색 잡음 입력의 경우 f_1 을 공진 주파수 이하의 범위에서 증가시키면 S.E.A.T 값은 증가하게 되지만, 공진 주파수 이상의 범위에서 증가시키면 S.E.A.T 값이 감소하게 된다.

4. 분석결과

4.1 승차감 지수 평가

본 연구에서 측정된 8개의 축에 대한 결과를 Table 1에 나타내었다. 측정된 축은 발에서의 3축(X_f, Y_f, Z_f), 엉덩이에서의 3축(X_h, Y_h, Z_h), 등에서의 x축(X_b) 그리고 시트 서스펜션 상부에서의 z축(Z_s)이었다. 먼저 발 부위에서의 3축에 대한 평균적인 가속도를 보면 0.81, 1.23, 1.32로 x축의 진동이 z축의 진동의 61.4%, y축은 z축의 93.2%임을 알 수 있어 수평방향의 진동의 비중이 크게 작용함을 알 수 있다.

또한 각 축에 대한 rms 감소량은 x,y,z 축에서 각각 0.96, 0.67, 0.78이었으며, 발에 대한 시트 서스펜션의 rms 감소량은 0.75이었다. 트랙터 시트에서의 x축을 제외하고는 시트와 서스펜션 모두 어느 정도의 가속도를 줄여 주고 있음을 알 수 있다.

Table 1 Weighted root mean square of each measurement points(m/s²) and overall ride value

Points	Person 1				Person 2			
	asphalt		rough road		asphalt		rough road	
X_f	0.726	0.677	0.832	0.950	0.682	0.689	0.792	1.198
Y_f	1.136	1.105	1.338	1.472	0.998	1.088	1.315	1.422
Z_f	1.215	1.230	1.495	1.592	0.958	1.242	1.366	1.531
X_h	0.760	0.655	0.795	0.992	0.705	0.666	0.732	0.936
Y_h	0.832	0.618	0.841	1.032	0.764	0.688	0.768	0.971
Z_h	0.901	0.858	1.111	1.442	0.694	0.932	1.262	1.381
X_b	0.704	0.824	1.000	1.278	0.668	0.838	1.011	1.219
Z_s	0.996	0.789	0.873	1.230	0.743	0.854	1.000	1.182
ORV	0.955	1.032	1.315	1.621	0.850	1.072	1.386	1.545
	Reduction ratio (%)				Reduction ratio (%)			
X_h/X_f	104.0	96.8	95.5	104.4	103.4	96.7	92.4	78.1
Y_h/Y_f	79.3	55.9	62.9	70.1	76.6	63.2	58.4	68.3
Z_h/Z_f	74.2	57.4	69.8	90.6	72.4	75.0	92.4	90.2
Z_s/Z_f	82.0	83.9	58.4	77.3	77.6	68.8	73.2	77.2

4.2 노면조건과 주행속도 변화에 대한 승차감 평가

트랙터의 주행속도가 승차감에 미치는 영향을 알아보기 위해 엔진 회전속도를 1000, 1500, 2000rpm으로 정속운전하며 진동을 측정하였다. Fig. 2는 포장도로와 비포장도로에서 측정된 주행속도에 따른 전체승차감지수의 변화를 보여주고 있다. 주행 속도가 증가할수록 발생되

는 진동이 커져 전체승차감지수가 비례하여 증가함을 볼 수 있다. Fig. 3은 주행속도의 변화에 따른 의자지수를 보여주고 있다. 주행속도가 증가함에 따라 의자지수는 감소함을 볼 수 있는데 이는 속도가 증가함에 따라 입력 주파수 대역이 높아져 시트의 고유진동수 이상의 입력이 많아져 감쇄량이 많아지기 때문이라고 볼 수 있을 것이다.

또한 Fig. 4는 주행속도 변화에 따른 8개의 축에서 측정된 가속도의 rms 값을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯 중요한 3가지 방향은 Z_f , Z_h 그리고 X_b 임을 확인 할 수 있다. Fig. 5는 각 축에서 구해진 요소승차감 지수를 보여주고 있다. 주행속도가 증가함에 따라 요소승차감지수가 증가함으로 Fig. 2와 같이 전체승차감지수가 증가하게 된다.

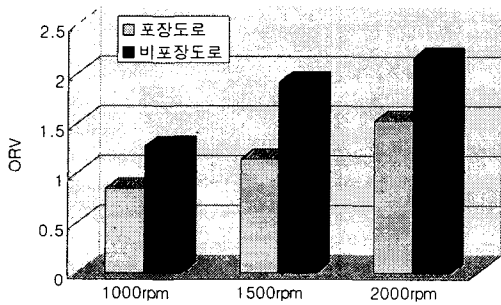


Fig. 2 ORV with driving velocity

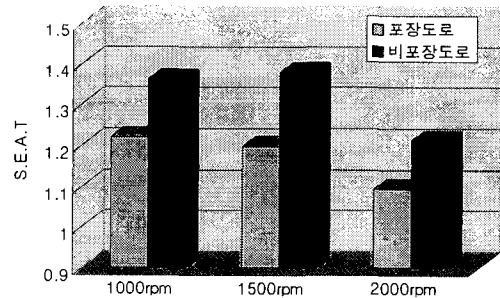


Fig. 3 SEAT value with driving velocity

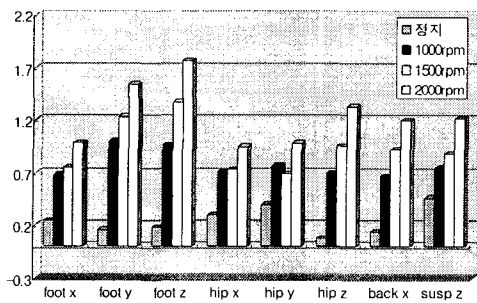


Fig. 4 Acceleration RMS with driving velocity

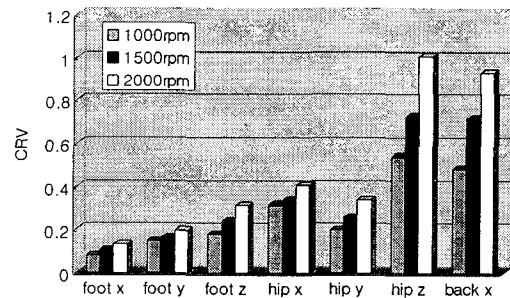


Fig. 5 Component Ride Value with driving velocity

4.3 시트 서스펜션의 평가

Fig. 6은 바닥, 엉덩이 그리고 시트 서스펜션 상부에서의 z축에 대한 전력밀도함수를 보여주고 있다. 바닥에서의 가속도는 인체의 영향을 받지 않고 차량의 고유 특성에 영향을 받게 되며, 그림에서 보이는 바와같이 1.5Hz 정도에서 공진이 발생됨을 볼 수 있다. 엉덩이와 서스펜션 상부에서의 가속도 스펙트럼은 시트와 서스펜션의 진동특성을 포함하여 공진 주파수가 약 3.5Hz 근처에서 나타나고 있다. Fig. 7은 바닥과 시트 서스펜션 상부 사이의 z방향 가속도 전달함수의 양을 나타내고 있다. 비록 고주파영역에서의 진동감쇄 효과는 기대되지만 인체가 민감한 대역에 포함되는 3~5Hz 대역에서 진동을 증폭시키는 결과를 초래하게 된다.

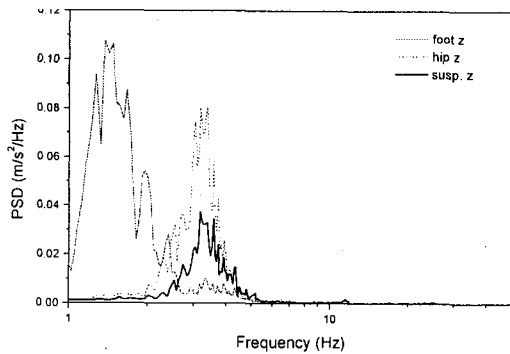


Fig. 6 Power spectrum density at 3-axis (foot z, hip z, suspension z)

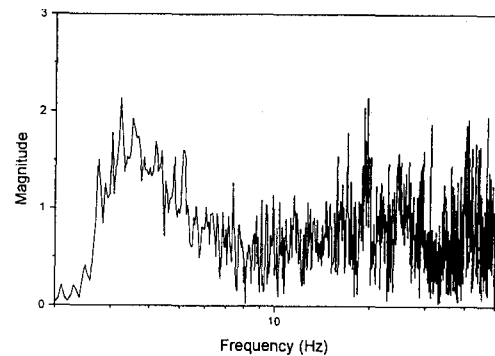


Fig. 7 Transfer function between foot z and suspension z

5. 결론

본 연구에서는 농용 트랙터 시트의 승차감을 보다 체계적이고 정량적으로 평가하기 위한 측정 시스템의 구성과 실험에 대하여 다루었다. 포장도로와 비포장도로에서 수행된 실험을 통해 노면조건과 주행속도의 변화가 승차감에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 진동축의 방향과 진동주파수에 따른 가중치를 고려한 승차감 지수(요소승차감지수, 전체승차감지수, SEAT 지수)를 통해 전체적인 평가를 수행하였다. 주행속도가 증가할수록 전체승차감지수는 비례적으로 증가하였으며, SEAT 지수는 다소 감소하였다. 실험에 사용된 트랙터 시트 및 시트 서스펜션은 인체가 민감하게 반응하는 대역에서의 진동 저감에 큰 역할을 발휘하지 못하므로 쿠션 재료나 서스펜션 구조의 적절한 선정을 통한 추가 연구가 필요하다.

6. 참고문헌

1. M. J. Griffin. 1990. Handbook of Human Vibration. Academic Press. London
2. J. C. Wambold. 1986. Vehicle Ride Quality Measurement and Analysis. SAE 861113
3. 조영건, 정완섭, 박세진, 윤용산. 1997. 내구력 도로와 요철 도로에서 승용차의 승차감 지수 평가. 한국소음진동공학회지 제 7 권 제 6 호 : 1025~1030
4. Se Jin Park, Wan-Sub Cheung, Young-Gun Cho, Yong-San Yoon. 1998. Dynamic Ride Quality Investigation for Passenger Car. SAE 980660
5. 정수식, 김경욱, 문계송. 1993. 농용 트랙터의 승차진동 평가에 관한 연구(III).-승차진동의 측정과 평가-. 한국농업기계학회지 18(3):191~198
6. 박홍제, 김경욱. 1999. 농용 트랙터 동특성 시뮬레이션(III) - 주요 설계 변수가 좌석 진동에 미치는 영향 -. 한국농업기계학회지 23(6) : 183~194