

승용차량의 아이들 진동을 고려한 착석자세에 따른 인체의 반응특성 분석

Human Response to Idle Vibration of Passenger Vehicle Related to Seating Posture

전 경 진*·김 민 석**·안 세 진†·정 의 봉***·유 완 석***

Gyeoung-Jin Jeon, Min-Seok Kim, Se-Jin Ahn, Weui-Bong Jeong and Wan-Suk Yoo

(2010년 7월 8일 접수 ; 2010년 10월 8일 심사완료)

Key Words : Seating Posture(착석자세), Idle Vibration(정차진동), Apparent Mass(겉보기질량), Apparent Eccentric Mass(겉보기편심질량), Passenger Vehicle(승용차량), Discomfort(불편함)

ABSTRACT

Human characteristic responding to idle vibration on passenger vehicle was studied to find if affected by seating posture of passenger. When twelve male subjects are exposed to moderate vertical vibration of 0.224 m/s² r.m.s. at frequency range from 3 Hz to 40 Hz, it was found that seating posture significantly affects to biodynamical characteristics, apparent mass and apparent eccentric mass, at most range of idle vibration frequency(20~40 Hz). The supported thigh contact on rigid seat showed bigger values in the two biodynamical characteristics than the average thigh contact. The bigger apparent mass and apparent eccentric mass in the seating posture of the supported thigh contact can be assumed more strengthened muscle at the frequency range.

1. 서 론

운전자는 차량에 탑승하여 주행 중일 때뿐만 아니라 신호대기 등의 이유로 정차 중일 때도 엔진폭발에 의한 아이들(idle) 진동에 노출되어 있다. 아이들 진동은 소음 진동의 기술이 발전하고 차량의 소음진동에 대한 소비자들의 기대수준이 높아짐에 따라 주행 중에 발생하는 진동과 함께 차량의 승차감 평가에서 중요한 항목으로 다루어지고 있다. 일반적으로 차량의 아이들 시 엔진 회전수(rpm)를 결정하는 주요한 인자로서 연비와 배기규제 등이 있지만,

차체의 진동모드를 고려하여 아이들 진동을 저감하는 것도 중요한 인자가 된다. 국내 4개사에서 출시한 차량모델 별 아이들 시 엔진 회전수와 엔진폭발에 의한 가진 주파수를 Table 1에 나타내었다. 엔진 회전수를 이용하여 엔진폭발 가진 주파수로 계산하는 식은 다음과 같다.

$$Hz = \frac{RPM \times \text{배기통수} \times \text{실린더1회전당 폭발수}}{60} \quad (1)$$

국내 4개사의 승용차량의 아이들 시 엔진폭발 주파수의 전체 범위는 17~53 Hz로 조사되었고, 이 중에서 20~40 Hz 범위에 포함된 차량은 약 90% 이상을 차지하고 있다. 승용차량에 탑승하고 있는 운전자의 아이들 진동에 따른 인체의 반응은 엔진폭발에 의한 가진 주파수에 의존할 뿐만 아니라 시트의 형상과 착석자세에 따라 달라지고, 이로 인해 운

† 교신저자; 정희원, 르노삼성자동차
E-mail : sejin.ahn@renaultsamsung.com
Tel : (051)979-9551

* 부산대학교 대학원 기계공학부

** 부산대학교 기계기술연구원

*** 정희원, 부산대학교 기계공학부

전자가 느끼는 불편함의 정도도 달라진다.

전신진동(whole-body vibration)에 노출된 인체에 대한 겉보기질량(apparent mass)과 임피던스(impedance)는 인체를 지지하고 있는 구조물로부터 인체로 전달되는 진동량에 대한 주파수 특성을 나타낸 것이다⁽¹⁾. 앉은 자세에서 상하방향 진동에 노출된 인체에 대한 겉보기 질량의 국제표준은 ISO 5982⁽²⁾에서 규정하고 있다. 대부분의 상하방향 진동에 대한 인체 반응특성에 관한 연구는 0.2~20 Hz의 주파수 범위에서 0.25~3.0 m/s² r.m.s.의 크기를 가지는 정현파 또는 랜덤 신호를 이용하였으며, 인체의 최대 피크 주파수는 4~6 Hz에서 나타나며⁽³⁻⁵⁾, 부분적으로 2차 피크 주파수는 8~13 Hz에서 나타나는 것으로 조사되고 있다^(3,5). Holmlund⁽⁶⁾와 Matsumoto⁽⁷⁾ 등은 가진 신호의 크기가 증가할수록 인체의 공진 주파수는 감소한다는 것을 보였고 이러한 비선형적인 특성은 인체 거동의 연화연상(softening effect)에 의한 것이라고 설명하였다⁽⁷⁾. 그리고 Cheung^(8,9) 등은 랜덤진동(주파수범위 : 1~50 Hz, 크기범위 : 0.25~2.0 m/s² r.m.s.)을 이용하여 한국인에 대한 상하방향 진동의 인체 반응특성을 분석하였다.

인체의 겉보기 질량을 정상상태의 정현파 또는 랜덤 신호를 이용한 기존의 연구와는 달리, Ahn⁽¹⁰⁾ 등은 다양한 크기와 감쇠비 및 역위상을 가지는 상하방향의 쇼크타입 진동에 대한 인체의 비선형적인 특성을 준겉보기 질량(quasi-apparent mass)으로 나타내고, 진동의 크기에 따라 준겉보기 질량이 비례적으로 증가하지 않는 비선형성은 공진 주파수(4~5 Hz)보다 높은 영역에서 나타나며, 감쇠비의 차이와 역위상은 이러한 비선형성에 다소 영향을 미침을 보였다. 그리고 수직방향 전신 충격진동의 불편함을 평가하여 동일한 크기의 물리량을 가지는 충격진동에 대하여 인체가 느끼는 불편함은 충격진동의 기본주파수에 따라 달라지고, 1 Hz 이하의 저주파수와 인체의 공진영역인 4~10 Hz 영역의 주파수에서 상대적으로 큰 불편함을 느낀다고 보고하였다⁽¹¹⁾.

Mansfield⁽¹²⁾와 Nawaysch^(13,14) 등은 앉은 자세의 인체는 상하로 진동하였을 때 가진 방향인 상하방향의 응답뿐만 아니라 형상적인 특징(geometry shape)으로 인해 전후방향에 대해서도 비선형적인 응답특성을 보인다고 밝혔다. 여기서 가진 방향과 다른 방향으로 응답하는 인체의 비선형적인 특성은

인체의 진동 응답특성을 더욱 정확하게 묘사하는 중요한 변수가 되었으며, 상하방향의 진동에 대한 전후방향의 응답을 교차축 겉보기질량(cross-axis apparent mass)으로 나타내었다. 또한 supported thigh contact 이 average thigh contact보다 apparent mass가 높게

Table 1 Engine RPM of domestic passenger vehicles and frequency range of main vibration at idle condition

Maker	Model	Cylinder	RPM	Frequency (Hz)
HYUNDAI	New Click	4	700~900	23~30
	VERNA	4	560~820	19~27
	AVANTE	4	560~930	19~31
	i30	4	560~880	19~29
	SONATA	4	500~790	17~26
	GRANDUER	6	550~750	28~38
	TUCSAN ix	4	520~890	17~30
	SantaFe	6	690~890	35~45
		4	520~720	17~24
	VERACRUZ	6	610~810	31~41
	EQUUS	8	600~700	40~53
		6	650~850	33~43
	GENESIS	6	450~750	23~38
GENESIS Coupe	6	500~700	25~35	
	4	620~820	21~27	
KIA	Morning	4	650~850	22~28
	PRIDE	4	560~760	19~25
	PORTE	4	600~800	20~27
	PORTE KOUP	4	550~900	18~30
	SOUL	4	560~950	19~32
	K5	4	500~700	17~23
		6	450~650	23~33
	K7	4	520~750	17~25
		6	550~650	28~33
	SPORTAGE R	4	600~800	20~27
	SORENTO R	4	690~890	23~30
MOHAVE	8	500~700	33~47	
	6	580~820	29~41	
SSANG YONG	CHAIRMAN W	6	520~700	26~35
	RODIUS	5	700~800	29~33
	ACTYON	5	700~800	29~33
	ACTYON Sports	4	730~830	24~28
	KYRON	4	700~830	29~35
RENAULT SAMSUNG	SM 3	4	600~800	20~27
	SM 5	4	580~800	19~27
	SM 7	6	625~800	31~40
	QM 5	4	650~800	22~27
	New SM 3	4	675~775	23~26
New SM 5	4	690~750	23~25	
Frequency range of idle vibration in passenger vehicle				17~53

나온다고 보고하였다⁽¹⁴⁾.

Toward⁽¹⁵⁾와 Wang⁽¹⁶⁾ 등은 수직방향의 진동에 대하여 자세변화에 따른 걸보기 질량을 측정하여 시트의 각도가 커져 발판의 높이가 높아질수록 apparent mass가 높게 나온다고 보고하였고 시트의 각도가 높아짐에 따라 첫 번째 피크의 값이 커지는 현상이 나타난다고 보고하였다⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

실제 운전자가 차량의 시트에 착석하면 인체의 전후방향에 대한 비대칭으로 인하여 상하방향 및 전후방향 뿐만 아니라 피칭(pitching)성분의 회전방향 진동에 노출되어 있으나 기존 연구에서는 회전방향의 반응특성을 나타낼 수 있는 대푯값을 제시하지 못하였다.

이 논문에서는 아이들 주파수 대역(20~40 Hz)의 상하방향 진동에 대한 상하병진과 피칭회전의 인체 반응특성을 힘 측정 평판시트(force plate)를 이용한 실험을 통하여 구현하였다. 여기서, 상하병진 응답 특성은 기존의 연구와 같이 걸보기질량이라 하였고, 인체의 전후 비대칭으로 인한 피칭회전 진동에 의한 인체의 반응특성을 걸보기 편심질량(apparent eccentric mass)이라 이 논문에서 명명하였다. 이 논문에서는 발판 높이에 따른 전후방향 비대칭의 정도와 시트 각도에 따라 허벅지가 시트에 닿는 정도에 의해 상하방향 진동에 반응하는 인체의 특성은 영향을 받을 것이라는 가설(hypothesis)을 수립하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장비 및 피시험자

이 실험에서는 임의신호(random signal)의 진동을 발생시키기 위해 파워 증폭기(power amplifier)가 장착된 단축 가진기(IMV-i220)를 사용하였다. 가진기의 상세 사양은 Table 2에 나타내었다. IMV i-220 단축 가진기는 가진기 상부에 장착된 1축 가속도계(Kistler 8310B)의 신호를 피드백 제어(feedback control)하여 진동의 주파수와 크기가 제어 목표치를 유지할 수 있도록 한다. 가진기 상부에 설치된 힘 측정 판(AMTI OR 6-7)은 스트레인 게이지(strain gage)로부터 힘 측정 판에 작용하는 3축 병진방향(전후, 좌우, 상하)의 힘과 3축 회전방향(롤링, 피칭, 요잉)에 대한 모멘트를 측정하여 계산한

다. 이 논문에서는 ISO 2631-1⁽¹⁷⁾의 좌표계를 기준으로 하였으며, 인체가 좌우방향으로 대칭임을 고려하여 상하방향의 병진응답과 피칭의 회전응답을 측정하여 인체반응 특성을 계산하였다. 입력신호와 응답신호로부터 디지털 분석이 가능한 데이터로 변환하기 위해 NI사의 LabVIEW를 이용하였다. 여기서 피시험자가 입력신호에 노출된 시간은 80초이며 신호분석에 이용된 신호는 초기 및 말기의 과도신호를 고려하여 처음과 끝의 20초를 제외한 60초의 신호를 유효한 신호로 제한하였다. A/D 변환된 데이터는 해닝 창함수(hanning window function)를 적용하여 스펙트럼으로 변환하였으며, 95% 중첩(overlap)된 신호를 평균화(averaging)하였다.

피시험자는 임의로 선정된 12명의 남성으로써 이들의 데이터는 Table 3에 나타내었다.

2.2 실험방법

피시험자의 착석자세를 일정하게 유지하게 하기 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 정해진 기구기로

Table 2 Specification of exciter generating random vibration

Model	IMV corporation i220
Type	Electro-dynamic
Rated force	5.6 kN(random)
Frequency range	3 ~ 3,300 Hz
Maximum displacement	51 mm p-p
Maximum payload	200 kg

Table 3 Characteristics of the subjects employed

Item	Average	SD	Max/Min
Weight(kg)	72.4	11.7	104/66.5
Height(cm)	173.3	3.2	180/169.5
Age(yr)	28.2	8.1	34/25

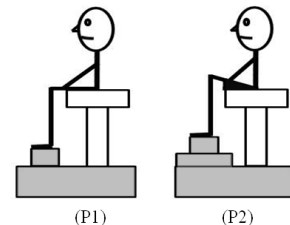


Fig. 1 Schematic diagram of two experimental seating postures

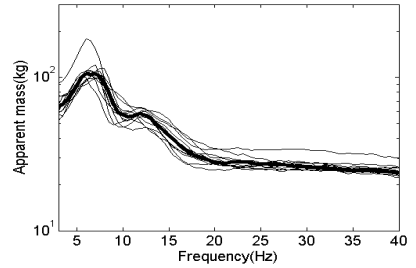
제작된 시트의 밀판을 사용하였다. 그리고 피시험자가 이 논문의 두 가지 착석자세를 편안하게 유지할 수 있도록 발판의 높이를 조절하였다. 발판은 피시험자가 정해진 착석자세에서 발을 편안하게 유지할 수 있도록 적절한 높이로 제작하여 사용하였다. 이 연구에서 사용된 시트 밀판의 각도는 정적 불편도 평가에서 의미 있는 차이를 보였던 0°(P1)와 12°(P2) 두 가지로 제작되었다⁽¹⁸⁾. 이 논문에서 P1 착석 자세는 허벅지가 평평한 시트에 편안하게 접촉되는 average thigh contact의 상태이고, 12° 각도의 시트의 밀판이 허벅지를 충분히 지지하는 supported thigh contact의 상태를 P2 착석자세로 명명 하였다. 이때 시트 밀판은 이 연구의 관심주파수 범위에서 강체 특성을 나타낼 수 있으면서 인체에 거부감이 적은 단단한 나무재질을 사용하여 제작하였다. 시트의 등받이는 상하방향 진동에 대한 인체반응에 미치는 중요한 인자⁽¹⁹⁾ 중에 한가지이나 이 연구에서는 등받이가 없는 시트를 이용하여 등받이의 영향을 배제한 착석자세에 따른 인체의 반응을 연구 하였다.

피시험자는 Fig. 2에서와 같이 허리를 곧게 세우고 정면을 응시하는 자세를 유지하고 손은 무릎 위에 가지런히 올리도록 하였다. 그리고 피시험자가 시험 도중에 자발적인 움직임을 하지 않도록 주문 하였다. 피시험자가 강체시트에 착석할 때 신체의 무게 중심과 측정판의 무게중심을 일치시키기 위하여 힘 측정판의 모멘트성분이 0되는 지점에 착석할

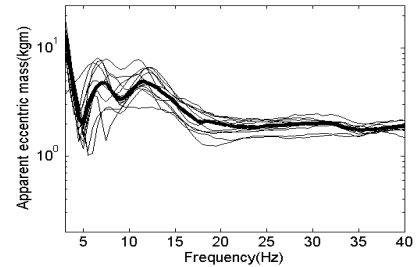


Fig. 2 Photographic representation of exciter and subject sitting on the rigid seat

수 있도록 유도하였다. 피시험자에게 입력된 진동신호의 주파수와 크기는 일반 승용차량이 아이들 시

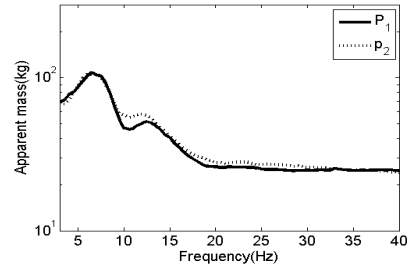


(a) Apparent mass

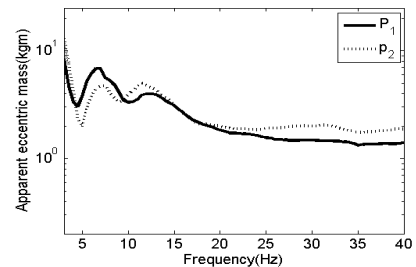


(b) Apparent eccentric mass

Fig. 3 Individual human response of twelve subjects to vertical vibration and its median(P2 seating posture)



(a) Apparent mass



(b) Apparent eccentric mass

Fig. 4 Comparison of human responses according to seating posture

시트에서 발생하는 진동의 주파수와 크기를 고려하였다. 힘 측정 판과 시트가 장착된 가진기의 상판질량과 상판을 지지하는 아마추어(armature)에 의한 강체의 고유진동 전달함수를 구하여 본 결과 전후방향의 강체모드의 고유진동수가 50 Hz 부근에 있으며, 이 연구에서는 3~40 Hz 영역을 유효주파수로 이용하였다. 이 연구에서 가진신호의 크기는 중형승용차의 아이들 진동 수준을 고려하여 0.224 m/s² r.m.s로 하였으며, 주파수 범위는 아이들 진동 영역과 인체의 주요 특성을 포함하는 3~40 Hz로 하였다.

2.3 분석방법

상하방향 진동에 대한 인체의 반응특성을 분석하기 위하여 가진기 플랫폼과 일체로 장착된 강체시트의 가속도를 측정하였고, 강체시트와 결합된 힘 측정 판에서 발생하는 힘을 측정하였다. 겉보기 질량은 상하방향에 관한 가속도와 힘의 관계를 표현한 것으로 다음과 같이 계산한다.

$$A.M.(f) = \frac{S_{a_z f_z}(f)}{S_{a_z a_z}(f)} \quad (2)$$

여기서 $S_{a_z a_z}$ 는 상하방향 가속도 신호의 파워스펙트럼이고 $S_{a_z f_z}$ 는 상하방향 힘 신호와 가속도 신호의 크로스스펙트럼을 의미한다.

이 연구에서 처음으로 소개하는 겉보기 편심질량은 인체의 전후방향의 비대칭으로 인해 발생하는 좌우방향 축을 중심으로 회전하는 피칭성분의 회전모멘트와 상하방향 가속도 입력에 대한 관계를 표현한 것으로 다음과 같이 계산한다.

$$A.E.M.(f) = \frac{S_{a_z m_y}(f)}{S_{a_z a_z}(f)} \quad (3)$$

위의 식에서 m_y 는 Fig. 2에 나타난 Y 방향 모멘트 신호를 의미하고 강체시트와 결합된 힘측정판 센서로부터 획득된 신호를 이용하여 계산하였다. 그리고 $S_{a_z m_y}$ 는 전후방향의 피칭모멘트신호와 가속도 신호의 크로스스펙트럼을 의미한다.

3. 실험결과

시트의 밀판이 허벅지를 충분히 지지해주는 P2자

세에 대한 12명의 피시험자에 대한 인체 응답특성(겉보기질량, 겉보기 편심질량)을 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 굵은 실선은 12명의 피시험자에 대한 주파수별 중간값(median)을 나타낸 것이다. 이 논문의 두 가지 착석자세 P1과 P2자세에 대한 인체반응 특성을 비교하기 위해 각각에 대한 중간값을 Fig. 4에 나타내었다. 겉보기 질량의 최대 피크 주파수는 피시험자의 신체적 특성에 따라 다소 차이가 있지만 대체적으로 4~6 Hz에서 피크를 가지며, 2차 피크 주파수 또한 8~13 Hz에서 가진다는 기존의 연구 결과와 잘 일치 하였다⁽³⁻⁵⁾. Fig. 5는 ‘두 가지 착석자세에 따라 인체반응의 차이가 중요한 의미를 가지는가’에 대한 비모수 통계분석(nonparametric statistics method)의 하나인 부호검증(sign test)⁽²⁰⁾ 결과를 나타낸 것이다. 이 논문에서는 각 주파수에서 두 착석자세에 따른 부호검증 결과를 p-value로 표시하였다. Fig. 4(a)와 Fig. 5(a)에서 22~33 Hz 주파수 범위에서의 겉보기 질량은 P1자세보다 P2자세가 큰 값을 나타내었다. 겉보기 편심질량을 나타내는 Fig. 4(b)와 Fig. 5(b)에서는 P1자세와 P2자세 모두 두 개의 주파수 6 Hz와 12 Hz에서 피크를 가지고, 3~4 Hz와 9 Hz 이후의 주파수 범위에서는 P2자세의 겉보기 편심질량이 P1자세에 비하여 더 큰 값을 가

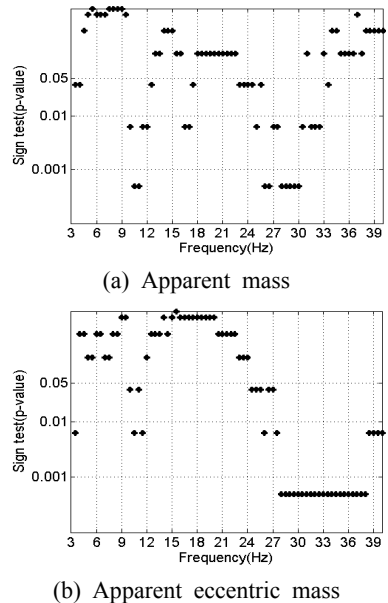


Fig. 5 Significance of sign test according to seating posture(p-value)

짐을 알 수 있다. 그리고 상체 고유진동수 영역인 5~10 Hz에서는 착석자세에 따른 차이가 작은 반면에 허리의 고유진동수 영역인 10~12 Hz는 착석 자세에 따른 차이가 다소 있음을 알 수 있다. 이것은 P1자세에 비해 P2자세를 유지하기 위해 허리에 가해지는 힘이 상대적으로 크기 때문으로 추정된다. 이 연구의 관심 영역대인 아이들 주파수 대역(20~40 Hz)에서는 대부분의 주파수에서 P2의 자세가 P1의 자세보다 더 큰 걸보기질량과 걸보기 편심질량을 가짐을 알 수 있다.

이 논문에서는 ‘발판 높이에 따른 전후방향 비대칭의 정도와 시트 각도에 따른 상하방향 진동에 반응하는 인체의 특성(걸보기질량, 걸보기 편심질량)에 중요한 영향을 줄 것이다’라는 연구가설을 세웠기 때문에 영가설(null hypothesis)은 ‘상하방향으로 진동하는 시트의 각도와 발판의 높이에 따른 착석한 피시험자의 자세는 진동에 반응하는 인체특성에 중요한 영향을 주지 않는다’라는 가설을 세웠다. 이때 p-value값이 특정값 이하가 되면 영가설은 기각되어 대립가설인 연구가설이 채택되고, 반대의 경우는 영가설은 받아들여지게 된다. 그리고 P-value값이 작으면 작을수록 가설에 대한 중요도(significance)가 높아지는데, 일반적으로 P-value값이 0.05 또는 0.01 이하의 경우는 중요도의 차이는 있으나 기 설정한 가설에 의미를 부여할 수 있는 수준의 값이다. 또한 0.001이하의 경우는 거의 대부분 또는 모든 피시험자가 동일한 반응을 보인 것으로써 매우 높은 의미를 부여할 수 있다. 통계분석 결과 걸보기질량의 경우 5가지 주파수영역대로 나눌 수 있는데, 이는 앉은 자세와 걸보기 편심질량과의 명확한 관계가 있음을 나타낸다.

또한 걸보기질량과 걸보기 편심질량의 상관성의 범위대가 상하방향에 진동에 대한 반응특성과 좌우방향 축을 중심으로 회전하는 반응 특성과 연관성이 있을 것으로 사료된다. 또한 아이들 주파수 영역 내에서 걸보기 질량은 23~33 Hz, 걸보기 편심질량은 24~40 Hz 주파수 영역에서 자세에 따른 명확한 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서 승용 차량의 아이들 진동을 고려한

20~40 Hz 주파수 범위의 $0.224 \text{ m/s}^2 \text{ r.m.s.}$ (94 dB)의 크기의 진동에 노출된 12명의 피시험자에 대한 인체반응특성을 연구하였다. 아이들 진동 대부분 주파수 영역에서 인체반응 특성인 걸보기질량과 걸보기 편심질량은 두 가지의 다른 착석 자세와 높은 상관성이 있는 결과를 나타내었다. 이때 아이들 진동영역에서 시트의 밑판이 허벅지를 충분히 지지해주는 P2자세에서의 걸보기질량과 걸보기 편심질량이 허벅지가 시트와 접촉하는 면적이 평균이 되는 P1자세보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 자세 유지를 위한 근육 경직도 뿐만 아니라 인체 구조의 변화로 인해 인체의 강성(stiffness)이 P2자세가 P1자세에 비해 크기 때문으로 추정할 수 있다. 그리고 걸보기질량의 변화와 걸보기 편심질량 간에 연관성이 있음을 추정 할 수 있었다. 향후 연구에서는 더 다양한 자세와 다양한 크기의 진동에 대해서는 이 논문의 결과와 비교하여 어떤 결과를 나타내는 지에 대해 알아볼 필요가 있고, 아울러 인체반응 특성치의 증가와 감소가 불편함(discomfort)과는 어떤 상관성이 있는지에 대한 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Elsevier Academic Press, London.
- (2) ISO 5982, 2001, Mechanical Vibration and Shock - Range of Idealized Values to Characterize Seated-body Biodynamic Response Under Vertical Vibration, International Organization for Standardization, Geneva.
- (3) Mansfield, N. J. and Griffin, M. J., 2000, "Non-linearities in Apparent Mass and Transmissibility During Exposure to Whole-body Vertical Vibration," Journal of Biomechanics, Vol. 33, pp. 933~941.
- (4) Matsumoto, Y. and Griffin, M. J., 2002, "Non-linear Characteristics in the Dynamic Responses of Seated Subjects Exposed to Vertical Whole-body Vibration," Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 124, pp. 527~529.
- (5) Rakheja, S., Stiharu, I. and Boileau, P. E., 2002, "Seated Occupant Apparent Mass Characteristics Under Automotive Postures and Vertical Vibration,"

Journal of Sound and Vibration, Vol. 253, pp. 57~75.

(6) Holmlund, P., Lundström, R. and Lindberg, L., 2000, "Mechanical Impedance of the Human Body in Vertical Direction," Applied Ergonomics, Vol. 31, pp. 415~422.

(7) Matsumoto, Y. and Griffin, M. J., 2002, "Effect of Muscle Tension on Non-linearities in the Apparent Masses of Seated Subjects Exposed to Vertical Whole-body Vibration," Journal of Sound and Vibration, Vol. 253, pp. 77~92.

(8) Cheung, W. S., Kim, Y. T., Kwon, H. S. and Hong, D. P., 2003, "Experimental Investigation of the Response Characteristics of Korean - Seated Subjects Under Vertical Vibration: (I) Apparent Mass," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 645~650.

(9) Cheung, W. S., Kim, Y. T., Kwon, H. S. and Hong, D. P., 2003, "Experimental Investigation of the Response Characteristics of Korean - Seated Subjects Under Vertical Vibration: (II) Mechanical Impedance," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 713~719.

(10) Ahn, S. J., Griffin, M. J., Yoo, W. S. and Jeong, W. B., 2007, "Nonlinearity of Biodynamic Response to Shock-type Vertical Whole-body Vibration," Transactions of the KSME A, Vol. 31, No. 2, pp. 145~151.

(11) Ahn, S. J., Griffin, M. J. and Jeong, W. B., 2006, "Development of Frequency Weighting Shape for Evaluation of Discomfort Due to Vertical Whole-body Shock Vibration," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 658~664.

(12) Mansfield, N. J. and Maeda, S., 2006, "Comparison of the Apparent Masses and Cross-axis Apparent Masses of Seated Humans Exposed to Single- and Dual-axis Whole-body Vibration,"

Journal of Sound and Vibration, Vol. 298, pp. 841~853.

(13) Nawayseh, N. and Griffin, M. J., 2009, "A Model of the Vertical Apparent Mass and the Fore-and-aft Cross-axis Apparent Mass of the Human Body During Vertical Whole-body Vibration," Journal of Sound and Vibration, Vol. 319, pp. 719~730.

(14) Nawayseh, N. and Griffin, M. J., 2003, "Non-linear Dual-axis Biodynamic Response to Vertical Whole-body Vibration," Journal of Sound and Vibration, Vol. 268, pp. 503~523.

(15) Toward, M. G. R. and Griffin, M. J., 2010, "Apparent Mass of the Human Body in the Vertical Direction: Effect of a Footrest and Steering Wheel," Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, pp. 1586~1596.

(16) Wang, W., Rakheja, S. and Boileau, P. E., 2004, "Effects of Sitting Postures on Biodynamic Response of Seated Occupants Under Vertical Vibration," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 34, pp. 289~306.

(17) ISO 2631-1, 1997, "Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part 1: General Requirements," International Organization for Standardization, Geneva.

(18) Park, D. W., Ahn, S. J. and Yoo, W. S., 2007, "Study on Relationship between Discomfort and Body Pressure Distribution on the Seat Under Height of Footrest and Angle of Seat Pan," Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 6, pp. 38~43.

(19) Nawayseh, N. and Griffin, M. J., 2004, "Tri-axial Forces at the Seat and Backrest During Whole-body Vertical Vibration," Journal of Sound and Vibration, Vol. 277, pp. 309~326.

(20) Howitt, D. and Cramer, D., 2005, "Introduction to Statistics in Psychology," Pearson Education limited, Essex.