

## 인체진동을 고려한 시트 안락성 향상

### Improvement of Seat Comfort by Reducing the Human Vibration

°장 한 기\*, 김 승 한\*, 김 광 준\*\*

Han-Kee Jang, Seung-Han Kim, Kwang-Joon Kim

**Key words:** Seat comfort(시트 안락성), Dynamic comfort(동적 안락성), Dynamic property of foam(폼의 동특성), Ball rebound(반발 탄성), Compression set(시트의 처짐)

#### ABSTRACT

The purpose of the work is to improve comfort of a car seat, especially dynamic comfort which affects driver's discomfort during the long time driving. Definition of dynamic comfort was made before the investigation of which parameter affects seat comfort. In order to optimize design parameters so as to maximize seat comfort as well as to know the cause of discomfort, benchmarking on a target vehicle and competitive vehicles was performed, which showed both the vibration transmission characteristics and the compression set due to dynamic loading should be reduced. As a solution ball rebounds was increased by about 10% of the original foam, which showed reduction of S.E.A.T. value by 10% and of compression set by 60%.

#### 1. 서론

차량 시트의 3가지 기능은 안전성(safety), 안락성(comfort), 작업성(task performance)의 제공이라고 할 수 있다. 작업성과 안전성은 수많은 연구개발을 통해 기본적인 설계방안이 이미 정립되어 있는 반면, 안락성 분야는 상대적으로 덜 체계화되어 있는데, 이는 자동차 역사에서 '성능'과 '안전'이 차량개발에 있어서 최우선 관심사였기 때문이다. 지속적인 기술개발로 이들 문제가 상당부분 해소된 시점에서, 안락성은 차량의 경쟁력을 높이는 데 매우 효과적인 테마로 부상하였다. 이 중에서도 시트는 사람이 차량과 접촉하는 첫 번째 매

개체로서 차량의 안락성에 지대한 영향을 미친다. 본 연구의 목적은 북미수출용 중형차에 적용할 시트의 안락성을 개선하는 것으로써, 시장의 특성을 감안하여 장시간 주행시의 안락성 향상을 1차 목표로 삼았다.

시트의 안락성에 영향을 미치는 인자는 감성공학적 특성과 기계적인 특성으로 나눌 수 있으며, 이 중에서 기계적인 특성은 다시 정적인 것과 동적인 것으로 분류할 수 있다. 정적인 안락성은 시트의 힘-변위 곡선, 프로파일, 체압분포 등으로 대표될 수 있으며, 동적인 안락성은 시트의 진동 전달률과 착석시간에 따른 특성 변화 등으로 결정된다고 할 수 있다. 본 연구에서는 정적인 안락성 관련인자가 설계상의 기본 요건이 충족되는 범위 내에서 동적 안락성을 극대화하는 방향으로

\* 회원, 고등기술연구원 소음진동센터

\*\* 회원, 한국과학기술원 기계공학과

시트 폼의 물성치를 선정하고, 이를 시험용 표준 시편과 실제

Table 1 시트 안락성의 평가 항목의 확대

항목	평가항목	
	~1980년대	'90년대에 추가된 항목들
정적 특성	· 체압분포 면적/최대값	· 작업의 종류에 따른 체압분포 · 동적인 체압분포
	· 힙-변위 특성 (경도, 손실계수)	· 착석동작에 따른 특성 (착석순간, 착석후, 장시간 경과 후) · 변형량에 따른 평가 (IHF, MIF, SF) · 부위별 특성(좌골부, 대퇴부, 요추부)
	· 프로파일	←
동적 특성	· 공진주파수 · 최대진동 전달률 · 정적 강성 및 손실계수 · Ball rebound	· Attenuation frequency · S.E.A.T. · 동적 강성/손실계수 · 동적내구 평가지수
운전 환경	· 온도 · 습도	←
기타		· Transient comfort · Local compliance (Lumbar support)

## 2. 시트의 동적 안락성 평가에 대한 고찰

시트의 안락성은 여러 가지 인자로 평가될 수 있으며, 최근에 들어 평가항목이 대폭 늘어나는 추세이다[1]. Table1을 보면 시트에 대한 안락성 평가항목이 세분화되고 있음을 알 수 있다. 이 중에서도 시트의 동적 안락성은 정적인 안락성 확보기술이 일정 수준에 도달한 1990년대 이후에 매우 중요하게 취급되고 있다.

Stikeleather는 진동절연을 위한 시트의 역할을 강조하였는데, 이것이 시트에 동적 안락성의 개념을 도입한 최초의 연구라 할 수 있다[2]. 1980년대 후반에 이르러 Griffin은, 진동 주파수에 대한 인체의 반응특성을 고려하여, 다음과 같은 S.E.A.T.(Seat Effective Amplitude Transmissibility) 지수를 제안하였다[3].

$$S.E.A.T.(%) = \left[ \frac{\int G_{ss}(f) \cdot W^2(f)df}{\int G_{ff}(f) \cdot W^2(f)df} \right]^{1/2} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $G_{ss}(f)$ 와  $G_{ff}(f)$ 는 각각 시트 쿠션과 바닥(floor)에서의 가속도의 파워스펙트럼이며,  $W(f)$ 는 ISO2631-1에서 제공되는 인체의 주파수 가중치 함수이다. 이 지수는 인체의 특성을 대변하는 주파수 가중치를 고려하여 인체가 느끼는 진동을 정량화하여 시트의 동특성을 평가한 것으로서 시트의 진동저감 특성을 평가하기 위해 널리 활용되고 있다.

차량에 있어서의 안락성 평가는 어떤 주행조건에서 평가하느냐가 매우 중요하다. 일반적으로 시트의 진동전달 특성을 평가할 때 정현파 가진이나 랜덤신호 가진을 이용하여 평가하는 경우가 많은데, 이 경우 주요 관심사항은 공진 주파수와 피크에서의 크기가 된다. 그러나 실제 차량 주행 조건에서의 가진 성분은 탑승자와 시트로 이루어지는 동적인 계의 공진주파수보다는 노면의 입력이 현가장치에서 1차적으로 걸러진 가진입력의 주파수 성분이 우선적으로 고려되어야 한다. Fig.1에는 시트레일에서 측정된 가진입력과 주행 중 측정된 시트의 전달률 곡선을 보여주고 있다.

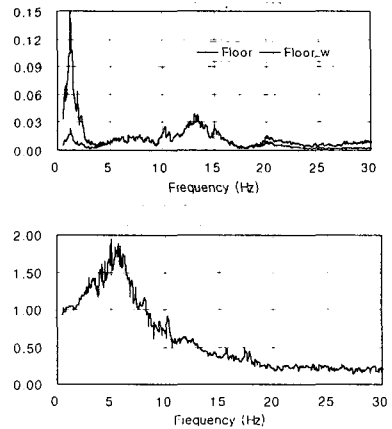


Fig.1 시트레일에서의 가진력과 시트의 진동전달률

대부분의 주행조건에서 시트레일에서의 가진입력은 차량 현가장치의 1차 공진과 2차 공진 관련 특성이 가장 뚜렷하다. 이와 같이 시트의 진동전달 특성을 개선하거나 평가하려면 차량의 동특성에 대한 이해가 선행되어야 한다.

### 3. 시트 안락성 비교분석 결과

#### 3.1 주요 평가 항목 및 방법

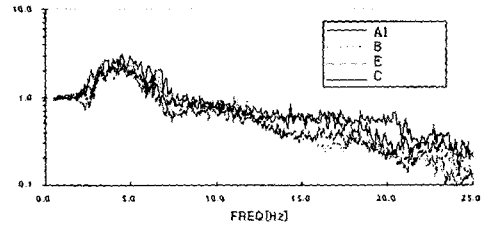
본 연구에서는 기존 시트의 문제점을 파악하고 개선방향을 설정하기 위해 대상차량 및 국내의 경쟁차량 4대의 시트 안락성과 관련된 특성들을 비교, 분석하였다. 평가항목은 Table 1에 정리한 항목들 중에서 14개 항목에 걸쳐 평가하였으나, 여기서는 동특성에 관련된 항목을 위주로 정리하고자 한다.

우선 시뮬레이터 사용시 및 차량 장착 상태 각각에 대해 시트전체의 진동전달 특성을 평가하였으며, 이어서, 시트에 사용된 폼의 동특성을 비교 평가하였다. 폼은 점탄성 재질이므로 주파수나 예하중, 동하중의 크기에 따라 그 특성이 변화하기 때문에 실제 사용조건과 유사한 환경에서 물성치를 추출하였다.

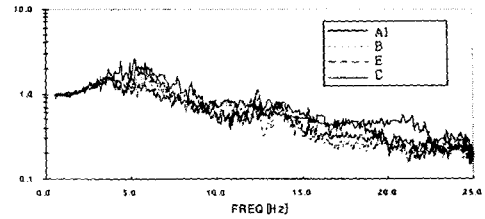
기계적 특성의 평가이외에 시트에 대한 주관평가를 수행하였는데, 평가항목은 해당업체에서 개발단계에서 활용 중인 평가 sheet를 참고로 작성되었으며, 각 항목에 대해 만족도를 5단계로 나누어 평가하였다.

#### 3.2 차량 주행상태의 진동전달특성

본 연구에서는 4대의 경쟁차량(A1, B, C, E)의 시트레일과 시트에 각각 저주파수용 가속도계를 장착하고 두가지 주행조건, rough concrete road 50KPH 주행시와 smooth asphalt 90KPH 주행시의 측정결과를 각각 정리하였다. Fig.2에는 두 가지 주행 조건에서 4개 시트의 진동 전달율을 도시한 것이며, 이에 대한 S.E.A.T. 지수를 Table 2에 정리하였다.



(a) Rough Concrete Road - 50KPH



(b) Smooth Asphalt Road - 90KPH

Fig.2 도로주행조건에서 시트의 진동 전달율

Table 2 평가차량의 S.E.A.T.

주행조건 \ 평가차량		A1	B	C	E
		S.E.A.T.	rough 50KPH	0.88	0.8
smooth 90KPH	0.88		0.84	0.76	0.77

#### 3.3 폼의 시간경과에 따른 처짐특성

본 연구의 주 목적은 장시간 주행시의 시트 안락성을 개선하는 것이다. 이를 위해서 진동전달 특성의 개선뿐 아니라 시간경과에 따른 물성치 변화를 설계인자로 고려해야 한다. 특히, 시간에 따라 정적 처짐량이 증가하는 것을 제한할 필요가 있는데, 이 이유는 Fig.3에서 보는 바와 같이 시트의 하중 지지특성이 처짐량에 따라 급격하게 그 양상이 변화하기 때문이다. 특히, 최대 처짐량이 예상되는 좌골결절(ischial tuberosities)부근에서의 처짐량이 일정량 이상되면 폼 재질의 hardening 특성에 의해 접촉부위에서의 불편함이 급증하기 때문이다.

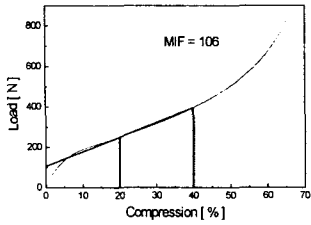


Fig.3 시트 폼의 힘-변위 곡선

실제상황에서 시간경과에 따른 폼의 처짐특성을 비교분석하기 위해, 폼 재질을 시트로부터 절취하여 정하중과 동하중을 가하면서 시간에 따른 처짐특성(set)을 비교하였다. 시간경과에 따른 폼의 처짐은 Fig.4과 같이 하중 작용 후 초기 30분 동안 급격히 강성의 변화가 있으며 1시간 이후부터는 그 변화의 정도가 매우 작다. 따라서 가압시점부터 1시간 경과 후까지의 처짐량의 변화를 비교하여 Table 3에 정리하였다.

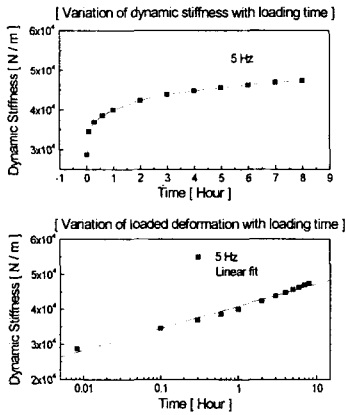


Fig.4 정하중 및 동하중 작용시 폼 재료의 시간에 따른 처짐특성

Table 3 평가차량의 S.E.A.T.값

평가차량	A1	B	C	D
Set(%) due to dynamic load of 100N ± 20N(5Hz)	15.9	10	6.9	7.9

위 표의 결과를 보면, 대상차량의 초기제품에 사용된 폼 재질의 처짐특성이 경쟁차종에 비해 2.5배까지 크게 나타나고 있어서 개선 필요성이 크다고 할 수 있다.

#### 4. 폼 재질 개선 및 시트 제작

##### 4.1 폼 개선방향

본 연구의 주요목표인 시트의 동적 안락성 향상을 위해서 시도한 비교시험 결과로부터 대상차량 시트의 초기개발제품은 진동전달 특성뿐만 아니라 장시간 주행시 지지특성이 경쟁차종에 비해 매우 열세임이 확인되었다. 문제가 되는 특성을 개선하기 위해 1차적으로 시트 폼을 개선하였다. 우선 폼 재질의 복원력을 높이기 위해 탄성계수를 현행대비 10%정도 높였으며, 우레탄폼을 구성하는 두가지 원재료(폴리올과 이소시아네이트)의 배합비를 조정하여 주요 설계 기준값들을 만족시키면서 S.E.A.T.값이 가장 낮아지는 재질을 구현하였다.

##### 4.2 폼 개선품의 제작 및 평가

본 연구에서는 TDI 폼보다 탄성율은 다소 떨어지지만 환경관련 내구성이 우수한 MDI 계열의 고탄성 폼을 기반으로 개선작업을 수행하였다.

물성치 측정용 시편은 400×400×100mm<sup>3</sup>의 크기로 제작되었다. Polyol 100g에 MDI 46.1g의 비율로 제조한 것을 Index 100으로 설정하고 MDI의 양에 0.90, 0.95, 1.05를 곱하여 적용한 것을 각각 Index 90, 95, 105로 구분한다.

Fig.5에는 Index의 변화에 따라 폼의 IFD곡선과 시간경과에 따른 동강성 및 처짐특성을 보여주고 있다. 이 결과들을 보면 Index가 증가할수록 정적 강성이 증가하므로 정적인 측면에서의 지지특성이 좋지 않을 것으로 예상된다. 시간의 경과에 따른 동강성과 처짐특성의 변화를 살펴보면 Index가 증가할수록 특성의 변화가 적어짐을 알 수 있다. 따라서, 설계목표치를 선정함에 있어서 두가지 상충되는 인자의 compromise가 필요하다. 본 연구에서는 Index 100과 95 중에서 개선품을 선정하였다.

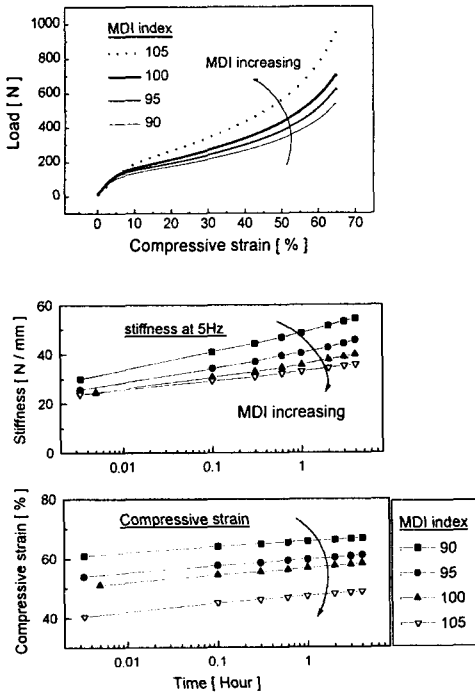


Fig.5 힙-변위 특성 및 시간에 따른 동강성 및 처짐특성

### 4.3 시트 개선품 차량장착 평가

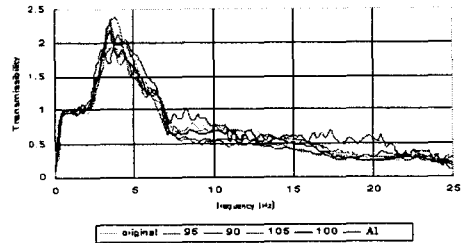
앞 절에서 평가한 품을 이용하여 시트를 제작 하였으며, 이 제품을 차량에 장착하여 안락성 관련 특성의 개선여부를 확인하였다. 우선, 시트의 진동전달 특성을 평가하였으며, 시간경과에 따른 특성의 변화, 그리고, 시트 전반에 대한 주관평가를 각각 실시하였다. 수행된 평가결과는 Table 3에 정리하였다.

Table 3 시트 안락성 관련특성 평가결과

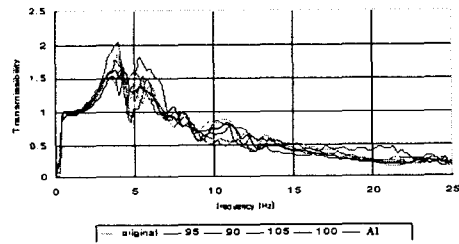
평가차량		평가차량				
		A1	A2	B	C	D(E)
S.E.A.T.	50kph rough	0.88	0.78	0.8	0.8	0.82
	90kph smooth	0.88	0.77	0.84	0.76	0.77
처짐량 변화특성		15.9	10	10	6.9	7.9
MIF		48	26	45	38	22
주관평가		7.2	7.7	7.6	8.1	7.7

(S.E.A.T.는 차량 E, 나머지는 차량 D에 대한 결과임)

위 표에서 A1은 초기제품이고, A2가 Index 95인 개선품, 그리고 나머지 3개는 경쟁차량의 시트이다. 개선된 품을 이용해 제작한 시트인 A2의 평가결과를 보면 초기제품에 비해 안락성 평가항목의 특성이 상당폭 개선되었음을 알 수 있다. 또, 경쟁차량의 시트와 비교해 보아도 일부항목을 제외하고는 가장 우수한 수준임을 알 수 있다. 특히, 시간경과에 따른 처짐량의 증가가 가장 낮은 값을 보이고 있으며, 주관평가치도 경쟁차종과 대등한 수준으로 높아졌다.



(a) 50KPH - Rough Concrete



(b) 90KPH - Smooth Asphalt

Fig.6 시트 진동전달율 (original: 개선품 시트)

Fig.6에는 두가지 주행조건에 대해 초기제품과 개선 제품들의 진동전달 특성곡선이 도시되어 있다. 가장 두드러진 차이는 10Hz 부근과 20Hz부근에서의 전달률이 30%이상 낮아졌다는 것이다. 인체의 진동에 대한 민감도를 고려해 볼 때 10Hz영역이 상대적으로 중요하고[5], 또, Fig.1에 나타낸 바와 같이 이 영역에는 현가장치의 2차 공진이 나타날 수 있고 파워트레인의 공진이 존재하므로 이 영역에서의 진동전달률이 낮아지면 안락성 향

상이 기여하는 바가 크다고 하겠다.

## 5. 결론

본 논문에서는 북미시장에 출시할 중형차용 시트의 안락성을 개선하기 위하여, 기존 제품과 경쟁차량의 시트의 안락성 관련 특성을 비교, 분석하고, 시장의 요구에 합당한 시트의 설계인자 선정 및 개선 작업을 수행하였다.

기존 제품은 정적인 측면에서의 착석감이 다소 열세였으며, 장시간 주행시 처짐 특성과 진동 전달 특성이 문제인 것으로 확인되었다. 특히, 2차 승차감과 관련 있는 10Hz 이상 영역에서의 전달율이 높아서 장시간 주행시 피로감의 발생요인이 되고 있었다.

이들 문제점을 개선하기 위하여 시트의 안락성에 절대적인 영향을 미치는 폼 재질의 특성 개선을 시도하였는데, 정적인 착석감 개선을 위해 경도를 다소 낮추면서 반발탄성을 10%이상 높여서 순간 복원성뿐만 아니라 장시간 주행시의 특성 유지 성능을 개선하고자 하였다. 1차로, 요구 특성이 만족되는 폼 개선품을 제작하였으며, 추가 개선을 위해 원재료 배합비에 변화를 주면서 4가지 재질을 추가로 제작하여 그 성능을 평가하였다. 개선된 폼을 이용하여 시트를 제작하여 안락성 관련 성능을 평가한 결과, 주요 불만 사항으로 지적되었던 쿠션의 착석감이 개선되어, 주관평가치가 7.2에서 7.7로 상승하였고, 10Hz부근에서의 진동전달률과 S.E.A.T.값이 크게 개선되었다. 특히, 장시간 주행시의 처짐량이 초기 15.9%에서 5.1%로 대폭 낮아져서 장시간 주행시의 안락성 개선효과가 큰 것으로 확인되었다.

본 연구개발에서 도출된 폼 개선품을 이용하여 제작된 시트는 현재 A2 차량의 시트에 이미 양산 적용되어 개선전 제품 대비 안락성이 상당히 개선되었다는 평을 받고 있다.

## 후 기

본 논문은 산업기반기술과제의 일환으로 수행하였던 '북미 수출용 중형차의 고안락성 시트개발' 완료보고서의 일부를 발췌하였습니다[6,7].

## 참 고 문 헌

- [1] 장한기, "고안락성 시트개발 동향," 한국자동차공학회지, 10월호, pp.46-59, 2001.
- [2] L. F. Stikeleather, G. O. Hall, A. O. Radke, "A Study of Vehicle Vibration Spectra as Related to Seating Dynamics", SAE Technical Paper No.720001, 1972.
- [3] M. J. Griffin, "Handbook of Human Vibration", Academic Press, 1990.
- [4] A. J. Arnold, R. Roe, "Preferred Seat Positions", GM Report No. 73-1023, 1973.
- [5] International Organization for Standardization, "Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration", ISO 2631-1, 1997.
- [6] 조영호, 장한기, 김승환, "북미 수출용 중형차의 고안락성 시트 개발" 산업기반기술개발사업 과제 완료보고서, 고등기술연구원, 2001.
- [7] 김광준, 고흥석, 송수연, "시트용 폼 재료의 동적 물성치 특성화 및 시트의 동적 모형화," 고등기술연구원 위탁연구과제 완료보고서, 한국과학기술원, 2001.