

## 스포츠 레저용 차량의 진동절연을 위한 고무제품의 특성에 관한 연구

사 종성\* · 김 찬묵\*\*

### A Study on the Characteristics of Elastomers for Vibration Isolation of Sports Utility Vehicle

Jong-Sung Sa, Chan-Mook Kim

**Key Words:** SUV (Sports Utility Vehicle, 스포츠 레저용 차량), Static Stiffness (정강성), Dynamic Stiffness(동 강성), Engine Mount, Body Mounting Rubber.

#### ABSTRACT

Elastomers, which are engine mounts and body mounting rubbers, are traditionally designed for NVH use in vehicles, and they are designed to isolate specific unwanted frequencies. According to the measurement of the characteristics of engine mounts and body mounting rubbers, dynamic stiffness changes with respect to the driving miles accumulated in engine mounts and initial load in body mounting. This study looks at the variability in same engine mount properties, and the desired dynamic stiffness may increased with driving miles accumulated. And the dynamic stiffness of body mounting rubber changes very stiff above 150Hz.

#### 1. 서론

최근 북미시장뿐만 아니라, 국내의 자동차 시장에서도 스포츠 레저용 차량(Sports Utility Vehicle, 이하 SUV)의 시장점유율이 점차 높아지고 있는 추세이다. 이러한 SUV는 이차 세계대전 시의 군용 짐차로부터 시작하여 1960년대 Ford의 Bronco 및 Chevy의 Blazer를 경유하여 현재의 SUV로 명맥을 유지하였고, 근래에 이르러 급격한 판매신장을 기록하고 있다.

따라서, 세계 각국의 자동차 제작사들은 잠재고객이 많고, 사회적인 성숙도가 깊어질수록 판매가 신장되는 SUV의 개발에 심혈을 기울이고 있는 실정이다.

일반적으로 SUV는 프레임과 차체(body)로 구성된 경우(body-on frame type), 단일 차체

(uni-body) 및 승용 혼합형(cross-over type) 등으로 구분할 수 있으나, 대부분의 차량은 동력기관과 기본 프레임으로 이루어진 새시(bare chassis)에 차체(body)를 얻는 body-on frame 방식을 채택하고 있으며, 차체와 프레임사이의 진동절연을 위해서 바디 마운트(body mounting) 고무가 적용된다.

차량의 진동소음 성능을 향상시켜주기 위한 고무제품에 대한 연구는 엔진 마운트를 중심으로 활발하게 진행되었으나<sup>(1)</sup>, 고무부품간의 산포, 차량 주행이력 및 작용하중 변화에 따른 특성변화에 대한 연구는 미진하였다고 판단된다.<sup>(2,5)</sup>

따라서, 본 연구에서는 SUV의 진동절연을 위한 고무제품 중에서 가장 큰 영향을 미치는 엔진 마운트와 바디 마운트 고무의 특성을 검토하고자 한다. 먼저, 엔진 마운트에 대한 강성 분포특성과 주행이력에 따른 특성변화를 고찰하고, 바디 마운트 고무에 대해서는 탑승인원 및 적재물 적용시 고무부품에 작용하는 초기하중을 측정하여 그에 따른 특성을 파악코자 한다.

\* 서울대학 자동차과

E-mail : jshistory@seoil.ac.kr

\*\* 국민대학교 자동차공학대학원

## 2. 엔진 마운트의 고무특성 파악

엔진 마운트의 주요 기능은 엔진 및 변속장치로 이루어진 동력기관을 지지하면서 동시에 진동 절연 효과를 얻는데 있다. 따라서 엔진 마운트의 특성은 공회전 및 주행시 발생하는 차량진동 및 실내소음의 개선을 위한 해석과 제반 시험과정에서 매우 중요한 입력요소가 된다. 여기서 고려하는 엔진 마운트는 국내제작 차량을 대상으로 종치장착된 엔진을 지지하고, 엔진 마운트 좌우 특성이 동일하며 고무로 제작되었다.

### 2.1 엔진 마운트 고무의 특성

엔진 마운트 고무의 특성은 정적하중에 의한 강성(static stiffness, 이하 정 강성)과 엔진의 동하중에 의한 강성(dynamic stiffness, 이하 동 강성)으로 구분할 수 있다. 여기서 정 강성은 엔진 자체중량의 지지에 따른 타 부품들간의 간섭문제 및 기타 차량조립 시 중요한 점검사항이 되며, 동 강성은 엔진시동 후 차체에서 승객들이 느끼게 되는 소음 및 진동현상에 매우 큰 영향을 준다. 특히, 엔진 마운트 자체의 최적화 연구, 차량의 구조해석 및 전달경로해석(transfer path analysis) 등에서는 매우 중요한 입력 데이터가 된다.

Table 1. Design specification of engine mounts

Engine type	static stiffness		dynamic stiffness	
	range	kgf/mm	preload(kgf)	kgf/mm
A	preload ±15%	12.6	87.8	below 18.0
B		14.8	103.1	below 22.6
C		17.3	120.9	below 33.0

Table 1은 국내제작 SUV에 탑재되는 각각의 엔진종류에 따른 엔진 마운트들의 설계규정을 나타낸다. 여기서 A 타입은 배기량 3000cc 이하의 가솔린과 디젤엔진에 사용되며, B 타입은 배기량 3000cc내외의 디젤엔진에, C 타입은 배기량 3000cc 이상의 가솔린엔진에 각각 사용되는 엔진 마운트를 뜻한다. 국내 자동차 제작회사의 설계규정에서 언급된 동 강성 값은 특정 주파수(대상 차종에서는 15Hz)에서만 관리되고 있는 실정이다. 참고로 엔진 마운트와 관련된 전달경로해석 시의 기준을 제시하면 Table 2와 같다<sup>6)</sup>.

Table 2. Guideline of transfer path analysis

Measured data	Specifications
Powertrain displacement	$\Delta x \leq 0.03 \text{ mm}$
Engine mount stiffness	$k \leq 50 \text{ kgf/mm}$
Body(acoustic) sensitivity	P/F = 55 dB/N

Table 2의 조건은 북미시장의 차량을 기준한 것이므로, 국내차량의 적용에서는 엔진의 배기량, 출력 및 차량의 디자인 및 인종간의 문화적 차이 점도 존재하리라 예상되지만, 전달경로 해석과정에서 상기조건을 모두 만족하는 차량일 경우에는 NVH(noise, vibration and harshness) 측면에서는 어느 정도 일정한 수준에 올랐다고 볼 수 있겠다.



Fig. 1. Engine & body mount in test fixture

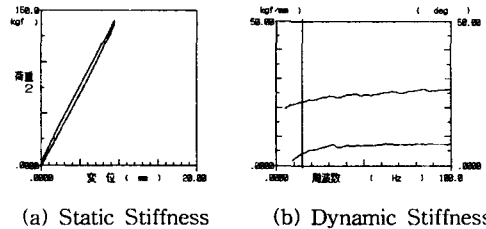


Fig. 2. Static & dynamic test of engine mounts

대상차종의 엔진 마운트에 대한 특성값 파악을 위해서 무작위로 추출된 각각의 엔진 마운트를 설계규정 및 실험조건에 따라서 측정하였다. Fig. 1은 엔진 마운트 및 바디 마운트 고무의 측정장면을 나타내며, Fig. 2는 측정된 정 강성 및 동 강성의 한 예를 나타낸다. 세부적인 측정결과는 Table 3, 4와 같다.

Table 3. Static stiffness of engine mounts

Engine type	Sample No.	Static Stiffness (Error %)
A	1	11.80 (-6.35%)
	2	14.75 (17.06%)
	3	13.00 (3.17%)
	4	12.25 (-2.78%)
	Average	12.95 (2.78%)
B	1	15.92 (7.57%)
	2	16.03 (8.31%)
	3	15.72 (-6.22%)
	4	15.46 (4.46%)
	Average	15.78 (6.62%)
C	1	18.26 (5.55%)
	2	17.21 (-0.52%)
	3	17.94 (3.70%)
	4	18.23 (5.38%)
	Average	17.91 (3.53%)

Table 4. Dynamic stiffness of engine mounts

Engine type	Sample No.	Dynamic Stiffness (Kgf/mm)			
		15 Hz	30 Hz	35 Hz	50 Hz
A	1	20.73	22.76	22.42	23.23
	2	23.37	24.95	25.29	25.10
	3	20.74	22.86	22.37	23.02
	4	20.55	22.42	22.26	22.90
	Average	21.35	23.25	23.09	23.56
B	1	21.91	23.32	22.97	23.63
	2	22.14	23.89	23.24	23.88
	3	22.13	23.82	23.23	23.81
	4	21.95	23.81	23.35	23.81
	Average	22.03	23.71	23.20	23.78
C	1	22.31	23.77	23.13	23.83
	2	21.97	22.63	22.85	23.55
	3	22.64	24.29	23.55	24.34
	4	22.44	23.21	23.54	24.03
	Average	22.34	23.48	23.27	23.94

측정결과를 검토하면 정 강성 값은 A 타입의 엔진 마운트에서 한 부품만을 제외하고는 모든 엔진 마운트들의 특성값이 설계 규정조건(규정값  $\pm 10\%$  이내)에는 만족하고 있음을 확인할 수 있으나, 동 강성 값은 가진(共振) 주파수에 따라서 모든 엔진 마운트들의 특성값이 거의 동일한 경향을 가지고 있음을 확인하였다. 이는 중량 및 동력특성이 다른 동력기관이 적용되는 경우, 공회전 및 저속주행 시의 차체 떨림이나 실내소음에 많은 악영향을 미치리라 판단되므로 동 강성과 관련된 고무부품들의 보다 엄격한 품질관리가 필요함을 시사한다.

또한, 동력기관과 엔진 마운트로 이루어진 진동 시스템의 최적화 과정에서 수치적으로 입력되거나 계산되는 엔진 마운트 고무의 특성값은 설계 차량에 장착되는 경우, 고무부품 자체의 특성 산포값이 10% 내외의 값을 가지며, 진동주파수와 연관된 동 강성인 경우에는 비교적 큰 특성변화를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 이는 엔진 마운트의 최적화 연구는 대부분 고무 마운트에 대해서만 이루어진 점을 감안할 때, 입력 데이터의 보다 세밀한 주의를 요한다고 볼 수 있겠다.

### 2.2 주행이력에 따른 엔진마운트의 특성변화

엔진 마운트의 특성은 차량 개발과정뿐만 아니라, 소비자들의 사용에 따른 주행거리 증가 시에도 적절한 설계요구특성을 유지해야만 한다. 즉, 주행이력에 따른 내구성능 또한 점차 차량판매의 경쟁력에 있어서 매우 중요한 인자로 부각되고 있는 현실이다.

본 연구에서는 출고된 차량의 엔진 마운트를 입수하여 특성값을 파악함으로써, 주행이력에 따른 엔진 마운트의 특성변화현상을 검토하였다.

Table 5. Dynamic stiffness of the engine mount with respect to the driving mileage

mileage (km)	sample	static stiffness	dynamic stiffness (kgf/mm)		
			15Hz	30Hz	35Hz
36,000	left	15.01	23.62	25.94	25.27
	right	16.72	25.75	27.36	27.60
39,000	left	25.49	23.42	25.76	28.23
	right	19.07	26.70	28.57	29.19
54,000	left	14.50	21.83	23.77	23.49
	right	16.17	25.50	26.34	26.40
Average		17.83	24.47	26.29	26.70
Design Spec.		14.8	22.03	23.71	23.20

차량의 주행거리에 따른 엔진 마운트를 동일한 조건에 의해서 측정된 강성값을 Table 5에 나타내었다. 고려된 엔진 마운트는 일반 소비자들의 정상적인 운행에 따른 주행거리를 기준하였으며, 운전자의 운전습관이나 도로 주행조건 등에 따른 다양성, 온도, 이물질(오일이나 제설재 등)에 의한 영향은 없다고 가정하였다.

충분한 데이터는 아니지만 주행이력에 따라 정 강성 값은 20% 내외, 동 강성 값은 15% 내외로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 최근 발표된 연구결과<sup>2)</sup>와도 일치하는 현상으로, 추후 차량의 경쟁력 제고 및 내구 성능향상을 위한 부품개발 시 반드시 고려해야 할 사항이라고 판단된다.

### 3. 바디 마운트 고무의 특성파악

서론에서도 언급하였듯이 SUV는 탑승인원이 나 적재량 및 험로주행 등을 대비하여 대부분 프레임에 고려하며, 차체를 프레임에 장착하는 방식이 주로 사용되기 마련이다. 이 때 프레임과 차체를 연결시켜주는 부품이 바디 마운트(body mounting)이며, 승차감 향상을 위해서 고무제품이 주로 사용된다.

즉, 바디 마운트 고무는 차체와 프레임을 결합시켜서 상호간의 상대위치를 정확하게 유지시키고 동시에 프레임을 통해서 차체로 전달되는 현가계(suspension) 및 구동계의 진동에너지를 감소시키고, 구동력 및 제동력을 차체로 전달하는 임무를 수행한다.

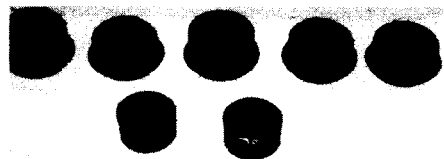


Fig. 2. Body mount rubbers

본 연구에서 고려된 바디 마운트 고무는 Fig. 3과 같이 압축형으로, 차량 좌우가 동일한 제품이 각각 5개씩 총 10개가 장착되며, 상단부(upper part)와 하단부(lower part)로 구성된다.

Table 6. Design specification of body mounting

		static stiffness		dynamic stiffness	
		range	kgf/mm	preload	kgf/mm
Upper	1	40-100kgf	10.8	89 kgf	below 24
	2	40-150kgf	20.7	133 kgf	below 35
	3	40-160kgf	18.1	118 kgf	below 28
	4		33.6	99 kgf	below 58
	5		23.0	104 kgf	below 30
Lower		20-70kgf	11.1	44 kgf	below 17

Table 6은 대상차종의 바디 마운트 고무부품의 설계 규정값을 나타내며, 동 강성값은 특정 주파수(대상차종은 15Hz)를 기준으로 한다. 실제 차량운행 시 공차상태 및 탑승인원과 적재물 유무에 따라서 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중의 변화가 유발될 수 있다.

이러한 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중의 변화에 따라서 고무의 동 강성값에도 많은 편차를 가지게 된다. 따라서, 대상차종의 바디 마운트 고무의 장착위치에 하중계(loadcell)를 장착하여 공차상태로부터 탑승인원 5명인 경우와 탑승인원에 추가의 적재물 250kgf이 적용되었을 때의 작용하중을 각각 측정하였다.

Table 7. Load distribution to each body mount (unit : kgf)

	1	2	3	4	5
Design spec.	89	133	118	99	104
case 1	58.6	100.7	95.0	38.9	91.5
case 2	68.3	127.7	124.1	90.8	132.4
case 3	54.4	124.8	141.9	149.9	197.5

Table 7에서 case 1은 공차증량에 따른 각각의 바디 마운트에 작용하는 하중값으로, 좌우 마운트의 값을 측정하여 평균한 값이며, case 2는 공차증량에 5인의 탑승인원이 추가된 경우이며, case 3은 공차증량에 5인의 탑승인원 및 250kgf의 적재물이 동시에 추가된 경우이다.

탑승인원 및 적재물의 적용으로 인하여 차량 앞부분(1, 2번 마운트)의 하중 증가보다는 뒷부분(4, 5번 마운트)의 하중값이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 작용하중의 변화에 따라서 주행시 발생하는 차량의 진동현상 및 실내소음에도 많은 영향을 줄 것이라 판단된다.

따라서, 바디 마운트 고무의 동 강성 값을 설

계규정 및 작용하중에 따라서 측정하였다.

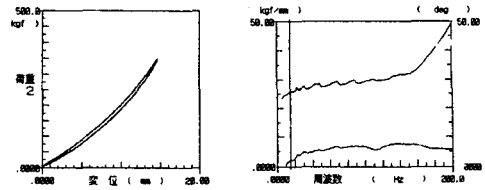


Fig. 4. Static & dynamic stiffness of body mount rubbers (#2 mount)

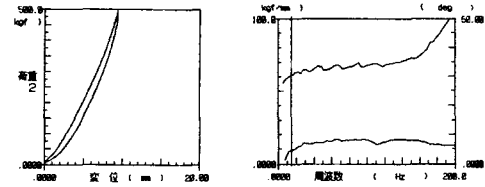


Fig. 5. Static & dynamic stiffness of body mount rubbers (#3 mount)

Fig. 4와 5는 설계규정에 따른 바디 마운트 고무의 2, 3번의 정 강성 및 동 강성 측정 그래프를 각각 나타낸다. 정 강성에서는 하중의 증가에 따라 변위가 줄어드는 Hardening 스프링 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있으며, 동 강성에서는 가진(加振) 주파수의 증가에 따라서 강성값이 급격히 상승하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 8. The comparison of the measurement data and the desired specification

Data condi.		Dynamic Stiffness (kgf/mm)						
		15Hz	30Hz	50Hz	100Hz	150Hz	180Hz	200Hz
2	design spec.	32.35	32.55	33.32	35.15	38.17	47.29	57.35
	case 1	28.99	30.45	30.08	32.43	34.60	41.28	41.33
	case 2	31.35	32.48	32.67	34.95	34.71	43.72	42.94
	case 3	31.09	32.49	32.37	34.48	37.05	43.03	42.24
3	design spec.	25.68	27.74	27.30	29.30	32.08	40.21	48.93
	case 1	23.33	23.85	24.61	26.64	28.78	34.74	34.91
	case 2	25.84	27.03	27.29	29.40	32.56	37.05	37.19
	case 3	27.21	28.59	28.65	30.99	33.08	39.32	39.17

Table 8은 바디 마운트 고무의 2, 3번의 측정 결과를 나타내며, 탑승인원 및 적재물의 적용으로 인하여 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중의 증가에 따라 동 강성 값도 비례하는 일반적인 특성을 재확인할 수 있다.

특히 150Hz 이상의 가진 주파수 영역에서는 급격하게 강성값이 증가하고 있으며, 그 증가율

도 초기하중에 따라서 크게 격차가 벌어지고 있음을 알 수 있다. 이러한 경우, 차량의 고속주행 시 바디 마운트 고무에 의한 진동 절연효과는 크게 저하될 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

국내 시판 SUV의 진동절연을 위해서 장착되는 고무부품 중에서 엔진 마운트 및 바디 마운트 고무의 설계요구조건을 소개하고, 특성값을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 엔진 마운트 고무의 정 강성은 비교적 품질관리가 이루어지고 있으나, 동 강성은 적용되는 다양한 엔진에 대한 별도의 특성값 관리가 필요하다고 사려된다. 이는 동일 부품간에도 10% 이내의 특성값 산포를 가지는 바, 차량 구조해석 및 전달경로해석 등과 같은 고무의 기초 입력항목의 선정에 있어서 세심한 주의를 요한다. 또한, 엔진 마운트와 연관된 전달경로해석의 기준을 제시하였다.

2. 차량의 주행이력에 따른 엔진 마운트의 특성값을 파악하였다. 비록 한정된 데이터를 근거하지만, 차량의 주행이 증가될수록 엔진 마운트의 정 강성 및 동 강성은 조금씩 증가하는 것으로 예측된다.

3. 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중은 탑승자 및 적재화물의 적용으로 인하여 많은 변화를 가지며, 이러한 초기하중 변화에 따른 특성값을 파악한 결과, 150Hz 이상의 주파수 영역에서 매우 큰 강성증대 현상을 가짐을 확인하였다.

#### 참고문헌

(1) Y. Yu, N.G.Naganathan and R.V.Dukkipati, 2001, "A literature review of automotive vehicle engine mounting systems", *mechanis and machine theory*, V36, pp123-142

(2) S.Gruenberg, J.Blough, D.Kowalski and J.Pistana, 2001, "The effects of natural aging on fleet and durability vehicle engine mounts from a dynamic characterization perspective", SAE 2001-01-1449

(3) 사종성, 김찬목, 1999, "4륜구동 자동차의 동력기관에서 진동저감을 위한 동흡진기의 진동내구에 대한 실험적 연구", 한국소음진동공

학회지, 제9권, 제6호, pp1166-1172

(4) 김현영, 김중재, 1996, "엔진 마운트 고무의 최적형상설계와 내구수명 예측", 한국자동차 공학회지, 제18권, 제6호, pp23-32

(5) Racca, R. Sr., 1982, "How to select powertrain isolators for good performance and long service life", SAE paper, 821095

(6) Roush Anatrol, 1995, NVH refinement report.