

스포츠 레저용 차량의 진동절연을 위한 고무제품의 특성에 관한 연구

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

사 종 성*, 김 찬 목**
Jongsung Sa, Chanmook Kim

ABSTRACT

Elastomers, which are used engine mounts and body mount rubbers, are traditionally designed for NVH use in vehicles, and for vibration isolation in specific frequency range. According to the measurement of the characteristics of the SUV's engine mounts, there are variability in same engine mount properties. Static and dynamic stiffness of the SUV's engine mounts are changed due to the driving miles accumulated. The pre-load of body mount rubbers are changed due to the empty vehicle weight, passenger's weight and gross vehicle weight. And the dynamic stiffness of body mount rubbers are changed very hard above 150Hz frequency range.

주요기술용어 : SUV(Sports Utility Vehicle, 스포츠 레저용 차량), Static stiffness(정강성), Dynamic stiffness(동강성), Engine mount, Body mount rubber

Nomenclature

SUV : sports utility vehicle
EVW : empty vehicle weight
GVW : gross vehicle weight
[M] : mass matrix kg
[C] : damping matrix kgf-sec/m
[K] : stiffness matrix kgf/mm
 ω : natural circular frequency rad/sec

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 세계대전에서의 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.

* 회원, 서일대학 자동차과

** 회원, 국민대학교 자동차공학 전문대학원

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 샴시(bare chassis)에 차체(body)를 얻는 body-on frame 방식을 채택하고 있으며, 차체와 프레임사이의 진동절연을 위해서 바디 마운트(body mount) 고무가 적용된다.

SUV의 진동절연을 위한 대표적인 고무제품은 엔진 마운트(engine mount)와 바디 마운트 고무들이라고 할 수 있다. 특히, 엔진 마운트 고무에 대해서는 단순 고무제품으로부터 액체봉입식 마운트(hydraulic mount), 반 능동 및 능동형 마운트에 이르기까지 고유 진동모드 개선 및 최적화 작업 등의 다양한 연구활동이 이루어지고 있다.¹⁾

하지만, 이러한 연구들의 기초 입력 데이터라고 할 수 있는 엔진 마운트의 강성값 분포특성 및 주행능적에 따른 특성변화 현상 등에 대한 연구는 많이 시도되지 않았다고 판단된다.²⁻⁵⁾

따라서, 본 연구에서는 동일한 차체에 적용되는 세 가지 타입의 엔진들에 대한 엔진 마운트 고무의 설계 규제치를 검토하고, 실제 조립라인에서 무작위로 선정된 샘플들의 강성값 측정결과를 비교하였으며, 차량 주행이력에 따른 변화현상을 검토하였다. 또한, 바디 마운트 고무에 대해서는 탑승인원 및 적재물 적용시 고무부품에 작용하는 초기하중을 측정하여 그에 따른 특성을 연구하였다.

2. 엔진 마운트

엔진 마운트는 엔진 및 변속장치로 이루어진 동력기관(powertrain)의 부품들 중에서 매우 작고 가격도 비교적 싼 제품이라고 말할 수 있다. 하지만, 엔진 마운트는 동력기관을 지지하면서 동시에 진동절연 효과를 얻는 매우 중요한 역할을 수행한다. 따라서, 엔진 마운트는 엔진에서 발생된 토크가 구동계에 전달될 때 야기되는 엔진의 반력지지 및 도로로부터 입력되는 충격력

(shock) 등에 의한 엔진의 거동을 억제시켜야 하며, 공회전 및 차량주행 시 엔진에서 발생하는 진동을 절연시킬 수 있는 기능을 갖추어야만 한다.

그러므로, 엔진 마운트의 특성은 낮은 주파수 영역에서는 딱딱(hard)할수록 유리하며, 고속 주행조건에서는 매우 부드러운(soft) 특성을 갖는 것이 전반적인 승차감 향상을 위해서 필요하다. 이러한 상반된 요구조건을 일반적인 고무 마운트에서는 충족시킬 수가 없기 때문에 액체봉입식 마운트와 반 능동 및 능동형 엔진 마운트가 개발되어 활용되고 있는 실정이다.

하지만, 어떠한 엔진 마운트가 채택된다 하더라도 공회전 및 주행 시 발생하는 차량의 진동 및 실내소음의 개선을 위한 연구에서는 필수적으로 동력기관의 관성제원(질량 및 관성모멘트), 엔진 마운트의 감쇠(damping) 및 강성(stiffness) 값이 고려되어야만 한다.

본 연구에서는 이러한 엔진 마운트의 강성값 특성에 따른 고려사항을 국내제작 SUV를 대상으로 검토하였다. 적용된 엔진 마운트는 고무로 제작되었으며, 좌우가 동일한 형상 및 특성을 갖는 중치장착형 엔진에 사용된다.

2.1 엔진 마운트 고무의 강성특성

엔진 마운트 고무의 특성은 정적하중에 의한 강성(static stiffness, 이하 정강성)과 엔진의 동 하중에 의한 강성(dynamic stiffness, 이하 동강성)으로 구분할 수 있다. 여기서 정강성은 엔진 자체중량의 지지에 따른 타 부품들간의 간섭문제 및 기타 차량조립 시 중요한 점검사항이 되며, 동강성은 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 엔진 마운트의 동강성 값이 매우 중요한 입력 데이터가 된다.

즉, 엔진 마운트의 최적화 과정에서는 대부분 고유치(eigenvalue) 해석을 통한 엔진 및 마운트

계의 고유 진동모드와 고유 진동수를 이용하게 되며, 식 (1)과 같은 지배방정식을 근거로 한다.

$$[M]\{\ddot{X}\}+[C]\{\dot{X}\}+[K]\{X\}=0 \quad (1)$$

여기서, $\{X\}$ 는 엔진 마운트계의 변위행렬을, $[M]$, $[C]$, $[K]$ 는 각각 엔진계의 질량, 엔진 마운트계의 감쇠 및 강성행렬을 나타낸다.

단순 고무로 이루어진 엔진 마운트에 대해서는 감쇠항목의 영향이 미세하다는 가정 하에 무시될 경우에는 단순히 강성행렬 $[K]$ 와 질량행렬 $[M]$ 의 관계에서 엔진 마운트 계의 제1진동모드와 고유 진동수를 얻게된다.

또한, 전달경로해석에서 엔진 마운트를 통한 전달력을 계산할 때에도 후크(Hook)의 법칙에 따라서 엔진 마운트의 동강성 값과 엔진 및 차체(body) 간의 상대적인 변위를 이용하게 된다. 이를 수식으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$F_T(\omega)=K(\omega)(X_{engine}-X_{body}) \quad (2)$$

여기서 $F_T(\omega)$ 는 엔진 마운트를 통해서 차체로 전달되는 전달력이며,

X_{engine} 은 엔진의 변위, X_{body} 는 차체의 변위를 뜻하며, $K(\omega)$ 는 엔진 마운트의 동강성 값을 나타낸다.

식 (1), (2)를 이용한 최적해석 및 전달경로 해석과정에서는 주파수에 따라 변화되는 엔진 마운트의 특성을 반드시 고려해야 하며, 특히 액체봉입식 마운트는 저주파에서 매우 큰 강성과 감쇠의 변화를 가지기 때문에 입력값을 선정할 경우 유의해야만 한다. 하지만, 엔진 마운트계와 관련된 대부분의 연구과정에서는 이러한 엔진 마운트의 강성값을 적용할 경우 대표값(nominal value)을 적용시키거나, 동강성 값이 아닌 정강성 값을 적용하는 경우도 흔히 있다.

일반적으로 엔진 마운트 단품간의 강성특성 값은 고무의 비선형성 및 부품 상호간의 편차들로 말미암아 설계 규정값에 대해서 $\pm 10\%$ 의 오차를 갖게 된다. 따라서, 해석과정에서 동강성 값의 입력여부에 따라서 최적화 및 전달경로해석 결과는

매우 큰 영향을 받을 수밖에 없는 형편이다.

Table 1은 국내제작 SUV에 탑재되는 각각의 엔진종류에 따른 엔진 마운트들의 설계 규정값을 나타낸다.

여기서 A 타입은 배기량 3000cc 이하의 가솔린과 디젤엔진에 사용되며, B 타입은 배기량 3000cc 내외의 디젤엔진에, C 타입은 배기량 3000cc 이상의 가솔린엔진에 각각 사용되는 엔진 마운트를 의미한다. 국내 자동차 제작회사의 설계규정에서 언급된 동강성 값은 특정 주파수(대상차종에서는 15Hz의 수직방향)에서만 관리되고 있는 실정이다.

대상차종의 엔진 마운트에 대한 특성값 파악을 위해서 차량 조립라인에서 무작위로 추출된 엔진 마운트 샘플 4개를 각각의 설계규정 및 실험조건에 따라서 전용 방진고무시험기를 이용해서 측정하였다. 측정방향은 설계규정과 비교를 위해서 수직 상하방향(z축)만 실시하였다.

Fig. 1은 엔진 마운트 고무의 측정장면이며, 세부적인 측정결과는 Table 2와 같다.

Table 1 Design specification of engine mounts

E/G type	Static		Dynamic	
	Measuring range	Stiffness (kgf/mm)	Preload (kgf)	Stiffness (kgf/mm)
A	preload $\pm 15\%$	12.6	87.8	18.0
B		14.8	103.1	22.6
C		17.3	120.9	33.0

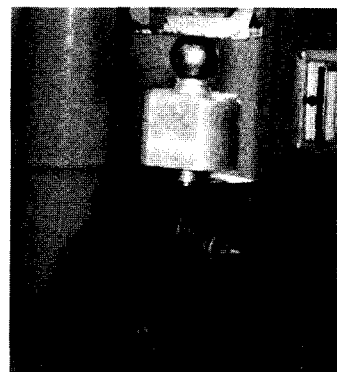


Fig. 1 Engine mount in test fixture

Fig. 2는 엔진 마운트의 정강성 분포를, Fig. 3은 15Hz 가진 주파수에 해당하는 동강성 분포를 나타낸다.

측정결과를 검토하면 정강성 값은 A 타입의 엔진 마운트에서 한 부품만을 제외하고는 모든 엔진 마운트들의 특성값이 각각의 설계 규정조건(규정값 $\pm 10\%$ 이내)에는 만족하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만, 동강성 값은 가진 주파수에 따라서 세 가지 각각의 엔진 마운트 특성값들

이 설계 규정조건과는 다른 한 가지 엔진 마운트(B 타입)의 특성과 거의 동일한 경향을 가지고 있음을 확인하였다. 따라서, A 타입의 엔진 마운트는 매우 딱딱(hard)한 특성인 반면에, C 타입의 엔진 마운트는 매우 부드러운(soft) 특성을 가지게 되어서 설계개념과는 판이한 진동결과를 유발시키게 된다고 예상된다.

본 연구에서 고려한 대상차량의 엔진 마운트들은 정강성을 위주로 관리되고 있을 뿐, 승차감에 지대한 영향을 미치는 동강성에 대해서는 소홀하게 취급되었음을 확인할 수 있다. 따라서, 중량 및 동력특성이 다른 동력기관에 이러한 마운트가 적용되는 경우, 공회전 및 저속주행 시의 차체 떨림이나 실내소음에 많은 악영향을 미치리라 판단되므로 동강성과 관련된 고무부품들의 보다 엄격한 품질관리가 필요함을 알 수 있다.

또한, 동력기관과 엔진 마운트로 이루어진 진동 시스템의 최적화 연구 및 고유치 해석과정에서 수치적으로 입력되거나 계산되는 엔진 마운트 고무의 특성값은 실제 차량에 장착되는 엔진 마운트의 고유 특성과는 상당한 차이점이 존재할 수 있다. 특히, 진동주파수와 연관된 동강성인 경우에는 각각의 엔진 마운트 단품에서도 설계 규정조건과는 비교적 큰 차이점이 존재할 수 있다는 것을 감안해야만 한다.

Table 2 Dynamic stiffness of engine mounts

	Sample no.	Static stiff.	Dynamic stiffness (kgf/mm)			
			15 Hz	30 Hz	35 Hz	50 Hz
A	1	11.80	20.73	22.76	22.42	23.23
	2	14.75	23.37	24.95	25.29	25.10
	3	13.00	20.74	22.86	22.37	23.02
	4	12.25	20.55	22.42	22.26	22.90
B	1	15.92	21.91	23.32	22.97	23.63
	2	16.03	22.14	23.89	23.24	23.88
	3	15.72	22.13	23.82	23.23	23.81
	4	15.46	21.95	23.81	23.35	23.81
C	1	18.26	22.31	23.77	23.13	23.83
	2	17.21	21.97	22.63	22.85	23.55
	3	17.94	22.64	24.29	23.55	24.34
	4	18.23	22.44	23.21	23.54	24.03

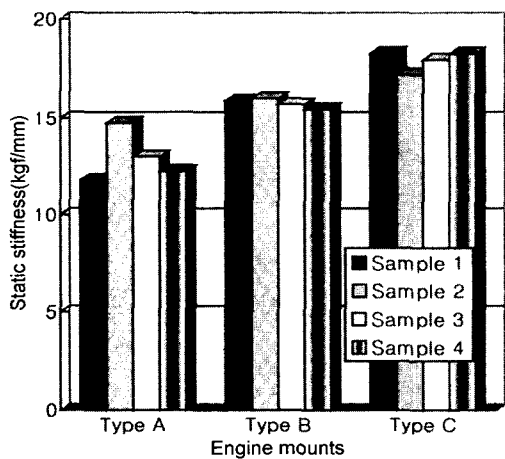


Fig. 2 Static stiffness of engine mounts

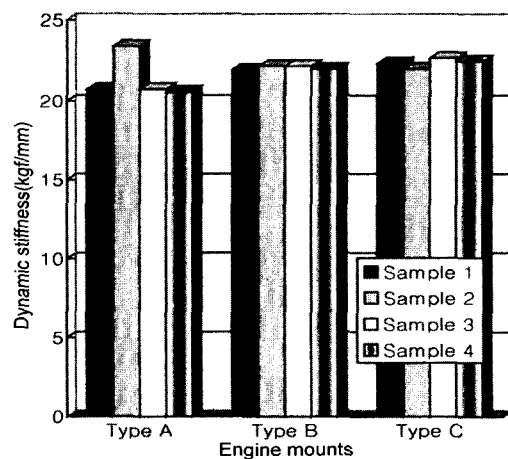


Fig. 3 Dynamic stiffness at 15Hz frequency range

이는 엔진 마운트의 최적화 연구는 대부분 고무 마운트에 대해서 이루어진 점을 생각할 때, 입력 데이터의 보다 세밀한 주의를 요한다고 볼 수 있다. 참고로 엔진 마운트와 관련된 전달경로 해석 시의 기준을 제시하면 Table 3과 같다.⁶⁾

여기서, Δx 는 엔진과 차체간의 상대변위를, k 는 엔진 마운트의 동강성 값을 뜻한다. P/F는 차체(body)의 음향감도(acoustic sensitivity)를 나타내며, 가진기(shaker or exciter)나 충격해머(impact hammer)에 의한 단위 입력과 이에 따른 차량의 실내소음과의 비(dB/N)를 뜻한다.

엔진 회전 에 따른 엔진 마운트의 상대변위와 동강성 값을 곱하게 되면, 해당 주파수 영역의 전달력을 얻게된다. 구해진 전달력을 차체의 음향감도에 곱하면 해당 주파수 영역에서 발생하는 차체의 실내소음(구조 전달소음, structure borne noise)을 계산해낼 수 있다. 이러한 개념을 기초로 차량의 전달경로해석이 수행된다.

Table 3의 조건은 북미시장의 차량을 기준한 것이므로, 국내차량의 적용에서는 엔진의 배기량, 출력, 차량의 디자인 및 진동소음에 대한 인종간의 문화적 차이점도 존재하리라 예상되지만, 전달경로 해석과정에서 상기조건을 모두 만족하는 차량일 경우에는 NVH(noise, vibration and harshness) 측면에서는 어느 정도 일정한 수준에 올랐다고 볼 수 있겠다.

2.2 주행이력에 따른 엔진 마운트의 강성변화

엔진 마운트의 특성은 차량 개발과정뿐만 아니라, 소비자들의 사용에 따른 주행거리 증가 시에도 적절한 설계 요구특성을 유지해야만 한다. 즉, 주행이력에 따른 내구성능 또한 점차 차량관

Table 3 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	$P/F = 55 \text{ dB/N}$

매의 경쟁력에 있어서 매우 중요한 인자로 부각되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 출고된 차량 중에서 B 타입의 엔진 마운트를 입수하여 정강성 및 동강성 등의 특성값을 파악함으로써, 주행이력에 따른 엔진 마운트의 특성변화현상을 검토하였다.

Table 4는 정상적인 출고이후 일반 소비자들이 주행한 차량에서 탈거한 엔진 마운트를 동일한 실험조건에 의해서 강성값을 측정된 결과이다. 여기서 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 따라서 정강성 값은 20% 내외, 동강성 값은 15% 내외로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 주행이 누적될수록 엔진 마운트의 동강성값은 조금씩 증가함에 따라서 엔진 토크작용에 따른 반력 및 차량주행 시 도로로부터 입력되는 충격(shock) 등에 대해서는 엔진의 거동을 억제하는 효과가 커질 수는 있겠지만, 전반적인 운전영역에서는 진동절연 불량현상을 가져오게 되어서 승차감을 악화시키게 될 것이다.

이러한 경향은 최근 발표된 S. Gruenberg²⁾의 연구결과와도 일치하는 현상으로, 추후 차량의

Table 4 Dynamic stiffness of engine mounts with respect to the driving mileage

Milage (km)	Sample	Static stiffness	Dynamic stiffness		
			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	-	-

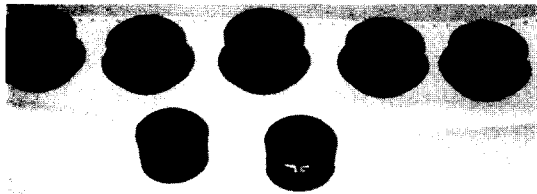
경쟁력 제고 및 내구 성능향상을 위한 부품개발 시 반드시 고려해야 할 사항이라고 판단된다.

3. 바디 마운트

3.1 바디 마운트의 초기하중

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

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



(a) Body mount rubbers



(b) Body mount in test fixture

Fig. 4 Body mount rubbers

본 연구에서 고려된 바디 마운트 고무는 Fig. 4와 같이 압축형으로, 차량 좌우가 동일한 제품이 각각 5개씩 총 10개 장착되며, 상단부(upper part)와 하단부(lower part)로 구성된다.

Table 5는 대상차종의 바디 마운트 고무부품의 설계 규정값을 나타내며, 동강성 값은 특정 주파수(대상차종은 15Hz 수직방향)만을 기준으로 한다. 실제 차량운행 시 공차상태 및 탑승인원과 적재물 유무에 따라서 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중의 변화가 유발될 수 있다.

이러한 초기하중의 변화에 따라서 고무의 동강성 값에도 많은 편차를 가질 수 있다. 따라서, 대상차종 바디 마운트 고무의 장착위치에 하중계(loadcell)를 장착하여 공차상태(empty vehicle weight, 이하 EVW)로부터 탑승인원 5명인 경우와 탑승인원에 추가의 적재물 250kg이 적용(gross vehicle weight, 이하 GVW)되었을 때의 초기하중을 각각 측정하였다.

Table 6은 각각의 바디 마운트에 작용하는 하중값으로, 좌우 마운트의 값을 측정하여 평균한

Table 5 Design specification of body mount rubbers

		Static		Dynamic	
		Measuring range	Stiffness (kgf/mm)	Preload (kgf)	Stiffness (kgf/mm)
U p p e r	1	40-100kgf	10.8	89	24
	2	40-150kgf	20.7	133	35
	3	40-160kgf	18.1	118	28
	4		33.6	99	58
	5		23.0	104	30
lower		20-70kgf	11.1	44	17

Table 6 Load distribution to each body mount rubber

(unit : kgf)

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

값이며, 공차중량부터 시작하여 적재물이 증가함에 따른 결과를 나타내고 있다.

Table 6 및 Fig. 5에서 알 수 있듯이 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 바디 마운트 고무의 동특성이 변화될 경우, 차량주행 시 발생하는 진동현상 및 실내소음에도 많은 영향을 줄 것이라 판단된다.

또한, 바디 마운트와 관련된 설계조건에서 차량 앞부분(1, 2번 마운트)은 실제 하중에 비해서 과도한 작용하중을 설계기준으로 고려했다는 것을 알 수 있다. 반면에, 차량 뒷부분(4, 5번 마운트)은 실제 하중에 비해서 매우 적은 작용하중을 설계기준으로 고려했다는 점을 확인할 수 있다.

이는 SUV의 바디 마운트 고무의 설계기준을 보다 세밀하게 검토하면 보다 좋은 승차감 향상을 기대할 수 있음을 시사한다고 볼 수 있다.

3.2 바디 마운트 고무의 동강성

초기하중 변화에 의한 바디 마운트 고무의 동강성 값을 각각의 작용하중에 따라서 측정하였다.

Table 7의 측정결과를 검토하면 바디 마운트

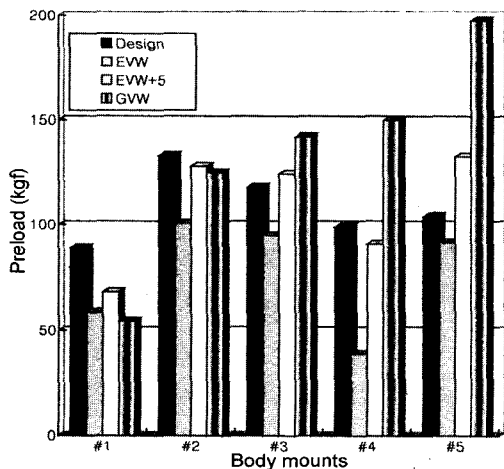


Fig. 5 Load distribution to each body mount rubber

Table 7 Dynamic stiffness of body mount rubbers due to the preload

Condi.	Data	Dynamic stiffness (kgf/mm)						
		15Hz	30Hz	50Hz	100	150	180	200
1	Design spec.	20.04	23.29	22.96	23.88	26.06	32.43	37.94
	EVW	17.79	20.58	21.04	22.32	24.55	29.87	35.86
	EVW+5	19.22	22.42	22.15	24.52	26.74	32.27	36.25
	GVW	18.84	21.09	20.76	21.68	23.86	30.23	35.74
2	Design spec.	31.09	32.49	32.37	34.48	37.05	53.03	62.24
	EVW	28.99	30.45	30.08	32.43	34.60	41.28	41.33
	EVW+5	31.35	32.48	32.67	34.95	34.71	43.72	42.94
	GVW	32.35	32.55	33.32	35.15	38.17	47.29	57.35
3	Design spec.	25.84	27.03	27.29	29.40	32.56	37.05	37.19
	EVW	23.33	23.85	24.61	26.64	28.78	34.74	34.91
	EVW+5	27.21	28.59	28.65	30.99	33.08	39.32	39.17
	GVW	25.68	27.74	27.30	29.30	32.08	40.21	48.93
4	Design spec.	63.58	65.87	66.56	67.63	70.39	76.36	88.76
	EVW	38.51	40.97	40.92	44.43	50.46	59.06	63.26
	EVW+5	56.34	57.63	59.19	62.79	69.00	80.38	83.30
	GVW	60.98	64.73	64.52	67.80	72.99	87.44	105.6
5	Design spec.	31.38	33.15	33.33	33.76	35.40	37.73	45.21
	EVW	31.19	31.85	32.67	35.28	35.91	39.14	47.65
	EVW+5	31.90	34.13	35.82	35.91	39.14	46.30	50.42
	GVW	32.99	35.33	34.89	37.07	40.06	54.53	59.58

고무의 동강성은 설계규정에 대하여 $\pm 10\%$ 내외의 오차를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 공차중량(EVW), 5명의 탑승인원을 추가로 고려한 경우(EVW+5), 탑승인원 및 적재물의 적용(GVW)으로 인하여 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중이 변화함에 따라 동강성 값도 비례하는 일반적인 특성을 재확인할 수 있으며, 그 증가율도 초기하중의 변화에 따라서 크게 격차가 벌어지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 탑승인원 및 적재물이 고려된 상태(GVW)에서 각각의 바디 마운트에 대한 동강성

값을 비교한 그림이다. 여기서 가진 주파수의 증가에 따라서 바디 마운트 고무의 강성값이 비례하여 증대되는 일반적인 경향을 보이다가, 150Hz 이상의 영역에서는 급격하게 바디 마운트 고무의 동강성 값이 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 특히, 차량 뒷부분에 해당되는 4번 및 5번 바디 마운트 고무의 강성증대현상이 뚜렷함을 알 수 있다.

150Hz 이상의 주파수 영역에 해당되는 주행상 태는 4기통 엔진을 장착한 SUV인 경우, 엔진 회전수의 2차(2nd order)성분에서는 4500rpm 이상, 4차(4th order)성분에서는 2250rpm 이상의 운전 영역에서 진동소음현상이 악화될 수 있음을 시사한다. 또한, 6기통 엔진인 경우에는 엔진 회전수의 3차(3rd order)성분에서는 3000rpm 이상, 6차(6th order)성분에서는 1500rpm 이상의 영역이 문제될 수 있다고 예상된다.

따라서, 150Hz 이상의 주파수 영역이나 차량의 고속주행 시 외부 도로로부터 입력되는 충격력 및 동력기관이나 구동라인의 진동 등에 대한 바디 마운트 고무에 의한 진동 절연효과는 크게 저하될 것으로 예상된다.

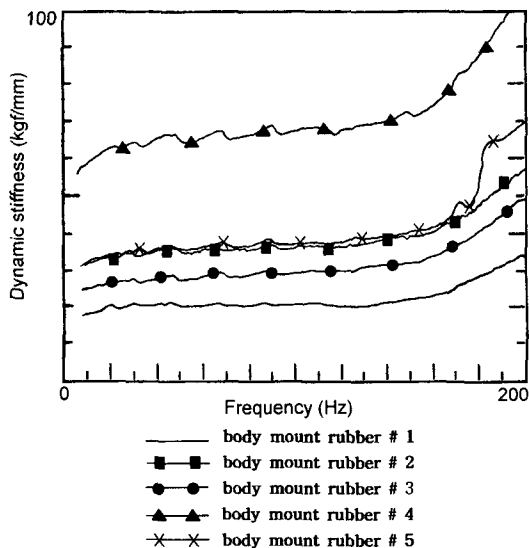


Fig. 6 Dynamic stiffness of body mount rubbers according to the gross vehicle weight

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) 국내 SUV 엔진 마운트 고무의 정강성 값은 비교적 품질관리가 이루어지고 있으나, 동강성 값은 적용되는 다양한 엔진에 대한 별도의 특성 값 관리가 필요하다고 사려된다. 더불어, 엔진 마운트의 동일 부품간에도 10% 이내의 특성값 산포를 가지는 바, 차량 구조해석 및 전달경로해석 등과 같은 고무의 기초 입력값 선정에 있어서도 세심한 주의를 요한다고 볼 수 있다. 또한, 엔진 마운트와 연관된 전달경로해석의 기준을 제시 하였다.

2) 차량의 주행이력에 따른 엔진 마운트의 특성 값 변화현상을 파악하였다. 비록 한정된 데이터를 근거하고 있지만, 차량의 주행이 증가될수록 엔진 마운트의 정강성 및 동강성은 조금씩 증가하는 것으로 예측된다.

3) 바디 마운트 고무에 작용하는 초기하중은 탑승자 및 적재화물의 적용으로 인하여 많은 변화를 가지며, 이러한 초기하중 변화에 따른 특성을 파악한 결과, 150Hz 이상의 주파수 영역에서 매우 큰 강성증대 현상을 가짐을 확인하였다. 이러한 현상으로 인하여 차량의 고속주행 시나 150Hz 이상의 주파수 영역에서는 바디 마운트 고무에 의한 진동 절연효과가 매우 취약할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- 1) Y. Yu, N. G. Naganathan, R. V. Dukkipati, "A Literature Review of Automotive Vehicle Engine Mounting Systems," *Mechanics and Machine Theory*, Vol.36, pp.123-142, 2001.
- 2) S. Gruenberg, J. Blough, D. Kowalski, J. Pistana, "The Effects of Natural Aging on Fleet and Durability Vehicle Engine Mounts from a Dynamic Characterization Perspective," SAE

- 2001-01-1449, 2001.
- 3) 사종성, 김찬목, “4륜구동 자동차의 동력기관에서 진동저감을 위한 동흡진기의 진동내구에 대한 실험적 연구,” 한국소음진동공학회지, 제9권 제6호, pp.1166-1172, 1999.
 - 4) 김현영, 김중재, “엔진 마운트 고무의 최적형상설계와 내구수명 예측,” 자동차공학회지, 제18권 제6호, pp.23-32, 1996.
 - 5) R. Sr. Racca, “How to Select Powertrain Isolators for Good Performance and Long Service Life,” SAE 821095, 1982.
 - 6) Roush Anatrol, NVH Refinement Report, 1995.
 - 7) 양성모, 김남웅, 김중희, “실험적 방법을 통한 횡답재 엔진차량에 대한 진동해석,” 한국소음진동공학회지, 제9권 제4호, pp.769-777, 1999.
 - 8) 이상권, “진동동력흐름 예측기법을 이용한 소음 전달경로해석 및 차량의 실내소음 저감에 관한 연구,” 한국자동차공학회논문집, 제9권 제2호, pp.168-175, 2001.
 - 9) 고강호, 김영호, “하이드로릭 마운트가 장착된 엔진 지지계의 고유치 해석,” 한국소음진동공학회지, 제10권 제5호, pp.800-805, 2000.