한국소음진동공학회논문집 제 22 권 제 9 호, pp. 837~844, 2012.

http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2012.22.9.837

자동차용 고무호스의 진동 절연성능 향상에 관한 연구

Improvement of Insulation Performance of Vehicle Rubber Hoses

정 헌 섭†·민 병 권*·이 성 훈*·우 희 수**·박 현 호**

Heon-Seob Jung, Byung-Kwon Min, Seong-Hoon Lee, Hee-Soo Woo and Hyun-Ho Park

(2012년 5월 30일 접수 ; 2012년 8월 6일 심사완료)

Key Words : Insulation Performance(진동절연 성능), Heater Hose(히터호스), Intercooler Hose(인터쿨러호스), EPDM(에틸렌-프로필렌고무), AR(아크릴고무), Shear Modulus(전단탄성률), tanδ(손실계수)

ABSTRACT

We considered an approach in terms of materials for improvement of insulation performance of vehicle rubber hoses. Ethylene propylene rubber(EPDM) for heater hoses in cooling system and acrylic rubber(AR) for intercooler hose in intake system were chosen for mixing for the vibration and noise performance. We modified EPDM and AR through changing compound of base polymer, reinforcement fillers and additives. Dynamic mechanical analysis(DMA) was used to measure viscoelastic properties such as shear modulus and loss factor(tan δ). Vehicle acceleration test was also conducted to observe indoor changes in insulation performance of hoses.

기 호 설 명

Y : 변형률
σ : 응력
Y_0 : 변형 진폭
ω : 각 진동수
t : 시간
G' : 저장탄성률
G'' : 손실탄성률

1. 서 론

현재의 자동차는 고성능 저연비라는 세계적 흐름에 맞추어 차체 소형화(경량화) 및 파워트레인 고출력화 기술 등으로 심화 발전하고 있다. 그에 따라서 엔진의 진동 및 소음은 이전 세대 보다 10 % 이상 증가 하였으며, 경량화된 차체는 진동 및 소음 전달에 취약할 수 밖에 없다.

자동차 부품의 진동절연 성능 향상은 감성(感性) 자동차 개발에 있어 매우 중요한 인자이다. 진동 및 소음의 유입 경로는 크게 2가지로 나눌 수 있다. 엔진룸 또는 노면 진동이 고체의 매체(媒體)를 이용하여 전달되는 경우와, 주행 소음 등이 공기 중에 전파되어 실내로 유입되는 경우이다.

고체 전달음의 절연 방법들은 차체 또는 부품들의 강성 증대, 전달부 댐퍼 장착, 전자 부품 도입 등이 있다. 그러나 중량 증가에 따른 연비 저하 및 과도한 원가 상승 등으로 쉽게 적용하기 어렵다. 효과적으로 고체 전달음을 절연하는 방법은 자동차용 방진 고무 부품들을 이용하는 것이다. 방진 고무의 동적 특성과 감쇠 성능을 향상시킴으로써 차량의 정숙성을 확보할 수 있다. 현재 저동배율 엔진마운트, 고댐핑 하이드로 부시 개발 등의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

또한 전달계 부품인 고무 호스의 절연성을 향상시

† 교신저자; 정회원, 현대자동차 고분자재료연구팀
E-mail : hsjung0225@hyundai.com
Tel : (031)368-2399, Fax : (031)368-7444
* 현대자동차 고분자재료연구팀
** 화승소재 FL 재료팀

키는 것은 고체 전달음의 유입을 효과적으로 차단시키는 방법이다. 호스의 일차적 기능은 부품간 유체가 이동하는 전달 통로의 역할이다. 악의적 환경조건에도 각 시스템에 동력, 냉각수, 윤활유 등을 공급할 수 있어야만 한다. 호스의 역기능은 진동 및 소음까지도 상대 부에 전달될 수 있다는 것이다. 일반적으로 고무는 금속대비 10만배 이상의 유연함을 지니고 있다. 내구력이 우수한 금속관이나 플라스틱관이 고무 호스를 완전히 대체할 수 없는 이유는 진동 및 소음의 절연성 문제 때문이라고 할 수 있다[1~3].

1.1 고무의 동역학적 특성

고무는 흔히 일정한 진동수 또는 일정 범위의 진동수로 빠르게 반복적 변형을 받는 용도에 사용된다. 동역학적 성질은 온도, 진동수, 충전제, 변형이 큰 경우 변형량 등에 크게 좌우된다. 아주 작은 변형에서는 동역학적 성질이 변형량에 무관하며(선형점탄성), 많은 경우 온도-진동수 중첩이 가능하고, 이러한 특성은 넓은 진동수 범위에서 동역학적 성질의 예측이 가능하다[4,5].

고무의 동역학적 성질은 일반적으로 주기적으로 변하는 변형 또는 응력에 대한 감응을 뜻한다. 이들은 단순히 주기적인 변화를 보이는 작은 변형 또는 응력과 이에 대한 감응으로 동일한 진동수에서 위상차를 보이며 주기적으로 변하는 작은 응력 또는 변형으로 나타난다.

응력(σ)은 변형을 일으키는 단위 면적당 전단력이다. 시편이 주기적인 전단 변형을 받을 때 변형률(Y)은 시간에 따라 식 (1)과 같이 변한다.

$$Y(t) = Y_0 \sin \omega t \tag{1}$$

식 (1)에서 Y_0는 변형진폭이고, ω는 각(angle) 진동수(Hz 단위의 진동수에 2π를 곱한 값)이며 t는 시간이다. Fig. 1과 같이 응력(σ)도 각 진동수 ω에 따라 주기적으로 변화하며 시간적으로 앞서가기 때문에 위상차를 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma(t) = \sigma 0 \sin(\omega t + \delta) \tag{2}$$

응력은 변형률과 위상이 동일한 성분과 90° 위상차를 보이는 성분으로 분해할 수 있으며, 전체 응력은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며,

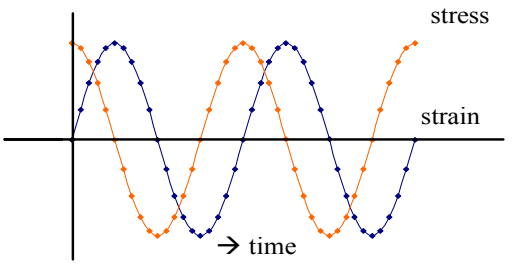


Fig. 1 Shear deformation changing periodically

$$\sigma(t) = Y_0[G'(\omega)\sin \omega t + G''(\omega)\cos \omega t] \tag{3}$$

전단 탄성률 $G'(\omega)$, $G''(\omega)$이 정의된다. 저장 탄성률 G'은 저장 에너지의 척도이며 주기적 변형에서 복원된다. 손실 탄성률 G''은 열로 소모된 에너지의 척도이며, G''/G'은 tanδ 또는 손실계수라고 한다.

낮은 진동수에서 G'값은 평형 탄성률값에 접근하고 G''값은 매우 작아진다. 이것은 고무가 낮은 진동수의 변형에서 거의 완전한 탄성체임을 나타낸다. 진동수를 증가시킴에 따라 G'과 G''은 증가하고 값이 거의 같아진다. 이러한 현상이 나타나는 진동수는 고무내 분자들의 부분적인 움직임에 의하여 결정된다. G'은 진동수가 증가하면 단단한 유리의 특성치에 접근하며, 상온에서는 높은 진동수를 필요로 한다. 여기서 에너지 저장에 대한 에너지 손실의 척도인 tanδ는 최대값을 보인다[6,7].

2. 시험 장비

2.1 재료 및 배합 장비

재료의 상세내용은 Table 1에 기술하였다. 원소재는 히터호스용 EPDM(ethylene-propylene rubber), 흡기계 인터쿨러 호스용 AEM(ethylene-polyacrylate rubber)과 ACM(polyacrylate rubber)이 사용되었다. 배합(혼련) 장비는 밀폐 혼련기(Mitsubishi社/5L)와 롤 혼련기(Korea Mtec社/8'x20')를 사용하였다.

2.2 분석 장비

고무의 점탄성적 탄성률 측정을 위하여 Fig. 2와 같이 동특성 시험기(이하 DMA : dynamic mechanical analysis)를 사용하였다(GABO社/ EPLEXOR 150N).

DMA는 시료에 주기적으로 외력을 변화시키면서 시료의 기계적 동적 열 특성을 측정하는 기술이다.

Table 1 The list of compounding materials

	Materials	Makers
Polymer	EPDM(heater hose)	Kumho polychem(local)
C/black	Carbon black	Evonik
Filler	C_aCO_3	Eujin(local)
Activator	Zinc oxide	Hanil chem(local)
	Polyethylene glycol	Akzo nobel
	$C_{18}H_{36}O_2$	Lg health care(local)
Vulcanizing agent	Sulfur	Miwon(local)
Plasticizer	Paraffin oil	Miwon(local)
Processing aid	Ester of saturated fatty acids	Struktol
Accelerator	Morpholine disulfide	Flexsys
	Zinc Di-n-butyl-dithiocarbamate	Lanxess
	Dipentamethylene thiuram tetra sulfide	Lanxess
	Tellurium diethyldithiocarbamate	Akrochem
	2-mercaptobenzothiazole	Laxess
	Tetramethylthiuram-disulfide	Flexsys
Polymer	Aem(intercooler hose)	Dupont
C/black	Carbon black	Evonik
Accelerator	Diphenylguanidine	Lanxess
Activator	Stearic acid	LG health care(local)
Vulcanizing agent	Hexamethylenediamine carbamate	Interbusiness
Anti-oxidant	4.4-bis(α, α-dimethylbenzyl)diphenylamine	Uniroyal
Plasticizer	Polyether ester	Adeka palmarole
Processing aid	Polyoxyethylene octadecyl ether phosphate octadecylamine	R.t. Vanderbilt Akzo nobel
Polymer	ACM(intercooler hose)	Tophe
C/black	Carbon black	Evonik, kcb(local)
Accelerator	ZDBC	OCI(local)
Activator	Stearic acid	LG health care(local)
Vulcanizing agent	Trimercaptotriazins	Tophe
Anti-oxidant	4.4-Bis(α, α-dimethylbenzyl)diphenylamine	Uniroyal
Plasticizer	Adipic acid ester	Adeka palmarole
Processing aid	Microcrystalline wax fatty acid esters	Nippon seiro, struktol

그 방법으로 온도, 주파수, 진동의 함수로써 재료의 기계적 탄성률(mechanical analysis)을 측정한다. 시료에 주기적 외력을 가하면 시료내에 주기적 응력이 발생되어 시료는 이 응력에 반응함으로써 이에 상당하는 변형(deformation)을 하게 된다. 기계적 탄성률은 응력-변형(stress-deformation)으로부터 결정된다. 가해지는 응력 형태에 따라서 전단 탄성률 *G*(shear stress)와 영 탄성률 *E*(stretching 또는 bending)가 측정된다. 탄성률과 손실계수(tanδ)는 온도와 주파수 의존성이다.

그 밖에 고무의 표면 경도 측정을 위하여 휴대용 쇼아 A 경도계(Teclock社/GS-709)와 마이크로 경도계(Instron社)를 사용 하였으며, 고무의 연신율 및 인장강도 측정을 위하여 만능 재료시험기(Zwick-Roell社/Z010)를 사용하였다[8].

Fig. 2 Dynamic mechanical analysis

3. 시험 결과

3.1 공조시스템 히터호스의 진동 절연 특성

시험 차량(디젤 엔진)의 주행 소음 평가 결과 Fig. 3과 같이 히터 호스의 기여도가 가장 높은 것으로 나타났다. 트랜스미션(T/M) 마운트 형상 변경 시 100~500 Hz 영역대 소음 저감 효과가 있고, 엔진 서포트 브라켓 중량 증가시 100~700 Hz에서 소음 저감 효과를 보인다. 대쉬 측 히터호스 탈거 후에 중/고주파 전 영역대인 500~2,000 Hz에서 효과를 보였으며, 소음 저감 폭이 가장 크다.

해외 경쟁사 차량에 사용되는 히터 호스와의 절연 특성 비교를 위해 분석을 실시하였다. 시료는 우리 연구진을 포함 총 8개 회사, 10종의 히터호스 제품들이었다. 주파수 변화에 대한 저장 탄성률값(0.1~100 Hz at 24 ℃)과 경도값은 Fig. 4와 같은 차이를 보였다. 저장 탄성률은 저장 응력에 대한(인장) 변형의 비율이며, 식 (4) 같이 나타낼 수 있다.

$$E' = \sigma'/\epsilon = E^* \cos\delta \tag{4}$$

식 (4)에서 σ'는 저장 응력, ϵ은 변형률, E^*는 복합 탄성률을 나타낸다.

Fig. 4(a)와 같이 경도값은 A社_1, B社_1에서 65 Hs로 최소값을 나타냈으며, 우리 연구진은 B社_2와 더불어 74 Hs로 호스들 중 최대값을 보였다.

Fig. 4(b)의 100 Hz 영역에서 저장 탄성률값은 A社_1와 F社가 최소값을 보였다(A社_1: 18.9 MPa, F 社 : 22.9 MPa). 우리 연구진은 28.9 MPa로 10개의 제품들 중 4번째로 높은 수준이다. 서론에서 기술한 바와 같이 저장 탄성률은 저장 에너지의 척도이며 주기적 변형에서 복원되는 정도이다. 저장 탄성률값이 높을수록 외부 응력은 가해준 변형의 주파수에 비례하며 응력과 변형의 위상차(δ)는 0°가 된다. 즉 저장 탄성률값이 높을수록 이상 고체(idle solid)에 가까워지므로 외부 힘에 곧바로 응답한다. 반면 저장 탄성률값이 낮을수록 변형의 일부분은 응력보다 시간차를 두고 뒤에 나타나며 위상차(δ)는 최대 90°에 가까워진다. 결국 저장 탄성률값이 낮을수록 부품의 절연성능 혹은 감쇠성능은 높아지는 것이다. 그래서 A社_1와 F社의 히터호스의 절연성능이 타사 제품들 대비 우수하다는 것이 간접적으로 증명이 되었으며, A社_1의 저장 탄성률 19.0 MPa를 목표로 호스의 절연 성능 향상 배합을 실시하였다.

Fig. 5(a)와 같이 절연 성능이 향상된 신규 배합을 우리 연구진의 기존 제품 및 A社_1 제품과 비교하여 저장 탄성률을 측정하였다. 주파수 변위는 0.1~100 Hz이며, 온도는 24℃이다. 100 Hz 영역에서 개발 배합의 저장 탄성률값은 16.3 MPa이며, 우리 연구진의

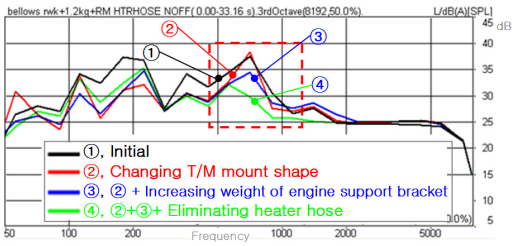
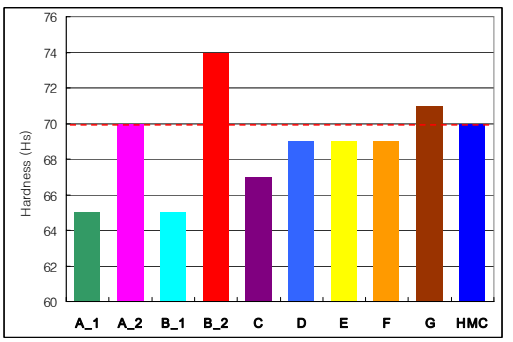
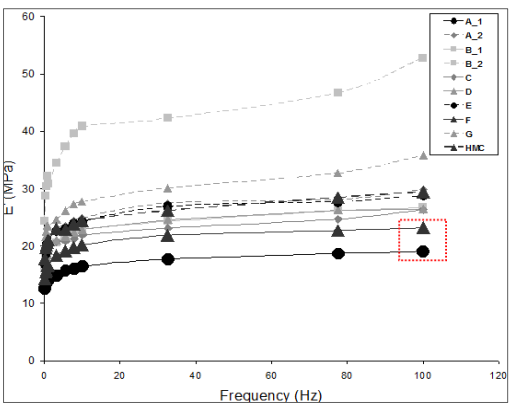


Fig. 3 The noise analysis of test vehicle



(a) Hardness test



(b) Storage modulus(E')

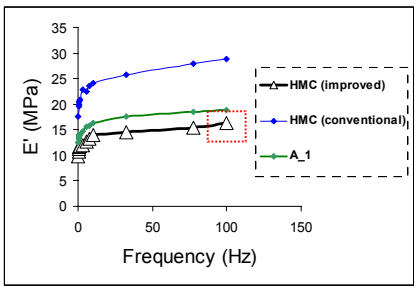
Fig. 4 The analysis results of competitor's heater hose

기존 제품과 비교 하여 확연히 낮아진 결과를 볼 수 있다. 또한 가장 절연 성능이 우수하다고 판단되는 A社_1 제품 보다 더 나은 결과를 얻게 되었다.

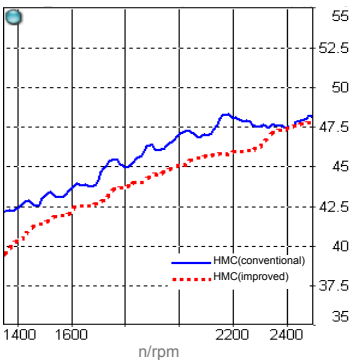
시험 차량의 주행 소음 평가 결과 Fig. 5(b)와 같이 히터 호스의 소음 기여도가 기존 제품 대비 작아진 것으로 나타났다. 1,000 Hz 이상 냉간 주행 시 기존 제품 보다 약 2 dB 이상 기여도가 낮아진 것을 볼 수 있다. 차량 주행 시 2 dB의 소음 저감은 실제 운전자의 청감으로 느껴지는 수준이며, 댐핑용 중량체 1 kg 증가 효과와 같은 수준으로 판단된다.

진동 절연 특성 외에 재료의 상태 물성은 Table 2와 같다. 경도 저감이 되었지만 기존 제품에서 큰 물성 변화없이 인장 강도와 신율 물성이 유지되는 것을 볼 수 있다.

히터 호스 개발 재료의 배합 변경 내용은 Table 3과 같다. 고무 원소재를 4 wt % 증량 시켰으며, 무니 점도 ML1+8(125 ℃)는 기존 82에서 58 저감시킨 저점도 타입으로 변경 하였다. 또한 카본블랙 보강제는 기존 대비 약 1 wt % 감량 되었으며, 현행 FEF(크기 : 50nm)에서 SRF(크기 : 70 nm) 타입의 카본블랙이 1:1비율로 혼합되었다. 또한 가황 촉진제의 비율을 증가시킨 EV(efficient vulcanization) 방식을 이용하여, 유황 함량 증가에 따른 내열성 및 영구압축줄음률 저하를 방지하였다.



(a) Storage modulus(E')



(b) Result of driving noise test

Fig. 5 The analysis results of improved heater hoses

Table 2 Mechanical properties of heater hose

Properties		EPDM		
		HMC (conventional)	HMC (improved)	A_1
Hardness	Hs	70	65	65
Tensile strength	MPa	11.0	10.5	10.3
Elongation	%	350	330	400

3.2 흡기시스템 인터쿨러 호스 진동 절연특성

시험 차량(디젤 엔진) 아이들 상태시 Fig. 6과 같이 인터쿨러 호스의 절연 성능 저하로 인하여 차량 하부의(floor) 진동 전달이 과다한 것으로 나타났다.

특히 동일한 아이들 주파수 영역대 에서도 외기온의 변화에 따라 절연 성능의 변화가 4 dB 이상으로

Table 3 The changed details of compound(heater hose)

EPDM compound(%)	HMC (comventional)	HMC (improved)
Polymer	25.5	29.5
C/Black	39.0	38.1
Filler	14.8	11.3
Activator	2.2	2.5
Sulfur	0.12	0.1
Accelerator	0.8	1.02
Plasticizer	17.1	16.9
Processing aid	0.5	0.6
Total	100	100

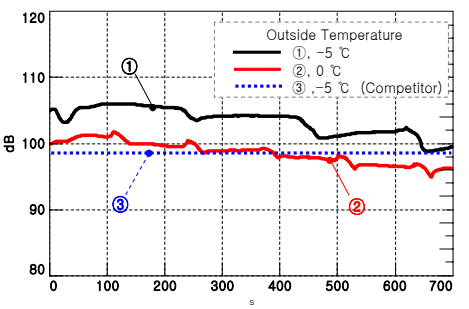


Fig. 6 The change of vehicle floor vibration at idle state

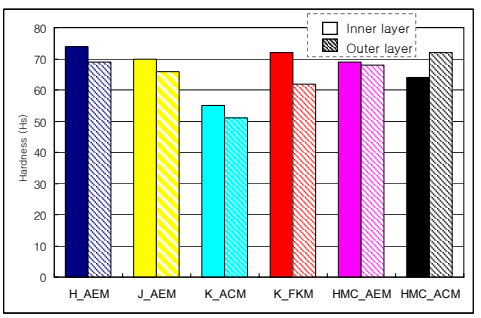
심한 것으로 나타났다. 또한 타사 차량은 우리 연구진 대비 외기온에 상관없이 낮은 수준의 절연 특성을 보이는 것도 특징으로 나타났다.

경쟁사 차량에 사용되는 인터쿨러 호스와의 절연 특성 비교를 위해 분석을 실시하였다. 시료는 우리 연구진을 포함 총 4개 회사, 6종의 인터쿨러 호스 제품들 이었다. 온도 변화에 대한 손실계수값(-50~100 ℃ at 27.5 Hz)과 경도값은 Fig. 7과 같은 차이를 보였다. 손실계수는 저장탄성률에 대한 손실탄성률의 비율이다.

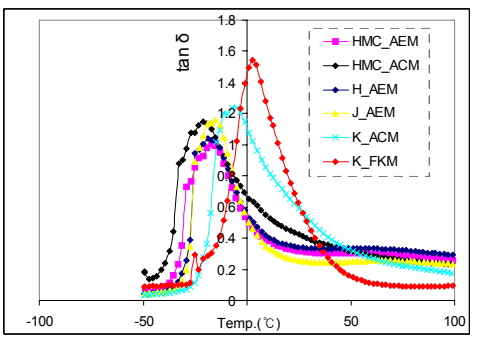
Fig. 7(a)와 같이 내/외면 경도값은 H社_AEM에서 74/69 Hs로 최대값을 나타냈으며, K社_ACM에서 55/51 Hs로 최소값을 나타내었다.

Fig. 7(b)의 25 ℃에서 손실계수값은 K社_ACM과 K 社_FKM이 최대값을 보였다(K社_ACM: 0.60, K社_FKM : 0.63). 우리 연구진의 AEM은 0.32, 우리 연구진의 ACM은 0.42로 6개의 분석 제품들 중 중간 수준이다. 앞서 기술한 바와 같이 손실계수는 손실탄성률 대 저장 탄성률의 값이며, 손실탄성률값과 손실계수는 비례한다. 손실탄성률값이 높아질수록 외부 응력에 대한 시간차 변형이 발생되어 응력과 변형의 위상차(δ)는 최대 90°가 된다. 즉 손실탄성률값이 높을수록 이상 액체(idle liquid)에 가까워진다. 이상 액체에서 응력은 가해준 변형속도(strain rate)에 비례한다. 반면 손실탄성률값이 낮을수록 응력과 변형의 위상차는 0°가 된다. 즉 손실탄성률값이 낮을수록 외부 응력에 곧바로 응답한다. 결국 손실탄성률값이 높아 손실계수가 증가하면 부품의 감쇠성능 혹은 댐핑 성능이 높아지는 것이다. 그렇기 때문에 K社_ACM과 K社_FKM의 인터쿨러 호스의 절연 성능이 타사 제품들 대비 우수하다고 판단되며, K社_ACM의 손실계수 0.60을 목표로 인터쿨러 호스의 절연 성능 향상 배합을 실시하였다. 불소고무 경우 가장 높은 손실계수값을 보였으나 아크릴계 고무들의 비교, 평가를 위하여 추가적 진행은 실시하지 않았다.

Fig. 8(a)와 같이 절연 성능이 향상된 신규 배합을 우리 연구진의 기존 제품들 및 K社_ACM 제품과

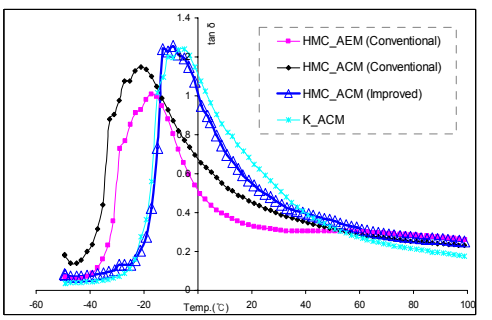


(a) Hardness test

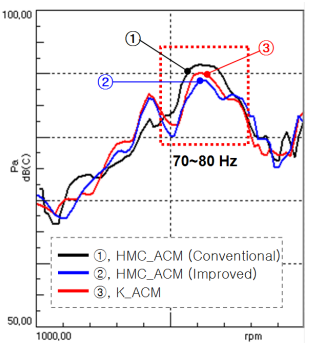


(b) Loss factor(tanδ)

Fig. 7 The analysis results of competitor's intercooler hoses



(a) Loss factor(tanδ)



(b) Result of driving noise test

Fig. 8 The analysis results of improved intercooler hoses

비교하여 손실계수를 측정하였다. 온도 변화는 -50~100 ℃이며, 주파수는 27.5 Hz이다. 25 ℃에서 개발 배합의 손실계수값은 0.5로 우리 연구진의 기존 제품들에 비하여 손실계수값이 증가한 것을 볼 수 있다. 그러나 가장 절연 성능이 우수하다고 판단되었던 손실계수 0.6의 K社_ACM에는 미치는 못하는 수준으로 나타났다.

그러나 시험 차량의 진동 소음 평가 결과, Fig. 8(b)와 같이 아이들 영역대의 진동 기여도는 변하지 않은 것으로 나타났다. 70~80 Hz 영역대에서 기존품 대비 2~3 dB 진동이 감쇠된 것으로 나타났다.

진동 절연 특성 외에 재료의 상태 물성은 Table 4와 같다. 기존 제품 대비 경도 저감이 되었으며, 인장 강도와 신율에서 기존 ACM 대비 물성 향상되었다.

인터쿨러 호스 개발 재료의 배합 변경 내역은 Table 5와 같다. 고무 원소재의 중량 변화는 없지만 ML1+8(125 ℃)는 기존 43에서 32로 저감시킨 저점도 타입의 ACM 15 wt %를 첨가하였다. 또한 카본블랙은 기존 대비 약 3 wt % 감량 되었지만, 기존 N330과 N774 혼합 비율 중 입자크기가 작은 N330의 비율을 높였다. 이는 저점도 고무사용에 따른 신장률 저하를 방지하기 위함이다. 기존대비 가소제 함량도 2.5 wt % 감량하여 혼련 가공성 및 인장강도 물성을 향상시켰다.

Table 4 Mechanical properties of intercooler hose

Properties		AR(acrylic rubber)		
		HMC_AEM (conventional)	HMC_ACM (conventional)	HMC_ACM (improved)
Hardness	Hs	69	64	61
Tensile strength	MPa	13.0	8.2	9.4
Elongation	%	280	190	280

Table 5 The changed details of compound(intercooler hose)

AR compound(%)	HMC_ACM (comventional)	HMC_ACM (improved)
Polymer	45	35+15 (low viscosity)
C/black	44	41
Accelerator	0.5	0.8
Activator	0.7	0.7
Sulfur	0.5	0.5
Anti-oxidant	0.9	1.0
Plasticizer	6.0	3.5
Processing aid	2.4	2.5
Total	100	100

4. 결 론

공조시스템의 히터호스 및 흡기 시스템의 인터쿨러 호스의 진동 절연 특성 향상을 위한 재료배합을 실시하였다. 점탄성적 탄성계수 측정과 실차 테스트 효과 검증을 통해 다음과 같은 결론은 얻었다.

(1) 히터호스의 진동 절연성 향상 배합의 저장 탄성률은 16.3 MPa이며, 기존 28.9 MPa 대비 약 44 % 감소한 수준이다.

(2) 개발 히터호스의 차량 주행 소음 평가 결과, 1,000 Hz 이상 냉간 주행 시 기존 제품 보다 약 2 dB 이상 기여도가 작아진 것으로 나타났다.

(3) 인터쿨러 호스의 진동 절연성 향상 배합의 손실계수는 0.5이며, 기존 0.42대비 약 25 % 증가한 수준이다.

(4) 개발 인터쿨러 호스의 차량 진동 소음 평가 결과, 70~80 Hz 영역에서 2~3 dB 진동이 저감된 것으로 나타났다.

(5) 히터호스 및 인터쿨러 호스의 개발 배합 모두 기존 제품 대비 재료 물성의 저하는 없는 것으로 나타났다.

(6) 이 논문에서 기술된 배합 내용 및 평가 결과를 기반으로, 현재 히터호스 및 인터쿨러 호스 제품을 양산화하여 우리 연구진의 준중형 4차종 및 중형 2 차종에 적용 중이다. 향후 우리 연구진의 전 차종에 적용하여 실내 정숙성 확보 및 차량 상품성을 높이는데 많은 기여를 할 것이다.

참 고 문 헌

(1) Evans, C. W., 1979, Hose Technology, Applied Science Publishers LTD, London.

(2) Park, C. M., Ih, J.-G., Nakayama, Y. and Kitahara, S., 2002, Measurement of Acoustic Impedance and Prediction of Transmission Loss of the Porous Woven Hose in Engine in Take Systems, Applied Acoustic, Vol. 63, No. 7, pp. 775~794.

(3) Lee, J. K., Cho, T. H., Seo, D. W., Lim Y.

S., Won, K. M., 2012, A Development of Sound Quality Index of an Intake and Exhaust System for High Quality Improvement of Luxury Vehicles, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 234~243.

(4) Hernández, L. G., Rueda, L. I., Díaz, A. R., and Antón, C. C., 1992, Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber Vulcanizates with Different Curing Systems and Static Strain, Polymer, Vol. 33, No. 17, pp. 3635~3638.

(5) Ramorino, G., Vetturi, D., Cambiaghi, D., A. and Pegoretti, T. R., 2003, Developments in Dynamic Testing of Rubber Compounds: Assessment of Non-linear Effects, Polymer Testing, Vol. 22, pp. 281~287.

(6) Ferry, J. D., 1970, Viscoelastic Properties of Polymers, Wiley, New York.

(7) Mark, J. E., Erman, B. and Eirch, F., 2001, Science and Technology of Rubber, MRC, Elsevier, Massachusetts.

(8) Evans, C. W., 1987, Testing and Applications of Wire-reinforced Hydraulic Hose, Polymer Testing, Vol. 7, No. 5, pp. 309~315.