



## EPDM/Carbon Black계에서 Carbon Black에 따른 기계적 성질 및 방진 특성

노태경·강동국\*·서재식\*\*·양경모\*\*·서관호†

경북대학교 고분자공학과, \*평화오일씰공업(주) 기술개발본부,  
\*\*현대자동차(주) 재료연구팀

접수일(2012년 6월 19일), 수정일(2012년 7월 23일), 게재확정일(2012년 7월 31일)

### Effect of Carbon Black on Mechanical and Damping Properties of EPDM/Carbon Black System

Tae-Kyeong No, Dong-Guk Kang\*, Jae-Sik Seo\*\*,  
Kyung-Mo Yang\*\*, and Kwan-Ho Seo†

Department of Polymer Science, Kyungpook National University, 1370,  
Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu, 702-701, Republic of Korea

\*Research & Development Institute, Pyung-hwa Oil seal Industry co., LTD.,  
29-88, Bonri-ri, Nongong-eup, Dalsung-gun, Daegu, 711-855, Republic of Korea

\*\*Polymeric Materials Research Team, Hyundai Motor Company, Hyundai Kia Motors Namyang Institute,  
Jangdeok-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 445-706, Republic of Korea

(Received June 19, 2012, Revised July 23, 2012, Accepted July 31, 2012)

**요약** : 본 연구에서는 EPDM 컴파운드에 여러 종류의 충전제를 사용하여 물리적, 기계적 특성을 관찰하였다. 충전제로는 Semi-reinforcing furnace black(SRF), high abrasion furnace black(HAF) 그리고 acetylene black을 사용하였다. 가교제로는 dicumyl peroxide (DCP)를 사용하였다. 레오미터, 경도계, 만능 재료 시험기, 영구 압축 줄음을 그리고 동적 점탄성 분석을 통하여 재료의 성질을 관찰하였다. EPDM 컴파운드에 충전제로 SRF를 사용하였을 때 함량의 증가에 따라 인장강도와 파단 연신율은 증가하였으나, acetylene black을 사용하였을 때 함량의 증가에 따라 인장강도와 파단 연신율은 감소하였다. Acetylene black을 사용하였을 때 넓은 온도 범위에서 저장탄성률의 변화율이 적었다. 또한 EPDM 컴파운드의  $\tan \delta$ 는 acetylene black을 사용하였을 때 우수한 결과를 보였다.

**ABSTRACT** : This study measured the mechanical and damping properties of EPDM compounds including fillers. Semi-reinforcing furnace black (SRF), high abrasion furnace black (HAF) and acetylene black were used as fillers. Dicumyl peroxide (DCP) were used as curing agents. The measurements were conducted using a moving die rheometer (MDR), durometer, universal testing machine (UTM), compression set and dynamic mechanical analysis (DMA). The tensile strength and elongation at break increased with increasing SRF contents in EPDM compounds. However, they decreased with increasing the amount of acetylene black. In the inspecting temperature range, EPDM compound filled acetylene black had stable storage modulus. Furthermore, the  $\tan \delta$  of the EPDM compounds obtained was enhanced by compounding with acetylene black.

**Keywords** : EPDM, mechanical properties, damping properties, HAF, SRF, acetylene black

## I. 서 론

과학 기술이 발전함에 따라 환경문제에 대한 관심의 증가로 인하여 생활환경을 침해하는 진동의 감소에 대한 요구는 점점 증가하고 있다. 특히 자동차 엔진을 비롯한 산업 기계 전반에서 진동을 억제 또는 감소시키기 위한 방진기술은 정밀기기의 발달에 따라 요구조건이 강화되고 있다.<sup>1</sup>

고무재료는 초탄성(hyperelasticity), 진동 절연 특성으로 인하여 자동차, 철도, 우주 항공 분야 등에 널리 이용되어 왔다. 이러한 고무의 특성을 이용한 방진고무는 외부의 진동을 고무의 탄성으로 흡수할 수 있다는 장점이 있다. 운송수단용 엔진에 사용되는 방진고무의 경우 우수한 동특성 및 내구성 이외에도 높은 내열성이 요구된다. 최근 급속한 기술발전에 따른 자동차 엔진의 콤팩트화로 인하여 기존 엔진의 온도보다 더 높은 온도에서도 균일한 동특성이 요구된다. 따라서 기존의 자동차용 엔진의 방진고무를 콤팩트화된 엔진에 사용할 경우

\*Corresponding Author. E-mail: [khseo@knu.ac.kr](mailto:khseo@knu.ac.kr)

내열성이 부족하여 노화가 빠르게 진행된다.<sup>2</sup>

자동차의 내구성에 영향을 주는 인자는 여러 가지가 있지만 그 중에서도 재료적인 측면에서 살펴보면 고무가 가장 약하다. 고무는 타이어를 제외한 자동차 무게의 약 1%를 차지하지만 자동차의 수명을 결정하는 것은 고무의 수명에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 특히 고무의 경우는 초기 물성에 비해 사용 환경의 변화에 따라 고무 배합물의 노화가 일어나면서 물리적 성질이 급격히 떨어지는데 이는 결국 승차감의 불량으로 나타난다.<sup>3</sup>

방진 특성은 일반적인 고분자의 특성으로 설명될 수 있다. 고분자는 유리전이온도(glass transition temperature,  $T_g$ ) 이하의 저온 영역에서 저장 탄성률(storage modulus)이 크고 경도가 높으나 온도가 상승하여 전이영역에서는 저장 탄성률이 급격히 저하하여 경도가 낮아진다. 이때 온도가 높아짐에 따라 분자의 주쇄가 micro 브라운 운동을 시작하는 것이 원인이다. 분자의 micro 브라운 운동이 극히 활발하게 일어나는 온도에서 저장 탄성률이 가장 급격하게 저하하여 손실계수(loss factor,  $\tan \delta$ )는 최대치를 나타낸다. 이 영역에서 고분자 물질에 외력이 가해지면 분자사슬의 segment의 상태가 변화하고 외력이 제거되면 segment는 원 상태로 되돌아가려고 한다. 이때 분자간 또는 분자내에서 마찰이 일어나고 진동 에너지가 열 에너지로 변환되어 방진 특성을 나타내게 된다.<sup>2</sup>

방진고무의 요구 특성을 보완하기 위해 손실계수를 조절하여 방진 성능을 개선할 수 있다. 고무에 충전제를 배합하여 탄성률을 높이는 보강작용은 고무와 충전제의 계면에서 발생하는 hysteresis 손실로 인하여 높은 방진효과가 있으며 입자의 크기, 구조, 표면 활성 등이 영향을 미친다. 카본블랙의 첨가에 의한 손실계수의 변화는 고분자와 카본블랙 사이에 일어나는 내부 마찰 면적과 고분자 사이의 내부 마찰 기회의 변화로 인한 것이라고 생각된다. 고무재료의 방진 성능을 높이기 위해서는 많은 에너지 소비를 일으킬 수 있는 카본블랙을 다량 투입하거나 분산도를 높이는 것이 좋다.<sup>4,5</sup>

가황고무는 사용 도중 물리적 성질이 저하되어 틈, 갈라짐이 생기거나 연화되기 쉽다. 이러한 현상을 고무의 노화라고 한다. 고무는 공기 중의 수분, 산소, 오존, 열, 빛, 가스 등에 의하여 노화된다. 고무에 열을 장시간 가하면 인장강도 및 파단 연신율이 저하되고, 경화 또는 연화되며, 굴곡 저항이 저하되고, 영구 압축 줄임률이 증대되며, 표면에 점성 또는 균열이 발생하는 등 물성변화가 나타난다. 이러한 물성의 변화는 원료고무나 배합에 따라 달라진다.<sup>6</sup>

자동차에 사용되는 고무로는 천연고무(natural rubber, NR), 이소프렌고무(isoprene rubber, IR), 아크릴로니트릴부타디엔고무(acrylonitrile butadiene rubber, NBR), 스타이렌부타디엔고무(styrene butadiene rubber, SBR) 그리고 에틸렌프로필렌디엔고무(ethylene propylene diene rubber, EPDM) 등 여러 종류가 사용되고 있다.<sup>7</sup>

또한, 방진고무에 대한 연구는 천연가황고무, NR/SBR 블렌드, NR/SBR 블렌드 등 다양한 연구가 진행되었다.<sup>8-10</sup> 하지만 최근에 높아지는 요구 물성을 만족하기에는 한계가 있다. 이러한 단점을 개선하여 자동차의 NVH(noise, vibration, harshness) 특성을 향상시키는 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 EPDM 고무 배합물이 우수한 기계적 성질을 가지면서 넓은 온도 범위에서 방진특성을 향상시키는데 있다. 충전제인 SRF, HAF 그리고 acetylene black의 함량을 각각 다르게 사용하여 물리적 특성 및 내열 특성을 확인 후 방진 특성을 관찰하였다.

## II. 실험

### 1. 원료 및 배합

본 연구는 우수한 기계적 성질을 유지하면서 온도변화에 안정적인 방진고무를 제조하기 위하여 사용된 EPDM 및 각종 첨가제를 Table 1에 나타내었다.

EPDM은 diene monomer로 ethylidene norbornene(4.7 wt%)이 사용되었으며 ethylene과 propylene의 비율은 60.3대 39.7이고 Mooney 점도(ML1+4(125 °C))가 25인 것을 사용하였다. 충전제는 3가지 종류의 카본블랙을 사용하였다. Semi reinforcing furnace(SRF)는 입자크기가 70~90 nm이고 비표면적이 17~33 m<sup>2</sup>/g, high abrasion furnace(HAF)는 입자크기가 30~40 nm이고 비표면적이 70~90 m<sup>2</sup>/g이고 acetylene black은 입자크기가 15~16 nm이고 비표면적이 72~95 m<sup>2</sup>/g인 것을 사용하였다. 가교제는 dicumyl peroxide(DCP)를 사용하였다. 가교조제는 zinc oxide(ZnO)가 사용되었으며 산화방지제는 2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline(TMQ), 왁스는 스테아린산, 가소제는 naphthenic oil을 사용하여 배합 조성을 설정하였다. EPDM에 대한 충전제의 영향을 검토하기 위해서 Table 2와

Table 1. Materials used in this study

Description	Ingredients / Grade	Source
EPDM	Ethylene propylene diene rubber / KEP-2320	Kumho Polychem
SRF	Semi reinforcing furnace / N774	OCI
HAF	High Abrasion Furnace / N330	OCI
A/B	Acetylene black / Denka black	Denka
ZnO	Zinc oxide	Sambo
TMQ	2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline	R.T. Vanderbilt
St/A	Stearic acid	Natoleo
N-2 oil	Naphthenic oil	Michang
DCP	Dicumyl peroxide	NOF

**Table 2. Formulation of EPDM compounds for various carbon black**

	S30	S45	S60	H30	H45	H60	A30	A45	A60
EPDM	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SRF	30	45	60	-	-	-	-	-	-
HAF	-	-	-	30	45	60	-	-	-
A/B	-	-	-	-	-	-	30	45	60
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5
TMQ	2	2	2	2	2	2	2	2	2
St/A	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N-2	30	30	30	30	30	30	30	30	30
DCP	5	5	5	5	5	5	5	5	5

**Table 3. Mixing condition for EPDM compounds**

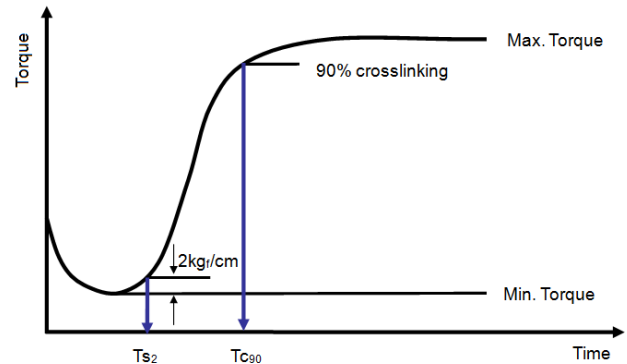
Mixing condition		Compounds	
Kneader	Step 1	Ingredient	Polymer
		Time(min)	1
	Step 2	Ingredient	Filler, Activator, Wax
		Time(min)	3
	Step 3	Ingredient	Softener
		Time(min)	3
Open mill	Step 4	Ingredient	Crosslinking agent
		Time(min)	7

같이 배합 조성을 설정하였다.

EPDM의 고무 배합물을 제작하기 위하여, 밀폐식 혼합기(kneader, KN3-30, Kansai Roll)를 사용하여 제조하였다. Table 3에 배합의 혼합 조건을 나타내었다. 밀폐식 혼합기의 경우, 고무 및 약품이 투입되는 각 단계별 시간을 다르게 조절하였으며 온도는 90 °C로 설정하였다. 1공정에서는 원료고무를 투입하고, 2, 3공정에 걸쳐 충전제 및 가공조제를 투입하였다. 가공제인 DCP는 녹는점이 39 °C로 밀폐식 혼합기에 투입하면 액상으로 변화하며, 밀폐식 혼합기에서 균일하게 혼합이 되지 않는 공정상의 문제점들이 있어, 8인치 open mill(two-roll mill, 봉신기계)을 통하여 투입하였다.

## 2. 가교고무 특성

가교고무의 특성 평가는 가공 중의 관리를 목적으로 하는 소재의 가공성을 시험하는 방법이다. 일반적으로 탄성체의 가교결합은 둘 또는 그 이상의 사슬이 서로 접합된 결합을 말하는데, 가교 결합된 중합체는 적어도 사슬 당 둘 이상의 가교 결합을 포함하며 다른 사슬과의 이차원 또는 삼차원적 망상구조를 형성하는 것으로 알려져 있다.<sup>11,12</sup> 이러한 최적 가교 시간

**Figure 1. Definition of Tc<sub>90</sub> and Ts<sub>2</sub> in rheocurve.**

은 가교고무의 가교 특성을 조사함으로써 알 수 있는데, 본 연구에서는 moving die rheometer(MDR, RLR-3, Toyoseiki)를 이용하여 175 °C에서 측정하였다.

Figure 1과 같이 MDR의 측정 시간이 경과함에 따라, 로터 축에 작용하는 토크를 기록한 rheocurve는 고무의 가교 시간을 결정하는 기초 결과로, 최저, 최대 토크(T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub>)를 바탕으로 최적 가교 시간(Tc<sub>90</sub>)을 설정한다. 가공율에 따른 최적 가교 시간은 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$(T_{\max} - T_{\min}) \times \text{Crosslinking rate}(\%) + T_{\min} = T_{c90}$$

최적 가교 시간은 가공율이 90% 되었을 때의 시간이다. 스크리치 시간(Ts<sub>2</sub>)은 최저 토크(T<sub>min</sub>)에서 토크가 2 kgf/cm가 상승 되었을 때의 시간으로 고무가 가교 반응이 일어나기 시작하는 시간이다.<sup>13</sup>

## 3. 고무시편 제조 및 가교고무의 물리적 특성

각각의 고무배합물은 일정온도로 유지되는 평판식 유압프레스(80 Ton, 평화ENG)를 이용하여 moving die rheometer로부터 구해진 최적가황시간에 따라 180 °C에서 압축성형 후 온도차가 ±1 °C이내인 geer oven (Toyoseiki)으로 150 °C에서 5시간 동안 후가교 시켰다.

가황고무의 경도는 스프링식 경도계(Shore A, CL-150, Asker)로 측정하였으며, 인장강도 및 파단 연신율은 KS M 6518의 시험편 규격에 준하여 아령형 3호의 인장시험편을 제작하여 인장시험기(STROGRAPH V10-C, Toyoseiki)를 사용하여 25 °C에서 500 mm/min의 속도로 측정하였다. 각각의 값들은 5개의 시험편을 이용하여 측정되었으며, 최대치와 최소치를 제외한 3개의 평균값을 표시하였다.

## 4. 고무 재료의 물성 연구

압축 영구 줄임률 시험편은 지름 28.7±0.05 mm와 두께

12.7±0.13 mm로 제조하였다. 제작된 시험편은 시험결과와 신뢰도를 위하여 3개씩 한 세트를 동일한 조건에서 시험하였다. 노화시험기는 geer oven을 사용하였다. 100 °C에서 22시간 경과 된 후 시험편을 오븐에서 꺼내어 압축장치로부터 분리 한 후 상온에서 30분간 방치 후 측정하였다. 시험의 초기 두께와 노화시킨 후의 두께를 이용하여 다음의 식과 같이 영구 압축 줄음률을 계산하였다.

$$\text{Compression set}(\%) = ((t_0 - t_1) / (t_0 - t_2)) \times 100$$

여기에서  $t_0$ 는 시험편의 원두께(mm)이고  $t_1$ 은 시험 후의 두께(mm), 그리고  $t_2$ 는 spacer의 두께이다.

### 5. 열노화

공기 열노화를 위하여 geer oven을 사용하였다. Geer oven내 회전판에 시험편을 걸고 회전시키면서 가열공기와 접촉시켰다. 130 °C에서 240시간까지 열 노화 시켰다. 주어진 시간이 경과 된 후 시험편에 대하여 경도, 인장강도 및 파단 연신율의 변화를 측정하였다.

### 6. 동적 점탄성 분석

EPDM 배합물이 가지는 동적 점탄성 특성을 관찰하기 위해 Perkin-Elmer사의 dynamic mechanical analyzer(DMA, N535)를 이용하였고, 승온속도 2 °C/min로 -20 °C에서 100 °C범위까지의 범위에서 실험을 진행하였다. 주파수는 10 Hertz로 실험을 진행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 가교고무 특성

충전제의 종류 및 함량을 달리한 EPDM 배합물에 대하여 rheometer를 통한 가교 특성을 측정하였다. Table 4와 같이 충전제의 함량이 증가함에 따라 스코치 시간이 짧아짐을 알 수 있다. 이것은 충전제가 고무의 가교반응에 영향을 주기 때문이다.<sup>14</sup> Rheometer를 이용하여 얻어진  $T_{c90}$ 을 바탕으로 재료별 가교시간을 설정하였다.

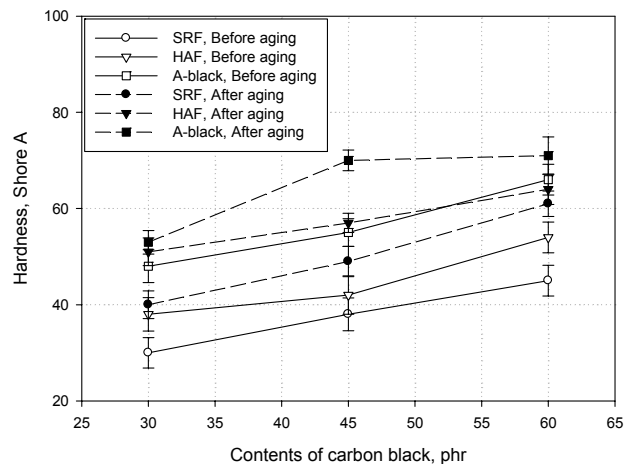
**Table 4. Cure properties of EPDM compounds of various carbon black by rheometer at 175 °C**

	S30	S45	S60	H30	H45	H60	A30	A45	A60
$T_{S2}$	3'00"	2'52"	2'32"	2'57"	2'43"	2'38"	2'57"	2'46"	2'37"
$T_{C90}$	6'17"	6'08"	6'00"	6'13"	6'02"	5'48"	6'14"	6'10"	6'01"

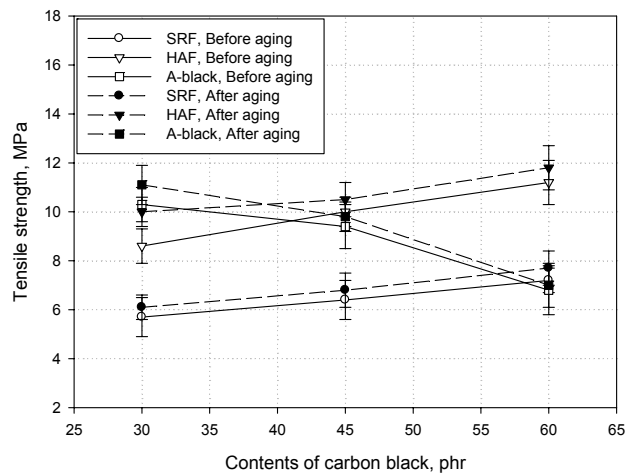
## 2. 물리적 특성 및 노화 특성

EPDM 배합물의 물리적 특성 및 노화 특성 거동을 관찰하였다. Figure 2~4에는 카본블랙의 함량에 따른 경도, 인장강도 및 파단 연신율 나타내었다. SRF, HAF 및 acetylene black을 각각 사용하였을 경우, SRF의 함량이 증가함에 따라 경도, 인장강도 및 파단 연신율이 증가한 반면 acetylene black의 함량이 증가함에 따라 경도는 증가하였지만 인장강도와 파단 연신율은 급격히 감소하였다.

고무 속에 충전된 카본블랙의 분산 상태는 aggregate 상태로 존재하는 것으로 알려져 있다. 이는 agglomerate 상태의 카본블랙이 배합중에 깨져 분산되는데 카본블랙의 agglomeration 차이에 의해 agglomerate가 되면 물성이 하락한다. Acetylene black은 너무 많은 함량이 첨가되어서 agglomerate가 되었을



**Figure 2.** Hardness of the EPDM compounds for various carbon black, before and after aging(aged 240 hours at 130 °C).



**Figure 3.** Tensile strength of the EPDM compounds for various carbon black, before and after aging(aged 240 hours at 130 °C).

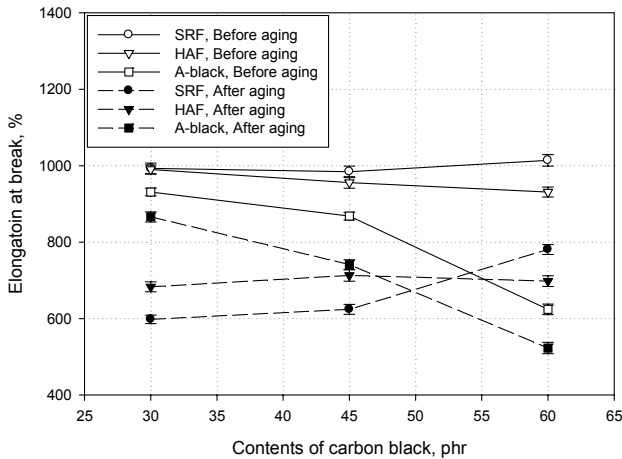


Figure 4. Elongation at break of the EPDM compounds for various carbon black, before and after aging(aged 240hours at 130°C).

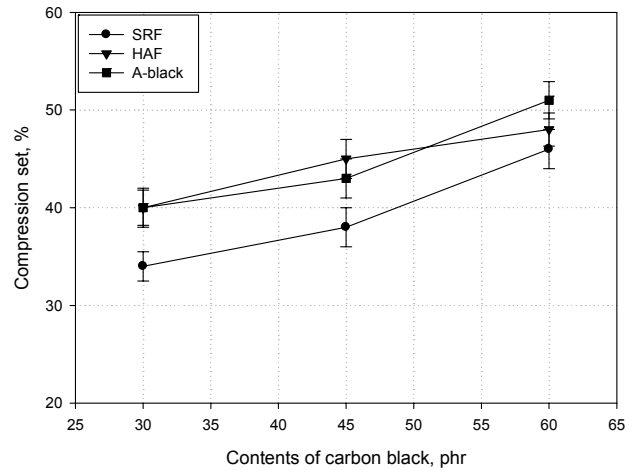


Figure 5. Compression set of the EPDM compounds for various carbon black aged 22hours at 100°C.

것으로 생각된다. 또한 입자크기가 작고 표면적이 큰 acetylene black을 사용하였을 경우에는 적은 양으로도 인장강도가 우수함을 보여주었다. 이것은 입자경이 작고 입자의 표면적이 넓은 카본블랙이 고무와의 접촉 면적이 크기 때문에 30 phr를 사용하여도 보강효과가 우수한 것으로 판단 된다.<sup>15,16</sup> Acetylene black을 충전제로 사용한 배합물에서는 충전제의 양이 많아짐에 따라 파단 연신율이 감소하였다. 이는 카본블랙의 입자경과 표면적의 차이에 따른 보강효과 차이로 보인다. 충전제의 입자표면적이 넓을수록 보강성은 증가하지만 파단 연신율은 충전제의 파괴분율에 따라서 감소한다.<sup>17</sup>

노화 시험 후의 경도, 인장강도는 증가하였고 파단 연신율은 감소하였다. 각각 배합물의 충전제 종류 및 함량에 관계없이 전체적으로 증가 혹은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이것은 충전제의 영향보다는 원료고무 및 가교제의 영향으로 판단된다.

### 3. 영구 압축 줄임률

압축 평가 지그를 이용하여 25% 압축한 시험편을 100 °C에서 22시간 방치 후 영구 압축 줄임률을 측정하였으며, 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. SRF를 충전제로 사용한 EPDM 배합물이 acetylene black을 사용한 재료들보다 영구 압축 줄임률이 우수하게 나타났다. 이것은 카본블랙의 입자경이 작아짐에 따라 표면적이 늘어나고 그에 따라서 카본블랙이 높은 보강성을 보이기 때문이라고 생각된다. 영구 압축 줄임률이 우수한 재료는 고무의 탄성이 우수하여, 외부에서의 응력이 제거되었을 때 복원하는 특성이 뛰어나다. 또한 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 영구 압축 줄임률이 감소하게 되는데, 이는 충전제의 함량이 늘어나면서 카본블랙의 분산이 어려워지기 때문에 상대적으로 탄성이 떨어진다고 생각된다. 따라서 충전제를

소량 사용한 배합의 영구 압축 줄임률이 우수한 것으로 판단 된다.

### 4. 동적 점탄성 분석

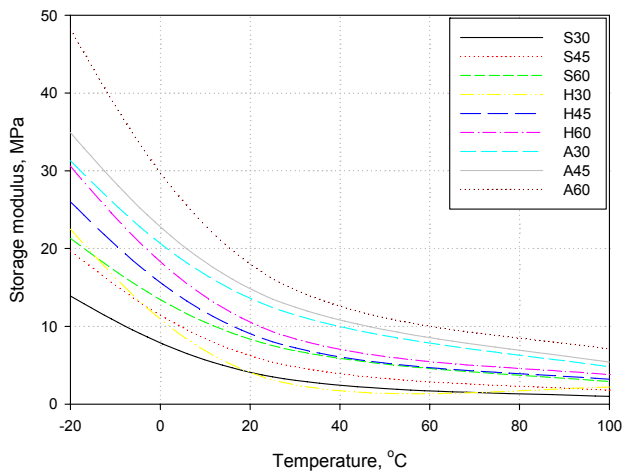
DMA를 이용하여 방진고무의 동적 점탄성의 변화를 살펴 보고 방진 특성을 분석 할 수 있다. 동적 점탄성은 재료에 주기적인 힘을 가할 때 나타나는 기계적 성질 중의 하나이다. 저장 탄성률은 재료의 stiffness를 나타내며 하중이 가해지는 곳에 사용될 때 중요한 기준이 된다. 손실계수는 재료의 변형 시 열로서 방출되는 에너지의 양, 재료의 방진 능력 또는 내부마찰과 관계가 있다.<sup>2</sup> 자동차용 방진고무는 tan δ 값이 0.15 이상일 때 방진성능이 우수하다고 본다.<sup>1</sup>

보강성 충전제의 특징은 충전제의 표면적과 강성에 따라 구분된다. 일반적으로 입자의 표면적이 넓으면 넓을 수록 인장강도, 인열저항, 마모저항, 피로저항이 증가하지만 hysteresis 손실이 증대되고 혼련중의 온도상승과 동적인 조건하에서 사용되는 제품의 온도상승이 증대된다.

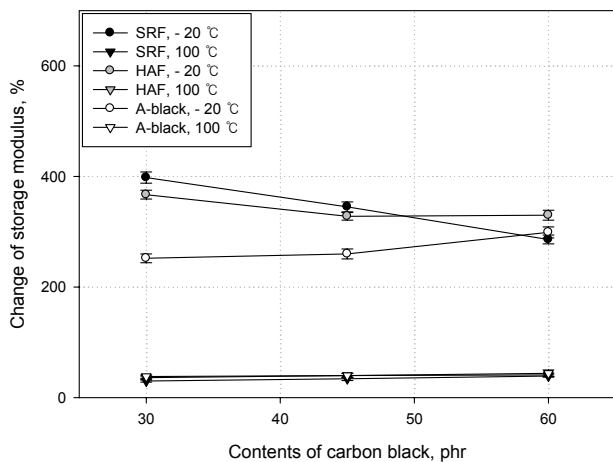
Figure 6-8에 EPDM 배합물의 저장탄성률, 저장탄성률의 변화율 그리고 손실계수를 나타내었다. 저장탄성률의 변화율은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$G'(-20^{\circ}\text{C or } 100^{\circ}\text{C}) / G'(25^{\circ}\text{C}) \times 100 = \text{Change of storage modulus}$$

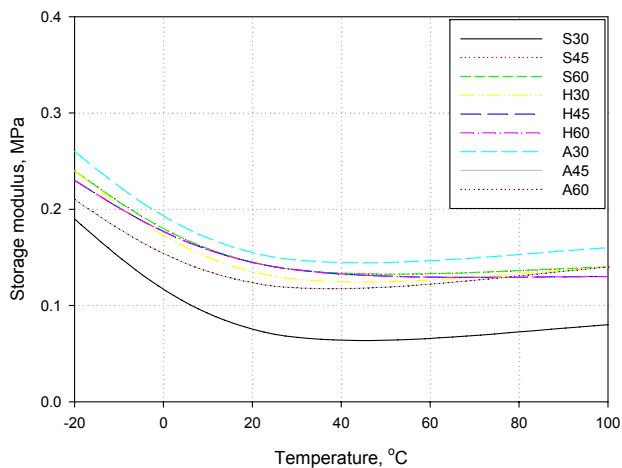
여기서 G'은 저장탄성률이다. 고무 배합물의 저장 탄성률을 비교해볼 때 acetylene black의 저장 탄성률이 가장 크고 HAF, SRF로 갈수록 낮아졌다. 이와 같은 결과로부터 입자가 작은 카본블랙이 입자가 큰 카본블랙보다 저장 탄성률이 높게 나타난 현상은 충전제와 고무분자에서 생성되는 bound rubber 양에 따른다고 생각되며 bound rubber의 생성량이 많은 충전제



**Figure 6.** Storage modulus of the EPDM compounds for various carbon black at 10 Hz.



**Figure 7.** Change of storage modulus of the EPDM compounds for various carbon black.



**Figure 8.**  $\tan \delta$  of the EPDM compounds for various carbon black at 10 Hz.

는 저장 탄성률이 높은 결과를 보인다.<sup>18</sup>

저장 탄성률의 변화율은 충전제의 함량이 증가하면서 감소하지만 HAF와 acetylene black에서는 증가하였다. 충전제가 과량 첨가됨에 따라 저온 영역에서의 저장 탄성률이 급격히 증가하였기 때문이다. 고온영역에서는 큰 차이가 관찰되지 않았는데 이는 온도가 상승하면서 고무의 저장탄성률이 급속히 줄어 들었기 때문이라고 생각된다. HAF와 acetylene black을 최대로 사용할 수 있는 한계치는 각각 45 phr, 30 phr로 생각된다. 이는 카본블랙의 분산이 어려워서 과량의 카본블랙을 첨가하면 보강제로서의 역할을 하지 못하게 되기 때문이다. 특히 acetylene black을 30 phr 사용하였을 때 우수한 방진특성을 보여주었는데 이는 acetylene black이 첨가됨에 따라 고무 속에서 aggregate 상태로 존재하면서 bound rubber의 생성량을 증가시켜서 온도에 따른 저장 탄성률의 변화율이 감소하고, 우수한 방진특성을 나타내었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 EPDM에 충전제의 종류와 함량을 달리하여 고무 배합물을 제조하였다. 충전제로 SRF, HAF 및 acetylene black을 사용하여 이들의 기계적 특성 및 노화 특성을 살펴보고 이에 따른 방진 특성에 미치는 영향에 대해 확인하였다. 고무는 충전제의 함유로 인해 우수한 보강성을 나타내지만 너무 많은 양을 사용하게 되면 agglomerate가 되므로 적정량을 사용하여야 한다. 입자경이 작고 표면적이 넓은 acetylene black을 30 phr 사용하였을 때 양호한 인장강도와 파단 연신율을 보여주었다. 열노화 후 모든 시편에서 경도와 인장강도는 증가하고 파단 연신율은 감소하였다. 이는 고무 배합물 내 미가교 반응이 된 작용기가 열 노화 중 반응을 하여 가교가 일어났다고 생각된다. 충전제에 의한 큰 영향은 보이지 않았다. 충전제를 첨가할수록 저장탄성률은 증가하였고 변화율은 적었다. 충전제로 acetylene black를 사용한 고무 배합물의 방진 특성이 가장 우수하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 현대자동차의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

#### 참고 문헌

1. Ministry of commerce, Industry and energy agency for technology and standards, "Vibration isolator for automobile engine" (2007).
2. R. K. Matthan, "Rubber engineering", p. 103, McGraw-Hill, New York (1998).
3. J. W. Bae, "Technology trends in automotive rubber", *Rubber Technology*, **11**, 2 (2010).

4. J. S. Youn, "Rubber anti-vibration, vibration and cushioning properties", *Elastomers and Composites*, **31**, 4 (1996).
5. D. H. Kang and S. M. Kim, "Preparation and properties of polyorganosiloxane modified maleated EPDM/EPDM rubber vibration isolator", *Applied Chemistry for Engineering*, **21**, 5 (2010).
6. N. C. Baek, D. G. Lee, S. G. Juong, D. S. Heo, and J. C. Choi, "Rubber materials and processing technology", p. 33, The Rubber Society of Korea (1983).
7. H. H. Hassan, E. M. Abdel, and M. Amin, "Thermal effects of heat-resistant rubber blends. I. Joule heating effects in carbon black-loaded natural rubber/SBR blends", *J. of Applied Polymer Science*, **39**, 9 (1990).
8. T. Sajjayanukul, P. Saeoui, and C. Sirisinha1, "Experimental analysis of viscoelastic properties in carbon black-filled natural rubber compounds", *J. of Applied Polymer Science*, **97**, 6 (2005).
9. Q. Liu, H. Zhang, and X. Yan, "Preparation of high-performance damping materials based on carboxylated nitrile rubber: effects of organic fillers", *Iranian Polymer Journal*, **18**, 5 (2009).
10. D. H. Yin, Y. Zhang, Z. L. Peng, and Y. X. Zhang, "Effect of fillers and additives on the properties of SBR vulcanizates", *J. of Applied Polymer Science*, **88**, 3 (2003).
11. S. D. Seul and J. M. Lim, "Emulsion polymerization of vinyl acetate-butyl acrylate copolymer", *Polymer(Korea)*, **28**, 2 (2004).
12. H. H. Choi, C. S. Lee, and G. T. Choi, "Effect of magnesium oxide on physical and chemical properties of EKM elastomer", *Elastomer*, **38**, 1 (2003).
13. D. G. Kang, "Gasket Rubber Formulation and Characteristics for Lithium ion battery and Fuel Cell stack" (2010).
14. W. S. Ahn and S. H. Lee, "A study on vulcanization reaction of modified rubber blends using dynamic differential scanning calorimetry", *Elastomer*, **38**, 4 (2003).
15. A. K. Bhowmick, M. M. Hall, and H. A. Benarey, "Rubber Products Manufacturing Technology", p. 251, Marcel Dekker Inc., New York (1994).
16. K. H. Seo and D. G. Kang, "The effect of fillers on rubber characteristics for gasket to lithium ion battery", *Polymer (Korea)*, **34**, 5 (2010).
17. F. W. Barlow, "Rubber Compounding", p. 216, Marcel Dekker, Inc., New York (1993).
18. B. T. Poh and E. K. Tan, "Mooney scorch time and cure index of epoxidized natural rubber in presence of sodium carbonate", *J. of Applied Polymer Science*, **82**, 6 (2001).