

## 군용 전투차량 궤도 pads용 천연고무 배합물의 내크랙성 향상을 위한 연구

신 정 은 · 김 유 석 · 배 종 우 · 김 원 호†

부산대학교 화학공학과

(1998년 10월 16일 접수)

### Crack Resistance Properties of Natural Rubber Compounds for Tank Track Pads

Jung Eun Shin, Yu Seuk Kim, Jong Woo Bae and Wonho Kim†

Dept. of Chemical Engineering, Pusan National Univ. Kum-Jung-Ku, Pusan 609-735, Korea

(Received October 16, 1998)

**요약 :** 본 연구에서는 군용 전투차량 궤도 패드용으로 사용되는 고무 배합물의 내크랙성 향상을 위해 기계적 물성이 우수한 천연고무를 이용하여 크랙 개시 저항성 즉, 인열 에너지와 크랙성장 저항성인 크랙 성장 속도를 평가하였다. 내크랙성에 영향을 주는 인자는 여러 가지가 있으나, 본 실험에서는 주로 충전제인 카본블랙과 가교 시스템을 평가하였다. 본 연구결과 촉진제의 함량이 황의 함량과 동일할 때 내크랙성이 가장 우수하였다. 또한 카본블랙은 보강성이 우수한 hard black의 일종인 ISAF (N220)가 강도 및 가공성에서 가장 우수한 것으로 평가되었으며 적정 함량은 50phr이었다.

**ABSTRACT :** In this study, the tearing energy and the rate of crack propagation of natural rubber (NR) compounds were evaluated to improve the crack resistance of tank-track pads. Although the factors affecting the crack resistance properties of NR compounds are various in this experiment, the effects of filler(carbon black) and the crosslinking system were evaluated. When the amount of accelerator is equal to that of sulfur(eg. efficient vulcanization), the compound shows the most excellent in the aged mechanical properties and the crack resistance properties. The ISAF carbon black(CB) having a good reinforcing characteristics was better than any other CB grades in physical properties and processability. The optimum content was 50phr.

*Keywords :* tank-track pad, crack, tearing energy, natural rubber, accelerator/sulfur ratio.

†대표저자(e-mail : whkim@hyowon.pusan.ac.kr)

### I. 서 론

전투차량의 무한궤도(track shoe)는 차량의 기동 성능에 중요한 영향을 미치는 주요 부분의 하나이다. 이것은 금속재료의 궤도 몸체(track body)와 이를 감싸고 있는 궤도 고무 그리고 개개의 궤도를 연결해주는 선단 연결기 및 중앙가이드로 구성되어 있다. 무한 궤도의 3가지 구성 요소의 하나인 궤도 고무가 지면과 접촉하는 부위에 사용되고 있는 이유는 도로의 손상을 최소화 할 수 있고, 진동 방지와 소음 저감은 물론 여러 지형 조건에서 금속재료보다 차량의 견인력을 높일 수 있기 때문이다. 그러나 궤도의 수명과 연관시켜 보면 금속재료보다 고무재료가 취약하기 때문에 인적, 경제적 손실 요인을 내포하고 있는 실정이기도 하다. 그래서 궤도의 내구 수명을 최대한 개선시킬 필요성이 존재한다. 더욱이 자갈길과 야지 등 험로가 많은 우리나라 지형에서 탱크 궤도의 수명 향상을 위해서는 궤도 고무 패드(Ground pad : Fig. 1<sup>1</sup>참조)의 내구성 향상이 절실하다.

1970년대에는 Edward W. Bergstrom<sup>2</sup> 등에 의해 SBR 고무를 사용한 패드의 내구성 향상 실험이 실시되어 용액 중합에 의해 제조된 SBR 고무가 내크랙성 및 내마모성이 우수하다는 결론을 얻었다. 1980년대에 들어서면서 새로운 고무의 필요성이 대두되어

Hydrogenated NBR(HNBR)과 기존의 Styrene-Butadiene rubber(SBR)와의 비교 연구<sup>3</sup>가 수행되었다. 또한 1990년대에 이르러서는 기존의 고무인 SBR의 가황 방법의 변화를 도모하여 내크랙성 및 내마모성 향상을 위한 연구<sup>4</sup>도 수행되고 있다.

궤도 고무의 내구수명이 떨어지는 현상은 마모, cutting과 chipping, blow out 등 세 가지로 나타난다.<sup>1</sup> 마모와 blow out의 경우는 포장도로에서, cutting과 chipping의 경우는 자갈길과 야지에서 운행되는 차량에서 주로 발견되고 있다.<sup>5</sup> 이러한 내구수명 저하의 원인에 대한 견해는 여러 가지가 있다. Road wheel이 궤도 위를 통과할 때, 고무에 주기적인 부하가 걸려 반복 변형에 의한 발열, 즉 히스테리시스에 기인한다고 보는 견해가 있다. 또한 cutting은 험한 길을 운행하는 경우에 기인되는 재료의 인열 저항과 관련되어 있는 것으로 추정되고, chipping의 경우는 외부적인 cuts가 성장하여 일어나거나, 3차원적인 응력 혹은 과도한 발열로 내부적인 특성저하가 일어나는데 기인한다고 보는 견해가 있다. 궤도 수명 저하의 여러 가지 원인 중 현재 국내에서 사용중인 궤도의 내구수명이 저하되는 것은 cutting과 chipping 현상에 의한 것으로 보는 것이 타당하리라 생각된다. 마모 혹은 오존이나 산소의 공격에 의해 크랙(crack)이 형성되면, cutting과 chipping에 의해 크랙이 성장하게 된다.

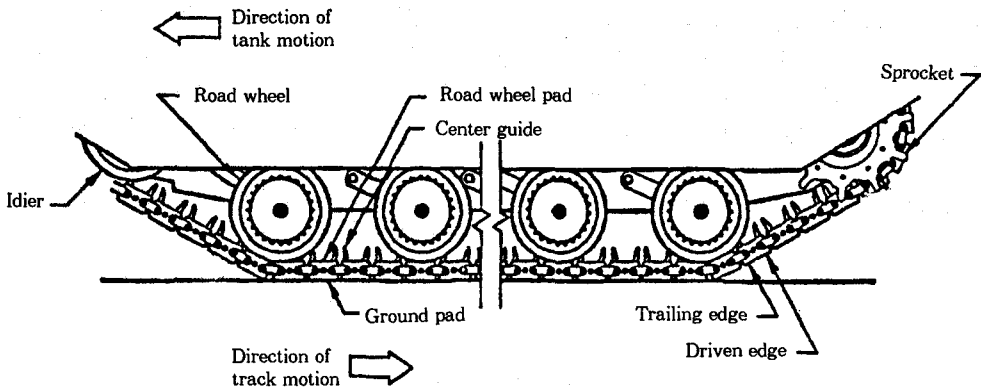


Fig. 1. Schematic diagram of track of M-1 tank.<sup>1</sup>

1. 크랙 개시 기구

1.1 에너지 평형의 관점(Energy Balance Approach)

크랙성장으로 인한 변형에너지 감소가 크랙 형성시 소요되는 에너지보다 클 경우 파괴가 일어난다.<sup>6</sup>

$$\sigma_{br} \geq \left( \frac{2E^*G_c}{\pi a} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$\sigma_{br}$ 은 파괴응력,  $E^*$ 은 평면 변형율 조건(plane strain condition)에서의 영(Young)율,  $G_c$ 는 임계 변형에너지 완화율(Critical strain energy release rate)이고  $a$ 는 크랙의 크기를 나타낸다.  $G_c$ 값이 큰 재료일수록 주어진 크랙에 대한 파괴 강도가 높기 때문에 크랙 성장에 대한 저항력, 즉 강인성(toughness)이 크다.

1.2 응력집중의 관점(Stress Intensity Approach)

크랙의 존재로 크랙 주위에 일어나는 응력집중의 정도가 어느 임계값 이상에 도달하면 파괴가 일어난다.<sup>6</sup>

$$\sigma_{br} = \frac{K_c}{(\pi a)^{1/2}} \quad (2)$$

이때,  $K_c$ 는 응력집중인자(Stress intensity factor)이다.

위의 (1)과 (2)식에 의해서 임계 변형에너지 완화율( $G_c$ )과 응력집중인자( $K_c$ )와의 관계식은 아래와 같다.

$$G_c = \frac{K_c^2}{E^*} \quad (3)$$

2. 크랙 성장의 경향성

고무재료에서 크랙 개시는 고무의 종류에 관계없이 유사하지만, 크랙 성장은 고무의 종류에 따라 다르다. 고무의 변형에너지 완화율( $G$ )이 클수록 크랙 성장에 대한 저항이 증가한다.<sup>7</sup>

$$G = -2 \left( \frac{dW}{dA} \right)$$

여기서  $W$ 는 저장된 탄성에너지(elastically stored strain energy)이고  $A$ 는 크랙의 파단 면적이다.

일반적인 점탄성 탄성체의 크랙 성장속도는  $G$ 값에 의존한다.  $G$ 값의 물리적 의미는 크랙이 발달함에 따라 변형에너지가 파괴에너지로 전환되는 속도이다. 대부분의 고무 재료의 경우, 에너지 감쇄 능력, 즉 전단 손실 탄성율(shear loss modulus :  $G''$ )에 비례한다. 천연고무와 같은 변형에 의해 결정화가 일어나는 고무의 경우는 크랙 팁(tip)에서 고무가 신장될 경우에는 변형 유도에 의한 결정화가 일어나고, 압축될 경우에는 결정의 용융이 일어나므로, 결과적으로 크랙 성장을 저해한다. 20~40%의 카본블랙으로 고무를 보강할 경우, 인열강도를 10배정도 증가시킬 수 있고 또한 크랙의 진행 경로를 불규칙하게 만듦으로써, 크랙 성장속도를 떨어뜨릴 수 있다는 사실은 잘 알려져 있다.<sup>7</sup>

본 실험에서는 크랙개시 및 성장에 영향을 주는 배합물의 영향, 즉 카본블랙, 가교제 및 촉진제 등의 효과를 평가하고자 한다.

II. 실험

1. 재 료

기계적 물성이 우수하다고 알려져 있는 천연고무(NR) 중에서 PRI(Plasticity Retention Index) 값이 낮아 보관의 어려움은 있으나,<sup>8</sup> 신장율이 우수한 SMR 20을 주원료로 사용하였다. 또한 충전제로서는 보강성이 크고 내마모성이 뛰어난 furnace black의 세 가지 종류, N110(SAF), N220(ISAF), N330(HAF)을 사용하였다. 본 실험에서 사용된 카본블랙의 ASTM 규격은 Table 1과 같다.

가교제로는 황을 사용하였고, 가황촉진제로 Santocure(CBS, Monsanto Co., U.S.A)를 사용하였다. 산

Table 1. ASTM Specification of Carbon Black

ASTM	Type	Weight loss by heating (%)	Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	Vulcanization	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	300% Modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		minimum		145°C, min	minimum	minimum	maximum
N110	SAF	3.0	125~155	30	-30	-25	+11
N220	ISAF	2.5	110~140	30	-35	-19	+16
N330	HAF	2.5	70~90	30	-39	-9	+26

화방지제로는 아민(amine)계로 Kumanox 13(6PPD, Kumho-Monsant Co., Korea)을 사용하였다.

## 2. 실험방법

카본블랙의 분산성을 높이기 위해 10 inch two-roll machine에서 15분(80°C)간 천연고무와 충전제인 카본블랙을 투입하여 예비 혼련을 실시하여 마스터배치를 제조하였다. 카본블랙 이외에 산화아연(ZnO), 스테아린산(Stearic acid), 산화방지제, 황 그리고 촉진제 등의 첨가제를 마스터배치와 함께 test roll에서 10분간(60°C) 최종 혼합공정을 거치면서 혼합의 효율을 극대화하였다. 제조된 배합물을 hot press(160°C)에서 curometer(Zwick, Model; TORSIONAL THRUST VULCAMETER)에 의해 측정된 적절한 가황시간 동안 가압하여 가황물을 제조하였다. 제조된 가황물의 기계적 물성을 평가하기 위하여 ASTM D412에 따라 아령형(dumbell) 시편을 제조하여 UTM(Universal Testing Machine, Instron 4301, U.S.A)을 이용하여 인장강도(Tensile strength)를 측정하였다. 인열 저항(Tear resistance)은 ASTM D624의 die C에 의해 절단된 시편을 UTM을 이용하여 측정하였다. 인열 저항  $T_s = \frac{F}{d}$ 이며 이때, F는 측정된 힘이고 d는 시편의 두께이다. 이러한 인열 저항은 모서리(edge)에서 형성된 크랙에 대한 저항성으로 볼 수 있다. 가황물의 노화에 대한 저항성을 시험하기 위해 ASTM D573에 따라 100°C에서 48시간 동안 노화시킨 후 ASTM D412와 D624에 따라 인장강도 및 인열저항을 측정

하였다. 또한 크랙 개시에 대한 저항성을 시험하기 위하여 trouser tear test를 실시하여 인열 에너지(Tearing Energy;  $G_T$ )를 계산하였다.<sup>9</sup> 이것은 인열 저항과는 달리 시편 중앙에서의 크랙에 대한 저항성이라고 볼 수 있고 팽윤(swelling)되지 않은 시편에서 모서리(edge) 크랙 저항성의 약 두 배가 되는 것으로 알려져 있다.

$$G_T = 2F/t \quad (4)$$

여기서 t는 시편의 두께이다. 또한 크랙성장에 대한 저항성을 시험하기 위해 ASTM D430의 방법 B에 따라 Demattia flexing machine을 이용하여 싸이클 수에 따른 크랙의 성장 길이를 측정하였다. 가로 25mm, 세로 150mm, 두께  $6 \pm 0.01$ mm의 시편의 중앙에 notch를 주어 시험을 실시하였다(Fig. 2의 (d) 참조). 또한, 다른 방법의 크랙 성장 저항성 평가는 pure shear 시험으로 길이 150mm, 폭 25mm, 두께 1mm의 시편의 중앙에 길이 방향으로 70mm정도의 예비 절단을 한 시편을 사용하였다. 제작된 시편을 Fig. 2(e)와 같이 피로시험기(Instron사, Model: 8516, U.S.A)에 고정시킨 후, 50kN의 힘으로 클램핑한 후 100% strain 및 0.8Hz의 진동수로 가혹한 시험을 실시하여 반복 횟수에 따른 크랙의 성장속도를 측정하였다. 위의 다섯 가지 시험편의 형태는 Fig. 2에 상세히 나타내었다.

본 실험에서 조절하여 평가하고자 하는 배합물의 조성비를 Table 2에 나타내었다.

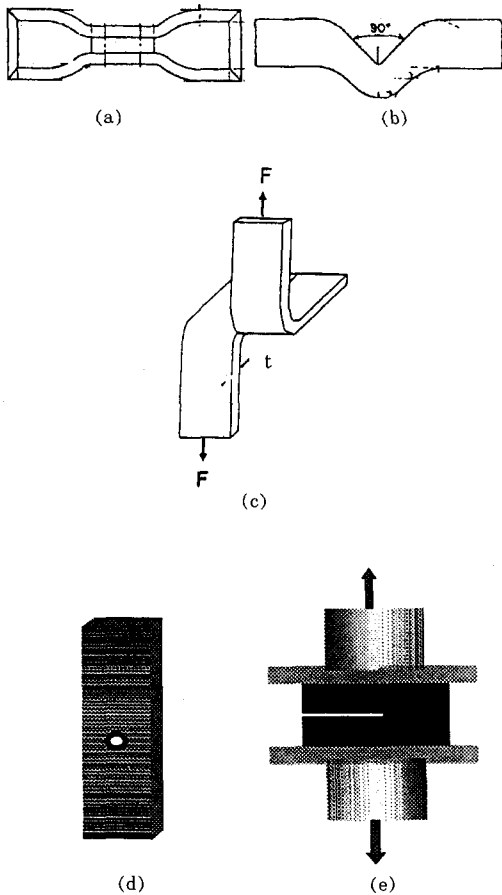


Fig. 2. The shapes of test specimens; (a) Dumbbell specimen (b) Tear resistance test specimen (c) Trouser tear test specimen (d) Demattia flexing test specimen (e) Pure shear test specimen.

Table 2. Formulation

	Amount(phr)
Natural rubber(SMR20)	100
Carbon black(SAF, ISAF, HAF)	20~70
ZnO	5.0
Stearic acid	2.0
Antioxidant(Kumanox13)	2.0
Sulfur	1.4~2.6
Accelerator(CBS)/sulfur ratio	0.5, 1.0, 2.0

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 카본블랙의 종류 및 최적 함량 결정

천연고무 100phr에 대해서 산화아연(ZnO) 5phr, 스테아린산(Stearic acid) 2phr, 가교제인 황의 함량은 2phr 그리고 촉진제의 함량은 황의 약 1/4정도로 기본 배합표를 정한 후 카본블랙의 영향을 평가하였다.

입자 크기가 다른 세 가지 종류(SAF, ISAF, HAF)의 카본블랙을 각각 20~70phr까지 증량시킨 후, 160°C에서 curometer를 이용하여 측정된 적정 가황 시간(10분 30초)을 적용하여 시편을 제작하였다.

카본블랙의 함량에 따른 시편의 인장강도를 측정된 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 카본블랙의 양이 증가함에 따라 인장강도가 증가함을 알 수 있었다. ISAF와 HAF의 경우는 카본블랙의 증가에 따른 인장강도 증가가 비슷한 경향을 나타내지만, 가장 입자 크기가 작은 SAF의 경우 카본블랙의 양이 작을 때에는 ISAF와 HAF보다 그 강도가 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 SAF의 입자가 매우 작아 적절한 분산을 얻지 못하였기 때문인 것으로 판단된다. 카본블랙으로 ISAF를 사용한 경우가 가장 우수한 인장강도를 나타내었다.

카본블랙의 종류 및 함량에 따른 시편의 인열저항을

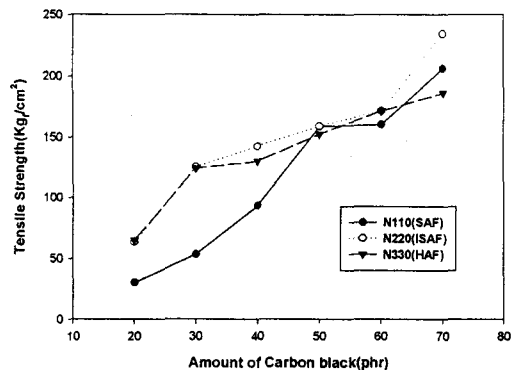


Fig. 3. Tensile strength as a function of carbon black amount.

측정한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 인열에 대한 저항성은 SAF가 다소 우수하게 나타났다. 이는 카본블랙의 입자의 크기가 가장 작기 때문인 것으로 판단된다. ISAF의 경우도 SAF와 비슷한 수준을 보였으며, 카본블랙의 양이 40~60phr 일 때 인열에 대한 저항성이 가장 큰 것으로 평가되었다. 입자크기가 가장 큰 HAF의 경우, 고무와 충전제 사이의 경로가 비교적 단순하기 때문에 인열에 의한 크랙 성장 경로를 불규칙하게 만들기 어렵다. 즉, 크랙의 성장속도가 빨라져 인열저항성이 떨어지는 것으로 판단된다.

Fig. 5에서 카본블랙의 종류 및 함량에 따른 시편의

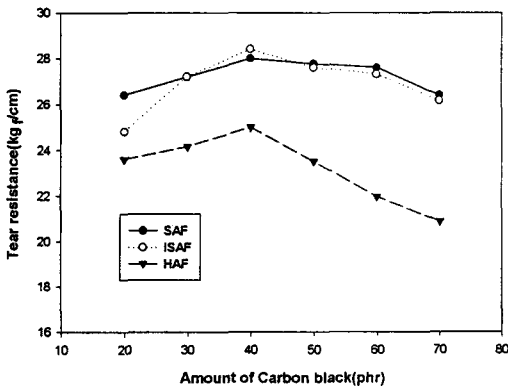


Fig. 4. Tear resistance as a function of carbon black amount.

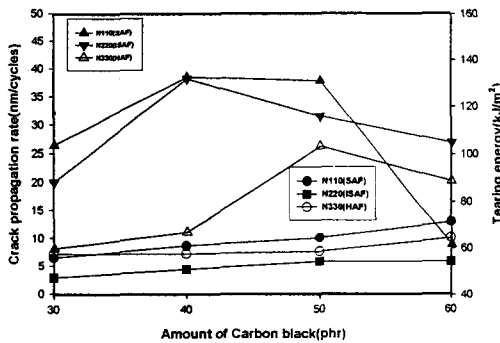


Fig. 5. Crack propagation rate and tearing energy as a function of carbon black amount; ●, ■, ○ for crack propagation rate, and △, ▼, ▲ for tearing energy.

크랙 개시 저항성과 크랙 성장 저항성을 비교하였다.

크랙 성장에 대한 저항성의 경우 카본블랙의 함량이 증가할수록 크랙의 성장속도가 빨라져 저항성이 떨어짐을 알 수 있다. 또한 ISAF의 경우가 크랙 성장에 대한 저항성이 가장 높은 것을 알 수 있다. 크랙 개시에 대한 저항성, 즉 인열에너지 값은 카본블랙의 종류에 따라 다소 차이를 나타내었다. 입자의 크기가 상대적으로 작은 SAF와 ISAF의 경우는 40phr에서 최고 값을 나타내었고, HAF의 경우는 50phr에서 가장 큰 인열에너지를 가졌다. 또한 ISAF의 경우는 카본블랙의 함량이 50~60phr일 경우 상대적으로 높은 인열에너지를 가졌다. 이상의 실험 결과로 ISAF 카본블랙 함량 40~60phr로 제조된 시편의 내크랙성이 우수하리라 판단된다.

## 2. 황의 최적함량 결정

카본블랙의 함량을 60phr로 고정하고 황의 함량을 1.4~2.6phr까지 증량시키면서 시편의 인장강도, 인열저항, 크랙 성장속도 및 인열 에너지를 측정하였다. 황의 함량에 따른 가황 조건도 160 °C의 curing meter에서 측정된 각 배합에 맞는 적정 가황 시간을 적용하여 시편을 제조하였다.

황의 함량에 따른 시편의 인장강도와 인열저항성을 Fig. 6과 7에 나타내었다.

Fig. 6과 7에서 알 수 있듯이, 인장강도와 인열저

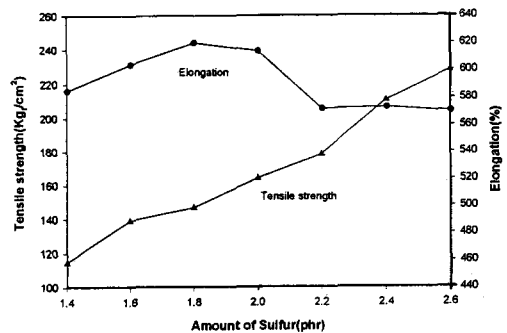


Fig. 6. Tensile strength and elongation at break as a function of sulfur amount.

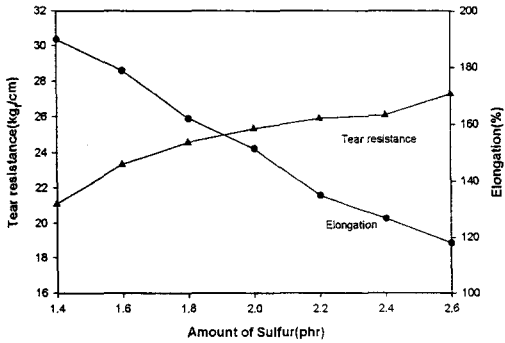


Fig. 7. Tear resistance and elongation at break as a function of sulfur amount.

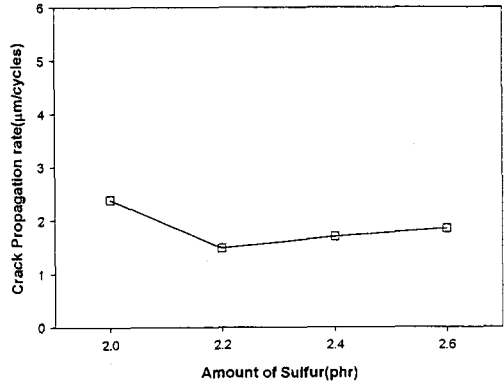


Fig. 9. Crack propagation rate as a function of sulfur amount in pure shear test.

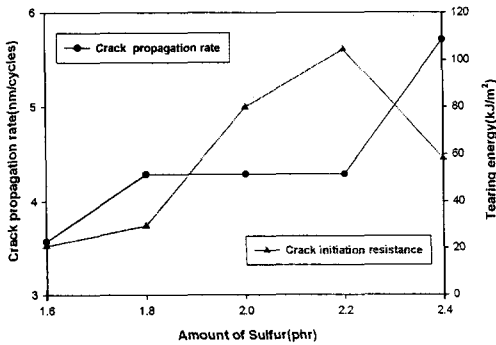


Fig. 8. Crack propagation rate and tearing energy as a function of sulfur amount in Demattia flexing test.

Table 3. Hardness as a Function of Sulfur Amount

Amount of sulfur (phr)	Hardness (Shore A)
1.4	55
1.6	62
1.8	64
2.0	65
2.2	68
2.4	69
2.6	74

항성 모두 황의 함량이 증가할수록 상당히 증대됨을 알 수 있다. 파괴시 신장율은 가교밀도 증가, 즉 황의 함량이 증가하여 2.0phr까지는 상승하였으나 2.2phr 이상이 되면 다시 감소함을 알 수 있었다.

황의 함량에 따라 Demattia flexing test과 pure shear test를 실시하여 시편의 크랙 성장속도를 측정 한 결과를 Fig. 8과 9에 나타내었다.

Fig. 8과 9에서 알 수 있듯이 황의 함량에 대한 크랙의 성장속도는 증가하였다. Table 3에 나타난 바와 같이 황의 함량이 증가함에 따라 경도 또한 증가하였다.

Demattia flexing machine을 이용한 크랙의 성장성 평가에서는 황의 함량이 2.6phr 이상일 경우 크랙

의 성장속도가 급격히 증가함을 보였다. 그러나 pure shear test 결과는 다른 경향을 나타내었는데 황의 함량이 2.6phr일 때까지 크랙의 성장속도는 그다지 차이를 보이지 않았다. 이것은 Demattia flexing machine을 이용한 시험에서는 시편의 표면 경도가 70이상으로 높아질 경우 표면의 딱딱함으로 인해 시편이 굴곡될 때 크랙 성장이 급격히 일어나므로 고무 배합물 자체의 크랙 성장 저항성을 판단할 수 없었다. 이러한 이유로 Demattia flexing machine을 이용한 평가보다는 pure shear test를 이용하는 것이 적절하리라 여겨진다. 크랙 개시에 대한 저항성은 황의 함량이 2.2phr에서 최대 값을 나타내었다. 이상의 실험 결과, 황의 최적 함량은 2.2phr로 선정하였다.

### 3. 촉진제/황의 비율에 따른 물성평가

2절에서 결정된 황의 함량 2.2phr에 대해서 촉진제/

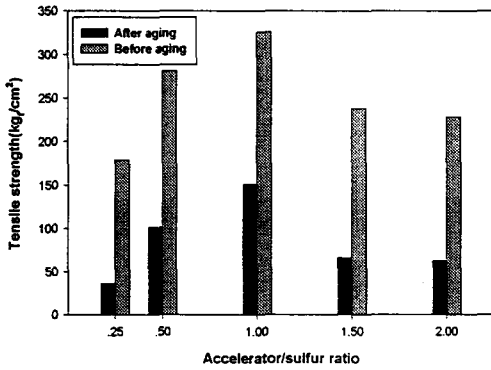


Fig. 10. Tensile strength before and after aging as a function of accelerator/sulfur ratio.

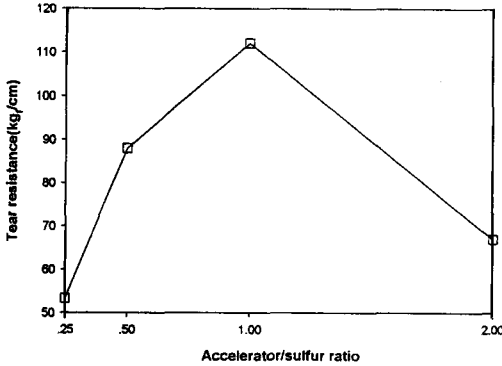


Fig. 11. Tear resistance as a function of accelerator/sulfur ratio.

황의 비율을 0.5~2.0까지 변화시켜가며 인장강도, 인열저항성 및 노화 후 물성, 크랙 성장속도 및 인열 에너지를 측정한 결과를 Fig. 10~13에 나타내었다.

Fig. 10과 11의 기계적 물성평가 결과를 분석해 보면, 인장강도와 인열저항성은 촉진제/황의 비율이 1.0일 때 최대 값을 나타내었다. 그 비율이 1.0을 넘어설 경우, 물성 저하가 상당히 일어남을 알 수 있었다. 또한 노화 후의 인장강도도 촉진제/황의 비율이 1.0일 경우가 가장 뛰어남을 알 수 있었다.

Fig.12에 나타낸 바와 같이, 크랙 개시에 대한 저항성은 촉진제/황의 비율이 0.5~1.0일 때 가장 뛰어나고, 크랙 성장에 대한 저항성은 촉진제/황의 비율이 1.0이하일 때에는 큰 차이가 없으나, 그 이상일 경우

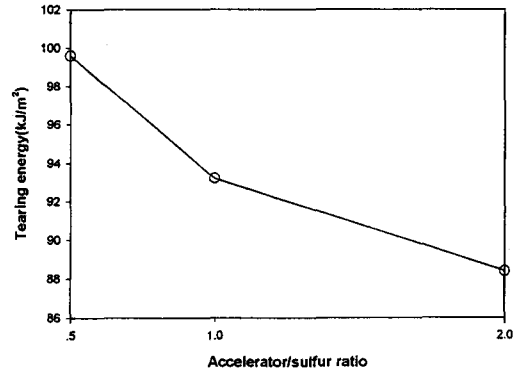
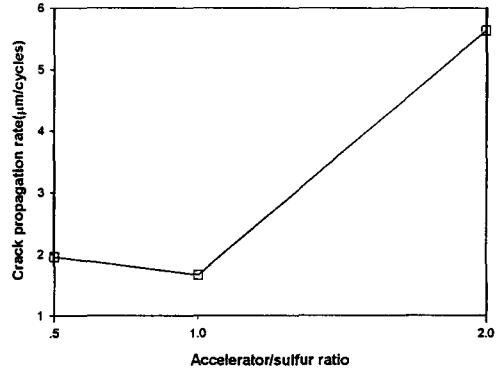


Fig. 12. Crack propagation rate and tearing energy as a function of accelerator/sulfur ratio.

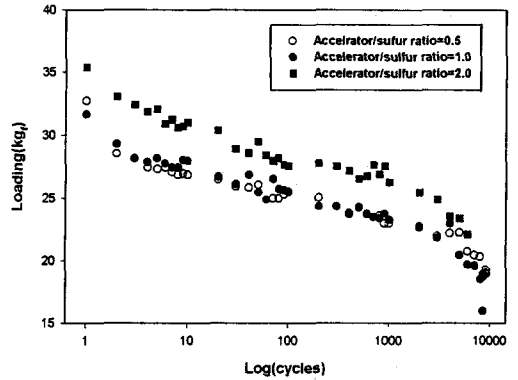


Fig. 13. Change of loads during the process of crack growth experiment.

는 크랙의 성장속도가 급격히 증가됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 13에서 사이클이 증가함에 따라 변화하는 load를 비교해 볼 때, 촉진제/황의 비율이 2.0일 때 가장 높게 나타났다. 위의 결과로 황/촉진제의 비율이



가교구조에 미치는 영향이 상당히 큼을 알 수 있었다.

고무를 황으로 가교시켰을 때의 가교구조<sup>10</sup>에서 monosulfide 결합 비율이 높을수록 강도가 크다고 볼 수 있다.<sup>8,11</sup> 촉진제의 양이 증가할수록 황에 대한 경쟁 반응이 줄어들므로 monosulfide crosslinks가 많이 형성되어진다. 그러므로 촉진제/황의 비율이 높을수록 강도가 증가하는 것이다. 그러나 주 사슬을 이루는 고무의 hydrocarbon을 가황시키기에 적절한 정도가 있기 때문에 그 비율이 1.0이상일 경우는 오히려 강도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 이렇게 촉진제/황의 비율이 1.0이 될 때 강도 증가가 상당히 있는 것으로 보아 카본블랙 양을 줄이고도 그와 같은 강도를 가질 수 있을 것으로 판단되어 카본블랙을 40phr과 50phr로 감량시키고 촉진제/황의 비율을 달리하여 인열저항성, 노화 후 인장강도를 평가해 보았다.

Fig. 14의 인장강도 시험 결과를 평가해 볼 때, 촉진제/황의 비율이 1.0이고 카본블랙의 양이 50phr인 시편은 카본블랙이 60phr이고 촉진제/황의 비율이 0.5인 시편과 유사한 강도를 가지는 것으로 판단된다. 그러므로 카본블랙의 양을 50phr로 줄이면 chipping에 의한 크랙 성장을 저하시킬 수 있으면서(Fig. 5 참조) 촉진제/황의 비율을 1.0으로 하여 카본블랙 60phr의 시편에 상응하는 강도를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

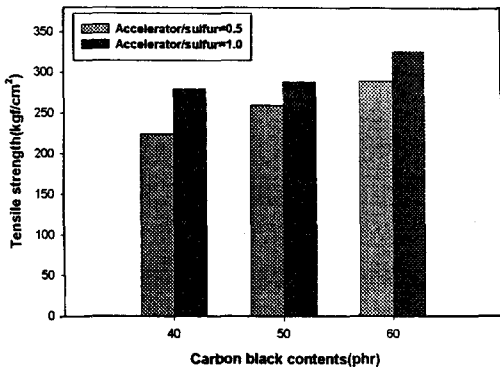
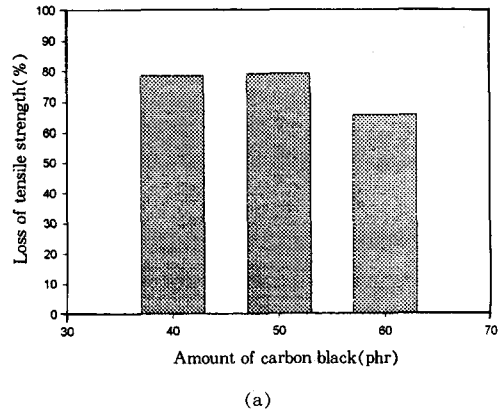


Fig. 14. Comparison of tensile strength by changing accelerator/sulfur ratio : 0.5 vs. 1.0.

Aging effect of accelerator/sulfur ratio=0.5



Aging effect of accelerator/sulfur ratio=1.0

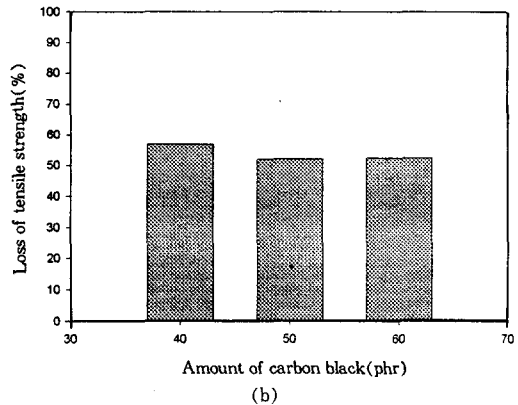


Fig. 15. Loss of tensile strength before and after aging by changing accelerator/sulfur ratio : 0.5(a) vs. 1.0(b).

Fig. 15에 나타낸 바와 같이, 노화 후 강도 손실 정도는 촉진제/황의 비율이 1.0일 경우가 0.5일 경우보다 낮은 것으로 평가된다. 카본블랙의 함량을 40phr로 줄일 경우, 그 강도가 촉진제/황의 비율을 1.0으로 하여도 다소 떨어짐을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

고하중 내크랙성 고무 컴파운드의 개발을 위해 천연고무로 실험하였다. 고하중을 견딜 수 있는 강도를 가

지기 위해 보강제인 카본블랙의 종류는 ISAF가 우수하였으며, 카본블랙의 양이 증가할수록 강도는 증가하였으나 크랙 성장을 촉진하였다. 황의 함량 2.2phr에서 크랙 개시에 대한 저항성이 가장 우수하였다. 내크랙성을 향상시키기 위해 카본블랙의 양을 50phr로 줄여도 촉진제/황의 비율을 1.0으로 할 경우, 카본블랙을 60phr 투입한 경우와 유사한 정도의 강도를 가지면서 내크랙성을 가지는 컴파운드를 개발할 수 있었다.

촉진제/황의 비율이 1.0이고 카본블랙의 함량이 50~60phr일 때 인장강도는 250kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 가지고 인열저항성은 110kgf/cm 이상을 나타내었다. 카본블랙의 함량이 60phr일 때 촉진제/황의 비율이 0.5이면, 파단시 신장율은 500% 이상이 되는 것으로 확인되었다. 노화 후 물성은 촉진제/황의 비율이 1.0이 될 때 가장 우수하였다. 크랙저항성 평가는 경도가 70 이상일 경우 pure shear test가 적합함을 알 수 있었다.

카본블랙의 함량이 50phr이고 황의 함량이 2.2phr 그리고 촉진제/황의 비율이 1.0인 천연고무 컴파운드가 전차 캐드 패드 고무로 아주 우수한 물성을 나타낼 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. C. G. Pergantis, et al., "Field observations on rubber tank tracks", *Rubber World*, 185 (1989).
2. U. S. Army Technical Report, No. AD 921087, "Material development for improved rubber track pads." (1974).
3. J. C. Vicic, et al., "Dynamic mechanical analysis of standard and improved tank track pad elastomers", presented at the 133rd meeting of the Rubber Division, American Chemical Society, Dallas, Texas, April 19~22 (1988).
4. Byron J. Lambert, et al., "EB manufacturing of tank track pads", presented at a meeting of the Rubber Division, American Chemical Society, Pittsburgh, Pennsylvania, October 11~14 (1994).
5. TARADOM Technical Report No. 12699; "Field Evaluation of Tank-Pad Failures" (1983).
6. 김성철, "고분자공학", 회중당 (1994).
7. J. R. Beatty, et al., "Science and Technology of Rubber", ed. by Frederick R. Eirch, Ch. 10, Academic Press, New York, 1978.
8. Ahmad Farouk b Hj. S. M. Ishak, "Natural Rubber Science and Technology", ed. by A. D. Roberts, Oxford, New York, 1988.
9. A. N. Gent and S. M. Lai, *J. Polym. Sci. ; Part B; Polym. Phys.*, 32, 543 (1994).
10. 신봉섭, *Journal of the Korea Institute of Rubber Industry*, 23, 230 (1988).
11. 김상구, *Journal of the Korea Institute of Rubber Industry*, 23, 299 (1988).