



# V-rib 벨트용 EPDM과 CR의 고온 내구성과 기계적 물성에 미치는 충전제의 영향

황 병 국·홍 기 현\*·박 해 윤·전 일 련\*\*·서 관 호†

경북대학교 고분자공학과,

\*김천대학 안경광학과, \*\*경일대학교 소방방재학부

(2009년 7월 16일 접수, 2009년 8월 11일 수정, 2009년 8월 27일 채택)

## Thermal and Mechanical Properties of EPDM and CR Compounds with Various Fillers and Its Contents for V-rib Belt

Byung Kook Hwang, Ki Heon Hong\*, Hae Youn Park,

Il Ryeon Jeon\*\*, and Kwan Ho Seo†

Department of Polymer Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, KOREA

\*Department of Ophthalmic Optics, Gimcheon College, Gyeongbuk Gimcheon 740-704, KOREA

\*\*School of Fire & Disaster Prevention, Kyungil University, Gyeongbuk Gyeonsan 712-701, KOREA

(Received July 16, 2009, Revised August 11, 2009, Accepted August 27, 2009)

**요약** : 본 연구는 자동차 엔진의 구동을 각종 부대 장치로 전달하는데 사용되는 V-rib 벨트 재료의 내열성 및 내마모성을 향상시키기 위한 연구이다. 이를 위하여 고무 매트릭스는 EPDM과 CR, 그리고 충전제로 ZnO, 면 및 아라미드 섬유의 함량을 달리한 시편과 v-벨트를 만들어 내열성과 내마모성 그리고 기계적 성질을 조사하였다. CR 배합계에서 ZnO의 함량이 증가함에 따라 내마모성이 증가하였다. 또한 면섬유의 함량이 증가함에 따라 벨트상태에서 견딜 수 있는 구동시간은 증가하지만 내마모성은 감소하는 결과를 보였다. EPDM 배합계에서 면섬유의 충전한계는 30 phr 정도였다. 또한 아라미드와 면섬유를 혼합 사용한 결과 구동시간과 내마모성을 동시에 증가시킬 수 있었으며, 그 단섬유의 최적 조성은 아라미드섬유/면섬유 비율이 1/5인 것으로 조사되었다. 동일한 면섬유 함량에서 EPDM 배합계가 CR 배합계보다 우수한 물성을 보였다.

**ABSTRACT** : The effects of reinforcing materials on durability and mechanical properties of V-rib belt were investigated. Cotton fiber and ZnO were used as a filler for CR, and cotton and aramid fiber were used for EPDM rubber compounds. These materials were prepared as a specimen and V-rib belt for heat resistant and mechanical test. High contents of ZnO give improved wear resistance, and higher contents of cotton fiber showed higher durability in high rotation speed but lower wear resistance for CR rubber compounds. Using the aramid and cotton fiber together in EPDM rubber compounds, thermal and wear resistance were improved simultaneously. The material containing EPDM matrix showed better durability and wear resistance than those of containing CR matrix comparing in the same cotton fiber contents.

**Keywords** : V-rib belt, EPDM rubber, chlorinated rubber(CR), zinc oxide(ZnO), cotton fiber

### I. 서 론

벨트를 동력 전달 형태로 분류하면 크게 마찰 전동과 맞물림 전동 두 가지로 나누고, 현재 자동차에 사용되는 V-ribbed 벨트는 마찰전동식이고 Timing 벨트는 맞물림 전동식이다.

자동차의 엔진의 부대장치인 power steering pump, air conditioner, alternator, water pump 등을 구동하는 V-ribbed 벨트는 1970년대 후반 승용차용으로 처음 사용되었다. 일반 V 벨트보다 V-ribbed 벨트의 장점은 승용자동차의 부대장치 구동에

아주 적합하다는 것이다.

승용자동차의 엔진은 고속(6000~7000 rpm) 구동이 가능하여야 하고 직경이 작은 풀리(pulley)의 사용이 요구된다. 가벼운 무게의 얇은 V-ribbed profile은 벨트의 원심력을 줄일 수 있어 일반 V 벨트와 비교하여 고속 구동을 가능하게 한다. 작고 얇은 rib은 또한 굴곡장력을 낮게 하여 현재의 고출력 교류발전기에서 요구되는 예와 같이 직경이 작은 pulley사용을 가능하게 한다. 현재 개발 되는 대부분의 자동차의 부대장치 구동에는 V-ribbed 벨트가 적용되고 있다.

자동차의 수명 및 보증기간 연장, 연비향상을 위한 엔진의 경량화 및 소형화에 의한 제품의 크기 축소 및 분위기온도

† 대표저자 E-mail: khseo@knu.ac.kr

상승, 출력향상에 의한 부하증가 등으로 인하여 자동차용 벨트는 내열성 및 내구성 등의 신뢰성 향상이 요구되고 있다.<sup>1</sup>

V-ribbed 벨트는 overcord(상포 또는 배면고무), cord(심선), undercord(Rib고무)로 구성된다. 이 중 undercord는 폴리와의 직접 마찰에 의한 발열 및 마모 때문에 높은 신뢰성이 요구되는 구성품이다.

이러한 요구에 부응하기 위하여 요구 특성이 우수한 재료에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있다. Ethylene propylene diene terpolymer(EPDM) 고무는 내오존성, 내후성, 내열성 및 내약품성 등으로 여러 고무 제품의 유망한 소재로서 그 사용 가능성에 대해서 많은 시도가 이루어지고 있으며, 더욱이 natural rubber(NR), styrene butadiene rubber(SBR) 등에 대한 대체 합성 고무로 각광을 받고 있다.<sup>2</sup>

Chlorinated rubber(CR)는 천연고무나 다른 범용합성고무에 비해 내후성, 내열성, 내오존성, 난연성, 내유 및 내약품성이 뛰어난데 최대의 특징은 앞에서 말한 각종 노화 특성에 더하여 물리적 특성도 포함한 넓은 범위에서 밸런스가 상당히 좋은 고무라는 점으로 이러한 특성이 복합적으로 요구되는 고무 제품에 결함이 없게 하는 재료로 많이 사용되고 있다.<sup>3,4</sup> 사용할 수 있는 범위는 저온 영역으로만 한정된다.<sup>5</sup>

CR 이외의 고무가 사용되고 있는 예로서는, NR 혹은 NR과 SBR, butadiene rubber(BR)가 혼합된 고무가 있다. 이것은 CR를 사용해서 만든 벨트의 내한성 한계, -30 ~ -35 °C보다 더욱 낮은 분위기 온도 아래에서도 사용되는 벨트로서 이용되고, -40 ~ -50 °C에서도 사용할 수 있다. 그러나, NR 또는 NR/SBR/BR가 혼합된 고무에서는, 내열성이 CR에 비해서 뒤지기 때문에 사용할 수 있는 범위는 저온 영역으로만 한정된다.<sup>6-8</sup>

고무매트릭스에 각종 면 단섬유(cotton short fiber)를 혼입함으로써 강도, 인성, 내마모성 등이 증가한다는 연구 발표 이후,<sup>9</sup> 단섬유의 종류, 형상 비, 섬유의 배향도, 섬유-고무 간 결합정도 등에 관한 연구가 활발하게 이루어져 왔다.<sup>10-16</sup> 최근에는 아라미드(aramid) 섬유의 우수한 강도, 내열성, 내약품성 등으로 인하여 각종 재료의 배합제로 연구되고 있다.<sup>16,17</sup>

본 연구는 자동차용 V-rib 벨트에 사용되는 우수한 재료를 개발하기 위하여 내열 굴곡성 및 내마모성에 영향을 주는 충전제의 효과를 조사하고, 현재 사용되는 CR계보다 우수한 재료의 formulation을 개발하고자 한다. 이를 위하여 undercord에 사용되는 EPDM과 CR에 충전제로 카본블랙과 함께 면 및 아라미드 단섬유를 사용하여 그 경도, 인장강도, 연신율, 고온 내구성과 내마모성을 측정하였다.

## II. 실험

### 1. 시약 및 재료

#### 1.1 CR 배합계

CR은 Showa Denko사의 GW, 가교제는 US Zinc사의 AZO 66T(Zinc oxide)와 Akrochem사의 Elastomag170(Magnesium oxide)를 사용하였다. 카본블랙은 동양제철화학의 N550을 사용하였으며, 윤활제는 평화유지의 스테아린산과 Rhein Chemie사의 AC-617A(low molecular weight polyethylene)를 사용하였다. 가소제는 Sunoil사의 Sundex 790(Aromatic process oil), 산화방지제는 Crompton사의 Octamine(Octylated diphenylamine)과 R.T.Vanderbilt사의 Agerite DPPD(Diphenyl-p-phenylene-diamine)를 사용하였다.

#### 1.2 EPDM 배합계

EPDM은 DSM사의 Keltan740, 산화방지제는 R.T.Vanderbilt사의 Agerite Resin D(1,2-dihydro-2,2,4 trimethylquinoline, TMQ), 윤활제는 송원산업의 Zinc Stearate를 사용하였다. 황성화제는 Sartomer사의 SR-708(zinc dimethacrylate, ZDMA), 가황지연제는 Sartomer사의 SR-719(2,6 di-tertiary-butyl- N,N-dimethylamino-p-cresol)를 사용하였다. 카본블랙은 동양제철화학의 N330을, 가소제는 Sun Oil사의 Sunpar2280 (paraffinic process oil)를 사용하였고 가교에 사용되는 과산화물은 Hercules사의 Vulcup 40KE [2,2-bis(tert-butylperoxy diisopropyl) benzene] 을 사용하였다. 충전제로 사용된 면섬유는 MP&A Fibers사의 Cotton flock을 사용하였고, 아라미드 섬유는 Teijin사의 Technora 1 mm를 사용하였다.

## 2. Undercord 고무의 배합 및 혼련

### 2.1 CR 배합계

CR 100 phr에 대해 N550 40, 산화방지제인 Octamine과 DPPD를 각각 3, 1 phr, 파라핀 오일 1 phr을 넣고, 가공조제인 스테아린산과 폴리에틸렌을 각각 1, 4 phr 첨가하였다. 가교제인 MgO를 4 part로 고정시키고 공가교제인 ZnO와 면 단섬유는 Table 1에 나타낸 것과 같이 조성을 달리하여 배합하였다.

혼련 조건은 5단계로 구성하였고 1단계에서는 단섬유와 카본블랙을 제외한 전부를 투입하여 25 rpm으로 120초 혼련 하

**Table 1. Formulation of Chloroprene Undercord with ZnO and Cotton Short Fiber Contents**

Ingredients	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
Cotton short fiber (phr)	0	0	0	0	10	20	30
ZnO (phr)	6	8	10	12	10	10	10

**Table 2. Formulation of EPDM Undercord with Cotton Short Fiber Contents**

Ingredients	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11
Aramid short fiber (phr)	0	0	0	0	0	2	4	6	4	7	10
Cotton short fiber (phr)	0	10	20	30	40	30	30	30	20	20	20

였다. 2단계에서는 단섬유를 투입하고 22 rpm으로 120초, 3단계에서는 carbon black을 투입하여 20 rpm으로 120초, 4단계에서는 칭소를 15초간 행하였고 5단계에서는 110 °C에서 배출하였다. 배출된 배합고무는 상온의 roll mill에서 2분간 혼련 하였다.

**2.2 EPDM 배합계**

EPDM 100 phr에 대해 TMQ 1, ZDMA 14.7, N330 40, Sunpar2280 8, Vulcup 40KE 5 phr을 각각 넣고 아라미드 및 면섬유를 Table 2에 나타낸 바와 같은 조성으로 배합하였다.

혼련조건은 5단계로 구성하였고 rotor 속도는 18 rpm으로 고정하였다. 1단계에서는 EPDM, 카본블랙, TMQ, Sunpar을 투입하여 90초, 2단계에서는 ZDMA를 투입하여 90초, 3단계에서는 단섬유를 투입하여 120초, 4단계에서는 칭소를 15초간 행한 후 5단계에서 60초 혼련 후 배출하였다. 배출된 배합고무는 상온까지 냉각하고 다시 배합고무와 가교제를 Mixer에 투입하여 15 rpm으로 혼련 후 110 °C에서 배출하였다.

V-belt Undercord 배합의 혼련은 Mitsubishi Heavy Ind.사에서 제작된 140 liter Intermix와 (주)봉신에서 제작된 24 inch roll mill을 사용하였다.

**3. 물성 측정**

**3.1 시편 제조**

혼련된 배합 고무는 가황 공정을 거쳐 시편편을 제작하고 한국공업규격(KS M 6518)에 준하여 물성을 측정하였다.<sup>18</sup>

물성시험을 위한 시편은 다음과 같이 시편상태와 벨트상태로 제조하였다. 시편제조는 혼련된 배합 재료를 먼저 시편프레스로 150 mm × 200 mm × 2 mm 크기의 시트상 시편편을 제작한 후, 가황공정을 거쳐 dumbbell cutter로 규격에 맞게 절단하여 각 시험에 사용하였다. 가황은 CR 배합계의 경우는 170 °C × 15분, EPDM 배합계는 170 °C × 20분으로 하였다. 벨트제조는 혼련된 배합재료를 카렌다링 공정을 거쳐 같은 두께의 sheet로 만든 후, 일정간격으로 잘라 90° 돌려 이어 붙이기를 하여 undercord를 만들었다. 그 다음 원통형의 mandrel에 RFL 처리된 섬유와 접착고무를 각각 1층 도포한 후, RFL 처리된 PET cord를 mandrel에 고르게 감고 그 위에 undercord를 적층하였다. 적층된 mandrel을 수증기 가황기에서 가황하였

다. 가황된 sleeve를 mandrel에서 탈거하여 절단 및 연마하여 벨트를 제조하였다.

**3.2 인장시험**

인장시험은<sup>19</sup> SHIMADZU(일본)사의 Autograph AG-1형 만능 인장시험기를 이용하여 파단점에서의 응력 및 신장률을 측정하였다. 경도시험은 스프링식 경도계를 사용하여 ASTM D 2240의 방법으로 측정하였다.<sup>20</sup> 시험편의 노화시험은 Toyoseki(일본)사의 45SB 노화시험기를 사용하여 120 °C × 70 시간 노화시켰다.<sup>21</sup>

**3.3 마모시험**

마모시험은 독일공업규격 DIN53516에 따라 시험편 지름 16 mm, 두께 6 mm, 돌출량 2 mm, 그리고 10 N의 하중에서 연마 물을 회전시켜 40 m 주행 후, 질량 손실을 측정하였다.<sup>22</sup> 마모량은 아래의 계산식을 활용하였다.

$$A = (\Delta m \times S_0) / (e \times S)$$

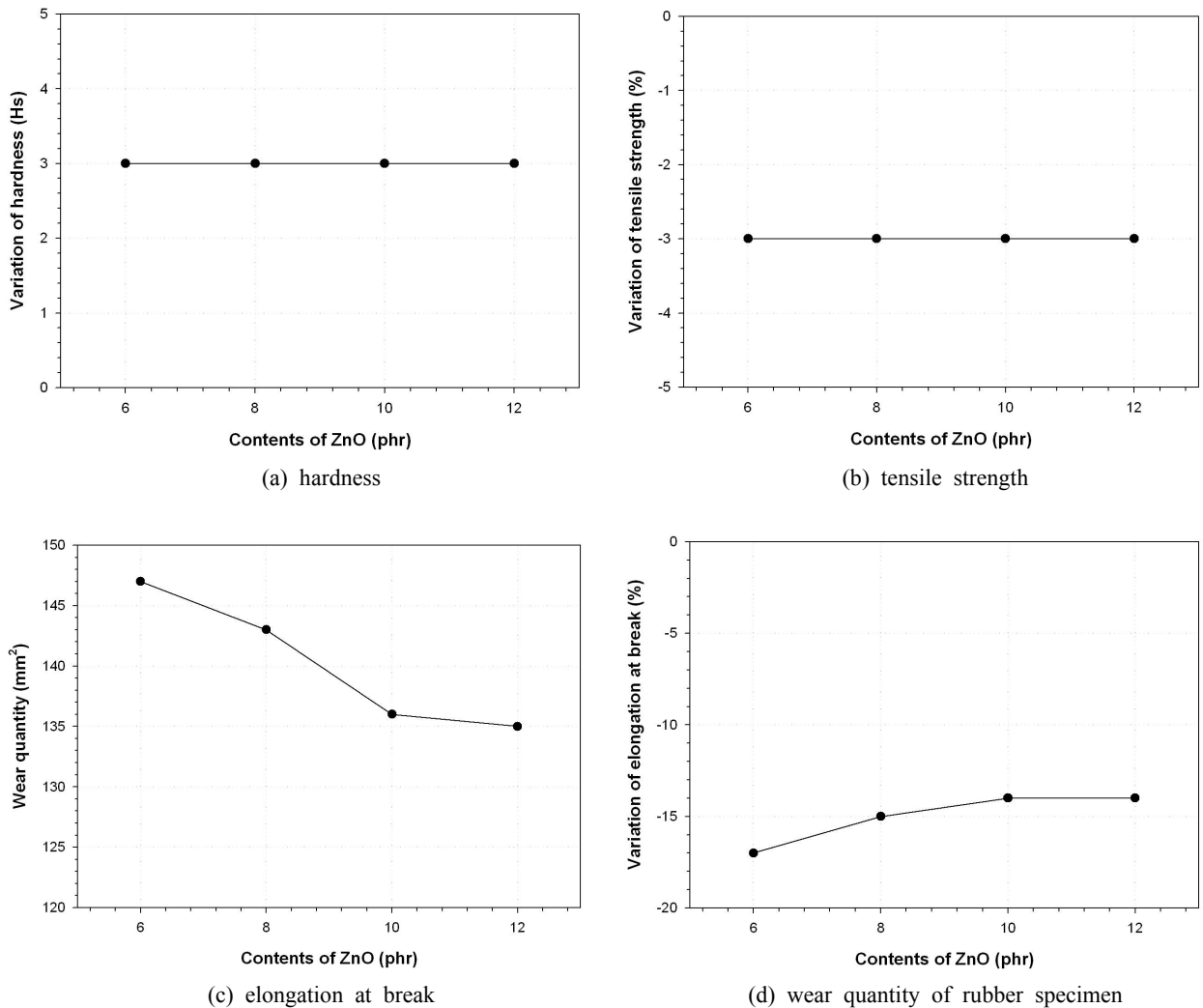
- 여기서, A : 마모(mm<sup>3</sup>)
- Δm : 질량손실(mg)
- e : 밀도(g/cm<sup>3</sup>)
- S<sub>0</sub> : 정상적인 마모등급(200 mg)
- S : 마모등급(mg)

**3.4 동적 성능 시험**

동적 성능 시험은 JASO E109 에 따라 행하였으며,<sup>23</sup> 고온 내구 성능 시험은 온도 85 ± 3 °C, tension 폴리 장력 63 kgf, 종동 폴리 부하 10.4 kW, 속도 4,900 ± 100 rpm에서 시험을 하였다.<sup>24</sup> 폴리의 직경은 구동폴리(DR)는 120 mm, 종동폴리(DN)는 120 mm, 아이들러폴리(idler pulley)는 76 mm, tension pulley는 45 mm이다. 벨트 rib에 4개의 crack이 발생하거나, 파손되거나, 또는 동력전달기능이 상실되면 시험이 종료된다. 그 때까지의 구동시간을 측정하여 나타내었다.

**3.5 마모 내구 성능 시험**

마모 내구 성능 시험은 작은 직경의 폴리에 높은 장력을 가하여 벨트의 마모저항을 확인하는 시험으로 종동폴리 2(DN2)에 55 kgf의 장력을 가하여 2,000 ± 100 rpm의 속도(구동과 종동폴리의 속도차는 4.1%)로 23 ± 3 °C × 24시간 구동 후 시험 전후의 무게차이를 측정하였다.<sup>25</sup>



**Figure 1.** Variation of (a) hardness, (b) tensile strength, (c) elongation at break and (d) wear quantity of rubber specimen as a function of ZnO contents.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. CR Undercord에서 ZnO의 영향

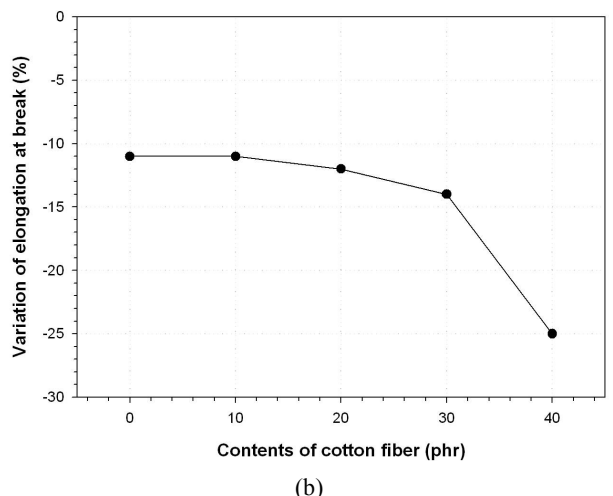
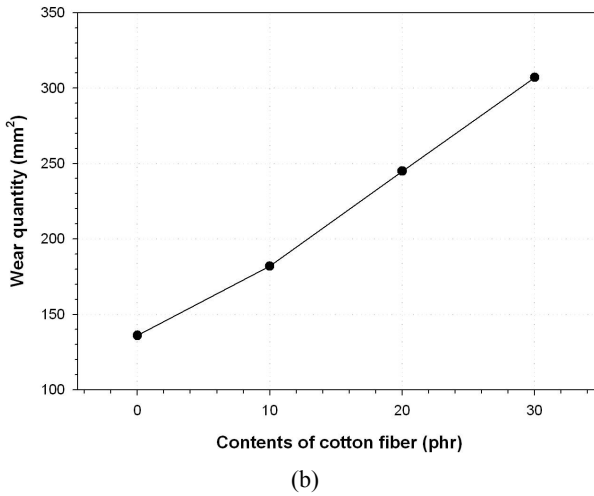
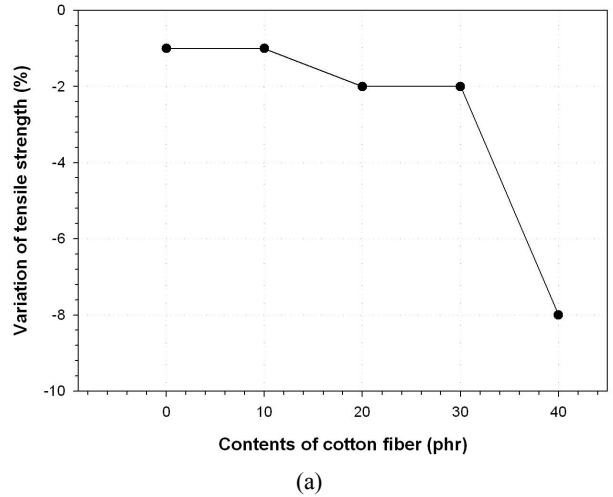
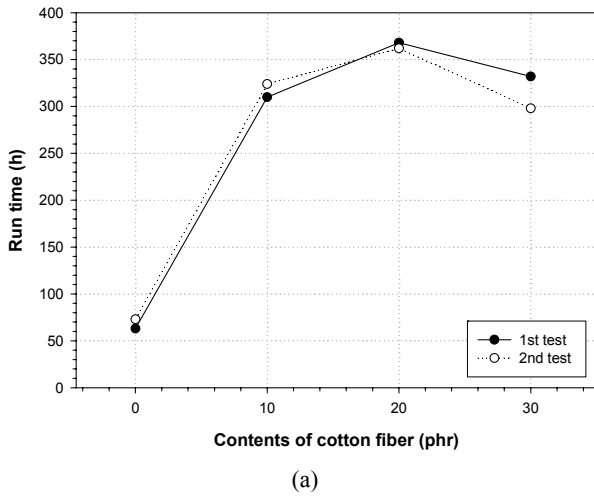
Figure 1은 각각 CR 배합계에서 ZnO의 함량에 따른 경도, 인장강도, 연신율을 조사한 결과이다. 경도는 노화시험 전의 경우보다 3%정도 증가한 정도에서, 인장강도는 노화시험전 보다 3%정도 감소한 정도에서 ZnO의 함량에 따른 차이는 없었다. 연신율은 노화시험전보다 16%정도로 많이 감소하였고, ZnO의 함량이 증가함에 따라 연신율의 감소폭이 줄었다. 이는 실험된 범위내에서 ZnO의 함량 증가에 따른 가교밀도의 영향보다 매트릭스 고무의 내열성의 영향이 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

시편의 내마모도시험 결과는 ZnO의 함량이 증가함에 따라

마모량이 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 ZnO의 증가로 가교밀도가 증가하여 내마모성이 증가한 것으로 판단된다.

#### 2. CR Undercord에서 면 단섬유의 영향

Figure 2는 CR의 면 단섬유 배합 함량에 따른 노화시험 전 후의 경도, 인장강도, 연신율과 시편상태에서 내마모도 시험을 한 결과를 나타내었다. 앞선 ZnO의 함량에 따른 영향과 동일하게 면 단섬유의 함량 증가에 따른 경도, 인장강도 및 연신율 변화는 크지 않았다. 하지만 벨트의 고온 내구 성능을 측정하는 구동시간은 면섬유 함량이 증가함에 따라 크게 증가하는 것을 확인하였다. ZnO의 함량이 20 phr까지의 충전 효과는 매우 좋으나, 그 이상에서는 효과가 미미하였다. 이는 면섬유가 벨트의 측압 저항성을 높이고 폴리-고무 매트릭스 간의



**Figure 2.** (a) Relationship between belt run time and contents of cotton fiber and (b) wear quantity of rubber specimen on various contents of cotton fiber.

**Figure 3.** Variation of (a) tensile strength and (b) elongation at break as a function of cotton fiber contents.

직접마찰에 의한 발열을 감소시켜 굴곡균열에 대한 저항성을 높인 것으로 생각된다. 면섬유의 함량이 증가할수록 마모량도 증가하였다. 이는 면섬유가 증가 할수록 고무매트릭스의 결합력이 줄어든 결과로 추측된다.<sup>26-31</sup>

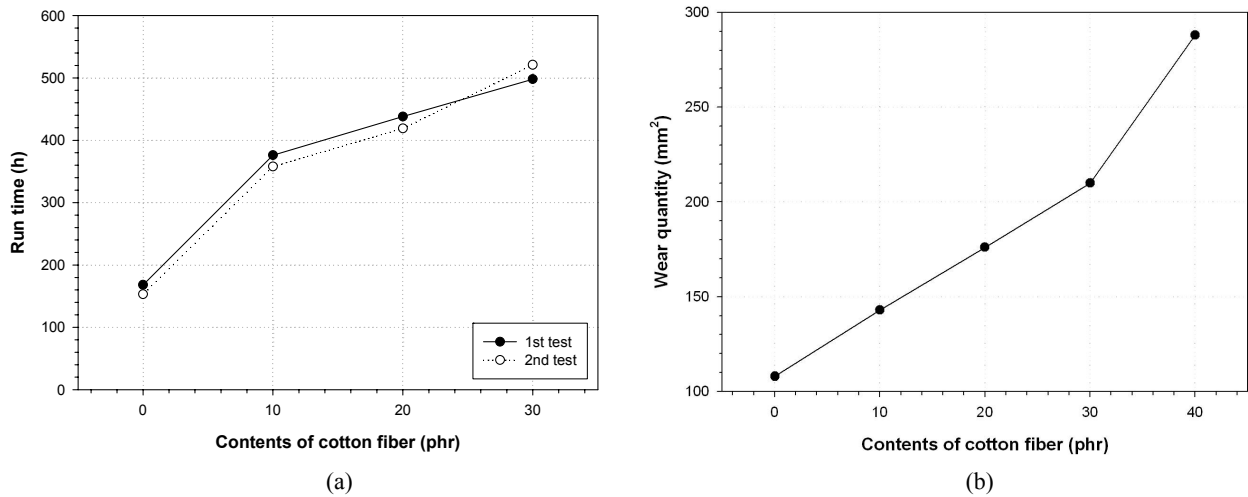
### 3. EPDM Undercord에서 면 단섬유의 영향

Figure 3은 EPDM 매트릭스의 면 단섬유 함량에 따른 시편의 노화시험 결과를 나타내었다. 노화시험 결과 경도의 변화는 크지 않았다. 인장강도의 경우, 면섬유의 함량이 30 phr까지는 거의 변화가 없었으나, 40 phr 배합된 경우 인장강도와 연신율이 급격하게 떨어졌다. 이는 면 단섬유가 많아져 고무간의 결합력을 감소시킨 것으로 추정되고, 40 phr에서는 고무 매트릭스가 가지는 충전 한계를 벗어난 것으로 생각된다.

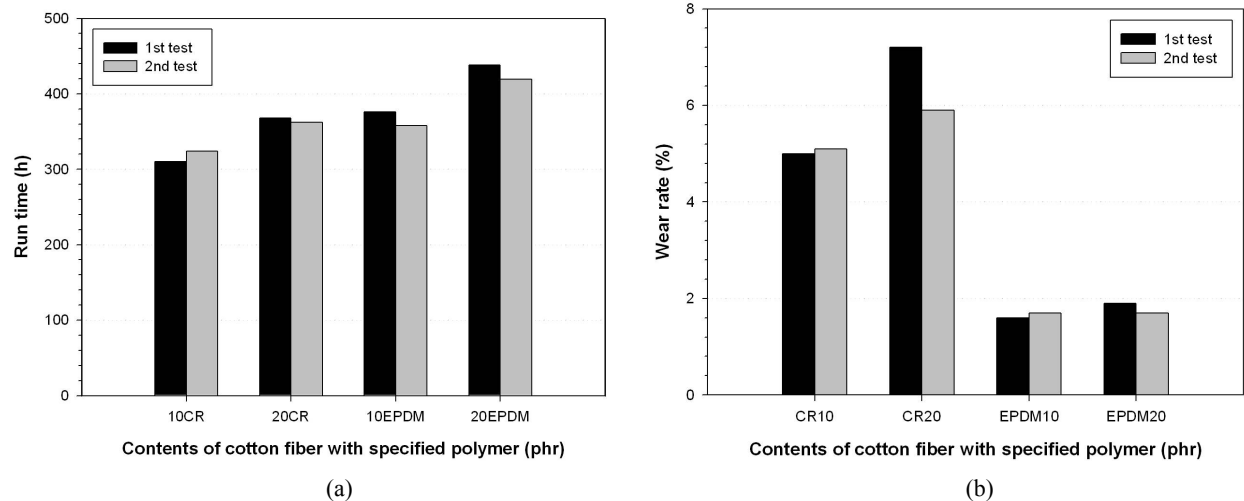
Figure 4는 단섬유 함량에 따른 구동시간에 대해서 나타내었다. 단섬유 함량이 증가함에 따라 고온에서의 구동시간이 연속적으로 증가하였다. 이는 CR의 경우와 동일하게 면섬유가 벨트의 측압 저항성을 높이고 풀리와 매트릭스 고무 간의 직접마찰에 의한 발열을 감소시켜 굴곡균열에 대한 저항성을 높인 것으로 생각된다. 내마모성은 단섬유 함량이 증가할수록 마모량이 증가하였다. 이 또한 단섬유의 증가로 매트릭스 고무의 결합력이 줄어든 결과로 추정된다.<sup>26-31</sup>

### 4. 고무 매트릭스의 영향

Figure 5는 면섬유가 동일하게 배합된 CR계와 EPDM계의 구동시간을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 EPDM 배합계의 구동시간이 CR계보다 길고, 마모량 또한 CR계보다 적은 것으로 나타났다.



**Figure 4.** (a) Relationship between belt run time and contents of cotton fiber and (b) wear quantity of rubber specimen on various contents of cotton fiber.



**Figure 5.** Comparison of (a) belt run time with polymer and cotton fiber contents and (b) belt wear rate with polymer and cotton fiber contents.

이는 면섬유의 함량이 동일하더라도 사용된 고무 매트릭스에 따라서 물성의 차이가 크다는 것을 의미하며, 사용된 EPDM의 분자량, 분자량 분포 등의 특성이 내열성과 내마모성에 유리하게 작용한 것으로 추정된다.

**5. EPDM Undercord에서 아라미드 단섬유의 영향**

EPDM 배합계의 면 단섬유를 30 phr로 고정하고 아라미드 단섬유 함량(0~6 phr)에 따른 시편의 내열내구성시험 및 마모 시험 결과를 Figure 6에 나타내었다.

전 영역에서 경도의 변화는 크게 없었다. 인장강도와 연신율은 그림에서 보는바와 같이 큰 변화량은 아니지만 아라미드

섬유의 함량이 증가 할수록 인장강도는 소폭 상승하였고, 연신율은 큰 변화가 없었다. 이는 아라미드 섬유 자체의 강성에 기인하는 요인으로 판단된다.<sup>26-31</sup>

Figure 7은 아라미드 섬유의 함량에 따른 내구특성 변화에 대해서 나타내었다. 내열 내구특성인 구동시간은 아라미드 섬유의 함량이 증가 할수록 현저히 증가하는 경향을 보이다가 아라미드 섬유의 함량이 4~6 phr사이에서 감소하였다.

이는 아라미드 함량이 4 phr까지는 아라미드 섬유의 강인성으로 인하여 증가하다가, 이 지점이 넘어서면 아라미드 섬유의 충전 한계점에 도달하기 때문인 것으로 추측된다. 내마모도는 아라미드 섬유의 함량이 증가 할수록 소량 증가하는 것으로 나타났다. 이는 아라미드 섬유의 강인성으로 인한 결과

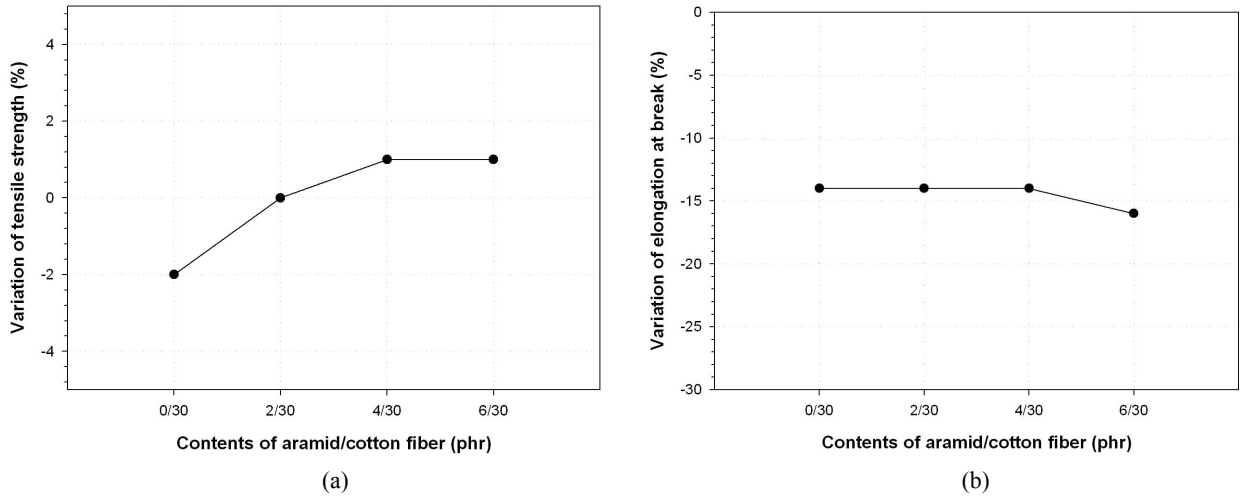


Figure 6. Variation of (a) tensile strength and (b) elongation at break as a function of aramid/cotton contents.

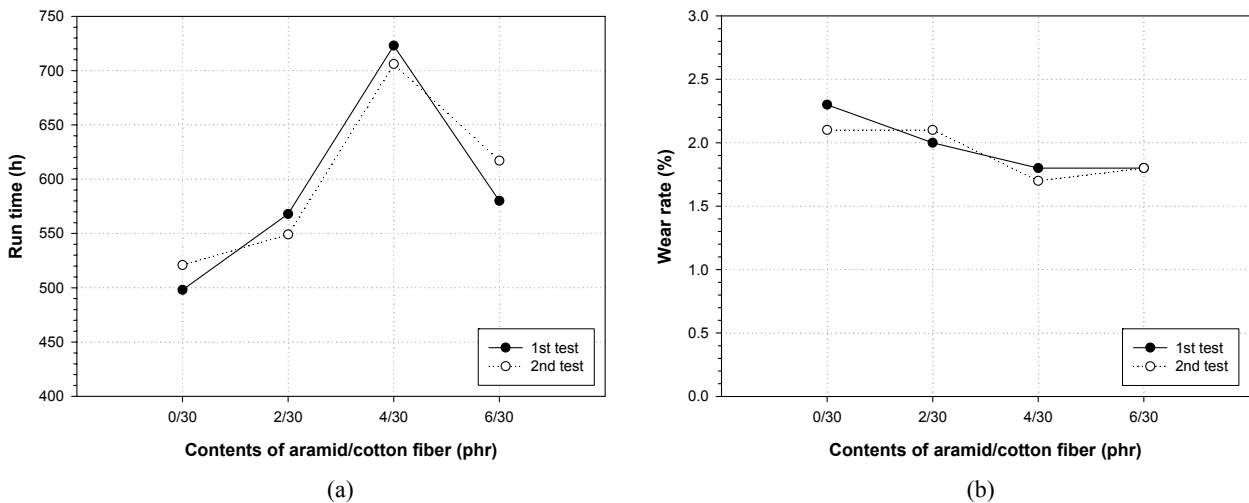


Figure 7. Relationship between (a) belt run time and (b) belt wear rate and contents of aramid/cotton fiber.

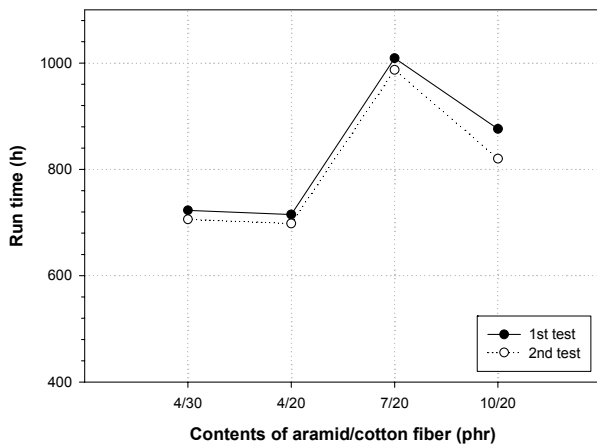
로 판단된다. 보다 정밀한 실험을 위하여 면 단섬유의 함량을 줄이고 아라미드 단섬유의 함량을 증가시킨 실험의 결과를 아래 그림에 나타내었다.

Figure 8에서 보는바와 같이 면 단섬유의 함량에 따른 구동시간의 변화는 크지 않은 반면, 아라미드 단섬유의 함량에 따른 변화는 크게 나타났다. 아라미드 단섬유의 함량이 4 phr에서 7 phr로 증가하면서 구동시간이 30%정도 증가하였다. 그러나 10 phr의 경우 오히려 줄어들었으나 전체적인 경향은 아라미드 섬유의 함량이 증가 할수록 증가하는 경향을 보였다. 마모량의 경우도 아라미드 함량이 7 phr까지는 내마모도가 증가하다가 10 phr에서는 오히려 감소하였다. 이는 앞선 실험과 동일하게 이 조성 영역에서 충전 한계점에 도달했기 때문으로 추측된다.

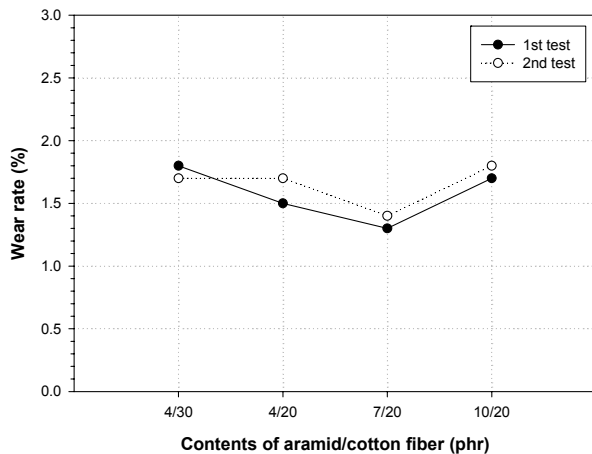
#### IV. 결 론

자동차용 V-rib 벨트에 사용되는 우수한 재료를 개발하기 위하여 고무매트릭스로 CR과 EPDM, 충전제로 면 단섬유와 아라미드 단섬유의 함량을 변화시켜 여러 종류의 고무배합계를 만들어 노화시험 전후의 경도, 인장강도, 연신율, 내열성 및 내마모성을 시험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) CR 배합계에서 ZnO의 함량이 증가함에 따라 노화시험 전후의 경도, 인장강도, 연신율은 큰 변화가 없었으며, 내마모도는 소량 증가하였다. 또한 면 단섬유의 함량이 증가함에 따라 경도와 인장강도 및 연신율의 변화는 크게 없었으나, 고온에서 견딜 수 있는 구동시간은 증가하였으나, 마모량도 함께 증가하였다.



(a)



(b)

**Figure 8.** Relationship between belt (a) run time and (b) belt wear rate and contents of aramid/cotton fiber.

2) EPDM 배합계가 CR 배합계보다 우수한 내열성과 내마모성을 보였다.

3) EPDM 배합계에서 면섬유의 함량이 증가 할수록 고온 내구성인 구동시간이 크게 증가하였고 30 phr 이상에서는 오히려 감소하였다. 따라서 충전한계를 확인하였다. 또한 아라미드와 면섬유의 혼합 충전에서 아라미드의 효과가 면섬유의 효과보다 컸으며, 아라미드가 배합된 고무는 내구성과 내마모성이 함께 증가하였다.

## 참고 문헌

1. W. D. Erickson, "Belt Selection and Application for Engineers", p. 197, Marcel Dekker, INC., 1987.
2. Z. T. V. Meltzer and R. Vilcu, "Thermal Properties of EPDM/NR Blends", *Polymer Degradation and Stability*, **70**, 341 (2000).
3. W. Cooper, "Synthetic Elastomers in Encyclopedia of Polymer

- Science and Technology", vol. 5, p. 406, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
4. 青木一信, "클로로프렌의 각종 가황계와 가공안정성", **29**, 335 (1994).
5. E. K. Easterbrook and E. D. Allen, "Ethylene-Propylene Rubber in Rubber Technology", ed. by M. Morton, p. 375, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1987.
6. G. E. O'Connor and M. A. Fath, "Thermoplastic Elastomers. Part I. Can TPEs Compete against Thermoset Rubbers?", *Rubber World*, **185**, 25 (1981).
7. C. Y. Park, "Cure Characteristics, Mechanical Properties and Ozone Resistance of EPDM/SBR Blend Vulcanizates", *Elastomer*, **43**, 104 (2008).
8. H. Huang, J. Yang, X. Liu, and Y. Zhang, "Dynamically Vulcanized Ethylene Propylene Diene Terpolymer/Nylon Thermoplastic Elastomers", *European Polymer Journal*, **38**, 857 (2002).
9. A. Basfar, M. Abdel-Aziz, and S. Mofiti, "Stabilization of  $\gamma$ -radiation Vulcanized EPDM Rubber against Accelerated Aging", *Polymer Degradation and Stability*, **66**, 191 (1999).
10. A. M. Yocom, "Cork-containing Composite Sheet Material", U. S. 2,584,959 (1952).
11. J. J. Leo and A. M. Johansson, U. S. Pat., **263**, 184 (1981).
12. M. R. Piggott, "Load Bearing fiber Composites", p. 62, Pergamon Oxford, London, 1985.
13. C. Ryu, C. K. Hong, C. W. Moon, and S. Kang, "Effects of Particle Size and Structure of Fillers on the Friction and Wear Behavior of Filled Elastomer", *Elastomer*, **41**, 194 (2006).
14. T. Eccersley, "Review of Short-Fiber Reinforced Rubber Composite", Rubbercon 81, Int'l. Rubber Conf. 2 G7 (1981).
15. 김병규, 박찬영, 신귀숙, "단섬유강화고무", *Elastomer*, **26**, 246 (1991).
16. 손태원, "보강소재", *Polymer Science and Technology*, **6**, 470 (1995).
17. H. M. Kim and C. S. Lee, "A Study on Noise Resistance and Physical Properties of NBR Rubber Materials Containing Oleamide and Aramid Chip", *Elastomer*, **41**, 79 (2006).
18. 가황고무 물리시험 방법 KS B pp.M6518 (1996).
19. Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers Tension ASTM D 412 (2006).
20. Standard Test Method for Rubber Property Durometer Hardness ASTM D 2240 (2005).
21. Standard Test Method for Rubber-Deterioration in an Air Oven ASTM D 573 (2004).
22. Testing of rubber and elastomers-Determination of abrasion resistance DIN 53516 (1987).
23. Automotive V-Ribbed Belts JASO E 109 (1984).
24. Gates Micro-V belt test standard MV-56.
25. Gates Micro-V belt test standard MV-60.
26. 김병규, 박찬영, 신귀숙, "단섬유강화고무", *고무학회지*, **26**, 246 (1991).
27. A. P. Fold, *Rubber Chem. Technol.*, **49**, 379 (1976).
28. A. R. Sanadi and M. R. Piggott, "Interfacial Effects in Carbon-ep-



- oxies : Part 1 Strength and Modulus with Short Aligned Fibres”, *J. Mater. Sci.*, **20**, 421 (1985).
29. R. K. Mittal and V. B. Gupta, “The Strength of the Fiber-polymer Interface in Short Glass Fiber-reinforced Polypropylene”, *J. Mater. Sci.*, **17**, 3179 (1982).
30. M. R. Piggott., “Expressions Governing Stress-strain Curves in Short Fibre Reinforced Polymers”, *J. Mater. Sci.*, **13**, 1709 (1978).
31. M. R. Piggott., “Load Bearing fiber Composites”, p. 62, Pergamon Oxford, London, 1985.