

## 導電性고무의 製造 및 物性에 關한 研究(I)

— Magnetite 混合系 導電性고무 —

李 榮 晚 · 尹 周 鎬\* · 崔 世 永  
清州大學校 理工大學 化學科, \*國立工業技術院

## A Study on the Manufacturing and Physical Properties of Conducting Rubber(I)

— Magnetite System Conducting Rubber —

Young-Man Lee, Ju-Ho Yun\*, Sei-Young Choi  
Department of Chemistry, Chongju University, Chongju, Korea  
\*National Industrial Technology Institute, Seoul, Korea

### ABSTRACT

To make filler loaded conducting rubber which has the excellent electronical and physical properties, CR and NBR were mixed with magnetite( $Fe_3O_4$ ).

From the result of the study, vulcanization characteristics shows the upgrading curve as increase in filler concentration and CR has more torque than NBR. When elongation be higher, modulus comes to decreases. Tear strength gradually decrease after showing of the maximum point when is in the 100phr in all. Resilience is not good to cause the increase in filler concentration. In the electrical properties, conductivity becomes smaller when filler concentration is increased. The increase of voltage makes an conductivity grown, but the changed rate is weak. The influence of temperature hardly changes on increasing temperature. The morphology and the distribution for a conductivity filler through SEM were better, the more filler concentration increase, the shorter the particle interval is.

### I. 서 론

오늘날의 고분자재료는 블렌드나 알로이 등의 기술개발을 통하여 그 사용범위가 광범위해져 내열이나 난연재료, 전기 및 전자장치에의 응용 및 절연재료로 많이 사용되고 있다.<sup>1,2,3)</sup> 그러나 전기 전도도가 높은

고분자재료들이 발견됨으로써 고분자재료에 대한 기존 개념이 변화를 가져와 금속을 대체할 수 있는 고분자 제품들의 출현이 가능해지고<sup>4)</sup> 또한 도전성 유기고분자와 금속화합물보다 가볍고 합성이나 가공이 용이한 재료도 개발되어 학계나 산업계에 많은 관심을 끌고 있다.<sup>5,6)</sup>

도전성 고분자재료는 구성 요소에 따라 두 종류의 형태로 구분된다. 첫째는 고분자 화합물 그 자체가 도전성 성질을 갖는 소위 유기반도체이고, 둘째는 일반적 고분자 화합물에 도전성 충전제를 배합한 혼합물로서 일종의 복합재료이다.<sup>7,8)</sup>

도전성고무는 원료고무의 분자구조나 가공방법의 큰 개질 없이도 가능하다는 점에서 도전성 충전제의 배합, 분산에 의한 것이 주로 생산, 이용되고 있다.

여기서 도전성 충전제에 요구되는 특성으로는 다음과 같다.<sup>9)</sup>

- 1) 충전제의 첨가량과 전도성을 자유롭게 변화시킬 수 있으며 혼련시 저항 변화가 적어야 한다.
- 2) 복합화에 따른 경시변화가 적어야 한다.
- 3) 복합화에 따른 강도, 유동성, 성형성 등이 적당히 조화를 이루어야 한다.
- 4) 복합화시켰을 때 물리, 화학적 안전성이 높아야 한다.
- 5) 가격이 저렴해야 한다.

고분자 혼합분산계의 전기 전도에 영향을 주는 인자로는 혼합분산계의 morphology, polymer 종류, orientation, 시료의 길이, 온도, 충전제의 첨가농도, 성형압력, 충전제와 고분자의 구조 등이 보고되고 있다.<sup>10)</sup>

Magnetite는 강자성의 특성을 가지며 화학적 조성은  $Fe^{3+}(Fe^{II}Fe^{III})O_4$ 로서  $Fe^{3+}$ 와  $Fe^{2+}$ 가 혼재되어 이들 사이에 전자가 이동함으로써 실온에서  $10^2(\Omega \text{ cm})^{-1}$ 의 전기 전도도를 나타낸다.<sup>10)</sup>

유기고분자 화합물 즉 천연고무나 합성고무의 전기 전도도는  $10^{-10}(\Omega \text{ cm})^{-1}$  부근이나 그 이하로서 완전한 부도체의 성질을 갖고 있다.<sup>11)</sup> 이것은 탄소 원자가  $sp^3$  혼성궤도의 전자구조를 갖는 C-C 포화 결합으로 되어 있기 때문이다. 따라서 불포화도가 적은 고무일수록 전자의 활동이 적어 도전성도 상당히 낮다. 그러므로 NBR, CR과 같은 강한 극성기를 갖는 극성 고무는 저항이  $10^{-10}(\Omega \text{ cm})^{-1}$ 로 낮다.<sup>12)</sup>

CR(chloroprene rubber)은 결정성이 극히 크며 결합 염소 때문에 극성 고무이다. CR가황체는

diene계 고무보다 우수한 내열성, 내유성, 내오존성, 물리적 특성이 좋고 일반 고무에 비해 내약품성, 난연성 등이 우수하며, 가스 투과율이 적고 접착력이 강력하며 각종 외적 환경에 대한 저항성을 가지고 있어 전기적 특성이 우수하다.<sup>13,14)</sup>

NBR(acrylonitrile-butadiene rubber)은 acrylonitrile과 butadiene을 공중합시킨 내유성이 뛰어난 고무로서 비결정성이며 극성기 -CN때문에 극성 고무로 분류되고, -CN의 branch 때문에 분자운동이 저해되며 일반적으로 nitrile 함량이 높을수록 내유성, 내마모성, 내열노화성, 인장응력, 인장강도, 가스비투과성이 좋아지나 nitrile 함량이 높은만큼 고무 분자간 결합력이 커지기 때문에 경도가 증가하고 내한성이 나빠진다.

혼합분산계 도전성고무가 우수한 물성을 얻게 된다면 성형 가공성과 유연성, 내부식성, 가스성, 탄성이 우월한 점, 연화하기 어렵고 고온에서 유동하기 어려운 점 등의 고무가 갖는 잇점을 바탕으로 하여 도전성 재료로서 각광을 받게 될 것이다.

본 연구에서는 이러한 특성을 바탕으로 전자기 차폐 재료, 코로라 방전 방지제, 타이어의 대전방지, 전도성 가스켓, 전자 seal 재료, 도전성고무를, 전력 케이블 등의 재료에 응용하기 위해 diene계이며 극성 polymer이고 전기적 특성이 우수한 CR과 NBR 고무에 도전성 충전제로 분산이 용이하고 전기적 비저항이 우수한 magnetite의 충전제를 변량 배합하여 혼합분산계 도전성고무 시료를 제조하여 도전성고무로서 우수한 전기적 성질과 물성을 얻기 위하여 충전제가 가황과정에 미치는 영향<sup>11)</sup> 및 가황 특성과 적정 가황시간을 측정하였고, 물리적 특성과 resistance meter를 이용하여 충전제의 양변화와 온도 변화에 따른 비저항을 비교 검토하였다. 그리고 CR과 NBR에서 magnetite의 변량에 따른 분산상태를 scanning electron spectroscopy(SEM)를 이용하여 관찰한 후 전기저항에 미치는 영향을 관찰하였다.

한편 이러한 특성과 여러 가지 제반 조건을 고려하여 최적 배합 및 가황조건을 구하였다.

Table 1. Recipe for CR, NBR compound

Recipe No. Ingredients	(unit : phr)									
	C-0	C-M1	C-M2	C-M3	C-M4	N-0	N-M1	N-M2	N-M3	N-M4
CR	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-
NBR	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3
stearic acid	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
MgO	4	4	4	4	4	-	-	-	-	-
sulfur	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1
DEU	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	-	-	-	-	-
TBBS	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
magnetite	-	50	100	150	200	-	50	100	150	200

## II. 실험

### 1. 실험재료 및 시약

1) Chloroprene rubber(CR) : 일본 전기화학공업(주)의 DENKA S-40

2) Acrylonitrile-butadiene rubber(NBR) : 일본 Zeon(주), Nippol N-32, Nitrile 함량 31%

3) Magnetite( $Fe_3O_4$ ) : 일본순정화학

4) Zinc oxide(ZnO) : 국내 한일화학(주)

5) Stearic acid : 국내 천광유지(주)

6) Magnesium oxide(MgO) : 일본 Kyowa 화학사, Kyowa Mag-10

7) Diethylthiourea(DEU) : 일본 Ouchi Shinko 화학사

8) Sulfur : 일본 관동화학

9) N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulfenamide(TBBS) : 미국의 Am Cyanamid사

### 2. 실험장치 및 실험방법

#### 2.1 배합표

본 실험에서 적용한 고무 배합은 Table 1과 같다.<sup>15, 16)</sup>

#### 2.2 혼련 및 시험편 제조<sup>17)</sup>

혼련은 지름 8", 길이 20", 회전비 1 : 1.25의 고무용 roll mill을 사용하였고, 약품의 투입 순서는 zinc

oxid, stearic acid, magnesium oxid or sulfur, DEU or TBBS 그리고 도전성 충전제인 magnetite 순으로 하여 분산이 잘 되도록 혼련한다. 전체 배합에 소요된 시간은 15분으로 통일하였고 oscillating disk rheometer(ODR)에서 측정된 적정가황시간에 따라 물성실험을 위한 시험편을 열프레스에서 140×120×2mm로 제조하였다. 이와같은 조작을 Fig. 1에 나타내었다.

#### 2.3 ODR에 의한 가황특성시험<sup>18, 19)</sup>

Monsanto사의 model TM-200을 사용하였으며, 시험 온도는 170°C에서 60분간으로 하여 가황특성을 비교하였다.

#### 2.4 물리적 특성 시험<sup>20)</sup>

인장시험은 Monsanto사의 model Tensometer-10을 사용하여 KS 3호형 시험편으로 인장속도는 500±25mm/min으로 하여 인장강도, 100% 인장응력 및

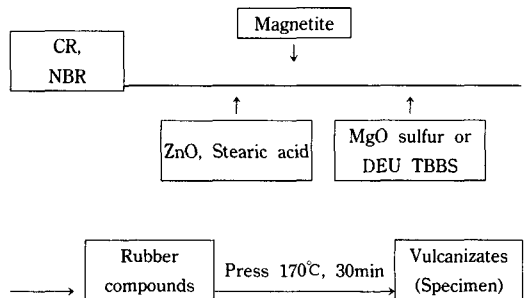


Fig. 1. Preparation of rubber-filler vulcanizates.

신장율을 측정하였고, 인열시험은 B형(직각형) 시험편으로 50mm/min의 인장속도로 하여  $T_R$ 을 구하였다.

반발탄성 시험은 Lüpke식을 사용하였으며 측정용 시험기는 Yasuda사의 model을 이용하였다.

### 2.5 전기적 특성 시험<sup>17)</sup>

본 실험에서는 resistance meter를 사용하여 도전성 충전제가 변량 배합된 가황고무의 비저항(specific resistance)을 관찰하였다. 이때 사용한 기기는 Hewlett Packard사의 model 4329A를 사용하였다.

### 2.6 표면특성 시험

고무와 도전성 충전제가 혼합된 compounds의 시료를 액체질소에 동결(-196°C)한 후 파괴하여 파단면에서 충전제의 분산상태를 SEM을 사용하여 관찰하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 가황특성

본 실험에서의 ODR 결과치는 time-torque의 관계로 나타내고 있으며 일반적인 경우는 가황온도를 150°C로 설정하여 측정하였지만, 본 연구에서는 충전제의 다량 첨가로 cure curve가 maximum torque가 없는

계속적인 상승곡선을 나타내고 장시간 가황을 요구하기 때문에 170°C의 온도 조건에서 시험을 행하였다.

Table 1과 같이 충전제를 변량 배합하여 ODR로 측정된 가황특성을 Fig. 2~3에 나타내었다. CR과 NBR의 전반적인 torque값을 보면 CR이 훨씬 높게 나타났다. diene계 고무인 NBR은 가황속도가 CR보다 빠르며 가황시간도 NBR이 2배 이상 빠른 것으로 나타났다.

Jana와 De<sup>11)</sup>의 보고에 의하면 충전제의 혼입량에 따라서도 가황속도가 영향을 받는다고 하였으며 본 연구에서도 충전제가 가황시간에 영향을 주리라고 예상하였다. 충전제를 혼입하지 않은 고무는 평탄곡선을 나타내고 있으나 충전제의 혼입되는 양이 증가함에 따라 점차로 상승곡선이 나타나고 있다. 소량의 충전제는 가황을 촉진시키는 효과가 있으나 다량의 충전제 첨가는 오히려 가황을 방해하는 효과를 나타내고 있음을 보여준다. 이것은 가황촉진의 효과를 볼 수 있는 임계농도가 존재함을 보여주며 과량의 첨가는 고무 사이에 충전제들이 많이 존재하게 됨으로 가교제들이 고무간의 3차원 망상구조의 형성에 장애를 받기 때문이라고 생각된다.

두 고무상에서 가황특성에 미치는 충전제의 영향을 보면 충전제의 첨가에 따라 CR은 그 torque의 상승

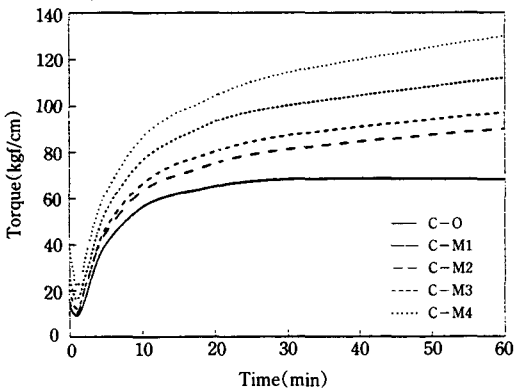


Fig. 2. Cure characteristics for magnetite-filled CR compounds. curing temperature, 170°C.

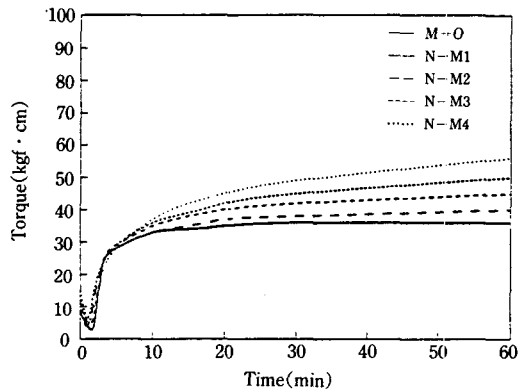


Fig. 3. Cure characteristics for magnetite-filled NBR compounds. curing temperature, 170°C.

폭이 크게 나타나고 있으며, NBR은 충전제의 혼입 되는 양이 많아지더라도 그 상승곡선의 폭이 아주 미미하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

본 실험에서 충전제가 함유되지 않은 경우는 가황 곡선의 형태가 평탄형이고 충전제의 양이 증가 할 수록 상승형으로 변해가고 있다. 그리고 충전제가 많아질수록 고무가 탄성체의 성질에서 에보나이트성 질에 가까워진다고 생각된다.

## 2. 물리적 특성

결정성이 있는 고무는 신장을 받으면 결정의 핵이 고무 속에 형성되어 이것이 보강제와 같은 효과를 발휘하여 고무의 강도를 향상시킨다. 따라서 결정성이 있는 IR, IIR, CR, U, CSM 등이 인장특성은 양호하고 비결정성 고무인 SBR, NBR, EPDM은 인장강도가 떨어진다.<sup>21)</sup>

Fig. 4는 충전제를 CR과 NBR에 각각 변량 배합한 가황고무의 인장강도를 시험한 결과이다. 먼저 CR에서 각 충전제를 50phr 함유한 C-M1은 117kg/cm<sup>2</sup>로 최고의 인장강도를 나타냈고 충전제의 양이 100phr, 150phr, 200phr로 증가 될 수록 인장강도가 점차로 떨어지고 오히려 150phr 이상에서는 충전제를 첨가 하지 않은 CR과 인장강도가 비슷하거나 더 낮게 나타난다. 따라서 C-0가 81kg/cm<sup>2</sup>로 충전제가 100 phr까지는 보강제 역할을 하고 있으나 그 이상에서는 충전제 역할을 한다. 이처럼 CR에서는 인장 강도가 급격히 증가하였다가 점차로 감소하는 경향을 보이는 반면, NBR에서는 가장 많은 충전제를 배합한 N-M4가 60kg/cm<sup>2</sup>로 인장강도가 제일 높으며 충전제의 함유량이 0에서 그 이상으로 증가 할 수록 점차로 증가하고 있다. 이는 충전제가 증가 할 수록 보강효과가 강해지고 있음을 보여준다.

Fig. 5는 충전제의 배합량의 증가에 따라 가황고

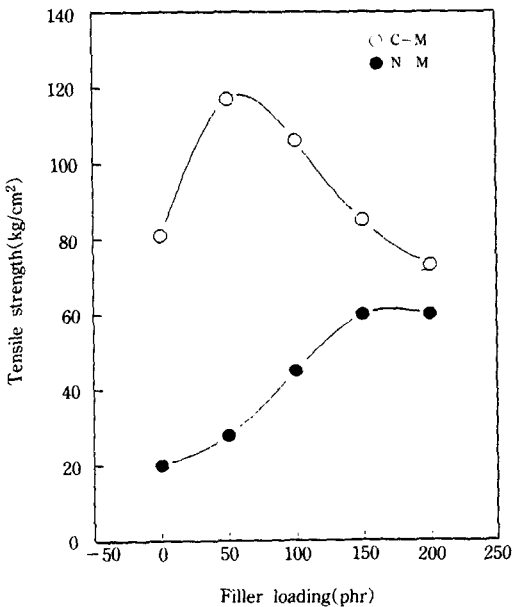


Fig. 4. Tensile strength of CR and NBR vulcanizates.

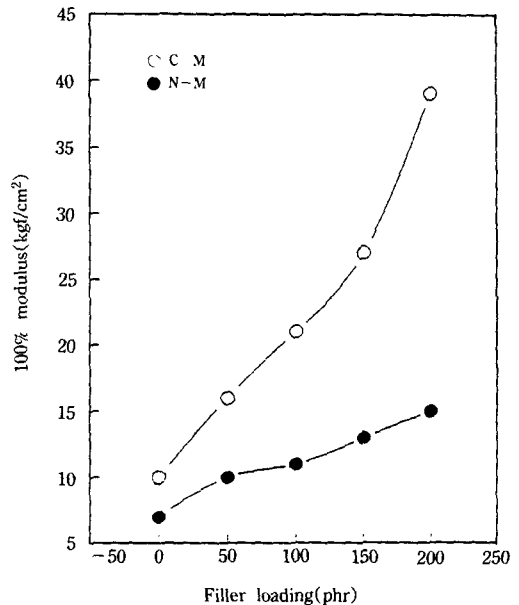


Fig. 5. 100% Modulus of CR and NBR vulcanizates.

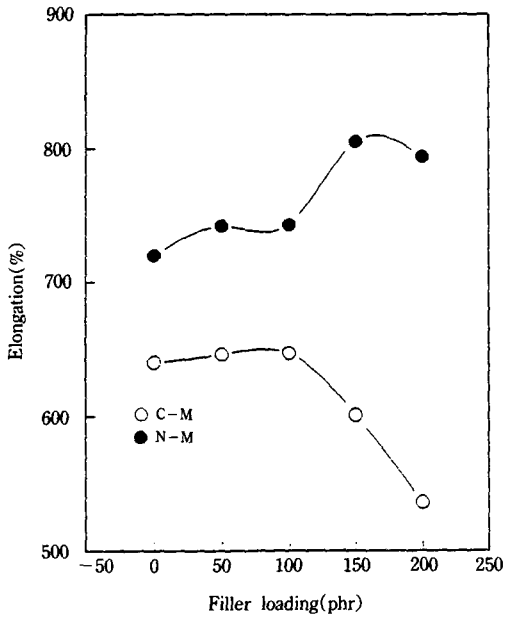


Fig. 6. Elongation at break of CR and NBR vulcanizates.

무의 100% modulus로서 CR, NBR 모두 충전제의 양이 증가 할 수록 인장응력이 증가하고 있는 것을 보여주고 있으며 충전제가 함유되지 않은 고무를 기준으로 볼 때 CR쪽의 기울기 즉 증가폭이 현저하다.

이와같은 결과로 볼 때 전체적으로 충전제가 NBR에 배합될 때 확실한 보강제의 역할을 보여주고 있으며 CR에서는 100phr까지는 보강성을 보여 고무와 충전제의 상호작용이 고무마다 서로 다르게 나타난다.

Fig. 6은 도전성 충전제인 magnetite를 배합한 고무 가황체의 신장율로 두 고무에서는 고유의 물성 그대로 NBR의 신장율이 좋고 충전제의 증가로 신장율은 점차로 감소하는 것으로 나타났으며 이는 고무 고유의 특성이 충전제의 첨가로 에보나이트화 되어감을 보여주고 있다고 생각한다. Fig. 7은 충전제 변량배합에 따른 가황고무의 인열강도 결과로서 CR과 NBR의 인열강도는 17kgf/cm<sup>2</sup>, 14kgf/cm<sup>2</sup>로 약해 균열되기 쉽다. 그러나 충전제의 혼입으로 해서 인열강도가 100

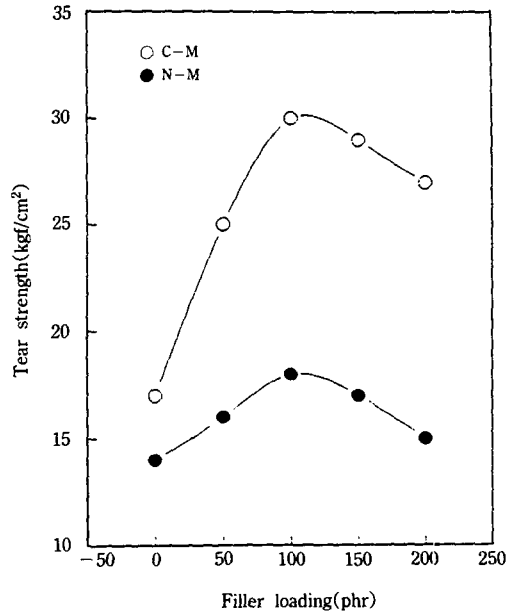


Fig. 7. Tear strength of CR and NBR vulcanizates.

phr에서 C-M2, N-M2 모두 30kgf/cm<sup>2</sup>, 18kgf/cm<sup>2</sup>로 최고의 인열강도를 보이다가 100phr이 지나면서 점차로 인열강도가 떨어진다. 이것은 미세한 분말 상태인 충전제가 점차로 혼입됨에 따라 보강제의 역할을 한다. 그리고 CR 결정성 고무에서의 보강 효과가 더 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

반발탄성은 분자운동의 자유도와 가교밀도에 따라 정하여진다. 반발탄성에 미치는 4가지 기본 인자 즉 결정성, 극성, 안정성(내노화성) 및 유연성 가운데에서는 고무분자의 유연성이 지배적인 인자로 되어 있다.

도전성 충전제를 변량 배합한 가황고무의 반발탄성의 결과를 Fig. 8에 나타냈다.

충전제가 없는 CR, NBR 고무의 반발탄성율은 유연성이 우수한 CR이 9.8%의 NBR에 비해 16.5%로 높게 나타나고 있다. 그리고 충전제의 함량이 증가할 수록 반발탄성율은 떨어져 NBR의 경우는 2.8%로 매우 낮게 나타나고 있다.

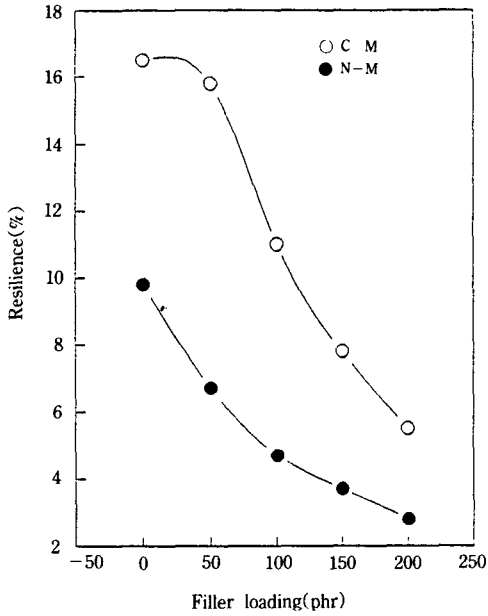


Fig. 8. Resilience of CR and NBR vulcanizates.

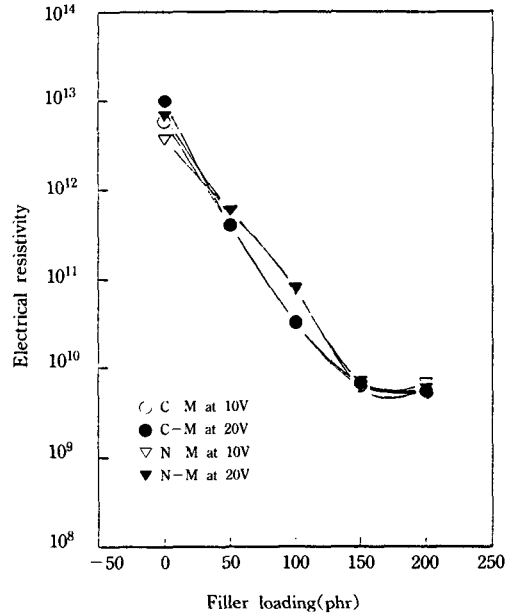


Fig. 9. Electrical resistivity for various voltage in CR and NBR vulcanizates at 298K.

### 3. 전기적 특성

충전제 함량에 따른 비저항을 Fig. 9~11에 나타냈다.

Fig. 9는 293K에서 충전제의 농도와 측정 전압을 달리하여 측정한 비저항값이다. 10V나 20V 모두 충전제의 농도가 증가 할 수록 비저항이 작아지는 것을 볼 수가 있다. CR, NBR이 모두  $10^{12}$ 에서  $10^9$ 으로 작아졌는데 전압의 변화에 대한 비저항의 변화는 전압이 10V에서 20V로 전압이 높을 때 전체적으로 비저항의 상승을 보여주나 NBR에 충전제 magnetite가 150phr, 200phr이 함유될 때는 감소된다. Fig. 9에 의하면 충전제의 농도가 낮은 시료에서는 비저항이 매우 크며 충전제의 농도가 증가함에 따라 비저항은 감소하고 있음을 보여준다. 합성고무의 전기적 3요소(전기저항, 유전율, 역률)는 천연고무와는 달리 매우 복잡한 변화치를 나타낸다. 비극성 고무는 천연고무와 닮은 양호한 전기적 성질을 갖고 있다. 특히 불포화도가 적은 고무일수록 전자의 활동이 적어 절연

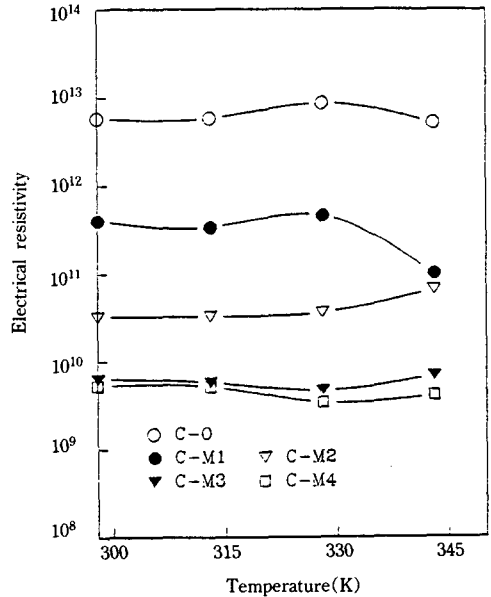


Fig. 10. Electrical resistivity for various temperature in magnetite-filled CR vulcanizates at 10V.

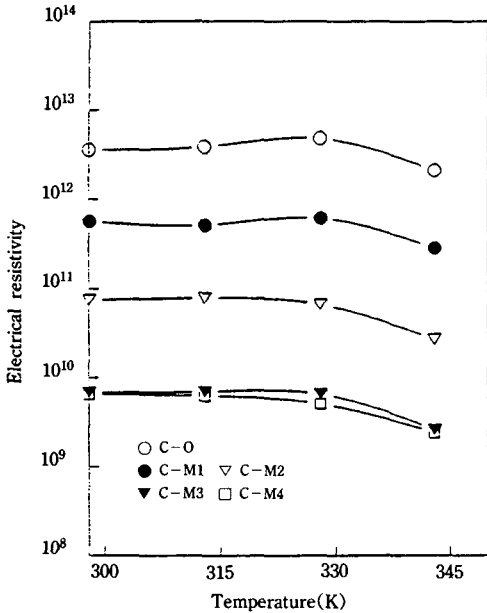


Fig. 11. Electrical resistivity for various temperature in magnetite-filled NBR vulcanizates at 10V.

성이 높아지게 된다. 그러므로 NBR, CR과 같은 강한 극성기를 갖는 극성 고무는 저항이  $10^{10}$  order로 낮고 유전율이나 역율은 상승한다.<sup>12)</sup> 고분자 물질이 공액 이중결합을 가지게 되면  $\pi$ 결합을 하고 있는 전자들이 delocalization을 하게 되고 그 결과 분자내 전자이동이 가능할 것이라고 예측된다.<sup>22)</sup> 따라서 NBR, CR은 위의 두가지를 모두 만족하고 있기 때문에 다른 고무에 비해 저항이 낮다고 생각된다.

Fig. 10~11은 온도변화에 따른 충전제-고무 가황체들의 비저항값이다. CR, NBR 모두 온도의 변화에 따른 저항값의 변화는 미비하지만 온도의 상승에 따라 약간의 저항값 감소가 보여짐을 알 수 있다. 그리고 충전제의 증가에 따른 비저항의 감소는 온도가 상승하여도 같은 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

Jana 등<sup>23)</sup>의 연구에서 온도가 상승하면 전기저항 또한 상승한다. 이는 2~30phr의 소량의 충전제가 고무 내에서 배열되어 있기 때문에 온도에 민감하게

반응하여 충전제 연쇄간의 거리와 입자간의 거리가 멀어지기 때문이라고 하였다.

그러나 본 실험의 결과를 보면 온도 의존성이 크지 않은 것으로 나타나고 있는데 이는 과량의 충전제의 첨가로 온도가 상승하여도 입자 수가 많기 때문에 열팽창되어도 그 거리가 저항의 변화를 보일만큼 멀어지지 않기 때문이라고 생각한다. 따라서 기존의 이론들은 소량의 충전제를 배합하였을 때에는 온도에 따른 다른 저항값을 나타내고 있으나 과량의 충전제를 배합하면 그 이론이 적용되지 않는다고 생각한다.

#### 4. 표면특성

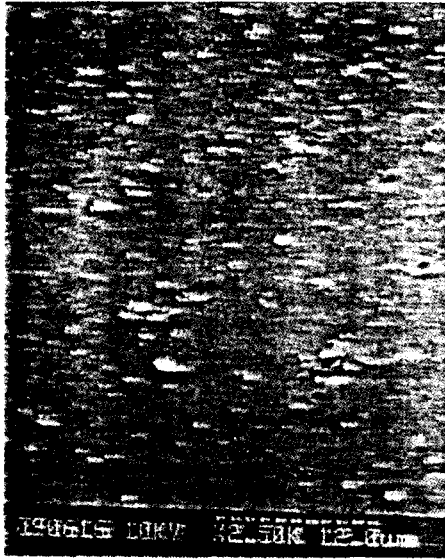
전기적 특성에 영향이 있을 것이라고 생각되는 고무내 충전제들의 분산 상태를 SEM으로 관찰하였다.

Fig. 12~13에 충전제 함량에 따른 SEM사진을 나타냈다. 사진에서 어두운 부분은 고무이고 밝은 부분은 도전성 충전제인 magnetite이다. SEM사진의 분석에서 특징적인 현상은 충전제가 연속적으로 연결된 network 구조를 형성하나 충전제의 양이 고무에 비해 적을 때는 고무가 연속상으로 존재하고 충전제의 양이 점차 많아질수록 충전제가 연속적으로 존재한다. 50phr보다 200phr의 충전제를 넣은 고무에서 충전제간의 거리가 가까게 나타났으며 그 결과 저항치도 낮게 나타났다. 또한 혼련과정에서 충전제의 배합에 어려움을 겪은 CR이 NBR보다 분산상태가 좋지 않게 나타났다. 따라서 magnetite를 변량 배합한 NBR의 분산이 가장 좋다. 특히 200phr에서 가장 균일한 분산상태를 보이고 있다.

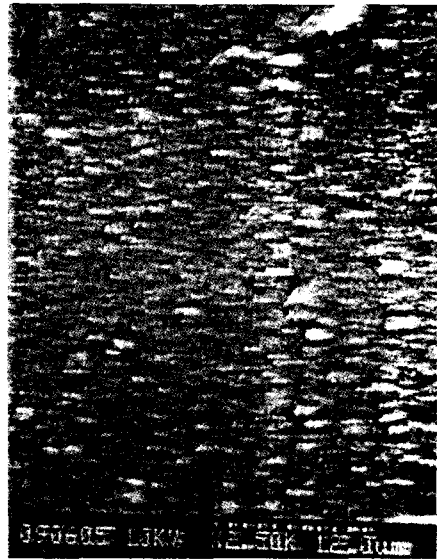
이것을 전기적 특성과 비교해 보아도 전체적으로 충전제가 골고루 분산된 고무의 저항이 낮게 나타났다.

전체적으로 볼 때 고무용 룰에서 균일한 혼련이 어렵지만 혼련작업시 균일한 분산을 할 수만 있다면 더욱 우수한 전기적 특성을 갖는 도전성고무를 얻을 수가 있다고 생각된다.

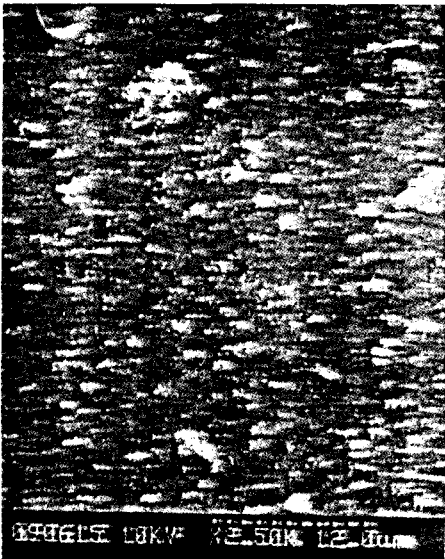




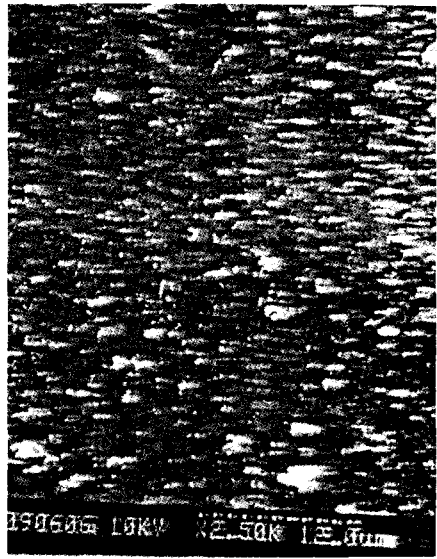
(a) 50phr



(b) 100phr



(c) 150phr



(d) 200phr

Fig. 12. SEM photographs of magnetite-filled CR compounds.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 절연체로만 알려진 고무 즉 CR과 NBR에 강자성을 띠는 도전성 충전제인 magnetite를

변량 배합하여 혼합분산계 도전성고무를 제조하였다. 고무에는 없는 전기적인 특성을 얻고 충전제 본연의 성격인 보강성을 향상시킬 목적으로 각 충전제의 함량에 따른 가황체의 가황특성과 물리적특성, 전기적

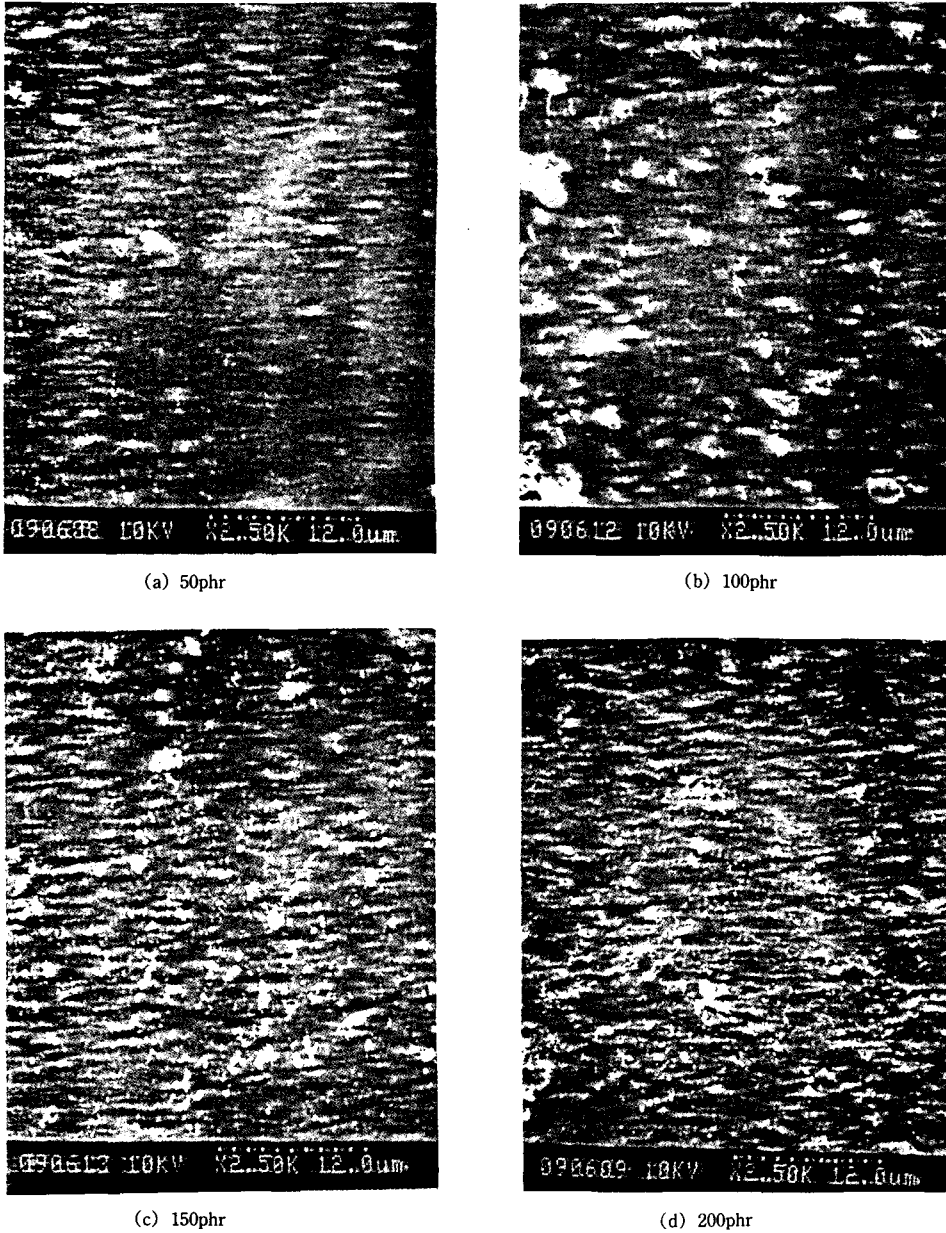


Fig. 13. SEM photographs of magnetite-filled NBR compounds.

특성 및 고무상에서의 충전제의 morphology를 SEM으로 관찰하였다. 그리고 가황특성, 물성변화, 가공성 등을 비교 검토하여 우수한 전기적 특성과 물성향상을 위하여 최적조건을 구하였으며 다음과 같은

결론을 얻었다.

1. Oscillating disk rheometer에 나타난 각 가황체의 특성은 충전제가 혼입되지 않은 고무는 평탄곡선을 나타내었으나 충전제의 양이 많아질수록 상승

곡선을 나타내었다.

2. 물리적 특성에서 인장강도가 CR에서는 50phr에서 최고의 강도를 보이다 점차로 감소하고 NBR에서는 충전제양의 증가시 강도도 증가한다. 100%인장응력은 CR, NBR 모두 충전제 배합량이 증가할 수록 응력도 증가하나 CR쪽의 증가폭이 월등하며 신장율은 전반적으로 인장응력이 높을수록 신장율은 낮아진다. 인열강도는 모두 100phr에서 최고치를 보이며 그 이후는 점차 감소한다. 반발특성은 충전제의 양이 많아질수록 나쁘게 나타나고 있다.

3. 전기적 특성은 충전제의 양이 증가 할 수록 충전제 입자간의 간격이 가까워져 비저항이 감소하며 온도의 영향은 과량의 충전제의 혼입으로 충전제의 배열에 영향을 주지 못하여 온도상승에 따라 비저항의 변화는 거의 없다.

4. 고무에 분산된 충전제의 morphology를 관찰한 결과 비교적 고른 분포를 보이며 충전제의 양이 증가될 수록 충전제간 거리가 짧아지고 있음을 보여준다.

이상의 결과로부터 도전성고무의 가황체에서 낮은 비저항을 얻기 위해서는 CR, NBR 모두 150phr을 혼입하였을 때가 물성과 도전성이 가장 우수하다.

저자 중 이영만은 1994년도 한국고무학회 신양장학회 장학생입니다. 한국고무학회 신양장학회에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. D. K. Kim, S. D. Seul, and J. E. Sohn, *J. of the Korean Ins. of Rubb. Ind.*, **22**, 324 (1987).
2. D. J. Moon, D. K. Kim, and S. D. Seul, *J. of the Korean Ins. of Rubb. Ind.*, **24**, 11 (1989).
3. J. U. Lee, W. K. Kim, and B. H. Kim, *J. of the Korean Ins. of Rubb. Ind.*, **21**, 121 (1986).
4. Y. W. Park, *Polymer(Korea)*, **12**, 315 (1988).
5. 西澤仁, *日本ゴム協會誌*, **46**, 688 (1973).
6. Bridge Stone, *Polymer-Lithium 이차전지*, OHM, p. 112, 1987.
7. 淺田泰司, *日本ゴム協會誌*, **59**, 18 (1986).
8. 丹羽利夫, 一色節也, *日本ゴム協會誌*, **48**, 409 (1975).
9. R. D. Kusy and D. T. Tunner, *J. Appl. Polym. Sci.*, **17**, 1631 (1973).
10. C. H. Jun, "PVC-Magnetite 혼합분산계의 전기 전도성에 관한 연구", 1986.
11. P. B. Jana and S. K. De, *Polym. Comm.*, **32**, 376 (1991).
12. 許東燮, *韓國고무學會誌*, **24**, 300 (1989).
13. 金駿洙, *韓國고무學會誌*, **16**, 65 (1981).
14. 許東燮, *韓國고무學會誌*, **20**, 205 (1985).
15. ASTM D3190-86 ; Standard Test Methods for Rubber-Evaluation of General-Purpose CR.
16. ASTM D3187-85 ; Standard Method for Rubber-Evaluation of NBR.
17. 朴根植, 崔世永, *韓國고무學會誌*, **29**, 113 (1994).
18. ASTM D2084-75 ; Tentative Methods for Measurement of Curing Characteristics with the Oscillating Disk Cure Meter.
19. SRIS 3102-1977 ; Measurement of Curing Characteristics with Cure Meter.
20. KSM-6518 ; 가황 고무의 물리적 시험방법
21. Borders, A. M. and Juve, R. D. ; *Ind. Eng. Chem.*, **38**, 1066 (1946).
22. J. Y. Kim, *Polymer(Korea)*, **12**(4), 331 (1988).
23. P. B. Jana, S. K. De, S. Chaudhuri and A. K. Pal, *Rubber Chem. Technol.*, **65**, 7 (1992).