

Journal of the Korea Institute of Rubber Industry

Vol. 30, No. 3, 1995

Printed in Republic of Korea

導電性고무의 製造 및 物性에 關한 研究 (II)

—Barium Ferrite 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 (II)

—Barium ferrite System Conducting Rubber—

Young-man Lee, Ju-ho Yun*, Sei-Young Choi

Department of Chemistry, Chonju University, Chonju, Korea

*National Industrial technology Institute, Seoul, Korea

ABSTRACT

To make filler loaded conducting rubber which has excellent electronical and physical properties, CR and NBR were mixed with barium ferrite($BaO \cdot 6Fe_2O_3$).

From the result of this study, vulcanization characteristics shows that curve is upgraded as the filler concentration increases and CR has higher torque than NBR. In physical properties, elongation being higher, modulus comes to decrease.

Tear strength gradually decrease after showing the maximum point when is in the 100phr in CR. Resilience is not good to cause the increase in filler concentration. In electrical properties, conductivity becomes low when filler concentration increase. The increase of voltage makes a conductivity grown, but the rate change is weak.

The influence of temperature hardly changes on increasing temperature.

The morphology and the dispersion of a conductivity filler in vulcanizates through SEM were good. The more filler concentration increases, the shorter the particle interval is.

I. 서 론

최근 전기 전도도가 높은 고분자재료들이 개발됨으로써 고분자재료에 대한 기존 관념이 변화를 가져와 금속을 대체할 수 있는 고분자 제품들의 출현이 가능해지고¹⁾ 또한 금속화합물보다 가볍고 합성이나 가공

이 용이한 도전성 유기고분자 재료도 개발되어 학계나 산업체에 많은 관심을 끌고 있다.^{2,3)}

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 복합재료가 있다.^{4,5)} 도전성고무는 원료고무의 분자구조나 가공방법의 큰 개질 없이도 가능하다는 점에서 도전성 충전제의 배합, 분산에 의한 것이 주로 생산, 이용되고 있다. Carbon black 또는 도전성 금속분을 분산시킨 고무 또는 플라스틱 등의 고분자재료의 도전성 mechanism은 복잡하고, 이에 관한 여러 가지 학설이 있으나 다음의 3가지로 크게 요약할 수 있다.

- Carbon black이나 도전성 금속분 입자의 연쇄를 따라 탄소입자 표면의 π 전자가 연쇄를 이동하므로서 도전된다는 도전통로설.

- 입자간 상호접촉없이도 polymer matrix에 분산된 충전제 입자의 간격 사이를 전자가 jump 해서 도전된다는 tunnel 효과설^{6~8)}

- 충전제 입자간에 생기는 높은 전계강도에 의한 emission 전류에 의한다는 전계방사설⁹⁾ 첫번째 경우는 충전제 입자가 상호간에 연쇄를 형성하던가 수 Å 이내의 거리에 근접해 있을 필요가 있다. 이 모델에 있어서는 연쇄를 형성하기 위해 필요한 양의 충전제가 배합되어야 비로소 도전 현상이 나타나는 것으로 된다. 그러나 최근 이러한 충전제 입자의 연쇄형성이란 단순한 도전통로설보다는 넓게 분산된 충전제 입자 간을 전자가 점프하는 것에 의해 도전성이 생성된다는 설이 더욱 설득력 있게 설명되고 있다. 연쇄통로설과 tunnel 효과설의 병합에 의한다고 하는 주장도 있지만 고무에 carbon black을 분산 배합한 계에서는 일 반적으로 carbon black입자의 연쇄에 의한 mechanism으로 받아들여지고 있다. 고분자 혼합분산계의 전기 전도에 영향을 주는 인자로는 혼합분산계의 morphology, polymer종류, 시료의 길이, 온도, 충전제의 첨가농도, 성형압력, 충전제와 고분자의 구조 등이 보고되고 있다.¹⁰⁾

Ferrite는 고무, 플라스틱에 혼입되어 전파 흡수체 등에 응용되고 있으며 대표적인 것은 barium ferrite ($Ba\cdot ferrite$)등의 산화물계의 분말 자성재료로 일반식은 $MO\cdot 6Fe_2O_3$ ($M: Ba, Sr, Pb$ 등 2가 금속)이다.¹¹⁾

한편 유기고분자 화합물 즉 천연고무나 합성고무의

전기전도도는 $10^{-10} (\Omega cm)^{-1}$ 부근 또는 그 이하로서 완전한 부도체의 성질을 갖고 있다.¹²⁾ 이것은 탄소 원자가 sp^3 혼성궤도의 전자구조를 갖는 C-C 포화 결합으로 되어 있기 때문이다. 불포화도가 적은 고무일수록 전자의 활동이 적어 도전성도 상당히 낮다. 그러므로 NBR, CR과 같은 강한 극성기를 갖는 극성 고무는 저항이 $10^{-10} (\Omega cm)^{-1}$ 로 낮다.¹³⁾

CR(chloroprene rubber)은 결정성이 극히 크며 결합 염소 때문에 극성 고무이며 CR가황체는 diene 계 고무보다 우수한 내열성, 내유성, 내오존성, 물리적 특성이 좋다.^{14,15)}

NBR은 아크릴로니트릴과 부타디엔을 공중합시킨 내유성이 뛰어난 고무로서 비결정성이며 극성기 CN때문에 극성 고무로 분류되고 일반적으로 아크릴로니트릴 함량이 높을수록 내유성, 내마모성, 내열노화성, 인장응력, 인장강도, 가스비투과성이 좋아지나 아크릴로니트릴함량이 높은 만큼 고무 분자간 결합력이 커지기 때문에 경도가 증가하고 내한성이 나빠진다. 따라서 이들 CR, NBR 혼합분산계 도전성고무는 성형 가공성과 유연성, 내부식성, 가소성, 탄성이 우월한 점, 연화하기 어렵고 고온에서 유동하기 어려운 점 등의 잇점을 바탕으로 하여 도전성 재료로서 각광을 받게 될 것이다.

본 연구에서는 이러한 특성을 바탕으로 전자기 차폐재료, 코로라 방전 방지제, 전도성 가스켓, 전자 seal 재료, 도전성고무를, 전력케이블 등의 재료에 응용하기 위해 diene계이며 극성 polymer이고 전기적 특성이 우수한 CR과 NBR 고무에 도전성 충전제로 분산이 용이하고 전기적 비저항이 우수한 barium ferrite의 충전제를 변량 배합하여 혼합분산계 도전성고무 시료를 제조하여 도전성고무로서 우수한 전기적 성질과 물성을 얻기 위하여 충전제가 가황과정에 미치는 영향¹²⁾ 및 가황 특성과 적정 가황시간을 측정하였고, 물리적 특성과 resistance meter를 이용하여 충전제의 양 변화와 온도 변화에 따른 비저항을 비교 검토하였다. 그리고 CR과 NBR에서 magnetite의 변량에 따른 분

Table 1. Recipe for CR, NBR compound

(unit:phr)

Ingredients	Recipe No.	C-0	C-B1	C-B2	C-B3	C-B4	N-0	N-B1	N-B2	N-B3	N-B4
CR	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—
NBR	—	—	—	—	—	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	3	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	1.5
MgO	4	4	4	4	4	—	—	—	—	—	—
sulfur	—	—	—	—	—	1	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	0.7
Barium ferrite	—	50	100	150	200	—	—	100	150	200	—

산상태를 scanning electron microscope (SEM)을 이용 관찰한 후 전기저항에 미치는 영향을 관찰하였다.

II. 실험

1. 실험 재료 및 시약

- 1) Chloroprene rubber(CR): 일본 전기화학공업(주), DENKA S-40
- 2) Acrylonitrile-butadiene rubber(NBR): 일본 Zeon(주), Nippol N-32, Nitrile 함량 31%
- 3) Barium ferrite($Ba_0.6Fe_2O_3$): 자화전자(주)
- 4) Zinc oxide (ZnO): 한일화학(주)
- 5) Stearic acid: 천광유지(주)
- 6) Magnesium oxide (MgO): 일본 Kyowa 화학사의 Kyowa Mag-10
- 7) Diethylthiourea(DEU): 일본 Ouchi Shinko 화학사
- 8) Sulfur: 일본 관동화학
- 9) N-*tert*-butyl-2-benzothiazyl sulfenamide (TBBS): 미국의 Am Cynamid사

2. 실험장치 및 실험방법

2. 1 배합표

본 실험에서 적용한 고무 배합은 table 1과 같다.^{16,17)}

2. 2 혼련 및 시험편 제조¹⁸⁾

혼련은 지름 8", 길이 20", 회전비 1:1.25의 고무용 roll mill을 사용하였고 약품의 투입 순서는 zinc oxid, stearic acid, magnesium oxide, sulfur, DEU, TBBS 그리고 도전성 총전체인 barium ferrite순으로 하여 분산이 잘 되도록 혼련한다.

전체 배합에 소요된 시간은 15분으로 통일하였고 oscillating disk rheometer (ODR)에서 측정한 적정 가황시간에 따라 물성실험을 위한 시험편을 열프레스에서 $140 \times 120 \times 2$ mm로 제조하였다. 이와같은 조작을 Fig.1에 나타내었다.

2. 3 Oscillating disk rheometer(ODR)에 의한 가황특성시험^{19,20)}

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

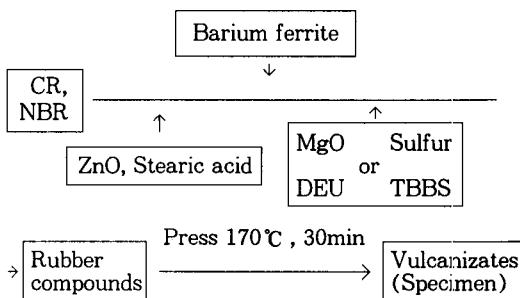


Fig. 1. Preparation of rubber-filler vulcanizates.

2.4 물리적 특성 시험²¹⁾

인장시험은 Monsanto사의 model Tensometer-10을 사용하여 KS 3호형 시험편으로 인장속도는 $500 \pm 25\text{mm/min}$ 으로 하여 인장강도, 100% 인장응력 및 신장율을 측정하였고, 인열시험은 B형(직각형)시험편으로 50mm/min 의 인장속도로 하여 T_R 을 구하였다.

반발탄성 시험 Lüpke식을 사용하였으며, 측정용 시험기는 Yasuda사의 model을 이용하였다.

2.5 전기적 특성 시험¹⁸⁾

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 scanning electron microscope(이하 SEM)을 사용하여 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 가황특성

본 실험에서의 ODR 결과치는 time-torque의 관계로 나타내고 있으며 일반적인 경우는 가황온도를 150°C 로 설정하여 측정하였지만 본 연구에서는 충전제의 다량 첨가로 cure curve가 maximum torque가 없는 계속적인 상승곡선을 나타내고 장시간 가황을 요구하기 때문에 170°C 의 온도 조건에서 시험을 행하였다.

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

Jana와 De¹²⁾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 상승곡선을 나타내고 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 상승폭이 크게 나타나고 있으며, NBR의 경우는 barium ferrite의 배합량이 점차로 증가하여도 거의 torque의 변화는 없고 오히려 충전제를 첨가하지 않은 경우보다 낮은 torque를 보인다. 이는 충전제가 가황특성에 미치는 영향의 여러 인자 중에 충전제 입자크기의 영향으로 생각된다.

본 실험에서 충전제가 함유되지 않은 경우는 가황곡선의 형태가 평탄형이고 충전제의 양이 증가 할수록

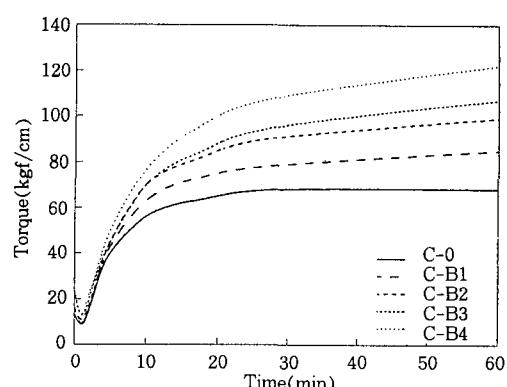


Fig. 2. Cure characteristics for barium ferrite-filled CR compounds. curing temperature, 170°C .

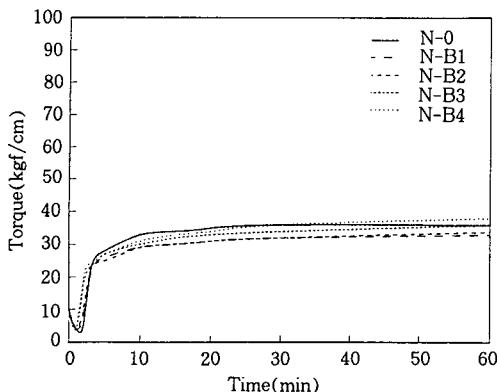


Fig. 3. Cure characteristics for barium ferrite-filled NBR compounds. curing temperature, 170°C.

상승형으로 변해가고 있다. 그리고 충전제가 많아질수록 고무가 탄성체의 성질에서 애보나이트성질에 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, CSM 등이 인장특성은 양호하고 비결정성 고무인 SBR, NBR, EPDM은 인장강도가 떨어진다.²²⁾

Fig. 4는 충전제를 CR과 NBR에 각각 변량 배합한 가황고무의 인장강도를 시험한 결과이다. 먼저 CR에서 충전제를 50phr 함유한 C-B1은 99kgf/cm²로 최고의 인장강도를 나타냈고 충전제의 양이 100phr, 150phr, 200phr로 증가될수록 인장 강도가 점차로 떨어지고 오히려 150phr 이상에서는 충전제를 첨가하지 않은 CR과 인장강도가 비슷하거나 더 낮게 나타난다. 따라서 C-O가 81kgf/cm²로 충전제가 100phr 까지는 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-B4가

28kgf/cm²로 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 따른 가황고무의 100% modulus로서 CR, NBR 모두 충전제의 양이 증가 할 수록 인장응력이 증가하고 있는 것을 보여주고 있으며 충전제가 함유되지 않은 고무를 기준으로 볼 때 CR의 증가폭이 현저히 크다.

이와같은 결과로 볼 때 충전제가 NBR에 배합될 때에는 보강제의 역할을 한다는 것을 보여주고 있으며, CR에서는 100phr까지는 보강성을 보이고 있음을 알 수 있고 이를 통하여 고무와 충전제의 상호작용이 원료고무 종류에 따라 서로 다르게 나타난다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 도전성 충전제인 barium ferrite를 배합한 고무 가황체의 신장율로 CR에서는 100phr 배합을 한 경우인 C-B2가 최고의 신장율인 786%를 보이나 NBR은 N-B1인 50phr에서 854%로 최고치를 보인다.

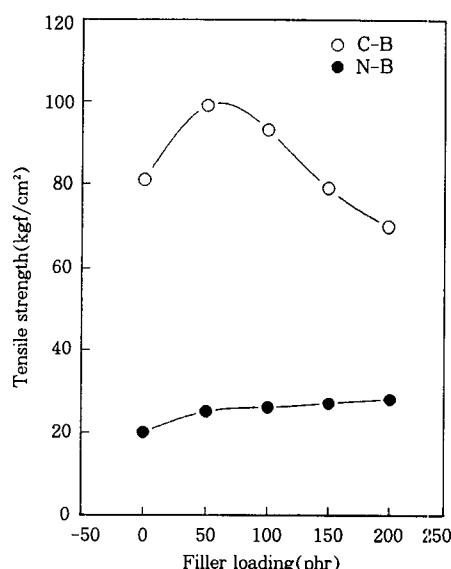


Fig. 4. Tensile strength of CR and NBR vulcanizates.

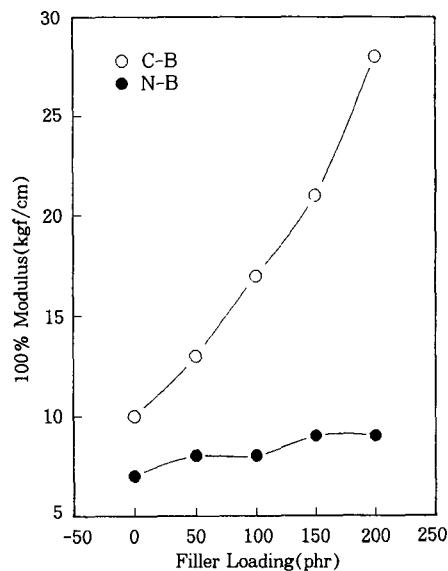


Fig. 5. 100% Modulus of CR and NBR vulcanizates.

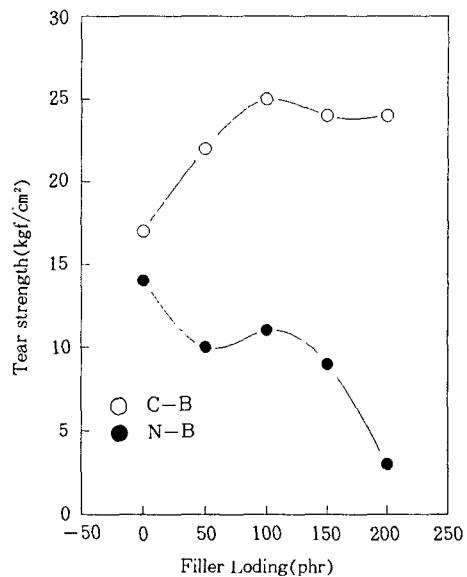


Fig. 7. Tear strength of CR and NBR vulcanizates.

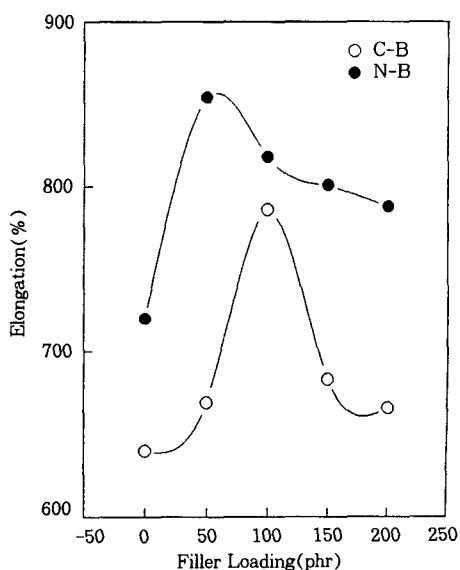


Fig. 6. Elongation at break of CR and NBR vulcanizates.

전반적으로 볼 때 인장응력이 높을 수록 신장율은 낮아지는 경향을 볼 수 있다.

충전제의 변량 배합에 따른 가황고무의 인열강도 결

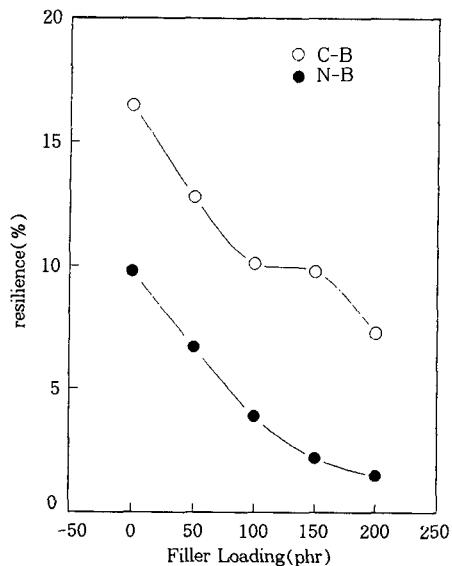


Fig. 8. Resilience of CR and NBR vulcanizates.

과는 Fig. 7에 보여주고 있다. 충전제 무배합인 CR과 NBR의 인열강도는 각각 $17\text{kgf}/\text{cm}^2$, $14\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 인열강도가 약해 균열되기가 쉽다. 그러나 충전제의 혼입이 됨으로 해서 인열강도가 증가하다가 100phr에서 C-B2, $25\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 최고의 인열강도를 보이다

가 100phr이 지나면서 점차로 인열강도가 떨어진다. 그러나 NBR에 barium ferrite를 첨가하였을 때는 오히려 NBR 본래의 인열강도 보다 낮게 나타났다. 결국, N-B계열에서는 충전제의 역할만을 한다고 생각된다. 그리고 CR 결정성 고무에서의 보강 효과가 더 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

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

충전제의 함량이 증가 할 수록 반발탄성을 떨어져 NBR의 경우는 1.5%로 매우 낮게 나타나고 있다.

3. 전기적 특성

충전제 함량에 따른 비저항값을 Fig. 9~11에 나타냈다. Fig. 9는 온도 293K에서 충전제의 농도와 측정 전압을 각기 달리하여 측정한 비저항값이다. 10V나 20V에서 모두 충전제의 농도가 증가 할 수록 비저항값이 작아지는 것을 볼 수 있다. CR, NBR이 모두 10^{12} 에서 10^9 으로 작아졌는데, 전압의 변화에 대한 비

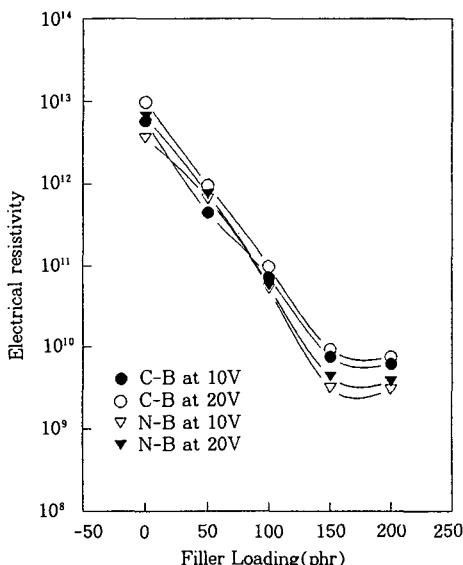


Fig. 9. Electrical resistivity for various voltage in CR and NBR vulcanizates at 298K.

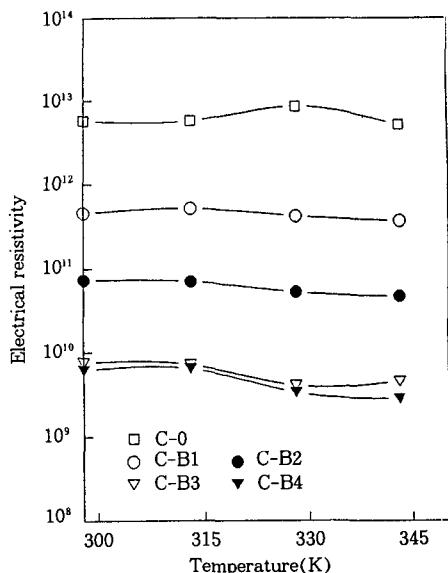


Fig. 10. Electrical resistivity for various temperature in barium ferrite-filled CR vulcanizates at 10V.

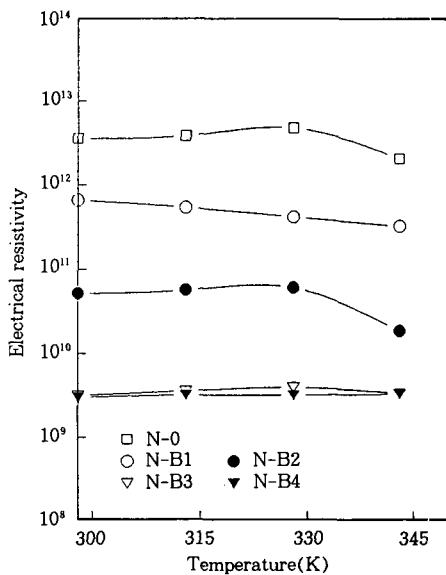


Fig. 11. Electrical resistivity for various temperature in barium ferrite-filled NBR vulcanizates at 10V.

저항의 변화는 전압이 10V에서 20V로 전압이 높아질 때 전체적으로 비저항값의 상승을 보여준다. Fig. 9에

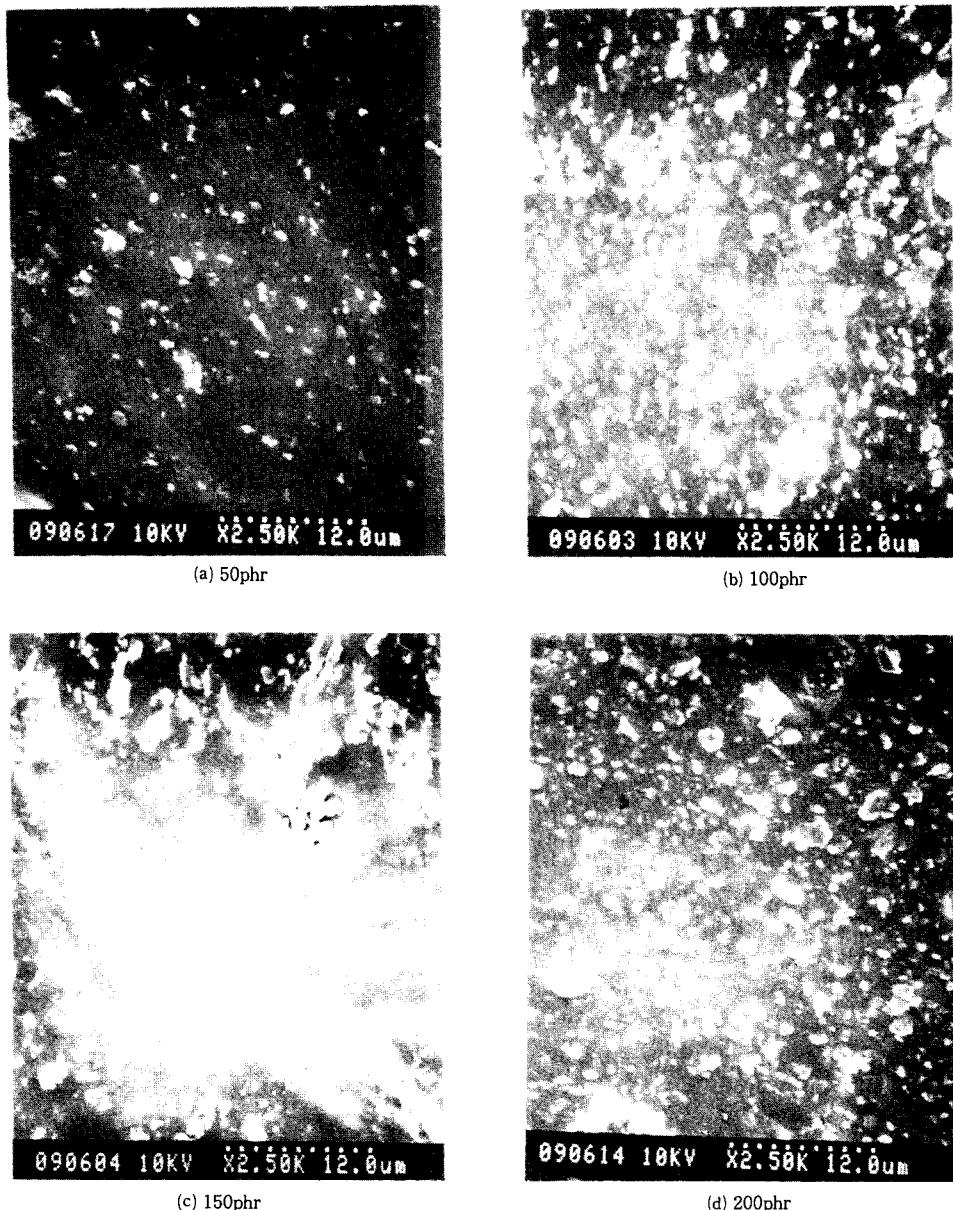


Fig. 12. SEM photographics of barium ferrite-filled CR compounds.

의하면 충전제의 농도가 낮은 시료에서는 비저항이 매우 크며, 충전제의 농도가 증가함에 따라 비저항은 감소하고 있음을 보여준다. 비극성 고무는 천연고무와 닮은 양호한 전기적 성질을 갖고 있다. 특히, 불포화

도가 적은 고무일수록 전자의 활동이 적어 절연성이 높아지게 된다. 그러므로 NBR, CR과 같은 강한 극성기를 갖는 극성 고무는 저항이 10^{10} order로 낮고 유전율이나 역율은 상승한다.¹³⁾

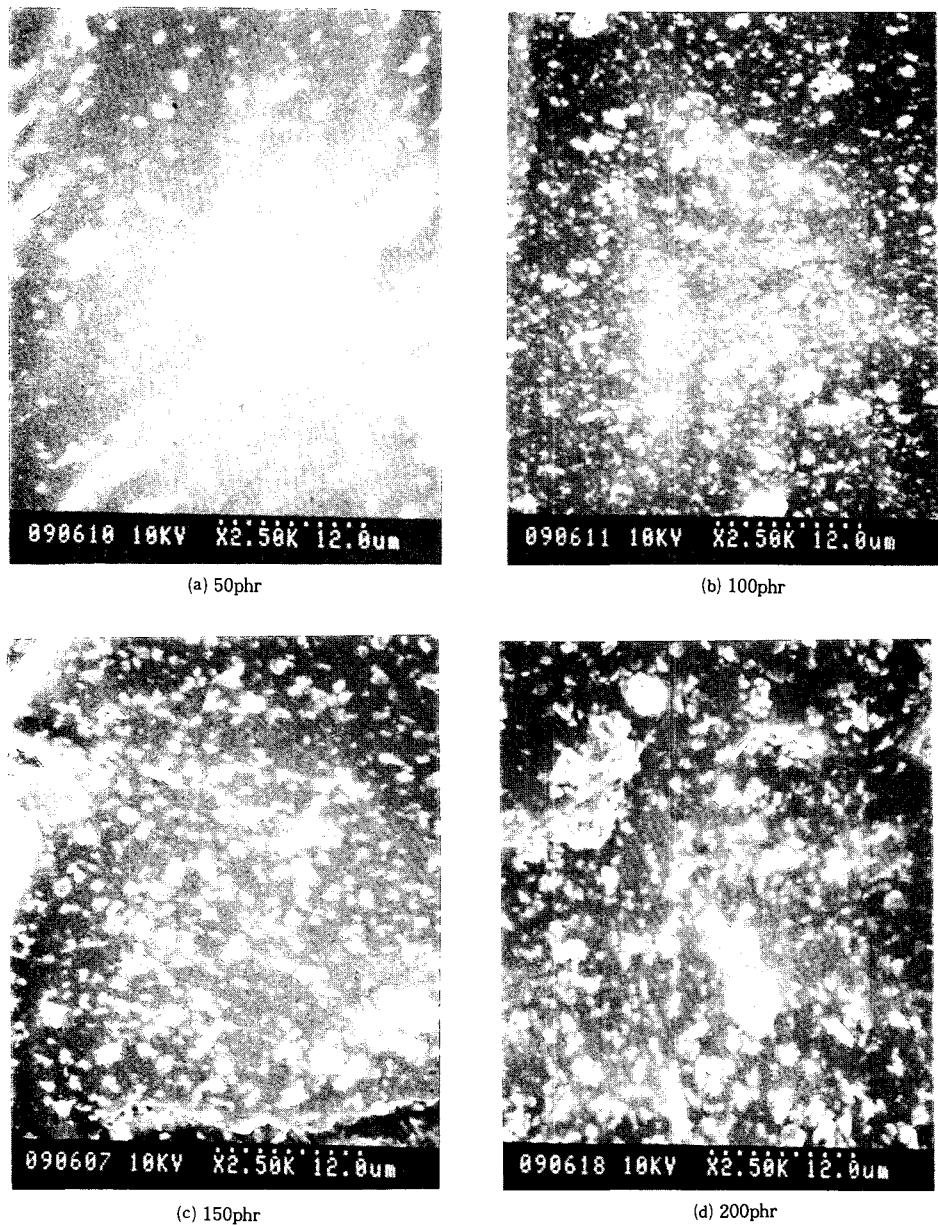


Fig. 13. SEM photographics of barium ferrite-filled NBR compounds.

고분자 물질이 공액이중결합을 가지게 되면 전자들이 delocalization을 하게 되고 그 결과 분자내 전자 이동이 가능할 것이라고 예측된다.²³⁾ 따라서 NBR, CR은 위의 두 가지를 모두 만족하고 있기 때문에 다

른 고무에 비해 전기 저항값이 낮다고 생각된다. Fig. 10~11은 온도변화에 따른 총전제-고무 가황체들의 비저항값이다. 그럼에서 보는 바와같이 온도가 상승하여도 비저항의 변화가 거의 없이 비슷하게 나타나고

있다. 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 등²⁴⁾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 열팽창 되어도 그 거리가 저항의 변화를 보일 만큼 멀어지지 않기 때문이라고 생각된다. 따라서 기존의 이론들은 소량의 충전제를 배합하였을 때에는 온도에 따른 다른 저항값을 나타내고 있으나 과량의 충전제를 배합하면 그 이론이 적용되지 않는다고 생각된다.

4. 표면특성

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

Fig. 12~13에 충전제 함량에 따른 SEM사진을 나타냈다. 사진에서 어두운 부분은 고무이고 밝은 부분은 도전성 충전제인 barium ferrite이다. SEM사진의 분석에서 특징적인 현상은 충전제가 연속적으로 연결된 network 구조를 형성하나 충전제의 양이 고무에 비해 적을 때는 고무가 연속상으로 존재하고 충전제의 양이 점차 많아질 수록 충전제가 연속적으로 존재한다. 50phr보다 200phr의 충전제를 넣은 고무에서 충전제간의 거리가 가깝게 나타났으며 그 결과 저항치도 낮게 나타났다. 또한 혼련과정에서 충전제의 배합에 어려움을 겪은 CR이 NBR보다 분산상태가 좋지 않게 나타났고 또한 barium ferrite가 부분 부분 덩어리지어 충전제가 고립된 상태를 보인다. 150phr의 barium ferrite를 분산시킨 CR에서 가장 좋지 않은 분

산상태를 보인다.

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

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

IV. 결 론

본 연구에서는 절연체로만 알려진 고무 즉, CR과 NBR에 강자성을 띠는 도전성 충전제인 barium ferrite를 변량 배합하여 혼합분산계 도전성고무를 제조하였다. 고무에는 없는 전기적인 특성을 얻고 충전제 본연의 성격인 보강성을 향상시킬 목적으로 각 충전제의 함량에 따른 가황체의 가황특성과 물리적 특성, 전기적 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. ODR에 나타난 각 가황체의 특성은 충전제가 혼입되지 않은 고무는 평탄곡선을 나타내었으나 충전제의 양이 많아질 수록 상승곡선을 나타내었다.

2. 물리적 특성에서 인장강도가 CR에서는 50phr에서 최고의 강도를 보이다 점차로 감소하고 NBR에서는 충전제 양의 증가시 강도도 증가한다. 100%, 200%, 300% 인장응력은 CR, NBR 모두 충전제 배합량이 증가 할 수록 응력도 증가하나 CR의 증가폭이 월등히 크며, 신장율은 전반적으로 인장응력이 높을수록 낮아진다. 인열강도는 CR-barium ferrite계의 100phr 배합에서 최고치를 보이며 그 이후는 점차 감소한다. 그러나 NBR-barium ferrite계는 0 phr의 NBR보다 낮게 나타났다. 반발탄성은 충전제의 양이 많아질 수록 나쁘게 나타나고 있다.

3. 전기적 특성은 충전제의 양이 증가 할 수록 충전

제 입자간의 간격이 가까워져 비저항이 감소하여, 온도의 영향은 과랑의 충전체의 혼입으로 충전체의 배열에 영향을 주지 못하여 온도상승에 따라 비저항의 변화는 거의 없다.

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

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

참 고 문 헌

1. Y. W. Park, *Polymer(Korea)*, **12**, 315(1988)
2. 西澤仁, 日本ゴム協會誌, **46**, 688(1973)
3. Bridge Stone, Polymer-Lithium 이차전지, OHM, p.112, 1987
4. 淺田泰司, 日本ゴム協會誌, **59**, 18(1986)
5. 丹羽利夫, 一色節也, 日本ゴム協會誌, **48**, 409 (1975)
6. Polley, M. H., Boonstra B. B. S. T., *Rubber Chem. Technol.*, **30**, 170(1957)
7. Frenkel, J., *Physical Review*, **36**, 1604(1930)
8. Voet, A., *Rubber Age*, 95(No.5), 746(1964)
9. Van Beek, L. K. H., *J. Appl. Polymer Sci.*, **6**(24), 651(1962)
10. C. H. Jun, "PVC-Magnetite 혼합분산계의 전기 전도성에 관한연구", 1986
11. 福山泰夫, 垣生茂, 林高良, 日本ゴム協會誌, **52**, 82 (1979)
12. P. B. Jana and S. K. De, *Polym. Comm.*, **32**, 376 (1991)
13. 許東燮, 韓國고무學會誌, **24**, 300(1989)
14. 金駿洙, 韓國고무學會誌, **16**, 65(1981)
15. 許東燮, 韓國고무學會誌, **20**, 205(1985)
16. ASTM D3190-86 ; Standard Test Methods for Rubber-Evaluation of General-Purpose CR
17. ASTM D3187-85; Standard Method for Rubber-Evaluation of NBR
18. 朴根植, 崔世永, 韓國고무學會誌, **29**, 113(1994)
19. ASTM D2084-75; Tentative Methods for Measurement of Curing Characteristics with the Oscillating Disk Cure meter
20. SRIS 3102-1977; Measurement of Curing Characteristics with Cure meter
21. KSM-6518; 가황 고무의 물리적 시험방법
22. Borders, A. M. and Juve, R. D.; *Ind. Eng. Chem.*, **38**, 1066(1946)
23. J. Y. Kim, *Polymer(Korea)*, **12**(4), 331(1988)
24. P. B. Jana, S. K. De, S. Chaudhuri and A. K. Pal, *Rubber Chem. Technol.*, **65**, 7(1992)