

## Styrene Butadiene Rubber (SBR)/ Carbon Black 복합체의 전기저항 및 전기전도 특성

이 경 원<sup>†</sup> · 김 도 현 · 이 정 희 · 손 호 성

LG전선 연구소

(1998년 8월 18일 접수)

## Electrical Conduction and Resistance Characteristics of Styrene Butadiene Rubber (SBR) Composites Containing Carbon Black

Kyung Won Lee<sup>†</sup>, Do Hyun Kim, Jung Hee Lee and Ho Soung Sohn

LG Cable & Machinery Ltd., R&D Center, Anyang, Korea

(Received August 18, 1998)

요 약 : Styrene butadiene rubber (SBR)/ 카본블랙 복합체의 전기저항 특성과 전기전도 특성을 연구하기 위하여 표면저항, 체적저항, point to point 저항, 정전하 소멸시간 및 전기전도 실험을 4종의 카본블랙을 사용하여 실시하였다. 약 50phr의 카본블랙이 첨가되었을 때, 모든 저항값이 급격히 감소하는 임계영역 ( $R_c$ )을 나타내었다. 카본블랙이 첨가된 SBR 복합체의 전류밀도는 전기장의 증가에 따라 증가하며, 기울기 ( $dJ/dE$ )가 증가하는 임계점 ( $P_c$ )이 존재하였으며, 이때의 전기전도기구는 임계점을 기준으로 하여 낮은 전기장 영역에서는 ohmic 전도, 높은 전기장 영역에서는 공간전하 제한전도임을 알 수 있었다.

**ABSTRACT :** In order to investigate the characteristics of resistance and conduction of vulcanized styrene butadiene rubber (SBR)/ carbon black (CB) composites, surface/ volume resistivity, point to point resistance, decay time, and electrical conduction experiments with four different kinds of non-conductive carbon black were measured. When about 50phr of carbon black were loaded in SBR, all resistivities suddenly decreased and critical region ( $R_c$ ) was shown. Current densities of SBR/ CB composites showed critical point ( $P_c$ ) and increased with the electric fields. Electrical conduction mechanisms of SBR/ CB composites could be considered as the ohmic conduction at low electric fields and the space charge limited conduction (SCLC) at high electric fields, respectively.

*Keywords :* styrene butadiene rubber (SBR), carbon black, resistivity, electrical conduction.

<sup>†</sup>대표저자(e-mail : insul@cable.LG.co.kr)

## I. 서 론

고무의 보강제로 널리 사용되는 카본블랙은 각종 플라스틱의 충전제 또는 내후성 향상이나 도전성 부여, 기타 착색 등의 용도로 사용되는 경우가 일반적이다. 이중 도전성에 영향을 미치는 가장 큰 인자로는 카본블랙의 입자경, 구조 등을 들 수 있는데, 입자경이 작고, 구조가 클수록 전도성은 증가하게 되는 것으로 알려져 있다.<sup>1~4</sup> 또한, 카본블랙의 함량 증가에 따라 전기전도도가 급격히 증가하는 임계점이 존재하며, 이에 대한 기하학적 모형 및 열역학적 측면에서 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>5~10</sup> 이렇듯 카본블랙 자체의 도전성과 그 첨가에 따른 영향에 대해서는 올레핀계 절연체 및 natural rubber (NR), SBR 등과 같은 고무 재료에 이르기까지 보편적으로 널리 알려져 있으며, 특히 전선이나 반도체 재료 등과 같은 전선용 절연 또는 반도체 재료에서의 체적, 절연저항, 파괴전압, 그리고 전기전도도에 대한 많은 연구가 수행되었다. 그러나, SBR과 같은 합성고무를 소재로 사용하여 제작하는 바닥재나 정전방지 판넬과 같은 판상 제품에서 중요시되는 표면저항, point to point 저항, 정전하 소멸시간과 같은 인자들 및 전기 전도기구 그리고, 저항값간의 상관 관계 및 합성고무의 전도기구에 대해서는 학계의 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 국내 생산중인 형태상으로는 구형 (spherical type)을 갖는 비도전성 카본블랙 4종을 선정하여 (도전성 부여를 목적으로하는 기존 도전성 카본블랙과 구별하여 범용으로 생산되는 일반 퍼니스 블랙 (furnace black)을 편의상 비도전성 카본블랙이라 정의하였다.) 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 합성고무인 SBR과의 복합재료를 제조하여 표면저항, point to point 저항, 그리고, 정전하 소멸시간 (decay time)별로 그 종류와 함량에 따른 영향을 살펴보았다. 이러한 실험들은 일정량의 직류 전압을 가한 후의 저항과 전하의 이동 양상을 검토하기 위해 실시한 것이며, 카본블랙이 첨가된 SBR 가황물의 전기장 변화에 따른 전류의 흐름

과 전도 메커니즘의 변화를 알아보기 위해 전기전도실험을 수행하였다.

## II. 실험

### 1. 재 료

본 연구에서 사용한 카본블랙은 국내에서 생산되는 비도전성 카본블랙 4종이며, 베이스 레진 (base resin)으로는 SBR 1502 (금호)를 사용하였다. 카본블랙의 전도성에 영향을 미치는 대표적인 인자로 입자의 크기 (particle size)와 구조 (structure)를 들 수 있는데, 입자 크기의 측정은 표면적을 측정하여 추정하는 간접법이 일반적이며, 이중 대표적으로 질소를 흡착시켜 그 흡착된 양으로 표면적을 측정하는 방법이 있다. 카본블랙의 구조는 단위 결합체 (aggregate) 당 입자 수 혹은 중량으로 정의되고 반응조건 또는 첨가물로 조절되며 흡유 특성을 이용하여 입자와 입자 사이의 void volume을 측정함으로써 구조의 발달 정도를 측정한다. 이의 측정으로는 absorptometer를 이용하여 dibutyl phthalate (DBP) 용액을 단위 결합체간의 void volume에 흡수시켜 측정하는 방법이 대표적이며, 이는 구조의 발달 정도와 정비례하는 값을 갖게 된다. 본 실험에 사용된 카본블랙의 입자경과 구조를 Table 1에 나타내었다.

کم파운딩을 위한 ZnO, Stearic Acid를 비롯하여 필러 및 가교제의 양은 동일하게 하여 카본블랙의 종류 및 함량에 대한 영향만을 비교할 수 있도록 하였으며, 1차 혼련은 2.0L 밀폐식 혼합기 (Banbury Mixer, guix. Co.)를 이용하여 40rpm상에서 초기온도 30°C,

Table 1. Surface Area and Structure of Carbon Black(CB)

크기 구분	Nitrogen surface area(m <sup>2</sup> /g)	Value of DBP absorption(cm <sup>3</sup> /100g)
CB 1	60	133
CB 2	42	122
CB 3	100	114
CB 4	73	120

최종온도 100~120℃를 유지하였고, 투입 순서는 SBR, CB과 필러, 첨가제, 가교제의 순으로 투입하여 약 7분간 배합하였다. 이후 12" 오픈 밀 (Roll Mixer)을 이용하여 약 5분간 2차 혼련을 실시한 후 상온에서 24시간 이상 방치하여 컴파운드의 열적 안정성을 도모하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작 방법

2.1.1 저항 측정 시편의 제조

표면고유저항, 체적고유저항, point to point 저항의 측정을 위한 시편의 제조는 hot press를 이용하여 프리폼 (pre-form) 상태의 컴파운드를 155℃의 프레스에서 7분간 200kgf/cm<sup>2</sup>의 동일 압력으로 압축 성형하였다.

2.1.2 전기전도 실험 시편의 제조

전기전도 실험을 위한 시편의 제조는 압축성형을 통한 가황 작업시 시편 두께의 용이한 조절을 위해 먼저 100℃에서 1분간 용융시킨 후, 155℃의 프레스에서 7분간 200kgf/cm<sup>2</sup>의 동일 압력으로 압축 성형하였다. 두께 의존성 시험을 위한 시편의 제조는 스페이서 (spacer)를 사용하지 않고 앞서와 같이 성형 조건은 동일하게 하여 시료의 양으로 시편의 두께를 조절하였다. 실험에 쓰인 반도체 전극은 전력 케이블의 내도로 쓰이는 반도체 컴파운드를 50μm 정도의 두께를 갖도록 제작하여 진공처리한 후 사용하였다.

2.2 저항 측정

2.2.1 표면고유저항 (surface resistivity)

표면저항 (surface resistance)이란 시편의 표면에 두 전극에 가해진 직류 전압을 표면의 얇은 층 (수분이나 반도체)에 흐르는 전류로 나눈 값으로서 이는 다시 표면고유저항 (surface resistivity)으로 환산되어진다. 표면저항의 측정은 표면저항 측정용 cell인 HP 16008B와, 저항 측정계는 1×10<sup>8</sup>Ω 이하의 경우에는 Keithley 197A를, 그 이상의 경우에는 HP

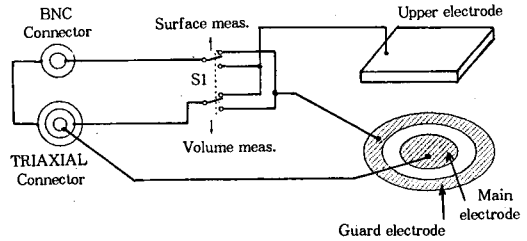


Fig. 1. Apparatus for surface resistivity measurement.

high resistance meter를 이용하여 측정하였다. 측정 장치는 Fig. 1과 같은 측정용 cell에 전압원, 미소 전류계 및 접지회로로 구성되어지며, 전체적인 실험 방법은 ASTM D257에 의거하였으며, 측정하는 시편의 크기는 120×120×2.4mm로 하고, 저항값이 안정화 되는 시간으로써 cell에 시편을 장착한 후 60초가 경과한 뒤의 값을 읽어 기록하였다.

2.2.2 Point to Point Resistance

Point to point resistance란 두 전극을 사용하여 일정 지점간에 흐르는 표면저항을 측정하는 것으로서 시편상태가 아닌 실제로 사용되는 제품 상태에서의 저항을 측정하는 방법이기 때문에 시편상의 측정값보다 실질적인 평가지표로 볼 수 있다. 본 실험에서의 측정장비로는 3M의 701 Test Kit (Megohmmeter)를 사용하였으며, 측정 규격은 National Fire Protection Association (NFPA) 99에 의거하여 실험하였다. 측정 장치의 개략도와 측정순서를 Fig. 2에 나타내었다.

측정은 305×610 (mm)의 시트제품을 Fig. 2와 같이 position A+(①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥), position B+(①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥)의 순서로 측정한 후 이를 평균한 값을 결과로서 기록하였다. 이때 기준 전극 A와 B의 위치는 끝단으로부터 5×5mm의 자리에 놓여지게 된다.

2.2.3 정전하 소멸시간 (Decay Time)

정전하 소멸시간 (decay time)이란 전압 인가에 따른 정전하의 소멸시간을 말하는 것으로 (+), (-) 각각 5kV씩을 시편에 인가한 후 10% 혹은 0%의 잔류 정전하가 남을 때까지 걸리는 시간을 말한다. 본

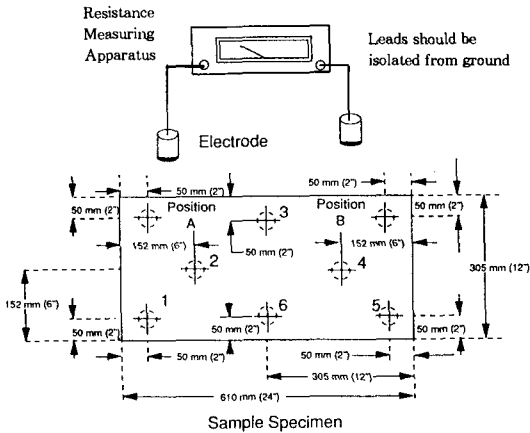


Fig. 2. Apparatus and method for point to point resistance measurement.

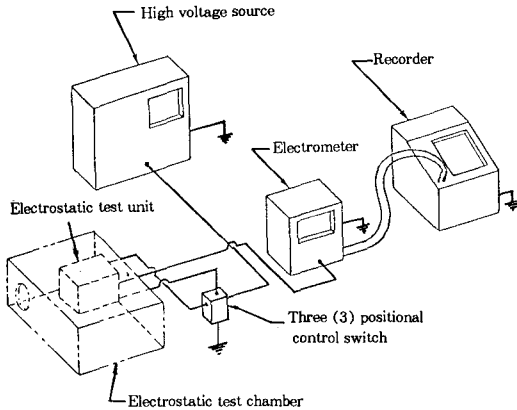


Fig. 3. Schematic diagram of static decay meter.

실험에서는 측정 설비로 ETS static decay meter (Model 406C)를 사용하였으며, Fig. 3에 개략도를 나타내었다. 실험방법은 NFPA 99를 따랐으며, 시편의 크기는 3"×3"×1.5"로 하여 electrostatic test chamber 안에 장착한 후의 3회 측정에 따른 평균값을 기록하였다.

### 2.3 전기전도실험

#### 2.3.1 전기전도실험의 원리

전기전도에 있어 전압을 인가하는 상태에서 전자가 전극을 통하여 시편내로 이동하는 것은 (+)극성으로 규정하며, 반대의 경우인 즉 전자가 시편으로부터 전

극으로 이동하는 것은 (-)극성을 갖는 것으로 규정된다. 한쪽 전극으로부터 일정한 개수의 전하가 시편내로 이동하면 전체적으로 중성을 갖기 위해서는 반대 쪽에서 동일한 개수의 반대 전하가 시편내로 이동해야만 한다. 양쪽 전극에서 이동하는 전하의 밀도가 같은 경우 시편내의 전하 상태는 중성을 이루므로 전류계에서 측정되는 전류치는 매우 낮게 된다. 그러나 본 실험에 사용된 SBR과 같은 고분자는 주요 주입 전하가 있게 마련이고 따라서 양쪽 전극에서 주입되는 전하의 밀도가 불균형을 이루게 된다. 이때 전하의 불균형을 균일하게 하기 위해 외부회로를 통한 전류의 재배열이 일어나게 되고 이러한 재배열의 방향과 크기가 외부회로에 있는 전류계를 통해 전도전류로서 측정된다.

#### 2.3.2 전기전도 실험장치

실험장치는 직류 고전압 발생장치 (Keithley 248), 전류계 (Keithley 617), 전극 시스템, 그리고 GPIB 카드를 내장한 컴퓨터로 구성되어 있다. 전극 시스템은 원판형의 스테인레스 스틸로 만들어져 있으며, 측정 전극은 전류계에, 상대 전극은 직류 고전압 발생장치에 연결되어 있다. 전류계를 통해 측정된 전류값은 컴퓨터에 내장된 GPIB 카드를 통해 전송받았다. 측정 전극의 면적은 6.202cm<sup>2</sup>이며, 전극 시스템은 온도를 조절할 수 있는 오븐 (oven)내에 장치하여 실험하였다. Fig. 4에 전기전도 실험장치의 개략도를 나타내었다.

측정된 전류와 인가한 전압으로부터 전류밀도, 전기전도도, 전기장을 구하는데 사용된 식은 다음과 같다. 인가한 전압을 V, 측정된 전류를 I라 하고 시료의 두께를 L, 측정 전극의 면적을 A, 전류밀도를 J라 하면,

$$J = i/A \text{ (A/m}^2\text{)} \tag{1}$$

이며, 전기전도도  $\sigma$ 는

$$\sigma = J \cdot E = (I \cdot V)/(A \cdot L) \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}^{-1} \tag{2}$$

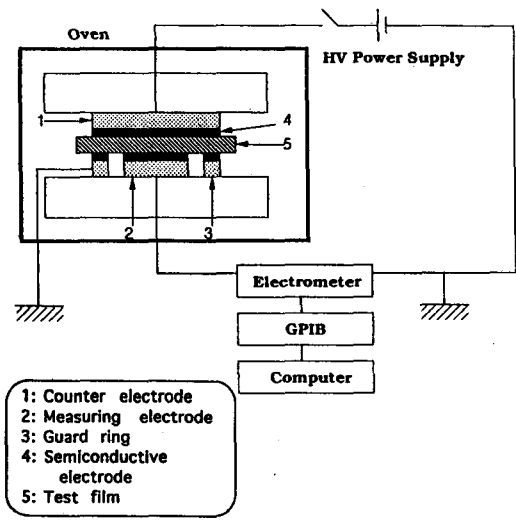


Fig. 4. Apparatus for electrical conduction experiment.

이고, 전기장 E는

$$E = (V/L) \text{ (V/m)} \quad (3)$$

의 식으로부터 구하였다.

본 실험은 50~150 $\mu\text{m}$ 의 시편 두께와 50 $\mu\text{m}$ 의 반도체 전극을 부착하여,  $3 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^8 \text{V/m}$ 의 전기장내에서의 전도전류를 측정하였다. 전압을 가하면 초기에는 시간 (t)에 따라  $I(t) = I_0 t^{-n} (n \leq 1)$ 형의 지수적으로 감소하는 전류가 관측되며, 30분이 지난 후의 값을 정상상태 전도전류 (steady-state conduction current)로 가정하여 이후 5개의 측정치를 기록하여 그 평균값을 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 전기저항 특성

##### 1.1 체적/ 표면/ point to point 저항

Fig. 5에 각 카본블랙의 함량에 따른 체적/ 표면/ point to point 저항을 나타내었다. 카본블랙의 함량 증가에 따라 4종의 카본블랙 모두 50phr 부근에서 체

적/표면저항의 급격한 감소가 일어나는 임계 영역을 볼 수 있었으며, CB 3의 경우 특징적으로 30phr에서 저항값이 낮게 나오는 것을 볼 수 있는데, 이것은 Table 1에서 알 수 있듯이 구조적 특성은 다른 카본블랙과 큰 차이를 보이지 않으나 입자경이 현저히 작은데 기인하는 것으로 보인다. 마찬가지로 비슷한 구조를 가지고 있으나 입자경에 있어 차이를 보이는 CB 2와 CB 4의 경우에도 임계 영역 부근에서의 저항치가 입자경이 작은 CB 4에서 작게 측정됨을 알 수 있었다. 이렇게 입자경이 전도 특성에 영향을 미치는 이유는 입자경이 작으면 단위 중량당 입자가 많아지기 때문에 고분자 매트릭스에서 입자간의 거리가 짧아져서 캐리어의 이동이 용이해지기 때문이다. 구조에 의한 차이는 선정된 비도전성 카본블랙중 적절한 비교 대상이 없어 차후 검토가 요망된다.

표면/ 체적저항과는 측정 방식에 차이가 있는 point to point 저항을 카본블랙의 종류별로 임계 영역인 50phr을 예로 들어 Table 2에 나타내었다. 측정 위치에 따라 즉, 전극간의 거리가 증가함에 따라 저항값이 증가함을 알 수 있다. 이후 이를 평균한 값들은 앞서의 체적/ 표면저항에 비해 낮은 값을 나타내는 것을 볼 수 있으며, 그 정도는 비도전 영역에서 도전 영역으로 갈수록 작아지는데, 이는 point to point 저항의 경우 높은 저항을 갖는 영역에서는 온도나 습도, 측정 시편의 표면 상태와 같은 외부환경을 배제하지 못하는 측정 방식 때문에 저항값에 대한 간섭요인이 많이 생기지만  $10^4 \sim 10^6 \Omega$ 을 나타내는 전도 영역에서는 이러한 외부 환경의 간섭에 따른 영향을 차단할 만큼 낮은 저항을 가지므로 체적/ 표면저항과의 차이도 그 만큼 줄어드는 것이라고 볼 수 있다. 표면저항 역시 높은 저항영역에서는 시편 표면의 상태나 대기에 의한 영향 등에 따른 저항이 관계하여 측정재료의 전체에 흐르는 체적 저항에 비하여 높게 나타나게 되나 전도 영역에서는 이러한 간섭을 배제하기에 충분한 도전성을 띄게 되므로 표면 저항이 더 낮은 것으로 추정된다.

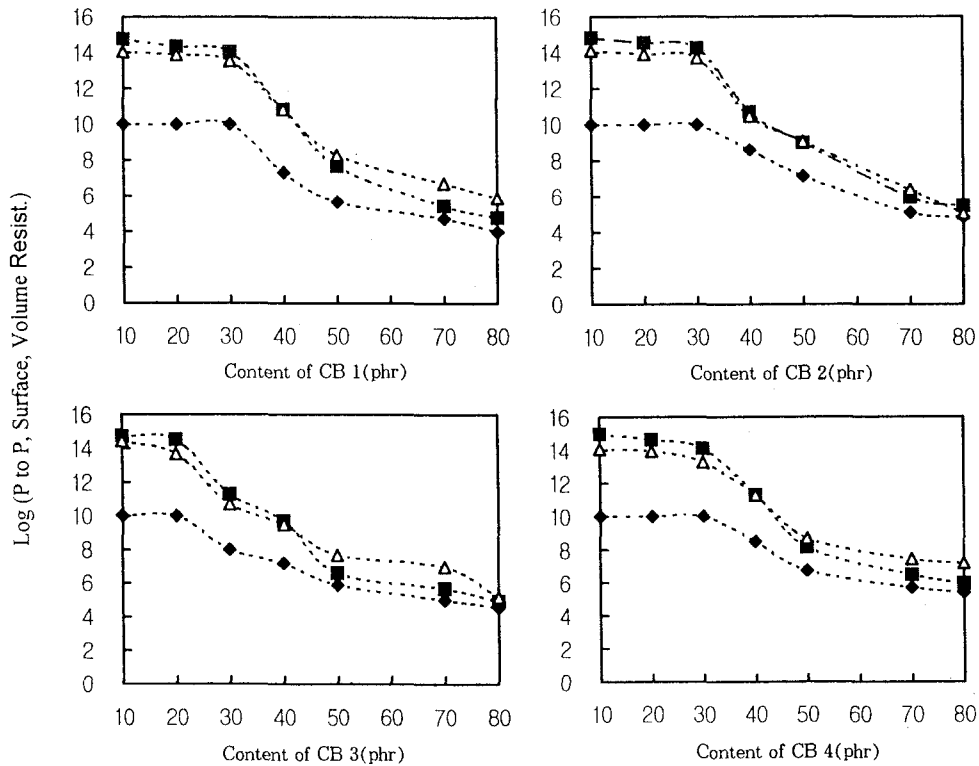


Fig. 5. Volume/surface resistivity and point to point resistance as a function of content for carbon black : ■ ; surface resistivity, △ ; volume resistivity, and ◆ ; point to point resistance.

Table 2. Point to Point Resistance for CB 50phr (Standard : Electrode A)

	CB 1	CB 2	CB 3	CB 4
Position 1	$3.66 \times 10^5$	$1.08 \times 10^7$	$7.27 \times 10^5$	$4.93 \times 10^6$
Position 2	$3.02 \times 10^5$	$9.91 \times 10^6$	$7.05 \times 10^5$	$4.92 \times 10^6$
Position 3	$4.63 \times 10^5$	$1.13 \times 10^7$	$7.62 \times 10^5$	$5.18 \times 10^6$
Position 4	$5.24 \times 10^5$	$1.39 \times 10^7$	$8.22 \times 10^5$	$5.96 \times 10^6$
Position 5	$5.90 \times 10^5$	$2.08 \times 10^7$	$8.43 \times 10^5$	$6.88 \times 10^6$
Position 6	$5.11 \times 10^5$	$1.29 \times 10^7$	$7.66 \times 10^5$	$5.61 \times 10^6$
Avg. resist.	$4.59 \times 10^5$	$1.33 \times 10^7$	$7.71 \times 10^5$	$5.58 \times 10^6$

Table 3. Decay Time as a Function of Content and types of Carbon Black (0% cut off\* ; sec)

	CB 1	CB 2	CB 3	CB 4
10phr	—	—	—	—
20phr	more than 60	more than 60	more than 60	more than 60
30phr	10.94	41.475	0.016	6.459
50phr	0.01	0.01	0.01	0.01
70phr	0.01	0.01	0.01	0.01
80phr	0.01	0.01	0.01	0.01

\*0% cut off : measuring the time residual electrostatic charge is decayed completely

### 1.2 정전하 소멸시간

Table 3에 정전하 소멸시간을 나타냈다. 입계 영역인 50phr 이상의 전도 영역에서는 4종 모두 측정 기기의 한계 측정 범위인 0.01sec로 같은 정전하 소멸 시간을 나타내었고, 20phr 이하에서는 정전하 소멸 시간이 60초 이상으로 너무 길게 나타나 변별성이 없었으나, 30phr에서는 뚜렷한 차이를 나타내었다. 즉, 입

자경이 가장 작은 CB 3의 경우가 가장 빠른 정전하 소멸시간을 나타내어 전압 인가에 의한 측정 전하의 소멸시간이 가장 작은 것으로 나타났고, 구조는 비슷하나 입자경의 차이가 있는 CB 2와 CB 4의 경우 입자경이 작은 CB 4가 빠른 정전하 소멸을 나타냈다.

이러한 결과들은 앞서의 체적/표면저항에서의 측정된 값과 그 경향성에 있어 일치한다는 사실로부터 체적저항/표면저항과 정전하 소멸시간과는 상관 관계가 성립함을 알 수 있었다.

## 2. 전기전도 특성

### 2.1 V(전압)-I(전류) 특성

카본블랙이 임계점 이상으로 첨가되어 SBR 고무 조성물이 도전성을 띄게 되는 경우, 전도 메커니즘에 영향을 미치는 주요 인자는 고무 매트릭스가 아닌 카본블랙이 되므로, 본 실험에서는 도전성을 띄지 않는 영역에서의 카본블랙 함유 SBR 복합체의 전도기구를 검토하기 위하여 카본블랙이 10phr 첨가되었을 경우 선정하여 실험하였으며, 카본블랙의 종류에 따른 영향도 함께 검토하였다.

전기장의 증가에 따른 I-V 특성을 살펴보기 위해 이를 전류밀도-전기장 곡선으로 환산하여 J-E 특성 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 모든 경우에서 전기장의 증가에 따라 전류밀도가 증가하는 것이 관찰되었다. 즉 power law,  $J \propto E^n$ 의 관계를 만족한다.

특징적인 사실은 카본블랙의 종류에 관계없이 낮은 전기장 영역에서는 기울기  $n=1$ 의 관계를 만족하다가 높은 전기장으로 이행하면서 CB 1, 2, 3의 경우 약 2의 기울기를 가지면서 진행한다는 것이다. 또한 CB 4

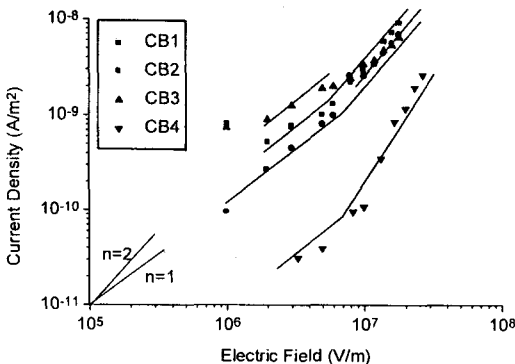


Fig. 6. J-E curves of SBR composites containing 10phr of carbon black.

의 경우 높은 전기장 영역에서 약 3의 기울기를 갖는 것을 볼 수 있는데, 이에 대한 고찰은 2.2절에서 전기전도기구와 연관지어 설명하기로 하겠다.

### 2.2 전기전도기구

전기전도기구를 알아보기 위해 전류밀도-전기장 특성 곡선에서의 기울기를 살펴보았다. 전류밀도-전기장 특성 곡선에서 기울기를 통한 전도기구의 해석은 기본적인 분석의 하나이다. LogJ vs. LogE의 그래프가 직선적인 관계를 가지면 ohmic 전도나 SCLC (Space-Charge Limited Conduction; 공간전하 제한전도)에 의한 것이며, 비직선적인 관계를 가지면 Schottky, Poole-Frenkel 전도 등에 의한 것이라 알려져 있다.<sup>2,3,11</sup>

위의 결과는 직선적인 관계를 갖는 것이 명확히 나타나므로 후자의 경우는 배제하도록 하겠다. 전류 밀도와 전기장의 double logarithm graph에서 직선적인 관계를 보이는 경우 기울기가 약 1이면 ohmic 전도, 2.0-6.0의 경우 공간전하 제한 전도라고 알려져 있다.<sup>1,2</sup> 따라서 여기서도 기울기가 1을 갖는 낮은 전기장 영역의 경우 ohmic 전도를 나타내는 것으로 판단되어진다. 기울기의 변화를 가지기 시작하는 전기장 영역은 약  $1 \times 10^7$  V/m 부근으로 나타났으며, 이후의 전도기구에 대한 고찰이 요구된다. 단순히 전류밀도-전기장 곡선이 직선적 관계를 이루고 기울기가 2.0-6.0이라고 해서 무조건 공간전하 제한전도라고 볼 수는 없다. 따라서 이를 확인하는 방법은 아래와 같은 식에 의해 확인하는 것이 일반적이다.

$$J = (9 \epsilon \epsilon_0 \mu V^2) / 8L^3 - \tag{4}$$

여기서  $\epsilon$ 은 유전 상수,  $\epsilon_0$ 은 진공하에서의 유전상수,  $\mu$ 는 전하 이동도를 나타낸다.

공간전하 제한전도란 고분자가 전극과 ohmic 접촉을 이루고 있는 경우, 내부 전도전류보다 주입 전류가 클 때 절연체의 전도대로 여기된 공간전하가 전류를 제한하게 되는 현상을 말하는데, 전압을 가하면 양극

쪽에는 양전하가, 음극 쪽에는 음전하가 주입이 된다. 높은 전기장 영역에서 공간전하 제한전도의 타당성을 살펴보기 위해 의존성 실험을 수행하였다. 전기전도도가 공간전하 제한전도라면 트랩이 없는 경우 위 식을 이용하여 전류밀도의 시료 두께 의존성이 -3승의 관계를 따르는지 여부로 확인할 수 있고, 기울기가 -3은 아니지만 직선적인 관계를 갖는다면 트랩이 관계하는 공간전하 제한전도로 볼 수 있다.

공간전하 제한전도는 시료 내부에 있는 공간 전하의 영향에 의해 나타나는 현상이기 때문에 공간전하가 저장될 수 있는 트랩 사이트 (trap site)의 유무, 그리고 이들 트랩 사이트가 채워진 정도 등에 의하여 영향을 받는다. 전기전도는 전하의 이동에 의하여 이루어지므로 시료 내부에 아무리 전하가 많아도 이들 전하가 움직일 수 없는 상황에 있으면 전기전도는 일어나지 않고 측정된 전류치는 매우 낮다. 트랩 사이트에 저장된 전하에 의한 전도는 시료내의 전도대로 여겨된 공간전하가 전하 저장장소에 채워지고 있는 상황에서는 소위 trap-modulated 공간전하 제한전도라고 부르고 모든 트랩 사이트가 전하에 의해서 채워지고 나면 전하는 자유로운 운동을 할 수 있는 상황이 되는데 이를 trap-free 공간전하 제한전도라고 한다.

Fig. 7에 1400V에서의 각 시편의 두께 의존성을 나타내었다. 50, 70, 100, 150 $\mu\text{m}$ 에서 실험한 결과

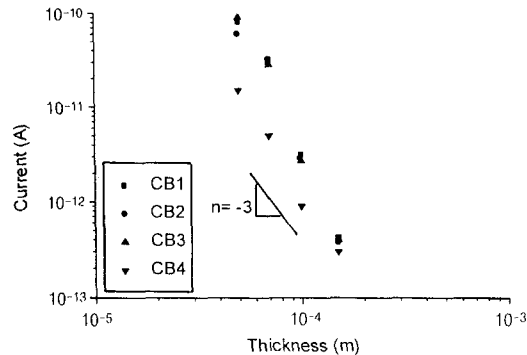


Fig. 7. Thickness dependence of SBR composites at 1,400V.

모든 시료에서 전류밀도-전기장 특성 곡선에서의 기울기가 -3을 갖는 것으로 확인되었다. 이는 높은 전기장 영역에서 카본블랙이 첨가된 SBR 복합체의 주된 전도기구가 공간전하 제한전도라는 것을 나타낸다. 그러므로 앞의 결과는 J-E 특성곡선이 직선적 관계를 이루고 두께 의존성 결과가 -3승의 관계를 가지므로 트랩이 관계하지 않는 공간전하 제한전도로 볼 수 있는 것이다.

#### IV. 결 론

SBR/ carbon black (CB) 복합체에서의 전기저항 및 전기전도 특성을 검토하기 위하여 카본블랙의 종류와 함량에 따른 표면, 체적, point to point 저항의 측정 및 이들의 관계를 알아보고, 전기전도 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비도전성 CB이 적용된 SBR 고무 조성물은 적용된 CB의 종류와 상관없이 약 50phr 부근에서 체적, 표면, point to point 저항과 정전하 소멸시간 모두 급격히 감소하는 임계 영역 ( $R_c$ )을 나타낸다.
2. 측정 저항 즉, surface resistivity ( $\rho_s$ ) volume resistivity ( $\rho_v$ ), 그리고 point to point resistance ( $R_p$ ) 사이의 관계는 임계 영역 이상 (높은 저항)에서는  $(\rho_s) > (\rho_v) > (R_p)$ , 임계 영역 이상 (낮은 저항)에서는  $(\rho_s) \geq (\rho_v) \geq (R_p)$ 으로 나타났다.
3. 정전하 소멸시간은 체적·표면고유저항, point to point 저항의 감소에 따라 함께 감소하였으며, CB의 종류별로 차이를 보인다.
4. CB이 첨가된 SBR 고무 복합체의 전류밀도는 전기장의 증가에 따라 증가하며, 기울기 ( $dJ/dE$ )가 증가하는 임계점 ( $P_c$ )이 존재한다.
5. CB이 임계 영역 ( $R_c$ ) 이하로 로딩된 SBR 고무 복합체의 전기전도기구는  $dJ/dE$ 가 증가하는 임계점 ( $P_c$ ) 이전의 낮은 전기장하에서는 ohmic 전도, 그 이상의 높은 전기장하에서는 공간전하 제한전도이다.



## 참 고 문 헌

1. C. C. Ku and R. Liepins, "Electrical Properties of Polymers", Hanser Publishers, Munich-Vienna-New York (1987).
2. A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymers", Cambridge University Press, New York and London (1980).
3. J. J. O'dweyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Oxford University Press, Oxford (1973).
4. J. B. Donnet, A. Voet, "Carbon Black", Marcel Dekker, New York (1976).
5. G. R. Ruschau, S. Yoshikawa, and R. E. Newnham, *The International Society for Hybrid Microelectronics*, **13**, 100 (1990).
6. R. A. Swar, D. R. Harris and F. L. Swartz, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, **3**, 198 (1984).
7. K. Miyasaka, K. Watanabe, E. Jojima, H. Aida, M. Sumita and K. Ishikawa, *Journal of Materials Science*, **17**, 1610 (1982).
8. H. H. Hassan, S. A. Khairy, S. B. El-Guiziry and H. M. Badel-Moneim, *Journal of Applied Polymer Science*, **11**, 2879 (1991).
9. El-Mansy, M. K., *Gummi, Fasern, Kunstst*, **11**, 597 (1985).
10. H. H. Hassan, A. A. Ghani, A. E. Eatah and A. A. Hashem, *Angew. Makromol. Chem.*, **115**, 39 (1983).
11. M. S. Yoon, *Proc. KIEE*, **5**, 301 (1986).