## 카본블랙을 이용한 인체감전용 전도성 도료의 개발

## 강계명<sup>†</sup>

서울산업대 신소재공학과

# Development of Electroconductive Paints for Electric-Shock on Human Body Using Carbon Black

## Kae-Myung Kang<sup>†</sup>

Dept. of Mater. Sci. and Engineering., Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

(2008년 11월 20일 접수 : 2008년 12월 8일 최종수정 : 2008년 12월 9일 채택)

Abstract For development of a human body model for electric shock, electroconductive paints with carbon black as a filler material were developed. The characteristics of the volume resistivities of thin films fabricated using the electroconductive paints were investigated as a function of the particle sizes and content of carbon black. With a carbon black particle size over 80  $\mu m$ , agglomeration of carbon black powders was observed. The volume resistivity of the particles increased as the porosity increased and as the amount of carbon black decreased due to the agglomeration of carbon black powders. With a particle size of 4  $\mu m$  and 20  $\mu m$ , agglomeration of carbon black powders was not observed and their porosities were measured as 0.86 % and 1.12 % with volume resistivities of 20  $\Omega$  ·cm and 80  $\Omega$  ·cm, respectively. A carbon black particle size of less than 20  $\mu m$  is considered to be suitable as a type of electric-shock electroconductive paint for a human body model.

Keywords electroconductive paint, carbon black(CB), volume resistivity, electric shock.

#### 1. 서 론

감전용 인체 모델의 연구는 인체에 인가되는 전압 즉, 통과하는 통전전류에 대한 인체 반응성을 평가하는 것으로서 인체 부위의 전기저항 반응성 연구가 인체 감전 연구의 주요대상이다. 이는 인체조직의 저항/전류에 관한 전기적 특성을 분석하여, 이를 근거로 감전 연구를 위한 인체 모델의 제작이 가능하기 때문이다. 이때 통전전류는 음의 법칙에 의한 인체에 인가된 전압을 인체 즉, 통전회로의 전기저항으로 나는 값으로, 통전회로는 인체저항이 바로 전기저항체가 된다.

인체 저항에 관하여 미국의 IEEE std. 80에서는 인체를 단일 저항체로, 유럽연합의 IEC 60479에서는 인체 각부위에 대한 각각의 저항값을 등가회로로 구성하여 인가전압의 함수로 정의하고 있다. 1-2) 그러나 감전용 인체모델 연구는 인체 조직에 관한 연구의 특수성에 기인하는 연구의 한계성과 인체 구성의 다양성 및 저항의 가변성으로 인하여 감전연구의 한계성을 지니고 있다. 이에 인체와 유사한 저항값을 갖는 전도성 물질의 개발, 감전에따른 유사 인체 모델 연구를 위한 대체재로 고려할 수

<sup>†</sup>Corresponding author

E-Mail: littbird@snut.ac.kr (K. M. Kang)

있다.3-5)

전도성 물질로는 무기계, 유기계, 복합계로서, 무기계 는 금속원소가 주요 구성원소이고, 유기계는 자체 전도 성을 갖는 고분자 물질이 주요 구성물질로 있다. 복합계 는 전도성 충전제와 바인더로 구성되며, 충전제로 금속 분말, 카본블랙, 그라파이트가 이용되는 전도성 복합체로 있다. 이들 중 카본블랙과 그라파이트를 혼합한 전도성 물질 복합체는 전자파 차폐재로 많은 연구의 대상이 되 고 있다.6-8) 그러나 카본블랙을 이용한 인체 모델용 전 도성 물질의 개발연구는 전무한 상태로서, 연구 초기단 계에 있는 것으로 저자는 알고 있다. 더불어 전도성 도 료의 충전제로서 카본블랙을 사용할 경우, 저비용으로 대 량생산이 가능하며 전기 전도도와 저항치를 다양하게 갖 는 도료의 개발이 용이한 장점을 갖고 있다. 그러므로 카 본블랙을 이용한 전도성 도료의 개발은 인체 모형과 같 은 불규칙한 형상에 적용이 용이하고, 각 인체 요소마다 다른 저항값을 구현하는 것이 가능할 것으로 생각할 수 있다.

본 연구에서는 인체 감전 모델을 위한 전도성물질인 카 본블랙을 충전제로 사용하여 인체감전용 전도성 도료를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 카본블랙의 입도크기와 각 입도크기에 따라 함량이 조절된 박막시험편과 박막의 684 강계명

두께를 달리한 인체감전용 전도성 박막 시험편을 각각 제 작하였다. 이들 크기와 함량 및 두께변화에 대한 전도성 도료의 박막 표면조직과 공극률을 광학현미경으로 관찰 하였다. 또한 이들 각 박막의 전기저항값의 변화를 표면 저항과 체적저항값으로 조사하여, 카본블랙을 이용한 전 도성 도료가 인체감전용 모델로의 적합가능성에 관한 기 초적 자료를 구축하고자 하였다.

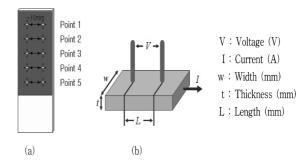
#### 2. 실험 방법

#### 2.1 전도성 도료의 제작

본 실험의 인체감전용 전도성 도료의 제작을 위하여 충 전제(filler)로 4, 20, 80, 150 µm의 평균 입도크기의 카 본블랙을 이용하였다. 사용된 파우더상태의 카본블랙 (Carbon black, CB)은 1375 μΩ·cm의 평균 비저항값을 갖는 전도성 물질로 감전용 인체모델의 전도성 충전제로 사용하였다. 충전제의 고정을 위하여 라카(lacquer)를 고 정제(binder)로 사용하였고, 이때 용제로 공히 50 g의 시 너(thinner)를 사용하여 농도가 각기 다른 전도성 도료를 제작하였다. CB/라카/시너로 제작된 전도성 도료의 구성 은 충전제의 입도크기에 따라 충전제와 고정제의 비율을 1:2, 3:4, 1:1, 3:2로 조절하여 충전제의 입도크기와 함량 에 따른 전도성 도료를 제작하였다. 사용된 도료 도포용 기판은 75×25 mm의 슬라이드 글래스(slide glass)를 이 용하였고, 분무기(sprav gun)로 도포하였다. 이때 도포 횟 수를 조절하여 전도성 도료 박막의 두께가 각기 다른 시 험편을 제작하였다. 제작된 각각의 시험편은 4 μm 카본 블랙 입도의 경우 박막 두께 30 μm에서 130 μm, 20 μm 입도크기의 경우 40 μm에서 160 μm, 80 μm 입도크기의 경우 90 μm에서 200 μm, 150 μm 입도크기의 경우 150 μm에서 300 μm로 각각 박막의 두께를 조절하였고, 오차범위는 ±5 μm로 조사되었다. 본 실험에 적용된 전도성 박막의 각각의 시험편을 시험조건에 따라 Table 1에 나타내었다.

#### 2.2 시험편의 저항값 측정

제작된 각 시험편의 저항 측정에 앞서, 각 시험편의 표면 조직을 광학현미경을 사용하여 관찰·조사하였다. 관찰된 표면조직으로부터 CB의 점유율과 미소공동에 의한 공극률을 각각 조사하였다. 저항값 측정은 Fig. 1 (a)와 같은 방법으로 표면저항값(R)을 측정하였다. Fig. 1(a)는 각 시험편의 표면저항값 측정부위를 나타낸 Fig으로서, Fig에서와 같이 균등하게 떨어진 5개의 지점을 선정하여



**Fig. 1.** Schematic diagram of electroresistivity measurement. (a) method of surface resistivity (R=V/I) (b) method of volume resistivity ( $\rho$ ).

Table 1. Manufactural conditions of electroconductive thin films.

Particle size(CB)	Contents (CB:laquer, gr)		Thick	kness of specimens	s(µm)	
	1:2 (4:8)	32	61	87	112	131
4 μm	3:4 (6:8)	29	58	94	109	133
	1:1 (8:8)	33	62	91	111	130
	3:2 (12:8)	33	64	93	114	135
	1:2 (4:8)	39	68	103	132	158
20 μm	3:4 (6:8)	41	73	101	129	160
	1:1 (8:8)	43	71	99	131	163
	3:2 (12:8)	40	74	103	133	162
	1:2 (4:8)	91	123	142	161	205
80 μm	3:4 (6:8)	93	122	139	157	201
	1:1 (8:8)	89	121	144	163	202
	3:2 (12:8)	90	118	143	164	202
	1:2 (4:8)	153	192	228	274	303
150 μm	3:4 (6:8)	151	189	232	271	302
	1:1 (8:8)	154	194	229	273	300
	3:2 (12:8)	152	193	231	275	303

표면저항값을 각각 측정한 후, Fig. 1 (b)와 같은 ASTM F-43-93의 2단자법에 의거한 체적저항값( $\rho$ ) 변환식을 활용하여 인체모델용 저항값으로 변환시켰다. 변환된 체적 저항값을 본실험의 인체저항값으로 사용하였다. 체적저항의 변환은 측정된 표면저항값이 R의 경우, 체적저항( $\rho$ )은  $\rho$ =R(wt/L)을 이용하였다. 이때 5회 측정값의 평균값을 본 실험의 표준 체적저항값으로 결정하였다.

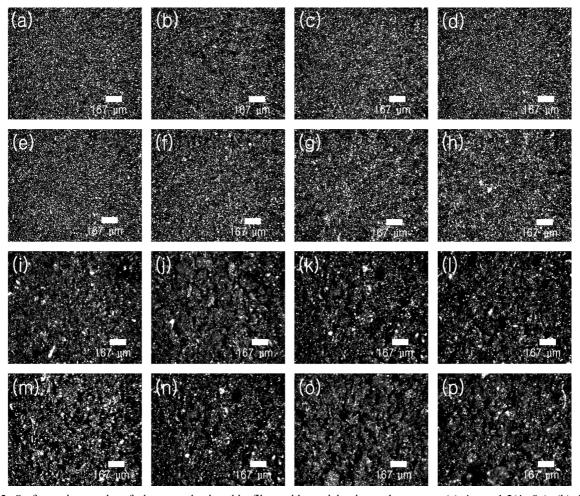
#### 3. 결과 및 고찰

## 3.1 전도성 탄소박막의 표면관찰

Fig. 2는 도포가 완료된 시험편의 전도성 박막 표면을 광학현미경을 사용하여 관찰한 사진으로서 밝은 부분이 카본블랙이다. 본 사진에서는 가로축은 일정한 입도에서의 함량 변화에 따른 표면조직 사진이고, 세로축은 일정함량하 입도크기의 변화에 따른 각각의 표면조직 사진이다. Fig. 2 (a)~(h)에서 볼 수 있듯이 입도사이즈가 4 μm

와 20 µm로 변화해도 표면은 균일한 조직을 보이며, 카본블랙의 분포도 일정하게 분포되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 입도사이즈가 80 µm와 150 µm인 Fig. 2 (i)~(p)의 경우에서는 표면조직 상태가 불균일한 것으로 나타냈다. 즉, 카본블랙입자들이 국부적으로 뭉쳐있는 응집현상이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 카본블랙의 입도크기가 80 µm의 경우 카본블랙의 함량비가 증가함에따라 카본블랙 파우더의 응집현상은 가속화되고, 미소공동으로 관찰되는 부분도 증가함을 알 수 있다. 따라서 카본블랙의 입도크기와 미소공동의 분율은 비례관계임을 알수 있어, 각 시험편별 미소공동의 공극률을 측정하였다.

카본블랙의 입도크기와 함량의 변화에 따른 박막내 공 극률과 박막내 카본블랙의 점유율을 조사한 실험결과를 Table 2에 나타내었다. Table에서 알 수 있듯이 박막내 공 극률은 입도크기가 4 μm의 경우 0.81%에서 0.9%, 20 μm 의 경우 1.14%에서 1.19%로 함량증가에 따른 변화가 없 었다. 그러나 입도크기가 80 μm에서 부터 박막내 공극률



**Fig. 2.** Surface micrographs of electroconductive thin films with particle size and contents. (a) 4 μm, 1:2(4g:8g), (b) 4 μm, 3:4(6g:8g), (c) 4 μm, 1:1(8g:8g), (d) 4 μm, 3:2(12g:8g), (e) 20 μm, 1:2(4g:8g), (f) 20 μm, 3:4(6g:8g), (g) 20 μm, 1:1(8g:8g), (h) 20 μm, 3:2(12g:8g), (i) 80 μm, 1:2(4g:8g), (j) 80 μm, 3:4(6g:8g), (k) 80 μm, 1:1(8g:8g), (l) 80 μm, 3:2(12g:8g), (m) 150 μm, 1:2(4g:8g), (n) 150 μm, 3:4(6g:8g), (p) 150 μm, 3:2(12g:8g).

686 강계명

은  $4\,\mathrm{g}$  카본블랙량에서 13.96%에서  $12\,\mathrm{g}$ 의 경우 25.76% 로 급속히 증가하였다. 입도크기가  $150\,\mu\mathrm{m}$ 의 경우에서도 박막내 공극률이 24.18%에서 37.1%로 카본블랙의 함량 증가에 비례하여 증가하였다.

입도크기가 80 µm이상의 경우 Fig. 2 (i)~(p)의 사진에서 볼 수 있듯이, 카본블랙 입자들의 응집현상이 관찰되었다. 이들 응집현상은 박막내 공극의 형성으로 나타나

**Table 2.** Pore rates and carbon black area rates of electro-conductive paints.

Particle size(CB)	Contents (CB:laquer)	Pore rate(%)	CB occupation rate (%)
	1:2 (4g:8g)	0.882	26.238
4 μm	3:4 (6g:8g)	0.9	28.02
	1:1 (8g:8g)	0.852	29.588
	3:2 (12g:8g)	0.812	30.954
	1:2 (4g:8g)	1.188	22.176
20 μm	3:4 (6g:8g)	1.192	24.218
	1:1 (8g:8g)	1.154	25.728
	3:2 (12g:8g)	1.136	27.736
	1:2 (4g:8g)	13.958	17.278
80 μm	3:4 (6g:8g)	16.106	20.274
	1:1 (8g:8g)	19.812	23.288
	3:2 (12g:8g)	25.76	25.34
	1:2 (4g:8g)	24.176	13.508
150 μm	3:4 (6g:8g)	28.202	15.296
	1:1 (8g:8g)	32.77	16.838
	3:2 (12g:8g)	37.098	18.328

며, 80 μm 이상의 카본블랙 입자크기에서부터, 더욱 가 속화되는 것으로 조사되었다. 카본블랙 파우더의 응집현 상은 고정제로 사용한 라카가 응고되는 과정과 용제로 사 용된 시너의 증발에 의하여 박막이 건조되는 과정에서 발 생하는 것으로 생각된다. 이들 응집현상에 관하여 용매 와 분산제에 의한 분산기술에 관한 T.D. Fornes 등의 연 구와 표면을 극성화시켜 입자들의 반발력을 응용한 분산 기술 등의 입자의 분산기술에 대한 연구가 소개되고 있 다. 9-15) 아직 본 연구에서는 두께 방향으로의 입자 분포, 공극률, 응집현상에 관한 연구가 진행중에 있다. 따라서 이들 응집현상과 공극률로 두께효과에 관한 연구결과를 추후 연구에서 밝히고자 한다. 다만 본 연구에서 묘사된 두께 변화에 따른 체적 측성치로서 표면 공극률과 응집 도와의 관계를 제시하고자 한다. 한편 입도크기가 4 µm, 20 μm의 경우에는 카본블랙 함량의 증가에 따른 공극률 의 변화는 미미한 것으로 조사되었다.

#### 3.2 전도성 카본도료의 전기적 특성

Table 3에 측정된 표면저항값과 이를 Fig. 1 방식에 따라 변환된 체적저항값을 나타내었다. Table 3에 나타낸 체적저항값은 4 μm, 20 μm, 80 μm, 150 μm 입도 크기별 각각 안정된 체적저항값으로 조사된 각각의 평균 두 께인 130 μm, 160 μm, 200 μm, 300 μm에서의 값을 나타내었다. Table 3에서 알 수 있듯이, 입도크기가 증가함에 따라 체적저항값도 비례하여 증가하는 것으로 조사되었다. 이는 응고과정시 발생한 응집현상에 따라 박막내 공극률의 증가와 카본블랙 점유율의 감소에 기인한 것

Table 3. Surface resistivities and volume resistivities of electroconductive paints.

Particle size(CB)	Contents (CB:laquer)	Surface resistivity( $\Omega$ )	Volume resistivity( $\Omega$ · cm)	Thickness of specimens (µm)
	1:2 (4g:8g)	793.8	62.4	131
4 μm	3:4 (6g:8g)	666	53.1	133
	1:1 (8g:8g)	357.4	27.9	130
	3:2 (12g:8g)	261	21.1	135
	1:2 (4g:8g)	854.2	80.9	158
20 μm	3:4 (6g:8g)	651.8	62.5	160
	1:1 (8g:8g)	517.2	49.6	163
	3:2 (12g:8g)	371.4	36.1	162
	1:2 (4g:8g)	1084.4	133.4	205
80 μm	3:4 (6g:8g)	735	88.6	201
	1:1 (8g:8g)	599.9	72.7	202
	3:2 (12g:8g)	570.9	69.2	202
	1:2 (4g:8g)	2094.4	380.8	303
150 μm	3:4 (6g:8g)	1835	332.5	302
	1:1 (8g:8g)	1698	305.6	300
	3:2 (12g:8g)	1610.4	292.8	303

으로 생각된다. 입도크기가 80 μm 이상 경우부터 공극 률 증가의 영향이 카본블랙 함량 증가의 영향보다 체적 저항값에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 즉, 20 μm의 경우 4 g에서 12 g으로 함량 증가시 체적저항 값은  $62 \Omega \cdot \text{cm}$ 에서  $21.1 \Omega \cdot \text{cm}$  급속히 감소하였으나, 80 μm에서부터 함량 4 g에서 133.4 Ω·cm에서 69.2 Ω· cm로 감소율이 적은 것을 알 수 있다. 따라서 체적저항 값의 변화는 전도체로서의 카본블랙의 효과보다는 점유 율, 환언하면 공극률이 저항값에 중요한 인자임을 알 수 있게 한다. 그러나 공극률과 점유율관계의 Table 2의 결 과에서는 4 μm와 20 μm의 경우, 공극률의 변화는 적었 으나 점유율은 다소 증가하는 것을 볼 수 있었고, 80 μm 에서부터 공극률과 점유율이 함께 변화하는 것을 알 수 있었다. 이는 공극률과 점유율의 상관관계에 고정제로서 의 응고제도 영향을 미치는 것으로 본 실험의 결과 확 인할 수 있었다. 다만 공극률과 점유율의 관계만으로 비 교할 경우에는 80 μm , 150 μm에서 점유율이 공극률보 다 체적저항값의 변화에 다소 지배적 인자로 작용하고 있 음을 알 수 있었다.

한편 함량의 증가에 따라 박막내 카본블랙이 차지하는

점유율과 공극률은 반비례하는 결과로 조사되었다. 카본 블랙함량이 증가함에 따라 점유율은 다소 증가하지만 공 극률은 큰 폭으로 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 함 량의 증가가 카본블랙 입자사이의 접점의 증가현상으로 나타나 체적저항값의 감소로 이어지는 결과로 생각된다.

Lim 등의 연구보고에서도 탄소나노섬유의 함량의 증가 가 전기전도도의 증가로 나타나고, 함량 변화에 따라 전기 전도도의 증가속도는 다소 감소한다는 연구결과는 본 연 구 결과 내용과도 유사한 경향을 보임을 알 수 있었다. [6-17]

Fig. 3은 각 입도크기별 전도성 박막의 카본블랙 함량 및 두께 변화에 대한 체적저항값의 변화를 나타내고 있다. Fig. 3(a)의 카본블랙 입도크기가 4 μm이고 카본블랙의 함량이 6 g 이상의 경우부터 박막 두께가 증가하여도 체적저항값의 변화는 거의 나타나지 않는 것으로 조사되었다. 그러나 4 g의 카본블랙 함량에서 초기박막 두께가 30 μm에서 체적저항값은 가장 높게 나타났으며, 90 μm이상 박막 두께가 증가함에 따라 체적저항값이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 입도크기가 20 μm, 80 μm, 150 μm인 Fig. 3 (b), (c), (d)의 경우에서도 4 g의 카본블랙 함량에서 체적저항값은 가장 높게 조사되었고, 카

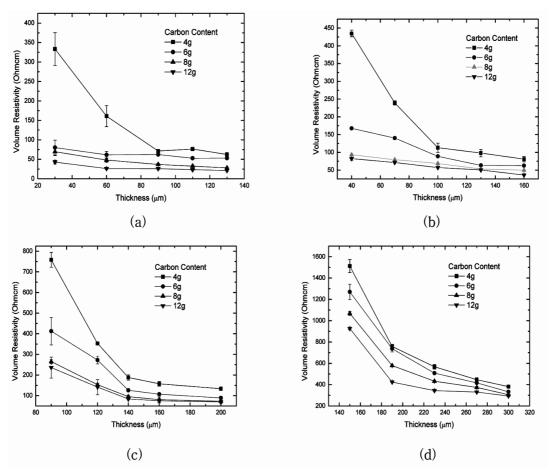


Fig. 3. The variation of volume resistivities with the thickness of carbon black thin films (a) Carbon black particle size =  $4 \mu m$ , (b)  $20 \mu m$ , (c)  $80 \mu m$ , (d)  $150 \mu m$ .

688 강계명

본블랙의 함량이 증가함에 따라 체적저항값은 감소하는 경향을 보였다. 이는 카본블랙 함량이 가장 적은 4g에서 체적저항값이 가장 높은 이유는 박막내 전자의 이동 통로가 되는 카본블랙의 양이 적어 카본블랙간의 접점형성이 이루어지지 않기 때문이고, 함량의 증가에 따라 체적저항값은 카본블랙간의 접점이 증가하여 박막내 전도성 네트워크가 충분히 형성되기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

입도 크기가 4 µm인 Fig. 3 (a)에서 볼 수 있듯이, 4 g 의 카본블랙 함량에서 두께가 30 µm에서 60 µm로 증가 함에 따라 체적저항값은 감소하였으나, 함량이 증가하여 도 체적저항값의 변화는 나타나지 않았다. 또한 입도크 기가 20 μm인 Fig. 3 (b)에서는 카본블랙의 함량이 8 g 이상의 경우에서 두께의 증가에 따라 체적저항값은 변하 지 않는 것을 확인할 수 있었고, 80 µm, 150 µm의 경우 부터 각각 카본블랙의 함량과 두께가 증가함에 따라 체 적저항값은 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 4 µm의 입 도크기에서는 박막내 카본블랙 함량이 6g 이상의 경우 부터 안정적인 전도 네트워크를 형성하는 것으로 생각되 며, 20 µm 이상 입도크기에서는 양호한 전도 네트워크 형성을 위하여는 함량의 증가가 요구됨을 알 수 있게 한 다. 앞서 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이, 입도크기가 80 μm, 150 μm 로 증가함에 따라 응고과정시 발생하는 박막내 응집현상으로 공극률이 증가하고, 카본블랙 점유율이 감 소하여 체적저항값이 증가하는 것임을 알 수 있었다. 80 μm 이상의 입도크기에서는 함량의 증가가 체적저항값 의 감소로 이어지고, 따라서 안정된 체적저항값을 가지 는 박막의 두께는 증가하여야 한다는 연구결과로 나타났다.

본 연구의 카본블랙을 사용한 인체감전모델용 전도성 도료의 연구에서 체적저항값의 변화는 박막내 전도성 충전제인 카본블랙의 전도 네트워크에 의하여 결정되는 것으로 조사되었다. 카본블랙의 입도크기가 80 µm 이상 증가는 응고과정에서 발생하는 응집현상으로 박막내 공극이 형성되어, 카본블랙간의 접점을 저해하는 인자로 사료된다. 또한 카본블랙의 함량도 박막내 접점 형성에 주요 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 카본블랙을 충전제로 사용한 본 연구의 인체감전모델 연구에서 각 인체부위별 체적저항값을 고려한 전도성 도료의제작을 위해서는 전도성 충전제의 입도크기와 함량 변화 및 두께의 상관관계가 중요한 인자임을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

충전제로 사용된 카본블랙의 입도크기와 함량의 변화 및 박막의 두께가 미치는 전도성 도료의 체적저항값의 변 화를 조사, 연구하였다. 카본블랙의 입도크기가 증가하면 도료의 응고과정에서 나타나는 응집현상으로 인하여 박막내 공극의 형성이 가속화되고, 카본블랙 점유율이 감소하는 것을 알 수 있었다. 더욱이 박막내 형성된 응집현상은 카본블랙 입자사이의 접점의 감소를 유발하여 체적저항값이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 충전제의 함량에 따라 박막내 접점의 형성, 이에 따른 박막의 체적저항값이 변화하는 것으로 조사되었다. 인체감전모델을 위한 카본블랙 전도성 도료의 개발에 있어 박막내 응집현상과 충전제의 입도크기와 함량 변화 및 두께 변화는 체적저항값의 주요 인자임을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- International Electrotechnical Commission, Effects of current on human beings and livestock - Part 2: Special aspects, IEC-60479, (1987).
- 2. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standards Interpretation for IEEE Std 80-1986, (1986).
- 3. M. S. Hammam and R. S. Baishiki, IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, PAS-102, (1983).
- C. F. Dalziel and F. P. Massoglia, AIEE Trans., 75, 49, (1956).
- P. Maxa, Theory of Box Girders. Chichester, Wiley, New York, USA, (1979)
- 6. M. Song, Polym. Sci. Tech., 12, 689, (2001).
- 7. Y. Nomura, Plastics, 47, 40, (1996).
- 8. S. H. Foulger, J. Appl. Polym. Sci., 72, 1573, (1999).
- Y. Sabba and E. L. Thomas, Macromolecules, 37, 4825 (2004).
- J. Liu, A. G. Rinzler, H. J. Dai, J. H. Hafner, R. K. Bradley, P. J. Boul, A. Lu, T. Iverson, K. Shelimov, C. B. Huffman, F. RodriguezMacias, Y. S. Shon, T. R. Lee, D. T. Colbert and R. E. Smalley, Science, 280(22), 1253 (1998).
- V. Krstic, G. S. Duesberg, J. Muster, M. Burghard and S. Roth, Chem. Mater., 10, 2338 (1998).
- J. Chen, M. A. Hamon, H. Hu, Y. Chen, A. M. Rao, P. C. Eklund and R. C. Haddon, Science, 282(2), 95 (1998).
- S. S. Wong, E. Joselevich, A. T. Woolley, C. L. Cheung and C. M. Lieber, Nature, 394(2), 52 (1998).
- J. E. Riggs, Z. Guo, D. L. Carroll and Y. P. J. Sun, J. Am. Chem. Soc., 122(24), 5879 (2000).
- J. E. Riggs, D. B. Wakker, D. L. Carroll and Y. P. J. Sun, J. Phys. Chem. B., 104, 7071 (2000).
- J. S. Lim, S. M. Park, S. Y. Lee, I. P. Hong and M. S. Kim, RIST, 19(3), 225 (2005).
- 17. S. Yoon, J. K. Lee, W. Cho, Y. Back, J. B. Ju and B. W. Cho, J. Kor. Electrochem.. Soc. **6**(1), 6 (2003).