

<연구논문(학술)>

## PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 정전방전특성

마혜영 · 양성용 · 김승진<sup>†</sup>

영남대학교 융합섬유학과

### Analysis on ESD Properties of the PANI added PU/MWNT Films

Hye Young Ma, Sung Yong Yang and Seung Jin Kim<sup>†</sup>

Department of Textile Engineering and Technology, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

(Received: January 29, 2013 / Revised: February 25, 2013 / Accepted: March 5, 2013)

**Abstract:** This paper surveys the ESD characteristics of the PANI added PU/MWNT film according to the manufacturing conditions such as variation of the loading contents of PANI and the mixture ratio of 2 dispersion solutions. For this purpose, PANI added PU/MWNT ground films were made with IPA/MWNT 3wt% dispersion solution and PANI/DMF dispersion solutions(5, 10, 15, 20, 25, and 30wt% contents of the PANI) by the mixture ratio of dispersion solution(10/50, 20/40, 30/30, 40/20, and 50/10part) in the PU (972DF) 100g, which was treated with 500rpm for 30min in the stirrer with condition of the dry temperature 120°C for 2min. Totally, 36 kinds of PANI added PU/MWNT film specimens were prepared. The physical properties of the PANI added PU/MWNT films such as electrical resistivity, absorbancy by UV-Vis spectrometer, and triboelectricity were measured and discussed with surface characteristics of the PANI added PU/MWNT films by SEM. The dispersion property of PANI to the DMF showed best dispersion at the 25% of PANI content. The surface electrical resistivity of the PANI added PU/MWNT films was decreased with increasing the weight content of PANI/DMF dispersion solution, and it showed the lowest value  $10^6 \Omega$  at the mixing condition of PANI/DMF 20part and MWNT/IPA 40part with 30% PANI. Furthermore, it was shown that the electrical and physical properties of the PANI added PU/MWNT film such as electrical resistivity, and triboelectricity were better than those of PU/MWNT film prepared with no PANI, which was result obtained in previous paper.

**Keywords:** ESD, polyaniline, MWNT, polyurethane, electrical resistivity

## 1. 서 론

최근 전기전자, 항공, 전자레인저, 핸드폰 통신, 정밀기기 제품 등의 사용이 급속히 증가하고 있다. 이러한 기기들은 우리에게 편의를 제공하지만 여러 가지 재해 및 장애의 요소를 안고 있는데, 그중 하나가 정전기로 인한 장애이다<sup>1)</sup>. 정전기로 인하여 산업용 로봇의 오작동에 의해 사고가 일어나기도 하며, IT 제품을 생산하는 공정에서 정전기 현상으로 인하여 생산효율이나 품질이 저하되기도 하고 특히 휘발성 약품이 있는 수술실이나 전자기기가 많은 항공기에서의 정전기 발생은 큰 사고를 일으킬 수 있다고 보고되고 있다<sup>2-4)</sup>.

정전기에 대한 방지대책으로는 도체의 대전방지,

대전방지제의 사용, 대전물체의 차폐, 가습, 작업자의 대전방지 등이 있다. 도체의 대전방지는 정전기 장해·재해의 대부분은 도체가 대전된 결과로 인한 불꽃방전에 의해 발생되므로, 도체의 대전방지를 위해서는 도체와 대지와와의 사이를 전기적으로 접속해서 대지와 등전위화 함으로써, 정전기 축적을 방지하는 방법이다. 또한 계면활성제의 사용으로 표면에 흡습성과 이온성을 부여하여 도전성을 증가시키는 대전방지제를 사용하는 방법이 있으며, 대전물체의 표면을 금속 또는 도전성 물질로 덮는 차폐 방법이 있으며, 그리고 ESD (정전방전, Electrostatic Dissipation) 기능을 부여하는 방법이 있다. 현재까지 ESD 기능을 부여하기 위해서 사용되는 충전재로는 금속섬유, 금속플레이크, 탄소섬유, 카본블랙 등이 있으며, 최근 탄소나노튜브를 응용한 연구가 많이 진행되고 있다.

<sup>†</sup>Corresponding author: Seung Jin Kim (sjkim@ynu.ac.kr)

Tel.: +82-53-810-3890 Fax.: +82-53-812-5702

©2013 KSDF 1229-0033/2013-03/37-46

Jana 등<sup>5)</sup>은 전기적 충전재로 카본블랙, 그래파이트 파이버(graphite fibers), 금속섬유, 금속파우더를 모재에 혼합하여 전자파 차폐효과와 전기적 전도성을 향상시킬 수 있다고 보고 하였다. Ha 등<sup>6)</sup>은 높은 전기전도도를 갖는 은 나노입자를 탄소섬유에 코팅시켜 Hybrid CFRP(Carbonfiber Reinforced Plastics)를 제작하고 미세구조 관찰과 향상된 전기전도도를 검증함과 동시에 실제 보잉787 비행기 시편과 비교함으로써 기존의 방식보다 전기전도도 측면에서 효율적인 방식을 제안하기 위해 전도성 나노입자의 농도, 분사시간 변화에 따른 전기전도도 변화에 대한 연구논문을 발표하였다. Lee 등<sup>7)</sup>은 다중벽 탄소나노튜브, 카본블랙 및 희석제 함유량에 따른 상온 경화 실리콘 고무복합재료의 기계적 및 전기적 특성에 관한 연구를 통하여 희석제의 함유량 증가와 보강재와 보강재 사이의 거리에 따른 전기저항의 변화에 대해 발표하였다. 한편 본 연구에 앞서 전보<sup>8-12)</sup>에서는 PU/MWNT 발포필름에 관련한 일련의 논문을 발표하였는데, Park 등<sup>8)</sup>은 탄소나노튜브/고분자 복합재료 생성시 탄소나노튜브와 고분자간의 친화력을 높이고 분산성을 향상시키기 위해 탄소나노튜브 기능화 개질에 관한 연구를 하였으며, 4 종류의 MWNT를 사용하여 PU/MWNT 복합 필름을 제조한 뒤 분산특성과 전기전도도 특성을 비교분석하여 정전방전 필름의 제조에 최적인 MWNT를 선정<sup>9)</sup>하였다. 그리고 Park 등<sup>10)</sup>은 그라운드로 쓰이는 PU/MWNT 필름의 제조시 폴리우레탄 내에서의 MWNT 함유량과 분산시간에 따른 특성을 연구하여 베이스 필름제조에 관한 기초 연구결과를 바탕으로 분산용매에 따른 MWNT의 분산특성을 실험하고 MWNT가 분산되어 있는 세 종류의 분산용액의 함유량을 변화시켜 1액형 폴리우레탄 수지와 각각 복합화하여 제조한 필름에 대한 각각의 분산용액 함유량 변화에 따른 물리적 특성을 분석<sup>11)</sup>하였다. 그리고 Park 등<sup>12)</sup>은 다양한 용제에 분산된 탄소나노튜브 분산액을 발포제를 사용하여 발포 필름의 제조 시 용제와 발포제가 PU/MWNT 발포필름의 발포체를 형성하는데 미치는 영향을 조사하고 PU/MWNT 발포필름 제조에 필요한 최적 발포제 제조조건을 도출하였다. 그러나 지금까지 연구한 발포 필름의 물리적 특성을 분석한 결과 전기저항도가  $10^{7-8}\Omega$  값을 보이므로 정전·방전 PU발포 필름의 1-skin 층의 적합성 여부는 확인하였으나 정전 방전

특성에 필요한 최소의 전기저항도  $10^6\Omega$  값을 가진 못하였다. 이것의 한계를 극복하기위한 지금까지의 연구를 조사해보면 기능성 도판트에 의해 일반 유기용매에 대한 용해도와 전기전도도가 증가되는 특성을 가진 폴리아닐린 (Polyaniline, PANI)을 첨가하여 CNT를 혼합함으로써 전기전도성을 높이는 연구가 진행되어 왔다<sup>13-15)</sup>. 또한 Lee 등<sup>16)</sup>은 수용성 폴리아닐린과 탄소나노튜브 복합재료를 제조하여 그 물성을 분석하는 연구를 하였다. Meng 등<sup>17)</sup>은 기존의 딱딱한 CNT/폴리아닐린 복합재료에서 얇고 유연한 CNT/폴리아닐린 복합재료를 제조하여 전기 화학적 특성을 분석하는 연구를 하였다. Wu 등<sup>18)</sup>은 in-situ 중합을 통하여 카르복실기가 함유된 MWNT와 Emeraldine salt가 첨가된 폴리아닐린(PANI-ES)의 합성에 의해 제조된 PANI-ES/c-MWNT 복합재료의 전도성이 MWNT가 없는 PANI보다 50~70% 정도 높은 값을 가진다고 발표하였다.

현재까지의 연구에서는 카본나노튜브와 폴리아닐린을 혼합한 복합재료에 관한 연구는 많이 진행되었으나 전자제품 패키지용으로서 ESD 성능을 가지는 MWNT와 PANI를 혼합한 유연성 필름에 대한 연구는 아직까지 발견 할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 열적 및 대기 안정성이 우수하며 가격이 저렴한 장점을 지니고 합성이 쉽고 높은 전기전도도를 보이는 전도성고분자인 PANI를 첨가한 PU/MWNT 필름을 제조하여 IT 산업용 적층간지용 ESD(정전방전, Electrostatic Dissipation) PU 발포필름의 1-skin층으로 사용 적합함을 확인하고자 한다.

## 2. 실 험

### 2.1 시료

본 연구에서 사용한 시료인 탄소나노튜브는 다중벽 탄소나노 튜브(MWNT, 한화나노텍, CM-95 type)로서 CVD 방법으로 제조한 순도 95%, 길이 10~20  $\mu\text{m}$ , 직경 10~15nm의 나노튜브이다. 그리고 PU/MWNT 필름제조를 위해 사용한 고분자 매트릭스는 (-NH-CO-O-)의 화학구조식을 갖는 폴리우레탄(Polyurethane, 이하 PU)으로 30% PU와 38.5%의 디메틸포름아미드(N,N-dimethylformamide, 이하 DMF), 그리고 31.5%의 MEK를 혼합한 1액형 PU수지 혼합용액 PU(HI-BON 972DF, Cytec. Industries Inc.)이다. 전도성 고분자는 PANI(polyaniline, (주)대영화학약품공업사)

를 사용했고, 분산용매로는 IPA(Isopropyl alcohol, (주)덕산약품공업)와 DMF(dimethyl form amide, (주)한원정밀화학)를 사용하였다.

**2.2 PU/MWNT 필름의 제조**

폴리우레탄(PU)의 1액형 PU와 DMF에 PANI의 함량을 5, 10, 15, 20, 25, 30wt%로 조절하여 초음파 분산시킨 PANI/DMF 분산용액과 3wt% MWNT/IPA

분산용액의 혼용비를 5가지(10/50, 20/40, 30/30, 40/20, 50/10)로 변화를 주어 500rpm의 속도로 30분간 교반시켜 6,500~7,000cps 점도를 가지도록 제조하고, 상온에서 24시간 숙성시켜 기포제거 후 필름을 제조하였다. 필름은 필름제조기 YBA-4형(Baker Applicator, Japan)을 이용하여 150 $\mu$ m 두께로 캐스팅하였다. 캐스팅 된 필름은 건조기 내부온도 120 $^{\circ}$ C에서 2분 동안 건조시켜 사용하였다. Table 1은 PU/MWNT 필름의

**Table 1.** The product conditions of PU/MWNT film

No.	Contents of the PANI(wt%)	PU (part(gr))	The mixture ratio of dispersion solution		Others
			PANI/DMF (part(gr))	MWNT/IPA (part(gr))	
1			10	50	
2			20	40	
3	5		30	30	
4			40	20	
5			50	10	
6			10	50	
7			20	40	
8	10		30	30	
9			40	20	
10			50	10	
11			10	50	
12			20	40	
13	15		30	30	
14			40	20	Drying temp.
15			50	10	120 $^{\circ}$ C
16			10	50	
17			20	40	
18	20		30	30	Drying time.
19		100	40	20	2min
20			50	10	
21			10	50	Thickness.
22			20	40	150 $\mu$ m
23	25		30	30	
24			40	20	
25			50	10	
26			10	50	
27			20	40	
28	30		30	30	
29			40	20	
30			50	10	
31	5		60	0	
32	10		60	0	
33	15		60	0	
34	20		60	0	
35	25		60	0	
36	30		60	0	

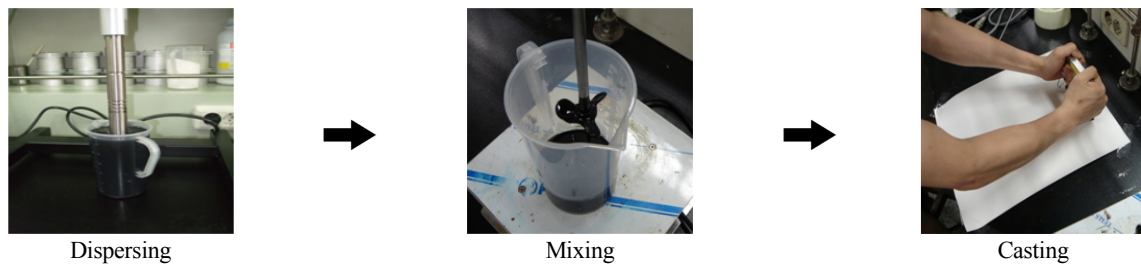


Figure 1. Manufacturing process of PU/MWNT film.

제조조건을 나타내며, Figure 1에 PU/MWNT 필름의 제조방법을 나타내었다.

## 2.3 필름의 물성 측정

### 2.3.1 PANI/PU 필름의 UV/VIS/NIR 측정

PANI 함량별 제조된 PANI/PU 필름의 흡광도를 확인하기 위하여 자외선/가시광선/근적외선 분광광도계(UV/VIS/NIR Spectrometer, Varian Inc.)를 이용하여 base line의 기준을 neat PU 필름으로 두고 350~750nm 파장영역에서 PANI/PU 필름 6종(No.31~No.36)의 흡광도를 측정하였다.

### 2.3.2 PU/MWNT 필름의 전기전도성 측정

전기전도도는 전도성측정기(KEITHLEY 8009, USA)와 전위계(KEITHLEY 6517B, USA)를 이용하여 측정시간(Measure Time, sec.) 15, 상쇄전압량(Offset Voltage, V) 0, 교체전압(Alternating Voltage, V) 50, 측정범위(Current Range, mA) 20의 조건하에서 표면전기 저항성과 부피전기 저항성을 측정하였다.

### 2.3.3 PU/MWNT 필름의 마찰대전압 및 반감기 측정

필름의 마찰대전압 및 반감기 측정은 마찰대전압 측정기(E.S.T-7, Kanebo, Japan)를 이용하여 습도  $40 \pm 2\%$ , 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  상태에서 24시간 컨디셔닝 후 제조된 필름시료 36종을 울 마찰포를 마찰하는 조건으로 시료 당 5회 측정하여 마찰대전압과 반감기를 측정하였다.

### 2.3.4 PU/MWNT 필름의 인장특성 측정

PU/MWNT 필름의 역학적 특성은 인장시험기(Testometric MICRO 350)를 이용하여 파지길이 100mm에서 인장속도 100mm/min으로 시료 당 5회 측정을 하였다.

### 2.3.5 PU/MWNT 필름의 표면특성 측정

주사전자현미경(SEM, JEOLS-4100 : HITACHI, Japan)을 사용하여 PANI/PU 필름의 표면을 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 PANI/DMF 함량에 따른 PANI/PU 필름의 흡광도

Figure 2에 PANI 함량에 따른 PANI/PU 필름의 흡광도를 나타내었다. PANI 함량에 따른 흡광도를 확인하기 위해서 순수 PU로 만든 neat PU film을 base line으로 잡고 MWNT/IPA 분산용액 없이 PANI/DMF 분산용액과 PU를 사용하여 제조한 No.31에서 No.36의 6개 시료의 흡광도를 구하였다. PANI 함량이 5wt%인 No.31 시료의 흡광도는 0.8로 가장 낮은 값을 보였다. PANI 함량이 10wt%로 증가한 No.32 시료의 경우 흡광도가 1.5를 가졌으며, PANI 함량이 10에서 15wt%로 증가하였을 때 흡광도가 2.7로 가장 큰 증가를 보였다. PANI 함량이 20wt%인 No.34 시료와 25wt%인 No.35 시료는 각각 3.42, 3.47의 비슷한 흡광도 값을 가졌으며 5wt%에서 25wt%의 함량에서는 함량이 증가함에 따라 흡광도 값이 증가함을 보였다. 반면 30wt% 함량의 No.36 시료는 흡광도가 2.8로 20, 25wt% 함량의 No.34,

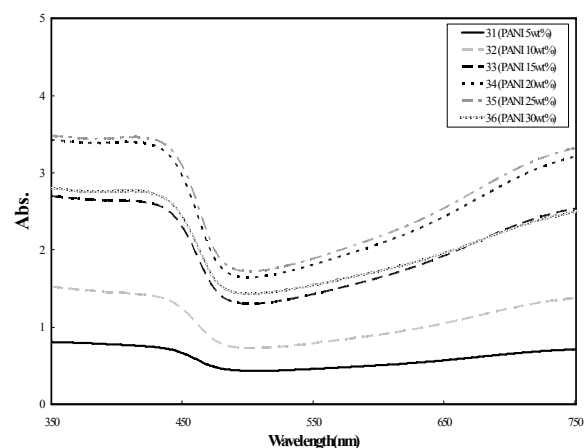


Figure 2. Absorbance of PANI/PU film according to contents of the PANI.

No.35 시료보다 낮은 값을 보였다. 제조된 PANI/PU 필름 내에 PANI의 함량이 높을수록 흡광도는 높은 값을 나타내며, 필름 표면에 PANI가 잘 분산되는 것을 확인하였다. 다만 30wt%의 No.36 시료의 경우 PANI를 DMF 용매에 초음파 분산 시 과도한 양으로 인해 분산이 덜 이루어져 침전물이 생기기 때문에 낮은 흡광도 값을 보이는 것으로 사료된다.

### 3.2 PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 전기저항도

#### 3.2.1 표면 전기저항

Figure 3은 PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 표면 전기저항성을 나타내었다. PANI의 함량이 5wt%에서 30wt%로 증가할수록 표면전기 저항값은  $10^{12}$ 에서  $10^7 \Omega/\text{sq}$ 으로 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. PANI 함량이 10wt% 일 때 PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA 분산용액의 혼용비가 10/50에서 20/40, 30/30, 40/20으로 변함에 따라 표면전기 저항값이 감소하였다. 특히, PANI 25wt% 함량에서 전반적으로 낮은 저항값을 보였으며, PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA 분산용액의 혼용비가 20/40, 30/30, 40/20에서 모두  $10^7 \Omega/\text{sq}$ 으로 낮은 표면전기 저항값을 보였으며 30wt%의 No.27 시료가 가장 낮은 값을 보였다. 그러나 분산용액의 혼용비는 50/10과 10/50에서 표면전기저항치가 대체적으로 높은 값을 보였다. 이는 분산용액의 혼용비가 50/10에서는 우수한 전기전도성을 가지는 MWNT/IPA 분산용액의

첨가량이 10으로 너무 작으면서 PANI/DMF 분산용액의 첨가량이 50으로 과도하게 많아져 심한 응집 현상이 발생한 것으로 사료되며, 분산용액의 혼용비가 10/50에서 높은값을 보이는 것은 분산이 어려운 MWNT/IPA 분산용액의 첨가량이 50으로 너무 많아 교반이 잘 되지 않은 것에 의한 것으로 사료된다. 한편 MWNT/IPA 분산용액 없이 PANI/DMF 분산용액만 사용하여 제조한 No.31 시료에서 No.36 시료 역시 PANI의 함량이 5에서 30wt%로 증가할수록 표면전기 저항값이 감소하는 경향을 보였으며 MWNT를 첨가하여 제조한 시료(No.1~No.30)보다 표면전기 저항값이  $10^{10} \Omega/\text{sq}$  이상으로 높게 측정되었다. 이는 MWNT/IPA 분산용액이 전기저항성에 큰 영향을 주며 PANI 함량의 증가 또한 전기저항성에 영향을 끼친다는 것을 확인 할 수 있다. 이 결과는 Luo 등<sup>19)</sup>의 연구와 유사한 결과로서 PANI 함량에 따른 폴리우레탄-실리카 복합재료의 물성분석에 관한 연구논문에서 PANI 함량을 증가시킬수록 전기전도성이 우수하다고 발표하였다.

#### 3.2.2 부피 전기저항

Figure 4는 PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 부피 전기저항성을 나타내었다. 표면전기 저항값과 동일하게 PANI의 함량이 5에서 30wt%로 증가할수록 부피전기 저항값은 대체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 이는 지금까지 연구한 PU/MWNT 필름<sup>8-12)</sup> 보다 낮은 전기저항 값을 가지는데 이는 전도성 고분

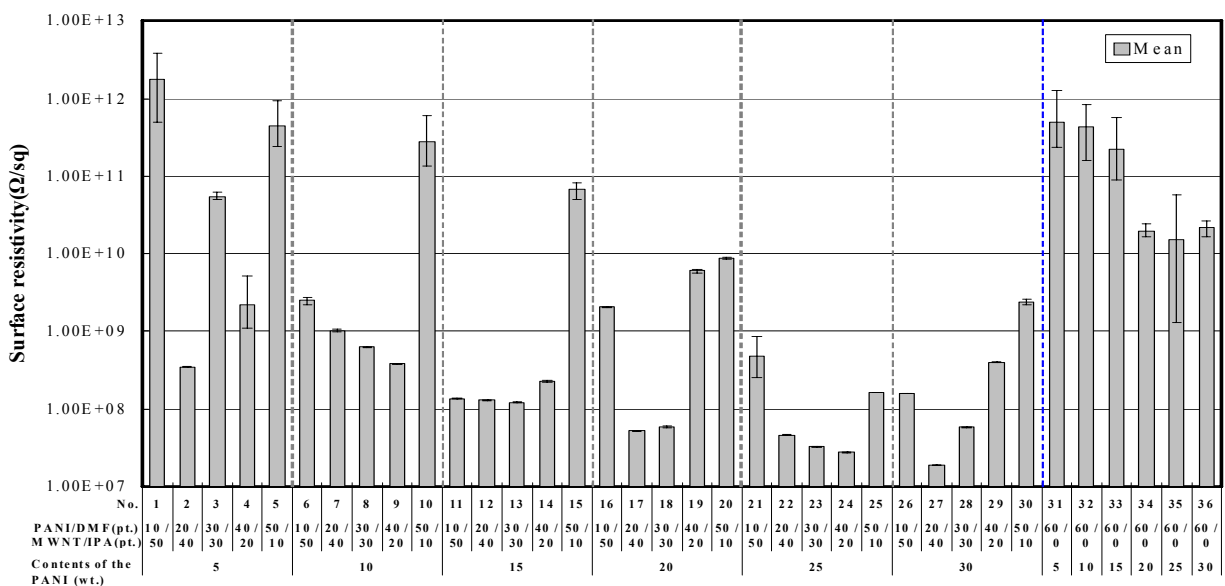


Figure 3. Surface resistivity of PU/MWNT film.

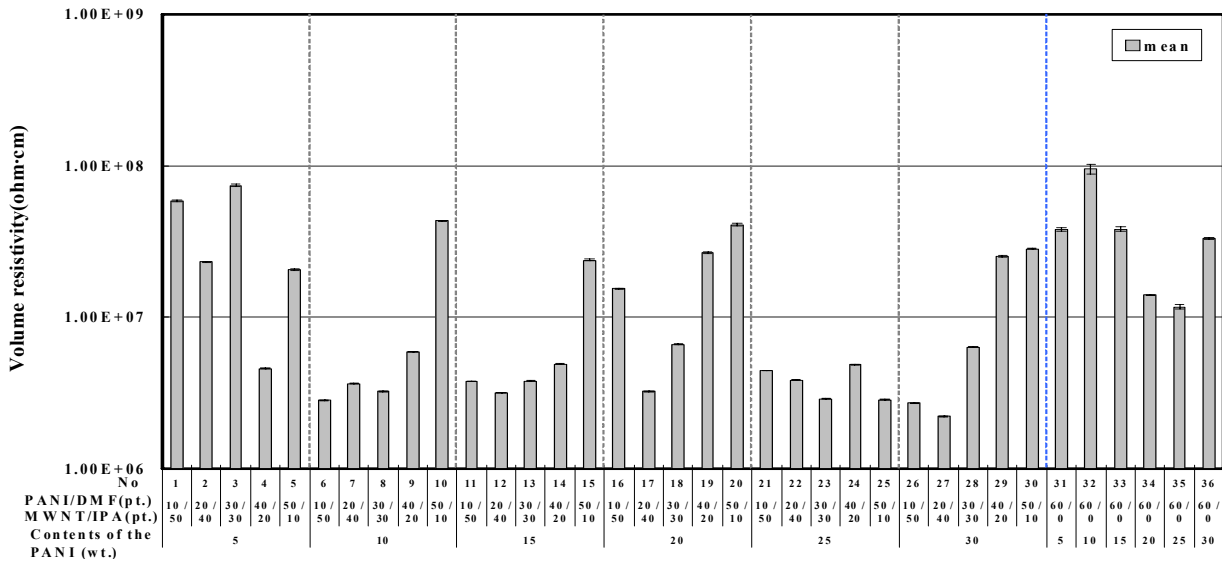


Figure 4. Volume resistivity of PU/MWNT film.

자인 PANI의 첨가로 보다 우수한 전기전도성을 가지는 것으로 사료된다. 그리고 Figure 4에서 볼 수 있듯이 PANI 25wt% 함량일 때 5개 시료 모두가  $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 낮은 부피 전기저항값을 보였으며 30wt% PANI 함량의 No.27 시료가 가장 낮은 값을 보였다. 따라서 최적조건은 표면 전기저항값과 부피 전기저항값 모두에서 가장 낮은 값을 가지는 30wt%의 No.27 시료로 사료된다. 한편, PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA의 혼용비가 10/50, 50/10을 제외한 20/40, 30/30, 40/20에서 대체적으로 낮은 표면전기 저항값과 부피전기 저항값을 보였다. 이러한 사실은 표면 전기저항과 마찬가지로 MWNT/IPA 분산용액의 양이 과도하게 많거나 너무 적을 경우 높은 전기 저항값을 가지는데 이는 표면전기 저항에서 설명되었듯이 MWNT/IPA 분산용액의 첨가량이 10으로 너무 작아 MWNT의 우수한 전기적 특성이 발현되지 않은 것에 의한 것과, 첨가량이 50일 때는 분산에 어려움이 있는 MWNT의 특성으로 첨가량이 과도하게 많아져 교반이 잘 되지 않은 것으로 사료된다. MWNT/IPA 분산용액 없이 PANI/DMF 분산용액만 사용하여 제조한 PANI/PU 필름 No.31 시료에서 No.36 시료의 경우 MWNT/IPA를 첨가하여 제조한 시료(No.1~No.30)보다 높은 전기저항값을 보였다. 이 또한 표면 전기저항과 동일한 이유인 MWNT/IPA 분산용액이 전기 저항값에 큰 영향을 주며 PANI 함량의 증가 또한 전기저항성에 영향을 끼치는 것에 기인됨을 알 수 있다.

### 3.3 PU/MWNT 필름의 마찰대전압과 반감기

Figure 5는 PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 마찰대전압과 반감기를 나타내었다. PANI 함량이 5wt%, 두 분산용액의 혼용비가 40/20인 No.4 시료와 50/10인 No.5 시료는 초기 마찰대전압이 각각 0.65, 0.15kV였으나 10sec뒤 0.54, 0.09kV로 떨어지고 60sec뒤 0.27kV와 0으로 측정되어 마찰로 인한 정전기에 대한 반감기는 42.2, 14.8sec인 것을 확인하였다. 그리고 PANI 함량이 10wt%일 때, 두 분산용액의 혼용비가 50/10인 No.10 시료의 경우 초기 마찰대전압이 0.1kV였으나 10sec뒤 0.00kV로 떨어져 반감기가 0으로 대전방지가 잘 되는 것을 확인하였으며, 이 세 가지 시료를 제외한 나머지 시료의 마찰대전압은 0에 가까운 값을 가지므로 대전방지가 잘 되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 PANI를 첨가하지 않은 기존의 PU/MWNT 필름<sup>8-12)</sup>보다 우수한 마찰대전압과 낮은 반감기를 보이므로, PANI의 우수한 전기적 물성에 의한 것으로 사료된다.

### 3.4 PU/MWNT 필름의 인장특성

#### 3.4.1 절단강도

Figure 6은 PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 절단강도를 나타내었다. PANI 함량이 5wt%일 때, PANI/DMF 분산용액의 첨가량이 10인 No.1 시료가 27.4kgf/mm<sup>2</sup>로 가장 높은 절단강도 값을 가졌으며, PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA 분산용액의 혼용비가

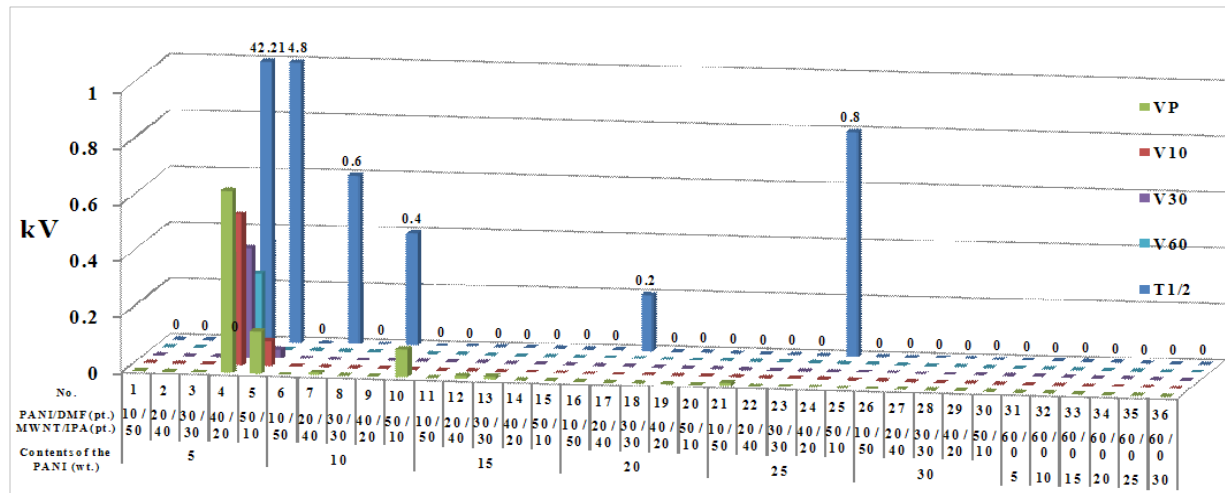


Figure 5. Triboelectricity of PU/MWNT film.

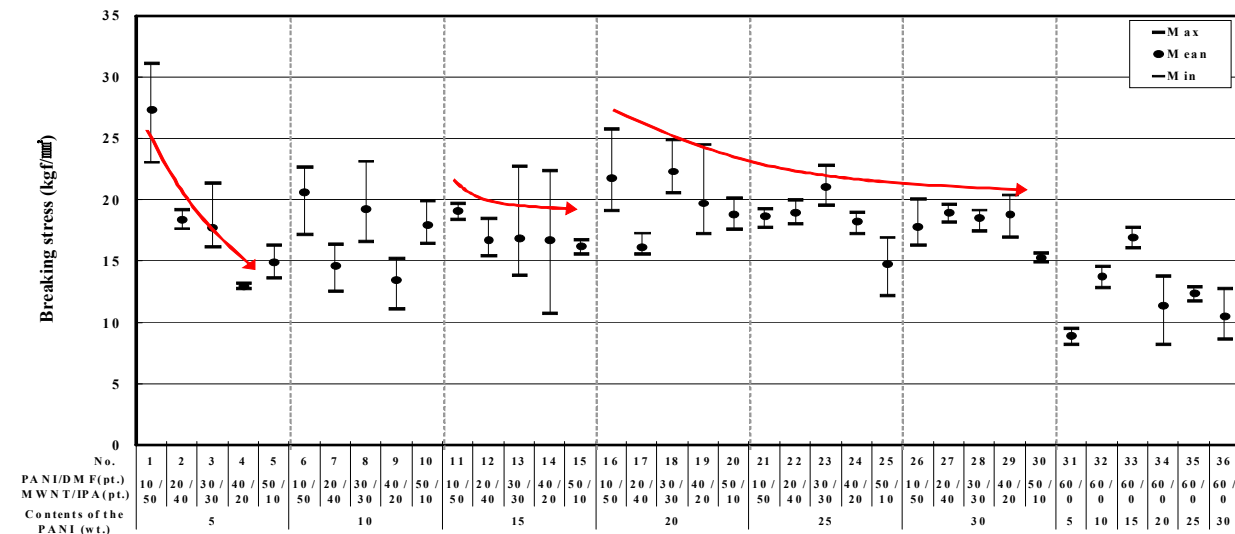


Figure 6. Breaking stress of PU/MWNT film.

강도가 13kg/mm<sup>2</sup>로 크게 감소하였고, PANI 함량이 15wt%일 경우에도 5wt% 함량과 동일한 감소를 보였다. 이는 두 분산용액의 혼용비중 PANI/DMF 분산용액의 혼용비가 증가할수록 필름 내 PANI의 비중이 커지면서 PANI의 응집현상으로 인해 기계적 물성이 감소하는 것으로 사료된다. 그리고 PANI 함량이 20, 25, 30wt%로 증가하였을 때도 전반적으로 절단강도가 감소하는 경향을 보였고 이는 PANI가 5, 15wt% 함량일 때 PANI 증가에 따른 절단강도 감소와 비슷한 경향성을 보였다. 또한 MWNT /IPA 분산용액 없이 PANI/DMF 분산용액만 첨가하여 제조한 No.31 시료에서 No.36 시료의 절단강도가 전반적으로 MWNT/IPA 분산용액을 첨가한 시료

료(No.1~No.30) 보다 낮은 분포를 보임을 확인 하였으며 5wt% 함량의 No.31 시료가 8.9kg/mm<sup>2</sup>로 가장 낮은 값을 보였다.

### 3.4.2 절단신도

절단신도의 경우 PANI 함량과 PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA 분산용액의 혼용비에 따른 경향성을 찾아보기 어려웠으며, 또한 각 시료 당 편차가 크게 측정되어 연관성을 찾아보기 어려웠다. 이는 MWNT/IPA 분산용액의 MWNT가 고르게 분산되지 않았으며, PANI/DMF 분산용액 또한 PANI가 고르게 분산되지 않고 응집현상으로 인한 영향으로 사료된다. Figure 7은 표면과 부피 전기저항치가 가장 낮은 값을 보이는 PANI 함량 25wt%와

30wt%일 때 PANI 첨가 PU/MWNT 필름의 절단신도를 나타낸다. 대체적으로 표면 및 부피전기전도도가 가장 우수한 No.27 시료(PANI 함량 30wt%, PANI/DMF 20part, MWNT/IPA 40part)의 절단신도가 78.5%로 비교적 높은 값을 보였으며 편차도 작음을 확인 할 수 있다.

### 3.5 PU/PANI 필름의 표면특성

Figure 8은 MWNT/IPA 분산용액 없이 PANI/DMF만 첨가하여 제조한 No.31 시료에서 No.36 시료의 PANI 함량에 따른 PU/MWNT 필름의 표면특성을 나타내었다. Oh 등<sup>20)</sup>의 논문에 의하면 폴리아닐린(EB BASE)은 긴 섬유구조의 형태를 나타내며, 평면

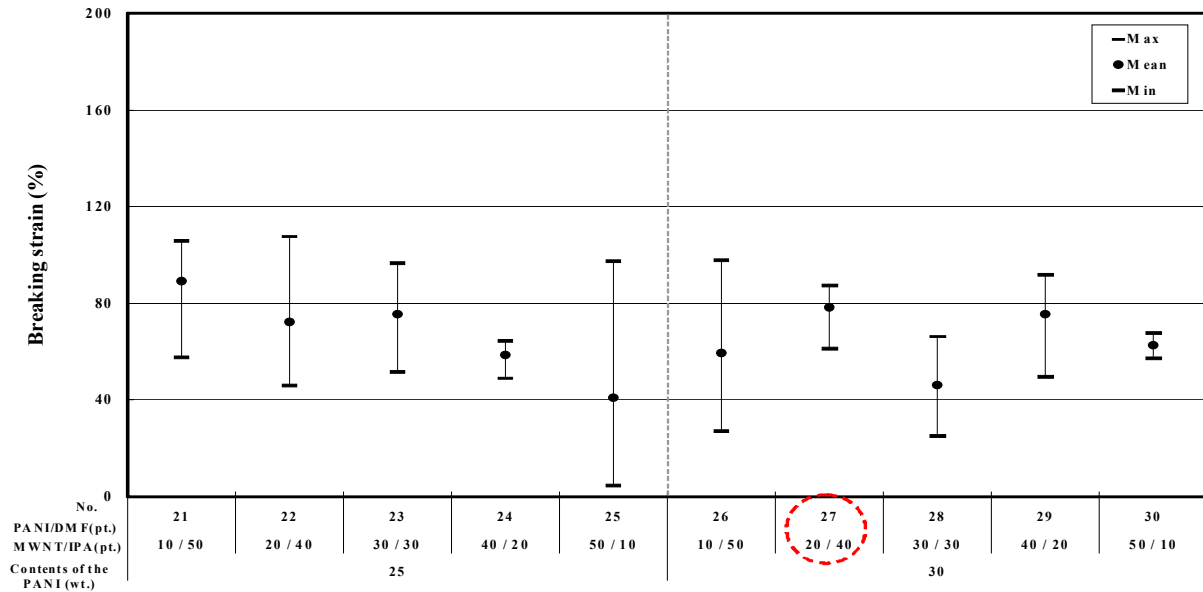


Figure 7. Breaking strain of PU/MWNT film.

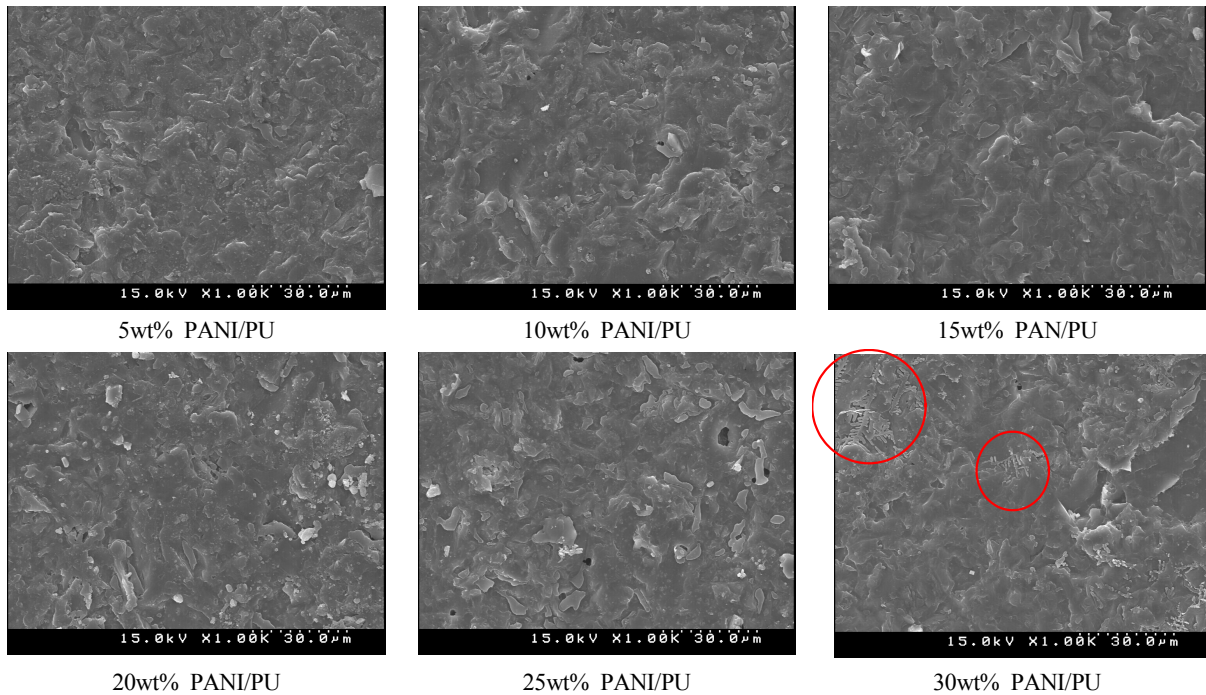


Figure 8. SEM surface image of PANI/PU film according to contents of the PANI.

구조의 폴리아닐린의 구조적 특징으로 인해 분자간 강한  $\pi-\pi$  상호작용을 통한 높은 결정성을 보여준다고 한다. 이에 따라 PANI 함량이 증가함에 따라 강한  $\pi-\pi$  상호작용에 의해 PANI에 결정이 생기는 것을 확인하였다. MWNT/IPA 분산용액없이 PANI/DMF 분산용액만 60part 첨가하여 제조한 여섯가지 시료(No.31~No.36)의 경우 PANI 함량이 5wt%에서 30wt%로 높아질수록 결정성이 강해져서 필름에 유연함이 없고 필름 시료 제조시 쉽게 부서지는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 폴리우레탄에 전도성고분자인 PANI를 DMF에 분산시킨 PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA 분산용액과 혼합하여 PU/MWNT 필름을 제조하였으며, 제조된 필름의 특성을 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PANI를 DMF에 분산하여 흡광도를 측정한 후 PANI 함량에 따른 분산성을 비교하였을 때 PANI 함량이 30wt%일 때를 제외한 나머지는 PANI의 함량을 증가시킬수록 분산성이 좋았으며 25wt%일 때 가장 우수한 분산성을 확인하였다.
2. 전기 전도도의 경우 표면전기 저항값은 PANI의 함량이 5에서 30wt%로 증가할수록 낮은 저항값을 보였으며, 20, 25, 30wt%의 함량일 때 PANI/DMF 분산용액과 MWNT/IPA 분산용액의 혼용비가 20/40, 30/30일 때  $10^7 \Omega/\text{sq}$ 의 낮은 저항값을 보였다. 부피전기 저항치에서는 10, 15, 20, 25, 30wt% 함량 일 때 두 분산용액의 혼용비가 20/40, 30/30일 때  $10^6 \Omega\cdot\text{cm}$ 로 낮은 부피전기 저항값을 가졌으며 25wt%의 함량일 때 5가지 시료 모두가  $10^6 \Omega\cdot\text{cm}$ 의 값을 가졌다. 표면 및 부피 전기 저항값을 비교한 결과 No.27 시료(PANI 함량 30wt%, PANI/DMF 20part, MWNT/IPA 40part)가 가장 낮은 표면 및 부피 전기저항값을 보임을 확인하였다.
3. 필름의 표면 마찰대전압과 반감기 측정을 하였을 때는 대부분의 시료가 0에 가까운 값을 가져 대전되는 것으로 확인되었으며 반감기 또한 0으로 빠르게 대전되는 것을 확인하였다.
4. 필름의 물리적 특성에서 절단강도는 PANI 함량이 5wt%일 때, PANI/DMF 분산용액의 혼용비가 10part인 No.1 시료가  $27.4\text{kg}/\text{mm}^2$ 로 가장 높은

절단강도 값을 가졌으며, PANI가 20wt% 함량 일 때 절단강도가 가장 안정되면서도 높은 값을 보였다. 절단신도의 경우 표면 및 부피전기전도도가 가장 우수한 No.27 시료(PANI 함량 30wt%, PANI/DMF 20part, MWNT/IPA 40part)의 절단신도가 78.5%로 비교적 높은 값을 보였으며 편차도 작음을 확인하였다.

5. MWNT/IPA 분산용액없이 PANI/DMF 분산용액만 첨가한 필름의 SEM 촬영 결과 PANI 함량이 5wt%에서 30wt%로 높아질수록 결정성이 강해져서 필름에 유연함이 없고 쉽게 부서지는 것을 확인 할 수 있었다.

따라서 전도성 고분자인 PANI를 첨가하여 PU/MWNT 필름을 제조 하였을 경우 PANI의 영향으로 전기저항값이  $10^6 \Omega\cdot\text{cm}$ 을 가짐으로서 정전방전 재료로서 사용 가능한 성능을 보임을 확인하였으며, No.27 시료(PANI 함량 30wt%, PANI/DMF 20part, MWNT/IPA 40part)가 최적조건으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. G. T. Kim, Y. M. Jung, and J. K. Lee, Case Study on the Electrostatic Hazards in the Coating Mechanical System, Proceedings of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Conference, Kangwondo, Vol.18, p.602, 2006.
2. J. H. Jeong, Electrostatic Safety, *World of Electricity (The Korean Institute of Electrical Engineers)*, **42**(2), 29(1993).
3. T. Oda, Various Problems in Eelectrostatic Trouble-overview, *Air Cleaning Technology(Korea Air Cleanig Association)*, **24**(4), 33(2011).
4. C. H. Lee, Prevention of Firing Explosion by Electrostatic, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, **10**(6), 19(1996).
5. P. B. Jana, A. K. Mallick, and S. K. De, Electromagnetic Interference Shielding by Carbon Fiber-filled Polychl-oroprene Rubber Composites, *Composites*, **22**, 451(1999).
6. M. S. Ha, O. Y. Kwon, and H. S. Choi, Improved Electrical Conductivity of CFRP by Conductive

- Nano-Particles Coating for Lightning Strike Protection, *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, **23**(1), 31(2010).
7. J. M. Lee, S. R. Ryu, and D. J. Lee, Study on the Electrical and Mechanical Properties of Silicone Rubber Composite with Nano-materials, Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Conference, Ulsan, Vol.27, p.201, 2009.
  8. K. S. Park, S. J. Kim, J. H. Kim, J. H. Park, and O. K. Kwon, Modification of Carbon Nanotube for the Improvement of Dispersion and the Dispersion Characteristics of Carbon Nanotube in Polyurethane, *Textile Coloration and Finishing*, **22**(1), 43(2010).
  9. J. H. Kim, J. H. Park, and S. J. Kim, The Physical Property of MWNT/PU Composite Films, *Textile Coloration and Finishing*, **22**(3), 246(2010).
  10. J. H. Park, J. H. Kim, and S. J. Kim, Manufacturing and Characteristics Analysis of PU/MWNT Composite Film for Forming, *Textile Coloration and Finishing*, **22**(4), 362(2010).
  11. J. H. Kim, H. Y. Ma, S. Y. Yang, and S. J. Kim, Analysis of Electrical and Physical Property of the PU/MWNT Film and Dispersion Characteristics of MWNT According to the Solvent, *Textile Coloration and Finishing*, **24**(1), 69(2012).
  12. J. H. Park, M. R. Park, L. H. Choi, and S. J. Kim, The Characteristic of PU/MWNT Foaming Film, *Textile Coloration and Finishing*, **24**(1), 79 (2012).
  13. J. Y. Kim, J. H. Lee, and S. J. Kwon, The Manufacture and Properties of Polyaniline Nano-films Prepared through Vapor-phase Polymerization, *Synthetic Metals*, **157**(8-9), 336(2007).
  14. H. J. Hwang, A Study on the Conductivity Enhancement of Polyaniline by Blending Amphiphilic Molecules, M.S. Thesis, Ajou University, 2005.
  15. C. H. Lee, Synthesis and Characterization of Conducting Composite using Single-Walled Carbon Nanotubes and Polyaniline, M.S. Thesis, Jeonju University, 2011.
  16. J. U. Lee, W. H. Jo, W. O. Lee, and J. H. Byun, Selected Papers from the 2011 Spring Meeting of KSCM: Preparation and Characterization of Water-soluble Polyaniline/carbon Nanotube Composites, *Journal of Composite Materials*, **24**(6), 1(2011).
  17. C. Meng, C. Liu, and S. Fan, Flexible Carbon Nanotube/polyaniline Paper-like Films and their Enhanced Electrochemical Properties, *Electrochemistry Communications*, **11**, 186(2009).
  18. T. M. Wu, Y. W. Lin, and C. S. Liao, Preparation and Characterization of Polyaniline/multi-walled Carbon Nanotube Composites, *Carbon*, **43**, 734(2005).
  19. J. Luo, X. Wang, J. Li, X. Zhao, and F. Wang, Conductive Hybrid Film from Polyaniline and Polyurethane-silica, *Polymer*, **48**, 4368(2007).
  20. S. J. Oh, U. J. Lee, J. J. Yoon, M. J. Jung, S. H. Lee, S. H. Lee, E. H. Cha, and J. K. Lee, Preparation and Characterization of Organic Thin-Film Transparent Electrode Using Conducting Polyaniline, *Journal of the Korean Electrochemical Society*, **13**(3), 175(2010).