

고밀도 이차전지용 Dimercaptan-Polyphenylenediamine 복합전극의 특성

박수길, 나재진, 이찬진*, 이주성**

충북대학교 공업화학과

*한국화학연구소

**한양대학교 공업화학과

Dimercaptan-Polyphenylenediamine Composite Cathode for Rechargeable Batteries

Soo-Gil Park, Jae-Jin Na, Chang-Jin Lee*, Ju-Seong Lee**

Dept. of Industrial Chemical Engineering, Chungbuk National University

*Korea Research Institute of Chemical Technology

**Dept. of Industrial Chemical Engineering, Hanyang University

Abstract

Polyphenylenediamine(PPD) films and PPD-DMcT composite films were prepared by mixing the PPD powder and polyvinylacetate(PVA) as binder and by mixing PPD powder and 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole (DMcT) as reactivation reagent and then dissolving in dimethylsulfoxide (DMSO), N-methyl-2-pyrrolidione (NMP), m-cresol as solvents. The preparation characteristic of PPD films and composite films were confirmed with SEM, TGA, respectively. And the electrical conductivity measurements and cyclic voltammetric technique were also used to confirm the electrical characteristics and electrochemical property of PPD films and composite films. For electrical property, the electrical conductivity of PPD films and composite films increased as increasing doping concentration and showed the highest value when dissolved in DMSO and doped at 0.4% LiClO₄ solution in the mixture of PPD powder and PVA(1:1) and DMcT(1:2), respectively. And electrical conductivity measured by using four-probe method was compared with UV-vis NIR spectra. PPD film and composite film had a good thermal stability in preparing with DMSO and NMP. For electrochemical property of PPD film, inactivation was carried out by continuous potential

cycling. But after DMcT was added to electrolyte, the deteriorated electrochemical response was restored to a large extent and after the reactivation, the response was slightly suppressed again and then a steady state was reached.

1. 서론

최근 시판되는 휴대용 전자 제품들이 초소형화, 초경량화됨에 따라 이에 적합한 에너지원으로써 전지에 대한 성능 향상의 필요성이 높아졌으며, 특히 경제성 등의 면에서 2차전지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻³⁾. 더욱이, 전세계적으로 환경문제가 대두되면서, 자동차나 발전소 등에 많이 사용되고 있는 연료를 청정 에너지로 대체하려는 움직임이 근래 들어 미국이나 일본을 중심으로 선진 7개국을 중심으로 진행되고 있다³⁾. 현재 많은 연구가 진행 중인 대표적인 전지중 하나인 리튬 이온 이차전지에 대한 개발은 1980년 Armand에 의해 제안되었으며, 리튬 금속 이차전지에 비해 안정성과 Cycle 수명이 향상되었지만, 반면에 리튬 이온형 2차 전지가 리튬 금속계 2차 전지보다 우수한 특성을 나타내기 위해서는 정극활물질(positive active material)이 리튬 금속의 전극전위와 유사해야 하고, 정극 및 부극활물질(negative active material)의 에너지밀도가 높아야 하고, 급속 충방전을 위해 정극, 부극내의 리튬 확산계수가 커야 한다는 등의 여러 사항을 만족해야 한다⁵⁻⁶⁾. 이러한 여러 조건을 충족시키기 위해 현재까지 연구된 정극활물질을 크게 구분하면, TiS_2 , MoS_2 , $NbSe_3$ 등의 금속 칼코겐 화합물계, V_2O_5 , MnO_2 , $LiCoO_2$ 등의 금속 산화물계, 그리고 Polyaniline, Polypyrrole 등과 같은 전도성 고분자 등이다⁷⁻⁹⁾. 이중에서도, 근래 들어 전도성 고분자를 정극활물질이나 전해질에 응용하여 에너지 밀도와 작업 전압 그리고 전지 수명 등과 같은 전지 성능을 향상시키려는 연구가 진행 중에 있으며, 더 나아가, 전도성 고분자의 응용 한계성을 해결하기 위해 전지 내의 정극활물질을 단순히 전도성 고분자만으로 구성하지 않고 두 가지 이상의 전도성 고분자를 사용하거나 무기화합물이나 유기화합물을 혼합한 복합 전극을 제조하여 전지 성능을 향상시키려는 연구가 최근에 활발히 진행 중에 있다¹⁰⁻¹²⁾. 예로 Oyama¹⁶⁾ 등은 polyaniline과 polypyrrole 유도체 그리고 dimercaptan계 유기화합물을 이용하여 복합 전극을 구성하여 185Ah/kg-정극 용량과 4.7V의 작업 전압 등의 우수한 전지성능을 갖는 전지를 제작하였다¹⁶⁻¹⁸⁾. 그러나 이와 같은 전지 시스템에서도 전도성 고분자들의 전기전도도, 열적 안정성, 유연성(elasticity), 그리고 대기중 안정

성 등과 같은 제막 특성은 여전히 문제점으로 남아 있어 실용화하는 데는 한계성을 갖고 있다.

따라서, 본 연구에서는 새로운 전도성 고분자인 polyphenylenediamine (PPD)을 합성하여, 다양한 용매와 바인더로써 polyvinylacetate(PVA)와 reactivation reagent인 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole(DMcT)를 일정 비율로 혼합하여 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름을 각각 제막하고 다양한 도펀트와 도핑 농도로 재도핑한 후, 이들에 대한 전기전도도, 열적안정성, 전기 화학적 특성 등의 제막 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료

모노머로써 이용된 phenylenediamine (PD, 99.9%)와 용매로써 사용된 m-cresol (99.7%), dimethylsulfoxide (DMSO, 99.5%), N-methyl-2-pyrrolidione (NMP, 99.7%)은 Lancaster Co. 제품을 감압 증류하여 사용하였으며, 도펀트로써 LiClO_4 (99.99%), LiAsF_6 (99.99%), LiBF_4 (99.99%)는 Sigma Co. 제품을 구입하여 사용하였으며, 본 실험실에서 직접 제작한 무수분(1 ppm 이하), 무산소(1 ppm 이하)의 dry box내에서 보관하였다. 조촉매인 Ammoniumperoxydisulfate는 Junsei Co. 제품을 정제하여 사용하였으며, film-casting시 필름의 elongation을 증가시키기 위해 바인더인 polyvinylacetate (PVA)를 Kanto Chemical Co.에서 구입 사용하였으며, 전기화학적 안정성을 증가시키기 위해 사용한 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole(DMcT)은 Lancaster Co. 제품을 사용하였다. Polyphenylene-diamine (PPD)은 본 실험실에서 직접 중합하여 사용하였다 (수율: 98%, Fig. 2). 기타 다른 시약은 Aldrich Co. 특급 시약을 사용하였다.

2.2 실험장치

가로, 세로 1cm × 1cm의 크기로 제막한 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름의 전기전도도는 본 실험실에서 자체 제작한 전기전도도 측정장치 (four-point probe instrument)를 사용하여 수분의 영향에 의한 오차를 줄이기 위해 dry box에서 측정하였다(Fig. 1). 전기전도도 측정장치에서 이상적인 probe 사이의 거리가 0.5에서 1.5mm이며, 본 실험실에서 제작한 probe 사이의 거리는 1mm이었으며, 전압 probe를 b, c로 사용하고 전류 probe를 a, d로 사

용하여 correction factor의 값은 4.53이었다(Table. 1). Four-point probe method로 측정된 전기전도도 값을 UV-vis NIR spectra와 비교하여 확인하였으며, 또한, 전기화학적 특성을 조사하기 위해 cyclic voltametry(EG&G, 273A)를 이용하여 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합필름의 전기화학적 거동을 조사하였다. 도핑 후 전기전도도에 영향을 미칠 수 있는 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름의 표면 상태의 변화를 관찰하기 위해 SEM (Hitachi S570)을 이용하여 관찰하였다. 열에 의한 고분자 화합물의 분해에 의해 전지 수명에 직접적인 영향을 미치는 제막한 필름들의 열적안정성을 조사하기 위해 TGA (V4.0B Dupont 2100) 분석 장치를 각각 사용하였다.

Table 1. The Value of Correction Factor as Voltage and Current Probes

Current probes	Voltage probes	Factor
a, d	b, c	4.53
b, c	a, d	4.53
a, b	c, d	
(c, d)	(a, d)	21.84
a, c	b, d	
(b, d)	(a, c)	15.50

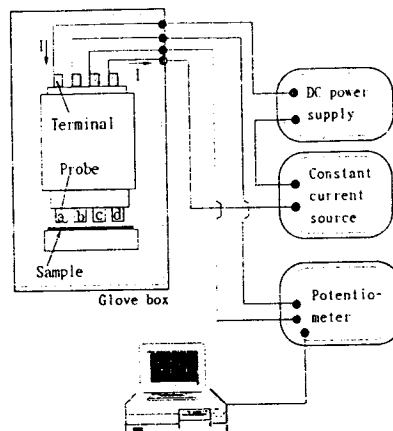


Fig. 1. Apparatus of electrical conductivity measurement

2.3 제막방법

PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름의 제막 방법을 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2에서도 알 수 있듯이, PD 모노머와 ammoniumperoxydisulfate를 같은 몰비율로 혼합한 후 HCl을 서서히 첨가시키면서 0°C 질소분위기 하에서 3시간 동안 교반하였다. 얻어진 PPD powder를 메탄올과 증류수(18.2 MΩ)로 수차례 세척하고 진공건조기 내에서 80°C로 24시간 건조시켰다. 건조된 PPD powder를 암모니아 수에서 24시간 동안 교반시켜 염처리를 행한 후 다시 진공건조기 내에서 90°C로 24시간 동안 건조시켰다. 이와 같은 방법으로 합성한 PPD powder를 용매에 따른 제막 특성을 조사하기 위해 DMSO, NMP, m-cresol에 용해시킨 후, 바인더로써 PVA와 reactivation reagent인 DMcT를 각각 1 : 1과

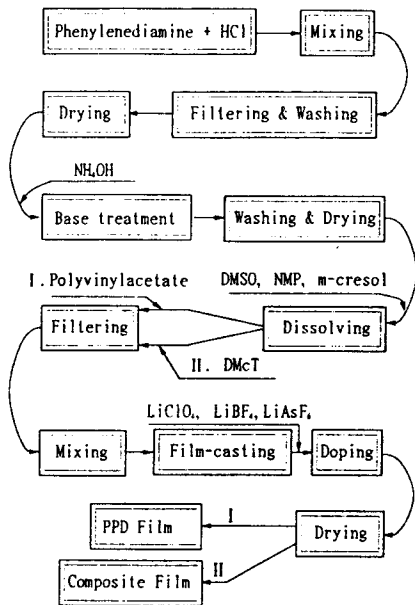


Fig. 2. Flow diagram for preparation of PPD film (I) and composite film (II)

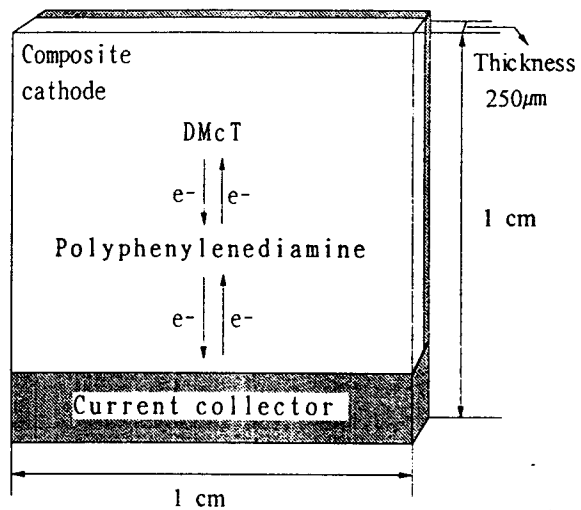


Fig. 3. Schematic illustration for the charge flow in the PPD-DMcT film

1 : 2의 비율로 혼합한 후 Homogenizer(Branson, 2110)로 균일화시켜 60°C에서 24시간동안 건조하였다. 필름 캐스팅 후 얻어진 필름에 HCl, LiClO₄, LiBF₄, LiAsF₆ 용액의 농도를 변화시켜 각각 재도핑하여 dynamic vacuum oven (JEIO TECH Co., Vo-20X)에서 80°C로 48시간 동안 건조하였다. 이와같은 제막 방법을 통해 가로, 세로 1cm × 1cm이며, 두께가 200µm와 250µm인 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름을 얻을 수 있었다.

2.4 반응식 조사

PPD-DMcT 복합 필름내에서 PPD와 DMcT의 전하 흐름을 Fig. 3와 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 3와 4에 나타낸 것과 같이 산화과정에서 PPD는 도펀트의

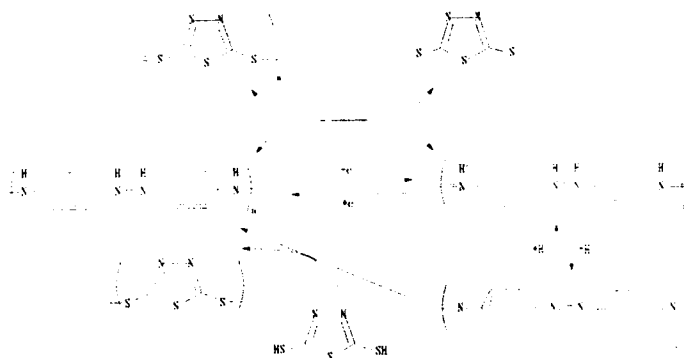


Fig. 4. Charge transfer reactions between PPD and DMcT

도핑에 의해 형성되는 전기전도도를 복합 전극에 전달하며, 전자는 DMcT에서 산화된 PPD로 전달된다. 즉, PPD는 복합전극에서 전자를 전달하는 역할(분자 전류 집전체)을 행하며, DMcT는 PPD의 전기화학적 활성을 유지시켜 줌으로써 PPD 자체가 갖는 전기화학적 불안정한 물성을 보완하는 역할을 행하게 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면 상태 관찰

PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름이 도핑에 의해 emeraldine base form에서 전기전도도를 갖는 emeraldine salt form으로 전이되는 동안에 필름들의 표면상태의 변화가 있을 것으로 사료되어, film-casting 후 얻어진 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름에 도핑 농도를 변화시키면서 도핑하여 필름들의 표면상태의 변화를 확인하기 위해 SEM 측정을 행하였으며, 이를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5를 통해서 알 수 있듯이, PPD 필름의 경우 도핑전의 필름의 표면(a)은 매우 다공성이었으나 0.4% HCl 용액(b)으로 도핑하였을 경우는 현저히

pore size가 작아짐을 확인할 수 있었다. 또한 PPD-DMcT 복합필름 역시 도핑 이전의 표면(c)은 다공성이었으나 0.4% LiClO₄ 용액(d)으로 도핑한 경우 pore size가 현저히 작아짐을 확인할 수 있었다. 이와같이 도핑 농도의 증가에 따른 필름의 세공 크기가 감소하는 현상은 도펀트로 사용된 HCl의 Cl⁻이온과 LiClO₄의 ClO₄⁻이온이 각각 필름의 홀에 수착되기 때문이라 사료된다. PPD 필름과 PPD-DMcT 필름에 대한 도핑 농도에 따른 pore size를 Table 2에 나타내었다.

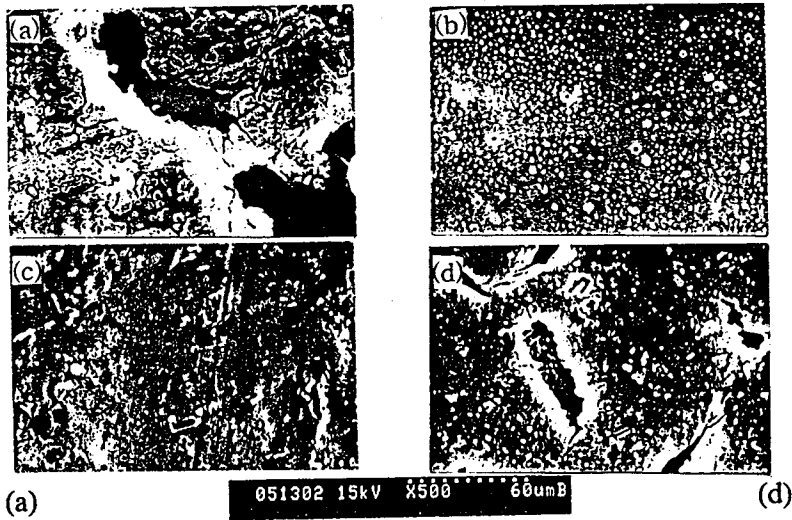


Fig. 5. SEM photography of PPD film (a) undoped film, doped in (b) 0.4% HCl solution and PPD-DMcT composite film (c) undoped film, doped in (d) 0.4% LiClO₄ solution

3.2 열적안정성 관찰

전도성 고분자가 고분자 필름전지의 정극활물질로 실용화되기 위해서는 열적안정성이 매우 중요한데, 이는 산화-환원 반응에 의해 발생하는 열에 의해 고분자의 분해가 일어나 전지의 수명이 단축될 수 있기 때문이다. 따라서, 용매를 변화시켜 제작한 각각의 PPD필름과 PPD-DMcT 복합 필름의 열적안정성을 조사하기 위해 TGA 분석을 행하였으며, 이 결과를 Fig. 6와 Fig. 7에 각각 나타내었다. 또한, 열분해온도와 그 때의 잔유량을 Table 3과 Table 4에 나타냈다. Fig. 6와 Table 3을 통해 알 수 있듯이, 약 350℃ 부근에서 PPD 분말(a)의 단일결합에 의한 열분해가 일어났으며, DMSO와 NMP에서 제작한 PPD필름의 단일 결합에 의한 열분해는 약 370℃ 부근에서 열분해가 일

어남을 알 수 있었다. 또한, 370°C 부근에서 PPD분말의 이중결합에 의한 열분해가 약 630°C 부근까지 일어나는 반면, DMSO, NMP, m-cresol에 용해시켜 제작한 필름들의 경우는 380°C 부근에서 500°C 부근까지 PPD필름의 이중결합에 의한 열분해가 일어남을 확인할 수 있었다. PPD-DMcT 복합 필름의 경우 (Fig. 7, Table 4), 약 200°C 부근에서 DMcT에 의한 열분해가 일어났으며, 약 200°C 부근에서 350°C 부근까지 PPD의 단일결합에 의한 열분해가 일어남을 확인할 수 있었고, 380°C 부근에서부터 PPD의 이중결합에 의한 열분해가 일어남을 알 수 있었다. PPD 필름과 PPD-DMcT 필름에 대한 열적안정성 분석 결과, PPD 필름의 경우는 350°C 이하의 온도에서, PPD-DMcT 복합 필름의 경우는 200°C 이하의 온도에서 사용되는 응용분야에 적용 가능함을 알 수 있었다.

Table 2. The Pore Size of PPD Film and PPD-DMcT Composite Film as Dopants and Doping Concentration

Sample	Pore size (μm)	Doping concentration (%)	Sample	Pore size (μm)	Doping concentration (%)
PPD film	2.5	Undoped	PPD-DMcT composite film	2.2	Undoped
	1.5	0.2		1.1	0.2
	1.2	0.3		-	-
	0.015	0.4		0.05	0.4

Table 3. Physical Properties of PPD Film Prepared with Various Solvents

Property \ Solvents	Degradation temp. (°C)	Residual amount (%)
(a) PPD powder	350	80
(b) DMSO	370	80
(c) NMP	370	80
(d) m-cresol	360	60
Polyaniline	300	80

Table 4. Physical Properties of PPD-DMcT Composite Film

Property \ Solvents	Degradation temp. (°C)	Residual amount (%)
(a) DMSO	200	90
(b) NMP	200	95
(c) m-cresol	200	85

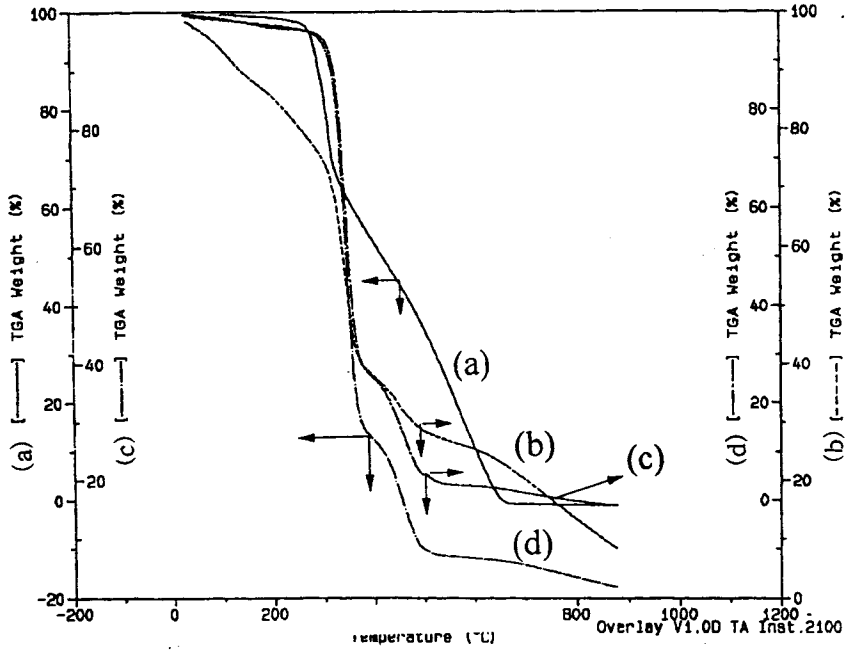


Fig. 6. TGA analysis of PPD films prepared by various solvents (a) PPD powder (b) NMP (c) DMSO (d) m-cresol

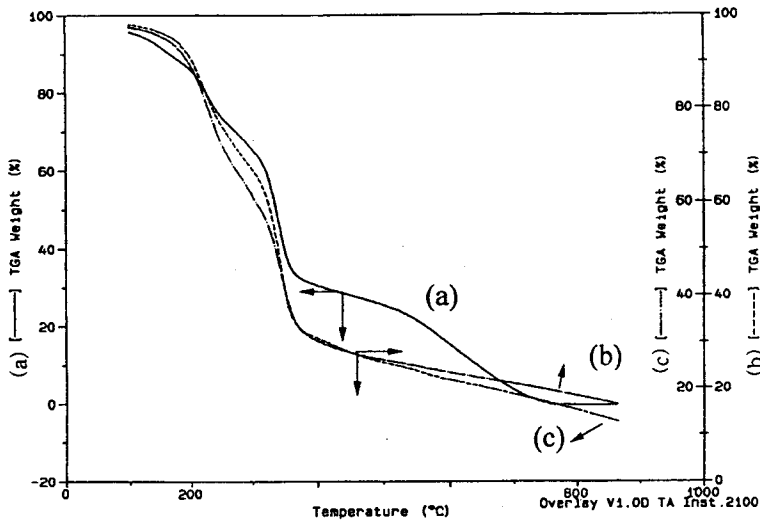


Fig. 7. TGA analysis of PPD-DMcT composite films prepared by various solvents (a) NMP (b) DMSO (c) m-cresol

3.3 전기전도도 측정

전도성 고분자의 전기전도도에 영향을 미치는 물리적인 성분으로써 elongation을 들 수 있는데, 이는 전도성 고분자의 backbone이 straight forward 될수록 전기전도도가 우수해지며, 충방전시 리튬이온이 삽입/탈리되는 동안

Table 5. Elasticity Effect for Electrical Conductivity of PPD Film

Solvent	Electrical conductivity (S/cm)	
	Unstretched	Stretched (300%)
DMSO	3.0	20
NMP	0.2	11
m-cresol	0.7	8

Table. 6 Elasticity Effects for Electrical Conductivity of PPD-DMcT Composite Film

Solvent	Electrical conductivity (S/cm)	
	Unstretched	Stretched (90%)
DMSO	0.02	3.0
NMP	0.007	0.2
m-cresol	0.0001	0.1

에 전도성 고분자의 conducting form이 파괴되어 전지수명을 단축시키게 되는 것을 방지할 수 있기 때문이다. 예로, 폴리아닐린의 경우 인위적으로 40배정도 stretched시키면, 전기전도도가 100배이상 증가한다는 것이 보고되었다. 본 연구에서 제작한 PPD필름 및 PPD-DMcT 복합 필름에 대한 elasticity 물성을 Table. 5와 6에 나타내었다. Table. 5와 6에서도 알 수 있듯이, streched 전 후의 전기전도도에 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이외에 전기전도도에 영향을 미치는 다른 인자로써, dopant의 영향을 들 수 있는데, 이는 도핑시 emeraldine base form에서 emeraldine salt form으로 전이되는 단계에서 전도성 고분자의 conducting form이 쉽게 전하를 포함할수록, 즉 도핑율이 우수할수록 전기전도도가 증가하기 때문이다. Elongation, dopant의 종류, 그리고 doping 농도에 따른 PPD-DMcT 필름의 전기전도도를 조사하기 위해 본 연구실에서 제작한 전기전도도 측정장치(four-point probe instrument)를 사용하여 four-probe method로 dry box내에서 측정하였으며, 이의 결과를 Table. 7과 8에 나타내었다.

Table 7. Measurement of Electrical Conductivity of PPD film

Solvent	Dopant	Electrical conductivity(S/cm)	Solvent	Dopant	Electrical conductivity(S/cm)
NMP	HCl	15	DMSO	HCl	18
	LiClO ₄	12		LiClO ₄	20
	LiAsF ₆	15		LiAsF ₆	17
	LiBF ₄	14		LiBF ₄	16

Table 8. Measurement of Electrical Conductivity of PPD-DMcT Composite Film

Solvent	Dopant	Electrical conductivity(S/cm)	Solvent	Dopant	Electrical conductivity(S/cm)
NMP	LiClO ₄	0.1	DMSO	LiClO ₄	3.0
	LiAsF ₆	0.06		LiAsF ₆	0.1
	LiBF ₄	0.2		LiBF ₄	2.0

Table. 7과 8을 통해 알 수 있듯이, PPD 필름 및 PPD-DMcT 복합 필름의 전기전도도에 영향을 미치는 인자로서, 도핑농도에 대해서는 도핑농도가 증가할수록 전기전도도가 증가하는 경향을 보였으며, 용매로서는 DMSO에 용해시켜 제조한 필름들이 가장 우수한 전기전도도를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 DMSO를 용매로 사용하였을 때 전도성 고분자의 conducting form이 가장 안정되게 형성될 수 있으며, PPD 분말이 완전하게 용해되었기 때문이라 사료된다. Four-probe method로 측정된 PPD-DMcT 복합 필름의 전기전도도를 Uv-vis NIR을 이용하여 비교 조사를 행하였다. 시료의 농도는 각각 $3 \times 10^{-6} \text{M}$ 이었으며, 용매로서 DMSO와 NMP를 사용하였다. Fig. 8를 통해 알 수 있듯이, DMSO에 용해시킨 PPD, PPD-DMcT, DMcT의 흡수피크가 약 360nm 부근에서 나타났으며, 이들의 흡수피크가 four-probe method로 측정된 전기전도도 값의 경향과 유사하게 PPD, PPD-DMcT, DMcT순으로 나타남을 확인할 수 있었다. Fig. 9은 용매를 NMP로 사용하여 측정된 결과이며, DMSO에서 측정된 경우와 마찬가지로 360nm 부근에 나타난 PPD, PPD-DMcT, DMcT의 흡수피크를 비교한 결과 four-probe method로 측정된 전기전도도의 경향과 유사함을 확인할 수 있었다.

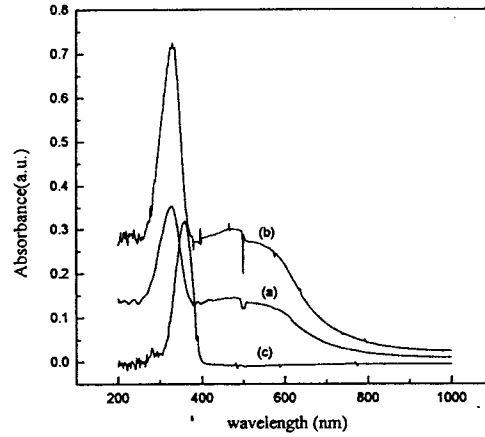
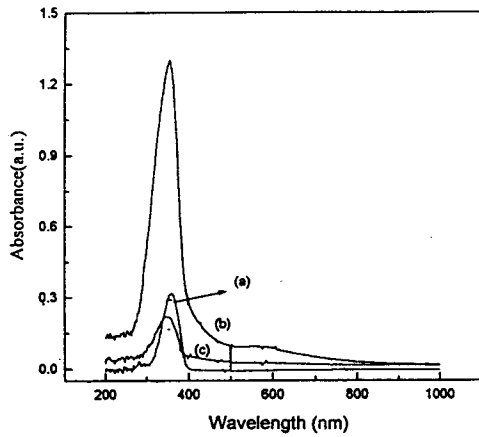


Fig. 8. Uv-vis NIR spectra of PPD(a), PPD-DMcT(b), and DMcT(c) in DMSO

Fig. 9 Uv-vis NIR spectra of PPD(a), PPD-DMcT(b), and DMcT(c) in NMP

3.4 전기 화학적 특성조사

PPD film 및 PPD-DMcT 복합 필름의 전기화학적 특성의 변화를 조사하기 위해 cyclic voltmetry를 이용하여 측정하였으며, 이 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10(a)은 0.1M LiClO₄/PC의 전해질 내에서 주사속도가 50mV/s일 때, 전기화학적 inactivation되기 전(curve a)과 후(curve b)의 PPD필름에 관한 cyclic voltammogram이다. 상대 전극으로써는 백금 전극을 사용하였으며, 기준 전극으로써는 포화카로멜 전극(saturated caromel electrode)을 사용하였다. Fig. 10(b)는 같은 조건에서 전해질에 1mM의 DMcT를 첨가한 후의 시간의 경과에 따른 PPD필름에 대한 cyclic voltammogram이다. Fig. 10(a)을 통해 알 수 있듯이, 전위 cycling을 연속적으로 반복하였을 때 56회 경과 후, curve a에서 curve b로 전기 화학적으로 점차 inactivation됨을 확인할 수 있었다. 그러나, Fig. 10(b)를 통해, 전해질에 1mM의 DMcT를 첨가하면, deteriorated 전기 화학적 반응(curve b)은 다시 회복됨을 확인할 수 있었다. 그러나, 0.3V ~ 0.4V 사이에서 약간 suppress된 후(14-56회)에 다시 정상상태로 되돌아감을 알 수 있었다. 이러한 현상은 앞서 Fig. 3와 Fig. 4에서 설명했듯이, PPD와 DMcT사이의 전기화학적 상호 작용에 의해서라고 사료되며, Fig. 10으로부터 DMcT는 PPD 필름의 전기화학적 활성을 유지시켜 줌으로써 PPD 필름의 전기화학적 특성에 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

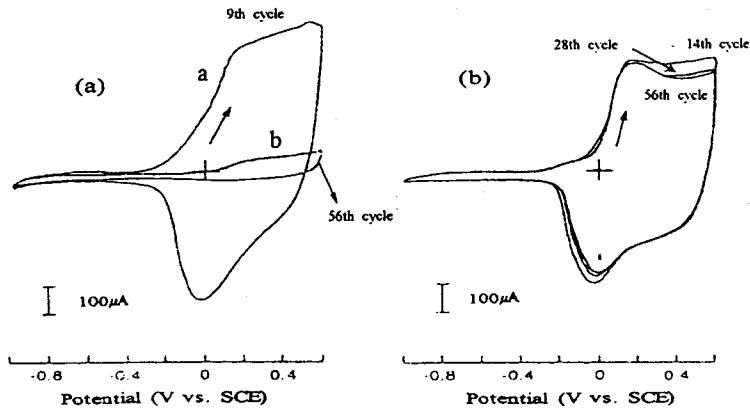


Fig. 10. Cyclic voltammograms of PPD film (a) before (curve a) and after (curve b) the electrochemical inactivation in 0.1M LiClO₄/PC at 50mV/s) (b) after the addition of DMcT(1mM) into the electrolyte in 0.1M LiClO₄/PC at 50mV/s)

4. 결 론

새로운 전도성 고분자인 polyphenylenediamine(PPD)를 합성하여, PPD와 바인더로서 PVA 그리고 reactivation reagent인 DMcT를 일정한 비율로 혼합하여 다양한 용매로 용해시킨 후, HCl, LiClO₄, LiBF₄, 그리고 LiAsF₆로 재도핑하여 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름을 제작하여 제막 특성을 측정된 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) PPD 필름 및 PPD-DMcT 복합 필름의 전기전도도 값은 DMSO에 용해시켜 필름을 제조한 후, 0.4% LiClO₄로 재도핑하였을 때 가장 우수하였으며, PPD 필름의 경우 약 20 S/cm 이었으며, PPD-DMcT 복합 필름의 경우 3 S/cm 이었다.

2) PPD 필름 및 PPD-DMcT 복합 필름의 열적안정성은 NMP와 DMSO로 제막하였을 때 비교적 우수한 열적안정성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름은 각각 350℃ 과 200℃ 이하에서 사용 가능함을 확인할 수 있었다.

3) 도핑전의 PPD 필름과 PPD-DMcT 복합 필름의 표면 morphology은 다공성이었으나, 도핑농도가 증가할수록 표면의 홀은 감소함을 확인할 수 있었다.

4) PPD 필름 및 PPD-DMcT 복합 전극의 전기화학적 특성은 PPD 필름의 경우, 연속적인 전위 cycling을 행함으로써 inactivation 상태로 되었다가, DMcT의 첨가 후 다시 정상상태로 되돌아감을 확인할 수 있었다. 이로써, DMcT는 PPD 필름의 reactivation에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구는 정보통신 연구과제의 대학기초연구지원사업 (과제번호: U96-156)에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

References

1. A. G. MacDiarmid, Arthur J. Epstein, *Synth. Met.*, **65**, pp. 103-116 (1994)
2. E.M. Genies, S. Picart, *ibid*, **69**, pp.165-166 (1995)
3. K. Kanamura, II, Tamura, S. Shiraishi, and Z.-I. Akechira, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 340 (1995)
4. 吉野勝米 編, *The Technic and Application of Conductive Polymer*, **319** (1988)
5. N. Katagiri, T. Fujii, *Progress in Batteries & Battery Materials*, **14** (1995)