

Oligo(ethylene oxide)를 곁사슬로 갖는 Poly(*p*-phenylene) 전해질의 합성과 광학적 성질

김근수 · 김정수[†]

충남대학교 고분자공학과
(1999년 4월 10일 접수)

Synthesis and Optical Properties of Poly(*p*-phenylene) Electrolyte Attached with Oligo(ethylene oxide) Side Chains

Kunsoo Kim and Jeong Soo Kim[†]

Department of Polym. Sci. & Eng., Chungnam National Univ., Taejeon 305-764, Korea

[†]e-mail : jskim@hanbat.chungnam.ac.kr

(Received April 10, 1999)

요약: Oligo(ethylene oxide)를 곁사슬로 갖는 poly(*p*-phenylene)을 합성하기 위한 단량체로 oligo(ethylene oxide) 치환 그룹으로 함유한 디클로로벤젠 및 디브로모벤젠 유도체를 합성하였다. 합성된 단량체들은 니켈 착화합물을 촉매로 하여 중합되었으며 분광학적 방법과 점도측정을 통하여 고분자의 형성을 확인하였다. 합성된 고분자의 흡광특성, 광발광특성 및 열안정성을 관찰하였으며 전기화학 셀속에서의 산화환원 거동을 관찰하였다.

ABSTRACT: In order to synthesize poly(*p*-phenylene) containing the side chain of oligo(ethylene oxide), the derivatives of dichlorobenzene and dibromobenzene which are attached with oligo(ethylene oxide)s, were synthesized. The synthesized monomers were polymerized with the catalyst of nickel-complex, and the formation of polymers was confirmed by the spectroscopic method and viscosity measurement. The polymers were characterized using TGA, UV-VIS absorbance, photoluminescence, and redox behaviour in electrochemical cell.

Keywords: poly(*p*-phenylene), oligo(ethylene oxide), UV-VIS absorbance, photoluminescence, redox behavior.

서 론

Poly(*p*-phenylene) (PPP)은 열안정성이 뛰어나고 π -전자가 비편재화되어 있는 흥미로운 구조의 고분자 화합물이다. PPP는 강한 전자받개나 전자주개 화합물의 도핑을 통하여 산화 및 환원된 형태의 화합물이 되며 반도체 영역의 전도성을 나타내는 것으로 알려져 있다.¹ 이러한 성질 때문에 기능성 고분자 소재로서 이용하려는 연구들이 많이 보고되어 있는데, 최근에는 poly(phenylene vinylene) (PPV)와 함께 발광다이오드나 전계발광소자로서 이용되는 것이 연

구되고 있으며, 구성원소로 탄소와 수소만 함유한 고분자이다.²

그러나 PPP를 합성하는 여러 가지 방법이 알려져 있음에도 불구하고 고분자량의 PPP를 높은 수율로 합성하는 것이 어렵고, 경직된 구조로 인한 낮은 용해성과 가공성 문제로 그 이용에 대한 연구가 많은 제한을 받고 있다.³

Poly(ethylene oxide) (PEO)는 탄성 폴리에스테르나 폴리우레탄의 합성시 연질부 (soft segment)를 구성하는 블록으로 이용되거나, 친수성 고분자로는 여러 가지 첨가제로 이용되어 왔으며, 최근들어 리튬

이온의 전도체로 사용될 수 있는 배터리의 고분자 전해질로 관심을 끌고 있는 고분자이다.

본 연구에서는 확장된 π -전자를 가지며 경직성의 분자쇄를 가진 PPP의 주쇄에 사슬의 유동성과 친수성이 큰 oligo(ethylene oxide) (OEO) 측쇄가 결합된 고분자를 합성하여 용해성 및 가공성을 증가시키고 광학적 성질 및 전기화학적 성질을 관찰함을 목적으로 하고 있다.

PPP는 전형적으로 디할로벤젠을 마그네슘과 같은 금속과 반응시켜 합성하나, 중합에 의하여 침전으로 얻어지는 고분자는 분자량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다.³ 고분자량의 PPP는 용해성 전구체를 사용하여 합성될 수는 있으나 많은 양의 1,2-결합이 함께 형성되어 경직성 막대구조 PPP의 확장된 π -전자의 구조가 파괴되는 것으로 보고되어 있으며, 1,4-결합을 높이기 위하여 polycyclohexene을 전환하여 PPP를 합성하는 기술도 알려져 있다.¹

용해성이 있는 PPP 유도체로는, Suzuki 커플링법을 사용하여 알콕시 그룹을 측쇄로 가진 PPP가 Wegner 등에 의하여 연구, 보고되었으며^{4,5} 알콕시실 포늄염을 측쇄로 가진 수용성의 PPP 유도체가 Reynolds의 연구그룹에 의하여 합성되어 보고되었다.⁶

고분자의 합성시 화학구조의 정밀한 제어를 위하여 중합기능기를 가진 텔레킬릭 (telechelic) 고분자나 마크로머 (macromer)를 합성하고 이를 다시 다음 단계의 중합에 사용하는 기술은 많이 사용되는 방법인데, 특히 PEO나 poly(dimethylsiloxane)은 가장 많이 사용되는 것 같다. 이는 이들이 텔레킬릭 고분자나 마크로머의 구성 주쇄가 되고 말단그룹을 중합관능성 그룹으로 전환하는 많은 방법들이 알려져 있고, 또 PEO나 poly(dimethylsiloxane)의 독특한 성질 때문에 이들이 그라프트공중합체나 블록공중합체의 구성단위가 될 때 공중합체의 여러 가지 흥미로운 성질들이 관찰되기 때문인 것으로 생각된다.⁷

본 연구에서는 oxyethylene을 반복단위로 가진 OEO 말단그룹을 변환하여 디할로벤젠에 결합시킨 단량체를 합성하고 이어서 중합에 의하여 OEO를 결사슬로 가진 PPP를 합성하며 그들의 물성, 광학적 성질, 전기화학적 성질들을 연구하여 고분자 기능소자로서 응용가능성을 알아보려고 한다.

실 험

시 약. 분자량이 각각 164, 350, 550 g/mol인 OEO의 monomethyl ether 화합물 (MOEO)은 Aldrich사의 특급시약을 사용하였다. 디에틸에테르, THF는 4 Å의 분자체로 처리하여 사용하였으며 생성물의 정제과정에 사용되는 증류수는 이온교환수지를 거친 3차 증류수이다. 단량체의 합성과 중합에 사용되는 각종 시약들은 모두 Aldrich사로부터 구입한 후 별도의 정제과정없이 사용하였으며 그들은 다음과 같다; *p*-benzoquinone, hydrobromic acid, *p*-toluenesulfonyl chloride, nickel (II) bromide, triphenyl phosphine, bipyridine, sodium iodide.

단량체의 합성. Fig. 1에는 단량체의 합성과 중합, 그리고 그들을 표기하는 약자들이 나타나 있다.

2,5-Dibromohydroquinone의 합성: Hydrobromic acid 용액속에서 *p*-benzoquinone과 브롬의 반응에 의하여 문헌에 알려진 방법으로 합성하였다.⁸

MOEO-Ts의 합성⁹: 수평균분자량이 164 ($n=3$), 350 ($n=7$), 550 ($n=12$)인 세 종류의 MOEO-OH를 사용하였으며 각각에 대한 반응조건은 동일하다. 일음수조속에서 장착된 둥근바닥플라스크에 먼저 MOEO-OH 0.2 mole을 THF 50 mL로 희석한 후 5 M의 NaOH 용액 60 mL를 첨가하고 격렬히 교반하였다. 여기에 *p*-toluenesulfonyl chloride 36.2 g (0.19 mole)을 50 mL의 THF에 녹인 용액을 천천히 첨가하고 4시간 더 교반하였다. 얻어진 MOEO-Ts는 분별갈대기를 이용한 추출 (25 mL×3회)에 의하여 정제하였는데, $n=3$ 인 MOEO-Ts인 경우는 추출용매로 디에틸에테르를 $n=7$ 및 $n=12$ 인 경우는 클로로포름을 사용하였다. 합해진 추출액은 증류수를 세척액으로 하여 중성이 될 때까지 세척하였다. 이어서 Na_2SO_4 로 건조하고 여과한 후 회전증발기와 진공 건조를 거쳐 노란색의 점성이 있는 MOEO-Ts를 얻었다. 수율: MOEO-Ts-3; 80%, MOEO-Ts-7; 78%, MOEO-Ts-12; 85%.

단량체 DBDO-n의 합성: 8.04 g (0.03 mole)의 2,5-dibromohydroquinone과 0.06 mole에 해당하는 MOEO-Ts 세 종류중 하나를 80 mL의 DMF에 넣고 12 g (0.09 mole)의 K_2CO_3 를 첨가하고 80 °C에서 7시간 반응시켰다. 이어서 상온까지 냉각한 후 12시간

Oligo(ethylene oxide)를 결사슬로 갖는 Poly(*p*-phenylene) 전해질의 합성과 광학적 성질

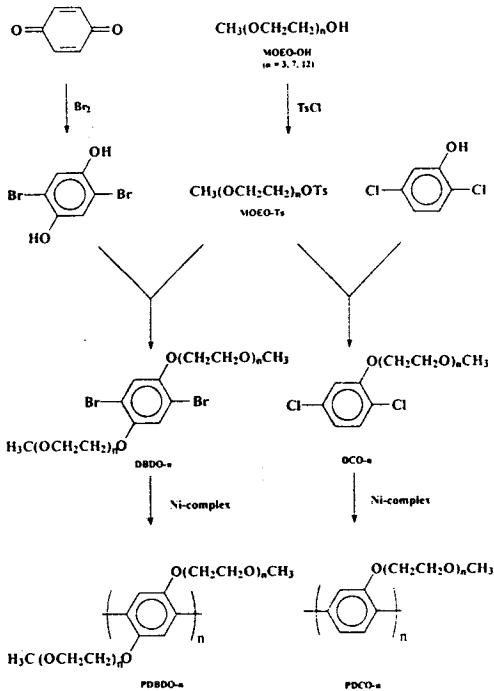


Figure 1. Synthetic pathways to monomers and polymers. Number (n) shown in structures and abbreviations in their names denote the number of oxyethylene repeating unit.

더 교반하여 형성된 현탁액을 여과하고 디에틸에테르로 세척하여 (30 mL×3회) 얻은 유기상에 200 mL의 물을 첨가하였다. 추출과정에 의하여 수용액상에 얻어진 생성물은 다시 디에틸에테르로 추출하였다 (30 mL×3회). 합해진 유기상은 다시 증류수로 세척하고 Na₂SO₄로 건조한 후 여과, 감압건조, 진공건조의 순서에 의하여 생성물을 얻었다. 수율: DBDO-3;50%, DBDO-7;17%.

단량체 DCO-n의 합성: 2,5-dichlorophenol 16.52 g (40 mmol)과 40 mmol에 해당하는 MOEO-Ts를 150 mL의 DMF에 녹이고 6.07 g (44 mmol)의 K₂CO₃를 첨가한 후 80 °C에서 24시간 반응시켰다. 반응액을 상온까지 냉각하고 고형분을 여과제거한 후 회전증발기를 이용하여 농축하였으며 여기에 40 mL의 클로로포름을 첨가하여 희석하였다. 희석된 용액은 분별깔대기를 사용하여 1 M의 NaOH 용액으로 세척하였으며 (30 mL×5회) Na₂SO₄로 건조, 여과,

감압건조, 진공건조의 순서에 의하여 축쇄의 길이가 다른 세 종류의 DCO-n을 얻을 수 있었다. 수율: DCO-3;70%, DCO-7;74%, DCO-12;82%.

PDBDO-n 및 PDCO-n의 중합. 질소분위기하의 3구 둥근바닥 플라스크에서 nickel (II) bromide 0.16 g (0.73 mmol), triphenylphosphine 1.46 g (5.58 mmol), bipyridine 0.11 g (0.73 mmol), sodium iodide 1.09 g (7.27 mmol), 아연분말 1.47 g (22.54 mmol)을 15 mL의 DMF와 혼합한 후 40-45 °C에서 30분 교반하고 7.27 mmol에 해당하는 DBDO-n 혹은 DCO-n 단량체를 10 mL의 DMF에 녹여 첨가하였다. 70 °C에서 48시간 중합한 후 상온으로 냉각하고 아세톤 30 mL를 첨가하여 30분 더 교반하였다. 이어서 1 M의 염산용액 10 mL를 첨가하고 고형분을 여과하여 얻고 물과 메탄올로 세척하여 축쇄의 길이가 다른 PDBDO-n 및 PDCO-n 고분자를 얻었다. 수율: PDBDO-3;36%, PDBDO-7;19%, PDCO-3;37%, PDCO-7;22%, PDCO-12;20%.

전기화학 셀의 제조. 10 Ω/cm²의 ITO위에 합성된 고분자, LiClO₄, poly(ethylene oxide), 아세토니트릴이 혼합된 용액을 spin coater를 사용하여 코팅하고 그위에 열증착의 방법으로 1500 Å 두께의 Al을 증착하여 한쪽 전극으로 사용하였다.

광학적인 특성의 측정. 자외선 및 가시광선 영역의 흡광특성은 Guided Wave International사의 분광분석기로 관찰하였으며 광발광특성은 Jobin Yvon-Spex Instruments의 Fluomax-2를 이용하여 관찰하였다.

기타. 고분자의 열분석은 TA Instruments사의 TA Model 2010을 사용하여 10 °C/min의 승온속도로 100~750 °C 범위까지 관찰하였다. 또 합성된 고분자의 전기화학적 특성은 EG&G사의 전기화학분석기 Model 273A를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

PPP 구조의 주쇄를 가지는 고분자의 중합반응에는 벤젠유도체의 직접산화법, poly(1,3-cyclohexadiene)의 탈수소화 반응에 의한 방법, 금속촉매를 사용한 커플링반응에 의한 방법 등으로 대별될 수 있다. 본 연구에서는 Yamamoto 연구그룹에 의하여

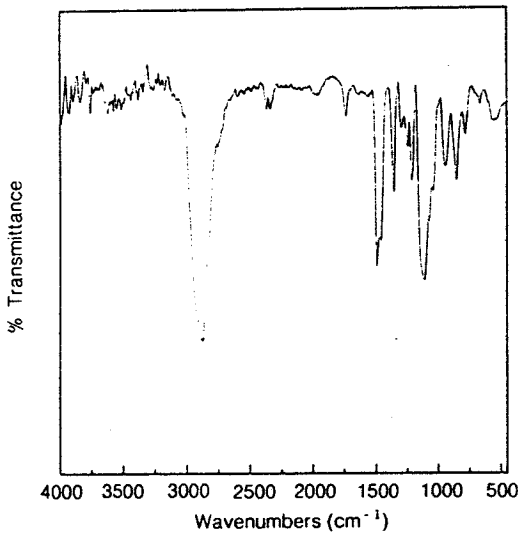


Figure 2. FT-IR spectrum of DBDO-7.

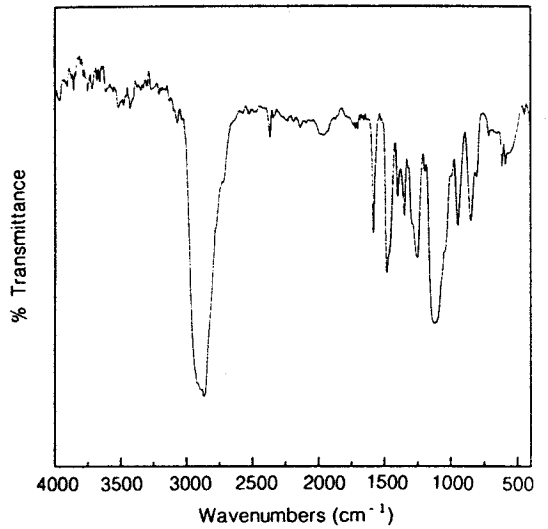


Figure 3. FT-IR spectrum of DCO-7.

개발되고 개선되어온 니켈착체를 사용한 탈할로젠화 반응에 의한 중합반응을 계획하고, 이에 적절한 구조의 단량체를 합성하였다. 이러한 탈할로젠화 커플링 반응에 의하여 중합반응이 가능한 단량체의 구조는 1,4-디브로모벤젠유도체들이며 브롬대신에 염소로 치환된 단량체들도 중합반응에 이용되고 있다.¹

Fig. 1에는 단량체의 합성과정이나 나타나 있다. 방향족성 OH기와의 결합반응을 위해 측쇄 분자사슬인 OEO의 말단 OH기는 tosyloxy 그룹으로 전환되었으며 이어 디할로젠화 벤젠유도체와의 결합반응에 사용되었다. Fig. 2 및 3은 합성된 단량체의 하나인 DBDO-7 및 DCO-7의 IR 스펙트럼을 각각 나타내고 있다. 2900 cm^{-1} 주위에서 나타나는 강한 피크와 1450 cm^{-1} 주위의 중간강도의 피크는 메틸 그룹 및 메틸렌 그룹의 C-H 신축진동과 굽힘진동에 의한 특성피크이며, 1109 cm^{-1} 에서 나타나는 강한 피크는 oxyethylene 단위의 C-O 신축진동을 나타낸다. 또 1590 cm^{-1} 의 약한 피크는 방향족성 고리의 C-C 신축진동 피크이다. 또 Fig. 2에서는 C-Br 신축진동 피크가 781 cm^{-1} 에서 약하게 나타나고 Fig. 3에서는 802.6 cm^{-1} 에서 C-Cl 신축진동 피크가 나타남을 확인할 수 있다. 이러한 IR의 흡수특성은 벤젠고리에 OEO 측쇄가 Fig. 1의 반응과정대로 진행되었음을 뒷받침하고 있다.

단량체 구조의 확인을 위하여 NMR 스펙트럼을 추가로 측정하였는데 Fig. 4와 Fig. 5는 DBDO-7의 ^1H NMR 및 ^{13}C NMR을 각각 나타내고 있다. Fig. 4의 ^1H NMR과 화학적 이동이 다른 수소를 서로 대응시키면 벤젠고리에 포함된 수소 a가 7.13 ppm, 벤젠고리에 인접한 OEO 그룹의 수소 b 및 c가 4.10 ppm 및 3.84 ppm, 그 외의 OEO 그룹의 수소 d 및 e는 3.75~3.65 ppm에서 중첩되어 나타났고 말단 메톡시 그룹의 수소는 3.36 ppm에서 나타났다. 이들의 화학적 이동은 유사한 화합물과 대비하여 예상되는 값과 일치하며 그들의 적분비도 계산된 이론적인 비율과 일치함을 알 수 있었다. Fig. 5의 ^{13}C NMR에서는 서로 다른 3종의 고리탄소가 각각 a, b, c로 분리되어 나타나고 그외의 OEO의 탄소가 모두 70 ppm에 인접하여 중첩되어 나타나며, 58 ppm에서 메톡시 그룹의 탄소가 나타났다. 이와 같이 IR 및 NMR 스펙트럼의 결과로 계획된 합성과정처럼 단량체가 합성되고 있음을 알 수 있으며 MOEO-Ts와 dibromohydroquinone 및 dichlorophenol의 커플링 반응은 MOEO-Ts의 분자량과 실험조작에 따라 조금씩의 차이가 있긴 있으나 대체로 50~70%의 수율로 단량체를 얻을 수 있었다.

얻어진 단량체는 측쇄인 OEO 반복단위의 수가 3, 7, 12의 세 종류이고 각각에 대하여 벤젠고리에 치환

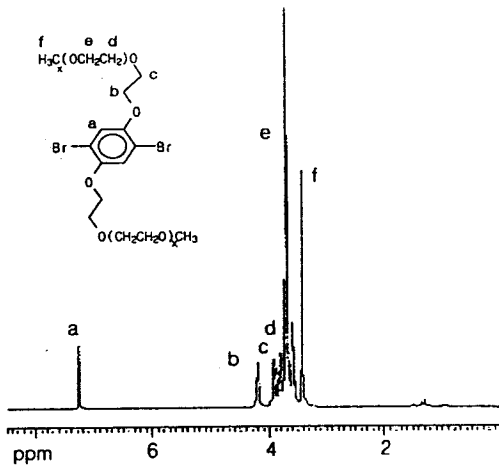


Figure 4. ¹H NMR spectrum of DBDO-7 in CDCl₃.

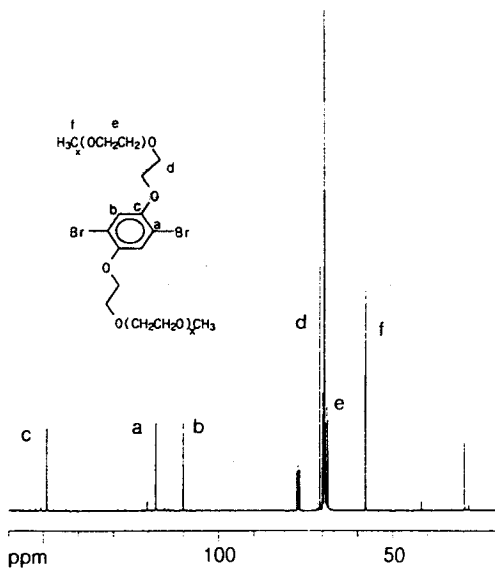


Figure 5. ¹³C NMR spectrum of DBDO-7 in CDCl₃.

된 수가 하나인 DCO-n계와 둘인 DBDO-n계로 나누어 모두 여섯 종이다. 그러나 DBDO-12의 경우는 얻어진 단량체를 정제하는 것이 어려워 구조의 확인이나 중합을 하지는 못하였다. 단량체의 중합은 니켈 착체를 통한 탈할로겐화 반응에 의하여 중합하였으며 중합체의 형성은 점도의 측정을 통하여 확인하였다. Table 1에는 합성된 고분자의 0.1 g/dL의 THF 희석용액에서 측정된 본성점성도를 나타내고 있다. 비

Table 1. Inherent Viscosity of Polymers in Tetrahydrofuran with the Concentration of 0.1 g/dL

sample	inherent viscosity (dL/g)
DBDO-3	0.089
PDCO-3	0.266
PDCO-7	0.431
PDCO-12	0.440
PDBDO-3	0.334
PDBDO-7	0.421

교를 위하여 측정된 단량체 DBDO-3의 본성점성도와 비교하면 단량체의 결합반응에 의하여 고분자가 형성됨을 알 수 있고 금속촉매를 이용한 결합반응으로부터 고분자량의 고분자를 합성하는 것은 매우 어려운 것으로 알려져 있는 바와 같이 여기에서도 점도의 범위로 보아 저분자량의 PPP 유도체가 합성되었음을 짐작할 수 있다.

합성된 고분자들은 많이 사용되는 용매들에 대하여 용해성을 실험한 결과 아세토니트릴, THF, 클로로포름에 녹는 것을 확인하였다. 순수한 PPP는 고온의 톨루엔에 녹는 것으로 알려져 있어 합성된 고분자의 이러한 유기용매에 대한 용해성은 OEO 측쇄에 의하여 향상되고 있음을 알 수 있다.¹⁰

고분자의 열안정성을 관찰하기 위하여 PDBDO-7의 열중량분석을 행하였는데 그 결과가 Fig. 6에 나타나 있다. Fig. 1에서 고분자의 화학적인 구조로도 예상할 수 있듯이 열분해에 의한 중량감소는 크게 두 단계로 나누어서 진행됨을 알 수 있는데 200 °C 이상에서 1차로 일어나는 중량감소는 OEO 측쇄의 분해에 의한 것이며 450 °C 이상에서 PPP 골격의 열분해가 진행됨을 알 수 있다. 또 대부분의 고분자에서와 같이 산소분위기 하에서 열분해 온도가 낮으며 중량감소도 크게 나타남을 알 수 있다.

합성된 고분자의 흡광 및 광발광 (photoluminescence) 특성을 관찰하였다. 광발광 스펙트럼들은 흡광 최대파장보다 10 nm 긴 파장의 여기광선에 의하여 관찰되었으며 Table 2에는 이들의 최대 흡광 및 광발광 파장이 나타나 있다. 측쇄를 가지지 않는 PPP의 흡광 최대파장은 335~339 nm 사이에 있으며 필름의 형태나 사용된 용매에 따라 조금씩 차이가 나는 것으로 관측되어 있고 방출 스펙트럼 역시 400 nm

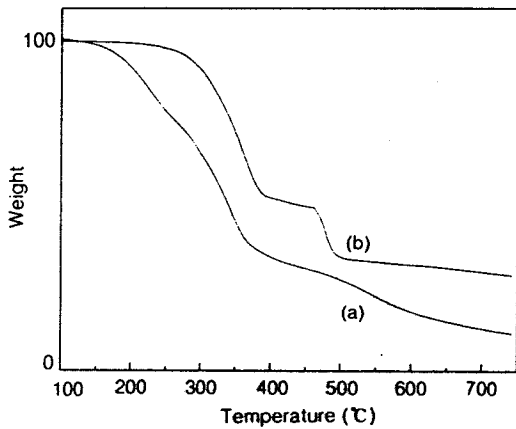


Figure 6. TGA traces of PDBDO-7 under oxygen (a) and nitrogen (b) atmosphere.

Table 2. Maximal Wavelength of UV-VIS Absorption and Photoluminescence Spectra of the Synthesized PPP with Oligo(ethylene oxide) Side Chains

sample	λ_{max} (nm) in UV-VIS	λ_{max} (nm) in photoluminescence
PDCO-3	350	402
PDCO-7	330	391
PDCO-12	338	402
PDBDO-3	338	396
PDBDO-7	328	401

주위에서 방출 최대파장이 나타나는 것으로 보고되어 있다.^{1,11} 본 연구에서 관찰된 값들도 여기에서 크게 벗어나지 않는데 합성된 PPP 유도체들의 측쇄들이 PPP의 공액 π -전자의 안정화나 불안정화에 거의 기여하지 않음을 나타내고 있다. 이러한 현상들은 알콕시 그룹을 측쇄로 가진 고분자에서도 똑같이 나타나는 것으로 보고되어 있다.¹¹ Figs. 7-9는 얻어진 흡광 및 발광 스펙트럼들을 보여주고 있는데 PPP에 부착된 OEO의 수나 길이에 따른 뚜렷한 차이나 경향이 나타나지 않음을 알 수 있다.

이와 같이 광발광 현상을 나타내는 공액성의 고분자는 적절한 전하이동체와 전극의 조합에 의하여 전계발광 디스플레이 소자의 재료로 사용될 수 있는 것으로 알려져 있다. 또 경우에 따라서는 단순히 전해질과의 혼합액으로 전극사이에 삽입되어 발광전기화학셀로 이용될 수도 있다.^{12,13} 본 연구에서 합성한 고

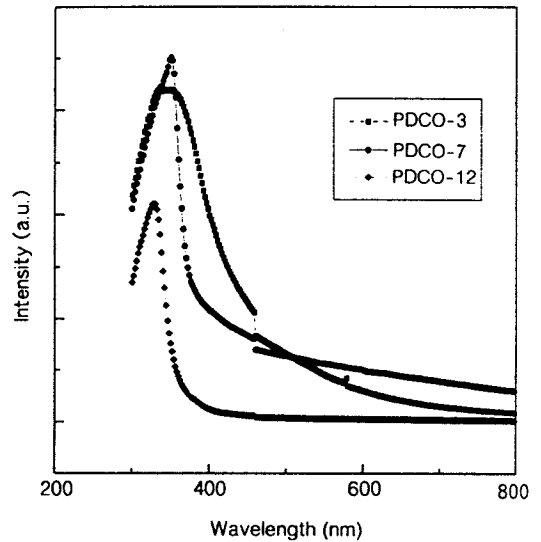


Figure 7. UV-VIS absorption spectra of diluted solution (0.1 g/L) of PDCO-n in acetonitrile.

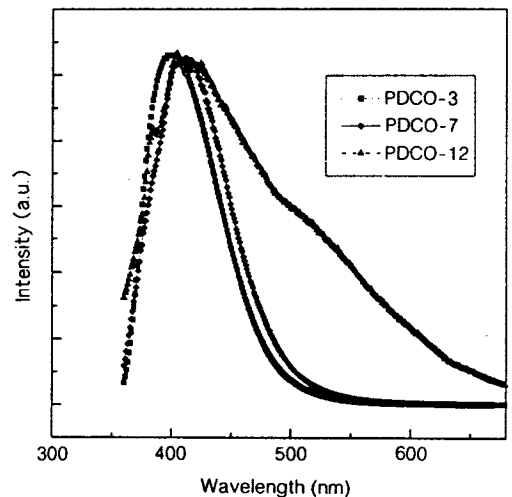


Figure 8. Photoluminescence spectra of diluted solution (0.1 g/L) of PDCO-n in acetonitrile.

분자는 클로로포름, THF, 아세토니트릴 등의 일반 유기용매에 녹고 리튬염 화합물과도 균일하게 혼합되므로 발광전기화학셀에 응용될 수 있을 것으로 예상되어 이에 대한 관찰을 시도하였다. 셀의 구조는 ITO와 알루미늄을 전극으로 하고 이 사이에 샌드위치형으로 PEO 및 리튬염 LiClO_4 와 혼합된 합성된

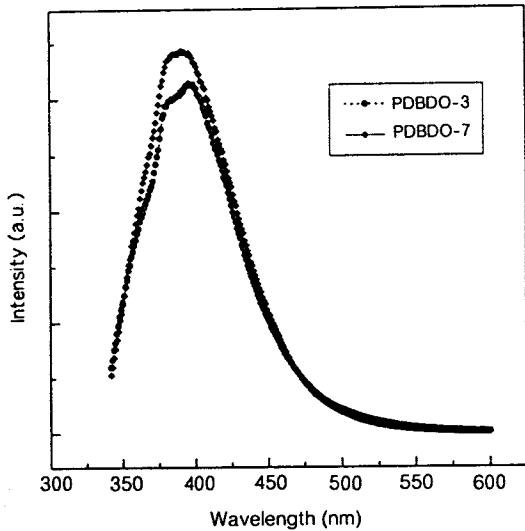


Figure 9. Photoluminescence spectra of diluted solution (0.1 g/L) of PDBDO-*n* in acetonitrile.

고분자를 삽입한 형태이다. Fig. 10에는 이와 같이 제조된 셀을 사용하여 0~3.5 V까지 순방향으로 20 mV/sec의 속도로 주사하였을 때의 전류-전압 특성을 나타내고 있다. 합성된 고분자의 활성층은 모두 2 V에 가까운 켜짐전압 (turn-on voltage)을 나타내었으며 전극의 방향을 서로 바꾼 경우에도 역시 2 V 근방의 켜짐전압이 다시 나타났다. 이러한 현상은 전계발광소자와 달리 발광전기 화학셀의 특징으로 전극의 일함수에 관계없이 어느 전도체든지 전극의 재료가 될 수 있음을 나타낸다. Yang 등은 PPV를 활성층으로 하여 발광전기 화학셀에서의 발광현상을 관찰하였다.¹⁴ 그러나 본 연구에서 제조한 셀에서는 발광전기 화학셀의 켜짐전압 특성은 이와 같이 측정되었으나 육안으로 식별할 수 있는 어떠한 발광현상도 나타나지 않았다. 이는 고분자 활성층의 산화형 및 환원형 고분자가 구성하는 p-n 접합이 기저상태로 환원되면서 내는 발광현상의 효율이 PPP의 경우 매우 낮음을 나타내고 있다. 또 여기에서 관찰된 2 V의 켜짐전압은 활성층의 두께에 관계없이 일정함을 관찰할 수 있었다. 활성층의 두께는 스펀코터를 사용한 코팅 회수를 달리하여 조정할 수 있는데 켜짐전압은 코팅의 회수에 관계없이 일정하게 나타났다. 이는 켜짐전압이 PPP의 밴드갭에 관련된 고유한 성질로 이론적

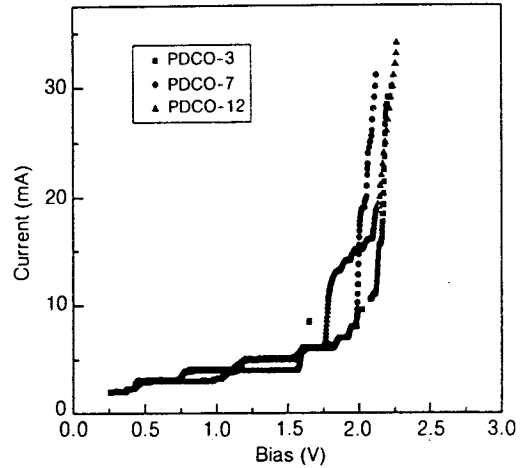


Figure 10. Current-voltage curves of an ITO/PDCA-*n*, PEO, LiClO₄ (wt. ratio; 5:5:1)/Al light emitting electrochemical cell.

으로는 설명될 수 있는데, 실제로 보고된 다른 연구 결과들에서도 PPP의 기저상태와 여기상태의 밴드갭은 2 V 전후인 것으로 나타나 있고 켜짐전압은 발광전기화학셀 활성층의 두께와는 무관한 발광고분자의 에너지 준위와 관련된 것으로 나타나 있다.¹⁴

결 론

말단의 기능화를 통하여 OEO가 측쇄로 부착된 PPP의 단량체를 합성하고 니켈착체 측매를 사용한 커플링 반응을 통하여 PPP를 합성하였다. 합성된 고분자는 유기용매에 대한 용해성이 향상되고 열분해는 측쇄의 저온분해와 PPP 주쇄의 고온분해의 두 부분으로 나눌 수 있었다. UV-VIS 특성 및 광발광 특성은 측쇄가 없는 PPP의 특성과 큰 차이가 없으며 PEO 및 리튬염 전해질과 혼합되어 제조된 전기화학셀은 측쇄에 관계없이 켜짐전압은 2 V 부근에서 관찰되나 육안으로 관찰할 수 있는 전기화학적 발광 현상은 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

1. P. C. Lacaze, S. Aeiyaeh, and J. C. Lacroix, "Handbook of Conductive Molecules and Polymers", ed. by H. S.

- Nalwa, vol. II, p. 205, John Wiley & Sons, Chichester, 1997.
2. T. Zyung, *Polymer Sci. & Tech.(Korea)*, **7**, 690 (1996).
 3. H. R. Kricheldorf and G. Schwarz, "Handbook of Polymer Synthesis", ed. by H. R. Kricheldorf, Pt. B, p. 1646, Marcel Dekker, New York, 1992.
 4. M. Rammers, M. Schulze, and G. Wegner, *Macromol. Rapid Commun.*, **17**, 239 (1996).
 5. T. Okada, T. Ogata, and M. Ueda, *Macromolecules*, **29**, 7645 (1996).
 6. S. Kim, J. Jackiw, E. Robinson, K. S. Schanze, J. R. Reynolds, J. Baur, M. F. Rubner, and D. Boils, *Macromolecules*, **31**, 194 (1998).
 7. E. J. Goethals, "Telechelic Polymers: Synthesis and Applications", ed. by E. J. Goethals, p. 115, CRC Press, Boca Raton, 1989.
 8. T. Vahlenkamp and G. Wegner, *Macromol. Chem. Phys.*, **195**, 1933 (1994).
 9. M. Mutter, *Tetrahedron Lett.*, **31**, 2839 (1978).
 10. T. Yamamoto, Y. Hayashi, and A. Yamamoto, *Bull. Chem. Soc. Jap.*, **51**, 2091 (1978).
 11. M. Remmers, D. Neher, J. Gruener, R. H. Friend, G. H. Gelinck, J. M. Warman, C. Quattrocchi, D. A. dos Santos, and J.-L. Bredas, *Macromolecules*, **29**, 7432 (1996).
 12. Q. Pei, G. Yu, C. Zhang, Y. Yang, and A. J. Heeger, *Science*, **269**, 1086 (1995).
 13. Y. Cao, Q. Pei, M. R. Andersson, G. Yu, and A. J. Heeger, *J. Electrochem. Soc.*, **144**, L317 (1997).
 14. Q. Pei and Y. Yang, *Synthetic Metals*, **80**, 131 (1996).