

전도성 복합소재의 합성과 특성연구

박준서

안성산업대학교 화학공학과
(1997년 11월 22일 접수, 1998년 3월 26일 채택)

Preparation and Characterization of Conducting Composites Impregnated with Thick Polyheterocyclic Polymers

Jun-Seo Park

Dept. of Chemical Engineering, An Sung National University, AnSung 456-749, Korea
(Received November 22, 1997, Accepted March 26, 1998)

요약 : 경량성의 전도성복합수지는 전도성고분자인 폴리피롤과 폴리티오펜이 다공성의 가교폴리스티렌의 내부에 분산되어 전도성네트워크를 형성시킴으로 제조된다. 높은 다공성과 친유성의 특성을 갖는 호스트고분자는 고농축에밀션중합방법을 이용하여 합성하고 전도성복합수지는 이 호스트고분자를 이용하여 이단계 합침방법으로 제조한다. FeCl₃을 개시제와 혼입체로 사용하여 제조한 폴리피롤복합수지의 전기전도도는 0.82 S/cm이며, FeCl₃-아세토니트릴을 개시제로 사용하여 제조한 폴리티오펜복합수지는 전기전도도가 6.05 S/cm에 이른다. 전도성복합수지의 전기전도도는 사용된 산화제 용매와 초기 산화제와 단량체 몰비율이 크게 영향을 받는다. 전자현미경조사에 의하면 전도성고분자가 다공성 호스트고분자 내부벽에 필름을 형성한다. 폴리피롤소재 복합수지와 폴리티오펜소재복합수지의 전자기차단효율은 2.0 GHz에서 각각 15.2 dB와 22.5 dB였다. 20K-300 K의 온도범위에서 저항의 온도의존성에 대한 실험결과에 의하면 전도성복합수지는 반도체특성을 보이고 전기전도기구는 전형적인 VRH모형을 따른다.

Abstract : Light-weight conductive polymer composites were prepared by incorporating polyheterocycles such as polypyrrole and polythiophene into pores of a highly porous cross-linked polystyrene, host polymer, to form a conductive network. The highly hydrophobic and porous host polymer was synthesized by concentrated emulsion polymerization method. Polypyrrole-based composites, prepared by employing ferric chloride-methanol system, showed a conductivity as high as 0.82 S/cm. Conductivity of polythiophene-based composites, prepared from ferric chloride-acetonitrile system, was 6.05 S/cm. Conductivity of compositivity was influenced by the initial molar ratio of oxidant to monomer as well. SEM micrographs of the composites showed that conducting polymer coated uniformly the inside wall of the porous host polymer. Shielding effectiveness of the polypyrrole-based composites and of the polythiophene-based composites were 15.2 dB and 22.5 dB at 2.0 GHz, respectively. In the temperature range from 20 to 300 K, a polypyrrole impregnated composite exhibited semiconducting behavior and followed the variable range hopping (VRH) model for charge transport.

1. 서 론

전기전도성고분자가 소개된 이래 전도성고분자의 합성과 특성 그리고 응용에 관해 많은 연구가 진행되어 왔다[1]. 전도성고분자가 대규모로 응용이 어려운 것은 전도성고분자가 갖는 대기불안정성, 가공성 불량, 그리고 고분자 자체의 열악한 기계적 물성등에 기인한다. 전도성고분자가 갖는 이러한 난점을 극복하는 방법의 하나로 높은 전기전도성과 안정성을 갖는 고분자와 일반 고분자재료와의 혼합체(hybrid)에 관한 연구가 진행되었다[2~6].

폴리헤테로시클로(polyheterocycles)는 비교적 간단한 합성방법으로 제조가 되며, 다른 전도성고분자에 비해서 높은 대기안정성과 우수한 전기전도성을 갖는 전도성고분자로 많은 연구가 되어왔다. 폴리헤테로시클로 중에서도 특히 폴리피롤(polypyrrole, 이하 PPy)과 폴리티오펜(polythiophene, 이하 PPT)에 관하여서는 많은 연구가 진행되었다. 이 전도성고분자들을 전기화학법(electrochemical polymerization method)으로 합성한 경우 10^2 S/cm의 전기전도성을 갖는 전도성필름을 제조할 수 있으며, 화학산화법(chemical oxidative polymerization method)을 이용하여 합성하면 전기전도도가 10^{-15} S/cm에서 10^1 S/cm수준의 고온 입자상태의 전도성고분

자를 합성할 수 있다[7~10]. 실제응용에 적합하고 대량생산이 가능한 전도성재료를 제조하는 방법으로는 전도성고분자를 범용고분자 내에 분산시켜서 전도성복합재료를 제조하는 것이다. 이러한 방법으로는 전기화학법이나 화학산화법으로 비다공성 재료(non-porous materials)나 다공성 재료(porous materials)를 호스트고분자(host polymer)로 하여 전도성고분자를 모체내부에 포함(inclusion)시키는 방법이다. 전기화학법은 전극을 사용함으로 인하여 크고, 두꺼운 전도성복합재료를 제조할 수 없으나, 화학산화법은 짧은 반응시간, 반응의 간편성 그리고 대량생산이 가능한 특징으로 인하여 대부분의 전도성복합재료제조에 이용된다. 전도성고분자를 호스트고분자내부에 포함시키는 경우에는 호스트고분자에 전도성 단량체를 흡수시킨 후 산화제용액이나 증기를 접촉시켜 제조한다. 비다공성의 호스트고분자를 사용하는 경우에는 전도성고분자가 호스트고분자 내부로 깊게 침투하기 어려우나, 다공성재료를 사용하는 경우에는 전도성고분자가 호스트고분자 내부로 깊고 균일하게 분산된 전도성복합재료를 합성할 수 있다[4, 11].

본 논문에서는 먼저 큰 형태(thick and large objects)의 전도성복합재료를 제조하고, 합성된 전도성복합재료의 대기안정성에 관하여 연구하였다. 전도성복합재료의 제조공정은 다공성재료를 호스트

고분자로 하여 전도성고분자를 화학산화법으로 복합재료내부에 균일하게 분산시키는 것으로 요약된다. 전도성복합재료의 호스트고분자로 사용되는 다공성재료는 고농축에밀선중합법(concentrated emulsion polymerization method)으로 제조한다[6, 12]. 전도성복합재료의 제조는 전도성 단량체를 다공성재료에 침투시킨 후 적당한 산화제를 접촉시키는 함침방법(imbibition technique)을 사용하여 제조한다[6]. 다공성재료는 고농축에밀선을 제조한 후 이를 적당한 조건에서 반응시켜서 제조한다. 고농축에밀선은 스티렌(styrene)과 디비닐벤젠(divinyl benzene)의 혼합물이 연속상으로 되고 물은 분산상으로 되어 있다. 이 때 고농축에밀선은 분산상의 부피분율이 전체 부피분율의 0.74이상으로 이루어져 있으며 젤(gel)의 형상을 하고 있다[13]. 고농축에밀선을 적당한 반응조건 하에서 합성하고, 이어 합성된 고분자 내부에 액적상태로 되어 있는 물을 가열하여 제거함으로써 다공성재료를 제조한다. 이때 고농축에밀선은 적당한 계면활성제를 사용함으로써 중합시 고농축에밀선의 구조를 유지할 수 있다. 건조된 다공성의 고분자복합재료는 전도성단량체인 피롤(pyrrole)이나 티오펜(2,2-bithiophene)을 다공성재료의 내부벽에 침투시킨 후 산화제용액을 다공성재료에 도입시킨 후 반응을 거쳐 제조한다. 합성된 전도성복합재료의 대기안정성을 평가하고 중합시 산화안정제를 투입하여 안정성을 증대시키는 방법에 대해 연구하였다.

전도성고분자를 전자기차폐용(electromagnetic interference, EMI) 재료로 이용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다[14~16]. 현재 전자기차폐성을 부여하는 일반적인 방법으로는 전도성 페인트를 부도체의 표면에 스프레이 코팅(spray coating)하는 방법[14]과 전도성 흑연을 부도체인 고분자를 기계적으로 용융혼합하여 전도성복합재료를 제조하는 방법[15, 16]이 있다.

본 연구에서는 고농축에밀선중합방법을 이용하여 다양한 크기와 모양을 갖는 호스트고분자를 제조하고 이렇게 제조된 다공성재료를 이용하여 전도성복합재료를 합성하였다. 이렇게 합성된 전도성복합재료를 coaxial transmission line방법을 이용하여 전자파차단 효율을 측정하였다. 또 전도성복합재료의 전하 이동기구를 규명하기 위하여 저온에서부터 저항의 온도의존성에 관하여 실험을 하였다.

2. 실험

2.1. 다공성의 모체고분자의 제조

Styrene(5g, Aldrich), divinyl benzene(1g, Aldrich), AIBN(0.05g, Aldrich), 그리고 sorbitane monooleate(1 ml, Fluka)의 균일한 혼합물을 250 ml의 둥근 플라스크에 넣고 상온에서 격렬하게 교반하면서 증류수(25 ml)를 한 방울씩 떨어뜨리면서 고농축에밀선을 제조한다. 고농축에밀선을 유리로 된 금형(15cm×15cm×0.5cm, 1cm)에 넣고 50℃에서 24시간 반응시킨다. 반응이 끝난 후 합성된 고분자를 100℃ 오븐에서 3시간 건조하여 고분자로부터 물을 제거시켜서 다공성의 재료를 제조한다. 재료의 다공도는 분산상과 연속상의 비율로 조정한다.

2.2. 전도성 복합재료의 제조

건조된 다공성재료인 호스트고분자를 단량체용액에 접촉시킨 후 30분정도 대기에 노출시켜 용매인 에테르를 부분적으로 제거시킨다. 건조된 호스트고분자에 산화제용액을 접촉시켜 반응이 일어나도록 한다. 반응속도는 호스트고분자의 변색으로 확인한다. 합성된 복합재료를 과량의 증류수에 여러번 씻어내어 증류수의 색깔이 무색이 될 때까지 반복한다. 이어서 과량의 아세톤으로 반복하여 씻은 다음, 상온에서 진공건조과정을 거친다.

2.3. 전도성 측정

전도성고분자와 전도성복합재료의 전기전도도는 상온에서 4 point-probe method로 측정한다. 저온에서(-250℃에서 상온까지) 전도성복합재료의 온도의존성은 SQUID(Quantum Design, U.S.A.)를 사용하여 측정한다.

2.4. EMI차단효율 측정

EMI차단효율의 측정은 SET 19A Shielding Effectiveness Tester(Elgal Instrumentation and System, Israel)을 이용한다. 이 측정장치는 "free spacefar field" 조건 하에서 coaxial transmission line method로 평면을 갖는 시료의 차단효과를 측정한다. 측정에 사용한 시료의 모양은 외경이 97.4 mm이고 내경이 28.8 mm의 도넛(dough-nut)모양의 디스크이다. 이 실험에 사용된 시료의 두께는 2.95에서 3.15 mm이다.

2.5. 전자현미경 촬영

시료인 다공성모체고분자와 전도성복합재료의 내부구조를 조사하기 위하여 시료를 절단한다. 절단된 표면을 금을 이용하여 진공으로 코팅한 후 전자주사현미경(SEM, Amray, U.S.A.)으로 촬영한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 다공성재료의 합성

전도성복합재료의 제조시 호스트고분자로 사용된 다공성재료는 분산상과 연속상의 부피비율을 변화시켜서 제조할수 있는데, 다공도에 따른 유기액체의 흡수정도에 대한 결과를 Table 1에 요약하였다. 분산상의 부피분율이 전체부피분율에서 0.80인 경우에 있어 물의 수분흡수율은 2.18 g/g host polymer인데 비하여 클로로포름에서는 7.56 g/g host polymer이다. 따라서 이러한 실험결과로 볼 때 다공성재료는 친유성(hydrophobicity)을 나타낸다. 또 다공성재료는 각 용매에 대하여 재료의 다공도가 커질수록 모세관현상에 의하여 용매에 대한 흡수율 또한 증가하였다.

3.2. 전도성복합재료

화학산화법으로 전도성복합재료를 합성하였는데, 산화제로 FeCl₃을 사용하였고 산화제용매를 바꾸어 가면서 합성실험을 하였다. 산화제용매는 반응속도, 고분자의 형상(morphology), 그리고 전기전도도 등에 영향을 많이 미친다[8]. Table 2는 산화제 용매로 사용된 용매가 전도성고분자의 전기전도도에 미치는 실험결과를 나타낸다. PPy소재전도성복합재료의 반응속도는 매우 빠르고 또 반응속도는 사용된 산화제용매에 영향을 받는다. 특히, 아세톤을 산화제의 용매로 사용한 경우에 있어 반응은 매우 빠르게 진행되고 발열반응이었다. 중합시 빠른 반응과 반응열을 나타내면서 합성이 된 전도성복합재료의 전기전도도는 낮게 나타났다. 물과 메탄올 그리고 에테르를 산화제의 용매로 사용하면 아세톤을 사용한 경우와 비교하면 반응속도는 느리나 합성된 전도성복합재료는 높은 전도도를 나타내었다. PPT의 생성속도는 PPy와 비교하면 매우 느리나 합성된 전도성고분자의 전기전도도는 PPy의 전기전도도와 비교하면 10배이상 높게 나타낸다. PPT소재복합재료는 PPy소재복합재료와 비교하면 산화제용매의 영향은 비슷한 경향을 나타낸다. 아세톤 니트릴을 용매로 사용한 경우 PPT소재복합재료의 전기전도도는 6.05 S/cm를 나타내었다. 산화반응시 높은 반응열은 전도성고분자의 주사슬의 공액정도(degree of conjugation)에 영향을 미쳐서 전도성고분자의 전기전도도를 낮게 한다[13].

전도성복합재료의 제조에 사용된 호스트고분자의 다공도가 전도성복합재료의 전도성에 미치는 효과를 Table 3에 요약하였다. 이

Table 1. Amount of Absorption of Liquids by Porous Host Polymer at Room Temperature

Host Polymer, Vol. Ratio of Dispersed Phase (Water, g) to Continuous Phase(g)	Amount of Absorbed Liquids (g liquid/g host)						
	Water	Acetone	Methanol	Ethanol	Acetonitrile	Chloroform	Toluene
#1, 80/20	2.18	2.83	3.00	2.97	2.72	7.56	4.47
#2, 83/17	2.25	3.45	3.27	3.38	3.29	9.56	5.60
#3, 86/14	2.54	4.19	3.63	3.72	4.00	11.92	7.81

Table 2. Effect of Oxidant Solvents on the Conductivity of Composites

	Water	Methanol	Acetone	Ether	Acetonitrile
Conductivity of Composite with PPy(S/cm)	0.30	0.82	3.2×10^{-5}	0.65	0.02
Conductivity of Composite with PPt(S/cm)	2.51	4.20	0.25	3.89	6.05

Conducting composites were prepared by employing 1.45 mole FeCl₃/mole monomer.

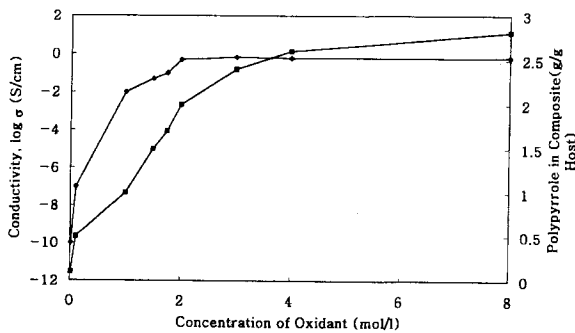


Fig. 1. Conductivity of polypyrrole based composites(◆) and polypyrrole yield(■) against oxidant concentration. FeCl₃ in methanol is used as oxidant. Initial monomer concentration is 1 mole/l. Conducting composites were prepared using host polymer #2.

실험결과로 볼 때 호스트고분자의 다공도가 증가됨에 따라서 복합재료내에서 전도성고분자의 함량은 증가함을 나타내었으나, 전도성복합재료의 전기전도도에 특별한 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 이것은 전도성복합재료의 내부에 필름형태로 함유된 전도성고분자가 복합재료에서 충분한 전도성 네트워크(electrical network)를 형성하게 되면 호스트고분자의 다공도의 영향을 크게 받지 않는다.

산화제와 단량체의 초기 몰비율을 변화하면서 합성한 전도성복합재료의 실험결과는 Fig. 1과 Fig. 2에서 보는 바와 같다. Fig. 1에서는 초기몰비가 0.1에서 1.0사이에서 PPy소재복합재료는 부도체에서 전도체로의 전이현상(insulator to metal transition)이 관측되고 초기몰비가 2.0이상에서 전기전도도의 변화가 관측되지 않았다. 복합재료내에서 PPy의 함량은 초기 산화제대 단량체의 몰비가 증대될수록 증가하고 있음을 보여주고 있다. Fig. 2는 PPt소재복합재료의 전기전도도와 산화제와 단량체의 몰비율의 관계를 나타내고 있다. 초기 몰비율이 0.1에서 0.5사이에서 부도체에서 전도체로의 전이현상이 관측되고 0.5이상에서는 몰비율의 증가에도 불구하고 전도성복합재료의 전기전도도의 증가가 관측되지 않는다. PPt소재 전도성복합재료의 전기전도도는 최고 6.5 S/cm에 이른다. 복합재료 내 PPt의 함량은 초기몰비율이 증가함에 따라 계속 증가함을

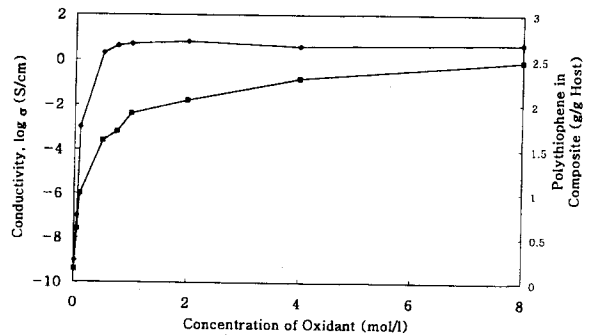


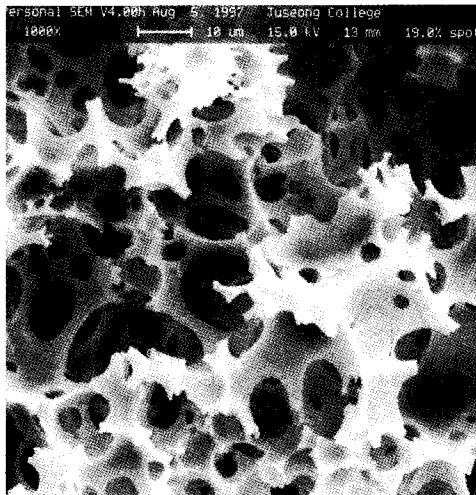
Fig. 2. Conductivity of polythiophene based composites(◆) and polythiophene yield(■) against oxidant concentration. FeCl₃ in methanol is used as oxidant. Initial monomer concentration is 1 mole/l. Conducting composites were prepared using host polymer #2.

보여주고 있다. 부도체에서 전도체로의 전이현상이상에서 산화제의 농도가 증대되어도 전기전도도의 증가가 관측되지 않은 것은 산화반응에서 개시제와 혼입제(dopant)로 작용하는 산화제가 전도성복합재료내의 전도성고분자에서 FeCl₃형태로 포화되었음을 나타낸다[8].

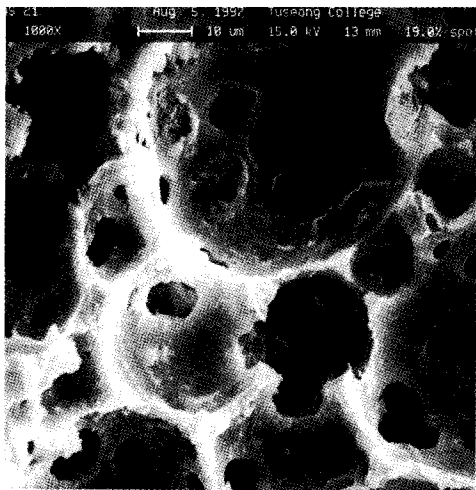
Fig. 3은 다공성호스트고분자와 이것으로부터 제조된 전도성복합재료의 내부구조를 전자현미경(SEM)을 이용하여 조사한 것이다. Fig. 3(a)는 산화반응 전 흰색의 다공성재료를 절단한 단면의 내부구조를 보여주고 있다. 호스트고분자의 내부구조는 고농축에밀집중합으로 합성된 고분자를 고온에서 가열하여서 액적(liquid drops)인 분산상의 물을 제거할 때 얻어진 것이다. Figs 3(b)과 Fig. 3(c)는 전도성고분자인 PPy와 PPt가 호스트고분자의 내부에 균일하게 침투하여서 흑색으로 호스트고분자가 변색한 복합재료를 절단한 후 전자현미경으로 내부구조를 촬영한 사진이다. 전도성복합재료는 다공성호스트고분자와 유사한 내부구조를 나타내고 있는데 이것은 전도성고분자가 필름형태로 균일하게 다공성재료의 벽에 균일하게 코팅하고 있음을 나타낸다. 복합재료내에서 전도성고분자는 전도성 네트워크를 형성하여서 복합재료가 전기전도성을 띄게 한다[4, 12].

3.3. 전도성복합재료의 안정성

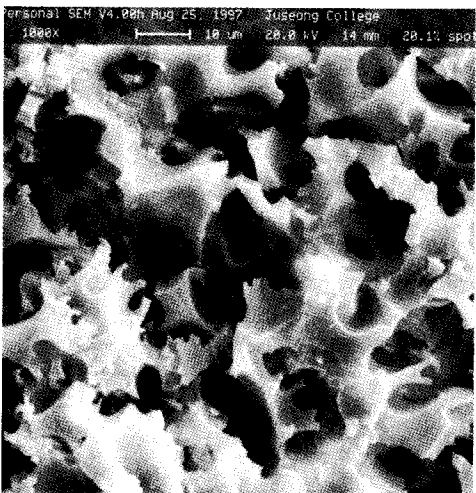
전도성고분자중에서 폴리헥테로시클은 폴리아세틸렌등과 비교하면 안정성이 매우 우수하나 높은 온도에서나 장시간 공기중에 있으면 전기전도도가 떨어진다. 전도성재료의 전기전도도의 감소를 전도성재료의 안정성의 감소로 간주하였다. Fig. 4는 PPy소재전도성복합재료와 PPt소재전도성복합재료를 상온과 80°C에서 공기와 접촉시켰을 때 대기중 노출시간에 따라서 전기전도도가 변화한 결과를 나타낸다. 전도성복합재료는 대기중에서 온도가 상승하면 전기전도도의 뚜렷한 감소가 관측되었다. 이러한 실험결과는 복합재료내의 전도성고분자가 대기중의 산소에 의하여 산화반응결과에 의하여 분해되고 그 결과로 전도성복합재료의 전기전도도의 감소



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Scanning electron micrographs : (a) porous cross linked polystyrene(host polymer #2); (b) polypyrrole based composite, prepared employing host polymer #2.; (c) polythiophene based composite, prepared employing host polymer #2. Initial molar ratio of oxidant to monomer is 2.0 and 2.5, respectively.

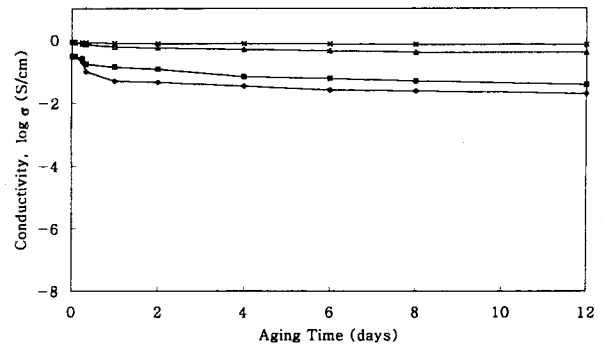


Fig. 4. Conductivity of composites against aging time. X and Δ are conductivity of polypyrrole based composites at room temperature and 80°C, respectively. ■ and ◆ depict conductivity of polythiophene based composites at room temperature and 80°C, respectively.

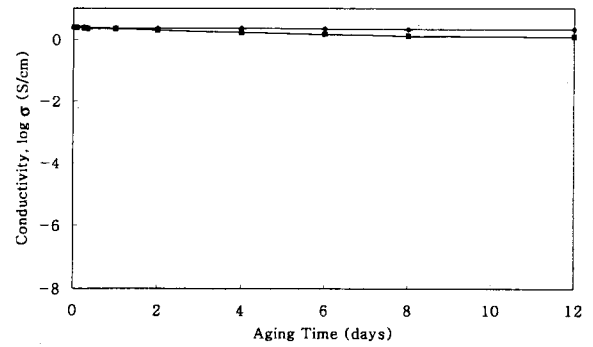


Fig. 5. Conductivity of composites against aging time. ◆ and ■ depict conductivity of polypyrrole based composites, treated with 3-hydrobenzoic acid, at room temperature and 80°C, respectively.

로 나타난다. 실험결과 PPT소재전도성복합재료는 PPy소재전도성복합재료보다 대기안정성이 우수함을 나타내고 있다. 대기중에서 온도의 상승에 의해서 산화반응에 의한 전기전도도의 감소는 크게 증가된다. PPy에 비해서 PPT가 대기중에서 더욱 안정한 전도성고분자임을 나타낸다. Fig. 5는 산화안정제(antioxidant)인 3-hydrobenzoic acid를 PPy소재복합재료의 제조시 소량첨가하여 합성한 결과를 나타내고 있다. 이 산화안정제의 첨가로 전도성이 개선된 전도성복합재료가 합성이 되었고 3-hydrobenzoic acid로 처리된 전도성복합재료는 80°C에서 전도성복합재료는 첨가되지 않는 복합재료와 비교하면 전기전도도의 저하가 상당히 낮아졌다. 이러한 결과는 폴리테트라시클로의 전도성고분자의 대기안정성을 유지하기 위하여 산화안정제의 처리가 중요함을 나타낸다[17].

3.4. 전도성복합재료의 EMI차단효과

Table 4는 PPy와 PPT를 각각 소재로한 전도성복합재료의 전기전도도와 coaxial transmission line방법으로 측정된 EMI차단효과를 나타내고 있다. 전도성복합재료내에서 전도성고분자의 침투와 분산정도는 복합재료의 전기전도도와 함께 차단효과에 영향을 미친다. PPy소재복합재료는 전기전도도는 0.82 S/cm이며 2.0 GHz에서 15.2 dB이다. PPT소재복합재료는 전기전도도가 4.20 S/cm이며 1.5 GHz에서 23.0 dB이다. 전기전도도가 클수록 높은 차단효과를 나타낸다[15, 18].

Table 3. Effect of Porosity of Host Polymer on the Conductivity of Composites Impregnated with PPy

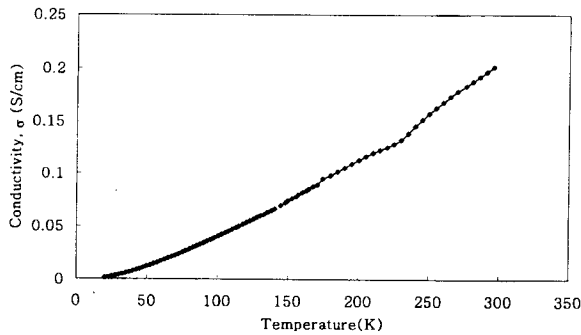
	Host Polymer #1	Host Polymer #2	Host Polymer #3
Conductivity (S/cm)	0.71	0.65	0.80
Amount of PPy (g PPy/g host)	2.16	2.30	2.38

The host polymers #1, #2, and #3 were prepared by polymerizing the concentrated emulsions, whose volume fractions of the dispersed phase were 0.80, 0.83, and 0.86, respectively. The concentration of monomer in ether is 1.20mol/l. The oxidant of FeCl₃ in methanol is 1.74 mol/l.

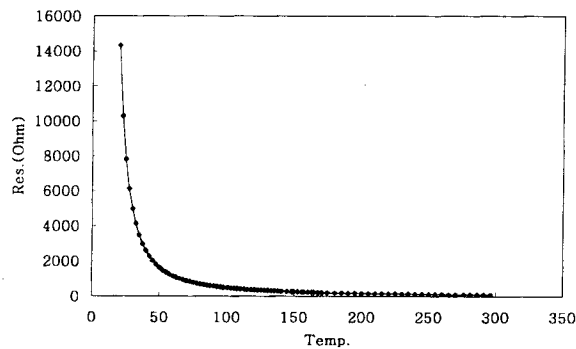
Table 4. Conductivity and Electrical Shielding Effectiveness of Conducting Composites

	PPy based composite	PPt based composite
Conductivity (S/cm)	0.82	4.20
Attenuation(dB)		
1.0 GHz	7.5	10.9
1.5 GHz	14.5	23.0
2.0 GHz	15.2	22.5

Conducting composites were prepared using host polymer #2 with molar ratio of reactants(oxidant to monomer) of 1.40.



(a)



(b)

Fig. 6. Electrical properties of polypyrrole based composites vs. temperature: (a) conductivity; (b) resistivity.

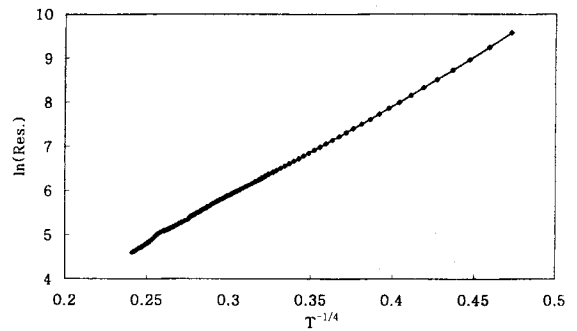


Fig. 7. Resistivity of polypyrrole based composite against temperature. Initial molar ratio of oxidant to monomer is 2.

3.5. 전도성복합재료의 전하이동기구

Fig. 6(a)와 (b)는 20-300 K의 온도범위에서 PPy소재전도성복합재료의 저항과 전도도의 온도의존성을 나타내었다. 이것은 전도성복합소재가 반도체의 특성을 나타내고 있음을 가리킨다. PPy소재전도성복합재료는 전형적인 반도체의 특성을 나타내고 있다. 저항의 온도의존성이 3차원호핑(three dimensional hopping)모델을 따르는 Mott식은 다음과 같이 제시되었다[19, 20].

$$\rho \propto \exp[(T_0/T)^{1/4}]$$

Fig. 7는 PPy소재전도성복합재료가 저온에서 온도에 대한 저항의 의존성이 Mott식에 일치하고 있음을 나타내고 있다.

4. 결 론

전도성복합재료는 고농축에밀선중합방법을 이용하여 다공성고분자를 합성하고 이를 호스트고분자로 하여서 단량체를 흡수시키고 이어서 산화제를 접촉시키는 2단계합침법을 이용하여 제조한다. 전도성복합재료의 전기전도도는 산화제용매와 초기산화제와 단량체의 몰분율에 크게 영향을 받는다. PPy소재복합재료는 PPt소재복합재료와 비교시 산화반응속도는 매우 빠르고 전기전도도는 1/10수준 정도로 낮다. PPy소재복합재료와 PPt소재복합재료의 전기전도도는 최고 0.82와 6.05 S/cm에 각각 도달하였다. PPt소재복합소재는 PPy소재복합재료와 비교시 대기안정성이 우수하였으며, PPy소재복합재료의 대기안정성은 열안정제의 첨가로 안정성을 증대시킬수 있다. 전도성복합재료의 전자기차폐효율을 측정된 결과 1.0-2.0 GHz에서 23 dB정도를 나타낸다. 20-300 K의 온도범위에서 저항의 온도의존성을 측정된 결과는 PPy소재전도성복합재료의 전하이동이 삼차원 variable range hopping (VRH)에 따르고 있음을 나타낸다.

폴리히테로스클소재전도성복합재료는 상당한 수준의 전기전도도와 EMI차폐효율을 갖고 있고, 또 가볍고 큰 형태로 제조될 수 있어서 정전기방지(electrostatic charge protection)나 EMI차폐재료로 응용가능성이 있다.

감 사

본 논문은 학술진흥재단의 지원(1996)으로 진행된 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. E. Frommer and R. R. Chance, in Encyclopedia of Polymer

- Science and Engineering, vol. 5, Wiley, New York, 1985, p. 462.
2. S. E. Lindsey and G. B. Street, *Synth Met.*, **22**, 145(1987).
 3. W. P. Roberts and A. Schutz, U.S. Pat. 4,604,427(1986).
 4. R. B. Bjorklund and I. Lundstrom, *J. Electron. Mater.*, **13**, 211(1984).
 5. H. L. Frisch et. al., *J. Polym. Sci. Polym. Chem.*, **30**, 937 (1992).
 6. E. Ruckenstein and J. S. Park, *J. Appl. Polym. Sci.*, **42**, 925 (1991).
 7. A. F. Diaz, K. K. Kanazawa, et. al., *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 635(1979).
 8. R. E. Myers, *J. Electron. Mater.*, **2**, 61(1986).
 9. W. P. Lin and L. P. Duck, *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **18**, 2869(1980).
 10. S. Hatta, T. Hosaka and W. Shimotsuma, *Synth Met.*, **24**, 223(1988).
 11. R. V. Gregory, W. C. Kimbrell and H. H. Kuhn, *Synth Met.*, **26**, 529(1988).
 12. J. S. Park and E. Ruckenstein, *J. Electron. Mater.*, **21**, 205 (1992).
 13. E. Ruckenstein and J. S. Park, *Polymer*, **33**, 405(1992).
 14. J. M. Margolis, "Conductive Polymers and Plastics", Chapman and Hall, New York(1989).
 15. A. L. Holbrook, *Int. J. Powder Metall.*, **22**, 39(1986).
 16. D. M. Bigg and D. E. Stutz, *Polym. Composites*, **4**, 40(1983).
 17. V. Bocchi, G. P. Gardini and S. Rapi, *J. Mater. Sci. Lett.*, **6**, 1283(1987).
 18. W. L. Gindrup, *Pigm. Resin Technol.*, **18**, 14(1989).
 19. M. Ogasawara, K. Funahashi and K. Iwato, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **118**, 159(1985).
 20. D. S. Maddison and T. L. Tansley, *J. Appl. Phys.*, **72**, 4677 (1992).