

전도성 고분자 복합체 제조를 위한 신합성 연구 (I) : 다공성정도가 전도성 고분자 복합체의 전도도에 미치는 영향

손 석 희 · 박 영 준 · 김 중 현

연세대학교 화학공학과 고분자 소재 연구실
(1996년 1월 3일 접수, 1996년 3월 18일 채택)

Process for the Preparation of Conducting Polymer Composites (I) : Effect of the Porosity on the Conductivity

Suk-Hye Son, Young-Jun Park, and Jung-Hyun Kim

Polymer Material laboratory, Department of Chemical Engineering, Yonsei University., Seoul 120-749, Korea
(Received January 3, 1996, Accepted March 18, 1996)

요 약 : Seed 유화 중합법과 용매 추출법을 이용하여 전도성 고분자 복합체를 위한 다공성 입자를 제조하였다. 건조된 다공성 입자를 모체 고분자로 사용하여 dopant로 사용하는 $FeCl_3$ 를 methanol에 녹여 흡수시킨 뒤에 건조시키고, 이를 다시 pyrrole를 녹인 ethyl ether 용액으로 중합하여 용액을 증발시킴으로서 전도성 고분자 복합체를 합성하였다. 이때, 모체 고분자로 사용된 비다공성 입자와 다공성 입자의 전도도를 비교하였다. 실험결과, 전도성 복합체의 전도도는 비다공성 입자보다는 다공성 입자를 사용하여 제조한 복합체가 전도성 중합체가 입자의 표면뿐만 아니라 pore안에서도 용이하게 형성되어 더 우수한 전도도를 나타내었다.

Abstract: The conducting polymer composites were prepared by imbibing the porous particle with an $FeCl_3$ oxidant solution, drying the imbibed porous particle, and imbibing again with pyrrole solution for polymerization to take place in the pore. The conductivity of the porous composite particles, was higher than that of nonporous particles. Also, the conductivity of composite was increased with increasing specific surface area and pore specific volume of the host porous particles since the degree of formation of conducting polymer in the pore increased.

1. 서 론

현대에는 고분자 소재의 응용 범위가 아주 광범위하게 확대되고 있으며 고분자 소재로는 가능하리라고 여겨지 않았던 분야의 소재들까지도 고분자의 뛰어난 물성을 활용해 보려는 시도가 많이 진행되고 있다 [1]. 그 중 한 가지가 전도성 소재로서의 고분자 물질의 개발로, polyacetylene, polythiophene, polypyrrole, polyaniline 등이 대표적인 물질이 된다 [2, 3].

이중에서 polypyrrole, polyaniline은 공기 중에서의 물질의 안정도가 비교적 뛰어나며 전도도도 타 물질들에 비하여 우수한 것으로 알려져 현재 많이 연구되고 있는 물질이다 [4-6].

지금까지 전도성 고분자는 그 합성 방법에 따라 i) 중합물질의 전도성을 이용하여 전극에서 중합하는 방법, ii) 용매에 단량체를 용해시켜 화학적 산화제를 이용하여 중합하는 방법, iii) 어떤 용액의 계면에서 산화 개시제를 써서 단량체를 산화 중합하는 방

법으로 크게 나누어 볼 수 있다[7]. 이러한 방법들은 전도성 고분자 소재 연구의 초기부터 많이 행해져 왔다. 이 방법들은 소재의 전도성 향상 및 그 조절에는 어느 정도 성과를 보여왔으나, 고분자 물질의 중요한 물성인 i) 대기 중의 안정성, ii) 가공의 용이성, iii) 기타 물리적 물성 등의 취약한 단점들과 물성의 균일도 면에서도 좋은 결과를 얻지 못하고, 특히 대규모로 생산하기가 어려워 공업화함에 있어 어려운 실정이다[8, 9].

최근 이러한 문제점들을 해결하기 위해 혼성체(hybrid)를 제조하는 방법이 제시되고 있다. 즉 범용 고분자와 전도성 물질과의 공중합체나 블렌드를 제조한 것으로 기계적 물성이 어느 정도 향상되었음이 보고되었다[10, 11]. 그러나 전기 화학적인 방법으로 제조된 전도성 고분자를 모체 고분자(host polymer)와 블렌딩하는 방법은 균일한 물성을 가진 박막을 제조하기 어렵고 단시간에 대규모로 제조할 수 없는 면에서 한계가 있다. 전도성 고분자의 기계적 물성을 향상시키기 위한 또 다른 방법으로는 비다공성(non-porous) 고분자 물질에 전도성 고분자의 단량체를 도입(impregnation)한 후[12-14], 이를 산화제와 반응시켜 전도성 고분자 복합체를 제조하는 방법이다[15]. 그러나 이는 단량체가 모체 고분자에 침투하는 양이 한정되어 있어, 농축 유화 중합법(concentrated emulsion polymerization method)을 이용하여 기공도를 향상시켜 단량체의 침투량을 향상시키는 연구가 Ruckenstein 등에 의해 진행되었다[16, 17].

그러나 그들의 연구에서는 methyl methacrylate 단량체와 가교 결합제를 사용하여 단순히 유화 중합하였기 때문에 그 침투 정도를 조절하기 위해서는 모체 고분자의 가교 결합도의 조절만으로는 한계가 있었다[18, 19]. 그러므로 본 연구에서는 기공의 부피가 매우 큰 다공성 입자를 다른 방법인 다단계 seed 유화 중합법(stepwise seeded emulsion polymerization method)과 용매 추출법으로 제조하고[20], 이를 이용하여 전도성 고분자가 고분자 사슬의 비편재화된 π 전자의 강한 van der Waals 상호작용을 감소시켜 전도성 복합체를 제조하고자 한다. 또한, 각 입자들을 B.E.T. 측정장치로 분석하여 다공성 입자에 대한 pore specific volume 등의 자료로부터 비다공성 입자 고분자 복합체와 다공성 입자 고분자 복합체의 전도도에 대한 상관관계를 알아 보고자 한다.

2. 실험 방법 및 측정

본 실험은 seed를 제조하기 위하여 methyl methacrylate는 Junsei사의 제품을 사용하였고, potassium persulfate(KPS)는 Junsei사의 것을 정제없이 사용하였다. 이에 Wako Pure사의 divinylbenzen을 사용하여 반연속식 유화중합법을 이용한 입자를 제조하였고, 다공성 입자는 Junsei사의 α, α' -Azobis(isobutyronitrile)와 Fisher Scientific사의 sodium bicarbonate, Duksan사의 n-hexane을 사용하였고, Hydroquinone은 Yakuri Pure사, polyvinyl pyrrolidone은 Sigma사 그리고 Aerosol사의 aerosol-MA를 이용하였다. 제조된 다공성 입자에 전도성을 부여하기 위해 사용한 Janssen Chemical사의 pyrrole(Py) 단량체는 순도 99.9%의 중합 금지제가 첨가되지 않은 시약이므로 정제과정을 거치지 않았으며 사용할 때까지 -5°C 로 보관하였다. 단량체의 유기용매로는 Duksan사의 methanol을 사용하였다. 또한, 일본 Kanto사의 무수 염화제이철(anhydrous FeCl_3)은 일급 시약을 그대로 사용하였고, 산화용매로는 Duksan사의 ethyl ether를 이용하였다.

전도성 고분자 복합체를 Fig. 1과 같은 방법으로 제조하였다. 전도성 고분자 복합체의 모체 고분자로 사용한 비다공성 입자 혹은 다공성 입자들은 Cheng의 방법[20]을 이용하여 제조하였는데, 이때 주단량체로는 Methyl methacrylate를 사용하였다. 중합이 완료된 후에 용매가 제거된 시료는 대기중 상온에서 건조시킨 후 진공 건조기에서 건조시켜 입자의 형태를 주사 전자 현미경(scanning electron microscopy : SEM., Hitach S-800)으로 측정하였다. 이때, 비다공성 입자와 다공성 입자의 전도성 단량체(Pyrrole)에 대한 최대 흡수능력을 구하였으며, B.E.T. 측정장치(Fisons MS190)를 이용하여 각 입자들의 pore specific volume과 specific surface area를 측정하였다.

제조된 입자를 모체고분자로 전도성을 부가하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 이들 방법들은 2단계를 거쳐 중합이 일어나게 된다.

첫번째 방법은 1단계로 건조된 입자에 dopant로 사용하는 FeCl_3 와 산화용액으로 사용된 methanol를 약 15분 가량 교반시키며 함침시킨 뒤에 실온에서 건조하여 용매를 증발시킨다. 2단계로 전단계에서 dopant가 함침된 입자를 pyrrole 단량체와 ethyl

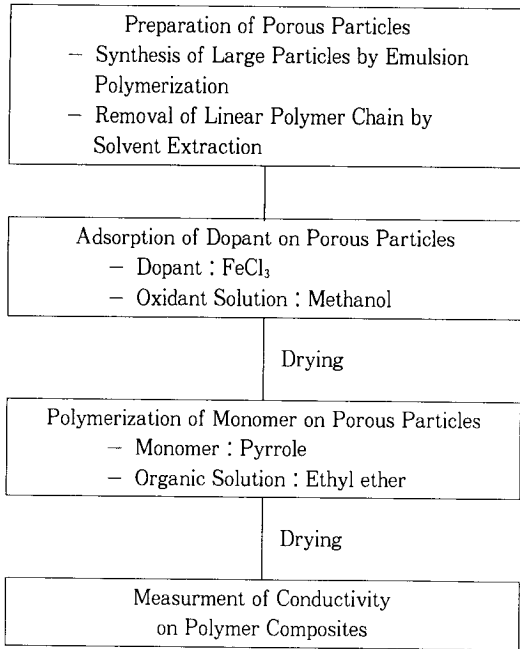


Fig. 1. Procedure for the preparation of conducting polymer composites.

ether 유기용매에 약 2시간 교반하며 중합한 뒤에 다시 건조시켜 용매를 증발시키므로 전도성 고분자 복합체를 제조하였다. 이때, 입자에 함침된 FeCl₃는 redox 반응을 하며 dopant 역할을 하여 pyrrole이 중합하여 polypyrrole을 형성할 수 있지만 용매상에서는 dopant로서의 역할을 거의 할 수 없어 pyrrole의 중합이 일어나지 않는다.

두번째 방법은 1단계로 잘 건조된 입자를 모체 고분자로 하여 이를 단량체인 pyrrole과 유기용매로 사용한 ethyl ether에 약 15분 가량 교반시킨 뒤에 실온에서 건조하여 용매를 증발시킨다. 2단계로 이렇듯 pyrrole를 흡수한 입자에 FeCl₃와 methanol 산화용액을 교반시키며 2시간 동안 중합시킨 뒤에 다시 대기상에서 건조하여 전도성 복합체를 제조한다.

위의 두 방법 중에서 첫번째 방법이 입자에 먼저 FeCl₃를 함침시키므로 뒤에 첨가되는 단량체와 입자들에 흡수되어 있는 FeCl₃가 모두 중합에 참여할 수 있는 반면에, 두번째 방법은 입자에 먼저 단량체를 흡수시키고 흡수되지않은 단량체는 건조시켜 증발시키므로써 다음 단계에서 첨가되는 FeCl₃와의 중합에 참여할 수 있는 단량체는 입자에 흡수된 단량체로

Table 1. The First Stage Recipe for Preparation of Conducting Polymer Composites

Components	Amount(g or ml)
Particle(nonporous or porous)	1
Methanol(Oxidant solution)	10
FeCl ₃ (Dopant)	2

Table 2. The Second Stage Recipe for Preparation of Conducting Polymer Composites

Components	Amount(g or ml)
Particle+ FeCl ₃ (Dopant)	3
Ethyl ether(Organic solution)	10
Pyrrole(Conductive Monomer)	Variable'

* Variable' : 2~8g

한정되어 첫번째 방법이 두번째 방법보다 전체적인 전도도가 더 우수하게 나타난다. 본 실험은 위와 같은 이유에서 첫번째의 2단계 중합법을 이용하여 단계별로 Table 1와 2과 같은 조성으로 전도성 복합체를 제조하여 전도도를 측정하였다.

전도도 측정은 Montgomery 방법[21-23]을 이용하여 측정하였는데, 복합체를 직경 13mm의 원판 pellet으로 제조하여 측정하였다. 이때, 측정시 일정한 전류를 공급하기 위하여 Potentiostat/Galvanostat를 이용하였고, 전압의 측정은 Fluke사의 45 dual multimeter를 이용하였다.

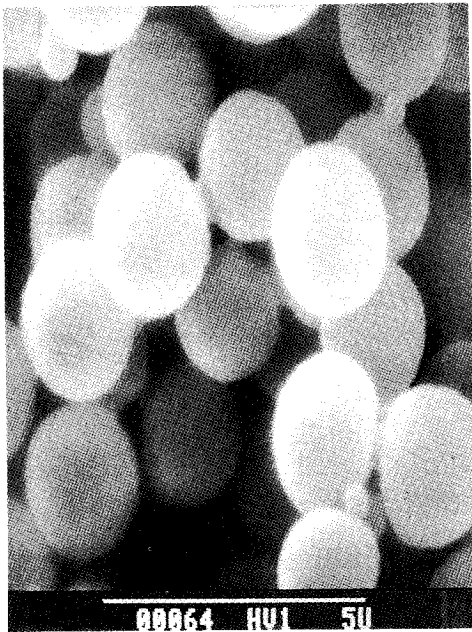
이때, 각 입자들의 pore specific volume과 specific surface area에 따른 다공성 입자와 비다공성 입자의 전도도를 비교하였다.

3. 결 과

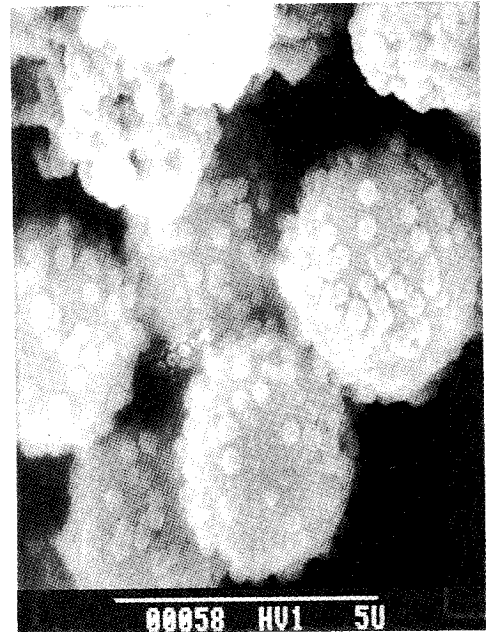
3. 1. 다공성 입자의 B.E.T. 측정

다공성의 입자를 제조하기 위하여 반연속식 유화중합법으로 제조된 입자를 용매 추출법으로 선형 고분자를 추출한 뒤에 진공 건조시켜 다공성 입자를 제조하였고, 이들 (a) 비다공성 입자와 (b) 다공성 입자의 형태를 Fig. 2와 같이 SEM으로 관찰하였다.

각각의 여러 입자들을 B.E.T. 측정장치를 통해 비다공성 입자(Nonporous Particle : NP 11~NP 15)와 다공성 입자(Porous Particle : PP 11~PP 15)의 pore specific volume과 specific surface area를 측정하여 Table 3에 나타내었다. 또한, NP 11 입자와



(a)



(b)

Fig. 2. Scanning electron microscopy of (a) nonporous and (b) porous poly(MMA/DVB) particles.

Table 3. Physical Features of Polymer Particles

Polymer Particles		Specific Surface Area(cm ² /g)	Pore Specific Volume(cm ³ /g)
Nonporous Particles	NP 11	16.01	0.16
	NP 12	17.02	0.19
	NP 13	18.64	0.24
	NP 14	17.32	0.21
	NP 15	19.10	0.29
Porous Particles	PP 11	22.02	0.46
	PP 12	31.99	0.73
	PP 13	40.86	0.91
	PP 14	59.43	1.48
	PP 15	81.90	1.68

PP 11 입자의 전도성 단량체의 최대 흡수율을 측정하여 Fig. 3과 같이 비교하여 보았는데, 그림에서와 같이 PP 11(다공성) 입자의 경우가 NP 11(비다공성) 입자의 경우보다 흡수능력이 뛰어난 것을 볼 수 있었다.

3.2. Porous와 nonporous 전도성 복합체의 중합 메카니즘과 전도도 변화

제조된 다공성 입자에 화학적 중합을 통하여 전도성이 부가되는 메카니즘을 살펴 보면, 우선 다공성 입자의 표면과 hole 안에 FeCl₃ 산화용액이 자리를 잡게 되는데, 일반적으로 ferric chloride는 좋은 산화제로써 전도성 고분자의 산화제로 많이 쓰이고 있다. 이때 FeCl₃를 용해시키는데 사용되는 용매는 FeCl₃의 용해도, dielectric 상수 등의 많은 인자의 영향을 받게 되는데, 본 연구에서는 위의 인자들이 가장 적절한 값을 가졌다고 사료되는 methanol를 이용하여 FeCl₃ 2g/methanol 10ml의 산화용액을 제조하여 사용하였다. 이렇게 제조된 FeCl₃ 산화용액에 단량체인 pyrrole 유기용액을 반응시켜서 전도성 중합체를 형성하였는데, 이 중합체상에서의 중합 메카니즘은 다음과 같이 설명된다. Fe⁺³-Fe⁺²의 redox 반응에 의하여 단량체가 산화되어 중합이 일어나고, 이때 FeCl₃로부터 생성되는 Cl⁻가 중합체를 산화시켜 전도성을 띄게 하는 도핑제(dopant) 역할을 하게 된다. 일반적으로 도핑에 의해서 전도성을 갖게 되는 유기고분자의 전자적인 특성을 설명하기 위하여 물리학에서 가

Table 4. The Conductivity of NP 11(nonporous) Particles and PP 11(porous) Particles after centrifugation

Oxidant Solution	Type of Particle	Pyrrole-Organic Solution	Conductivity(S/cm)	
			Serum Part	Bottom Part
FeCl ₃ 2g/methanol 10ml	NP 11 (Nonporous Particles)	Pyrrole 8g/ethyl ether 10ml	None	0.37×10^{-3}
	PP 11 (Porous Particles)	Pyrrole 8g/ethyl ether 10ml	None	13.1×10^{-3}

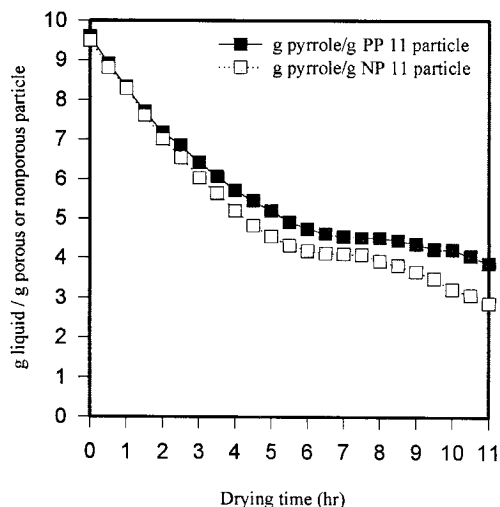


Fig. 3. The amount of pyrrole remained against drying time at ambient temperature.

저은 polaron, bipolaron 그리고 soliton의 개념을 이용하고 있다[24, 25].

위의 메카니즘을 규명하기 위하여 본 실험은 NP 11(비다공성) 입자와 PP 11(다공성) 입자의 pore specific volume과 specific surface area를 B.E.T. 측정장치로 측정하고, 입자에 FeCl₃ 2g/methanol 10ml를 교반하여 FeCl₃를 함침시킨 뒤에 pyrrole 8g/ethyl ether 10ml를 투입하여 중합한 후 원심분리기로 하층부분(Bottom : 입자부분)과 상층부분(Serum : 기타부분)으로 나누어 상온에서 건조시켜서 분리된 두 부분의 전도도를 측정하여 Table 4에서 비교하여 보았다. NP 11 입자의 경우에는 하층부분에서 0.37×10^{-3} S/cm를 나타내었으며, 상층부분은 전도도가 나타나지 않았고, PP 11 입자의 경우에는 하층부분의 전도도는 13.1×10^{-3} S/cm를 보이고, 상층부분은 NP 11 입자의 경우같이 전도도가 측정되지 않았다. 이 실험결과로서 하층부분에서 단량체는 FeCl₃가 입자에 함침

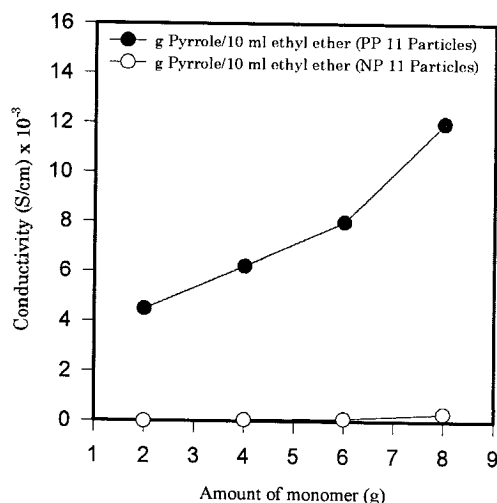


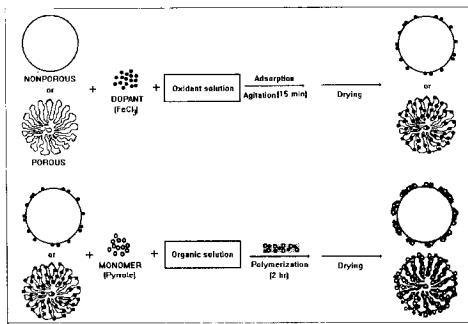
Fig. 4. The conductivity of NP 11(nonporous) particles and PP 11 (porous) particles : FeCl₃ 2g/methanol 10ml, pyrrole 2g~10g/ethyl ether 10ml.

되어 있는 곳에서 Fe³⁺-Fe²⁺의 형태로 존재하여 dopant의 역할을 할 수 있어 중합이 일어나 전도성 중합체(polypyrrole)로 형성되는 반면에, 상층부분에서는 ethyl ether 유기용매상에서 FeCl₃가 dopant의 역할을 하지 못하여 단량체가 중합을 할 수 없으므로 중합이 일어나지 않은 단량체와 유기용매인 ethyl ether만이 존재하여 전도도가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 또한, 이 결과로서 건조된 입자에 FeCl₃를 흡수시킬 때에 입자의 표면에서만 흡수하는 NP 11 입자보다 입자 표면과 pore안에서 좀더 많은 FeCl₃가 흡수할 수 있는 PP 11 입자가 전체적으로 좀더 많은 단량체의 중합을 형성할 수 있어서 전도도 또한, 더 우수하게 나타나는 것으로 사료된다.

위의 실험 결과를 토대로 전도성 단량체의 양이 증가함에 따른 중합한 후에 NP 11 입자와 PP 11 입자

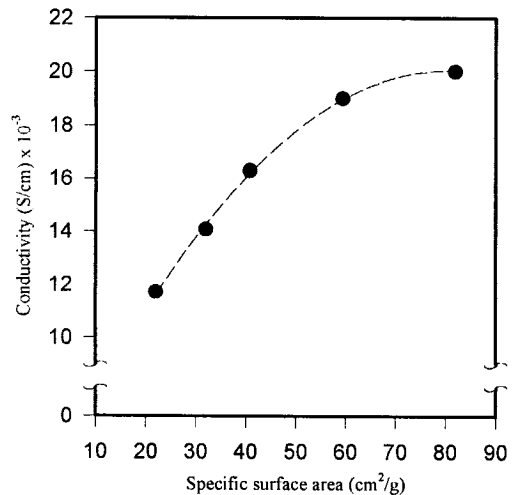
Table 5. The Conductivity of NP 11(nonporous) Particles and PP 11(porous) Particles

Oxidant Solution	Type of Particle	Pyrrole-Organic Solution	Conductivity(S/cm)
FeCl ₃ 2g/methanol 10ml	NP 11 Particles	Pyrrole 2g/ethyl ether 10ml	None
		Pyrrole 4g/ethyl ether 10ml	0.57×10^{-4}
		Pyrrole 6g/ethyl ether 10ml	0.11×10^{-3}
		Pyrrole 8g/ethyl ether 10ml	0.32×10^{-3}
	PP 11 Particles	Pyrrole 2g/ethyl ether 10ml	4.5×10^{-3}
		Pyrrole 4g/ethyl ether 10ml	6.2×10^{-3}
		Pyrrole 6g/ethyl ether 10ml	8.0×10^{-3}
		Pyrrole 8g/ethyl ether 10ml	1.2×10^{-2}

**Fig. 5.** Schematic diagram for the preparation of conducting polymer composite.

의 전도도를 측정하여 이 결과를 Table 5에서 비교하였다. 이 결과 PP 11 입자의 전도도는 $4.5 \times 10^{-3} \sim 12.0 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 로 나타났고, NP 11 입자의 전도도는 $0.32 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 이하로 나타나 PP 11 입자의 전도도가 더 우수함을 알 수 있었는데, 이를 Fig. 4에서 서로 비교하여 나타내었다. 이는 NP 11 입자와 PP 11 입자의 pyrrole에 대한 흡수능력 차이도 Fig. 3에 도시한 것과 같이 PP 11 입자의 흡수능력이 더 큰 것으로 보아 PP 11 입자의 경우가 pyrrole의 화학적 중합체를 더 많이 흡수하므로써 NP 11 입자의 경우보다 전도도가 더 우수하게 나타난 것으로 사료된다. 또한, 이 실험결과는 앞서 중합후 원심분리한 하층부분의 전도도와 거의 비슷한 값을 나타내고 있어 FeCl₃는 입자에 흡착되어 있을 때 dopant로서의 역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

위의 실험결과에 대해 Fig. 5처럼 NP 11 입자와 PP 11 입자와의 메카니즘을 비교하여 보면, 전도성 중합체와 입자간의 결합은 단지 물리적 흡착에만 기인되므로 NP 11 입자의 경우에는 입자표면 전체에

**Fig. 6.** The effect of specific surface area on conductivity of polymer composites : FeCl₃ 2g/methanol 10ml, pyrrole 8g/ethyl ether 10ml.

흡착되지 못하고 표면에 부분적으로 흡착되어있기 때문에 $0.32 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 이하를 보이거나 거의 절연체에 가까운 전도도를 나타낸 반면에 PP 11 입자의 경우는 입자표면 외에 입자내부에서도 전도성 중합체가 형성되어 전체적인 전도성 복합체내에서의 전기전도를 용이하게 하기 때문에 더 우수한 전도도를 보이는 것으로 사료된다.

위의 결과들로 미루어 입자의 pore정도가 전도도에 어떻게 작용하는지를 살펴 보았다. 다공성 입자인 PP 11~PP 15 입자들의 specific surface area와 pore specific volume이 전도도에 미치는 영향을 살펴 보기 위하여 $22.0 \text{cm}^2/\text{g} \sim 81.9 \text{cm}^2/\text{g}$ 까지 specific surface area가 각기 서로 다른 다공성 입자에 대한 전

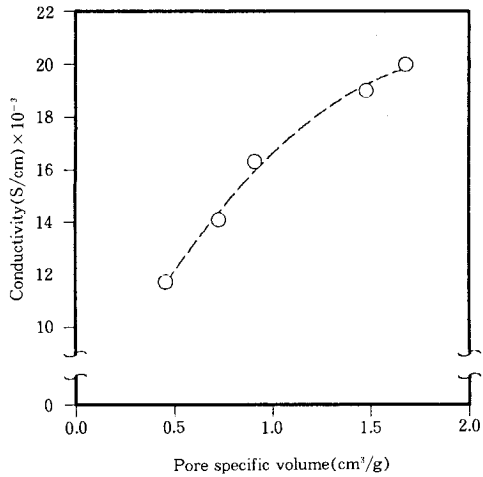


Fig. 7. The effect of pore specific volume on conductivity of polymer composites: FeCl_3 2g/methanol 10ml, pyrrole 8g/ethyl ether 10ml.

도도를 측정하여 Fig. 6에서 비교하였다. 측정결과 specific surface area가 큰 입자일수록 전도도도 $1.17 \times 10^{-3} \text{S/cm} \sim 2.01 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 로 커지는 경향을 나타내었다. 또한, pore specific volume이 $0.5 \text{cm}^3/\text{g} \sim 1.7 \text{cm}^3/\text{g}$ 로 증가함에 따른 전도도의 경향을 Fig. 7에 나타내었는데, 앞에서와 같이 pore specific volume이 증가할수록 전도도도 같이 증가함을 보였다. 이는 specific surface area와 pore specific volume이 큰 입자일수록 전도성 복합체의 형성이 더욱 많이 이루어져서 나타나는 결과라고 생각된다.

이러한 실험 결과로써 전도성 복합체 형성시 모체 고분자로 사용한 입자들이 복합체의 사슬간의 강한 인력을 방해하므로써 안정한 전도성 복합체를 제조할 수 있었으며, 이때 비다공성 입자보다는 다공성 입자가 우수한 전도도를 나타냄을 알 수 있었다. 또한, 다공성 입자의 경우에는 specific surface area와 pore specific volume이 증가할수록 전도성 복합체의 흡착면적이 더 많아져서 전체적인 전도도가 더 우수하게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 seed 입자를 사용하여 반연속식 중합법으로 크기가 큰 입자를 합성하였고, 이를 용매 추출

하여 다공성 입자를 제조하였다.

제조된 다공성 입자에 1차적으로 FeCl_3 를 methanol에 용해하여 흡수시킨 뒤에 건조하고, 2차적으로 pyrrole를 ethyl ether에 용해시켜 중합시키므로써 전도도를 부가시켜 전도성 복합체를 제조할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 비다공성(NP 11) 입자와 다공성(PP 11) 입자를 중합후 건조하기 전에 원심분리기로 상층(serum) 부분과 하층(bottom)부분으로 나누어 전도도를 측정한 결과 중합되지 못한 단량체가 존재하는 상층부분은 전도도를 나타내지 않았고, 단량체가 중합되어 전도성 복합체를 형성한 하층부분에서는 전도도가 각각 $0.37 \times 10^{-3} \text{S/cm}$, $6.91 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 로 나타났다.

2. 전도성 단량체로 사용된 Pyrrole의 양을 변화시켜가며 비다공성(NP 11) 입자와 다공성(PP 11) 입자의 전도도를 측정된 결과 다공성 입자의 경우는 $2.32 \times 10^{-3} \sim 6.76 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 의 전도도를 보이는 반면에 비다공성 입자의 경우는 10^{-4}S/cm 이하의 전도도를 나타내므로써, 입자 표면뿐만 아니라 pore에서도 전도성 복합체의 흡착이 일어나는 다공성인 PP 11 입자의 경우가 전체적으로 우수한 전도도를 나타내고 있었다.

3. 다공성인 PP 11~PP 15 입자들의 specific surface area와 pore specific volume에 따른 전도도를 측정된 결과 specific surface area와 pore specific volume이 증가할 수록 복합체 형성면적이 커지므로 전도도도 $11.7 \times 10^{-3} \text{S/cm} \sim 20.1 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ 로 더 우수한 전도도를 나타내었다.

이상의 결과에서 dopant로 사용한 FeCl_3 는 입자에 흡착될 경우에만 dopant로써의 역할을 할 수 있어서 중합에 참여할 수 있음을 알 수 있었고, dopant인 FeCl_3 가 복합체의 표면에만 흡착이 되는 비다공성 입자보다는 입자의 pore와 표면에 모두 흡착을 하는 다공성 입자가 더 우수한 전도도를 나타냄으로써, 입자의 다공성 정도가 증가할수록 중합 후에 복합체의 전도도도 증가하여 입자의 다공성 정도와 전도도와의 상관관계는 서로 비례함을 알 수 있었다.

감 사

본 연구는 1994년도 교육부 신소재분야 연구지원 (Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials in 1994)에 의해 수행되었으며 이에

감사드립니다.

참고 문헌

1. F. Candau and R. H. Ottewill, "An Introduction to Polymer Colloids", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1(1990).
2. M. G. Kanatzidis, "Conductive Polymers", C & EN., December 3, 36-54(1990).
3. L. Alcacer editor, "Conducting Polymers : Special Applications", D. Reidal., N. Y.(1987).
4. S. P. Armes and B. Vincent, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 288(1987).
5. S. P. Armes and M. Aldissi, et al, *J. Colloid Interface Sci.*, **141**, 1(1991).
6. S. P. Armes and S. Gottesfeld, et al, *Polymer*, **32**, 13(1991).
7. D. B. Cotts and Z. Reyes, "Electrically Conductive Organic Polymers for Advanced Applications", Noyes.(1986).
8. R. G. Linford, editor., "Electrochemical Science and Technology of Polymers-1", Elsevier. N. Y. (1987).
9. Francoise candau, "Scientific Methods for the Study of Polymer Collids and Their Application", p. 486, Kluwer Academic Publishers (1988).
10. M. Beoman and S. P. Armes, et al, *Colloid & Polym. Sci.*, **271**, 70-75(1993).
11. P. Beadle and S. P. Armes, *Macromol.*, **25**, 2526-2530(1992).
12. M. P. Merkel, "Morphology of core/shell latexes and thier mechanical properties", Ph. D. Thesis, Lehigh Univ.(1986).
13. M. Okubo and M. Shiozaki, et al, *Colloid & Polym. Sci.*, **222**, 222-226(1991).
14. C. M. Cheng and F. J. Micale, et al, *J. Colloid Interface Sci.*, **222**, 2(1992).
15. M. L. Digir and S. N. Bhattacharyyn, et al, *Polymer*, **35**, 2(1991).
16. E. Rukenstein and J. S. Park, *J. Appl. Polym. Sci.*, **42**, 925-934(1991).
17. E. Rukenstein and J. H. Chen, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 1209-1218(1991).
18. M. S. El-Aasser, et al., "Advnces in Emulsion Polymerization and Latex Technology", Lehigh Uinv.(1992).
19. C. M. Cheng and F. J. Micale, et al, *J. Polym. Sci., Part A ; Polym. Chem. Ed.*, **30**, 235-244 (1992).
20. C. M. Cheng and J. W. Vanderhoff, et al, *J. Polym. Sci., Part A ; Polym. Chem. Ed.*, **30**, 245-256(1992).
21. H. C. Montgomery, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 2971 (1971).
22. B. F. Logan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **42**, 2975 (1971).
23. Schimmel, Th., et al., "Conjugated polymers", Ed. by Brédas, J. L., p. 53, Kluwer Academic Publishers(1991).
24. W. R. Salaneck, et al., "Conjugated Polymers and Related Materials", Oxford University Press(1991).
25. R. R. Chance, et al., "Handbook of Conducting Polymers", Ed. by Skotheim, T. J., p. 825, Marcel Dekker, N. Y.(1986).