

Poly(caprolactone) diol/Poly(ethylene glycol)을 기초로 한 폴리우레탄 마이크로겔의 합성 및 특성

임정수[†] · 김공수 · 이무제 · 이영근

충북대학교 화학공학부
(2000년 10월 4일 접수)

Preparation and Physical Properties of the Polyurethane Microgels Based on Poly(caprolactone) diol/Poly(ethylene glycol)

Jeong Soo Lim[†], Kong Soo Kim, Moo Jae Lee, and Young Geun Lee

Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

[†]e-mail: x-beam@hanmail.net

(Received October 4, 2000)

요약: 폴리카프로락톤디올(PCD) 및 폴리에틸렌글리콜(PEG), 디이소시아네이트 및 1,2,6-헥산트리올을 용액중합 방법으로 반응시켜 폴리우레탄(PU) 마이크로겔을 합성하였다. PCD/PEG의 물비가 다른 마이크로겔의 임계 겔화농도의 성질과 생성에 영향을 주는 중요한 인자임을 알았다. 디이소시아네이트, PCD/PEG의 물비 및 PEG의 분자량을 달리하여 제조한 PU 마이크로겔의 물리적 및 열적 성질을 실험하였다. PU 마이크로겔은 300 nm 이하의 다분산성 구형의 작은 입자로 분포되어 있으며, 저점도 특성을 나타내었다.

ABSTRACT: Polyurethane(PU) microgels were synthesized from poly(caprolactone) diol (PCD) and/or poly(ethylene glycol) (PEG), diisocyanate and 1,2,6-hexane triol by solution polymerization method. A critical gelation concentration of the PU microgels with mole ratios of PCD/PEG were the important factors influencing the formation and property microgel or macrogels. The physical and thermal properties of the PU microgels prepared with depending upon the structure of diisocyanate, mole ratio of PCD/PEG, and molecular weight of PEG were investigated. It was found that PU microgels were distributed by polydisperse, spherical small particles below 300 nm and showed the properties of low viscosity.

Keywords: biodegradable polyurethane, polyurethane microgel, crosslinked microparticle, solution polymerization.

서론

고분자 마이크로겔은 분자내 가교된 고분자 미립자로서 입자크기가 작고 다공성이며, 비표면적이 클 뿐만 아니라 저점도 특성을 가지고 있다. 고분자 마이크로겔은 기능성이 다양하기 때문에 이에 관한 응용 연구가 많이 진행되고 있다.¹⁻⁴ 고분자 마이크로겔의 제조방법으로 최근에 많이 이용되는 방법으로써 반응성이 작은 라디칼 입자 내에서 국소적으로 반응을 진

행시키는 에멀전 중합방법이나, 희박용매를 사용하여 중합시킴으로써 극히 희박한 용액에서 분자내 가교반응에 의해 마이크로겔을 제조하는 방법이 있다.⁵ Shashoua 등은 스티렌, 아크릴로니트릴 또는 메틸메타아크릴레이트 공중합체를 에멀전 중합으로 합성하였고,⁶ Funke 등은 디비닐계 단량체를 에멀전 중합으로 공중합하여 불균일 망상구조내에 가교된 마이크로겔을 제조하였다.^{7,8} Antonietti 등은 마이크로겔을 제조하기 위하여 스티렌과 *m*-디이소프로페닐벤젠을

마이크로 에멀전화시킨 후, 라디칼 공중합하여 작은 입자의 마이크로겔을 제조하였다.^{9,10}

전형적인 겔화 이론에 의하면 2개 이상의 관능성을 가지는 단량체의 중합으로 생성되는 마이크로겔은 용매에 용해되지 않으나, 에멀전 중합에 의한 국소적인 반응이나 희박용액에서의 분자내 반응으로 생성되는 초미립자의 마이크로겔은 용해된 것처럼 용액 중에 분산되는 특징을 갖고 있다. 그러나 에멀전 중합은 입자 크기가 비교적 크고 유화제 등의 오염이 불가피하므로 응용분야가 제한적이다. 또한 희박용액에서의 중합방법은 고농도의 마이크로겔을 얻을 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이러한 방법 외에도 계면 중합법, 초음파를 이용한 분해법, 방사선에 의한 가교중합법 등이 보고된 바 있다.^{11,13} 이러한 방법으로는 마이크로겔을 고수율로 저렴하게 얻을 수 없다는 문제점이 지적되고 있다.

최근에 Graham과 Mao 등은 고수율의 마이크로겔을 제조할 수 있는 방법으로 용액중합 방법을 제안하였다.^{14,15} 고수율의 마이크로겔을 얻는데 필요한 주요 인자로 다섯 가지를 제시하였다. 즉 마이크로겔 표면에서 자체-입체적 안정화 과정, 고분자 사슬간의 열역학적 상호작용의 힘, 마이크로겔 입자의 팽윤성과 입체 충전농도 및 고분자 형성과정에 참여한 반응기들의 반응성 등 이라고 보고하였다.

본 연구에서는 poly(caprolactone) diol과 수용성 poly(ethylene glycol)을 polyol로 하고 1,2,6-hexanetriol, 4,4'-dicyclohexylmethane diisocyanate, hexamethylene diisocyanate 및 diphenylmethane-4,4'-diisocyanate와 함께 용액중합 방법으로 생분해성 폴리우레탄 마이크로겔을 합성하였다.¹⁶ 합성한 생분해성 폴리우레탄 마이크로겔의 임계 마이크로겔화 농도, 고유점도, 충전밀도, 분자량, 입자크기 및 열적 특성에 대한 diisocyanate의 종류, PCD/PEG의 몰비율, PEG의 분자량에 따른 영향 등을 관찰하였다.

실험

시약. 본 연구에서 사용한 poly(caprolactone) diol (PCD)은 Aldrich Co., 특급시약으로 분자량이 2125인 것을 사용하였고, poly(ethylene glycol) (PEG)은 분자량이 각각 2000, 4000, 6000, 8000

인 Shinyo Pure Chem. 특급시약을 사용하였다. PCD와 PEG는 사용 전에 회전증발기에서 8시간 동안 $93 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 진공건조하여 사용하였다. Diisocyanate (DI)로써 4,4'-dicyclohexylmethane diisocyanate (HMDI), hexamethylene diisocyanate (HDI) 및 diphenylmethane-4,4'-diisocyanate (MDI) 등은 Aldrich Co., 1급시약을 감압증류하여 사용하였다. 가교제로 1,2,6-hexanetriol (HT)은 Aldrich Co., 1급시약을 진공건조하여 사용하였으며, 촉매로는 FeCl_3 무수물을 사용하였다. Petroleum ether, methyl ethyl ketone (MEK), methanol 및 triethylamine 등은 일반적인 정제방법으로 정제하여 사용하였다.

폴리우레탄 마이크로겔의 합성. 반응물들의 hydroxy기와 diisocyanate기를 화학양론적으로 반응시키기 위하여 polyol/HT/DI의 몰비율을 1/1/2.5로 혼합하고, DI의 종류, PCD/PEG의 몰비 그리고 PEG의 분자량을 달리하여 용액중합 방법으로 폴리우레탄 마이크로겔을 합성하였다.

폴리우레탄 마이크로겔의 합성은 Table 1, 2 및 3에 나타낸 바와 같이, 사용된 단량체 polyol, HT 및 DI를 30 mL Wheaton serum 병에 취하고 용매 MEK 일정량을 가하여 녹인다. 여기에 무수 FeCl_3 일정량을 MEK에 녹인 0.1 w/w% FeCl_3 용액 일정량을 가하고, 반응 혼합용액에 일정량의 용매를 가하여 총량을 25 g으로 한 다음, 질소 가스를 5분 동안 주입한 후 공기와의 접촉을 막기 위하여 밀폐시켰다.

Table 1. Preparation of the PU Microgels Based on Poly(caprolactone) Diol with Different Diisocyanate

diisocyanate	mole ratio (PCD/HT/DI)	monomer conc. (wt%)	product type ^a	yield (%)
HDI	1/1/2.5	12.60	m	89.8
		25.24	m	90.7
		31.52	M	-
HMDI	1/1/2.5	27.44	m	88.1
		34.32	m	91.6
		41.12	M	-
MDI	1/1/2.5	27.16	m	95.1
		40.72	m	93.1
		54.28	M	-

^a Products have two types. m: Formation of microgels. M: Formation of macrogels.

Table 2. Preparation of the Microgels Based on Poly(caprolactone) Diol and Poly(ethylene glycol)

mole ratio (PCD/PEG)	DI	mole ratio (polyol/HT/DI)	CMC ^a (w/w%)	yield (%)
100/0			34.32	91.6
70/30			37.92	87.7
50/50	HMDI	1/1/2.5	48.40	96.0
30/70			58.96	89.6
0/100			61.04	91.2

^a CMC is initial of critical microgelation concentration.

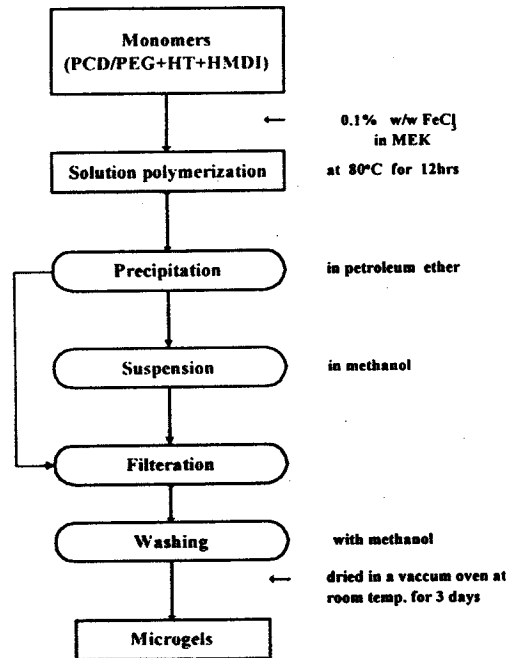
Table 3. Preparation of the PU Microgels Based on Poly(caprolactone) Diol and Poly(ethylene glycol) with Different Molecular Weight of PEG^a

Mw. of PEG	PCD/PEG (wt%)	CMC ^b (w/w%)	Yield (%)
2000	51.5/48.5	48.40	96.0
4000	34.7/65.3	31.44	93.4
6000	26.1/73.9	53.76	92.6
8000	20.9/79.1	34.68	91.2

^a Preparation condition of microgels (mol ratio); Polyol/HT/HMDI: 1/1/2.5, PED/PEG: 50/50. ^b CMC is initial of critical microgelation concentration.

그리고나서 80 °C에서 전기오븐으로 12시간 동안 가열 반응시킨 후 반응혼합물은 차가운 과량의 petroleum ether에 서서히 가하여 침전시켜 냉각장치에서 하룻밤 동안 방치하였다. 침전물을 다시 메탄올에 분산시키고 여과하여 상온에서 3~4일간 진공건조하였다. 이러한 폴리우레탄 마이크로젤의 합성공정을 Scheme 1에 나타내었다.

폴리우레탄 마이크로젤의 특성실험. 합성한 고분자 마이크로젤의 구조를 확인하기 위하여 FT-IR 분광광도계 (Jasco, M-550)를 사용하여 조사하였다. 마이크로젤을 클로로포름에 용해시켜 0.06~1 w/v%의 농도로 변화시키면서 Ubbelohde 점도계를 사용하여 25 °C에서 마이크로젤의 고유점도를 측정하였다. 시차열분석 장치 (DSC, DuPont 9900)를 사용하여 시료 10±0.5 mg을 알루미늄 팬에 넣어 질소분위기 하에서 -130~150 °C 온도범위에서 10 °C/min의 승온속도로 유리전이온도와 용융점을 측정하였다. 마이크로젤을 0.1 w/v%의 농도가 되게 아세톤에 넣고 유화제를 떨어뜨린 다음, OsO₄로 염색시키고 이를 메탄올로 다시 회석하였다. 그리고 초음파 장치를 이



Scheme 1. The schematic preparation procedure of the PU microgels.

용하여 분산시키고 하룻밤 동안 진공건조한 후 이를 금으로 코팅하여 주사전자현미경 (JEOL, JSM-5410, 일본)으로 마이크로젤 입자를 관찰하였다. 또한 시료를 탄소로 코팅된 grid 위에 놓고 투과전자현미경 (Zeiss, EM109, 독일)을 사용하여 마이크로젤의 입자형태와 크기를 관찰하였다. 마이크로젤을 테프론판 위에 0.1 g을 취하여 60~80 °C 범위로 조절된 오븐에서 가열하여 녹인 후, pH 7.4의 인산염 완충용액 20 mL에 마이크로젤을 상온으로 냉각하여 마이크로젤 필름 (5×5×0.8 mm)을 제작하였다. 37 °C로 조절된 항온조에 필름을 정확히 정량하여 넣고, 48시간 동안 팽윤시킨 후, 용액에서 마이크로젤 필름을 꺼내어 표면의 수분을 제거하고 무게변화를 정량하여 팽윤도를 측정하였다.

결과 및 고찰

폴리우레탄 마이크로젤의 합성. Polyol 및 HT의 OH기와 DI의 NCO기가 화학양론적으로 반응할 수 있도록 하기 위하여 polyol/HT/DI의 몰비를 1/1/2.5으로

Table 4. Physical Properties of the PU Microgels Based on Poly(caprolactone) Diol at Critical Microgelation Concentration

diisocyanate	$[\eta]^a$ (dL/g)	coil density ^b (g/dL)	T_g (°C)	T_m (°C)	crystallinity ^c (%)	particle size (nm)
HDI	0.49	5.06	-51.10	47.32	28.9	100
HMDI	0.51	4.92	-40.25	56.07	31.4	206
MDI	0.50	5.02	-38.46	51.55	26.1	257

^a $[\eta]$ was measured with Ubbelohde viscometer. ^b Coil density was calculated from intrinsic viscosity using the Einstein equation, $[\eta]=2.5/\rho_c$. ^c Crystallinity was calculated from heat of fusion of 139.5 J/g for 100% crystalline poly(caprolactone).

로 조절하고, MEK에서 0.1 wt% FeCl_3 촉매 존재 하에 용액중합 방법으로 폴리우레탄 마이크로젤을 합성한 결과는 Table 1과 같다. 여기에서 보는 바와 같이, HDI, HMDI, MDI를 각각 사용한 경우 단량체 농도에 따라 마이크로젤이 생성되었다. PCD/PEG의 물비를 변화시키며 HMDI를 사용하여 폴리우레탄 마이크로젤을 합성한 결과는 Table 2에서와 같이, PCD/PEG의 물비가 감소할수록 임계 마이크로젤화 농도가 현저히 증대되었다.

PCD/PEG의 물비를 50/50으로 하고 PEG의 분자량을 변화시키며 마이크로젤을 합성한 결과는 Table 3에서와 같이 PEG의 분자량에 따라 임계 마이크로젤화 농도가 다른 값을 나타내었다. 또한 폴리우레탄 마이크로젤의 물성을 시험한 결과는 Table 4 및 5에 나타내었다. 이소시아네이트의 종류와 PCD/PEG의 물비에 따라 마이크로젤의 고유점도, coil density, 결정성이 다르고, T_g 및 T_m 은 각각 -56.7 ~ -33.52 °C, 47.32 ~ 56.07 °C, 입자크기는 99 ~ 265 nm, 또한 마이크로젤의 팽윤도는 3.5 ~ 181%

범위의 값을 나타내었다.

용액중합 방법에 의한 고분자 마이크로젤의 합성은 Figure 1에서 보는 바와 같이, 용매에 용해되어 있는 단량체가 중합이 진행됨에 따라 핵이 형성되고 형성된 핵 내부에서는 가교제에 의해 분자내 가교가 진행된다. 또한 단량체로 사용한 폴리올 사슬이 입자표면에서 자체 안정화제 역할을 부여하여 입자간의 결합을 제한하고 분자내 가교반응으로 용액내에서 독립된 구형의 입자형태를 유지하면서 초미립자의 고분자 마이크로젤을 형성한다.

HDI, HMDI 및 MDI 등을 사용하여 합성한 폴리우레탄 마이크로젤의 FT-IR 스펙트라를 Figure 2에 나타내었다. 이들 반응 생성물의 IR스펙트럼에서 보는 바와 같이, 2270 cm^{-1} 영역에서의 단량체 DI의 말단 NCO기에 의한 신축진동에 의한 흡수피크가 나타나지 않았으며, 3400 ~ 3500 cm^{-1} 에서 polyol의 OH기와 NCO기 반응으로 생성된 NH기의 신축진동에 의한 흡수피크가 나타났고, 1720 cm^{-1} 에서 강한 흡수피크가 나타난 것으로 보아 우레탄 결합을 하고 있음을 확인할 수 있었다.

물리적 특성. DI의 종류에 따라 합성한 폴리우레탄 마이크로젤의 임계 마이크로젤화 농도에서 시험한 특성 결과를 Table 4에 나타내었다. 폴리우레탄 마이크로젤의 고유점도, $[\eta]$ 로부터 Einstein equation, $[\eta]=2.5/\rho_c$ 을 이용하여 coil density 충전밀도를 구하였다. 마이크로젤은 4.92 ~ 5.06 g/dL의 농도범위에서 임계충진 되었으며, Table 4에서 나타난 바와 같이, 임계충진농도 이상에서 마이크로젤이 생성되었다. DSC 열분석 결과, 유리전이온도 (T_g)는 -38.5 ~ -51.1 °C 영역에서 나타났고, 용융점은 47.3 ~ 56.1 °C 영역에서 결정성 용융에 의한 흡열피크가 강

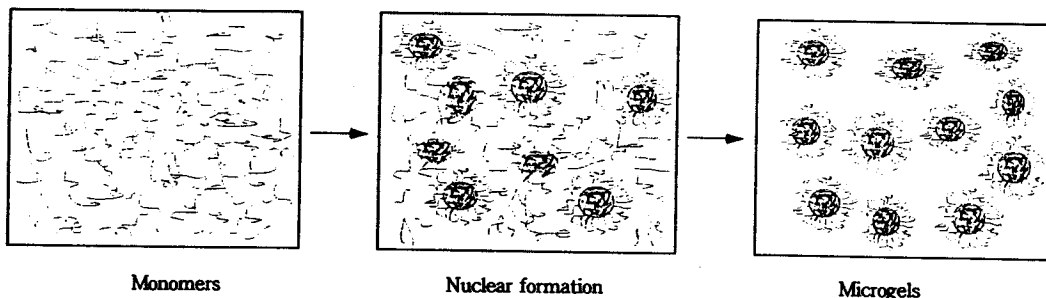


Figure 1. The mechanism for the formation of the PU microgels by solution polymerization.

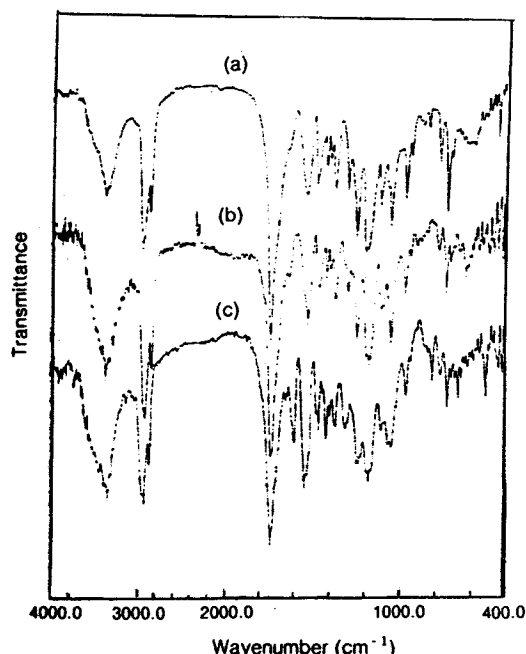


Figure 2. FT-IR spectra of the PU microgels based on poly(caprolactone) diol with different diisocyanate: (a) HDI, (b) HMDI, and (c) MDI.

하게 나타내었다. Poly(caprolactone)의 용융점에서 ΔH 의 값을 100%로 가정하고 결정성을 비교한 결과, 각 마이크로젤은 26.1~31.4% 범위의 결정성을 나타내었다. 결정성은 MDI의 마이크로젤이 HDI와 HMDI에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내었는데, 이는 HDI와 HMDI가 지방족 선형과 고리환 구조를 가지므로 입자 내에서 방향족 고리를 갖는 MDI에 비해 구조적으로 조밀한 구조를 가질 수 있음을 나타내는 경향으로 판단된다.

합성된 폴리우레탄 마이크로젤은 Figure 3의 전자현미경 사진에 나타난 것처럼 입자크기가 250 nm 이하의 다분산성 구형의 입자형태를 이루고 있으며, HDI와 HMDI로부터 생성된 마이크로젤이 MDI의 마이크로젤에 비해 작은 입자크기와 분포를 나타내었다. 이것은 HDI와 HMDI가 용매에서 벤젠고리를 이루는 MDI에 비해 자유로운 거동을 할 수 있기에 나타나는 현상이라 생각된다.

PCD/PEG의 물비를 각각 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, 0/100로 조절하여 합성한 마이크로젤의 물리

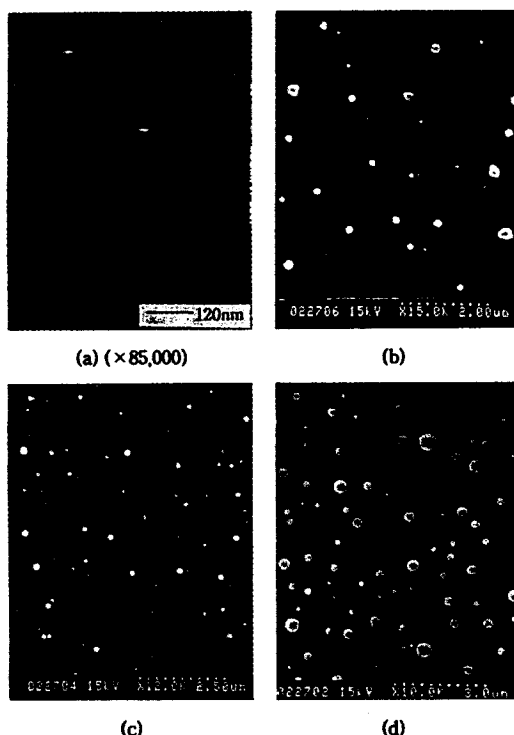


Figure 3. TEM (a) and SEM(b~d) of the PU microgels based on poly(caprolactone) diol with different diisocyanate: (a) and (b) HMDI, (c) HDI, and (d) MDI.

적 특성을 Table 5에 나타내었다. PEG의 함량이 증가함에 따라 폴리우레탄 마이크로젤의 고유점도는 0.51g/dL에서 0.30 g/dL로 감소하였으며, 충전밀도는 4.92~8.28 g/dL의 범위에서 증가하였다. 합성한 폴리우레탄 마이크로젤을 용융하여 제조한 필름을 pH 7.4로 조절된 인산염 완충용액에 대한 팽윤성을 측정한 결과, PEG의 함량이 증가함에 따라 급격히 증가하였다. 이는 단량체 PEG가 친수성이므로 물을 잘 흡수하는 반면, PCD는 소수성이기 때문에 물에 대한 친화력과 흡수력이 감소하기 때문이다. PEG를 기초로 한 폴리우레탄 마이크로젤 필름의 팽윤성은 PCD로 합성한 마이크로젤 필름의 팽윤성비해 약 52배나 더 큰 값을 나타내었다.

PCD/PEG의 조성비가 다른 폴리우레탄 마이크로젤의 임계 마이크로젤화 농도는 Figure 4에 나타난 바와 같이, PEG의 함량이 증가함에 따라 34.3%에

Table 5. Physical Properties of the PU Microgels Obtained with Different Mole Ratios of PCD/PEG at Critical Microgelation Concentration

mole ratio (PCD/PEG)	$[\eta]^a$ (dL/g)	coil density ^b (g/dL)	T_m (°C)	average particle size (nm)	equilibrium swelling ^c (%)
100/0	0.51	4.92	56.07	206	3.5
70/30	-	-	43.56	265	26
50/50	0.40	6.19	42.69	99	32
30/70	-	-	39.19	121	75
0/100	0.30	8.28	33.52	119	181

^a $[\eta]$ was measured by Ubbelohde viscometer. ^b Coil density was calculated from intrinsic viscosity using the Einstein equation, $[\eta] = 2.5/\rho_c$. ^c Equilibrium swelling was measured in phosphate buffer solution (pH=7.4) at 37 °C after 48 hrs.

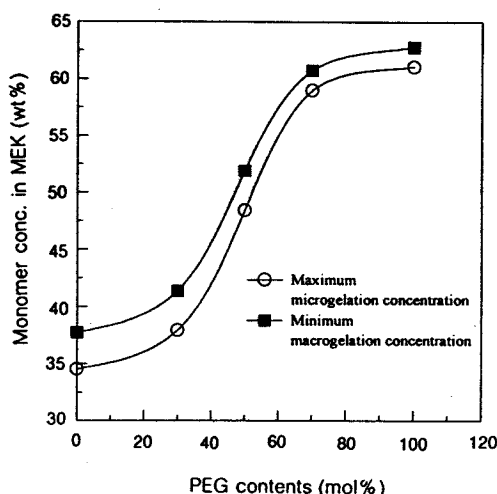


Figure 4. The critical microgelation concentration of the PU microgels with different mole ratios of PCD/PEG.

서 61.0%로 증가하였으며, PCD/PEG의 조성비에 서 PEG의 함량이 30~70%의 범위에서 급격히 증가하였다. 이는 마이크로젤을 형성하는데 있어서 친수성인 PEG가 용액내에서 입자의 자체 안정화의 기능을 발현하는 능력이 소수성인 PCD보다 초기단계에서 우수하여 마이크로젤화를 저지하여 단량체의 고농도에서도 마이크로젤화가 가능하다는 것을 의미한다.

합성한 폴리우레탄 마이크로젤의 입자크기와 입자 형태를 관찰한 결과를 Table 5와 Figure 5에 나타내었다. 주사전자현미경으로 관찰하면 평균 입자크기가 265 nm 이하의 범위에서 다분산성 구형입자 형태를 이루고 있었으며, PCD/PEG의 몰비가 50/50인 경우에 가장 작은 평균 입자크기를 나타내었다. 이는 고분자 마이크로젤 입자표면에서 자체안정성을 나타내는 고분자가 소수성과 친수성의 양쪽성을 가지므로 용액 중에서 입자간의 반발력이 크기 때문에 작은 입자를 형성하는 것으로 판단된다. 그리고 조성비가 50/50인 경우 친수성기인 PEG의 함량이 감소 또는 증가함에 따라 공중합체가 용액 중에서 상용성이 감소하여 입자크기가 증가하였으나, 일반적으로는 소수성인 PCD에 비해 PEG에 의해 합성된 마이크로젤이 상대적으로 작은 입자크기를 나타내었다.

폴리우레탄 마이크로젤의 열적 특성을 DSC로 분석한 결과는 Figure 6에 나타난 바와 같이, PCD/PEG의 몰비율이 각각 100/0, 70/30, 50/50, 30/70, 0/100일 때, 유리전이온도가 각각 -40.3, -48.0, -56.1, -54.2, -47.9 °C에서 관찰되었으며, 용융점은 각각 56.1, 43.6, 42.7, 39.2, 33.5 °C에서 나타났다. 여기에서 보는 바와 같이, 폴리우레탄 마이크로젤에서 PEG의 함량이 증가함에 따라 용융점이 저하되는

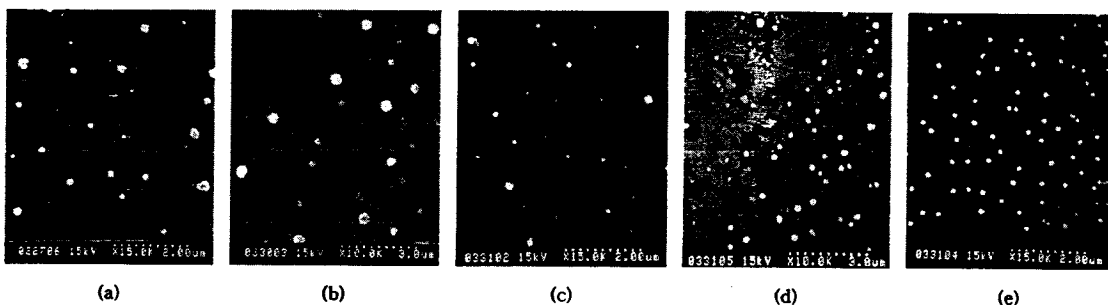


Figure 5. SEM of the PU microgels with different mol ratios of PCD/PEG; (a) 100/0, (b) 70/30, (c) 50/50, (d) 30/70, and (e) 0/100.

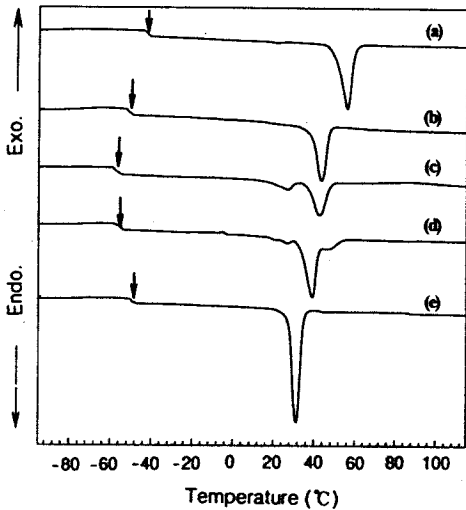


Figure 6. DSC curves of the PU microgels with different ratios of PCD/PEG: (a) 100/0, (b) 70/30, (c) 50/50, (d) 30/70, and (e) 0/100.

Table 6. Physical Properties of the PU Microgels Obtained with Different Molecular Weight of PEG at Critical Microgelation Concentration

Mw of PEG	T_g (°C)	T_m (°C)	H (J/g)	crystallinity ^a (%)	equilibrium swelling ^b (%)
2000	-54.55	42.69	27.57	19.8	42.4
4000	-55.36	47.81	33.82	24.2	48.0
6000	-56.12	50.02	43.39	31.1	51.3
8000	-57.38	46.87	94.59	67.8	51.3

^a Crystallinity was calculated from heat of fusion of 139.5 J/g for 100% crystalline poly(caprolactone). ^b Equilibrium swelling of the film was measured in phosphate buffer solution (pH=7.4) at 37 °C after 48 hrs.

경향을 나타내었는데, 이는 폴리우레탄 사슬에서 유연한 세그먼트를 구성하는 단량체 PEG가 PCD에 비해 상대적으로 낮은 용융점을 가지기 때문이라고 해석된다.

PCD/PEG의 몰비로 50/50으로 고정하고 PEG의 분자량 변화에 따른 마이크로젤의 형성에 대한 영향을 조사하였다. 분자량이 각각 다른 PEG를 사용하여 합성한 결과 임계 마이크로젤화 농도는 Table 3에서 보는 바와 같이, 31.4~53.8%를 나타내었고, 분자량이 6000인 PEG를 사용하였을 경우 임계 마이크로젤화 농도가 가장 큰 값을 나타내었다. 이는

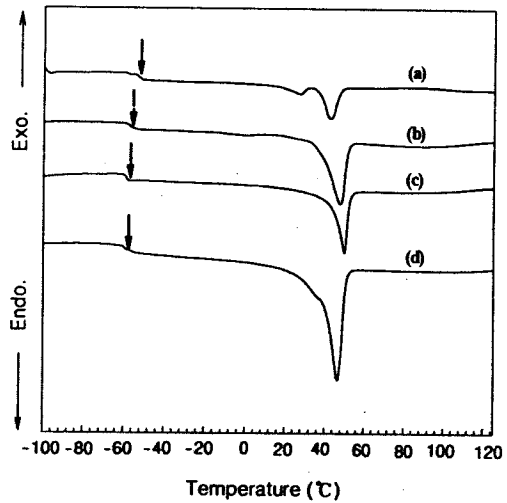


Figure 7. DSC curves of the PU microgels with different molecular weight of PEG: (a) 2000, (b) 4000, (c) 6000, and (d) 8000.

PCD와 PEG의 공중합체에서 PEG의 분자량 6000인 것이 용액 중에 가장 높은 상용성을 가져 입자간의 결합을 저지하여 입자표면에서의 높은 자체 안정화력을 가지기 때문으로 생각된다.

생성된 폴리우레탄 마이크로젤의 물리적 특성을 조사한 결과를 Table 6에 나타내었다. 유리전이온도는 -54.6~-57.4 °C의 범위에서 PEG의 분자량이 증가함에 따라 감소하였고, 43.7~50.0 °C 범위에서 용융되었다. Figure 7에 나타난 DSC 곡선에서 얻은 ΔH 의 값을 이용하여 결정성을 조사한 결과, PEG의 분자량이 증가함에 따라 결정성이 증대하였다. 이는 PCD와 PEG의 공중합체에서 PEG의 분자량이 증가함에 따라 고분자사슬내 polyol기에서 PCD에 비해 결정성이 큰 PEG의 함량이 상대적으로 증가하기 때문으로 설명할 수 있다.

폴리우레탄 마이크로젤의 필름을 pH 7.4로 조절된 인산염 완충용액에 넣고 팽윤성을 측정한 결과, PEG의 분자량이 증가함에 따라 친수성기인 PEG 함량의 증가로 인해 팽윤성이 증가하였다. 또한, PEG의 분자량 6000이 건조된 필름에서 입자간의 결합력이 우수하여 가장 큰 팽윤성을 나타내었다.

결 론

PCD와 PEG를 polyol로 하여 폴리우레탄 마이크로젤을 용액중합 방법으로 제조하였으며, 이의 물리적 및 열적 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 임계 마이크로젤화 농도(CMC)가 25.2~61.0% 범위에서 다분산성 구형입자의 폴리우레탄 마이크로젤을 고수율로 얻을 수 있었다.

2. 마이크로젤의 유리전이온도는 -38.5~-51.1 °C, 용융점은 47.3~56.1 °C로서 저온 용융성으로 성형 가공성이 우수하였다.

3. 마이크로젤의 고유점도는 0.51 dL/g 이하의 저점도 특성을 나타냈고, PEG의 몰비가 증가할수록 고유점도는 감소하였으며, 임계 마이크로젤화 농도와 팽윤성은 증가하였다.

4. 마이크로젤의 입자크기는 99~265 nm 범위에 있고, PCD/PEG의 조성비가 50/50인 경우에 가장 작은 입자크기의 마이크로젤이 생성되었다.

참 고 문 헌

1. S. Abrol, P. A. Kambouris, M. L. Looney, and D. H. Solomon, *Macromol. Rapid Commun.*, **18**, 755 (1997).
2. H. Tobita and Y. Uemura, *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, **34**, 1403 (1996).
3. K. S. Kim, S. H. Kang, and J. M. Kim, *J. Korean Ind. & Eng. Chemistry*, **9**, 591 (1998).
4. D. Kunz and W. Burchard, *Colloid & Polymer Sci.*, **264**, 498 (1986).
5. Y. Naka and Y. Yamamoto, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **30**, 2149 (1992).
6. V. E. Shashoua and R. G. Beaman, *J. Polym. Sci.*, **33**, 101 (1958).
7. W. Funke, *Brithsh Polym. J.*, **21**, 107 (1989).
8. W. Funke and K. Walthe, *Polymer J.*, **17**, 179 (1985).
9. M. Antonietti and H. Sillescu, *Macromolecules*, **19**, 798 (1986).
10. M. Antonietti and W. Bremser, *Macromolecules*, **23**, 3796 (1990).
11. H. Chen, K. Ishizu, T. Fukutomi, and T. Kakurai, *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **22**, 2123 (1984).
12. K. S. Kim, C. H. Cho, and M. W. Park, *Polym. International*, **27**, 350 (1992).
13. Y. Naka, I. Ketsu, Y. Yamamoto, and K. Hayashi, *J. Polym. Sci., Part A: Polymer Chem.*, **29**, 1197 (1991).
14. N. B. Graham and C. M. G. Hayes, *Macromol. Symp.*, **93**, 293 (1995).
15. N. B. Graham and J. Mao, *Colloid & Surface A: Physicochemical & Engineering Aspects*, **118**, N. 3 (1996).
16. K. S. Kim and Neil B. Graham, *J. Ind. Eng. Chem.*, **4**, 221 (1998).