한국산학기술학회논문지
Vol. 10, No. 11, pp. 3060-3065, 2009

유연한 곁사슬을 갖는 방향족 Poly(ether-ether-ester)의 합성 및 성질

방문수[1*]
[1]공주대학교 신소재공학부

Synthesis and Properties of Aromatic Poly(ether-ether-ester)s having Flexible Side Chain

Moon-Soo Bang[1*]
[1]**Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University**

요 약 알콕시 곁사슬을 갖는 유연한 곁사슬을 갖는 전방향족 Poly(ether-ether-ester)가 ether기로 연결된 triad diol과 2,5-dialkoxyterephthalic acid로부터 direct polycondensation에 의하여 합성되었다. 중합체의 구조와 물리적 성질은 1H-NMR, FT-IR, DSC, TGA를 이용하여 조사되었다. 연구결과에 의하면, 용매로서 1,1,2,2-tetrachloroethane(TCE)를 사용하여 측정된 고분자의 고유점성도는 0.45~0.86 dl/g의 값을 나타내었으며, 질소 분위기하에서 측정된 초기열분해온도는 378~418 ℃를 나타내었다. 중합체 대부분은 측정에 사용된 유기용매에 용해되었고, 용융전이온도(Tm)는 곁사슬의 길이가 길수록 감소되었으며 홀수-짝수 효과를 나타내었다.

Abstract A series of wholly aromatic Poly(ether-ether-ester)s with flexible side chain was synthesized by direct polycondensation from ether linkaged triad diol and 2,5-dialkoxyterephthalic acid. The chemical structures and physical properties of these polymers were investigated by using ^{1}H-NMR, FT-IR, DSC and TGA. As results of investigations, the inherent viscosities(η inh) measured at 40 ℃ in 1,1,2,2-tetrachloroethane(TCE) were 0.45~0.86 dl/g and initial decomposition(Td) in TGA occurred at 378~418 ℃ in N2 gas. The majority of these polymers were soluble in organic solvents used in this experiments at elevated temperatures. Melting temperatures(Tm) decreased with increasing the length of the side chain and showed odd-even effects.

Key Words : Wholly aromatic polymer, Flexible side chain, Rigid rod, Ether linkage

1. 서론

현재 금속이나 세라믹과 같은 재료를 대체할 수 있는 열적으로나 화학적으로 안정한 고분자재료의 개발을 위하여 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 이러한 요구에 가장 접근이 쉽고, 가능성이 있는 고분자로서 polyimide나 amide, ester, ether 결합기를 갖는 전방향족 고분자 재료가 개발되고 있으나, 이들이 갖는 우수한 기계적, 열적성질에 반하여 이들의 단단한 구조 때문에 용융가공이나 용액가공과 같은 가공성에 많은 문제점을 안고 있다.

따라서 요구되는 고분자의 물성은 그대로 유지하면서 가공성을 개선하기 위한 연구가 많은 연구진들에 의해 발표되어 오고 있다. 이에 대한 연구는 주로 고분자사슬의 구조를 변형시켜 용융가공이 가능하도록 고분자를 설계하는 것이다.

고분자 사슬에 열적으로 안정한 유연격자를 도입하는 방법이 연구되어 왔으며 유연격자를 도입하는 경우 고분자사슬의 강직성의 감소로 인하여 물성이 저하됨이 많은 연구진들에 의해 보고되었다[1,2].

또 다른 방법으로 극성 또는 비극성의 벌키한 치환기를 도입하는 방법과 사슬의 직선성을 낮추는 방법이 이용되고 있다. 이러한 방법은 주사슬의 방향족구조는 그대로 유지하면서 용융 또는 용해의 특성을 갖도록 하는 방법으로 고분자사슬의 치환기의 종류 및 결합기의 종류와 위치에 따라

*교신저자 : 방문수(msbang@kongju.ac..kr)
접수일 09년 08월 11일 수정일 09년 11월 11일 게재확정일 09년 11월 12일

중합체의 특성을 많이 개선시킬 수 있다[3-7].

벌키한 치환기의 경우, 고분자사슬의 세그멘트의 운동을 방해하여 분자간 패킹을 어렵게 하고 분자사이의 인력과 결정화도를 감소시킨다. 고분자 사슬의 직선성 역시 고분자물질의 물성에 직접적으로 관련이 있으며, 분자내의 결합기의 종류와 위치가 중요 인자가 된다. 사슬의 직선성이 감소하게 되면 방향족 환의 co-planality를 감소시키고 분자간 패킹을 방해하여 분자간 인력이 감소하게 됨으로써 용해 또는 용융특성이 개선되게 된다. 이처럼 분자구조를 적절히 설계함으로써, 전방향족 고분자가 갖는 특성의 감소는 최소한으로 하면서 고분자물질의 가공성을 개선시킬 수 있다[8-14].

따라서 본 연구에서는 주 사슬에 ether 결합기를 갖는 전방향족 고분자로서, 곁사슬로는 지방족 alkoxy group을 갖는 고분자를 합성하여 이들의 성질을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 기기

본 연구에서 사용된 시약인 1-bromoalkane 1,4-dibromobenzene, 4-methoxyphenol, diethyl-2,5-dihydroxyterephthalate, pyridine 그리고 TCE는 Aldrich사 제품을 사용하였으며, thionylchloride는 triphenylphosphite와 2시간동안 환류시킨 후 증류하여 사용하였다.

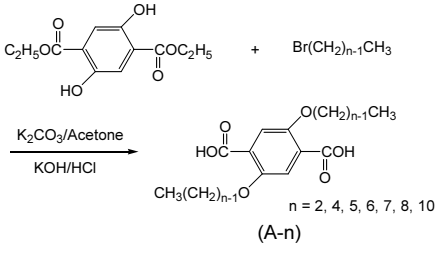
화합물의 구조분석 및 열분석을 위하여 IR Spectrophotometer(Bio-Rad Win-IR), ^{1}H-NMR Spectrophotometer (JEOL JNM-AL 300), DSC(TA DSC Q20), TGA(PL STA 625)를 이용하였다.

2.2 단위체의 합성

단위체의 합성은 다음 Scheme I과 Scheme II에 따라 행하였으며, 단위체 (A)는 변형된 Ballauff의 방법[6]으로, 단위체 (B)는 Al-Dujaili 등[15]의 방법을 이용하였다.

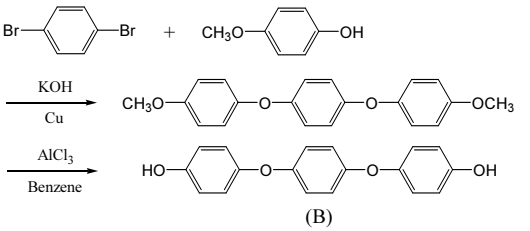
다음은 단위체(B)의 합성방법에 대하여 기술하였다.

Scheme I



(A-n)

Scheme II



(B)

[그림 1] 단위체의 합성 경로

2.2.1. 4,4‘–dimethoxytriphenylether

3구 플라스크에 4-methoxyphenol 0.8mol, 1,4-dibromobenzene 0.27 mol, KOH 0.59 mol 그리고 Cu powder 2.7 g을 넣고 기계식교반기, Dean-Stark condenser, 온도계를 장치한 후 salt bath상에서 강하게 교반하면서 200 ℃에서 반응시켰다. 반응시작 후 1시간 이내에 생성된 물은 거의 제거되었으며 반응물은 계속 4시간동안 더 반응시켰다. 반응이 끝난 후 생성물은 5% KOH수용액에 부어지고 계속 물과 5% KOH수용액으로 수 차례 세척, 건조된 후 에탄올로 재결정되었다. 얻어진 생성물의 용융전이온도(T_m)는 145 ℃ 였다.

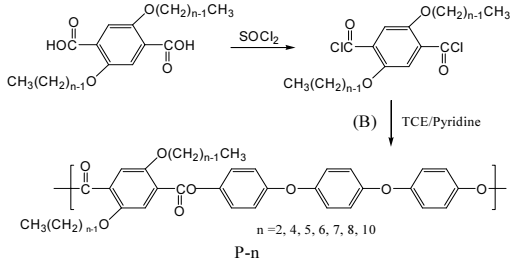
2.2.2. 4,4‘–dihydroxytriphenylether(B)

합성된 4,4‘-dimethoxytriphenylether과 $AlCl_3$를 1000 ml 플라스크에 넣고 벤젠으로 용해한 후 4시간동안 환류시킨다. 생성물을 증류수에 붓고 회전식 증발기로 벤젠을 제거하고 여과한 후 고체생성물을 5% KOH수용액에 부어 용해한다. 이때 용해되지 않는 침전물은 여과하여 제거하고 여액은 5N-HCl용액을 첨가하여 산성화하고 생성된 침전물은 여과하여 증류수로 수 차례 세척하고 건조하여 벤젠으로부터 재결정되었다. 얻어진 생성물의 T_m은 190 ℃ 였다.

2.3 중합체의 합성

중합체의 합성은 Scheme III에 의하였으며, 중합체들 중 n=6인 경우를 예를 들어 정리하면 다음과 같다.

Scheme III



P-n

[그림 2] 중합체의 합성 경로

단위체인 2,5-hexoxyterephthalic acid 5.00 g ($1.36x10^{-2}$ mol)을 가지달린 플라스크에 넣고 과량의 $SOCl_2$로 용해하고 2시간동안 환류시킨 후 여분의 $SOCl_2$를 감압제거하고 생성된 산염화물은 petreloum ether로 2회 세척한 후 TCE 10 ml에 용해하였다. 이 산염화물을 강하게 교반시키면서 TCE 10 ml / Pyridine 2 ml에 용해된 4,4'-dihydroxytriphenylether(B)($1.36x10^{-2}$ mol)를 실온에서 dropwise한 후 90 ℃에서 48시간동안 반응시키고 생성물은 뜨거운 메탄올에 붓고 생성된 침전물은 메탄올과 증류수로 수차례 세척한 후 건조하였다. 건조된 중합체인 Poly(triphenylether-2,5-dihexoxybenzoate)는 아세톤 용매하에서 48시간동안 속슬렛 추출하여 정제하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단위체 및 중합체의 합성

3.1.1 단위체의 합성

본 실험에서 준비된 단위체인 2,5-dialkoxyterephthalic acid(A)는 변형된 Ballauff의 방법[6]을 이용하였다. 이는 출발물질인 diethyl-2,5-dihydroxyterephthalate로부터 two-pot의 과정을 거쳐 합성되는 것을 one-pot의 반응으로 단순화 시켰으며, 그 결과 합성된 단위체의 수율과 합성에 소요되는 시간을 비교했을 때 기존의 방법보다 유리한 방법임을 알 수 있었다.

합성된 화합물들의 합성확인은 IR과 ^{1}H-NMR 분석으로부터 확인하였다. 단위체(A-6)인 2,5-hexoxyterephthalic acid(A)의 IR분석의 경우, diethyl-2,5-dihydroxy terephthalate에서 관찰되는 -OH 신축진동 피이크 (2400～3400 cm^{-1}), C=O(1680 cm^{-1}) 그리고 bromoalkane의 Br-C(680 cm^{-1})가 사라지고 합성된 화합물(A)의 C=O 피이크가 1680 cm^{-1}에서 새로이 생성됨으로서 합성되었음을 알 수 있었다.

^{1}H-NMR($CDCl_3$)에서도 δ 12.9(2H, -OH-), 7.3(2H, $-C_6H_2-$), 4.0(4H. $-OCH_2-$), 1.7(4H. $-OCH_2-\underline{CH_2}-$), 1.3～1.5(12H. $-CH_2-$), 1.5～1.6(6H. $-CH_3$)를 보임으로서 화합물(A)의 합성을 확인할 수 있었다.

표 1은 단위체(A)인 2,5-dialkoxy terephthalic acid의 T_m으로서 alkoxy 곁사슬의 길이가 길어질수록 낮은 T_m을 나타냈으며, 좁은 온도구간에서 용융거동을 보임으로서 고순도의 화합물이 합성되었음을 예측할 수 있었다.

[표 1] 2,5-dialkoxyterephthalic acid의 용융전이온도[a]

Monomers (A-n)	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-10
T_m (℃)	220.2	146.1	153.0	145.1	143.3	137.7	136.6

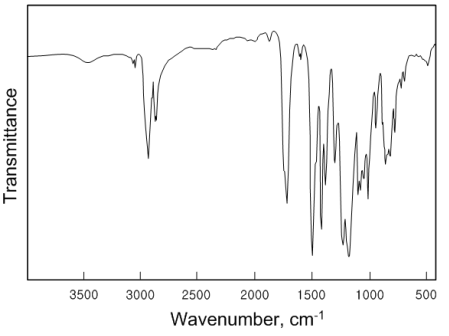
[a] Peak points of DSC thermograms.

단위체인 4,4'-dihydroxytriphenylether(B)는 Al-Dujaili 등[15]의 방법을 이용하였다. 단위체 (B)의 이전 단계 물질인 4,4'-dimethoxytriphenyl ether는 38% 정도의 낮은 수율로 합성되었으며, 이 화합물의 정제용매로 문헌에 기술된 Et-OH을 사용했을 때 정제 물질에 대한 용매의 용해력이 낮기 때문에 hot-filter를 하는 동안에 석출됨으로서 정제과정에서 이들의 취급이 쉬지 않았다. 따라서 본 실험에서는 아세톤을 용매로 사용하였으며, 그 결과 화합물의 정제를 위한 취급이 훨씬 더 용이하였으며, 정제 수율과 순도도 높아짐을 확인하였다.

4.4,-Dimethoxytriphenylether로부터 합성된 단위체(B)의 IR 분석의 경우 이전 단계 물질에 없는 -OH 신축진동 피이크가 3308 cm^{-1}에서 Ar-O와 함께 관찰되었으며, ^{1}H-NMR(DMSO-d_6)의 경우 δ 6.9에서 $-C_6H_4-$의 12H와 δ 9.3에서 -OH의 2H가 관찰됨으로서 단위체 (B)의 합성을 확인할 수 있었다.

3.1.2 중합체의 합성

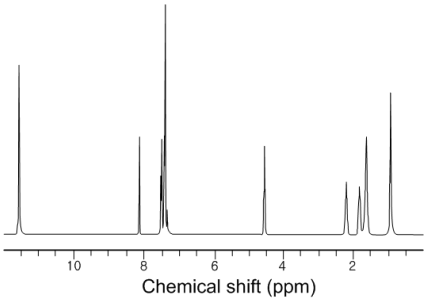
중합체의 합성은 TCE용매 중에서 합성되었으며 균일한 용액상태로 반응은 진행되었다. 중합체들의 수율은 79～88%였으며, 용매로서 TCE를 사용하여 측정된 고유점성도값은 0.45～0.86 dl/g 로서 비교적 낮은 분자량의 중합체가 생성되었음을 알 수 있었다.



[그림 3] 중합체(P-6)의 IR 스펙트럼(KBr).

또한, 중합체(P-6)의 IR 스펙트럼(그림 3)에서는 단위체 (A)의 C=O와 (B)의 OH 신축진동 피이크가 사라지고 새로이 만들어진 ester의 C=O 피이크가 1720 cm^{-1}에서

생성되었음을 알 수 있었으며, ^{1}H-NMR(CF_3COOD) 스펙트럼(그림 4)의 결과 δ 7.8(2H, CO-C_6H_2-), 7.4～7.6 (12H, O-C_6H_4-), 4.6(4H. -OCH_2-), 2.3(4H. -OCH_2-$\underline{CH_2}$-), 16～1.8(12H. -CH_2-), 0.96(6H, -CH_3) 피이크가 관찰됨으로서 중합체가 합성되었음을 확인하였다.



[그림 4] 중합체(P-6)의 ^{1}H-NMR 스펙트럼 (CF_3COOD).

3.2 중합체의 성질

표 2는 합성된 중합체들의 용해도 실험결과를 나타내었다. 곁사슬이 없는 중합체인 P-0는 실험에서 사용된 모든 유기용매에서 용해되지 않았고, 황산내에서만 용해됨을 확인할 수 있었다. 알콕시 곁사슬이 있는 중합체들은 곁사슬의 길이가 길어질수록 용해성이 좋아짐을 알 수 있다.

[표 2] 중합체의 용해도[a]

Polymers (n)	CCl_4	Toluene	$CHCl_3$	TCE	DMF	H_2SO_4
P-0	×	×	×	×	×	○
P-2	×	×	○	○	△	○
P-4	△	△	○	○	○	○
P-5	△	○	○	○	○	○
P-6	△	○	○	○	○	○
P-7	△	○	○	○	○	○
P-8	○	○	○	○	○	○
P-10	○	○	○	○	○	○

[a] ○ : Soluble on heating
△ : Partially soluble on heating
× : Insoluble

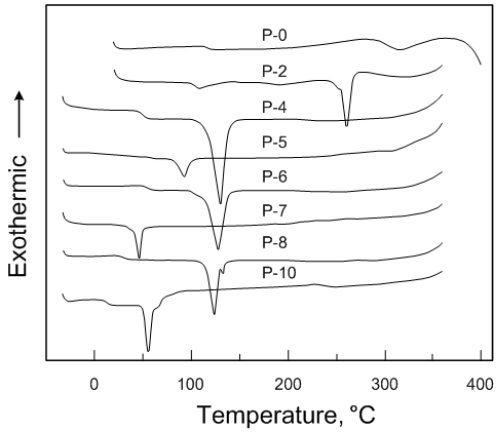
이는 서론에서 언급하였듯이 벤젠고리 사이의 ether 결합에 의한 사슬의 선형성의 감소와 벌키한 곁사슬에 의한 분자 사슬사이의 패킹의 어려움으로 인하여 분자간 결합력이 약화된 결과임을 알 수 있다.

표 3은 중합체의 일반적인 성질을, 그림 5는 중합체들의 열곡선으로서, 중합체의 용융온도는 알콕시 곁사슬 길이가 길어질수록 낮아졌으며 곁사슬의 탄소수가 홀수인 p-5, p-7인 중합체들이 짝수인 경우에 비하여 훨씬 더 낮은 용융온도를 나타내었다. 합성된 중합체들의 주사슬이 전방향족 구조를 갖음에도 불구하고 이처럼 낮은 용융온도를 나타내는 것은 다음의 두가지 구조적인 요인에 의한 것으로 판단된다. 첫째는 ether 결합으로 인한 중합체 주사슬의 직선성의 파괴를 들 수 있다.

[표 3] 중합체의 일반적인 성질

Polymers (n)	yield (%)	η_{inh}[a]	T_g (℃)	T_m (℃)	ΔH_m (J/g)
P-0	88	0.86	122.7	-	-
P-2	83	0.58	104.8	259.3	17.8
P-4	84	0.52	46.9	130.0	40.5
P-5	79	0.49	52.4	92.2	4.1
P-6	85	0.61	43.4	127.5	31.7
P-7	81	0.46	36.6	46.6	4.4
P-8	80	0.48	26.9	122.9	27.9
P-10	84	0.45	12.7	55.1	14.3

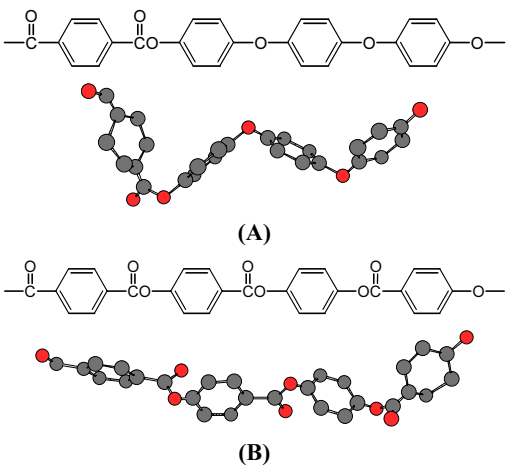
[a] Inherent viscosities were measured at a concentration of 0.5g/dl in a 1,1,2,2-tetrachloro ethane at 40℃.



[그림 5] 10 ℃/min의 가열속도로 측정된 DSC 열곡선.

그림 6은 본 실험에서 합성된 poly(ether-ether-ester)와 Han 등[5]에 의하여 보고된 전방향족 polyester 골격의 3차원입체배열로서, 방향족고리 사이에 위치한 ether와 ester 결합을 중심으로 한 결합각이 ether 결합(그림 6(A))의 경우가 ester 결합(그림 6(B))의 경우보다 더 굽은 모양을 하고 있음을 보여 주고 있다. 이로부터 Han 등에 의하여 합성된 중합체들은 곁사슬을 포함하고 있음에도 불구하고 모두가 액정성을 나타냈으나, 본 실험에서 합성된

중합체들은 ether 결합의 굽은 구조로 인하여 액정상의 형성이 불가능 한 것으로 예측된다.



[그림 6] 중합체의 안정한 분자배열.
(A)poly(ether-ether-ester), (B)polyester[5].

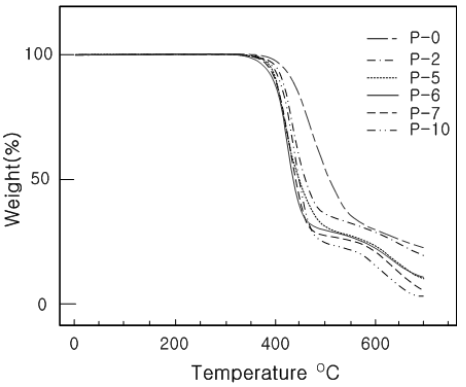
또, 다른 요인으로 방향족고리에 치환되어 있는 비극성의 벌키한 알콕시 곁사슬의 영향을 들 수 있다. 이처럼 앞에서 언급한 요인에 의하여 중합체 분자들 간 패킹이 어려워짐으로서 분자간력이 감소하기 때문이다.

또한 ether 결합의 유연성 역시 고분자 전체의 평균적인 강직성을 감소시킴으로서 중합체의 용융온도를 낮추는 중요한 요인으로서 역할을 하는 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서 합성된 poly(ether-ether-ester)와 같은 길이의 알콕시 곁사슬을 갖는 Han 등에 의하여 보고된 전방향족 polyester의 T_m을 비교해 보면 이해가 될 수 있다. 중합체의 곁사슬의 탄소수가 같을 때 poly(ether-ether-ester)가 더 낮은 T_m을 나타냄으로써 ether 결합이 중합체의 전이온도를 낮추는데 역할을 하고 있음을 확인 할 수 있다.

주사슬이 전방향족으로 되어있음에도 불구하고 이렇게 낮은 용융점을 갖을 수 있다는 것은 일반적으로 높은 용융온도로 인하여 가공성에 문제가 있는 방향족 고분자에 ether 결합기를 갖는 moiety가 일정비율 포함되도록 분자를 설계함으로서 방향족 고분자들이 갖는 기계적인 물성의 손실은 최소한으로 하며 용융온도를 낮춤으로서 가공성을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 중합체의 유리전이온도는 곁사슬이 없는 중합체, P-0의 T_g가 122.7 ℃, 곁사슬의 탄소수가 10인 P-10의 T_g가 12.7 ℃의 범위내에 있으며, 용융전이온도와 같은 경향을 관찰할 수 있었다.

그림 7과 표 4는 합성된 중합체들의 열분해안정성의 관찰을 위한 TGA실험 결과로서 각 중합체들은 낮은 용융온도에도 불구하고 379 ℃까지 열분해가 거의 일어나지 않았음을 보여 주고 있다. 이들 중합체들은 낮은 2차 결합에너지를 가지고 있으나 안정한 분자내 1차 결합을 하고 있음을 알 수 있다. 또한 600 ℃에서의 잔류량은 30.8～16.7%로서 분자 중 방향족 함량이 클수록 더 많은 잔류량을 나타내었다.



[그림 7] 10 ℃/min의 가열속도로 측정된 TGA 열곡선.

[표 4] 중합체의 열중량분석

Polymers	T_D[a] (℃)	W_t[b] (%)
P-0	418	30.8
P-2	402	29.3
P-4	384	25.8
P-5	389	24.3
P-6	379	23.2
P-7	387	22.5
P-8	378	18.1
P-10	398	16.7

[a] Initial 5% weight loss temperature.
[b] weight percent of residue at 600 ℃.

4. 결론

본 연구를 위하여 준비된 단위체와 중합체의 합성과 물성을 조사한 결론은 다음과 같다.

1. 단위체(A)인 2,5-alkoxyterephthalic acid는 one-pot의 합성으로 얻을 수 있었으며, 단위체(B)인 4,4'-dihydroxy triphenylether는 아세톤을 정제용매

로 사용함으로서 높은 수율과 순도를 높일 수 있었다.

2. 합성된 중합체 중 P-0는 실험에서 선택된 모든 유기 용매에 용해되지 않았으나, 곁사슬이 있는 중합체들은 사슬의 길이가 길어질수록 용해도가 향상되었다.
3. 중합체들의 고유점성도(η_{inh})는 0.45～0.86 dl/g으로 비교적 낮은 분자량의 중합체가 합성되었다.
4. 중합체들의 용융전이온도(T_m)은 곁사슬의 길이가 길수록 낮았으며, 곁사슬의 탄소수에 따른 짝수-홀수 효과를 나타내었다.
5. 합성된 중합체들은 낮은 T_m에도 불구하고 379 ℃까지 열분해가 진행되지 않았으며, 600 ℃에서의 잔류량은 방향족 함량이 많을수록 증가함을 보였다.

참고문헌

[1] A.Kaito, M.Kyotani, and K.Nakayama, "Orientation profiles in the strand of thermotropic liquid-crystalline polymer studied by polarized Fourier-transform infrared microspectroscopy", *Macromolecules,* 24, 3244-3249, 1991.

[2] V.Frocini and G.Levita, "Broad-line NMR and dynamic mechanical behavior of some aromatic polyesters" *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.,* 15, 239-245, 1977.

[3] J.I.Jin, J.H.Chang, and H.K.Shim, "Properties of aromatic copolyesters derived from p-hydroxybenzoic acid, terephthalic acid, and naphthalenediol isomers" *Macromolecules,* 22, 93-99, 1989.

[4] W. J. Jackson and H. F. Kuhfuss, *US Patent* 4.140, 846, 1979.

[5] C.Han, O-C Jeon, Y-J Kim, D-S Yun, K-Y Sung, and J-K Choi, "Syntheses and Properties of New Wholly Aromatic Polyesters Having Alkoxy Group in the Side Chains", *J. Korean Ind. Eng. Chem.,* 11, 366-370, 2000.

[6] M.Ballauff, "Rigid rod polymers having flexible side chains, 1. thermotropic poly(1,4-phenylene 2,5-dialkoxyterephthalate)s", *Makroml. Chem., Rapid Commun.* 7, 407-414, 1986.

[7] M.Ballauff and G.F.Schmidt, "Rigid rod polymers with flexible side chains, 2. Observation of a novel type of layered mesophase" *Makroml. Chem., Rapid Commun.* 8, 93-97, 1987.

[8] J.M.Rodriguez-Parada, R.Duran, and G.Wegner, "A comparative study of mesophase formation in rigid-chain polyesters with flexible side chains" *Macromolecules,* 22, 2507-2516, 1989.

[9] H.R.Kricheldorf and J.Engelhardt, "New polymer syntheses, 45. Soluble and meltable poly(benzobisthiazole)s derived from substituted terephthalic acids" *Makromol. Chem.,* 191, 2017-2026, 1990.

[10] K.S.Lee, H.M.Kim, J.M.Rhee, and S,M.Lee, "Synthesis and properties of processable rigid polymers containing spiroacetal moieties" *Makromol. Chem.*, 192, 1033-1040, 1991.

[11] B.R.Harkness and J.Watanabe, "Rigid-rod polyesters with flexible side chains based on 1,4-dialkyl esters of pyromellitic acid. 1" *Macromolecules,* 24, 6759-6763, 1991.

[12] R.Centore, A.Roviello, A,Sirigu, and H.R.Kricheldorf, "Liquid-crystal behaviour of some laterally substituted stiffchain polyesters containing 2-phenylbenzoxazole units" *Makromol. Phys.,* 195, 3009-3016, 1994.

[13] U.Caruso, P.Jannelli, S.Pragliola, A.Roviello, and A,Sirigu, "Mesomorphism in Segmented-Chain Polymers Containing Flexible Substituents in the Rigid Moiety" *Macromolecules,* 28, 6089-6094, 1995.

[14] P.Iannelli, U.Caruso, S.Pragliola, A.Roviello, and A,Sirigu, "Rigid-rod liquid crystalline polyesters based on n-alkoxyterephthalic acid and 4,4-dihydroxybiphenyl" *J. Polym. Sci., Polym. Chem.,* 36, 263-267, 1998.

[15] A.H.Al-Dujaili, A.D.JenKins, and D.R.M.Walton, "Liquid crystal polymers with tris(oxy-1,4-phenylene) unit" *Makroml. Chem., Rapid Commun,* 5, 33-36, 1984.

방 문 수(Moon-Soo Bang) **[정회원]**

- 1989년 2월 : 조선대학교 화학공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : 조선대학교 화학공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>
고분자합성, 고성능고분자재료