

알콕시 곁사슬기가 비페닐렌구조를 갖는 전방향족 액정폴리에스터의 물성에 미치는 영향

이응재¹, 방문수^{2*}

¹조선이공대학 생명환경화공과, ²공주대학교 신소재공학부

Effects of Alkoxy Side Chain on the Properties of Wholly Aromatic Liquid Crystalline Polyesters with Biphenylene Units

Eung-Jae Lee¹ and Moon-Soo Bang^{2*}

¹Dept. of Bioenvironmental & Chemical Engineering, Chosun College University of Science & Technology

²Division of Advanced Materials Science and Engineering, Kongju National University

요 약 유연한 알콕시 곁사슬을 갖는 전방향족 폴리에스터가 direct polycondensation에 의하여 합성되었으며, 합성된 중합체들은 ¹H-NMR, FT-IR, DSC, TGA, 편광현미경 및 X-ray 분석기에 의하여 조사되었다. 1,1,2,2-테트라클로로에탄 (TCE)을 용매로 사용하여 측정된 중합체의 고유점성도(η_{inh})는 0.46~2.41 dL/g의 값을 나타내었다. 곁사슬을 갖는 중합체들은 두 개의 용융전이 즉, 고체상-sanidic 액정상으로의 전이 (T_{m1})와 sanidic 액정상-nematic 액정상으로의 전이 (T_{m2})를 나타내었으며, 알콕시 곁사슬의 길이가 증가함에 따라 상전이온도들은 감소하고, 유기용매에 의한 용해도는 증가하는 경향을 나타내었다. X-ray 분석에서, $2\theta \approx 5$ 와 $2\theta \approx 20$ 피이크는 각각 중합체 주사슬과 긴 곁사슬의 결정화에 의한 것으로 나타났다.

Abstract Wholly aromatic polyesters having flexible alkoxy side chain were synthesized by direct polycondensation. The synthetic polymers have been characterized by ¹H-NMR, FT-IR, DSC, TGA, optical polarizing microscope and X-ray diffractometer. The inherent viscosities (η_{inh}) measured in 1,1,2,2-tetrachloroethane (TCE) were 0.46~2.41 dL/g. The polymers having side chain showed double melting transition, ie, solid-sanidic liquid crystalline (LC) phase transition (T_{m1}) and sanidic LC phase-nematic LC phase transition (T_{m2}). As increasing length of alkoxy side chain, phase transition temperatures decreased and solubilities in organic solvents increased. The peaks of $2\theta \approx 5$ and $2\theta \approx 20$ in X-ray diffractograms are due to crystallization of polymer main chain and of long side chain, respectively.

Key Words : Liquid crystal, Polyester, Wholly aromatic, Side chain, Biphenylene

1. 서론

주사슬 열방성 액정중합체는 액정상태에서의 가공에 의하여 고성능을 갖는 섬유나 플라스틱을 만들 수 있어 이들에 대한 연구가 지난 20여년 동안 활발히 진행되어 왔다.[1,2] 특히 이들 중 전방향족 구조를 갖는 액정폴리에스터는 간단한 구조를 가지면서 우수한 기계적물성을 기대할 수 있으나, 이들의 열전이온도가 너무 높아 응용되기

전에 분해가 일어나 가열에 의한 일반적인 용융가공이 불가능하기 때문에 고온 압축법이나 소결법과 같은 특수한 가공기술을 이용하여야 한다. 이 때문에 열방성액정중합체에 대한 지금까지의 연구들 중 많은 수의 연구가 중합체의 구조를 새롭게 설계하여 용융전이온도를 낮추거나 용해도를 증가하도록 하여 가공성을 개선하고자 하였다.[3,4] 액정중합체의 가공성을 개선하는 방법으로 중합체 사슬에 유연격자를 삽입[5,6]하거나, 벌키하거나 비대

*교신저자 : 방문수 (msbang@kongju.ac.kr)

접수일 10년 08월 05일

수정일 10년 10월 11일

게재확정일 10년 10월 15일

칭 치환기들을 갖도록 하거나[7,8], resorcinol, isophthalic acid, *m*-hydroxybenzoic acid와 같은 굵은 구조의 단위체를 사용하여 중합체사슬이 비선형구조를 갖도록 하거나 [9,10], 중합체 반복단위들의 규칙성을 낮추는 공중합방법[11] 등이 많이 연구되어 왔다.

이들 중 가장 많이 연구되어 온 방법으로 고분자 사슬에 메틸렌기와 같은 유연결자를 도입하는 방법은 고분자 사슬의 강직성을 감소시킴으로써 용융온도를 낮추거나 용해성은 향상시킬 수 있으나 동시에 열안정성이나 기계적성질은 저하된다. 따라서 주사슬의 방향족구조는 그대로 유지하면서 극성 또는 비극성의 별기한 치환기를 도입하거나, 사슬의 직선성을 낮추어 용융 또는 용해가 용이하도록 하여 가공특성을 개선하고자 하는 연구들이 보고되고 있다.[12~15]

Lee 등[16]은 주사슬 전방향족 폴리에스터의 양 측면에 유연한 지방족사슬이 도입된 중합체를 합성하여 이들의 물성을 조사한 결과 용융전이온도가 낮아지고 용해도가 증가되었음을 보고하였다. 이는 전방향족 폴리에스터 주사슬에 도입된 별기한 치환기가 고분자사슬의 세그먼트의 운동과 사슬간 패키징을 어렵게 하여, 분자간 또는 분자내 인력이 감소하게 되고, 결과적으로 낮은 결정화도에 이르게 되어 고분자재료 전체의 용해 또는 용융특성을 개선할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전방향족 고분자가 갖는 특성의 감소를 최소한으로 하면서 가공성을 개선하기 위한 방법의 일환으로, 주 사슬에 비페닐렌 구조를, 곁사슬로는 지방족 알콕시기를 갖는 열방성 액정고분자를 설계·합성하여 알콕시기의 길이에 따른 열적성질, 용해성, 액정성 등을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 기기

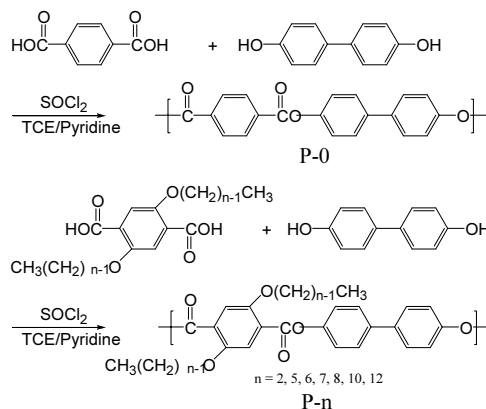
본 연구에서 사용된 시약인 4,4-biphenol, diethyl-2,5-dihydroxyterephthalate, 1-bromoalkane, 1,1,2,2-tetrachloroethane (TCE), pyridine은 Aldrich사 제품을 그대로 사용하였으며, thionyl chloride는 triphenylphosphite로 정제하여 사용하였다.

합성된 화합물과 중합체의 구조분석, 열분석 및 액정성을 조사하기 위하여 IR spectrometer (Perkin Elmer Spectrum 1000), ¹H-NMR spectrometer (JEOL JNM-AL 300), DSC (TA DSC Q20), TGA (PL STA 625), mp 측정기(Fisher Scientific Co.), optical polarizing microscope

(Leitz ortholux), hot stage (Linkam TP 92), XRD (Rigaku AX2500)를 이용하였다.

2.2 중합체의 합성

알콕시 곁사슬을 갖는 단량체인 2,5-alkoxy terephthalic acid의 합성은 Ballauff의 방법[7]에 따라 합성하였고, 중합체의 합성은 그림 1의 중합반응식과 같이 direct polycondensation에 의한 용액중합법[17]에 의하였으며, 피리딘과 SOCl₂를 촉매로 사용하였다.



[그림 1] 중합체의 합성경로

중합체들의 표기는, 알콕시 곁사슬이 없는 중합체를 P-0, 곁사슬이 있는 중합체들은 곁사슬의 탄소수를 n으로 하여 P-n과 같이 하였다. 중합체들 중 P-6인 경우를 예를 들어 정리하면 다음과 같다. 100 ml 플라스크에 SOCl₂ 1.95 g (1.6x10⁻² mole)을 넣고 0 °C 얼음중탕을 이용하여 반응물을 5 °C 이하로 유지하며 피리딘 13.2 ml (1.6x10⁻² mole)를 천천히 가하고 20분간 반응시킨다. 단위체인 2,5-hexoxyterephthalic acid 5.00 g (1.36x10⁻² mole)을 TCE/피리딘 (= 20 ml / 5 ml)에 용해한 후 플라스크에 천천히 떨어뜨리고 30분동안 반응시켰다. 얼음중탕을 제거하고, 실온에서 반응물을 강하게 교반시키며 TCE/피리딘 (= 20 ml / 5 ml)에 용해된 4,4'-biphenol 2.54 g (1.6x10⁻² mole)을 적하하고, 이 반응물을 80 °C의 기름중탕으로 옮겨 5시간동안 반응시킨 후 메탄올에 떨어뜨려 침전을 얻었다. 생성된 poly(4,4'-biphenyl-2,5-dihexoxy benzoate)는 메탄올과 증류수로 수회 세척한 후 아세톤으로 24시간동안 속슬릿으로 세척하고 40 °C의 진공오븐에서 건조하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 중합체의 합성

중합체의 합성은 TCE/피리딘 혼합용매 중에서 합성되었으며 단위체가 모두 첨가된 초기에는 균일한 용액상태였으나 반응 후 3시간이 지나면서 반응물의 점성이 커지기 시작하여 5시간이 지나자 젤화와 동시에 자석교반용이 정지되었다. 이때 생성된 중합체는 불용불용의 상태를 나타내었는데 이는 중합체의 분자량이 급격히 증가하여 물리적가교가 일어나는 것으로 생각된다. 이러한 현상은 수차례의 반응에서 재현성을 나타내었다. 따라서 중합체를 얻기 위해서는 교반이 멈추기 직전에 비용매인 메탄올에 떨어뜨려 침전을 얻는다.

생성된 중합체의 IR 스펙트럼의 결과, 단량체의 3400 cm^{-1} 의 OH 신축진동 피이크가 사라지고 카르복실산의 C=O 피이크가 1690 cm^{-1} 에서 에스테르의 C=O 피이크인 1720 cm^{-1} 로 이동된 것으로서 중합체의 생성을 확인하였다.

$^1\text{H-NMR}(\text{CDCl}_3)$ 스펙트럼의 경우 δ 7.8($\text{CO-C}_6\text{H}_2$), 7.3~7.6($\text{O-C}_6\text{H}_4$), 4.5($-\text{OCH}_2-$), 2.2($-\text{OCH}_2-\text{CH}_2-$), 1.4~1.8($-\text{CH}_2-$), 0.98($-\text{CH}_3$)에서 보이는 각각의 피이크의 면적비를 중합체 구조와 비교했을 때 정량적으로 일치함으로써 중합체가 합성되었음을 확인하였다.

합성된 중합체들의 수율은 78.2~89.1% 범위를 나타내었다.(표 1) 특히 P-0 중합체를 제외한 모든 중합체들은 반응이 진행되는 동안 반응용매 내에 균일한 용액상태가 유지되어 비교적 높은 분자량의 중합체가 생성될 수 있었음을 다음의 점도측정을 통하여 확인할 수 있었다.

3.2 점도측정 및 용해도조사

생성된 중합체의 고유점성도 값(η_{inh})은 TCE를 용매로 하여 30 $^{\circ}\text{C}$ 항온조에서 Ubbelohde 모세관점도계로 측정되었으며 표 1에 그 결과를 나타내었다. 중합체 P-0의 경우 적당한 용매를 찾지 못하여 측정되지 못하였다. 용액점성도가 측정된 중합체 중 P-2와 P-10은 0.51과 0.46 dL/g 으로서 낮은 점성도를 나타내었으나, 그 외의 중합체들은 2.09에서 2.41 dL/g 사이의 값으로 측정됨으로써 비교적 높은 분자량의 중합체들이 합성되었음을 보여 주고 있다.

표 2는 중합체들의 용해도를 조사한 결과로서, 겔사슬이 없는 중합체인 P-0는 본 실험에서 사용된 모든 유기용매 내에서 용해되지 않았고, 황산 내에서만 용해됨을 확인할 수 있었다. 일반적으로 막대형의 전방향족 폴리에스터는 유기용매에 잘 녹지 않고 황산과 같은 강산에만 용해되는 것으로 알려져 있다.[16] 그러나 알콕시 겔사슬이 있는 중합체들은 겔사슬의 길이가 길어질수록 용해성이 좋아짐을 알 수 있다. 이는 서론에서 언급하였듯이 벌키한 겔사슬이 분자간 결합력을 약화시킨 결과임을 알 수 있다.

[표 1] 중합체의 수율과 용액점성도

Polymers (P-n)	yield (%)	η_{inh}^a
P-0	86.3	-
P-2	78.2	0.51
P-5	84.0	2.09
P-6	89.1	2.41
P-7	86.1	2.27
P-8	88.3	2.40
P-10	82.6	0.46
P-12	84.8	2.20

^a Inherent viscosities were measured at a concentration of 0.5 g/dl in TCE at 30 $^{\circ}\text{C}$.

[표 2] 중합체의 용해도*

Polymers (n)	CCl_4	Toluene	CHCl_3	TCE	DMF	H_2SO_4
P-0	×	×	×	×	×	○
P-2	×	△	△	○	×	○
P-5	×	△	○	○	×	○
P-6	×	○	○	○	△	○
P-7	×	○	○	○	△	○
P-8	×	○	○	○	○	○
P-10	△	○	○	○	○	○
P-12	○	○	○	○	○	○

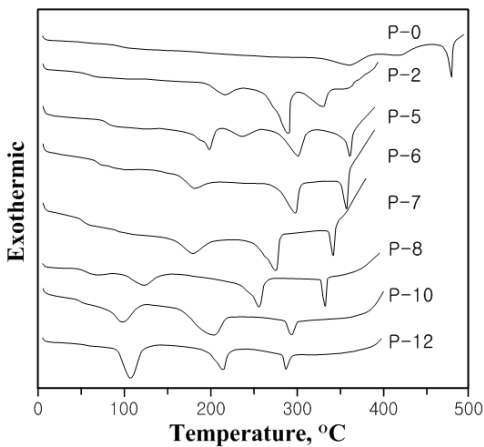
* ○ : Soluble on heating
 △ : Partially soluble on heating
 × : Insoluble

3.3 열적성질

그림 2는 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 측정된 DSC 열곡선이며, 그림 3과 표 3은 DSC 열분석 결과들을 정리한 것이다.

겔사슬이 없는 중합체인 P-0는 사슬의 간단한 구조로 인하여 유리전이온도 (T_g) 이외의 상전이온도는 확인되지 않았다. 겔사슬이 있는 중합체들의 경우, T_g 와 3개의 상전이 피이크를 보여 주고 있다. T_g 이외의 3개의 피이크를 살펴보면, 가장 낮은 온도의 피이크는 고체상으로부터 sanidic 액정상으로의 전이 (T_{m1})에 의한 것이며, 중간온도의 피이크는 sanidic 액정상으로부터 nematic 액정상으로의 전이 (T_{m2})를, 가장 높은 온도에서의 피이크는 nematic 액정상으로부터 등방성화로의 전이온도 (T_i)를 나타내고 있다. 이와 같은 상전이에 대한 연구는 Kricheldorf 등[18]

에 의해서도 수행되었으며, 본 연구의 중합체 P-8, P-12와 동일한 구조의 중합체들에 대한 그들의 층 구조에 대한 보고에 의하면, 중합체들은 comb-like 구조에 의하여 sanidic 액정상과 nematic 액정상을 나타내고 있음을 보고하였다. 그리고 T_g 를 제외한 전이온도들은 중합체의 결사슬의 길이가 길어질수록 낮아지는 현상을 보여 주고 있다. 이는 전방향족 주사슬에 결합되어 있는 지방족 결사슬의 존재가 주사슬의 패키징을 방해하는 역할을 함으로써 중합체들은 더 낮은 열전이온도를 갖게 된다. 이는 사슬의 길이가 길어질수록 벌키한 정도가 더 크게 되고 주사슬 간의 거리가 더 멀어 지게 되는 것에 기인한다.

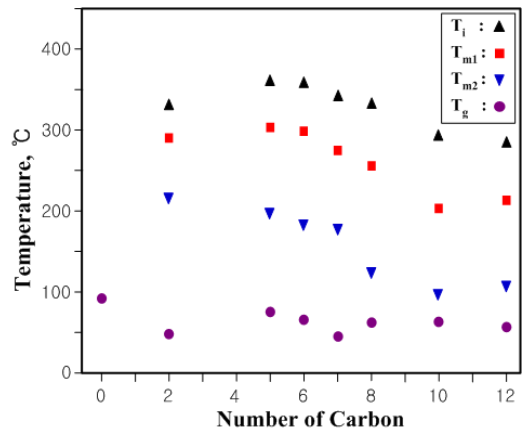


[그림 2] 중합체의 DSC 열곡선 (10°C/min).

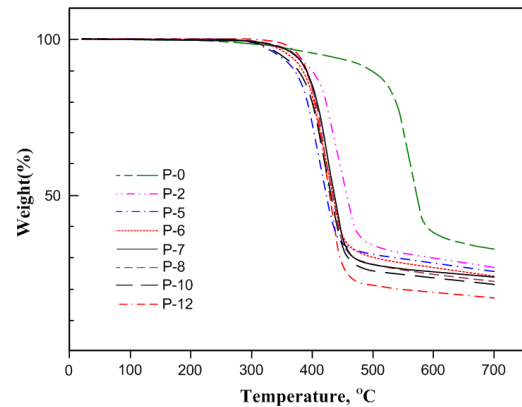
또한, 중합체들 중 낮은 분자량을 갖을 것으로 예상되는 중합체 P-2, P-10의 열전이온도들을 다른 중합체들의 것과 비교해 볼 때 중합체들의 열전이 거동은 분자량에 의존적임을 알 수 있다.

[표 3] 중합체의 열적성질

Polymers (n)	T_g (°C)	T_{m1} (°C)	T_{m2} (°C)	T_i (°C)
P-0	91.7	-	-	-
P-2	48.4	215.3	290.0	330.0
P-5	76.3	197.0	303.9	360.6
P-6	66.5	181.0	298.6	358.0
P-7	45.0	177.8	275.0	341.8
P-8	50.9	123.4	256.8	332.1
P-10	68.4	96.6	201.8	293.1
P-12	57.9	107.6	212.2	283.0



[그림 3] 중합체 결사슬의 길이에 따른 전이온도.



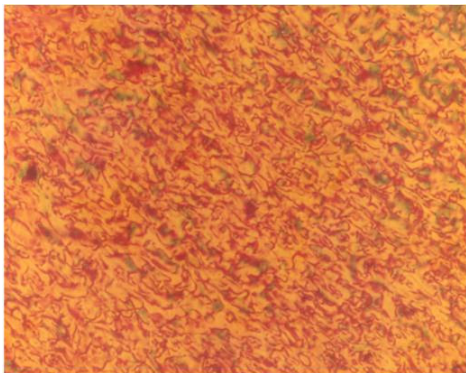
[그림 4] 중합체의 TGA 열곡선 (10°C/min).

그림 4는 합성된 중합체들의 열분해안정성의 관찰을 위한 TGA 실험 결과로서 각 중합체들의 5wt% 무게감량을 보이는 초기분해온도는 결사슬이 없는 중합체 P-0는 418°C, 결사슬이 있는 중합체들은 346~379°C로서 결사슬의 존재가 중합체의 열안정성을 떨어뜨리는 것을 확인할 수 있으며, 이는 Han 등[8]의 실험자료와 유사한 결과를 보여주고 있다. 또한 700°C에서의 잔류량은 29.3~9.5% 범위로서 분자 중 방향족 함량이 클수록 더 많은 잔류량을 나타내었다.

3.4 액정상의 관찰

중합체들의 액정성의 확인은 DSC 열곡선을 참고로 하여 용융온도(melting point, mp) 측정기와 편광현미경을 이용하였다. mp 측정기에 의한 관찰에서 합성된 중합체들 중 결사슬을 갖는 중합체들은 가열에 의해 온도가

상승함에 따라 고체상에서 점성이 큰 sanidic 액정상을 거쳐 유동성을 갖는 nematic 액정상을 지나 등방화 또는 분해되는 됨을 관찰하였다. 중합체들은 sanidic 액정상의 온도범위에서는 높은 용융점성으로 인하여 stiropalescence는 관찰하지 못하였다. 그러나 nematic 액정상 온도범위에서는 온도가 상승할수록 활발한 유동성과 강렬한 stiropalescence를 보여 주었다. 편광현미경 관찰 결과, sanidic 액정상 온도범위에서 복굴절현상을 관찰할 수 있었으며, nematic 액정상 온도범위에서는 매우 활발한 흐름현상을 관찰할 수 있었다.

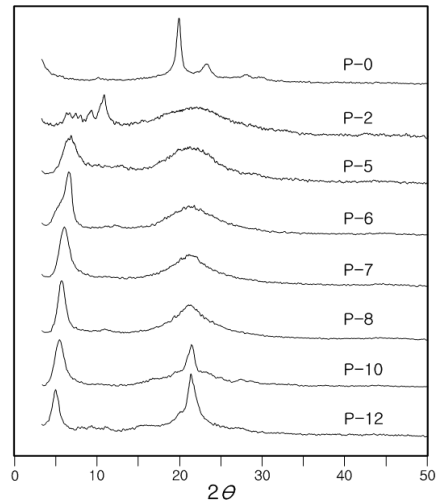


[그림 5] 중합체(P-8)의 편광현미경사진 (배율200x).

그림 5는 280 °C에서 촬영된 중합체 P-8의 편광현미경 사진으로서 P-0 중합체를 제외한 모든 중합체들에서 유사한 thread-like schlieren texture의 nematic 액정상을 보여 주었다.

3.5 X-선 분석

그림 6은 중합체의 x-선 회절곡선으로서 결사슬의 존재 여부 및 길이에 따라 회절곡선의 패턴이 달라짐을 볼 수 있다. 결사슬이 없는 중합체, P-0는 $2\theta=19.7^\circ$ 에서 예리한 피이크를 보여 주고 있으며, 이는 중합체 주사슬간 패킹에 의한 얻어진 결정격자 사이의 간격을 나타내고 있으며 Bragg 법칙에 의해 계산된 사슬사이의 거리는 4.5 Å을 나타내었다. 그리고 결사슬을 갖는 중합체들 중 P-2를 제외한 나머지 중합체들의 저각도 ($2\theta=4.8\sim 6.9^\circ$)에서 관찰되어진 피이크는 주사슬들 간의 패킹으로 인한 결정격자 사이의 거리를 나타내고 있으며, 결사슬의 길이가 길어질수록 계산된 주사슬의 간격은 약 12.8~18.4Å으로 멀어 짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Han 등[8] 및 Lee 등[16]의 보고와 일치하는 내용으로, 중합체 주사슬이 층구조로 결정화되어 있음을 추측할 수 있다.



[그림 6] 중합체의 X-선 회절곡선.

또한 $2\theta=20^\circ$ 부근에서의 피이크는 알킬 결사슬들간의 패킹으로 인한 결정화로 생각되며, 중합체 P-2,5,6,7,8은 짧은 결사슬로 인하여 결정을 이루지 못하여 halo 타입의 회절곡선을 나타내었고, 결사슬의 길이가 긴 중합체 P-10과 12는 긴 결사슬기들의 결정화에 의한 결정구조로 인하여 $2\theta=21.2^\circ$ 에서 날카로운 회절곡선을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서 합성된 중합체의 물성을 조사한 결론은 다음과 같다. 결사슬을 갖는 중합체들은 모두 sanidic 액정상과 nematic 액정상을 나타내는 액정중합체였으며, 고유점성도는 P-2와 P-10을 제외하고, 모두 2 dL/g이상의 고분자량의 중합체가 합성되었다. 알콕시 결사슬의 길이가 길어질수록 유기용매에 대한 용해도는 향상되었으며, 용융전이온도들은 낮아지는 경향을 나타내었다. 따라서 전방향족 중합체에 알킬 결사슬을 도입함으로써 용해 및 용융특성을 개선시킬 수 있음을 보여 주었다. 그러나 알킬 결사슬기의 존재가 전방향족 중합체의 열안정성을 낮추는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] H.Han and P.K.Bhowmik, "Wholly aromatic liquid-crystalline polyesters", *Prog. Polym. Sci.*, 22, 1431-1502, 1997.

- [2] Y.-W.Kwon, D.H.Choi, and J.-I.Jin, "Liquid Crystalline Aromatic Polyesters" *polymer(Korea)*, 29, 523-535, 2005.
- [3] D.Y.Kim, "Main Chain Liquid Crystalline Polymers" *Polymer Science and Technology*, 2, 415-423, 1991.
- [4] W.Grasser, H.-W.Schmidt, and R.Giesa, "Thermotropic liquid crystalline copolyesters with non-coplanar biphenylene units tailored-for blend fiber processing with PET", *Polymer*, 42, 8529-8540, 2001.
- [5] M.M.Marugan, E.Perez, R.Benavente, A.Bello, and J.M.Perena, "Solubility parameters of thermotropic polybiphenyls with various spacers", *Eur. Polym. J.*, 28, 1159-1163, 1992.
- [6] J.Watanabe, M.Hayashi, A.Morita, and M.Tokito, "Thermotropic liquid crystals of main-chain polyesters having a mesogenic 4,4'-biphenyldicarboxylate unit", *Macromolecules*, 28, 8073-8079, 1995.
- [7] M.Ballauff, "Rigid rod polymers having flexible side chains,1", *Makromol. Chem., Rapid Commun.*, 7, 407-414, 1986.
- [8] 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.
- [9] L.L.Lin and J.L.Hong, "Semi-rigid thermotropic polyester containing a rigid, bent spirobicyclic moiety-primary characterization and the thermal behavior", *Polymer*, 41, 4501-4512, 2000.
- [10] M.Bagheri, Kh.Didehban, Z.Rezvani, and A.Entezami, "Thermotropic polyesters: Part 1. Synthesis, characterization and thermal transition of poly [4,4'-bis (ω -alkoxy) biphenyl isophthalate]", *Eur. Polym. J.* 40, 865-871, 2004.
- [11] M.Bagheri, Kh.Didehban, and A.Entezami, "Thermotropic Polyesters (Part 3): Synthesis, Characterization and Thermal Transition of Random Copolyesters Containing Terephthalate and Isophthalate Units", *Iran. Polym. J.*, 13, 327-334, 2004.
- [12] 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.
- [13] P.Jannelli, 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.
- [14] M.S.Bang, "Synthesis and Properties of Aromatic Poly(ether-ether-ester)s having Flexible Side Chain" *J. the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 10, 3060-3065, 2009.
- [15] M.S.Bang, "Synthesis and Properties of Liquid Crystalline Copolymers with Ether-ether-ester Linkage in Main Chain" *J. the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 11, 1367-1372, 2010.
- [16] K.S.Lee, B.W.Lee, J.C.Jung, and S.M.Lee, "Synthesis and Properties of Processible Wholly Aromatic Polyesters : New Types of Liquid Crystalline Polymers" *Polymer(Korea)*, 13, 47-55, 1989.
- [17] F.Higashi, T.Mashimo, and I.Takahashi, "Preparation of aromatic polyesters by direct polycondensation with thionyl chloride in pyridine" *J. Polym. Sci., Polym. Chem.*, 24, 97-102, 1986.
- [18] H.R.Kricheldorf, and D.F.Wulff, "Layer structure 12. Chiral sanidic polyesters derived from 2,5-bis(hexadecyloxy) terephthalic acid, 2,5-bis(S)-2-methylbutoxy terephthalic acid, and 4,4'-dihydroxybiphenyls" *Polymer*, 39, 2683-2692, 1998.

이 응 재(Eung-Jae Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 조선대학교 고분자공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 조선대학교첨단부품소재공학과 (박사수료)
- 2009년 4월 ~ 현재 : 조선이공대학 생명환경화공과 전임강사

<관심분야>
고분자합성, 고분자블렌드

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