

액정 고분자/에틸렌-아크릴산 이오노머 블렌드의 반응상용화에 관한 연구

하이디 크루즈¹, 손영곤^{1*}
¹공주대학교 신소재공학부

Reactive compatibilization of liquid crystalline polymer/ethylene-acrylic acid ionomer blends

Heidy Cruz¹ and Younggon Son^{1*}

¹Division of Advanced Materials Science & Engineering, Kongju National University

요약 방향족 열방성 액정 고분자와 에틸렌-아크릴산 공중합체 및 그 금속염 고분자간의 반응 상용화에 관하여 연구하였다. 블렌드는 배치 믹서에서 제조하였으며 액정 고분자의 에스터 그룹과 이오노머의 아크릴산 사이에 발생하는 acidolysis 반응으로 형성되는 그라프트 공중합체의 발생 유무를 평가하였다. 반응의 정도는 배치 믹서에서 시간에 따른 토크의 증가와 열분석 및 형태학 상 구조를 통해 평가하였다. poly(ethylene-co-acrylic acid) (EAA) 이오노머의 Na 염이 반응을 증진시키는데 특히 효과적임을 알 수 있었다. 반응의 진행 정도는 금속염의 종류 뿐 아니라 이오노머의 조성과 반응 시간에 따라 변화하였다. 액정 고분자와 Na로 중화된 이오노머 간의 반응으로 생성된 그라프트 공중합체는 액정 고분자와 EAA 이오노머 블렌드의 반응상용화제로 효과가 높음을 미세 구조 분석을 통하여 알 수 있었다.

Abstract This paper describes the reactive compatibilization of blends of a wholly aromatic thermotropic copolyester liquid crystalline polymer (TLCP) with random copolymers of ethylene and acrylic acid (EAA) and their salts. Blends were prepared by melt mixing in an intensive batch mixer, and the formation of a graft copolymer due to acidolysis between the TLCP and the acrylic acid group of the ionomer was evaluated. Chemical reaction was assessed by torque measurement during melt mixing and by thermal analysis and morphological observation. The Na-salt of the EAA ionomers was especially effective at promoting a grafting reaction. The extent of reaction depended not only on the cation, but also composition of the ionomer and reaction time. The product of the grafting reaction between the TLCP and a sodium-neutralized ionomer proved to be an effective compatibilizer for TLCP and EAA ionomers.

Key Words : thermotropic liquid crystalline polymer, ionomer, grafting reaction, compatibilizer

1. 서론

열방성 액정고분자 (thermotropic liquid crystalline polymer, TLCP)를 포함하는 고분자 블렌드는 가공 시 액정 고분자 상 (phase)의 제자리 강화 (*in-situ* reinforcement) 효과 때문에 많은 관심을 받아오고 있다 [1]. 전통적으로 사용되고 있는 섬유/고분자 복합재료는 강화제의 특성으로 인해 복합재료의 높은 점도, 경도가

높은 섬유에 의한 가공 기계의 수명 단축 등 여러 문제점 때문에 액정고분자를 이용한 고분자 복합재료가 많은 관심을 받고 있다[1]. 그러나 상용화제가 포함되지 않는 블렌드의 기계적 물성은 두 상 사이의 낮은 계면 접착력으로 인해 매우 낮은 것이 일반적이다. 비상용 고분자 블렌드의 낮은 계면 접착력은 두 고분자 모두에게 친화력을 가지는 제 3의 성분을 첨가하거나 두 상 사이의 화학 반응을 유도하여 그라프트 공중합체 (graft copolymer)를

*Corresponding Author : Younggon Son(Kongju Univ.)

Tel: +82-17-224-6135 email: sonyg@kongju.ac.kr

Received March 23, 2015

Revised May 6, 2015

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

생성시킴으로서 현저히 개선될 수 있다. 이렇게 두 상 사이의 계면 접촉력을 높이는 물질을 상용화제라 하고 후자와 같이 가공 중에 직접 반응으로 제조하는 상용화제를 반응 상용화제라 칭한다. 우수한 물성을 가지는 고분자 블렌드를 제조하기 위해서는 적절한 상용화제를 사용하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

TLCP에 사용되는 물리적 상용화제의 한 예는 약하게 술폰화된 폴리스티렌(lightly sulfonate polystyrene)의 수소이온(proton)을 아연(zinc)으로 치환하여 제조한 이오노머(ionomer)이다. 이 고분자는 상품명 Vectra A로 알려진 poly(hydroxybenzoate-co-hydroxynaphthionate)와 나일론 66 (PA66) 또는 폴리카보네이트(PC)에 우수한 상용화 효과를 내는 것으로 보고되어 있다 [2]. 비 반응 블록 (non-reactive block) 또는 그라프트 공중합체도 TLCP와 여러 고분자의 상용화제로서 많이 연구되었다 [3-5]. TLCP를 포함하는 고분자 블렌드의 상용성을 높이기 위하여 여러 반응상용화제 등이 연구되었다. 폴리에스터나 PC에 TLCP를 혼합하여 블렌드를 제조하는 경우 에스터 교환반응 (transesterification reaction)에 의하여 TLCP와 폴리에스터 또는 PC로 이루어진 공중합체가 in-situ로 형성되고 이 공중합체가 상용화 효과를 증진시키는 것으로 보고되고 있다 [6, 7]. 무수 말레인산이 포함된 폴리프로필렌 (maleated polypropylene)은 TLCP와 폴리에틸렌 또는 TLCP와 나일론의 블렌드에 반응 상용화제로서의 역할이 많이 연구되었다 [7, 8]. 말레인산 이 외에도 에폭시 [9-12] 및 thiol [13] 과 같은 반응기를 포함한 PP의 상용화 역할에 대한 연구도 진행되었다. 국내에서도 액정고분자에 관련된 연구는 다수가 있었다. 새로운 액정 고분자의 합성과 합성된 액정고분자의 특성에 관한 연구 [14-16], 액정고분자의 결정화 거동에 관한 연구 [17] 및 유변학적 특성 연구가 있어왔다 [18]. 또한 PP/액정 고분자의 블렌드에 관련된 연구도 있었는데 이때 사용된 고분자는 PP와 용융점이 비슷한 HNA/HBA/HQ계 열방성 고분자였다 [19].

이 연구에서는 TLCP와 EAA 및 EAA 이오노머 간의 in-situ 반응에 의한 반응상용화제의 형성과 TLCP/EAA 이오노머 블렌드에서 상용화 효과에 관하여 연구하였다.

2. 실험

2.1 재료

실험에 사용된 고분자는 열방성 액정 고분자 (thermotropic liquid crystalline polymer)로 하이드록시벤조익 산 (hydroxybenzoic acid, HBA) 73 mol %와 하이드록시나프타노익 산 (hydroxynaphthoic acid, HNA) 27 mol %로 이루어진 폴리에스터이다. 유리전이 온도는 100 °C 이고 네마틱 상으로의 전이 온도는 277 °C 이다. 재료는 Ticona사에서 입수하였고 상품명은 Vectra 950A 이다. poly(ethylene-co-acrylic acid) 공중합체 (EAA)와 EAA 이오노머들은 조성과 중화도 (neutralized level) 가 다른 여러 종류를 사용하였는데 Table 1에 정리하였다. 사용된 EAA와 이오노머의 명명법은 EAAxMy로 하였다. 여기서 x는 아크릴산의 무게 백분율이고, M은 아크릴산에서 수소 대신 치환된 금속 염의 종류를 y는 중화 정도를 나타낸다.

Table 1. Charateristic of the polymer used in this study.

Designation	Trade name	Wt.% acylic acid	Cation	% Neutralized
Liquid Crystalline Polymers				
Vectra A	Vectra			
Poly(ethylene-r-acrylic acid)				
EAA20	Primacor 5981	20	acid	
EAA15	Escor5200	15	acid	
Ionomers				
EAA15Zn35	Iotek7010	15	Zn	35
EAA15Na45	Iotek8000	15	Na	45

2.2 TLCP/ionomer 블렌드의 제조

이오노머와 TLCP 블렌드는 배치 믹서 (Brabender Plasti-Corder EPL-5501 batch mixer)에서 용융 혼련하여 제조하였다. 작업 온도는 300 °C였고 로터 회전속도는 30-50 rpm이었다. 혼련 작업 전에 TLCP는 100 °C, EAA와 이오노머는 50-60 °C로 유지되는 진공 오븐에서 24 시간 이상 건조하였다. 산화를 방지하게 위해서 용융 교반 시에 혼련기 전체에 질소를 흘려 고분자 용융체가 산소와 접촉하는 것을 차단하였다. EAA나 이오노머를 먼저 투입하여 6-8분 정도 용융시킨 후 TLCP를 투입, 혼련하여 제조하였다. 많은 양의 상용화제를 제조하기 위하여 TLCP/Iotek800 50/50 혼합물을 동회전 이축압출기 (Bautek-11)에서 혼련하였다.

2.3 특성 분석

제조된 블렌드들의 전이 온도를 시차주사열량계 (DSC, Perkin-Elmer 사 모델 DSC-7)를 이용하여 측정하였다. 동적 점탄성 분석 (dynamic mechanical analysis, DMA)은 굽힘 모드 (bending mode)로 분당 2 °C의 승온 속도와 1 Hz의 주파수로 Polymer laboratories사 모델 MKII DMA 분석기에서 실시하였다. 전이 온도는 tan d 가 최대가 되는 위치로 정하였다. 블렌드의 형태학적 상 구조를 관찰하기 위하여 액체 질소에서 파단시켜 파단면의 미세 구조를 주사전자현미경 (scanning electron microscope, SEM)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 토론

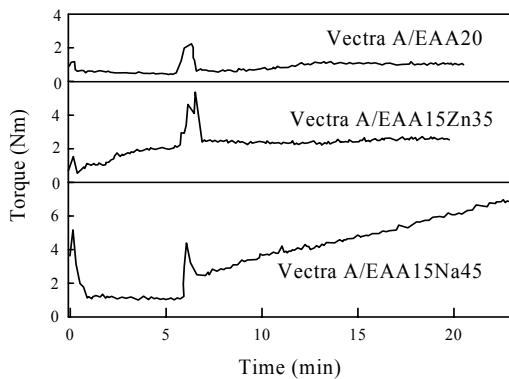


Fig. 1. Torque vs. time for blends of (50/50) Vectra A/EAA20, (50/50) Vectra A/EAA15Zn35 and (50/50) Vectra A/EAA15Na45 during mixing in a batch mixer at 300 oC and 30 rpm.

Fig. 1에 TLCP/EAA20, TLCP/EAA15Zn35 및 TLCP/EAA15Na45를 배치 믹서 (batch mixer)에서 혼련할 때 시간에 따른 토크의 변화를 나타냈다. 초기 6분까지는 EAA나 이오노머만을 투입하여 나타난 토크이고 6분에 토크가 급격히 증가했다가 감소하는 피크 형태는 TLCP를 투입함에 따라 나타난 결과이다. 그 이후의 결과가 TLCP와 EAA 또는 이오노머의 혼합물의 토크 결과이다. 토크 값은 재료의 점도와 직접적으로 비례한다. 따라서 혼련 과정에서 토크가 증가하는 것은 고분자간의 그래프트 반응이나 가교 반응 (crosslinking reaction)을 나타낸다 [20]. 분해반응 (degradation reaction)이 일어난다면 점도와 토크가 시간에 따라 감소하므로 분해 반

응은 아닌 것으로 판단된다. TLCP/EAA20와 TLCP/EAA15Zn35는 토크가 낮고 마지막 단계에서 일정해지는 평형상태 (steady state)를 보인다. 이것은 반응이 아주 미약함을 나타낸다. 반면 TLCP/EAA15Na45는 토크 값이 크고 꾸준히 증가하는 결과를 보인다.

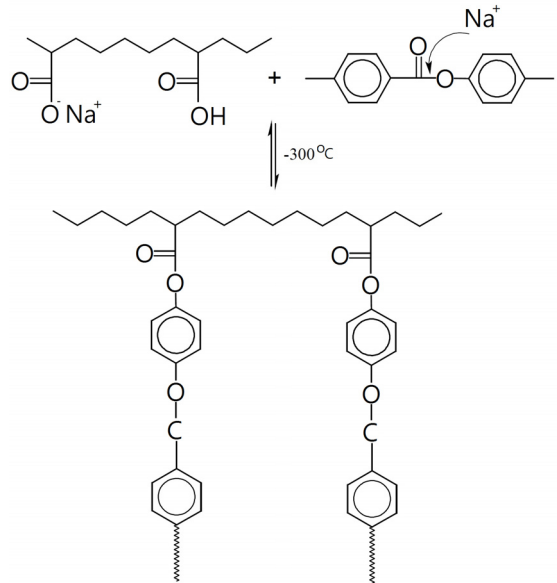


Fig. 2. Acidolysis reaction between Na-EAA ionomer and TLCP.

이 결과는 아크릴산이나 Zn 이온에 비하여 Na 이온이 두 고분자 간의 반응을 촉진시키는 촉매 역할을 잘 수행한다는 것을 의미한다. 토크의 꾸준한 상승은 EAA15Na45에 있는 -COOH 나 COONa⁺ 와 TLCP에 있는 에스터 연결 (ester linkage) 간의 acidolysis 반응에 의하여 그래프트 공중합체가 형성되기 때문이다 (Fig. 2 참조). EAA15Na45의 에도 중화도 (neutralization level)가 다른 몇 가지 이오노머 (EAA15Na30 및 EAA15Na55)를 이용하여 실험한 결과 토크의 증가 속도 및 토크 값은 중화도가 증가할수록 높아지는 것으로 관찰되었다. 이 결과는 Na⁺ 이온이 acidolysis 반응에 촉매로 작용한다는 것을 의미하고 반응의 정도는 수소이온 대신 치환되는 금속 이온 뿐 아니라 중화도에 의해서도 조절될 수 있음을 의미한다. Na⁺ 이온이 그래프트 반응에 정확히 어떤 역할을 하는 지는 아직까지 명확하지는 않지만 PET의 에스터 연결 부분을 알칼리 금속 이온이 공격하여 연결을 끊는다는 것은 보고된 사실이다[1].

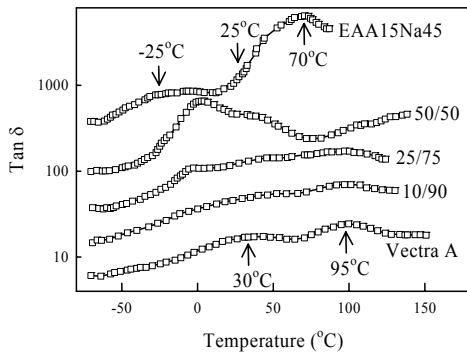


Fig. 3. Tan δ vs. temperature ($f=1$ Hz) for EAA15Na45/Vectra A blends.

VectraA/EAA15Zn35 블렌드와 VectraA/EAA20 블렌드의 DMA 결과에 의하면 기본적으로 상 분리된 구조임을 알 수 있었다. 이오노머나 EAA 및 TLCP의 전이온도들은 블렌드에서도 전혀 변화가 없었으며, 두 성분 사이에 어떤 그래프트 반응도 없었음을 확인하였다. 반면 VectraA/EAA15Na45의 경우는 각 성분의 전이 온도와 블렌드에서의 전이온도는 차이를 보였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 EAA15Na45는 결정상의 용융에 의한 70 °C의 피크와 약 25 °C에서의 전이를 보여주는데 이는 결정상의 미리 용융 완화 (pre-melting relaxation)로 생각된다. -25 °C의 약한 피크는 분기점 (branch point)을 포함하는 몇몇 분절의 b-relaxation으로 추정된다. 이는 LDPE에서 관찰되는 것과 유사하다. Vectra A는 95 °C에서의 Tg와 30 °C부근에서의 b-relaxation을 보여준다. 순수한 고분자와 비교하였을 때 두 고분자를 용융 혼합한 블렌드에서는 완화 온도들이 변한 것을 볼 수 있다. 50/50 블렌드에서는 tan δ 피크가 약 0 °C에서 관찰되고 40 °C에서 미약한 피크도 관찰된다. 이오노머의 함량이 감소함에 따라 피크의 세기는 감소하지만 여전히 0 °C 피크는 관찰된다. 이로부터 0 °C 피크는 이오노머의 b-relaxation 임을 알 수 있다. EAA15NA45에서 약 -25 °C에서 나타난 b-relaxation이 블렌드에서 피크가 강해진 것은 그래프트 반응에 의해 분기점 (branch point)의 농도가 증가했기 때문이다. 또한 피크 온도가 증가한 것은 TLCP의 강직한 사슬이 그래프트 반응에 의하여 이오노머에 결합됨으로서 사슬 분절 운동이 제한되기 때문이다. 40 °C의 미약한 피크는 이오노머의 용융점이 TLCP에 의하여 낮아진 결과로 추정된다.

Fig. 4에 (50/50)Vectra A/EAA15Na45 블렌드의 혼

련 시간에 따른 Tan δ 를 나타냈다. 블렌드의 경우, 두 개의 피크를 보여주는데 낮은 온도에서 나타나는 피크는 혼련시간에 따라 피크 온도와 세기 (intensity)가 증가하는 반면 높은 온도에서 나타나는 피크는 피크 온도와 세기가 감소한 것을 볼 수 있는데 이 또한 두 성분 사이에 그래프트 반응이 일어났음을 보여주는 결과이다. Fig. 4에 나타난 것과 동일한 블렌드에 대하여 DSC 분석 실험을 수행하였다. 승온 (heating) 실험 결과를 Table 2에 정리하였다. 혼련시간이 증가함에 따라 이오노머의 용융온도는 75 °C에서 60 °C로 감소하였고 TLCP의 용융온도는 268 °C에서 260 °C로 감소하였다. TLCP의 용융 엔탈피도 혼련시간에 따라 감소하였는데 이는 TLCP와 이오노머간의 그래프트 반응이 증가함에 따라 TLCP가 결정화 할 수 있는 가능성이 낮아지기 때문이다.

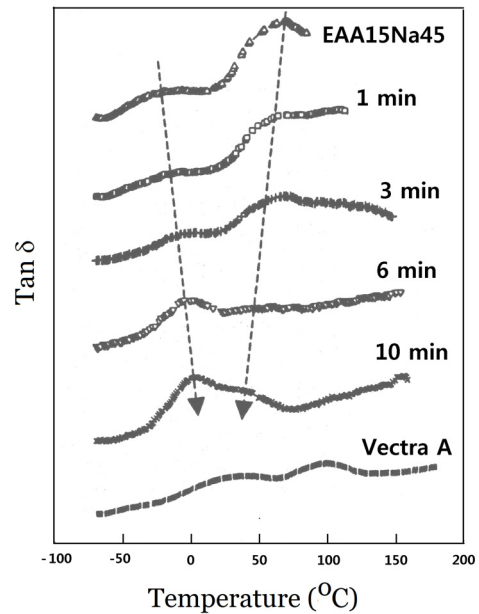


Fig. 4. Tan δ vs. temperature at $f = 1$ Hz as a function of mixing time at 300 oC and 30 rpm for (50/50)Vectra A/EAA15Na45 blends.

Table 2. DSC heating results for (50/50) Vectra A/EAA15Na45 blends.

Mixing time (min)	Tm (oC)		DHm (J/g)	
	ionomer	TLCP	ionomer	TLCP
1	75	268	16.9	2.37
3	67	264	17.0	1.21
6	62	261	16.3	0.92
10	60	260	16.5	0.73

Fig. 5에 냉각 DSC 곡선을 나타냈다. 이오노머의 결정화 피크 온도 (T_c)는 거의 변하지 않는 반면 TLCP의 결정화 피크 온도와 용융 엔탈피는 혼련시간이 증가함에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 혼련시간이 증가함에 따라 그래프트 공중합체의 양이 늘어남에도 불구하고 이오노머의 T_c 가 감소하지 않는 것은 특이한 결과임에는 틀림없다. 아마도 그래프트된 사슬이 TLCP로 이루어져있고 주사슬 (main chain)이 이오노머이기 때문에 이오노머는 그래프트 공중합체가 늘어나도 T_c 가 변하지 않는 것으로 추측된다. 따라서 TLCP의 T_c 가 그래프트 반응의 진행 정도를 나타내는 척도로 사용될 수 있다.

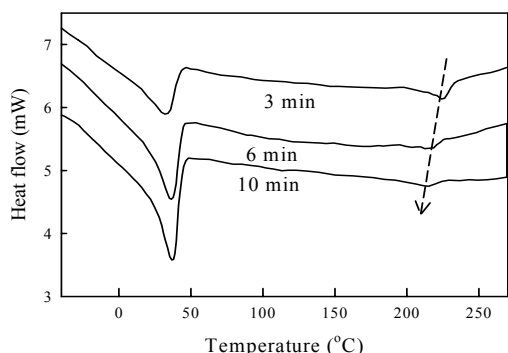


Fig. 5. DSC cooling thermograms (-20 oC/min) for (50/50)Vectra A/EAA15Na45 blends for different mixing times at 300 oC.

Fig. 6에 Vectra A/EAA, Vectra A/EAA15Zn35 및 Vectra A/EAA15Na45 블렌드의 SEM 사진을 나타냈다. 세 가지 블렌드 모두 상 분리된 구조를 나타내는 것을 볼 수 있다. Vectra A/EAA20 와 Vectra A/EAA15Zn35는 전형적인 비상용 (uncompatible) 블렌드의 구조를 보여주고 있다. 분산상의 크기는 10 mm가 넘는 큰 크기를 보여주며 상간의 계면 접착력은 매우 약해 보인다. 그러나 Vectra A/EAA15Na45는 분산상의 크기가 매우 작고 두 상간의 계면이 잘 붙어있는 구조를 보여준다. 따라서 혼련 중에 형성된 TLCP-이오노머 그래프트 공중합체가 두 상 간의 상용화제 역할을 잘 수행한다는 것을 알 수 있다.

혼련 시간의 증가에 따른 SEM 관찰 결과도 그래프트 반응이 확인함을 보여준다. 초기의 분산상이 크고 계면간의 접착력이 약한 결과에서 용융혼련 시간이 증가함에 따라 분산상의 크기가 작아지고 계면이 치밀하게 붙어

있음을 볼 수 있었다.

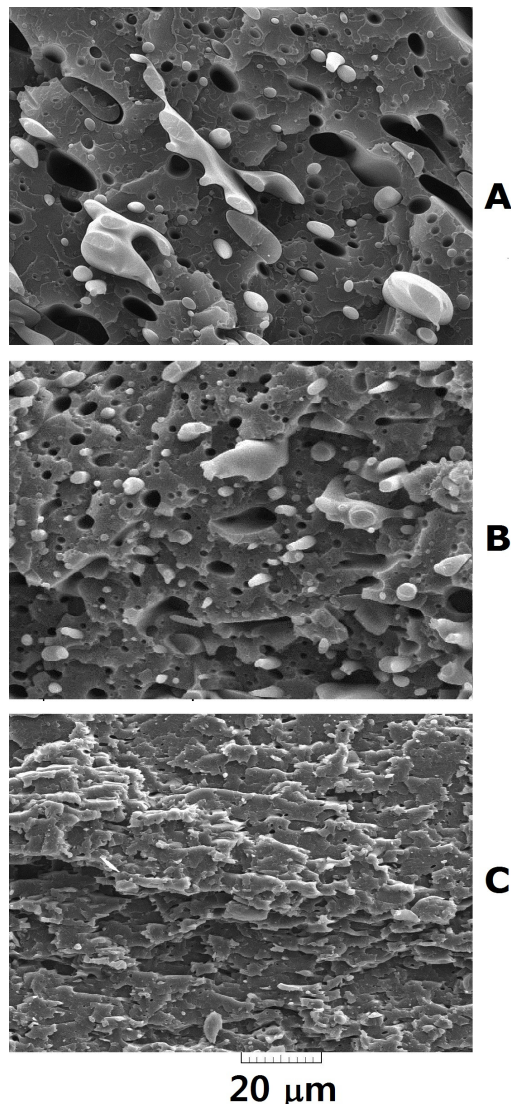


Fig. 6. SEM of fracture surface of (50/50) Vectra A/EAA15Na45 blends mixed at 300 oC and 30 rpm.

4. 결론

TLCP와 Na-EAA 이오노머 블렌드는 이오노머의 아크릴산과 TLCP의 에스터 연결사이의 acidolysis 반응에 의하여 형성된 그래프트 공중합체에 의해 상용화되는 것으로 관찰되었다. 이 반응은 EAA 이오노머에 존재하는

Na 염에 의하여 촉진되는 것으로 관찰되었고 Na 염의 농도가 증가할수록 반응 속도는 빨라졌다. EAA나 Zn-EAA 이오노머와 TLCP 사이에는 그래프트 반응이 거의 일어나지 않는 것을 관찰하였다. 그래프트 반응의 정도는 Na 염의 농도, 혼련시간, 혼련 온도등에 영향을 받았다. 이렇게 형성된 그래프트 공중합체는 TLCP와 Na-EAA 이오노머 블렌드의 반응상용화제로 효과가 높음을 알 수 있었다.

References

- [1] G. T. Pawlikowski, D. Dutta, and R. A. Weiss, "Molecular Composites and Self-Reinforced Liquid Crystalline Polymer Blends", *Annu. Rev. Mater. Sci.*, Vol. 21, pp. 159-184 (1991).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ms.21.080191.001111>
- [2] D. Dutta, R. A. Weiss, and J. He, "Compatibilization of Blends Containing Thermotropic Liquid Crystalline Polymers With Sulfonate Ionomers ", *Polymer*, Vol. 37, pp. 429-435 (1996).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861\(96\)82912-0](http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861(96)82912-0)
- [3] H. C. Chin, K. C. Choi, and F. C. Chang, "Reactive compatibilization of the poly(ethylene terephthalate)/liquid crystalline polymer blends by solid epoxy resin as a coupling agent ", *J. Appl. Polymer. Sci.*, Vol. 60, pp. 2503-2516 (1996).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19960627\)60:13<2503::AID-APP21>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19960627)60:13<2503::AID-APP21>3.0.CO;2-3)
- [4] M. M. Miller, J. M. G. Cowie, D. L. Brydon, and R. R. Mather, "Fibres from polypropylene and liquid crystal polymer blends using compatibilizing agents: 3. Assessment of graft side chain liquid crystalline compatibilizers based upon acrylic acid-functionalized polypropylene", *Polymer*, Vol. 38, pp. 1565-1568 (1997).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(96\)00668-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(96)00668-4)
- [5] T. G. Gopakumar, S. Ponrathnam, A. Lele, C. R. Rajan, and A. Fradet, "In situ compatibilization of poly(phenylene sulphide)/wholly aromatic thermotropic liquid crystalline polymer blends by reactive extrusion: morphology, thermal and mechanical properties ", *Polymer*, Vol. 40, pp. 357-364 (1998).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(98\)00190-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(98)00190-6)
- [6] G. V. Laivins, "Analysis of the interactions in an in-situ composite: poly(alkylene terephthalates) reinforced with thermotropic liquid-crystalline polyesters ", *Macromolecules*, Vol. 22, pp. 3974-3980 (1989).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma00200a027>
- [7] A. Datta, and D. G. Baid, "Compatibilization of thermoplastic composites based on blends of polypropylene with two liquid crystalline polymers ", *Polymer*, Vol. 36, pp. 505-514 (1995).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861\(95\)91559-P](http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861(95)91559-P)
- [8] H. O'Donnell, and D. G. Baid, "In situ reinforcement of polypropylene with liquid-crystalline polymers: effect of maleic anhydride-grafted polypropylene ", *Polymer*, Vol. 36, pp. 3113-3126 (1995).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861\(95\)97874-F](http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861(95)97874-F)
- [9] Y. P. Chiou, K. C. Chiou, and F. C. Chang, "In situ compatibilized polypropylene/liquid crystalline polymer blends ", *Polymer*, Vol. 37, pp. 4099-4106 (1996).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861\(96\)00247-9](http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861(96)00247-9)
- [10] Y. P. Chiou, D. Y. Chang, and F. C. Chang, "In situ compatibility of polystyrene and liquid crystalline polymer blends ", *Polymer*, Vol. 37, pp. 5653-5660 (1996).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861\(96\)00247-9](http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861(96)00247-9)
- [11] H. C. Chin, and F. C. Chang, "Reactive compatibilization of PET/LCP blends by a multifunctional epoxy coupler ", *Polymer*, Vol. 38, pp. 2947-2956 (1997).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(96\)00840-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(96)00840-3)
- [12] D. Y. Chang, and F. C. Chang, "In situ reactive compatibilized noryl/LCP blends ", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 56, pp. 1015-1028 (1995).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.1995.070560901>
- [13] H. Karhinen, A. Salmela, M. Aalto, H. Kricheldorf, C. Bergtrom, and N. Katsaras, "Substituted liquid crystalline polymers and their use as compatibilizers in blends of lcp's and other polymers ", U.S. Patent WO 9807533A1.
- [14] J. Park and M. Bang, "Effect of Aromatic Ring Content on the Properties of Liquid Crystalline Copolyesters", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society* Vol. 15, pp. 575-580 (2014).
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.1.575>
- [15] M. Bang, "Synthesis and Properties of Liquid Crystalline Copolymers with Ether-ether-ester Linkage in Main Chain", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 11, pp. 1367-1372 (2010).
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.4.1367>
- [16] E. Lee and M. Bang, "Effects of Alkoxy Side Chain on the Properties of Wholly Aromatic Liquid Crystalline Polyesters with Biphenylene Unit", *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 11, pp. 4041 - 4046 (2010).

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10.4041>

- [17] M. Bang, "Crystallization Behaviors of Liquid Crystalline Polymer/Poly(ethylene terephthalate) blends", Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 7, pp. 559-566 (2006).
- [18] Y. Son, "Study on Rheological Properties of HBA/HNA Thermotropic Liquid Crystalline Polymer", Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11 pp. 5216-5220 (2010).
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.12.5216>
- [19] Y. Son, "Study on a compatibilization of polypropylene/thermotropic liquid crystalline polymer blends", Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 8, pp. 1215-1219 (2007).
- [20] M. Lambla, and M. Seadan, "Interfacial grafting and crosslinking by free radical reactions in polymer blends", Polym. Eng. Sci., Vol. 32, pp. 1687-1694 (1992).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pen.760322206>

하이디 크루즈(Heidy Cruz)

[정회원]



- 2013년 8월 : 필리핀 Santo Thomas 대학교 화학공학과 (공학사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 고분자공학과 (공학석사)

<관심분야>
고분자 나노 복합재료

손 영 곤(Younggon Son)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>
고분자가공, 고분자 블렌드