Appl. Chem. Eng., Vol. 27, No. 3, June 2016, 270-275
http://dx.doi.org/10.14478/ace.2016.1026

Article

HDPE/케나프/열팽창성 마이크로 캡슐의 물성에 미치는 섬유 길이 및 화학처리 영향

구선교 · 이종원 · 김연철†

공주대학교 고분자공학전공
(2016년 3월 19일 접수, 2016년 5월 11일 심사, 2016년 5월 18일 채택)

Effect of the Chemical Treatment and Fiber Length of Kenaf on Physical Properties of HDPE/Kenaf/Expandable Microcapsule

Sun Gyo Ku, Jong Won Lee, and Youn Cheol Kim†

Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, 1223-24 Cheonan-Daero, Seobuk Gu, Cheonan 31080, Repulic of Korea
(Received March 19, 2016; Revised May 11, 2016; Accepted May 18, 2016)

초 록

길이가 다른 두 종류의 케나프 섬유(kenaf fiber, KF)가 적용된 고밀도폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE)/KF 복합체를 이축압출기를 이용하여 제조하였다. HDPE/KF 복합체의 발포를 위해 열팽창성 마이크로캡슐(thermal expandable microcapsule, EMC)이 이용되었다. 0.3과 3 mm 길이의 KF가 사용되었고, KF와 EMC의 함량은 각각 20 wt%와 5 wt%로 고정하였다. 화학처리된 KF의 FT-IR 결과 1700과 1300 cm^{-1} 근처에서의 피크 감소를 보여주는데, 이는 KF 성분 중 리그닌과 헤미셀룰로오스가 감소되기 때문으로 유추할 수 있다. 발포비중, 인장특성을 평가할 때 3 mm 섬유를 사용한 복합체의 물성이 양호하게 나타났지만, 섬유의 길이가 길수록 열분해에 의한 외관 불량 등의 문제가 발생할 수 있어 산업적 응용에 따라 적절한 섬유 길이의 선택이 요구된다. 화학 처리한 0.3 mm KF가 사용된 복합체의 인장강도가 소폭 증가하였다.

Abstract

High density polyethylene (HDPE)/kenaf fiber (KF) composites included two types of KF with different lengths were fabricated by using a twin screw extruder. A thermally expandable microcapsule (EMC) was used to form HDPE/KF. The KF lengths were 0.3 mm and 3 mm. The contents of KF and EMC were fixed at 20 wt% and 5 wt%, respectively. From FT-IR data of KF, which underwent chemical treatment, peaks around 1700 and 1300 cm^{-1} decreased. This might be caused by the reduction of lignin and hemicellulose due to the chemical treatment of KF. Based on the specific gravity, thermal stability and tensile property, physical properties of the composites with a 3 mm fiber were good. However, if the fiber is longer, poor appearance might be caused due to the thermal degradation during processing. Thus, the adequate length of KF should be chosen to maintain the appearance and physical properties for industrial applications of HDPE/KF/EMC composites. The tensile strength for 0.3 mm fiber treated with chemicals increased slightly.

Keywords: *kenaf fiber length, chemical treatment, expandable microcapsule, HDPE*

1. 서 론

고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene, HDPE)은 폴리프로필렌(polypropylene, PP)과 비교할 때 밀도가 높아 경량화 측면에서는 다소 불리하나, 온도에 따른 용융장력(melt strength) 변화 폭이 작아 소재의 경량화를 위해 사용하는 발포에 유리하기 때문에 발포체 시장에서는 산업적 응용이 활발히 진행 중에 있는 소재이다. 특히 고기술화 산업인 자동차산업으로의 확대 적용을 위해서는 화두인 친환경/경량화에 대한 고려가 필수적이다.

자동차용 내장 발포소재의 경우 많은 부분에 시트(sheet) 형태의 제품이 사용되고 있고, 시트 발포체는 압축성형법과 압출성형법 등을 이용하여 제조가 가능하며, 일반적으로 화학적 발포나 가스주입법 등이 사용되고 있다. 제품의 생산성 등을 고려하여 압출성형을 통한 시트 발포체 제조가 선호되고 있는데, HDPE의 경우가 PP보다 압출성형에 유리하나, HDPE의 압출성형에 용이한 가스주입법의 경우는 장치 개조 등에 많은 비용이 소요되는 문제가 있다. 주로 압축성형법에 많이 사용되는 화학적 발포의 경우 압출성형 적용 시 고 발포의 시트 형성이 어렵고, 잔류 발포체의 표면 이행(migration) 등에 의한 외관불량 등의 문제가 제기되고 있다. 이와 같은 HDPE 발포의 단점을 보완하기 위하여 최근 열팽창성 마이크로캡슐(thermal expandable micro cap-

† Corresponding Author: Kongju National University,
Major in Polymer Science and Engineering, 1223-24 Cheonan-Daero, Seobuk Gu, Cheonan 31080, Repulic of Korea
Tel: +82-41-521-9395 e-mail: younkim@kongju.ac.kr

pISSN: 1225-0112 eISSN: 2288-4505 @ 2016 The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry. All rights reserved.

sule, EMC)[1]의 도입을 자동차 부품업체를 중심으로 검토하고 있다.

HDPE 등 자동차 부품소재용으로 사용되고 있는 올레핀 수지의 경우 결정성 열가소성 고분자로 재활용이 용이하다는 측면은 있으나, 환경에 대한 내성이 매우 높아 자연환경에 폐기되었을 경우 거의 영구적으로 분해되지 않으며, 소각 폐기 시에는 많은 양의 CO_2를 발생하기 때문에 환경 측면에서 사용에 많은 압박을 받고 있는 게 사실이다. 최근 이와 같은 폴리올레핀 수지의 환경 문제를 보완하기 위한 한 방안으로 천연섬유와 폴리올레핀 수지를 블렌드(blend)하여 내장재용 소재로 적용하는 연구들이 많이 진행되고 있고, 많이 연구되는 천연섬유로는 양마(Kenaf, KF), 황마(Jute), 용설란(Sisal), 대나무(Bamboo) 등이 있는데 이들 중 양마, 용설란 등의 경우는 유럽을 중심으로 일부 내장재용 폴리올레핀/NF 복합재료로 적용 중에 있다[2-4]. 폴리올레핀/NF 복합체의 경우 NF의 비중이 상대적으로 높아 경량화 소재로 적용하기 위해서는 폴리올레핀/NF 복합소재의 발포가 요구된다. 또한 환경적 측면에서 천연섬유의 첨가 효과를 위해서는 20 wt% 정도의 고함량의 첨가가 요구되는데, 이 경우처럼 많은 함량의 섬유가 적용되는 경우 계면 접착특성이 매우 중요하다. 폴리올레핀/천연섬유 복합체의 계면 접착성을 증가시키기 위해서는 상용화제 도입이 필요한데, 말레인산 무수물(maleic anhydride, MAH)[5-9]을 비극성 고분자에 도입하는 방법이 가장 많이 연구되었다. HDPE/KF 복합체에서 낮은 KF 함량일 때는 MAH 그래프트 율이 낮아도 3-5 wt% 첨가 시 충분한 상용화 효과를 나타내었지만, 고함량의 케나프 복합체에서는 계면 특성이 충분하지 않아 혼련성이 미흡하여 발포 셀이 충분히 성장하지 못하는 문제가 있다. 따라서 MAH 그래프트 율이 다른 PE-g-MAH에 대해 고 KF 함량의 HDPE/KF 복합체의 발포 거동 및 물성에 미치는 영향을 체계적으로 고찰할 필요가 있고, PE-g-MAH, KF 그리고 EMC 등의 KF 첨가에 따른 결정화 거동에 대한 고찰이 필수적인데, 이는 사출성형 시 몰드의 냉각 조건 결정 등을 위해 필요하다.

HDPE에 KF가 복합화될 때 KF 길이는 기계적 물성뿐만 아니라 제품의 표면특성 등에도 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다[10,11]. 기존의 연구 결과에서 천연 섬유의 길이가 너무 크면 복합체를 제조할 때 탄화 등의 문제가 발생하거나 제품 표면에 섬유의 상태가 나타나 외관불량 등의 문제가 발생할 수 있는 것으로 보고하고 있어 섬유의 길이 또한 고분자/천연섬유 복합체에서 중요한 변수로 인식되고 있다. 또한 천연섬유는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등으로 구성되어 있는데, 헤미셀룰로오스나 리그닌이 물성저하 또는 탄화 등을 일으키는 것으로 알려져 있어 섬유의 화학적 처리에 대한 연구들이 진행되어 왔다[12-14].

HDPE/KF/EMC의 최적조건을 선정하기 위해서는 결정화 거동, 섬유크기 또는 섬유의 화학처리 등에 대한 고려가 필수적이지만, 지금까지 연구는 PP와 같은 단일소재에 열팽창성 마이크로캡슐이 적용된 소재의 가공 조건이나 formulation, 그리고 폴리우레탄과 열팽창성 마이크로캡슐의 복합체 등에 대해서는 일부 연구들이 진행되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 케나프 섬유의 길이와 섬유의 화학처리에 따른 HDPE/KF/EMC를 이축압출기를 이용하여 제조하고, 발포거동, 결정화거동 및 기계적물성 등을 평가하여 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 실 험

2.1. 실험재료 및 복합체 제조

HDPE는 호남석유화학의 J-2200 (MI =5 g/10 min)을 사용하였고, 열팽창성 마이크로캡슐(thermal expandable microcapsule, EMC)은 마스터배치 형태로 Expencel사의 에틸렌비닐아세테이트(ethylene vinyl acetate, EVA) 함량이 65%인 980 MB 120을 사용하였다. 상용화제로는 말레인산 무수물(maleic anhydride, MAH)이 그래프트된 PE-g-MAH를 사용하였고, 기존 연구결과 최적의 물성을 보인 그래프트 율 1.962의 반응압출 시료를 이용하였다. EMC를 포함하는 HDPE/KF 복합체는 이축압출기(바우테크 BA-11, L/D = 40)를 이용하여, 40 rpm, 160/170/160/150/140/140 ℃의 조건에서 제조하였으며, PE-g-MAH의 함량은 3 wt%로, KF는 20 wt%로 고정하였으며, 섬유의 길이는 0.3 mm와 3 mm를 이용하였다. KF 0.3 mm는 kinematica사의 밀링기를 이용하여 절단하여 사용하였으며, 열팽창성 마이크로캡슐의 함량은 5 wt%로 고정하였다. KF 20 wt% 함량을 기준으로 0.3 mm의 경우 HD/KF20-03/EMC로, 3 mm의 경우 HD/KF20-3/EMC로, 0.3 mm의 화학처리된 섬유의 경우 HD/t-KF20-03/EMC로 시료명을 표시하였다. 섬유의 화학처리는 20 wt% NaOH 수용액에 2 h 동안 교반 후 물로 3회 세척하여 80 ℃ 오븐에서 24 h 건조하여 사용하였다.

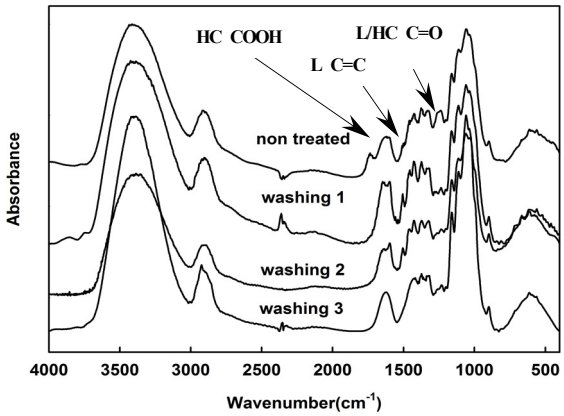


Figure 1. FT-IR spectra of KF and chemically treated KF of 0.3 mm.

2.2. 측정

화학처리 전후의 KF에 대한 화학구조는 적외선분광기(FT-IR, Perkin Elmer, Spectrum 1000)를 사용하였고, resolution 2 cm^{-1}에서 24회 스캔하여 4000～400 cm^{-1} 영역에서 스펙트럼을 얻었다. 열적 특성 분석에는 시차주사열용량분석기(Differential scanning calorimetry, DSC)와 TGA (Thermogravimetric analysis)를 이용하였다. DSC는 TA instrument DSC Q20을 이용하여 50-250 ℃ 범위에서 승온/냉각/승온 모드(mode)를 사용하였으며, 승온 속도를 10 ℃/min으로 하여 질소분위기하에서 측정하였다. TGA는 TA instrument TGA Q50을 이용하여 800 ℃까지 승온 속도 10 ℃/min으로 질소분위기하에서 측정하였다. 인장강도는 만능시험기(Hounsfield, H10KS, 영국)를 이용하여 1 mm 두께의 시편을 속도 5 mm/min로 실험하였고, 인장시험 후 파단면의 형상을 알아보기 위하여 주사전자현미경(Tescan Mira3, scanning electron microscope, SEM)을 이용하였다. SEM 시료의 절단면을 금박하여(gold sputter coating) 25 kV의 가속전압으로 관찰하였다. 기계적 물성의 측정 시편은 200 ℃ 가열 프레스(hot press)를 이용하여 제조하였으며, 각 시료당 5회 실시하여 평균하여 사용하였다. 발포체의 비중을 측정하기 위하여 water displacement method를 이용하였으며, 결정형태 관측을 위해 가열장치가 부착된 편광현미경(Olympus Bx41)을 이용하였다. 커버글라스 사이에 일정량의 시료를 넣고 10 ℃/min의 승온속도로 200 ℃까지 가열하여 용융시킨 후 10 ℃/min의 냉각속도로 냉각하면서 결정구조를 관찰하였다.

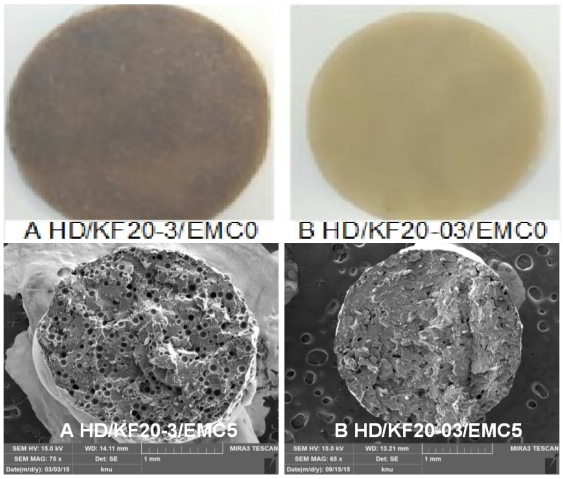


Figure 2. Pressed sheet and SEM images for HDPE/KF/EMC extrudates with 3 mm (A) and 0.3 mm (B).

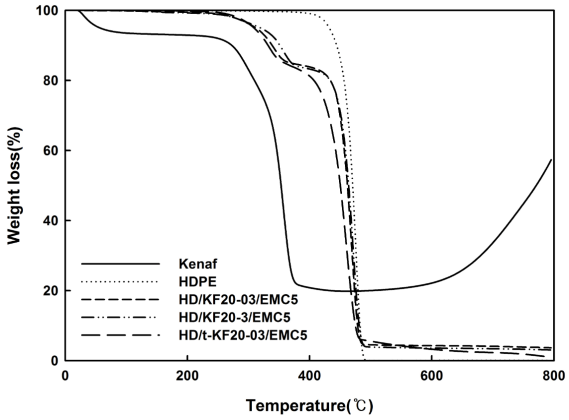


Figure 3. TGA thermograms of HDPE/KF/EMC composites.

3. 결과 및 고찰

Figure 1은 화학처리 전후의 KF 시료에 대한 FT-IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 화학 처리 결과 1700, 1500 그리고 1300 cm^{-1} 부근에서의 피크 감소를 확인할 수 있는데, 이는 화학처리에 따른 KF 구성성분 중에서 리그닌과 헤미셀룰로오스의 감소에 의한 것으로 예측할 수 있다. 대나무 섬유 등과 같은 천연섬유의 화학처리시 리그닌과 헤미셀룰로오스가 감소됨을 확인할 수 있었고[14], 이는 이들의 특성 피크인 1737 cm^{-1}의 헤미셀룰로오스 COOH, 1511 cm^{-1}에서의 리그닌 C=C, 1248 cm^{-1}의 리그닌과 헤미셀룰로오스의 C=O 등에서의 감소가 확인되었고, 이로부터 화학처리에 의해 리그닌과 헤미셀룰로오스가 감소됨을 확인하였다.

Figure 2는 HDPE/KF 복합체 제조시 탄화 및 제품외관 등에 대한 KF 섬유길이의 영향을 살펴보기 위해 이축압출기를 이용하여 복합체를 압출한 후 가열프레스로 성형한 원판 형태의 시편에 대한 사진과 압출 후 시편의 SEM 사진을 나타낸 것이다. KF의 길이가 0.3 mm인 시편과 비교할 때 3 mm 시편의 경우 탄화가 상당한 수준으로 발생하였고, 제품표면에 섬유형태가 노출되어 외관불량이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 압출공정을 이용한 시트성형에도 유사하게 나타나 실제 제품의 외관이나 물성에 영향을 줄 것으로 예측할 수 있다. 섬유길이에 따른 발포 후 단면 SEM 이미지의 경우 상대적으로 섬유의 길이가 큰 HD/KF20-3/EMC의 경우 발포셀의 수가 많고 상대적으로 고르게 분포되어 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 발포체의 형상 차이로 인해 0.3 mm의 경우 0.902, 3 mm의 경우 0.736으로 섬유의 길이가 클 때 발포 비중이 낮게 나타나고 있다. 이 결과로부터 섬유의 길이가 어느 수준 이하로 감소하게 되면 발포셀을 파괴하여 발포를 오히려 방해하는 요소로 작용함을 알 수 있었다.

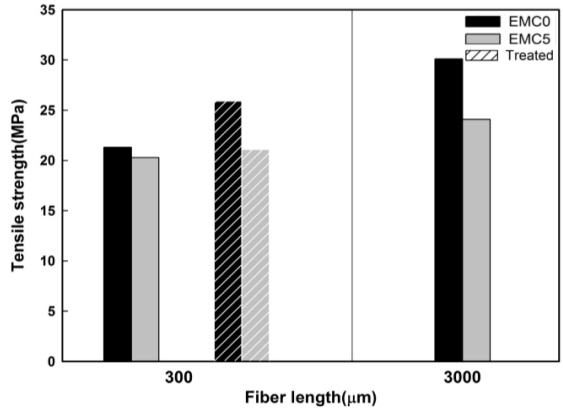


Figure 4. Tensile strengths of HDPE/KF and HDPE/KF/EMC composites.

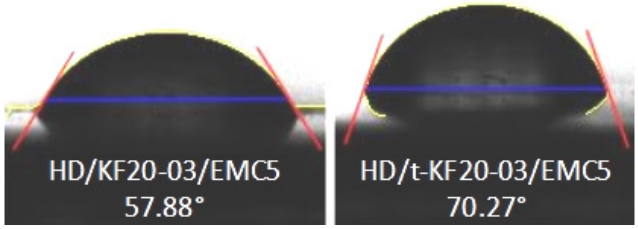


Figure 5 Contact angles of the composites with KF and chemically treated KF of 0.3 mm.

Figure 3은 열안정성 확인을 위해 섬유길이 및 화학처리에 따른 HDPE/KF/EMC 복합체의 TGA 자료를 나타낸 것이다. 3 mm의 섬유가 적용된 HD/KF20-3/EMC 복합체가 0.3 mm에 비해서 열안정성이 약간 증가하였다. 또한 0.3 mm 복합체에 대해 화학처리의 경우에도 열안정성의 일부 증가를 나타내고 있는데, 이는 앞에서 언급한 리그닌과 헤미셀룰로오스의 제거에 의한 것으로 유추할 수 있다.

Figure 4는 섬유길이와 화학처리에 따른 HDPE/KF/EMC 복합체의 인장강도를 나타낸 것이다. 3 mm 길이의 섬유 복합체가 0.3 mm 길이의 섬유 복합체보다 우수한 인장 강도를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 섬유로 강화된 복합체의 경우 계면으로부터 전단응력을 전달받게 되는데 섬유의 L/D가 증가하게 되는 경우 응력 전달이 보다 효과적으로 이루어지게 되고 그 결과 더 높은 강도를 가질 수 있다. 0.3 mm 섬유의 경우 종횡비(aspect ratio)가 1에 가까운 거의 분말과 유사한 형태이기 때문에 3 mm를 이용한 복합체에 비해 보강효과가 적게 나타나 인장강도 개선폭이 적은 것으로 해석할 수 있다. 또한 화학처리한 0.3 mm KF를 적용한 복합체의 인장강도가 높게 나타나고 있는데, 이는 화학처리에 의해 HDPE와 KF 사이의 계면접착특성이 개선되었기 때문으로 해석할 수 있고, 이는 Figure 5의 접촉각이 화학처리 후에 증가하는 것으로 확인할 수 있었다. 복합체의 용융 온도(T_m), 용융엔탈피($\triangle H_m$), 분해온도(T_d), 비중을 Table 1에 정리하였으며, Table 2에 인장강도를 나타내었다.

Table 1. Thermal and Foaming Properties of HDPE/KF/EMC Composites

Sample	[1]T_m (℃)	[2]$\triangle H_m$ (J/g)	[3]T_d (℃)	Specific Gravity
HDPE	131.9	235.2	432.0	0.96
HDPE/EMC5	131.6	242.4	424.0	0.65
HD/KF20-3/EMC0	131.7	163.0	355.8	0.90
HD/KF20-3/EMC5	131.3	178.7	343.1	0.73

[1]Melting temperature, [2]Enthalpy of fusion, [3]Decomposition temperature at 5 wt% weight loss

Table 2. Tensile Strength of the Composites

Samples	Tensile strength (MPa)
HD/KF20-3/EMC0	30.1
HD/KF20-3/EMC5	24.1
HD/KF20-03/EMC0	21.3
HD/KF20-03/EMC5	20.3
HD/t-KF20-03/EMC0	25.9
HD/t-KF20-03/EMC5	21.2

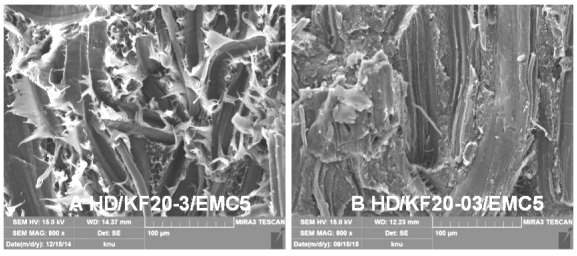


Figure 6. SEM images for fractured surfaces of HDPE/KF/EMC composites with 3 mm (A) and 0.3 mm (B).

Figure 6은 섬유길이에 따른 HDPE/KF/EMC 복합체의 인장 파단면에 대한 SEM 사진이다. 두 섬유 모두 접착이 잘 이루어짐을 확인할 수 있으나 섬유길이가 길 경우 파단면의 찢김 현상이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있는데, 이는 인장강도의 증가에 대한 추가적인 설명이다.

발포 비중, 열안정성, 드리고 인장특성 평가결과 3 mm 길이의 복합체가 우수한 물성을 나타낸 반면, 섬유의 길이가 길어지면 사출 등 가공 시 탄화 및 제품 외관불량 등에 영향을 줄 수 있기 때문에 HDPE/KF/EMC 발포체의 산업적 적용 시 외관과 물성을 고려한 적절한 KF의 섬유 길이에 대한 검토와 함께 섬유의 길이가 짧을 때 물성을 보강할 수 있는 방안이 고려되어야 한다.

Figure 7은 섬유크기에 따른 HDPE/KF/EMC 복합체의 DSC 냉각곡선을 냉각속도가 10 ℃/min일 때 나타낸 것이다. HDPE에 비해 복합체의 결정화 온도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 HDPE 내에 존재하는 케나프 섬유들이 불균일 핵제로 작용하기 때문이다. 또한 HD/KF20-3/EMC5의 결정화 온도가 타 시료에 비하여 높게 나타나고 있는데, 이는 KF와 HDPE 계면을 중심으로 성장하던 결정이 EMC에 의한 발포층과 만나면서 좀더 치밀한 결정구조를 이루기 때문으로 유추할 수 있다. 결정화거동 및 결정화속도에 대한 연구는 그 과정에서 일어나는 물리적, 화학적 변화의 상관관계를 예측하고 새로운 시스템을 이해하는 관점에서 매우 중요한 일이라 할 수 있을 것이다. 고분자의 분자구조에 따라 이와 같은 결정화거동의 변화가 예측되고, 고분자 가공 시 냉각 등의 가공조건 선정에 중요한 변수 중 하나로 받아들

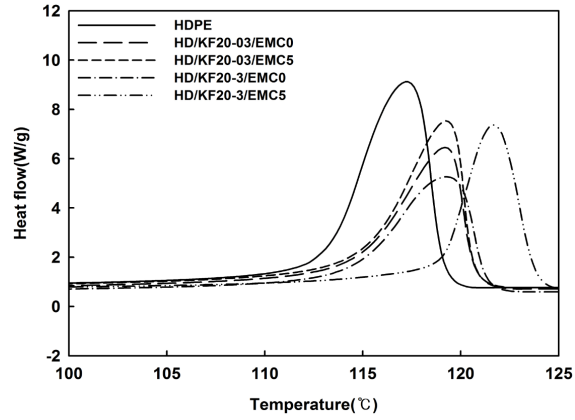


Figure 7. DSC thermograms at -10 ℃/min of HDPE, HDPE/KF and HDPE/KF/EMC compostes.

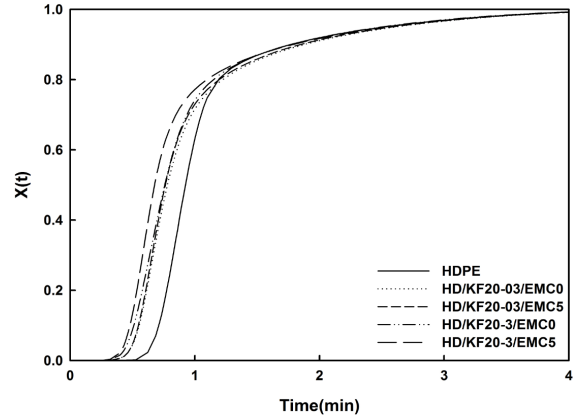


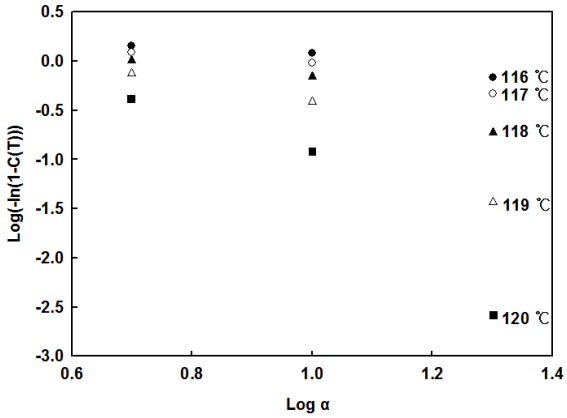
Figure 8. Relative crystallinity of HDPE, HDPE/KF and HDPE/KF/EMC composites.

이고 있다.

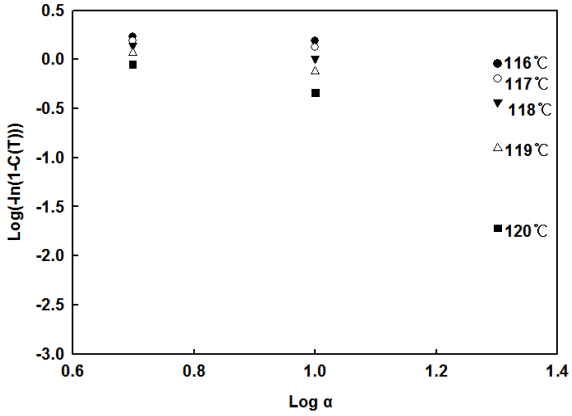
섬유 길이에 따른 비 등온 결정화거동을 살펴보기 위해서 우선 상대 결정화속도를 아래 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$\chi(t) = \frac{\Delta H_c(t)}{\Delta H_c(t_f)} \tag{1}$$

여기서 X(t)는 결정화 시간 t에서 상대적 결정화도를 나타내고, $\Delta H_c(t)$는 시간 t까지의 결정화 엔탈피, $\Delta H_c(t_f)$는 결정화가 완료될 때까지의 결정화 엔탈피, $t = (T_0 - T)/\varphi$, 여기서 φ는 냉각속도를 T_0는 초기 결정화 온도를 나타낸다. Figure 8은 상대 결정화도를 나타낸 것으로 섬유의 길이가 길수록 상대적으로 빠르게 결정을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 3 mm의 섬유길이를 가진 복합체의 경우



(a)



(b)

Figure 9. Plots of log[-ln(1-C(T)] versus log α of HD/KF/EMC composites with 3 mm KF (a) and 0.3 mm KF (b).

초기 핵생성 단계에서 핵의 수는 적으나, 결정성장 과정에서 주의의 방해가 적어 훨씬 유리하기 때문으로 해석할 수 있다.

결정화 거동에 대한 자세한 분석을 위해 Ozawa[15]에 의해 수정된 Avrami 식 (2)를 적용하여 분석하였다.

$$\log[-\ln(1-C(T))] = \log x(t) - n\log\alpha \quad (2)$$

C(T)는 결정화온도 T에서 상대적 결정화도를 나타내고 n은 Avrami 지수, x(t)는 결정화 상수, α는 냉각속도를 나타낸다. 결정화 거동에 대한 분석을 위해 Avrami식을 적용하였다. Figure 9는 각각 섬유의 길이가 0.3 mm, 3 mm를 나타내는 수정된 Avrami 수식을 도식화한 것이다. 그래프의 기울기는 Avrami exponent (n)을 나타내는데, 선형회귀 분석을 통해 Table 3에 정리하였다. 일반적으로 n 값이 4일 경우는 결정형태가 sphere 형태를 의미하며, 3은 disk형태, 2는 rod형태를 나타낸다. 수정된 Avrami 방정식에 의한 결정화거동 분석결과, HDPE의 경우 결정 형태가 disk형을 이루는 반면, 섬유가 첨가되면 결정 형태가 rod형으로 변하는데, 이는 케나프 섬유가 불균일 핵제로 작용하여 섬유방향으로 결정이 성장되기 때문으로 해석할 수 있다. 반면, HDPE/KF 복합체에 EMC가 적용될 경우 다시 disk형으로 바뀌게 되는데 이는 EMC에 의한 열팽창으로 섬유 방향으로의 결정 성장이 방해받기 때문으로 해석할 수 있다. Figure 10은 HDPE와 HD/KF20-3/EMC0 시편을 용융시킨 후 냉각속도가 10 ℃/min으로 냉각할 때 122 ℃에서의 편광현

Table 3 Avrami Exponents of the Composites

Samples	n
HDPE	2.3
HD/KF20-03/EMC0	1.6
HD/KF20-03/EMC5	2.3
HD/KF20-3/EMC0	1.4
HD/KF20-3/EMC5	2.3

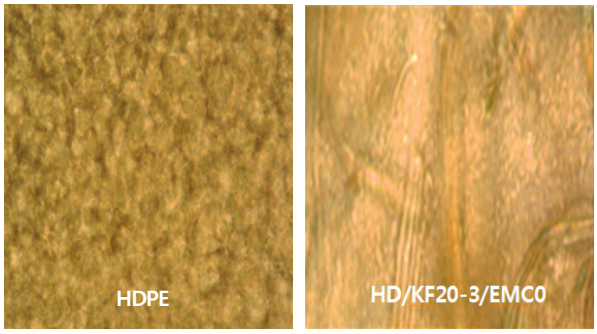


Figure 10. Polarized optical microscopy of the HDPE and HD/KF composite with 3 mm KF at 122 ℃.

미경 사진을 보여주는 것이다. HDPE와 달리 HD/KF20-3/EMC0의 경우 섬유 주변을 중심으로 결정이 생성되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 친환경 소재인 케나프 섬유가 사용된 HDPE/KF 복합체의 발포거동 및 물성에 미치는 KF 길이와 화학처리 효과에 대한 고찰하였다. 섬유의 길이가 3 mm일 때 열안정성, 발포특성 및 인장특성이 모두 우세한 결과를 보인 반면 압출시편에서의 탄화 현상과 섬유의 표면 노출 등의 외관문제를 나타내었다. 0.3 mm 섬유가 적용된 HDPE/KF/EMC의 물성향상을 위해 화학처리 한 섬유를 적용한 결과 인장강도와 열안정성에 있어서의 개선을 나타내었다. 이는 KF 성분 중 리그닌과 헤미셀룰로오스의 감소에 의한 것으로 유추할 수 있고, FT-IR 스펙트럼 중 1300과 1700 cm^{-1} 부근에서의 피크 감소를 통해 확인하였다. HDPE에 KF, EMC 등이 첨가되면 결정화 거동이 빨라짐을 확인하였고, 이는 첨가제의 불균일 핵생성에 의한 것으로 유추할 수 있다. KF 첨가에 따른 Ozawa 분석 결과 n 값이 순수 HDPE는 2.3, HDPE/KF 복합체는 1.5, HDPE/KF/EMC 발포체는 2.3 정도의 값을 나타내었다. Ozawa 분석결과 KF가 첨가될 때 HDPE의 결정형태는 disk형에서 rod형으로 변화하는 것이 확인되었다. 반면에 HDPE/KF 복합체에 EMC가 첨가될 경우 결정형태가 다시 HDPE의 형태로 되돌아가는 것을 확인할 수 있었다.

감 사

이 논문은 2015년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

References

1. J. W. Sikora, V. Levytskyi, V. Moravskyi, and H. Gerlach, Twin screw extrusion with expancel foaming agent, *J. Polym. Eng.*, **6**, 33-37 (2013).
2. C. Tissandier1, R. C. Vazquez Fletes, R. González-Núñez, and D. Rodrigue, Microcellular agave fibre-high density polyethylene composites produced by injection molding, *J. Mater. Sci. Eng. A*, **11**, 677-684 (2009).
3. S. B. Kwak, S. L. Lee, H. Y. Lee, S. H. Yun, S. H. Kim, and J. Y. Lee, Development of door trim by integration process using eco uni-material, *Confer. Korean Soc. Autom. Eng.*, 2491-2497 (2011).
4. H. P. S. Abdul Khaili, I. U. H. Bhat, M. Jawaid, A. Zaidon, D. Hermawan, and Y. S. Hadi, Bamboo fibre reinforced bio-composites : A review, *Mater. Des.*, **42**, 353-368 (2012).
5. H. M. Akil, M. F. Omar, A. A. M. Mazuki, S. Safiee, Z. A. M. Ishak, and A. A. Bakar, Kenaf fiber reinforced composites: A review, *Mater. Des.*, **32**, 4107-4121 (2011).
6. J. W. Lee, S. G. Ku, B. H. Lee, K. W. Lee, C. W. Kim, K. S. Kim, and Y. C. Kim, Effect of the compatibilizer on physical properties of polypropylene/bamboo fiber composites, *Appl. Chem. Eng.*, **26**, 615-620 (2015).
7. P. W. Balasuriya, L. Ye, Y.-W. Mai, and J. Wu, Mechanical properties of wood flake-polyethylene composites. Ⅱ. Interface modification, *J. Appl. Polym. Sci.*, **81**, 2505-2521 (2002).
8. Z. X. Zhang, D. L. Chen, K. H. Kwak, Z. X. Xim, and J. K. Kim, Effects of compatibilizers on the physico-mechanical and foaming properties of polyproylene/wood-fiber composites, *J. Vinyl Addit. Technol.*, **19**, 250-257 (2013).
9. T. Panuikallio, J. Kasanen, M. Suvanto, and T. Pakkanen, Influence of maleated polypropylene on mechanical properties of composites made of viscose fiber and polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **87**, 1895-1900 (2003).
10. T. Kuboki, Y. H. Lee, C. B. Park, and M. Sain, Mechanical properties and foaming behavior of cellulose fiber reinforced high-density polyethylene composites, *Polym. Eng. Sci.*, **49**, 2179-2188 (2009).
11. G. Guo, Y. H. Lee, G. M. Rizvi, and C. B. Park, Influence of wood fiber size on extrusion foaming of wood fiber/HDPE composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **107**, 3505-3511 (2008).
12. M. S. Meon, M. F. Othman, H. Husain, M. F. Remeli, and M. S. M. Syawal, Improving tensile properties of Kenaf fibers treated with sodium hydroxide, *Procedia Eng.*, **41**, 1587-1592 (2012).
13. Z, Shi, Q. Yang, J. Cai, S. Kuga, and Y. Matsumoto, Effects of lignin and hemicellulose contents on dissolution of wood pulp in aqueous NaOH/urea solution, C*ellulose*, **21**, 1205-1215 (2014).
14. G. Xu, L. Wang, J. Liu, and J. Wu, FT-IR and XPS analysis of the changes in bamboo chemical structure decayed by white-rot and brown-rot fungi, *Appl. Surf. Sci.*, **280**, 199-805 (2013).
15. T. Ozawa, Kinetics of non-isothermal crystallization, *Polymer*, **12**, 150-158 (1971).