

나일론66/유리섬유 복합체의 압출횟수에 따른 특성 연구

이봄이¹, 김연철^{1*}

¹공주대학교 신소재공학부 고분자공학전공

Study on the physical properties of nylon66/glass fiber composites as a function of extrusion number

Bom Yi Lee¹, Youn Cheol Kim^{1*}

¹Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University

요약 나일론66/유리섬유 복합체의 경우 300 °C 이상의 고온에서 사출가공 될 때 물성 저하가 일어날 수 있어, 재이용시 열이력에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 305/290/273/268/265/260 °C 온도조건의 이축압출기(twin screw extruder)를 이용하여 나일론66/유리섬유 복합체의 압출시료를 압출횟수에 따라 제조하였다. 압출횟수에 따른 화학구조, 열적특성, 용융지수, 결정구조, 아이조드 충격강도 및 유변학적 특성을 FT-IR, 용융지수 측정기, DSC, TGA, XRD, Izod 시험기, 그리고 유변물성 측정기를 이용하여 분석하였다. 적외선분광 스펙트럼을 이용하여 확인한 결과 압출횟수에 따른 압출시편에서의 화학구조 변화는 확인되지 않았다. 압출횟수에 따라 분자량이 감소하는 것을 용융지수와 복소점도를 이용하여 확인하였다. 나일론66/유리섬유 복합체의 용융온도는 큰 변화가 없으나, 압출횟수 증가에 따라 분해온도가 20 °C 정도까지 감소하는 것을 DSC와 TGA를 이용하여 확인하였다. 압출시편의 아이조드 충격강도는 압출횟수가 증가함에 따라 감소하였다. 또한 나일론66/유리섬유 복합체 압출시편의 G'-G'' 곡선의 기울기나 형태가 변하지 않는 것으로부터 압출시편에 가교와 같은 구조변화가 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다.

Abstract Because the physical properties can be decreased when a Nylon 66/glass fiber composite is injected into a mold over 300 °C, a systematic study of the thermal history in the case of re-use is needed. Nylon 66/glass fiber extrudates as a function of the extrusion number were prepared using a twin screw extruder at 305/290/273/268/265/260 °C. The chemical structure, thermal properties, melt index, crystal structure, Izod impact strength, and rheological properties were measured by Fourier transform infra-red (FT-IR), melt indexer, DSC, TGA, XRD, Izod impact tester, and dynamic rheometer. The FT-IR spectra indicated that the number of extrusions did not affect the chemical structure. The decrease in molecular weight with increasing extrusion number was confirmed by the melt index and the complex viscosity of extrudates. Based on the DSC and TGA results, the thermal history had no effect on the melting temperature, regardless of the number of extrusions, but the degradation temperature decreased up to 20 °C with increasing extrusion number. The Izod impact strengths of the extrudates were found to decrease with increasing extrusion number. No structural change after extrusion was also confirmed because there was no change in the slope and shape of the G'-G'' plot.

Key Words : Nylon66/Glass Fiber, Composite, Thermal History, Physical Properties

1. 서론

나일론/유리섬유 복합체의 자동차 부품 적용은 경량화라는 부분에서는 장점이 있지만, 유기화학 소재로 사

출성형과 같은 고분자 가공시 고온의 열에 노출될 때 열화에 의한 물성 변화가 많이 발생하는 문제가 있다. 또한 이들 수지가 석유화학 제품이므로 총 탄소(이산화탄소) 관리 측면에서는 환경문제로 인식될 수도 있어, 자동차

*Corresponding Author : Youn Cheol Kim(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9395 email: younkim@kongju.ac.kr

Received February 5, 2014

Revised (1st March 13, 2014, 2nd March 28, 2014)

Accepted June 12, 2014

부품용 고분자재료의 재활용성을 높이기 위해 많은 노력이 진행되어 왔고, 자동차 부품 제조업체를 중심으로 폐 소재나 스크랩 등을 사출가공시 일정량을 재투입하여 사용하고 있으나 물성 감소로 사용에 제한을 받고 있다.

자동차용 부품을 가공할 때 스크랩의 발생은 필수적이고, 자동차 부품 업체에서는 경영 및 환경개선의 일환으로 이들 스크랩의 재이용에 대한 관심이 증가하고 있다. 고분자 소재 중 나일론66 및 나일론66/유리섬유 (glass fiber, GF) 복합재료의 경우 상대적으로 열과 충격에 강한 특성을 가지고 있어, 현재 플라스틱 소재로 변경이 진행되고 있는 자동차 부품에 적용 가능하기 때문에 사용이 증가 추세에 있다[1-10]. 따라서 이들 나일론66/유리섬유 복합체 스크랩의 재이용 가능성에 대한 학술적 연구가 필요하며, 이들 학술적 연구를 위해서는 나일론66/유리섬유 복합체의 열 이력(thermal history)에 따른 화학적, 분자량, 열적, 기계적 및 유변학적 특성 등에 대한 고찰이 요구된다. 나일론66의 열이력에 대한 분해 메카니즘과 물성 변화에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나[11-15], 나일론66/유리섬유 복합체의 열 이력에 따른 기계적 물성이나 유변학적 물성 변화에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 나일론66/유리섬유 복합체의 경우 나일론66에 30 wt% 이상의 유리섬유를 함유하기 때문에 300 °C 이상의 고온에서 사출가공 될 때 나일론66과는 달리 더 많은 전단력 등이 가해지게 되어 열에 대한 안정성이 떨어질 것으로 예측되고 나일론66과는 다른 열 이력을 보일 수 있어, 이에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다.

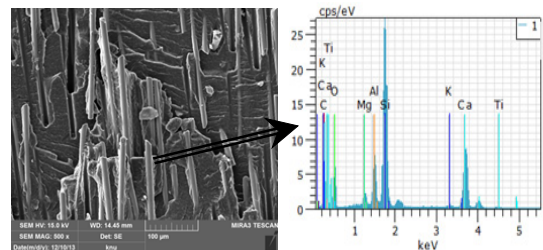
따라서 본 연구에서는 실제 자동차 부품 가공업체에서 사용하는 사출조건에서 나일론66/유리섬유 복합체를 가공할 때의 가공온도로 설정된 이축압출기 (twin screw extruder)를 이용하여, 1, 2, 3차 압출시료를 제조하고, 나일론66/유리섬유 복합체와의 화학구조, 분자량 특성, 열적특성, 기계적 특성 및 유변학적 특성 등을 FT-IR,

¹H-NMR, 용융지수 측정기, DSC, TGA, 동적유변측정기 (ARES), Izod 충격시험기 등을 이용하여 비교 분석하여, 열 이력이 나일론66/유리섬유 복합체의 물성에 미치는 영향을 체계적으로 연구하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험재료 및 압출 조건

나일론66/유리섬유 복합체는 상표명 Vydyne[®] R540H 을 사용하였으며, TGA 분석과 formic acid에 제품을 녹인 후 유리섬유 함량을 측정된 결과 43% 정도로 확인되었다. 유리섬유의 성상을 분석하기 위해 SEM-EDS (Tescan Mira3) 분석을 수행하여 Fig. 1에 나타내었다. SEM 시료면을 금박하여(gold sputter coating) 25kV의 가속전압으로 관찰하였다. 유리섬유 직경은 10.988 - 13.702um 분포를 보였고, EDS의 칼슘과 알루미늄 함량을 고려할 때 E-glass를 사용한 것으로 추정된다. 1, 2, 3차 나일론66/유리섬유 복합체 압출시편은 twin screw extruder (Bautech, BA-11, 한국)를 이용하여 스크류 속도 200 rpm, 압출온도 조건 305/290/273/268/265/260 °C에서 L/D = 36의 다이 (die)를 이용하여 제조하였다. Table 1에 압출시편의 시료명 및 열적특성을 나타내었다.



[Fig. 1] SEM-EDS result for R540H

[Table 1] Summaries for formulation and basic properties.

Sample	No. of extrusion	T _m (°C) ¹	ΔH(J/g) ²	T _d (°C) ³	T _c (°C) ⁴
R540H	0	260.7	40.4	396.7	228.7
R540H-cycle1	1	259.9	44.7	386.1	229.5
R540H-cycle2	2	259.7	32.3	383.6	227.7
R540H-cycle3	3	259.9	54.3	377.5	223.9

¹T_m : melting temperature, ²ΔH : heat of fusion, ³T_d : degradation temperature at 5 wt% loss. ⁴T_c : crystallization temperature

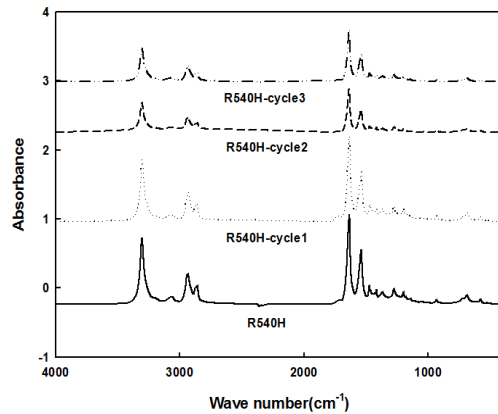
2.2 실험방법

나일론66/유리섬유 복합체의 압출에 따른 화학구조 변화는 FT-IR (Perkin Elmer spectrum 1000)을 사용하여 분석하였고, 용융지수 측정기(오션과학, Model : Coad.1001)를 이용하여 275 °C, 2.16 kg 조건에서 분자량의 상대적 크기를 나타내는 용융지수(Melt index, MI)를 측정하였다. 용융거동은 냉각장치가 부착된 TA Instruments 사의 Q20 시차주사열용량분석기(DSC)를 이용하였고, 승온 및 냉각속도를 ±10 °C/min으로 -50~300 °C의 온도범위에서 2차 승온 곡선을 사용하였다. 열중량분석기(TGA)는 TA Instruments 사의 TGA Q50을 이용하였으며, 승온속도를 10 °C/min으로 하여 상온에서 800 °C의 온도범위에서 실험을 실시하였고, 모든 열분석은 질소분위기하에서 실시하였다. 압출시료의 결정구조 변화를 알아보기 위해 X-선 회절 분석기(X-ray diffractometer, XRD)를 이용하였으며, X-선 회절 분석기는 Rigaku 사의 D/MAX-2500(Cu Kα radiation with λ =0.15406 nm) 장비를, 2θ 범위는 2~40°, 스캔 속도는 2°/min이었다. 충격강도는 충격시험기(대영 C&T, 한국)를 이용하여 2 mm 두께의 시편에 노치를 준 다음 측정하였다. 유변물성측정기(Anton Parr MCR 301, 미국)를 이용하여 복소점도(complex viscosity), 저장탄성률(storage modulus, G') 그리고 손실탄성률(loss modulus, G'') 등을 측정하였다. ARES 실험은 직경 25 mm의 parallel plate를 사용하여 주파수 0.1~100 Hz, gap size 0.9 mm의 조건으로 280 °C에서 수행하였다. Strain의 경우 나일론66/유리섬유 복합체의 strain sweep 결과 30 %까지 선형점탄성 거동이 유지되어 20 %로 하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

나일론66/유리섬유 복합체의 압출횟수에 따른 화학구조 분석은 적외선분광기(FT-IR)을 이용하여 Fig. 2에 나타내었다. 압출횟수에 따른 FT-IR 스펙트럼에 큰 변화가 없음을 알 수 있었고, 나일론의 주요성분인 아민기(NH)와 카르보닐기(C=O)의 신축진동 피이크가 3400 cm⁻¹과 1700 cm⁻¹ 근처에서 나타나고 있다. 나일론66 연구 결과에 의하면[11-14] 나일론66의 열분해는 아미드기에 인접한 N-C 또는 β위치의 C-C 결합이 절단되어, 아미드 결합의 NH가 말단 NH₂ 형태로 바뀌거나, 말단에 2

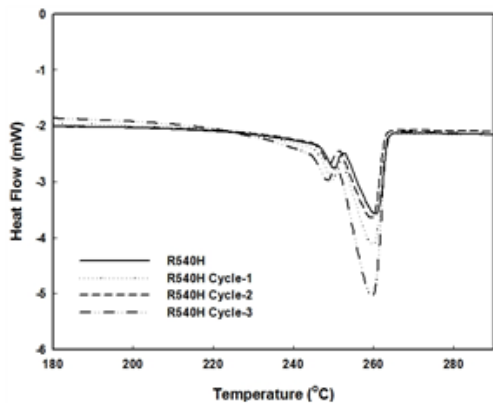
중결합이 생성되거나, 또는 추가적인 반응을 통해 이소시아네이트(-N=C=O, NCO)와 니트릴(-CN)기 등을 생성하는 것으로 알려져 있다. 또한 NCO 등의 반응으로 가교구조가 생성될 수 있다고 예측하였으나, 가교반응이 소량으로 분광기 측정으로 확인할 수 없음을 보고하였다. 일반적으로 NCO와 니트릴의 FT-IR 피이크는 2000에서 2260 cm⁻¹ 근처에서 나타난다. Fig. 2의 FT-IR 스펙트럼에서 모든 압출시편들이 NCO와 니트릴의 피이크를 보이지 않는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 압출반응에 의해 분해가 일어나도 NCO나 니트릴 등이 생성되지 않거나 NCO와 니트릴이 생성되어도 매우 소량이기 때문으로 판단된다.



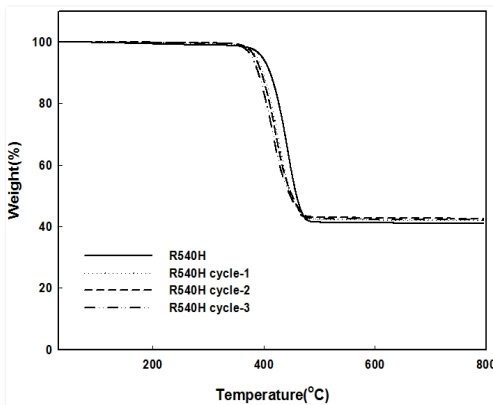
[Fig. 2] FT-IR spectra of R540H extrudates

다음은 나일론 66/유리섬유 복합체의 열적 특성을 분석하기 위하여 DSC와 TGA를 이용하였고, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3 (a)의 DSC 결과로부터 R540H와 압출시편들의 용융거동이 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있고, 이는 압출시편, 즉 스크랩 등의 사출가공시 동일한 가공온도에서 사출가공이 가능함을 보여주는 것이다. 압출시편의 열분해거동을 고찰하기 위해 TGA를 측정하고, 그 결과를 Fig. 3(b)에 나타내었다.

압출시편들의 열분해온도가 R540H의 396.7 °C과 비교할 때 압출횟수에 따라 10-20 °C 정도의 감소를 보이고 있는데, 이는 압출 횟수가 증가함에 따라 분자량이 점차 감소하면서 나타나는 현상으로 유추할 수 있고, Table 2의 실제 용융지수 측정결과와도 일치하고 있다. 압출 횟수가 증가할수록 압출시편의 용융지수가 지속적으로 증가하였다.



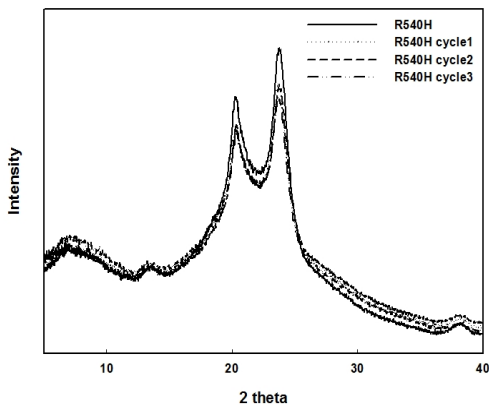
(a)



(b)

[Fig. 3] DSC (a) and TGA (b) thermograms of Nylon66/GF extrudates

R540H의 압출횟수에 따른 압출시료의 결정구조 변화 여부에 대한 확인을 위해 XRD 분석결과를 Fig. 4에 나타내었다.



[Fig. 4] XRD patterns of R540H and extrudates.

기존의 나일론66에 대한 XRD 연구에서[16,17], 20.1° 부근의 피이크는 (100) plane으로 inter-chain 수소결합에 의한 것이고, 23.8° 부근의 피이크는 (010) plane으로 inter-sheet의 배열에 의한 것으로 해석하고 있다. R540H와 압출시편 모두 두 피이크에서의 변화가 거의 없는데, 이는 용융압출에 의한 결정구조 변화가 나타나지 않음을 의미한다.

나일론66 및 복합체의 응용시 주요 요구물성중 하나인 충격특성을 고찰하기 위해 Izod 충격시험을 실시하여 Table 2에 정리하였다. R540H의 충격강도인 17.0 kgf*cm/cm와 비교할 때 압출시편의 충격강도는 압출횟수에 따라 점차 감소하는 것을 알 수 있고, 특히 압출횟수가 2회 이상의 시료에서는 감소폭이 크게 나타남을 알 수 있다. 이결과는 R540H의 경우 2번 이상의 열 이력을 받을 경우 실제 제품의 요구물성에 영향을 줄 수 있는 수준으로 파악된다.

나일론66 수지와 나일론66/유리섬유 복합체의 열 이력에 따른 물성변화를 비교하기 위해 기존의 연구결과 [18]를 이용하여 Table 2에 비교하여 나타내었다. 나일론 66은 Rhodia Engineering Plastics SA의 Technyl A 402 HI을 이용하였다. 나일론66 수지인 420HI의 경우 압출 횟수에 따라 충격강도 변화가 거의 없는 반면, 나일론66/유리섬유 복합체인 R540H의 경우 압출 횟수에 따라 충격강도와 MI가 일정크기 이상으로 감소하는 것을 알 수 있다.

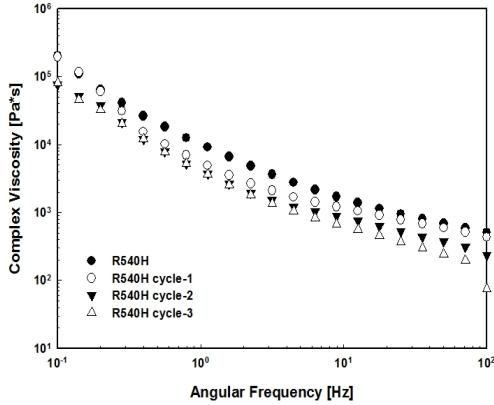
[Table 2] Impact strength and melt index of the extrudates

Sample	Izod impact test (Kgf*cm/cm)		MI (g/10min)	
	R540H	402HI	R540H	402HI
cycle0	17.0	15.2	3.1	8.2
cycle1	14.2	16.5	5.9	8.4
cycle2	12.2	15.8	8.4	9.8
cycle3	12.1	15.8	11.5	11.0

R540H의 충격특성이 압출횟수에 따라 감소하는 것은 나일론66의 분자량 감소와 더불어 압출횟수에 따라 유리섬유의 길이가 짧아져 나타나는 현상으로 유추할 수 있다. 따라서 나일론66/유리섬유 복합체의 재압출품 이용시 최종용도의 요구물성에 대한 고려가 필수적이라 할

수 있다.

Fig. 5는 R540H와 압출시편의 주파수(frequency)에 따른 복소점도(complex viscosity)를 나타낸 것이다.



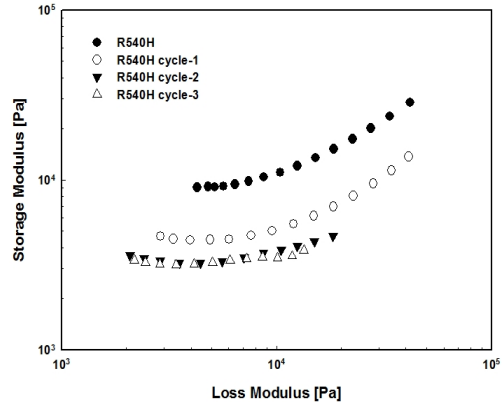
[Fig. 5] Complex viscosities of R540H and extrudates

낮은 주파수(전단) 영역에서 복소점도를 살펴보면, 압출시편들이 나일론66보다 상대적으로 낮게 나타나는데, 이는 분해반응에 의한 분자량 감소에 의한 것으로 설명할 수 있고 이는 Table 2의 용융지수 값에 의해 확인되었다.

일반적으로 전단속도가 낮은 영역에서의 용융점도는 고분자의 분자량과 분자구조 등에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다[19,20]. 선형고분자의 분자량이 증가할수록 lower Newtonian region에서의 복소점도가 증가하게 되는데, 이는 일반적으로 전단응력이 낮은, 즉 전단속도(또는 주파수)가 낮은 부분에서는 분자량이 큰 고분자사슬이 반응하기 때문이다. Fig. 5에서 압출횟수가 2회 이상 시편의 낮은 전단영역에서의 복소점도가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 분자량 감소에 대한 간접적 증거로 해석할 수 있다.

Fig. 6은 저장탄성률(storage modulus, G')과 손실탄성률(loss modulus, G'')에 대한 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 고분자의 분자구조가 바뀌면 $G'-G''$ 곡선의 형태나 기울기가 변화하는 것으로 알려져 있다. 나일론 66의 열분해 메카니즘 연구에서 NCO 등에 의한 가교반응으로 불용성겔 형성을 예측하고 있는데[11,12], 나일론 66/유리섬유 복합체가 열 이력을 받아 가교반응이 일어나게 되면 $G'-G''$ 곡선의 기울기 감소하거나 $G'-G''$ 곡선이 형태가 변화할 것이다. Fig. 6에서 R540H와 비교할 때

압출시편에 대한 $G'-G''$ 곡선의 형태나 기울기가 거의 변화가 없음을 알 수 있는데, 이는 열 이력에 의한 분자구조가 변화하는 반응이 없거나 있어도 소량으로 존재하여 복합체의 $G'-G''$ 곡선 형태 변화에 영향을 미치지 못하기 때문으로 해석할 수 있다.



[Fig. 6] $G'-G''$ plot of R540H and extrudates

4. 결론

나일론 함량이 43 wt%인 나일론66/유리섬유 복합체를 이축압출기를 이용하여 압출 실험에 따라 제조하였고, 화학구조 변화, 열적특성, 기계적 물성, 용융지수, 결정구조 및 유변학적 특성을 분석하였다. 3회의 압출실험 내에서 화학구조 변화가 나타나는 정도의 분해반응이나 가교반응 등이 적외선 분광 스펙트럼으로 확인되지 않았다. 용융온도에 있어서는 큰 차이를 보이지 않았으나 분해온도의 경우 R540H의 396.7 °C와 비교할 때 압출실험에 따라 10-20 °C 정도의 감소를 보이고 있는데, 이는 분자량의 감소에 의한 것으로 용융지수의 증가로 확인되었다. 압출시편의 충격강도가 압출실험에 따라 감소함을 보여주었고, 2회 이상의 압출시료의 경우 실제 요구물성에 영향을 줄 수 있는 수준으로 파악되었다. 압출시편의 $G'-G''$ 곡선의 기울기나 형태가 변하지 않는 것으로부터 압출시편에 가교와 같은 구조변화가 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다. 충격강도의 감소는 분자량의 감소와 더불어 유리섬유의 길이가 짧아져 나타나는 현상으로 유추할 수 있고, 이에 대한 추가 확인이 필요하다.

References

- [1] S. Senthilvelan and R. Gnanamoorthy, Damping characteristics of unreinforced, glass and carbon fiber reinforced nylon 6/6 spur gears, *Polymer Testing*, **25**, 56 - 62 (2006).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.09.005>
- [2] K. Y. Tsanga, D. L. DuQuesnaya, and P. J. Batesb, Fatigue properties of vibration-welded nylon 6 and nylon 66 reinforced with glass fibres, *Composites Part B: Eng.*, **39**, 396 - 404 (2008).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2007.01.012>
- [3] B. S. Lee and B. C. Chun, Effect of nylon66 addition on the mechanical properties and fracture morphology of poly(phenylene sulfide)/glass fiber composites, *Polym Composites*, **24**, 191-198 (2003).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pc.10019>
- [4] S. H. Zhang, G. Chen, C. Cui, C. Mi, and F. Tian, Study on Friction and Wear Behavior of Glass Fiber and Fly Ash Reinforced MC Nylon Composites, *Advanced Tribology*, 460-463 (2010).
- [5] D. M. Dhevi, C. W. Choi, A. A. Prabu, and K. J. Kim, Deterioration in mechanical properties of glass fiber-reinforced nylon 6,6 composites by aqueous calcium chloride mixture solutions, *Polym Composites*, **30**, 481 - 489 (2009).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pc.20613>
- [6] H. Yu, Y. Zhang, and W. Ren, Investigation on the fracture behavior and morphology of maleated poly(ethylene 1-octene) toughened and glass fiber-reinforced nylon 1010, *J. of Appl. Poly. Sci.*, **113**, 181-189 (2009).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.29531>
- [7] J. H. Hong¹, D. M. Dhevi, J. S. Lee, and K. J. Kim. Origin of deterioration in mechanical properties of glass fiber reinforced nylon 6,6 composites by aqueous ethylene glycol solution, *Polym Composites*, **28**, 778 - 784 (2007).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pc.20351>
- [8] F. D. Alsewaleml and R. K. Gupta, Effect of Impact Modifier Types on Mechanical Properties of Rubber-Toughened Glass-Fibre-Reinforced-Nylon 66, *The Canadian J. of Chem Eng.*, **84**, 693 - 703, (2006).
- [9] H. Tohmyoh¹, Y. Ito¹, K. Eguchi, W. Daido, J. Utsunomiya, and Y. Nakano, Creep behavior of glass-fiber-reinforced nylon 6 products, *J. of Appl. Poly. Sci.*, **124**, 4213 - 4221 (2012).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.35393>
- [10] N. L. Surampadia, N. K. Ramisetia, and R. D. K. Misraa, On scratch deformation of glass fiber reinforced nylon 66, *Mater. Sci. and Eng.: A*, **456**, 230 - 235 (2007).
- [11] M. J. Lozano-Gonzalez, M. T. Rodriguez -Hernandez, E. A. G-D. L. Santos, and J. V.- Olmos, Physical-mechanical properties and morphological study on nylon6 recycling by injection molding, *J. of Appli. Polym Sci.*, **76**, 851-858 (2000).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000509\)76:6<851::AID-APP11>3.0.CO;2-D](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000509)76:6<851::AID-APP11>3.0.CO;2-D)
- [12] B. J. Holland and J. N. Hay, Thermal degradation of nylon polymers, *Polym Int*, **49**, 943-948 (2000).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/1097-0126\(200009\)49:9<943::AID-PI400>3.0.CO;2-5](http://dx.doi.org/10.1002/1097-0126(200009)49:9<943::AID-PI400>3.0.CO;2-5)
- [13] R. P. Singh, S. M. Desai, and G. Pathak, Thermal decomposition kinetics of photooxidized nylon 66, *J. of Appl. Polym Sci.*, **87**, 2146-2150 (2003).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.11589>
- [14] M. A. Schaffer, K. B. McAuley., E. K. Marchildon, and M. F. Cunningham, Thermal degradation kinetics of nylon66: experimental study and comparison with model predictions, *Macromol. React. Eng.*, **1**, 563-577 (2007).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mren.200700020>
- [15] S. V. Levchik, E. D. Weil, and M. Lewin, Thermal decomposition of aliphatic nylons, *Polym. Int*, **48**, 532-557 (1999).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0126\(199907\)48:7<532::AID-PI214>3.0.CO;2-R](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0126(199907)48:7<532::AID-PI214>3.0.CO;2-R)
- [16] Y. Li, D. Yan, and E. Zhou, In situ Fourier transform IR spectroscopy and variable -temperature wide-angle X-ray diffraction studies on the crystalline transformation of melt- crystallized nylon1212, *Colloid Polym. Sci.*, **280**, 124-129 (2002).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s003960100571>
- [17] E. C. Botelho, C. L. Nogueira, M. C. Rezende, Monitoring of nylon6,6/carbon fiber composites processing by X-ray diffraction and thermal analysis, *J. of Appl. Polym Sci.*, **86**, 3114-3119 (2002).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.11335>
- [18] B. Y. Lee, C. W. Jo, C. U. Shim, S. J. Lim, and Y. C. Kim, Effect of thermal history on the physical properties of Nylon 66, *Appl. Chem Eng.*, In Press (2014).
- [19] R. K. Ayer and A. I. Leonov, Comparative rheological studies of polyamide-6 and its low loaded nanocomposite based on layered silicates, *Rheol Acta*, **43**, 283-292 (2004).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00397-003-0343-6>
- [20] G. Xu, G. Chen, Y. Ma, Y. Ke, and M. Han, Rheology of a low filled polyamide6/ montmorillonite nanocomposite, *J. of Appl. Poly. Sci.*, **108**, 1501-1505 (2008).
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.27750>

이 봄 이(Bom Yi Lee)

[준회원]



- 2013년 2월 : 공주대학교 신소재공학부 고분자공학전공 (공학사)

<관심분야>

고분자 구조 및 물성, 고분자 가공, 폴리올레핀

김 연 철(Youn Cheol Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 한국과학기술원 화학공학과 (공학박사)
- 1994년 2월 ~ 1996년 12월 : 삼성종합화학연구소 선임연구원
- 1997년 7월 ~ 1998년 9월 : 일리노이대학교 재료공학과 박사후 연수
- 1999년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 고분자공학전공 교수

<관심분야>

고분자 구조 및 물성, 고분자 가공, 폴리올레핀