

나일론66/탄소필러 복합체의 가공조제에 따른 물성 및 용융흐름특성 연구

신경민 · 심창업* · 이정석* · 김연철†[ⓑ]

공주대학교 신소재공학부 고분자공학전공, *에나인더스트리(주)
(2017년 12월 20일 접수, 2018년 1월 24일 수정, 2018년 1월 24일 채택)

Study on the Melt Flow and Physical Properties of Nylon 66/Carbon Filler Composite with Processing Aid

Kyung Min Shin, Chang Up Sim*, Jung Seok Lee*, and Youn Cheol Kim†[ⓑ]

Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, 1223-34 Cheonan way, Cheonan 31080, Korea
*ENA Industry, 144, Mojeon 1 way, Seonggeo-eup, Cheonan 31045, Korea

(Received December 20, 2017; Revised January 24, 2018; Accepted January 24, 2018)

초록: 고탍량 탄소필러의 첨가로 인해 고분자/탄소필러 복합체의 용융흐름특성이 불량하여 기존의 압출공정 또는 사출공정을 통해 제품으로 제조하는 것이 어렵다. 본 연구에서는 나일론66/탄소필러 복합체의 용융흐름특성과 물성에 대한 가공조제의 영향을 고찰하고자 하였다. 탄소필러 종류로는 카본블랙(CB), 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT), 니켈코팅 탄소섬유(Ni-CF) 등이 사용되었다. 가공조제 종류로는 폴리에틸렌 왁스(L-C102N, L-C121N)와 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny(BIS)를 사용하였다. 나일론66/탄소필러 복합체는 이축압출기(twin screw extruder)를 이용하여 가공조제 종류와 함량을 다르게 하여 다이온도 기준으로 280 °C에서 제조하였다. BIS가 첨가된 나일론 66/CB/CNT/Ni-CF 복합체의 경우, 용융흐름특성에 대한 개선이 복소점도 및 용융유동지수로부터 확인되었고, 표면저항과 같은 전기적 특성 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

Abstract: It is difficult to fabricate the product of the polymer/carbon filler composites with high carbon filler content through the conventional extrusion or injection process due to poor melt flow properties. In this study, the effect of processing aid on the melt flow and physical properties of the nylon66/carbon filler composites was discussed. The carbon fillers such as carbon black (CB), multi-walled carbon nanotube (MWCNT), nickel coated carbon fiber (Ni-CF) were used. Polyethylene-wax (L-C102N, L-C121N) and 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny (BIS) were used as the processing aids. The nylon66/carbon filler composites with different processing aid types and content were fabricated by using a twin-screw extruder at 280 °C of die temperature. In case of nylon66/CB/CNT/CF composites with BIS processing aid, an improvement of melt flow properties was certified by the complex viscosities and melt flow index, and there was little change in electrical properties such as surface resistivity.

Keywords: nylon66, carbon filler, electrical property, melt flow properties, processing aid.

서 론

최근 IT의 기술발달로 자동차산업에서는 품질 기반의 안전 보장에서 전자 시스템을 통한 능동안전 개념의 고안전성 제품으로 이동하고 있으며 이는 기존 기계 산업 위주의 시스템 적용방식에서 첨단 IT 융합산업 시스템 적용 방식으로 변화함에 따라 차량 전자부품 시스템 구성이 복잡해지고, 전자자동차 등 향후에도 전기적으로 제어하는 자동차 부품들이 증

가할 것으로 예상된다. 이와 같이 자동차에 적용 증가가 예상되는 전자부품에서 발생하는 전자파로 주변 전자기기의 오작동을 초래할 수 있다.¹ 센서 및 컨트롤러 등 각종 전자부품에서의 오작동은 급발진 등 자동차 안전문제와 더불어 방출된 전자파가 인체에 발열을 유발하는 등의 직접적인 피해 또한 가능하다. 이러한 전자파에 의한 오작동 등을 전자파장애(electromagnetic interference, EMI)라 하며, EMI의 영향은 밀집도가 크고 정밀한 부품을 많이 사용하는 장비일수록 민감하기 때문에 소형화, 고집적화, 고속화 및 다기능화를 지향하는 현대 전기·전자 및 통신산업 등에 있어서 치명적인 장애요인으로 대두되고 있다.² 따라서 전자파장애에 대한 대책방안으로 엄격한 규제가 마련되어 있으며, 전자파차폐기능을 가

†To whom correspondence should be addressed.
younkim@kongju.ac.kr, ORCID[ⓑ]0000-0003-1094-7460
©2018 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

진 자동차부품 소재에 대한 관심과 연구가 증가하고 있다.^{3,4}

전자파차폐 성능은 일반적으로 dB로 나타내며, 30 dB 이상의 소재를 전자파차폐 성능을 가지는 것으로 간주하며, 표면저항으로는 대략 수 Ω/cm 미만의 값을 나타내는 것으로 알려져 있다.^{5,7} 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT), 탄소섬유(carbon fiber), 카본블랙(carbon black, CB), 그래핀(graphene) 등과 같은 탄소소재는 전기적 성질이 우수하여 도전손실을 증가시키기 때문에 전자파차폐에 효과적으로 이용될 수 있어,^{8,9} 경량화와 전자파차폐를 목적으로 하는 자동차용 복합소재로서, 기존 전자파차폐 재료인 금속을 대체하는 고분자/탄소 필러 복합소재는 완성차 업체 뿐만 아니라 복합소재 업체를 중심으로 기술개발이 진행되어 왔다.

고분자 복합소재를 응용한 전자파차폐 제품은 사출공정만으로 제품화가 가능하기 때문에 생산성 및 원가 측면에서 이점이 상당하다 할 수 있다. 더불어 고분자 복합재료는 낮은 밀도, 내구성 및 우수한 성형성 등의 장점으로 기존의 전자파차폐 소재를 고분자 복합소재로 대체하는 추세이다.¹⁰⁻¹² 현재 개발되었거나 개발 중인 전자파차폐용 고분자 복합소재는 열경화성 수지/탄소섬유 복합소재와 니켈이 코팅된 연속상 탄소섬유(Ni-CF)를 열가소성 고분자에 인발성형하여 제조한 복합소재 등이 있으나, 가공성 및 생산성 저하 등의 문제로 상용화가 어려운 실정이다.¹³ 열가소성 복합소재에 대한 기술개발 및 상용화 예로, 국내 제일모직의 나일론/탄소섬유/금속필러 복합소재와 국외의 경우 RTP의 나일론/Ni-CF 그리고 Premier의 장섬유 형태의 Ni-CF를 인발성형한 PC/ABS/Ni-CF 복합소재 등이 있는데, 이들 복합소재들의 시장 적용 의견을 종합하면 전자파차폐 성능(50 dB 이상)을 만족하지 못하거나 탄소섬유와 같은 섬유보강제와 전도성 필러의 함량이 높아 용융 가공 시 스크류 마모와 용융 흐름특성(고용융점도, 성형수축 및 사출성형 불량 등)의 문제가 있는 것으로 파악되고 있다.^{14,15}

또한 내열도가 요구되는 자동차 내장부품으로 주로 사용하는 복합체는 폴리아미드계 소재로서 본 기술개발에서는 폴리아미드계 수지에 전도성 필러를 혼합하여 전도성 플라스틱 소재를 연구하고자 하였다. 50 dB 수준의 폴리아미드/전도성 필러 복합체를 개발하기 위해서는 고함량의 탄소필러가 요구되는데, 사출성형 시 흐름성의 문제가 발생한다. 폴리아미드계 수지인 나일론과 탄소섬유 복합소재의 사출성형 시 가공 온도를 높여 흐름성을 조절하려는 시도를 하였으나, 고온에서 폴리아미드 수지의 열분해와 함께 외관 불량 등의 문제가 발생하고, 이러한 열분해는 나일론의 기계적 물성을 저하시키는 직접적인 요인이 된다.¹⁶ 폴리아미드 수지 자체에 대한 흐름성과 관련하여 활제와 같은 유동 조절제를 사용하여 흐름성을 개선하는 연구가 일부 수행하였으나,^{17,18} 폴리아미드/탄소필러 복합체의 흐름특성 개선을 위한 연구는 미미한 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 MWCNT, CB, Ni-

CF 등이 적용된 나일론66 복합체의 흐름특성 및 물성에 미치는 가공조제의 영향을 체계적으로 연구하고자 하였다.

실 험

재료. 나일론66은 선진폴리머사의 용융유동지수(MI, 275 °C, 2.16 kg) 73 g/10 min, 용점 260 °C, 밀도 1.13 g/cm³, 표면저항 1×10⁹ ohm인 A3W를 사용하였고, 카본블랙(carbon black, CB)은 평화약품사의 직경 34 nm, pH 9, DBP absorption 495 mL/100 g인 KETJENBLACK EC 600JD를, 다중벽 탄소나노튜브(multiwalled carbon nanotube, MWCNT)는 CNT사의 직경 10~40 nm, 길이 1-25 μm, 순도 93%인 CTUBE 100을 사용하였으며, 니켈 코팅된 탄소섬유(nickel coated carbon fiber, Ni-CF)는 볼스원신소재사의 직경 7 μm, 밀도 2.65~3 g/cm³, 전기전도도 ≥ 8.2×10³ Ω/cm, 인장강도 ≥ 2.5 GPa이며 길이가 6 mm인 Mcf chop carbon fiber를 사용하였다. 산화방지제는 Ciba specialty chemicals사의 IRAGANOX 1010을 0.3 wt%로 적용하였으며, 가공조제는 윤활제 종류인 용점 90~120 °C, 밀도 0.90~0.98 g/cm³인 polyethylene-wax(L-C102N, L-C121N)와 아민 광안정화제계 화합물(C₂₈H₅₂N₂O₄)로 인화점 216 °C, 분자량 480.72 g/mol, 용점 82~85 °C인 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny(BIS)를 사용하였다.

복합체 제조 및 시편제작. 나일론66/탄소필러 복합체 제조 시 나일론66, 탄소필러들은 80 °C 오븐에서 6시간 이상 충분히 건조한 후, 가공조제 종류 및 함량에 따라 이축압출기(바우테크 BA-19, L=760 mm, D=19 mm, L/D=40 cm)를 이용하여, 150 rpm, 280/280/280/280/280/280/270/265 °C의 조건에서 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체를 제조하였다. 이때 CNT와 CB의 함량은 본 연구실의 기존 연구결과에¹⁹ 따라 2 wt%로 고정하였으며, Ni-CF의 함량은 전자파차폐 성능 50 dB를 만족하는 수준인 20 wt%로 고정하여 투입하였고, 산화방지제는 모든 시편에 대해 0.3 wt%를 첨가하였다. 가공조제가 사용되지 않은 나일론66/탄소필러 복합체를 PA/CF로 명명하

Table 1. Nomenclature and Material's Composition of the Composites

Sample name (PA66)	Carbon filler (wt%)			Processing aid filler (wt%)		
	CB	CNT	Ni-CF	102N	121N	BIS
PA/CF				-	-	-
102N-1				1	-	-
121N-1				-	1	-
BIS-1	2	2	20	-	-	1
BIS-2				-	-	2
BIS-3				-	-	3
BIS-4				-	-	4

였고, 가공조제가 적용된 복합체의 경우 가공조제 약어를 사용하여 나타내었으며, Table 1에 시료명과 조성을 정리하였다. 복소점도, 표면저항 등을 측정하기 위한 압축시편은 280 °C의 가열프레스를 이용하여 제작하였으며, 전자파차폐 성능, 기계적 물성 측정을 위해 사출시편은 사출기(SeiEX 130)를 이용하여 50 rpm, 285 °C에서 제작하였다.

분석 및 측정. 나일론66/탄소필러 복합체의 인장특성은 만능시험기(Qmesys QM100T, universal testing machine, UTM)를 이용하여 3 mm 두께의 dog-bone형태의 사출시편으로 cross head speed 5 mm/min으로 측정하였다. 굽곡시험은 125 mm × 12 mm × 6 mm의 사출시편을 3점 굽힘시험방법으로 cross head speed 1 mm/min으로 측정하였다. 복합체의 가공특성을 상대적으로 비교하기 위해 복소점도를 측정하였으며, 직경 25 mm의 원형 압축시편을 동적유변측정기(Anton paar MCR301)를 이용하여 280 °C에서 0.9 mm gap 간격의 parallel plate, 주파수 0.01-100 Hz 범위에서 측정하였고, 변형(strain)은 strain sweep 결과 선형 점탄성이 유지되는 20%로 고정하였으며, 흐름성을 확인하기 위해 오션과학의 용융지수 측정기(Coad. 1001)를 이용하여 ASTM D1238 규격을 준용하여 275 °C, 2.16 kg 조건에서 측정하였다. 열중량분석기(TGA)는 TA Instruments사의 TGA Q50을 이용하였으며, 승온속도를 10 °C/min으로 하여 상온에서 800 °C의 온도범위에서 실험을 실시하였고, 모든 열분석은 질소분위기 하에서 실시하였다. 표면저항은 표면저항 측정기(LORESTA-GP사 MCP-T610, resistivity tester)를 이용하였으며, 표면저항실험은 두께 2 mm, 2 cm × 2 cm의 정사각형 모양의 시편으로 4-point probe로 측정하였다. 가공조제에 따른 형태학적 분석을 위해 주사전자현미경(Tescan Mira3, scanning electron microscope, SEM)을 이용하였으며, 시편의 관찰표면을 금박 코팅을 하여, 가속전압 20 kV으로 관찰하였다. 전자파 차폐성능을 측정하기 위해 KS C 0304의 시험규격에 따라 차폐효과시험장치(ELECTROMETRICS사 EM-2107A(Shielding effectiveness test Fixture))를 이용하였으며, 측정된 결과 분석은 네트워크분석기(Agilent사 E5071C, network analyzer)를 사용하였다. 차폐시편은 두께 2 mm, 지름 14 cm 이상의 원형 모양의 시편으로 사출성형으로 제조하여 사용하였다.

결과 및 토론

가공조제 종류별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 물성. Figure 1은 가공조제 종류별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 표면저항을 나타낸 것이다. 모든 가공조제의 함량은 1 wt%으로 고정하였다. Figure 1의 실험결과를 보면 PA/CF의 2.1 Ω/cm를 기준으로 가공조제가 첨가된 복합체의 표면저항 값의 변화 정도는 미미함을 알 수 있는데, 이 결과로부터 소량의 가공조제가 첨가되어도 전기적 물성에 큰 영향을 미

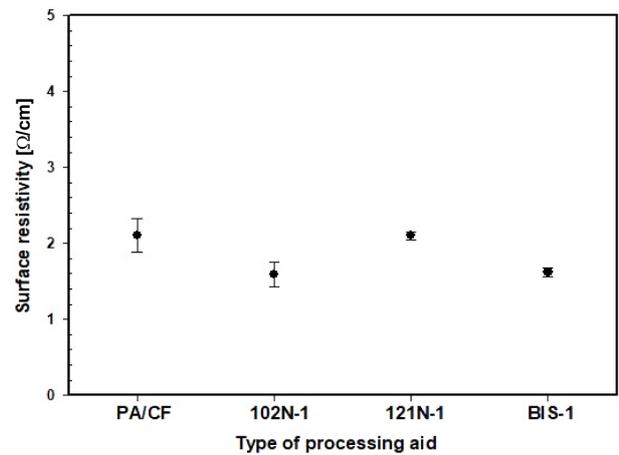


Figure 1. Surface resistivity of nylon66/carbon filler composite with type of processing aid added.

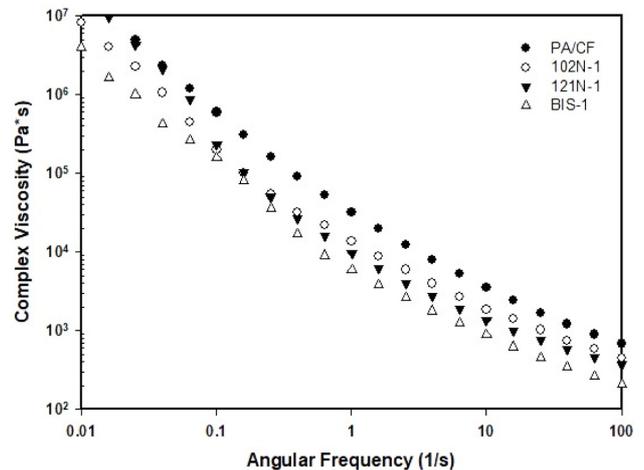


Figure 2. Complex viscosities of nylon66/carbon filler composites with different processing type.

치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

Figure 2는 가공조제 종류별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 주파수(frequency)에 따른 복소점도를 비교한 그래프이다. PA/CF와 비교할 때 가공조제를 사용할 경우 실험이 진행된 주파수 영역에서 복소점도가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 특히, BIS를 첨가하여 제조한 BIS-1의 복소점도가 가장 크게 감소하였다. 이러한 이유는 BIS 즉, 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny가 아미드기를 가지고 있는 구조로 나일론66의 아미드기와 수소결합으로 혼화성능이 우수하여 PE 왁스보다 가소화 특성 개선에 효율적인 것으로 유추할 수 있다.

고분자 복합소재가 자동차용 부품과 같은 산업소재로 가공될 때 용융흐름지수(melt flow index, M(FI))가 흐름특성을 판단하는 중요한 인자로 취급되기 때문에 가공조제 종류에 따른 MI 변화를 측정하였다. Figure 3은 가공조제 종류별 나

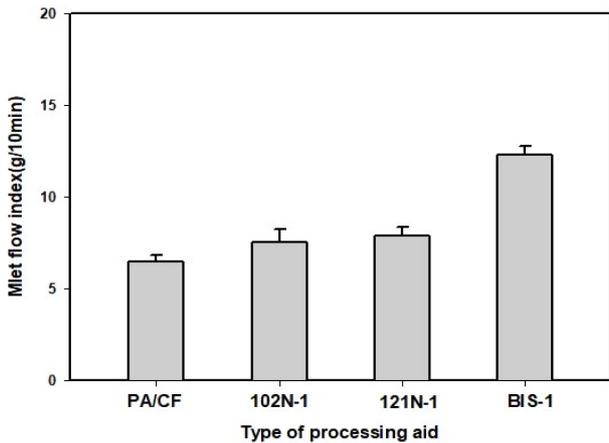


Figure 3. Melt flow index of nylon66/carbon filler composite with type of processing aid added.

일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 MI를 나타낸 그래프이다. Figure 3 결과에 따르면 가공조제가 포함되지 않은 PA/CF 복합체에 비해 가공조제를 포함한 복합체의 경우 전체적으로 MI가 상승됨을 보였으며, 윤활제 종류인 102N-1과 121N-1의 경우 가공기기와 고분자의 마찰을 감소시키는 외부윤활제로 작용하여 각각 16, 22%의 상승을 보이는 반면, BIS-1의 경우 약 90%의 용융흐름지수 개선 효과를 보이고 있다. BIS의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 아미드기의 존재로 나일론 66과의 혼화특성이 양호하여 나타나는 결과로 유추할 수 있

Table 2. Physical Properties of Nylon66/carbon Filler Composites with Type of Processing Aid

Sample name (PA66)	Tensile strength (MPa)	*Injection molding	
		Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)
PA/CF	112.0	159.9	8.01
102N-1	102.5	158.1	7.89
121N-1	104.3	153.1	7.53
BIS-1	100.1	149.6	7.34

고, BIS의 경우가 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 흐름특성 개선에 가장 효과적임을 알 수 있다.

Table 2는 사출기를 이용하여 제작한 가공조제 종류별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체 사출시편의 기계적 물성을 나타낸 것이다. 전체적으로 PA/CF와 비교할 때 첨가제를 첨가한 복합체의 기계적 물성이 다소 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

이는 저분자량의 첨가제가 복합체 내에 기공을 발생하여 기계적 물성이 감소하는 것으로 예측되며 Figure 4의 SEM 사진으로 일부 기공이 확인되었다. Figure 4는 이축압출기를 이용하여 제조된 가공조제 종류별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 파단면과 표면을 관찰한 SEM 사진이다. 102N-1, 102N-1에 비해 BIS-1의 사진에서 더 크고 많은 기공이 관찰

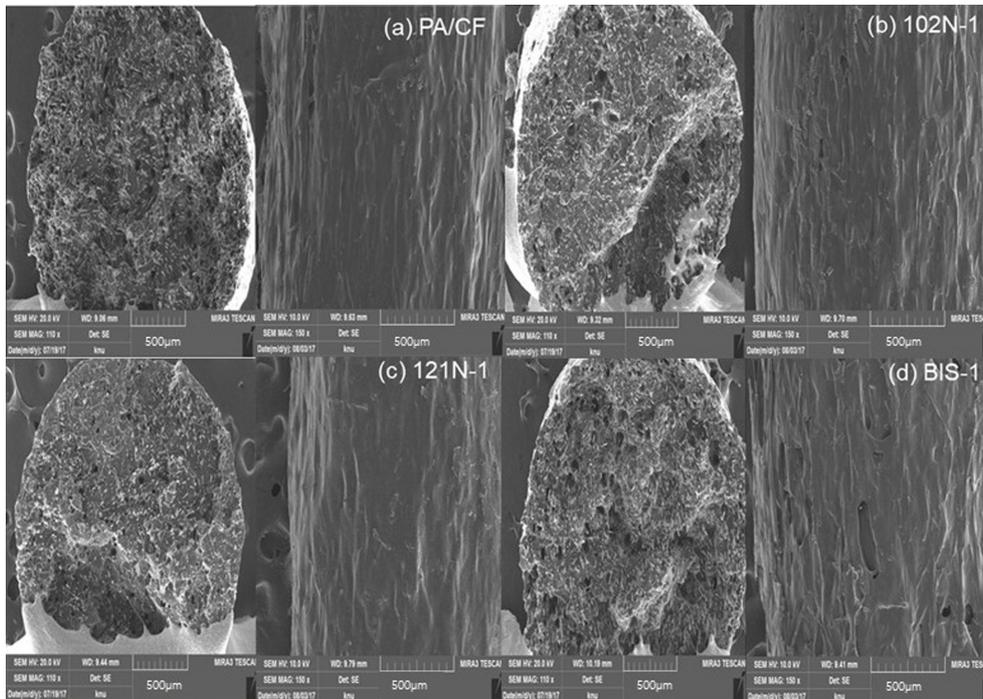


Figure 4. SEM images of nylon66/carbon filler composite with type of processing aid added.

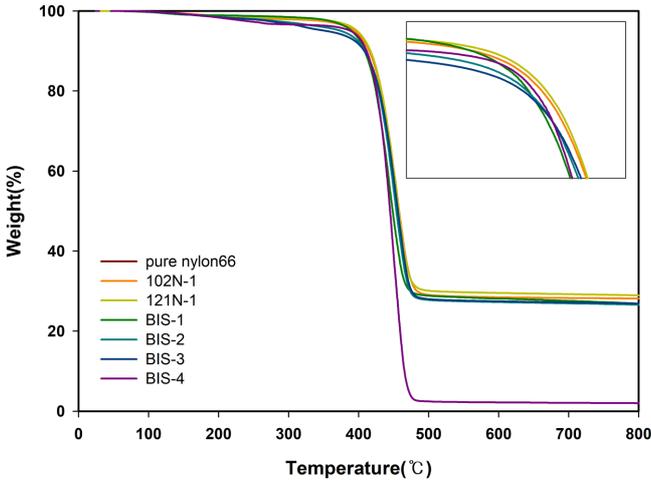


Figure 5. TGA thermograms composite with type of processing aid added.

되었으며 이는 가공조제의 열적 안정성 등과 관련된 것으로 예측된다. 비록 형태학적, 기계적 물성 측면에서 121N과 102N이 BIS에 비해 양호한 특성을 보이나, BIS의 기계적 물성 감소 폭이 크지 않아 산업적 응용에 문제가 되지 않는 수준으로 판단된다.

Figure 5는 순수 nylon66와 가공조제 종류에 따른 총 6종의 시편에 대한 TGA 곡선을 나타낸 것이다. 분해온도(T_d)는 무게 감소율이 5% 되었을 때를 측정된 값으로, 순수 nylon의 경우 388 °C의 열분해 온도를 보이고 102N, 121N를 첨가할 경우 각각 394, 395 °C로 나타났으며, BIS를 첨가할 경우 390 °C의 열분해 온도를 보인다. 활제 종류의 가공조제를 사용할 경우 분해온도가 소폭 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 가공기간의 마찰을 감소시켜 열적 특성을 향상시키는 요인으로 작용하는 것으로 해석되며, BIS의 경우 순수 나일론의 열분해 온도와 거의 동일하여 BIS의 첨가가 열안정성에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 또한 500 °C 이상에서는 필러 및 첨가제가 첨가되지 않는 순수 nylon66 대비 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체 경우 탄소계 필러(CB, CNT, CF 등)의 첨가로 대략 28%의 잔류물 함량을 나타내고 있다.

가공조제 함량별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 물성. Figure 6은 용융흐름에서 가장 큰 개선을 보인 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny(BIS) 가공조제 함량별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 표면저항을 나타낸 것이다. BIS의 함량이 3 wt%까지는 1~2 Ω/cm로 비슷한 값을 보이나 4 wt% 이상의 함량일 경우 표면저항 값이 급격하게 상승하는데 이는 수치 내에 과다 함량으로 인해 표면특성이 떨어져 표면의 저항이 상승하는 것으로 예측되며, BIS의 함량 선정 시 고려되어야 한다. Figure 7은 BIS 가공조제 함량별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 주파수(frequency)에 따른 복소점도를 비

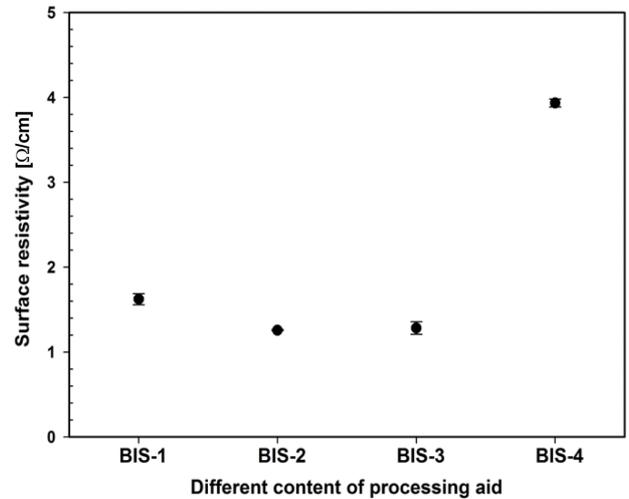


Figure 6. Surface resistivity of nylon66/carbon filler composite with content of processing aid added.

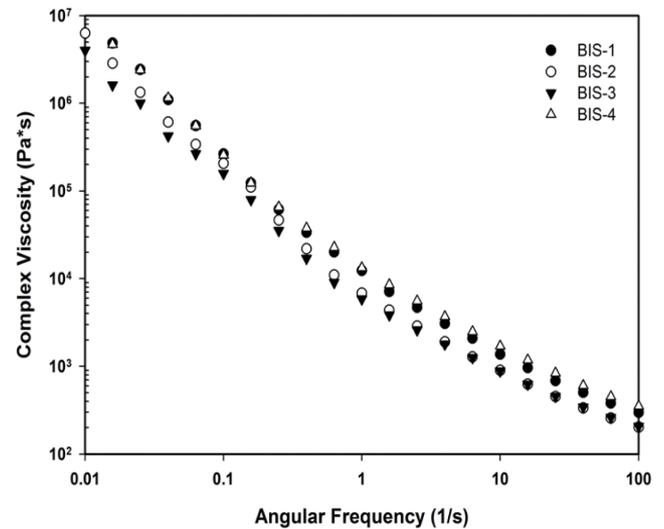


Figure 7. Complex viscosity of nylon66/carbon filler composite with content of processing aid added.

교한 그래프이다. BIS의 함량이 3 wt%까지는 복소점도에 있어서 감소하는 경향을 보이나, 3 wt% 이상 첨가된 경우에는 유사한 값을 나타낸다. Table 3의 데이터를 보면 2 wt%일 때 기계적 물성이 최적을 나타내었고 그 이상의 함량을 첨가할 경우 기계적 물성의 저하를 보이는데 이는 기존의 연구결과에²⁰ 의하면 소량의 BIS는 소재의 표면과 흐름 특성을 향상시키는 것으로 알려져 있으며 과다의 함량이 첨가될 경우 표면에 이행(migration)되어 표면특성을 떨어트리며 수치 표면에 기공을 유발할 수 있는 요인으로 작용하기 때문에 사출 성형 시 문제를 발생시킬 수 있다는 연구결과를 확인하였고, 이를 Figure 8의 SEM 사진을 통해 확인하였고, BIS가 2 wt%

Table 3. Physical Properties of Nylon66/Carbon Filler Composite with Content of BIS Added

Sample name (PA66)	*Compression molding		
	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)
BIS-1	29.9	48.2	2.78
BIS-2	34.5	61.4	4.07
BIS-3	23.7	46.0	2.55
BIS-4	14.8	31.5	2.52

이상의 함량이 첨가된 경우 복합체 표면에 상대적으로 많은 기공이 나타나고, 표면 외관특성이 저하됨을 확인하였다.

Figure 9는 가공조제 함량별 나일론66/CNT/CB/Ni-CF 복합체의 용융흐름지수를 나타낸 그래프이다. BIS 3 wt%까지는 가공조제 함량이 증가함에 따라 용융흐름지수 값이 상승함을 보이지만, 4 wt% 이상의 경우 오히려 1 wt%일 때 보다 낮은 용융흐름지수 값을 보이는데 이는 BIS의 흐름성 개선 효과에 미치는 함량은 최대 3 wt% 이하일 때에 효과적인 영향을 미치는 것으로 확인할 수 있다. 앞의 전기적 특성과 복

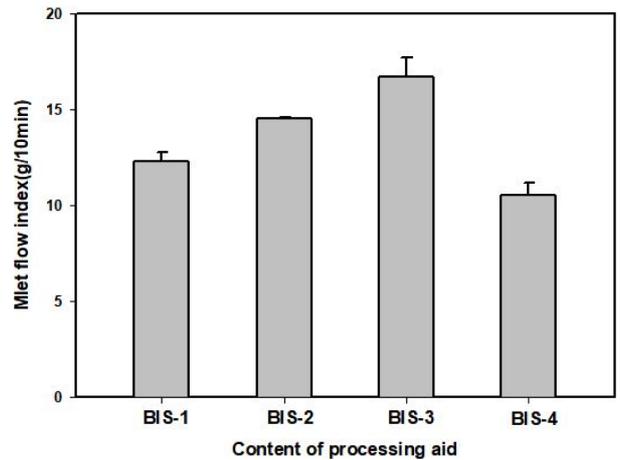


Figure 9. Melt flow index of nylon66/carbon filler composite with content of processing aid added.

소점도 및 용융흐름에 대한 결과를 고려할 때, BIS의 함량이 2 wt% 첨가된 복합체가 적합한 함량으로 확인되었다.

Figure 10은 BIS 함량 2 wt%로 고정하고, Ni-CF의 함량에 따른 복합체의 전자파 차폐 성능을 확인하기 위해 시출기를

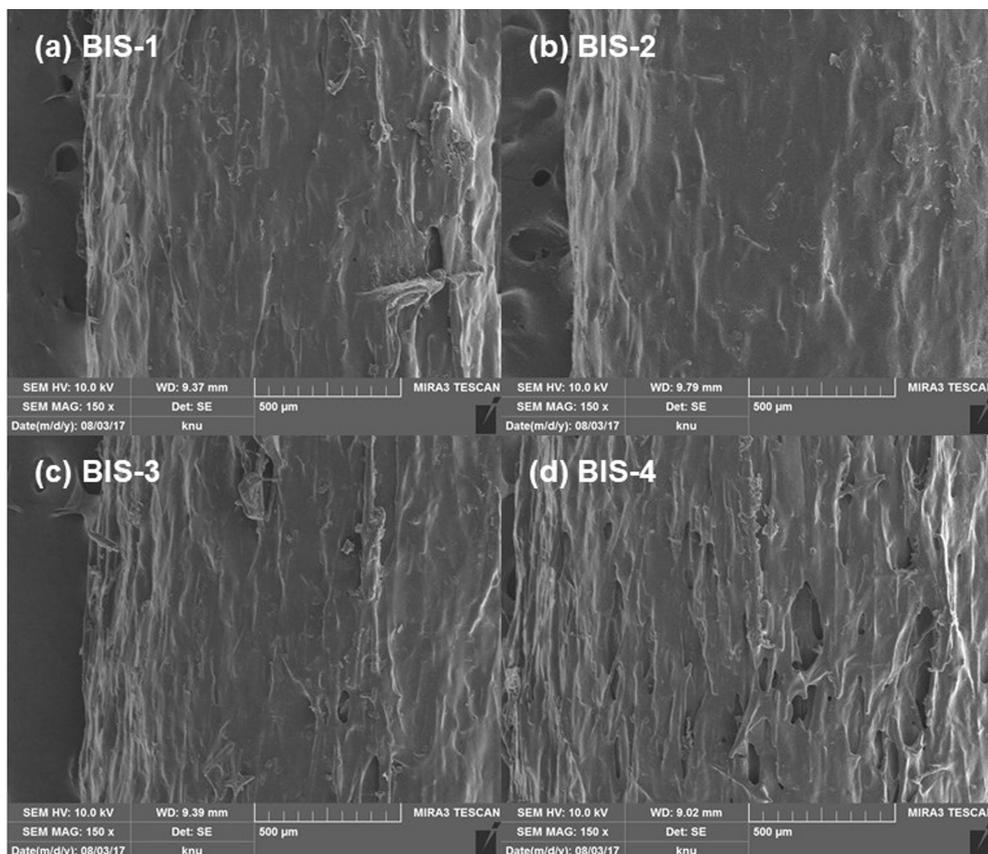


Figure 8. SEM images of nylon66/carbon filler composite with content of processing aid added.

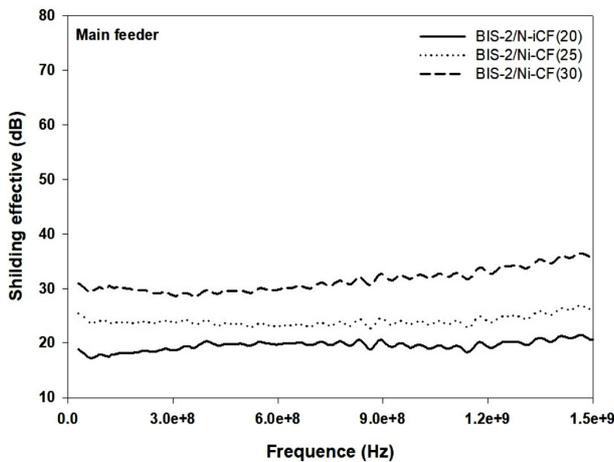


Figure 10. EMI shielding effectiveness of nylon66/carbon filler composites for the specimen fabricated by main feeder.

이용하여 제작한 사출시편의 주파수에 따른 차폐효율(dB)을 나타낸 것이다. Ni-CF의 함량에 따라 전자파차폐 성능이 증가하는 것을 알 수 있고, 함량이 30 wt%일 때 전자파차폐 소재로 응용이 가능한 30 dB 이상의 차폐 성능을 보이는 것을 확인하였다.

결 론

가공조제 종류별 복합체의 물성을 확인한 결과, 소량의 가공조제를 첨가할 경우, 표면저항에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었으며, 가공조제가 1 wt% 첨가된 복합체에서 BIS를 사용한 경우 용융흐름성 개선에 가장 효과적임을 용융흐름지수와 복소점도를 이용하여 확인하였으며, 이는 BIS가 화학적 구조 내에 아마이드 결합을 가지고 있는 구조로 폴리 아마이드의 아마이드 결합과 수소결합을 형성하여 가소화 특성을 향상시키기 때문이다. 또한 가공조제의 첨가가 복합체의 열안정성을 저하시키지 않는 것으로 관찰되었으나, 기계적 물성은 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 기계적 물성의 감소는 자동차용 부품소재로 적용시 문제되는 수준은 아닌 것으로 판단된다. BIS의 함량이 4 wt% 이상 첨가될 경우 표면저항, 용융흐름성 및 기계적 물성이 감소하는데, 이는 저분자량 화합물인 BIS의 표면 이행에 의한 표면 불량과 일부 기공 발생에 의한 것으로 유추된다.

감사의 글: 본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화산업육성사업(R0006388)”와 2017년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No:20154030200940).

참 고 문 헌

1. D. R. J. White, *EMI Control Methodology and Procedures*, Don White Consultants, Gainesville, 1985.
2. H. B. Shim, M. K. Seo, and S. J. Park, *Polym. Korea*, **24**, 860 (2000).
3. H. I. Kim, J. Yun, Y. Y. Kim, and Y. S. Lee, *Carbon Lett. (Korea)*, **12**, 48 (2011).
4. Y. Y. Kim, J. Yun, H. I. Kim, and Y. S. Lee, *J. Ind. Eng. Chem.*, **18**, 392 (2012).
5. A. Goldel, G. Kasaliwal, and P. Potschke, *Macromol. Rapid Commun.*, **30**, 423 (2009).
6. A. T. N. Pires, J. Roeder, R. V. B. Oliveira, M. C. Goncalves, and V. Soldi, *Polym. Test.*, **21**, 815 (2002).
7. D. M. Bigg, *Polym. Compos.*, **8**, 1 (1987).
8. C. H. Chung, J. G. Kim, and Y. S. Lee, *Appl. Chem. Eng.*, **22**, 138 (2011).
9. V. Eswaraiyah, V. Balasubramaniam, and S. Ramaprabhu, *Nanoscale*, **4**, 1258 (2012).
10. A. Chakraborty, D. Khastgir, N. C. Das, and T. K. Chaki, *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf.*, **31**, 1069 (2000).
11. B. Z. Jang, *ASM Int.*, **3**, 305 (1994).
12. A. K. Mallick, P. B. Jana, and S. K. De, *Composites*, **22**, 451 (1991).
13. C. Y. Huang and C. C. Wu, *Eur. Polym. J.*, **36**, 2729 (2000).
14. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **36**, 555 (2012).
15. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **36**, 677 (2012).
16. S. N. Grag and A. Misra, *Macromol. Rapid Commun.*, **2**, 241 (1981).
17. J. H. Mo, W. J. Chung, and M. Y. Lyu, *Elast. Compos.*, **38**, 295 (2003).
18. J. H. Mo and M. Y. Lyu, *Transact. Mater. Process.*, **13**, 515 (2004).
19. K. M. Shin and Y. C. Kim, *Polym. Korea*, **3**, 524 (2017).
20. S. Y. Park and K. B. Jung, Korea Patent 10-2017-0032936 (2017).