

이온주입법에 의한 고분자 소재의 전기 전도도 향상

Improvement of electric conductivity in Polymer material Ion Implantation

*김경균¹, #김정석², 강명창²

*K. K. Kim¹, #J. S. Kim(juskim@pusan.ac.kr)², M.C.Kang²

¹ 부산대학교 정밀기계공학과, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Electrical Conductivity, Polymer Material, Ion Implantation

1. 서론

최근에는 반도체 및 전자산업의 급속한 발전으로 엔지니어링 플라스틱 제품의 수요가 급격히 증가하고 있다. 일반적으로 고분자재료는 전기절연성이 양호하므로 표면을 마찰하거나 이종재료와 접촉시키거나 박리하면 정전기를 발생한다. 마찰에 의해서 순간적인 정전기는 30,000볼트 이상의 전기를 일으키게 되어서 반도체와 전자제품의 불량에 영향을 미치며, 품질 저하 및 경제적인 손실의 주요 원인으로 작용하고 있다[1-2].

따라서 정전분산(Electrostatic dissipation) 엔지니어링 플라스틱 제품의 수요는 전기전자 제품 제조에서 필수적인 공정부품으로 사용되고 있으며 전기전도성(Electric conductivity)이 $10^3 \sim 10^{10} \Omega/\text{cm}^2$ 정도가 요구되고 있다. 정전 분산성이 우수한 플라스틱 제품의 제조방법은 크게 3가지로 분류할 수가 있다[3-5].

첫 번째는 고분자 자체가 전기전도성을 가지는 전도성 고분자 소재 합성 방법으로써 상업적인 적용에 한정적이며 경제성이 없다. 두 번째는 전기전도성 재료를 첨가하여 전기전도성을 부여하는 고분자 복합체를 제조하는 방법으로써 현재 상업화되고 있는 기술이지만, 전도성 재료 함유량이 증가 할수록 기계적 물성이 저하되어 제품 설계가 제한적인 단점이 있다. 세 번째는 정전 분산용 코팅 방법으로써 코팅 가격이 고가이며, 코팅할 수 있는 고분자 종류가 제한적이다.

현재 보편적으로 사용되고 있는 고분자 제조 방법은 도전성 재료를 첨가하여 정전기 문제를 해결하려고 시도하고 있지만 도전성 재료인 금속섬유, 금속분말, 카본 섬유 또는 카본 블랙의 함량이 증가할수록 충격강도가 약해지며, 가공성도 현저히 나빠져서 대량 생산시 문제가 되고 있다. 또한, 카본블랙과 같은 과량의 도전성 첨가제는 고분자 소재 표면으로 굽혀 나오면서 정밀 전기전자 제품에 불량을 야기 시킨다. 그러므로 최근에는 기계적 물성 확보와 생산단가 절감을 위하여 도전성 재료 함유량은 최소로 하면서 전기전도성은 유지시키는 새로운 방식의 정전분산 플라스틱의 제조 기술이 요구되고 있다[6-8].

따라서 본 연구에서는 도전성 충전제인 카본블랙(CB, carbon black), 카본섬유(CF, carbon fiber)가 함유하여 제조된 고분자 소재에 이온 주입 기술(Ion implantation)을 이용한 표면 개질(Surface modification)을 통해서 최적의 기계적 물성, 전기적 특성을 만족하는 정전분산 엔지니어링 플라스틱의 소재를 개발 하고자 한다.

즉, 이온주입을 통한 전기전도성 고분자 소재는 기존의 전기전도성 고분자 복합체와 비교하여 전도성 충전제의 함량을 줄일 수 있음으로써 동일한 전기전도성에서도 우수한 기계적 물성과 가공성이 좋아지므로 작고 박리한 제품을 설계하고 제작하는데 유용하게 활용 될 수 있다.

2. 실험방법

본 연구에서는 기계적 물성을 고려한 정전 분산 첨가제의 함유량에 따른 이온 주입 조건 최적화로 고기능성 정전 분산 플라스틱을 개발하는 것이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 일반적으로 전도성 필러가 첨부된 전도성 플라스틱의 표면을 살펴보면 전도성 필러가 플라스틱 내부에 위치하거나 표면 밖으로 돌출되어서 표면 상태가 거칠어지

면서 전기 전도도가 떨어진다. 본 연구에서 제안하는 새로운 모델은 플라스틱 사출 공정에서 전도성 필러가 플라스틱 표면 밖으로 돌출하지 않으면서 표면 가까이 위치하도록 사출 공정을 최적화한 뒤 이온 주입에 의한 표면 개질 처리로 전기 전도성 향상을 최상으로 하고자 한다.

먼저 Filler 의 L/D control 과 Viscosity control 을 통한 Filler orientation 최적화를 확립한 뒤 플라스틱 사출 성형시 냉각 Filler 를 첨가하여 플라스틱 냉각 시간을 제어하여 Filler 가 플라스틱 표면 가까이 위치하도록 하였다. 이렇게 사출 성형된 제품에 이온주입 에너지와 이온 주입량에 따른 물리적 물성치를 분석하였다. 표 1은 이온주입 조건을 나타내었다.

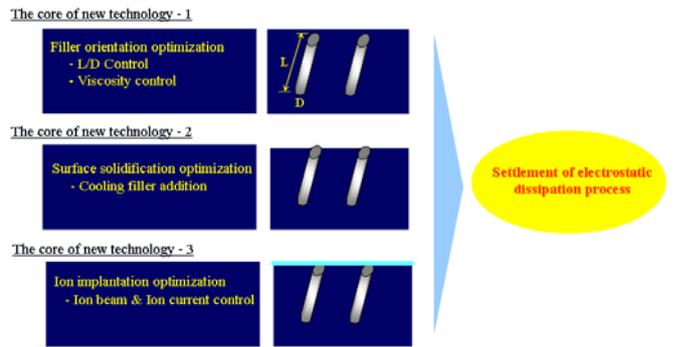


Fig. 1 New model of conductivity polymer

Table 1 Experiment condition

Item	Sample	Polymer [C/F]	Polymer [C/B]
Beam energy		10 keV	
Beam current		10 mA	
Ion does		1×10^{17} ions/cm ²	
		5×10^{17} ions/cm ²	

3. 실험결과

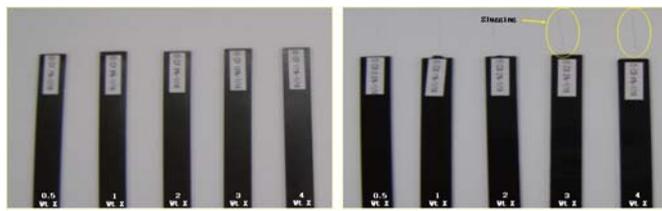
본 실험에서는 도전성 첨가제인 카본블랙과 카본섬유의 첨가량을 최소로 한 뒤에 이온주입 기술을 이용하여 표면 저항을 $10^8 \Omega/\text{cm}^2$ 이하로 하고자 한다.

그림 2에서 보는 바와 같이 PC/CB는 CB 함유량이 3 Wt% 부터 슬러징 현상이 발생하였으며, 10 Wt% 부터 사출 성형시 사출에 어려움이 발생하였다.

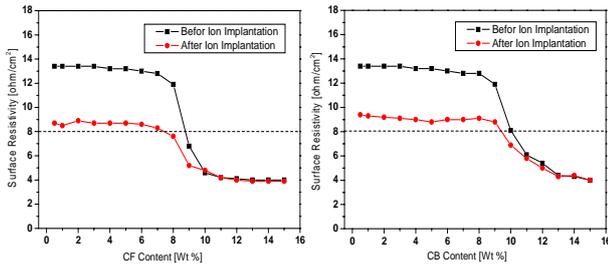
그림 3은 도전성 첨가제인 카본블랙과 카본섬유를 0.5 ~ 15% 첨가한 열가소성 수지인 Poly Carbonate(PC) 소재에 질소 이온주입한 후 표면 저항 변화를 평가하였다. (a) 이온 주입 전에는 $10^{12} \Omega/\text{cm}^2$ 이상에서 이온 주입 후에는 $10^8 \sim 10^9 \Omega/\text{cm}^2$ 의 값을 가진다. 기존 연구들에서 질소 이온 주입기술 만으로도 $10^8 \Omega/\text{cm}^2$ 값을 가지므로 8 Wt% 까지는 첨가제의 효과가 없다고 보여진다. 하지만 9 Wt%에서는 이온주입에 따라서 $10^{6.8} \Omega/\text{cm}^2$ 에서 $10^{5.2} \Omega/\text{cm}^2$ 로 감소하므로 차별화된 경제성과 전도성을 보인다. (b)의 카본 블랙 함유량이 9 Wt% 까지는 이온 주입 전에는 $10^{12} \Omega/\text{cm}^2$ 이상에서 이온 주입 후에는 $10^9 \sim 10^{10} \Omega/\text{cm}^2$ 의 값을 가지므로 첨가제의 효과가 없다고 보여진다. 하지만 10 Wt%에서는 이온주입에 따라서 $10^{8.1} \Omega/\text{cm}^2$ 에서 $10^{6.9} \Omega/\text{cm}^2$ 로 감소하므로 차별화된 경제성과 전도성을 보인다.

그림 4는 인장강도 변화를 나타내었다. (a)카본 섬유가 0.5 Wt% 에서 15 Wt% 로 증가 할수록 621 kg/cm² 에서 1389 kg/cm² 의 값으로 비례적으로 증가한다. 이온주입에 따른 인장강도 변화는 전체적으로 약 30 kg/cm² 이상 향상되었음을 알 수가 있으며, 9 Wt% 에서는 55 kg/cm² 이상의 큰 차이를 보인다. (b)카본 블랙이 0.5 Wt% 에서 15 Wt% 로 증가할수록 611 kg/cm² 에서 524 kg/cm² 의 값으로 비례적으로 감소한다. 그리고 이온주입에 따른 인장강도 변화는 전체적으로 약 20 kg/cm² 정도 향상되었지만 일부에서는 오히려 감소하는 경우도 있었다.

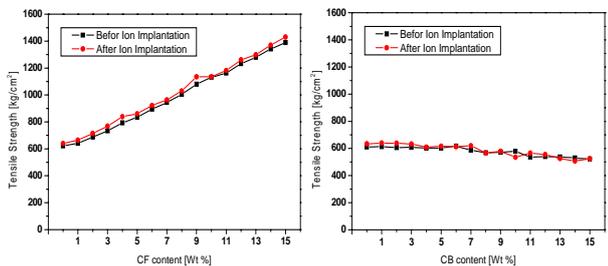
그림 5는 10 mV 로 인가된 전압에 대한 반감기를 나타내었다. 반감기는 전압값이 반으로 줄어드는데 까지 걸리는 시간으로써 반감기 시간이 작을수록 제품 불량에 영향을 작게 준다. (a)카본 섬유가 5 Wt% 까지는 600 Sec 이상이다가 7 Wt% 부터는 10 ~ 20 Sec 로 감소한다. 하지만 이온 주입 후에는 60 Sec 로 감소되었다가 9 Wt% 부터는 반감기가 0 Sec 로 나타난다. (b)카본 블랙이 4 Wt% 까지는 600 Sec 이상이다가 7 Wt% 부터는 0 Sec 로 감소한다. 이온 주입 후에는 0.5 Wt% 부터 0 Sec 로 나타난다.



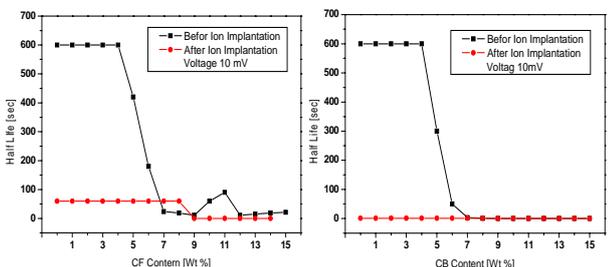
(a) carbon fiber compound (b) carbon black compound
Fig. 2 Slugging test



(a) carbon fiber compound (b) carbon black compound
Fig. 3 Change of surface resistance according N⁺ ion implantation at 50keV



(a) carbon fiber compound (b) carbon black compound
Fig. 4 Change of tensile strength according N⁺ ion implantation at 50keV



(a) carbon fiber compound (b) carbon black compound
Fig. 5 Change of half life according N⁺ ion

implantation at 50keV

4. 결론

본 연구에서는 최적의 기계적 물성, 전기적 특성을 만족하는 정전분산 엔지니어링 플라스틱의 소재를 개발 하고자 도전성 첨가제인 카본블랙과 카본섬유를 0.5 ~ 15 % 첨가한 엔지니어링 플라스틱인 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC)에 50 keV 질소 이온 주입 기술을 이용한 표면 개질 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 질소 이온 주입에 따른 효과로 PC/CF 에서는 함유량이 9 Wt% 에서 약 10¹⁶ Ω/cm² 정도, PC/CB 에서는 함유량이 10 Wt% 에서 10¹² Ω/cm² 정도의 표면 저항 성능 향상을 보였다.
- (2) PC/CF 에서는 CF 함유량이 증가 할수록 인장강도 값은 비례적으로 커진다. 이온주입에 따른 인장강도 증가는 약 30 kg/cm² 이상 향상되었음을 알 수가 있었다.
- (3) PC/CB 에서는 5 Wt% 까지 인장신율 값이 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 질소 이온주입에 의한 Carbonization 영향으로 표면 물성의 변화로 판단되며, 광범위한 연구가 필요하다고 생각된다.
- (4) 10 mV 으로 인가된 전압에 대한 반감기는 PC/CF가 5 Wt% 까지는 600 Sec 이상이다가 7 Wt% 부터는 10 ~ 20 Sec 으로 감소한다. 하지만 이온 주입 후에는 60 Sec 으로 감소되었다가 9 Wt% 부터는 반감기가 0 Sec 으로 나타난다. PC/CB가 4 Wt% 까지는 600 Sec 이상이다가 7 Wt% 부터는 0 Sec 으로 감소한다. 이온 주입 후에는 0.5 Wt% 부터 0 Sec 으로 나타난다.

후기

본 연구는 2005년도 경상남도와 중소기업진흥공단의 중소기업 컨설팅 지원사업 및 2006년 중기청 쿠폰제 컨설팅 지원사업에 의해서 지원되었다.

참고문헌

1. M. Guenther, G. Gerlach, G. Suchanech, etc., "Ion beam induced chemical and structural modification in polymers," Surface and Coatings Technology, 158 (2002) 108.
2. V.B. Odzhaev, O.N. Jackovsky, I.A. Karpovich, J. Partyka, P. Wegierek, "Electrical properties of polyethylene modified by multistage ion implantation," Vacuum, 63 (2001) 581.
3. Hyuneui Lim, Yeonhee Lee, Seunghee Han, Youngwoo Kim, Jeenghee Cho, Kang-Jin Kim, "Reduction in surface resistivity of polymers by plasma source ion implantation," Surface and Coatings Technology, 160 (2002) 158.
4. J. S. Lee, "The study on the change of microstructure and surface properties of polymer by ion implantation," 2002
5. K. Dworecki, T. Hasegawa, K. Sudlitz, A. Slezak, S. Wasik, "Modification of electrical properties of polymer membranes by ion implantation," Nucl. Instr. and Meth., B, 167 (2000) 646.
6. K. Dworecki, T. Hasegawa, K. Sudlitz, A. Slezak, S. Wasik, "Modification of electrical properties of polymer membranes by ion implantation (II)," Nucl. Instr. and Meth., B, 185 (2001) 61.
7. R.J. Rodrriguez, J.A. Garcia, R. Sanchez, A. Perez, Blas Garrido, J. Morante, "Modification of surface mechanical properties of polycarbonate by ion implantation," Surface and Coatings Technology, 158 (2002) 636.
8. GY. Suzuki, "Ion beam modification of polymers for the application of medical devices" Nucl. Instr. and Meth., B, 206 (2003) 501.