

이온빔을 이용한 고분자 대전방지 처리 양산기술 개발

길재근, 이찬영, 손창원, 이재형

한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단

Development of Polymer Film Mass Production by Ion Beam Implantation

Jae-Keun Kil, Chan-Young Lee, Chang-Won Shon, Jae-Hyung Lee

KAERI, Proton Engineering Frontier Project

Abstract

고분자 재료에 이온을 주입하면 표면전기저항이 이온주입조건에 따라 $10^{16} \Omega/\text{sq}$ 에서 $10^7 \Omega/\text{sq}$ 까지 변하게 되며, 광학적 특성도 변하게 된다. 이는 산업적으로 대전방지 등에 적용이 가능하며 이러한 신소재 개발을 위하여 산업용 이온빔 표면처리 장치를 제작하고 인출광학을 기초로 이온빔을 제어하여 고분자 재료의 이온주입처리 양산기술을 개발하였다. 본 연구에서는 대면적, 대전류 이온빔 인출을 위한 이온원의 광학적 설계 및 빔라인에서의 솔레노이드 전자석을 이용한 빔프로파일 제어방법을 설명하였다. 사용된 고분자 소재는 PC(PolyCarbonate) 및 PET(PolyEthylene Teraphthalate)이며, 질소이온주입조건은 이온에너지 40-50 keV, 이온주입량 5×10^{15} , 1×10^{16} , 7×10^{16} ions/cm² 의 조건으로 공정을 수행하였다. 또한 대전방지용 고분자 대량생산을 위한 연속 생산조건과 양산공정조건에 따른 표면전기저항변화를 관찰하였다.

Key Words : Ion implantation; Polymers; Surface Resistance; UV protection; Antistatic

1. 서론

표면 절연특성으로 응용 범위가 제한되고 있는 고분자 재료에 이온주입 기술을 적용하여 표면전기전도 기능성을 부여하고 대량생산을 위한 양산기술개발로 원가를 절감하여 산업 부품 및 소재의 기능화 제품 개발에 사용할 목적으로 본 실험을 수행하였다. 기존의 불투명 정전기 방지처리 고분자의 경우 원자재비에 대해 30% 상승폭의 처리비용이 요구되며, 투명 정전기 방지처리고분자의 경우 원자재비에 대해 100% 상승폭의 처리비용이 요구되므로, 이온주입을 통해 투명 정전기 방지처리 고분자를 개발 양산할 경우 가격 경쟁력을 가진

기능성 고분자 제품을 생산할 수 있을 것으로 기대된다. 고분자 필름의 대전방지를 위해서는 일반적으로 계면활성제를 혼합하거나 필름표면에 코팅하는 방법이 적용되고 있으나, 낮은 습도 분위기에서는 대전방지성을 발현하지 못하고 특히, IC, LSI 등의 전자재료의 포장이나 공업용도에는 적합하지 않기 때문에 카본이나 금속을 필름표면에 코팅하거나 증착하는 방법이 채용되어 왔으나 투명성을 저해하거나 가격이 상승하는 문제가 있었으며, 스티렌계 수지 분야에서는 ABS 수지를 중심으로 대전 방지 기능을 가진 제품이 개발되고 있으나 다량의 도전성 성분을 폴리머 합성화 함으로써 가격

이 올라갈 뿐만 아니라 기존 고분자의 특성이 크게 저하하는 등의 문제가 있다. 이에 이온주입을 이용한 대전방지용 고분자를 생산하여 산업용 필름이나 전자제품 포장재에 응용할 예정이며, 종래의 기능성 고분자에 비해 친환경적이며 표면의 광학균일성과 가시도 측면에서 우수한 특성을 나타내었다.[1] 이러한 목적에 부합하기 위하여 고분자의 표면전기저항이 $10^8 \sim 10^{10} \Omega/\text{sq}$ 를 나타내며 대량 생산을 위한 연속 생산이 필요하다.[2] 본 연구에서는 대전방지용 고분자 재료 생산을 위한 이온원 인출광학과 빔라인에서의 이온빔 제어를 위해 솔레노이드를 이용한 이온빔 제어방법, 대량 생산을 위한 연속생산조건과 그에 따른 표면전기저항변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

대면적 이온빔을 얻기 위하여 이온원 인출구 형태를 변화시키며 이온빔 형상의 변화를 조사하였다. 빔손실과 빔 형상제어를 위해 솔레노이드 전자석을 변화시키고 그에 따른 빔 형상의 변화를 조사하였다. 선행실험에서 결정된 이온빔 인출 조건에서 이온주입 에너지와 이온주입량을 변화시키며 고분자 재료의 표면전기저항 변화를 측정하였다. 사용된 고분자 재료는 PC (PolyCarbonate) 및 PET (PolyEthylene Teraphthalate)이고, N 이온, 40 및 50 keV, 이온주입량 5×10^{15} , 1×10^{16} , 7×10^{16} ions/cm² 으로 조사하였다. 마지막으로 고분자 재료 공급속도를 변화시키며 연속 생산조건에 따른 표면전기저항 변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

인출되는 이온빔이 고분자 표면에 조사 될 때의 형상과 전류밀도는 인출구의 형태에 따라 영향을 받게 되므로 인출구 형태를 변화 시키며 이온빔 형상을 조사 하였다. 대전방지 고분자 표면전기저항을 변화시키기 위한 이온주입 공정에는 대면적 대전류 빔이 필요하고, 이중 대면적 빔을 인출할 수 있는 인출구 조건을 찾기 위하여 그림1에 나타난 여러 모양의 인출구로 실험하여 각각의 형태에 따른 빔 형상을 측정하였다. 인출구 hole의 수와 크기는 표1에 정리하였으며, 유효직경은 빔발산을 고려하지 않은 크기, 최대직경은 발산되는 빔을 포함한 최대 크기를 나타낸다. 여러 인출구 중

에서 2hole, 8mm, 12mm, 12mm인 인출구가 이온빔 유효면적 직경 30cm와 비교적 균일한 빔 형상을 가지는 것으로 나타났다. 그림2에서는 각각의 인출구 형태에 따른 이온빔 형상을 Faradaycup 빔전류 측정장치로 측정하여 정리한 것이다.

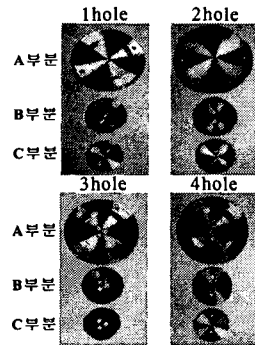
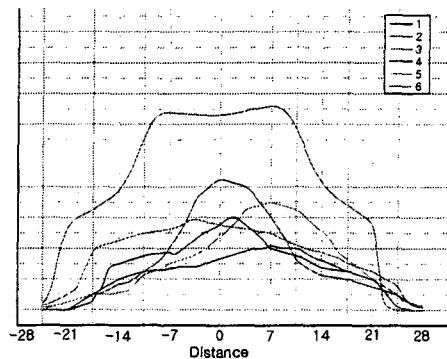


Fig. 1. Different extraction hole types

Table 1. Ion beam size of target by different extraction hole types

Hole 수	Size (mm)	유효직경 (mm)	최대직경 (mm)	이온원 조건
1	5-5-5	130	290	50keV, 5mA
	6-6-6	100	150	30keV, 2mA
2	5-5-5	235	270	50keV, 5mA
	8-12-12	300	415	50keV, 50mA
3	5-5-5	240	260	50keV, 3.5mA
	6-6-6	270	290	50keV, 5mA
4	5-3-3-5	130	230	50keV, 5mA



1 : 1 hole 5-5-5 50keV, 5mA 2 : 1 hole 6-6-6 30keV, 2mA
 3 : 2 hole 5-5-5 50keV, 5mA 4 : 3 hole 6-6-6 50keV, 5mA
 5 : 4 hole 5-3-3-5 50keV, 5mA 6 : 2 hole 8-12-12 50keV, 50mA

Fig. 2. Ion Beam shape of different extraction hole types

이온원에서 발생한 빔이 고분자 재료의 표면에 도달할 때 까지 먼거리를 이동하게 되고 이온원에서 인출될 때 발산각을 가지게 되므로 빔손실이 발생하게 된다. 이러한 빔손실을 최소화 하고 빔의 형상을 더욱 균일하게 하기 위하여 빔조절용 자석을 빔인출단 후단부인 차등배기용 도관에 설치하였다.[3] 솔레노이드 타입 전자석의 중심축 자장 세기는 최대 650G 이고 수냉식으로 크기를 줄였으며, 공급되는 power supply 용량은 7V, 80A 이다. 그림 3은 설계된 솔레노이드 자석과 실제 장치에 설치된 모습을 나타낸다. 그림 4는 이온빔의 손실을 줄이기 위해 설치한 솔레노이드 자석의 전류값 변화에 따른 이온빔형상의 변화를 조사한 그래프이다. 솔레노이드 자석의 전류값이 상승함에 따라 빔전류밀도가 증가하고 빔균일도도 향상되는 것으로 나타났다. 이는 솔레노이드 자석이 빔 손실 최소화와 빔균일도를 위한 빔형상 가공에 유용하다는 것을 나타낸다.

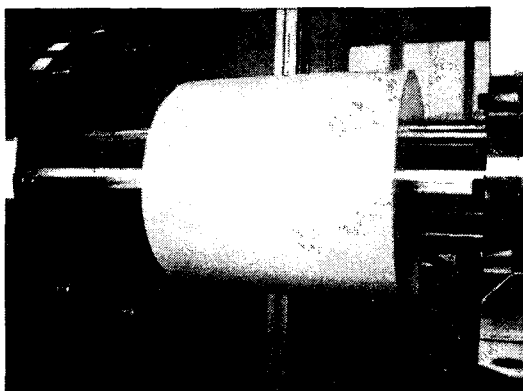
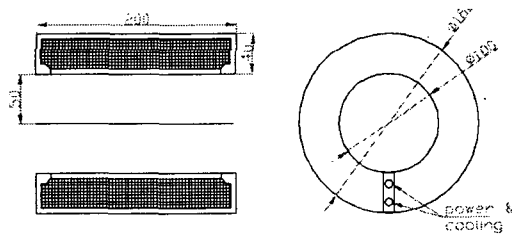


Fig. 3. Solenoid magnet design and established equipment

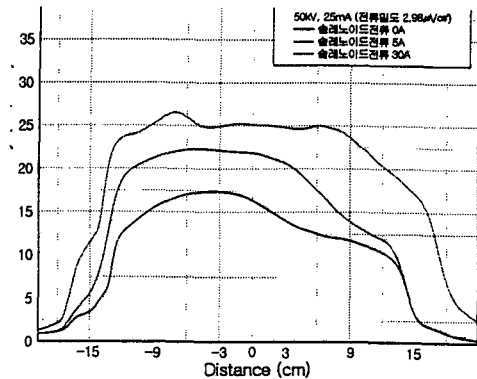


Fig. 4. Ion Beam shape of 50keV, 25mA by different solenoid current

그림 5에서는 50kV, 10mA의 동일한 이온주입 에너지와 전류밀도일 때 이온주입량의 변화에 따라 표면저항값의 변화를 나타낸 것이다. 이온주입량은 5×10^{15} , 1×10^{16} , 7×10^{16} ions/cm² 으로 주입량이 증가함에 따라 표면전기저항값은 감소하는 경향을 보인다. 그림 6은 10mA, 7×10^{16} ions/cm²의 동일한 빔전류밀도와 이온주입량을 가질 때 이온주입 에너지 변화에 대한 표면전기저항값의 변화를 나타낸 것이다. 이온주입 에너지가 증가함에 따라 표면 전기저항값은 대체적으로 감소하는 것으로 나타났다.

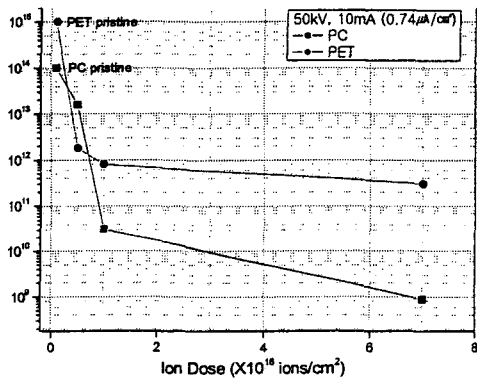


Fig. 5. PC and PET surface resistance variation of 50kV, 10mA (ion beam density $0.74 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)

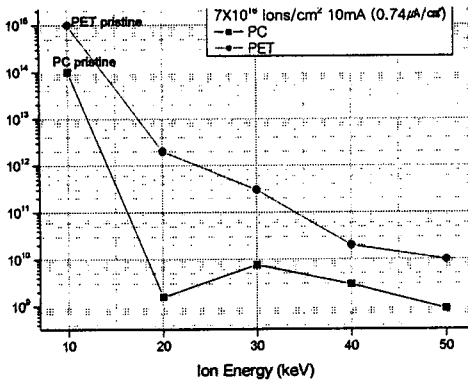


Fig. 6. PC and PET surface resistance variation of 7×10^{16} ions/sq, 10mA

이온주입공정을 이용하여 원하는 표면전기저항값을 가지는 대전방지 고분자 재료의 대량생산을 위해 이온빔 에너지와 이온빔 전류, 고분자 재료의 연속 조사를 위한 롤 지그 시스템이 필요하다. 표 2에서는 고분자 재료를 각각 50kV, 25mA(2.98 μ A/cm²) 및 30mA (3.91 μ A/cm²)로 이온주입하고 고분자 공급 속도를 변화 시키며 표면전기저항을 측정하여 나타내었다. 50kV, 30mA, 시간당 40m 생산속도일 때 표면전기저항값은 10^{10} Ω/sq를 나타냈다. 생산속도가 증가하기 위해서는 더 높은 이온빔 전류가 필요하다. 현재 100mA급 이온원을 개발하여 테스트에 들어가 있으며, 차기년도에 양산장치용 이온원으로 사용가능할 것으로 예상 된다.

Table 2. Surface resistance variation by feeding speed

전류밀도 (μ A/cm ²)	Feeding 속도(cm/sec)		
	1.11 (40m/hour)	1.35 (48.6m/hour)	1.56 (56.3m/hour)
2.98 (25mA)	10^{11} Ω/sq	10^{12} Ω/sq	10^{13} Ω/sq
3.91 (30mA)	10^{10} Ω/sq	10^{11} Ω/sq	10^{12} Ω/sq

4. 결론

대전방지용 고분자 재료의 산업적 응용에 필요한 이온원은 대면적 대전류를 가져야 하며, 적절한 공급 속도와 조건하에서 적절한 표면저항값을 나

타내야 한다. 대면적 이온빔 형상을 만들기 위하여 다양한 인출구 형태를 만들고 그에 따른 인출빔의 모양을 조사하여 대면적 균일빔을 가지는 2hole, 8mm, 12mm, 12mm 빔직경 30cm를 가지는 인출구 형태를 찾아냈다. 또한 이온빔 균일도와 빔손실을 줄이기 위하여 빔조절용 솔레노이드 전자석을 설치하고 전류값에 따른 빔형상을 조사하였다. 각각의 조건에서 PC 및 PET의 표면저항값의 변화를 조사하였으며, 표면저항값은 모재의 경우 10^{15} Ω/sq에서 최고 10^9 Ω/sq까지 감소하였다. 또한 고분자 원재료의 공급속도에 따른 표면저항값을 측정하여 산업에 응용할 수 있는 기초 데이터를 획득하였다. 50kV, 30mA, 시간당 40m 생산속도일 때 표면전기저항값은 10^{10} Ω/sq를 나타내었다. 앞으로 많은 양의 대전방지용 고분자 생산을 위해 더 높은 전류를 가지는 이온원 개발과 적절한 공급장치의 개발이 요구된다.

참고 문헌

- [1] Jae Hyung Lee, Young Chan Lee, Keun Jae Kil, "Optical transmittance property at UV range of polycarbonate film by ion implantation", 한국전기전자재료학회, Vol. 16, No 2, 2003
- [2] Jae Hyung Lee, Young Chan Lee, Keun Jae Kil, "Electrical Conductivity Properties of the Vacuum Forming Packing Materials by Ion Implantation" Thin Solid Films, 한국전기전자재료학회, Vol. 16, No 11, 2003
- [3] K. Kobayashia, N. Sakudoa, K. Sakaib and H. Koike, "The ring plasma neutralizer for ion beam devices", Surface and Coatings Technology, Vol. 66, Issues 1-3, p. 529, 1994