

# 플라즈마 표면처리가 Poly(ethylene terephthalate) 필름의 전기적 및 기계적 성질에 미치는 영향

임경범<sup>†</sup> · 이덕출

인하대학교 공과대학 전기공학과  
(2001. 6. 8. 접수 / 2001. 9. 1. 선택)

## Effects of Plasma Surface Treatment on Electrical and Mechanical Properties of Poly(ethylene terephthalate) Films

Kyung-Bum Lim<sup>†</sup> · Duck-Chool Lee

Department of Electrical Engineering, Inha University  
(Received June 8, 2001 / Accepted September 1, 2001)

**Abstract :** In this study, the electrical and mechanical characteristics of PET films were analyzed after plasma surface treatment. After plasma treatment, the surface potential decay, surface resistivity, and dielectric property were evaluated to analyze the electrical insulating property, and the tensile strength was measured as the mechanical characteristic. When plasma treatment was conducted for less than 10 minutes, it was found that the electrical insulating property was improved through evaporation of low molecular weight materials and cleaning of surface. However, for more than 10 minutes, the insulating property of plasma treated PET films was decreased due to excessive discharge energy. The tensile strength was hardly changed by plasma treatment.

**Key Words :** PET films, plasma treatment, electrical insulating property, mechanical characteristic

### 1. 서 론

최근 고분자 화학의 급속한 발전에 따라 우수한 특성을 가진 다양한 절연재료가 지속적으로 개발되어 왔으며, 산업의 고도화로 인한 전력수요의 증가로 인하여 이러한 유기고분자 재료의 용도와 수요가 매년 급증하고 있다. 이들 고분자 재료 중 poly(ethylene terephthalate)(PET) 필름은 절연성, 물리적, 화학적인 우수성과 기계적 특성을 지님으로써 자기 테이프, 사진필름, 전기·전자용, 기어휠 등 구조용에 이르기까지 다양하게 사용되고 있으며, 전기·전자용으로는 콘덴서, 모터절연, 전선절연, PCB 회로 기판 등에 많이 사용되고 있다.<sup>1-3)</sup> 그러나 이러한 고분자재료는 실제 환경에서 사용하는 경우 사용환경 조건에 따라 다양한 열화요인, 즉 태양의 복사열,

자외선, 수분, 온도의 극한적 변화, 염분, 방전 등에 노출되어 물리·화학적 변형을 유발시켜 안정적으로 요구되는 제반 특성에 심각한 문제를 일으켜 성능저하를 초래하게 된다. 하지만, 개개의 고분자 절연물마다 실제 환경에서의 열화과정이 모두 다르게 나타나고 있고, 사용환경에 따른 열화기구는 아직 규명된 자료가 극히 미흡한 실정이다.

또한 고분자 표면에 관한 연구도 오래 전부터 여러 분야에서 다양한 형태로 이루어져 왔으나 고분자 표면은 내부와는 다른 결합형태 및 이종매체와의 상호작용으로 인하여 표면에너지에 따른 안정화도 및 화학구조 뿐만 아니라, 표면과 접하는 매체를 고려한 전반적 특성이 내부의 성질과는 전혀 다르게 취급된다.<sup>4,5)</sup> 이로 인하여 표면이 어떠한 환경에 노출되는가가 오히려 어떠한 내부적 성질을 갖는가보다 훨씬 중요하게 고려되고, 한정적으로 표면을 제3의 영역으로 설정한 다양한 연구 및 응용이 이루어지고 있다.<sup>6,7)</sup> 특히, 고분자 절연재료의 표면분

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
kblim69@hanmail.net

해 및 개질에 대한 표면연구는 표면의 전기적 특성 변화 등을 포함하는 다양한 검토가 체계적으로 필요하며 전기절연 계통에서의 고분자 표면연구는 특히 한계치를 극복할 새로운 분석방법이 절실히 요구되고 있다.<sup>8)</sup> 따라서 개개의 변화요인에 대한 분석과 함께 복합적 상관관계를 도출하는 것은 고분자 표면의 특성변화에 대한 매커니즘 해석에 매우 유용할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 고분자 PET 필름의 장기적 성능에 영향을 미치는 요인 중 플라즈마 환경에서의 표면의 전기적 특성 및 기계적 특성 변화를 조사하여 기기의 수명관리 및 열화양상을 파악하기 위하여 모의 열화된 PET 필름의 질량변화, 표면전위값, 표면저항률, 유전특성 및 인장강도를 측정하여 플라즈마 표면처리에 따른 재료의 특성변화를 고찰하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 플라즈마의 발생과 반응

플라즈마는 이온, 전자, 라디칼, 여기분자, 그리고 원자를 함유하는 가스를 이온화한다. 이들 이온 가스는 분광적이고 전기적으로는 중성이며, 전기적 방전, 고주파의 전자기적 진동, 충격파, 고에너지 방사(가령  $\alpha$ 와  $\gamma$ 선) 등에 의해 발생된다. 이와 같은 플라즈마의 형태로 열 플라즈마, Cold 플라즈마, 및 하이브리드 플라즈마의 세가지로 나뉜다.

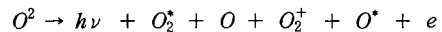
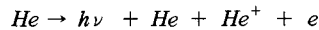
열 플라즈마는 대기상 아크, 스파크, 및 불꽃의 형태로 발생된다. 구성하는 가스 분자, 이온, 및 전자가 켈빈(Kelvin)의 온도를 구성하며 열평형 상태 하에 존재한다. 낮은 임피던스를 가진 전원을 사용하면, 대전류가 흐르고 아크가 얻어진다. 다른 한편으로, 고 임피던스를 가진 전원이 사용되면, 저전류가 흐르고 코로나(하이브리드 플라즈마)가 얻어진다.

Cold 플라즈마는 압력이 제거된 상태(0.01~10 Torr)에서 글로우 방전에 의해 발생된다. 가스 분위기의 이온과 분자는 임의의 온도에 존재하는 반면, 전자는 켈빈(Kelvin)의 수만 개의 온도 하에 존재한다. 전자온도  $T_e$ 는  $T_e = \frac{2}{3k} e_k$ 로 규정된다. 여기에서  $e_k$ 는 전자의 운동에너지이다. 글로우 방전은 몇천 볼트의 직류(DC) 또는 교류(AC: 약~60Hz의 저주파수) 500V에서 수천 볼트를 사용한 전극 사이에서 발생된다. 다른 한편으로, 무전극 글로우 방전

은 용기 외곽에 부착된 전극이나 혹은 용기 주위에 감겨진 코일에 의해 가스상에서 고주파 진동에 의해 발생된다. 고주파수 진동은 스파크갭 발생기(10~50Hz), 라디오 주파수 발생기에서(1.5~50MHz), 혹은 마이크로파 발생기(150~10000MHz)에 의해 공급된다.

하이브리드 플라즈마는 대기압력 혹은 약간 낮은 압력에서 코로나 방전, 오존발생기 등에 의해 생성된다. 코로나 방전은 일정하게 진전되는 얇고 미세한 열 스파크로 구성된다. 코로나에서 가스의 평균 온도는 임의의 온도를 약간 상회한다. 고 임피던스 전원은 직류(DC) 혹은 교류(AC: 5~50kV) 전압으로 사용된다. 고분자 표면처리에는 이상과 같은 다양한 플라즈마를 이용하고 있다.

플라즈마와 고체가 상호작용하기 위해 배치되는 3가지 방법이 있다. 첫째는 플라즈마와 고체가 물리적으로 접촉하지만, 전기적으로는 분리되어 있는 것이다. 가령 RF 글로우 방전 내부에 놓여진 고분자 시료가 이에 해당된다. 둘째는 플라즈마와 고체가 물리적, 전기적으로 모두 접촉하고 있는 상태이다. 예를 들면 glow 방전이나 코로나 전극 사이에 놓여진 고분자 시료이다. 셋째로는 플라즈마와 고체가 일정하진 않지만 물리적으로 접촉하고, 전기적으로는 접촉하지 않는 경우이다. 가령 플라즈마의 핵심을 통하여 고분자 시료를 떨어뜨리는 경우이다. 플라즈마는 UV방사, 라디칼, 여기된 분자, 그리고 원자, 이온, 전자를 포함한다. 다음은 헬륨 및 산소 플라즈마의 전형적인 예이다.



별표(\*)는 준안정적인 중성종을 표시한다. 화학적 반응은 UV 방사와 중성자(준안정 상태 및 라디칼)에 의해 주로 유기된다. 플라즈마-고분자의 반응은 자유 라디칼 메커니즘에 의해 진행되는데, 초기 단계에서 고분자 라디칼은 체인 절단, 라디칼 전환, 산화 및 재결합을 발생하며, 표면층에서 질저하, 저분자량의 제거, 산화 및 가교의 복합적 변화를 증가시킨다. 특히, 변화된 표면층은 일반적으로 50~500 Å의 두께로 한정된다.<sup>9,10)</sup>

### 2.2. 결합의 절단과 제거

결합의 절단은 가교와 산화가 동시에 일어난다. 미소한 입자의 저분자 생성물은 증발과 스퍼터링에

의해 일정하게 제거되는 반면, 중합적 절단 생성물은 저분자량을 가진 고분자와 가교네트워크로 서로 엉킨상태로 남아 있다. 이들 중합적 절단 생성물의 양과 성질은 고분자의 성질, 플라즈마 가스, 방전 파워, 그리고 처리시간에 의존하며, 처리 전 고분자보다 훨씬 낮은 분자질량, 유리전이온도 및 점도(약한 경계층을 생성하지 못할 정도로 너무 낮은 경우는 없음)를 갖고, 계면적 흐름과 확산을 향상하여 결합력이 증가된다. 부차적으로, 이들은 극성기를 포함하고, 공간적 상호작용을 통해 계면적 인력을 증가시킨다. 이러한 중합적 절단 생성물의 양과 성질은 반응성을 향상시키는데 있어 가장 중요한 요소이다. 저분자 절단 생성물에 대한 중합 비율은 다른 요소 중에서 고분자의 성질과 플라즈마 가스 성질에 의존한다. 폴리프로필렌(polypropylene)은 대부분 저분자 생성물 및 불활성가스(가령 헬륨과 질소) 플라즈마 처리로 미소 중합적 절단 생성물을 발생하지만, 산소와 질산 플라즈마 하에서는 중합적 절단 생성물이 상당량 발생한다. 그러므로, 폴리프로필렌(polypropylene)의 반응성은 불활성가스 플라즈마로는 거의 향상되지 않지만, 산소 혹은 질산 플라즈마로는 급격히 향상된다. 또한 고분자의 저분자화에 따른 생성물의 제거로 인하여, 고분자 시료는 연속적으로 질량을 잃게 된다.<sup>11,12)</sup>

### 2.3. 표면 가교

고분자 라디칼의 재결합에 의해 생성된 표면 가교는 결합절단과 동시에 일어난다. 가교는 분자량을 증가시키는 반면 절단은 분자량을 감소시킨다. gel fraction을 제거한 후, 플라즈마 처리된 표면층의 분자량이 실제 감소하는 것이 발견된다. 가령 헬륨이나 산소 플라즈마에 노출된 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리카보네이트(polycarbonate) 및 폴리4-메틸-1-펜텐(poly(4-methyl-1-pentene))에서 이러한 경우를 발견할 수 있다. 가교된 표층의 존재는 녹는점 이상에서 미처리된 폴리에틸렌 덩어리와 플라즈마 처리된 폴리에틸렌의 덩어리를 가열하는 것에 의해 명확히 증명된다. 미처리된 시료는 녹을 뿐만 아니라 유동성도 있지만, 플라즈마 처리된 시료는 자체의 사각형적 형태를 그대로 유지하고 있다. 가교된 표층의 두께는 용매 제거 후의 겔(gel) 함유량에 의해 결정되며, 전형적인 두께는 50~500 Å이지만, 장시간 처리 후에는 6 $\mu$ m 정도까지의 두께를 가질 수 있다.<sup>13)</sup>

## 3. 실험 방법

### 3.1. 표면처리

플라즈마 환경에서의 특성변화를 조사하기 위하여 PET 필름(SKC, SR55 두께 250 $\mu$ m)을 직경 100mm로 일정하게 절단한 후 불순물을 제거하기 위하여 에탄올 용액으로 세척 후 진공 건조 처리한 후, 플라즈마로 표면처리한다.

시료의 플라즈마 처리는 60Hz의 220V의 교류 전원을 사용하고, 리액터 유입 반응가스로 건조공기를 분당 25m<sup>3</sup>/min로 주입하였고, 방전시 반응기 내부의 압력은 0.7torr, 방전전류 10mA의 플라즈마를 발생시킨다. 처리시간은 5분, 10분, 15분, 20분으로 설정하여 처리시간의 변화에 따른 특성변화를 측정하였다.

### 3.2. 측정

플라즈마 처리에 따른 시료의 질량변화와 표면전위감쇠, 표면저항률, 유전특성을 통한 전기적 특성변화와, 인장강도 측정을 통한 기계적 특성변화를 분석하였다.

처리에 따른 시료의 질량변화는 처리종료 후 전자저울(Sartorius)을 이용하여 10<sup>-4</sup>g까지의 값으로 5회 측정 후 그 평균값으로 계산하였다. 표면의 전기적 특성변화를 알아보기 위하여 Fig. 1과 같이 자체 제작한 코로나 대전장치를 이용하여 표면에 대전된 전하의 경시적인 변화를 측정하였다. 상온·상압의 일정한 조건하에서 코로나 대전전극과 그리드 전극과의 거리는 45mm, 그리드 전극과 시료표면의 거리는 5mm로 설정한 후, 전하주입은 코로나 대전전압 10kV, 그리드 전압 5kV, 대전시간 1분으로 각각 설정하여 시료표면에 전하(⊕극성)를 주입한 후, 대전종료 후 시료표면과 표면전위 탐침(probe)과의 거리를 5mm로 설정한 후 표면전위가 초기값의 1/2에 이를 때까지 감쇠특성을 측정하였다.<sup>14)</sup> 또한 질량변화 및 표면전위감쇠가 측정이 끝난 시료를 대상으로 유전특성 및 표면저항률을 측정하였다. 이를 위하여 JIS. K-6911(열경화성 플라스틱의 일반시험 방법) 규정에 준하여 원형의 마스크를 제작하여 Al으로 진공증착한 후 3단자 전극을 형성시켰다. 표면저항률은 측정시료를 25°C로 설정된 항온조에 설치하고 미소전류계(Picoammeter 487, Keithley. Co)를 이용하여 직류전압 500V를 인가하여 30분이 경과된 후 누설전류값을 측정하여 표면저항률을 구하였다. 유전특성은 시료를 25°C의 항온조에 넣고 임피던스

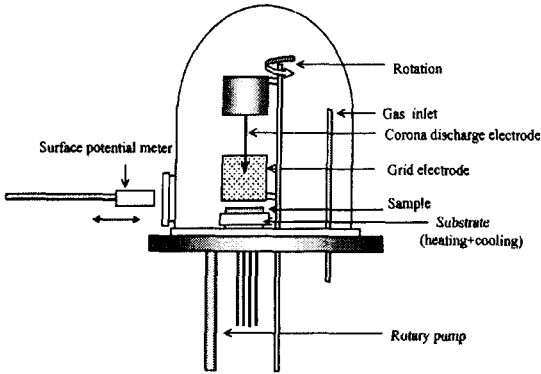


Fig. 1. Schematic diagram of corona discharge apparatus

어날라이저(4192A, Hewlett Packard)에 연결하여 60 Hz~10MHz에 이르는 주파수영역에 걸쳐 유전율을 조사하였다. 또한 기계적 특성변화를 측정하기 위하여 시료를 폭 10mm로 제작하여 만능인장시험기(Tinius Olsen, USA)를 이용하여 인장강도를 각각에 대하여 5회 측정하여 그 평균값을 취하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. 질량변화 및 표면형상

플라즈마 처리에 따른 시료의 질량변화를 Fig. 2에 나타낸다. 플라즈마 처리 시간에 비례하여 선형적인 질량의 감소를 나타내고 있다. 이러한 질량의 선형적인 감소는 플라즈마내의 라디칼이 표면에 충돌하여 수분층을 제거하는 세정효과와 시료 표면에 잔존하던 극성 저분자 물질과 콜로이드 상의 미세입자의 증발로 인한 것으로 판단된다.<sup>15)</sup>

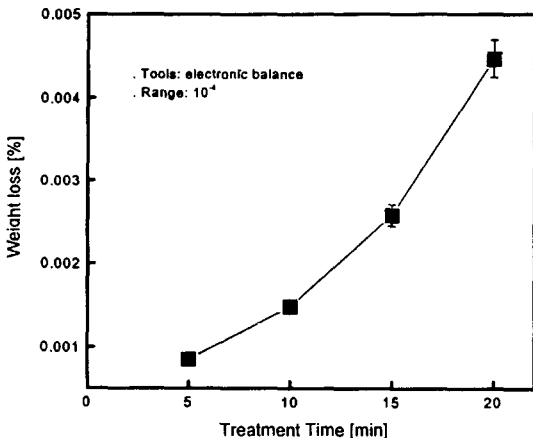
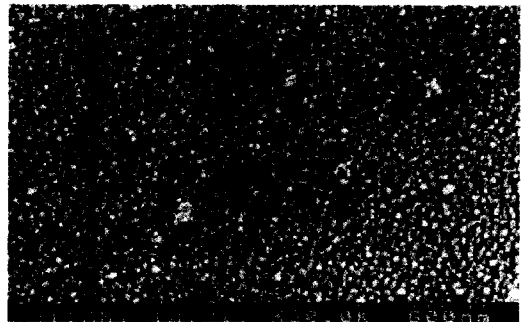


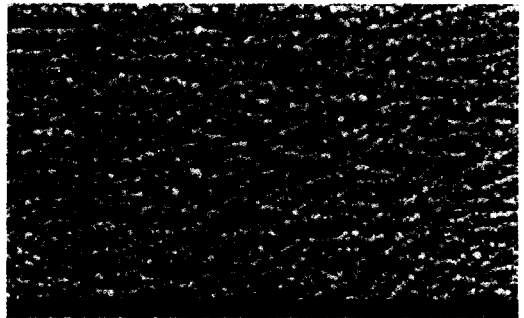
Fig. 2. Weight loss versus plasma treatment time of PET films



Untreatment



10[min] treatment



20[min] treatment

Fig. 3. SEM of plasma treated PET films

또한, 전자주사현미경(SEM)으로 관측한 결과를 Fig. 3에 나타낸다. 강한 방전에너지에 노출됨으로써 처리된 표면에 잔존하던 미세입자와 저분자 물질이 증발하고, 장시간의 처리에서는 플라즈마상에서 충돌하는 강한 에너지로 인하여 결합체의 파괴가 발생되어 깊게 패인 cave 형태의 크랙을 표면 전반에 발생시키며 거친 표면 형상을 나타내고 있다.

##### 4.2. 표면전위감쇠 특성

플라즈마 처리에 따른 표면의 전기적 특성을 분석하고자 처리된 시료를 코로나 대전장치에 장착하

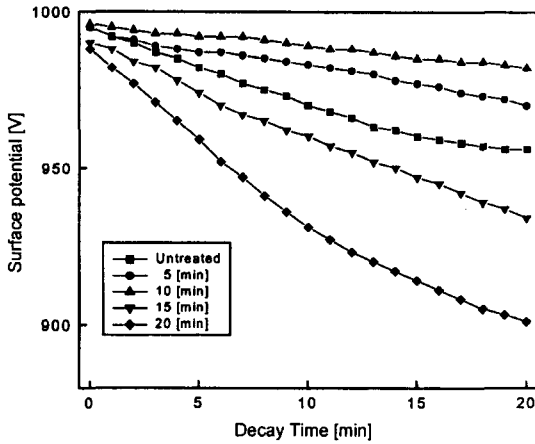


Fig. 4. The effect plasma treatment time on surface potential decay of PET films

고 정극성의 전하를 주입시킨 후 관측된 표면전위 감소 특성을 Fig. 4에 나타낸다. 10분 이내로 처리된 시료는 미 처리 시료와 비교해 표면에 주입된 전하 축적량이 많고 서서히 감소하는 현상을 나타내고 있으나, 15분 이상의 처리시간에서는 주입된 전하 축적량의 감소 및 급격한 전하 감소를 나타내고 있다. 이러한 결과는 표면처리 초기에는 플라즈마 처리로 인해 시료 표면에 잔존하던 유동적 극성 저분자 물질이 증발하고 재가교가 진행되어 표면에 공 급되거나 유기된 전하의 유동이 나 결합이 크게 어려워져 오히려 표면의 전기절연 특성이 향상되어 전하 감쇠가 서서히 나타나고 있으나, 처리시간이 15분 이상 증가함에 따라 플라즈마상에서 발생하는 라디칼이 더욱 증가하고, 원자간 또는 분자간의 결합을 파괴하여 다량의 결합쇄가 절단되어 표면전하의 포집능력이 급격히 저하함에 따라 주입된 전하의 축적량이 초기 시료에 비하여 감소를 나타내고, 표면전위감쇠도 급격히 나타내고 있으며, 이러한 경향은 표면 절연특성의 감소를 의미한다.

### 4.3. 표면저항률 특성

플라즈마 처리된 시료에 직류전압 500V를 인가하여 30분 경과 후 측정된 누설전류치로부터 계산된 표면저항률을 Fig. 5에 나타낸다. 미 처리된 시료는 표면저항률이  $10^{13} \Omega/\text{cm}^2$  범위에 있으나 처리시간이 10분 이내까지는 표면저항률이 증가하여  $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$  범위를 나타내고, 그 이상의 처리시간에서는 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 표면전위 감소 특성의 결과에서 나타나고 있는 현상과 상

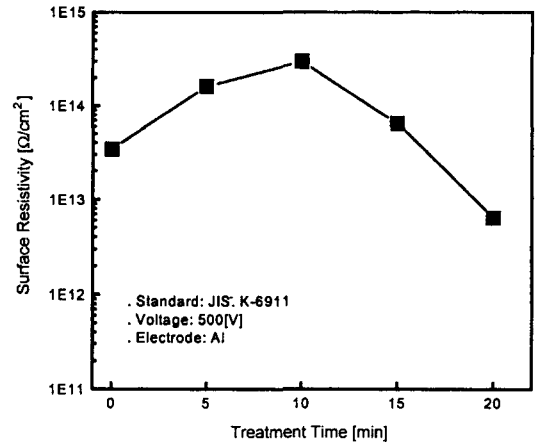


Fig. 5. Surface resistivity versus plasma treatment time of PET films

일치하고 있다. 따라서 플라즈마 방전에 노출된 PET 필름의 표면 분자쇄는 방전에너지로 인하여 일정시간까지는 오히려 표면 활성화가 지연되며, 표면 정전하 축적이 증가하여 표면의 전기적 절연특성이 향상되나, 처리시간이 증가함에 따라 과도한 방전 에너지로 인하여 분자간 결합력이 감소하고 표면의 결합쇄가 파괴되어 표면이 급격히 활성화되고 표면의 전하 축적량이 감소하여 표면의 절연 특성이 오히려 감소하는 결과를 나타내고 있다.

### 4.4. 유전특성

플라즈마 처리된 시료의 유전특성을 Fig. 6에 나타낸다. Fig. 6에서와 같이 PET 필름의 비유전율은 처리시간에 따라 상이함을 확인하였다. 1kHz의 주파수대역에서 처리 전 3.5정도의 값을 나타내지만 처리시간 10분에서는 3.37정도로 감소하고, 20분 처리에서는 3.6정도로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 10분 이내의 처리시료에서는 플라즈마 방전에 의해 발생한 라디칼이 시료 표면에 충돌하여 수분층을 제거하는 세정효과로 인하여 표면에서 weak boundary layer의 형성을 막아 표면결합이 양호해져 비유전율이 감소하나, 처리시간이 길어질수록 플라즈마상에서 발생하는 강한 에너지에 의해 안정된 성질을 갖는 고분자 사슬을 절단하여 분자량이 적은 oligomer를 형성시켜서 콜로이드 상의 저분자 물질이 증가하고 표면손상에 의한 미세요철의 증가와 함께 미세기포가 형성되기 때문에 오히려 비유전율이 증가하여 유전특성은 저하하는 것으로 판단된다.<sup>16)</sup>

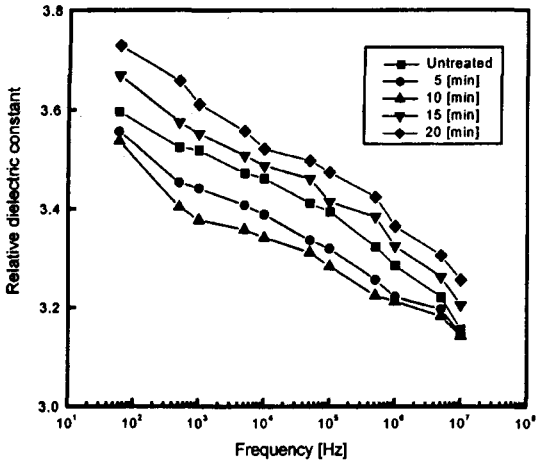


Fig. 6. Relative dielectric constant versus frequency of plasma treated PET films

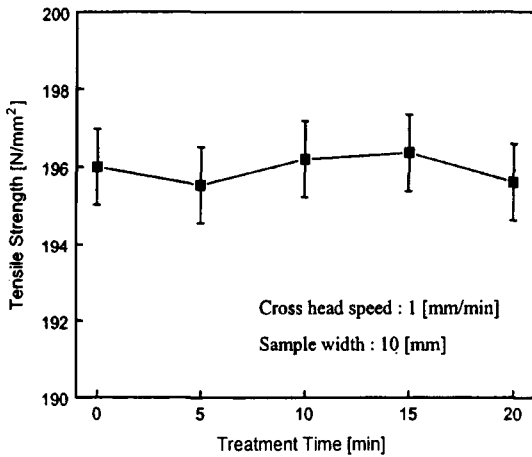


Fig. 7. Tensile strength versus plasma treatment time of PET films

#### 4.5. 인장강도

플라즈마 처리로 인한 표면에서의 질량변화가 기계적 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위해 처리시간에 따른 시료의 인장강도 변화를 Fig. 7에 나타낸다. 처리시간에 관계없이 인장강도는 큰 변화를 보이고 있지 않음을 나타낸다. 플라즈마 처리에 따라 표면에 질량의 변화는 발생되나, 처리 후 대기중의 노출로 열역학적 작용에 의한 극성기 반전<sup>17)</sup> 및 라디칼의 결합으로 인장강도는 큰 변화를 나타내지 않는다. 따라서 플라즈마 표면 처리는 PET 필름의 내부 물성에는 거의 영향을 미치지 않고, 단지 시료의 표면층에서만 표면처리 효과가 나타나고 있음을 알 수 있었다.

#### 5. 결 론

플라즈마 처리에 따른 PET 필름의 전기적, 기계적 특성변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) PET 필름을 플라즈마 처리시켰을 때 질량변화는 선형적인 감소를 나타내고, 처리시간이 증가에 따라 표면의 조직 형상이 거칠어진다.

2) PET 필름을 플라즈마 처리하면 짧은 처리시간에서는 플라즈마내 라디칼의 표면 충돌에 의한 세정작용과 플라즈마 에너지에 의한 표면의 저분자 극성물질의 증발로 인해 표면전위감쇠 특성, 표면저항률, 유전특성이 향상되어 결과적으로 전기절연특성이 향상되나, 장시간 처리시에는 다량의 라디칼 발생과 강한 에너지에 의한 분자간 결합력의 감소에 따른 결합쇄의 절단 등으로 전기적 절연특성이 감소한다.

3) 플라즈마 처리로 인한 PET 필름의 인장강도는 거의 변화를 보이지 않는데 이는 플라즈마 처리는 시료의 내부 물성에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 1) M. Paci, F. P. La Mantia, "Competition between degradation and chain extension during processing of reclaimed poly(ethylene terephthalate)", *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 61, pp. 417~420, 1998.
- 2) Wei Chen, Thomas J. McCarthy, "Chemical Surface Modification of Poly(ethylene terephthalate)", *Macromolecules*, Vol. 31, pp. 3648~3655, 1998.
- 3) L. Zhang, W. S. Chin, W. Huang, J. Q. Wang, "Investigation of the Surface Structures and Dynamics of Polyethylene Terephthalate (PET) Modified by Fluorocarbon Plasmas", *Surf. Interface Anal.*, Vol. 28, pp. 16~19, 1999.
- 4) T. Sakai, M. Nakao, S. Hoshino, M. Yumoto, "Processing of Polymer Surface by Low Pressure Discharge in Gases", *T. IEE Japan*, Vol. 112-A, No. 8, pp. 718~724, 1992.
- 5) J. Meichsner, M. Zeuner, B. Krames, M. Nitschke, R. Rochotzki, K. Barucki, "Plasma diagnostics for surface modification of polymers", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 98, pp. 1565~1571, 1998.
- 6) Kyung-Bum Lim, Duck-Chool Lee, "Study of the Surface Degradation Mechanism of an Epoxy Insulator Exposed to Water", *J. of the Korean Physical*

- Society, Vol. 37, No. 1, pp. 49~54, 2000.
- 7) 임경범, 이백수, 정무영, 이덕출, “열처리에 따른 Epoxy 복합재료의 표면 소수성증가에 관한 해석”, 전기학회논문집, Vol. 50C, No. 4, pp. 153~160, 2001.
  - 8) Chen Jie-Rong, Wang Xue-Yan, Wakida Tomiji, “Wettability of Poly(ethylene Terephthalate) Film Treated with Low-Temperature Plasma and Their Surface Analysis by ESCA”, J. of Appl. Polym. Sci., Vol. 72, pp. 1327~1333, 1999.
  - 9) Fabio Garbassi, Marco Morra, Ernesto Occhiello, POLYMER SURFACE, John Wiley & Sons Ltd., pp. 223~237, 1994.
  - 10) J. R. Hooahan and A. T. Bell, Technique and Application of Plasma Chemistry, Wiley-Interscience, pp. 328~336, 1974.
  - 11) R. C. Snogren, Handbook of Surface Preparation, Palmerton, pp. 207~220, 1974.
  - 12) 日本學術振興會プラズマ材料科學第153委員會, プラズマ材料科學ハンドブック, オム社, pp. 4~63, 1992.
  - 13) Sudarshan, Surface Modification Technologies, Marcel Dekker, Inc., p. 318, 1989.
  - 14) 高田達雄, 堺孝夫, 鳥山四男, “ポリエステルフィルムの帯電特性と漏れ現象の相關”, JIEE, Vol. 91, No. 2, pp. 85~90, 1971.
  - 15) 稱垣訓宏, “プラズマを用いる表面改質技術”, 表面, Vol. 30, No. 3, pp. 249~253, 1992.
  - 16) 김명룡, “코로나방전에 의한 Polyethylene Terephthalate 필름의 표면처리”, 전기전자재료학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 316~323, 1995.
  - 17) Chi-Ming Chan, Polymer Surface Modification and Characterization, Hanser Pub., pp. 1~4, 1994.