

유리섬유강화 복합재료의 방전처리에 따른 절연특성

임경범^{*} · 황명환^{*} · 김윤선^{*} · 유도현^{**} · 박종관^{***} · 이덕출

인하대학교 전기공학과 · ^{*}인천대학교 안전공학과

^{**}안산공과대학 전기과 · ^{***}유한대학 정보통신과

1. 서론

최근 고분자 화학의 급속한 발전에 따라 우수한 특성을 가진 다양한 절연재료가 개발되어 왔으며, 이러한 유기고분자 재료의 용도와 수요가 매년 급증하고 있다. 이들 고분자 재료 중 유리섬유 강화 복합재료(FRP; fiber reinforced plastics)는 전기·화학적으로 우수한 특성을 갖는 에폭시 수지에 기계적 강도를 보강하기 위해 유리섬유를 복합시킨 hybrid 재료로서 애자, PCB 기판 및 우주항공 산업분야에 이르기까지 그 응용분야를 확대시키고 있다¹⁻³⁾. 그러나 이러한 고분자재료는 사용환경에 따라 다양한 열화요인에 노출되어 물리·화학적 변형을 유발시켜 성능저하 및 수명단축을 초래하게 된다. 따라서 본 연구에서는 고분자 절연재료의 장기적 성능에 영향을 미치는 요인 중 방전노출로 인한 표면에서의 특성변화와 절연성능을 조사하여 기기의 수명관리 및 열화양상을 파악하기 위하여 방전처리에 따른 FRP 절연재료의 절연특성변화를 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 처리시료

본 실험에 사용한 시편은 프레스 성형법으로 제작된 글라스크로스 적층판으로서 에폭시 수지에 유리섬유를 이축방향으로 직조하여 배열시킨 것이다. 유리섬유의 직경은 10 μm 이고, 함유량은 체적비로 52 %의 시료를 사용하였으며, 실험에 사용된 FRP의 사양을 표 1에 나타낸다. 시료의 방전처리에 따른 열화 특성을 조사하기 위하여 섬유방향에 대해 45°, 두께 1.5 mm로 일정하게 절단한 후 연마제로 연마하였으며, 연마제 및 접착제 성분 등의 불순물을 제거하기 위하여 에탄올 용액 속에서 초음파 세척 후 건조 처리하여 시료로 사용하였다.

Table 1 Specification of the FRP laminate

구 분		사 양
FRP 구성		글라스크로스 적층판
성 형 법		프레스 성형법
유리 섬유		E-glass
글라스표면처리		에폭시 실란
비 중		1.8
글라스함유율	중량비	69%
	체적비	52%
제조회사		(주)아리사와[日本]

2.2 처리 및 측정

시료의 방전처리 실험은 60[Hz]의 AC 플라즈마를 이용하여 반응가스로 Dry air를 분당 25[ml/min]로 주입하였고, 방전시 반응기 내부의 압력은 0.7[Torr], 방전전류 20[mA]의 플라즈마를 발생시켜 처리시간을 1[hour], 2[hour], 3[hour], 4[hour]으로 설정하여 처리한 후, 각각의 처리 시간별로 특성 변화를 측정하였다.

처리에 따른 절연특성은 질량변화, 접촉각, 표면전위감쇠 측정, 표면저항률을 통해 분석하였다. 질량변화는 방전처리 후, 상온에서 10분 경과 후 전자저울(Sartorius)을 이용하여 10^{-4} [g]까지의 값으로 계산하였다. FRP의 경시적 표면활성화도를 알아보기 위한 접촉각(Contact angle meter, ERMA INC.)은 물과 시료표면에 탈 이온 증류수를 2 μ l의 Sessile Drop형태로 하적하여 1분이 경과한 후 측정된 값으로 10회 반복하여 그 평균값을 구하였다.

표면의 전기적 특성변화를 알아보기 위하여 코로나 대전장치를 이용한 표면전위 측정은 코로나 대전전극과 그리드 전극과의 거리는 45[mm], 그리드 전극과 시료표면의 거리는 5[mm]로 설정한 후, 전하주입은 코로나 대전전압 10[kV], 그리드 전압 5[kV], 대전시간 1[min]으로 각각 설정하여 시료표면에 전하(\oplus 극성, \ominus 극성)를 주입한 후, 대전종료 후 시료표면과 표면전위 탐침(probe)과의 거리를 5[mm]로 설정한 후⁴⁾ 표면전위가 초기값의 1/2에 이를 때까지 감쇠특성을 측정하였다.

또한, 표면저항률은 시료 크기에 적합한 원형의 마스크를 제작하여 Al으로 진공증착한 후 실버페이스트로 3단자 전극을 형성시켰다. 측정시료를 25℃로 설정된 항온조에 설치하고 미소전류계(Picoammeter 487, Keithley. Co)를 이용하여 직류전압 100 V를 인가하여 30분이 경과된 후 누설전류값을 측정하여 표면저항률을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 질량 변화

방전처리에 따른 시료의 질량변화를 그림 1에 나타낸다. 방전처리 시간에 비례하여 선형적인 감소를 나타내었다. 이러한 질량의 급격한 감소는 플라즈마내의 활성종이 표면에 충돌하여 수분층을 제거하는 세정효과로 시료 표면에 잔존하던 극성 저분자 물질과 콜로이드 상의 미세 입자가 증발하고, 시료의 결합 에너지보다 강한 방전 전리 에너지가 시료 표면에 조사되어 결합체의 파괴가 급격히 발생된 결과에 기인하는 것으로 생각된다.

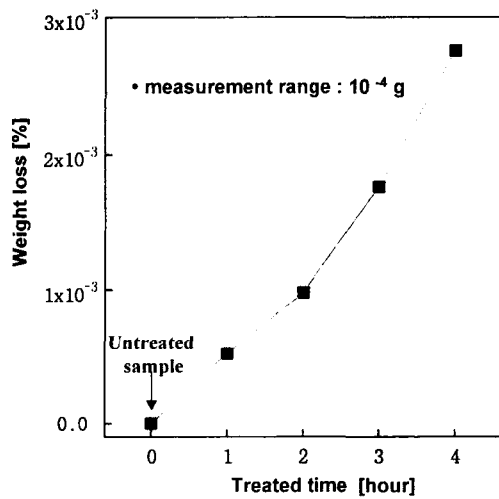


Fig. 1 Weight loss according to the discharge treatment of FRP

3.2 접촉각 특성

방전처리 시간경과에 따른 접촉각의 변화를 그림 2에 나타낸다. 처리시간에 따른 시료 표면의 변화는 처리시간에 정비례하는 급격한 친수성의 증가를 나타냈다. 이와 같이 단시간 처리에 따른 표면 활성화에너지의 급격한 변화는 근본적으로 플라즈마 환경에 노출된 표면에 다량의 라디칼이 발생되었음을 의미한다.

방전환경에 노출되면서 전리된 강한 에너지를 갖는 전자가 표면에 입사되고, 에폭시표면의 원자 또는 분자와 충돌함으로써 원자간 또는 분자간의 결합을 깨뜨려 연속적으로

다량의 결합쇄 절단을 발생하고 극성분자인 H₂O에 대한 상호작용이 초기보다 크게 증가하게 된다. 즉, 처리시간이 길어질수록 플라즈마상 전자에 충돌하여 발생하는 라디칼은 더욱 증가하고, 표면 활성화가 급진전되어 처리시간과 비례하는 접촉각 감소를 나타낸 것을 알 수 있었다⁵⁾.

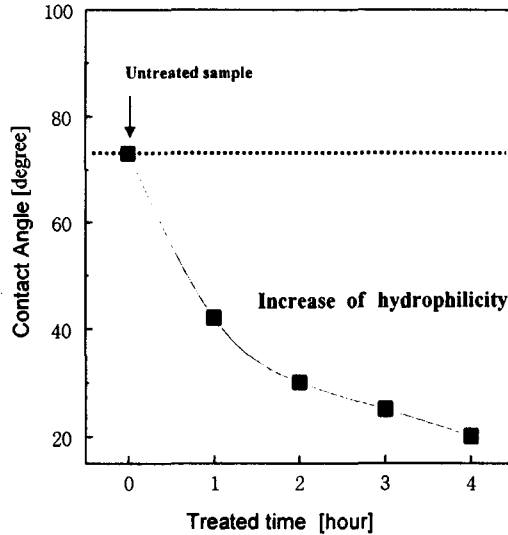
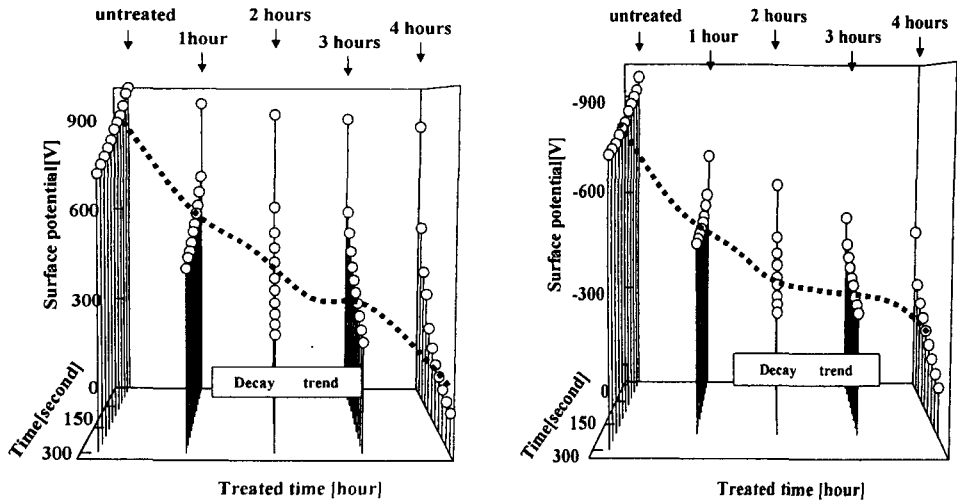


Fig. 2 Contact angle according to the discharge treatment of FRP

3.3 표면전위 감쇠 특성

표면에서의 전기적 특성을 분석하고자 처리된 시료를 코로나 대전장치로 대전시킨 후 관측된 표면전위감쇠 특성을 그림 3에 나타낸다. 정·부극성으로 주입된 표면전하의 시간 경과에 따른 감쇠경향은 방전공간에 노출된 시간이 증가할수록 표면전하의 포집 능력이 급격히 저하함을 알 수 있고, 이는 궁극적으로 표면 절연특성의 감소를 의미한다. 또한, 정전하의 감쇠보다 부전하의 감쇠가 약간 빠르게 발생되었다.

접촉각 결과에서도 알 수 있듯이 시료 표면이 급격히 친수화를 발생한 결과에 기인하는 것으로 라디칼을 다량 포함하고 있는 방전처리 시료는 정전적으로 표면이 정극성 표면을 형성하고, 상대적으로 부극성 주입전하보다 정극성 주입전하가 느리게 감쇠한 결과로서, 산소기 및 라디칼의 다량 발생으로 인한 친수화는 정전적으로 고분자표면을 정극성의 극히 불안정한 표면을 형성하게 되는 것이다.



(a) 정극성

(b) 부극성

Fig. 3 Surface potential decay according to discharge-treated FRP

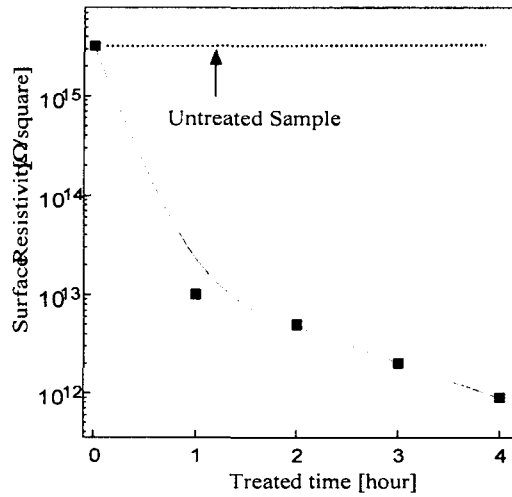


Fig. 4 Surface resistivity according to the discharge-treated FRP

3.4 표면 저항률

그림 4는 방전처리에 따른 FRP 표면의 저항률 변화를 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 방전 처리되는 시간이 증가함에 따라 표면 저항률이 지속적으로 감소하여 4시간 처리 시에는 $9.052 \times 10^{11} \Omega/\text{square}$ 의 저항값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상들은 접촉각 측정 및 표면전위감쇠 특성과 유사한 경향을 나타내고 있다.

4. 결론

방전처리에 따른 유리섬유강화 복합재료의 절연특성을 조사한 결과 방전처리에 따라 초기 플라즈마 상에서 발생된 고 에너지의 전자 및 전하에 고분자가 충돌되면서 주쇄 및 측쇄에서 무작위적인 결합쇄 파괴 및 결합쇄의 저 분자화와 절단쇄의 증발이 지속적으로 발생된다. 즉, 표면에 다량의 라디칼 발생과 분간력의 감소로 인한 결합쇄의 절단 및 파괴로 급격한 표면 친수화 경향을 나타내며, 이러한 현상으로 표면에서의 전기적 절연특성이 급격히 저하됨을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 학술연구조성비(국제협력공동연구과제)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) K. Dušek, Epoxy Resins and Composites, Springer-Verlag, pp.24~54, 1985.
- 2) 松岡良輔靜, 石原正道, "送配電用ポリマーがいしの開発", 電氣學會誌, Vol.18, No.4, pp.347~354, 1994.
- 3) M. H. Geier, Quality Handbook for Composite Materials, Chapman & Hall, pp.4, 1994.
- 4) 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
- 5) Micheal L. Owen and Patrick J. Smith, "Plasma treatment of polydimethylsiloxane", Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion, K. L. Mittal(ed.), VSP, pp.319~325, 1995.