

고온 가속열화에 의한 FRP 절연재료의 특성변화에 관한 연구

A Study on the Properties of FRP Insulation Materials by Thermal-Accelerated Degradation

이백수[°], 정의남[°], 한상옥[°], 박강식[°], 강대하^{##}, 나동근^{###}, 이덕출[°]
* 인하대학교 전기공학과 **삼척산업대학교 전기과 ***충남대학교 전기과
#충남전문대학교 전기과 ##부경대학교 전기과 ###목포전문대학 전기과

B. S. LEE[°], U. N. Chung[°], S. O. Han[°], C. S. Park[°]
D. H. Kang^{##}, D. G. Na^{###}, D. C. Lee[°]

* Inha Univ., ** Samchuk Industrial Univ., *** Chungnam Univ.
Chungnam Junior College ## Pukyung Univ. ### Mokpo Junior College

Abstract

In this work, properties of FRP insulation materials by thermal-accelerated degradation were investigated. Usually, most degradations cause the hydrophilic to decrease the contact angle and surface properties. But, in this work on thermal-degraded FRP, we can confirm the introduction of hydrophobic properties by cross-linking and the ablation of small-molecules rather than chain scission and oxidation. Hydrophobic introduction in thermal-degraded FRP caused the increase of electrical insulation on treated FRP surface. But, Tensile strength decreased steeply on FRP being exposed higher temperature.

1. 서론

유기절연물이 실외에 사용되는 경우, 자외선이나 오존 및 수분과 열에 의해 분해되어 급격한 특성저하를 야기한다. 특히, 절연재료의 특성은 온도의 영향을 크게 받으며, 실제 사용환경 하에서 이들 재료가 고온에 노출되면, 강한 열스트레스를 받게 되고 그에 따라 재료 표면 및 내부에서 물리·화학적 변화가 서서히 진행되어, 분자구조나 강화재 및 수지의 계면상태가 변화하는 비가역적인 특성변화를 나타내게 된다.

본 연구에서는 일정시간 동안 열에 의해 가속열화된 FRP의 특성변화를 검사 대상으로 하여, 열산화를 통한 질량변화와 표면활성화 정도를 조사하기 위한 접촉각 및 이에 따른 표면의 전기적 특성변화를 측정하고, 기계적인 인장강도를 연계 측정하여 각각의 상관성을 조사하는 것으로 열에 의해 가속열화된 FRP의 장기적인 내구성을 평가하였다.

2. 시편의 제작

본 실험에서 사용한 시편은 프레스성형법으로 제작된 글라스크로스(glass-cross) 적층판으로서 에폭시수지에 글라스 화이버를 이축방향으로 직조하여 배열시킨 것이다. 글라스화이버의 직경이 10[μ m]이고, 함유량은 체적비로 46[%]의 시료를 이용하였다. 시료의 처리에 따른 열화 특성을 조사하기 위하여 섬유방향에 대해 45°, 두께 1.0[mm]로 일정하게 다이아몬드 saw를 이용하여 절단한 후 절단면을 연마하였으며, 연마제 및 접착제 성분 등의 불순물을 제거하기 위하여 에탄올 용액속에서 초음파 세척 후 건조하여 처리를 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열화에 따른 질량변화 및 접촉각 특성

열적 열화를 목적으로 FRP를 전기로에 넣고 온도를 각각 70°C, 100°C, 150°C, 200°C 그리고 250°C로 50시간의 동일한 시간으로 열화를 모의하였다. 그림 1은 위와 같은 조건으로 처리된 FRP의 질량변화량을 나타낸 것으로, 150[°C]까지는 선형적인 감소를 보이고 있지만, 그 이상의 온도에서는 지수함수적인 급격한 질량변화를 보이는 것을 알 수 있었다. 처리 온도에 따른 FRP의 반응성은 온도에 대해 지수함수적으로 증가하여 공유결합에 의한 3차원 구조를 갖고 있는 고분자 매트릭스의 비결합 전자쌍이나 이중결합의 전자가 여기상태로 되고, 이에 따른 열산화 속도가 급격히 증가하여 열화가 가속된다. 또한 질량감소가 단일의 유기고분자보다는 복합화한 경우에 더욱 크게 발생하며, 섬유 말단부가 시료측면에 나와 있는 경우, 섬유방향을 따라 현저하게 진행된다. 이로 인해 열화는 고온공기 중에 장시간 노출되어 매트릭스와 섬유의 계면을 통한 크랙의 발전

으로 이어지게 되는 것이다. 그림 2는 열적 열화에 따른 질량변화를 불태와 같은 방법으로 열처리된 FRP의 표면의 접촉각을 측정된 것으로서, 처리온도의 증가와 함께 표면의 접촉각이 지속적인 증가를 보여 200[°C] 처리시료에서는 접촉각이 90° 까지 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히, 이런 열처리로 인한 소수적 특성의 발생은 일반적으로 친수성의 도입으로 발생하는 전기재료의 절연저하와는 달리, 주목할 만한 표면열화 특성으로서, 표면전위감쇠현상 및 표면저항과 관련되어 밀접한 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있었다.

3.2 열 가속열화한 FRP의 표면전위 감쇠특성

고온 가속열화로 인해 발생하는 표면특성변화의 전기적인 상관관계를 조사하기 위한 방법의 하나로써, 각 조건 하에서 가속열화된 FRP절연재료의 시간 경과에 따른 표면전위감쇠를 측정된 것을 그림 3에 나타낸다. 침전극에 의해 5[kV]로 3분간 동일하게 전하주입을 행한 후, 대전을 중지시킨 상태로 그 변화를 기록계로 측정된 것으로, 무처리 시료와 70 [°C] 및 100[°C]로 가속열화된 FRP시료까지는 표면에 공급된 전하가 어느정도 시간의 경과와 함께 줄어들고 있지만, 150[°C]이상의 시료에서는 표면에 주입된 전하가 전혀 감쇠하지 않는 현상을 볼 수 있었다. 이는 접촉각변화와 관련하여 표면의 활성화 정도에 대한 중요한 정보를 제공하는 것으로서, 열에 의한 가속열화가 표면의 전기적인 성질에 미치는 영향을 관찰할 수 있는 수단으로 FRP의 열 열화에 의한 소수성의 유기로 인해 표면활성화도가 초기보다 더욱 낮아지고 이에 따라 표면에 공급되거나 유기된 전하의 유동이나 결합이 크게 어려워져 오히려 표면의 절연특성은 향상되는 결과로 나타남을 알 수 있었다.

3.3 열 가속열화한 FRP의 표면저항률

그림 4는 그에 따른 표면 저항률을 JIS. K-6911 (열경화성 플라스틱의 일반시험방법)규정에 준하여 전극을 제작하고, 일정직류전압 500[V]를 인가하여 1분간 충전한 후, 안정된 전류값을 구하여 최종적으로 표면저항률을 구하였다. 열열화에 따른 표면저항을 역시 온도에 증가에 따라 그 특성값이 200[°C]처리까지 지속적인 증가를 보이고 있는데, 이것은 접촉각특성이나 표면전위특성의 결과와도 일치하는 것으로서, 처리전 10^{14} 승의 값을 나타내던 시료의 저항률이 처리 온도의 상승으로 인하여 200[°C] 시료에서는 10^{17} 승 이상의 값을 나타내며 지속적인 증

가를 나타냈다.

따라서 열에 장시간 노출되어 가속열화된 FRP의 질량변화는 시료내부와 표면의 미반응물 및 주위의 domain과 재가교를 발생하며 저분자량과 콜로이드 적 미세입자의 증발에 기인한 것으로 생각되고, 이로 인하여 야기된 시료의 소수성적 특성 발현으로 접촉각, 표면전하감쇠 및 표면저항률은 증가되는 결과를 나타낸 것으로 생각되었다. 또한, 강한 열에너지에 노출되어 발생하는 열화특성은 표면의 활성화를 지연시켰을 뿐만아니라, 오히려 유기고분자의 표면적을 줄이고 재가교를 촉진시켜 표면에 소수적 특성을 야기하고, 그 결과로 표면활성화 정도가 감소하여 접촉각이 증가하며, 이렇게 유기된 소수적 표면이 본 연구에서는 FRP의 표면저항률 및 표면전하감쇠의 둔화 등 오히려 표면의 절연특성이 향상되는 결과를 가져온 것으로 생각된다.

3.4 열화에 따른 인장강도

그림 5에 가속열화에 따른 FRP의 인장강도 변화를 나타냈다. 이것은 고분자 절연재료가 환경적인 가혹한 조건 및 전기적인 부하의 집중과 더불어 기계적인 스트레스를 동시에 받게되는 상태 하에서 상당히 중요한 요인으로 작용하는데, 본 연구 결과 고온 가속열화로 인해 전기적인 표면특성은 증가했지만, 인장시험을 통해 열화에 따른 기계적 강도는 계속적으로 감소하는 것을 알 수 있었으며, 특히 200[°C]이상으로 처리된 시료에서는 인장강도가 급격히 감소하여 $113[N/mm^2]$ 까지 감소하였다. 보통, 역학적 성질에 미치는 강한 열에너지에 의한 열화 평가에 있어, 특성저하는 대부분 섬유축 방향으로 발생되지 않고, 수지가 지배적으로 차지하는 방향으로 발생되며, 파괴 메카니즘은 보이드(void)와 크랙(crack)이 주요한 원인인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 각 처리에 따른 시료의 파단면 조사에서 열화의 진행에 따라 파단면에 더욱 많은 보이드 및 크랙을 발견할 수 있었으며, 또한 고온으로 열열화된 시료일수록 더욱 거칠게 파괴되어 있음을 볼 수 있었다.

4. 결 론

일정시간 동안 열에 의해 가속열화된 FRP를 검사 대상으로 하여 장시간 고온 노출로 인한 FRP의 열화특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) FRP는 열에 의해 발생하는 일반적인 유기고분자의 친수성 유기와는 달리, 표면에 강한 소수적 특

성을 나타내었다(재가교, 미세입자의 증발 발생).

(2) FRP의 소수적 표면특성은 표면전위 및 표면 저항률 등의 전기적 절연특성을 증가시켰고, 이는 열화에 따른 표면활성화도가 전기적으로 어떠한 결과를 나타낼지를 제시하는 중요한 열화진단기법으로 생각되었다.

(3) FRP의 고온열화에 의한 기계적 특성은 급격히 감소하였고, 수지와 섬유와의 열팽창 상이에 의한 비가역적 특성의 결과로 생각되었다.

참 고 문 헌

- [1] 高分子學會, “高性能高分子複合材料”, pp. 304-318, 1990
- [2] 黒田司, “表面電子物性”, pp. 4-26, 1989
- [3] Chen C. Ku & Raimond Liepins, “Electrical Properties of Polymer”, pp. 141-188, 1987

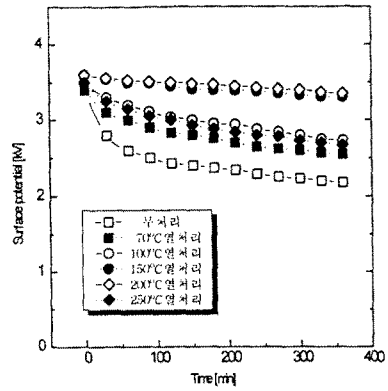


그림 3. 열 열화된 FRP 표면의 전위감쇠 특성
Fig. 3 Surface potential decay of thermal-degraded FRP

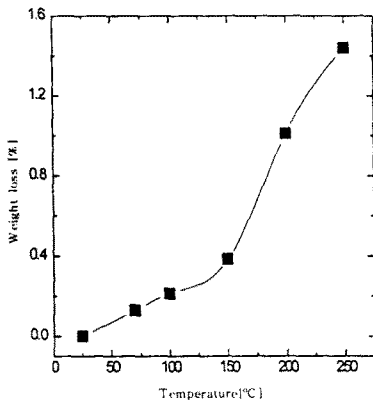


그림 1. 열화온도에 따른 FRP의 질량변화
Fig. 1 Weight loss of thermal-degraded FRP

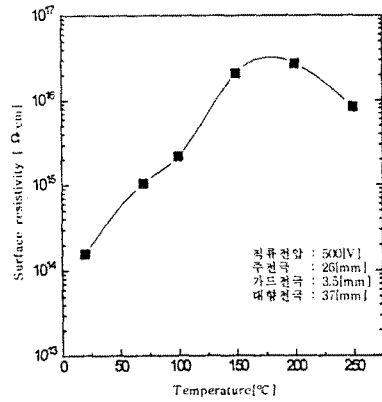


그림 4. 열화에 따른 FRP의 표면 저항률
Fig. 4 Surface resistivity of thermal-degraded FRP

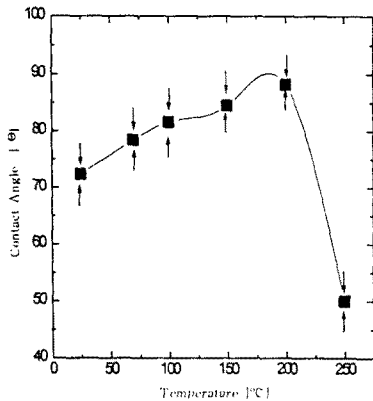


그림 2. 열화온도에 따른 FRP의 접촉각 특성
Fig. 2 Contact angle of thermal-degraded FRP

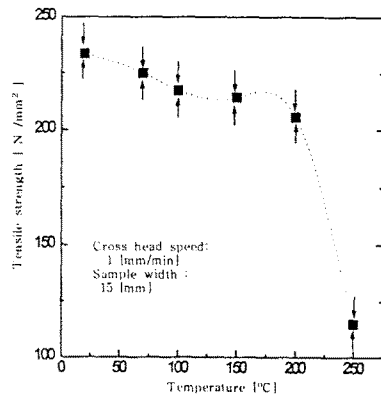


그림 5. 가속열화에 따른 FRP의 인장강도 특성
Fig. 5 Tensile strength of FRP by accelerated degradation