

FRP 복합절연재료의 유전특성에 미치는 염수처리의 영향



The Effects of Salt Water Treating on Dielectric Properties of FRP Composite Insulation Materials

박강식*, 한상옥**, 김종석***, 조한구#, 이덕출##, 市川 建二###

(Kang-Sik PARK*, Sang-Ok Han**, Jong-Seuk Kim***, Han-Ku Cho#, Duck-Chool LEE##, K. ICHIKAWA###)

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate FRP rod for aging, which exposed to salt water and pure at elevated temperature. Dielectric constant and $\tan \delta$ on time and frequency domain were tested to observe how rapidly the FRP rod aged. Dielectric constants of FRP rods with treating time were slightly increased. That of FRP rods with frequency, However, showed strongly the effects of large relaxation time estimated from interfacial polarization a or ionic. It is obvious that absorbed water affects to dielectric and electric properties of FRP with increasing the treating time.

Key Words(중요어) : FRP(섬유강화플라스틱), Salt Water(염수), Dielectric Properties(유전특성)

1. 서 론

FRP(Fiber Reinforced Plastic)는 전기적, 화학적으로 우수한 특성을 갖는 유기 재료에 기계적 강도를 보강하기 위해 글라스섬유를 복합시킨 재료로서 FRP의 용도에 따라 글라스섬유의 배열을 일축방향 또는 이축방향으로 직조하여 복합화 시킨 것이다. 매트릭스 재료로 사용되는 원료수지는 폴리에스테르(polyester), 에폭시(epoxy), 페놀(phenol) 및 실리콘(silicone) 등이 주로 이용되고 있으며 그 중 약 95 % 정도는 성형성이 우수한 폴리에스테르가 차지하고 있으며 이외에 높은 기계적 강도와 내식성이 요구되는 분야에는 에폭시 수지가 이용되고 있다.¹⁾ 이와 같이 유기재료와 무기재료를 복합화 시켜 개발된 초기의 FRP는 가볍고 기계적인 강도가 우수하여 각종 구조재료로 널리

이용되어 왔으며 1970년대 초반부터는 FRP를 전기절연재료로서 이용하려는 노력이 진행되어 왔다.^{2,3)} 그러나 초기에 개발된 절연재료는 절연특성의 경년열화와 기계적 특성의 신뢰성 문제로 인하여 상용화에 실패하였다. 그러나 성능향상을 위한 꾸준한 노력에 의해 최근에는 기계적인 강도와 절연특성이 우수한 것들이 개발되어 선진국들을 중심으로 배전용 애자나 기기 류의 하우징재료뿐만 아니라 송배전선로의 특고압용 절연재료로서 점차 그 응용기반을 넓혀 가고 있다.⁴⁾ FRP를 이용한 고분자 애자의 경우 미국과 캐나다에서 현재 송전급까지 채용되고 있으며 1993년 기준 전체 애자 사용량 중 고분자 애자가 차지하는 비중이 30 %를 넘어서고 있다.⁵⁾ 이와 같은 세계적인 추세에 따라 국내에서도 1973년도에 최초로 고분자애자를 시험 사용한 이후 1995년 다량의 배전용 고분자 애자가 시험 사용을 위해 도입되어 있다. 그러나 이와 같은 사용추세에도 불구하고 옥외 환경에 대한 FRP 절연재료의 장기적인 성능의 불확실성 때문에 실제 적용에 많은 검토를 진행하고 있는 실정이다. FRP가 주로 사용되는 분야는 고압 또는 특고압 휴즈등의 하우징재료와 부싱 및 고분자 애자의 코어재료이며 고분자 애자의 경우 FRP는 내부절연강도와 기계적 강도를 유지하는데 사용되고 있다. 고분자애자의 경우 FRP rod 단독으로 사용되는

* : 충남전문대학 전기과

** : 충남대학교 전기공학과

*** : 대전산업대학교 전기공학과

: 전기연구소 절연재료실

: 인하대학교 전기공학과

: 일본 산업안전연구소 물리안전연구부

접수일자 : 1996년 7월 11일

심사완료 : 1996년 12월 26일

경우는 드물고 대부분 그 외부를 실리콘러버, EPDM, 폴리에스테르 계통의 절연재료로 덮여 있어 외부절연을 담당하고 있다.⁶⁾ 그러나 고분자애자의 경우 옥외 환경 하에서 장기간 사용될 경우 이 중 절연재료의 계면에서 수분침투 등에 의한 탈리가 진행되어 FRP가 외기에 노출될 가능성이 있으며 또한 고압용 COS의 휴즈 홀더와 같이 상시 대기 노출된 상태로 사용할 경우 이들의 성능 저하가 제품의 장기적인 신뢰성을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 다른 외피재료와 함께 FRP에 대한 열화특성도 함께 고려해야 함에도 불구하고 고분자 재료에 대한 열화특성 연구는 주로 외피 절연재료에 대해 집중되고 있으며 FRP에 대한 열화특성 연구는 현재까지 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 FRP는 서로 다른 종류의 재료가 결합된 계면이 존재하고 그 계면이 물에 노출될 경우 흡습이 일어나고 이와같은 결과가 전기적 특성에 미치는 영향은 아직 보고된 바가 없다. 흡습 상태에서 이 계면층이 전기적 특성에 미치는 영향에 대한 규명은 FRP의 절연과피 및 절연열화의 메커니즘 규명에 중요한 역할을 할 것으로 기대되며 이러한 조사를 통하여 FRP의 장기적인 성능평가에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 복합고분자 애자의 장기적 성능에 영향을 끼치는 여러 가지 요인들 중 순수와 염수에 의한 열화특성을 조사하기 위하여 실제 송전급 고분자애자에 사용되고 있는 FRP를 이용하여 고온의 물 속에서 가속열화시켜 표면열화특성과 유전특성을 조사하여 자연환경에 의한 FRP 복합고분자재료의 특성을 평가하였다.

2. 이 론

복합재료는 대부분 유기재료와 무기재료가 합성된 형태로서 각 재료의 장점을 가지면서 또한 각 재료가 갖는 단점을 상호 보완하는 효과를 갖는다. 무기재료는 압축강도는 강하지만 내충격성이 약한 반면 유기재료인 매트릭스는 우수한 내충격성을 갖고 있기 때문에 이 두 물질을 복합화 시키면 재료에 가해지는 기계적 응력을 넓은 범위에 골고루 분산시켜 우수한 기계적 강도를 갖게 된다.

2.1. 매트릭스 재료

FRP의 매트릭스 재료로 사용되고 있는 재료의 종류는 불포화 폴리에스테르, 에폭시, 페놀등이 주로 사용되고 있으며 그 중에서 불포화 폴리에스테르가 전체의 약 95%를 점유할 정도로 일반 강화

플라스틱으로서 주로 사용되고 있으며 이외에도 전기절연재료로서 에폭시계와 페놀계의 FRP가 일부 사용되고 있다. 각 매트릭스 재료별 특징을 표 1에 나타냈다.

2.2. 강화제로 사용되는 섬유 특성

일반적으로 복합재료의 강화제로 사용되는 섬유 재료로서 요구되는 특성은 다음과 같다.

- (1) 강도 및 탄성계수가 클 것
- (2) 매트릭스 재료보다 탄성계수가 클 것
- (3) 매트릭스 재료와 접착력이 좋을 것
- (4) 비 강도 및 비 탄성계수가 클 것
- (5) 내열성 내마모성 내풍화성등이 뛰어난 것

2.3. 글라스 섬유에 의한 강화 메커니즘

복합재료가 우수한 역학적 성질을 나타내는 것은 외력이 매트릭스에 의해 강화제에 균등히 분배되고, 또한 국부적인 결합에 의해 생기는 일그러짐과 응력집중도 매트릭스에 의해 균일하게 재분배되기 때문이다. 연속글라스를 이용한 글라스강화 복합재에 있어서 강화 기구는 다음과 같다.⁷⁾

표 1. FRP 매트릭스 수지의 종류와 특징
Table 1. The kinds and outstanding points of the resin for FRP matrixes

종 류	특 징
불포화폴리에스테르	1. 다양한 성형방법 가능 2. 저압에서 성형 가능 3. 물성이 우수하다. 4. 내식성이 양호
에폭시 수지	1. 기계적 특성 우수 2. 내식성이 뛰어나다. 3. 경화수축이 작다. 4. 접착성 우수 5. 작업성이 뛰진다.
페놀수지	1. 저가이다. 2. 내열성이 우수 3. 전기적 특성 양호 4. 내식성 우수
실리콘 수지	1. 내열성이 뛰어나다. 2. 전기적 특성 뛰어나다
비닐에스테르 수지	1. 내식성 우수 2. 기계적 강도 크다. 3. 경화수축이 작다.

일축방향으로 글라스 섬유에 의해 보강된 복합 재료에 장력을 가하면 장력 P와 각 구성부분의 재

료에 생기는 응력과 관계는 다음 식^[4]으로 표현된다.

$$p = \sigma_c A_c = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m \quad (1)$$

로 된다. 단, σ_c , σ_f , σ_m 은 각각 복합재, 강화재, 매트릭스재료의 평균 인장 응력이다. 또한 A_c , A_f 및 A_m 은 각각 복합재, 강화재 및 매트릭스의 단면적이다.

여기서 글라스섬유의 체적함유율을 V_f 라 하면

$$\frac{A_f}{A_e} = V_f, \quad \frac{A_m}{A_c} = 1 - V_f \quad (2)$$

로 되고 식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad (3)$$

복합재의 항복응력은 다음과 같이 된다.

$$\sigma_{cu} = \sigma_{fu} V_f + \sigma_m^* (1 - V_f) \quad (4)$$

여기서 σ_{fu} 는 강화재의 파단 또는 항복응력이고 σ_m^* 는 강화재가 파단 혹은 항복 일그러짐에 도달할 때의 매트릭스 응력으로 매트릭스 자체의 파괴응력보다 작다. 강화재의 함유율이 낮을 경우 강화재는 오히려 이 물질로서 작용하여 매트릭스의 단면적을 감소시켜 복합재의 강도를 감소시킨다. 그러나 식 (4)는 강화재의 함유율이 낮을 때는 오차가 커지며 V_f 가 0 즉, 강화재가 들어 있지 않을 경우 σ_{cu} 는 σ_m^* 로 되지 않고 매트릭스 자체의 파괴응력이 되어야 한다. 따라서 강화재 함유율이 낮은 영역에서는 다음과 같이 된다.

$$\sigma_{cu} = \sigma_m (1 - V_f) \quad (5)$$

단, σ_{mu} 는 매트릭스의 파괴응력이다.

σ_{mu} 가 (5)식에서 (4)식으로 바뀌는 V_f 의 임계치 V_{fc} 는

$$\sigma_m (1 - V_{fc}) = \sigma_{fu} V_{fc} + \sigma_m^* (1 - V_{fc}) \quad (6)$$

로부터 구할 수 있다. σ_{fu} 가 σ_{mu} 및 σ_m^* 보다 훨씬 크다고 하면

$$V_{fc} = (\sigma_m - \sigma_m^*) / \sigma_{fu} \quad (7)$$

로 된다.

2.4. 글라스섬유의 표면 처리제

복합재의 특성을 좌우하는 글라스섬유의 요건으로는 글라스섬유의 재질, 제조공정 및 글라스섬유의 표면처리이다. 이 중에서 글라스의 조성이나 섬유 직경 등은 용도에 의해 거의 결정되기 때문에 그 변화의 여지는 크지 않다. 반면 제조공정과 표면처리는 상호 관련이 있으며 복합재의 품질을 좌우하는 중요한 요소이다. 따라서 적절한 표면처리제의 선택에 의해 그 품질의 향상 가능성도 매우 많아진다. 복합재는 대부분 무기재와 유기재의 복합으로 그 화학적 성질이 전연 다르기 때문에 재료 자체로는 화학적 결합이 어렵다. 따라서 두 재료의 접착을 좋게 하기 위하여 필름 형성제와 윤활제 및 결합제로 이루어진 표면처리제를 이용하여 두 재료의 접착이 원활하게 이루어지도록 한다. 표면처리제는 일반적으로 가수분해 하기 쉬운 기를 갖고 다른 단에는 수지와 반응하기 쉬운 관능기를 갖는 것들이 이용되고 있다. 그림 1에 에폭시실란 커플링제와 섬유표면의 결합을 일으키는 두 가지 종류의 결합 반응 구조를 나타냈다.^[1]

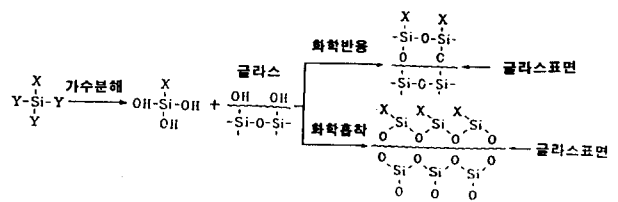


그림 1. 에폭시실란 커플링제와 섬유표면의 반응 구조

Fig. 1. Reaction structure of glass fiber with epoxy silan coupling agent

첫 번째 방법은 화학적 반응으로 실리콘 원자를 포함하는 결합제가 가수분해 반응에 의해 수산기로 둘러싸이게 되고 이것을 사전에 표면처리한 글라스 섬유에 반응시키면 탈수반응을 거쳐 실리콘 원자들 사이에 에테르기가 개재되어 화학적인 결합을 하게되는 것이다. 두 번째는 화학적 흡착으로 에폭시 물질과 결합하고 있는 결합제가 탈수 반응에 의해 물분자가 떨어져 나가고 에테르기가 계면에서 서로 흡착하는 반응구조이다. 단, X는 아민 그룹등 수지와 결합하는 기이고 Y는 에스테르등의 그룹을 나타낸다.

3. 시편의 제작 및 측정

3.1. 시편의 제작

본 실험에서 사용한 FRP는 일본의 아리사와(주)에서 제작된 고분자 에자용 복합재료로서 에폭시에 글라스섬유를 함침시켜 인발 성형한 것으로 글라스섬유를 일축 방향으로 배열시킨 것이다. 시험에 사용된 FRP는 글라스섬유의 직경이 10 μm 이고, 글라스섬유 함유량은 체적비가 각각 56%, 57%의 두 가지의 시료를 이용하였으며 각 FRP의 사양 및 제조법을 표 1에 나타냈다. 실험에 사용된 FRP는 글라스섬유의 배열방향이 한쪽 방향으로 되어있기 때문에 시편의 방향에 따라 특성이 각기 다르게 나타내게 된다.

FRP는 유기재료와 무기재료를 복합화 시킬 때 두 재료의 화학적 결합을 돕기 위해 글라스섬유의 표면을 에폭시실란으로 표면처리하였으며 계면을 통하여 수분이 침투할 가능성이 높기 때문에 FRP의 계면이 전기적, 화학적 특성에 주는 영향을 고려하여 글라스섬유의 방향에 대해 수직방향으로 두께 2mm로 얇게 절단하였다. 얇게 절단한 시료는 시료별 두께의 오차가 있고, 또한 표면이 거칠기 때문에 이들을 연마하였다. 연마가 끝난 시료는 절단이나 연마과정에서 부착된 이 물질이나 유기물질들을 제거하기 위하여 에탄올 속에서 초음파 세척기로 세척하여 공기 중에서 건조하였다.

실험을 위해 가공된 A, B 형 시편의 표면상태를 그림 2 에 나타냈다. 시료의 단면은 대기압중에서 제작한 A형 시료가 에폭시 부분에 많은 마이크로 홀과 더스트가 많이 존재하고 글라스 섬유부분에서는 많은 크랙이 관측되었다. 반면 가압법에 의해 제작된 B형 시료는 A형 시료에 비하여 글라스섬유 부분의 크랙이나 마이크로 홀들이 거의 관측되지 않았다. 이때 섬유 부분의 크랙이나 에폭시 부분의 더스트가 시편의 절단이나 연마시에 발생한

표 2. 실험에 사용된 FRP 로드 의 사양

Table 2. specification of the FRP rod used for experiments

	A	B
제 조 방 법	글라스 로빙	글라스로빙
성 형 조 건	기중상압법	기중가압법
글라스표면처리	에폭시실란	에폭시실란
글라스함유율	57 vol %	56 vol%
밀 도	2.0	2.0
하이버 직경	10 μm	10 μm
FRP rod 직경	35 mm	35 mm
제 조 회 사	아리사와(주)	아리사와(주)

것인지는 확인하기 어려웠지만 A, B 두 시료를 동일한 방법과 과정에 의해 준비하였으므로 시편의 가공과정에서 부착된 것이라기보다는 FRP의 제작 공정에 의한 것으로 생각된다.

또한 두 시료 모두 시편의 위치에 따라 글라스섬유의 분포가 다르게 나타났다. FRP의 단면은 육안으로도 확인할 수 있을 정도로 글라스섬유의 분포가 고르지 않은 것을 관측할 수 있었으며 이것은 FRP를 인발 성형하는 과정에서 1회의 인발성형에 의해 원하는 직경을 얻을 수 없기 때문에 2-3 회 반복하는 과정에서 글라스섬유의 분포가 균일하지 않게 되었기 때문이며, A 시료에 비해 B 시료가 글라스섬유의 함유량이 많은 것처럼 보이지만 전체적으로는 A형 시료의 글라스 함유량이 약간 높게 나타났다.

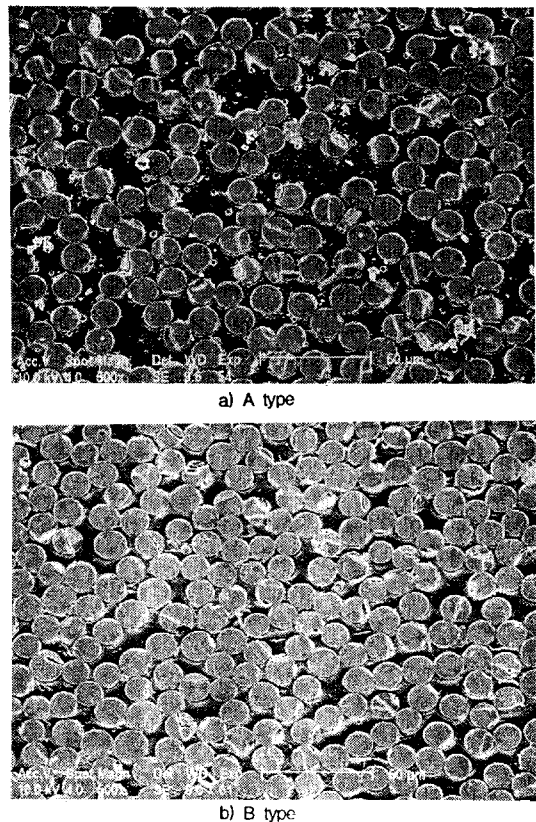


그림 2. 제작된 FRP 단면의 SEM 사진

Fig. 2. Scanning electron micrograph of section of FRP samples

a) A type(57 V%) b) B type (56 V%)

3.2. 측 정

순순한 물과 소금물에 의한 열화를 촉진시키기

의하여 증류수를 500 ml의 비커에 200 ml씩 담고 한쪽 편에는 순수한 물을 다른 한쪽 편에는 시약 급의 순수한 NaCl을 0.1 wt% 첨가한 후 미리 준비한 시편을 각각의 물에 담근 후 100 °C로 세트된 오븐 속에 놓았다. 측정은 40 시간 간격으로 오븐으로부터 꺼내 중량을 측정하여 흡습량을 계산하였다. 또한 유전율과 $\tan \delta$ 는 유전손 측정장치(ANDO)를 이용하여 24°C의 질소가스중에서 30 Hz ~ 30 KHz의 주파수 범위에서 측정된 후 계산에 의해 구하였다. 측정이 끝난 시료는 상기의 열화조건에서 다시 40 시간 처리시킨 다음, 위의 과정을 반복하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 유전율의 열화시간 의존성

본 실험에서는 FRIP가 물에 장시간 노출되었을 때 수분의 침투 정도와 침투한 물에 의해 일어난 물리적, 화학적 변화에 대한 정보를 얻기 위하여 시료를 100 °C의 순수한 물과 0.1 Wt%의 소금 물에서 처리한 후 40 시간 간격으로 비유전율과 유전손율을 측정하여 나타낸 것으로 각각 그림 3과 그림 4에 나타냈다. 처리하지 않은 시료의 비유전율은 약 4 정도의 값을 나타냈으며, 처리 시간이 길어짐에 따라 서서히 증가하다가 160 시간 부근에서는 비유전율과 유전손율이 급격히 증가하였다. 그러나 유전손율은 80 시간 부근까지는 완만한 증가를 나타냈으나 약 120 시간 부근에서부터 유전손율이 급격하게 증가하였다. 장시간 영역에서 유전손율이 급격히 증가하는 것은 교류누설전류가

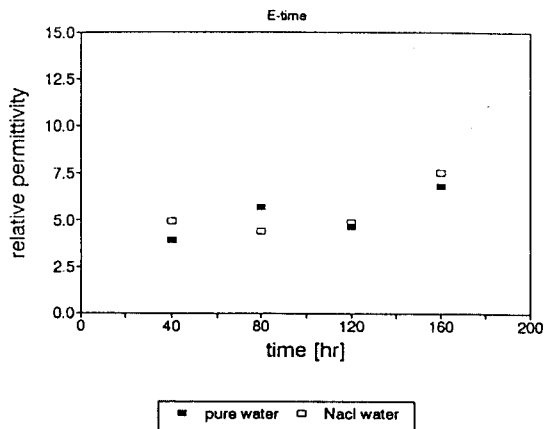


그림 3. 비유전율의 처리시간 의존성
Fig. 3. Relative permittivity vs treating time

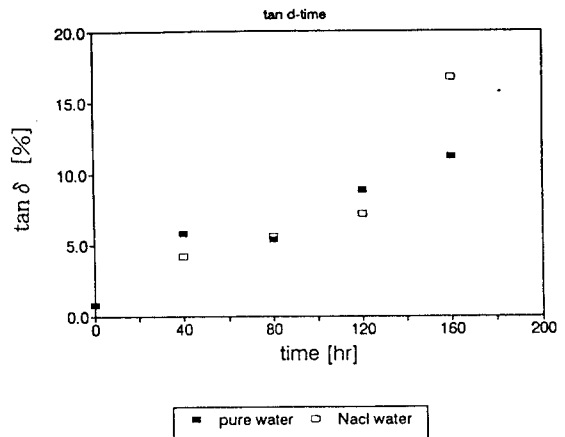


그림 4. 유전손율의 처리시간 의존성
Fig. 4. $\tan \delta$ vs treating time

급격히 증가하는 것으로 볼 수 있으며 이와 같은 특성은 물에 의한 열화가 시료내부에서 급격히 진행되고 있음을 나타낸다.

4.2. 유전율의 주파수 의존성

일반적으로 절연재료에 대한 유전특성은 1 KHz 범위의 값을 기준으로 삼고 있다. 그러나 본 시료의 경우에는 통상 상용주파수 영역에서 주로 사용되고 있기 때문에 상용주파수 영역을 포함한 저주파 영역에서의 시료의 주파수 의존성을 측정하여 그림 5와 그림 6에 나타냈다. 비교적 처리시간이 짧은 경우에는 비유전율의 증가는 그다지 크지 않으나 처리시간이 120 시간을 넘어 160 시간에 가까워짐에 따라 유전율이 급격히 증가하였으며 주파수에 의한 영향이 현저히 나타나고 있다. 이것은 FRIP 본래의 유전율이 4 이고 물이 약 80 인 것을 고려하면 120 시간 이상이 되면 흡습이 증대되어 비유전율이 급격히 상승하는 것으로 추정된다. 유전손율은 처리 전에는 전 주파수 영역에 걸쳐 동일한 값을 나타냈으나 처리시간이 길어짐에 따라 급격히 증가하였으며, 처리시간이 160 시간일 경우에는 처리 전에 비해 약 8배로 증가하였으며 주파수가 증가함에 따라 완만히 감소하였다. 특히 염수로 처리된 시료에서의 변화 폭이 순수로 처리된 시료보다 크게 나타났다. 그러나 이와 같은 변화는 주파수가 낮은 영역에서 주로 나타났으며, 주파수가 높아질수록 적었다. 물과 같이 영구 쌍극자기를 갖는 극성 물질의 주파수 의존성에서는 저주파 영역에서 유전율이 주파수증가에 따라 급격히 감소하게 되는데 이것은 분극의 완화시간에 기인

하는 것으로 유극성 물질에 직류전계를 가하면 영구쌍극자는 점성저항을 받으며, 전기변위는 다음 식으로 주어진다.⁸⁾

$$D(t) = \epsilon_0(\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty})E(1 - e^{-\frac{T}{\tau d}}) + \epsilon_0\epsilon_{r\infty}E \quad (8)$$

단, ϵ_0 는 진공의 유전율, ϵ_{r0} 는 주파수가 0일때의 비유전율, $\epsilon_{r\infty}$ 는 분극이 따라가지 못할 정도의 높은 주파수에서의 비유전율, T는 온도, γ_d 는 완화시간, E는 전계이다. 또한 교번전계에서 유전율은

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \\ &= \epsilon_{r\infty} + \frac{\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}}{1 + \epsilon^2 \tau^2 d} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_r' &= \epsilon_{r\infty} + \frac{\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}}{1 + \epsilon^2 \tau^2 d}, \\ \epsilon_r'' &= \frac{(\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}) \epsilon \tau d}{1 + \epsilon^2 \tau^2 d} \end{aligned} \quad (10)$$

로 된다. 고분자재료는 구조적 복잡성에 의해 완화시간 γ_d 가 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 이 때문에 유전율도 비교적 넓은 주파수 범위에 걸쳐 크게 감소하게 된다.

특히 유전율 변화가 저주파 측에서 보다 현저하게 변하는 것은 교번전계에 의한 배향속도가 느린 성분들에 의한 것으로 쌍극자 분극과 공간전하 분극 등에 의한 것으로 볼 수 있으나 일반적으로 쌍극자 분극의 영향이 10^6 Hz 부근에서 나타나는 것을 고려하면 그보다 훨씬 낮은 영역에서 유전율이 급격히 감소하는 것은 FRP내부로 침투된 물의 쌍극자 배향분극에 의해 나타나는 것으로 보기는 어렵고 그 보다 완화시간이 훨씬 긴 계면분극이나 공간전하 분극에 의한 것으로 추정된다. 시편의 양쪽 면에서 침투하기 시작한 물이 어떤 거리만큼 침투하였다고 가정할 때의 그 구조는 3층 구조로 나타낼 수 있다. 수분이 침투된 후의 유전체는 두께 방향으로 수분이 침투한 부분과 침투하지 못한 부분이 교대로 배치된 형태로 각 층은 유전율과 도전율이 다르게 된다. 이 상태에서 전계가 인가되면 물리정수의 차이에 의해 각층의 계면에는 전하가 축적되어 계면분극을 일으키게 된다. 이와 같은 계면분극은 전하가 이동하여 계면에 축적하여 나

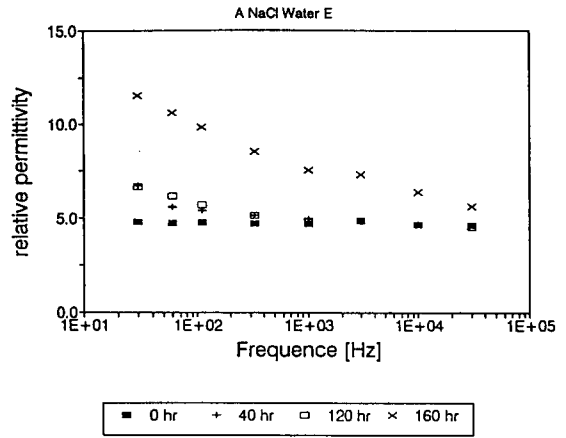


그림 5. 비유전율의 주파수 의존성
Fig. 5. Relative permittivity vs frequency

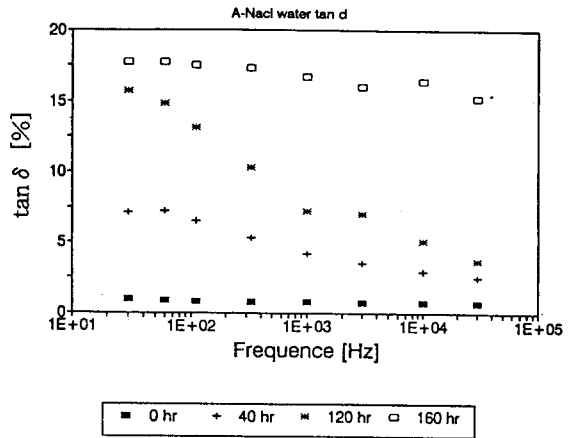


그림 6. 유전손율의 주파수 의존성
Fig. 6. tan δ vs frequency

타나는 분극이므로 완화시간이 쌍극자분극의 경우에 비해 훨씬 길어지게 된다. 그러나 물의 유전율이 약 80 정도인 것을 고려하면 100 °C에서 160 시간 동안 처리한 시편의 비유전율이 물과는 상당한 차이를 보이고 있다. 이것은 물분자가 에폭시수지 매트릭스나 글라스섬유와 에폭시수지의 계면으로의 침투가 용이하지 않음을 나타낸다.

4.2. 순수한 물과 소금물의 영향비교

그림 7은 처리 전의 시료와 처리 후의 시료에 대해 순수한 물과 소금물로 처리하였을 경우에 대해 비유전율을 비교측정한 것이다. 처리전의 비유전율은 약 4.8을 나타냈으나 처리 후에는 순수한 물에서 처리한 것이 30 Hz에서 8.9, 소금물에서 처

리한 것이 12.2로서 소금물에서 처리한 것이 보
크게 나타났다. 그러나 30 KHz의 영역에서는 이들
값이 거의 비슷한 수준을 나타내 완화시간이 매우
긴 분극들에 의해 나타나는 것으로 생각된다. 또한
소금물로 처리한 쪽이 유전율이 큰 이유는 소금물
에 녹아있는 수산화나트륨이 이온화하여 각각 Na^+ ,
 OH^- 로 되어 이들에 분극에 기여하기 때문으로 생
각된다.

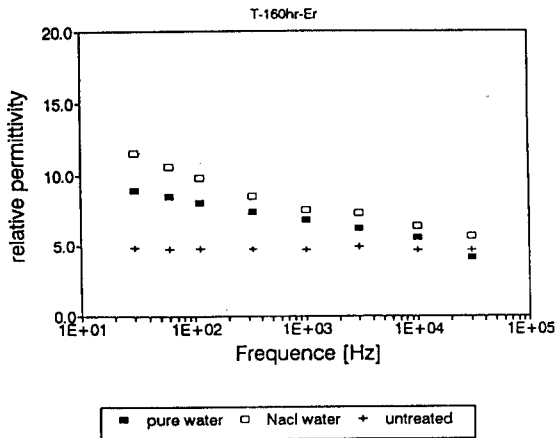


그림 7. 비유전율의 처리수 의존성
Fig. 7. Relative permittivity vs treating water

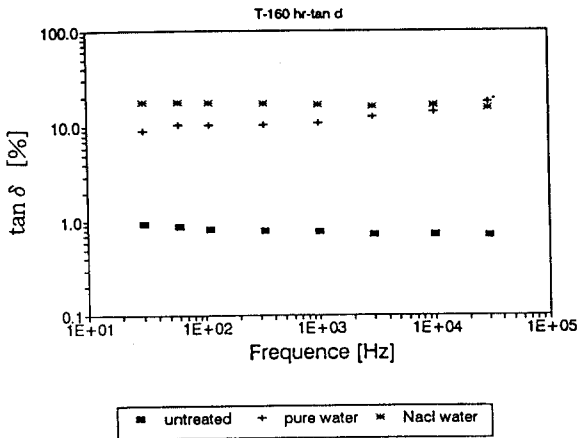


그림 8. 유전손율의 처리수 의존성
Fig. 8. $\tan \delta$ vs treating water

그림 8은 동일한 조건으로 유전손율을 측정하여
나타낸 것으로 처리전의 시료는 유전손율이 1 %
내외였으나 160 시간 처리한 시료에서는 순수한
물의 경우가 약 10 배, 0.1wt%의 소금물의 경우가

20 배 가량 증가하는 것으로 나타나 흡습의 영향
이 매우 큰 것을 알 수 있다.

흡습에 의한 유전손율의 증가는 곧 누설전류의
증가를 나타내며 일반적으로 처리시간에 거의 비
례적인 것이 보통이지만 그림 3의 결과처럼 160
시간 영역에서 유전율이 급격히 증가하는 것은 단
일재료에서 나타나는 특성은 아닌 것으로 생각된
다. 만일 단일재료에서 나타난 것이라면 시간에 따
라 서서히 변하는 것이 일반적인 현상인데 160 시
간에서 급격히 변화하는 것은 고온의 물 속에서
장시간 처리에 의해 FRP와 에폭시가 결합하고 있
는 계면에서의 분리가 일어나 그곳으로 물이 침투
하여 일어나는 것이 아닌가 생각된다. 또한 30 Hz
에서 순수한 물과 유전손율이 약 10 %정도이지만
소금물에서 처리한 시료의 유전손율은 19 % 정도
로 소금물이 순수한 물에 비하여 도전율이 크기
때문으로 생각된다.

4.3. 흡습량의 시간의존성

흡습은 재료의 전도특성이나 유전특성은 물론
팽윤, 가수분해등 물리적, 화학적특성에 영향을 주
게된다. 따라서 시료를 물속에서 고온으로 처리하
였을 경우 이들의 영향은 흡습량과 밀접한 관계가
있다. 고분자재료의 흡습량이나 내수성을 측정하는
방법으로 ISO나 ASTM등에서 권장하는 중량법,
부력법, 용량법등이 있으나 그중에서 중량법이 일
반적으로 간편하게 이용할 수 있는 방법이기 때문
에 본 실험에서도 매 40 시간 간격으로 중량을 측
정하여 그림 9 에 나타냈다.

흡습은 대부분초기 40 시간 이내에 이루어지고

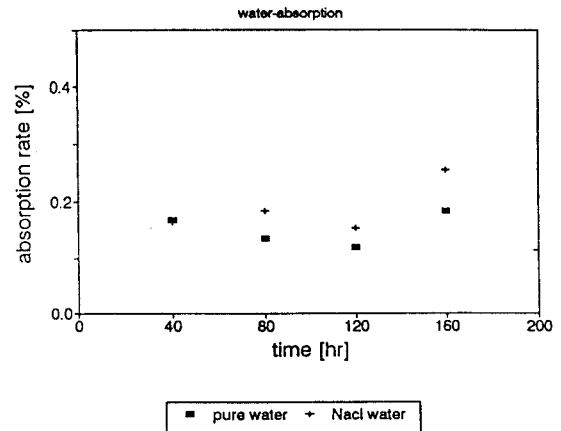
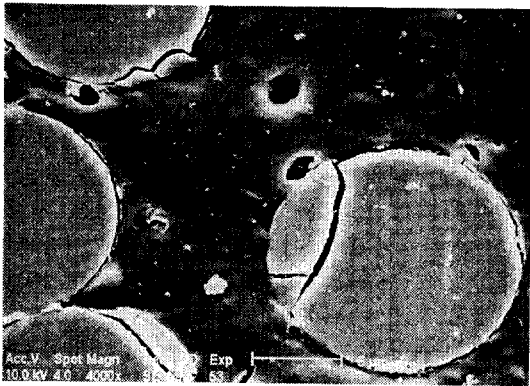
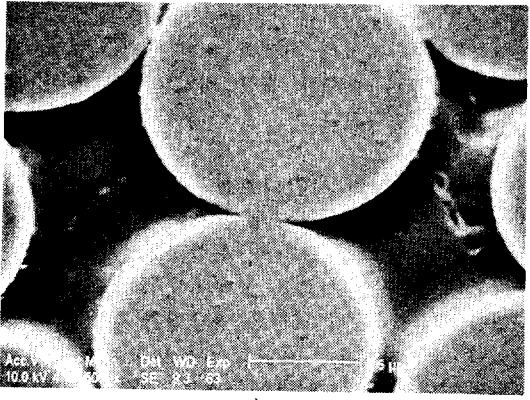


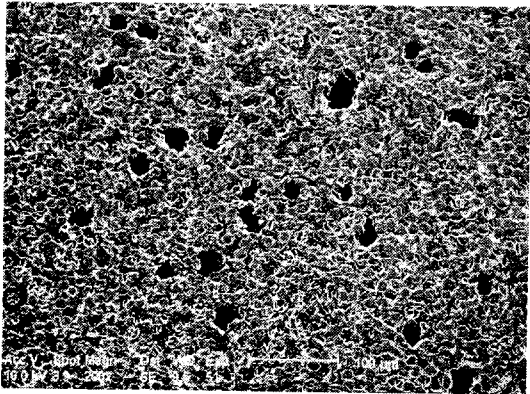
그림 9. 수분흡습량의 시간 의존성
Fig. 9. absorbed water vs treating time



a)



b)



c)

그림 10. A, B FRP 시료에 대한 단면의 SEM 사진

Fig. 10. Scanning electron micrograph for the section of A, B type FRP samples
 a) FRP fabricated by the condition of atmosphere(A type)
 b) FRP fabricated by the condition of elevated pressure(B type)
 c) FRP having microhole (A type)

40 시간 이후의 흡습량은 초기의 흡습량에 비해 매우 작은 값으로 나타났다. 이는 시료의 두께가 얇기 때문에 흡습량이 한정되는 것으로 생각된다. 그러나 그림 3에서 유전손율은 시간에 따라 급격히 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 결과를 볼 때 처리시간이 길어짐에 따라 유전율이나 유전손율이 증가하는 원인은 단순히 흡습량의 증가에만 있지 않고 흡습에 의해 일어난 이차적인 결과에 의한 것으로 생각된다. 여기에서 이차적인 결과의 가능성으로는 흡수된 물분자에 의한 계면의 분리나 화학적인 분해를 고려해 볼 수 있다.

4.3. 시료표면 상태가 흡습성에 미치는 영향

본 실험에 사용된 A, B 두 시료는 글라스섬유의 함유량이 다르고 제조 방법도 약간 다르기 때문에 이들의 표면을 SEM으로 관찰하여 그림 10에 나타냈다

SEM을 통해 관찰한 FRP의 표면은 제조방법에 따라 단면이 큰 차이를 나타냈다. 한쪽 시료는 표면에 크랙이나 보이드가 작은 반면 다른 쪽 시료에서는 부분적으로 직경이 수 마이크로미터인 마이크로 홀이 집중적으로 분포하고 있었으며, 또한 크랙이 다수 보여 표면상태가 매우 다르게 나타났다.

그러나 고온의 열처리에 의한 유전율에서는 두 시료 모두 거의 비슷한 특성을 보여 제작 방법에 따라 FRP내부에 있는 보이드나 마이크로홀 등의 영향은 크지 않은 것으로 생각된다. 그러나 이치가와씨 등이⁹⁾ 보고한 바에 의하면 보이드 함유량이 작아 지도록 한 방법으로 제작한 시료와 보이드가 많아지도록 한 방법으로 제작시료간의 파괴강도는 현저한 차이를 나타낸 것으로 보고하고 있다. 이와 같은 사실로부터 마이크로보이드나 홀들이 절연파괴강도에는 수분의 흡습에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

5. 결 론

옥외용 고분자재자의 코어용 재료로 사용되는 FRP를 100℃의 물속에서 가속 열처리한 후 물의 흡수에 의한 FRP의 내부상태를 평가하기 위하여 유전특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. FRP는 고온의 물속에서 열처리 한 결과 저주파 영역에서 유전율과 유전손율은 주로 저주파 영역에서 현저한 증가를 나타냈으나 30 KHz의 비교적 높은 주파수 영역에서는 변화

량이 미소하게 나타났다.

2. 두께 0.44 mm의 FRP시편의 수분 흡수는 40시간 이내에 대부분 이루어지며 시간이 길어짐에 따라 흡습량은 약간씩 증가하였다.
3. 고온의 물속에서 처리한 시료의 유전손율은 처리하지않은 순수한 시료에 비하여 크게 증가하였으며 시간이 지남에 따라 흡습량의 증가는 적지만 160 시간 부근에서 급격히 증가하여 흡수된 수분에 의해 화학적인 변화를 겪는 것으로 추정된다.

※ 본 연구는 1995년도 국제 협력과제로써 한국 학술진흥재단의 연구비 지원으로 수행된 결과이며, 관계당국에 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 竹田三雄外 7人, "FRP-生産과 技術-", 플라스틱스, 에-지, pp.21-23, 1981.
2. 門谷建藏, "屋外用高分子絶縁體 「タフロット」", 日本化成テクニカルレポート, No. 16, pp.33-38,

- 1991.
3. 門谷建藏, "屋外用ポリマーがいしの現状", 技術解説, OHM社, pp. 55-60, 1989.
4. 小松原實, 石井勝, "屋外用 高分子材料表面の評價法の検討", 日本電氣學會論文A, 111卷 2, pp. 97-102, 1991.
5. Research report, "medium and high voltage electrical insulators-North american markets technologies, and opportunities ; 1991-1996 Analysis", World information technologies INC., p.85, 1993.
6. 寺本和良 外 3人 "紫外線による表面 改質", 日本接着學會 Vol. 29, No.4, pp.78-83, 1993.
7. 河田幸三外 38人, "最新複合材料-構造.プロセッシング.評價", 플라스틱스, 에-지, pp.461, 1990.
8. 家田正之外 3人, "誘電體現象論", 日本電氣學會, pp.125, 1978.
9. 市川建二, 本山建雄, "FRPの内部界面の方向と絶縁破壊特性", 日本電氣學會 放電, 誘電.絶縁 材料合同研究會, ED-94-56, DEI-94-50, 1994.

시시수개



박강식

1959년 8월 20일생. 1986년 대전산업대학 졸업. 1988년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(박사). 1993. 3 - 현재 충남전문대학 전기과 전임강사.



한상욱

1946년 5월 12일생. 1974년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1978년 단국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사) 1978년 - 현재 충남대학교 전기공학과 교수.



김종석

1946년 4월 14일생. 1967년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1990년 일본 미에대학교 대학원 졸업(석사). 1979년 - 1984년 대전공업전문대학 전기공학과 교수. 1985년-현재 대전산업대학교 전기공학과 교수.



市川建二

1943년 2월 4일생. 1965년 무사시 공업대학 전기공학과졸업. 1970년 동경 전기대학 대학원 졸업(석사). 1965년 - 현재 일본 노동성 산업안전연구소 물리안전연구소 근무.



조한구

1959년 4월 14일생. 1984년 성균관대학교 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과(박사). 1984년 한국화학(그룹) 한양화학 입사. 1987년 한국전기연구소 전기재료연구부 선임연구원. 현재 한국전기연구소 전기재료연구부 절연재료연구팀 선임연구원.



이덕출

1939년 1월 22일생. 1963년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1966년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1976년 9월 일본 나고야대학 전기공학과 졸업(공학박). 1981년 8월-'82년 7월 일본 나고야대학 전기공학과 방문교수. 1995년 1월 12월 대한전기학회 부회장. 1994년 1월-현재 한국센서학회 이사. 1994년 1월-95년 12월 한국전기전자재료학회 감사. 현재 인하대학교 공대 전기공학과 교수(학장).