

Glass-cloth/Polyester 複合材料의 界面 結合劑 效果 및 最適製作條件에 대하여

李 鍾 浩, 李 圭 喆, 黃 永 漢*

울산대학교 전기공학과

For optimum fabrication conditions and effect of silane coupling agent of
composite materials

Lee, Jong-Ho, Lee, Kyu-Chul, Hwang, Yeong-Han

Dept. of Electrical Engin., Ulsan University

- Abstract -

Optimum conditions of fabrication and the effects of silane coupling agent on Glass-cloth/unsaturated Polyester composite materials were investigated.

Dielectric strength and mechanical tensile strength were significantly improved in the sample with epoxy silane treatment, compared with the case without epoxy silane treatment. Treatment rate of interface coupling agent in composite materials were increased with increases of glass-fiber layers and content of glass fiber.

1. 序 論

最近 高分子 化學의 급속한 진보에 따라 에폭시樹脂 혹은 不飽和 폴리에스테르樹脂 등이 도입되면서 부터 絶緣性能이 크게 改善되어 絶緣의 耐熱性 및 小型輕量化에 크게 기여하였다. [1] 그러나 이와같은 有機 高分子 絶緣材料는 高溫下에서 機械의特性이 크게 低下하기 때문에 200°C를 넘어 연속적인 運轉을 행할 수 없어 材料技術에 크게 의존하여 왔다. 그러므로 高溫下에서 高效率 및 高性能의 電氣機器를 제작하기 위해서는 이러한 有機 高分子 材料의 問題點을 해소하고, 高溫 및 複合스트레스하에서도 충분히 諸般特性을 발휘할 수 있는 絶緣材料의 開發이 國內 및 國外에서도 절실히 요구되어 왔다. 이러한 상황에서 新素材로 등장한 것이 有機 高分子材料와 無機 高分子 材料로서 형성된 複合 絶緣材料이다. [2, 3]

新素材로 등장한 유리強化 複合材料는 構造材料로서 뿐만 아니라 電氣 및 電子分野의 絶緣材料로서도 훌륭한 諸般特性을 나타내어 産業 基盤材料로서 國외의 産業體 및 學界에서 이 複合材料의 設計와 製作技術 및 諸般特性 改善에 관한 研究가 활발하게 進行되고 있다.

일반적으로 複合材料 固有의 理論上 特性에 가까운 性能을 발휘할 수 있도록 設計 및 製作되는데 해결해야 할 問題點들이 남아 있다. 즉, 複合材料의 公稱된 문제 點중에서 가장 중요한 사항은 複合材料에서 가장 큰 弱點으로 알려져 있는 필라와 매트릭스 사이의 界面接着 狀態를 改善하는 문제이다. [3, 4]

이 界面領域은 複合材料의 特性을 지배하는 가장 중요한 부분으로서 機械적으로는 外部應力을 필라에서 매트릭스로 전달하여 應力을 분담케하는 중요한 부분이다. 그러므로 界面 接着力이 양호해야 할 필요가 있으나, 接着強度가 지나쳐도 材料가 유연성을 잃게 되고, 剩餘 에너지를 충분히 방출할 수 없어 다른 성능이 劣化한다. 그리고 電氣적으로는 材料의 製作時나, 機械的 應力 등으로 界面에 크랙, 界面의 薄利 및 보이드 등이 형성되면 이 缺陷을 통하여 部分放電이 일어나고, 誘電體 損失이 증가하여 결국 界面에 따라 絶緣破壞가 일어난다.

最近 國外 研究者들은 界面에 보이드가 없는 複合材料의 製作條件에 관한 研究[7]를 활발히 進行시키고 있는 반면, 複合材料의 界面 結合劑를 開發하여[5] 이등 結合劑가 複合材料의 界面에 미치는 效果를 研究하여 좋은 성과를 얻고 있다. 지금까지 알려진 結合劑의 效果로서는 化學結合說, 젖음의 향상, 緩衝效果, 單層效果 및 耐吸濕效果 등 많은 機構가 齊備되고 있으나, 어느 說도 확실치 못한 점이 많다.

本 研究에서는 化學的 性質, 物理的 性質 및 耐熱性이 우수한 不飽和 폴리에스테르樹脂를 적용한 유리纖維強化 複合材料(Glass-cloth/unsaturated polyester)의 最適 製作條件 및 界面의 活性劑의 最適 效果를 科明하기 위하여 最適 硬化條件 科明, 界面 結合劑 處理方法 및 處理量 등에 관한 科明 및 電氣的 特性과 機械的 特性과의 相關關係 科明등을 體系의 行하고자 한다.

2. 試料製作 및 實驗種類

2-1. 試料製作

本 研究에 사용되어진 Glass-cloth/unsaturated polyester 複合材料의 필라로서 E類 平織유리(Plain weave glass cloth, WEA 116 E107, 原反社, Japan)을 사용하였다. 그리고 本 研究에 사용되어진 유리纖維의 層間 組合形態는 1層과 2層의 纖維組織이 같은 方向과 45° 方向인 2종류의 유리纖維組織이다. 이러한 유리纖維를 350°C로 유지된 電氣爐內에서 약 30분간 表面의 有機物質 및 異物質을 除去하고, 表面에 에폭시系 실란 結合劑(epoxy silane coupling agent, S510, Chiso Co.)로서 處理한다. 이때, 실란 結合劑를 0% - 2.0%를

알코올 용액에 용해시킨 용액이다. 즉, 電氣爐에서 꺼 집어낸 유리纖維를 0% - 2.0%의 실란용액에 침투시킨 후, 眞空시스템(10⁻³torr, 周圍溫度: 100°C)내에서 약 10분간 乾燥 시킨다. 다음 表面處理가 끝난 유리纖維를 80°C에서 1次的으로 보이드가 제거된 不飽和 폴리에스테르 樹脂(unsaturated polyester resin: DAHAN INK Co., DVB-2152)에 약 1시간 정도 眞空浸漬 하였다. 浸漬이 끝난 試料는 120°C에서 板狀으로 몰드하여 本研究室에서 製作한 加壓 試料 製作裝置[6]를 이용하여 不飽和 폴리에스테르 樹脂의 硬化점 부근에서 약 0.5[MPa]로 加壓하여 120°C에서 약 2시간 동안 1次 硬化 시킨 후, 다시 160°C, 180°C 및 200°C에서 反復硬化法[17]에 의하여 2次 硬化를 5시간, 10시간, 15시간, 20시간 및 25시간 각각 행하였다. 이때 試片의 크기는 10cm×10cm×100μm±10μm로 하였다.

2-2. 實驗稱類

120°C에서 2시간 1次 硬化를 행한 試料를 反復的인 방법으로 2次 硬化 행한 후, 다음과 같은 實驗을 행하였다.

- 1) 실란 結合劑의 效果特性
- 2) 실란 結合劑의 處理量(유리纖維의 層數 및 組織變化) - Tanδ, ε_r特性
- 3) 실란 結合劑의 處理量(유리纖維의 層數 및 組織變化) - 交流絶緣破壊電壓特性
- 4) 실란 結合劑의 處理量(유리纖維의 層數 및 組織變化) - 機械的 引張強度 및 應力特性
- 5) 最適 試料의 Tanδ 및 ε_r特性(2次 硬化時間, 周圍溫度), 絶緣強度特性(2次 硬化時間에 따른), 및 機械的 引張強度-引張應力特性
- 6) 試料의 絶緣破壊 痕迹觀察 및 실란 結合劑의 處理量에 따른 機械的 引張 試驗 후의 破斷面 觀察(SEM 사진 촬영)

3. 實驗結果 및 考察

그림 1은 複合材料內의 유리纖維의 層數를 1層, 2層 및 3層으로 하였을 때, 실란 界面 結合劑의 處理量에 따른 Tanδ 및 ε_r特性을 나타내고 있다. 이때, 試片의 纖維組織은 2層 및 3層에 있어서 같은 軸方向으로 하였으며, 2次 硬化는 200°C에서 2시간 행한 경우이다. 그리고 測定電壓은 0.5[kV]이고, 周波數는 60[Hz]로 일정하게 하였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 複合材料의 Tanδ特性은 2次 硬化溫度에 상관없이 유리纖維가 單層일 때는 界面 結合劑의 0.2% 水溶液에서 가장 우수하게 나타났고, 유리纖維의 層數가 2層 및 3層일 때는 각각 界面 結合劑의 0.5% 및 1.0% 水溶液에서 가장 우수한 Tanδ特性이 나타났다. 즉, 複合材料의 製作에 있어, 유리纖維의 層數를 늘릴 수록, 그리고 複合材料에 있어, 유리纖維 含有量이 커질 수록 界面 結合劑의 處理量이 많아 짐을 알 수 있다.

한편, ε_r特性은 界面 結合劑의 處理量의 증가에 상관없이 거의 일정한 값으로 나타남을 알 수 있으며, 그 범위는 대략 3.1 - 4.0이다.

그림 2은 複合材料內의 유리纖維層을 1層, 2層 및 3層으로 하고, 纖維組織을 같은 方向 즉, 1層과 2層 및 3層의 纖維組織이 같은 軸方向으로 하였을 때, 界面 結合劑의 處理量 따른 交流絶緣強度 特性을 나타내고 있다. 이때, 試片의 硬化條件은 200°C에서 2시간 2次 硬化를 행한 경우이다. 이 그림에서 絶緣強度 特性은 纖

維組織 層이 單層일 때는 0.2%水溶液의 界面 結合劑일 때, 最大 絶緣強度 값이 나타났으며, 2層 및 3層일 때는 0.5% 및 1.0%水溶液의 界面 結合劑일 때, 最大 絶緣強度 값이 나타났다. 즉, 그림에서 複合材料內의 纖維組織의 層數가 증가할 수록 絶緣強度特性은 저하하고, 界面 結合劑의 處理量이 많아짐을 알 수 있다.

그림 3는 複合材料內의 유리纖維組織을 각 層사이의 纖維組織을 45° 方向으로 하였을 때, 界面 結合劑의 處理量에 따른 交流絶緣強度 特性을 나타내고 있다. 이때, 試片의 硬化條件은 200°C에서 2시간 2次 硬化를 행한 경우이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 유리纖維의 層數가 높아질 수록 絶緣強度 特性은 低下하고, 또한 界面 結合劑의 處理量이 많아 짐을 알 수 있다. 그리고 이러한 交流 絶緣強度에 있어, 界面 結合劑의 處理量의 特性은 그림 1에서와 같이 Tanδ 및 ε_r特性에 있어, 界面 結合劑의 處理量의 特性과 類似하게 나타남을 알 수 있다. 즉, 複合材料內의 纖維層이 2層 및 3層인 경우 界面 結合劑의 處理量이 각각 1.0% 및 1.5%水溶液일 때, 最大 絶緣強度값을 갖음을 알 수 있다.

또한, 이 그림의 絶緣強度特性和 그림 2의 絶緣強度特性和 비교했을 때, 纖維組織이 纖維軸 方向일 때가 45° 方向일 때보다 絶緣強度 값이 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 이유는 纖維組織을 45° 方向으로 함으로서 纖維軸間의 交叉點이 많아져서 즉, 매트릭스와의 界面이 많아진다. 이러한 界面의 증가는 複合材料內의 缺點으로 나타나므로 絶緣強度 特性이 低下하는 것으로 생각된다.

그림 4와 그림 5는 複合材料內의 유리纖維層을 1層, 2層 및 3層으로 하고, 纖維組織을 같은 方向 및 45° 方向으로 하여 製作하였을 때, 界面 結合劑의 處理量에 따른 機械的 引張特性을 나타내고 있다. 이때, 試片의 硬化條件은 200°C에서 2시간 2次 硬化를 행한 경우이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이, 纖維組織 및 引張方向에 상관없이 纖維層이 증가할 수록 引張強度 값이 높아짐을 알 수 있다. 또한, 纖維軸 方向의 引張特性이 45° 方向의 引張特性보다 높게 나타났다. 이러한 이유는 유리纖維強化 複合材料에 있어 機械的 引張特性에서 가장 큰 短點으로 나타나는 異方性性質 때문인 것으로 생각된다. 그리고 이들 그림에서 引張方向에 상관없이 纖維層이 單層일 때, 界面 結合劑 處理量은 0.2%水溶液이고, 2層 및 3層일 때, 界面 處理量은 각각 0.5% 및 1.0%水溶液으로 나타났다. 이러한 界面 處理量의 特性은 그림 1, 그림 2 및 그림 3에서의 같이 誘電特性 및 絶緣強度特性일 때와 類似하게 나타남을 알 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] 三田 達, "最新, 耐熱性 高分子" 統合技術センター, 1989
- [2] D.Hull, "An Introduction to Composite Materials" Cambridge University Press, 1982
- [3] 久保 輝外, "複合材料と界面" 統合技術出版, 1986
- [4] P.Ehrburger and J.B.Donnet, "Interface in Composite Materials" Phil. Trans. R. Soc. Lond., A294, pp.495-505, 1980
- [5] R. Yosomita, K.Morimoto, A.Nakajima Y.Ikada and T.Suzuki, "Adhesion and Bonding in Composites" Marcel Dekker Inc., 1989
- [6] J.S.Cho, S.W.Choi, J.K.Kim, K.C.Lee and J.H.Lee, "A study on the Development and Dielectric Properties of Insulating Materials for Super-Conductor(1)" KIEE, Vol.38, No.7, pp.511 - 523, 1989

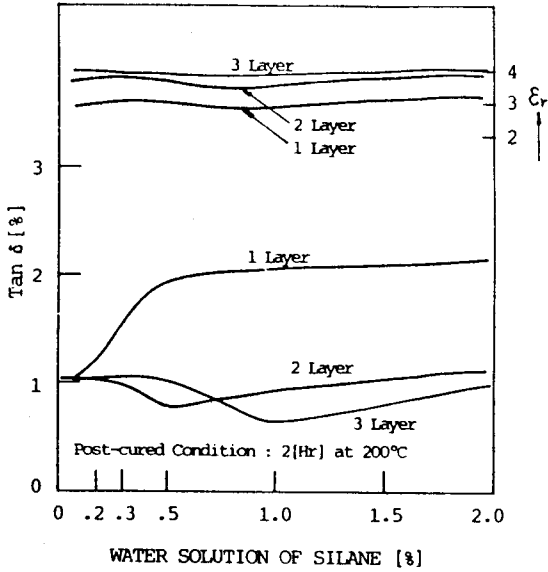


그림 1. 복합재료에 있어, 계면 결합제의 처리량 - Tanδ 및 ε_r 특성
 Fig. 1. Water solution of silane - Tanδ and ε_r characteristics of composite materials as parameter of glass-cloth layers.

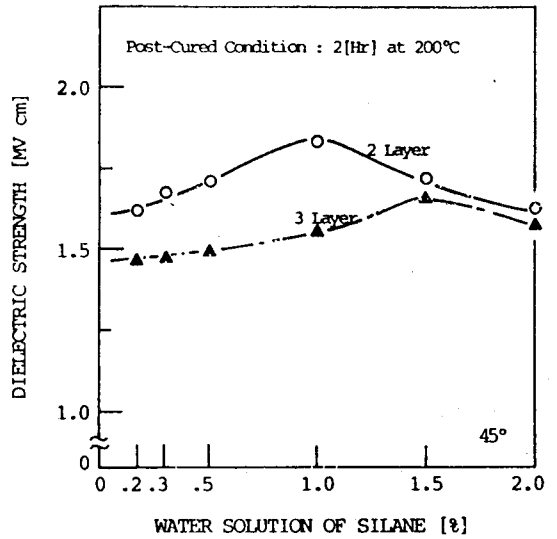


그림 3. 복합재료에 있어, 계면 결합제의 처리량 - 교류절연강도 특성(섬유구조 : 섬유축 45° 방향, 섬유중수 : 2 및 3층)
 Fig. 3. Water solution of silane - ac dielectric strength characteristics of composite materials as parameter of glass-cloth layers.

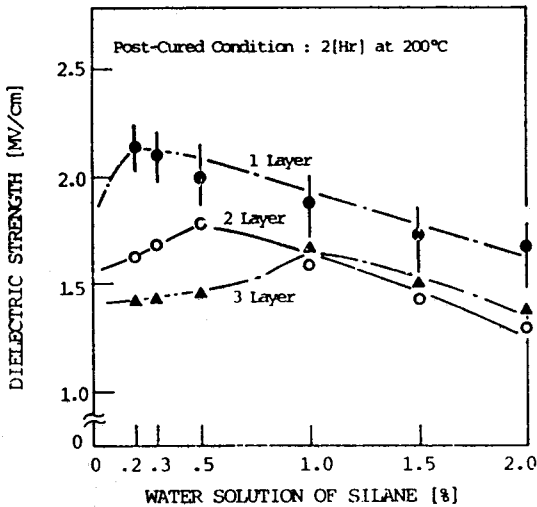


그림 2. 복합재료에 있어, 계면 결합제의 처리량 - 교류절연강도 특성(섬유구조 : 섬유축 방향)
 Fig. 2. Water solution of silane - ac dielectric strength characteristics of composite materials as parameter of glass-cloth layers.

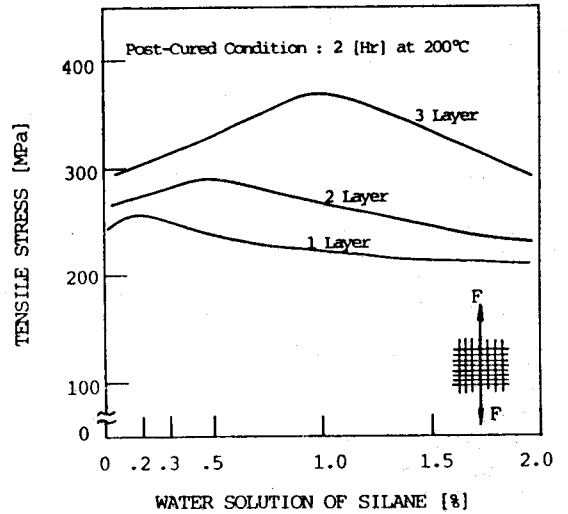


그림 4. 복합재료에 있어, 계면 결합제의 처리량 - 기계적 인장 강도특성(섬유구조 : 섬유축 방향)
 Fig. 4. Water solution of silane - mechanical tensile stress characteristics of composite materials as parameter of glass-cloth layers.

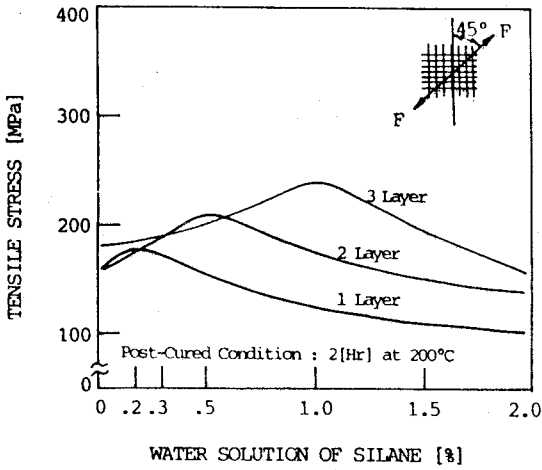


그림 5. 복합재료에 있어, 계면 결합제의 처리량 - 기계적 인장 강도특성(섬유구조 : 섬유축 45° 방향)
 Fig. 5. Water solution of silane - mechanical tensile stress characteristics of composite materials as parameter of glass-cloth layers.