

直交二方向 GFRP 材料特性에 미치는 유리纖維 方向의 影響

徐 政 周* · 文 德 弘**

Influence of Glass Fiber Orientation on the Bi-directional GFRP Characteristics

Jung-Joo SUH* and Duk-Hong MOON*

The tensile and dielectric strength of the epoxied resin with bi-directional woven glass fibers with a laminate of two layers(G-10) are studied, and the test parameter is the angle between fiber orientation and the tensile axis.

The obtained results may be summarized as follows:

- 1) when the angle between fiber orientation and tensile axis was varied from 0° to 45° the yield and fracture stresses have a tendency to decrease with increase in the angle. Especially, the decrease rates in the yield and fracture stresses are changed remarkably in the range of 0° and 15°
- 2) The fracture strain has showed the maximum value when the angle between fiber orientation and tensile axis is 45° , and showed the rapid rate of change from 15° to 45° .
- 3) For the sample with same angle between fiber orientation and tensile axis the maximum dielectric strength under compressive stress is decreased with increase in tensile stress, when the compressive stress is increased as a parameter of tensile stress.
- 4) When the angle between fiber orientation and tensile axis is 45° , the dielectric strength showed the worst value, as the mechanical strength did.

結 論

最近 에너지節約 및 新材料開發의 一環으로 材
料의 強度 輕量性 그의 諸特性을 具備한 새로운 材
料의 開發이 推進되고 있으며 이러한 새로운 特性을
發揮하는 面에서 複合材料는 그 輕量性과 耐蝕性 등
에 의해 크게 脚光을 받고 있다.

複合材料는 2種 以上の 材料를 組合하여 成形함에
의해서 素材 單獨으로서는 가질 수 없는 性質을 發
揮할 수 있는 材料를 總稱한 것으로 具體的으로는
素材를 區別할 수 있는 明瞭한 界面을 가진 적어도
2개의 化學的으로 다른 物質을 組合한 것을 말한다.

이 複合材料를 大別 하면 粒子分散形(particle re-

inforced composite materials) 및 纖維形複合材料
(fiber reinforced composite materials)가 存在한다.

특히 直交二方向 유리纖維強化 플라스틱은 機械
的 및 電氣的 特性이 뛰어나 構造材料로서 뿐만 아
니라 電氣的 絶緣材料로도 널리 利用되고 있고^{1), 2), 3)}
力學的 性質 이외도 成形性 耐蝕性 및 透光성과 같
은 面에서 性質이 뛰어나 그 用途는 아주 넓다.

一般的으로 纖維充填 複合材의 重要性은 一定 重
量으로서 單一材에서는 볼 수 없는 引張力과 比強度
(specific strength: 引張強度/密度)와 比彈性率(spe-
cific modulus: 彈性率/密度)은 一般 金屬類의 最高
值를 넘게 設計할 수가 있다⁴⁾.

그러나 複合材料는 特有的 缺陷이나 製作時에 發

* 麗水水産專門大學: National Yeosu Fisheries Junior College

** 釜山水産大學: National Fisheries University of Pusan

生하는 여러 문제로 인하여 그의 機械的 特性이나 機械的 應力下에서의 電氣的 特性이 아직 未解決의 狀態에 있다⁵⁾.

이미 오래전부터 美國, 日本 및 英國등에서는 이 分野에 研究를 해오고 있으나 아직도 國內에서는 未洽한 實情이다.

특히 複合材의 유리纖維 方向에 의한 機械的 및 電氣的 特性에 關해서는 外國에서도 거의 찾아볼 수 없고 다만 E. Pink⁶⁾ 등의 報告가 약간 있을뿐 그것도 纖維方向에 의한 溫度 依存性이 대부분이다.

따라서 本 研究는 直交二方向 二層 유리纖維 強化 에폭시(epoxy) 樹脂에 대하여 引張軸에 대해 纖維方向이 0°, 15°, 25° 및 45°인 境遇 引張強度 및 電氣的 絶緣強度 特性을 考察하였다.

材料 및 實驗方法

1. 試料

本 實驗에 使用한 材料는 市販되고 있는 直交二方

向二層 유리纖維強化 Epoxy樹脂로서 公稱두께가 0.3mm이고 Sumitomo Electric Industries Limited 에서 提供한 것으로 MEMA 規格 G-10(epoxy glass cloth)이며 이 試料의 物理的 性質은 Table.1과 같다.

Fig.1 및 Fig.2는 各各 使用 材料의 橫斷面 偏光 顯微鏡 사진과 하나의 纖維束에 대한 顯微鏡 사진을 보이고 Fig.3은 유리纖維의 配列形態를 나타내고 있다. 引張試驗片의 規格은 Fig.4와 같다.

2. 實驗方法

試驗片은 纖維方向이 긴쪽을 引張軸과 平衡하게 한 0°와 引張軸에 대해서 15°, 25° 및 45°로 變化시켜 各各에 대하여 6개씩 만들어 常溫下에서 30mm/min의 引張速度로 引張試驗을 行하였으며 試驗機는 Shimadzu type S를 使用 하였다.

引張時 材料 内部의 舉動을 把握하기 위하여 各 方向에 대하여 strain gauge를 附着하여 時間에 대한 變形率을 測定하였다.

또한 引張試驗時 grip에서 發生하는 引張誤差를

Table 1. Physical properties of GFRP

Test items	Insulation resistance	Volume resistivity	Surface resistivity	Dielectric loss tangent	Bending strength	Rockwel hardness	Heat resistance	Specific gravity
Unit	Ω	Ω, cm	Ω	—	kg/mm^2	HR-R	$^{\circ}C/2Hr$	—
	$10^{12}-10^{14}$	$10^{13}-10^{15}$	$10^{12}-10^{14}$	0.025—0.035	35—45	120—125	180	1.80—1.90

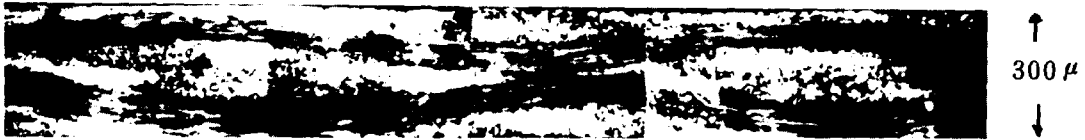


Fig. 1. Cross-section of GFRP sheet.

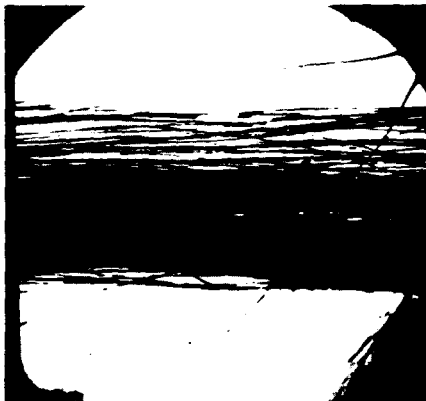


Fig. 2. A bundle of GFRP.

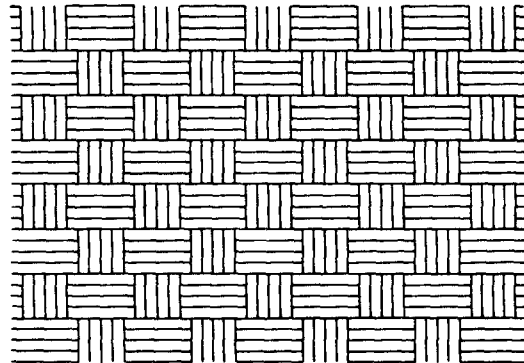


Fig. 3. The fabric pattern of glass filler in composite materials.

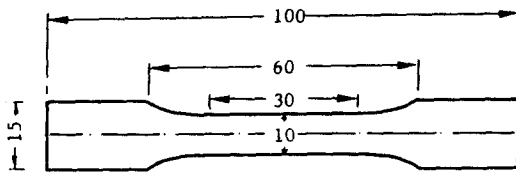
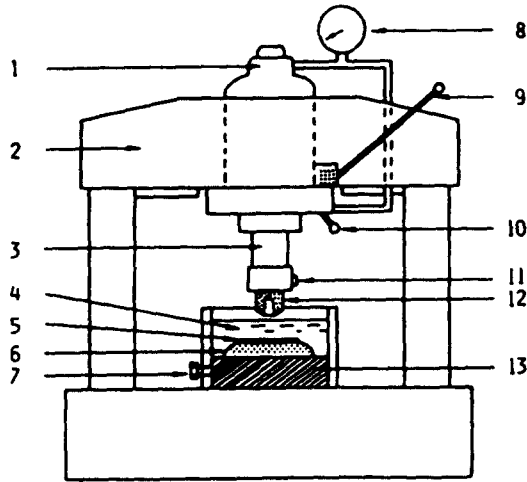


Fig. 4. Dimension of tensile test specimen (mm).

줄이기 위하여 試片兩端을 補強하여 slip을 防止하였다.

絶緣強度 試驗은 引張軸에 對한 纖維方向이 0°인 試片에 對해서는 引張應力이 15kg/mm²되게 引張시킨



- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. High pressure cell | 8. Pressure gauge |
| 2. Framework | 9. Hand pump |
| 3. Piston | 10. Change lever |
| 4. Transformer oil | 11. DC source |
| 5. Sample | 12. Model plane electrode |
| 6. Plane electrode | 13. Electrode bed |
| 7. Earth terminal | |

Fig. 5. Experimental equipment for dielectric strength test.

境遇와 引張荷重을 加하지 않은 狀態에서 行하였고 25° 및 45°方向의 試片에 對해서는 引張應力이 各各 10kg/mm², 12.5kg/mm² 및 15kg/mm²되게 引張시킨후 다시 이들 試片을 油壓프레스(hydraulic press)로 試片面에 對해 垂直方向으로 壓縮을 加하여 3分後에 直流 正極性 電源을 3kv/sec의 速度로 印加시켜서 行하였으며 Fig.5는 이 實驗裝置의 主要 部分을 나타낸다.

高壓側 平板電極은 媒質效果와 側路貫通 破壞를 防止하기 爲하여 epoxy 樹脂로 鑄型하여 使用하였으며 또한 每測定時의 電極表面 損傷이나 化學的 變化의 影響을 排除하기 爲하여 同一條件에서 鑄型電極을 大量 製作하여 每測定마다 새 電極을 使用하였다.

接地 平板電極은 試驗壓力에 견딜 수 있는 高速度鋼(SKH 3)으로 製作되었으며 每測定마다 位置를 變化시킬 수 있도록 하였고 주어진 壓縮應力下에서의 各 試片의 絶緣強度는 最低 7개의 測定값을 平均값으로 定하였으며 Fig.6은 鑄型電極의 製作過程의 一部를 나타내고 있다.

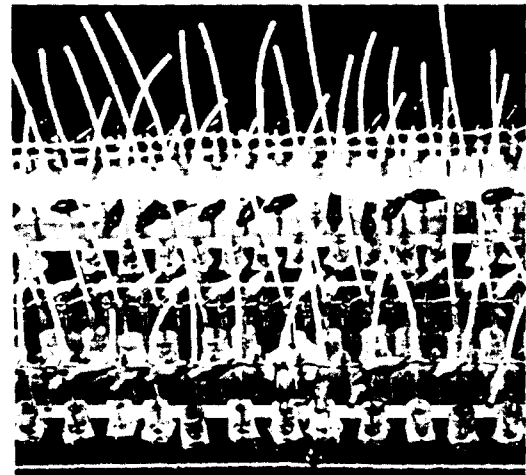


Fig. 6. Molding of plane electrodes.

結果 및 考察

1. 機械的 特性

引張軸에 對해 纖維方向이 0°, 15°, 25° 및 45°로 增加할때 各 方向마다 6개씩의 試片에 의한 荷重—變形量의 線圖를 얻어내어 應力과 變形率의 값을 算出해서 Fig.7에 나타냈다.

Fig.8은 引張試驗時 時間에 따른 變形率을 strain

gauge로 얻어낸 결과이다.

Fig. 7에依하면 引張軸에 대해 纖維方向이 0°인 境遇는 破斷時까지의 變化가 急激한 傾斜를 가지며 거의 直線에 가까울 程度인데 反해 角度가 增加함에 따라 降伏應力이 낮아지고 傾斜가 緩慢해 지고 있음을 알 수 있다.

纖維方向이 0°인 境遇의 傾向은 epoxy에 걸리는 引張力과 纖維에 傳達된 引張力의 方向이 同一해서 内部舉動은 거의 纖維의 舉動에 主로 依存되고 纖維와 epoxy사이의 界面 剝離現象과 epoxy의 균열은 纖維의 破斷應力 附近에서 일어나기 때문이라 생각 된다.

이는 Fig. 8의 0°方向인 境遇 破斷時 까지의 時間 變化에 따라 變形率이 繼續 增加하고 있다는 점과 D. Hull⁷⁾에 依해 유리, carbon 등의 纖維는 引張에 있어서 破壞強度까지 彈性的으로 舉動하고 polyester 및 epoxy 등의 樹脂는 非線形的인 應力-變形率 曲線을 가지며 破壞前에 어느 程度의 粘彈性變形을 일으킨다고 報告하고 있는 點으로 立證될 수 있다.

引張軸에 대한 纖維方向이 增加할 境遇의 傾向은 epoxy에 걸리는 引張力과 纖維에 걸리는 引張力의 方向이 漸次 差異가 생겨서 内部舉動의 纖維 依存性

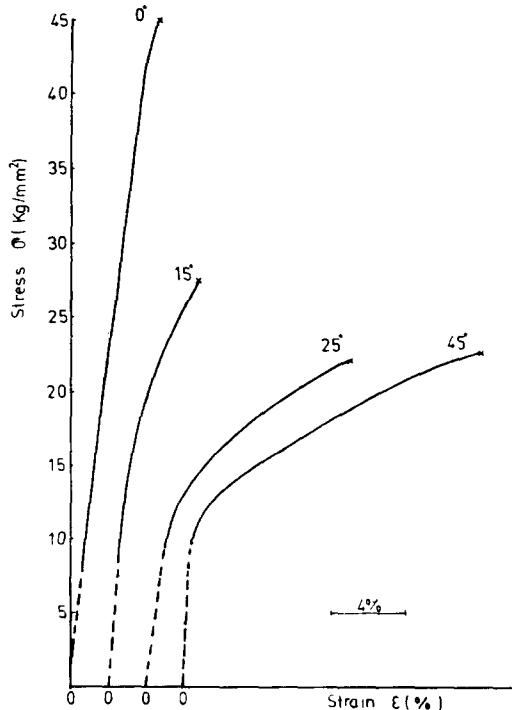


Fig. 7. Stress-Strain curve of specimens with different fiber orientation at room temperature.

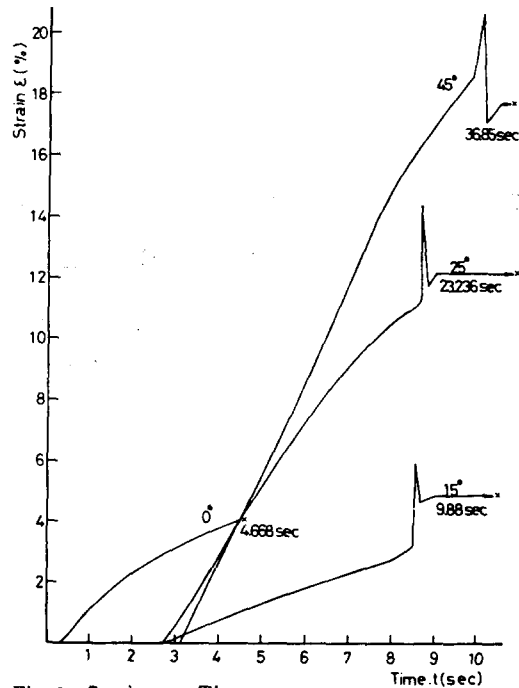


Fig. 8. Strain vs. Time.

은 減少하는 反面 epoxy의 依存性이 增加하기 때문이라 생각된다.

Fig. 8에 依하면 0° 이외의 15°, 25° 및 45° 方向의 試片들은 引張荷重을 加한 時刻부터 一定 時間後 變形率이 徐徐히 增加하여 急上昇 및 下降하는 過度 領域이 나타나고 있는데 이 領域은 纖維와 epoxy間의 界面에 전단력과 纖維의 引拔에 의한 界面 剝離 現象에 起因 한다고 생각된다.

한편 引張荷重을 加하여 얼마동안 變形率이 나타나지 않는 것은 Kelly⁷⁾에 의하면 纖維 및 epoxy에 作用하는 引張力의 方向이 다르기 때문에 纖維와 epoxy間의 界面을 分離 할려는 힘이 생기고 이때 纖維가 epoxy속을 미끄러 지는데 抵抗하는 커다란 摩擦力이 存在한다고 報告한 內容으로 볼때 그동안에 作用한 引張荷重은 이 摩擦力에 消費된다고 생각 된다.

界面이 破壞된 이후부터는 引張力이 纖維에만 作用하기 때문에 epoxy에 附着된 strain gauge상에는 變化가 나타나지 않고 상당한 時間이 經過한 後에 纖維의 破斷이 일어나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 各 纖維方向에 대한 試片의 破斷面을 보이고 있으며 0° 方向에 대해서는 引張軸에서 直角 方向으로 나타났고 破斷은 그 方向에 있는 纖維束을 따라서 균열이 進行됨을 알 수 있다.

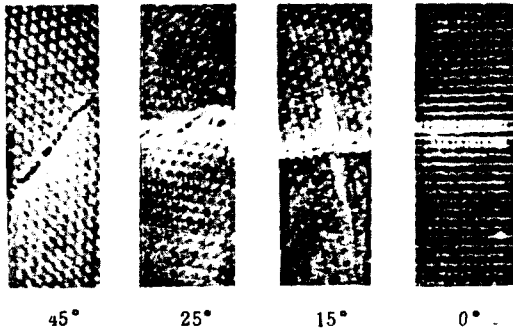


Fig. 9. Fracture section of specimens with different fiber orientation.

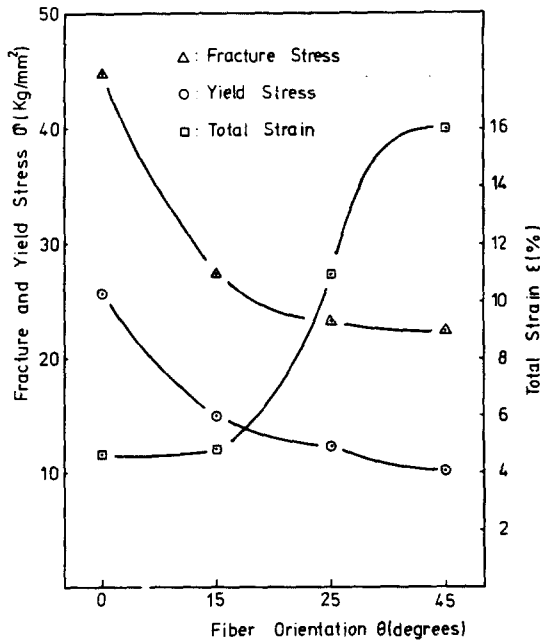


Fig. 10. Characteristics for different fiber orientation at room temperature.

45° 方向에 대한 破斷은 引張軸에 대해 45° 程度 기울어진 形態로 역시 纖維方向을 따라서 일어났다.

15° 및 25° 方向에 대해서는 주로 引張力이 epoxy 에 作用 하지만 纖維에도 어느정도 作用하기 때문에 破斷이 引張軸에 대해 纖維方向을 따라서 일어나지 않았고 破斷 部分도 不規則 하고 깨끗하게 일어나지 않았다.

Fig. 10은 各 纖維方向에 따른 破斷應力, 降伏應力 및 破斷時의 變形率을 나타내고 있으며 破斷應力 및 降伏應力은 引張軸에 대한 纖維方向의 角度가 增加함에 따라서 減少하고 있음을 알 수 있고 특히 0°와 15° 方向 사이의 變化가 크게 나타났으며 25°와 45° 方向의 破斷應力 變化는 아주 적게 나타났다.

한편 全體變形率은 纖維方向이 45°에서 最大值를 나타냈고 15°부터는 急激한 變化를 나타내고 있는데 이 結果는 E. Pink 등의 報告와 같은 傾向임을 알 수 있다.

2. 電氣的 特性

Fig. 11은 纖維方向으로 15kg/mm²의 引張應力에 相當하는 引張荷長을 加한 후 荷重을 除去시킨 試片과

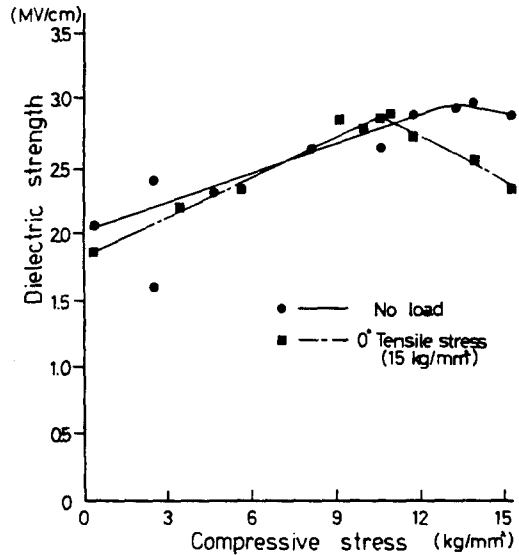


Fig. 11. Dielectric strength vs. compressive stress.

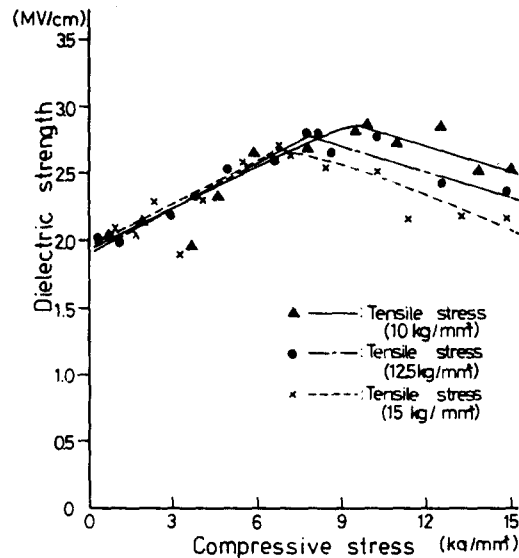


Fig. 12. Dielectric strength vs. compressive strength (Fiber orientation 25°).

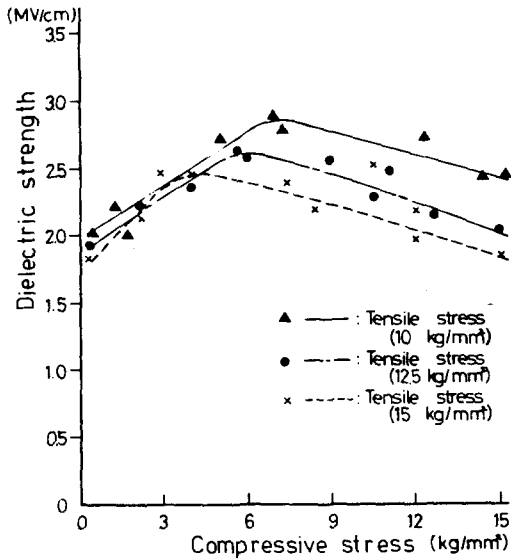


Fig. 13. Dielectric strength vs. compressive stress (Fiber orientation 45°).

引張荷重이 作用하지 않았을때의 試片에 대한 壓縮應力下에서의 絶緣強度 特性을 나타낸다.

Fig. 12 및 Fig. 13은 引張軸에 대해 纖維方向이 各 25° 및 45°를 갖는 試片에 대해서, 10kg/mm², 12.5kg/mm² 및 15kg/mm²의 引張應力에 相當하는 引張力을 加한후 荷重을 除去시킨 다음 주어진 壓縮應力下에서의 絶緣強度 特性을 나타낸다.

Fig. 11, 12 및 13에서 알 수 있는 바와 같이 주어진 壓縮應力下에서의 試片의 絶緣強度는 壓縮應力の 增加와 더불어 增加하여 最大値를 나타낸후 다시 減少하는 特性을 갖는다.

纖維方向이 同一한 試片에 대해서도 引張力을 많이 받을수록 絶緣強度는 減少하고 最大絶緣強度 값을 나타내는 壓縮應力은 낮은 壓縮應力 쪽으로 移動하고 그 값도 낮게 나타났다. 즉, 最大絶緣強度 값을 比較해 보면 纖維方向이 0°(Fig. 11)에 비해 25°(Fig. 12)쪽은 낮은 壓縮應力으로 移動해 있고 25°(Fig. 12)에 비해 45°(Fig. 13)쪽은 더 낮은 壓縮應力으로 移動되어 있는 것을 알 수가 있다.

結局 纖維方向이 增加하고 또한 纖維方向이 同一한 境遇도 引張力을 많이 받은 試片이 주어진 壓縮應力下에서의 絶緣強度가 低下 한다는 것을 알 수가 있다.

특히 纖維方向이 引張軸에 대해 45°인 試片이 가장 나쁜 絶緣強度特性을 나타냈고 이 結果는 Fig. 7에서 나타난 機械的 引張特性과도 같은 傾向을 보이

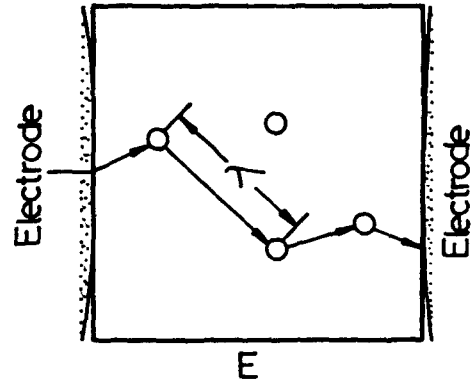


Fig. 14. Model for relationship between dielectric strength and solid structure.



Fig. 15. A damage of GFRP under compressive stress 15kg/mm².

고 있다.

한편 壓縮應力の 增加와 더불어 絶緣強度가 增加하는 原因은 다음과 같이 생각할 수가 있다.

Fig. 14와 같이 平板電極 사이의 固體 絶緣物에 電界를 加했을 境遇 電子가 固體 絶緣物의 格子와 衝突 하면서 對向電極에 進前할 境遇 하나의 格子와 衝突한 후 다음 格子에 衝突하기 까지의 電子의 平均 自由行程(mean free path of electron)을 λ , 電子의 平均 緩和時間을 τ 라 하면 電界에서 電子가 얻은 運動量(Mg)과 衝突에 의한 電子의 損失 運動量(ML)은 다음과 같이 쓸 수 있다⁸⁾.

$$\frac{dMg}{dt} = eE \quad (1)$$

$$\frac{dML}{dt} = \frac{1}{\tau} ML = \frac{mv}{\tau} \quad (2)$$

여기서 m 는 電子의 質量이고 V 는 電子의 速度이다. 平衡狀態에서는 (1), (2)식은 同一하므로 다음과 같이 速度 V 를 算出할 수 있다.

$$V = \frac{e\tau}{m} E \quad (3)$$

한편 電子가 電界로 부터 얻은 單位時間當의 에너지(Gn)는 다음과 같이 주어진다.

$$Gn = eE \cdot V = \frac{e^2\tau E^2}{m} \quad (4)$$

平衡狀態에서는 電子의 利得에너지(Gn)와 損失에너지(Ls)는 같아지므로 試片의 絶緣強度 Eb 는 (4) 式으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Eb = \frac{(mLs/\tau)^{1/2}}{e} \quad (5)$$

Fröhlich⁹⁾의 理論에 依하면 $Ls = h\nu/\tau$ 로 주어지고 여기서 h 는 Planck 常數이며 ν 는 格子 振動數이다. 또한 格子의 電離에너지(Ip)는 다음 式과 같이 주어진다. 즉, $Ip = \frac{1}{2} m(\lambda/\tau)^2$, 그러므로 (5) 式을 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$Eb = \frac{(2Ip h\nu)^{1/2}}{e} \propto \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

結局 固體 試料의 絶緣強度 Eb 는 電子의 平均 自由行程 λ 에 反比例 함을 알 수 있다.

여기서 試料를 壓縮 할 境遇 固體 試料의 格子 間隔이 減少하며 電子의 平均 自由行程 λ 가 減少 하므로 壓縮應力의 增加와 함께 增加 한다고 생각된다.

그러나 最大絶緣強度를 나타내는 壓縮應力값 이후에서는 Fig. 15에서 보는 바와 같이 壓縮應力下에서의 試料가 機械的 損傷을 입게 되므로 絶緣強度 값이 低下 한다고 생각된다.

結 論

直交二方向 二層 유리纖維 強化 Epoxy 樹脂를 使用하여 引張軸에 대해 纖維方向이 0°, 15°, 25° 및 45°인 試料로 引張試驗 및 電氣絶緣 強度試驗을 통하여 얻은 結果는 다음과 같다.

1) 纖維方向이 引張軸에 대해 0°에서 45°로 增加함에 따라 降伏應力 및 破斷應力은 減少하는 傾向이고 특히 0°와 15°사이에서 急激한 變化率을 보인다.

2) 破斷時 變形率은 引張方向에 대한 纖維方向이 45°인 境遇 最大值를 나타냈고 15°~45° 範圍에서 急激한 變化率을 보인다.

3) 纖維의 方向이 同一할 境遇 引張力을 많이 받은 試料 일수록 最大絶緣強度 값은 낮아졌고 引張方向과 纖維方向의 交角이 增加 할수록 最大絶緣強度 값을 나타내는 壓縮應力의 값은 낮은 點으로 移動하

는 傾向을 보였다.

4) 機械的 特性和 같이 纖維方向이 45°인 境遇의 試料가 가장 나쁜 電氣的 絶緣強度 特性을 나타냈다.

參 考 文 獻

1. R. E. Gold et, al. (1981): Materials Technology for Fusion Current Status and Future Requirements. Nuclear Technology/Fusion Vol. 1, 169-237.
2. C. H. Park et, al. (1982): Effects of Mechanical Stresses on the Dielectric Breakdown Strengths of PET and FRP. IEEE Trans. on Elec. Insul., Vol. EI-17, No. 3, 234-240.
3. C. H. Park(1982): Effects of Temperature and Voltage on Dielectric Breakdown Strengths of PET and FRP under Mechanical Stresses. IEEE Trans. on Elec. Insul., Vol. EI-17, No. 6 546-553.
4. 藤井太一・座古勝(1978): 複合材料の破壊と力學. 實教出版株式會社, 2-5.
5. L. E. Nielsen(1974): Mechanical Properties of Polymers and Composites. Marcel Dekker Inc., 453-501.
6. E. Pink et, al(1974): Deformation Characteristics of Reinforced Epoxy Resin Part 1. the Mechanical Properties, 658-664
7. Dull(1982): An Introduction to Composite Materials. Cambridge Univ. Press, England, 88-93, 103-156
8. S. Whitehead(1951): Dielectric Breakdown of Solids. Oxford Clarendon Press, Chap. 2.
9. C. H. Park(1984): Effect of Mechanical Stresses on the Dielectric Strength of Polymer and Composites. Ph. D. Thesis Kyushu University, 111-114.
10. T. W. Chou and A. Kelly(1980): The Effect of Transverse Shear on the Longitudinal Compressive Strength of Fiber Composites. J. Material sci., Vol. 15, 327-331.
11. W. Johnson and S. K. Ghosh(1981): Some Physical Defects Arising in Composite Material Fabrication. J. Mater. sci., Vol. 16, 285-301.