

趙

哲*

電氣機器의 小型 輕量化 및 그 電氣特性의 改善을 爲하여 薄膜絶緣材料에 對한 要求는 最近 매우 높아져서 아주 얇으며 그리고 絶緣耐力이 좋고 耐熱性 등이 良好한 것이 所望되고 있으며 이를 爲하여 여러가지 種類의 材料가 開發 研究되고 있다. 여기서는 其中 從來의 材料에 代身하여 各各의 特徵에 따라 使用되고 있는 몇가지 材料에 對하여 記述한다.

Polypropylene

立體特性重合에 依하여 propylene을 重合한 isotactic polypropylene인데 isotactic 와 一部에 atactic 와 styrelblock 重合物이 生진다. 이들 重合物의 比率는 重合條件에 따라 廣範圍하게 달라지며 또 polypropylene은 立體異性體總成에 依하여 廣範圍하게 物理的性質을 變化시킬 수 있다.

市中에서 販賣되는 propylene은 isotactic 重合物의 比率이 atactic 라든가 styrelblock 重合物보다 多量으로 包含되어 있어 isotactic 部分에 依하여 熱的 機械的性質이 優秀하게끔 하고 있다.

Polypropylene은 가장 가벼운 plastic 材料로서 比重은 0.9이며 成型品으로서의 寸數 安定性이 優秀하다.

이 isotactic polypropylene의 長點은 耐熱性으로서 純粹한 isotactic polymer의 融點은 176°C이다. 市販 polypropylene의 融點은 164~170°C이고 vicat 軟化點은 1kg 荷重에서 149°C보다 높다. 電氣絶緣에 對한 高周波性이 優秀함으로 radio, television 등의 用途가 넓고, 特히 耐熱性, 耐摩耗性, 耐壓縮性, 耐 stress crack 性, 耐水性 및 電氣의 性質도 優秀함으로 電線에 好適한 材料로 앞날이 매우 有望視되고 있다. 表 1 과 2는 代表的인 polypropylene의 諸 特性 및 電氣의 特性을 表示한 것이다.

Polycarbonate

1956年 西獨 Bayer社에서 假稱 Do 202로서 發表되어 Makrofol 라는 正式名으로 불리운 polycarbonate 薄膜은 그 電氣的, 物理的 性質이 優秀하며 特히 그 熱的 安定性이 매우 豊富하다. 熱可塑性 樹脂中에서 가장 硬도가 높고 衝擊에 強하다. 機械的 強度 耐水性도 優秀하며 140°C에서의 使用에 견딘다. 단지 耐 arc 性은 그다지 強하지 못한 點이 있다.

이 polycarbonate에는 Bayer社의 膜狀體 以外에 GE


表 1

性 質	品 名	모 프 렌 (伊몬테카데니社製)
(物理機械的)		
比重	(kg/l)	0.90~0.91
耐力強度	(kg/cm ²)	280~380
伸長率(降伏點)	(%)	10~20
硬度(Rockwell)	(R)	90~100
吸水率	(%重量增加)	<0.03
(電氣的)		
誘電率(10 ⁶ ㎞)		2.0~2.2
力率(18×10 ⁶ ㎞)		0.0003~0.001
絶緣耐力	(kv/mm)	30~32
體積抵抗率	(Ω-cm)	>10 ¹⁶ Ω-cm
(熱的)		
熱傳導度(kcal/cm/cm ² /sec/°C)		2.1×10 ⁻⁷
比熱(20~60°C) (cal/g/°C)		0.46
熱膨脹係數 (cm/cm/°C)		110×10 ⁻⁶
軟化點(vicat-1 kg) (°C)		>150
耐熱性(주름이없을때) (°C)		150
(化學的)		
耐藥品性		優秀
耐 Alkali 性		//
耐溶劑性		良好

表 2

性 質	에 스 콘 (美 Enjoy社製)	프로릭스 (美 하류릭스社製)
誘電率	2.0 (10 ⁶ ㎞)	2.2 (50 Mc)
力率	0.0002~0.0003 (10 ⁶ ㎞)	0.0009 (10 ⁵ ㎞)
絶緣耐力	655 V/mil	
體積抵抗率	6.5×10 ¹⁶	3×10 ¹⁵
Arch 抵抗(秒)	8	

社에서 發表된 Lexan 이라고 부르는 block 狀의 것이 있으며 이는 特히 機械的 強度가 매우 強하다. 表 3에 發表된 Makrofol 과 Lexan의 特性例가 表示되어 있다.

이 makrofol 라든가 Lexan의 分子構造는 그림 1과 같고 polyethylene terephthalate와 매우 비슷한 點이 있으며 를 主鎖에 含有하고 있는 構造가 薄膜

*서울工大 電氣工學科 專任講師

表 3

材 料 性 質	Polycarbonate		Polyethylene terephthalate	Cellulose triacetate butylate (成型品)
	(Makrofol)	(Lexan)	(Mylar)	(Triafol B)
比重	1.20	1.20	1.3~1.39	1.15~1.12
引張強度 (psi)	11,000~13,000	9,000~10,500	17,000~25,000	2,600~6,900
伸長率 (%)	30~100	60~100	70~130	40~88
壓縮強度 (psi)	—	11,000	—	7,500~22,000
硬度 (Rockwell)	—	R 118	—	R 30~115
熱傳導率 (10 ⁻⁴ cal/sec/cm ² /°C/cm)	—	4.6	3.63	4~8
熱膨脹係數 (10 ⁻³ /°C)	—	7	2	11~17
結晶熔融溫度 (°F)	200~230	514	265	—
熱變形溫度 (°F)	280	280~290	—	115~200
	[264 psi]	283~293	—	—
	[66 psi]	—	—	—
吸水率 (%)	[24 hr]	0.6	0.3	0.9~2.2
體積固有抵抗 (Ω-cm)	[23°C]	2×10 ⁶	2×10 ¹⁶	10 ¹⁰ ~10 ¹²
絕緣破壞強度 (V/mil)	[短時間法]	3,600(2.4 mil 厚)	3,900[1.5 mil 厚]	4,000 [2mil 厚]
誘電率				250~400 [1/8" 厚]
	[60 ∞]	3.1	3.17	3.16
	[10 ³ ∞]	3.1	—	3.12
	[10 ⁶ ∞]	3.1	2.96	2.98
誘電正接				
	[60 ∞]	0.001	0.0009	0.0021
	[10 ³ ∞]	0.001	—	0.0047
	[10 ⁶ ∞]	0.0079	0.010	0.016
耐 arc 性 (sec)	—	—	10~11	—

生成에 適合한 것이라고 보고있다. 그러나 polycarbonate로서 研究되고 있는것은 大體의인 分子構造는 上記

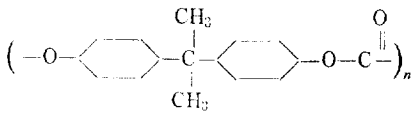


그림 1

의 것과 비슷하나 部分的으로 조금씩 相異한 것이 試圖되고 있다. 例를 들면 그림 1 中の CH₃ 基가 바뀌면 그에따라 諸 性質은 勿論 變하나, 一例로서 溶融點에서 보면 44'-dioxo-diphenylmethane 은 300°C 以上이다.

이 polycarbonate는 薄膜으로서는 polyethylene terephthalate 와 흡사한 點이 많은것 같다. 또 表3에서 보는 바와 같이 比重은 polycarbonate 편이 적고 이런 點으로 보아 價格은 約 20~30% 程度 싸질것이라고 짐작된다. 그런데 耐 溶劑性은 그다지 良好하지 못하고 benzen, toluene, chlorobenzene, dioxane, methylene chloride 等에는 完全히 녹는다. 그러나 이 性質은 薄膜을 만드는데 利用되며 (Polyethylene terephthalate는 高溫의 溶融狀態에서 薄膜으로 한다), 두께는 0.01 mm 以上の 것이 있다.

0.02 mm의 膜에 對한 絕緣破壞值의 溫度特性이 그림 2에 表示되어 있다. 이는 silicon 油中에서 測定한 60 ∞

에서의 값이며 薄膜으로서는 優秀한 것이라고 할 수 있다.

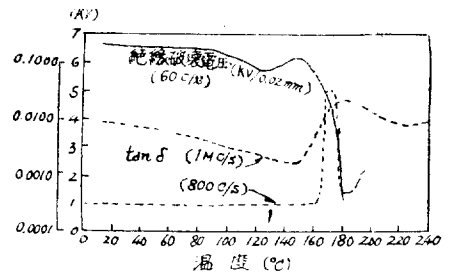


그림 2

誘電特性은 >C=O 基가 有極性이고 또 末端에 OH 基를 갖고 있음으로 誘電吸收을 이끈다. 그림 2에 誘電溫度特性이 表示되어 있다. 體積固有抵抗은 常溫에서 約 3×10¹⁶ Ω-cm, 200°C에서 約 10¹¹ Ω-cm 이다.

이는 安價이고 耐熱性이 良好하므로 今後 condenser 用 等으로 많이 進出할 것으로 보인다. 그림 3은 polycarbonate 樹脂의 두께와 絕緣破壞電壓과의 關係를 表示한 것이다.

Polyethylene Terephthalate

分子構造는 그림 4 와 같으며 0.008 mm 程度의 薄膜까지 만들어지고 있다. 大體로 -60~+150°C 範圍에서

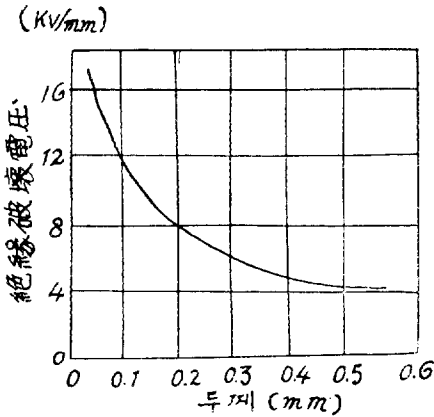


그림 3

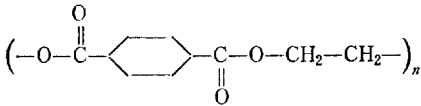


그림 4

安定한데 80°C 近傍에서 부피 結晶化가 進行되어 170°C 近傍에서 結晶化速度는 最大가 되며 이 結晶化가 여러가지 特性에 影響을 미침으로 注意해야 한다. 例를들면 絶縁破壊值라든가 引張強度 等の 溫度特性을 求하면 도리혀 高溫에서 上昇할 때가 있으며 이는 結晶化에 關係된다고 봐진다. 또 이 경우에는 film의 柔軟性은 減少하는 것이 된다.

이 polyethylene terephthalate의 諸性質이 表3에 表示되어 있다. 이 polyethylene terephthalate 纖維 (Tetoron 等)는 다른 天然 및 合成纖維에 比하여 耐熱性이 優秀하며 溶融點이 높고 良好한 引張 및 耐引裂性을 가지며 高溫에서도 電氣的 機械的 特性의 維持가 좋다. 또 吸濕性은 硝子纖維 다음으로 가장 적으며 耐摩耗性이 크며 耐酸性 耐鹼性이 優秀한 點 등 많은 長點을 갖고 있다.

商品으로서는 Mylar (美, Du Pont), Melinex (英, ICI) Hostaphan (獨, Kalle), Petron film (日) 等の 名稱으로 各國에서 製造販賣되어 電氣機器의 絶縁이라든가 condenser의 誘電材料로서 많이 使用되고 있다. 이 polyethylene terephthalate film은 電動機 및 發電機의 slot 絶縁 및 層間絶縁物, 界磁 coil의 tape 絶縁, 變壓器 coil의 層間絶縁, 絶縁 tape 等에 많이 使用된다.

Mylar는 pin-hole의 매우 적고 均質이며 絶縁耐力이 매우 높다. 그 抗張力은 acetate film의 2~3倍 以上이고 引裂 및 屈曲에 對해서도 매우 強하고 또 -60°C에서 150°C 乃至 175°C 까지에는 매우 優秀한 機械的, 電氣的 性質을 保持한다.

또 化學的으로도 安定하며 吸濕性도 매우 적고 耐熱性

도 좋아서 125°C에서 連續使用하여 20,000 時間의 壽命이 있다고 한다. Mylar를 slot liner라든가 相間絶縁物로 使用하려면 普通 craft紙, pressboard 等과 貼合한 것으로 한다. 이는 工作時에 折曲 및 剪斷力, 衝擊的인 壓力 등이 加해점으로 이에 의한 損傷을 防止하기 爲하여 貼合하는 것이다. 이 Mylar는 機械的으로 強하므로 屈曲絶縁耐力을 表示한 表4에서 보는 바와 같이 折曲에 의한 絶縁耐力의 低下는 varnished cloth의 1/3 以下다.

表 4

			Mylar			varnish cloth
			0.051	0.077	0.131	0.185
絶縁耐	力	두께				
		mm				
		kV	10.1	12.1	17.8	10.0
力	力	常態	9.2	11.6	16.0	7.0
		屈曲	9.0	10.5	14.2	—
		折返	8.8	4.2	10.2	30.0
力	力	低下率	10.8	13.3	20.3	—
		屈曲折返 %				

Cellulose Acetate 系

歐州에서 많이 使用되고 있다. 브릴화 아세테트 film편이 熱的으로 安定한다. Bayer社의 Triafol B가 이에 該當하며 可塑劑의 有無에 따라 BW, BN라고 부르고 있다. BW에서는 0.003 mm 程度의 薄膜까지 만들어지고 있다. 耐熱性은 A種級에 該當하며 表3에서 보는 바와 같이 電氣的 性質이라든가 耐濕性 等은 그다지 좋지는 못하다.

Silicone Rubber

이는 一連의 有機珪素化合物에 屬하는 것으로서 여러 가지 좋은 性質을 갖고 있기 때문에 電氣機器 및 cable 等に 使用되었으나 初期의 것은 機械的強度가 不充分하다든가 또 tape는 接着이 不充分했으므로 絶縁材料로서는 極히 一部分에서만 使用되는데 지나지 않았다. 그러나 最近에 融着性 silicone rubber tape로 絶縁한 電動機가 出現하는 等하여 다시 脚光을 받게 됐다.

Silicone rubber tape는 優秀한 電氣絶縁性 耐熱性 및 taping에 理想的인 고무彈性을 顯示하므로 coil 彎曲部 其他 不規則한 形狀을 갖는 部分의 tape 捲에 使用되고 있다. 처음 car motor의 絶縁에 使用됐는데 semi-cure한 silicone rubber glass tape로 taping한 것은 tape間의 接着이 完全하고 속에 void를 남기지 않으며, taping後에 cure하면 完全히 一體로 된 絶縁이 形成되는 것을 利用하여 最近에는 高壓의 回轉機 coil의 絶縁에서 從前의 mica 絶縁에 代身하여 100% silicone 絶縁 (Silkoflex Insulation)이 一部 實施되고 있다.

融着性 silicone rubber tape는 silicone rubber에 接着性을 갖게하기 爲하여 例를 들면 酸素含有物 및 水酸基含有珪素化合物을 加한 것으로서 더러 加硫狀態로

한 것이다. 이는 接着性이 매우 優秀한 것이 特徵이다. 基布가 들어가 있는 것도 있으나 無基布 tape 가 널리 사용된다. 이 融着性 silicone rubber tape 는 taping 後에 加熱處理하면 重捲部分이 相互融着하여 一律로 되어 coil 을 外氣로 부터 完全히 遮斷한다. 이點을 利用하면 從前의 密閉型電動機를 必要로 했던 場所의 電動機를 開放型으로서 代置할 수 있다. 表5는 融着性 silicone rubber tape (日, 東芝 silicone RTV) 의 諸 特性을 表示한 것이다.

表 5

材 料		TS968-RTV5	TS968-RTV6
加 硫 前	外觀	白色 paste 狀	白色 paste 狀
	比重 (25°C)	1.17	1.25
	粘度 (25°C) C.S.	20,000~30,000	30,000~40,000
加 硫 後	比重 (25°C)	1.18	1.26
	引張強度 kg/cm ²	30	37
	伸長率 %	170	150
	線收縮率 %	<0.5	<0.5
	體積抵抗率 Ω-cm	1.1×10 ¹⁴	2.1×10 ¹⁴
	誘電率	3.4	3.7
後	tan δ (50 c/s)	0.02	0.02
	絶緣破壞強度 kV/mm	17	17
200°C 43h 加 熱 後	引張強度 kg/cm ²	28	33
	伸長率 %	150	140
	線收縮率 %	1.5	1.5
200°C 120h 加 熱 後	引張強度 kg/cm ²	27	36
	伸長率 %	150	150
	線收縮率 %	<2.0	<2.0

硝 子

硝子纖維는 非吸水性이고 機械強度가 優秀하며 化學的耐久性이 크고 耐熱性이 매우 良好하며 近年에 film 狀의 것도 나타나 tape, sheet, sleeve 등으로 從來의 asbesto 의 分野는 勿論 有機質 纖維의 支持體 分野에도 進出하여 널리 사용되고 있다.

Corning Glass社의 Glass Micro Sheet Ribbon 은 두께가 0.03~0.05 mm, 幅이 10~25 mm, 길이 約 1 m 程度의 것이다. 이를 誘電體로서 使用하면 小型 高耐熱性 condenser 를 얻을 수 있다. 이에 是 硼硅酸 및 鉛 glass

表 6

周波數(∞)	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	3×10 ¹⁸	10 ¹⁰	2.5×10 ¹⁰
誘電率	8.45	//	//	//	//	8.43	8.40	8.05	7.82
tan δ	18	13	9	7	6	7	14	49	30

等이 使用된다. 誘電特性은 表6 과 같다. 또 體積固有抵抗은 室溫에서 約 10¹⁸ Ω-cm 로서 높은 값을 갖고있다.

또 이 film 은 現在는 兩端이 조금 두터워져 있고 또 徑 50 mm 以下로는 꾸부릴 수 없는 缺點이 있으나 表6 에서와 같이 誘電率이 매우 큰 一方 tan δ 는 적으므로 condenser 材料로서 將來性이 있다. condenser 로 할 때에는 金屬箔과 交代로 積層시킨 다음 glass 를 加熱加壓하여 軟化시켜 全體를 融着시키는 方法을 取하고 있다.

硝子纖維製品의 缺點은 伸長率이 매우 적고 taping 等에 不適當하며 脆性이 크며 耐摩耗性 hammering 等に 弱하다는 것이다. 또 非吸水性인데도 不拘하고 高濕度中에서의 絶緣抵抗의 低下는 意外로 크다는 點에는 注意해야 한다.

B 種 varnished cloth 에는 黑 또는 黃色의 油溶性耐熱 alkyd varnish 를 使用한 것이 가장 많으며 그 特性의 一例를 表7 에 表示한다. silicone varnish 로 處理한 것은 H 種絶緣으로서 silicone resin 과 glass fiber 가 갖는 耐熱性을 十分 發揮하고 있으나 低溫에서의 可撓性의 不足, 耐油 耐溶劑性의 不足 등이 取扱上의 缺點으로 되어 있다.

B 種 varnished glass cloth 는 普通의 varnished cloth 에 比하여 耐熱性이 良好한 것은 勿論이나 特히 熱에 依한 機械的強度의 低下가 적다. 또 引張強度가 크고 破壞電壓도 높으나 伸長率이 적은 것이 缺點이다.

表 7

項 目	두 께	3 mil	7 mil	
		두께(平均)	(mm)	0.084
使用한 硝子布의 두께	(mm)	0.05	0.08	
幅	(mm)	940	941	
引張荷重 (kg/15 mm 幅)	縱	23.7	37.4	
	橫	9.4	25.6	
伸長率 (%)	縱	4.3	3.7	
	橫	3.7	6.6	
絶緣破壞電壓 (kV)	常 態	平均	5.6	11.1
		最低	4.3	9.6
	高溫 (70°C) 平均		4.3	10.1
	耐油 後	平均	6.0	13.2
最低		4.2	12.0	
耐熱性 (150°C 24 hr)	龜裂을 이르지 않음			
耐濕熱性 (80°C 24 hr)	변겨짐을 이르지 않음			
柔軟性 (mm)		64.2	69.5	
體積固有抵抗 (×10 ¹³ Ω-cm)		3.62	2.41	
表面固有抵抗 (×10 ¹² Ω)		3.77	8.85	

(1964年 5月 28日 接受)