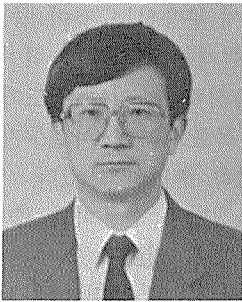


국내 절연재료의 산업 현황과 전망



배 헌 재
금성전선(주) 연구소
절연재료 연구실장/공박

1. 서 론

고분자 재료와 세라믹스 재료는 일반적으로 우수한 전기절연 특성을 가지고 있기 때문에 많은 분야에 이용되고 있다.

세라믹스 재료는 내열성, 내마모성, 내식성, 전기절연성 등 많은 우수한 특성 때문에 여러 분야에서 연구개발 및 실용화 되고 있다. 그러나 세라믹스 재료에 비해 가공성이 용이하고

이용목적에 대응할 다양한 재료 선택이 가능하며, 가격면에서도 유리한 이유 등으로 현재로서는 고분자 재료가 절연재료로서의 주 사용재료로 이용되고 있다.

그러한 의미에서 본 내용에서는 전기 절연을 목적으로 이용되는 고분자 재료에 대하여 서술하고자 하며 중전기용, 전선용, 전자부품용의 순으로 국내 개발현황 및 이용현황을 살펴보고 우리의 현재 기술능력을 진단해 본다.

2. 고분자의 전기절연특성

고분자 재료가 전기 재료로써 사용되는 것은 거의 대부분 절연재료로써 사용된다. 장래 이용목적으로 유기 반도체, Polymer 전지, 유기 초전도 물질 등이 연구 진행되고 있으나 아직 까지 실용화 단계에 이르지 못하고 있다.

그러므로, 현재로써는 고분자 재료의 전기적 성질이라면 전기절연 특성이 우수하다는 점이다.

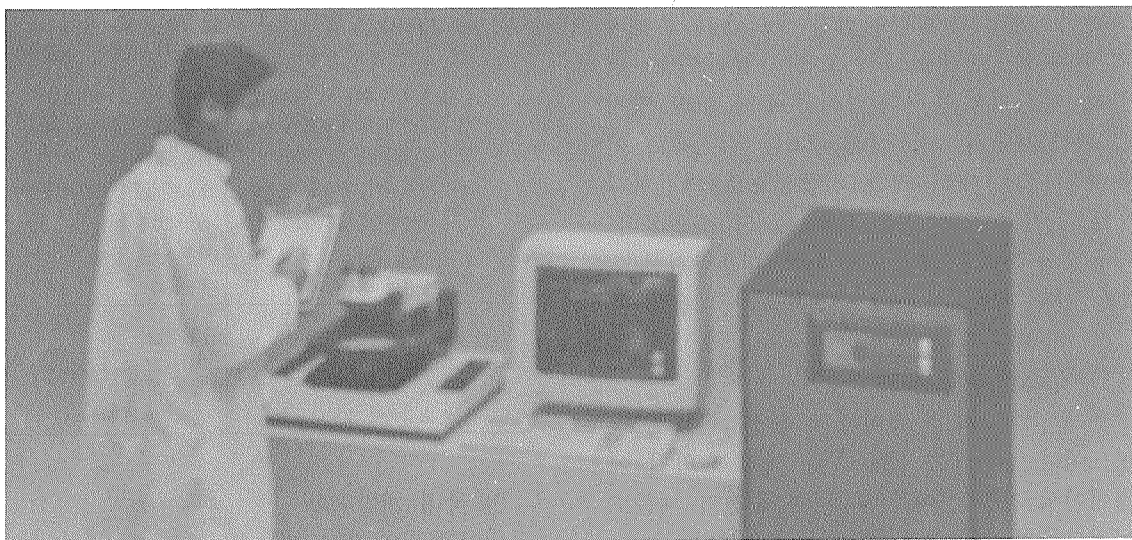
전기가 발전소로부터 가정이나 공장에 까지 도달되어 모터를 회전시키거나 텔레비전의 화면이 나오기 까지 절연재료가 필요한 부위에 전기절연 역할을 충분히 해 주어야 한다.

전기는 직류, 교류(저주파, 고주파) 및 저압, 고압으로 크게 분류되며 절연재료 선택은 대체로 다음과 같은 특성치에 따라서 결정된다.

- ① 체적 저항률
- ② 표면 저항률
- ③ 절연 파괴 강도
- ④ 유전율
- ⑤ Tan δ
- ⑥ LH Arc 성

1) 유전성

절연 재료를 전기(電界) 중에 두면 正, 負 전



전자교환기, 컴퓨터, 텔레비전 등의 전자제품에는 많은 기기선이 이용된다.

하가 서로 반대 방향으로 미소변위하는 현상이 생긴다.

이것을 유전분극(誘電分極)이라 한다.

이 크기를 比誘電率 E_r 로 표시하며, E_r 은 電界에 의해 分極이 생기는 程度를 나타내는 Parameter이며 電界가 더해짐으로 부터 分極하기 까지 필요로 하는 期間(緩和時間)과 電界方向이 교차에 필요로 하는 時間(交流의 周期)에 따라서 크기가 달라진다.

일반적으로 周波數가 높아지면(고주파수) 程和時間이 큰 分極을 따라 잡지 못하므로 E_r 은 작아진다.

유전손실은 절연재료를 교류 전계에 두면 에너지가 열로되어 손실되는 현상을 말한다.

유전분극에 의해 발생한 雙極子는 온도가 높을수록 전계의 변화에 수반해서 진동하기 쉽기 때문에 $\tan \delta$ 는 온도가 높을 수록 큰쪽으로 이동된다.

2) 전기 절연성

전기전도는 전압이 낮은 곳에서는 ohm 법칙이 성립하여, 전압을 높게하면 ohm 법칙이 성립치 않게 된다.

그리고 전압을 더 많이 높게하면 절연재료가 파괴된다.

파괴 전압은 전극간의 전압이 너무 높아서 절연재료가 파괴되는 현상을 말한다. 절연 파괴의 강도 E_B 는 온도영역에 의해 고유특성을 가지며, E_B 를 지배하는 요인으로서는 온도, 압력, 시료의 두께(절연체 두께), 전압의 파형(직류, 교류, Impulse 등), 전압을 가하는 방법(즉, 일정속도로써 상승시키는가 또는 일정 전압을 인가 하는가) 등이 있다.

고분자에서는 파괴강도 E_B 는 온도상승에 따라 저하하며 특히 열가소성 고분자에서는 결정질의 극부적 용융이 시작되면 E_B 는 급격히 저하된다.

3) 고분자 재료의 열화(Degradation)

전기 절연재료의 성능은 시간의 흐름에 따라 저하되어 가는 것을 절연열화라 말한다.

절연열화는 절연재료가 고전계 중에 놓여지게 되면 전기적 Stress에 자외선, 수분의 침투, 열, 방사선 등이 더해져서 그 열화는 가속화 되는 경우가 많다.

열화 현상의 구체적인 내용에 대해서는 여기에서는 생략하기로 한다.

3. 증전기용 절연재료

발전소에서 가정까지 전기 Energy가 운반되기 위해서는 전압을 승압 또는 감압해 주는 변압기, 유사기의 충격 전압이 흐를때 이의 방지를 위한 차단기, 가공전선(공기를 절연체로 이용하는 전선)에서 지하 지중선으로 연결될때 서로 연결해 주는 접속 부위 및 그 주변설비, 대용량의 전력을 공급하기 위한 대용량전선(초고압 전력 케이블) 등에 절연재료가 이용된다.

1) Epoxy 주형 제품

현재 국내 가공 케이블의 송전압은 500KV 정도이나 장래에는 1000KV급 까지 승압될 예정이어서 지중 케이블 및 관련 중전기 제품도 이정도급의 전압으로 개발이 필요하다.

중전기 제품중에서 전기 절연재료로써는 주로 Epoxy 주형제품이 사용되며, 이것은 Epoxy 수지, 경화제, 무기재료인 충전제 (Al_2O_3 , 또는 Silica) 등이 부재료로 이용된다.

Epoxy 주형제품의 용도, 제조방식 및 소재, 종류, 특징을 <표-1, 표-2>에 나타냈다.

<표-1> Epoxy 주형 제품의 용도

전압	Cable용 Epoxy Insulator
66KV ↓ 275KV	Joint 부품 ┌ Cable용 Stop Unit └ Cable용 Joint Unit
66KV 1000KV	단말부품 Bushing (OF, CV, Cable) SF ₆ 가스 절연통 유중 가스 절연통 기중 가스 절연통
66KV 500KV	기타 부품 절연통 Bellmouth Spacer

전압	전력 기기용 Epoxy Insulator (개폐기기, 변압기, 보호관)
66KV 550KV	• SF ₆ 가스 절연 Spacer ┌ 단상 Type ├ 3상 Type ├ Disc Type ├ Cone Type └ Post Type • SF ₆ 가스 절연통

<표-2> Fpoxy 주형제품의 제조 방식 및 특징

구분	진공주형방식	가압 Gel화 방식
특징	용융 Epoxy 혼합물을 충분히 탈기(脫氣)하여 진공상태를 유지하면서 주형하기 때문에 최종주형물에 Void가 거의 없어 초 고압 부품에 적당하다.	Gel화 Epoxy 혼합물을 금형에 주입하면서 바로 경화시키는 방법으로 소품종 대량생산 (50-100개/day) 작은 금형 등에 유용하다.
사용전압	66KV급 이상의 초고압 전기기기용	3.3~33급
장점	성형부품이 크고 형상이 복잡하여 소량다품종	-대량 생산 -설비투자 비용이 적다.

2) 국내 개발현황

- 저압용 (3.3~33KV급) : Epoxy 수지, 경화제는 국산화 되어 있고, 일부 무기충전제도 국내 제품을 사용한다.

제조설비는 국내에서 간단히 제조하여 사용하는 경우와 최근에 고속 가압(Gel)화 방식의 생산설비를 도입 사용하는 곳도 있다.

- 고압용 (66KV급 이상) : Epoxy 수지, 경화제가 국산화 되어 있지 않고, 무기충전제도 국산품은 사용하지 못하고 있다.

특히 이제품의 수요는 계속 증대할 것으로 추정되므로 국산화를 압당기는 일이 중요하다.

제조설비는 1986년 경부터 중전기 회사, 케이블 제조회사 등에서 도입, 공정연구를 거쳐 최근에는 우수한 품질의 제품을 제조 생산중에 있다.

4. 초고압 전력 케이블용 절연재료

전력케이블의 지중화가 고전압화 됨에 따라 전력케이블의 고전압화가 계속 요망되고 있다. 가교 폴리에틸렌 절연 전력 케이블의 경우 1960년대 후반부터 실용화가 진행되고 1980년대 초에는 Oil Filled Paper 절연 전력 케이블과 더불어 154KV급까지 개발되어 실제 채용되고 있다.

그러나 초고압용 (154KV급 이상)에 소요되는 재료 (XLPE 및 PAPER)는 현재까지 전량 외국에서 수입하고 있으므로, 앞으로 계속되는 고

〈표-3〉 연속 사용 최고온도에 의한 전선용 절연재료

연속사용최고온도 C	절 연 재 료	
	열 가 소 성	열 경 화 성
60	•PVC(DOP 사용) •Polyethylene	
90	•PVC(DIDP 사용)	•가교 PE(일반용)
105	•PVC(TOTM 사용) •PVDF	•가교 PE(특수처방) •가교 PVC
150	•ETFE	•가교 PVDF
180	•CTFE	•가교 EFFE
200	•FEP	
220~260	•PFA	
260	•PTFE	

※위 특성치는 측정자에 의하여 다소간의 차이가 있을 수 있으며 상대적인 평가치로 이해 바람.

전압화에 발맞추어 국내제품의 개발이 요구되고 있다.

5. 전선용 절연재료

전자 교환기, 컴퓨터, 텔레비전 등의 전자제품에는 많은 기기선이 이용된다. 연속 사용 최고온도에 따른 절연재료를 〈표-3〉에 나타내었다.

이 제품중에서 PVC 혼합물 중 수지, 가소제, 안정제, 무기 충전제 등의 대부분이 국산화 되어 있으며, Polyethylene도 국산화 되어 있다. 그러나 고온용 및 특수 목적의 기기선에 사용되는 불소계수지는 전혀 국산화 되고 있지 않으며, 가까운 장래에도 국산화 되리라는 전망은 예측하기 어렵다.

각종 전자제품의 고집적화, 다기능화 등의 요구에 따라 불소계수지를 절연체로 하는 전선용도가 계속 증가하므로 불소수지의 국산화가 요망되고 있다.

여기에서는 불소계수지 중 몇종류에 대해 조금 상세히 서술하고자 한다.

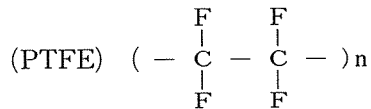
불소수지는 강한 C-F 결합 및 F(불소)로 강화된 $\begin{matrix} | & | \\ -C & -C- \\ | & | \end{matrix}$ 결합을 가지기 때문에 매우 우수한 열적 화학적 특성을 가지고 있다.

그 대표적인 예가 폴리테트라플루오르에틸렌(Poly Tetra Fluoro Ethylene, PTFE)으로 -80℃

부터 250℃까지 넓은 범위에 걸쳐 사용할 수 있으며 용융 알칼리와 고온하에서 플루오트 가스에 침식되는 것 이외에는 모든 산이나 알칼리 및 기타 용매에 우수한 특성을 가지고 있다.

이밖에 사용조건에 따라 가공 특성을 향상시킨 변형된 불소계수지가 많으며, 현재 국내에서는 응용분야가 증가하는데 반해 재료는 모든 종류에 걸쳐 전량 수입 사용되고 있다.

1) 폴리테트라플루오르에틸렌(Poly Tetra Fouoro Ethylono)



구조상에서 Poly Ethylene(폴리에틸렌)인 수소가 완전히 플루오트로 치환되어 있으며, 대칭적인 구조로 되어 있다.

분자결합 너지에서 C-H 결합에너지보다 C-F 결합에너지가 크기 때문에 아래와 같은 우수한 특성을 지니고 있다.

〈특 징〉

장점 :

- ① 내열성이 매우 우수하다.
- ② 완전결합을 가지기 때문에 내한성이 매우 우수하며 -100℃까지도 사용 가능하다.
- ③ 전기적 특성이 매우 우수하여, 기존 제품중에서 유전을 및 유전손실률이 가장 적다(PE보다 적다).
- ④ 내화학약품성, 내후성이 특히 뛰어나며, 내마모성도 다른 수지에 비해서 우수하다.

단점 :

- ① 재료가 소수업체에서만 생산되기 때문에 극히 비싸다.
- ② 내열, 내약품성이 우수하기 때문에 용융가공이 매우 어렵다.
- ③ 고온과 극저온에서 다른 수지에 비해서 우수하나 상온에서는 비교적 연하여 변형되기 쉽다.

〈용 도〉

- ① 화력발전소, 철공소 등의 주위온도가 150℃ 정도 이상의 장소

- ② 내약품성이 특히 요구되는 화학제조공장
- ③ 전자계산기용, 항공기용, 기기배선용 전선
- ④ 무선기 통신기기 배선용 전선
- ⑤ 내열전대용 보상전선, 발전기용 전선

※폴리테트라플루오르에틸렌은 일반적으로 테플론(Teflon)이라고 부르며 일반 압축과는 달리 Screw (스크류) 압축방식은 현재까지 사용치 않으며 실린더(Cylinder) 방식의 특수 압출기를 사용한다.

※테플론은 미국 듀폰(Du Pont)사의 폴리테트라플루오르에틸렌의 상품명임.

2) 플루오르화에틸렌-프로필렌공중합체 (Fluorinated Ethylene-Propylene Copolymer)

PTFE와 거의 같은 특징을 가지나, 내열온도가 50°C 낮은(200°C) 상태이나 용융압출이 가능하며, 가격면에서 PTFE보다 싸기 때문에 복잡한 형상물의 제조, 전선피복 등에 많이 이용한다.

3) 에틸렌-테트라플루오르에틸렌공중합체 (Ethylene-Tetra Fluoro Ethylene Copolymers, ETFE)

이것은 플루오르화에틸렌-프로필렌공중합체를 용융가공성을 쉽게 하기 위하여 개량한 것으로 용점이 256~282°C 정도이며 용융압출 가공이 가능하다.

※에틸렌-테트라플루오르에틸렌공중합체는 테프젤(Tefzel)이란 이름으로 상품화되고 있는데, 이것은 미국 듀폰(Du Pont)사의 상품명이다.

<특 징>

- ① PTFE와 거의 같은 특성, 다만 내열 온도가 150°C정도급이다.
- ② C-H 결합이 있기 때문에 전자 조사가교가 가능하다(C-F 결합은 전자 조사가교가 불가능하다).
- ③ 용융가공이 가능하기 때문에 PTFE에 비해서 작업이 용이하다.

4) 폴리비닐렌 플루오라이드 (Poly Vinylidene Fluoride)

불소계통이면서 가공성에 있어서는 일반 플라스틱에 가장 가까운 것이 최대의 특징이며 기계적 강도가 매우 강하다.

<특 징>

- ① 불소수지 중에서 기계적 강도가 가장 높다.
- ② 내열 특성은 105°C급으로서 조사가교 PVC와 비슷하다.
- ③ 전기적 특성은 폴리염화비닐 정도로서, 내마모성이 요구되는 전선제조에 많이 사용된다.

6. 에나멜 선용 절연재료

전기적, 자기적 에너지를 상호로 변환하기 위한 목적으로 전기회로에서 자계를 혹은 자계 회로에서 전기를 얻고 있다. 이러한 목적을 만족시키기 위해서 절연피막이 매우 얇은 에나멜선이 주로 사용된다.

에나멜선에 사용되는 절연체는 일반적인 PVC 또는 PE 절연선의 제조방법인 압출식과

<표-4> 에나멜선의 분류 및 온도 특성

Commercial Name	CODE	Specification	Thermal Classification (C)
Polyvinyl Formal	PVF	KSC 3110 JSC 3203 NEMA MW15-C BS 4516	A(105C)
Polyurethane	UEW	KSC 3110 JSC 3211 NEMA MW2-C BS 4520	E(120C)
Polyester	PEW	KSC 3108 JSC 3210 NEMA MW5-C BS 3160	B(130C)
Polyesterimide	EIW (F)		F(155C)
Polyimide	IMW	NEMA MW16-C Bx 4663	C(220C)
Polyesterimide	EIW (H)	KSC 3127 JSC 3214 NEMA MW30-C BS 4665	H(180C)
Polyamideimide	AIW	JCS 334	H(180C, 200C)

달리 일반적으로 얇은 피막을 액상중에 코팅하여 고온에 용매를 날려 보내면서 가교반응시키는 방법이 사용되고 있다. 이때 사용되는 Varnish는 주성분(Resin)의 종류, Resin의 미세구조, 중합도 등에 따라 특성의 큰 차이를 나타낸다.

일반적으로 사용되는 Resin에 따라 내열특성이 차이를 나타내며, 대표적인 제품의 명칭, 규격 및 열적특성을 <표-4>에 나타내었다. 국내에서는 130°C급인 Polyester Varnish까지는 국산화되고 있으나 그 이상의 내열특성을 가진 Polyesterimide, Polyamideimide 및 Polymide 등은 거의 수입에 의존하고 있다.

7. 전자제품용 절연재료

전자제품에 응용되는 고분자 재료는 이제까지 서술한 고분자의 우수한 전기절연성을 이용한 목적 이외에 고분자의 기능성을 부여한 용도로 연구개발 및 응용되고 있다.

그러한 특성은

- ① 절연·내연성
 - ② 도전성 또는 반도체성
 - ③ 광도전성
 - ④ 감광성 : 반도체 제조에 없어서는 안될 Photoresist 재료로 이용
 - ⑤ 압전성·집전성 : 고분자 특유의 압전성을 이용한 것으로 센서 Speaker 등에 이용
- 이와 같은 고분자의 특성을 이용한 연구개발은 무한히 발전될 수 있으나 여기에서는 절연 특성을 이용한 재료에 대해서 서술하기로 한다.

1) 절연·내열성 Film

전자기기의 고내구성, 소형화에 따라 우수한 절연, 내열성을 가진 Film이 요구되고 있다.

현재까지도 Epoxy계 또는 Phenol계의 PCB(Print Circuit Board)가 많이 이용되고 있으나, 최근에는 Polyimide계의 FCB(Flexible Circuit Board)가 소형 전자제품에 많이 응용되고 있다.

Polyimide는 현재까지 상품화된 Polymer중 최고의 내열도를 가지며 우수한 기계적 특성을

가지는 한편 고순도 원료에서만 합성이 가능한 등의 합성조건이 까다롭고 그 성형조건 역시 혹독한 만큼 고도의 기술수준을 요하게 된다. 그래서 이 제품에 대해서는 선진국 각자의 Know-how를 관리하고 기술이전을 꺼리는 실정이므로 독자의 개발이 절실히 요구된다.

국내에는 오디오 및 비디오 테이프 등에 사용되는 Polyester계 Film이 국산화되어 있다.

2) 반도체 집적회로의 봉지재료

반도체의 고집적화에 따라 최근에는 VLS-I(Very Large Soale Intergrated Circuit)가 등장하게끔 되었다.

반도체 제조공정의 마지막 마무리 단계인 봉지(封止 : Encapsulation) 공정은 우수한 전기절연성, 내열성, 내화학적 성질을 가진 재료를 요구하고 있다.

일반적으로 트랜지스터는 90% 이상의 고분자재료로 봉지되고 있으며, IC의 경우에는 70~80%가 고분자 재료로 봉지되고 있다.

이와 같이 넓은 범위에서 고분자수지가 봉지재료로 이용되고 있다.

이 봉지재료의 요구 특성으로서는,

- ① Lead Flame과의 접착성이 좋을 것
- ② 흡수율이 적을 것
- ③ 투습성이 적을 것
- ④ 내 Crack성이 우수할 것
- ⑤ 열팽창계수가 적을 것
- ⑥ 내열성이 우수할 것
- ⑦ 열전도율이 클 것
- ⑧ Na⁺, Cl⁻ 등의 Ion성 불순물이 적을 것
- ⑨ α선 발생선이 되는 불순물의 함유량이 적을 것
- ⑩ 위의 특성 이외에 고신뢰도화, 생산성 향상을 위해
 - 생산 공정에서 금속부를 오염시키는 물질을 발생시키지 않으며
 - 성형과정에서 가속도가 우수할 것
 등이 있다.

이와 같은 요구조건을 만족시키기 위해 우수한 EMC(Epoxy Molding Compound)가 상품화

되고 있으며, EMC는 다음과 같은 재료로 혼합되어 있다.

- ① Epoxy Resin : 내열 특성이 우수한 o-cresol noblac epoxy 수지
- ② 경화제 · Phenol Noblac 수지
- ③ 경화촉진제 : Amine 화합물, 혹은 이의 변성물
- ④ 무기충진제 : 용융 Silica
- ⑤ Coupling Agent : Silane계
- ⑥ 내부이형제 : Ester계 Wax
- ⑦ 난연제 : Br계 또는 Sb_2O_3 계

국내에서는 EMC제조에 필요한 대부분의 원 재료를 수입하며, 그것을 가공하여 EMC를 생산하는 업체가 있으나 아직까지도 EMC로써 수입 사용하는 양이 대부분이다.

직접도가 증가함에 따라 그에 대응하는 EMC를 자체 개발 해야할 필요성은 계속 증대되므로 그 개발이 계속 요구되고 있다.

3) 열수축 Tube

열수축 Tube (Heat-Shrinkable Tube)는 “가열하면 내경이 줄어드는 Tube”인데, 전자제품에는 1차 공정후 절연 목적으로 많이 사용되고 있다.

전자제품에 사용되는 열수축 Tube는 유연성, 난연성, 내열특성, 전기절연성 등이 우수해야 하므로 제조 공정이 매우 까다롭기 때문에 몇

년전 까지만 하더라도 선진 몇개국에서 생산되는 제품을 전량 수입해서 사용했다.

그러나 국내 업체에서도 고분자의 복합재료 가공, 전자선 조사기술 및 Tube팽창 가공 기술의 종합적인 기술이 진보되어 선진국 제품과 비교우위한 제품이 상품화되고 있다.

4) 기 타

전자제품의 Housing재료 (주로 케이스, Flame 등), 절연유, 함침 Varnish, 각종 Tape 류 등등 많은 재료가 있는데 직접 절연하는 역할보다 전기 절연을 보강한다는 의미에서 많이 사용되고 있어 상세한 기술은 생략하기로 한다.

8. 결 론

전기절연재료로써 사용되는 고분자 재료에 대해서 전반적으로 살펴 보았다. 필자는 이 분야에 대해 그 중요성을 인식하면서도 재료의 대부분을 수입에 의존하는 국내현실을 실감하면서, 계속 이에 대한 연구개발의 필요성을 강조하고 싶다.

절연재료의 응용분야가 넓기 때문에 어느 특정항목에 대해 기록하지 못함을 이해 바라면서 다음 기회에 상세 기술할 수 있음을 기대하는 바이다.

