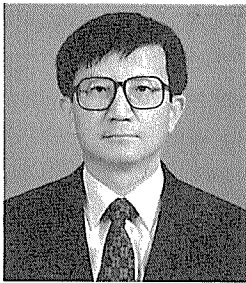


논단 II

## 전선절연재료의 기술동향



금성전선(주) 연구소  
고분자 연구실  
연구위원 배헌재

### 1. 개 요

전선은 표 1과 같이 전력용, 통신용, 열반저압용, 권선, 기타특수용 등으로 분류된다. 전선은 절연재료로서 사용하기 위해서는 우수한 전기절연특성을 가지며, 가공성이 용이하고 이들 목적에 대응할 다양한 재료선택이 가능하며, 가격면에서도 유리 해야한다. 이러한 요구 조건을 만족시키는 재료로써 고분자 재료가 단연 많이 사용되고 있다. 전선 절연에 이용되는 고분자 재료로써는 다음과 같이 나열된다.

#### 전선에 사용되는 고분자

- ① PVC(Polyvinyl Chloride) Compound
- ② PE(Polyethylene) 및 가교 PE
- ③ 불소계 수지  
: PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)

- : PVDF(Poly Vinylidene Fluoride)
- : PVF(Poly Vinyl Fluoride)
- : 기타
- ④ 각종 고무 Compound
  - : EPDM(Ethylene Propylene diene Terpolymer)
  - : CSP(Chlorosulponated Polyethylene)
  - : Silicone Rubber
- ⑤ Oil Filled Cable의 Oil
  - : Alkyl Benzene
- ⑥ 권선용
  - : Polyester
  - : Polyurethane
  - : Polyesterimide
  - : Polyimide
  - : 기타

대부분 절연재료로써 사용된다.

장래 이용 목적으로 유기 반도체, Polymer 전지, 유기초전도 물질 등이 연구 진행되고 있으나 아직까지 실용화 단계에 이르지 못하고 있다.

그러므로, 현재로써는 고분자 재료의 전기적 성질이라면 전기절연특성이 우수하다는 점이다.

전기가 발전소로부터 가정이나 공장에 까지 도달되어 모터를 회전시키거나 텔레비전의 화면에 나오기 까지 절연재료가 필요한 부위에 전기 절연 역할을 충분히 해 주어야 한다.

전기는 직류, 교류(저주파, 고주파) 및 저압, 고압으로 크게 분류되며 절연재료 선택은 대체로 다음과 같은 특성치를 결정한다.

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

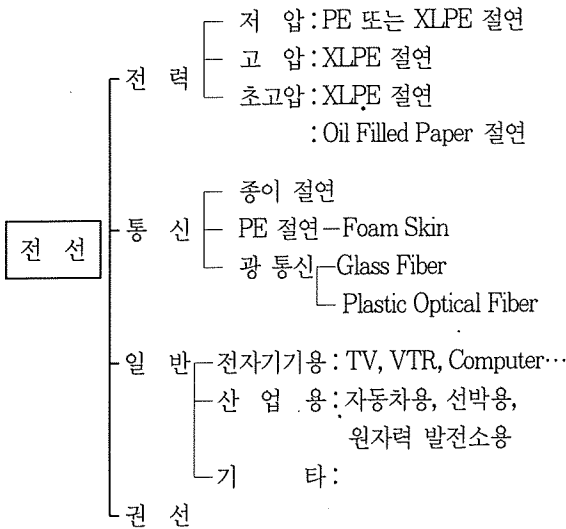


표 1. 전선의 분류

이러한 의미에서 본 내용에서는 전선 절연을 목적으로 이용되는 고분자 재료의 몇가지 기술사항에 대해 서술하고자 한다.

## 2. 전선재료의 전기적 특성

고분자 재료가 전기 재료로써 사용되는 것은 거의

## 3. 고분자의 열(熱)적 특성 및 가교반응

전선 절연재료는 사용시간의 흐름에 따라 절연특성이 저하되어 가는데, 이것이 절연 열화라 한다.

절연 열화는 절연재료가 높은 전계중에 놓여지게 되면 전기적 stress에 자외선, 수분의 침투, 열, 방사선 등이 더해져서 그 열화는 가속화 되는 경우가 많다. 열화현상은 각 요인이 독립적으로 작용 하는 것보다 복합적으로 함께 작용하므로 구체적인 현상은 매우 복잡하므로 여기에서 상세히 열거하는 것은 생략하기로 한다. 단, 사용상의 특수 목적이 아닌 경우 그 주변온도의 조성은 매우 중요하므로 절연재료에 따른 연속 사용 최고온도를 표 2에 나타내었다.

가교반응은 열가소성 재료(Thermo plastic)을 열경화성 재료(Thermo setting)로 변환시키는 공정을 의미한다.

전선 절연재료로 많이 사용되는 PE, PVC는 온도 상승과 함께 어떠한 온도에서 연화되기 시작하며, 결국에는 유동 상태로 된다. 이러한 높은 온도에서 연화되는 것을 방지하기 위해 분자쇄와 분자쇄를 이어주는 것을 가교반응이라 말한다.

가교반응에 의한 전선 사용중 순간적인 충격 전

본단 II

류, 주변의 급격한 고온 발생 등에 의해 절연재료가 녹아 버리는 것을 방지할 수 있다.

표 2 연속 사용 최고온도에 의한 전선용 절연재료

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

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

그림 1에서 나타난 것과 같이 가교반응된 PE 것에 비해 다른 재료는 거의 용융되어 버리는 것을 알 수 있다.

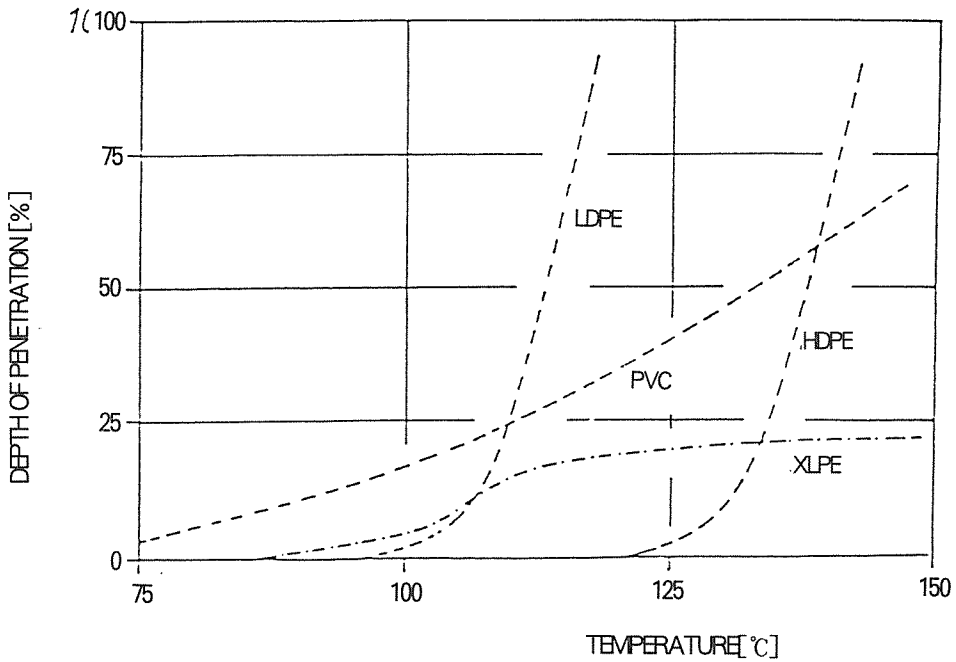


그림 1. 가열 변형 특성

일반적인 가교반응에서는

- ① 유기 과산화물에 의한 방법 : Peroxide Crosslinking
- ② 실란 화합물에 의한 방법 : Silane Crosslinking
- ③ 전자선 조사에 의한 방법 : Irradiation Crosslinking의 방법이 있다.

표 3에 사용재료에 따른 가교 반응 방법을 나타내었다.

표 3. 가교반응 방법과 사용재료의 비교

Method \ Application	Peroxide	Silane	Irradiation
LDPE	0	0	0
저난연 LDPE	0	0	0
고난연 LDPE	×	×	0
HDPE	×	×	0
난연 HDPE	×	×	0
Rubber	0	×	0
PVC	×	×	0
Flouoro Polymer	×	×	0

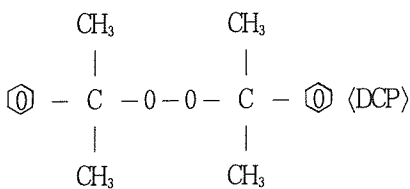
0:가능, ×:불가능

### 3.1 유기 과산화물에 의한 가교

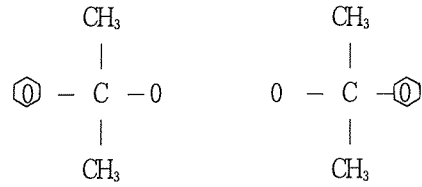
일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 방법이며, 폴리에틸렌에 유기 과산화물(보통으로는 DCP, Di Cumyl Peroxide)을 2-3 Phr 혼합한 것을 과산화물의 분해가 일어나지 않는 낮은 온도로 도체에 피복한 다음, 가열관을 통과시키는 동안 고압증기에 의해 가열함으로써 폴리에틸렌이 가교된다.

다음은 유기과산화물로서 DCP을 사용할 때 가교 반응과정을 나타내었다.

1) DCP가 열분해하여 radical을 생성한다.

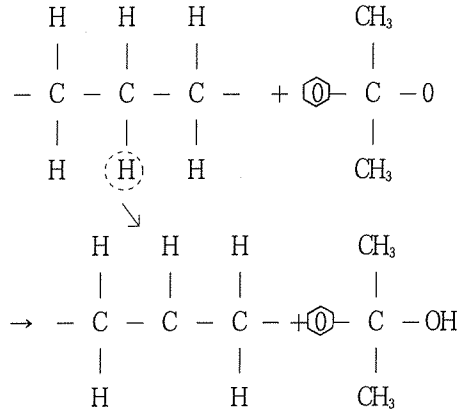


↓ (DCP의 열분해)



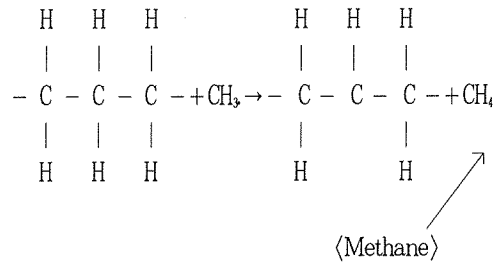
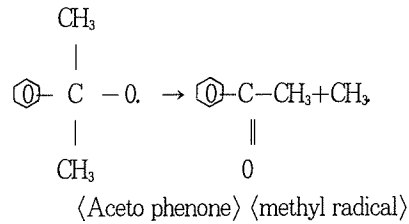
⟨Radical생성⟩

2) 이 생성 Radical이 PE과 바로 반응하여 PE의 chain상에 Radical을 발생시킨다.

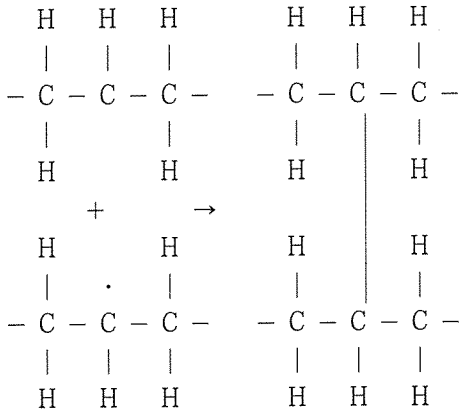


⟨Carbinol⟩

3) 한편 1)에서 생성된 Radical은 완전한 Acetophenone이 되면서 methyl radical이 생성되며, 이 methyl radical이 다시 PE chain상에 radical을 발생시킨다.



4) 2)와 3)에서 생성된 PE Chain상 radical이 서로 반응하여 가교반응을 일으킨다.



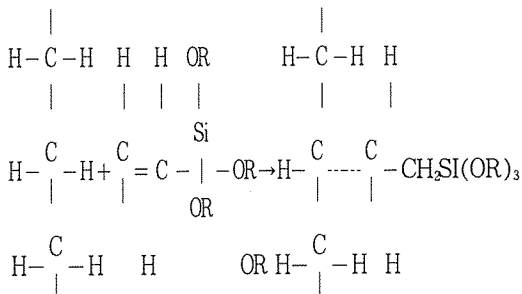
이 가교반응에서는 부산물로서 Carbinol, Acetophenone 및 methane 등이 생성된다. 이때 methane이 기포를 형성하는게 되는데, 이 기포의 발생방지를 위해 서 압력을 가해 주어야 한다.

위 반응과정에서 반응의 주 속도를 지배하는 것은 1)의 DCP가 분해하여 radical을 생성하는 과정이며 2), 3), 4)의 과정은 매우 빨리 진행되므로 거의 무시할 수 있다.

### 3.2 실란화합물에 의한 가교

이 방법은 1967년 Dow Corning사에 의해서 개발되었으며 물(H<sub>2</sub>O)에 의해 가교 결합반응이 이루어 지므로 “수가교”란 이름으로도 불리워지고 있다.

불포화 상태의 Vinyl기(Vinyl group)을 가지고 있는 다기능의 유기 silane(polyfunctional organo silane)과 H<sup>+</sup>을 쉽게 발생하는 폴리에틸렌 사이에 아래와 같은 반응을 일으킨다.



위 반응과 같이 측매반응(grafting)이 일어난후 폴리에틸렌은 thermoplastic상태를 유지하고 있으며, 일반 PE와 같은 특성을 그대로 띠고 있다.

측매반응이 일어나면서 siloxane 가교결합이 일어난다. 이때 측매 존재하에서 반응이 촉진될 수 있다.

이 방법의 가교결합은 유기과산화물에 의한 가교 및 전자선 조사에 의한 가교(direct C-C 결합)와 달리 폴리에틸렌 연결상이 다발상으로 가교형성 구조를 가지게 된다.

실란화합물에 의한 가교형성구조를 그림 2에 나타내었으며, 실란가교물이 다발상 가교형성구조를 가지고 있기 때문에, 그림 3에서도 알 수 있듯이, 같은 가교도인 경우 실란 화합물에 의한 가교물의 가열변형이 적다.

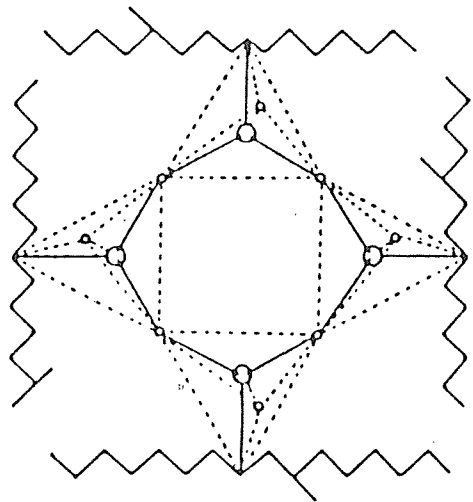


그림 2. Possible Sterical Configuration of Silane Cross-linking

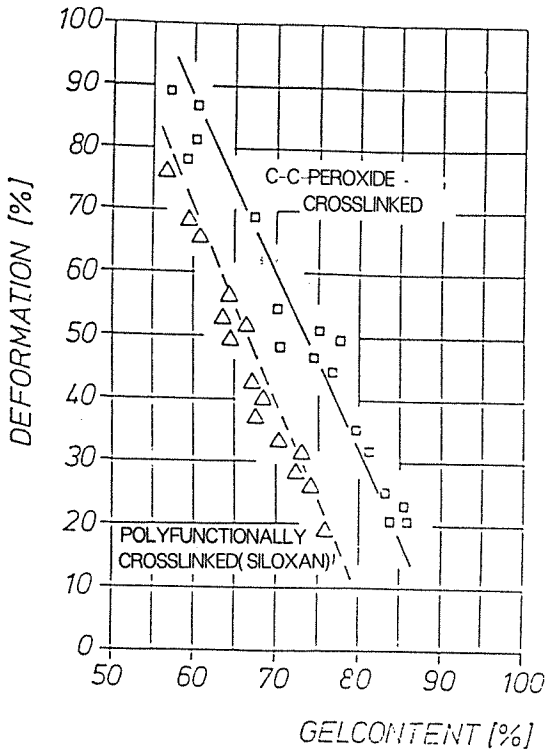


그림 3. Silane가교와 Peroxide가교 XLPE의 가열변형 특성 비교

3.3 전자선 조사에 의한 방법

10<sup>-5</sup>-10<sup>-7</sup> Torr의 고진공상태서 Filament로부터 발생한 열전자를 가속전극으로 전자를 가속시켜 얻어진 것을 전자 energy라 말하며, 이와같이 전자 energy를 발생시키는 장치를 전자선 조사장치라고 말한다.

전자선이 고분자체(chain)에 도달할때 radical이 생성되며, 생성된 radical에 의해 가교 결합반응(Crosslinking)과 재배치에 의한 분자체의 절단반응(Scission)은 항상 경쟁적으로 일어나는데, 그것이 분자구조에 의해 크게 지배된다. 표 4에 각 고분자의 가교결합반응값과 절단반응값을 나타내었으며, G(S)

에 비해 G(X)가 상대적으로 큰 경우 그에 해당되는 고분자는 전자선조사에 의해 가교반응 시킬 수 있다.

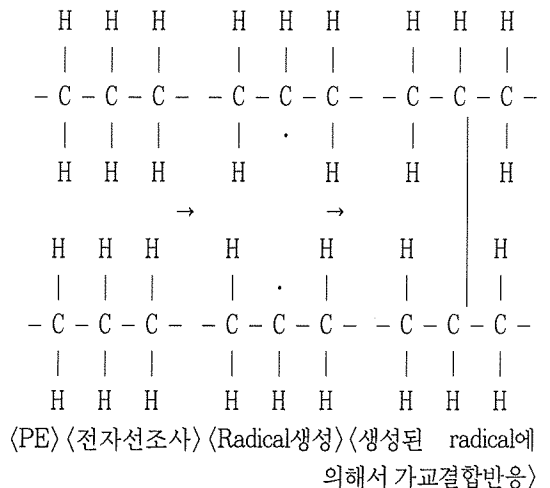
표 4. Approximate Cross-link and Scission Yields of Irradiated Polymers

Polymer	G(X)	G(S)
Polyethylene	3.0	0.88
linear low density polyethylene	2.53	0.4
polypropylene	0.6	1.1
natural rubber	1.1	0.22
polybutadiene	3.8	0.39
butadiene-styrene copolymer	3.8	0.39
polystyrene	2.8	<0.018
polymethylsiloxane	0.045	0.18
polymethylacrylate	0.55	1.22-3.5
polymethylmethacrylate	0.57	0.07-0.17
poly(ethylene terephthalate)	0.035-0.41	0.22
poly(propylene oxide)	0.15	0.06-0.17
poly(vinyl chloride)	2.15	0.23

G(X)=cross-links per 100 eV energy absorption (average)

G(S)=scissions per 100 eV

전자선조사에 의한 가교과정은 단순하며, polyethylene의 경우, 전자선에 의해 폴리에틸렌 사슬상에 radical이 생성되며, 생성된 radical에 의한 가교결합반응이 진행된다.



전자선 조사장치의 전자선 전류는 피조사물의 필요처리량에 의해서 결정되며, 화학반응 필요한 각 물질의 흡수선량을 표 5에 나타내었다.

표 5. 화학 반응에 필요한 흡수 선량

물 질	필요흡수선량(Mrad)
PE 가교	10-20
PVC 가교	3-5
도료의 경화	1-10
고무의 가류	3-10
살 균	0.1-2

#### 4. 초고압 지중 전력케이블의 기술동향

지중 전력 케이블의 고전압화는 고점도 유침지 절연케이블로부터 시작되어 최근 선진외국에서 500KV 급까지 개발완료되어 실용화 되고있으며 장래에는 가공송전선이 1000KV급까지 승압될 예정이어서 지중 전력 케이블의 경우도 이정도급의 전압으로 개발이 예상된다.

한편 국내에서도 고점도 유침지 케이블(OF 케이블)과 가교 폴리에틸렌 절연 케이블(CV 케이블)의 고전압화가 연구되어 154KV급까지 실제적응되고 있으며 그에 필요한 접속재도 이미 국내 개발되어 있다. CV케이블과 OF케이블의 비교를 표 6에 나타내었다. 여기에서는 고분자 절연재료에 대해 중심을 두고 있으므로, CV케이블에 대해 간단히 서술하기로 하자.

표 6. CV케이블과 OF케이블의 비교

CV 케이블	OF 케이블
1. 우수한 절연특성을 가지기 때문에 송전 Loss가 적다	1. 절연체 열화에 의한 경년 변화가 거의 없어 장기 신뢰성이 보장된다.
2. 유효 송전거리가 길게 가능하다.	2. 절연두께가 작고 중량이 가볍다.

CV 케이블	OF 케이블
3. 급유설비가 불필요하기 때문에 관리가 용이하다.	3. 급유설비가 필요하고 누유시 보수에 어려움이 있다.
4. 건식 절연이므로 설치가 용이하다.	4. 케이블 접속은 단시간에 가능하지만 고저차가 클때는 기술적인 어려움이 있다.
	5. 유전 손실이 크다.

#### 4.1 CV케이블의 구조

CV케이블의 도체는 연동연선 또는 경 알루미늄 연선으로 구성되어 있으며 도체형상에 따라 압축 원형 연선과 분할 압축 연선으로 대별되는데 도체 단면적 600mm<sup>2</sup>이하의 경우는 보통 압축 원형 연선이 채택되고 800mm<sup>2</sup>이상의 경우에도 분할 압축원형 연선이 채용된다.

케이블의 반도체층으로서의 내부 반도체층과 외부 반도체층이 있다. 반도체층은 도체와 절연체, 외부차폐층과 절연체간의 틈을 없애서 부분방전을 억제하고 전계를 완화하는 역할을 하는데 압축 반도체층이 사용된다. 절연체의 절연두께는 교류 내전압 설계치와 충격 내전압 설계치중 큰것을 택하여 설계되는데 154KV급의 절연두께는 23mm로 결정 되었다. 금속 쉬스로는 우리나라의 계통접지가 직접접지 방식이고 지락전류가 크기 때문에 알루미늄 쉬스가 채용 되었다. 방식층 보호층은 금속쉬스를 전기적 화학적으로 보호하기 위하여 PVC등으로 피복을 하여 형성한다.

#### 4.2 CV 케이블의 제조 공정

CV케이블의 급속한 진보는 케이블의 제조, 검사, 설계 기술이 진보되어 고압케이블로써 신뢰성이 확립되었기 때문이다. 가교폴리에틸렌은 폴리에틸렌의 분자간을 가교시켜서 열에 약한 폴리에틸렌의 결점을 없애주는 절연재료인데 현재 초고압 CV전력 케이블에 사용되는 가교법은 화학적 가교법인데 가교제(DCP) 및 산화방지제를 폴리에틸렌과 함께 섞어 가교분해 온도 이하에서 압출 피복하고 그후 가열 가압에 의해 가교 된다.

1) 제조 기술

고체절연으로 구성되는 CV전력 케이블에 있어서 절연재료의 약점을 제거해서 노화의 근원이 되는 것을 어떻게 해결하는가가 고성능화의 핵심 해결책이다.

CV케이블의 절연체중에 약점으로써 케이블의 전기성능을 저하시키는 큰 요인은 이하 3항목이 고려된다.

- ① 절연체와 내, 외 반도체층간의 계면의 돌기
- ② 절연체중의 Void
- ③ 절연체중의 이물질

이러한 문제를 해결하여 최근에 응용되고 있는 방법은 다음과 같다.

2) 압출 공정

당초의 CV케이블은 내부 반도체 Taping만을 사용하였으나 차후 외부 반도체 Taping의 방법이 채택되었다. 계면돌기를 더욱더 개량하기 위해서 절연체의 내, 외부 반도체층을 동시에 압출하는 방법이 사용되고 있으며, 초고압용 CV케이블은 대부분 이 방법이 채택되고 있다.

3) 가교 장치

1950년도의 후반에는 BATCH식의 가교 방법이 쓰였으나 1960년대에 들어서 수직으로 형성하고, 가교시키는 연속 장치가 일반화 되었다. 1960년 후반까지만 해도 거의 고무 가류 장치를 사용하여 왔으나, 그 후 독자적인 가교 설비가 개발되었다.

연속가교 장치는 3가지로 크게 분류 된다. 즉 가교관의 형식과 가교반응관과 직접 연결되는 성형 헤드의 형식에 따라서 나누어 진다.

가교관은 그의 형에 따라 수평형(HCV, Horizontal Continuous Vulcanizer), 경사형(CCV, Catenary Continuous Vulcanizer), 수직형(VCV, Vertical Continuous Vulcanizer)이 있다.

HCV의 경우에는 5-6mm정도의 두께 밖에 가교시키지 못하는 약점이 있기 때문에 현재에는 거의 사용되지 못하고 있는 실정이다.

CCV의 경우 케이블이 그 장력에 의하여 현수 모양을 취하기 때문에 가교관의 모양을 여기에 맞춘 방식의 것이다. 600V-132KV의 수준에서 주로 사용된다.

VCV의 경우 케이블이 아주 두꺼울 경우는 중력에 따른 절연체의 변형이 생길 가능성이 생기기 때문에 도체를 캡스탄에 의해 올린 다음 성형, 가교 시키는 방식이다. 154KV-500KV의 제조에는 주로 이 방식이 사용된다.

4) 가교 공정

CV케이블의 제조에 있어 가교공정은 가열 매체의 종류와 가열방법에 따라서 고압증기 가교와 건식가교로 나눌 수 있다. 가교 폴리에틸렌의 화학가교법으로서 1950년말부터 1970년초까지 널리 사용된 것은 고무 가류에서 긴 역사를 가진 고압증기 가교 방법이었다. 이 방법은 고압증기를 가교관에 집어 넣어 고압증기의 고온 분위기에 따라서 가열되는 가교반응에 따른 것으로 가교반응시 분해생성물과 수분에 의한 Void생성을 억제하기 위해 일정한 압력이 필요하다. 이 가교법의 문제점은 절연층에 혼입된 수분을 가능한한 제거하기 위하여 장시간의 건조공정이 필요하며 건조공정이 끝난 뒤에도 수분을 함유한 미세한 Void때문에 고압의 케이블에는 사용치 못한다는 결점을 가지고 있다.

이러한 결점을 보완하기 위하여 가열된 N<sub>2</sub>가스를 열원으로 가교시키는 방식이 1967년부터 실용화 되었으며 그 밖의 고압증기를 사용치 않는 방법이 개발되고 있다.

5) 절연체의 Void, 이물질, 수분제거 대책

절연체중의 Void, 이물질, 수분은 케이블의 전기 성능에 큰 영향을 미친다.

특히 고전압이 될수록 그 영향은 크다. 절연체중의 수분량은 건식 가교와 증기 가교의 방법에 따라 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 절연체중의 Void는 주로 가교공정에서 생성되는 것에 대해서 절연체중의 이물질은

- ① PE(폴리에틸렌)중에 이미 들어가 있는 이물질
- ② 혼합 공정 및 운송중에 혼입되는 이물질
- ③ 압출공정에서 열분해에 의해 발생하는 이물질 등이 있다.

이와 같은 이물질을 제거하기 위해서는 철저한 생산관리, 품질관리로써 해결해야 한다.



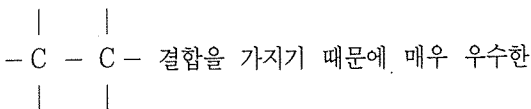
## 5. 기기선용 절연재료

전자교환기, 컴퓨터, 텔레비전...등의 전자제품에는 많은 기기선이 이용된다.

절연재료로써는 PVC혼합물, PE, 전자선 조사가교 PVC, 전자선 조사가교 PE등이 사용되고 있으며, 최근에는 고온용 및 특수목적의 기기선에는 불소계수지가 많이 사용되고 있다.

각종 전자제품의 고집적화, 다기능화 등의 요구에 따라 불소계수지를 절연체로 사용하는 전선용도가 계속 증가하므로 대표적인 불소계수지 몇종류에 대해 서술한다.

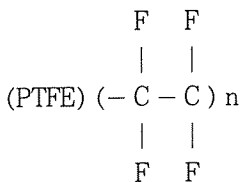
불소수지는 강한 C-F결합 및 F(불소)로 강화된



열적 화학적 특성을 가지고 있다.

그 대표적인 예가 폴리테트라플루오르에틸렌(Poly Tetra Fluoro Ethylene, PTFE)이며, 사용조건에 따라 가공 특성을 향상시킨 변형된 불소계수지가 있다.

- 1) 폴리테트라플루오르에틸렌(Poly Tetra Fluoro Ethylene)



구조상에서 Poly Ethylene(폴리에틸렌)인 수소가 완전히 플루오르로 치환되어 있으며, 대칭적인 구조로 되어있다.

분자결합 에너지에서 C-H결합에너지 보다 C-F결합에너지가 크기 때문에 아래와 같은 우수한 특성을 지니고 있다.

(특징)

- 장점: ① 내열성이 매우 우수하다.  
 ② 완전결합을 가지기 때문에 내한성이 매우 우수하며 -100℃까지도 사용가능하다.  
 ③ 전기적 특성이 매우 우수하여, 기존 제품

중에서 유전율 및 유전손실율이 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.

(용도)

- ① 화력 발전소, 철공소등의 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 사용하지 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℃ 낮은(200℃) 상태이나 용융 압출이 가능하며, 가격면에서 PTFE보다 싸기 때문에 복잡한 형상물의 제조, 전선피복등에 많이 이용한다.

- 3) 에틸렌-테트라플루오르에틸렌공중합체

(Ethylene-Tetra Fluoro Ethylene Copolymers. ETFE)

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

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

(특징)

- ① PTFE와 거의 같은 특성, 다만 내열 온도가 150℃정도급이다.
- ② C-H결합이 있기 때문에 전자 조사가교가 가능하다.  
(C-F결합은 전자 조사가교가 불가능하다.)
- ③ 용융가공이 가능하기 때문에 PTFE에 비해서 작업이 용이하다.

4) 폴리비닐덴 플루오라이드(Poly Vinylidene Fluoride)

불소계통 이면서 가공성에 있어는 일반 플라스틱에 가장 가까운 것이 최대의 특징이며 기계적 강도가 매우 강하다.

(특징)

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

용된다.

**6. 에나멜 선용 절연재료**

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

에나멜선에 사용되는 절연체는 일반적인 PVC 또는 PE절연선의 제조방법인 압출식과 달리 일반적으로 얇은 피막을 액상중에 코팅하여 고온에 용매를 날려 보내면서 강화반응 시키는 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 열적 특성을 표 7에 나타내었다.

표 7. 에나멜선의 분류 및 온도 특성

COMMERCIAL NAME	CODE	SPECIFICATION	THERMAL CLASSIFICATION(°C)
Polyvinyl Formal	PVF	KSC 3110 JISC 3203 NEMA MW15-C BS 4516	A (105°C)
Polyurethane	UEW	KSC 3109 JISC 3211 NEMA MW2-C BS 4520	E (120°C)
Polyester	PEW	KSC 3108 JISC 3210 NEMA MW5-C BS 3160	B (130°C)
Polyesterimide	EIW(F)		F (155°C)
Polyimide	IMW	NEMA MW16-C BS 4663	C (220°C)
Polyesterimide	EIW(H)	KSC 3127 JISC 3214 NEMA MW30-C BS 4665	H (180°C)
Polyamideimide	AIW	JCS 334	H(180°C), (200°C)

## 7. 특수 전선 (원자력 발전소용, 무독성 난연 전선)

### 7.1 원자력 발전소용 전선

원자력 발전소용에 사용되는 Class 1E급 전선은 그 특성이 ICEA규격을 만족해야 할 뿐만 아니라 IEEE 323, 383규격에 제시된 환경 품질 인증 시험(Environmental Qualification Test(E.Q. 시험))을 만족시켜야 한다.

E.Q.시험은 통상 사용중 예상되는 열 및 방사선 노출 환경에서의 40년 이상 수명보증과 40년 이후에 냉각제 유출사고(Loss-of Coolant Accident, LOCA)가 발생하더라도 그 성능을 발휘 할 수 있음을 증명하는 시험이다.

그러므로, 원자력 발전소용 전선에 사용되는 절연 재료는 내열특성, 내화학적, 내자외선 등의 우수한 특성을 갖추어야 하는 것은 물론이고 내 방사선 특성 또한 우수 하여야 한다.

고분자의 내방사선 특성은 그 고분자가 어떠한 화학구조를 갖는가에 따라 결정되는데, 일반적으로 고분자 구조중에 방향족 화합물을 포함하는 경우 우수한 내방사선 특성을 갖게 된다.

또한 방향족 화합물, 무기 충전제, 카본블랙 등의 방사선 보호제(antirad)를 첨가하는 방법으로써 재료의 내 방사선 특성을 다소 개선 시킬 수 있는데, 이러한 방사선 보호제 첨가방법은 고분자의 화학구조에 따른 영향에 비하면 그 효과 및 지속성은 떨어진다.

그러므로 E.Q. 시험만족을 위한 절연·피복재료의 개발에는 여러가지 매우 까다로운 특성을 만족시켜야 하므로, 여러가지 배합물이 첨가된다. 그러나 이들 배합방법들은 특정 특성 개선에는 효과적이지만 상대적으로 다른 특성의 저하를 동반할 수 있으므로 최종 가공 공정까지의 특성을 고려 하여야 한다.

### 7.2 무독성 난연전선

최근 지하철, 탄광, 선박, 병원, 호텔, 대형빌딩 등의 화재시 발생하는 다량의 유독성, 부식성 가스와

연기로 질식 및 후유증으로 인한 인명 피해와 시설, 설비의 부식 등 재산 피해가 자주 일어난다.

기존의 난연화 전선은 주로 할로젠(halogen)원소를 함유하는 난연제를 사용하거나 PVC같은 분자구조상 할로젠 원소를 함유하는 고분자도 구성되어 있어 화재시 유독성 부식성 가스를 다량 방출한다.

그리하여 서구 및 일본 등 선진국에서는 이미 무독성, 저연해, 고난연화된 무독성 난연 전선이 개발 실용화 되어 점점 사용량이 증가하는 추세에 있으며 국내에서도 그 수요가 확대될 전망이다.

고분자재료에 난연성을 부여하기 위해 일반적인 난연제를 첨가하는데, 난연제는 가연성 유기물질에 첨가하였을때 연소 속도를 지연시키는 유기 혹은 무기화합물로서 유기 물질의 가연성을 감소시키며 일단 그 물질의 연소가 시작되며 연소반응 속도를 감소시킨다.

난연제는 화학적 조성, 활성의 종류, 기능 등에 따라 몇가지 방식으로 분류되며 주로 사용되는 난연제는

- ① 할로젠 원소를 함유한 화합물
- ② 산화 안티몬
- ③ 보론 원소를 함유한 화합물
- ④ 수산화 알루미늄, 수산화 마그네슘 등 금속 수화물
- ⑤ 인 원소를 포함하는 화합물
- ⑥ 질소, 인 화합물

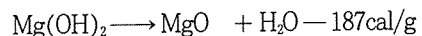
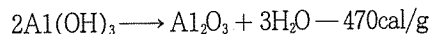
할로젠 원소를 함유한 난연제의 효과는 F(Cl < Br < I순서로 증가하나 F(fluorine)과 I(iodine)을 함유한 난연제는 연소 과정에 작용하지 않기 때문에 실제 사용되지 않고 있다.

그러나 이와같은 할로젠 원소를 함유한 난연제는 난연효과는 크나 연소 과정에 인체에 유해한 독성을 가진 다량의 유독성 부식성 가스를 발생시킨다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 사용되는 것이 금속 수화물을 첨가하는 것이다.

금속 수화물로서 주로 사용되는 것은 Al(OH)<sub>3</sub>와 Mg(OH)<sub>2</sub>이다.

반응 과정은 아래와 같다.



- ① 금속 수화물의 탈수 반응이 흡열 반응이므로 연소열이 소모되어 풀리려는 냉각되며, 열분해

를 줄인다.

- ② 탄화하여 표면에 생성된  $Al_2O_3$ 나  $MgO$ 가 불꽃으로 부터 보호층이 된다.
- ③ 증발하는 수분이 가연성 기체들을 희석하며 산소를 차단하는 보호층이 형성된다.

그러나 무독성 난연성을 부여하기 위해서는 금속 수화물외의 충전제의 첨가량이 증가하는데 이에 따라 기계적 특성이 저하하므로, 충전제의 선택 및 기계적 특성을 저하시키지 않는 처방연구가 필요하다.

전력선의 초고압화, 절연재료의 난연화, 무독성화, 초내열화등이 계속 개발 진행되고 있다. 최근에는 원자력 발전소의 원자로 내부에 사용되는 전선도 국내 기술에 의해 개발 상품화 되었다. 아울러 이와 같은 전선 절연재료의 응용제품도 계속 개발되어 전자선 조사가교에 의한 열수축 Tube, 자율온도제어 전선(정온전선)등이 이미 개발완료 상품화 되고 있으며, 다기능성을 부여한 응용제품도 개발중에 있다.

전선을 사용하는 모든분에게 더 자세히 설명하고 싶지만, 종합적인 내용을 정리함을 이해바라며, 향후 기회가 주어진다면 특정부분에 더 자세히 설명하고자 한다.

## 8. 결론

### 〈전기용어〉

#### 컴팩트 변전소(compact substation)

최근의 대도시에 있어서 전력수요는 증가일로로 154(kV)나 초고압 275(kV) 등의 고전압계통을 대도시에 도입(導入)함과 동시에 1.0~1.5(GVA)(1(GVA)=1000(MVA))급의 대용량 변전소를 도시 지역내에 건설해야할 필요성이 절박해지고 있다. 이 대책으로서는 용지취득난, 높은 신뢰성, 소음 등의 공해가 없을 것, 공기단축(工期短縮) 및 자동화에 의한 운전, 보수, 점점의 성력성등의 제조조건을 만족시키기 위해서 컴팩트변전소가 개발되었다.

즉, 변전소를 근본적으로 컴팩트화 하려면 외부조건(대기와의 절연에 의한 기상조건)과 차단할 것이 필요하므로 소요기기를 금속체로 쓴 다음에 새로운 절연방식을 그 금속체로 쓴 다음에 새로운 절연방식을 그 금속체안에 채용해서 모선(母線)을 포함한 개폐설비기기의 절연공간(絶緣空間)을 적극적으로 축소하게 되는 것이다.

덧붙여서 말하면 절연매체(絶緣媒體)로서는 에포키시수지, EPT(에치렌·푸로피렌 터포리머)등의 고체(주로 22kV정도의 낮은 전압의 기기),  $SF_6$ 가아스등의 압축기체(66kV 이상 초고압급까지의 높은 전압의 기기)가 채용되고 액체는 여러가지의 결점이 있으므로 그리 채용되지 않는다.