

# 전력케이블에 쓰이는 절연재료의 변천과 발달과정

具 滋 允

(韓國科學技術院先任研究員)

## ■ 차 례 ■

<총 론>

<서 론>

- 1. 천연 고무
- 2. Impregnated paper  
self contained oil-filled 케이블  
다른 방법의 pressurized 케이블
- 3. Synthetic Material
  - 3-a) P. V. C
  - 3-b) 합성고무(Synthetic rubber)
  - 3-c) LDPE

3-d) HDPE

3-e) XLPE

- 4. 케이블 악세사리 절연과 물이 케이블에 끼치는 영향
  - a) 악세사리 절연
  - b) 물의 영향
- 5. H. V Cable에 관한자료

<결 론>

## 총 론

전기공학분야의 여러다른 부분과 같이 전력케이블 분야에서도 수많은 연구와 아울러 특히 19세기 후반에 전력케이블의 제작에 성공한 것은 20세기에 들어와서 케이블과 이에 관련된 모든 기술이 빠른 속도로 발달하게된 주원동력이 되었다고 보아도 과언은 아니다.

비록 19세기 후반에 고무(rubber)를 사용하여 케이블 절연을 하였지만, 그이후 약 70여년이상을 Impregnated paper (오일복합수지 (oil compound resin) 나 오일 (oil)을 종이에 스며들게한 후 그 종이를 절연재료로 이용함)를 전력케이블 절연재료로 많이 사용하여 왔다. 아울러 OF cable의 제조기술도 향상되어 현재 매우 높은 전압 (very high voltage)과 상당한 전력용량 (power capacity)를 충족시키는 전력케이블로서 발달을 계속 하고 있다.

1960년대에 들어서서 extruded polymer material이 전력케이블의 절연재료로 쓰이게 되었는데 그속도는 급격히 빠르게 진전되었다. 그 이후 가장 현저하게 주로 쓰이는 재료는 폴리에틸렌 (poly-

ethylene)인데, 그대로 순수한 상태로 또는 어떤 처리 (curing process)를 하여 쓰기도 한다.

그러나 EPR (ethylene-propylene rubber)도 역시 개발중에 있다.

Extruded synthetic insulation을 사용한 케이블은 현재 모든 필요한 전류와 전압을 망라하여 널리 쓰이고 있으며, 다른재료를 사용한 케이블 보다 설치하기에 쉽고 사용법이 비교적 간단하고, 또한 전력망 (network)에서의 신뢰성도 높은 것으로 나타나 매우 만족스런 재료로 인정받고 있다.

## 서 론

케이블이 인류사회에 등장하게 된 것은 약 140년 전으로 알려져있다. 그동안 전력케이블의 제조기술은 각분야의 공업이 발달함에 따라 많은 변화를 가져왔다.

이 기술보고에서는 전력케이블에서도 특히 중요하다고 생각되는 부분, 즉 절연층에 어떠한 재료들이 산업의 발전에 따라 쓰여지고 발달되어 왔는가 하는 것을 CIGRE 자료와 불란서전력청 (E.D.F)의 자료들을 모아서 정리하여 보았다. 또한 케이블의 악

이들이 Miniapolis 에, 1900년에는 고무로 절연된 25KV 케이블이 S' Paul (Minnesota) 에, 1902년에는 같은 형태의 케이블이 Montreal 에 설치되었고, 1911년에는 impregnated paper 를 사용한 60KV 케이블이 독일에, 50KV 케이블이 Barcelona (스페인) 에 각각 설치되기에 이르렀다.

1913년에는 30KV belted three core cable 이 생산되었으나 종이층내부의 과다한 tangential gradient 때문에 성공리에 사용되지 못하였다. 당시 HOCHSTADTER 는, 잘알려진 기술중 하나인데, 각각의 절연된 케이블에 금속스크린 (metallic screen) 을 처리하여 screened multicore 케이블의 생산을 가능하게 하였다. 다른기술의 하나는 three-lead sheathed 케이블이 1 차대전직후에 개발되어 25KV, 30KV, 6KV 에 각각 사용되었다.

한편 viscous material 을 이용한 impregnated paper 에 의한 절연기술이 다음과 같이 계속 향상 발전되었다. vegetal material 은 mineral compound 로 대체되었고, carbon paper screen 을 콘덕터에 입히고 절연층에는 다른질지의 종이를 얇은종이 (thin paper) 를 입혀서 충격웨이브 (impulse wave) 에 대해 케이블이 충분히 견디어내게 하였다.

또한 1960 년대에 즈음하여 오일복합수지 보다 전기적으로 더욱 안정되고 유동성 (fluid) 이 덜한 wax-filled compound 를 사용하게 되었다. 그리고 몇몇 규정에 의하면, smoothed 혹은 울퉁불퉁한 (corrugated) 알루미늄외장을 사용하도록 요구하고 있으며, 이외장을 낮은전압이 걸리는 접지선 (neutral conductor) 으로도 사용할 수 있도록 하였다. 이토록 케이블 제조기술은 여러가지로 발달되었지만 그 원리원칙은 변하지 않았으며, 단지 여러 규정에 의하여 제작된 impregnated paper 를 이용한 케이블이 저전압에서 60KV 에 이르기까지 각 나라의 전력망 (power net - work) 에 설치되었고, 예외적으로 90KV 에서 쓰이기도 하였다.

이당시의 케이블에 쓰인 약세서리는 송전전압의 정도에 따라 straight and branch joint 와 termination 등이 다양하게 필요에 따라 개발되었다. 저전압이나 중전압 (medium voltage) 용으로서는, 그속에 오일, 수지 (resin), bitume 등의 복합물료가 가득 채워져있고, 고전압용으로는 hand lapped insulation reconstitution 방법을 사용하였다. 모든 경우에도 약세서리의 밀폐가 매우 중요한데 가장 효과적인 방법들은 납이나 구리등으로 만든 sleeve 를 케이블의 납외장에 용접시키는 방법인데, 이에

관한 여러기술적 어려움과, 직류전압 용으로써 종이를 사용한 케이블에 대해서는 이번기회에 언급하지는 않겠다.

### Self Contained oil-filled Cable

그런데 viscous material 을 사용한 impregnated paper 를 절연재료로 하는 케이블은 주기적으로 열을받고 식어짐에 따라 (heating and cooling cycle) 야기되는 축수-팽창현상 (contraction-expansion phenomenon), 즉 케이블의 절연층이 호흡을 하는 현상 (respiration phenomenon) 때문에 케이블을 원하는 만큼 오랜세월을 사용할 수가 없다. 이러한 현상은 대개 케이블에 쓰이는 금속과 impregnating compound 가 온도변화에 따라 팽창계수가 크게 변하기 때문인 것으로 해석되어진다. 따라서 케이블이 식을때 절연층 내부에 조그만 기공이 형성되는데 사용전압 (operating voltage) 이 어느 정도 상승되면 기공내부에서 방전현상이 (electrical discharge) 발생하는 원인이 된다.

바로 위에서 언급한 현상때문에 impregnated paper 를 이용한 전력케이블은 다음과 같은 제한을 받는다:

- 허용된 voltage gradient 는 4 ~ 5 KV/mm 로 제한되어 최대로 사용이 가능한 전압은 약 60KV 이다.
- 콘덕터 (conductor) 에 최대로 허용된 온도는 기껏해야 50°C ~ 60°C 이다.

이러한 여러 제한된 조건을 극복하기 위한 시도가 Emmanuelli 에 의해 1971년에 최초로 개발되었다. 그는 hollow conductor 케이블을 고안했는데, 외부에 설치된 오일탱크와 압축펌프를 이용하여 콘덕터 내부에 오일을 순환시켜 케이블의 온도가 상승하는 것을 억제하였다. 이러한 방법을 이용한 케이블에 대해 잠시 언급하고자 한다.

1926년에는 Emmanuelli 에 의해 132KV Oil filled 케이블을 뉴욕에, 1927년에는 70KV three-core cable 을 밀라노에 설치하였다.

그는 1932년에 최초로 225KV 케이블을 제작하여 실험하였으며 1936년에 네개의 불란서 케이블 제조업체는 18Km나 되는 Ampere 와 Clichy-so-us-Bois 의 두번전소 사이에 이케이블을 설치하였는데, 이케이블의 최대 voltage gradient 는 9.5KV/mm 나 되어 종전의 제한치에 약 두배에 해당하는 것이었다. 이케이블은 50여년이 지난 오늘날에도 아무런 사고없이 사용되고 있다.

세서리에 대해서는 최근 이삼십년동안의 것에 대하여 간단히 언급하였으며, 특히 케이블의 신뢰성에 대한 물의 영향에 대해서도 간단히 언급하여 보았다. 끝으로 H.V 케이블을 중점적으로 현재 세계 여러 나라에 설치된 상황이 어떠한가에 대해서 몇가지 자료도 소개해 보았다.

1 천연고무

약 150년전인 1834년 외과의사인 Wiliam Montgomerie 에 의해 영국의 Royal Society of Art of London 에 gutta percha 가 소개되어 알려져서 케이블 산업에 열가소성재료 (thermo-plastic material) 가 쓰이게 되었다. 이 소개된 물질은 열대성나무에서 추출된 고무의 이성체 (isomer of rubber) 로써 약 100°C에서는 유연하고 늘어나며 식으면 가죽과 같이 굳어지는 물질이다.

이재료는 그 이후 Michel Faraday 와 Wiliam Simens 같은 두과학자의 노력으로 케이블의 적합한 절연재료로 개발되어, Werner Simens 는 1847년 최초로 약 오천키로미터나 되는 절연된 전화선을 생산하게 되었다. Gutta Percha 라고 명명된 회사가 설립도되고, 1845년에는 스크류프레스 (Screw press) 가 개발되어 1850년에는 English channel에 최초로 전화선이 설치되어 메세지를 보내게 되었으나 곧 그기능을 상실하게 되었다. 그러나 그이후 여러사람의 노력으로 1930년대까지 이 Gutta percha 는 대부분의 해저전화케이블의 절연재료로 사용되었다. 이 재료를 사용한 전화케이블이 1868년에는 대서양을 횡단하고 1902년에는 태평양을 가로질러 설치되기에 이르렀다. 이와 같이 통신수단의 필요성에 의하여 케이블산업은 본격적으로 발달하게 되었다. 불행하게도 이 gutta percha 는 공기중에서는 그의 특성이 불안정하고 기계적특성이 부적당하여 전화선이던지 조명선 (Lighting cable)이던지간에, 육지에서는 이 재료의 사용이 적합하지 않았다. 그리하여 조명선을 제작하기 위해서는 절연된 코어 (Core) 를 나무나 금속을 사용하여 보호하는 여러가지 기술이 개발되었다. 예를 들면 납외장 (lead sheath) 을 하거나 강철파이프를 사용하기도 한다. 한가지 주목할 만한 것은, 스위스의 BOREL 에 의하여 1879년 프레스를 사용하여 납외장을 절연된 코어에 직접 extruding 하는 기술이 개발되었고, 그이후 SIMENS HALSKE (1881년) 와 ROBERTON (1885년), HUBE 에 의해 이기술은 더욱 개선되

나갔다.

이당시 전력케이블의 절연재료로 주로 vulcanized material 이나 impregnated material 을 사용하였다. 특히 전자의경우, 천연가황고무 (vulcaniged natural rubber) 는 1839년부터 알려졌으나 그 제조비용이 매우 비쌌다. 1881년에는 CALLENDER 에 의해 개발된 경질타르 (vulcanized bitumer) 는 값이 싼데도 불구하고 그리 절연재료로 사용되지는 못했다. 따라서 filled vulcanized rubber 가 개발되었는데 이 재료는 합성고무 (Synthetic rubber) 가 개발되어질 때까지 계속 질이 향상되어 전력케이블의 절연재료로 많이 사용되어왔다.

그당시에 BOREL 은 파라핀과 Colophony-impregnated jute 를 사용하여 정격전압이 3000 V 인 concentric single core cable 을 제작하여 1890년에 파리에 설치하기에 이르렀고, 이와 비슷한 방법을 이용하여 SIMENS 에서도 정격전압이 2000 V 인 전력케이블을 제작하여 로마와 밀라노에 설치하였다. Brook 에 의하여 개발된 50% Oil-resin compound impregnated jute 를 사용하여 전력케이블을 절연한 방법은 주시할만한 일이다.

2 Impregnated Paper

Impregnated paper 를 절연재료로 사용한 전력케이블은 1890년에 최초로 생산되었다.

그당시 Ferranti 는 폭6미터짜리 종이, 구리파이프, 녹은 bitumen 을 사용하여 정격전압이 10 KV 인 케이블을 생산하여 그것을 서로 연결하여 40 Km 나 설치하였다. 그이후 기술적인 연구노력에 의하여 1893년에는 납외장을 한 impregnated paper insulated cable 이 생산되기에 이르렀다. 여기서 특히 주목할만한 것은 콘덕터 (conductor) 는 주로 구리를 많이 사용하였는데 그때 이미 알루미늄을 사용하고저 하는 시도가 있었고, 1892년에는 shaped conductor 가 이미 생산되었다.

이시대에 케이블산업이 두드러지게 발달하게 된 것은 두가지 면에서 이야기할 수 있다. 첫째, 케이블 제작기술과 그원리가 약 반세기동안 계속발전하여왔고 또한 널리 알려지게 되었고 둘째, 절연층내에서의 전기분포 (electric field distribution) 에 관한 연구가 진전되어 케이블을 이용한 송전전압의 상승이 가능하였기 때문이다. 그예를 들면 다음과 같다.

19세기말엽에 이미 여러나라에서 10~11KV 케이블이 설치되었고 1897년에는 고무로 절연된 케

Self contained oil-filled cable의 제조기술은 계속 발달되었는데 그중 실현된 결과중에서 주목할만한 것을 몇개 예를 들고자 한다.

- 1940년에 덴마크의 MOLLEHOJ에 의해 flat 케이블이 개발되었는데, 이케이블은 두겹의 울퉁불퉁한 elastic tape로 보강되어 있는 납 외장이 변형되면서 부분적으로 oil 축소-팽창에 의한 효과를 흡수하고 있다.
- 1952년에는 스웨덴과 불란서 합작으로 최초의 400KV 케이블(실제적으로는 525KV)이 제작되었는데, 이케이블은 최초의 225KV 케이블과 같은 두겹의 절연층을 갖고 있다.
- 1965년에는 불란서에서 750KV 실험케이블이 제작되었으며, 1974년에는 500KV 링크(link)가 일본에서, 그리고 1976년에는 소련에서 링크가 이루어졌다.
- 1979~80년에는 이태리에서 1100KV, 3000MVA 케이블이 실험제작되었다.

방금 본 바와 같이 이러한 종류의 케이블의 수요가 급증하게된 이유는 다음과 같이 케이블 제조기술 발달이 뒷받침 해주었기 때문이다.

- 종래에 종이만을 사용하던 것을 종지와 synthetic film을 같이 혼합하여 절연층의 재료로 대체하게 되었는데, 이에 관한 몇가지 규정이 이미 실험조사가 되어, 이렇게 혼합하여 쓰게 되면 dielectric loss를 줄이고 사용전압을 증가시킬 수 있다는 것을 연구결과 알게되었다.
- 케이블 도선부분의 단면적(conductor cross-section)을 계속 증가시킬 수 있게되어 현재 2000~2500mm<sup>2</sup> 까지 가능한 것으로 알려져 있는데, 외부에서 인위적인 냉각장치(forced cooling system)을 이용하여, 케이블의 사용온도(operating temperature)가 90~100°C 가 되어도 안전한 상태를 계속 유지 할 수 있게 되었다.

이와 같은 향상된 기술로 제작된 케이블은 대단위 전력(bulk power)을 서로 연결(link)시킬 수 있게되었는데 그예를 들면 다음과 같다.

- 영국의 Severn을 통과하는 400KV 케이블은 표면에서 냉각(surface cooling)시키는 방법을 쓰고있는데 그 총전력량(total power)은 2600 MVA이다.
- 1979년에 비엔나에 설치된 400KV 케이블은 물을 이용하여 lateral cooling 방법을 쓰고있으며 총전력량은 1100MVA이다.

- 1980년에 베르린에 설치된 시험중인 케이블의 단면적이 3000 mm<sup>2</sup> 이며, 콘덕터내부에 물을 순환시켜서 냉각시키는(water cooling)방법을 채택하여 연구중인데 기대하고 있는 총전력량은 1000 MVA이다.

또한 이 Oil filled 케이블은 교류와 직류용으로도 많이 쓰이고 있는데 그 예를 들면 다음과 같다:

- 교류전압의 경우 525kV까지  
1983년 벤쿠버섬에 feeding link가 9개인데 그길이가 30 Km인 525KV 케이블을 설치하였고 총전력량은 1200 MVA이다.
- 직류전압의 경우 250kV까지  
1978년 일본의 후가이도와 혼슈사이에 2개의 (± 250 KV)케이블이 약 45 Km정도 설치되었는데 케이블의 단면적은 600 mm<sup>2</sup> 이다.

다른 방법의 Pressurized케이블

Emmanueli 이후 케이블 절연층내부에서 일어나는 부분방전(partial discharge)를 없애기 위한 여러 연구가 진행되어 종전의 Emmanueli와 다른방법에 의한 여러 케이블이 개발되었다. 그예를 들면.

- Gas filled paper insulated 케이블
  - Compressed gas paper insulated 케이블
  - High pressure OF pipe type 케이블
- 첫째 Gas filled 케이블은 impregnated paper를 사용한 절연층에 15 bar 정도의 압축된 중성가스(neutral gas)를 주입하여 케이블 절연층에 존재하는 기공(voids)의 dielectric strength를 증가할 수 있도록 하였다. 일반적으로 쓰이는 가스는 질소(nitrogen)인데, 2차대전이후 질소와 SF<sub>6</sub>를 혼합하여 실험하였고, 이러한 방법을 채택하여 여러 다양한 케이블이 개발되어 2차대전 직전에는 132 KV까지 가능하였다. (그예로서 Glover사 제품인 preimpregnated paper insulated 케이블이 있고 다른 형태의 영국회사의 제품들이 많이있다.) 또한 이 Gas-pressurized 케이블은 직류용케이블에도 쓰이게 되었는데, 뉴질란드에 있는 cook해협에 250KV 케이블이 설치되었고 그의 총전력량은 3000MW이다.
- 둘째, Compressed gas paper insulated 케이블은 주로 독일의 Hoch Stadter와 Vogel 그리고 영국의 Bowden에 의하여 연구개발되었다. 이방법은 주로 2차대전전 스칸디나비아와 독일에서 많이 사용되었는데, 1945년 영국에서는 double lead 132KV 케이블이 설치되었고, 불란서에서는 225KV steel pipe type 케이블이 설치되었다. 그러나 대

체로 gas pressurized 케이블은 High pressure OF pipe type 케이블에 의해 대체되었다.

셋째, High pressure OF pipe type 케이블은 케이블내에 오일을 이용하여 15 bar 정도의 압력을 얻는 방법인데, 66 KV 케이블이 1931년 미국의 Benette 에 의해 개발되었다. 이와 같이 compression cable 이 제작되었지만, 일반적으로 강철관 (steel pipe) 속에 절연된 3상(three insulated phase) 이 같이 들어있는데 각상의 절연피복이 완전히 밀폐를 할 수가 없기 때문에 압력을 받은 오일이 절연피복으로 침투해 들어가게된다. 이러한 단점을 보완하기 위한 연구가 계속되어 미국에서는 345 KV 케이블이, 그리고 불란서에서는 225 KV 케이블이 제작되었는데, 이 두나라 모두 self contained OF 케이블보다는 High pressure OF pipe type 케이블을 사용하였다. 최근 미국과 소련 등지에서 연구한 바에 의하면 이러한 타입의 케이블이 500 ~ 550KV나 800 KV에서도 사용할 수도 있고, 콘덕터의 온도가 100 °C가 되어도 안전하다는 보고가 있다. 또한 이러한 타입의 케이블은 특별히 관내부에 저장되어 있는 오일을 순환시켜서 강제적인 냉각 (forced cooling) 을 할 수 있으며, 이방법이 곧 실용단계에 이르고 있다. 중전의 self contained OF 케이블은 실제로 High pressure OF pipe type 케이블보다 수행능력은 떨어지더라도 후자에 못지 않게 대단위 전력망의 연결(high power link)에 많이 쓰이고 있다.

### 3 Synthetic Material

20세기 초부터 약 반세기동안 종이를 절연재료로 사용한 전력케이블이 널리 사용된 것은 그동안 적당한 생산가격과 적절한 질을 갖고있는 extrudable material 을 찾지 못하였기 때문이라고 일반적으로 받아드려지고 있다.

잠시 돌이켜보면, 1차 2차대전 사이에 천연고무를 사용하여 절연을 한 케이블이 모든 건물이나 공장의 전기배선용 (electrical installation) 으로 사용되었을 뿐만아니라, 몇몇 특별한 중간전압 (medium voltage) 에도 이용되어 온 것을 우리는 이미 알고있다. 하지만 케이블 제조업체는 새로운 extrudable material 을 구하려고 많은 노력을 하였다.

다행히도 PVC, Polyethylene 그리고 다른 여러종류의 합성고무 (Synthetic rubber)가 충분히 생산적으로 생산제조되어, 이러한 재료를 이용한 케이블의 제

조가적이 종이를 이용한 케이블의 생산가격에 비해 저렴하다고 인정되기 시작하여 많은 연구가 1950 년에 이르러서 진행되었다. 그 성과는 1960 년대에 이르러서야 나타났는데 여러가지 이용이 가능한 재료들 가운데 케이블 제작에 이용할 수 있는 extrudable 한 재료의 선택과 구별이, 또한 이러한 여러가지 재료들을 사용할 수 있는 분야가 연구되고 알려지게 되었다.

#### 3-a) P V C

Polyvinyl chloride 는 2 차대전 전 독일에서 개발되었고 점차 케이블산업에 아주 싸게 이용될 수 있는 재료로 인성이 되었다. 이차대전과 전쟁 중에 PVC 를 절연재료로 이용한 저전압용 케이블이 생산되었고, 특히 독일에서는 6 KV PVC케이블이 1944년에 설치되었다. 그후 1956년도에는 저전압용 뿐만아니라 15 KV, 20KV, 30KV 인 중간전압용 (medium voltage) 전기를 위한 PVC를 이용한 케이블의 성공사례가 유럽의 여러나라에서 있었다.

그러나 PVC는 polar material 이기때문에 전기적특성이 유리하지 못하여 - 즉 high permittivity 그리고 온도에 따라 상당히 증가하는 dielectric loss 등 그 사용범위는 곧 제한이 되어 저전압용이나 중간전압용 이하하더라도 겨우 10 KV 용으로 PVC를 이용한 케이블이 생산되었다. 반면에 한가지 주목해야 할 사실은, PVC가 complex compound 임에도 불구하고 원하는 용도에 충족되는 절연재료로 쓰이기도 하고, PVC 고유의 기계적 성질과 물리 또는 화학적 agent 에 강하게 견디어내는 특성으로 인하여 전선의 외부 보호재료로 쓰이게 되었다. PVC를 이용한 케이블의 최대사용 온도는 통상적으로 70 °C로 알려져 있으나, 다른 복합체 (compound)를 사용하면 85 °C에도 안전히 쓰일 수 있는 것으로 나타나 있다.

따라서 다년간에 걸쳐 PVC는 저전압용 공공배전망 (public distribution system)에 쓰이는 케이블의 절연재료로서 독일과 불란서 등지에 많이 설치되기도 했으며, 불란서와 벨기에에서는 저전압용 overhead 전선의 피복재료로 많이 사용되기도 했다.

오늘날 PVC는 일반공장의 설비, 탄광, 제철공장 등지에서 배선 (wiring) 을 목적으로한 수많은 종류의 케이블에 적합한 절연재료로서 아직도 인정을 받고있다. 또한 PVC의 재질연구가 향상되어, 최근까지 화재 발생시 다른재료보다 피해를 덜 받는 기초재료로써 알려져, 화재에 대비한 특수케이블 제작에 많이 이용되었지만, 이점에 관해서는 아직 많은 문제점이 제기되고 있다. 결국 PVC는 모든 전압을 망라하여 여러가지 종류의 다양한 케이블들을 보호하는 피복재료로

좋게 인정받고 있다.

### 3-b) 합성고무(Synthetic rubber)

2차대전 이후 그동안의 기술 발달 덕분에 수 많은 synthetic elastomer 를 케이블산업에 시도 할 수가 있었다. 예를들면, butyl rubber, polychloroprene (neoprene), chlorosulphonated polyethylene (hypalon) 그리고 좀 나중에 개발된 nitril rubber, silicone rubber, ethylene-propylene copolymer와 terpolymer rubber(즉 E.P.R, E.P.M, E.P.D.M) 등을 들 수가 있다.

과거 천연고무의 제조시설이나 제조기술을 개조, 발달시켜 위에 열거한 재료들을 많은 분야에 이용하고자 하는 시도가 여러사람들에 의해 이루어졌다. 그 이유는 천연고무에 비하여 위의 물질들은 aging resistance가 높고, 다른 thermoplastic 재료들에 비하여 softening phase가 없고 더욱 더 높은 온도에서 사용할 수 있는 장점이 있기 때문이다.

비록 이러한 재료들을 이용하여 제작된 케이블이 그 당시 기술로는 종이나 열가소성재료(thermoplastic material)를 절연재료로 이용한 케이블보다 생산가가 매우 비싸기는 했다. 그러나 과거의 케이블에 비하여 큰덕터의 단면(conductor cross section)에서 원가를 절감 할 수가 있었고, 또한 도선부분의 같은 단면적으로 과거의 케이블에 비하여 허용되는 전류가 크기 때문에 종전의 케이블과 가격면에서 비싸더라도 경쟁을 할 수 있게 되었다. 합성고무가 쓰이는 특수한 여러분야는 언급하지 않더라도, 1960년도에 다양하게 케이블에 쓰이던 재료들은 다음과 같다.

- 절연층을 위해서는 butyl rubber

- 케이블 외장(sheathing) 재료로는 polychloroprene 을 주로 쓰이게 되었고, 많이 쓰여 지지는 않았지만 chlorosulphonated polyethylene도 쓰이게 되었다.

따라서 polychloroprene 으로 외장을 하고 butyl rubber로 절연한 케이블이 저전압용과 중간전압용으로 많이 쓰이게 되었다. 그러나 peroxides 를 사용하여 압축된 증기(steam pressure)속에서 butyl 을 vulcanizing 하기 때문에 당시의 기술로는 케이블 절연층에 물(water), 불순물(impurities)이나 조그만 구멍(porosities)를 제거 할 수는 없었다. 결국 polychloroprene 이나 butyl 이 부분방전에 대해 잘 견디더라도, 이러한 제조공정상의 문제와 어려움때문에 butyl 을 절연재료로 이용한 케이블은 기껏해야 15~20 KV 선에서 머물러야 했다. 이러한 타입의 케이블들은 폴리에틸렌이 널리 여러분야에 사용되기 시작하자

서서히 시장성을 잃게 되었고 butyl rubber 를 뒤이을 수 있는 elastomer 가 계속하여 연구된 것 같지는 않다.

물론 아직도 상당한 기간에 걸쳐 EPR(ethylene-propylene rubber)가 butyl rubber 를 대체한 것은 사실이다. 왜냐하면 EPR은 그 formulation이 복잡하고 전기적특성이 폴리에틸렌보다는 종이에 가까움에도 불구하고, 매우 부분방전에 잘 견디고 thermal aging이나 oxidizing agent 에 좋은 저항력을 갖고 있어서 적절한 재료종의 하나로 증명되었기 때문이다.

또한 이 재료는 안정된 조건(steady state condition)에서는 90 °C, 과부하조건(over load condition)에서는 130 °C, 그리고 단락조건(short-circuit condition)에서는 250 °C 에 이르는 비교적 높은 사용온도조건을 갖고 있다. 따라서 EPR은 기만볼트(medium voltage)용 케이블의 절연재료로 쓰이게 되었고 최근에는 66 KV 에 이른 고전압용 케이블에도 쓰이게 되었는데, 요즘 132~150 KV 용 케이블에 쓰이고 있는데 주로 이태리, 미국, 브라질 등지에서 많이 사용하고 있다. 그러나 EPR이 위에서 언급한 높은 사용온도(high operating temperature)와 좋은 elasticity를 갖고 있어 vertical shaft installation 이라든가, 좀더 다른 넓은 분야에 특별히 쓰이게 될는지, 또는 어느 정도의 working gradient가 적당한지 하는 것은 아직도 많은 의문으로 남아 있다.

### 3-c) LDPE

폴리에틸렌의 개발역사는 이미 잘 알려져 있지만, 최초의 이 재료에 관한 Imperial Chemical Industry 의 연례 기술연구보고서에 의하면, 전기적성질과(electrical property) 기계적 성질(mechanical property)을 유일하게 함께 갖고있는 새로운 thermoplastic material 이라고 소개되어 있다. 그 당시 최초의 폴리에틸렌은 매우 고압(1500 bar ~ 3000 bar)과 고온(170 °C ~ 300 °C)에서 ethylene 을 polymerization 하여 얻어진 저의 Low density polyethylene 에 가까운 물질이었다. 이미 1938년 초기에 TELCON 회사에서 전화케이블을 제작하기 위하여 100 톤 가량의 이 재료를 주문하였고, 이를 계기로 하여 전력 케이블의 절연층을 위해 폴리에틸렌이 케이블산업에 쓰이기 시작하였다.

그 당시에 사람들은 이제는 이상적인 케이블 절연재료가 드디어 개발된 것이 아닌가 하는 생각들을 하였다. 왜냐하면 이 재료의 intrinsic dielectric strength가 매우 낮고, dielectric loss가 무시할 수 있는 정도이고, thermal conductivity가 좋고 물이 쉽게

침투해 들어갈 수 없는 물질이기에, 이 재료가 앞에 말한 생각에 대해 매우 긍정적으로 받아들여지게 되었다. 또한 이 새로운 재료의 수요가 늘고 모든분야에 널리 이용이 되었지만 다음과 같은 문제점에 대해 그 당시에는 의심하거나 예견하지 못하였다.

LDPE는 상당히 낮은 crystalline melting 온도 (110~115 °C)를 갖고 있으며, oxidation이나 diffusion phenomena, 전기방전 그리고 기계적 혹은 전기적 스트레스크랙킹(stress cracking)에 매우 예민한 재료이며, 온도상승에 따른 팽창계수가 매우 높은 것으로 알려져있다. 따라서 이러한 재료를 전력케이블의 절연재료로 사용한다는 것은 하나의 커다란 모험이고 기술적인 도전이지만, 한편 그 당시 기술에 대한 믿음이었다.

어찌되었던간에 single core 케이블이 미국에서 1944년 초에 생산되었으며, 1947년에는 20KV 케이블이 스위스에서 생산되었고, 1951년에는 불란서에서 6 KV belted 케이블이 생산되었다. 그러나 머지않아 여러가지 문제점들이 또다시 제기되었는데, 예를 들면 폴리에틸렌의 질을 선택하는문제, 케이블 제작과정에서 폴리에틸렌의 순도를(purity) 유지하는 문제, extruding 조건을 선정하고, 케이블 절연층의 두께와 이에따른 케이블을 빙각하는 방법과 시간을 결정하는 문제등 여러 어려운 문제들을 해결해야할 필요성이 제기되기에 이르렀다. 다행히도 1950년대에 연구개발이 계속진전되어 오늘날과 같은 케이블의 디자인이 알려지게 되었다.

이 LDPE를 이용한 케이블의 사용전압은 계속 증가되었는데 1958년 경에는 50 KV 교류전압과 70 KV 직류전압용 케이블이 스위스에서 생산되었고, 1966년 경에는 138 KV 케이블이 미국에서, 1968년 경에는 독일에서 110KV 케이블이 설치되었다. 불란서의 경우를 좀 자세히 살펴보면, 1962년에 최초로 63KV 케이블이 Paris의 Chevilly-Laure 두 변전소 사이에 시험설치 되었는데, 이 케이블은 구리를 사용하여 도선부분의 단면적이 360mm<sup>2</sup>에 이르며 총전력량은 200MVA의 용량을 갖고 있으며 절연층의 두께는 24mm 이고, working gradient는 9.5 KV/mm 이다. 다행히도 오늘날까지 아직도 아무런 문제를 일으키지 않고있다. 특히 이 케이블의 제조기술은 더욱 발전 연구되어, 오늘날 제작된 225 KV 케이블로 파리의 모든 고전압 전력(high voltage power link) 연결하고 있다.

이미 모두 아는 바와 같이 400KV LDPE를 사용한 케이블이 실험제작되어 실험중에 있는데 이 케이

블은 구리를 콘덕터로 쓰고 있는데 처음에는 단면적을 630mm<sup>2</sup>로 하였으나 점차 1000mm<sup>2</sup>로 증가되어 오늘에 이르고 있다. 이러한 연구개발에 힘입어 오늘날 같이 400 KV 케이블이 생산되고 시험 전력망에 설치되기에 이르렀지만, 우리는 1960년대에 미국과 구라파에서 발달되고 개발된 LDPE를 이용한 기만볼트용 제조기술을 잊어서는 안된다.

3-d) HDPE

HDPE를 이용한 케이블은 LDPE를 이용한 케이블보다 8~10년 뒤늦게 개발되었지만, 모두 두가지가 병행되어 개발되어 나갔다고 보아야 옳을 것 같다.

HDPE는 2차대전 이후 독일과 이태리에서 개발되었는데 이 HDPE는 metallic catalyzer를 이용하여 ethylene을 50~150 °C의 온도속에서 25~40 bar의 압력으로 polymerization을 하여 얻어진다. Molecular Chain의 구조는 LDPE보다 linear하고, 동시에 density가 높는데 - 바로 이점에 기인하여 High density polyethylene이라고 불리운다-cohesion이 좋지만 flexibility는 LDPE보다 못하다.

한편 HDPE는 LDPE보다 케이블 제조공정에서 어려움이 많지만, 몇몇 케이블 업체에서는 HDPE의 기계적, 열특성이 좋아 많이 사용하고 있는 것이 사실이다. 즉 다시말하면 LDPE보다 crystalline meeting temperature (125~130 °C)가 높고, operating temperature가 LDPE보다 10°C가량 높고 (안정된 상태에서 80°C, 과부하 상태에서 90°C), thermal conductivity 등이 LDPE보다 유리하다.

Polymer characteristics은 어느정도까지는 대개 사용하고저 하는 요구사항에 부합하지만 더욱더 적절한 voltage stabilizer를 사용하면 polymer를 impregnated polyethylene으로 변환시킬 수도 있고 이들의 교류전압이나 충격전압에 대한 저항력(withstand)을 증가시켜 재료의 내구성을 향상시킬 수 있다.

HDPE 케이블은 기만볼트용으로도 1950년대에 생산되었는데, 60 KV 용이 최초로 독일에서 1962년에 제작되었다. 그런데 225 KV 용 HDPE 케이블 중, 알루미늄을 사용한 것은 단면적이 400mm<sup>2</sup> 이고, 구리를 사용한 것은 단면적이 800mm<sup>2</sup>인데, 이 모두 불란서에서 최초로 1978년에 설치되어 현재 LDPE 케이블과 그 신뢰성과 수행능력을 비교 검토 하고있다.

3-e) XLPE

1950년대말에 XLPE가 개발된 것 같고 cross-linking 을 위해서는 irradiation 을 이용하거나 organic peroxide 를 사용하기도 한다. 그런데 후자의 방법이 독점적으로 널리 사용되고 있다.

Cross-linking 을 하게 되면 molecular chain 의 carbon 들이 서로 연결되어 이 chain 들이 서로 bridging 이 되어서 Low density thermo-plastic 폴리에틸렌을 elastomer 로 변환시킬 수 있다. 이러한 특성상의 변화로 인하여, 어느정도 온도가 올라가더라도 기계적저항 (mechanical resistance) 을 유지하여, 케이블 제작에 사용될 경우 결국은 케이블의 사용온도를 다음과 같이 증가시킬 수 있다: 정상상태에서 90°C, emergency condition 에서 100~150°C, 단락상태에서 250°C.

더욱 더 cross-linking 에 의하여 냉각시에도 기계적스트레스에 잘 견디어 낼 수 있고, 아울러 stress cracking tendency 를 제거할 수 있을 뿐더러, non-filled product 에 관한 한 PE 의 유전체특성 (dielectric property) 은 보존될 수 있다. 한편 이공정을 거칠때 PE 내부에 anti-oxidant 등 여러첨가제 (additive) 를 투입하여 PE 의 여러특성을 향상시킬 수 있다.

앞에서 설명한 공정을 거친 PE 를 사용한 XLPE 케이블은, 화재의 발생시 다른 재료들을 사용한 케이블에 비하여, 화재가 쉽게 번지는 것은 지연시킬 수 있을 뿐만 아니라 연기나 toxic gas 가 비교적 적게 발생하는 것이 실험에 의하여 알려져 있다. 그런데 mineral filler 나 carbon black 을 첨가하게 되면 solar radiation 이나 environmental condition 에 잘 견디어내는 매우 싼 값의 저전압용 케이블의 절연재료로 쓰인다.

여러장점이 있지만 반면에 고전압용 케이블의 경우 많은 문제점을 갖고 있다.

예를 들면, 절연층내부에 발생하는 treeing 현상을 억제시키는 억제제 (inhibitor) 와 함께 rough product 를 같이 사용하여 절연층을 형성하는데, 이럴경우 cross-linking 공정에 의하여 원래 PE 의 좋은 특성이 약화되지 않도록 하여야 한다.

처음 고전압용 XLPE 케이블이 생산되었을때 처리과정은 고온고압의 증기속에서 하여 절연층내부에 습기로 가득찬 매우 미소한 기공이 형성되었는데 이들의 water content 는 1000~2000 p.p.m 에 이르고 있다. 따라서 신뢰할 수 있는 H.V 케이블을 제작하기 위해서는 PE 를 콘덕터에 밀착하여 부착시키는 어려움을 우선 극복해야 하고 curing 공정을 잘 조

정해야할 필요가 있다. 이러한 이유로 인해 보다 발전적인 방법에 의하여 모든 공정을 건조한 상태의 압축질소가스속에서 cross-linking 공정을 진행시키는데, 이 공정을 silicon 오일 속에서 길게, molten salt bath 속을 초음파를 주사하는 가운데 이 공정을 행한다. 이러한 과정을 거치면 절연층내부의 water content 를 100 p.p.m. 으로 줄일 수 있는 것이 증명되었다.

최근에 Dow corning에 의하여 개발된 silan 공정이라고 불리는 curing process 가 있다. 이 방법에 의하면, 고압대신에 대기압속에서, 고온의 증기대신에 낮은 온도의 증기속에서, three dimensional link 를 생산하였는데 모든 이들의 이상을 뒤엎고 water content 가 상상 이외로 낮은 50~200 p.p.m. 에 이르게 되어 많은 각광을 받고 있다. 결과적으로 이 XLPE 케이블에 대해 요약해 보면 우선 cross-linking 공정이 아직 많이 연구 개발되어야 할 여지가 많고 XLPE 케이블 제조기술은 결코 완전한 것이 아니다. 그러나 XLPE 케이블의 그간 개발상황을 살펴보면 다음과 같다.

#### XLPE 케이블의 개발현황

XLPE 케이블은 1960년대에 들어서서 미국, 일본, 스칸디나비아 국가들과, 그뒤를 이어 다른 여러나라에서 그 사용분야나 개발상태가 다분히 빨리 진행되었다. 그 발달상황을 사용 전압별로 나누어 보도록 한다.

저전압용으로는 impregnated paper 나 PVC 를 사용하던 케이블을 XLPE 케이블이 대체하기에 이르렀다. 오늘날 XLPE 케이블은 전문가들의 보편적인 규정에 의하여 외장을 하기도 하고 안하기도 하는 four-core 케이블 생산에 XLPE 케이블을 널리 쓰고 있다. 뿐만 아니라 특수한 규정에 의해서도 즉 예를 들면, Ceander type 케이블 (concentric neutral conductor 가 있는 경우) 라든지 districable 의 제작에 많이 쓰이고 있다. 불란서의 경우를 보면, frontal network 와 service line 에 쓰이는 overhead 케이블 역시 XLPE 로 절연이 되어 있는데 서로 꼬아서 설치된 케이블은 약 10만 km 에 달하고 있다.

중간전압용 (medium voltage) 으로는, XLPE 를 이용한 케이블은 매우 빠르게 개발되어 나갔는데 위에서 언급한 여러나라에서의 개발현황을 살펴보면 다음과 같다:

-미국에서는 주거지역의 URD (underground residential distribution) 전력망에 XLPE 가 PE 를 대체해 가며 절연재료로 쓰이고 있다.



-일본에서는 1976년 이후부터 XLPE를 사용한 케이블의 사용전압이 66KV까지 증가되었는데, 그 속도는 일본전력망의 전력용량(power capacity)가 증가되는 속도에 비례하여 빨리 진행되었다.

-스웨덴의 경우 XLPE가 종이를 대신하여 절연재료로 쓰이게 되었는데, 10KV~100KV용 케이블에 XLPE를 많이 사용하고 있다.

-불란서에서는 three single-core 케이블을 서로 꼬아서 알루미늄스크린을 입히고 꼬아서 PVC를 외장을 한 20KV three-core 케이블을 개발하였다. 이 케이블은 매설할 때 three-core 케이블의 장점과, 악세서리를 설치하는데는 single-core 케이블의 장점을 모두 갖고 있다. 따라서 1978년 부터는 이 케이블을 설치하기 시작하여 현재 2000 km에 이르고 있는데, 새로 설치하는 link는 모두 이 케이블을 사용하고 있다.

이상과 같이 살펴보면 XLPE 케이블은 매우 적절한 케이블로서 마치 종이를 사용한 케이블의 뒤를 잇는 상속자처럼 모든 사용전압에 걸쳐 널리 사용되고 있다.

고전압의 경우, 비교적 낮은 전압용 XLPE 케이블의 제조기술은 향상 되었지만, 고전압용 XLPE 케이블의 개발상태는 그리 괄목할 만한 것은 아니다.

그러나 그 현황을 살펴보면 다음과 같다 :

- 1962년에 최초로 77KV XLPE 케이블이 일본에서 제작되었다.

- 1973년에 150KV 케이블이 스웨덴에서 개발되었는데, 알루미늄을 사용한 도선부분의 단면적은 500mm<sup>2</sup>에 이르고 triple extrusion 공법에 따라 제작되었고 이케이블의 working gradient는 7 KV/mm에 이르고 있다.

- 1975년에 Dry cross-linking 공정 방법이 개발되어 케이블의 수행능력이 향상되어, 최초로 일본에서 1978년에 275KV 케이블이 설치되었는데, 이 케이블의 절연층의 두께가 27mm에 이르고 있으며, 미국에서는 절연층의 두께가 26mm인 345KV 케이블이 개발연구 중이며 현재 일본에서는 500KV 케이블이 연구 중이다.

폴리에틸렌이 개발된 이후, cross-linking이 되었던 아니되었든 간에, 역시 교류전압용의 해저 link로 많이 쓰이고 있으며, 직류전압용으로는 앞으로 연구해야할 과제가 많기는 하지만 역시 해저link로도 쓰이고 있는 것이 오늘의 실정이다.

### 4 케이블 악세서리 절연과 물이 케이블에 끼치는 영향

#### a) 악세서리 절연

Synthetic material을 절연재료로 사용한 케이블의 악세서리에 대하여 생각해야 할 것은, 악세서리의 디자인 역시 케이블의 변화와 개발에 비할정도로 많은 발전이 있었다는 것이다. 따라서 제작방법과 디자인을 비롯하여 많은 모델이 개발되었으나 일일이 여기에 열거하지는 않겠다. 그러나 몇가지 중요한 것만 사용하는 전압에 따라 소개하고자 한다. 케이블을 연결하기 위하여, 특히 알루미늄 콘덕터가 널리 일반적으로 쓰이게 됨에 따라, 오랜 세월을 두고 완전하고 안전하게 그리고 기계적 스트레스에 적당히 잘 견디어내는 적절한 부품 개발이 필요하게끔 되었는데, 주로 많이 쓰인 것은 deep punch 과 welded connector 이다.

우선 저저압에서 중간전압 (medium voltage)에 쓰이는 케이블 악세서리의 절연에 대해 언급해 보면 다음과 같은 것을 지적할 수 있다.

- 거의 일반적으로 hot cast insulating compound를 제거함.

- joint와 branch box에 thermosetting resin을 주로 사용하고 특히 medium voltage 케이블의 termination과 joint를 위해서는 flexible한 linear voltage distribution sleeve를 사용함.

- shrinkable sleeve나 moulded elastic insulator를 이용하여 termination을 보호하는 방법은, 특히 arcing에 대해 잘 견디어 것으로 알려져 있다.

- 35KV, 680A용 plug-intermination의 개발. 한편 고전압용 악세서리의 경우 스트레스가 매우 강하기 때문에 각 부분에 따라 그 대응책이 다른데 그것을 열거해 본다.

- joint부분에 사용된 절연재료들을 연대순으로 열거해 보면, vaccum, nitrogen, polyethylen injection moulding 방법을 사용하였고 요즘에는 케이블 절연층에 사용된 재료와 같거나 또는 그와 상응할 만한 adhesive material을 이용한 tape lapping 방법도 사용한다.

- termination부분에는 joint부분에 쓰인 같은방법의 moulding 기술이 적용되었고, 요즘은 공장에서 미리 제작되어 현장에서 손쉽게 조립되는 stress cone이 사용되기도 한다.

그러나 225KV나 또는 그 이상이 되는 전압에서는

inert gas moulding 기술이 상당한 기간 절대적으로 요구되었다. SF<sub>6</sub> gas 를 사용하는 기술이 개발됨에 따라 이를 이용하여 공장에서 미리 moulding 하는 기술이 개발중에 있다.

어쨌든 모든 경우를 보면 현장에서 부품을 조립하는 여러 어려움과, 시간을 줄이기 위한 노력의 일환으로 공장에서 중요한 많은 부분을 미리 제작한 후 쉽게 현장에서 조립된 후 사용되는 악세서리의 개발이 특별히 요구되어 그러한 방향으로 연구조사가 진행중에 있다. 특히 고전압용 케이블의 경우 현장에서 즉시 연결하여 사고에 대비할 수 있는 termination 을 갖춘 225 KV용 케이블이 개발되어 불란서에서 쓰이고 있다.

#### b) 물의 영향

고분자 물질을 절연재료로 사용한 전력 케이블이 일반적으로 쓰일무렵, 많은 대다수의 사람들은 impregnated paper 케이블의 절연층 수명을 단축시키는 소위 말하기를, 치명적인 water problem에서 곤해방 되겠구나하고 믿게되었다. 그러나 곧 이어 이러한 케이블에서도 물(water)의 영향이 증이를 이용한 케이블에 비해 그다지 방심할 수 있는 문제가 아니라는 것을 모두 인정하게 되었고 또한 이러한 것이 실제적인 문제로 등장하게 되었다.

Vulcanization 이나 cross-linking 공정중에 케이블 절연층 내부에 물이 들어가든지, 혹은 오랜 세월동안 케이블이 사용되는중 water diffusion 에 의해 절연층에 내부에 물이 침투해 가든지간에 물은 오랜 세월을 두고 polymeric insulation 에 치명적인 영향을 끼치며 local stress 가 어느 한계를 넘게 되면 물은 절연층이 완전하게 파괴되는 현상을 야기시킨다. 그 이유는 물의존재가, 절연층 내부에 있는 불순물들(impurities)의 크기나 본질(nature), 또 사용전압(working voltage)의 증가로 야기되는 현상과 서로 연관되어, 우리가 예상치 못하는 문제를 유발시키기 때문이 아닌가 하는 것이 일반적으로 받아들여지고 있다.

주어진 제조 조건에서 제작된 같은 질의 케이블을 서로 비교하여 검토해 볼때, working gradient 를 증가시키면 케이블의 절연층이 물에 대한 sensibility를 증가시키게 된다는 것을 알 수 있다. 더구나 알루미늄스크린이나 알루미늄 콘덕터를 사용하여 케이블을 제작한 경우는 절연층 내부로 알루미늄의 부식으로 인한 여러물질이 침투, 확산되는 위험을 안고있다.

어쨌든 고분자 재료를 사용한 케이블의 경우 물의침투(water penetration)에 대비한 보호방법은 케이블이 사용되는 전압이나 설치되는 장소의 주변조건, 또는 미리 예상되는 지역의 전력소모양을 감안

하여 거기에 맞도록 보호방법이 달라지고 있는데 그것을 사용전압별로 나누어 살펴보면 아래와 같다.

저전압의 경우, 일반적으로 특별하게 케이블의 보호장치가 필요한 것으로 되어있지 않다.

중간전압(medium voltage)의 경우, 케이블에 외장을 하거나 안하기도 하며, 혹은 internal external extruder semiconductive layer 를 케이블내에 설치하는데 그이유는 이러한 장치가 물이 절연층내부로 방사상으로 침투(radial penetration)하는 것을 막아주는 방패역활을 해주기 때문이다. 한편 알루미늄스크린을 케이블에 설치할 경우, 합성절연물질과 같이 사용하는데 그목적은 만일 외부의 피복이 손상이 되었을때 물이나 알루미늄의 부식으로 인한 여러물질이 케이블의 빈틈을 따라 확산되는 현상(longitudinal penetration)을 억제 하고저 하는 것이다.

매우 높은 전압(very high voltage)에 사용되는 케이블의 경우는 일반적으로 적용되는 규정은 다음과 같다.

케이블중심부분(cable core)을 납이나 알루미늄으로 둘러싸고(continuous sheath), 그위를 적절하게 피복을 입혀 케이블을 보호한다. 이경우 이러한 보호장치는 물이 방사상으로 침투해 들어가는 것을 억제하는 좋은대책으로 인정되고있다. 왜냐하면 필요한 경우에 케이블에 또다른 기계적 보호장치(mechanical protection)을 하나 더 설치할 수 있기 때문이다.

(예를들면 laying in throughs)

기만볼트용 케이블에서는 아직도 모든 전문가들이 continuous metallic sheath의 필요성에 대해 일치된 견해를 갖고 있지는 않다.

결론적으로 말하면, 모든 경우 모든 환경에서 물의 침투에 대비하여 적절한 보호장치를 하였을 때에 한하여 고분자 물질을 절연재료로 사용한 케이블이 신뢰성이 높은 것으로 인정되고 있다. 또한 한가지 주목할 것은 termination 과 joint 부분은 방수가 될 수 있는 대로 완벽해야하고, 케이블을 물이 많고 기계적인 힘을 심하게 받아 손상받을 위험이 큰곳에 설치할때는(즉, 예를 들면 해저케이블의 경우) metallic screen 뿐만 아니라 conductor 에 스크린이 완벽하게 밀폐되어야 하는 것이 의무규정으로 되어있다.

#### ☐ H. V Cable에 관한 여러자료

이단원에서는 1983년 CIGRE Committee 에서 21 개국에 제공한 자료를 토대로 작성한 몇가지 자료를 소개하고자 한다.

그림 1에서 그림 6까지는 주로 60KV 이상에 쓰이는 Synthetic dielectric 케이블에 관한 여러현황을 나타내는데, 물론 세계의 모든 상황을 나타낸다고 볼 수는 없지만 중요한 여러 공업국가의 현실정을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

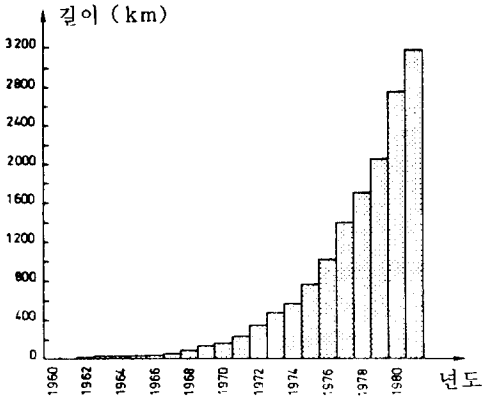


그림 1. 1981년까지 설치된 HV 3-phase link 의 누적된 길이

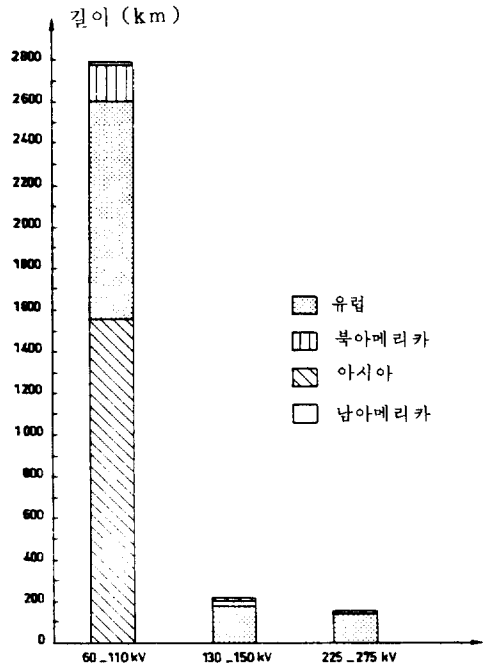


그림 3. 1981년까지 세계 각 대륙에 설치된 HV 3-phase 의 누적된 길이

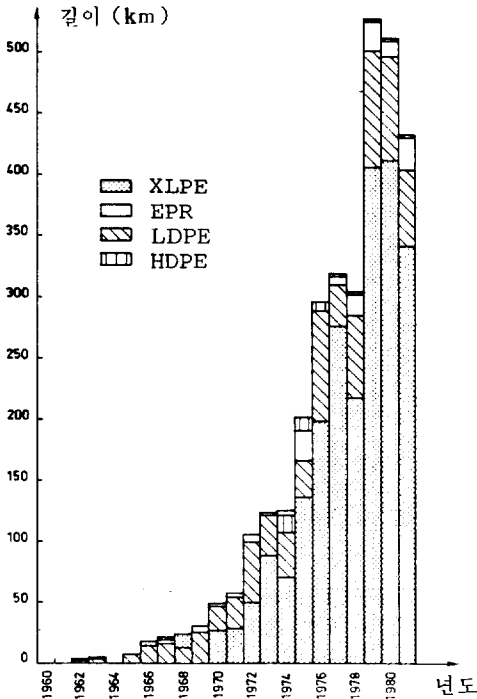


그림 2. 여러종류의 HV 3-phase cable 의 여러 절연재료에 따라 매년 설치된 길이

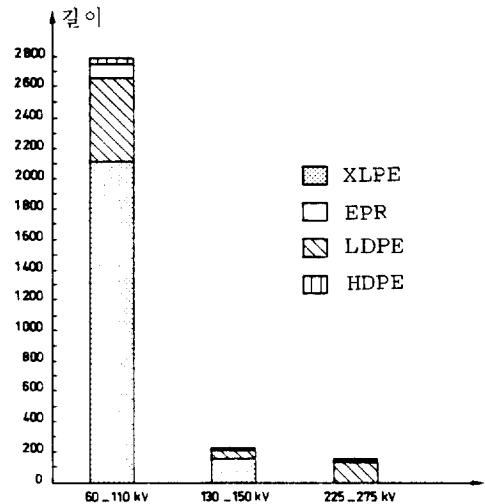


그림 4. 1981년까지 설치된 HV 3-phase cable 의 여러 절연재료에 따른 각각의 누적된 길이

이러한 자료를 토대로하여 불매 말할수 있는 것은 최근 이십여년간 고분자 물질을 사용한 케이블의 설치가 매우 급성장하고 있는 것을 알 수 있다.

또한 하나의 비교 사항으로서 impregnated paper 를 사용한 케이블과 고분자 물질을 사용한 케이블을 비교해보고, 현재 한에로써 불란서의 경우 이 두가지

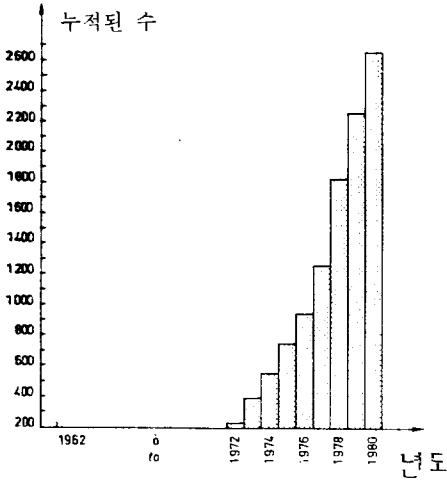


그림 5. 1981년까지 HV cable 에 설치된 sheathing end 의 누적된 수

표 1. Impregnated paper insulated cable 와 XLPE cable 과의 비교

	impregnated paper	XLPE
단 면 적	$3 \times 150\text{mm}^2$	$3 \times 150\text{mm}^2$
정격전류	3.55A (12.3MVA)	400A (13.8MVA)
과부하전류	370A (12.8MVA)	450A (15.6MVA)
부 계	10kg/m	4.75kg/m
생산가액	110	100

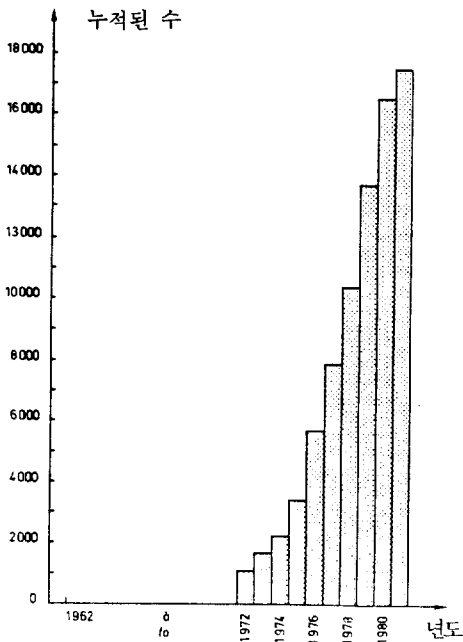


그림 6. 1981년까지 HV cable 에 설치된 straight joint 의 누적된 수

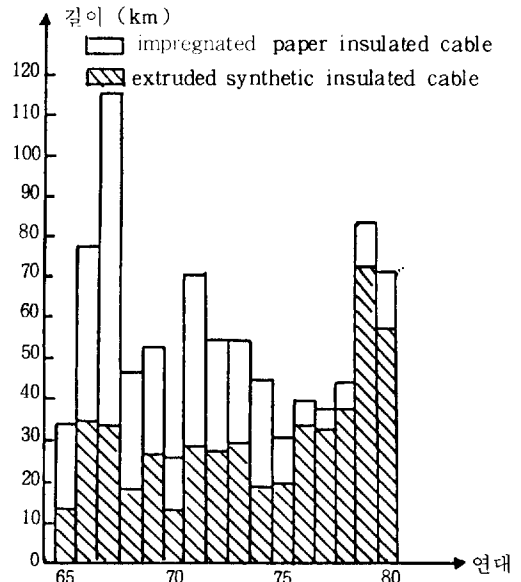


그림 7. Impregnated paper insulated cable 과 extruded synthetic insulated cable 이 불란서에서 최근 이십여년간 설치된 길이

케이블의 설치량을 비교한 것을 다음표에서 볼 수 있겠다.(표 1. 그림 7 참조)

### 결 론

지금까지 우리는 전력케이블의 절연층에 쓰이는 여러재료들의 변천과정을 간단히 살펴보았다. 우선알 수 있는 것은 케이블 생산기술이 많이 발달되어왔고 특히 고전압 케이블은 오일이나 종이를 사용하던 종전의 케이블보다 제조공정이나 디자인, 사용면에서 매우 비교적 간단한 고분자 물질을 사용한 케이블들의 발달이 2 차대전 이후에 급격히 이루어진 것을 알 수 있겠다.

앞에서 본 여러자료를 토대로하여 결론적으로 보면, 고분자 물질을 절연재료로 사용한 전력케이블이 water problem에 대한 문제점이 있기는 해도, 그래도 현재까지는 거의 만족스럽게 신뢰할 수 있고 또한 현재보다는 더욱더 장래에 많은 부분에 쓰일 것이 아닌가 생각되면 이러한 고분자 물질을 사용하는 케이블이 여러나라에서 쓰일 용도와 가능성은 더욱 커진다는것이 여러나라의 전문가들이 견해이다. 실사 2,000년이 되어도 impregnated paper로 절연된 케이블과 polymer insulated cable 이 여전히 같이 존재하지 않을가 하는것이 본인뿐만 아니라 여러 전문가들의 견해이기도 하다.

### □ 보 도 자 료 □

#### 웨스팅하우스 “전기기기 보수 요령” 발간

웨스팅하우스는 5 권으로 돼 있는 “전기기기 보수 요령” 개정판을 발간했다.

1930년에 1 권으로 된 제 1 권을 발행, 계속 크게 인기를 끌면서 총 5 권 약 1,500 페이지로 내용이 늘어난 이 책자는 제 1 권 일반보수, 제 2 권 산업기기 보수, 제 3 권 전력장치보수, 제 4 권 참고자료, 제 5 권 도표, 공식 및 색인 등으로 돼 있다. 5 권 1집의 이 책자의 가격은 해외우송비 포함 75달러이나 항공우송의 경우도 별도의 송료가 청구된다.

상세한 내용은 웨스팅하우스 서울 지사에 문의하면 된다.

