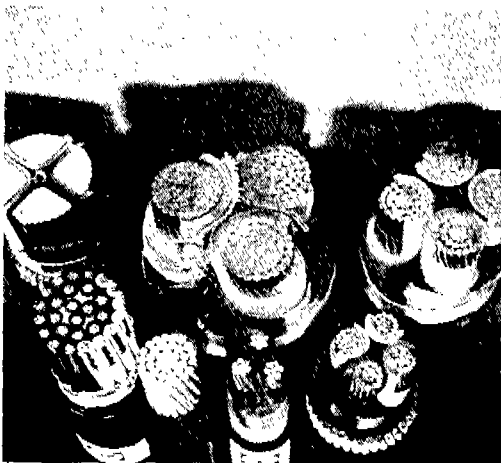


# 電力케이블의 技術 開發 現況과 展望

Technical Development  
State and Prospect of  
Power Cable



李 壽 弘

金星電線 超高压 推進本部 部長

電力케이블은 1812년 러시아의 Schilling이 광석  
폭파에 동선을 고무와 와니스로 絶緣하여 사용한  
것이 시초라 할 수 있으나 본격적인 送配電線 으로  
사용되기 시작한 것은 20세기 초부터이다.

電力케이블은 많은 변화를 거쳐 현재에 이르렀으  
며 현대에서의 技術開發은 저압케이블쪽은 특수용  
도 케이블의 개발로, 地中送電케이블에서는 送電容  
量의 증대에 주력하고 있다.

여기에서는 주로 地中送電케이블에 사용되고 있  
는 超高压케이블의 발달 현황과 전망에 대하여 생  
각해 본다.

## 1. 開發의 概況

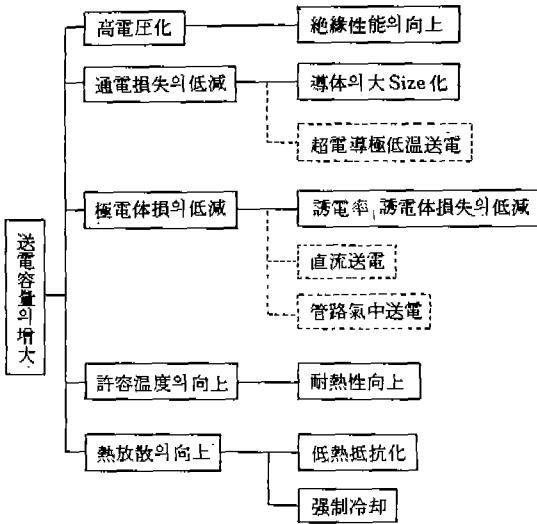
超高压 地中送電케이블은 송전용량 증대를 지향  
하고 있으며 더욱 손실의 감소에 대한 요청이 증  
가하고 있어 이에 대한 연구도 진행되고 있다.

送電容量의 增大에 대한 해결책으로는 그림 1에  
도 나타난 바와 같이 使用電壓의 高压化, 損失의  
低減 및 熱的 効果의 증대 등으로 나누어 볼 수 있  
으나 케이블에서는 기존케이블의 高压化 및 特性의  
改良, 冷却方式의 採用, 새로운 케이블 즉 超電導  
極低温케이블, 管路氣中케이블 등의 방향으로 추진  
되고 있다.

그러나 새로운 케이블의 開發은 많은 경제적 투  
자를 요구하고 또한 기존케이블에 비해 아직은 경  
제성이 없으므로 未來의 케이블로 研究中이고, 현  
재로서는 기존케이블의 高压化 및 改良과 冷却方  
式의 採用 등에 주력하고 있다.

기존 超高压 地中送電케이블의 주류는 현재까지  
는 OF(POF 포함) 케이블이지만 이것의 큰 短點은  
비유전율(3.8), 유전체 손실율( $\tan \delta=0.25\%$ )이 크  
다는 것과 油槽 등 附屬材가 복잡하고, 漏油 및 화  
재의 우려가 있으며 보수가 어렵다는 것이다.

유전체 손실율과 송전용량의 관계는 그림 2에도  
나타난 바와 같으며, 超超高压化의 先決條件은 유  
전체손의 저감이라는 것을 알 수 있다. 이 점을 개  
선키 위해 絶緣紙의 密度를 줄이고, 이온성 불순물  
의 含有를 줄이기 위해 脫이온수로 충분히 세척하  
는 등 絶緣紙의 改善에 주력함과 동시에 誘電特性  
이 좋은 Plastic Film, 또는 Plastic Film의 耐  
油性을 強化하기 위한 合成紙의 開發 등에 주력하

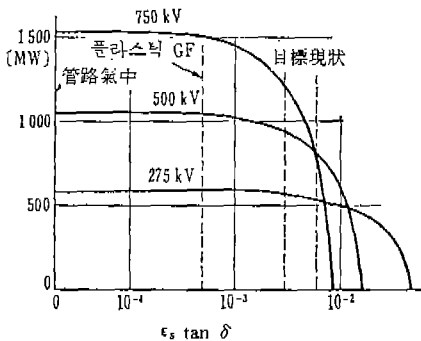


〈그림-1〉送電容量의 増大對策

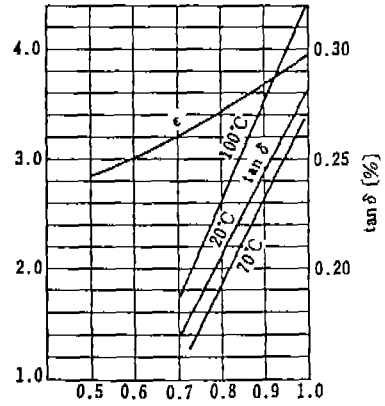
고 있다.

또한 현재 O.F 케이블과 함께 送電線의 主種을 이루고 있는 架橋폴리에치렌 絶緣케이블(CV)은 低誘電体損失, 送電容量의 增加, 補修의 容易함 및 油槽의 不必要, 防災上의 有利 等의 이점과 乾式架橋方式의 採用, 콤파운드의 改善 및 押出方式의 改善等으로 信賴度를 飛躍的으로 向上시켜 이미 超高压化 하여 特高压分野에서는 O.F 케이블에 完全代替段階로 되었으며 超超高压化를 爲해 絶緣性能의 向上으로 絶緣厚계의 低減, 信賴性 向上과 保證을 爲한 改善과 固体誘電体 劣化特性 研究 等의 方向으로 進行되고 있다.

이와 더불어 케이블에서 發生된 熱을 흡수하여 大容量化를 기하는 方法도 케이블 주변의 温度를 낮추는 外部間接 冷却方式과 케이블 表面에 직접



〈그림-2〉 $\epsilon_s \tan \delta$  와 送電容量 (銅導體 1000mm<sup>2</sup> 基準)



〈그림-3〉油浸紙密度와  $\epsilon \tan \delta$

冷媒를 접촉시켜 냉각시키는 外部直接 冷却方式 等의 實用化에 힘입어 가일층 大容量化를 爲하여 새로운 冷媒開發을 도모할 뿐만 아니라 導體를 直接 冷却하는 内部冷却케이블 System이 연구되고 있다

## 2. 開發의 現況

여기에서는 주로 기온케이블의 高压化 및 改良과 강제냉각방식중 현재 實用化된 것을 說明하면 다음과 같다.

### 1) O.F 케이블의 高压化(500kV)

油浸紙의 誘電率과 誘電体 損失率( $\tan \delta$ )은 그림 3에 나타난 바와 같이 絶緣紙의 密度에 깊은 관계가 있어 밀도를 종래의 0.9g/cm<sup>3</sup>에서 0.7g/cm<sup>3</sup> 정도로 낮춘 低密度 絶緣紙의 開發과 脫이온水洗方式의 채용으로 絶緣紙의 誘電率 3.4, 誘電体 損失率 0.17% 수준으로 만드는 것이 가능하였고, 長期安定性이 우수하고 銅에 의한 劣化가 없는 알킬벤젠계 合成油의 채용 등과 케이블 製造技術의 向上 등에 의해 500kV級 O.F 케이블이 신뢰성 검토를 끝내고 實線路에 일부 사용되기 시작하고 있다.

금후의 500kV O.F 케이블의 기술과제는 좀 더 저손실화, 신뢰성의 향상 등 케이블의 개량, 개발은 물론 高落差 布設이나 長尺化의 要求에 적응할 수 있는 技術開發이 이루어져야 할 것이다. 또한 半合成 絶緣紙의 開發에 박차를 가하여 Plastic Film의 양면에 셀룰로오즈를 붙여 만든 Laminate紙가 開發되었다. 이것은 誘電率 2.4 誘電体 損失率 0.05~0.06%로 損失의 저감뿐 아니라 耐電壓

특성도 종래의 절연지에 비해 20% 정도 상승된 특성을 갖는다. 이것에 의해 275kV級 O.F 케이블이開發되어 일부 線路에 實用化되고 있다.

2) 架橋폴리에칠렌 絶緣케이블 (CV)의 高压化 (275kV)

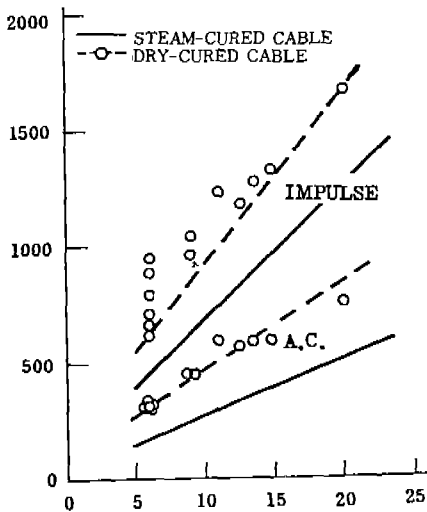
154kV級에 이미 O.F 케이블과 대체 사용되고 있는 架橋폴리에칠렌 絶緣케이블은 O.F 케이블에 비하여 附屬材가 單純하여 油槽나 油压감시가 必要없고, 취급이나 보수가 용이한 點 이외에 地락사나 外상에 의한 기름의 유출이 없으며, 防災特性이 우수하다는 점 등의 이점과 材料 및 製造技術의 改善에 의해 長期信賴性이 비약적으로 향상되어 초고압화를 기하게 되었다.

材料나 製造技術의 發展事項을 보면 다음과 같다.

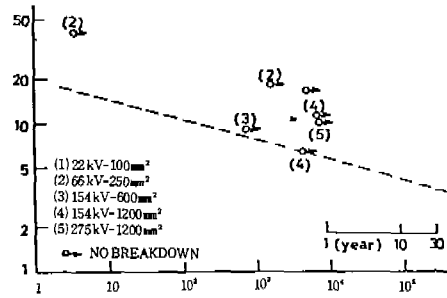
① 乾式 架橋方式(DRY CURING)의 採用: 과거 Steam 架橋方式에서 생길 수 있었던 絶緣体内的 미소 Void 및 濕氣를 제거함.

② 絶緣体内的 異物 混入 防止: 콤파운드를 混合하는 과정에서 부터 全공정을 방진처리하여 이물의 혼입을 방지

③ 層 同時押出方式 採用: 内, 外部 半導電層과 絶緣체를 同時に 押出함으로써 半導電層과 絶緣層 사이의 돌기 발생을 제거하며 局部的인 高電界現象을 제거.



(그림-4) 交流, 雷衝擊電壓破壞特性 (架橋폴리에칠렌絶緣케이블)



(그림-5) 長期課電試驗 (CV)

이러한 방식의 採用으로 그림 4에도 나타난 바와 같이 종래의 Steam 架橋케이블에 비해 交流電壓特性은 50~70%, 雷衝擊 電壓特性은 20~70%가 증가하고 있으며 장기신뢰성에 있어서도 그림 5에 나타난 바와 같이 劣化係數는 종래의 9보다는 12를 채택해도 될 정도의 향상을 보이고 있다. 이런 향상에 힘입어 架橋폴리에칠렌 絶緣케이블은 275kV級 까지 신뢰성 검토를 끝내고 線路에 實使用되고 있다.

금후의 275kV級 架橋폴리에칠렌 絶緣케이블의 기술과제로는 장거리 선로에의 적용을 위한 부속품의 신뢰성 향상, 절연두께 저감이 중요한 과제로 되어 있다.

3) 强制冷却方式

强制冷却方式은 케이블 通電中の 損失에 의한 溫度上昇을 억제함으로써 大電流를 흘리게 하는 방식으로 各方式에 의한 送電容量의 증가는 그림 6에 나타난 바와 같이 비냉각 케이블에 비해 2배 이상의 증가를 나타내고 있다.

내외부 냉각방식은 275kV級까지 사용실적이 많으나 내부 냉각방식은 110kV級까지 사용실적을 나타내고 있다.

이 방식의 技術課題는 냉각효과 증대, 새로운 냉매의 개발 및 내부냉각방식의 더욱 높은 高電壓化 등에 주력하고 있다.

4) 管路氣中送電케이블

1960년대 부터 開發이 시작된 이 케이블은 두꺼운 銅Pipe 또는 알루미늄 Pipe의 導體를 에폭시 수지로 만든 絶緣 Spacer로 파이프형의 金屬 Sheath 内に 지지시키고 導體와 Sheath 間에 絶緣特性

内部冷却		
洞道布設	直接冷却	—————
	Trough 内間接冷却	—————
	風 冷	———
	非 冷却	———
管路布設	直接冷却	—————
	間接冷却	———
	非 冷却	———
		0      500      1000      1500 送電容量 (MVA/cct)

(그림 - 6) 各冷却方式과 送電容量 (概略的인 比較圖)

이 우수한 SF<sub>6</sub> Gas를 충전시킨 것으로 다음과 같은 이점이 있다.

- ① 送電容量이 架空 送電線과 거의 같다.
- ② 비유전율이 적어 充電電流 보상없이도 장거리 선로를 포설할 수 있다.
- ③ 誘電體損은 무시할 수 있을 정도로 적어 온도 상승으로 인한 送電容量의 制約을 받지 않는다.

그러나 工場製造 단위 길이가 짧기 때문에 現場 接續개소가 많고, 청결유지 때문에 용접시의 접속 방식이나 작업환경에 특별한 주의가 필요하는 등 工事費가 많이 들어 3000~4000 A의 大容量이 필요한 경우에 일부 使用實績이 있을 뿐이지만 未來의 케이블로서 有望하다.

이 케이블은 앞으로 경제성 부여 (Cost Down) 및 規格의 축소화가 중요한 과제가 되고 있다.

### 3. 開發의 展望

未來의 地中送電케이블로서의 技術開發은 架橋폴리에틸렌 絶緣케이블의 500kV級까지의 超高压化, 1000kV級 UHV送電用 O.F케이블의 實現, O.F케이블에서 Al-Sheath의 損失을 줄이기 위한 S-stainless Sheath의 채용, 내부냉각 등의 신종 강제 냉각 방식 채용, 특수 대 Size 導體, 超電導, 極低溫케이블, 管路氣中 送電케이블 등의 實用化에 주력할 것으로 보인다.

- 1) 500kV級 架橋폴리에틸렌 絶緣케이블의 實現

低誘電損失, 低充電電流 및 오일을 사용하지 않음에 따른 방재상의 유리함 등의 이점으로 超超高压化에 유리한 條件을 갖춘 架橋폴리에틸렌 케이블은 500kV級에서의 實用化를 위한 연구가 進行되고 있다. 500kV級 架橋폴리에틸렌 絶緣케이블은 275kV級과 같은 構造를 갖고 있으나 絶緣體두께의 저감과 長期信賴性의 부여를 위해 絶緣體에 SF<sub>6</sub> 가스를 含浸시키는 새로운 方式을 開發했고 이의 장기 과전시험의 결과를 絶緣體두께 35mm에 SF<sub>6</sub> 가스를 含浸시키면 500kV級 架橋폴리에틸렌 絶緣케이블의 實用化 가능성이 있는 것으로 보고 되고 있으나 終端部 및 接續部의 開發과 장기 신뢰성의 확인등 앞으로 해결되어야 할 문제점이 있다.

#### 2) O.F 케이블의 超超高压化 및 損失低減

1000kV O.F케이블의 실현을 위해서는 低誘電率 및 低誘電體損失이 필요하나 현재 개발되어 사용되고 있는 Plastic Film이나 合成絶緣紙는 合成絶緣油에 대한 耐油性의 문제가 있으며 이의 해결을 위해 Silicon 油를 사용하기도 하나 매우 고가이며 충격전압특성이 저하하여 超超高压化의 障礙가 되고 있다. 이의 개선을 위해 絶緣紙에 대한 研究가 계속되고 있으나 단시간내의 개발은 어려울 것으로 보인다.

또한 損失의 저감이라는 관점에서 알루미늄 Sheath의 損失을 줄이기 위한 연구의 하나로 현재 S-stainless Sheath가 검토되고 있다. Stainless Sheath는 Tape를 원통형으로 하여 용접하고 波付가 공한 구조로써 알루미늄 Sheath와 동등의 기계적 강도, 강요성, 경량 등이 기대되며 Sheath 損失은 알루미늄 Sheath의 약 4%밖에 안되어 損失저감의 효과를 얻을 수 있으나 地絡電流에 대한 대책의 필요로 외부도체가 필요하다.

또 이것과 더불어 導體는 대 Sige化 하며 表皮効果의 억제를 위한 素線絶緣케이블, 層絶緣케이블 등도 검토되고 있다.

#### 3) 超電導, 極低溫케이블의 實現

알루미늄, 銅등의 導電材料는 低溫(實用上 액체질소 온도부근)에서 급격하게 도체저항이 감소하며 Ti, Nb, V 등의 金屬은 액체헬륨온도부근에서 저항이 0 즉 超電導 特性을 나타내는 것을 이용한 것으로 前者를 極低溫케이블, 後者를 超電導케이블

(47p에 계속)

機械工場, 製管工場, 重製管工場, 鑄造工場, 鍛造工場 및 重裝備工場等 7개의 大規模 作業場과 附帶施設이 設置되어 各種 發電設備(原子爐, 發電機, 보일러等), 製鉄, 製鋼 設備, 化學 및 石油化學設備, 시멘트製造 設備等 프란트 分野는 勿論 各種 建設重裝備 등을 生産 할 수 있는 最新의 施設과 製作能力을 갖추고 있는 것이다.

이 超大型 工場은 1976년에 敷地整地 作業을 開始한 以來 迂曲曲折을 겪고 5년 8個月만인 1982년 6月 30日 完工을 보게 된 것이다. 現在의 稼働率은 26%線으로서 1982年度 賣出目標은 3,300 億원이라고 한다. 年間 賣出額 7,000 億원이 損益分岐點이라고 하는데 그동안의 空白期間을 克服하고 1984년에는 經營의 黑子轉換이 期待된다는 바 納稅義務를 가진 國民의 한 사람으로서 鼓舞의이 아닐 수 없다.

## 6. 産業設備로서의 電氣工業과 이의 育成策 樹立의 必要性

電氣工業, 特히 重電機部門의 育成을 爲하여는 現況을 正確히 把握하여 技術水準, 技術導入現況, 當面課題 등을 分析하여 綜合的인 振興育成方案을 講究하여야 할 것이다.

企業의 短期的인 採算性問題 또는 自体 研究開發部

(29p에서 계속)

이라 한다. 이 두 케이블은 最近의 저온 技術의 發達에 힘입어 가능성이 커지고 있어 케이블 구조면이나 극저온에서의 絶緣材料의 問題, System의 구성문제 등이 남아 있으나 장래에 大容量 送電의 필요성에 의해 실현이 큰 미래의 케이블이라 할 수 있다.

### 4) 기타

強制 冷却方式을 더욱 發展시키 冷媒의 증발열을 이용해 냉각시키는 증발열 케이블의 實現을 위한 연구가 進行되고 있고 管路氣中케이블의 경제성 부여 접속작업등 포설단가의 저감 등에 대한 연구가 進行되고 있다.

## 4. 結言

地中送電케이블의 開發現況과 展望에 對하여 살펴 본 바와 같이 電力 케이블은 送電容量의 增大를

門에의 投資忌避乃至 疎忽과 國內市場의 狹小와 이에 따른 需要展望의 不透明 또는 國產開發試圖時 開發期間 長期化 및 莫大한 所要開發費 投資로 인한 安易한 思考方式에 의한 主要部分의 輸入과 이에 따르는 技術蓄積消化의 等閑視等 여러가지 複合的인 輿件과 現況 및 이에 對한 處置方案을 國家的 次元에서 合理的으로 研究檢討되어야 할 것이며 品質改善 및 開發도 國內市場 占有率 擴大로 輸入代替를 圖謀함은 勿論 輸出極大化로 設備稼働率 提高와 여기에 隨伴한 原價節減等 모든 施策은 相互補完的인 것이므로 電氣工業 育成策이 어느程度 軌道에 오르던 急伸長한 것이 期待된다.

이와같은 電氣工業振興을 爲하여는 企業規模의 零細性 脫皮와 部品製造 中小企業의 專門化·系列化와 이에 따른 品質向上 및 生産原價節減, 過剩 乃至 重複投資 防止 및 內需基盤의 擴大를 통한 稼働率 提高, 國家規格인 韓國標準規格(KS)의 基礎로서 先行되어야 할 團體規格制定을 推進함으로써 業體間의 技術協力增進과 基本技術向上의 相乘促進, 世界市場에의 效果的인 進出戰略樹立等 電氣工業振興을 爲한 獨自의이고 電氣工業 特有的 特性을 勘案한 電氣工業振興育成法(假稱)의 早速한 制定과 基金設置運用이 時急한 課題라 아니할 수 없다.

(調査部長)

主目的으로 여러 種類의 케이블이 研究開發되고 있으나 將來에는 窮極的으로 超高壓分野까지 CV 케이블, 超超高壓分野는 O.F 케이블을 主로 하여 繼續 研究 發展하여 갈 것으로 보인다. 現在 國內에서는 154kV O.F 케이블이 實線路에 使用되고 있으며 154kV 架橋폴리에치렌 絶緣케이블(CV케이블)도 開發을 끝내고 곧 實線路에 使用될 것이다. 아직은 送電容量 增大의 必要性을 크게 느끼지 않고 있으나 向後 5년 쯤에는 345kV 級의 케이블화도 서두를 것으로 보이며 強制冷却方式도 檢討 될 것이다. 또한 國內의 絶緣材料는 大部分 輸入에 依存하고 있어 이의 國產化를 爲한 研究도 並行되어야 할 것이며 開發을 爲한 試驗設備의 確保와 研究體制 確立 등으로 單純히 先進國의 뒤를 따라가는 開發이 아닌 우리 自体의 技術開發 또한 이루어져야 할 것이다.