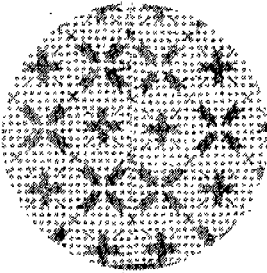


電力用 케이블의 技術動向

Recent Technical Trend of Plastic Insulated Power Cable



李 鍾 國

金星電線(株) 製品設計室 部長

1. 概 要

最近 Plastic 電力 Cable은 Solid Dielectric Insulation 特有的의 優越性, 즉 容易한 取扱, 簡單한 接續 및 補修, 優秀한 電氣的 特性等으로 先進 各國에서 그 使用이 急激하게 增加되고 있다. 特히 架橋 폴리에틸렌 이란, 電氣的 絶緣性이 良好한 폴리에틸렌을 架橋反應시켜 立体 網狀 構造로 하여 耐熱性을 向上시킨 것으로 從來에는 高温 高壓의 Steam을 熱媒体로 使用하여 CV Cable을 製造함으로써 Void, 異物, 殘存水分에 의한 絶緣特性的 劣化로 超高壓化에 障碼가 되어 왔으나 最近 先進 諸國에서는 많은 研究끝에 各各의 獨特한 製造方法을 開發 이를 除去함으로써 보다 높은 超高壓化에 拍車를 가하고 있다.

2. 各國의 超高壓 Plastic Cable 使用現況

가. 日 本

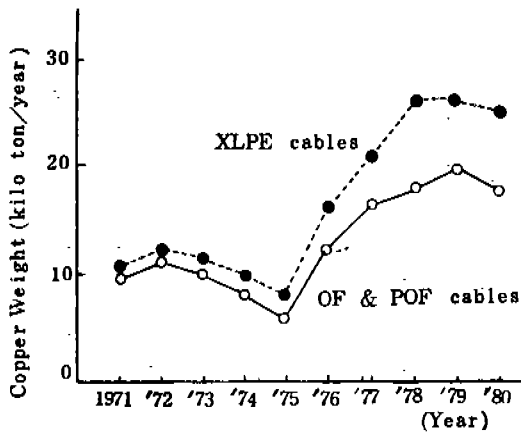
日本에서는 超高壓 CV 電力 Cable이 從來의 OF Cable 分野에 있던 66~77KV 級의 送電線路에서 大部分 代替되었고 또한 154KV 級 Cable에 있어서도 東 東京變電所 構内에서 東京電力과 電線 Maker가 共同으로 開發 實證試驗을 끝내고 '76년부터 使用中에 있으며 275KV CV Cable도 各 電線 Maker 에서 研究開發하여 '79년부터 實用化되고 있다. 日本内の 66KV 級 以上の 電力 Cable中 CV와 OF系의 '71~'80年 年間 販賣量을 그림 1에 나타내었다.

이 도표에 의하면 最近에 이를수록 CV의 販賣量이 OF의 販賣量에 비해 크게 늘어나고 있음이 括目할 만하다.

나. 스웨덴

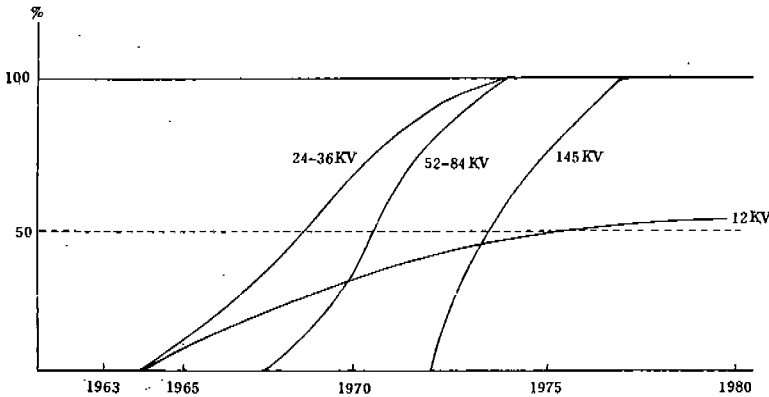
스웨덴 Kabel Verk社는 1973年 스웨덴의 電力會社에 154KV 級 CV Cable 14,000m의 納品工事を 實施하여, 스웨덴 뿐만 아니라 全 유럽을 통해 超高壓 CV Cable을 最初로 商業化하였다.

1976년에는 170KV CV Cable을 Stora Kopparberg에 納品하였고 245KV CV Cable의 開發에도 着手하여 現在 實 使用中에 있다.



〈그림-1〉 일본 66KV 이상 전력케이블의 총판매량

參考로 스웨덴 内の 年度別 CV Cable의 市場 占 有率을 보면 그림 2와 같으며, 22KV級 以上の 高



〈그림-2〉 CV Cable의 Market Share (스웨덴)

〈표-1〉 Lengths of 3-phase links (km) with polyethylene insulated HV cables in the French network (January 79 프랑스)

| Rated Voltage (kV) | Insulation | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Low Density Polyethylene | High Density Polyethylene |
| 63 | 196 | 15 |
| 90 | 27.4 | 0 |
| 225 | 63 | 2 |

壓 Cable에 있어서 全量 CV로 使用하고 있음을 알 수 있다.

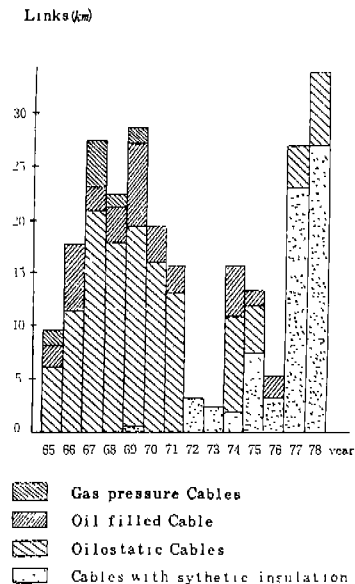
다. 프랑스

프랑스 電力廳은 1962年 처음으로 合成樹脂 絶緣 Cable을 高壓系統에 布設한 以來로 技術의 進歩와 經濟性으로 因하여 63.9KV 및 225KV까지 넓게 利用하고 있다.

프랑스 電力廳이 發表한 프랑스 電力 系統中 폴리에틸렌 Cable의 電壓別 使用量은 표 1과 같고, 이 圖에서 보면 225KV級도 많은 量이 布設되어 使用되고 있음을 알 수 있다. 또 1965年 부터 1978年까지의 225KV 電力 Cable의 絶緣材料別 使用量을 보면 그림 3과 같이 1972年 以後는 合成樹脂絶緣 Cable의 使用量이 急増되고 있음을 알 수 있다.

〈그림-3〉

225KV 3-phase links installed in EDF network between 1965 and 1978 (프랑스)



3. 各國別 超高压 電力 Cable 開發 現況

| 國 名 | 開 發 Cable | 實 用 化 現 況 | 備 考 |
|-----|------------------------------------|--------------------------|------------|
| 日 本 | 154KV 架橋폴리에틸렌 電力Cable | 1976年부터 實用化 | 全線路에 使用 |
| | 275KV 架橋폴리에틸렌 電力Cable | 1979年부터 實用化 | |
| 스웨덴 | 145KV 架橋폴리에틸렌 電力Cable | 1973年부터 實用化 | |
| | 245KV 고무·플라스틱 電力Cable | 1980年부터 實用化 | |
| 프랑스 | 225KV 폴리에틸렌 전력Cable | 1969年부터 實用化 | |
| 西 獨 | 110KV 폴리에틸렌 및 架橋폴리에틸렌 電力Cable | 1970年부터 實用化 | |
| 美 國 | 138KV 폴리에틸렌 電力Cable | 1964年부터 實用化 | |
| | 138KV 고무·플라스틱 電力Cable | 1969年부터 實用化 | |
| | 230KV 고무·플라스틱 電力Cable | 1978年 開發完了 | |
| | 345KV 고무·플라스틱 電力Cable | 1981年 開發完了 | |
| 韓 國 | 154KV 架橋폴리에틸렌 電力Cable (IC× 600SQ) | 1983. 7. 開發試驗合格 - 國產化 채택 | 金星電線製品 |
| | 154KV 架橋폴리에틸렌 電力Cable (IC× 1200SQ) | 1983. 8. 開發試驗合格 - 國產化 채택 | |
| | 154KV 架橋폴리에틸렌 電力Cable (IC× 2000SQ) | 1984. 4. 開發試驗合格 - 國產化 채택 | |

4. 超高压 CV Cable의 納品實績

| 國 名 | 製造會社 | 納 品 實 績 | 納 品 處 | 年 度 |
|-----|------------------------|---|---|-----------|
| 日 本 | 日立電線 | 100~135KV : 72, 616m 136~187KV : 22, 090m 188~275KV : 6, 587m | 일본, 서독, 브라질, 프에토리코 쿠웨이트 등 | 1971~1982 |
| 핀란드 | NOKIA | 100~135KV : 33, 800m | 서독, 폴란드, 핀란드 등 | 1978~1980 |
| 스웨덴 | SIEVERTS KABEL VERK | 100~135KV : 77, 274m 136~170KV : 163, 519m | 스웨덴, 노르웨이, 덴마크, 아이슬란드, 서독, 핀란드, 유고 등 | 1973~1980 |
| 韓 國 | 金星電線 | 154KV 1200SQ : 2, 580m (직매) 154KV 200SQ : 150m (선반) 154KV 200SQ : 3, 600m (판로) 154KV 1200SQ : 12, 000m (직매) 154KV 2000SQ : 4, 020m (판로) | 인천 화력 발전소 서울 순화동 변전소 울산 석유공사 변전소 서울 화곡 변전소 삼랑진 양수 발전소 | 1984 |

5. CROSS-LINK (架橋)

5. 1 概 要

폴리에틸렌은 값이 싼 것에 비해 전기의 특성과 기계적 특성이 좋고 경량이며 저온에서도 유연성이 좋고 습기, 화학약품, OZONE 등에 대한 강한 내력 등으로 인하여 오랫동안 Cable의 絶緣材料로서 널리 사용되어 왔으나軟化點이 105~115°C로 낮고 表面衝擊에 쉽게 갈라지는 등의 缺點을 갖고 있었다. XLPE는 이 缺點을 補完한 것으로 폴리에틸렌

의 重合체를 서로 連結시켜 立体網狀 構造로 만들어 폴리에틸렌의 優秀한 電氣의 特性은 그대로 維持하며 耐熱特性을 向上시킨 것이다. XLPE의 基本 材料로는 저밀도 폴리에틸렌 (LDPE)을 사용한 다. 架橋란 이 폴리에틸렌 重合체를 分子의 形式로 連結시키는 것을 말한다.

5. 2 架橋方法

가. 照射架橋 (物理的인 方法)

押出 被覆된 폴리에틸렌 絶緣체에 高速의 電子를 照射시켜 폴리에틸렌 重合체를 架橋시키는 方法으

로 照射 깊이에 制限이 있고 製造 價格이 비싸 주 로 絶緣두께가 얇고 特殊한 目的의 것에만 使用된 다.

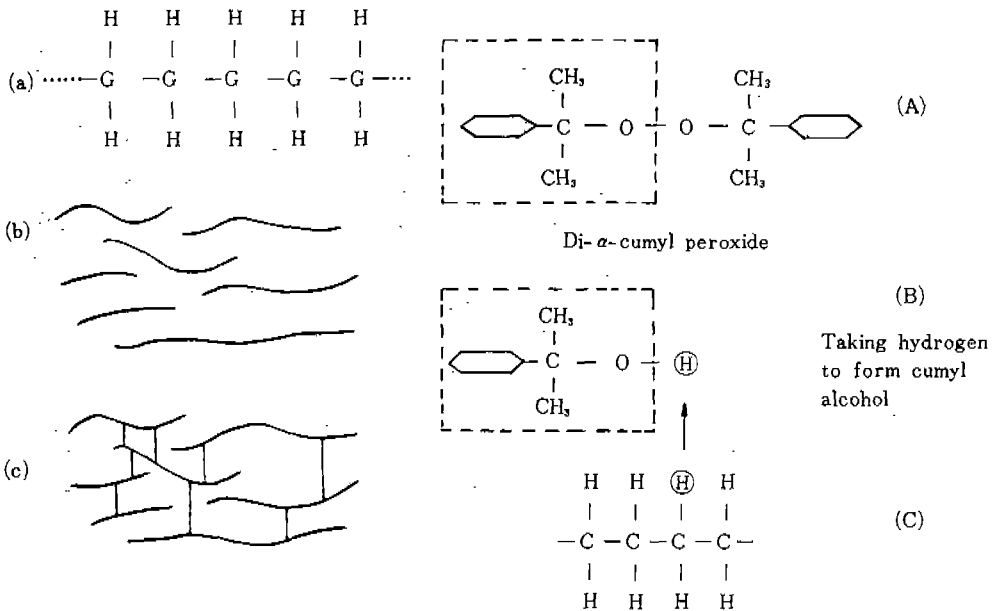
나. 有機過酸化物과 熱에 依한 架橋(化學的인 方法)

低密度 폴리에틸렌과 有機過酸化物인 D. C. P (Di-Cumyl-Peroxide)를 配合하여, 押出被覆한 後 加熱 加壓하여 폴리에틸렌을 架橋시키는 方法으로 現在 의 CV Cable 製造 方法은 主로 이 方法이다. 폴리 에틸렌이 架橋되는 過程을 段階的으로 說明하면 그림 4에 나타난 바와 같이 먼저 (A)의 分子 構造圖 에서와 같이 D. C. P가 架橋管에서 150°C 以上의 熱 에 의해 點線內의 獨立的 構造로 分解되고 폴리에 틸렌 分子로부터 水素原子 1個를 빼앗아 (B)와 같

이 Cumyl Alcohol 이 된다. 폴리에틸렌 重合체는 水素原子를 빼앗긴 炭素原子끼리 서로 結合하여 (C) 와 같은 網狀構造로 된다. 이것을 架橋反應 이라고 한다. Cumyl Alcohol은 다시 아세토페논 (Acetophenou)과 메탄gas(CH₄)로 分解되며 이것을 架橋殘渣 라고 부른다. 이 架橋殘渣는 架橋중에 絶緣体에 가 해지는 壓力에 의해 絶緣体 内部에서 外部로 放出 된다.

다. Silane과 물에 依한 架橋(化學的 方法)

Dow Corning社에 의해 開發된 方法으로 Silane 酸化防止劑, 過酸化物 等の 添加劑를 폴리에틸렌과 配合하여 押出被覆한 後, 뜨거운 물이나 Steam 속 에 넣어 架橋시키는 方法으로 低壓 Cable에 主로 使用되고 있다.



Molecules of polyethylene

〈그림-4〉

5. 3 XLPE의 特性

가. 耐熱特性

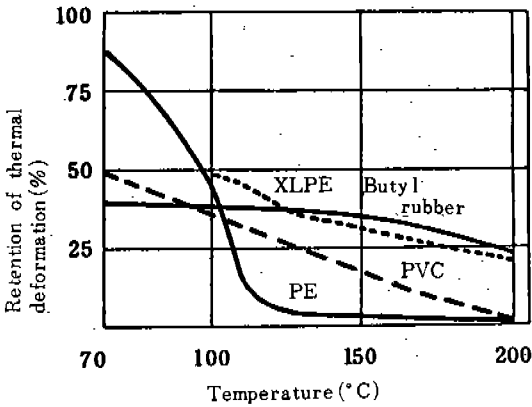
架橋된 폴리에틸렌은 本來의 폴리에틸렌에 비해 高溫에서의 特性이 대단히 좋다. 그림 5를 보면 120°C에서 熱變形維持率이 原來의 폴리에틸렌보다 8배 程度 높음을 알 수 있다. 이와같은 耐熱特性으로 因 하여 Cable에 있어서 常時 最高許容溫度는 90°C,

短時間 最高許容溫度는 250°C나 된다. 또한 -40°C에서도 좋은 屈曲性을 維持하기 때문에 이 점들이 他 Cable에 비해 優秀한 特性中的 하나라 할 수 있다.

나. 機械的 特性

耐龜裂性, 耐摩耗性이 架橋에 依해 顯著히 增加한다. 또한 輕量이며 引張強度가 높고 伸率이 좋다.

다. 電氣的 特性



〈그림-5〉 Thermal deformation properties of various insulating materials

架橋에 의해優秀한 폴리에틸렌의 電氣의 特性은 變化하지 않으므로 耐電壓 特性이 좋으며 誘電率 및 誘電正接(tanδ)이 他 絶緣材料에 比해 적어 靜電容量 및 誘電體 損失이 적다.

라. 化學的 特性

酸性, 알칼리성 및 Oil에 對한 低抗力이 폴리에틸렌보다 크다.

마. 環境汚染問題

PVC의 境遇는 燃燒時 有害Gas를 發生시키고, OF Cable의 境遇는 漏油時에 環境汚染이 深刻한 問題가 될 수 있다. 그러나 XLPE Cable의 境遇는 漏油의 念慮가 없을 뿐 아니라 燃燒時에도 二酸化炭素 및 水만 生成되므로 周邊環境을 해치지 않는다.

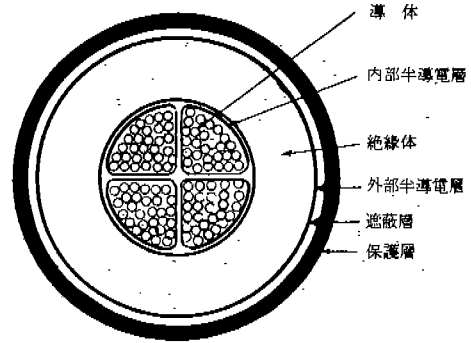
6. 154KV CV Cable의 構造

6. 1 構造

CV Cable의 一般의 構造는 導體, 絶緣體, 外部保護層의 3段階로 大別되고 있으며 OF Cable의 構造에 比해 簡單한 構造로 되어 있어 接續作業이 容易한 長點이 있다.

外部保護層中 遮蔽層은 보통 Wire Shield型과 Corrugated Al. Sheath型으로 大別되는데 抵抗 또는 P.C 接地系統에서는 大개 Wire Shield型을 많이 使用하고 있으나, 直接 接地系統에서는 故障電流가 대단히 크므로 이 故障電流를 容易하게 吸收할 目的으로 Al. Sheath를 使用하기도 한다. CV

Cable 斷面構造 및 實物은 그림6 및 그림7과 같으며 CAZV(Corrugated Al. Sheath), CV(Wire Shield)의 各 細部 構造表를 表3A, 表3B에 나타내었다. 표3A, 표3B



〈그림-6〉 CV Cable의 構造



〈그림-7〉 154kV Cross-Linked Polyethylene Insulated Power Cable

6. 1 Cable의 設計

가. 絶緣體의 設計

絶緣두께는 다음 ①, ②式 중 두꺼운 쪽을 選擇하여 決定한다.

- 衝擊電壓에 對한 設計

$$t = \frac{BIL \times K_1 \times K_2 \times K_3}{G_{mean}} \dots \dots \dots ①$$

- 交流 使用電壓에 對한 設計

$$t = \frac{1.15/1.1 \times E/\sqrt{3} \times K_1 \times K_2 \times K_3}{G_{mean}} \dots \dots \dots ②$$

各 係數 및 G mean의 값은 日本電氣學會 特高 架橋 폴리에틸렌 Cable 高電壓 試驗法 專門委員會에서 推薦한 값을 引用하였으며 표4와 같다.

〈표-3A〉 154 KV CAZV (Corrugated Al. Sheath型) 構造表

| 導 体 | 公稱斷面積 (mm ²) | 200 | 400 | 600 | 800 | 1,000 | 1,200 | 1,400 | 1,600 | 1,800 | 2,000 | |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 形 狀 | 壓縮圓形 | | | 分 割 壓 縮 | | | | | | | |
| | 外 徑 (mm) | 17.0 | 24.1 | 29.5 | 34.0 | 38.0 | 41.7 | 45.0 | 48.2 | 51.0 | 53.8 | |
| 內部半導電層 두께 (약 mm) | | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | |
| 絕緣體 두께 (mm) | | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | |
| 絕緣體 外徑 (mm) | | 67.0 | 74.1 | 79.5 | 84.0 | 88.0 | 91.7 | 95.0 | 98.2 | 101.0 | 103.8 | |
| 押出外導層 두께 (약 mm) | | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Tape 外導層 두께 (약 mm) | | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | |
| Al 被 두께 (mm) | | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | |
| 防 食 層 (mm) | | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | |
| 防 食 層 外徑 (mm) | | 98 | 106 | 111 | 117 | 121 | 124 | 128 | 132 | 135 | 139 | |
| 概 算 重 量 (약 kg/km) | | 9,500 | 12,800 | 15,300 | 17,800 | 20,000 | 22,300 | 24,900 | 26,900 | 29,700 | 32,100 | |

註：直接接地 系統에서 使用함

〈표-3B〉 154KV CV (Wire Shield型) Cable의 構造表

| 導 体 | 公稱斷面積 (mm ²) | 200 | 400 | 600 | 800 | 1,000 | 1,200 | 1,400 | 1,600 | 1,800 | 2,000 | |
|------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 形 狀 | 壓縮圓形 | | | 分 割 壓 縮 | | | | | | | |
| | 外 徑 (mm) | 17.0 | 24.1 | 29.5 | 34.0 | 38.0 | 41.7 | 45.0 | 48.2 | 51.0 | 53.8 | |
| 內部半導電層 두께 (約 mm) | | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | |
| 絕緣體 두께 (mm) | | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | |
| 絕緣體 外徑 (mm) | | 67.0 | 74.1 | 79.5 | 84.0 | 88.0 | 91.7 | 95.0 | 98.2 | 101.0 | 103.8 | |
| 外部半導電層 두께 (約 mm) | | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| 遮蔽層 | 軟銅線 (約 mmφ × 本) | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | 1.2×80 | |
| | 銅條 (約 mm 두께 × 約 mm 폭) | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | 0.4×10 | |
| Binding Tape 두께 (約 mm) | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| 쉬 이 즈 두께 (mm) | | 4.5 | 4.5 | 5.0 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 6.0 | 6.0 | |
| 쉬 이 즈 外徑 (mm) | | 82.8 | 89.9 | 96.3 | 100.8 | 105.8 | 109.5 | 112.8 | 116.0 | 119.8 | 122.6 | |
| 概 算 重 量 (約 kg/km) | | 7,900 | 10,300 | 12,800 | 15,500 | 18,000 | 20,200 | 22,400 | 24,600 | 27,000 | 29,500 | |

註：抵抗接地, 非接地, 또는 P.C接地系統에서 使用함

〈표-4〉 絕緣體 設計를 爲한 各 係數 (日本 電氣學會)

| 項 目 | 衝擊電壓 | 交流使用電壓 | 備 考 |
|-------------------|------|--------|--|
| K ₁ | 1.25 | 1.1 | 溫度補正 |
| K ₂ | 1.1 | 4.0 | 劣化要因 (註：交流使用電壓 4.0은 9승의 法則에 따라 30年 保證을 위한 係數임) |
| K ₃ | 1.1 | 1.1 | 不確定要因 및 布設 餘裕임. |
| G _{mean} | 50 | 20 | 初期 最低電位傾度 (KV/mm) |
| BIL | 750 | | Basic Impulse Insulation level (KV) |
| - E | | 154 | 公稱線間電壓 |

나. 遮蔽의 設計

PVC 保護層의 溫度條件이 75°C 瞬時 最高許容 溫度 150°C 이면, 地絡時의 電流 I와 持續時間 t 및 必要斷面積 S와의 關係式은 아래와 같다.

- 銅線 遮蔽인 境遇

$$S = \frac{I}{110} \sqrt{t}$$

地絡電流 및 持續時間의 條件으로부터 必要 斷面積을 구하며 線徑은 Offset 部에서의 Heat Cycle을 考慮하여 1.2mmφ로 하였다.

- Al-Sheath인 境遇

$$S = \frac{I}{72} \sqrt{t}$$

이 境遇는 一般의으로 機械的 強度를 考慮하여 定

한 두께로도 必要斷面積을 넘고 있다.

다. PVC Sheath의 두께

다음 式에 의해 구하며 0,5mm 單位로 끊어서 計算한다.

$$t = \frac{D}{25} + 1.3 \quad \left(\begin{array}{l} t : \text{Sheath 두께} \\ D : \text{Sheath 下徑} \end{array} \right)$$

7. 今後 CV Cable의 發展

앞에서 說明한 것과 같이 各國에서는 CV Cable의 超高壓에 對하여 많은 研究를 하고 있으며 一部는 實證 試驗中에 있으며 멀지않아 500KV CV Cable이 實用化 될 것이 豫想된다. *

* 2 分講座 *

〈原子力의 수수께끼〉 ⑬

核分裂을 자유롭게 操作할 수 있을까?

一定出力으로 運轉되고 있는 原子爐는 中性子의 實効 増倍率을 1로 維持한다. 그러나 起動과 停止에 있어서는 1보다 크게 하거나 적게 하여 變化시킬 必要가 있다.

또 發電과 船舶用의 原子爐는 出力變動에 追隨하지 않으면 안된다. 그 때문에 原子爐의 反應度가 制御된다.

一般의으로는 熱中性子를 吸收하기 쉬운 硼素나 銀, 인듐, 카드뮴승금等을 스텐레스鋼管에 密封하여 爐心內에서 上下로 移動시킨다. 이같은 것을 制御棒이라고 하며, 通常 制御棒 驅動機構라는 뜻으로 出入되고 있는데 原子爐를 緊急히 中止시키고자 할 때는 自重等에 의해 신속히 制御棒을 爐心에 挿入한다. 이로써 原子爐는 急停止하게되나 이를 스크림이라고 한다.

制御棒은 安全上 重要하기 때문에 만약 어떠한 故障으로 1個가 爐心에 들어가지 않을 경우에도 原子爐를 停止시킬 수 있는 여유를 갖게 했으며, 또 급히 빠지는 일이 없도록 되어있다.

例로 加壓水型 原子爐는 冷却水中에 硼素를 넣어 그 濃度を 制御하며 冷却材의 溫度變化, 核分裂에 의해 생긴 키세논, 서머륨等에 의한 中性子의 吸收, 燃料의 燃燒等에 의한 比較的 여유있는 反應度 變化를 制御한다.

또 버어너블·포이즌이라고 불리는 硼素의 化合物 例로 硼硅酸유리, 炭化硼素等을 燃料棒과 같이 被覆管에 넣어 爐心에 넓게 分布시켜 爐心의 出力分布의 平坦化, 冷却水中의 硼素濃度 低下등의 役割을 하게한다.

燃料의 燃燒가 進行되면 키세논等이 增加하나 버어너블·포이즌도 損耗하게 되므로 적당한 運轉制御를 할 수 있게 된다.

硼素는 (n, α)反應의 큰 吸收斷面積을 가지며, 감마線을 내지않고도 中性子를 吸收하므로 遮蔽의 問題上 有利하다.

核分裂에 있어 放出되는 高速中性子 가운데 99% 이상은 即發中性子라고 하여 分裂이 일어난후 2百兆分の 1秒 정도의 극히 短時間에 放出되므로, 制御할 수가 있는지는 매우 念慮된다. 그러나 나머지의 中性子는 核分裂에 의해 생긴 沃素와 臭素의 β崩壞가 關係되고 있어 各各 約 30秒와 約 80秒 後에 나온다.

이와같은 中性子를 遲發中性子라고 부르나 이것이 原子爐의 制御를 쉽게 하고 있다. 이외에도 原子爐는 核反應이 너무 進行되어 燃料나 冷却材의 溫度가 올라가면 그것만으로 反應이 中止되는 方向으로 作用 하도록 되어있기 때문에 安全하다.

實際의 原子爐 運轉에 있어서는 爐內의 中性子, 溫度 壓力 其他의 諸量을 計測하면서 多重의 安全回路로서 自動制御되고 있다.

特殊한 制御法에는 減速材의 重水와 輕水의 混合比를 變化시키는 方法(벨기에의 Vulcan), 反射體를 움직여서 달아나는 中性子의 量을 加減하는 方法(美國의 宇宙用 原子爐 SNAP-10A) 등이 있다.