

현장엔지니어시리즈 2

# 전력 케이블의 대용량화

역/대한전기기사협회

## 머 리 말

화석연료 자원의 고갈과 폭등 이후, 저장하기 쉽고 안정된 입수가 가능한 우라늄을 원료로 하는 원자력 발전이 세계적으로 증가하고 있으며, 이 경향은 계속될 것으로 생각된다.

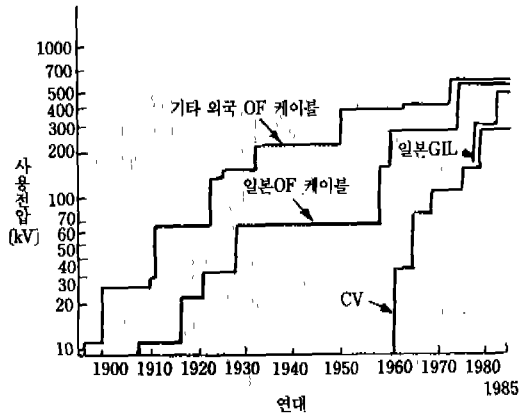
원자력 발전의 경우 발전 비용 저감에 비해 스케일 메리트의 효과가 크고 1기당 발전량도 1,000MW로 부터 2,000MW에 이르고 있다.

한편, 전력 소비지도 대도시와 대공업 단지에 집중하는 일이 많고 이러한 집중 대발전, 집중 대소비의 경향도 선진 각국의 큰 특징이다.

이와 같은 경우에는 건설 비용, 송전 로스도 포함해서 여하히 신뢰성이 높고 또한 경제적인 대용량 송전을 하는가가 사회적인 문제가 되고 있고 근래 여러가지 대용량화를 향한 기술적 검토가 이루어지고 있으며 또한 실용되기 시작하였다.

송전 용량을 증가시키면 송전 손실이 거의 그것에 2승에 비례해서 증대하므로 대용량화로의 길은 저손실화로의 길이기도 하였다.

대용량화는 고전압화와 대전류화에 의해 달성되지만 그 중에서도 계통 전체로서의 고전압화는 대용량화로의 기술의 큰 자리를 차지하는 것이다. <그림 1>은 외국의 중요한 전력 케이블의 고전압화 추이를 나타낸 것이다. 어느 전력 케이블의 경우나 이 10년간에 급속히 고전압화 하고 있으며, 대용량화로의 기술진보가 격심했던 것을 나타내고 있다.



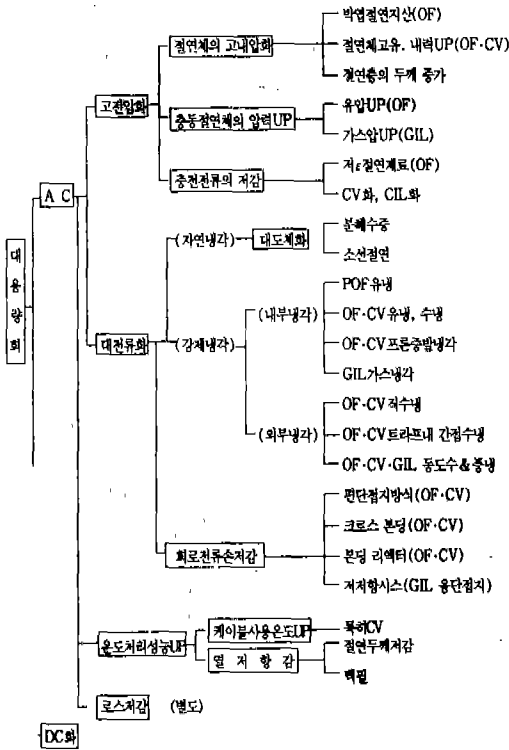
<그림 1> 전력케이블의 고전압화 추이

## 1. 대용량화를 향한 기술 및 방법

여기서 언급하는 케이블로서는 OF(Oil Filled Self-contained Cable ;유침 절연 케이블), CV (Cross-Linked Polyth-lene Insulated PVC Jacketed cable ;가교 폴리에틸렌 케이블), GIL(Gass Insulate Transmission Line ;관로 기중 케이블)을 중심으로 한다.

대용량화를 실현하는 기술과 방법을 종합해 보면 대략 <그림 2>와 같다.

이하, 케이블의 소개도 겸하면서 대표적인 AC 송전의 예를 들어 보기로 한다.



<그림 2> 전력케이블 대용량화 기술방법

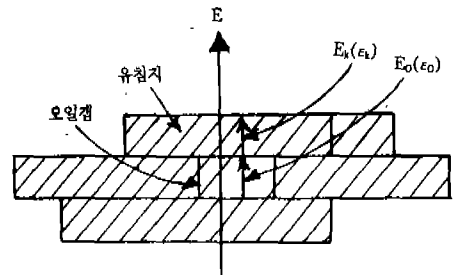
(1) 고전압화

전력 케이블을 고전압화하려면 일과성 뇌 임펄스에 충분히 견디고 또한 인가되는 상용 주파의 전압(AC)에 대해서도 장기간 사용에 따라 열화하지 않도록 하여야 한다.

(a) OF 케이블

도체의 주위에 얇은(예를 들면 100 $\mu$ m) 절연지를 수 백매 돌려 감고 절연유를 함침시켜 만들어지는 OF 케이블은 절연체의 “막힘 정도”로 보더라도 유침지가 오일 갭의 절연유 보다 절연내력이 크다. 따라서 뇌 임펄스에 대해서는 절연유 그 자체의 절연내력은 거의 기대하지 않고 유침지의 임펄스 강도를 높이도록 연구하게 된다<그림 3>.

절연 내력은 “물질의 막힘 정도”(유침지의 경우는



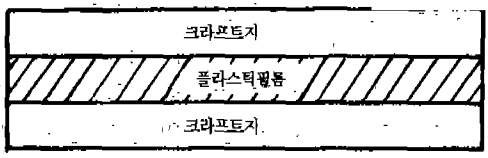
<그림 3> OF절연의 기본구성

기밀도)에 거의 비례하므로 고 기밀도의 크라프트지가 개발 됐지만 케이블 상태에서 대략 80~100kV/mm의 스트레스가 한계가 되고 있다.

따라서 1950~60년에 걸쳐 기밀도가 가장 높은(무한대로 통기성이 없는) 플라스틱 필름(PC, PP, PPO 등)이 연구됐지만 오일 갭이 있는 필름속에 (+) 임펄스를 가하면 극단적으로 내압이 떨어지는 “극성효과”와 필름이 좀 두꺼워지면 내압이 내려가는 “두께효과”등으로 실현되지 못하였다.

1970년에는 플라스틱을 사용한 합성지가 연구됐지만 크라프트지 이상의 임펄스 특성을 낼 수가 없고 또한 기계특성도 좋지 않았다. 그래서 크라프트지의 장점과 필름의 장점을 잘 조합하려고 시도하여 <그림 4>와 같은 플라스틱 필름과 크라프트지가 복합된 반합성지(라미네이트지라고도 한다)가 개발되었다.

플라스틱으로는 폴리프로필렌(PP)이 가장 많이 사용되며, 이 밖에 폴리에틸렌, 불화 에틸렌프로필렌 등도 사용되고 있다. 반합성지를 사용한 경우는 임펄스 강도를 종래의 크라프트지와 비교하여 20~40% 증가시키는데 성공하였다.



<그림 4> 양합성지

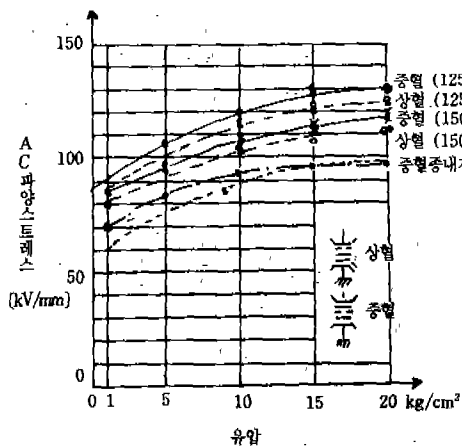
한편 상용주파전압(AC)은 <그림 3>의 내압적으로 약한 오일 갭에 가해지는 AC 스트레스로 유중 코로나 방전이 생기고 오일의 절연파괴가 원인이 되어 유침지가 파괴되는 것을 방지하지 않으면 안된다.

그 한가지 방법은 크라프트지의 유전율( $\epsilon_R$ )가  $\approx 3.2$ , 절연유와 플라스틱 필름의 유전율( $\epsilon_0$ 와  $\epsilon_P$ )이  $\approx 2.2$ , 그러므로 <그림 3>에서 AC 스트레스가 가장 심한 도체 직상부의 절연지와 오일 갭 조합부의 평균적인 전계 강도를 E라고 하고 절연지(반합성지를  $\epsilon_h$ 라고 하면  $\epsilon_h \approx 2.8$ )와 절연유의 분담 전계 강도를 각각  $E_K$ ,  $E_h$ ,  $E_0$ 라고 하면 크라프트지를 반합성지로 바꾸는 것으로 인한 오일 갭의 전계(스트레스) 분담률은 전속밀도 일정의 법칙( $D = \epsilon_K E_K = \epsilon_0 E_0 = E_0 / E_K = \epsilon_K \epsilon_0$ )에 의해

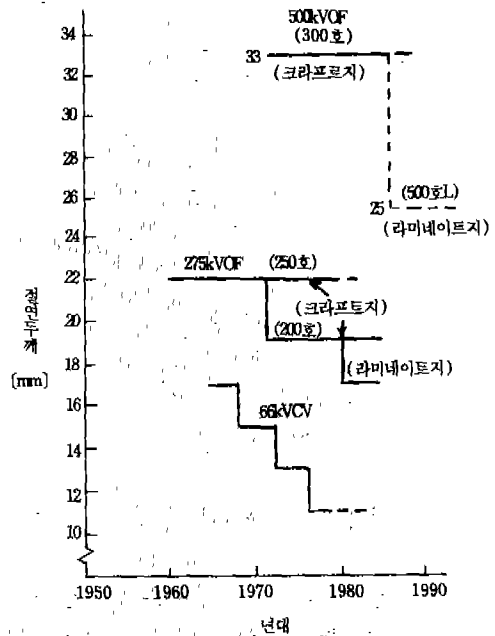
$$\frac{E_0/E_P}{E_0/E_K} = \frac{\epsilon_h/\epsilon_0}{\epsilon_K/\epsilon_0} = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_K} = \frac{2.8}{3.4} \approx 0.8$$

그러므로 적어도 거의 80%로 완화된다. 반대로 말하면 반합성지를 사용하면 AC적으로 적어도 20% 이상 내압을 올릴 수가 있게 된다.

한편 <그림 5>의 반합성지(플라스틱 필름이 PP인 명칭 PPLP)와 크라프트지의 AC 파괴치 유압특성의 예로 알 수 있듯이 유압을 높임으로써 오일 갭의 내압을 많이 높일 수 있는 것과 전술한 바



<그림 5> PPLP의 AC 파괴치 유압특성(상온)



<그림 6> 전력 케이블의 절연두께감소추이

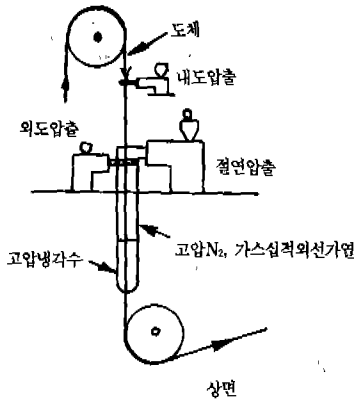
와 같이 반합성지가 크라프트지 보다 대략 20~30% 내압이 높다는 것이 실증되고 있다.

이상과 같이 OF 케이블은 <그림 6>에서 보듯이 반합성지의 채택으로 눈부신 절연 두께의 절감효과를 나타내면서 고전압화하여 왔다.

1988년에 완성한 일본 본주~사국 연계 500kV 케이블 장거리 선로(교량첨가부 10km 포함)에 이 합성지를 사용하여 불과 25mm로 저감된 절연 두께의 OF 케이블을 일본의 기술개발품으로서 세계에 앞서 채택코자 실증 실험을 한 바 있다. 1000kV급 케이블의 경우에는 반합성지를 채택하여 고유압화함으로써 실현 가능할 것으로 본다.

(b) CV 케이블

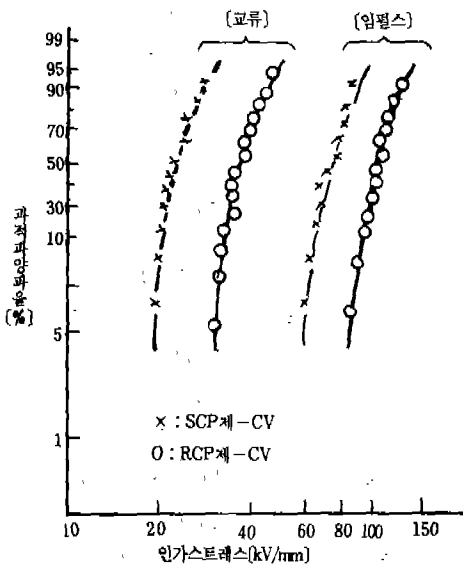
CV 케이블은 절연층이 가교 폴리에틸렌(PE)의 고체 케이블이므로 내부에 결함이 존재하지 않으면 본질적으로는 고절연 내력의 케이블이다. 그러나 예컨대 보이드 등이 잔존하면 OF 케이블과 같이 절연 유로 보이드가 충전되는 일이 없기 때문에 확률적으



<그림 7> CV케이블의 제조설비

로 그리고 시간의 경과와 더불어 내압이 저하하게 된다.

따라서 오손 및 이물이 없는 순도가 높은 재료를 사용하고 용융압출기의 압출구에 예를 들면 400~500 메쉬와 같은 눈이 가는 필터를 사용하여 우선 이물 혼입을 방지하며, 내열 특성 및 내전압 특성을



<그림 8> SCP(증기가교)와 RCP(적외선가교)의 파양전압의 비교

높이기 위해 PE 분자쇄간을 옆으로 가교하기 위한 가열도 종래의 수증기법으로는 PE내의 수증기에 의한 마이크로보이드가 가능하므로 <그림 7>과 같이 적외선 등에 의한 건식 가교방식을 채용하도록 하여 <그림 8>과 같이 확률적으로 높은 절연내력을 신뢰성 있게 얻도록 하고 있다. 그 결과, 초고압 선로에 CV 케이블을 채택할 수 있게 되었다.

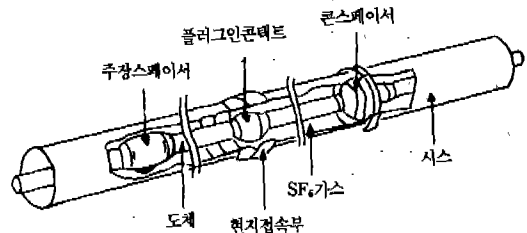
(c) 관로기중송전선(GIL)

<그림 9>의 구조를 보면 알 수 있듯이 알루미늄 도체를 동심원상으로 스페이서로 지지하고 그 사이를 3~5kg/cm<sup>2</sup> G의 가스로 절연한 전력 케이블로서, 그 구조상 본질적으로 고전압 대용량형 케이블이다.

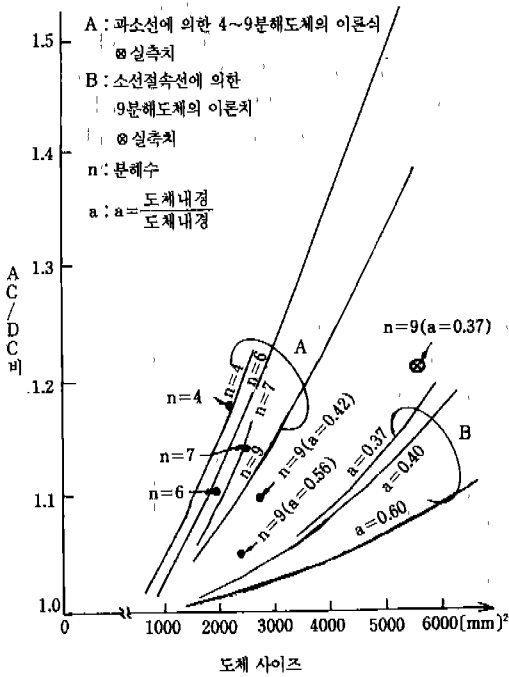
일본에서 개발된 콤팩트형 GIL은 550kV, 8kA (대략 7000kVA)의 초대용량 케이블로서, 내부의 도체에 상당하는 알루미늄 파이프는 외경 180mm $\theta$ , 두께 20mm이고 단면 사이즈도 10050mm<sup>2</sup>에 상당한다. 따라서 가공선에 직결시켜 사용할 수 있고 기술적으로는 1000kV급 송전에 대응할 수 있다.

근래의 기술 진보로서는 가스압을 5kg/cm<sup>2</sup>G로 상승시키고 도체를 지지하는 스페이서의 개량으로 종래의 설계 케이블 시스 내경 700mm $\theta$ 를 480mm $\theta$ 로 콤팩트화하였으며 최고 사용온도의 90 $^{\circ}$ C에서 15 $^{\circ}$ C 증가시켜 105 $^{\circ}$ C로 한 것 등을 들 수 있다.

SF<sub>6</sub> 가스의 손실이 없는 것과 오도 1.0과 같이 작고 교류 과전하는 것에 의한 충전전류도 유전체에서의 로스도 전부 무시할 수 있어 이러한 면으로도



<그림 9> 관로기중송전선의 기본구조



<그림 10> 다분할도체와 소선절연도체의 AC/DC비 (표피효과계수)

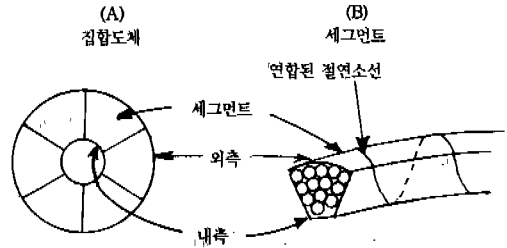
GIL은 초고압 대용량에 적합한 전력 케이블로서 앞으로의 대용량 송전에 있어 하나의 주요 기술이 될 것으로 생각된다. 일본에서는 이미 8년전에 550kV 콤팩트형 GIL이 상용 선로로 도입되었다.

(2) 대전류화

대전류화 하려면 초전도를 이용하지 않는한 도체를 큰 사이즈화로 하여야 하는데, 큰 사이즈로 하면 필연적으로 표피효과가 커지며 결과적으로 대용량화를 저해하게 된다.

이에 대한 대책의 하나로 도체를 다분할하여 각각의 세그먼트를 절연하고 실질적으로 소도체의 병렬 사용상태로 하는 이른바 "다분할 도체"법과 개개의 소선을 에나멜이나 산화 피막으로 절연하는 이른바 "소선 절연도체"를 채택하는 방법의 두가지가 있다.

소선 절연도체의 표피효과 감소는 <그림 11>에서 명확해지듯이 집합도체(A)를 구성하는 분해 세



<그림 11> 소선절연도체의 효과 설명

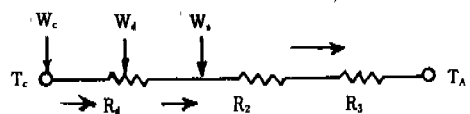
그먼트(B)의 소선이 한선 한선 절연되어 있고 세그먼트 내의 소선의 연합효과로 최외층의 소선이 1피치 내에서 반드시 집합도체(A) 내측으로 돌아서 들어가게 되므로 집합도체(A) 외측으로 간 전자도 반드시(A)의 내측으로 강제적으로 되돌려져 전자가 도체(A) 외주에 편재해서 흐르는 것을 저지함으로써 가능해진다.

소선 절연도체 개발중에 알게된 이른바 실험에 의해 구해진 값이 대비되어 표시되어 있는 것이 <그림 11>이다. 다분할 도체의 효과도 소선 절연도체의 효과도 2000mm² 정도부터 커지고 있는 것을 알 수 있다. 다분할 도체에 대해서는 7분할 도체가 275kV1×2500mm² OFAZV에, 그리고 소선 절연도체는 275kV3×2500mm²의 POF 케이블에 채택되어 모두 효과를 올리고 있다.

2. 저손실화를 지향한 기술

(1) 저손실화와 대용량화

케이블의 도체 및 주위 온도를 각각  $T_c$ ,  $T_A$ 라고 하고 도체, 유전체, 금속 시드에 발생하는 손실을  $W_c$ ,  $W_e$ ,  $W_s$ 라고 하면 <그림 12>과 같은 열등가식이 유도된다. 케이블의 최대 허용전류를 결정하는



<그림 12> 케이블의 단면방향 열등가식

최고온도  $T_c$ 는 일정하므로 각 발생 로스가 조금이라도 커지면 그에 따라  $W_c=i^2r$ 의 허용전류  $i$ 를 낮추지 않으면 안되게 된다. 따라서 각 로스는 대용량화를 위해서도 또 에너지 절약의 관점에서도 작게 하여 나가야 한다.

(2) 발생 로스의 종류와 대책 및 과제

케이블에 발생하는 각종 로스와 대책 및 금후의 과제는 <표1>과 같다. 이 중에서 도체 로스에 대해서는 이미 언급하였으므로 로스에 대해서 설명하기로 한다.

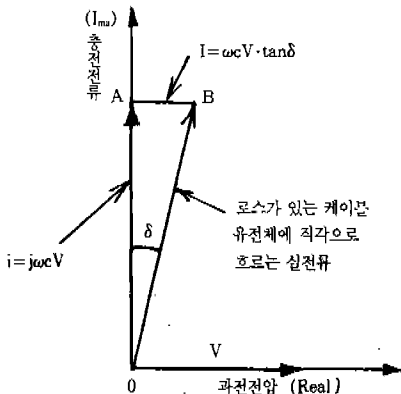
(3) 유전체 로스

CV 케이블 및 GIL은 유전체 로스가 대단히 작으므로 OF 케이블에 대해서만 언급하기로 한다.

OF 케이블은 이중 원통의 양호한 캐퍼시원스이다. 케이블 단위 길이당의 정점용량 C는 유전체(절연체) 내, 외 지름을  $d, D$ 라고 하고 유전율을  $\epsilon$ 라고 하면 다음 식으로 표시된다.

$$C=A' \frac{\epsilon}{\pi \frac{D}{d}} = A' \epsilon (A'), A \text{는 정수} \dots\dots\dots(1)$$

따라서 유전체손( $W_d$ )은 케이블 내를 흐르는 전류중 도체~금속 시드 간의 과전전압(V)과 동 벡터 분전류(I라고 한다)의 적으로 구하여진다.



<그림 13> 유전체로스의 설명

<표 1> 케이블의 각종로스와 대책과 금후의 과제

종류	내 용	현재까지의 대책	연구중 또는 금후의 과제
도체 로스 ( $W_c$ )	• 동전전류에 의한 줄 로스( $i^2r$ 에 비례) • (합표과효과)	• 다분해화(9분해) • 동압향고기 • 소선절연(산화피로or 에나맹)	• 7~9 또는 그 이상의 분해 • 소선절연의 보급 • 총절연 • 도체내경대화 • 크라이오제닉(합초진도)
유전체 로스 ( $W_d$ )	• 유전체내를 흐르는 충전전류의 실수성분에 의해 발생하는 열 로스( $\epsilon \cdot \tan \delta \cdot V^2$ 에 비례)	• 반합성지(플라스틱 필름과 크라프트지의 복합절연지) 채택(OF) • 불순물이 적은 PE 사용(CV) • 가스 절연방식 채택(GIL)	• 전플라스틱 필름절연체의 개발 • 합성절연지의 개발 • 상동+가스절연의 GF케이블의 개발
금속 시드 로스	• 회로전류로스	• 크로스 본드 채택 • 본딩 리액터 채택	• 공동점지선과 단편점지방식의 채용 검토
( $W_d$ )	• 와전류로스	• 케이블 상간을 이격 • 고저항 금속 시드	• 시스인티티터 • 고저항 알루미늄 시드 • 스텐레스 시드

<그림 13>과 같이 실 전류와 충전 전류간의 각도( $\delta$ )(이것을 손실각, Loss Angle 또는 Dissipation Factor 그냥  $\tan \delta$ 라고 한다), 삼각형 OAB는 각 A를 직각으로 하는 직각 삼각형으로

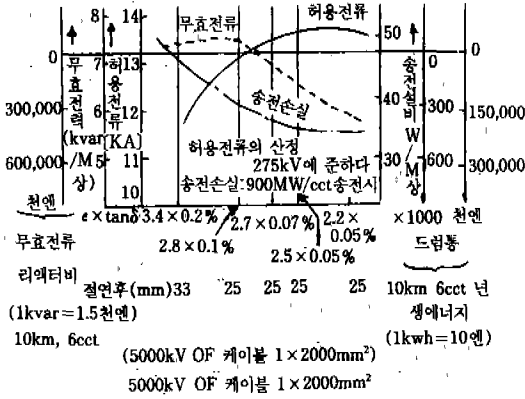
$$W_d = V \times I \times \tan \delta = (j\omega CV) \times V \times \tan \delta = \omega C \tan \delta \cdot V^2 \dots\dots\dots(2)$$

이 되고 결국 (1)과 (2)에 의해

$$W_d = A' \epsilon \cdot \omega \cdot \tan \delta \cdot V^2 = A \times (\epsilon \cdot \tan \delta) \times V^2 (A \text{는 정수}) \dots\dots(3)$$

이 된다. 유전체 로스  $W_d$ 는  $(\epsilon \cdot \tan \delta)$ 에 비례하고  $V^2$ 에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 고전압화하여 <그림 13>의  $R_2, R_3$ 가 커질 수록(예컨대 케이블을 직접 매설하여 대지의 열 방산저항이 큰 경우)  $\epsilon \cdot \tan \delta$ 를 작게 하여야 한다.

<그림 14>는 500kV급 OF 케이블의  $\epsilon \cdot \tan \delta$ 의 저감효과를 나타낸 것으로서,  $3.4 \times 0.2\%$ (절연 두께 33mm)가 종래의 크라프트지 케이블의 경우 2.7%



<그림 14>  $\tan\delta$ 와 허용전류·송전손실·무효전력의 관계

0.07%(절연 두께 25mm)가 일본에서 개발된 반합성지를 사용한 경우이다.

허용전류의 많은 증대, 무효전류 증가의 억제 성공, 송전 손실의 대폭적인 개선(10km·6cct로 1년 간에 석유 드림통 40,000개의 에너지 절약 상당)등과 같은 효과가 있었던 것을 나타내고 있다.

또한 유전체 로스는 과전전압에 의해 생기므로 부하(동전)전류 영의 충전하면서 송전 대시상태에서 생기는 것에 특색이 있다.

#### (4) 금속 시드 로스

금속 시드 로스는 각 상의 도체와 금속 시드 간의 상호 인덕턴스에 의해 시드 로스에 유기되는 시드 전류에 관계하므로 케이블에 금속 시드가 있고 또한 도체에 부하전류가 흐르고 있을 때만 그 대소에 비례해서 생긴다.

금속 시드 로스에는 시드의 어느 구간이 접지 등을 통해서 회로를 형성하고 이 회로가 만드는 폐 루프 내의 자속 변화로 회로에 전류가 흘러 줄 열( $i^2R$ )을 발생하여 생기는 이른바 “회로손”과 금속 시드 내부에서 자속이 변화할 때 전류의 회전이 존재하여 역시 줄 열을 발생하여 생기는 이른바 “와전류손”이 있다.

이것은 모두 줄 열손이 되므로 금속 시드의 저항

를  $\rho$ 에 관계하며 예를 들면  $\rho \rightarrow 0$ 이면 전류가 증가하여도 로스는 0이 되고,  $\rho \rightarrow \infty$ 면 전류가 흐르지 않고 역시 로스가 영이 된다. 따라서 유한한  $\rho$ 에 대해서는 <그림 19>에 들고 후술하는 바와 같이 로스를 최대하는 하는  $\rho$ 의 값이 존재한다.

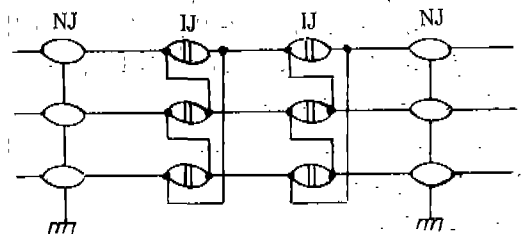
#### (a) 회로손

GIL은 부하전류가 크기 때문에 유도장해를 방지하기 위해 외부의 알루미늄 시드에 역위상으로 동일한 크기의 전류를 흘려 선로 밖의 자계도 캔슬하도록 하고 있다. 이 때문에 양단을 본드하여 다점 접지하는 이른바 소리드 본딩을 채택하고 있다.

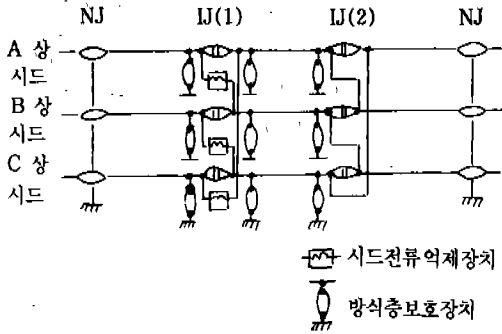
따라서 도체손과 비교하여 약 30%의 시드 회로손이 발생하고 있으므로 어떠한 검토가 요망된다. 이하, 장거리 전력선로에 많이 사용되고 있는 금속 시드(압출 가공성, 가요성 등에 의해 일반적으로 알루미늄이 채용되고 있다)가 있는 CV, OF 케이블에 대해서 기술한다.

가장 확실하게 회로손을 없애려면 조인트로 구분되는 구간마다 편단 접지를 하고 다른 끝은 조인트의 시드를 절연한 IJ(Insulation Joint)로 뜨게 하여 회로를 만들지 않게 하지만 이렇게 하면 통전류가 크고 또는 케이블의 조인트 간 구간 길이가 끝면 IJ부의 금속 시드에 큰 전류가 생겨 위험하다. 그리고 선로에 사고가 발생하였을 때 흐르는 단시간이긴 하지만 대전류의 귀로회로가 없어져 대지 귀로전류가 증가, 통신에 대한 유도 장애가 생기는 등으로 발변 전소 내의 단거리 케이블에만 채용되고 있다.

현시점에서 내외 공히 가장 일반적으로 채택되고 있는 것은 <그림 15>의 크로스 본딩 방식으로서,



<그림 15> 크로스 본딩



<그림 16> 시드전류억제장치 설치방법

접지되는 NJ(Normal Joint)에 들어간 3구간 길이가 같으면 IJ로 시드 전류를 분단하여 다른 상에 돌림으로써 벡터적으로 시드 전류를 상쇄할 수가 있어 조인트에서의 발생전압, 시스 회로손, 사고전류의 시스 귀로회로등 어느 점에 있어서도 바람직한 것이다.

각 구간 길이가 불평형일 때도 시드 전류를 억제하고 또한 사고 대전류에 대해서는 통과 능력을 갖게 하기 위해 <그림 16>과 같이 가포화 리액터(사고시의 대전류에 대해서는 포화하여 저항이 증가하지 않는다)를 넣어 크로스 본드하는 방식이 개발되어 275kV급의 OF 케이블에 채택되고 있다. 기타 가포화 리액터 접지방식, 공동접지선과 한쪽 접지방식 등 여러가지가 제안되고 있다.

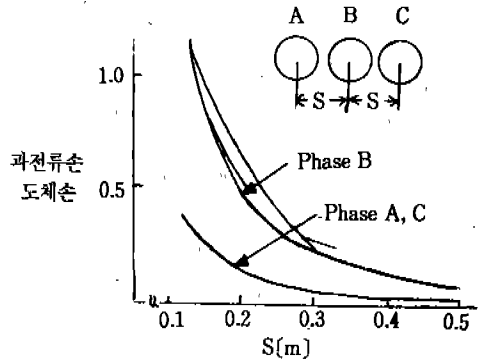
(b) 와전류손

완전류(i)는 금속 시드 내의 자속변화( $\partial\beta/\partial t$ )와 금속 시드의 도전율( $k=1/\rho$ )에 의해 다음 식으로 표시된다.

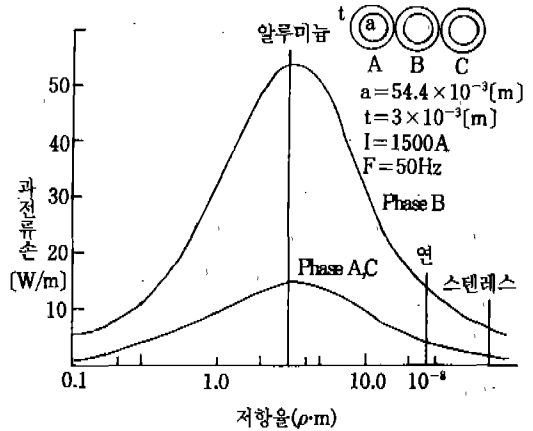
$$\text{rot } i = -k \frac{\partial \beta}{\partial t} \dots \dots \dots (4)$$

따라서 와전류손을 작게 하려면 금속 시드 내의 자속 변화량( $\partial\beta/\partial t$ )을 작게 하거나 금속 시드의 저항률( $\rho$ )을 크게 하면 된다.

전자에 대한 대책으로서는 <그림 17>과 같이 3상 케이블 간격을 이격시켜서 금속 시드 부분의 자계의 크기(거리에 반비례한다)를 작게 하고  $\partial\beta/\partial t$ 를 작게 하는 이른바 3상 이격부설방식("평적" 및



<그림 17> 케이블상간폭과 와전류손



<그림 18> 저항률( $\rho$ )과 와전류손

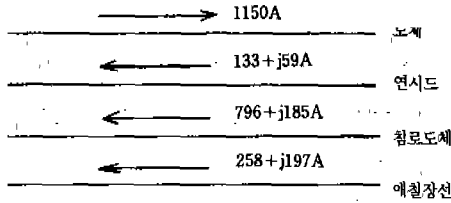
"표적"이 있다)이 가장 효과적이다. 동도 스페이스와 유도장해도 고려하여 근래에는 300~500mm의 상 간격을 갖게 한 부설이 채택되고 있다.

후자에 대한 대책으로는 <그림 18>과 같이 금속 시드의 재질을 바꾸어  $\rho$ 를 변화시키는 방법이 있다. 실제로는 현재 사용되는 알루미늄의 거의 2배 정도의  $\rho$ 를 갖는 고저항 알루미늄 시드나 거의 22배의  $\rho$ 를 갖는 용접 스텐레스 시드가 연구 개발중에 있는데, 여러가지 과제가 많아 아직 실용화되지 못하고 있다.

3. 교류해저 케이블

지금은 육상의 송전 시스템과 보조를 맞추어 해저





<그림 19> 해저케이블 전류분포

케이블도 대용량 되고 있다. 해저 케이블은 금속 시드로 납을 사용하며 금속봉에 의한 애장을 한 후에 상간을 넓혀 부설되고 이들 금속이 양단에서 접지되기 때문에 도체전류와 거의 같은 역위상 전류가 외부 금속체에 흘러 로스를 발생하므로 송전 용량의 큰 제약이 되고 있다.

이것을 해결하기 위해 철선 애장 내측에  $\rho$ 가 작은 동에 의한 커로 도체를 설치하고 있으며, 이 경우는 <그림 19>와 같이 커로전류가 분류하여 흐르는데 태반은  $\rho$ 가 작은 동에 커로 도체를 흐르므로 로스도 작고 대폭적인 대용량화, 저손실화에 성공하고 있다.

**4. 강제 냉각**

끝으로, 발생하는 로스를 강제적으로 제거하여 대용량화하는 기술에 대해서 알아 보기로 한다.

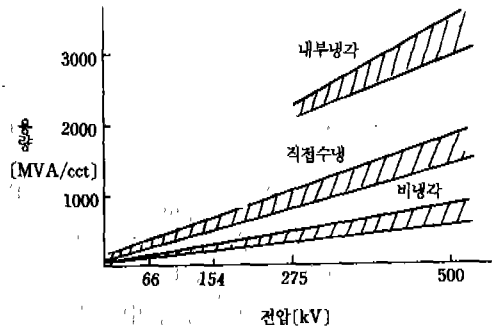
케이블에서 발생하는 열을 케이블 근방에 배치한 냉각관 등으로 뱃는 “간접 냉각” 및 케이블을 파이프 내에 부설하고 파이프에 냉매(주로 물)를 흘리는 “직접 냉각” 및 3심 케이블 코어를 금속 시드를 겸하는 강관 내에 부설하는 POF 케이블(파이프 타입 OF 케이블)의 관로내 절연유를 냉각 순환하는 방식이 현재까지 실용화되고 있으며, 다시 또 대용량화를 목표로 하여 도체의 줄 손에 의한 열을 도체 내부에서 직접 뱃는 “내부냉각” 방식이 개발 연구되고 있다.

각종 방식의 비교를 <표 2>에, 각종 방식에 의한 송전 용량을 <그림 20>에, 그리고 내부 냉각식 케이블 도체 사이즈를 증가시키지 않고 콤팩트한 상태로 대용량화하여 1루트 당의 송전용량을 비약적으로

<표 2> 전력케이블의 주요 각종강제냉각방식

냉각 방식	냉매	특징	용량 증가율	
간접냉각	동도냉각	공기	동도내 케이블을 공기로 냉각	12~13
	관로직접 냉각	물	도로 부설 케이블을 별도 부설된 수냉 파이프로 냉각	12~20
	트랩간접 냉각	물	트랩내 부설 케이블을 트랩내 수냉 파이프로 냉각	
직접냉각	관로직접 냉각	물	관로 부설 케이블 주위에 물을 흘려서 냉각	20~25
	POF유순환 냉각	기름	POF 케이블의 파이프 내 기름을 순환해서 냉각	
내부냉각	내부냉각	물	도체내에 물을 흘려 냉각	20~
	내부유냉	기름	도체내의 기름을 순환시켜 냉각	100
	증발냉각	시드	도체내의 프론을 흘려 증발 잠열을 이용해서 냉각	

(주) 내부유냉에는 분리형과 비분리형의 2종류가 있다.



<그림 20> 강제냉각에 의한 송전용량의 증대

로 증대시키고자 하는 것이 강제냉각방식으로서 에너지 절약에 반하고 또 복잡한 송전 시스템이 되는 하지만 선로의 건설 코스트나 루트 제한 등으로 장차 채택이 많아 검토될 것으로 본다.

**맺음말**

비교적 가까운 장래의 대용량 송전 시스템의 적용과 주요 검토사항에 관한 정리를 <표 3>에 소개한다.

현재까지 기술은 대형 대용량화 일로를 걸어왔다. 앞으로도 이 기술이 유지되어 발전되어 나갈 것인

<표 3> 장래의 대용량 케이블 시스템 적용에 일람표

전압	전류	적용케이블 시스템선정	주요 검토 사항
275kV	3000A급 (1350MW/oct대용)	(1) 1상2조비냉각(대사이즈채용) (2) 트랩내간접냉각(대사이즈채용)	(1) 대도체 케이블의 실용성 확정(대상 OF, CV)
	4000A급 (2000MW/oct대용) 및 그 이상	(1) 직접수냉의 케이블(대사이즈채용) (2) 내부냉각케이블 (3) 관로기중케이블	(1) 대도체 케이블의 실용성 확정 (2) 동도냉각을 포함한 총합 시스템의 검토, 확인 (3) 내부냉각케이블 실용성 검토, 확인 (특히 냉각구간장연신화등) (4) GIL의 compact화 (5) 복합냉각시스템 검토
500kV	3000A급 (3000MW/oct대용)	(1) 1상2조비냉각케이블(대사이즈채용) (2) 직접수냉의 케이블(대사이즈채용) (3) 내부냉각케이블 (4) 관로기중케이블	(1) 대도체 케이블의 실용성 확정 (2) 내부냉각케이블 실용성의 검토, 확인 (금속시드의 대구경화 검토도 포함) (3) GIL의 compact화
	4000A급 및 그 이상	(1) 내부냉각케이블 (2) 관로기중케이블	(1) 내부냉각케이블 실용성의 검토, 확인 (2) GIL의 compact화 (3) 복합냉각시스템 검토

- (주) (1) 가공선의 일부 저중화 등의 단거리 선로에 대해서는 8000~12000A급에 대해서도 관로 기중 케이블 또는 내부 냉각 케이블(예를 들면 중발식 포론 냉각)로 대응 가능하다는 검토결과가 나왔다.  
 (2) 공통 기술개발사항으로는 절연의 고 스트레스화, 시드로스 저감, 수송 길이의 증대 등을 들 수 있다.

가, 작게 분산된 소비지에서의 소발전 소소비로 이행해 나갈 것인가, 금세기말에는 선택을 하지 않을 수 없게 될 것으로 생각된다.

이 경우 본고에서는 언급하지 않았지만 잊어서는 안되는 것이 직류 발전, 직류 송전, 직류소비의 직류 시스템 전개이다. 본고에서 기술한 거의 모든 로스가 교류인 것에 기인하고 또 교류이기 때문에 유전

체가 Sin 커브적으로 밖에 이용되고 있지 않은 것을 생각하면 대용량, 에너지절약(저손실)의 송전 시스템 또는 전력 저장이 가능하고 분산발전 및 소비에 적합한 전력 시스템은 직류 시스템으로 실현될 가능성이 있음을 말하면서 이만 그친다.

<다음호에 계속...>

원고가 넘치는 관계로 「현장실무자를 위한 프로그래머블 콘트롤러(17)」은 이번호에 쉽니다.