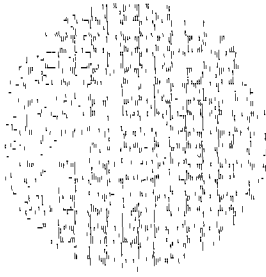


# 超高压系統에의 CV Cable 使用技術

## Application of CV Cable for Super High Voltage System



朴 暎 夏

金星電線(株) 理事

대도시에 있어서 전력수요가 증가함에 따라 새로이 송전선을 건설하여 전력을 공급하여야 하나 도심지에 있어서는 여러가지 제약이 따르게 되어 가공선으로 건설하기는 사실상 불가능하게 된다.

첫째 안전, 지역환경과의 조화 및 경제성등으로 인하여 지중화가 불가피한 경우

둘째 가공선의 설치가 법규상 제한, 용지상의 제약, 관계관청의 지시, 수용가와의 제약, 협정상의 제약 등으로 불가능한 경우 등에는 자중선으로 건설하게 된다.

지중선의 이점으로는 다수회선을 동일 루트에 포설할 수 있고 지중에 매설되어 있어 지상에서의 노출이 양단을 제외하고는 없기 때문에 도시미관의 파괴가 없으며 또 폭풍우 뇌동 악천후의 영향이 작고 주변의 가옥 산림의 화재에 의한 영향이 물론 없는 등으로 볼때 안정성이 높지만 가공선에 비해 동등한 도체크기의 경우 송전용량이 작고 건설비가 높으며 사고시 복구에 장시간 소요되는 결점이 있다.

### 1. 경과지의 선정

가공선은 민간용지를 주된 경과지로 하고 있지만 지중선의 경우는 주로 공공용지 또는 도로를 그 경과지로 하고 있다. 2지점 간의 경과지 선정에 위해서는 물론 최단거리가 필요조건이지만 시가지 도로에는 도로하면에 공공의 매설불이 대량으로 매설되어 있기 때문에 최단거리를 선정하는 것이 반드시 가장 효율적이라고는 말할 수 없다.

경과지 선정에 있어서 중요한 지점이 되는 개소를 먼저 확보하고 이것을 중심으로 하여 몇개의 안을 비교검토하여 결정하는 것이 필요하다.

한편 다음과 같은 경우에는 가급적 피하는 것이 바람직하다.

- (1) 건설이 난이한 조건 및 자재반입 등이 불편한 도로
- (2) 교통이 빈번하여 보수가 불편한 지역
- (3) 폭물이 심하거나 고저차가 심한 도로
- (4) 최근에 포장한 도로
- (5) Cable의 금속위즈가 화학적 부식을 받을 우려가 있는 도로
- (6) 타 매설불이 이미 매설되어 굴착시 이의 방호에 다액의 공사비를 요하는 도로

(7) 케도 또는 하천등이 없는 도로

실제의 경과지 선정에 있어서는 도로 상황 외에 시험굴착에 의한 배설물의 확인, 보링에 의한 토질의 확인이 필요하며 또한 타기판의 동일 루트에서의 배설계획 또는 도로공사 계획 등을 충분히 파악해 놓을 필요가 있다.

기타 도로조건에 따라 우리가 여의치 못한 경우는 민간용지를 일부 이용해야 하는 경우도 있다.

## 2. Cable의 선정

이렇게 하여 경과지가 선정이 되면 그 다음 작업을 해야 되는 것이 Cable의 선정이다. 초고압 지중 선로에 주로 사용되는 일반적인 Cable은 물론 CV Cable과 OF Cable이 주류를 이루고 있다. 위 두 가지 Cable이 각기 독특한 장단점은 가지고 있지만 154KV급까지는 절연성능이 우수하며 동일한 도체 규격에서 허용전류가 많고, 설치 후에도 전혀 보수 및 유지가 불필요하며 Cable 접속상 이외의 보조설비와 이의 공간이 불필요할 뿐만 아니라 특히 화재확산의 우려가 없는 CV Cable이 보통 일반화 되어 사용되고 있는 것이 모든 나라의 추세이다. 이에 따라 국내에서도 금성전선(주)이 일본의 히다찌전선과 기술제휴하여 국산개발한 이래 현재까지 한전은 물론 관공서 및 민간공장에 154KV급까지의 여러 규격에 대해 다량으로 건설을 완료한 바 있으며 특히 한전의 삼랑진 양수 발전소에는 현재까지의 초고압 Cable중 국내최대규격인 154CV2000mm<sup>2</sup>를 이미 납품한 바 있다.

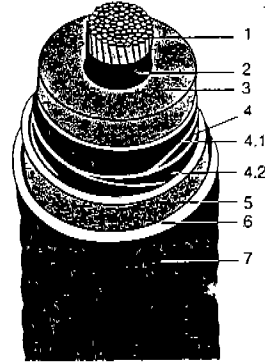
초고압 계통에 사용되는 대표적인 CV Cable에 대해 간략히 소개하면 다음과 같다.

### 2.1 CV Cable의 구조

현재 국내에서 사용되는 초고압 CV Cable은 그림1과 같은 구조로 되어있다. CV Cable 구조의 각부분 기능을 간략히 설명한다.

(1) 도체 : 전류의 주통로로서 재료는 KSC3101에서 규정된 연동선 또는 이에 준하는 연동선을 소선으로 구성된 압축원형 또는 분할압축원형으로 되어 있다.

압축원형 연선은 소선을 동심원상으로 연합한 후 압축성형한 형태로 되어있고 분할압축 원형연선은



1. copper or aluminum conductor
2. inner semi-conductive layer
3. cross-linked polyethylene insulation
4. insulation screen consisting of:
  - 4.1 extruded semi-conducting layer
  - 4.2 semi-conducting tape
5. corrugated Al sheath
6. bitumen
7. PVC or PE outer sheath

〈그림-1〉 154KV  
CAZV Cable

소선을 연합하여 압축성형한 세그먼트 사이에는 절연지 등으로 절연되어 있고 세그먼트를 연합한후 적당한 바인더로 일괄로 묶는다.

분할압축 원형연선은 800mm<sup>2</sup>이상의 Cable에 적용시키고 있다.

(2) 내부반도전층 : 도체를 연합하여 성형하게 되면 당연히 도체 Core 외표면은 울퉁불퉁하여 일정한 전계를 유지할 수 없게 된다. 이 때문에 초고압 CV Cable은 반드시 반도전층의 열가소성수지로서 도체 외표면을 둘러싸 외표면을 평활하도록 하고 있다.

(3) 절연층 : 이것은 도체와 대지와의 주절연을 담당하는 것으로서 재질은 특수 가교P.E로 되어있어 P.E 고유의 전기적 우수성을 살리면서 열특성 향상을 위해 P.E를 분자적으로 가교상으로 만들고 있다. 이때 가교P.E를 만드는 과정에서 절연층을 150°C 정도로 가열해야 되는데 이 열매체가 종래의 CV Cable에서 Steam이었던 반면 초고압 CV Cable 제조에는 N<sub>2</sub> gas를 가열하여 열매체로 사용하기 때문에 과거부터 사용하던 일반 CV Cable에서 큰 결함 사항이었던 수분과 Void가 완전히 없어지게 되어 CV Cable의 초고압화는 물론 높은 품질을 유지할 수 있게 되었다.

절연체의 두께는 아래와 같이 결정된다.

$$\text{절연체두께 } t = V / EL \text{ —————(1)}$$

V는 아래 방정식에서 소개되는 A, C 및 Impulse의

필요한 내전압치가 되고  $E_L$  (KV/mm)은 Weibul Plots로 표시되는 minimum electrical breakdown stress이다.

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{3}} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \quad (2)$$

로 계산된다.

- 여기서
- $V_0$  : 최대공칭전압 (KV)
  - $K_1$  : 열화계수 (설계수명 30년동안 열화되는 계수)
  - $K_2$  : 온도보정계수 (1.1)
  - $K_3$  : 기타 여유계수 (1.1)
  - $E_L$  : min. breakdown Stress (20KV/min)

두번째 고려사항인 Impulse 전압치로는  $V = V_0 \times K_4 \times K_5 \times K_6$  (3)로 된다.

- 여기서
- $V_0$  : BIL (KV)
  - $K_4$  : 온도보정계수 (1.25)
  - $K_5$  : 중첩 열화계수 (1.1)
  - $K_6$  : 기타 안전계수 (1.1)
  - $E_L$  : min breakdown stress (50KV/min)이다.

최종의 절연두께는 (2)와 (3)식에서 계산된 것 중 큰 쪽을 취해 식(1)로서 그 값을 선정하고 있다.

(4) 외부반도전층 : 내부반도전층과 유사한 기능을 갖고 있는 것으로 이 부분을 내부반도전층과 동심이 되도록 하여 접지하게 되면 Cable주위에 있는 불체와 관계없이 절연층으로 하여금 균일한 stress를 받게하는 효과가 있다. 이 재질도 내부반도전층과 유사한 반도체성 열가소성 수지로 되어 있다. 특히 내부반도전층, 주절연층 및 외부반도전층은 제조시 한개의 Head를 가진 Crosshead(즉 3 Common head라 함)에서 동시압출 되도록 하기 때문에 경계면과 대기와의 접촉이 없게되어 공기중의 먼지, 철분, 등이 침투하지 못하도록하여 일반적인 CV Cable에서의 문제점이던 tree발생이 근본적으로 제거되도록 하였다.

(5) 차폐층 : 차폐층은 선로에 단락이나 접지사고 등의 유사시에 일정 시간 동안 발생하는 대전류를 흡수할 수 있도록 전기적으로 충분한 단면적을 갖도록 설계 되어있다.

154KV급은 유효접지 계통이기 때문에 사고시의 대전류 및 사용상의 중요성을 감안 AI 스위치를 파상형으로 하여 사용한다.

〈표-1〉 154KV CAZV Cable

도 계	공칭 단면적 (mm <sup>2</sup> )	200	600	1200	2000
	도 체 형 상	외 경 (mm)	17.0	29.5	41.7
내부 반도전층 두께 (약mm)	압 속 원 링	1.5	1.5	1.5	2.0
	분할 압속원 링	1.5	1.5	1.5	2.0
절연체 두께 (mm)	23	23.0	23.0	23.0	23.0
절연체 외경 (mm)	66	78.5	90.7	103.8	
압출의 반도전층 두께 (약mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	
TAPE의 반도전층 두께 (약mm)	1.0	1.0	1.0	1.0	
알미늄 피 두께 (mm)	2.2	2.4	2.7	2.9	
방식 층 두께 (mm)	4.5	4.5	4.5	4.5	
최대 방식 층 외경 (mm)	102	114	125	142	
최대 모체 저항 (ohm/km20℃)	0.0915	0.0308	0.0156	0.00933	
최대 정전 용량 (μF/km20℃)	0.12	0.16	0.21	0.26	
최소 절연 저항 (Mohm km20℃)	5,000	4,000	3,000	2,500	
개 산 중 량 (kg/km)	9,800	14,900	22,200	31,900	

(6) 방식층 : 차폐층의 전식 및 부식을 보호할 목적으로 P.E 또는 PVC로서 금속차폐층 위에 동심원 상으로 피복되어 있으며, 사용장소에 따라 P.E 또는 PVC를 각각 사용한다.

이상과 같이 초고압 CV Cable의 구조를 약술해 보았으며 그중 국내에서 사용실적이 많은 규격에 대해 표로 만들어 보았다(표1 참조).

### 2.2 CV Cable의 특성

초고압 CV Cable의 품질을 평가하는 시험 항목은 대단히 많다. 크게 분류하면 전기적 특성시험과 물리적 특성시험으로 대별 되는데 여기서는 전기적 특성만 발체, 표 2로 만들어 보았다.

### 3. 시스템 디자인

CV Cable이 선정되면 선정된 Cable을 이용하여 대략 다음과 같이 제통설계를 한다.

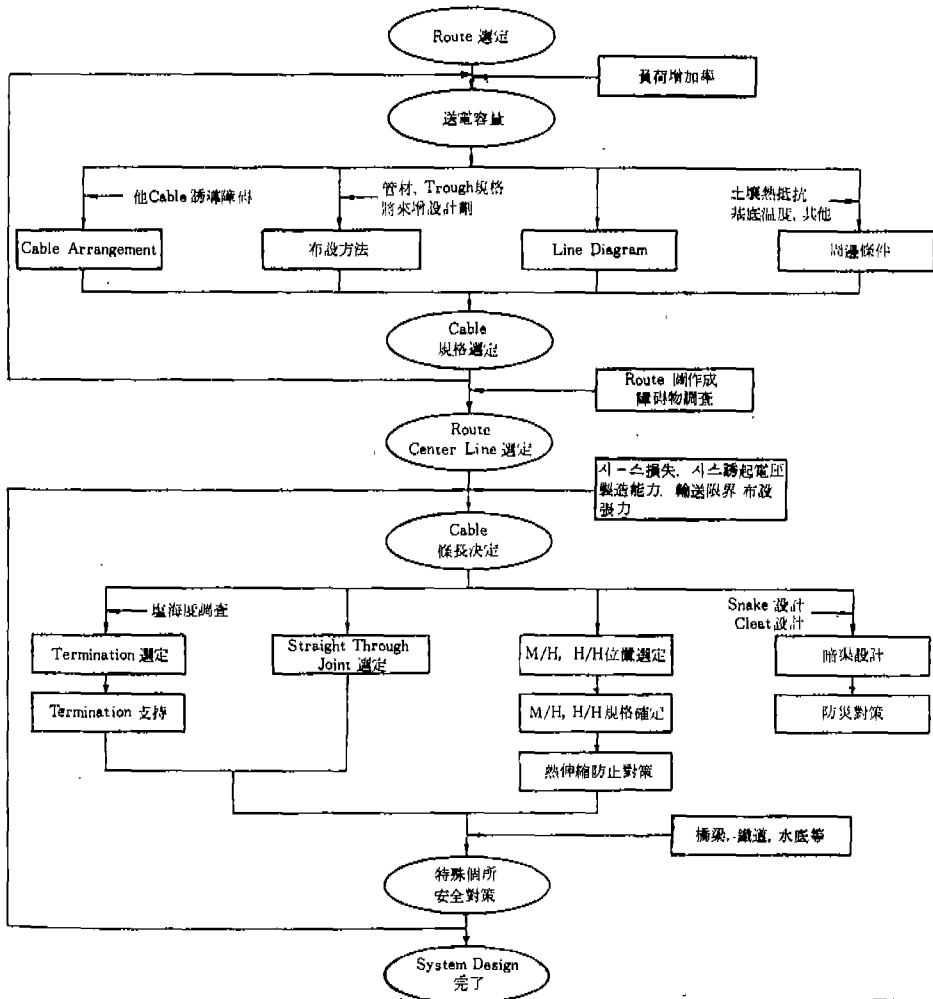
가. 중단 접속함과 중간 접속함의 선정  
나. 도체 규격의 선정

〈표-2〉 초고압 CV Cable의 전기적 주요특성

항 목	154KV CAZV				
결 연 체	교류장시간내전압	400KV / 3 hr			
	충격내전압(상온)	1135KV / -3times			
	부분방전 특성	1 <sup>st</sup> step : 120KV / 5 PC ↓ 2 <sup>nd</sup> " : 225KV / 30PC ↓ 3 <sup>rd</sup> " 120KV / 5 PC ↓ /			
	유전정접온도특성	<table border="1"> <tr> <td>시험전압</td> <td>89KV 178KV</td> </tr> <tr> <td>측정온도</td> <td>상온 60℃ 90℃</td> </tr> </table> <p>0.1 % 이하</p>	시험전압	89KV 178KV	측정온도
시험전압	89KV 178KV				
측정온도	상온 60℃ 90℃				
방 식 종	교류내전압	30KV / 1분간			
	충격내전압	50KV / -3times			

- 다. Cable의 배열 및 설치방법
- 라. 각 구간과 맨홀의 위치선정
- 마. 맨홀의 크기 및 Off set 방법
- 바. 경사면일 경우 滑落방지 대책
- 사. 암거포설일 경우 열신축 대책 및 방재대책
- 아. 교량, 철도, 해저 등의 포설시 이에 따른 별도 대책
- 자. 염해도 조사에 따른 중단 접속상의 선정 및 처리

이와같은 사항은 상호 유기적 연관이 되어있기 때문에 처음부터 한 항목씩 결정해서는 안되며 종합적인 개념을 갖고 몇가지 안을 생각하여 가장 안전하고 가장 경제적인 방향으로 시스템을 구성하지 않으면 안된다. 가~자까지의 제반사항을 Flow

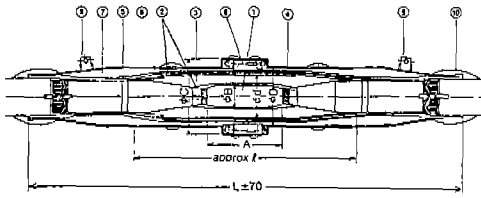


〈그림-2〉 설계 Flow Chart



Insulation joint box is used for cross bonding in order to raise continuous current rating more largely. Although both conductors are connected both metallic sheaths are insulated.

- 1 Conductor sleeve 2. Inner and outer semi conducting screen 3. Mold insulation
- 4 Shield 5. Protective case 6. Anti-corrosive covering 7. Compound 8. Insulator
- 9 Earthing metal 10. Wiping



Nominal cross section of conductor (mm <sup>2</sup> )	Dimension (mm)						
	A	B	d	I	C	D	L
200	110	24	82	650	230	160	1,350
400	140	33	91	680	230	160	1,350
600	160	44	102	700	230	160	1,350
800	180	50	108	720	250	180	1,350
1,000	195	55	113	740	250	180	1,450
1,200	210	59	117	750	250	180	1,450
1,400	225	64	122	770	250	180	1,450
1,600	240	68	126	780	250	180	1,450
1,800	250	71	129	790	250	180	1,550
2,000	260	74	132	800	250	180	1,550

〈그림 - 7〉 154KV용 절연접속함

접속함들의 개략도는 아래와 같다. (그림 3 ~ 7)

## 5. 도체규격의 결정

도체의 규격을 정하기 위해서는 물론 사용하고자 하는 부하의 용량을 장래의 증설계획까지 감안해 확정해야 하며 또한 필요 단락전류 및 사고전류의 크기와 그의 지속시간의 설정이 필요하다. 이 설정작업이 완료되면 (예를들면 필요 허용전류가 산출되면) 포설방식 및 접지시스템을 아래사항을 참조하여 구성하여야 한다.

### 5.1 포설방식

지중선로는 원칙적으로 지중에 매설 되고 대부분은 도로에 위치하게 되지만 포설방식은 보통 직매식(직접 매설식) 관로식(관로 인입식) 및 압거식(통도식)으로 대별된다.

그외 특수 포설로서는 선로의 일부 또는 전부의 교량포설, 가공식, 수저식 등이 있다.

#### 가. 직매식

직매식인 경우 Cable의 방호에는 보통 트라후를 사용하고 트라후 내에 Cable을 포설한후 트라후와 Cable의 사이에 모래 등을 충전 시킨다.

매설 깊이는 전기설비기술 기준에 따라 차량 등 중량물의 압력을 받는 장소에서는 1.2m이상, 기타 장소는 60cm이상으로 되어 있지만 도로매설인 경우는 타매설물과의 관계가 있기 때문에 도로관리자와의 충분한 사전 조정이 필요하다.

트라후 상부에는 보호용 콘크리트판을 설치한다. 사용 트라후의 유효폭은 사용 Cable의 최대외경 또는 동일 트라후내에 사용할 Cable의 최대외경 합 1.4배 이상이 좋다. 매 Cable마다 트라후를 분리시켜 포설하는 방법도 있다.

#### 나. 관로식

교통량이 빈번한 곳에서 장시간 도로를 굴착시킨 상태로 놔 두는 것은 어렵다. 또한 Cable증설시 등에 있어서 재굴착의 어려움이 있는 것은 물론이다. 이러한 부분은 파이프를 이용하여 수개의 관로를 건설한후 이관로에 필요한 Cable을 설치하는 방법이 다.

관재로서는 흙관, PVC관, 강관, F.R.P관 및 ELP관 등이 있으며 자기 장단점을 갖고 있으므로 적절히 선택함은 물론 복합적으로 선정하여 이용하지 않으면 안된다.

#### 다. 압거식

관로의 수가 대단히 많아 관로의 건설이 어렵고 또 Cable의 회선수가 많음에 따라 상대발열에 의한 송전효율이 현저히 저하되는 경우에 압거를 건설한 뒤 필요에 따라 Cable을 설치하는 방법이다. 따라서 변전소, 발전소 출입구 부근의 Cable인 출입구에 적용하면 좋다. 장 건간이어서 굴착공사가 불가능한 경우에는 실드공법으로 구축 하기도 한다. 일반적으로 전압이 높은 Cable 일수록 아래쪽에 설치한다. 또 공통구 또는 병설통도일 경우는 전력, 통신, 수도 등의 도로 점용물의 효율화를 위해 동일 통로에 수용한다.

통도가 장거리인 경우는 관로의 경우와 같이 적당한 간격으로 맨홀을 설치한다. 각종 포설 방식을 정리하면 표 3과 같다.

### 5.2 접지 방식

단심 Cable일 경우 전자유도 때문에 쉬스에 전위

〈표 - 3〉 각종포설 방식의 장단점 비교

포설방식	장 점	단 점
관 로 식	1. 증설, 철거에 편리 2. 외상이 비교적 적음 3. 보수접점이 용이	1. 관로공사비름 2. 다회전시 송전 효율저하 3. 신축, 진동시 씨이즈의 열화위험 4. 관로굴폭이 제한됨 5. 활락위험
직 매 식	1. 포설공사비 작다 2. 다소의 굴폭부는포설에 지장없음 3. 열방산 양호 4. 공사기간 최단	1. 외상기회 많음 2. 보수접점불편 3. 증설, 철거에 불리
알 거 식	1. 열방산 양호 2. 다회선포설에 편리	1.공사비 가장 높음 2. 공기가 길음

가 유지되고 2개소 이상에서 접지하면 스위스에 콘덴터가 흘러 발열하게 된다. 이 때문에 단심 Cable은 상시 및 이상시도 고려하여 안전대책 및 접지 시스템을 결정해야 한다.

5.1항에서 포설방식과 배열이 결정되면 Cable을 어떻게 접지할 것인가가 문제가 된다. 접지방식에는 Solid bond방식, 편단접지방식 및 Cross bond방식이 있으며 각각 장단점이 있으므로 안정성과 경제성을 종합 감안하여 결정하면 된다. 각 접지방식에 대해 기술해 보기로 한다.

가. Solid bond 방식

이것은 스위스를 2개소 이상 직접 접지하는 방식으로 스위스전위는 물론 영이지만 스위스에는 회로손이 발생한다. 이 때문에 다음과 같은 경우에 한해 채택하고 있다.

(1) 허용전류 면에서 충분히 여유가 있거나 또는 스위스저항이 비교적 높아 회로손이 문제가 안될 경우

(2) 장거리 해저 Cable 등으로 타 스위스접지 적용이 불가능한 경우

나. 편단접지방식

이것은 Cable의 한쪽을 접지하고 타단을 개방하여 놓는 방법으로서 스위스 회로손이 영이 된다. 그러나 이 방식은 surge파가 침입한 경우 개방단에 위험한 이상전압이 생기기 때문에 소형 피뢰기를 설

치하여 이상전압을 억제시키지 않으면 안된다. 이 편단접지방식은 발변전소 구내에 포설되는 짧은 구간의 Cable포설에 널리 적용되고 있고, Cable이 비교적 길 경우는 Cable중양에서 접지하고 양단을 개방하는 것도 가능하지만 스위스가 연속적으로 접속되어 있지 않기 때문에 지락사고시의 귀로전류가 스위스를 통하지 않아 근접 통신선으로서의 유도가 크게되는 결점이 있어 장 구간 Cable에는 적용되지 않는다.

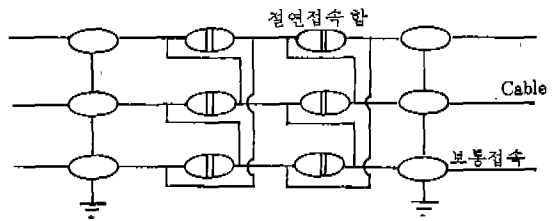
다. Crossbond 방식

이것은 장 구간 단심 Cable에 대해 널리 사용되고 있는 접지방식이며 그림 8에서와 같이 3구간마다 접지하는 방식이다.

이 방식은 Cable 각 구간의 길이를 동등하게 하면 3구간에서의 스위스전위 Vector합은 대개 영으로 되고 스위스손도 저감이 가능하다. 스위스는 Cable 전체에 걸쳐 연속적으로 접속되어 있어 계통지락시의 대지귀로전류의 대부분(70~90%)은 스위스로 흐르기 때문에 외부로의 기유도 전류도 저감되어 대단히 많이 채택되는 시스템이다. 그러나 실제로는 양쪽 접지내에 있는 3구간의 Cable길이 같은 경우는 적으므로 Cross bond지점이 Surge침입시 진행파 전압의 변이점으로 작용하기 때문에 여기에 Surge성 이상전압이 출현하게 된다. 때문에 154KV이상 선로에 있어서는 절연 접속함에 보호장치를 취부하여 방식층을 보호해야 되기 때문에 전설비가 그만큼 많이 드는 결점이 있다.

5.1~5.2항을 고려하여 포설방식과 접지방식의 선정이 결정되면 허용전류제한 방식에 의해 (주로 JCS 168D-1980, 또는 IEC 287규격을 이용함) 선정된 Cable의 허용전류와 단락전류를 구한다.

154KV CV Cable 규격은 200mm<sup>2</sup>, 400mm<sup>2</sup>, 600mm<sup>2</sup>, 800mm<sup>2</sup>, 1000mm<sup>2</sup>, 1200mm<sup>2</sup>, 1400mm<sup>2</sup>, 1600mm<sup>2</sup>, 1800mm<sup>2</sup> 및 2000mm<sup>2</sup>가 표준규격으로 제조되고 있기 때문



〈그림 - 8〉 Cross bond 개략도

에 이층의 어느 것이 부하용량과 단락용량을 만족하는지를 검토하여 필요규격을 선정하면 된다.

## 6. 맨홀의 위치 및 구간의 선정

경과지가 확정되고 Cable규격이 선정되고 나면 Cable 각 구간의 선정이다. Cable 구간을 선정하기 위해서는 다음 사항이 필히 고려되어야 한다.

가. 스위스 유기전압의 허용한도 및 스위스의 손실

복수로 도체전류로 부터의 전자유도에 의해서 스위스에 유기되는 전위는 기본적으로는 식(4)에서 보듯이 1점에서 스위스를 접지하게 되면 다른 접은 그 접지점으로부터의 거리에 따라 스위스와 대지간의 전위차를 발생시킨다.

$$E = \sum_j X_{mi} I_i \times 10^{-4} \text{ [V/km]} \text{-----} (4)$$

단  $X_{mi}$  : 도체와 스위스의 상호리액턴스

$I_i$  : 전류

스위스 전위의 허용치로는 인체에 대한 안전과 단락 사고시의 방식층의 절연파괴를 피하는 관점으로 부터 결정한다. 보통 30~60V를 허용전위로 하지만 우리나라는 보통 30V를 적용하고 있다. 그러나 30V 이하의 스위스전위로 제한하는 것이 실제상 곤란한 발 변전소 구내 등은 적당한 방호책을 시행한 뒤 100V 정도까지 적용하는 곳도 있다.

나. 허용장력 및 허용축압

지중 Cable은 도체 단위면적당 (mm<sup>2</sup>) 최대 7kg까지의 장력을 허용하고 있다. 예를 들면 200mm<sup>2</sup>인 경우라면 7kg/mm<sup>2</sup> × 200mm<sup>2</sup> = 1400kg이 장력의 허용한도이다.

Cable을 Pulling하게 되면 Cable의 자중에 의해당연 Cable에 장력이 걸리게 된다. 예를 들면 수평직선부에서의 장력은  $T = \mu w l$  ----- (5)

단,  $\mu$  : 마찰계수

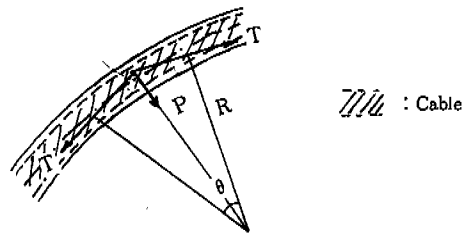
$w$  : 단위당 중량 (kg/m)

$l$  : 구간길이 (m)

으로서  $\mu$ 는 관재료에 따라 달라 0.2~0.7이 된다.

장력은 직선부와 굴곡부, 수평부와 경사부 또는 중합된 포설형태에 따라 계산방법이 각기 다르기 때문에 각 구간의 포설형태를 형태별로 구분하여 그 합을 더하여 가면된다. 그 합이 도체의 허용장력과 일치할 경우가 그 구간의 허용 Cable길이 된다.

Cable이 구부러진 부분에서 중방향으로 장력을 받



〈그림-9〉 축 압

게 되면 그림9와 같이 구부러진 내측에  $P = \frac{I}{R}$ 의 축압장력이 자연 발생하게 된다. P는 보통 ①방식층의 내외상 강도 (특히 관로) ②방식층의 내마모강도 ③외압에 의한 Cable의 변형 등에 의해 정해지는 것으로 CV Cable Type은 1500 (kg/m), CAZV Type인 경우는 700 (kg/m)를 허용하고 있다.

다. Cable 수송한계와 제조한계

Cable은 제조공장에서 사용되는 현장까지 이 Cable이 운송될 수 있어야 함은 물론이다. 이 항목은 여건에 따라 많은 제약요소를 갖고 있기 때문에 일률적으로 기술하기는 어려우므로 그때 그때 사정에 따라 검토하여야 한다.

또한 제조한계도 Cable규격에 따라 다르다. Cable 최적구간은 위에서 설명한 가~다항을 충분히 고려하여 그중 최악조건으로 계산된 길이로서 결정하면 된다. 맨홀의 위치는 위의 최적 허용길이를 넘지않는 범위내에서 교통소통이 많은 곳이나 기타 지하 매설물이 많은 곳을 피해 그 위치를 선정하면 된다. 지하 매설물 확인이 곤란하면 당연 맨홀지점을 시굴하여 적정여부를 최종적으로 확인 하여야 된다.

## 7. 맨홀의 크기 및 offset 방법

Cable은 부하 변동 및 계절적 온도변화에 의해서 열신축이 일어나게 된다. 연피나 Al피 등의 금속스위스를 갖는 Cable에서는 그 열신축에 따라 금속스위에 피로상태가 유발되어 균열이 생기게 되며 금속스위를 갖지 않는 Cable에서도 맨홀에서 Cable매열이 뒤엉키는 일이 있다.

특히 경사지에 포설하는 경우는 열신축에 의해 Cable이 滑落을 일으키기도 한다. 이런 현상은 특히 마찰저항이 작은 관로포설 및 통도포설 경우에 일어나는 경우가 많다. 한편 스위스 수명을 약 30년 간으로 고려할 경우 Al스위스 허용 신축stress치는 일



반적으로 0.3%가 채용되고 있다.

### 7.1 열신축의 계산

Cable 이 온도 변화를 일으키면 EAXt라는 열응력이 발생한다. 한편 이러한 열응력이 발생하면 반대방향으로 맨홀에서의 Cable 구속력(抵抗力)과 Cable 자중에 의한 마찰력이 反力으로 작용한다.

온도변화 전에 Cable 내부에 잔류응력이 있으면 열응력은 먼저 잔류응력을 소멸시킨 다음 신축작용을 하게 된다.

수평부분에서의 신축량은 아래와 같은 방법에 의해 계산되고 있다.

$$\text{임계온도} : t_c = \frac{\mu w l + 2K}{\alpha AE} \quad (6)$$

(1)  $t \geq t_c$  인 경우

$$m = \frac{l}{Z} \left( at - \frac{2K}{AE} \right) \quad (m) \quad (7)$$

(2)  $\frac{2K}{\alpha AE} \leq t \leq t_c$  인 경우

$$m = \frac{AE \left( dt - \frac{2K}{A \cdot E} \right)^2}{4 \mu w} \quad (m) \quad (8)$$

(3)  $t \leq \frac{2K}{\alpha AE}$  의 경우

$$m = 0 \quad (m) \quad (9)$$

여기서  $t_c$  : 임계온도 (°C)

$t$  : Cable도체의 온도변화 (°C)

$m$  : 접속함 신축량 (m)

$\mu$  : 마찰계수

$\alpha$  : Cable선팽창 계수 (1/°C)

$A$  : Cable도체 단면적 (mm<sup>2</sup>)

$E$  : Cable의 등가영율 (kg/mm<sup>2</sup>)

$w$  : Cable의 단위중량 (kg/m)

$l$  : Cable길이 (m)

### 7.2 offset방법 및 맨홀크기 결정

위와같이 부하변동 등의 온도변화에 의해 Cable 은 신축하게 되기 때문에 관로포설시나 통로포설시는 이 신축량을 흡수할 수 있도록 대책을 취하지 않으면 안된다. 통로포설시의 열신축 대책에 대해서는 후술하기로 하고 먼저 관로포설시의 열신축 대책에 대해 기술 하기로 한다.

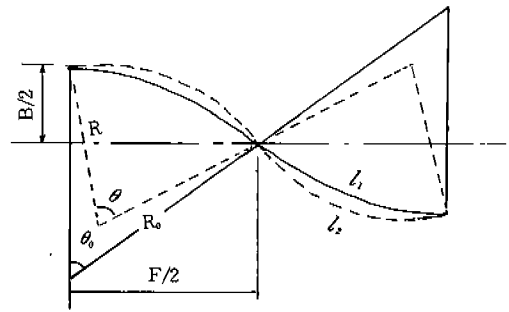
관로포설의 경우 열신축 대책을 세우는 방법을 일반적으로 맨홀의 offset작을 한다고 한다.

offset은 크게 나누어서 중간접속함을 고정시킨 뒤 Cable만으로 하여금 열신축 운동을 하게하는 접속함고정식과 중간 접속함 자체도 열신축시 이동되도록 하는 접속함 이동식이 있다.

탄력이 좋은 CAZV Cable일 경우는 접속함 이동식이 좋고 탄력성이 좋지못한 CV Cable일 경우는 접속함 고정식으로 하는 것이 offset의 일반적인 추세이다.

#### 가. 접속함 고정식

접속함을 고정하게 되면 그림 10에서 보이듯이  $l_1$  은 신축량  $m$ 에 의해  $l_2$ 가 되고 이러한 관계로  $l_1 + m = l_2$ 가 된다.



〈그림-10〉 고정식Offset

$$R_0 = \frac{B^2 + F^2}{4B} \quad (10)$$

$$l_1 = R_0 \theta \times 2 \quad (R_0 \text{는 Cable의경} \times 20\text{배})$$

$$\therefore l_1 = 2 \times \frac{B^2 + F^2}{4B} \times 2 \tan^{-1} \left( \frac{Z}{L} \right)$$

$$l_2 = R \cdot \theta \times 2$$

$$A = \sqrt{(B/2)^2 + (F/2)^2}$$

$$\therefore l_2 = \frac{\theta}{\sin \theta/2} \times \frac{\sqrt{B^2 + F^2}}{2}$$

$$l_1 + m = l_2 \text{ 이므로}$$

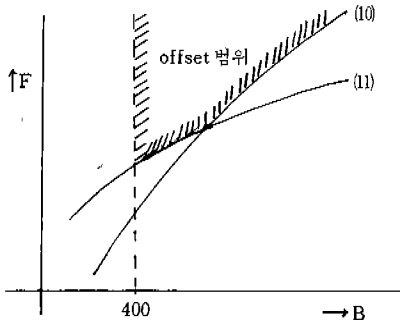
$$\frac{(B^2 + F^2)}{B} \times \tan^{-1} \left( \frac{B}{F} \right) + m = \frac{\theta}{\sin \theta/2}$$

$$\therefore R = \frac{1}{2\theta} \left\{ \frac{B^2 + F^2}{B} \tan^{-1} \left( \frac{B}{F} \right) + m \right\} \quad (11)$$

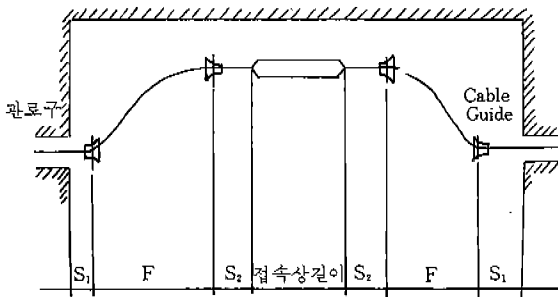
식 (10), (11)을 Graph로 그리면 그림 11과 같다.

사선부분에서 필요 B, F를 결정한다.

B, F가 결정되면 그림 12에서와 같이 맨홀 전체의 길이와 폭을 구할 수 있다. 단,  $S_1, S_2$  : offset 여유길이 (100~200mm).



〈그림-11〉 F, B Curve



〈그림-12〉 맨홀길이의 결정

맨홀접속함 간의 간격은 offset되는 Cable이 행거 등에 접촉되지 않고 또한, 접속 작업시의 기기류 설치에 적합하도록 되어야 하며 특히 offset되는 Cable이 원활한 열신축을 할 수 있도록 그림13과 같이  $\theta$ 를 45° 이상 유지하도록 해야된다.

#### 나. 접속함 이동식

접속함 이동식의 offset 선정은 고정식과 달리 Al취스로 되어 있어 Al취스 허용 stress도 고려되어야 한다. F와 B의 선정은 그림 14와 같이 한다.

여기서  $\epsilon$ 는 Al취스 허용stress로서 하기식 (12)~(14)에서 어느 것이든 사용해도 무방하다.

Schifreen식 :

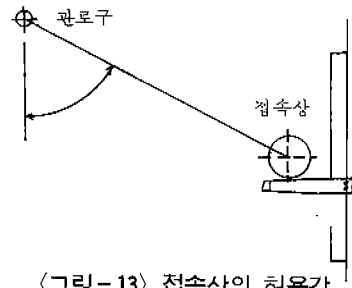
$$\epsilon = \frac{6\sqrt{2}rv\sqrt{B^2+F \cdot m - B\sqrt{B^2+2Fm-m^2}}}{F^2+B^2} \quad (12)$$

Bauer식 :

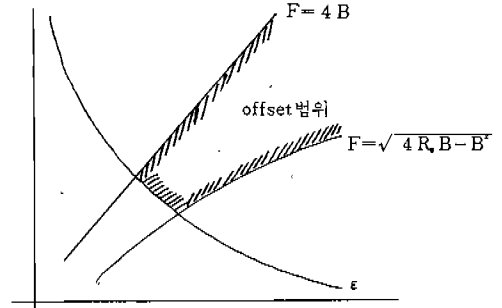
$$\epsilon = \frac{4r(\sqrt{B^2+2F \cdot m - m^2} - B)}{B^2+F^2 - 4rv\sqrt{B^2+2F \cdot m - m^2}} \quad (13)$$

edison electric社식 :

$$\epsilon = \frac{6rm}{B^2+F^2} \sqrt{1 + \frac{F^2}{B^2}(1-m/F)} \quad (14)$$



〈그림-13〉 접속상의 허용각



〈그림-14〉 F, B Curve

이상으로서 B와 F가 구해지면 그림 12와 같은 방법으로 역시 맨홀의 폭과 길이를 구할 수 있게 된다. 접속함의 상간 간격 역시 접속함 고정식과 같이 취할 수 있으나 단지  $\theta$ 를 30° 이상으로 유지시키는 작업이 필요하다.

## 8. 암거포설시의 열신축 대책

통도포설시는 Cable을 행거위에 설치하기 때문에 관로포설시 보다 열신축량이 크게되고 경사지에서의 滑落 가능성도 훨씬 높게 된다.

또한 Route 곡선부에서 Cable 이동이 심하며 Route 중간에 조금이라도 약한 부분이 있으면 그 부분에서 집중적으로 Cable이 극단적으로 구부러지게 된다.

이러한 현상을 개선하기 위한 대책이 바로 그림 15와 같은 Snake 포설방법이다.

Snake 포설을 하게될 경우 그림15에서와 같이 접선 방향으로 신축운동을 하기 때문에 균일한 열신축량의 흡수가 가능하다. 특히 경사지에서는 Cable 내 Core의 滑落도 문제가 되기 때문에 이 Snake포설방법이 크게 권장되고 있다.

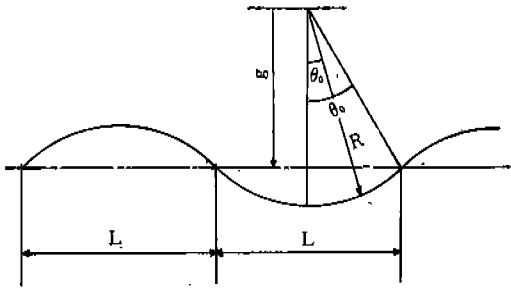
Snake의 Pitch는 Cable에 따라 다소 틀리며 대개



〈그림-15〉 Snake 포설

4 ~ 6 (m)로 잡는다.

변곡점을 고정하는 Cleat는 Snake의 불평형 오차에 의한 축력의 차이를 견딜 수 있도록 설계되어야 함은 물론이다. Snake 포설시 산출해야 하는 제반 계산식을 소개하면 아래와 같다.



〈그림-16〉 Snake의 계산

축력 (Cable축방향의 열신축을 지지하는데 필요한 힘) : F

$$F = \frac{\alpha TLK}{1 + \frac{KL}{EA}} \quad (15)$$

축방향으로의 이동량 : m'

$$m' = N \cdot \frac{F}{(EI)} \quad (16)$$

금속위스의 허용 stress :  $\epsilon$

$$\epsilon = \frac{\alpha TL \omega d}{4Q \left(1 + \frac{KL}{EA}\right)} \quad (17)$$

Cable의 等價縱剛性 :  $\overline{EA}$

$$\overline{EA} = \frac{LK}{1 + \frac{LK}{EA}} \quad (18)$$

여기서

F : Cable축력 (kg)

$\alpha$  : Cable열팽창계수 (1/°C)

L : Snake의 1/2 Pitch (m)

(EA) : Cable의 縱剛性 (kg)

K :  $\frac{EL}{Q}$

(EI) : Cable의 곡률剛性

$Q = 2 \left\{ R^3 \left( \frac{1}{4} \sin 2\theta_0 + \frac{\theta_0}{2} - 2gR^2 \sin \theta_0 + g^2 R \theta_0 \right) \right\}$

$N = 2 \left\{ gR^2 \cos \theta_0 + \frac{LRg\theta_0}{2} - \frac{R^3}{4} \cos 2\theta_0 - \frac{R^2 L}{2} \sin \theta_0 + \frac{R^2}{2} \left( \omega - \frac{3}{2} R \right) \right\}$

d : 금속위스의 평균의경 (m)

지금까지 초고압 CV Cable을 중심으로 하여 초고압 지중선의 사용상 기술개요를 간략히 서술하였다. 이외에도 경사지 墜落대책, 열해대책, 방재대책, 진동대책, 유도대책, 대뇌대책, 시험및 고장탐지방법, 그리고 설치관리 방법 등 참으로 광범위하게 많다. 또 각 항목마다 특정한 기술적 분석이 필요하다. 그러나 할애된 지면이 한정되어 있기 때문에 여기에서 끝내고자 한다.

이상에서 보듯이 초고압 CV Cable을 적절히 사용하기 위해서는 상당히 복잡하고 광범한 부분의 검토를 해야 되기 때문에 당사는 실수요자에게 기술적 서비스를 수행하기 위해 초고압 CV Cable 시스템 디자인 전담부서를 설치하여 운영하고 있다.

본보고서가 초고압 계통에서 CV Cable 사용기술 자료의 일익이 되었으면 한다. \*

