

초고압 지중송전선로 (CV케이블)의 개발 현황 및 전망

한 기만* · 이 광철**

(*금성전선 구미공장 전력공장장)

(**금성전선 연구소 연구원)

1. 서론

1960년대 말 CV케이블이 한국에서 처음 생산된 이래 70년대 초 22KV 전력케이블이 개발되었다. CV케이블은 OF케이블에 비하여 아래와 같은 우수한 특성이 있다.

- 1) 간단한 포설과 보수가 용이하다.
- 2) 유전 손실율과 충전전류가 적다.
- 3) 유압 관련설비가 필요없다.

위와같은 우수한 특성으로 말미암아 1980년대 초 154KV급 CV케이블이 개발되어 실선로에 채용되었다.

현재까지의 초고압 CV케이블의 포설 실적은 표 1과 같다. 이제까지 장기 과동전 시험을 포함하여 각종 개발 시험을 완료하였고 케이블 및 케이블 접속함에 대한 신뢰성을 충분히 증명하였다.

표 1. 국내에서의 154KV/66KV 케이블의 포설 실적

공칭전압	케이블 도체 사이즈	포설 케이블 길이
154kV	200 mm ²	116km
	400 mm ²	36 km
	600 mm ²	464M
	800 mm ²	21km
	1200 mm ²	102km
66kV	2000 mm ²	75km
	100 mm ²	36km
	200 mm ²	19km

이와같이 CV케이블은 약20년 동안 양적으로나 고압화의 면에서도 비약적인 발전을 해왔으며 향후로도 계속적인 고압화 추세로 나아갈 것이다.

2. CV케이블의 역사와 고전압화

폴리에틸렌 절연 케이블의 특성에서 내열성을 높이는 수단으로서 폴리에틸렌을 가교시키는 기술이 발달되어 22KV급 가교 폴리에틸렌 절연 PVC 쉬스(약호: CV케이블)이 1960년대 말에 한국에서 제조된 이래 최근에는 전력케이블의 출하량의 90%를 점하게 되었다.

CV케이블은 초기에는 600V, 3~6KV의 배전용 케이블로서 주로 사용되었지만 설비, 제조, 검사 기술의 개발에 따라 22KV, 66KV, 154KV급까지의 고전압에도 사용되고 있고 최근 일본에서는 500KV급까지 개발되었다.

이러한 CV케이블의 고전압화와 동시에 고전계한도 진행되고 있는데 그림 1은 CV 공칭 전압에 있어서 사용전계의 상승 추이를 표시하였다.

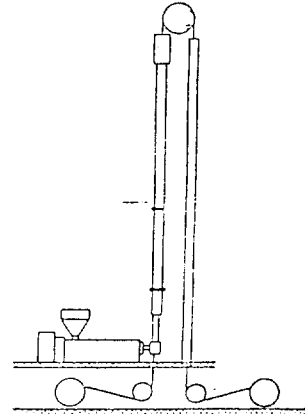
3. 초고압 CV케이블의 개발

3.1 초고압 CV케이블의 구조

154KV CV케이블은 도체(동 또는 알루미늄) 위에

그림 3은 대표적인 CV케이블의 제조 공정을 표시하였다. 제조공정의 중심에는 압출 공정이 있는데 반도체전층과 절연체의 제면특성을 좋게하기 위해 내부 반도체전층, 절연층 및 외부 반도체전층을 동시에 압출하는 방식(3층 동시 압출방식)에 의해 제조된다.

압출후 5기압 이상의 압력이 걸린 가교관 내로 케이블 절연체가 이동되어 연속적인 가교가 이루어진다. 가교 설비로는 수직으로 설치된 VCV(Vertical Continuous Process)와 카테너리(Catenary) 곡선을 가진 준수평으로 설치된 CCV(Catenary Continuous Vulcanizer)의 2가지 방식이 있는데 132KV급 까지는 CCV가 주로 쓰이고 154KV급 이상에서는 VCV가 주로 이용되어 제조된다. 또 가교방식으로는 건식가교(Dry Curing Process)로서 현재 국내에서는 표 2, 그림 4에 표시된 바와같이 3가지 방법이 있다.



(C-2) VCV 방식

CDCC 가교방식(Completely dry Curing and Cooling)

그림 4. 각종 건식가교방식의 개략도

CV케이블의 특성 향상을 위해서는 절연체중의 보이드와 이물을 작게 하는 것이 필요하다. 보이드는 주로 가교 공정중에 생성되는 것에 비하여 이물은

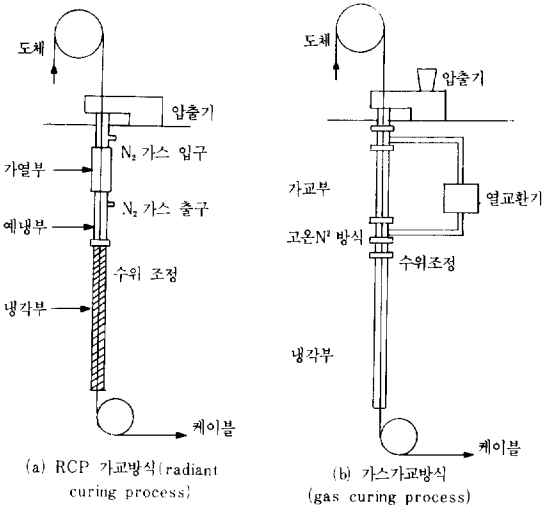
- (1) 폴리에틸렌 합성을 위한 제조공정
- (2) 가교제 등을 혼합하는 공정
- (3) 수송중
- (4) 압출 공정중에 이물이 들어갈 수 있다.

이것을 방지하기 위하여 압출기의 스크린 메쉬(Screen Mesh)를 보다 세밀히 하고 재료 제조시의 냉각수를 보다 엄격히 관리하고 특수 탱크를 제작하여 운송중에서 또 압출기 공정까지의 라인을 완전히 밀폐하여 이물 혼입을 방지한다. 각 공정마다 샘플링에 따른 이물 검사를 철저히 함으로서 품질관리면에서 완벽을 기하게 되었다.

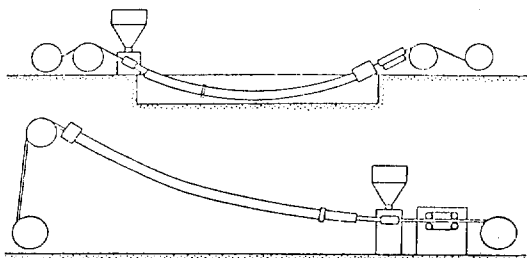
4. 초고압 CV케이블의 접속자재의 개발

CV케이블의 포설계통도(그림 5)에 나타나 있는 바와 같이 초고압 케이블에는 필히 양단에 종단 접속함이 있고 선로가 긴 경우 중간 접속함이 필요하다. CV케이블의 접속함을 용도별로 분류하면

- (1) 기중 종단 접속함 : 변압기의 부상, 가공선 및 모선등에 연결되는 접속함
- (2) 가스중 종단 접속함 : 차단기의 내부에서 직접 연결되는 접속함



(C-1) CCV 방식



초고압 지중송전선로 (CV케이블)의 개발현황 및 전망

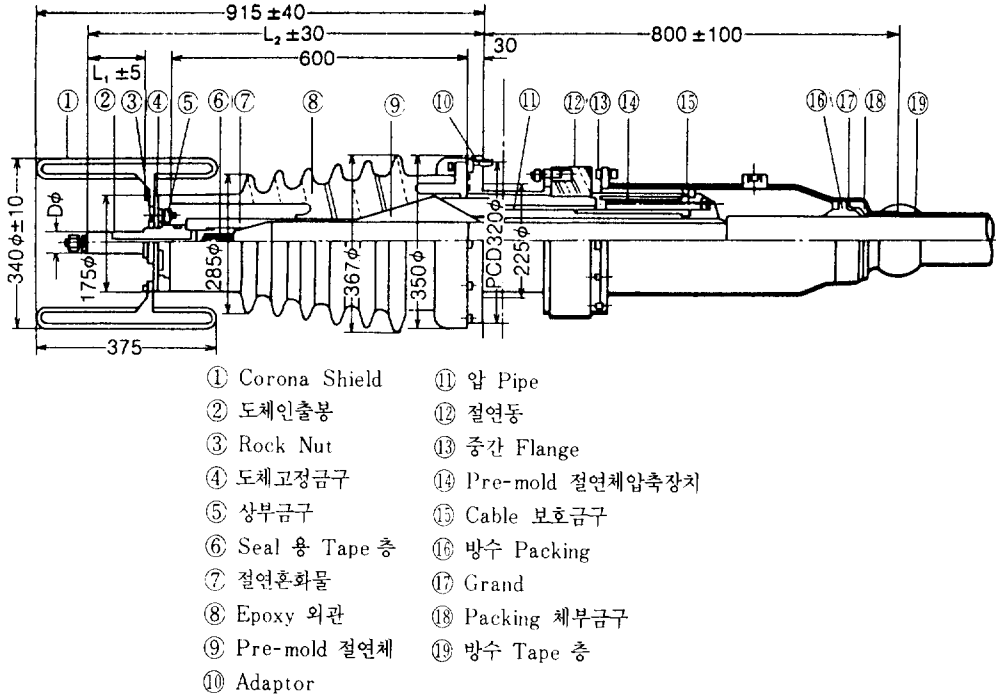


그림 8. 유중 종단 접속합

이 높고 시공이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 중요 설계 사항으로는 스트레스 콘과 케이블 절연체, 스트레스 콘과 에폭시 부품의 계면압력이다. 기중 종단접속합의 경우 누설 거리를 길게 하기 위하여 자기제 애관이 필요하게 된다.

중간 접속합의 경우 CV케이블 절연체와 접속부의 절

연체를 확실하게 접착시키기 위해서는 같은 재료를 가열 모듈드하여 융착시키는 모듈드형 중간 접속합이 가장 좋다. 즉 케이블 절연체와 같은 재료로서 가교제가 들어있는 미가교 폴리에틸렌 또는 조사가교 폴리에틸렌의 테이프를 감아서 절연체를 형성하고 그후 가열 가압하여 모듈드 하는 방법이다. (그림 9) 중간 접속합의 시

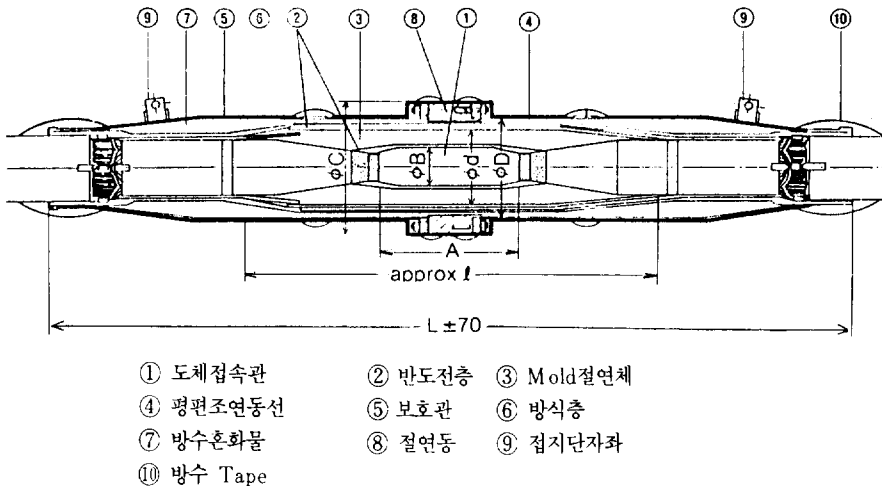


그림 9. 중간 접속합

공에는 이물혼입을 막기위해 비닐덮개, 집진기, 제습기 및 정전기 제거장치등이 이용되고 공사기기로는 압착기, 테이핑기(Taping Machine) 및 가교설비등이 이용된다.

모울드형 접속함은 전기 및 기계특성이 우월하고 크기가 작다는 이점이 있지만 다른방식의 접속함에 비하면 가열공정이 있기 때문에 시공시간이 길다.

접속재의 각 부품의 제조방법을 살펴보면 에폭시 부품은 진공 주형 장치에 의해 만들어지며 중요기술로는 컴파운딩(Compounding), 금형설계, 적절한 진공 및 온도 제어 특수한 검사기술(부분 방전시험 및 X-ray) 등의 기술이 이용된다.

미가교 테이프의 경우 소형압출기에 의해 만들어지며 레이저 검출 시스템에 의해 이물 및 결점 유무가 검출된다. 전체완화 콘은 사출기에 의해 제조가 되는데 반도전 및 절연EPR(Ethylene Propylene Rubber)의 접착 및 사출기의 사출량 및 압력조절이 중요기술이 되며 공정중의 보이드 생성 및 이물 혼입을 막는 제어 및 방진시스템이 필요하다.

기타 금속제품, 열수축튜브, 각종테이프오일 및 O링등이 합쳐져서 하나의 키트(kit)화된 제품이 이루어 지게된다.

5. 초고압 CV전력케이블공사 기술의 개발

초고압 전력 지중 전로에 있어서의 성능 유지에 공사 기술이 중요하다. 공사 부문에서는 케이블 시스템의 성능유지외에 공사준비 기간의 단축 작업의 성력화 등이 추진되었다. 케이블 포설 및 접속 공구로서 카테필라, 유압기, 공조장치, 자동 테이핑기, 가교장치등이 개발되었고 또 암거내 포설의 경우 케이블의 직경이 큰 알루미늄 쉬스 CV케이블의 경우에는 열신축을 고려하여 스네이크(Snake) 포설공법이 개발되었다.

5.1 케이블 접속공구의 개발

케이블 절연체의 가공을 위한 전용기구로서 펜슬링(Pencil)기가 개발되어 간단한 작업으로서 단시간에 안전하고 정확한 마무리가 가능하게 되었다.

미가교 테이프의 감는 작업이 중간 접속함의 성능을 좌우하는 중요한 공정인데 케이블이 고전압이 될수록 감

는 양이 많아지게 되어 일정한 양의 압력을 줄 수 없게 된다. 이에 자동 테이핑기를 사용하여 성력화품질의 균일화 시간 단축등이 가능하게 되었다. 중간 접속함의 경우 또 케이블과 똑같은 가교 공정이 필요한데 온도 제어부와 가열장치를 가진 가교장치를 개발함에 따라 일정한 품질의 접속함을 만들 수 있게 되었다.

5.2 스네이크 포설공법의 개발

암거 또는 급경사의 피트(Pit)내에 포설된 알루미늄 쉬스 케이블에는 열신축이 문제가 된다. 이 대책으로서 스네이크 포설이 고안되어 알루미늄 쉬스에 분산시키는 것과 함께 열신축량도 스네이크의 각부에서 흡수함에 따라 맨홀의 양단에 생기는 열신축량을 아주 적게하는 것이 가능하여 입공부의 오프셋(off set) 치수의 축소화가 가능하다.

6. 초고압 CV케이블 및 접속함의 시험 및 신뢰성 시험

6.1 초고압 CV케이블 및 접속함의 시험

표 3. 154 kV 케이블 및 접속함의 전기 시험 항목 O : 있음
X : 없음

시험 항목 및 방법	한국전력 규격	케이블	접속함	
초기 부분 방전	120KV / 5 pC이하 225KV / 30pC이하	0	0	
전압 교류 장시간 내전압	120KV / 5 pC 이하 400KV / 3 시간이상	0	0	
충격내전압	1135KV / 3 회이상	0	0	
장기 과 통 전	교류 전압 연속 과전 (전류 : 8 시간 통전 16시간 휴전)	180KV 1개월	X	0
장기 과 통 전 후 시험	직류 내전압	354. 2KV / 10분	X	0
	직류 재단파	"	X	0
	직류 내전압	"	X	0
	교류 장시간 내전압	250KV 이상	X	0
충격 내전압	1135KV / 3 회	X	0	

154KV CV케이블의 전기 성능 시험 항목은 표3과 같다.

그리고 접속부품으로서 각부품의 요구 성능에 맞게 여러가지 시험등이 행하여 진다.

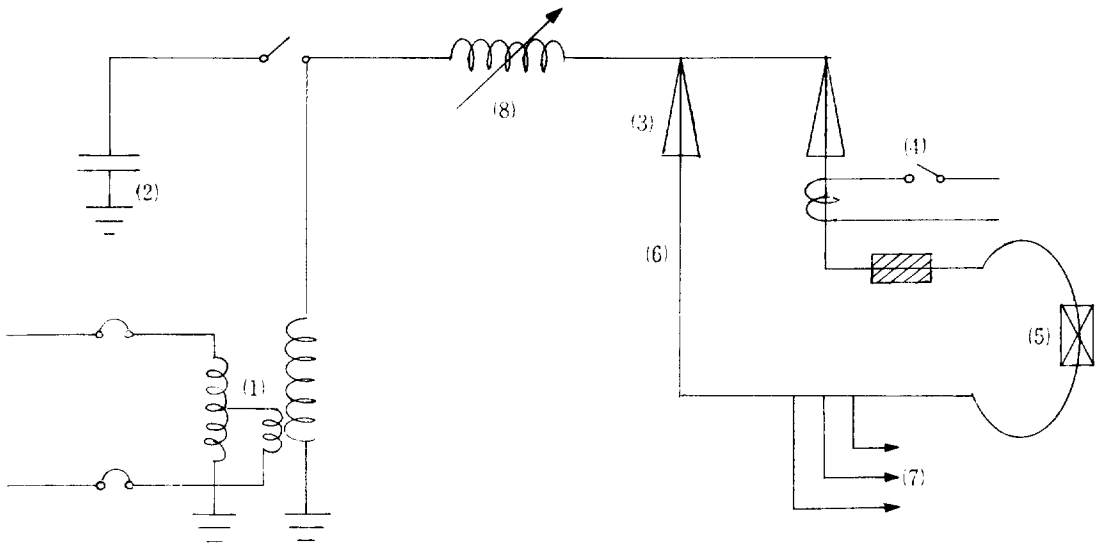
6.2 신뢰성 시험

154KV CV케이블 시스템의 장기 신뢰성을 평가하기 위하여 그림10과 같이 2개의 기중 종단 접속함, 가스

중 종단 접속함, 유중종단접속함, 중간 접속함 및 케이블을 결합하여 3개월 또는 2년간을 전압인가 및 전류를 통전하여 이상이 없음을 증명할 수 있었다.

7. 초고압 CV케이블의 장래전망

우리나라에서의 지중 최고 승전전압이 154KV 에서 345KV로 승압됨에 따라 345KV급 CV케이블 개발을 위한 연구가 진행중에 있고 좀더 신뢰성이 있는 초고



- | | |
|-------------------|------------------|
| (1) 변압기 | (5) 중간 접속함 |
| (2) 표준 캐패시터 | (6) CV 케이블 |
| (3) 기중종단접속함 | (7) 온도 계측 |
| (4) CT (전류인가 변압기) | (8) 리액터(Reactor) |



그림10. 신뢰성시험 위한 시험회로 및 시험전경

압 CV케이블 지중선로를 위하여 아래와 같은 연구개발이 계속되고 있다.

- 1) 절연두개의 절감 연구
- 2) 이물 및 보이드의 완전한 제거방법 연구 및 구조적으로 절연 내력을 향상시키기 위한 고분자 고차 구조의 연구
- 3) HDPE(고밀도 폴리에틸렌)의 전기 특성 및 물성 연구
- 4) 유전율을 이용한 다단 절연구조 4중 동시 압출 공정 연구
- 5) 간단하고 신뢰성 있는 접속함 개발
- 6) 신뢰성 있는 검사 기술의 개발

또 초고압 CV케이블의 수출이 증가일로에 있음에 따라 각국의 전력환경에 맞는 CV케이블의 전력시스템에 관한 연구도 진행중에 있다.

참 고 문 헌

- 1) S. H. LEE, K. M. HAN, W. K. PARK, The Development and Instalation of the XLPE Insulted High Voltage Power Cables, in Korea. (CIGRE Report 1986. 21-04)
- 2) K. C. LEE, B. C. AHN, H. J. BAE, J. C. KIM, S. I. JEON, W. T. JOO, "Failure Analysis of the XLPE Insulated High Voltage Power Cables and Accessories in the Laboratory (International Symposium on Electric Power Business 1987. KEPCO).
- 3) 한국 전력 구매 규격서(154KV CV케이블 및 접속재)