

### 345kV CV 케이블 접속함의 Proto Type 선정

이수길, 김인태, 손시호, 최수걸, 허근도, 박완기  
LG전선(주) 전력연구소

#### Determination of Proto Type for 345kV CV Cable Accessories

S.K.Lee, I.T.Kim, S.H.Son, S.G.Choi, G.D.Huh, W.K.Park  
LG Cable & Machinery Ltd. Electric Power Research & Development Center

**Abstract** - Crosslinked polyethylene (XLPE) insulated cables are now widely used all over the world for extra-high voltage underground transmission systems. Prefabricated type (compression type) joint has developed in order to shorten the assembly time and lower the possibility of contamination at site by many companies in the world. For outdoor termination, to control the electric field distribution as uniform as possible, especially for the use of extra-high voltage system, much of products are adopting the oil - impregnated condenser cone type instead of electric field control element which uses the permittivity of it only (not capacitance). For Gas - immersed termination, dimension of outer insulation bushing was determined by IEC Publication 859.

The highest voltage of underground power cable system is 345kV now, in Korea. We have much of experiences of the development of prefabricated type accessories for CV cable systems (154kV, 161kV, 230kV level). So it was possible to inspect the proto type of accessories for 345kV CV cable system and seems that the need time for the development of products is reduced.

#### 1. 서 론

CV (Cross Linked Polyethylene) 케이블은 OF (Oil Filled) 케이블에 비해서 유지/보수가 쉽고 환경 친화적이라는 장점 때문에 세계적으로 널리 사용되고 있다. 또한 국내의 경우, CV 케이블용 직선 접속함은 케이블의 열거동 및 계면의 관리, 부품 개발의 어려움 때문에 154kV급 미가교 테이프 몰드형 접속함(TMJ : Tape Mold Type Joint)이 실용화 된 이후 Type의 개선이 이루어지지 않고 있다.

또한, 세계적으로 초고압 전력계통에 설치되고 있는 접속함의 Type은 공장에서 생산되어 일정한 수준의 품질을 유지할 수 있는 조립형 접속함이 주류를 이루고 있다.

현재까지 국내의 전력계통은 345kV급을 최고 계통전압으로 사용하고 있으며 1996년 OF 접속함이 국산화된 이후 CV 케이블 및 접속함 기술의 진보로 국내 지중 전력 케이블 시스템에도 CV 시스템의 공급을 검토할 수 있는 수준에 이르렀다.

본 연구 보고에서는 조립공정이 간단하고 조립현장에서 품질을 일정하게 관리 할 수 있는 345kV급 조립형 접속함의 Proto Type 선정 과정 및 결과를 소개한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 규격의 설정

345kV급 조립형 접속함의 시험 규격을 IEC840과 CIGRE Recommendation에 의거하여 표 1과 같이 설정하였다.

표 1. 시험 규격

	목표 성능	온도
Bending	25 (D+d) × 1.05	-
Partial Discharge (I)	300kV / 5pc	5 ~ 35℃
Tan δ	200kV / 0.1%	85 ~ 95℃
Heat Cycle	400kV / 30 Cycle	95 ~ 100℃
Partial Discharge (II)	300kV / 5pc	5 ~ 35℃
AC Withstand	500kV / 15 min	5 ~ 35℃
Lightning Impulse	±1,300kV / 10 times	95 ~ 100℃

##### 2.2 직선 접속함의 Proto Type 선정

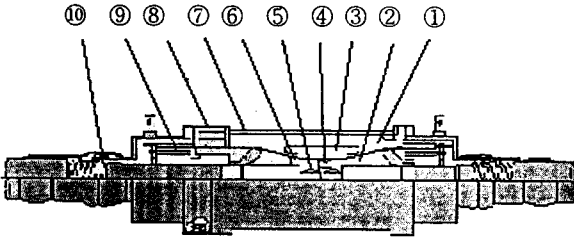
세계적으로 선발 업체에서 개발된 조립형 직선 접속함은 PJB (Prefabricated Type Joint Box), PMJ (Premolded Type Joint), TMJ (Tape Molded Joint), TJ (Tape Joint)로 대별할 수 있는데 최근에 발표되는 400kV급 초초고압 전력계통용 접속함의 PQ(Prequalification) Test 결과에 따르면 PJB Type의 접속함이 가장 안정된 품질을 선정한 것으로 나타났다. 각각의 Type에 대한 장 단점을 표 2에 나타내었다.

표 2. 각각의 접속함 Type별 장/단점 비교

Type	조립 편의성	기술적 난이도	제작 비용	품질 안정성	사용 실적
PJB	H	H	H	H	500kV
PMJ	H	H	M	M	400kV
TMJ	L	L	L	L	154kV
TJ	M	L	L	L	132kV

이상의 비교 결과로부터 PMJ와 PJB Type을 초초고압용 조립형 직선 접속함으로 검토할 수 있다고 판단되지만 PMJ Type은 사용실적과 품질의 안정성 면에서 계면압력을 일정한 수준으로 유지시켜주는 PJB Type의 수준에 미달하는 것으로 평가되었다. 또한 유럽의 우수한 초고압 접속함 메이커에서 400kV급 PMJ Type 직선 접속함 개발에 노력했지만 만족할 만한 결과를 얻지 못한 것으로 판단된다. 이와 더불어 230kV급까지의 조립형 직선

접속함(PJB) 개발 경험을 가진 자사의 기술력을 고려하여 345kV급 조립형 직선 접속함은 PJB Type으로 결정하였다. 그림 1과 2에 채택된 직선 접속함의 Proto Type 모델과 등전위선도를 각각 나타내었다.



No.	부품명	No.	부품명
1	에폭시 유닛	6	스트퍼
2	고무 스트레스 콘	7	외함
3	매입 금구	8	절연통
4	체결 금구	9	스프링 압축장치
5	도체 슬리브	10	방수층

그림 1. 345kV급 직선 접속함의 Proto Type

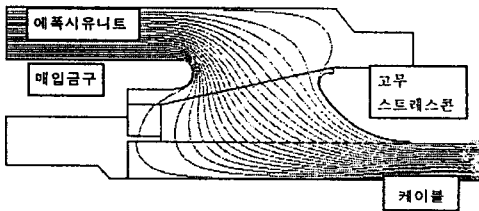


그림 2. Proto Type 모델의 등전위선도

### 2.3. 종단 접속함의 Proto Type 선정

종단 접속함은 기중 종단 접속함 (EB-A)와 가스중 종단 접속함 (EB-G), 그리고 유중 종단 접속함 (EB-O)로 나눌 수 있는데 기중 종단 접속함은 가공선로와 전력 기기 사이에서 도체를 연결하는 기능을, 유중 종단 접속함과 가스중 종단 접속함은 지중선과 전력 기기를 연결해 주는 기능을 각각 가지고 있다. 직선 접속함은 도체 양단을 접속하여 외부를 차폐시키는 유한영역의 구조를 가지고 있기 때문에 전계 제어가 비교적 수월하여 제품의 치수 및 부품 생산 공정, 조립 공정에 설계의 주안점을 두는 것과 달리 종단 접속함은 탱크내에 접속되어 제한적인 외부절연 영역을 가지는 경우(가스중/유중 종단 접속함)와 무한한 외부 절연 영역을 가지는 경우(기중 종단 접속함)로 대별될 수 있다.

또한, 초초고압용 교류 전력계통은 일반적으로 단구간인 경우가 많기 때문에 최소 30% 이상이 종단 접속함으로 이루어지고 있다. 기술적인 면에서는 초초고압화에 따르는 제품 크기의 증대에 따라서 내부절연과 외부절연, 기계적 측면으로 한 단계 높은 수준의 설계가 필요하여 제품 개발에 따르는 기술 축적 결과를 절연물, 전력 기기, 고전압 시험 단말등에 활용 할 수 있는 시너지 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.3.1 기중 종단 접속함

기중 종단 접속함은 외부 전계 제어의 난이도가 높기 때문에 조립성과 제조공정을 고려하는 동시에 우선적으로 전계 제어의 용이성을 검토해야 한다. OF 케이블용의 경우, Condenser Cone형과 Bell Mouth형으로 대별되지만 초초고압용 기중 종단 접속함의 경우 Bell Mouth 형으로는 전계 분포를 균일하게 제어할 수 있는 방법이 없으므로 Condenser Cone형이 최선책으로 채택되어왔다. CV 케이블용의 경우, 외부 전계 제어에는 Condenser Cone형이 상대적으로 우수하지만 케이블의 열수축 팽창율이 크기 때문에 Condenser Cone과 케이블 반도전 끝단을 적극적으로 완만히 연결하면서 케이블과 비슷한 열적 특성을 가지는 부품을 사용해야 하는 어려움 때문에 조립성과 장기 신뢰성의 문제를 고려할 때 다양한 설계 제약 조건의 제약을 받는다. 이에 대한 대책으로 Condenser Cone과 Polymer Bell Mouth 절충형을 바탕으로 케이블의 열적 특성에 대한 장기 신뢰성을 향상시키는 구조를 채택하였다. 표 3에 CV 케이블용 기중 종단 접속함의 설계 난이도를 나타내었다.

표 3 초초고압용 종단 접속함의 설계 난이도

설계 Point	OF 케이블용	CV 케이블용	문제점
케이블 반도전 끝단의 삼중점	중	상	Heat Cycle
내부절연구조	중	상	
외부절연구조	중	중	-
전계제어	중	상	Premold형 부품
유밀구조	중	상	Heat Cycle
총 합	중	상	Heat Cycle

표 3에서 제시한 종단 접속함의 설계난이도 평가 결과를 볼 때 전체적으로 CV 케이블용 종단 접속함의 난이도가 높게 나타나 있다. CV 케이블은 온도변화에 따라서 수축 팽창율이 OF 케이블에 비해서 매우 크고 특히, 초고압용 유입식 CV 케이블 종단 접속함 중 기중 종단 접속함의 경우에는 전계 제어 부품을 OF 케이블용 소재를 사용하는 경우가 많으므로 Heat Cycle시 케이블과 부품의 계면에 열수축 팽창율의 차이에 의해서 Oil Path를 형성, 절연과파괴에 이를 수 있다.

또한 장기간의 사용 시에 절연보강용 절연유가 누유하는 사고가 발생할 수 있기 때문에 세계 유수 메이커들의 제품을 살펴보면 각각 독특한 유밀 구조를 가지고 있어서 누유에 대한 안정성을 확보하고 있다. 표 4에 메이커별 기중 종단 접속함의 유밀 구조 특징을 비교하여 나타내었다.

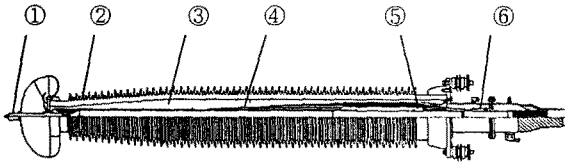
표 4. 메이커별 유밀구조

Maker	특징	신뢰성	작업성	Know How
Hitachi	테입 몰딩	H	L	소재
ABB	유밀콘	H	H	형상
G & W	유밀막	M	H	구조

외부 절연 설계시 주의해야 할 점은 내부 절연 설계는 우수한 절연재료를 채택하여 보강이 가능하지만 외부 절연 설계는 소재로서 오직 공기밖에 사용할 수 없다는 점이다. 이 때문에 154kV급까지는 절연부품의 비유전율

차이를 이용한 구조(에폭시 와 Type, CV 케이블용의 경우)의 사용이 가능했으나 230kV급 이상의 초초고압급 제품의 설계에 있어서는 전계의 분포를 보다 균일하게 제어할 수 있는 Capacitor 혹은 Resistor Type을 선정해야 한다. 그림 3에 345kV급 기중 종단 접속함의 Proto Type을 나타내었다.

선정된 Type의 기중 종단 접속함은 콘덴서 콘 방식의 전계완화 구조와 벨마우스 Type의 내부 전연 보강구조로 설계되어 초초고압용 종단접속함의 설계 Weak Point인 외부 절연을 보강시킨 안정된 구조이며 절연유의 누유를 방지하기 위해서 특별히 고안되어 신뢰성을 입증한 유입콘을 사용하고 있다.



No.	부품명	No.	부품명
1	도체 인출봉	4	콘덴서 콘
2	자기재 애관	5	전계 제어부
3	절연유	6	오일 차단부

그림 3. 기중 종단 접속함의 Proto Type

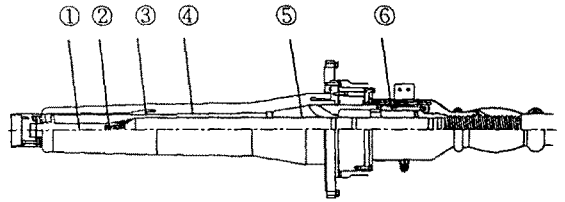
### 2.3.2 가스중 종단 접속함

가스중(유중) 종단 접속함은 외부 절연 영역이 제한되어 있고 제한된 외부 절연 영역을 유한영역의 절연 부품으로 간주한 전계 제어가 가능하여 기중 종단 접속함에 비해서 외부 절연 설계는 용이하다 IEC840에 따르는 애관의 채택으로 내부 절연 거리가 길어지는 제약조건이 있다. 이 때문에 애관의 내부절연을 절연유로 보강하는 유입식을 채택해야 하며 충전된 절연유의 열적 거동 또한 설계의 제약 조건으로 나타난다. 또한, 애관 크기의 증가로 대형 에폭시 부품 제조기술이 뒷받침 되어야 한다. 표 4에 Type별 특징 비교 결과를 나타내었다.

표 4. Type별 특징비교

분 류	특징 (난이도)
Condenser Cone형	전계제어 (H) 제조공정 (L) 조립공정 (L)
Bell Mouth형	전계제어 (M) 제조공정 (M) 조립공정 (M)
스프링 압축형	전계제어 (M) 제조공정 (H) 조립공정 (H)
유입형	전계제어 (H) 제조공정 (L) 조립공정 (L)

이상에서 검토한 Type 비교를 통하여 내부절연 보강을 위한 유입형과 절연유의 열거동에 안정적인 구조인 스프링 압축형을 채택하였다. 그림 4 및 5에 채택된 가스중 종단 접속함의 Proto Type과 등전위선도를 각 나타내었다.



No.	부품명	No.	부품명
1	도체 인출봉	4	콘덴서 콘
2	자기재 애관	5	전계 제어부
3	절연유	6	스프링 유니트

그림 4. 가스중 종단 접속함의 Proto Type

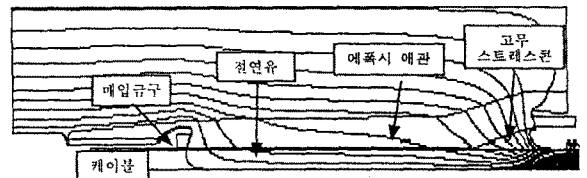


그림 5. Proto Type 모델의 등전위선도

## 3. 결 론

세계적으로 초고압 전력계통에 설치되고 있는 접속함 Type은 공장에서 생산되어 일정한 수준의 품질을 유지할 수 있는 조립형 접속함이 주류를 이루고 있다. 국내의 전력계통은 345kV급을 최고 계통전압으로 사용하고 있으며 1996년 OF 접속함이 국산화 된 이후 CV 케이블 및 접속함 기술의 진보로 국내 지중 전력 케이블 시스템에도 CV 케이블의 공급을 검토할 수 있는 수준에 이르렀다. 이에 154kV급 및 230kV급 접속함의 개발 경험을 바탕으로 국내의 345kV급 전력계통에 우수한 품질의 제품을 공급하기 위하여 국내외의 다양한 모델을 조사하고 장/단점을 비교하였다.

또한 345kV급 CV 지중 케이블 시스템 규격의 확정과 국내의 전력 계통에 알맞는 접속함 Proto Type의 선정을 완료하여 제품 개발에 필요한 소요일정을 앞당길 수 있을 것이라고 판단된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Cigre Working group 21.03, "Recommendation for electrical tests Prequalification and Development on Extruded Cables and Accessories at voltages >150(170)kV and ≤ 400(420)kV", Electra 1993.
- [2] Cigre Working group 21.03, "Recommendation for Electrical tests Type, Sample and Routine on Extruded Cables and Accessories at voltages >150(170)kV and ≤ 400(420)kV", Electra 1993.
- [3] IEC Publication 840, "Test for Power Cables with Extruded Insulation and their accessories for rated voltages above 30kV up to 150kV"
- [4] S.Fukunaga etc., "Development and Commercial Use of Prefabricated Joint for 220kV XLPE Cable, International Symposium on High Voltage Engineering 1993.