

345kV OF 케이블 보통접속재의 절연설계에 관한 연구

이종범, 강동식, 강도현, 이수현*
한국전기연구소

A Study on the Insulation Design of Normal Joint in 345kV Oil-Filled Cable

Jong-Bum Lee, Dong-Sik Kang, Do-Hyun Kang, Soo-Hyun Lee

K E R I

ABSTRACT

This paper presents the insulation design of 345kV OF cable normal joint which is essential to construction of underground transmission system.

The insulation designs of stress relief cone, pencilling and sleeve were proposed in this paper, and the final insulation design was decided by the results of the electric field and thermal analysis using FEM.

It is shown that the designed normal joint proves the effect when the developing test is carried out to construct 345kV OF cable in the domestic underground transmission system.

1. 서론

최근 도심지의 전력수요밀도가 급격히 증대함에 따라 대용량 지중송전의 필요성이 날로 높아져 지중송전계통의 건설이 계속 증대되고 있는데 이러한 추세는 계속 확산될 전망이다.

따라서, 국내에서 154kV급까지 운전되고 있는 지중송전이 '90년대 초에는 원활한 대용량 지중송전을 위해 345kV급까지 격상되어 운전될 예정에 있다. 한편, 국내의 케이블 제조회사는 이미 '89년에 345kV급 OF 케이블을 생산한 바 있으나, 접속재에 대한 연구는 미비한 실정에 있으며, 실제로 지중케이블을 계통에 포설할 경우에 케이블 자체만으로는 포설은 불가능하며, 케이블을 연결하여 주는 중간접속재와 케이블 단부에서 가공선등과 연결해 주는

중간접속재가 지중송전계통에 필수적이라 하겠다.

이와 같은 중간접속재에는 케이블 포설시 사용목적에 따라 보통접속재, 절연접속재, 유지접속재등으로 나누어 진다.

본 연구에서는 345kV급 OF 케이블 개발을 위해 가장 기본이 되며 많이 사용되는 보통접속재의 절연설계에 대하여 고찰하여 보았다.

2. 보통접속재의 절연설계

OF 케이블 및 접속재에 사용되고 있는 절연체는 절연지(Kraft지)와 절연유가 혼합되어 있으며, 절연지와 절연유의 장벽효과에 따라 절연내력이 향상되는데, 절연유는 항상 대기압 이상으로 유지되고 있어 보이드가 없는 상태이다.

이와 같은 케이블을 접속할 때 단지 전기적인 접속만을 목적으로 하여 사용하는 경우의 접속재가 보통접속재로써, 절연설계에 케이블과 같은 절연재료를 사용하며 케이블과 동등성능을 가지도록 접속재 유침작업시 절연체의 절연성능을 저하시키는 작업시의 유침지 흡습, 유침지 오손, 연속유층의 발생을 고려하여 설계한다.

2.1 도체접속 슬리브의 설계

고압이상의 케이블 도체를 접속하는 방법으로는 압축에 의한 접속방법이 사용되고 있으며, 이 접속슬리브 압축후에 도체 접 부 표면을 부드럽게 만들어 도체접속부 부분에서 국부고전계 발생 부위 및 국부적인 발열현상이 없게 하고, 케이블 도체와 같은 허용장력을 지니도록 설계되어야 한다.

1 x 2000mm' 용 345kV OF 케이블의 도체접속 슬리브를

설계하면 다음과 같다.

가. 슬리브 내.외경의 결정

$$d_o = (1 + 0.03) \times d_c + \alpha \quad \dots (1)$$

$$= 60.9\text{mm}$$

$$D_o = \left[\frac{8}{3\sqrt{3}} \times \left(A + \frac{\pi}{4} \times d_c^2 \right) \right]^{\frac{1}{3}} + 1 \quad \dots (2)$$

- 여기서, d_o : 도체슬리브의 내경 [mm]
- d_c : 케이블 도체의외경 [58.8mm]
- α : 도체와 슬리브간의 여유도 [슬리브의 직경이 16 ~ 63mm인 경우 0.03mm]
- D_o : 압축전 도체슬리브의 최소설계 외경 [mm]

나. 슬리브 길이의 결정

$$L_m = \frac{1.1 \times \sigma_c \times A}{\pi \times d_c \times P_o \times \delta} \quad \dots (3)$$

$$= 75\text{mm}$$

$$L_s = 1.7 (D_o - d_o) \quad \dots (4)$$

$$= 40\text{mm}$$

이 때 슬리브 전체의 길이는 다음과 같다.

$$L = 2 (L_m + L_s) \quad \dots (5)$$

$$= 230\text{mm}$$

- 여기서 L : 슬리브 전체의 길이 [mm]
- L_m : 슬리브 편측 유효압축길이 [mm]
- L_s : 도체슬리브의 Taper부 길이 [mm]
- σ_c : 도체의 허용인장력 [구리의 경우 7kg/mm^2]
- P_o : 슬리브의 파지력 [구리의 경우 1kg/mm^2]
- δ : 압축후 도체 슬리브 길이의 신장율 [=1.1]

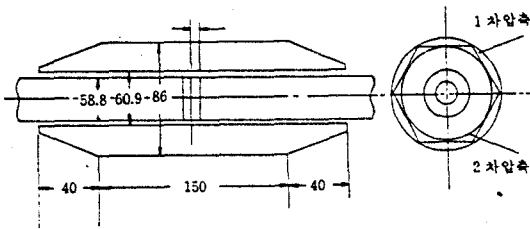


그림 1 설계된 압축 도체접속 슬리브

2.2 보강절연지 외경의 결정

케이블이 연결되는 도체접속 압축슬리브 표면에서 새로운 내전압 성능을 확보하는 것이 보강절연의 목적이다. 이와 같은 보강절연의 외경은 도체접속 슬리브상의 최대 전위 경도로부터 결정 되는데 이는 식 (6)으로부터 구할 수 있다.

$$Gr = \frac{V \times \beta}{R_s \times \ln \frac{R_i}{R_s}} \quad [\text{kV/mm}] \quad \dots (6)$$

- 여기서, R_c : 케이블 도체의 외반경 [=29.4mm]
- R_i : 케이블 절연체의 외반경 [= 52.8mm]
- R_s : 압축후 도체슬리브의 외반경 [=37mm]
- V : 인가전압 [V_{ac} : [=530kV]
 V_{imp} : [=1,560kV]
- β : 안전율 [=1.2]
- Gr : 절연설계치 [AC : 15~20 [kV/mm]
 Imp : 45~50 [kV/mm]

식 (6)에 교류장시간 내전압시와 뇌충격 내전압시의 절연설계치를 대입하여 두 내전압에 대하여 보통접속재 외반경 110mm를 구하였다.

2.3 Stress Relief Cone의 설계

케이블 접속을 위해 절단된 케이블 차폐층으로 전계가 집중하는 경향이 있으므로 이 스트레스를 완화시키기 위해 보강절연체를 Stress Relief Cone 설계한다. 이 Stress Relief Cone의 길이는 접속부위에서 연면방향의 전위경도가 크게 되어 파괴가 생기기 쉬우므로 이를 충분히 고려하여 그림 2에서와 같이 Stress Relief Cone상에서 연면방향의 전계치가 일정하다고 가정하고 식 (7)로부터 구할 수 있다.

$$L = \frac{V \times \beta}{G} \times \left[\frac{\ln \frac{R_j}{R_c}}{\ln \frac{R_i}{R_c}} \right] \quad \dots (7)$$

- 여기서, L : Stress Relief Cone의 길이 [mm]
- G : Stress Relief Cone에서 연면방향 절연설계치 [kV/mm]

이 때, 케이블 연면방향의 교류내전압 및 뇌충격 내전압시의 절연설계치 0.75[kV/mm], 2.5[kV/mm]를 식 (7)에 대입하여 $R_j=110\text{mm}$ 일 때 Stress Relief Cone의 길이 690mm를 구하였다.

2.4 내부연면길이의 결정

그림 2에서 도체 노출부 c에서 케이블 절연층의 Cone개시점 a에 이르는 Creepage의 길이에서 케이블 절연층 연면방향으로 유침지의 장벽효과가 없어 케이블

연면(Longitudinal)방향의 절연내력이 관통(Radial)방향의 절연내력에 비해 한층 약하게 되는데 이를 고려한 식 (8)로부터 보통접속재의 내부 연면 길이를 구할 수 있다

$$L = \frac{V \times \beta}{G_p} \dots\dots\dots (8)$$

여기서, L : 접속재의 내부연면길이 [mm]

Gp : 연면방향 절연설계치 [kV/mm]

이 때, 절연설계치로 보통접속재의 Stress Relief Cone 설계시 교류내전압 및 충격내전압 인가시의 절연설계치 0.75kV/mm와 2.5kV/mm를 적용하여 두 내전압에 대하여 모두 만족되는 내부 연면길이를 850 mm로 결정하였다.

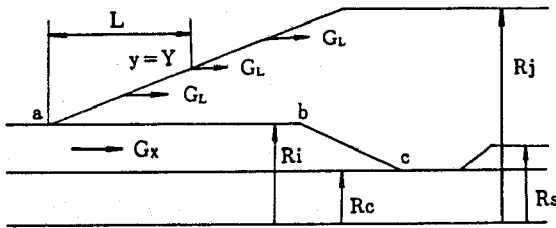


그림 2 보통접속재의 내부단면

2.5 Pencilling길이의 결정

케이블 절연체와 접속부 보강절연층을 밀착시키고, 전기적으로 약한 옆면길이를 증대시키기 위해 케이블 절연체를 Pencilling 하는데 이 길이는 다음 식(9)로부터 구한다.

$$L = \frac{V \times B}{G_l} \times \frac{\ln \frac{R_i}{R_c}}{\ln \frac{R_j}{R_c}} \dots\dots (9)$$

이 식에 절연설계치를 대입하여 구한 Pencilling의 길이 350mm를 그림 3과 같이 3단 Pencilling 함으로써 보강절연층을 밀착시키고 유침작업이 용이하도록 하였다.

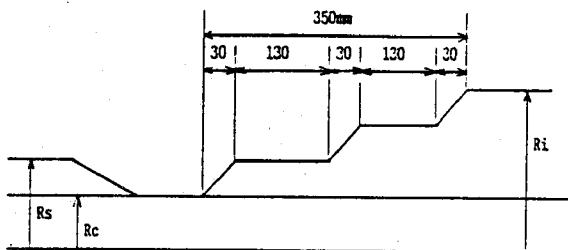


그림 3 3단의 계단식 Pencilling 단면도

3. 해석결과 및 설계 검토

표 1은 이와 같이하여 설계된 보통접속재에 대해 유한요소법을 이용하여 전계해석을 하였으며, 이 때의 주요부분의 전계치들을 보여주고 있다. 여기서, 전계해석 부위의 각 전계치가 절연설계치의 절연설계 전계치보다 작은 안전한 범위 내에 있음을 확인할 수 있었다.

표 1. 절연설계치의 전계해석치와의 비교

설계부분	절연설계치 (설계허가값)		전계해석치 (평균값)	
	k (kV/mm)	lp (kV/mm)	k (kV/mm)	lp (kV/mm)
도체슬리브	15	6	13.34	3.25
유침지연면	0.75	2.5	0.55	1.64
Stress Cone (연면방향)	0.75	2.5	0.61	1.80

그림 4와 5는 설계된 345kV OF 케이블 보통접속재의 전계해석 및 열해석에 따른 등전위선과 등온선을 나타내고 있으며, 슬리브 표면에서의 전계치와 도체표면의 전계치는 케이블 방향으로 갈수록 전계치가 증가함을 알 수 있었고, 도체 슬리브 부위의 온도는 케이블 도체부위의 온도보다 약 2[°C]정도가 높음을 알 수 있었다.

이와 같이하여 설계된 도체단면적이 1x2000mm² 인 345kV OF 케이블 보통접속재의 절연설계 도면은 그림 6과 같다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내에서도 장차 345kV OF 케이블이 지중계통에 포설 예정인 바, 이를 대비하기 위하여 포설시 필수적인, 케이블 접속재의 국산화 일환으로 보통접속재의 절연설계를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 보통접속재에서 도체 단면적이 1X2000mm² 일 때의 양쪽의 케이블 도체를 연결하는 압축형 도체 접속슬리브를 설계하였다.
2. 절연설계식을 기초로 하여 보통접속재의 보강절연층 외경, Stress Relief Cone의 길이 및 내부 연면 길이등을 결정하였다.
3. 이와 같이하여 절연설계된 보통접속재를 유한요소법을 이용하여 전계해석 및 열해석을 하였으며 이로부터 해석부위의 전계값이 절연설계치 내에 있음을 알 수

있었고, 슬리브부위의 도체온도가 케이블 도체부위의 온도보다 약 2[°C] 높게 됨을 알 수 있었다.

앞으로 이와 같이하여 설계된 345kV OF 케이블용 보통접속재를 제작하여 교류장시간 내전압시험 및 뇌충격시험등 개발시험을 통해 설계시 Weak Points를 찾아 보완설계 함으로써 지중송전계통 구성시 필수적으로 소요되는 접속재의 개발에 크게 기여할 수 있으리라 사료 된다.

참고문헌

1. H. D. Short, " A Theoretical and Practical Approach to the Design of High-Voltage Cable Joints ", Vol. 68, pp 1275, 1949.
2. KERI 보고서, " 초고압 지중 OF 케이블 접속재 국산화 및 접속공법에 관한연구 (I) ", 과학기술처, 1989.

3. KERI 보고서, " 초고압 지중 OF 케이블 접속재 국산화 및 접속공법에 관한연구 (II) ", 과학기술처, 1990.
4. Peter Graneau "Underground Power Transmission," John Wiley & Sons, 1979.
5. R. Bartnikas, " Power Cable Engineering ", Sandford Educational Press, 1986.
6. Turan Gomen, " Electric Power Transmission System Engineering," John Wiley & Sons 1987.
7. 飯塚喜八郎, " 275kV OF 케이블용 接續箱의 諸特性", 日立平論, 第 49卷, 第 5號, 1967.
8. 岩田善輔, " 油浸 케이블 絶緣 (付屬品絶緣의 技術進歩)" EIM-84-43, pp55, 1984.
9. 飯塚喜八郎, "電力케이블技術 핸드북", 1989.

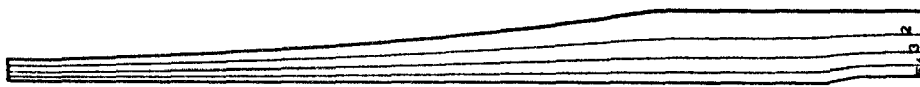
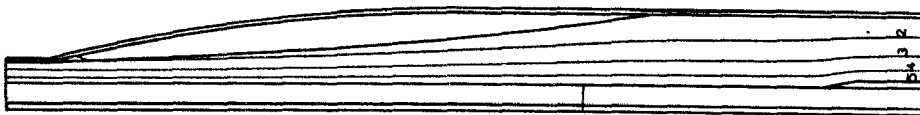


그림 4 345kV 보통접속재의 등전위선

Volt	
1	1991.8
2	50791.
3	99590.
4	0.14839E+06
5	0.19719E+06



$I=2,000[A]$, $h=11[W/m^2 \cdot ^\circ C]$, $T_0=40[^\circ C]$

그림 5 345kV 보통접속재의 등온선

Celsius degree	
1	44.173
2	53.279
3	62.386
4	71.493
5	80.600

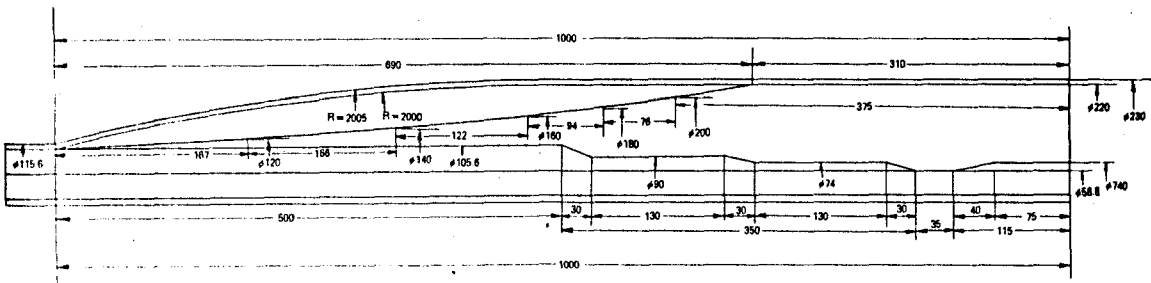


그림 6 보통접속재의 절연설계도면 (단위: mm)