

## 전기철도 부하개폐기용 절연애자 설계검토

### Insulator characteristics review of Load Break Switch for Electric Railway

조호령<sup>†</sup>, 김재문<sup>\*</sup>, 김인철<sup>\*\*</sup>, 전찬웅<sup>\*\*</sup>, 조시현<sup>\*\*</sup>, 박혜민<sup>\*\*</sup>, 박종원<sup>\*\*\*</sup>, 오우식<sup>\*\*\*</sup>, 김종락<sup>\*\*\*</sup>, 강태섭<sup>\*\*\*</sup>  
 Ho-Ryung Cho<sup>†</sup>, Jae-Moon Kim<sup>\*</sup>, In-Chuol Kim<sup>\*\*</sup>, Chan-Woong Jeon<sup>\*\*</sup>, Si-Hyeun Cho<sup>\*\*</sup>,  
 Park Hye-Min<sup>\*\*</sup>, Park Jong-Won<sup>\*\*\*</sup>, Woo-Sik Oh<sup>\*\*\*</sup>, Kim Jong-Rak<sup>\*\*\*</sup>, Kang Tae-Sub<sup>\*\*\*</sup>

**초 록** 전차선로에는 전차선에 안정적인 전력을 급전하기 위하여 전철변전소와 급전구분소 등이 시설되고, 급전시설에는 전차선에 급전과 단전을 담당하는 전원개폐장치인 부하개폐기나 단로기가 설치되어 필요에 따라 전원을 개폐하게 된다. 현재 국내에서는 예폭시절연부하개폐기를 주로 사용하고 있고 최근에는 진공인터럽터를 내장하여 부하개폐가 가능하면서도 절연부와 개폐부가 노출된 개방형 부하개폐기가 수입되어 사용되고 있다. 본 논문에서는 현재 개발하고 있는 개방형 부하개폐기의 절연애자의 특성에 대하여 살펴보고 설계검토 내용에 대하여 살펴보고자 한다.

**주요어** : 전기철도, 부하개폐기, 단로기, 진공인터럽터(Vacuum Interrupter), 절연애자

## 1. 서 론

본 논문에서는 전기철도 부하개폐기의 종류별 특징에 대하여 알아보고, 현재 개발 진행 중인 개방형 부하개폐기에 적용되는 폴리머 절연애자의 특성과 설계검토 내용에 대하여 살펴보기로 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 부하개폐기의 종류별 특성

현재, 국내전기철도용 부하개폐기는 진공인터럽터를 내장하고 있고 외부 절연은 예폭시재질의 절연하우징이 담당하는 방식으로 부하개폐는 진공인터럽터에 의하여 이루어지는 방식이다.

최근 수입되어 적용하고 있는 개방형부하개폐기는 단로기형 부하개폐기로 접점과 아크소호를 담당하는 진공인터럽터를 병용 적용하고 있는 방식이며 절연은 지지애자로 되어있는 방식을 적용하고 있다. 다음 표1은 예폭시절연부하개폐기와 개방형부하개폐기를 비교한 내용이다.

표 1 전기철도용 부하개폐기 비교

구 분	예폭시절연 부하개폐기	개방형 부하개폐기
정격전압 [kV]	29	29
정격부하전류 [A]	2,000	2,000
충격내전압 [kV]	250	250
상용주파내전압 [kV/1min]	95	95
정격 단시간 내전류 [kA(rms)/1sec]	20	20
정격 차단전류	52kAP	52kAP
중 량	약 168 kg	약 40kg
개폐방식	진공 인터럽터 개폐방식	접점 및 진공 인터럽터 개폐방식 혼용
설치방식	전용주, 전철겸용주 수직설치 (경사설치 불가)	전용주, 전철겸용주 수직 및 경사 설치 가능
주요특징	진공인터럽터를 내장한 예폭시절연 방식의 일체 몰드형으로 부분방전센서 내장	컴팩트한 구조 개폐상태 육안 확인 작업자 안전사고 원천 방지

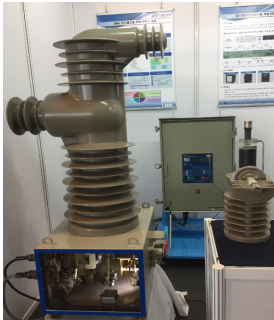
† 조호령 : 한국교통대학교 교통대학원 (hrcho@d2eng.co.kr)

\* 한국교통대학교 교통대학원

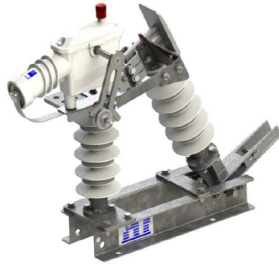
\*\* (주)디투엔지니어링 기술연구소

\*\*\* 국가철도공단 인재개발연구원

다음은 부하개폐기 사진이다.



에폭시절연부하개폐기



개방형부하개폐기

## 2.2 부하개폐기의 애자의 특성기준

전기철도용 개방형 부하개폐기에 적용되는 애자는 EN 50151 "전기철도용 복합애자에 대한 특별요구사항(Railway applications - Fixed installations - Electric traction- Special requirements for composite insulators)을 만족하여야 한다. 다음 표2는 전기철도용 폴리머애자의 전기적특성표이다.

표 2 전기철도용 폴리머애자 전기적 특성표

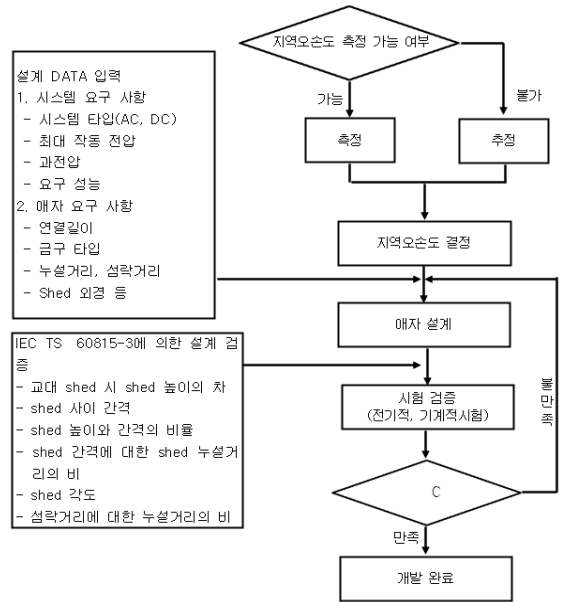
Nominal voltages Un(a) kV	Highest permanent voltage (a) kV	Minimum value of rated insulation voltage(b) UNM kV	Rated impulse voltage(b) kV	Wet power frequency withstand voltage(b) kV
0.6	0.72	0.72	8	4.3
0.75	0.9	0.9	12	6.5
1.5	1.8	1.8	18	10
3	3.6	3.6	25	12
15	17.25	36 <sup>c</sup>	170	70
25	27.5	52 <sup>c</sup>	200	95
25	36	52 <sup>c</sup>	250	95

a In accordance with EN 50163  
b In accordance with EN 50124.  
c See EN 50124-1, Table D.1, Note

## 2.3 부하개폐기용 지지애자의 설계 검토

### 가. 전기철도용 애자의 설계검토

전기철도용 개방형부하개폐기에 적용되는 애자의 설계는 IEC TS 60815-1의 Annex A에 따른 설계 Flow chart에 따라서 설계하고 전개해석을 통하여 설계확인을 할 필요가 있다. 다음 그림은 설계 Flow chart를 나타낸 그림이다.



< 전기철도용 애자 설계 순서 >

### 나. IEC 규정에 따른 애자의 설계 검토

설계된 폴리머 지지애자는 다음과 같이 IEC TS 60815-3에 따라 HOUSING의 PROFILE을 검토하여 이상 유무를 확인하여야 한다..

#### (1) Overhang 차 (P1-P2) 검토

IEC TS 60815-3 기준	기준	설계치
	일정갓 $p_1 = p_2$ 교대갓 $p_1 - p_2 \geq 0.18 p_1$	$p_1 - p_2 \geq 0.18 p_1$ $18.95 \geq 9.63$

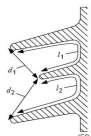
#### (2) S/P 비율 (spacing/overhang) 검토

IEC TS 60815-3 기준	기준	설계치
	$S/P \geq 0.75$	$1.04 \geq 0.75$

#### (3) Shed간 최소거리(간격) C (mm) 검토

IEC TS 60815-3 기준	기준	설계치
	일정갓 $C \geq 25$ 교대갓 $C \geq 40$	$56 \geq 40.0$

(4)  $\Delta l / d$  (creepage distance/clearance) 검토

IEC TS 60815-3 기준	기준	설계치
	$\Delta l / d \leq 4.5$	$3.28 \leq 4.5$

(5) Creepage factor(C.F) 검토

IEC TS 60815-3 기준	기준	설계치
누설거리 / 섬락거리	SPS 등급 $e \leq 4.8$	$3.20 \leq 4.8$

9.7 Creepage factor

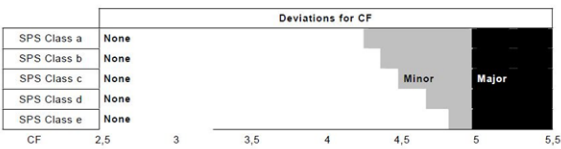
CF is equal to  $l/A$

where

$l$  is the total creepage distance of the insulator;

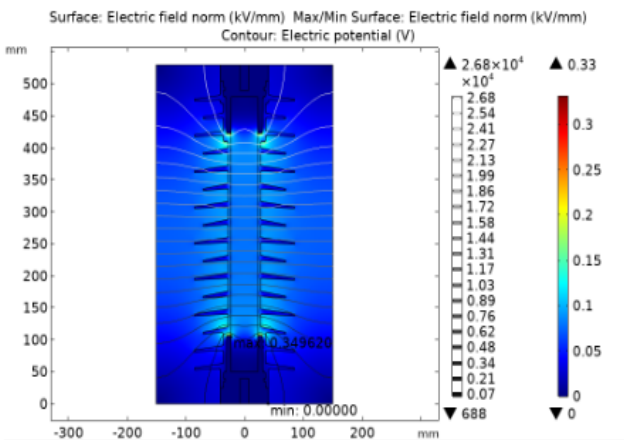
$A$  is the arcing distance of the insulator.

Creepage factor is a global check of the overall density of creepage distance. If the requirements of 9.2, 9.3 and 9.4 are met, the creepage factor requirement is usually automatically respected.

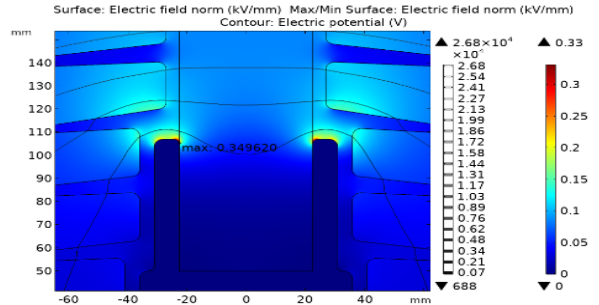


(6) 전계해석에 의한 설계검증

설계된 폴리머지지애자에 대한 전계해석을 통하여 전계가 집중되는 금구 말단부에서의 전계강도 값을 확인하여 EPRI Report #1015917의 가이드라인에 따라 권고하는 Wet corona Type의 Sheath부 최대전계강도는 0.42kV/mm, 금구부 최대전계강도는 0.35kV/mm를 넘지 않도록 설계하여야 한다.



< 지지애자에 대한 전계분포도 >



< 지지애자 금구부분의 전계분포도 >

Table 4-1 In summary the EPRI recommendations on Electric field limits for Polymer Insulators.

Type	Insulator component	E-Field limit [kV/mm]	Testing	Calculation
A	Dry corona			
	End fittings Corona Rings	1.7 - 2.1*	Yes	Yes
B	Wet corona			
	Sheath	0.42 for more than 10 mm	No	Yes
	End fitting seal	0.35*	No	Yes

Note: \* At present there are not yet consensus on an appropriate value and they are therefore still under review.

< EPRI report #1015917의 최대 전계강도 >

2.4 해외 부하개폐기용 지지애자 설계 비교

설계된 폴리머지지애자에 대하여 수입되고 있는 해외 제품의 지지애자 사양과 설계부분을 비교한 내용은 다음 표 3과 같다.

표 3 전기철도용 부하개폐기 지지애자 사양비교

구분		단위	R사 애자	D사 애자	개발제품 (안)
기계적 성능	굽힘파괴하중	N·m	-	-	5000
	인장파괴하중	KN	-	-	100
	인장내하중	KN	-	-	50
전기적 성능	상용주파수 주수 내전압	상-대지	95	95	95
		상-상	110	110	110
	내충격 (뇌임펄스) 내전압	상-대지	250	250	250
		상-상	290	290	290

취부길이	mm	560	450	560
절연거리	mm	400	418	450
건조섬락거리	mm	458	458	497
날개지름(L/S)	mm	174.5/ 120	120/ 85	170/ 140
날개수(L/S)	개	6/5	6/6	8/7
최소표면 누설거리	mm	1376 (1255)	1631 (1560)	1759
FRP Rod dia	mm	Φ 50	Φ 35	Φ 45

### 3. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 전기철도용 개방형 부하개폐기에 적용되는 폴리머 지지애자에 대한 설계에 대하여 설계검토와 전계해석을 통한 설계검증결과 외국사의 개방형 부하개폐기에 적용되는 애자와 동등 이상의 성능을 만족하는 것을 확인하였다. 향후에는 설계 검증된 설계에 따라 시작품을 제작하여 한국 철도표준규격에 만족하는가에 대한 성능검증 시험을 수행할 계획이다.

### 참 고 문 헌

- [1] BS EN 50151: 2003 "Railway applications - Fixed installations - Electric traction- Special requirements for composite insulators"
- [2] IEC TS 60815-1 1st Edition, October 2008 "Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles"
- [2] EPRI Report #1015917, Oct 28, 2008 - "Application of Corona Rings on 115 / 138 kV Polymer Transmission Line Insulators"