

## 초고압 송전선로의 개폐 과전압 사고 확률의 해석

Switching surge performance for EHV power lines.

이 홍 식

한국전기통신연구소

### 1. 개요

초고압 송전선의 절연거리에 지배적인 요인은 개폐과전압이다. 개폐과전압의 크기는 확률적인 관점에서 보아야 하는데 매우 큰 과전압이 발생할 수 있다 하여도 그 발생빈도가 매우 작다면 이에 의한 사고율도 작을 것이다. 또 개폐 과전압은 그 발생 지점으로 부터 반대쪽 끝까지 선로를 따라 꼭 같은 크기로 분포되지 않고 대체로 선형으로 변화한다. 따라서 첩탑의 위치에 따라 한번의 개폐 조작에 대하여 각각 다른 스트레스를 받게 된다.

TNA 또는 EMTP 로 부터 얻은 개폐 과전압 데이터를 근거로 하여 개략적으로 절연 설계된 송전선로의 개폐 과전압 사고율을 컴퓨터로 계산하였다.

### 2. 계산 방법

(1) 개폐 과전압 크기의 분포함수를  $F(V)$  라고 하고 임의의 개폐 조작에 의한  $i$  번째상,  $j$  번째 첩탑의 스트레스를  $V_{ij}$  라고 하고  $V_{ij}$  에 의한 gap 하나의 섬락 확률을  $P_1(V_{ij})$  라고 하면  $i$  상의 사고율은

$$P_{PH}(i) = \int_{SL}^{SH} F(V) \left\{ 1 - \prod_{j=1}^{NT} (1 - P_1(V_{ij})) \right\} dV$$

$$\text{여기서 } V_{ij} = V \cdot \left\{ \frac{1-\rho}{NT-1} (j-1) + \rho \right\}$$

$NT$  = 첩탑수,  $\rho = V_s/V_r$

$SL$  = 최소 개폐과전압,  $SH$  = 최대 개폐과전압

전체상의 사고율은

$$P_T = \frac{1}{2} \int_{SL}^{SH} F(V) \cdot \left\{ 1 - \prod_{i=1}^{N_{PH}} \prod_{j=1}^{NT} (1 - P_1(V_{ij})) \right\} dV$$

(2) 기상조건에 의한 상대절연 강도 (RIS) 히스토그램과 TNA 등으로 부터 얻은 과전압 분포를 결합하여 새로운 스트레스 분포를 얻어(1)의 방법으로 계산한다.

(3) 파두장은 CWF 에 대하여 계산한다. (실제 파두장에 의한 CFO 변동은 고려하지 않았음)

(4) 흐름도 (그림 1참조)

### 3. 사례 계산결과 및 앞으로의 과제

V-String의 air gap 5.27m 인 765KV 2회선 선로에 대하여 최대 써어지 레벨을 2 P.U ( $U_s = 17\%$ )로 하여 계산한 결과는 그림2에서 보는 바와 같다. 본 계산에서는 임계 파두장에 대하여 계산 하였으므로 실제보다 섬락 확률이 좀더 크게 산출 되었을 것으로 추정 된다.

사고율은 써어지 발생 분포와 기상상태에 따라 많이 달라 집수 있으므로 무엇보다도 정확한 개폐 써어지의 발생분포와 기상 상태에 따른 상대절연강도 및 풍속 히스토그램의 작성이 중요하다고 생각된다.

본 계산 중에는 상간 써어지 ( phase-to-phase surge ) 에 대한 섬락 확률은 고려하지 않았으나 앞으로 이 사항에 대한 해석도 필요하다고 본다.

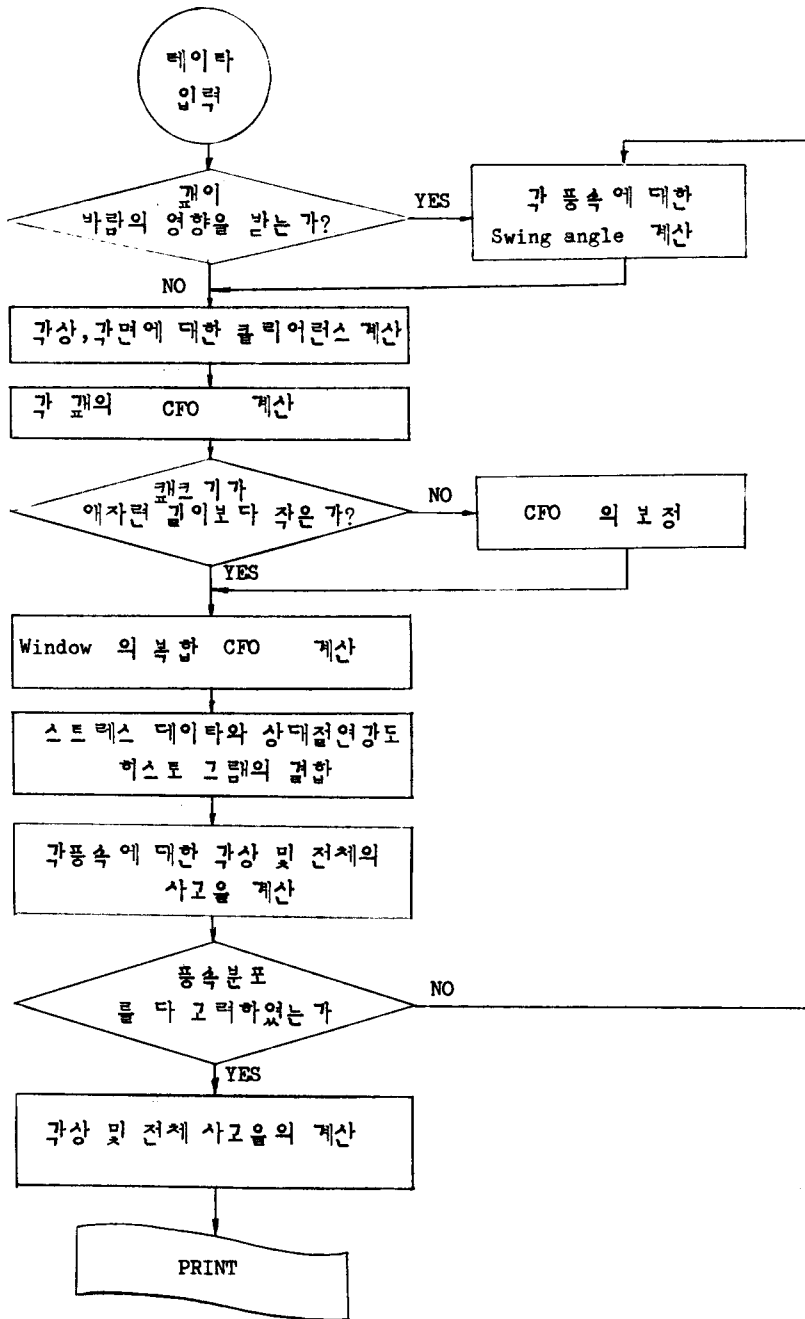


그림 1. 계산 절차

LINE TO LINE  
VOLTAGE

765(KV)

NO OF BUNDLE  
PER PHASE

4

BUNDLE  
SPACING(CM)

45.69

CONDUCTOR  
WEIGHT  
(KG/M)

2.2665

VERTICAL-TO-  
HORIZONTAL  
SPAN RATIO

1

CONDUCTOR  
DIAMETER  
(CM)

3.5204

NO. OF INSULATORS  
PER STRING

55

UNIT LENGTH OF  
INSULATORS(M)

0.146

STRING  
TYPE      HANGER  
LN

U

12.7

RHO(VS/VR)

1

NO. OF TOWERS

500

NO. OF TOWERS/SECTION

500

MAX SURGE LEVEL  
(P.U)

2

MIN SURGE LEVEL  
(P.U)

1.35

FREQH  
(TO EXCEED)      FREQL

0.01

0.995

NO. OF SECTIONS  
SURGE DISTR

30

%SIGMA OF  
STRENGTH      TOWER  
WIDTH(M)

5

2

NO. OF SECTIONS  
WIND HISTOGRAM

6

NO. OF SECTIONS  
RIS HISTOGRAM

5

WIND VELOCITY(KM/HR)

0, 5, 10, 15, 20, 25,  
WIND FREQUENCY

0.05, 0.1, 0.35, 0.3, 0.15, 0.05,  
RIS

0.85, 0.9, 0.95, 1, 1.05,  
RIS FREQUENCY

0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.1,  
CONDUCTOR COORDINATES

( 6.8, 53.4)( 6.8, 41)( 6.8, 28.6)  
(-6.8, 53.4)(-6.8, 41)(-6.8, 28.6)

\* TOWER CONFIGURATION \*

PHASE

DATA(X,Y)

1  
2  
3  
4  
5  
6

( 9, 59)( 1.2, 59)( 1.2, 49.9)( 9, 46.6)  
( 9, 46.6)( 1.2, 46.6)( 1.2, 37.5)( 9, 34.2)  
( 9, 34.2)( 1.2, 34.2)( 1.2, 28.8)( 6, 0)  
(-9, 59)(-1.2, 59)(-1.2, 49.9)(-9, 46.6)  
(-9, 46.6)(-1.2, 46.6)(-1.2, 37.5)(-9, 34.2)  
(-9, 34.2)(-1.2, 34.2)(-1.2, 28.8)(-6, 0)

PHASE	FLASHOVER RATE
1	0.00690
2	0.00690
3	0.00555
4	0.00690
5	0.00690
6	0.00555
ALL PHASES	0.01110

그림 2. 계산 결과

\* 부 록

(1) CFO 계산 자료 (표준상태)

$$CFO = 705.1D - 125.65D^2 + 14.47D^3 - 0.8793D^4 + 0.0213D^5 - (400(1 - 0.4/(0.4 + W/D))), (1 - \text{EXP}(-D))$$

D = gap spacing (m), W = 첩탁 폭 (m)

CFO = 50% 섬락전압 (KV)

(2) 애자력이 gap 길이보다 짧을 때의 전압 보정계수

$$K = 1.005 (L/D)^x$$

$$x = \frac{1}{0.878 + 0.4669 D}$$

L = 애자력의 길이 (m)

(3) 복합CFO 의 계산례

그림3과 같이 트러스와 탑체에 대한 CFO 가 각각 1000, 1100KV 이면 복합CFO 는

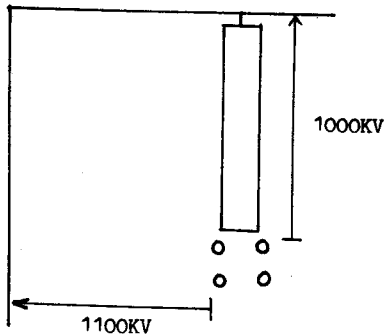


그림 3 복합 CFO

$$r = \frac{1100}{1000} = 1.1$$

CFO composite

$$= CFO_{low} \left[ 0.12 \left( 1 - \exp\left(-\frac{1-r}{0.4}\right) \right) + 1 \right] \\ = 1000 \left[ 0.12 \left( 1 - e^{-0.25} \right) + 1 \right] \\ = 1027 \text{ KV}$$

---참고 문헌---

(1) La Forest et al, "Transmission lines/ 345KV and above" 2nd edition, EPRI, 1982, PP 503-541

(2) La Forest, "Switching surge performance", General Electric, 1982, PP1-38 (PSEC note)