초 고 압 선 로 의 코 로 나 및 전 자 계 영 향

Corona and Field effects of EHV power lines

김 요 희 한국전기통신연구소

1. 개 요

전력 수요의 증가는 송전전압의 초고압화를 요구하게 되었고 전압이 높아지매 따라 송전선 주위의 환경에 대한 새로운 문제가 야기되고 있다. 이 문제들은 코로나에 의한 영향과 전자계 영향으로 대별된다. 코로나에 의한 영향은 라디오 장해, TV 장해, 코로나 소음, 코로나 손실 및 오존의 생성들을 들수 있다. 전자계 영향은 전계와 자계 및 유도전압 전류의 영향을 들수 있다. 본 내용은 당 연구소의 800 KV급 초고압 전력계통 연구를 수행하면서 초고압 선로에서의 코로나와 Field의 영향을 예측하는 콤퓨터프로그램을 만들었고 실선로 (345 KV)에서의 몇가지 실험을 행하였다. 앞으로 1990년대에 예상하는 800 KV급 에서의 이에 대한 영향을 예측 할수 있겠다.

2. 코로나에 의한 영향

(1) 도체 표면의 전위경도

코로나 방전은 도체 표면의 전위 경도가 공기의 절연파괴 강도를 초과할 때 발생된다.(표 1) 공기의 절연파괴 강도는 많은 조건의 영향을 받고 있다. 도체의 크기를 증가시켜 도체 표면의 전위경도를 감소시켜 코로나 영향을 제한하고 있다. 초고압에서는 단도체로 도체표면을 증가 시키기 곤란하므로 일반적으로 복도체를 사용하고 있다. 복도체의 표면 전위경도를 계산하는 방법이 Markt 와 Mengel 에 의해 제시되고 있다. 여기서는 Mangoldt 에 의한 방법을 이용 하였다.

$$E = (18.0\times10^{6}).Q \, \frac{1+\dfrac{K2}{(S/r)}}{N.r}$$

$$K2 = 2(N-1).\ \mathrm{Sin}\ \frac{\pi}{N}$$

E : 도체표면의 전위 경도
S : 소도체 간격 (Cm)
r : 소도체 직경 (mm)
N : 소도체수
Q : 전전하

(2) 라디오 장해 (Radio Interference)

코로나 방전에 의해 Radio 주파수 대

개발국	R.I 계산식	비고
Westinghouse (U. S. A.)	$E_{fair}=48+3.5(g_m-17.5)+30\,log\frac{d}{3.51}+20\,log\frac{30.7h}{D^2}+10(1-f)+40(1-\delta/\delta_o)$ $E_{foul}=E_{fair}+24$	δ= Relative Air Density
Ontario Hydro (Canada)	$E=E_o+A\,log\frac{g_m}{18.8}+40\,log\frac{d}{2.54}+B\,log\frac{30.5}{D}+20\,log\frac{C+1}{C+f^2}$	E_o= 34dB (fair w.) = 63dB (foul w.) A= 146 (fair w.) = 120 (foul w.)
Shiobara (日本)	$E=[(3.7g_m-12.2)\pm3]+40\,log\frac{d}{2.53}+20\,log\frac{h}{D^2}-12(log\,f)^2-17\,log\,f$	
B. P. A. (U. S. A.)	$E_{fair}=48+120\,log\frac{g_m}{17.56}+40\,log\frac{d}{3.51}+10\{[1-log(10f)]^2\}+q/300+C$	q= altitude (m) C= 전자파의 거리감쇠 특성을 고려한 상수

(3 KHZ - 30,000 MHZ)내에 잡음 (Radio Noise) 를 발생하고 있다. 이는 수 백microsecond 내의 Pulse 성 현상을 갖고 있고 수 백MHZ 범위에서 반복성을 지니고 있는 것이 특색이다. 그러므로 Radio 잡음은 AM 주 파수 대 (535-1605 KHZ)와 TV 주 파수 대 (54-88MHZ)로 크 게 분류 하고 있다.

그러나 RI 값은 매우 불안정하며 도체표면 상태에 매우 민감하게 나타나고 있다. 외국 에서의 개발된 RI 계산식은 표 1과 같다.
(g : 전위경도, d : 소도체 직경, D: 측정거리, f: 주 파수)

(3) TV 장해 (Television Interference)

기후조건에 매우 민감하게 변한다. 실제로 옥외에는 수 많은 잡음원이 존재하므로 정확한TVI 측정이 어렵다. 그 원인중의 하나는TVI 는 매우 복잡한 전파 현상이기 때문에 그 해석 및 방법이 어렵다.

G.E (General Electric.Co.) 에서는 TVI 는 RI 의 선형으로 보고 계산식을 수식화 하였고B.P.A 는 가장 장해가 큰상 (Phase)으로 부터TVI 를 보정 계산하여 수식화 하고 있다 (표 2)

(표 2)

개발국	T.V.I 계 산 식
G. E. (U. S. A.)	$TVI = RI - 20\,log\left(f\sqrt{\frac{1+(R/h)^2}{1+(15/h)^2}}\right) + 3.2$
B. P. A. (U. S. A.)	$TVI = 10.0 + 120\,g/16.3 + 40\,log\left(\frac{d}{30.4}\right) + 20\,log\left(\frac{75.0}{f}\right) + C$

R : Phase로 부터 거리 (m)
h : Phase의 높이 (m)
C : 보정 계수

(4) 가청소음 (Audible Noise)

도체표면의 전위 경도가 코로나 방전개시 전압 이하가 되도록 설계하면 가청소음은 존재하지 않지만 실제적으로 도체표면의 흠과 자국, 표면에 부착되는 곤충,식물,꽃가루,물방울등의 변화로 코로나방전개시 전압을 초과하여 국부적인 코로나가 음향에너지로 변하므로써 가청소음을 야기 시킨다.

가청소음의 계산 방법은 크 게 두 가지로 분류하고 있다

a. 특정한 계산방법: 선로의 형태와 전압이 특별한 것만 적용 가능 하다.

AEP 와 Ontario Hydro 가 산출한 계산식을 살펴 보면 다음과 같다 (표 3)

(표 3)

개발국	A. N 계산식 (특정식)
AEP (U.S.A.)	$SL = 108\,log\,g + 10\,log\,n + 75.9\,log[(d/2.54)]^{1.35} - 94.5$
Ontario Hydro (Canada)	$SL = 100\,log\,g - 40\,log\,d - 10\,log\,D - 77.2$

b. 일반적인 계산방법 : 여러형태의 상배열 전압등 폭넓게 사용할 수 있다.

(표 4)

개 발 국	A. N 계산식 (일반식)
B. P. A. (U. S. A.)	$AN = 120\,log\,g + K\,log\,n + 55\,log\,d - 11.4\,log\,D + AN_o$
CRIEPI (日本)	$AN = -665/g - 10\,log\,D + AN_o$
G. E. (U. S. A.)	$AN_s = -665/g + 20\,log\,n + 44\,log\,d - 10\,D - 0.02\,D + AN_o + K_1 + K_2$
IREQ (Canada)	$AN = 72\,log\,g + 22.7\,log\,n + 45.8\,log\,d - 11.4\,log\,D - 57.6$

(5) 코로나 손실

송전 선로의 코로나 손실도 도체의 표면전계가 코로나 개시 경도를 초과할 때 발생하고 도체의 직경,표면 및 대기 조건등에 의해 좌우 된다. 에너지의 손실이라는 경제적인 면에서 검토되고 있다.

Ontario Hydro (Canada),E.D.F(France), G.E (U.S.A),CRIEPI (JAPAN) 등 에서 개발된 여러가지 식이 있으나 그중 일본의 CRIEPI 의 계산식이 많이사용되고 있다.

$$P_t = \frac{0.021\,r^2 N\,e^{0.37E}}{\frac{123.0}{R}\,e^{-0.33E} + 1.0}$$

여기서 P+ : 선로당 코로나손실(KW/Km)
r : 소도체 직경
N : 도체수
E : 최대도체표면전위경도(KV/Cm)
R : 강우량 (mm/h)

(6) 오존의 생성

코로나 방전에 의하여 도체 주위에 오존이 발생 한다. 소량이지만 10ppb 에서 냄새가 나고 9-120 ppb에서 식물에 영향을 주고 100-300 ppb 에서 두시간 노출하면 눈이 따갑고 기침이 나며 불쾌감을 유발한다. W.H 에서 개발한 식이있다.
(식.생략)

3. 전자계 영향

초고압 송전선은 전자장을 발생시키고 유도전압 유도전류등의 정전유도 현상과 자계에 의한 생물학적 영향등의 문제를 낳고 있으므로 최근에는 송전선로의 설계에 주요한 요소를 차지하고 있다. KEPCO 의 345KV 선로에서 지표면의 전계강도, 정전유도전류, 자계강도등을 실측하였고 프로그램결과와 이를 비교 검토 하였다.

가. 지표면의 전계 강도

전압과 선로의 기하학적 위치가 결정되면 Maxwell 전위 계수를 이용하여 전하가 구해지고 전하가 정해지면 임의점의 전계강도가 계산 된다.
3상 송전선로에서의 전계는 각상으로부터 전계가 합성되어 다음식으로 표시되며 일반적으로 타원을 그리며 주기적으로 회전한다.

$$\bar{E} = (E_{xr} + jE_{xi})\hat{x} + (E_{yr} + jE_{yi})\hat{y}$$
$$= E_x \cos(wt - \theta_x)\hat{x} + E_y \cos(wt - \theta_y)\hat{y}$$

최근에 입수한 Field Meter(M-111)에 의해 현장에서 측정한 거리별 전계강도와 콤퓨터에 의해 계산한 값과 비교하면 잘일치하고 있다.

나. 정전유도 전류

송전선로하의 전장속에 접지된 상태로 서 있는 사람에 정전유도되어 흐르는 충전전류는 사람이 들어 서기 전의 균일한 전계강도 E 에 비례하고 사람의 크기(h)의 제곱에 비례해서 나타난다.
(현장 측정 Data 참고)

$$I = 5.4\ h^2.\ E.\ 10^{-9} (A)$$

다. 자계 강도

자계도 전계의 경우와 마찬가지로 어떤점에서의 합성 자계 강도는 일반적으로 타원을 그리며 회전 벡타를 갖는다.
(현장 측정 Data 참고)

이상에서 각국에서의 실험식과 이론식을 비교검토하고 우리에게 적절한 식을 발췌하여 콤퓨터 프로그람을 만들었다.

- 도체표면의 전위경도는 4도체경우가 2도체보다 평균 5 Kv/Cm 낮다.
- RI 는 선로에서 60 m 떨어진 곳이 대략 30db, TVI 는 -9db 였고 2도체 경우는 평균 20db 높다.
- AN 은 60 m 에서 대략 25db , 2도체경우는 평균 15db 높다.
- 코로나 손실은 강우도에 따라 증가하고 도체직경의 증가에 따라 급격히 감소하고 2도체 경우는 평균 7 KW/Km 높다.
- 오존의 생성량은 최대 5 ppb로써 무시할 정도의 미량이다.
- 전계강도 측정치는 계산치와 거의 일치하였고 4도체의 경우 평균 1KV/m 높았다
- 정전유도전류 자계강도의 측정치도 계산치와 거의 일치 하였다.