

ATP를 이용한 765[kV] 송전선 다상 섬락해석

(Analysis on Multi-phase Flashover in 765[kV] Transmission Line Using ATP)

민석원* · 송기현

(Suk-Won Min · Ki-Hyun Song)

요 약

본 논문에서는 전력계통에 미치는 영향이 매우 큰 초고압 송전선 다상 뇌격섬락 사고에 대하여 과도현상 분석 프로그램인 ATP를 이용하여 검토하였다. 특히 다상섬락현상 모의에 가장 중요한 아킹혼을 비선형 인덕턴스와 저항으로 표현하여 이 모델의 타당성을 검토하였고 765[kV] 2회선 송전계통의 뇌격 파라미터와 섬락상과 관계를 연구하였다.

Abstract

This paper investigates a lightning multi-phase flashover on extra high voltage transmission line, which has influence on power systems very much, by the use of ATP. Especially we validated an arcing horn model represented by the nonlinear inductance and resistance which is the most important on the simulation for a multi-phase flashover. We also study relationships between lightning parameters and flashover phases in 765[kV] double circuit transmission system.

Key Words : multi-phase flashover, arcing horn, ATP

1. 서 론

초고압 2회선 송전선에서 발생할 수 있는 가장 큰 사고는 첩탑뇌격에 의한 것이다. 이의 전력계통에 미치는 영향은 주파수 동요, 광범위 정전 등으로, 사고 범위가 매우 넓기 때문에 송변전 설비의 절연비용과 절연성의 양면을 고려한 절연설계가 검토되고 있다. 절연 설계의 절연레벨을 결정하기 위해서는 정확도가 높은 뇌써지 해석이 필요하다.

이를 위해서는, 우선 첩탑의 상(上)상, 중(中)상, 하(下)상의 각 압의 혼간 전압을 정확하게 계산하기 위한 첩탑 등가모델이 필요하고, 또한 혼간의 리더 진전으로부터 섬락에 이르기까지의 현상을 정확하게 모의할 수 있는 아킹혼 섬락모델이 필요하다. 또한 송전선로 주파수 의존효과에 의한 파형의 감쇄 및 변형을 고려한 모델이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 첩탑 등가모델로 일본의 하라 등이 실험적, 이론적 연구로 개발한 첩탑 등가 전송선로 모델을 사용하였다. 한편 아킹혼 섬락해석에는 일본의 植田가 제안한 비선형 인덕턴스와 비선형 저항을 사용한 섬락모델[14]과 長岡가 제안한 비선형 인덕턴스 모델[13]을 비교 검토하였다. 이 결과 비선형 인덕턴스와 비선형 저항을 사용한 섬락모델이 실제의 방전특

* 주저자 : 순천향대학 정보기술공학부 교수 · 공박

Tel : 041-530-1338, Fax : 041-530-1548

E-mail : swmin@sch.ac.kr

접수일자 : 2004년 2월 16일

1차심사 : 2004년 2월 23일

심사완료 : 2004년 5월 11일

ATP를 이용한 765[kV] 송전선 다상 섬락예측

성을 보다 근사적으로 모의하고 있어 이를 그 후의 계산에 적용하였다. 또한 송전선 모델로는 주파수의존 효과를 고려한 Semlyen 모델이 있으나 이 모델은 많은 기억 용량을 필요로 해서 본 논문에서는 뇌썩지의 고주파수를 고려한 K.C.Lee 모델을 사용하였다.

이상의 모델을 본 연구에서는 현재 우리나라에서 운전중에 있는 765[kV] 송전계통에 적용 가능한 가를 검토한 후에, 첩탑 뇌격시의 다상 섬락 해석을 하였다. 이를 토대로 섬락상과 뇌격전류의 파고치 및 파두장과의 관계, 또한 탑각 접지저항치, 첩탑 뇌격점의 관계에 대한 검토를 하여 송전선 내의 뇌설계에 관한 기초 데이터를 축적하였다.

2. 첩탑 다상섬락 해석모델

송전선로 내뢰설계에 있어서, ATP 등의 진행과 해석 프로그램을 이용하여 첩탑 역섬락 현상과 변전소 침입 뇌썩지 등을 해석하는 경우는 첩탑을 모의하는 모델에 따라 해석결과가 영향을 받고 있다. 첩탑모델로 종래는 실 첩탑에 대한 측정결과 등을 토대로, 썩지 임피던스가 100[Ω]으로 감쇠가 있는 무왜곡 선로로 근사한 것을 이용해 왔다. 그 후, 첩탑을 원통 또는 원추도체만으로 본 검토가 행해져 여러 종류의 모델이 제안 되어졌다[1,2]. 최근에는 첩탑의 대형화에 따라, 비교적 짧은 시간 영역의 첩탑썩지 특성을 알 필요가 있고 복잡한 진행과 회로의 계산도 실용적인 레벨까지 할 수 있게 되어 보다 정밀한 첩탑 4단 모델이 제안되고 있다[3,4]. 따라서 본 연구에서는 첩탑 암부까지 포함하여 그의 기하학적 형상과 공간적 배치에 의한 첩탑모델을 제시하여 정밀한 다상해석이 가능하도록 제안한 일본의 하라의 모델을 사용하였다[5,6].

2.1. 첩탑 다단 전송선로 모델

2.1.1 단주 및 복주첩탑 썩지 임피던스

지지물 원추도체 높이, 도체반경 및 도체 간격의 단주와 복주 도체에 대한 썩지 임피던스 특성 실험식을 참고문헌 [7]로부터 인용하였다.

$$Z_T = 60 \left(\ln \frac{2\sqrt{2}h}{r_e} - 2 \right) \quad (1)$$

여기서 h 는 원추도체의 높이이고 r_e 는 등가 도체반경이며, 단주와 4분주 경우는 다음과 같다.

$$\text{- 단주의 경우 } r_B = r_T^{1/3} r_B^{2/3} \quad (2)$$

- 4 분주의 경우

$$r_B = 2^{1/8} (r_T^{1/3} r_B^{2/3})^{1/4} (R_T^{1/3} R_B^{2/3})^{3/4} \quad (3)$$

여기서 r_T, r_B 는 각각 단주의 탑정 및 탑각에 있어서의 도체반경이고 R_T, R_B 는 각각 복주의 탑정 및 탑각의 도체 간격이다.

2.1.2 주재부 4분할 모델

그림 1과 같은 일반적인 형태의 첩탑에 대한 등가 모델을 고려해 본 것이다. 우선 4분주의 주재부로 구성된 부분에 관해서는 앞에서 제시된 4분주 도체에 대한 식이 적용될 수 있는 것으로 생각하였다. 그렇지만 본 연구에서의 해석대상은 높이가 60[m] 이상 되는 첩탑에 대한 것으로서 1분 전송선로로 기술하는 것 보다는, 직렬로 접속된 여러 개의 전송선로로 분할하는 쪽이 보다 정확할 것으로 생각되어, 여기에서는 각 암부 위치에서 분할된 4분할 모델로 나타내었다. 각 부위의 썩지 임피던스를 위에서부터 차례로 $Z_{T1}, Z_{T2}, Z_{T3}, Z_{T4}$ 로 하여 다음 식으로 표현하였다.

$$Z_{TK} = 60 \left(\ln \frac{2\sqrt{2}h_K}{r_{eK}} - 2 \right) \quad (4)$$

$$(K = 1, 2, 3, 4)$$

여기서

$$r_{eK} = 2^{1/8} (r_{TK}^{1/3} r_B^{2/3})^{1/4} (R_{TK}^{1/3} R_B^{2/3})^{3/4} \quad (5)$$

$$(K = 1, 2, 3, 4)$$

이 때, $h_K (K=1, 2, 3, 4), r_T (K=1, 2, 3, 4), R_T (K=1, 2, 3, 4), r_B, R_B$ 는 그림 1의 각 부분 길이이다.

2.1.3 사재부 모델

참고문헌 [6]과 [7]에 의하면 사재가 존재함으로써 주재부에서의 썩지 임피던스가 약 10[%] 정도 저감되는 것으로 보고하였다. 이에 따라 사재부에 대해 1할 정도의 전류가 분류되는 것으로 보고 사재

부 모델을 다음의 식과 같은 써지 임피던스를 갖는 선로가 주재에 병렬로 삽입된다고 보았다.

$$Z_{LK} = 9Z_{TK} \quad (K=1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

또, 각각의 선로길이는 대응하는 주재부 선로길이의 1.5배로 하였다.

2.1.4 암부 모델

암의 써지 임피던스는 참고문헌 [5]와 [8]을 참조하여 다음 식을 이용하였다.

$$Z_{ZK} = 60 \ln \frac{2h_K}{r_{AK}} \quad (K=1, 2, 3, 4) \quad (7)$$

여기서 $h_K(K=1, 2, 3, 4)$ 및 $r_{AK}(K=1, 2, 3, 4)$ 는 각각 제 K 번째 암의 높이 및 암의 등가반경이다. 그리고, r_{AK} 는 제 K 번째의 암과 주재부와의 접속부 길이로 참고문헌 [9]를 참조하여 1/4로 하였다.

이상을 종합하여 그림 2의 765[kV] 철탑모델로 그림 3과 같은 전송선로 모델을 선정하였으며 철탑 접지저항은 10[Ω]을 사용하였다.

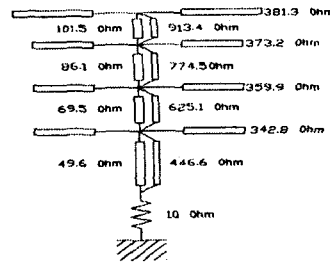


그림 3. 765kV 철탑 다단 전송선로 등가모델
Fig. 3. Equivalent model of 765kV multi-story transmission tower

2.2 가공 송전선로 등가회로 모델

가공 송전선로 모델은 가공지선과 전력선을 8상 상호 결합 분포정수 선로로서 취급해야 한다. 뇌 써지 계산의 경우, 과도현상 주파수가 1,000[kHz] 정도로 매우 높기 때문에 모드변환 행렬[10]의 주파수의 존성은 무시하여도 지장이 없어서 본 논문에서는 K.C.Lee 모델을 사용하였다.

2.3 아킹혼 등가회로 모델

아킹혼 등가회로 모델은 크게 4가지로 분류할 수 있다.

첫 번째로 섬락현상을 가장 간단하게 모의하는 방법은 단일 스위치로 표현하는 것이지만, 이 방법에서는 급준한 전류가 전력선에 유입되게 된다. 그러나 실제의 섬락현상은 절연파괴 이전에도 큰 방전 전구전류(리더 전류)가 흐르고 있어, 그 전류준도는 스위치로 모의한 경우에 비하여 커지지 않는다.

두 번째는 방전전류를 고려한 것으로 혼간 임피던스의 시간변화를 구하는 리더법을 적용하여[12], 그림 4와 같은 선형 인덕턴스로 아킹혼을 모의한 것이다. 그러나 이 방법은 단일 섬락만을 고려한 경우는 유효하지만, 뇌격전류의 파두준도와 회로조건에 따라 혼간 인덕턴스의 시간변화가 크게 되기 때문에, 선형 인덕턴스 등에 이용된 정수가 뇌격전류, 회로조건 등의 함수로 되어 정수 선정이 꽤 번잡하고 범용성이 없다.

세 번째는 일본의 長岡[13]가 제한한 것으로 방전 전구전류를 고려한 섬락모델로 비선형 인덕턴스를

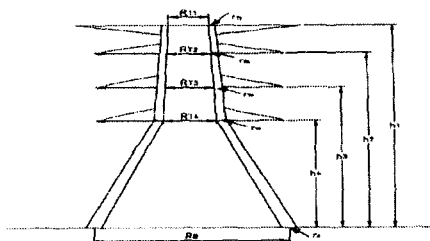


그림 1. 철탑 각부 특성 길이 정의
Fig. 1. Definition of each part length of tower

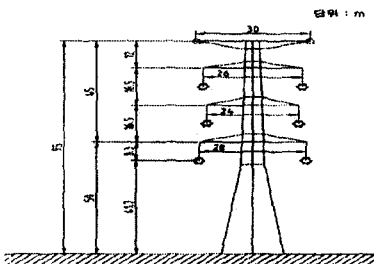


그림 2. 765(kV) 철탑 임피던도
Fig. 2. Configuration of 765(kV) transmission tower

이용한 것이다. 이것은 일본의 新藤가 제안한 공기 중의 장 갭 V-t 특성의 계산방법을 활용한 것으로, ATP에서 TACS 제어 회로소자로 선형 인덕턴스가 사용될 수 있고, 혼간전압 및 전류가 뇌격전류의 파 두준도와 회로조건의 영향을 그다지 받지 않는 것에 착안한 것이다[11]. 이 모델은 그림 5와 같이, L_n , L_f , SW_s 및 SW_f 로 모의하고 있다. 여기서 L_f 는 섬락 후의 정상 인덕턴스를 표현한 것이고, L_n 은 아킹혼의 등가 인덕턴스를 표현한 비선형 인덕턴스이며, 스위치 SW_s 는 리더 진전 개시를 모의하는 스위치로 혼간전압이 임계 섬락전압(우리나라 765[kV] 시스템의 경우는 24[MV])이 되는 시점에 투입된다. 스위치 SW_f 는 섬락 모의시, 혼간 전압이 영으로 되거나, 또는 아킹혼 등가 인덕턴스가 정상 임피던스 값에 이르는 시점에 투입된다. 이것은 혼간 전류와 혼간 등가 임피던스 관계가 시간과 함께 연속적으로 변화하기 때문에, 선형 인덕턴스를 이용한 모델 보다는 현실적이다. 또한 모의회로가 선형 인덕턴스를 이용한 모델로 간소화 할 수 있다는 이점이 있고, 스위치는 ATP의 TACS 제어로 제어할 수 있기 때문에 스위치 투입시간을 미리 줄 필요가 없다는 이점이 있다.

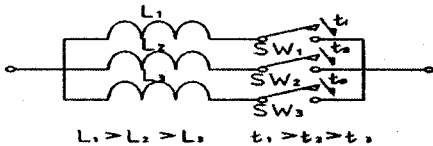


그림 4. 선형 인덕턴스를 이용한 아킹혼 섬락 모델
Fig. 4. Arcing horn model represented by the linear inductance

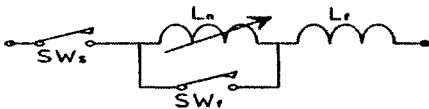


그림 5. 비선형 인덕턴스를 이용한 아킹혼 섬락모델
Fig. 5. Arcing horn model represented by the nonlinear inductance

네 번째는 일본의 植田가 제안한 비선형 소자 조합모델이다[14]. 이것은 그림 6과 같이 혼간 전압을 비선형 인덕턴스 L_n 과 비선형 저항 R_n 으로 분담시킨

모델이다. R_n 은 리더 진전 개시 및 소멸전압을 나타내는 비선형 저항으로, 전류에 상관없는 임계 섬락 전압(비선형 인덕턴스 모델과 같은 조건으로 24[MV])을 유지하도록 설정한다. SW_1 은 방전 전류가 급격히 증가하는 시점에서 닫히고 SW_2 는 비선형 인덕턴스 모델과 같이 섬락 완료시에 닫힌다. 이 모델에 있어서 L_n 은 비선형 인덕턴스 모델 L_n 의 전류-자속 ($i-\phi$) 특성으로부터 비선형 저항 R_n 의 전류-자속 ($i-\phi$) 특성 상당분을 빼는 것에 의해 얻어진다. L_f 는 비선형 인덕턴스 모델과 같이 4.8uH로 하였다. 이 모델은 비선형 인덕턴스 모델과 같이 혼간전류와 혼간 등가 임피던스의 관계가 시간에 따라 변화하고, 더욱이 과미의 방전특성도 개선되어 봉대 봉 갭의 V-t 특성과 거의 일치하기 때문에 신뢰성이 높다고 생각된다. 또 이들 스위치는 비선형 인덕턴스 모델과 같이 ATP의 TACS 제어에 따라 제어되기 때문에 스위치 투입시간을 미리 줄 필요가 없다.

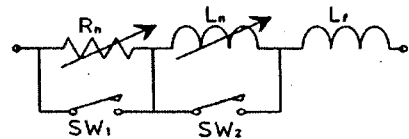


그림 6. 저항과 인덕턴스의 비선형 소자를 조합한 아킹혼 섬락모델
Fig. 6. Arcing horn model represented by the nonlinear inductance and resistance

위에 기술한 4가지 방법 중에서 송전선 다상섬락 해석에 적합한 모델을 찾기 위해 비선형 인덕턴스 모델 및 비선형 소자 조합모델의 두 가지 아킹혼 등가모델의 방전특성을 비교하였으며 결과를 3장에 기술하였다.

3. 아킹혼 모델의 비교

3.1 모델의 방전전압 특성비교

비선형 인덕턴스 모델 및 비선형 소자조합 모델을 이용한 방전전압 특성을 계산하고, 양자를 리더 진전법에 의해 구한 방전전압 특성과 비교하였다. 리더 진전법의 방전전압 특성 계산결과를 그림 7에, 비선형 인덕턴스 모델의 방전전압 특성 계산결과를 그

림 8에 보였다. 이 두 그림에서 비선형 인덕턴스 모델의 방전전압 특성은 파두에서 방전전압 특성이 리더 진전법의 방전전압 특성과 거의 일치하지만, 파미에서는 비선형 인덕턴스 모델의 계산결과 쪽이 좀 더 빨리 방전함을 알 수 있다.

이에 따라 아킹흔을 비선형 인덕턴스 모델로 모의하는 경우에는, 전류-자속 ($i-\phi$) 특성만으로는 아킹흔의 방전특성을 표현할 수 없음을 알았다. 그 원인은, 주로 파미의 평탄한 전원전압에 대하여 비선형 인덕턴스 L_n 의 값이 과도하게 감소하고 전류가 급격히 증가하기 때문이라고 생각된다.

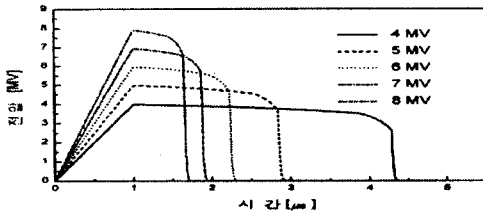


그림 7. 리더진전 모델의 방전전압 특성
Fig. 7. Discharge voltage characteristics of leader model

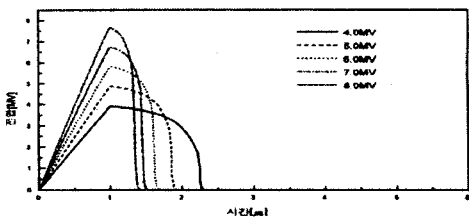


그림 8. 비선형 인덕턴스 모델의 방전전압 특성
Fig. 8. Discharge voltage characteristics of nonlinear inductance model

다음에 비선형 소자 조합모델의 방전전압 특성 계산결과를 그림 9에 보였다. 이 그림으로부터 명확하게 파미에서 방전특성이 개선되고, 리더 진전법의 방전전압 특성과 거의 일치하는 결과가 얻어졌다. 이것은 파미부에서 방전하는 경우는 파두부에서의 방전에 비해 인가전압이 낮고 시간과 함께 값이 저하하기 때문에, 비선형 저항 R_n 의 전압 분담비율이 크게 되고, 비선형 인덕턴스 L_n 이 파미부에서 급감하지 않기 때문이다.

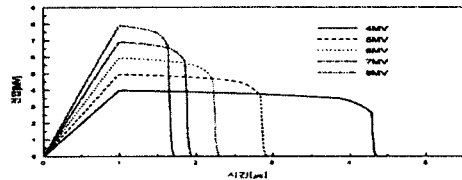


그림 9. 비선형 소자조합 모델의 방전전압 특성
Fig. 9. Discharge voltage characteristics of the nonlinear inductance and resistance model

3.2 아킹흔간 전류

그림 10의 해석회로의 스위치에 아킹흔 모델을 삽입하고, 전원전압에 파고치를 3[MV], 파두장 1[μs]를 주고 섬락의 영향을 해석하였다. 비선형 인덕턴스 모델의 아킹흔간 전류를 그림 11에, 비선형 소자 조합 모델의 아킹흔간 전류를 그림 12에 보였다. 두 그림 모두 섬락이 일어난 상에서는 단락전류가 흐르고, 섬락이 일어나지 않은 상의 전류는 최종적으로 영으로 된다. 그러나 비선형 인덕턴스 모델은 섬락이 일어나지 않은 상의 전류가 처음부터 영이 되는 것에 반해 비선형 소자조합 모델은 섬락이 일어나지 않은 상이 섬락이 일어나기 전까지도 작은 전류가 흐르고 있다. 여기서 실제의 섬락현상에 대하여 생각하면, 전극간이 완전히 단락되어 방전이 완성되기 전까지 방전전류가 흐른다. 이것에 따라 비선형 소자조합 모델 쪽이 보다 현실적임을 알았다.

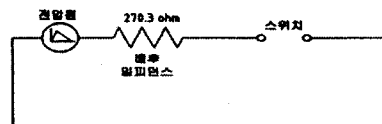


그림 10. 아킹흔 등가회로
Fig. 10. Equivalent circuit of arcing horn

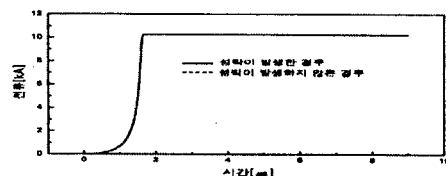


그림 11. 비선형 인덕턴스 모델의 혼간 전류
Fig. 11. Arcing horn current of nonlinear inductance model

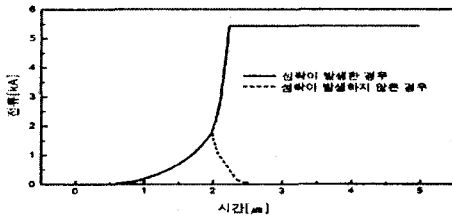


그림 12. 비선형 소자조합 모델의 혼간 전류
Fig. 12. Arcing horn current of nonlinear inductance and resistance model

4. 765[kV] 송전선로에의 적용결과

첼탑에는 다단 전송선로 모델을, 송전선로에는 KC.Lee 모델을, 아킹혼 섬락은 비선형 인덕턴스와 비선형 저항을 이용한 모델을 적용하여 뇌격의 파고치 및 파두장, 접지 저항치, 뇌격점의 변화에 따라 섬락상이 어느 정도 영향을 받는가를 검토하였다. 첼탑은 뇌격첼탑으로부터 오른 쪽에 5기가 있는 경우를 가정하였다. 이것은 뇌격점 좌우가 대칭이라는 가정에 의한 것으로 그 뒤는 무한장 선로로 기술하였다. 왜냐하면 뇌격점으로부터 4기 이상의 첼탑을 생략하여도 계산결과는 거의 변화하지 않기 때문이며, ATP 계산의 메모리 제한을 넘지 않도록 고려한 것이다. 또 첼탑간격은 모두 450[m]로 하였으며 송전선로 부분은 모두 8상 KC.Lee 모델을 이용하였다.

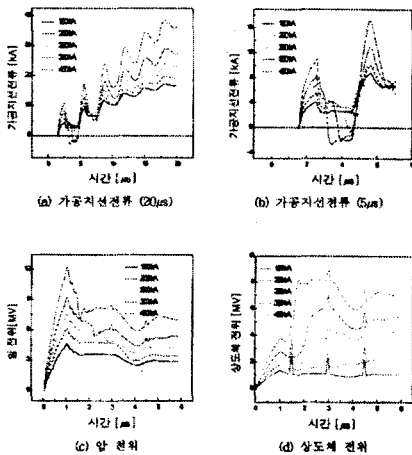


그림 13. 파고치에 의한 각부의 영향
Fig. 13. Effects of each parts by lightning peak current

4.1 뇌격전류와 섬락상과의 관계

4.1.1 뇌격전류 파고치

뇌격전류는 파두장이 1[μs], 2[μs] 및 4[μs] 이고 파미장이 70[μs] 인 램프파로 하고 A상의 교류위상을 0°]부터 270°]까지 90°]씩 변화시킨 경우의 섬락을 해석하였다. 파고치는 150[kA], 200[kA], 300[kA], 400[kA]인 경우로 뇌격이 1호 첼탑 암 끝부분을 친 경우로 하였다.

계산결과로, 접지저항이 10[Ω] 인 경우는 뇌격전류 파고치가 300[kA] 이하이면 어떤 파두장에 대해서도 섬락이 발생하지 않음을 알았다. 그리고 파고치가 400[kA]에서는 파두장이 1[μs]의 경우는 1상 섬락이 발생하였다. 그러나 이 경우에도 파두장이 2[μs] 이상이 되면 섬락이 발생하지 않았다. 또 접지저항이 30[Ω]인 경우 파고치가 200[kA] 이상이 되면 섬락이 발생하였다. 그리고 파두장이 1[μs]인 경우에는 200[kA]에서 1상 또는 2상 섬락이, 300[kA] 이상에서는 전체 섬락이 발생하였다.

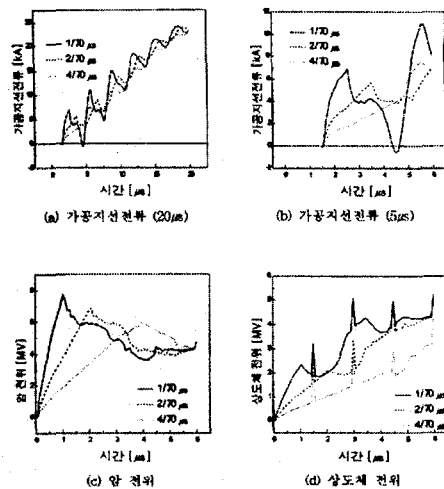


그림 14. 파두장에 의한 각부의 영향
Fig. 14. Effects of each parts by lightning wave front time

이 사항을 파형으로 고찰하기 위해 접지저항을 10[Ω], 파두장이 1[μs]인 경우, 파고치를 150[kA], 200[kA], 250[kA], 300[kA], 400[kA]로 변화시킨 경우의 영향을 그림 13에 보였다. 다만 가공지선 전류

에 관해서는 1호 철탑측, 암 전위 및 상도체 전위에 관해서는 1호 철탑 상(上)상을 선택하여, 대지전압이 최대로 되는 A상의 교류위상이 90°]인 경우의 파형을 보였다.

그림 13에서 알 수 있듯이 파고치가 높을수록 암 전위가 높게 되고, 가공지선 전류도 크게 되었다. 또 가공지선으로부터 상도체에의 유도 영향도 크게 되어 상도체 전위가 높아지고 있다. 그러나 상도체 전위의 상승은 암 전위가 상승할수록 크게 되지 않고 섬락은 암 전위와 상도체 전위의 차에 큰 영향을 받는다. 이와 같은 사항으로부터 섬락 발생확율은 파고치가 클수록 커진다고 말할 수 있다.

4.1.2 뇌격전류 파두장

접지저항이 10[Ω], 파고치가 250[kA]에서 파두장을 1[μs], 2[μs], 4[μs]인 때의 영향을 그림 14에 보였으며 파형의 조건은 앞에 기술한 것과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 파두장이 짧을수록 최대치까지의 기울기가 급하게 되고 있다. 또한 암전위도 높았고 가공지선 전류도 크게 됨을 알았으며 가공지선 전류에 의해 상도체 전위도 크게 되고 있다. 여기서 파두준도가 크다는 것은 고조파 성분을 포함하고 있는 것을 의미한다. 또한, 철탑모델을 구성하는 써지 임피던스는 일반적으로 주파수가 높으면 큰 임피던스로 작용하고 역으로 주파수가 낮으면 작은 임피던스로 작용한다. 따라서 파두준도가 클수록 철탑 탭정 전위가 상승하고, 이것에 의해 각부의 암 전위도 상승한다. 또 상도체 전위의 상승은 파고치의 영향과 같은 원리이며, 암 전위가 상승할수록 크게 되지 않는다. 섬락은 암 전위와 상도체 전위의 차에 큰 영향을 받기 때문에 섬락발생 확률은 파두장이 짧게 될수록 커진다.

4.2 철탑 탐각 접지저항과 섬락상과의 관계

송전철탑의 접지저항이 값에 의해 섬락 양상이 어떻게 변하는가를 검토하기 위해, 접지저항을 10[Ω], 20[Ω], 30[Ω], 40[Ω], 50[Ω], 60[Ω]으로 하고 교류위상을 0°]부터 330°]까지 30°]씩 변화시킨 경우의 다상섬락을 해석하였다. 뇌격전류는 파고치가 200

[kA], 파두장이 1[μs], 파미장이 70[μs]인 램프파로 하고 뇌격점은 1호 철탑측 암 끝 부분으로 하였다. 계산결과로부터, 10[Ω], 20[Ω]의 경우는 섬락이 전혀 생기지 않고, 30[Ω] 이상이 될 때 접지저항이 커질수록 섬락이 일어나는 상의 비율이 높아지는 것을 알았다. 또 루트 차단이 정전이 되는 2LG 이상의 사고가 발생할 확률은 20[Ω] 이하에서는 0[%]이고, 30[Ω]에서는 50[%], 40[Ω] 이상에서는 100[%]로 되고 있다. 또 A상의 교류위상이 90°]인 때 1호 철탑측 가공지선 전류 및 A상의 암 전위, 상도체 전위의 파형을 그림 15에 보였다. 이 그림에서 어느 파형도 대지면으로부터 반사한 전압, 전류가 0.5[μs] 이후에 뇌격철탑에 영향이 있음을 알았다. 암 전위는 0.5[μs] 이후에 접지저항이 클수록 급격하게 전위가 상승하고 있다. 또한 1호 철탑측 가공지선 전류도 0.5[μs] 이후에 같은 모양으로 전위가 증가하고 이것에 따라 유도의 영향을 받는 상도체 전위도 상승하지만, 암 전위만큼 급격히 상승하지 않는다. 따라서 접지저항이 큰 쪽이 암 전위와 상도체 전위의 차가 크게 되고 아킹혼간 전압이 접지저항이 높을수록 크게 되는 것로부터 섬락이 쉽게 일어난다고 할 수 있다.

4.3 철탑 뇌격점과 섬락상과의 관계

4.3.1 뇌격점과 섬락상과의 관계

이제까지의 송전선로의 내뢰설계 계산에서는 철탑모델이 1본의 수직도체로 표현되어 있기 때문에 뇌격점은 탐정이 된다. 이 경우 송전선로는 역상배열이기 때문에 중(中)상의 암 전위와 상도체 전위는 1, 2호 철탑에서 같은 값이 되고 섬락의 양상도 동일하다. 그러나 실제의 사고기록을 보면 1회선의 중(中)상에서만 섬락이 일어나는 것을 볼 수 있다.

또 철탑의 규모가 큰 765[kV]의 철탑에서는 철탑 탭정의 중앙보다도 암의 끝 부분에 뇌격을 맞는 경우가 많을 것으로 생각된다. 그래서 암 부분을 고려한 철탑 전송모델로 뇌격지점이 1호 철탑측 철탑탐정의 암 끝 부분인 경우, 1호 철탑의 상(上), 중(中), 하(下)상의 암 끝 부분인 경우의 영향을 확인하였다.

이상의 경우에 대하여 교류위상을 0°]부터 330°]까지 30°]씩 변화시켜 다상 섬락해석을 한 결

ATP를 이용한 765[kV] 송전선 다상 섬락해석

과, 상, 중, 하 상 암 끝 부분의 뇌격에서는 뇌격을 받은 암상에 교류위상과 상관없이 확실하게 섬락이 일어나고 있다. 이것에 반해 뇌격을 받은 상의 회선측 상부의 상에서는 섬락이 전혀 일어나지 않고 있다. 또 뇌격점이 탐정 암 끝 부분, 상(上)상 암 끝 부분 이외에서는 2LG 이상의 사고가 기록되지 않았다.

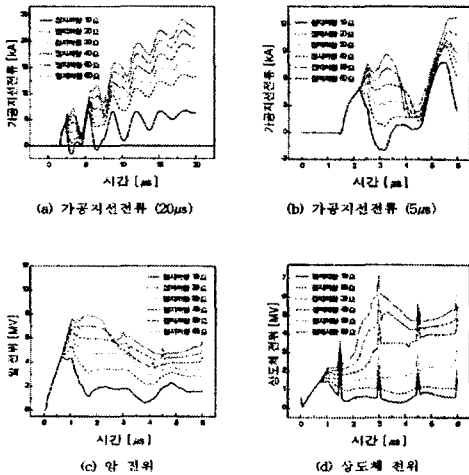


그림 15. 접지저항에 의한 각부의 영향
Fig. 15. Effects of each parts by grounding resistance

4.3.2 뇌격점과 각부와의 관계

뇌격점에 의한 각부의 영향에 대하여 뇌격점이 1호 철탍측 탐정 암 끝 부분의 경우, 1호 철탍의 상(上)상 암 끝 부분의 경우, 1호 철탍의 중(中)상 암 끝 부분의 경우, 1호 철탍의 하(下)상 암 끝 부분의 경우를 해석하였다. 계산결과, 뇌격점에 관계없이 유도에 의한 상도체 전위와의 영향보다는 암 전위와의 영향 쪽이 크게 되고 있음을 알았다. 또한 뇌격을 받은 암의 전위상승이 가장 크고, 섬락이 일어날 확률이 크게 영향을 받음을 알았다.

4.3.3 뇌격점과 가공지선 전류와의 관계

뇌격점에 의한 가공지선 전류에의 영향을 앞과 같은 조건으로 계산하였다. 결과로, 뇌격이 탐정에 있는 경우에 가공지선 전류가 가장 많이 흐르고 그 이외의 경우는 전류가 큰 순서로 상(上)상 뇌격, 중(中)상 뇌격, 하(下)상 뇌격 순이지만, 이와 관련하여 뇌

격전류의 크기에 대한 차이는 없었다. 또 파형도 비슷한 형태를 갖는다. 그러므로 탐정 뇌격 이외에 대하여는 가공지선으로부터의 유도도 변하지 않을 것으로 생각된다.

4.3.4 뇌격점과 암 전위와의 관계

뇌격점에 의한 암 전위의 영향을 앞과 같은 조건으로 계산한 것을 그림 16에 표시하였다. 그림에서 뇌격점에 의한 암의 전위는 1호선측 탐정 암의 끝 부분 뇌격의 경우, 큰 것부터, 거의 균등하게 1호선측 탐정 암, 2호선측 탐정 암, 상(上)상 암, 중(中)상 암, 하(下)상 암의 순서로 되어 있으며 암 전위의 차는 1[MV] 정도이다. 1회선 상(上)상 암 끝 부분 뇌격의 경우, 큰 것부터 상(上)상의 암, 중(中)상의 암, 하(下)상의 암 순서로 되고 그 차는 1~4[MV] 정도이다. 중(中)상 암 끝 부분 뇌격의 경우, 중(中)상 암의 전위가 가장 크고, 상(上)상 암, 하(下)상 암의 순이다. 이 차는 1~4[MV] 정도 된다. 하(下)상 암 끝 부분 뇌격의 경우 하(下)상 암 이외는 거의 같기 때문에 1호선 하상 암 이외의 섬락의 상도체 전위에 영향을 받을 것으로 생각된다.

4.3.5 뇌격점과 상도체 전위와의 관계

뇌격점에 의한 상도체 전위에의 영향을 앞과 같은 조건으로 계산한 것을 그림 17에 나타내었다. 그림에서 뇌격점에 의한 상도체 전위의 영향은 기본적으로 가공지선으로부터 유도에 의한 것이고, 뇌격이 있던 회선측 이외에는 거의 영향이 없으며 큰 것부터 보면 상(上)상의 상, 중(中)상의 상, 하(下)상의 상 순으로 되어있다. 그 차는 0.5[MV] 정도 되기 때문에, 암 전위의 차가 섬락이 일어나는 상은 위상의 영향을 받게 된다. 단, 뇌격이 있던 암의 회선의 상하상에 영향이 있고, 그것의 상도체 전위는 커지게 된다. 이것은 뇌격이 일어난 상의 상도체 전위상승이 암 전위상승에 의한 정전유도에 의한 것으로 생각되어 그 상하 상의 상도체 전위의 상승은 뇌격이 일어난 상의 상도체 전위 상승에 의한 유도의 영향이라고 생각된다. 이것에 의한 상도체 전위의 상승은 1.5[MV] 근처까지 되고 있으며, 섬락이 일어난 상에 큰 영향이 있는 것으로 분석된다. 이것으로부터 뇌

격이 일어난 회선측의 뇌격압의 상하에 위치한 상은 섬락이 일어나기 어려울 것으로 생각된다.

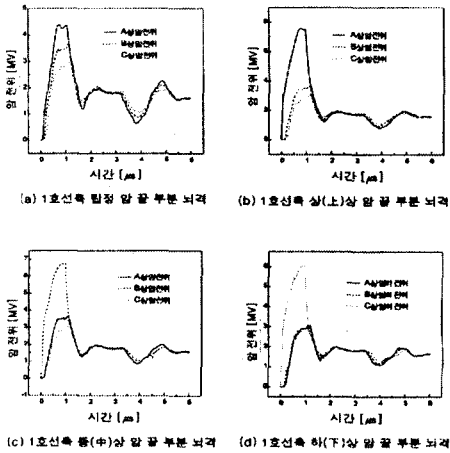


그림 16. 뇌격점에 따른 각 압 전위의 영향
Fig. 16. Effects of each arm voltage by lightning position

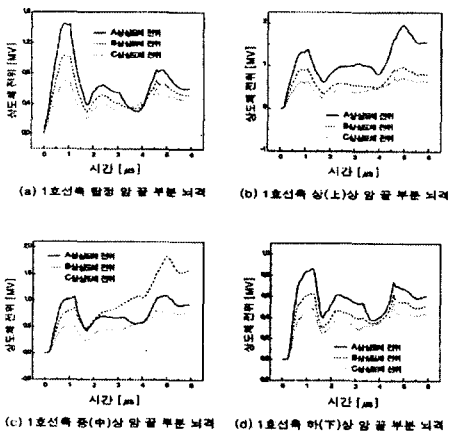


그림 17. 뇌격점에 따른 각 상도체 전위의 영향
Fig. 17. Effects of each phase conductor by lightning position

5. 결 론

본 연구에서는 첩탑의 각 압의 전위를 정확하게 얻기 위한 첩탑 등가 전송선로 모델, 섬락현상을 고려한 비선형 소자에 의한 섬락 모델 및 K. C. LEE

모델을 조합한 송전선 모델회로를 이용하여, 각종 파라미터와 뇌격전류 파형과 섬락이 일어난 상과의 관련성에 대하여 검토하였다. 이 결과 섬락 양상은 첩탑에 흐르는 전류에 의한 압 전위의 상승과 가공 지선 전류의 유도에 의한 상도체 전위의 상승 및 접지 저항치가 밀접하게 관계되어 나타남을 알았다.

다음은 본 연구에서 적용 검토한 765[kV] 송전 시스템의 다상 섬락 해석결과로 밝혀진 사항에 관하여 기술한 것이다.

(1) 섬락이 일어날 확률이 높은 상도체의 위치는 접지저항이 10[Ω] 이하인 경우는 상(上)상, 중(中)상, 하(下)상의 순이고, 30[Ω] 이상에서는 하(下)상, 중(中)상, 상(上)상의 순이었다.

(2) 접지저항이 10[Ω] 이하에서는 파고치가 300[kA] 이하에서는 섬락이 일어나지 않으며 400[kA] 에서도 2LG 사고는 일어나지 않았다.

(3) 2LG 이상의 사고가 일어날 가능성은 뇌격점이 탑정 압의 끝 부분과 상(上)상 압의 끝 부분인 경우가 많고, 접지저항이 30[Ω]인 경우 뇌격전류의 파두장이 1[μs]에서 파고치가 200[kA] 이상, 파두장이 2[μs]에서 파고치가 250[kA] 이상, 파두장이 4 [μs]에서 파고치가 300[kA] 이상에서 2LG 이상의 사고가 일어났다.

(4) 탑정 압 끝 부분에 뇌격이 가한 경우, 상(上)상에서 섬락이 일어날 가능성이 가장 높으며, 상(上), 중(中), 하(下) 압의 끝 부분에 뇌격이 가해진 경우 뇌격을 맞은 압의 상에서 섬락이 일어났다.

(5) 뇌격점에 따라 가공지선 전류의 크기의 차이는 없었고, 뇌격점과 섬락이 일어난 상과 관련하여 가공지선으로부터 상도체로의 유도에 의한 영향은 없었다.

(6) 뇌격시 압 전위상승이 매우 크게 되기 때문에, 뇌격점에 의한 섬락 양상은 압 전위의 영향이 컸다.

(7) 뇌격점이 중(中), 하(下) 압인 경우, 그 뇌격이 있었던 회선측의 상부에 있는 상에서는 섬락 발생이 거의 없었다.

본 과제는 2002년도 순천향대학교 학술연구 조성비 일반 공모 과제 지원을 받아 수행하였음.

References

- [1] 原, 山本, 林, 上之園, “垂直導體サージ特性の基礎的検討”, 일본전기학회 논문지 B, Vol. 108(11), pp. 533-540, 1988.
- [2] R. Lundholm, R. B. Finn, W. S. Price, “Calculation of Transmission Lines Lightning Voltages by Field Concept”, AIEE Trans, Vol. 77, pp. 1271-1283, 1958.
- [3] “電力系統における雷サージ解析の新手法”, 일본 전기학회 기술보고(2부), No. 244, 1988.
- [4] M. Ishii, T. Kawamura, T. Kouno, E. Ohsaki, K. Murotani, T. Higuchi, “Multistory Transmission Tower Model For Lightning Surge Analysis”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6(3), pp. 1327-1335, 1991.
- [5] 原, 山本, 北井, 平松, 林, 永井, 松村, “鐵塔アーム部の傳送線路モデル”, 일본 전기학회 고전압 연구회 자료, HV-90-70, 1990.
- [6] 原, “サージ解析における鐵塔インピーダンスの表現”, 平成 3년 전기·정보관련 학회 연합대회, Vol. S7-3, pp. 157-159, 1991.
- [7] 原, 山本, 林, 永井, 園井, “ポール型鐵塔のインピーダンスの實驗式”, 일본 전기학회 논문지 B, Vol. 111(1), pp. 17-23, 1991.
- [8] 原, 初川, 山本, 林, 園井, 杉本, “斜材・アーム部を考慮した鐵塔傳送線路モデル”, 일본 전기학회 고전압 연구회 자료, HV-91-90, 1991.
- [9] 原, 歐陽, 山本, 永井, 園井, “鐵塔傳送線路モデルにおけるアーム等價半徑の検討”, 平成 3년 전기관련학회 관서지부 연합대회, 1991.
- [10] 雨谷, “分布定數回路論”, コロナ社, pp. 227, 1990.
- [11] 新藤, 鈴木, “妨電シミュレーション (その 2)-氣中ギャップV-t特性の新計算法”, 일본 전력중앙연구소 보고, 182048, 1983.
- [12] 전력계통 써지 해석 조사 전문 위원회, “電力系統における雷サージ解析の新手法”, 일본 전기학회 기술보고(2부), 제301호, 1989.
- [13] 長岡, “非線型インダクタンスを用いたフラツシオーバモデル”, 일본 전기학회 논문지 B, Vol. 111(5), pp. 529-534, 1991.
- [14] 植田, 森田, 雨谷, 舟橋, “アークホーンと避雷裝置のフラツシオーバモデル”, 일본 전기학회 논문지 B, Vol. 112(12), pp. 1085-1092, 1992.

◇ 저자소개 ◇

민석원 (閔錫源)

1958년 1월 3일생. 1981년 서울대 공대전기공학과 졸업. 1984년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1984년~1991년 한전기술연구원 계통연구실 근무. 1996년~1997년 일본 교토대학 방문교수. 현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수. Tel)041-530-1338. Fax)041-530-1548. E-mail) swonmin@sch.ac.kr

송기현 (宋稷鉉)

1974년 5월 27일생. 2000년 순천향대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. Tel)041-530-1338. Fax)041-530-1548. E-mail)songkha@nate.com