

혼합송전선로에 뇌서지침입시 지중송전선로에서의 뇌과전압 해석

論 文

51A-10-3

Analysis of Lightning Overvoltage on the Underground Power Cable at the Striking of Lightning Surge to the Combined Transmission Line

金南烈* · 李鍾範** · 張成煥** · 姜地原***

(Nam-Yoel Kim · Jong-Beom Lee · Seong-Whan Jang · Ji-Won Kang)

Abstract - In the analysis of lightning surges, transmission towers are usually simulated by ATPDraw. The modeling of transmission towers is an essential part of the traveling wave analysis of lightning surges in transmission lines. The tower model is applied to the 154kV transmission tower of which surge performance characteristics are measured. Tower surge response is computed using nonuniform, single-phase line models for both transmission tower and ground wire. The overvoltage will effect to the underground transmission line. The underground cable is combined by duct and trefoil type, and the each arrester is placed on the leading-in tube and outgoing tube. This paper analyzed the effect of lightning overvoltage on the underground cable system.

Key Words : Leading-in, Combined power transmission line, Arrester, Travelling wave

1. 서 론

도심지는 산업설비, 고층빌딩, 대단위 주거단지 및 냉,난방 설비 등으로 급증하는 전력수요를 충족시키기 위해서 대용량의 전력을 도심지 전역에 공급해 주어야 하는데, 이것은 대부분 지중송전선로나 가공과 지중이 혼합된 혼합송전선로를 이용하는 경우가 대부분이다[1].

하지만, 전력계통에서는 여러 원인으로 각종 과전압이 발생하는데, 크게 계통 내부요인에 의해 발생하는 내부과전압과 외부요인에 의해 발생하는 외부과전압이 있다. 여기서 내부과전압은 발생빈도가 낮지만, 뇌와 같은 외부요인에 의해 발생하는 과전압은 크기가 최소 수 백만볼트에 이를 수도 있고, 지속시간이 수십 μ s 정도가 된다고 보고되고 있다[2]. 뇌현상은 자연적으로 발생하는 것으로 직간접적으로 전력계통에 상당한 영향을 미치고 있으며 해외에서도 전체 전력공급중단 사고의 40~50%정도가 뇌에 기인하고 있다고 보고되고 있다[3]. 한편, 뇌격은 자연조건이나 시기에 따라 상이하게 나타나므로 아직까지 정설적인 이론체계가 이룩되지 않고 있다[4].

한편, 혼합송전선로에서도 지중에 건설된 지중송전선로에 침입한 뇌서지는 그 영향이 매우 커서 고장 위치판별과 피해 복구에 현장의 운용자 입장에서 상당한 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제들을 극복하기 위하여 국내외에서는 지중송전 케이블의 서지 보호대책, 광기술을 이용한 지중송전선 사고구간 검출 및 가공송전선로에서의 뇌서지 전파특성등에 관하여

연구가 이루어졌다[5]-[7]. 그러나 전력계통에서의 뇌과전압에 대한 대부분의 연구는 그 관점이 가공선로만이거나 지중선로에 직격뢰를 비롯한 일정크기의 이상전압이 가공으로부터 침입된 것을 가정하여 연구된 경우가 많다. 그런데 특히 국내 전체 지중계통의 포설형태를 보면 반 이상이 지중과 가공으로 혼합된 선로로 이루어져 있다. 따라서 국내에서는 이러한 포설형태를 구체적으로 고려하여 실무적인 연구가 활발히 이루어져야 하나 아직은 미약한 상태에 있다. 지중송전선로에서의 뇌서지 보호를 위해서는 케이블의 종류와 지중송전선로의 여러 포설상황과 가공송전선로에서 탐각접지저항의 변화 및 뇌격의 침입양상에 따른 지중송전선로 내에서의 뇌과전압 변화를 구체적으로 해석하여야만 한다. 또한, 가공송전선로에서의 역섬락 발생시 피뢰기설치 유무를 고려한 다양한 조건에서의 과전압 해석도 필수적이다[5].

따라서, 본 논문에서는 가공송전선로와 지중송전선로가 혼합된 변전소 구간의 실제 혼합송전선로를 대상으로 직격뇌와 역섬락 발생시에 가공송전선로와 지중송전선로의 각종조건에 따른 과전압 발생특성을 케이블을 중심으로 ATPDraw를 이용하여 상세히 분석하고 평가하였다.

2. 선로모델링 및 뇌격모의

2.1 혼합송전선로 모델링

본 논문에서 다룬 혼합송전선로는 D S/S에서 S S/S 구간 중 지중송전선로 시작점까지 29개의 철탑으로 구성된 8.37km의 가공송전선로와 2.77km의 지중송전선로로 구성된 실제 운전중인 154kV 혼합송전선로이다. 가공송전선로는 일반 철탑의 2회선이상의 선로에서 2회선 동시 뇌격은 가능성이 희박하므로 가공송전선로는 2회선 중 1회선만을 구성하는 것으로

* 準 會 員 : 圓 光 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 및 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博

*** 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 先 任 研 究 員

接 受 日 字 : 2002年 2月 26日

最 終 完 了 : 2002年 7月 29日

하였으며 철탑은 4단자 모델링을 중심으로 구성하였다. 또한 D S/S 와 S S/S 의 양단 임피던스는 PSS/E를 통해 구해진 한국전력자료를 인용하여 사용하였다.

지중송전선로는 보통접속함(NJ)이 2개소, 절연접속함(IJ)이 6개소로 구성되어있고, 케이블 인입구와 인출구에서의 과전압 특성을 파악하여 결과적으로 직격뇌가 침입시에는 양단에 피뢰기를 설치하도록 하였으며, 또한 역섬락이 발생되기 위해서는 애자련 사이에 걸리는 전압이 애자련의 섬락전압보다 높아야 하므로, 역섬락으로 인해 가공선로와 지중선로가 만나는 접속점에 도달되는 뇌과전압은 접속점의 피뢰기에서 상당부분 상쇄되므로, 역섬락을 고려할 경우에는 피뢰기가 기본적으로 설치되어있지 않은 것으로 하였다.

본 논문에서는 케이블 도체의 과전압을 분석하는 것이 목적이기 때문에 시스의 특성분석과는 뚜렷한 관련은 없지만, 가공송전선로에서 역섬락 발생시 정확한 해석결과를 얻기 위하여 케이블 시스의 크로스본딩, IJ, NJ의 조건을 모두 고려하였다. 여기서 혼합송전선로 모델은 그림 1과 같으며 그 중 지중송전선로만을 추출하면 그림 2와 같다.

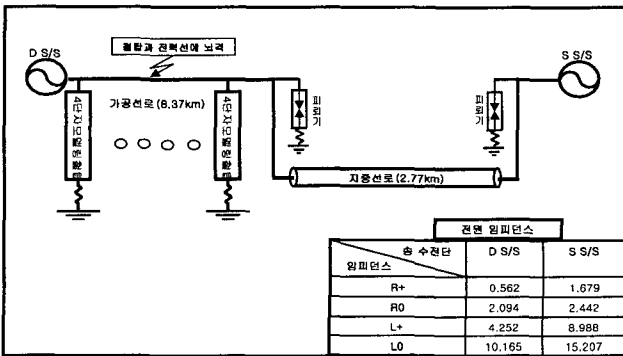


그림 1 혼합송전선로 모델
Fig. 1 Model of combined power transmission line

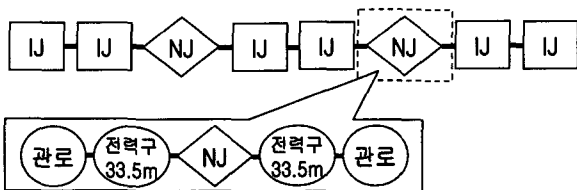


그림 2 지중송전선로 모델
Fig. 2 Model of underground power cable

2.2 뇌서지 해석

뇌서지는 한반도의 낙뢰분포중에서 약 7.5%를 점유하고 있는 방전을 제외하면 정극성 낙뢰의 비율이 약 16.7%, 부극성 낙뢰의 비율이 약 83.3%로 다른 나라와 비슷한 수준이다. 여기에서 가장 큰 낙뢰전류의 크기는 1999년 6월 전남 장흥의 167.8kA(부극성) 및 동년 3월 26일 충남 서천의 234kA(정극성)이었으며, 평균 뇌격전류는 21.24kA로부터 90%이하의 낙뢰는 그 크기가 40kA이하이다. 실제로 뇌격은 최대 150kA 최소 10kA이며, 평균 40kA이었다[8].

따라서, 본 논문에서의 뇌격강도는 직격뢰 발생시 60kA,

2/80 μ s로 하였으며, 뇌도입피턴스는 400 Ω 의 정합저항으로 하였는데 일반적인 서지전압은 개략적으로 100kV 이상의 범위가 관심영역으로 되며, 뇌전류의 파두장과 파고치는 상관관계를 갖기 때문이다. 즉 파두부분의 뇌전류 상승률과 파고치와의 관계는 표 1과 같다[9]. 또한 전압적인 면에서 120kV의 정극성 뇌격에 대한 실험적인 파고치는 114kV이며, 파두장은 2 μ s였다. 파미장은 파고치에 의존하지 않고 70 μ s정도를 기준으로 사용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 파두장을 실험적인 데이터값인 2 μ s로 설정하고, 파미장은 역섬락에 대한 모의를 위해 80 μ s로 설정하였다. 일정 뇌격인가전압에 대한 파고치와 파두장에 대한 데이터는 표 2에 나타내었다[10]. 그리고, 뇌격전류에 대한 파형은 그림 3과 같다. 또한, 피뢰기는 각각 인입구 또는 인출구에 설치한 경우와 양단에 모두 설치한 경우에서 가장 적합한 경우를 택하였다. 그리고, 탑각 접지 저항별로 피뢰기 설치의 유무와 가공지선의 설치 조수에 따라 역섬락을 발생시키는 뇌격전류의 크기를 계산하면 표 3과 같다[8]. 탑각접지저항이 10 Ω 일 때, 가공지선 1조만 있을 경우에 66kA에서 역섬락이 발생하였다.

그러므로, 본 논문에서는 역섬락 모의시에 100kA를 사용하여 가공지선 1조만 설치하였고, 피뢰기는 설치하지 않는 것으로 하였다.

표 1 뇌격전류 파두장

Table 1 Wave front of surge current

뇌격전류 [kA]	7	15	30	70	100	200
파두장 [μ s]	0.75	1	1.25	1.75	2	2.5

표 2 뇌격전압의 파고치와 파두장

Table 2 Wave front and peak value of surge voltage

	75kV(정극성)	120kV(정극성)
파고치[kV]	75.91	114.0
파두장[μ s]	2.05	2.00

표 3 역섬락발생 뇌격전류의 크기

Table 3 Surge current at the backflashover 단위 : [kA]

조건 \ 탑각저항[Ω]	5	10	15	20	100
1GW	78	66	54	50	20
1GW+SA	136	116	98	88	32

1GW: 가공지선1조
1GW+SA : 가공지선 1조 + 피뢰기

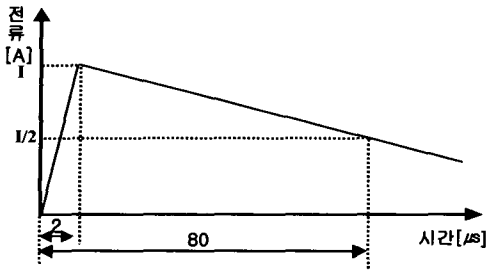


그림 3 뇌격전류 파형
Fig. 3 surge

2.3 철탑 모델링

철탑은 인입철탑과 일반철탑으로 구분되도록 구성하였다. 즉, 가공송전선로와 케이블이 연결되도록 하기 위하여 인입철탑이 사용되었으며, 가공송전선로 전 구간에서의 일반철탑은 154kV 4단자 모델링에 의하여 2회선 중 1회선만을 모의하였다. 여기에서 철탑의 모델링은 그림 4와 같다.

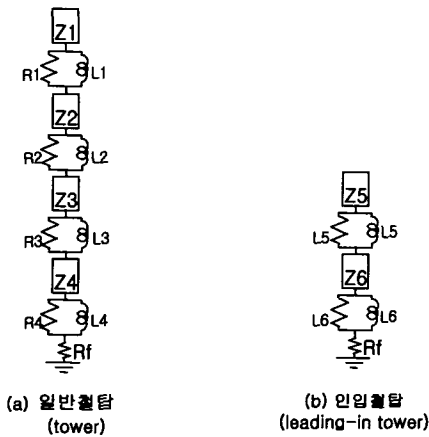


그림 4 일반 철탑과 인입 철탑 모델
Fig. 4 Model of tower and leading-in tower

여기에서, 철탑 각 부분의 R(R1, R2, R3, R4, R5, R6)과 L(L1, L2, L3, L4, L5, L6) 및 Rf를 구하기 위해서 다음의 식을 사용하였다[11].

$$R_i = \frac{-2Z_n \times \ln \sqrt{\gamma}}{h_1 + H_2 + h_3} \times h_i \quad (i=1 \sim 3) \quad (1)$$

$$R_4 = -2Z_n \times \ln \sqrt{\gamma} \quad (2)$$

$$L_i = \alpha \times R_i \times \frac{2H}{V_i} \quad (i=1 \sim 4) \quad (3)$$

여기에서, $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$ 이고, Z_i 는 철탑 서지 임피던스, V_i 는 서지 전파속도, γ 는 감쇄계수, α 는 제동계수, R은 제동저항 L은 제동인덕턴스이다. 또한 서지 전파속도는 $V=300m/\mu s$ 로 하였고, 철탑서지 임피던스는 $Z_n = Z_e = 100\Omega$, 감쇄계수는 0.8, 제동계수는 1로 하였다. 그리고, 인입철탑의 R_5, R_6, L_5, L_6 는 4단자 철탑에서의 Z_3, Z_4 를 구하는 관계식

과 같은 형식으로 구하였다.

3. 사례연구

3.1 지중송전선로로 침입하는 뇌서지 종류와 조건

뇌서지가 지중송전선로에 직접적으로 침입하는 경우는 없으며, 대부분 가공송전선로에 침입한 뇌서지나 개폐서지가 가공송전선로와 중단접속함을 통하여 지중송전선로로 전파된다. 뇌서지가 가공송전선로에 인가되는 사례를 알아보면 표 4와 같다.

표 4 뇌서지의 경로
Table 4 Route of surge

사례	경로
1	뇌서지가 상도체에 직접 인가되어 케이블로 전도되는 경우
2	철탑의 탑정에 인가되어 상도체로 역섬락되는 경우
3	가공지선에 인가되어 상도체에 영향을 주는 경우

본 논문에서는 뇌서지만을 고려하기 때문에 개폐서지를 고려하지 않았으며, 역섬락의 경우도 가공지선보다는 철탑의 탑정에 뇌가 침입하여 발생하는 경우가 많으므로 가공지선에 침입되는 경우는 고려하지 않았다. 또한, 본 논문에 사용된 실계통만으로서의 뇌과전압 특성을 규명하는데 한계가 있으므로 여러 조건을 고려하여 시뮬레이션 할 필요가 있어 이를 위해 실계통을 기초로 하되 가공송전선로와 지중송전선로 부분을 각각 변화시켜가며 상세히 해석하였다. 그 변화시키는 범위는 표 5, 표 6과 같다.

표 5 케이블 변화요소
Table 5 Factors of cable condition

CASE	변화 조건
A	케이블 길이
B	피뢰기 설치 유무

케이블은 일정한 길이로 포설되지 않으며, 포설 방식도 전력구와 관로 등을 불규칙적으로 사용하기 때문에 현재 운전 중인 지중송전선로를 근거로 장거리 및 단거리 선로를 임의로 구성하였고 이로부터 그 특성을 상세히 분석하였다.

표 6 가공송전선로의 변화요소
Table 6 Conditions of overhead line

CASE	변화 조건
A	탑각접지저항 값 (5Ω, 10Ω, 25Ω)
B	뇌격지점과 접속점까지의 거리

가공송전선로의 탑각접지저항 값은 토양과 그 위치에 따라 각각 변화할 수 있다. 또한 철탑은 뇌서지가 침입하였을 때 그 소호기능을 하는 방법중의 하나이기 때문에 탑각접지저항의 영향을 무시할 수 없다. 그리고 뇌격전류가 케이블로부터

어느 정도의 지점에서 침입되었는지도 변수로 작용할 수 있기 때문에 뇌격지점과 접속점과의 거리변화에 따른 과전압을 측정하였다.

3.1.1 지중선로의 방식에 따른 과전압

국내의 지중송전선로는 포설방식에 따라 전력구와 관로로 나눌 수 있는데, 현재 전력구와 관로의 혼합방식도 많이 사용되고 있다. 따라서 본 논문에서 다루고 있는 선로도 전력구와 관로를 환경에 맞게 혼용하였기 때문에, 선로 포설 방식과 구간 길이가 뇌과전압에 미치는 영향을 알아보기 위해 표 7에서와 같이 6가지의 경우를 놓고 60kA의 직격뇌 침입시에 지중송전선로에 유기되는 과전압을 분석하였다. 사례에 대한 분석 결과를 보면 표 8과 같다.

표 7 지중송전선로의 포설방식

Table 7 Type of underground transmission line

사례	방식	특성
1	전력구	각 구간길이 다름
2	관로	
3	전력구 + 관로	
4	전력구	각 구간길이 같음
5	관로	
6	전력구 + 관로	

표 8 발생과전압

Table 8 The overvoltage 단위: [kV]

분석위치 사례	단위: [kV]		
	인입구	중간	인출구
1	792	851	993
2	748	888	927
3	797	858	927
4	783	910	949
5	777	929	977
6	782	924	925

즉, 표 8에서 인입구에서는 전력구와 관로의 혼합구성에, 중간에서는 관로가, 그리고 인출구에서는 전력구로 구성된 선로가 타 선로구성경우보다 큰 과전압이 발생하였고, 구간 길이를 달리하였을 때 인입구에서는 전력구 및 중간, 인출구에서는 관로가 높게 나타났다. 그리고, 모든 방식에서 인입구보다 인출구에서 과전압이 크게 발생하였다. 지중송전선로의 포설방식과 구간 길이에 따라서도 과전압의 발생양상이 달라짐을 알 수 있었다.

3.2 직격뢰 침입시 피뢰기 설치 유무에 따른 과전압 특성

뇌서지가 가공송전선로 A상에 직접 침입할 경우 피뢰기 설치 유무에 따른 접속점에서의 과전압 특성을 해석하였으며 이 때 얻은 결과를 그림 5에서 보이고 있다.

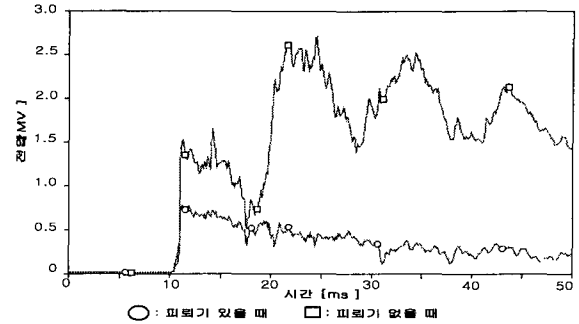


그림 5 피뢰기 유·무에 따른 과전압

Fig. 5 Overvoltage with arrester

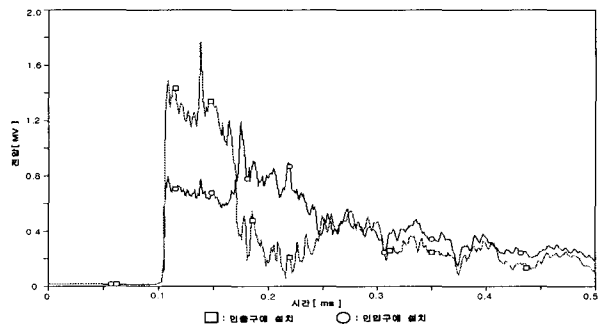


그림 6 피뢰기 편단설치시 과전압

Fig. 6 Overvoltage in install

표 9 케이블 인입구에서의 발생된 과전압

Table 9 Overvoltage at the leading-in of cable

피뢰기유·무	발생 과전압(peak value)
무	2,700kV
유	750kV

그림 5와 6 및 표 9에서 보여주는 결과로부터 알 수 있듯이 피뢰기 설치시 제거시보다 발생 과전압이 현저히 떨어지며, 인입구와 인출구 중 한쪽만 설치할 경우 인출구만 설치할 때보다 인입구만 설치할 때가 더 효과적임을 알 수 있었다. 즉, 피뢰기는 인출구설치 <인입구설치 <양단설치 순으로 그 효과가 증대된다. 그리고 위의 결과를 비교했을 때 피뢰기는 항상 케이블의 인입구 및 인출구에 설치하는 것이 가장 좋으며, 인입구와 인출구중 하나만을 설치한다면 인입구에 설치하는 것이 좋다고 사료된다. 따라서, 본 논문에서는 직격뢰시에 피뢰기를 인입구와 인출구에 각각 설치한 상태에서 해석하였다.

3.3 직격뢰 침입시 가공 및 지중송전선로 과전압 특성

3.3.1 케이블의 길이가 변화 할 경우

60kA의 뇌격이 가공·지중 접속점으로부터 400m 떨어진 지점에 침입하였을 경우 케이블의 길이변화에 따른 과전압을

해석하여 그 특성을 검토하였다.

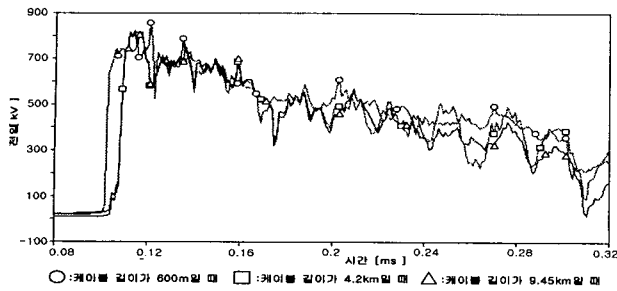


그림 7 케이블 길이에 따른 과전압
Fig. 7 Overvoltage according to the cable length

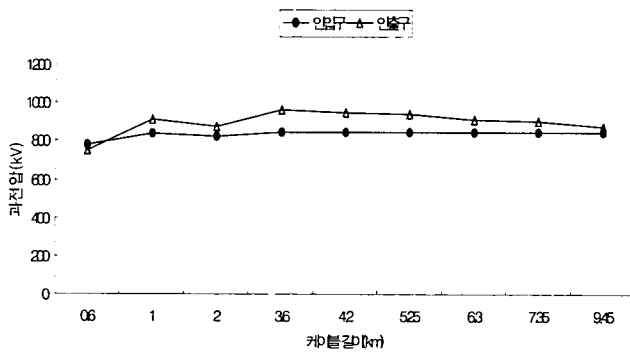


그림 8 케이블 길이에 따른 발생 과전압
Fig. 8 Overvoltage with the cable length

그림 7은 케이블의 길이가 600m, 4.2km, 9.45km로 길어질 때의 접속점에서의 발생과전압을 나타내었고, 전체적인 변화 추세를 그림 8에 나타내었다. 그림 7에서 알 수 있듯이 케이블의 길이가 길어질 수록 어느 정도 범위 안에서는 과전압이 변화되지만 케이블의 길이가 길어져도 과전압은 그렇게 감소하지 않는다. 양단전원의 존재가 그 원인이 될 수 있다는 가능성을 알아보기 위해 정합 저항을 이용하여 양단전원을 무반사단으로 대체하고 뇌격의 상황만을 고려하여 검토하였고 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

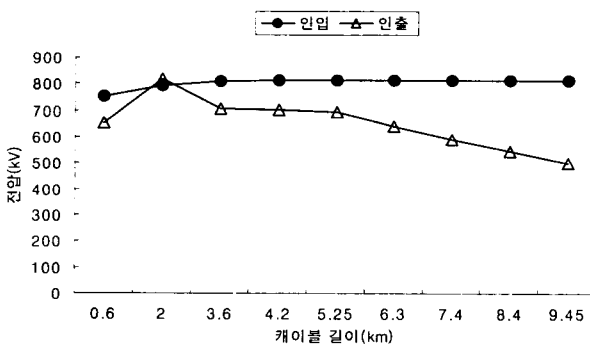


그림 9 무반사전원시 뇌과전압
Fig. 9 Surge wave on the no reflection source

그림 9에서 알 수 있듯이 과전압은 인입부분이 항상 인출 부분보다 높은 경향을 보이며, 4.2km부터는 60kA 뇌격시

812kV의 과전압으로 일정해지는 반면에 인출구에서는 지속적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 즉 그림 7에서 케이블 각 구간에서의 투과, 반사되는 과전압은 양단전원상태에 영향을 받는 것으로 사료된다.

3.3.2 뇌서지 침입점이 변화할 경우

케이블길이가 4.2km인 혼합송전선로에서 가공송전선로의 총 길이가 8.47km 내에서 접속점과 뇌격침입 지점까지의 거리를 변화시켜 케이블 인입구에 유기되는 뇌과전압을 해석하였다.

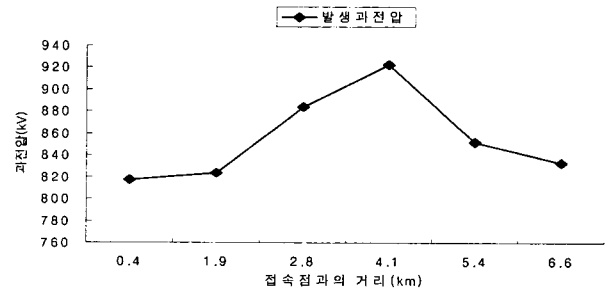


그림 10 케이블에서 발생 과전압
Fig. 10 Cable overvoltage

그림 10에서 알 수 있듯이 직격뇌 침입지점이 접속점에서 일정범위내의 거리에서는 그 발생 과전압이 커지지만 그 길이가 4.2km를 넘으면 뇌과전압의 투과 및 반사에 대한 영향의 감소로 인하여 케이블에 유기되는 뇌과전압이 감소하는 것으로 나타났다. 그 원인은 투과 반사에서 입사파가 변이점에서 투과되고 반사되는데 그 반사된 파가 오히려 그 과전압을 크게 만드는 것이 이 일정범위의 길이내에서 이루어지는 것으로 판단된다. 이상의 해석 내용을 바탕으로 직격뇌 침입시에 피뢰기 설치 유무 및 가공과 지중송전선로 길이 등 여러 조건에서 따라 케이블 과전압이 달라진다는 것을 알 수 있었다.

3.4 역섬락 발생시 가공 및 지중송전선로 과전압 특성

가공송전선로에서의 역섬락을 고려한 경우로서, 역섬락이 발생되기 위해서는 애자런 사이에 걸리는 전압이 애자런의 섬락전압보다 높아야 한다. 따라서, 역섬락으로 인해 접속점에 도달하는 뇌과전압은 접속점의 피뢰기에서 상당부분 상쇄될 것이다. 그러므로 역섬락을 고려할 경우에는 피뢰기가 기본적으로 설치되어있지 않은 것으로 하였다.

여기서는 뇌서지가 철탑 탑정에 침입되었을 때 뇌과전압이 철탑에 의해서 변화되는 특성과 그 역섬락으로 인해 케이블에 나타나는 특성 등을 분석하였다.

3.4.1 케이블 길이가 변화할 경우

전체적인 길이가 600m, 4.2km 및 9.45km인 지중선로에서 역섬락에 의해 나타난 케이블 과전압을 그림 11에 나타내었으며, 600m에서 9.45km까지의 범위에서의 인입단의 과전압은 그림 11과 같이 나타났다. 이 때, 철탑의 탑각저항은 10Ω

으로 하였으며, 역섬락은 첩탑의 영향을 충분히 고려해야 하기 때문에 너서지는 케이블 인입구로부터 4km 떨어진 가공송전선로의 첩탑에 침입되도록 하였다.

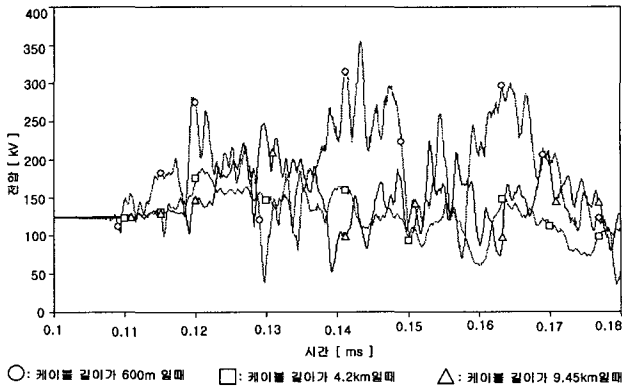


그림 11 역섬락시 케이블 길이변화에 따른 과전압
Fig. 11 Overvoltage at cable with length variation in case of backflashover

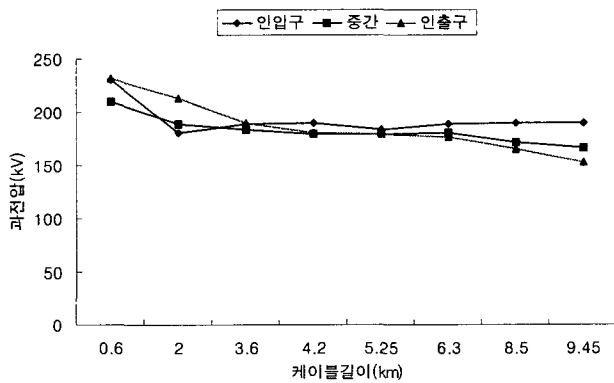


그림 12 탐각접지저항이 10Ω일 때 케이블에서 발생 과전압
Fig. 12 Overvoltage in the cable when the tower footing is 10Ω

그림 11과 그림 12에서 케이블이 600m의 짧은 길이에서는 투과와 반사가 수 차례 발생하면서 그 과전압이 상승하게 되지만, 길어질수록 투과, 반사 횟수가 줄어들면서 도체저항에 따른 손실로 감소하는 것으로 나타났다. 위의 결과에서와 같이 케이블 모든 구간에서 100kA에 대해 BIL을 훨씬 못 미치는 영향을 받으므로, 역섬락에 의한 케이블고장은 고려하지 않아도 될 것으로 사료된다. 또한 케이블 인입구에서는 190kV로 수렴하며, 중간부분과 인출구에서는 지속적인 감소를 보였다.

3.4.2 탐각접지저항이 변화할 경우

뇌과전압 해석시 첩탑의 탐각접지저항은 과전압이 첩탑을 통해서 대지로 흐르는 상황에서 중요한 역할을 하게된다. 일반적으로 유도성과 용량성의 파도특성을 가지고 있으며, 그

범위는 5Ω, 10Ω, 25Ω 등 너격과 토질에 따라 적절하게 사용되고 있다.

본 절에서는 탐각접지저항이 5Ω일 경우와 25Ω일 경우에 길이 당 인입구, 중간 및 인출구에서의 과전압을 각각 해석하였다.]

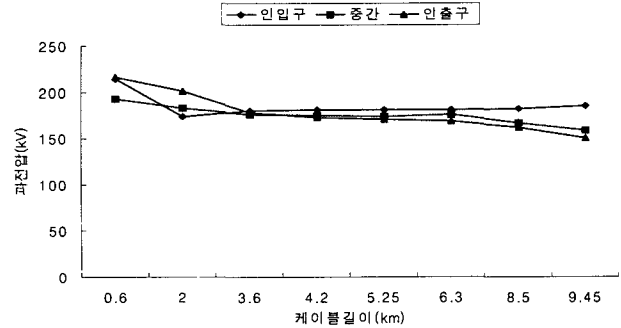


그림 13 탐각접지저항이 5Ω일 때 케이블에서의 발생 과전압
Fig. 13 Overvoltage in the cable when the tower footing is 5Ω

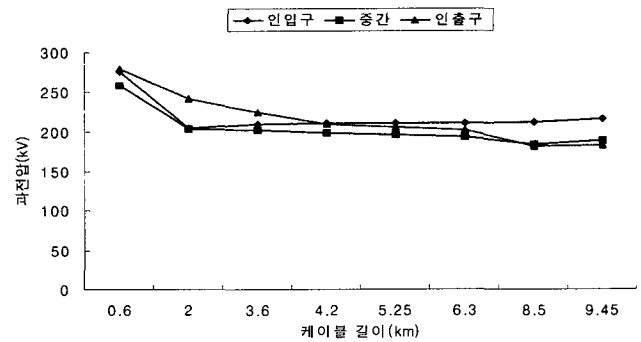


그림 14 탐각접지저항이 25Ω일 때 케이블에서의 발생과 전압
Fig. 14 Overvoltage in the cable when the tower footing is 25Ω

그림 13는 탐각접지저항이 5Ω일 경우의 케이블 과전압 해석결과를 보이고 있는 것이며, 그림 14는 탐각접지저항이 25Ω인 경우의 발생과전압을 보인 것이다. 케이블 길이가 길어짐에 따라 케이블 내에서의 발생과전압이 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 12와 그림 13, 그림 14를 비교하여 볼 때, 역섬락시 탐각접지저항이 커짐에 따라 전체적인 과전압의 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 즉 탐각접지저항과 케이블에서의 발생과전압은 밀접한 관계가 있다.

3.4.3 역섬락 발생지점이 변화할 경우

지중송전선로가 7.4km, 가공송전선로가 8.37km, 탐각접지저항이 10Ω로 구성된 혼합송전선로의 경우에서 역섬락 발생지점이 변화할 경우 케이블의 과전압을 해석하였으며, 그 결과가 그림 15에서 보여지고 있다.

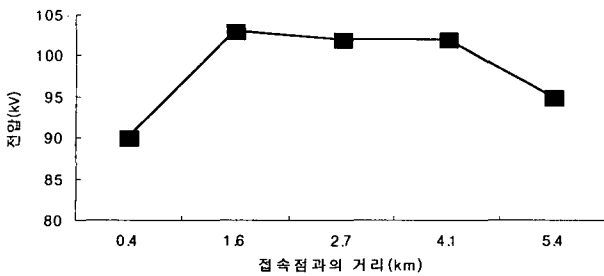


그림 15 접속점까지의 거리변화에 따른 과전압
 Fig. 15 Overvoltage in the range of the distance between leading-in and stroke point

그림 15에서와 같이 접속점까지의 거리가 일정거리 이하인 경우와 일정거리 이상인 경우에 과전압이 감소하는 것을 알 수 있었다. 즉, 역섬락발생과 직격뢰 침입 경우인 그림 10과 그림 15의 결과를 볼 때 모두 4.1km보다 클 경우 케이블 인입구의 뇌과전압이 작아짐을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 가공송전선로와 지중송전선로가 혼합되어 운용되고 있는 실제 혼합송전선로를 대상으로 하였으며, 가공송전선로에 직격뢰와 역섬락이 다양한 조건에서 침입하거나 발생되었을 경우 가공송전선로의 침입점에서 지중송전선로로 전파되는 뇌과전압을 해석하였다. 특히 여기서는 케이블의 인입, 인출부분에서 피뢰기의 설치 유무, 케이블 적정지점마다의 뇌과전압 발생양상 등을 분석하였고, 가공송전선로에서의 여러 조건을 변화시키며 케이블의 과전압을 분석하였다. 다음은 이상과 같은 연구를 통하여 얻어진 내용을 정리한 것이다.

- (1) 혼합송전선로에서는 피뢰기를 케이블 인출구보다는 인입구에 설치하는 것이 좋으며, 그 성능은 인출구설치 < 인입구설치 < 양단설치순으로 나타났다. 그러므로, 가공-지중-가공인 경우에는 양단에 설치하는 것이 가장 효과적이라고 사료된다.
- (2) 접속점으로부터 뇌격 침입지점까지 거리가 일정 범위내에서 직격뢰와 역섬락시 모두 케이블의 과전압이 상승한 이유는 가공선로에 있는 각각의 탐정에서의 투과 반사에 대한 영향으로 사료된다.
- (3) 지중송전선로가 관로와 전력구 등이 혼재되어 포설된 경우는 그 변이점마다 투과와 반사의 영향으로 인하여 과전압 발생 특성이 달라진다.
- (4) 혼합송전선로 계통을 설계할 경우 초기에 본 연구와 같은 뇌과전압해석을 계통이 갖고 있는 조건하에서 상세히 수행하여 운용을 개시하여야만 직격뢰에 따라 케이블이 열화되거나 절연파괴로 이어지는 것을 방지할 수 있을 것으로 평가된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨

참 고 문 헌

- [1] M.H.Shwehdi, J.M.Bakhashwain, "On the Analysis of Lightning Surges Arriving to Cable Terminated Transformer Using(EMTP)", IEEE Industry Application society, pp. 2248-2251, 1997
- [2] Yasunobu Yoshino, Toshio Shimizu, Hiroto Ueno, Chen Min "Computer Calculation of Lightning Voltage in Overhead Transmission Line Joined to Underground Cable", ICEE, pp. 216-219, 1999
- [3] 김창곤, 김재영, 황봉환, 박영신, 장문명 "765kV 송변전 기술검토결과" 765kV 송변전기술 심포지움, pp.28-34, 1996
- [4] "A Study on Effects of lightning Surges to Electric Power System", 한국전기연구소, 1988
- [5] Juan A. Martinez, Francisco Gonzalez-Molina "Surge Protection of Underground Distribution Cables" IEEE Trans. on power delivery, pp. 756-763, 2000
- [6] Tomomi Narita, Takesshi Yamada, "Observation of Current Waveshapes of Lightning Strokes on Transmission Towers", IEEE Trans. on Power Delivery, pp. 429-435, 2000
- [7] Tetsuya Tominaga, Hidehiro Kawano, "Calculation of Lightning Surges Inducing at Equipment Connecting with 10 Base-5 Cable", IEEE, pp. 660-665, 1999
- [8] 심용보, 우정욱 "154kV 송전선로에 피뢰기 설치시 내뢰성 향상효과 모의", 97 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1642-1644, 1997
- [9] "A Study on the Transient Overvoltages in Electric Power System", 과학기술처, pp. 169-171
- [10] "배전계통 이상전압 측정 및 대책연구"한국전력공사전력연구원, pp. 25, 2000.8
- [11] T. Yamada, A. Mochizuki, J. Sawada, E. Zaima, T. Kawamura, A. Ametani "Experimental evaluation of a UHV power Model for Lightning Surge Analysis" IEEE Trans on Power Delivery, vol.10, No.1, pp. 393-402, 1995
- [12] 電氣協同研究 "地中送電設備의 合理化" 電氣協同研究 第44卷, 第3号, pp. 221-285, 1989
- [13] Yoshio Ohashi, Nobuhiro Hirata, "Measurement of the Surge Current in the EHV underground cable System and Cable Kines connected Directed to the Over Head Lines" 電學論B, 114 卷1号, pp. 53-59, 1994
- [14] Yoshihiro Baba, Masuru Ishii "Numerical Electromagnetic Field Analysis on Lighting Surge Response of Tower with Shield Wire" IEEE Trans. on Power Delivery, vol, 15, No.3, pp. 1010-1015, 2000

저 자 소 개



김 남 열(金南烈)

1976년 1월 1일 생. 2002년 원광대 공대 전기전자공학부 졸업. 2002년~ 현재 동 대학원 석사과정.

Tel : 063-850-6735

E-mail : saranga77@hanmail.net



이 종 범(李鍾範)

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987~1990년 한국전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M University 객원교수.

현재, 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수

Tel : 063-850-6735

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr



장 성 환(張成煥)

1950년 6월 5일 생. 1974년 홍익대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학) 1985~1986년 미국 노스웨스턴대학 방문교수. 현재 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수. 야간교학처장

Tel : 063-850-6734

E-mail : swbjang@wonkwang.ac.kr



강 지 원(姜地原)

1965년 1월 6일생. 1987년 한양대 공대전기

공학과 졸업. 1993년 동 대학원

전기공학과 졸업(석사). 1993년~현재

한국전력공사 전

력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5884

E-mail : jwkang@kepri.re.kr