

혼합송전계통에서 뇌과전압해석 및 피뢰기 동작특성 검토

김남열* 김경호 이종범 조한구
원광대학교 전기연구소

Analysis of Lightning Overvoltage on the Combined Power Transmission Line and Actuation of Arrester

Nam-Yoel Kim*, Kyoung-Ho Kim, Jong-Beom lee, Han-Goo Cho
Wonkwang University KERI

Abstract -This paper describes the effect of lightning current on combination transmission line. In the paper, an lightning current which can generate 2/80(μs), 20[kA] - 40[kA] waveform is modeled in ATPDraw. The lightning current invaded to the overhead power transmission line propagates to the underground power cable. The simulation was performed to analyze the effect of arrester location and overvoltage occurred in power cable.

였다. [1][5]. 또한 철탑은 154kV에 사용되는 철탑은 동일선로에서도 많은 종류가 있으며, 설치년도에 따라 그 형태가 달라서 임의로 데이터를 선택하여 4단차모델링 방법을 이용하였다. [1]

그리고, 피뢰기는 그림 1에서 보여주는 피뢰기 V-I 특성데이터에 의하여 모의하였으며, 산화아연(ZnO) 피뢰기로써 가공에서 지중으로의 인입구와 지중에서 가공으로의 인출구여 각각 1기씩 설치 되었다.

1. 서 론

기존의 가공선로에서는 가공선로 피뢰기와 가공지선에 의해 뇌서지에 대한 예방대책이 손실의 최소화화 위해 준비 되어있으며, 고장관별이 용이한 것이 장점이다. 그러나, 도심지의 전력수요의 급증으로 인한 초고압 대전력화에 따라 가공선과 지중케이블을 혼용하는 혼합선로의 이용이 증가하고 있는 추세이다.

이러한 상황에서 가공선에 침입한 뇌서지에 의해 케이블의 절연이 파괴하는 고장으로 이어질 수 있어 이에 대한 정확한 해석을 통해 대책을 세워야 함은 필수적이다. 이러한 대책으로 피뢰기를 설치하는데 피뢰기 설치지점에 따라서도 지점에 따른 유기전압은 달라지게 된다. 피뢰기는 전력계통에 발생하는 이상전압을 피뢰기기의 절연전압 이하로 억제시켜 기기를 안전하게 보호해 주는 역할을 하며, 현재 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수한 산화아연(ZnO) 피뢰기가 주류를 이루고 있다.[4]

따라서 본 논문에서는 현재 운영중인 실제 혼합선로를 대상으로 뇌과전압에 대한 정확한 해석을 시도하였으며, 구체적으로 전원단의 임피던스, 가공선로의 철탑모델, 지중선로의 크로스본드 접지와 직접접지, 시스의 CCPU 등을 고려하였다. 가공선로는 피뢰기 등을 고려하지 않고 전원단에서 지중선로의 시작점까지 지선과 상도체를 고려한 1회선 154kV 선로로 모의하였고, 뇌격은 지선과 임의의 상도체에 인가되도록 구성된 뒤 혼합송전계통에서 뇌과전압 해석 및 피뢰기 동작특성 검토를 하였다. 해석결과를 현재 운영중인 혼합송전계통은 물론 신설선로의 과전압 대책 및 케이블 보호 방안 수립에 매우 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

2. 본 론

2.1 계통의 모델링

사고 모델 계통 구성은 임의의 공장을 갖는 가공선로와 본 논문에서 주된 목표로 잡고있는 뇌과전압해석 부분인 실제 계통의 지중선로를 계통과전압 해석프로그램인 ATP Draw를 이용하여 구성하였다.

2.1.1 가공선로의 모의

양단전원은 154kV로써, 인가하는 실제통에서 가공-지중-가공의 장거리 전송선로를 ATPDraw로 모의하였고, 가공선로는 60Hz 비연가분포정수 선로(K.C.Lee)로 모의하였으며, 또한 도체선과 지선의 선택에 있어서는 전기적 환경장해를 최소화 하면서 경제적으로 대전력을 수송할 수 있고, 또한 이번 모델링에 적합한 거리를 선정하여 검토한 결과, 상도체로써는 ACSR 330mm²이 사용되었고, 가공지선으로는 연속형(continuous ground wires)인 80mm²이 사용되었다.

그리고, 대지저항률은 우리나라 지형에 맞는 정확한 데이터가 없으므로 EMTP내의 default 값인 100(Ω-m)를 사용하

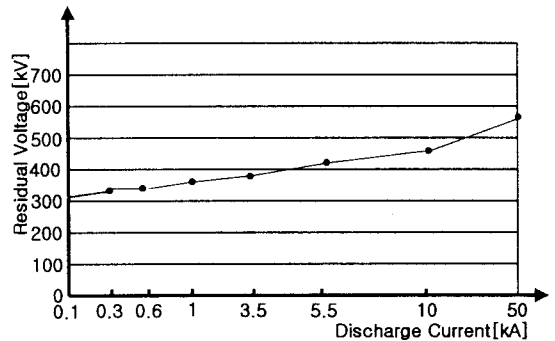


그림 1. 피뢰기의 V-I 특성곡선

2.1.2 지중선로 모의

지중선로는 154kV가 인가되는 실제통으로써 전력구와 관로의 혼합배설방식이 사용되었다. 시뮬레이션으로 사용된 케이블은 2000mm² 154kV CV케이블이다. 표1은 지중의 전선로상의 시스접지방식을 나타내는것으로서 크로스본드 접지와 직접접지를 사용하였는데 직접접지저항은 10Ω이며, CCPU를 사용하는 것에 의해 인입구와 인출구에 각각 2기씩 대지간 접지방식과 나머지 12지점에 교락비접지방식을 사용하였다.[3]

표 1. 지중선로 길이 및 접지상태

구간	D S/S	1	2	3	4	5
선로길이	350	340	340	340	370	380
접지상태	○	△	△	○	△	△
구간	6	7	8	9	10	11
선로길이	282	263	308	347	318	269
접지상태	○	△	△	○	△	△
구간	12	13	14	15	16	T S/S
선로길이	340	244	300	300	260	330
접지상태	○	△	△	○	△	○

[직접접지:○ 크로스본드:△]

2.2.1 뇌서지해석

한반도의 낙뢰분포중에서 약 7.5%를 점유하고 있는 운전의 방전을 제외하면 정극성 낙뢰의 비율이 약 16.7%, 부극성 낙뢰의 비율이 약 83.3%로 다른 나라와 비슷한 수준이다. 여기서 가장 큰 뇌격전류의 크기는 1999년 6월 전남 장흥의 167.8kA(부극성) 및 동년 3월 26일 충남 서천의 234kA(정극성)이었으며, 평균 뇌격전류는 21.24kA로부터 90%이하의

낙되는 그 크기가 40kA 이하이다. [3]

실제 고장유발 낙뢰중 가장 큰 뇌격전류는 최대 150kA, 최소 10kA이며 평균 40kA 이었으므로, 본 논문에서는 20kA-40kA의 범위에서 특성을 파악하였다. 그의 뇌도입피턴스는 400Ω으로 하였다. [2]

뇌격은 가공선에서 지중으로의 인입구에서 1km 떨어진 지선과 상도체에 인가되었을 경우를 다루었으며, 이에 따른 지중케이블과 가공선로상의 변화를 모의하였다. 그리고, 뇌격전류는 그림 3에서와 같이 2/80μs의 램프파를 이용하였으며, 154kV의 최적 BIL인 750kV를 기준으로 파괴기의 적정판정을 하였다. [2]

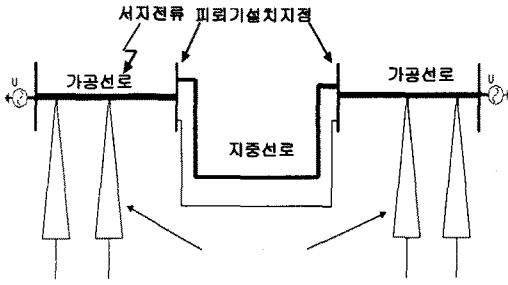


그림 2. 혼합 송전선로 모델

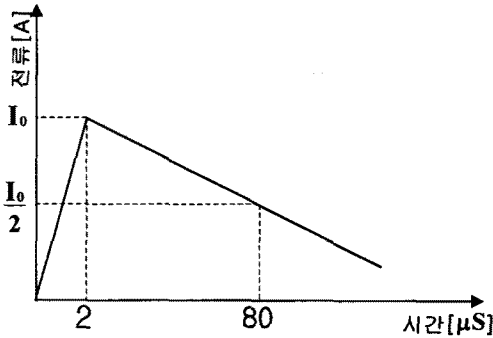


그림 3. 뇌격전류파형

3. 해석결과

3.1 파괴기가 없을 경우

그림 4는 크기가 30kA(2/80μs)인 뇌격이 차폐설피되었을 때의 그래프를 나타내었다. 뇌격이 30kA일 때, A상은 1020kV의 과전압이 발생하였고 정격 BIL(750kV)를 초과하였으며, 또한 그의 영향으로 모선등의 차단기가 파손될 가능성이 있는 범위임을 확인하였다.

그림 5는 서지전류의 20kA-40kA 범위에서 각 A상도체에 유기되는 과전류의 파형을 나타내고 있으며, 이것은 높은 뇌격전류일수록 그에 따른 발생과전압이 커짐을 확인하였다. 이뿐만 아니라 20kA와 40kA일때에도 이와 비슷한 결과 그래프를 나타내었다.

표 2에서 각 지중선로 부분별로 발생되는 과전압(Over Voltage)을 나타내었으며, 20kA에서는 154kV의 BIL을 넘지는 않았지만 30kA에서부터는 정격BIL을 넘어선 과전압이 발생하여 지중선로사고로 이어질 범위임을 확인하였다.

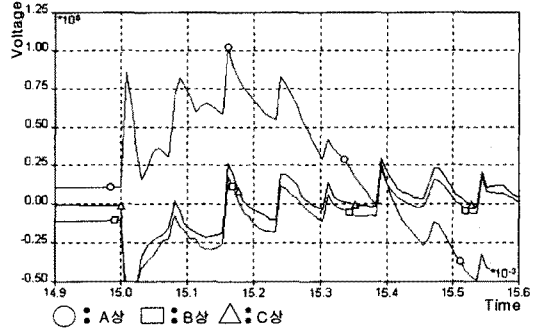


그림 4. 30kA에서 가공선로 상당과전압파형(파괴기미설치)

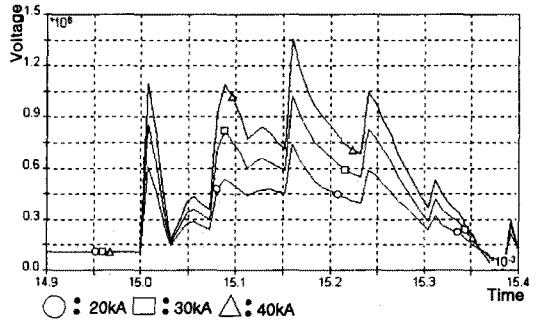


그림 5. 가공선로에서 각 뇌격전류에 따른 발생과전압

표 2. 파괴기미설치시 지중선로 위치별과전압 (단위:kV)

지중선로 뇌격전류	인입구	중간부분	인출구
20kA	663.15	634.04	687.20
30kA	918.27	964.56	1022.6
40kA	1021.08	1263.80	1371.0

3.2 파괴기동작특성에 따른 비교

파괴기 동작에 의한 판단은 다음과 같이 세가지 방향을 두고서 비교 검토하였다.

표 3. 파괴기 위치에 따른 구성

파괴기가 인입구,인출구에 설치	CASE A
파괴기를 인입구에만 설치	CSSE B
파괴기를 인출구에만 설치	CASE C

3.2.1 CASE A

그림 6은 인입구와 인출구에 파괴기가 설치될 경우로 크기가 20kA-40kA로 다양하지만, 기본적인 30kA를 인가시에 인입구와 인출구 파괴기의 동작특성에 의해 변화된 파형이다.

그리고, 표 4에 의해서, 각각의 뇌격시 지중에서이 발생과전압이 정격BIL(750kV) 이하로 현저하게 줄어들었고 인입구의 과전압이 케이블을 진행하면서 지속적으로 감소함을 알 수 있다.

따라서, 인입구와 인출구의 파괴기 설치에 의해서 지중선로의 발생과전압을 일정 BIL이하로 낮춰서 지중선로의 고장을 미연에 방지하는 중요한 역할을 함을 확인하였다.

또한, 그림 7에서처럼 가공선로에서의 발생 피크 전압이 현

저하게 줄어들었음을 확인할 수 있다.

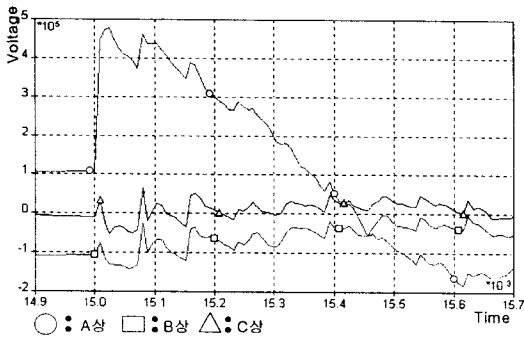


그림 6. 가공선로에서의 과전압파형 (30kA)

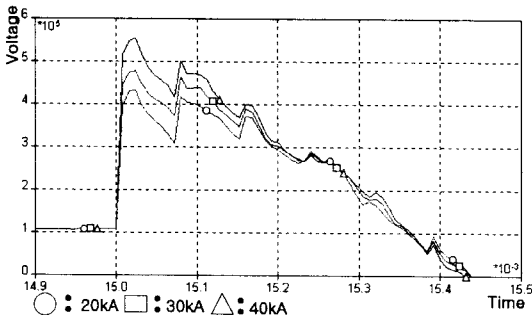


그림 7. 각 뇌격전류에 따른 발생 과전압파형(30kA)

표 4. CASE A의 경우에 지중선로 발생과전압특성(단위:kV)

지중선로 뇌격전류	인입구	중간부분	인출구
20kA	489.58	484.20	467.22
30kA	521.66	527.23	511.10
40kA	602.63	576.70	559.51

3.2.2 CASE B, CASE C

피뢰기의 확실한 동작특성을 알기 위해서는 두 개의 피뢰기를 개별적으로 설치하여 그 결과를 비교해야 한다. 표 5에서는 인입구쪽 피뢰기의 동작으로 인해 피뢰기가 없을 때보다는 낮은 과전압이 발생하지만, 인출구 피뢰기가 없는 이유로 그 과전압이 표 4에서보다 높게 나타났다. 그리고, 종단부로 갈수록 그 과전압이 처음보다 증가하는 추세를 보였다.

또한, 표 6에서 과전압은 처음 인입구에서는 양단에 피뢰기가 있을 경우와 비슷한 특성을 보였지만, 진행할수록 그 과전압의 크기가 감소하는 것으로 나타났으나, 양단에 피뢰기를 설치하는 것보다 못하였다.

표 5. CASE B 경우에 지중선로 발생과전압 (단위:kV)

지중선로 뇌격전류	인입구	중간부분	인출구
20kA	534.73	583.26	569.27
30kA	639.54	657.11	646.00
40kA	744.02	782.09	766.57

표 6. CASE C 경우에 지중선로 발생과전압 (단위:kV)

지중선로 뇌격전류	인입구	중간부분	인출구
20kA	489.58	496.17	473.49
30kA	678.21	589.45	580.47
40kA	685.27	689.55	681.60

4. 결 과

본 논문에서는 지중송전케이블과 함께 운영하는 혼합송전계통에서 뇌격이 침입하였을 경우 과전압 해석 및 피뢰기의 동작특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 뇌격시 피뢰기 존재하지 않을 경우, 뇌격전류가 20kA에서도 큰 과전압이 발생하였다. 즉, 적은 뇌격에도 지중선로는 큰 고장으로 발전할 가능성이 많다.
- (2) 피뢰기의 편단설치는 각각의 일정 효과(즉, 피뢰기가 인입구에 존재할때에는 지중선로에서의 과전압을 제대로 감쇠시키지 못하며, 인출구에 설치할 경우에는 과전압을 감쇠시키기는 하지만, 그 정도가 만족스럽지 못하다는 것)는 볼 수 있지만 효과적인 방법이라고 볼 수 없다.
- (3) 피뢰기의 양단설치는 모든 경우 가장 이상적인 방법으로 뇌격으로부터 지중선로를 보호하는 면에서 정격 BIL을 만족하였으므로, 우리나라에 가장 적합하다고 사료된다.

(참 고 문 헌)

- (1) Yasunobu Yoshino, Toshio Shimizu, Hiroto Ueno, Chen Min, "Computer calculation of lightning voltage in overhead ransmission joined to underground cable" ICEE '99, 2000.10
- (2) 우정욱, 심용보, 꺾구목, 노영조, 주준영, "154kV 변전설비의 낙뢰사고원인해석과 차폐검토", 대한전기학회 '99 하계 학술대회 E, pp.2080-2082
- (3) 김석수, 조한구, 박태근, "지중케이블의 절연통보호대책 및 방식층 보호장치의 특성", 한국전기전자재료학회 2001년도 춘계 학술대회는 논문집, pp.72-75
- (4) 심용보, 우정욱, "154kV 송전선로에 피뢰기 설치시 내뢰성 향상 효과의", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.1642-1644, 1997
- (5) 하계용, 이종범, "ATPDraw를 이용한 전력계통설비의 모의 및 특성 분석" 1999년도 대한전기학회 하계 학술대회, pp.1227-1229, 1999.7