

혼합송전계통에서 재폐로 시행시 개폐과전압 해석

임광식*, 이종범*, 정채균**, 강지원**, 박홍식**
 원광대학교* 전력연구원**

Analysis of Switching Overvoltage on Operating Reclosing
 in Combined Transmission Systems

kwang-Sik Lim*, Jong-Boem Lee*, Chae-Kyun Jung**, Ji-Won Kang**, Hung-Sok Park**
 Wonkwang University* KEPRI**

Abstract - This paper is analysed by switching overvoltage on operating reclosing in 154[kV] combined transmission systems. Combined transmission systems are modeled by EMTP/ATPDraw program. It is fault condition that simulate high resistance earth fault. The simulation is carried out considering variation of parameters such as resistance value of fault point and rate of underground line.

1. 서 론

우리나라의 전력계통은 지형적, 환경적으로 많은 제약 요소를 내포하고 있으며, 신도시나 산업도시와 같은 특정지역을 중심으로 전력수요가 급증하고 있다. 하지만 가공송전선로의 도심지 통과, 건설부지 부족등의 공간적 및 도시미관등의 환경적인 한계성으로 인하여 지중송전선로가 증가 추세이며, 또한 가공선로의 일부구간 및 변전소 구간의 지중화요구에 따라 혼합송전선로가 증가하고 있다. 이에 따라 혼합송전선로에 대한 중요성은 커질 것으로 예상된다[1-2].

일반적으로 지중선로의 사고발생빈도는 낮으나 사고가 발생하게 되면 큰 과급효과가 나타난다. 이러한 과급효과 때문에 현재 혼합송전선로에서의 고장발생시 강행송전 금지룰 원칙으로 하고 있다. 하지만 혼합송전선로의 고장발생 빈도중 약 80[%]정도가 가공선로의 순간고장이 점유하고 있다. 따라서 고장발생시 강행송전 금지에 따른 고장복구시간 지연 및 공급신뢰도 저하된다. 이것은 현재 국내에서는 차단기 동작에 대한 개폐과전압에 관한 체계적이고 다양한 기술적인 분석이 이루어지지 않아 재폐로 미시행으로 혼합송전선로 운영상의 문제를 안고 있는 실정이다[3-6].

따라서 본 논문은 혼합송전선로 EMTP/ATPDraw를 사용하여 모델링하고 확률분포를 적용하여 개폐과전압을 계산하는 통계스위치를 사용하여 혼합송전선로에서 재폐로 시행시 발생하는 도체과전압 및 시스템-대지간전압을 지중선로의 비율 및 고장점 저항크기를 고려하여 시뮬레이션을 실시하고 결과를 바탕으로 혼합송전선로의 재폐로 시행시 개폐과전압분석 데이터 및 향후 재폐로 시행여부를 판정하는데 이용하도록 하였다.

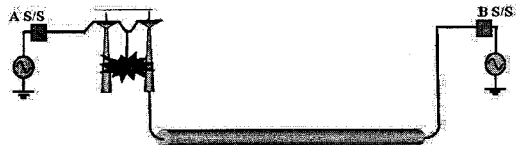
2. 본 론

2.1 계통 모델링

본 논문에서는 사용된 혼합송전선로는 국내 운용중의 실계통의 데이터를 바탕으로 EMTP/ATPDraw를 이용하여 모델링을 하였으며, 혼합송전선로의 계통도는 그림 1과 같다.

2.1.1 선로 모델링

가공선로는 154[kV] ACSR 330[mm] 10[km]를 모의하였으며, 지중선로는 154[kV] XLPE 2000[mm] 케이블을 전력구식 삼각배열의 포설방식을 적용하여 모의하였다. 각각의 케이블은 154[kV] 철탑과 전력구내 케이블 표준배치에 의거하여 배치하여 EMTP/ATPDraw의 선로정수 계산 프로그램인 ATP-LCC를 사용하고 대지저항률 100[Ω-m], 주파수 1000[Hz]를 적용하여 선로정수를 산출하였다.



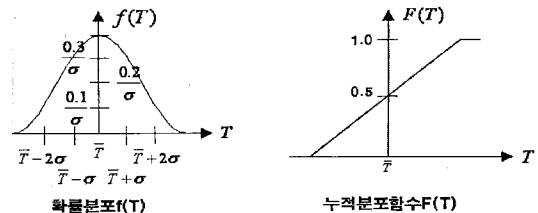
<그림 1> 혼합송전선로 계통도

2.1.2 절연통보장치 및 접지

각종 뇌 서지 및 개폐서지와 같은 이상전압 침입시 지중케이블의 절연통과 방식층 보호를 위해 절연통보장치를 설치하게 된다. ZnO 성분으로 제조되어 V-I 특성곡선에 의해 동작하는 절연통보장치(CCPU)는 EMTP/ATPDraw 내에 DBM(Data Base Module)을 사용하였고 결선방식은 교락비접지방식을 적용하여 모델링하였다. 접지는 양단 전원이 변전소 매수에 접지됨으로 1[Ω], 인입단과 인출단 접지 1[Ω], 중간접속부 10[Ω], 가공선로에서의 탐각저항은 25[Ω]를 적용하였다[3].

2.1.3 통계적스위치 해석방법

선로나 변전소에 침입하는 개폐과전압 해석시 확률분포를 적용하여 계산하는 기법이다. 반복 계산횟수를 지정하여 "STATISTICS SW"를 무작위로 개폐기 투입시간을 선정하여 최대과전압을 계산한다.



<그림 2> 가우시안 분포

또한 일반적으로 차단기 동작시점에 교류전압위상이 변화하므로 각상의 차단기 투입되는 시점의 위상별로 투입되지 분석을 위해 0°~360° 사이를 정규분포의 통계적인 확률분포를 이용해 표준편차에 따라 무작위로 개폐과전압을 계산하는데 그림 2는 논문에 적용한 가우시안 분포를 나타내고 있다[7].

2.2 사례선정

본 논문에서는 현 “보호계전 정정, 부록 1 보호계전기 정정 세부사항”에 345[kV]에서는 일부라도 지중이 포함된 선로에서는 재폐로를 적용할수 없으며, 154[kV]에서는 OF케이블 계통에서는 재폐로를 적용하고 있지 않으나 그 외 선로중 기술검토상에 문제가 없으면 지중화를 30[%]미만에서는 재폐로를 적용할수 있다. 위의 내용을 참고하여 표 1과 같이 임의 선로를 구성하여 혼합송전선로 재폐로시 개폐과전압을 분석하였다.

<표 1> 사례적용

CASE	가공선로	지중선로	지중비율
Case 1	10[km]	3[km]	23[%]
Case 2	10[km]	6[km]	37[%]

2.3 시뮬레이션조건

본 논문에서의 고장조건은 그림 1의 혼합송전선로 계통도의 A s/s에서 5[km] 떨어진 지점의 가공선로의 A 상에서 0.0125[sec]에 고저항 지락사고 발생한 후 0.0135[sec]에 고장이 제거된다. 고장을 판단한 후 차단기가 0.016초에 고장을 차단하고 0.05초에 재폐로를 시행하도록 모의 하였다. 개폐과전압 해석을 위해 부하단은 개방상태로 하였으며, 재폐로 동작에 따른 투입시지는 통계적인 해석방법을 이용하여 주차단기의 평균 투입시간 0.05[sec], 표준편차를 1[msec]로 설정하였다. 또한 확률분포는 가우시안분포를 사용하여 100회 반복계산 하였다.

2.4 시뮬레이션 결과

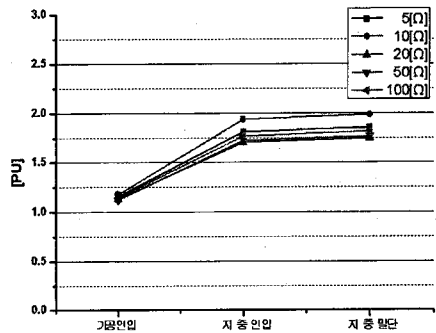
<표 2> 지중선로 도체말단 개폐과전압과 고장전류

고장 저항 [Ω]	PHASE A kV(PU)		PHASE B kV(PU)		PHASE C kV(PU)		고장 전류 kA
	Case1	Case2	Case1	Case2	Case1	Case2	
	5	220.56 (1.75)	227.19 (1.81)	199.00 (1.58)	201.24 (1.60)	233.36 (1.86)	
10	240.37 (1.91)	221.08 (1.76)	196.50 (1.56)	187.50 (1.49)	240.48 (1.91)	225.36 (1.79)	9.31
20	217.12 (1.73)	215.80 (1.72)	186.27 (1.48)	187.51 (1.46)	219.78 (1.75)	221.19 (1.76)	5.38
50	234.37 (1.86)	217.80 (1.73)	195.80 (1.56)	183.77 (1.46)	221.77 (1.76)	221.61 (1.76)	2.36
100	220.37 (1.75)	209.77 (1.67)	190.58 (1.52)	186.30 (1.48)	228.23 (1.82)	227.44 (1.81)	1.22

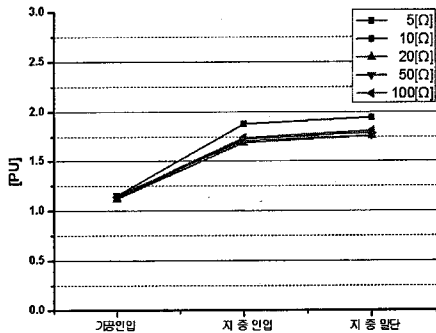
일반적으로 고저항 지락사고가 발생하면 대부분의 경우가 아킹을 동반한 상태에서 초기상태에는 고저항의 미소전류로부터 시작하여서 저저항의 큰 고장전류가 흐르게 되는 감소특성을 지니고 있다. 따라서 본 논문에서는 우선 고장저항이 시뮬변일 경우에 고장저항을 5[Ω] ~ 100[Ω] 임의로 설정하여 고저항에서 저저항으로 단계적으로 조건을 변화시키며 시뮬레이션을 하였다. 표 2는 각종 고장 저항에 따른 고장전류 및 지중선로말단의 도체과전압을 나타낸 것이다.

2.4.1 고장점저항에 따른 도체과전압

그림 3과 4는 Case 1과 Case 2에서 고장점 저항에 따른 지중선로 위치별 도체의 개폐과전압을 나타낸 것이다. 고저항 지락사고에서 특성상 시간적으로 저저항의 큰 고장전류의 영향을 최종적으로 받게 되는데, 표 2에서도 5[Ω]일때 14.47[kA]의 고장전류의 영향으로 가장 큰 개폐과전압이 발생하였다. 그리고 고장점저항이 작아 질수록 개폐과전압이 증가한다. 전체적으로 개폐과전압의 크기는 전원단에서 부하단으로 갈수록 증가하는 특성을 나타내었다.



<그림 3> Case 1의 선로위치에 따른 도체과전압



<그림 4> Case 2의 선로위치에 따른 도체과전압

2.4.2 지중선로의 비율에 따른 도체과전압

표 2에서와 같이 지중선로의 말단에서의 도체의 최대 개폐과전압은 Case 1의 경우는 1.91[PU], Case 2의 경우는 1.98[PU]로 나타나고, 전체적으로 지중선로의 비율에 큰 영향없이 개폐과전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 국내에서 적용하고 있는 154[kV] 계통의 한전개폐과전압 절연설계 목표치인 2.8[PU]에 대해 많은 여유가 있어 본 논문에서 설정한 사례에 대해서는 재폐로 시행이 가능하다고 사료된다.

2.4.3 시스-대지간전압

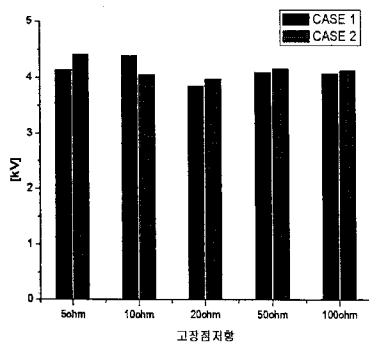
표 3과 4는 Case 1과 Case 2에서 고장점 저항에 따른 지중선로 크로스본드에서 가장 영향을 많이 받는 제 1 크로스본드구간의 IJ #1, IJ #2의 시스-대지간 전압을 나타낸 것이다. 표에서의 시스-대지간 전압은 전원단에서 진행할수록 감소하는 특성을 나타낸다.

<표 3> 제 1크로스본드 IJ #1의 시스대지간전압

고장 저항 [Ω]	PHASE A kV		PHASE B kV		PHASE C kV	
	Case1	Case2	Case1	Case2	Case 1	Case 2
5	3.841	3.913	4.148	4.421	3.717	3.843
10	3.874	3.671	4.395	4.062	3.991	3.555
20	3.589	3.596	3.853	3.981	3.546	3.496
50	3.759	3.742	4.099	4.165	3.663	3.593
100	3.711	3.655	4.079	4.031	3.698	3.556

<표 4> 제 1크로스본드 IJ #2의 시스대지간전압

고장 저항 [Ω]	PHASE A kV		PHASE B kV		PHASE C kV	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
5	3.624	3.673	4.144	4.251	3.704	3.801
10	3.821	3.306	4.389	4.035	3.900	3.622
20	3.245	3.279	3.817	3.912	3.523	3.558
50	3.518	3.545	3.977	4.034	3.578	3.593
100	3.508	3.398	4.047	3.852	3.688	3.588



<그림 5> Casel,2 제 1 크로스본드구간 IJ #1 시스-대지간전압

그림 5은 Case 1과 Case 2의 제 1 크로스본드구간 IJ #1 시스-대지간전압을 나타낸 것이다. 고장점저항에 따른 시스-대지간전압에는 큰 차이를 보이지 않는다. Case 2의 IJ #1에서 4.42[kV]의 최대과전압이 유기된다. 그리고 전반적으로 Case 2가 Case 1의 경우보다 큰 시스-대지간 전압이 유기됨을 알 수 있다.

일반적으로 개폐서지는 뇌 서지 비해 완만한 파형을 가지고 있어 낮은 과전압이 발생한다. 하지만 각종 서지에 의해 발생하는 과전압에 큰 영향을 주는 과두시간이 250[μs]로 길기 때문에 선로 및 전력기기 등에 미치는 영향이 커질 수 있다고 사료된다.

3. 결 론

본 논문은 혼합송전선로에서 고저항 지락사고 후 재폐로 시행시 지중선로 나타난 과도현상을 고장점저항의 크기와 지중선로의 비율에 따라 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 고저항 지락고장으로 인하여 1.22~14.47[kA]의 고장전류가 발생하였으며, 고장점 저항이 작아질수록 개폐과전압은 상승하는것을 알 수 있다.
2. 최대과전압이 Case 1의 경우는 1.91[PU]와 Case 2 경우 1.94[PU]로 한전절연설계 목표치인 2.8[PU]에 많은 여유가 있으며, 개폐과전압에서 지중선로의 길이가 큰 영향을 미치지 않으며, 본 논문에서 설정한 사례에 대해서는 재폐로가 가능하다고 사료된다.
3. 도체의 개폐과전압은 전원단에서 부하단으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있다.
4. 시스-대지간 전압은 전원단에서 진행할수록 감소하는 특성을 나타내며, Case 2의 IJ #1에서 4.42[kV]의 최대시스전압이 유기된다.

본 논문에서는 항 후 다양한 혼합송전선로를 모의하여 재폐로 시행시 발생하는 과전압을 다양하게 분석함으로써 혼합송전선로의 재폐로 시행기준(안) 수립에 반영할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 기술연구원, "지중송전 케이블의 써이저 보호 대책에 관한 연구(최종보고서)", 1993.6
- [2] 전력연구원, "송전용량 증대를 위한 열방산회로 개선에 관한 연구(최종보고서)", 2003.3
- [3] 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)", 1998.1
- [4] 전력연구원, "직접접지계통 송전선로 고저항 지락보호대책 연구", 1997.7
- [5] 한국전력공사 중앙교육원, "지중실무 1, Ⅱ", 2000.5
- [6] 한국전력공사, "지중송전케이블 시스템", 2002.12
- [7] EMTP Rule Book