

가공 및 지중 혼합송전계통 접지선 유무에 따른 과전압 검토

박홍석, 강지원, 윤형희, 정채균, 장태인
한국전력공사 전력연구원

Analysis on Overvoltage due to Ground Wire Conditions in Overhead - Underground Transmission Network

Hung-Sok Park, Ji-Won Kang, Hyung-Hee Yoon, Chae-Kyun Jung, Tae-In Jang
KEPCO

Abstract - 최근 인구 집중현상에 따른 대도시의 전력수요 증가 및 환경적 요인으로 인하여 가공선로의 일부가 지중으로 건설되는 가공 및 지중 혼합 선로가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이는 국내뿐만 아니라 전력 선진국 및 신흥 공업국 등의 전 세계 여러 나라에서도 마찬가지이다. 한편, 국내 전력산업체의 해외진출 기세가 늘어나고 있으나 해외 전력계통에 대한 기술적 검토 자료가 빈약하여 관련 자료의 확충이 절실히 필요한 실정이며, 가공선로가 아닌 지중선로 특히 지중-가공 혼합선로에 대해서는 기술검토 자료가 전무한 형편이다. 따라서 본 논문에서는 국내 전력기업이 중국과 같은 해외사업 진출시 기술 자료로 활용할 수 있도록 중국의 기간 송전망으로 되어있는 220kV 혼합송전선로를 대상으로 EMTP/ATP 시뮬레이션을 통하여 지락고장시 접지방식에 따라 발생 과전압을 검토하여 적절한 접지방식을 찾고자 한다.

- ① 가공선로 제원 : ACSR 400[mm²], 공장 5.1[km]
- ② 지중선로 제원 : XLPE 800[mm²], 공장 1.805[km]

2.1.2 시뮬레이션 조건

EMTP 시뮬레이션 조건 및 양단 변전소의 전원 임피던스는 아래와 같다.

- ① 부하전류 : 120[A]
- ② 지락조건 : C/H #1 C상 1선 지락(0.02s부터), 지락전류 36.2[kA]
- ③ 뇌격조건 : C/H #1 C상 직격뢰(50kA, 100kA, 1.2/50us)
- ④ 전원 임피던스

<표 1> 시뮬레이션에 사용된 전원 임피던스

임피던스	위상각	정성분 [Ω]	허상분 [Ω]
A/S/S	0°	1.2 + j1.2	4.4 + j8.4
B/S/S	0.25°	2 + j4	8 + j12

1. 서 론

최근 도시의 인구집중 현상의 심화에 따라 대도시를 중심으로 전력수요 밀도가 급격히 높아지고, 가공송전 방식이 가지는 한계 때문에 지중송전 선로의 도입이 점차 증대되고 있다. 이러한 추세는 앞으로도 계속 확산될 전망이다. 이러한 현상은 전 세계적인 추세로 유럽 등 전력선진국은 물론 급속한 경제성장이 진행되고 있는 신흥 산업국가에 있어서도 공통된 현상이다. 한편, 국내 전력산업의 성장동력으로 국내 업체의 해외진출이 활발해지고 있으나 해외 전력계통에 대한 기술적 검토 자료가 극히 빈약하여 고장이나 사고발생시 이에 대한 대처가 곤란한 실정이다. 특히 가공선로가 아닌 지중선로, 그 중에서도 가공-지중 혼합선로에 대해서는 관련 기술 자료가 전무한 형편으로 이의 확충이 더욱 필요하다고 하겠다.

지중송전계통은 비가시성 등 여러 가지 장점을 갖고 있는 반면 초기 투자비용이 크고, 설치 및 유지보수가 어려우며, 지하 전력구 및 관로 등을 이용해 포설되므로 사고발생 시 복구에도 장시간이 소요되는 경향이 있다[1]. 또한 사고빈도는 가공선로에 비해 일반적으로 낮으나 과도현상이 발생하면 영구사고로 진행될 가능성이 높아 지중송전계통에서 발생하는 각종 과도현상을 고려한 합리적인 절연선계 및 과도현상에 대한 적절한 보호대책을 세우는 것이 매우 중요하다고 하겠다.

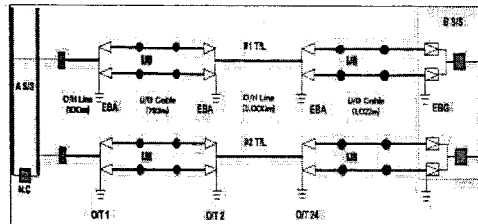
본 논문에서는 국내 전력 산업체가 해외사업 진출시 기술 자료로 활용할 수 있도록 중국의 기간 송전망으로 되어있는 220kV 송전망중 가공-지중 혼합선로를 대상으로, EMTP/ATP 시뮬레이션을 통하여 지락고장시 접지방식의 종류에 따라 계통에 발생하는 과전압을 검토하고, 이를 통하여 적절한 접지방식에 대하여 살펴보고자 한다. 과전압 검토를 위한 모델계통의 모의시 초기 과도특성에서 나타나는 불안정한 데이터 오류를 방지하기 위하여 지중계통 절연통보호장치를 ATP/Draw의 비선형 소자 Type 99 대신 실락을 고려한 ZnO 피뢰기 모델, Type 92를 사용하여 분석결과의 정확성을 향상시켰다[2].

2. 본 론

2.1 분석대상 가공-지중 혼합 모델계통

2.1.1 선로 EMTP 모의 개요

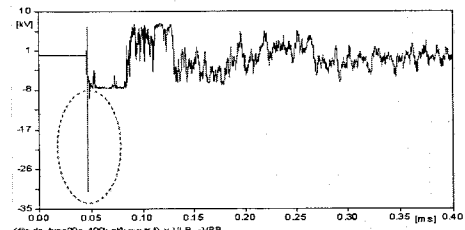
분석대상 혼합송전계통은 중국의 220kV 가공-지중 혼합선로로서 EMTP/ATP 모의 계통도는 <그림 1>과 같으며, 각 선로의 제원은 다음과 같다.



<그림 1> 모의대상 가공-지중 혼합송전선로 계통도

2.1.3 절연통보호장치 모델링

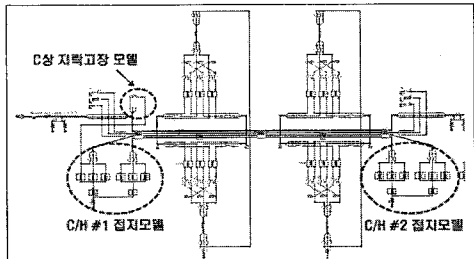
EMTP ATP/Draw에서 비선형 소자 Type 99는 ZnO 피뢰기의 비선형 저항 대응으로 근사해를 구하는 방법으로 기존의 케이블 절연통보호장치 모델링에 주로 활용되어 왔으나 완전한 비선형성을 반영할 수 없고, 파거이력 데이터가 없어 선택순간 어느 구간의 특성을 나타내는지 사용자가 구간을 지정해야하며, 통각지점이 그래프상에서 천천히 움직일 수 있도록 Δt가 충분히 작아야 하는 단점이 있다[3]. 따라서 과도현상 해석에 <그림 2>와 같이 Type 99를 이용할 경우 과도현상이 발생하는 순간 절연통보호장치가 가지는 제한전압을 크게 초과하는 피크 값이 순간적으로 발생하게 되는 불안정한 동작특성과 Δt의 영향으로 시뮬레이션 결과에 심각한 오류를 가져올 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 방지하기 위하여 실락을 고려한 ZnO 피뢰기 모델 Type 92를 변형하여 사용하였다. Type 92는 보상정리와 뉴턴-랩슨법에 의해 해가 구해지는 비선형 소자로 이 경우 구해지는 해는 비교적 정확한 것으로 평가되고 있다.



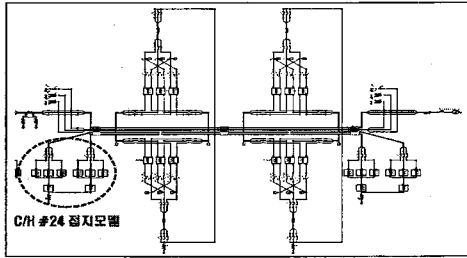
<그림 2> Type 99 절연통보호장치를 이용한 과도해석 결과

2.3 지락고장 검토

해당선로에 대한 지락고장을 검토하기 위한 A, B 변전소측 C/H에서의 접지 모델은 <그림 3> 및 <그림 4>와 같다.



<그림 3> 해당선로 모의(A/S/S측)



<그림 4> 해당선로 모의(B/S/S측)

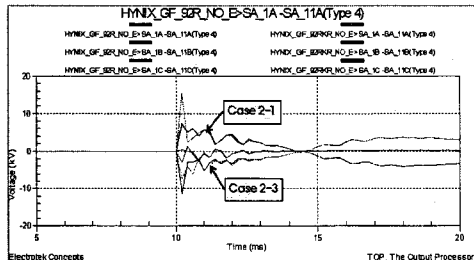
그리고, 양단의 각 접지상태에 따른 과전압 검토 경우의 수와 결과는 <표 2> 및 <표 3>과 같다. <표 2>의 검토 Case는 정상상태 및 지락고장, 접지선의 유부, 대지간 또는 SVL 설치 조건 등 다양하게 설정되었다.

<표 2> 검토 Case 설정

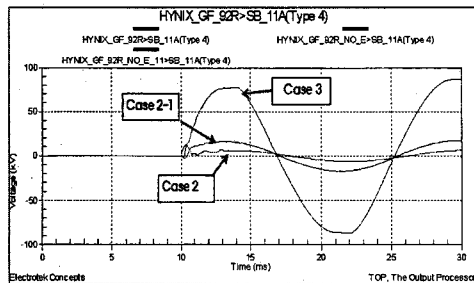
CASE	검토모델	접지유무	교락	모의 내용
CASE 1	1-1	O		대지간 SVL설치
	1-2	O	O	대지+교락 SVL설치
	1-3	X		대지간 SVL설치
	1-4	X	O	대지+교락 SVL설치
CASE 2	2-1	O		대지간 SVL설치
	2-2	O	O	대지+교락 SVL설치
	2-3	X		대지간 SVL설치
	2-4	X	O	대지+교락 SVL설치
CASE 3*)		X	X	접지선 없을 때 대지간 SVL설치

주) Case 3 : #1, #2, #24호 C/H측 접지선이 모두 없을 때 대지간 및 절연통보호장치간 과전압

각 검토 Case의 대표적인 경우에 있어서 과전압 파형의 비교 결과는 <그림 5>와 <그림 6>에 나타나 있다.



<그림 5> Case 2-1과 Case 2-3 SVL양단 파형비교(J/B #1구간)
(Case 2-1 : 접지선이 없는 상태에서 C상 지락고장 발생시)
(Case 2-3 : Case 2-1에서 SVL 교락비접지방식 보장 후)



<그림 6> Case 2, 2-1 및 Case 3 대지간 전압 파형비교(J/B #1구간)
(Case 2 : #1 T/L 접지선 있을 때 C상 지락고장 발생시)
(Case 2-1 : #1 T/L 접지선 없을 때 C상 지락고장 발생시)
(Case 3 : #1 T/L 접지선 모두 없을 때 C상 지락고장 발생시)

각 검토 Case에 대한 지락고장시의 종합적인 과전압 검토결과는 <표 3>과 같이 나타났다.

<표 3> 지락고장시 과전압 검토결과[kV]

구분	고장	접지	교락	J/B #1		J/B #2		J/B #3		J/B #4	
				대지	SVL	대지	SVL	대지	SVL	대지	SVL
Case 1	정상	O	X	0.004	0.008	0.005	0.008	0.005	0.008	0.005	0.008
Case 1-1		X	X	0.041	0.007	0.025	0.008	0.005	0.008	0.005	0.009
Case 1-2		O	O	0.004	0.008	0.005	0.008	0.005	0.008	0.005	0.008
Case 1-3		X	O	0.041	0.007	0.025	0.008	0.005	0.008	0.005	0.009
Case 2	지락	O	X	7.44	6.92	8.81	11.42	4.42	5.38	4.26	5.30
Case 2-1		X	X	17.17	15.53	16.52	4.14	3.70	6.66	4.22	6.24
Case 2-2		O	O	7.81	5.07	7.80	6.87	3.03	3.92	2.98	4.99
Case 2-3		X	O	17.17	7.37	16.51	5.04	3.28	6.12	3.69	5.29
Case 3		X	X	86.91	16.16	87.02	15.69	7.64	5.91	8.34	2.36

2.4 뇌써지 침입 검토

뇌써지의 영향에 대한 과전압 검토결과는 <표 4>와 같다. 검토를 위한 뇌격조건은 직격뢰 50/100[kA], 1.2/50[us]이며 각 경우는 다음과 같다.

- ① Case 1 : 접지선 있을 때 50/100[kA] C/H #1 C상 직격뢰
- ② Case 2 : C/H #1측 접지선 없을 때 50/100[kA] C/H #1 C상 직격뢰
- ③ Case 3 : C/H #1, 2측 접지선 없을 때 50/100[kA] C/H #1 C상 직격뢰

<표 4> 뇌써지 유입시 선로의 뇌과전압 검토결과

구분	접지유무	뇌격크기 [kA]	뇌과전압 [kV] C상
Case 1	접지선 있을 때	50	780.7
		100	942.9
Case 2	#1측 없을 때	50	808.4
		100	988.2
Case 3	#1, 2측 없을 때	50	814.4
		100	993.9

3. 결 론

지금까지 중국의 220kV 가공-지중 혼합선로의 한 구간에 대하여 접지방식에 따른 과전압을 검토하였다. EMTP를 통하여 당해 선로를 모의한 결과를 살펴보면, <표 3, 4>에서 보는 바와 같이 썬지(1선 지락고장, 직격뢰 등)의 유입이 없을 경우 C/H에 접지선 유무에 상관없이 케이블 시스템 유기전압이 낮아 2차사고의 발생 가능성이 희박하다고 할 수 있다. 그러나, 1선 지락고장의 경우에는 C/H에 접지선이 없을 때 케이블 접속부에서 유기전압의 상승을 확인할 수 있었다. 또한 기존에 설치되어 있는 절연통보호장치의 대지간접지 방식과 교락비접지 방식으로 절연통보호장치에 설치될 경우에는 유기 과전압의 저감효과를 확인할 수 있어, 본 모의대상 선로의 접지방식은 대지간접지 방식과 교락비접지 방식의 혼용이 적절한 것으로 사료된다. 직격뢰의 유입시에는 뇌써지의 크기, 종류 및 접지선 유무에 따라 사고 발생 가능성이 있으므로 C/H에 피뢰기 등 보호장치의 채용이 필요하다.

한편 본 논문은 절연통보호장치의 모델링 시 새로운 기법을 적용하여 (Type 92의 변형) 파도특성을 시뮬레이션하였다. 향후 절연통보호장치 상호간의 등가 커패시턴스 영향을 자세히 분석하여 모델링 오차를 더욱 최소화할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회 학계학술대회 "지중송전계통에서 불평형요소에 따른 뇌과전압 해석", 2005년 7월
- [2] 대한전기학회 논문지 "지중송전계통 절연통보호장치 모델링 기법에 관한 연구", 2007년 11월
- [3] ATP Rule Book, Canadian/American EMTP user group, Portland, Oregon/USA. (revised and distributed by the EUG Association), 1998
- [4] 연구과제 중간보고서, "지중송전계통 최적시스템 구성방안 정립에 관한 연구", 한국전력공사, 2008