

혼합 배전계통에서 피뢰기적용과 접지시스템 변경을 고려한 서지 해석에 관한 연구

윤창섭*, 이종범, 김병숙
원광대학교 전력연구원

A Study on the Surge Analysis considering Surge Arrester and Grounding System in the Combined Distribution System

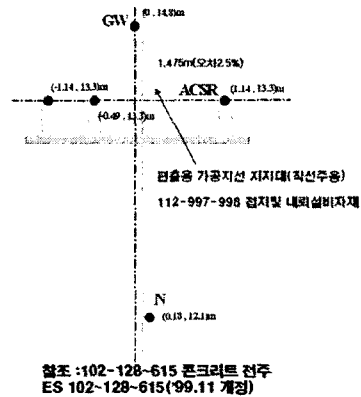
Chang-Sub Yun*, Jong-Beom Lee Beong Suk Kim
Wonkwang University KEPRI

Abstract - This paper describes the protective ability of lightning arrester in combined distribution system with power cable. To evaluate the protective ability, change of arrester and grounding location are considered. On the other hand, arrester developed by Cooper Power Systems for underground power cable system, is considered to evaluate surge protective ability as in underground system, when arrester occurs failure has overhead line. The result shows that lightning arrester in combined distribution system with power cable protect effectively when failure at arrester in overhead line. On the other hand, arrester developed by Cooper Power Systems for underground power cable system, is considered to evaluate surge protective ability in underground distribution system, when arrester of overhead line has failure. The result shows that lightning arrester installed in underground cable can effectively protected cables from surge when arrester of overhead line has failure. And also even though grounding locations are decreased, it is revealed that protective ability is nearly similar.

뇌격모델은 국내에서 연구된 뇌격 특성을 적용하였다. 실제 뇌격이 발생하여 지중배전계통으로 전파되는 경로는 원거리의 전주에서부터 지중배전계통의 전주까지 다양화 할 수 있으나 지중케이블에서 가장 가까운 곳에 뇌격이 발생하는 것이 급준한 서지로 침투되며 지중배전계통에 큰 과전압을 발생시킬 수 있으므로 뇌서지 특성해석을 위해 혼합계통이 시작되는 전주에 뇌격모델을 모의 하였다.

2.1.1 가공배전선로 모델

가공배전선로는 한국전력에서 사용되는 기본장주도를 적용하였으며 1회 선을 모의 하였다. 가공선로에 사용된 케이블의 선경은 가공지선 ACSR 32mm²를 적용 하였고 상도체는 ACSR 160mm², 중성선은 95mm²을 각각 적용 하였다. <그림 1>은 한국전력 설계기준을 참조한 가공배전선로의 모델이다.



<그림 1> 가공배전선로 모델

1. 서 론

전국의 도시화로 인하여 지중배전계통은 날로 증대하고 있으며 가공선로와 연계된 혼합배전계통도 더불어 증대하고 있다. 한편, 혼합배전계통에서는 가공으로부터 침입한 뇌, 차단기 동작 등의 영향으로 각종 과도현상이 발생하여 계통에 과전압이 발생하게 된다. 과전압이 계통에 발생하면 지중배전케이블 열화가 진행되며 이러한 영향은 누적되고 더 나아가서는 절연 파괴가 되어 장시간 정전을 유발시키는 요인으로 작용된다. 이에 따라 지중배전계통은 물론 혼합 배전계통에서 과전압의 발생과 보호특성을 해석하는 것은 계통의 상태를 파악하고 보호하여 고 신뢰도 운전을 확보하기 위한 중요한 연구이다. 따라서 본 논문에서는 국내에서 운전중인 실제 혼합배전계통을 모델로 하고 지중배전계통에 피뢰기적용과 접지시스템을 고려하여 각종 과도현상에 대하여 해석하고자 한다. 이 연구를 통하여 지중배전계통의 피뢰기 적용과 접지시스템에 의한 보호효과를 분석하고 지중배전계통의 뇌서지 보호방법에 방안을 마련하고자 한다.

2. 본 론

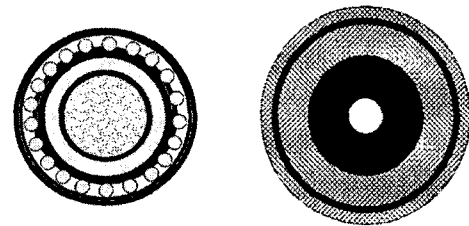
지중배전계통 고장은 중요고객의 정전, 복구시간의 장시간 소요 등 고장에 의한 파급이 큼에도 불구하고 입상주에 피뢰기를 설치하는 것이 계통보호의 전부이다.[5] 가공선로의 경우 선로임피던스가 주로 리액턴스 성분으로 구성되지만 지중선로의 경우에는 케이블의 커패시턴스가 주성분이므로 이상전압 및 과도현상의 발생과 전파 특성이 서로 확연히 다르게 나타나게 된다. 따라서 지중 배전계통의 보호개념은 가공선로 계통과 다르지만 국내 지중 배전계통은 이러한 사항이 고려되어있지 않은 상태이다. 그리고 국내 혼합배전계통에서의 보호방법은 지중케이블에 접속되는 입상주에 피뢰기를 설치하여 보호하는 것이 전부이다. 외국의 경우 Virginia Power와 Cooper Power Systems사는 지중배전계통을 모의하여 모의시험을 1994년도에 실시하여 지중계통에 알맞은 피뢰기를 선정하였고 지중용 피뢰기 제품을 개발하여 많은 선진국에서는 지중 배전계통에 피뢰기를 설치하여 운영중이다 [7]. 국내에서 지중배전계통에서 사고사례는 케이블 제조상의 불량률의 제외하면 뇌서지에 의한 케이블 고장으로 추정되는 고장이 가장 많은 것으로 나타나고 있다.[6] 그러나 지중 케이블 계통에 대한 보호방안은 체계적으로 연구 및 검토된 바가 없으며, 부분적인 필요로 인해 과제로 수행된 사례는 몇 건만을 차지하고 있다. 따라서 EMTP/ATPDraw를 통해 국내계통에 배전용 지중케이블에 피뢰기를 설치하고 접지 시스템을 검토하여 뇌서지 특성을 해석하고 계통에 발생하는 과전압을 저감시켜 지중배전계통, 기기 고장을 감소와 신뢰도 향상 방안을 제안하고자 한다.

2.1 Modeling

본 논문에서는 국내에서 적용중인 22.9kV-Y 3상4선식 다중접지 시스템을 모델로 하여 가공선로와 지중선로가 접속되어있는 혼합 배전계통을 모의 하였다. 모델 조건은 한국전력공사에서 적용 중인 설계기준을 참조하여 국내 상황에 가장 근접하게 모델링 하였다. 또한 뇌서지 특성해석을 위한

2.1.2 지중배전선로 모델링

지중선로를 구성하는 전력케이블은 선로의 매설방법, 선로의 배치, 선로의 구조에 따라 다르며, 매설 방법에는 직매식 관로식 전력구식이 있으며 현재는 관로식이 주를 이루고 있다. 본 논문에서는 <그림 2>와 같이 CNCV-W와 FR CNCO-W를 삼각배열 형태로 관로식과 전력구식으로 EMTF의 선로정수 프로그램을 통해 계산하고 모델링 하였다.



일반 126-650-657 ('00, 5 개칭)

<그림 2> 지중배전케이블 모델

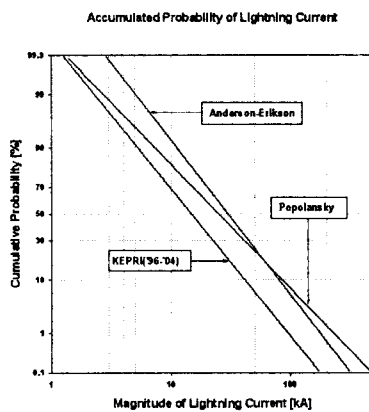
2.1.3 뇌격 모델링

한국전력공사에서 개발한 LPATS(Lightning Position and Tracking System)에 따른 국내의 뇌 특성을 <그림3>의 뇌격전류의 누적확률 분포와 식 (1), (2), (3)을 통해 살펴보면 1996-2001까지

총 뇌격의 80%가 부극성 뇌격이고 500ms 시간 간격 내에서 반경 10km의 다중뇌격 비율은 7%였다. 계절별로 여름인 6월-8월 사이에 뇌격이 집중되며 이 시기에 고장률도 매우 높아진다. 실제로 배전계통에 차폐효과로 인해 가공지선에 낙뢰가 발생하지만 차폐각 실험 시험을 통해 검증된 것처럼 8kA미만의 직격뇌가 추정되기도 한다. 이에 따른 직격뇌의 보호는 현재 국내에 적용중인 5kA의 피뢰기로 보호를 하고 있으나 한계가 있으므로 상도체로의 직격뇌는 지중배전케이블 피뢰기설치와 같은 다른 관점에서의 보호방안이 필요하다. [3] <표 1>에서 1996년에서 2004년까지의 평균값을 보면 15.71[kA]이나 실제로 평균값보다 상회하는 뇌격이 발생하므로 이에 따른 BIL초과와 기기의 절연파괴가 예상된다. 따라서 평균값보다 높은 20kA의 뇌격전류로 모델링 하였다.

< 표 1 > 뇌격전류 평균값

연도	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	9년 평균
Average I [kA]	19.29	23.28	23.22	17.70	21.89	14.57	22.61	15.37	13.88	19.85
Mean I [kA]	16.22	19.29	19.78	13.02	16.58	10.79	19.21	12.34	10.66	15.71



< 그림 3 > 뇌격전류의 누적확률 분포

$$\text{Anderson-Erikson} \quad P = \frac{1}{1 + (I/31)^{2.6}} \quad (1)$$

$$\text{Popolansky} \quad P = \frac{1}{1 + (I/25)^2} \quad (2)$$

$$\text{KEPRI(1996-2004)} \quad P = \frac{1}{1 + (I/15.71)^{2.86}} \quad (3)$$

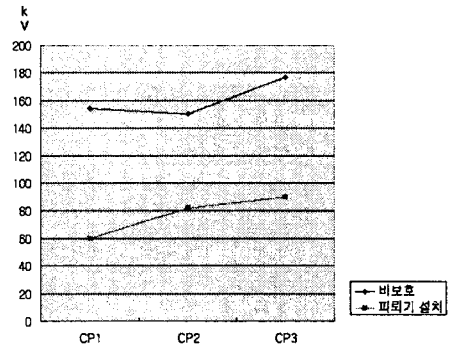
2.2 지중배전계통의 피뢰기 적용

가공선로모델과 지중선로모델 뇌격모델을 종합하여 가공선로는 50m의 경간으로 100m를 모의하고 지중배전선로는 총 750m 구간을 지중배전선로용 피뢰기를 적용하기 위한 모의 선로로 구성하였다. 지중선로와 가장 근접한 곳에 뇌격 20kA를 인가하고 다중뇌격으로 인한 가공배전선로의 피뢰기가 파손되었을 때 피뢰기를 적용한 지중선로로 뇌서지가 침투하는 경우를 모델링 하였으며 지중배전용 피뢰기가 설치되어있지 않을 때와의 최대 과전압 값을 해석 하였다. 실제 가공배전선로의 피뢰기가 없는 상태에서 뇌서지로 인한 과전압 발생은 매우 드문 일이나 뇌격전류 누적분포에 따른 평균값을 상회하는 뇌격 인가시 5kA의 가공배전용 피뢰기의 용량을 초과하는 가능성 있다. 이를 보완하기 위해 지중배전용 피뢰기를 혼합선로 접속점의 가장 근접한 곳에 설치하였고 가공선로에서 전파되어 오는 급준한 뇌서지를 <그림 4>처럼 경감시켜 지중배전선로를 보호하는 효과를 나타내었다. 따라서 비교적 큰 값을 가지는 뇌격으로 인해 지중케이블에 최대 과전압이 BIL인 125kV보다 높지 않게 함으로 효과적인 백업시스템을 유지하였다. 또한 지중선로에 피뢰기를 설치함으로써 접지저항 저감의 부담이 줄어들고 예상하지 못하였던 가공선로의 보호실패로 인해 고장이 발생하여 복구하기 까지 많은 경제적 비용과 시간이 소모되는 배전선로를 효과적으로 보호할 수 있음을 모의 결과를 통해서 알 수가 있었다.

<표2>는 지중배전용 피뢰기에 사용된 Cooper사 피뢰기의 V-I 특성이다.

< 표 2 > Cooper사 M.O.V.E™ 피뢰기 V-I 특성

Duty Cycle Voltage Rating (kV)	MCOV (kV)	Equivalent Front-of-Wave (kV crest)	Maximum Discharge Voltage (kV crest) @20 μs Current Wave				
			1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA
3	2.55	13.7	10.7	12.0	12.8	13.4	15.7
6	5.1	27.4	21.9	24.5	26.2	28.6	34.9
9	7.65	37.4	27.4	29.9	31.4	34.7	38.4
10	8.4	39.7	28.4	30.6	32.9	36.7	40.4
12	10.2	56.1	41.1	44.8	47.1	52.0	57.6
15	12.7	63.0	45.0	49.2	52.5	57.8	66.0
18	15.3	74.8	54.7	59.7	62.7	69.3	76.8
21	17.0	81.7	58.7	64.2	68.2	75.2	85.2
24	19.5	95.8	69.7	76.1	80.2	88.6	98.8
27	22.0	105.0	75.0	82.0	87.4	96.2	110.0
30	24.4	112.0	79.5	85.7	91.8	100.0	115.0



< 그림 4 > 지중배전용 피뢰기를 적용한 최대과전압

3. 결 론

가공배전선로에 뇌격을 통해 지중배전선로에 발생하는 뇌과전압을 지중배전용 피뢰기를 설치함으로써 효과적으로 감소시킬 수가 있었다.

지중배전용 피뢰기와 접지시스템을 효과적으로 혼용하면 가공배전선로의 피뢰기용량을 초과하는 뇌격 침입에도 배전계통의 신뢰도를 확보할수 있는 효과적인 절연협조 방안이 마련된다.

한편 가공배전선로에 차폐실패로 인한 8kA미만의 직격뇌로 인한 계통의 과전압발생에 대비하여 가공배전선로와 지중배전용 피뢰기의 협조보호방안과 대책을 마련하고 배전선로의 신뢰도 확보를 위한 다양한 보호방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 한국전력공사 (R-2005-0-030) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] KEPCO, "배전계통 절연협조에 관한 연구", 2003
- [2] 전력연구원, "지중 송전케이블 금속 시스 유기전압 및 순환 전류 저감에 관한 연구", 2003
- [3] 류희석외, "가공배전선로의 직격뢰 차폐실패 실증", 2005년 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, 2005
- [4] IEEE Std 1299/C62.221 Guide for the Connection of Surge Arresters to Protect Insulated, Shielded Electric Power Cable Systems, 1996
- [5] IEEE Std C29.221
- [6] 기술연구원 "지중배전선 절연설계에 관한 연구" 1992.3
- [7] Cooper Power Systems "Surge Arrester", 235-65
- [8] 김재철외, "배전시스템에서의 파라미터에 따른 과도현상 분석", 전기설계학회논문집, 제 11권, 3호, 1997
- [9] KEPCO, "설계기준 - 4906", 1999
- [10] KEPCO, "설계기준 - 3500 (접지공사)", 1999
- [11] KEPCO, "설계기준 - 5300(지중구조물)", 1999
- [12] KEPCO, "설계기준 - 5100(접지저항)", 1999
- [13] Electromagnetic Transient Program work book . EPRI EL-4651, pp 2149-6, 1986
- [14] Electromagnetic Transient Program Rule book vol 1 (1-11), 9-16
- [15] KEPCO, "설계기준 - 5001 총칙", 1999
- [16] KEPCO, "설계기준 - 5902 부록2", 1999
- [17] KEPCO 기술연구원, "전력계통 과도현상 프로그램의 이론 및 활용에 관한 연구 I", 1991
- [18] KEPCO 기술연구원, "전력계통 과도현상 프로그램의 이론 및 활용에 관한 연구 III", 1991