

국내 지중배전시스템의 서어지 보호방안

(Surge Protection Method of the Underground Distribution System in Korea)

이재봉* · 정연하 · 박철배

(Jae-Bong Lee · Yeon-Ha Jung · Chul-Bae Park)

요 약

본 논문은 2007년에 게재된 “지중배전케이블의 서어지 전파특성 실증연구”를 통해 검증된 서어지 전파특성을 고려하여 피뢰기를 이용한 보호효과를 ATP-EMTP(Electro-Magnetic Transient Program)로 해석하고 국내 상황에 적합한 보호방법을 제시하고자 한다.

국내 지중배전시스템은 입상주에 설치된 피뢰기에 의해 보호되고 있지만 서어지가 케이블의 말단 개방점에서 두 배 정도로 상승하여 배전설비의 절연을 위협할 수 있으므로 추가적인 보호 방법이 필요하다.

본 논문에서 추가적인 보호 방법으로 제안하는 스카우트 방법은 입상주 피뢰기 전 후단 전주에 피뢰기를 추가 설치하는 방법으로 지중배전선로에 피뢰기를 설치하기 곤란한 경우나 지중배전선로용 엘보우 피뢰기를 개발하여 적용하는 것보다 경제성에서 유리하고 설치 및 유지보수 측면에서도 효과적인 것으로 기대된다.

Abstract

This paper deals with the part of the surge protection method of the underground distribution system in Korea using arresters by simulating with ATP-EMTP(Electro-Magnetic Transient Program) based on the “A Study on the Surge Propagation Property of Underground Distribution Cables by Field Tests” which was published in 2007.

Although domestic underground distribution system is protected by arrester which installed at a riser pole, we need to additional protection method because lightning surge can be doubled and affect underground distribution facilities when it is injected into the mixed distribution line of overhead and underground through a riser pole.

In this paper, it is proposed that scout method that arresters are attached to the sides of a riser pole is better than developing of a elbow arrester on a viewpoint of economics and maintenance, because of the situation of the domestic underground distribution system.

Key Words : Underground, Cable, Surge, Protection, EMTP, Scout, Arrester

* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원

Tel : 042-865-5914, Fax : 042-865-5904

E-mail : jbonglee@kepeco.co.kr

접수일자 : 2008년 8월 6일

1차심사 : 2008년 8월 8일, 2차심사 : 2008년 9월 22일

심사완료 : 2008년 10월 6일

1. 개요

뇌서어지는 입상주에 설치된 피뢰기를 통해 케이블선로에 유입되고 지중배전선로를 통하여 이동하면서 지중배전시스템의 절연에 영향을 미칠 수 있으며 국외의 경우 서어지 전파 특성과 보호 방법에 대한 많은 연구들이 시도되었다.

본 논문은 2007년에 게재된 “지중배전케이블의 서어지 전파특성 실증연구”를 통해 검증된 서어지 전파특성을 고려하여 지중배전계통 모델에 피뢰기 설치 위치에 따른 영향을 ATP-EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)를 사용하여 시뮬레이션하고 국내 상황에 적합한 보호방법을 제시하고자 한다.

2. 실증 시험을 통한 서어지 전파 특성 요약

2.1 서어지 전파특성 실증 시험과 EMTP 해석 결과 비교

지중배전선로의 서어지 전파특성 분석을 위하여 지중배전계통 모의시험선로를 구축하고 뇌서어지 파형을 인가하여 서어지 전파속도, 전압상승 특성 등을 측정하였다. 또한 모의 시험선로를 EMTP에서 동일하게 해석하고 실증시험 결과와 일치하도록 EMTP 해석에 사용되는 입력 파라미터들을 조정하였다.

2.2 EMTP해석 파라미터의 수정

EMTP 해석결과는 기존 해석에서 일반적으로 사용되는 파라미터들을 적용하는 경우 실증시험 결과와 차이가 발생하므로 선행 연구에서는 해석에 사용되는 파라미터들을 다음과 같이 수정하였다.[1]

- CNCV-W 케이블 절연체의 비유전율 : 케이블 절연체로 사용되는 XLPE 절연체의 비유전율로 2.3을 적용하였으나 실증시험에서 측정된 서어지 전파속도로부터 계산된 결과, 325[mm] 케이블은 3.39를 60[mm] 케이블은 3.33을 적용한다.

- 서어지 파형의 적용 : 기존 해석에서는 계산속도의 향상을 위하여 주로 Ramp파를 사용하였으나 계산이 수행되는 동안 지속적으로 오차가 증가하여 실증시험 결과와 차이가 발생하므로 실제 파형과 가장 유사한 Exponential파를 적용함으로써 오차를 감소시킬 수 있었다.
- 선로정수 해석주파수 : 서어지 현상의 해석에 사용되는 해석주파수는 500[kHz]가 일반적이고 상용주파수 60[Hz]는 실증시험 결과와 차이가 많이 발생하여 500[kHz]를 사용하였다.
- 피뢰기 실제 특성 데이터의 적용 : 기존 해석에서의 피뢰기의 동작특성을 간단한 함수로 모의하여 적용하였으나 선행 연구에서는 실제 피뢰기의 V-I 특성 시험 데이터를 그대로 적용함으로써 해석결과의 정확성을 높였다.

3. 피뢰기를 이용한 보호효과

3.1 입상주에 설치된 피뢰기의 보호 효과

2장의 실증시험과 EMTP 해석 결과를 바탕으로 수정된 파라미터를 그림 1과 같이 실제 선로와 유사한 분기된 시험 모델에 적용하여 서어지 보호 효과를 EMTP 시뮬레이션하였다. 피뢰기는 가공선과 케이블이 연결되는 입상주에 설치되어 있으며, 입상주로부터 20[m] 거리의 가공선에 뇌격이 가해진 것으로 가정한다. 가공선의 한쪽은 뇌격이 반사되어 오지 않도록 무한장 선로를 가정하여 매칭임피던스를 설정하였다.

표 1은 뇌격점, 파형, 뇌 서어지의 전류크기를 보여준다.

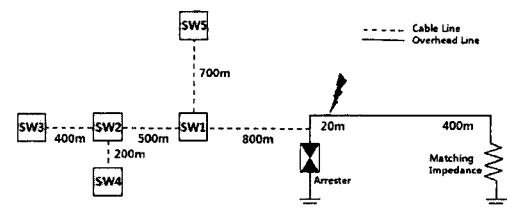


그림 1. 시뮬레이션 시험 모델
Fig. 1. Simulation test model

표 1. 피뢰기가 입상주에 설치되었을 때 시뮬레이션 조건

Table 1. Conditions of simulation when arresters are installed at a raiser pole

| Lightning Point | Wave Shape | Magnitude |
|-----------------|----------------|-----------|
| 20[m] | 2/70[μ s] | 5[kA] |
| 20[m] | 2/70[μ s] | 10[kA] |
| 20[m] | 1/70[μ s] | 5[kA] |
| 20[m] | 1/70[μ s] | 10[kA] |

그림 2는 분기점과 개방점에 서어지가 인가되었을 때 각 개폐기에서의 EMTP 시뮬레이션의 결과를 나타낸다. 뇌격 전류 5[kA]일 때 각 지점의 최대전압이 80~100[kV]로 나타났고 10[kA]의 경우 100~120[kV]의 분포를 나타냈다. 모든 경우에 SW3 > SW4 > SW5 > SW2 > SW1 순으로 전압이 높게 나타났다. 이러한 순서는 케이블 입상주에서 떨어진 거리에 비례하여 나타난 것으로 볼 수 있다.

이 결과를 통해 케이블 말단을 보호하고 뇌과전압을 감쇠시킬 수 있는 피뢰기의 최적 위치 선정이 필요하다는 것을 알 수 있다.

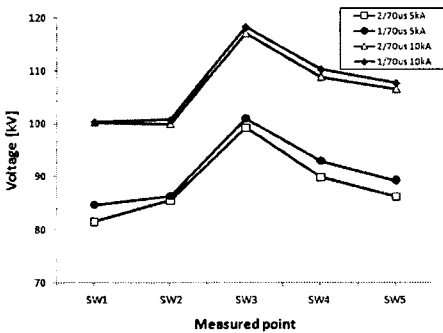


그림 2. 지중선로 각 부분에서의 최대 전압
Fig. 2. Maximum voltages at each point

3.2 피뢰기 설치 위치에 따른 보호효과

3.1에서 입상주 피뢰기만으로는 지중배전시스템의 절연보호 효과가 부족하다는 것을 알 수 있다. 따라서 뇌과전압을 감쇠시킬 수 있는 피뢰기의 최적 위치를 찾기 위해 각 개폐기에 피뢰기를 설치하고 각각의 경우에 대하여 EMTP 시뮬레이션을 수행

하였다.

그림 2와 같이 SW3에서 가장 높은 뇌과전압이 발생하므로 그곳에 피뢰기를 설치하면 가장 효과가 있을 것으로 기대하였으나 해석 결과 그림 3과 그림 4에서와 같이 SW2에 피뢰기를 설치한 경우에 전체적으로 최대 72[kV]로 뇌과전압의 상승이 제한되는 것으로 나타났다.

이러한 특징으로 보아 분기가 많은 선로에서 단순히 말단부분에 피뢰기를 설치하는 것보다는 말단에 가까운 분기점에 피뢰기를 설치하는 것이 효과적임을 추정할 수 있다.

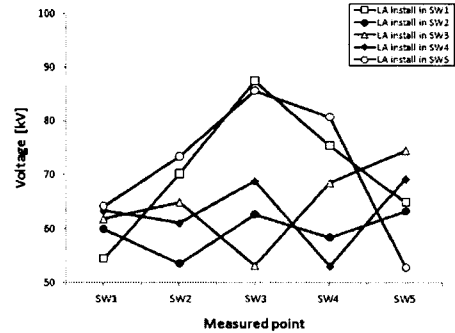


그림 3. 피뢰기 설치에 따른 최대 전압-5(kA)
Fig. 3. Maximum voltage for setting arresters - 5(kA)

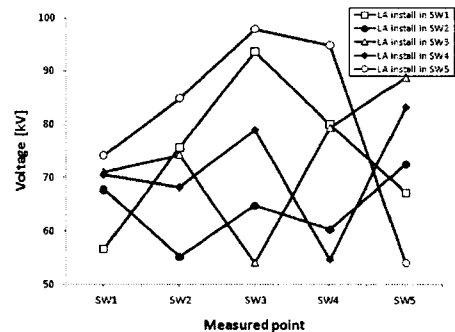


그림 4. 피뢰기 설치에 따른 최대 전압-10(kA)
Fig. 4. Maximum voltage for setting arresters - 10(kA)

3.3 Scout method

지중배전선로 내에 피뢰기를 설치하려면 케이블

의 중간접속점, 개폐기, 변압기 등에 피뢰기 설치공간을 마련해야 하는데, 현재 국내 지중배전선로에서는 지상기기의 슬림화로 인하여 피뢰기 설치공간을 찾기 어렵다. 또한 지중배전용 엘보우 피뢰기를 새로 개발해야 할 필요도 있다.

이와 같이 지중배전용 피뢰기 설치가 곤란한 경우, 피뢰기가 설치된 입상주와 더불어 입상주의 전 후단 전주에 피뢰기를 추가로 설치하여 지중선로에 유입되는 뇌서어지의 크기를 감쇠할 수 있는 스카우트 방식에 의한 보호효과를 그림 1의 선로 모델에 적용하여 검토하였다(그림 5).

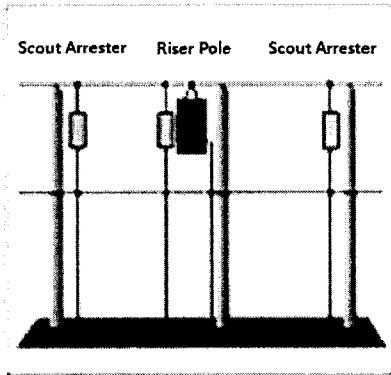


그림 5. 스카우트 방법
Fig. 5. Scout method

시뮬레이션 조건은 그림 6, 그림 7과 같이 입상주에 피뢰기를 설치하는 기존의 보호방법(Case A)과 입상주에서 50[m] 떨어진 지점의 전주에 피뢰기를 설치하는 스카우트 방식(Case B)으로 설정하였다. 여기서 뇌격은 입상주로부터 각각 20[m]와 70[m] 지점에 가해지는 것으로 가정하여 해석하였다.

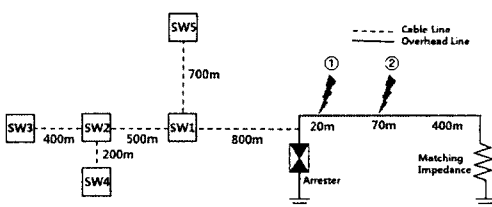


그림 6. Case A : 기존의 방법
Fig. 6. Case A : Conventional method

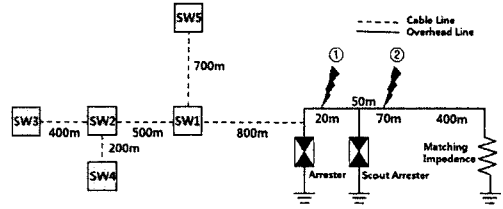


그림 7. Case B : 스카우트 방법
Fig. 7. Case B : Scout method

Case A의 EMTP 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같으며 기존 입상 피뢰기만 설치된 경우 SW3에서 가장 전압이 크게 상승하며 100[kV]를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 앞서 살펴본 바와 마찬가지로 입상주 피뢰기만으로는 지중배전선로의 보호가 부족하다는 것을 알 수 있다.

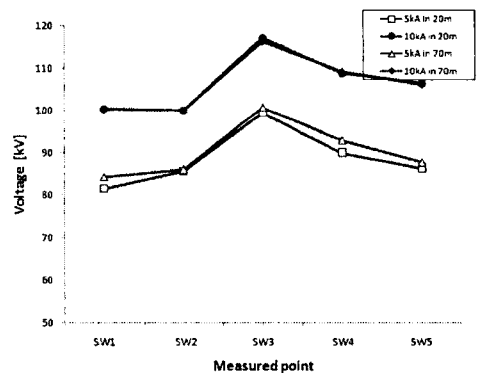


그림 8 Case A의 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation result of Case A

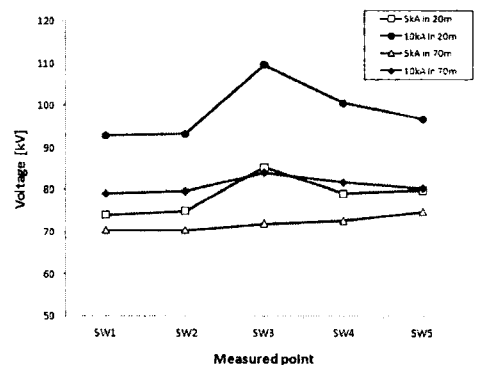


그림 9. Case B의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation result of Case B

국내 지중배전시스템의 서어지 보호방안

스카우트 방법의 경우, 그림 9와 같이 두 피뢰기 사이에 10[kA]의 뇌격이 가해진 경우에만 SW3에서의 전압이 109[kV]로 상승하였지만 전체적인 전압 상승이 입상주 피뢰기만 설치한 Case A보다 현저히 감소되어 83[kV] 이내로 뇌파전압이 제한되고 있다.

스카우트 방법은 지중선로의 말단 부근 분기점에 피뢰기를 설치하는 것보다는 보호효과가 떨어진다. 그러나 국내 지중배전계통에서 개방점이 나타나는 곳은 지상개폐기이고, 선로고장이 발생할 경우 선로 연계를 위하여 개폐기의 개방점이 접속되기도 하므로 피뢰기 설치효과가 상실되는 경우도 있다. 따라서 기존에 사용되고 있는 가공선용 피뢰기를 그대로 적용할 수 있는 스카우트 방법이 지중용 피뢰기를 설치하는 것보다 경제성이 유리하고 설치 및 유지보수 측면에서도 효과적이라고 판단된다.

4. 결 론

본 논문은 서어지 전파특성에 대한 선행 연구결과를 바탕으로 피뢰기를 이용한 보호효과를 EMTP 해석을 통하여 비교 평가하였다. 현재 국내 지중배전계통은 입상주에 설치된 피뢰기에 의해 보호되고 있지만 서어지가 케이블의 말단 개방점에서 전압상승 및 반사되고 분기된 선로에서 복잡하게 전파와 반사를 반복하면서 선로에 연결된 기기들의 절연을 위협하게 된다. 따라서 지중배전계통의 추가적인 보호방법이 필요하다.

지중배전계통의 뇌서어지 보호를 위해서는 지중배전계통의 말단 개방점에 근접한 분기점에 피뢰기를 설치하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

그러나 지중배전선로에서 개방점들이 변동되므로 그에 따라 피뢰기 설치위치도 조정되어야 하며 그때마다 적정 설치위치를 검토해야하는 부담이 따르게 된다. 또한 지상기기의 슬립화로 인하여 기기 내부에 피뢰기 설치 공간을 확보하기 곤란하고, 지상기기용 피뢰기를 새로 개발해야 하는 문제들이 있다.

따라서 본 논문에서는 지중배전계통을 뇌서어지로부터 보호하기 위한 현실적인 보호 방법으로 스카우트 방법을 제한한다. 스카우트 방법은 지중배전용 피뢰기 설치에 따른 문제점들을 해결할 수 있고 적

절한 보호효과도 기대할 수 있다. 또한 스카우트 방법은 지중배전계통으로 뇌서어지가 유입되어 반사와 전파를 하더라도 절연을 위협하지 않는 수준으로 유입되는 뇌서어지의 크기를 낮출 수 있어 지중배전계통을 뇌서어지로부터 보호할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Byung-Sook Kim et al, "A study on the Surge Propagation property of underground Distribution Cables by Field Tests", KIIEE, Vol. 21, No. 10, 2007.
- [2] KEPCO, Distribution Facility Statistics.
- [3] KEPCO, Design Guide(Underground Distribution), 2003.12.
- [4] EPRI, Surge behavior of LD Cable Systems, 1978.
- [5] CRIEPI, Guide of Lightning Protection Design for Power Distribution Lines, 2002.
- [6] IEEE Std. 1299/C62.22.1-1996 "IEEE Guide for the Connection of Surge Arresters to Protect Insulated, Shielded Electric Power Cable Systems".
- [7] IEEE Std. C62.22-1997 "IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Systems".
- [8] ABB, Dimensioning, testing and application of metal oxide surge arresters in medium voltage networks, 1999.

◇ 저자소개 ◇

이재동 (李載奉)

1971년 1월 17일생. 1993년 전남대학교 전기공학과 졸업. 1995년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.

정연하 (鄭蓮賀)

1980년 3월 6일생. 2004년 숭실대학교 전기제어시스템 공학부 졸업. 2006년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 한전 전력연구원 일반연구원.

박철배 (朴哲培)

1974년 11월 19일생. 2001년 군산대학교 전기공학과 졸업. 2001년~현재 한전 전력연구원 일반연구원.