

Underbuilt Ground Wire와 Guy Wire를 이용한 변전소 기기 보호에 관한 연구

김재관* 이종범
원광대

조한구
한국전기연구원

A Protection of Substation Equipment Applying Underbuilt Ground Wire and Guy Wire

Jae-Kwan Kim* Jong-Beom Lee
Wonkwang University

Han-Goo Cho
KERI

Abstract - Because the overhead transmission lines are exposed to the outdoor weather, the faults of the transmission lines are due to natural conditions, and among these faults, the outage rate by lightning is about 50%. Therefore, the insulation design is important to decrease the damage of the facility and to increase the reliability of electric power system. This paper describes the protective method of substation equipments using the Underbuilt Ground Wire and the Guy Wire. This would not only reduce backflashover possibility but also minimize crest and duration of surges entering the substation. EMTP is used to analyze the efficiency of the proposed methods.

의 전력기기 절연을 위협하는 뇌서지는 모두 인출 가공선로를 통해 침입하게 되는데, 뇌격 침입 형태에 따라 ①상도체로의 직격뢰에 의한 침입과 ②가공지선이나 철타뎀 뇌격에 의한 역섬락으로 인한 침입 두 가지를 고려할 수 있다. 하지만 상도체로의 직격뢰를 방지하기 위해 가공지선을 설치하므로 실제 변전소내의 각종 전력기기의 절연을 위협하는 과전압은 가공지선 또는 철타뎀의 뇌격에 의해 철타뎀전위가 상승하고 이로 인해 선로절연물(에자나 아킹혼)에 역섬락이 발생되어 뇌서지가 가공선로의 상도체로 전파되어 변전소로 침입하는 경로를 고려하였다[4].

1. 서론

가공송전선로의 주요사고 원인은 자연조건이며, 그 중에서도 낙뢰로 인한 사고가 가장 많다. 낙뢰로 인한 피해는 주로 전력설비에 손상을 초래하며, 그 결과로 인해 대정전 사고를 유발하게 된다. 국내의 송전선로 총 고장 중 낙뢰로 인한 고장은 51.5%를 차지하고 있으며, 특히 뇌다발지역을 경과하는 송전선로에서는 가공지선에 발생하는 전기고장의 약 70%가 뇌로 인한 고장으로 뇌고장의 감소가 중요한 과제로 대두되고 있다. 뇌에 의한 정전사고 방지는 쉽지 않기 때문에 전력회사에서도 그 방지대책에 고심하고 있는 실정이다[1-3]. 지금까지 낙뢰에 대한 보호방안으로 가공지선과 아킹혼의 설치, 철타뎀의 접지저항 저감을 위한 매설지선의 설치, 피뢰기의 설치 등 여러 가지 대책을 세움으로써 낙뢰로 인한 설비피해 사고는 현저히 감소되었다. 그렇지만 주로 산악지역을 통과하는 국내 송전계통의 특성상 철타뎀의 접지저항 저감에는 한계가 있으며, 피뢰기는 계통 구성 및 적용 환경에 따라 설치위치가 변하기 때문에 설치 이전에 계통에 대한 검토가 요구된다. 또한 피뢰기가 설치되어 있어도 변전소 근접한 철타뎀에 높은 과고치의 급준한 뇌격이 인가된 경우에는 피뢰기에 의한 보호가 어려울 수 있으며, 잦은 역섬락 서지로 인한 변전소 피뢰기의 열화 가능성 등은 여전히 변전소 기기 보호에 위협을 초래할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 보다 안정적으로 변전소 기기를 보호하기 위한 방안으로 Ugw(Underbuilt ground wire)와 Gw(Guy wire)의 적용을 고려하였으며, EMTP를 이용하여 상세히 분석하였다.

2. 계통 모델

2.1 계통선정

생활수준의 향상과 산업의 고도화에 따라 국내 송·변전 설비는 용량과 기술적 측면에서 비약적인 확충과 개선이 이루어졌다. 송전계통의 전압은 기간송전망인 345[kV]와 지역송전망인 154[kV] 및 66[kV]로 구성되어 있지만, 그중에서도 154[kV] 계통이 2003년말까지 총 공장 18,595[C-km]로 전체의 약 65% 이상을 차지하며 계통 전환에 걸쳐 주류를 이루고 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 154[kV] 계통을 모델로 선정하였다.

2.2 계통모델

변전소에 발생하는 이상전압은 크게 낙뢰 등의 외부적 원인과 차단기 개폐 등의 내부적 원인으로 대별된다. 하지만 과전압의 크기면에서 상대적으로 외부적 원인에 의한 것이 매우 크기 때문에 뇌서지로부터 변전소 기기를 보호하기 위한 방안

2.2.1 가공선로부 모델

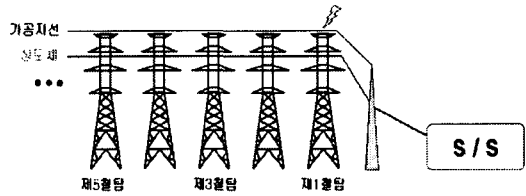


그림 1. 가공선로부 모델

3상 1회선의 송전선로에서 변전소를 기준으로 가장 근접한 철타뎀을 제1철타뎀이라 가정하고, 이 철타뎀의 A상에서 역섬락이 발생함을 모의하였다. 변전소 가장 근접한 철타뎀에 낙뢰로 인해 발생하는 뇌서지는 파두부가 매우 급준한 것으로서, 변전기기 절연에 큰 위협을 주게 되며 손상을 야기할 수 있기 때문에 최악의 조건을 상정한 제1철타뎀 뇌격을 모의하였다. 철타뎀의 접지저항은 한전 송전설계기준의 목표값에 따라 154[kV] -15[Ω]을 적용하였다. EMTP 모델링으로 철타뎀은 4단 철타뎀 모델, 섬락이 발생하는 현상은 인덕턴스와 시간제어스위치를 이용해 아킹혼의 섬락 현상을 정밀하게 나타낼 수 있는 리더법을 적용하였다. 송전선로는 주파수 의존모델인 J.Marti 모델을 적용하였으며 뇌격 파형은 2/70[μs]의 램프파로, 80~120[kA]까지의 다양한 뇌격전류값을 고려하였다.

2.2.2 변전소부 모델

복모선 방식의 공기절연형 변전소를 모의하였다. 변전소로 침입하는 뇌과전압이 가장 크게 되는 조건으로 1회선 인입 1뱅크 구조를 채택하였다. 차단기와 변압기 등 변전기기는 누설 커패시터구조로, 모선은 삼상일괄형의 단상분포정수로 모의하였다. 그림 2는 변전소 모델 구성을 보여준다.

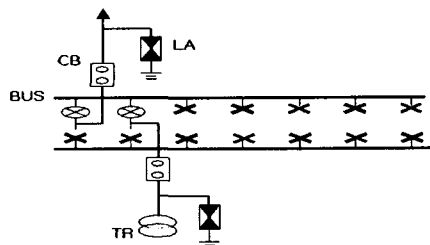


그림 2. 복모선 1회선 인입 1뱅크 구조의 변전소 모델

3. 피뢰기를 이용한 기기보호

3.1 피뢰기의 적용

변전소에서는 침입하는 뇌서지로부터 기기를 보호하기 위해 되도록 피뢰기에 근접하여 피뢰기를 설치하고 있으며, 한국전력공사에서는 송전계통에 적용되고 있는 피뢰기의 적정 정격을 선정하기 위한 연구를 통해 피뢰기의 적절한 설치위치를 제안하였다. 예로, 본 논문에서 모델로 한 공기절연형 변전소에서는 변전소의 인입선로부와 변압기단에 피뢰기를 설치하며, 피뢰기 설치점으로부터 각각 25m, 50m의 범위를 넘어서서 설치된 기기에 대해서는 추가적인 피뢰기 설치를 제안하고 있다[4].

하지만, 뇌서지로 인한 변전소의 발생 과전압은 뇌격의 크기나 파형의 급증도, 뇌격점, 철타의 접지저항 등 여러 파라미터에 따라 변하기 때문에 피뢰기의 정확한 보호범위를 선정하는 것은 어려우며, 피뢰기 적용위치 또한 변전소의 절연방식, 인출조건, 피뢰기의 이격거리 등에 따라 변화하므로 피뢰기 설치에 앞서 계통의 신중한 검토가 선행되어야 한다. 또한 피뢰기를 적용하였음에도 불구하고, 높은 파고치의 파두부가 매우 급증한 뇌격에 대해서는 피뢰기로도 기기를 완전히 보호할 수 없는 경우가 발생할 수 있으며 잦은 뇌서지 침입으로 인한 피뢰기의 열화 가능성 등은 변전소 기기의 고장을 초래할 수 있다.

따라서 이에 대한 적절한 보호설비가 요구되며, 발생 가능한 고장의 위협으로부터 기기를 보호하기 위해 Ugw와 Gw를 적용한 변전소 기기 보호를 수행하였다.

4. Ugw 및 Gw의 적용

4.1 Ugw와 Gw 소개

Ugw와 Gw는 주로 해외의 낙뢰가 많이 발생하는 지역에서 선로절연물의 섬락현상을 줄이기 위해 제안된 설비로서, 그림 3은 철타에서 Ugw와 Gw 적용시 뇌서지의 진행을 나타낸 것이다.

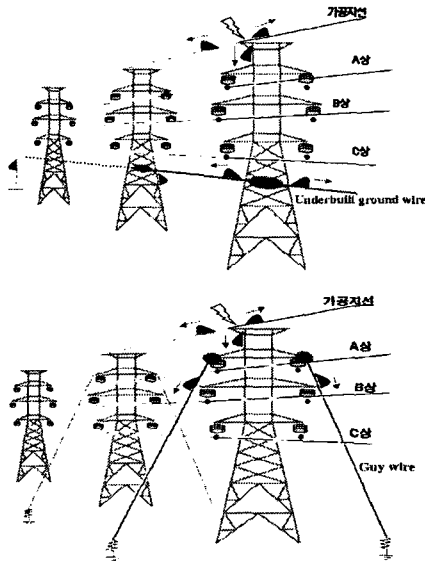


그림 3. Ugw와 Gw의 구조

Ugw는 송전선로와 평행하게 설치되는 접지선으로 보호 구간인 철타에 연결하여 대지로 접지된다. 이는 철타에 흐르는 뇌격전류를 인접 철타로 유도하여 철타 자체의 전위상승을 억제하는데 목적이 있다. Gw는 철타의 암 끝에 접지선을 대지로 연결한 설비로서, 뇌격전류의 대지방전을 쉽게 하여 철타 전위상승을 억제할 수 있다.

뇌격철타에서 서지의 이동은 철타를 통해 대지로 방전되는 것과 가공지선을 따라 인접철타로 이동하는 서지로 나누어진다. 가공지선을 통해 인접철타로 이동하는 서지는 인접철타에서 투·반사 현상을 나타내며, 이때 투과된 서지는 다음

인접철타로 이동하고 반사된 서지는 다시 뇌격철타에 영향을 주어 섬락발생 과전압의 크기에 큰 영향을 미치게 된다. 즉, 인접철타에 의한 반사파가 뇌격철타에 도달하기 전에 뇌격철타의 선로절연물에서 이미 섬락현상이 발생한다면 인접철타에서 반사된 서지는 모두 상도체로 유기되어 매우 큰 역섬락 과전압이 발생된다. 하지만 Ugw나 Gw가 적용된 철타에서는 뇌격전류의 대지방전을 쉽게 유도함으로써 선로절연물의 섬락현상이 잘 나타나지 않으며, 섬락이 발생하여도 인접철타에 의한 반사파가 도달하기 전에 섬락이 발생할 확률이 상대적으로 매우 적기 때문에 섬락전압이 크게 발생하지 않는 효과를 기대할 수 있다.

4.2 Ugw와 Gw 설치 위치 검토

Ugw 및 Gw의 효과적인 설치위치를 검토하기 위해 각각 A상, B상, C상 위치에 설치된 것으로 모의한 후, 100[kA]의 뇌격을 인가하여 설치 위치에 따른 변전소 인입부의 과전압 크기를 비교하였다. 그림 4는 Ugw와 Gw의 설치 위치에 따라 변전소 인입선로부에 나타나는 과전압의 크기를 나타낸 것이다.

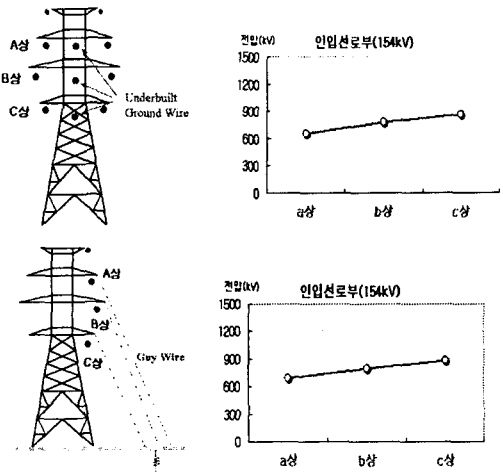


그림 4. Ugw와 Gw의 설치위치 검토

그림에서 확인할 수 있듯이 Ugw와 Gw 모두 철타의 A상(상부)에 설치했을 경우, 보다 낮은 과전압이 변전소에 발생했다. 이러한 결과는 C상 위치보다는 A상 위치에 설치되었을 경우가 철타에 흐르는 뇌격전류를 보다 빨리 대지로 방전시켜 철타의 전위가 상대적으로 낮아짐으로서 변전소 인입선로부 전압이 낮아지게 된 것으로 사료된다. 그런데 Ugw는 상도체와 평행하게 설치되기 때문에 외부 요인(풍, 우)으로 인한 인접 상도체와의 섬락 발생 가능성이 존재할 수 있다. 따라서 Ugw는 C상 하부에, Gw는 A상 위치에 설치함을 고려하였다.

Gw는 철타의 서지 임피던스를 크게 저하시킬 수 있으며, 이를 통해 정전율을 30%까지 감소될 수 있음이 연구를 통해 확인되었다[5]. 그림 5는 A상 위치에서 Gw 설치 수에 따른 변전소의 발생 전압 크기를 나타낸 것이다. 효율성과 경제성을 고려하여 Gw는 A상 위치(상부)에 2개를 적용하였다.

Gw 설치수에 따른 전압

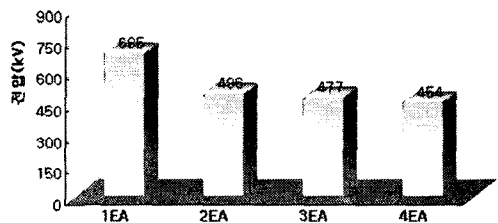


그림 5. Gw 설치 수에 따른 변전소 발생 전압

4.3 Ugw와 Gw 적용 효과

일반철탄과 Ugw, Gw가 적용된 철탄에 급준한 뇌격을 인가하여 변전소 발생전압을 비교함으로써 Ugw와 Gw의 적용효과를 검토하였다. 변전소 발생전압의 가혹한 조건으로 제1철탄에 170[μ s]의 급준한 뇌격을 적용하였다. 그림 6은 이에 대한 결과로서, 모선말단은 인입선로부 피뢰기와 20[m] 떨어진 지점으로 피뢰기 보호거리내에 존재한다.

- A : 변전소 인입선로부
- B : 모선 말단

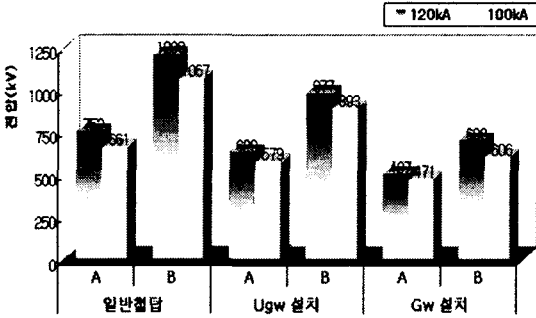


그림 6. Ugw와 Gw의 적용 효과

일반철탄의 경우, 인입선로부에 피뢰기가 적용되었음에도 120[kA] 이상의 뇌격에서는 기기 BIL-750[kV]를 초과하여 보호가 불가능함을 보였으며, 모선말단에서는 매우 큰 전압이 발생하여 추가적인 피뢰기 설치가 요구된다. Ugw가 설치된 철탄의 경우에는 섬락 전압의 감소 효과로 인입선로부는 보호가 가능하지만 모선말단은 여전히 BIL을 초과하였다. 반면, Gw 적용시에는 인입선로부 전압이나 모선말단 전압이 BIL 이하로 잘 제한되어 급준한 뇌격에 대한 보호도 가능함을 확인하였다.

Ugw와 Gw가 적용된 철탄에서는 철탄의 전위상승을 크게 억제할 수 있기 때문에 아킹흔을 통한 역섬락 발생 가능성도 매우 감소시킬 수 있다. 표 1은 철탄에 낙뢰시 아킹흔을 통해 섬락이 발생되는 최소뇌격전류를 분석한 것이다.

표 1. 아킹흔에서 섬락이 발생하는 최소뇌격전류[kA]

	일반철탄	Ugw 설치	Gw 설치	Ugw+Gw 설치
154kV 계통	54	68	111	131

일반 송전철탄에서의 달리 Ugw와 Gw가 적용될수록 더욱 높은 뇌격에 섬락이 발생함을 확인하였다. 국내의 낙뢰 통계에 따르면, 평균 뇌격전류가 20[kA] 정도이고 60[kA] 이하의 뇌격이 전체 뇌격의 90% 이상을 차지함을 고려할 때 Ugw와 Gw 적용은 역섬락 현상의 발생빈도를 크게 줄여줌으로서 변전소 기기 보호에 매우 효과적임을 알 수 있다.

4.4 제한거리

Ugw와 Gw의 적용은 침입 뇌파전압의 감소와 역섬락 발생 가능성을 감소시킬 수 있는 유용한 설비이지만, 경제적 문제와 철탄의 부지확보 등의 지리적 문제가 수반되기 때문에 이에 대한 제한적 설치방안이 요구된다. 변전소의 절연을 위협하는 뇌격지는 변전소 인접한 철탄에서 파도가 매우 급준한 뇌격이 인가된 경우이며, 변전소에서 먼 곳의 뇌격일수록 선로를 따라 진행하면서 파형이 완만해지므로 피뢰기에 의한 보호가 쉬워진다. 그림 7은 1철탄에서 4철탄 너격시 변전소 인입선로부와 모선말단에 발생하는 전압을 나타내며, 1철탄에서 가장 높은 전압이 발생하고 2철탄 이후에는 그 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 급준한 뇌격 침입으로 변전소 기기에 고장을 초래할 수 있는 제1철탄에 서지 저감 효과가 뛰어난 Gw의 적용을 제안하며, 안전여유를 고려하여 2철탄과 3철탄간에는 지리적 문제를 덜 야기할 수 있는 Ugw의 사용을 제안한다. 3철탄 이후에는 침입서지의 파형은 선로를 따라 진행하면서 파형이 완만해지므로, 피뢰기로서 충분히 보호가 가능하게 된다.

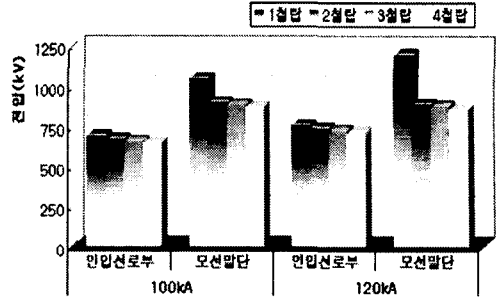


그림 7. 철탄 뇌격점에 따른 변전소 발생 전압

5. 결 론

본 논문에서는 뇌서지로부터 154[kV] 계통의 변전소 기기를 보호하기 위해 Ugw와 Gw의 설치를 제안하였으며, Ugw와 Gw가 변전소 기기 보호에 미치는 효과를 EMTP를 이용하여 분석하였다. 본 논문에서 분석한 내용을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 피뢰기 적용에는 설치에 앞서 계통구성의 검토를 통해 피뢰기의 적절한 위치를 선정하여야 하며, 높은 파고치의 급준한 뇌서지 침입에는 피뢰기만으로 보호가 불가능하기 때문에 보다 안정적인 보호설비가 요구되기 때문에 Ugw와 Gw 적용을 고려하였다.
- (2) 철탄에서 Gw의 효과적인 설치 위치는 뇌격전류를 보다 빨리 대지로 방전시켜 섬락전압을 감소시킬 수 있는 상단(A상) 위치가 가장 적절하였으며 Ugw는 외부요인에 의해 Ugw와 상도체간 섬락이 발생할 위험성이 존재하므로 안정성 확보를 위해 하단(C상)위치에 설치함이 적절할 것으로 사료된다.
- (3) 낙뢰 발생시 Ugw와 Gw를 통해 뇌격전류의 인접철탄 및 대지 방전을 유도함으로써 선로의 과전압 상승을 억제할 수 있었으며, 선로절연물에서의 섬락 발생 가능성을 크게 감소시켰다. 또한 급준한 뇌격에 대해서도 보호가 충분히 가능함을 보였으며, 철탄의 접지저항이 높은 곳이나 낙뢰로 인해 섬락이 많이 발생하는 곳에 매우 효과적이다.
- (4) Ugw와 Gw 적용에는 경제적 문제와 지리적 문제가 발생함으로 제한적 설치가 요구된다. 따라서 역섬락시 급준한 뇌서지가 침입할 수 있는 제1철탄에서 제3철탄까지 Ugw와 Gw 적용이 적절할 것으로 사료되며, 제1철탄에 Gw를 제2철탄과 제3철탄간에는 Ugw의 사용을 제안한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김경호, "송전선의 뇌해대책 현상과 전망", 한국전력기술인 협회
- [2] 우정욱, 심용보, "LPATS에 의한 7년간의 한반도 뇌격특성 분석", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 509~511, 2003.
- [3] 한국전력공사 홈페이지 "송·변전 설비의 확충", "한국전력 통계"
- [4] 한전 전력연구원 "345kV 및 154kV급 Gapless피뢰기 정격 규격 및 기준정렬(최종보고서)" 2000. 2.
- [5] IEEE Guide "IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines" IEEE Std 1243-1997
- [6] 한전 기술연구원, "電力系統過渡解析프로그램의 理論 및 活用에 關한 研究" 最終報告書, 1991.
- [7] 電氣學會技術報告 "發變電所の雷サージ解析における各種パラメータとその影響" 1989. 6.