

A Study on the Lightning Surge Protection Methods on Transmission System and Substation

金在寬[†] · 鄭彩均^{*} · 李鍾範^{**} · 趙漢九^{***} · 徐在鎬^{**}

(Jae-Kwan Kim · Chae-Kyun Jung · Jong-Beom Lee · Han-Goo Cho · Je-Ho Seo)

Abstract - The lightning causes the damage of power system equipments as well as large power failure. Therefore, the insulation design should be established not only to decrease the damage of the facilities itself but also to increase the reliability of electric power system. This paper describes the useful way applying underbuilt ground wire and guy wire in transmission tower that safely protect the substation equipments. One or more shield wires under the phase conductor will not intercept lightning stroke, but they may improve reduce lightning voltages almost as effectively as if they were above the phase conductors. And the guy wires will mitigate the tower surge response. These 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.

Key Words : Lightning Surge, Arresters, Transmission System, Substation, Guy Wire, Underbuilt Ground Wire

1. 서 론

자연재해로 인한 가공송전선로의 고장원인은 낙뢰인 경우가 가장 많다. 낙뢰에 의한 고장률을 나타내는 기준으로는 1년간 100C-km당 고장건수로 나타내는데, 지난 10년간의 평균 낙뢰로 인한 국내 전력회사의 고장률은 약 0.611(건/100C-km)이며 송전선로의 고장 중에서 낙뢰에 의한 고장이 차지하는 비율은 순간고장을 포함하여 약 63%에 이른다. 또한 이러한 낙뢰로 인해 전력공급에 지장을 초래한 경우가 13%나 되어 낙뢰로부터의 보호대책은 중요한 과제로 대두되고 있다. 낙뢰로 인해 송전선로에 발생된 뇌서지가 변전소로 유입되면 변전소에 높은 과전압을 발생시키는 경우가 있다. 송전선로에서는 고장 발전시 개폐로를 통하거나 또 다른 고장복구를 통해 문제없이 전력을 전송할 수 있기 때문에 뇌과전압의 크기를 문제로 하는 경우는 많지 않다. 그러나 송전선로에 접속된 변전소에서는 절연과파가 발생하지 않도록 보호되어야 할 변압기 등 고가의 설비들이 설치되어 있고, 또 이 설비들이 전력계통에서 중요한 역할을 하기 때문에 뇌과전압 발생에 매우 민감하다[1-3]. 이러한 이유로 지금까지 뇌과전압이 변전소 기기에 미치는 영향이나 침입 뇌과전압으로부터 안정적으로 변전소 기기를 보호하기 위한 방법 등 변전소 뇌서지 해석부분에 많은 연구가 수행되었으며, 가공지선과 아킹

혼의 설치, 철탑의 접지저항 저감을 위한 매설지선의 설치, 피뢰기의 설치 등 여러 가지 대책을 세움으로써 낙뢰로 인한 설비의 피해 사고는 현저히 감소되었다[5-9, 11-13]. 그렇지만 주로 산악지역을 통과하는 국내 송전계통의 특성상 철탑의 접지저항 저감에는 한계가 있으며, 피뢰기는 계통 구성 및 적용 환경에 따라 설치위치가 변하기 때문에 설치 이전에 계통에 대한 검토가 요구된다[4-5]. 또한 피뢰기가 설치되어 있어도 변전소에 바로 근접한 철탑에 높은 과고치의 급준한 뇌격이 인가된 경우에는 피뢰기에 의한 보호가 어려울 수 있으며, 잦은 뇌서지 침입으로 인한 변전소 피뢰기의 열화 가능성 및 수명저하 등은 여전히 변전소 기기 보호에 위협을 초래할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 특히 변전소에 바로 근접한 송전선로에 높은 과고치의 급준 뇌서지가 침입하였을 경우 변전소의 설비를 보호하기 위한 대안을 제안하였다. 기존의 변전소는 뇌서지로부터 설비를 보호하기 위하여 모두 피뢰기에 의존하고 있다. 그러나 이미 언급한대로 높은 과고치의 급준 뇌서지가 변전소 바로 근접 송전선로에 침입하였을 경우에는 변전소 기기에 고장이 발생할 확률이 높다. 따라서 변전소 기기의 안정성을 도모하여 전력계통의 신뢰성을 증대시키기 위해서는 이러한 급준 뇌서지 침입에 대한 보호설비가 요구된다고 사료되며, 이를 위해 본 논문에서는 Ugw(Underbuilt ground wire)와 Gw(Guy wire)를 이용한 변전소 기기 보호를 제안한다. 이러한 설비의 효과는 해외에서도 일부 제안한 바 있고 그 효과가 검증된 바 있다[6]. 그러나 국내 전력회사의 변전소 및 송전선로에 근거하여 이러한 설비의 설치 효과를 검토한 바는 아직 없다. 따라서 본 논문에서는 이러한 설비의 설치효과를 검증하기 위하여 EMTP를 이용하여 변전소 및 송전선로를 상세 모의하고 Ugw와 Gw의 설치 전후를 상세히 해석함으로써 Ugw와 Gw의 적용 가능성 및 효과를 상세히 분석하였다.

† 교신저자, 學生會員 : 圓光大 電氣工學科 碩士

E-mail : a-gams@hanmail.net

* 正會員 : 圓光大 電氣工學科 博士課程

** 正會員 : 圓光大 電氣電子 및 情報工學部 教授 · 工博

*** 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博

接受日字 : 2005年 3月 12日

最終完了 : 2005年 4月 6日

2. 계통모델

국내 송전계통의 전압은 기간송전망인 345[kV]와 지역송전망인 154[kV] 및 66[kV]로 구성되어 있는데 본 논문에서는 154[kV] 계통을 모델로 선정하였다. 변전소에 발생하는 이상 전압은 낙뢰로 인한 외부적 원인과 차단기 개폐 등의 내부적 원인으로 대별되며, 상대적으로 외부적 원인에 의한 과전압이 매우 높게 나타나기 때문에 뇌서지로부터 변전소 기기를 보호하기 위한 방안에 대해 많은 연구를 하고 있다. 변전소로의 직격뢰를 제외하고 변전소내 전력기기의 절연을 위협하는 뇌서지는 모두 인출 가공선로를 통해 침입하는데 뇌격 침입 형태에 따라 ①상도체로의 직격뢰에 의한 침입과 ②가공지선이나 첩탑 뇌격에 의한 역섬락으로 말미암아 침입하는 두 가지를 고려할 수 있다. 하지만 상도체로의 직격뢰를 방지하기 위해 가공지선을 설치하므로 실제 변전소내의 각종 전력기기의 절연을 위협하는 과전압은 가공지선 또는 첩탑의 뇌격에 의해 첩탑전위가 상승하고 이로 인해 선로절연물(애자나 아킹혼)의 역섬락이 발생되어 뇌서지가 가공선로의 상도체로 유기되어 변전소로 침입하는 경우가 대부분이다[5].

2.1 송전선로 모델

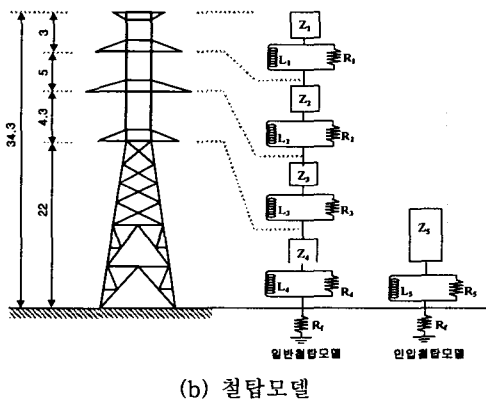
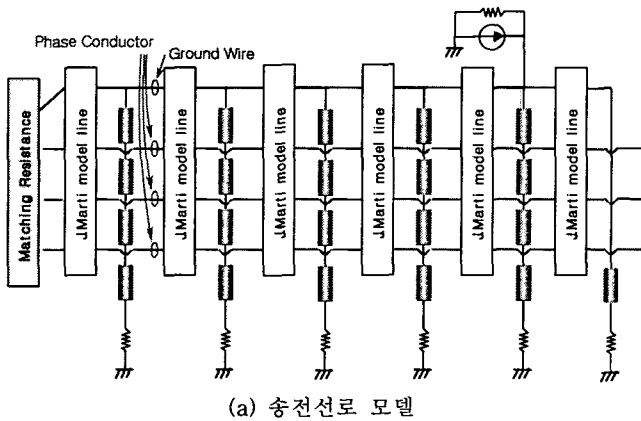
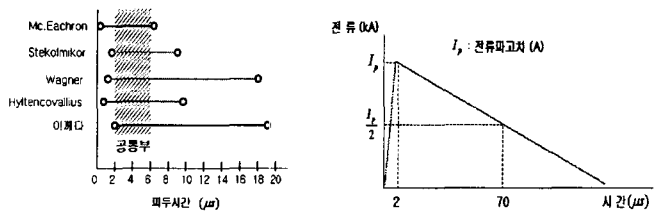


그림 1. 가공선로부 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit of overhead line part for EMTP analysis

3상 1회선의 송전선로에서 변전소를 기준으로 가장 근접

한 첩탑을 제1첩탑이라 가정하고, 이 첩탑의 A상에서 역섬락이 발생하는 것으로 모의하였다. 변전소 가장 근접한 첩탑에서 낙뢰로 인해 발생하는 뇌서지는 파두부가 매우 급준한 것으로서, 변전기기 절연에 큰 위협을 주게 되어 손상을 야기시킬 수 있기 때문에 최악의 조건을 고려한 제1첩탑 뇌격을 모의하였다. 제 5첩탑 이후는 정합저항으로 반사파를 고려하지 않았으며, 첩탑의 접지저항은 국내 전력회사 송전설계기준의 목표치에 따라 15[Ω]를 적용하였다. EMTP 모델링에서 첩탑은 EMTP 구현이 쉽고 역섬락 현상을 쉽게 모의할 수 있는 4단 첩탑 모델을 적용하였으며, 섬락이 발생하는 현상은 인덕턴스와 시간개어스위치를 이용해 아킹혼의 섬락 현상을 정밀하게 나타낼 수 있는 리더법을 이용하였다. 뇌격 파형은 직선상승파(램프파)를 적용하였으며, 파두시간 및 파미시간은 국의 뇌격전류 실험결과에 근거해 2/70[μs]를 적용하지만, 파두부의 급준도에 주목하여 1/70[μs] 파형도 고려하였다[11]. 한편 뇌격전류 파고치는 80~120[kA]까지의 다양한 뇌격전류 값을 고려하였다.



(a) 국의 뇌격전류 파두시간 실측 결과 (b) 2/70[μs] 램프파 그림 2. 뇌격전류 파형

Fig. 2. Waveform of lightning impulse current

2.2 변전소 모델

복모선 방식의 공기절연형 변전소를 모의하였다. 보통 변전소는 다회선이 인입되고 변압기가 다수 있는 다회선 다뱅크가 일반적이지만, 본 논문에서는 변전소에 침입하는 뇌과전압이 가장 높게 발생하는 조건으로 1회선 인입 1뱅크 구조를 채택하였으며 그림 3은 1회선 1뱅크 구조를 고려한 변전소 모델이다. 차단기와 변압기 등 변전기기는 서지 침입시의 집중정전용량으로, 모선은 상분리형의 서지 임피던스와 전과속도를 고려한 단상분포정수로 모의하였다.

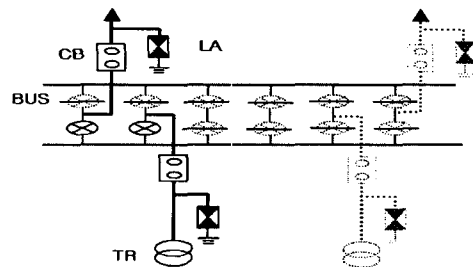


그림 3. 복모선 1회선 인입 1뱅크 구조의 변전소 모델

Fig. 3. Substation modeling for simulation

3. 변전소 기기보호

변전설비에는 일반적으로 낙뢰가 직접 침입할 확률이 매

우 낮으며 가공지선 등으로 차폐실패가 일어나지 않도록 설계될 뿐만 아니라 최근의 변전설비는 옥내형 설비가 주류를 이루고 있어 송전선로에서 침입한 낙뢰가 송전선로를 통하여 변전소로 침입하는 형태로 되어 있다. 그래서 역섬락 또는 차폐실패에 의해 변전소측으로 진행된 서지는 변전소 회로상에 개방단이 있는 경우에 반사파에 의해 과전압이 배가되므로 통상 변전소의 모선부, 선로인입부 및 변압기단에 피뢰기를 설치하여 과전압을 억제하고 있다. 과전압이 피뢰기의 설치점에서 일정한 보호범위를 벗어나면 피뢰기에 의한 과전압 억제효과가 줄어들게 되므로 피뢰기의 설치시에는 반드시 적정 보호범위 이내에 기기가 보호되고 있는지를 확인하여야 한다. 본 논문에서 모델로 한 공기절연형 변전소에서의 피뢰기 설치 위치 및 보호범위는 표 1과 같다[3, 5].

표 1. 발변전소용 피뢰기 설치위치(안)

Table 1. Lightning arrester location in substation

공칭전압	절연방식	인출조건	피뢰기 설치위치(안)	이격거리
154kV	공기절연	가공	선로인입부 변압기단	25m이내 50m이내

그러나 뇌서지로 인한 변전소의 발생 과전압은 뇌격의 크기나 파형의 급준도, 뇌격점, 철탁의 접지저항 등 여러 파라미터에 따라 변하기 때문에 피뢰기의 정확한 보호범위를 선정하는 것은 어려우며, 피뢰기 적용위치도 변전소의 절연방식, 인출조건, 피뢰기의 이격거리 등에 따라 변화하므로 피뢰기 설치에 앞서 계통의 신중한 검토가 선행되어야 한다. 또한 피뢰기를 적용하였음에도 불구하고, 높은 파고치의 파두부가 매우 급준한 뇌격에 대해서는 피뢰기로도 기기를 완전히 보호할 수 없는 경우가 발생할 수 있으며 잦은 뇌서지 침입으로 인한 피뢰기의 열화 가능성 또는 피뢰기의 수명저하 등은 변전소 기기 보호에 장애를 주며 고장을 초래할 수 있다. 따라서 이에 대한 적절한 보호설비가 요구되며, 발생 가능한 고장의 위험으로부터 기기를 보다 완전하게 보호하기 위해 본 논문에서는 Ugw와 Gw의 적용을 제안하였다.

4. Underbuilt ground wire 및 Guy wire의 적용

4.1 Underbuilt ground wire와 Guy wire

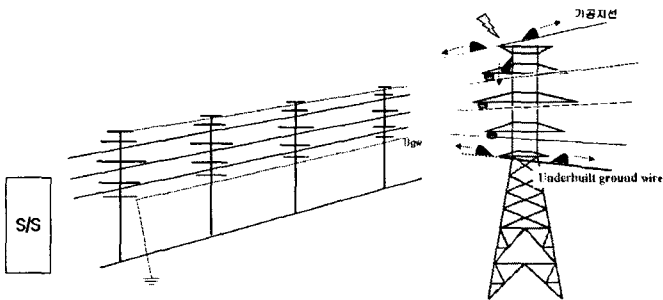


그림 4. Ugw의 적용구조

Fig. 4. Tower construction applied the Ugw

Ugw와 Gw는 주로 해외의 낙뢰가 많이 발생하는 지역에서 선로절연물의 섬락현상을 줄이기 위해 제안된 설비로서,

그림 4, 5는 각각 Ugw와 Gw가 철탁에 적용되었을 때 철탁에서의 뇌서지의 진행을 나타낸 것이다.

Ugw는 철탁의 하단부에 송전선로와 평행하게 설치되는 접지선으로 보호가 필요한 구간의 철탁을 서로 연결하여 변전소 인접 철탁에서 대지로 접지한다. 이를 위해서 C상 아래에 하나의 암이 요구되며, 이 암 끝에 가공지선처럼 접지선을 연결하여 철탁에 흐르는 뇌격전류를 인접 철탁 및 대지로의 방전을 유도함으로써 철탁의 전위상승을 억제하는데 목적이 있다.

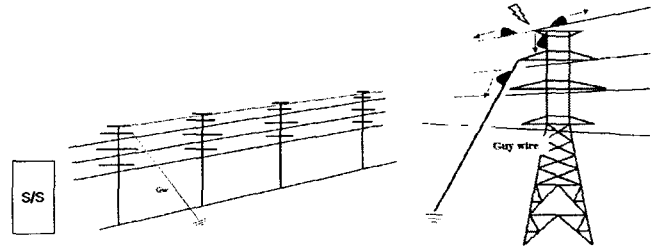


그림 5. Gw의 적용구조

Fig. 5. Tower construction applied the Gw

Gw는 철탁의 암 끝에서 접지선을 대지로 연결한 설비로서, 뇌격전류의 유도를 위해 철탁 암 끝에 접지선을 바로 연결하여 대지방전을 쉽게 함으로서 철탁 전위상승을 억제할 수 있다.

철탁에서 뇌서지는 철탁을 통해 대지로 방전하는 것과 가공지선을 따라 인접철탁으로 이동하는 서지로 나누어진다. 가공지선을 통해 인접철탁으로 이동하는 서지는 인접철탁에서 투·반사 현상을 나타내며, 이때 투과된 서지는 다음 철탁으로 이동하고 반사된 서지는 다시 뇌격철탁에 영향을 주어 역섬락 과전압에 큰 영향을 미치게 된다. 즉, 인접철탁에서의 반사파가 뇌격철탁에 도달하기 전에 뇌격철탁의 선로절연물에서 이미 섬락현상이 발생한다면 인접철탁에서 반사된 서지는 모두 뇌격철탁의 상도체로 유기되어 매우 높은 역섬락 과전압이 발생된다. 하지만 Ugw나 Gw가 적용된 철탁에서는 뇌격전류의 대지방전을 쉽게 유도함으로써 애자와 같은 선로절연설비의 섬락이 쉽게 발생하지 않으며, 섬락이 발생하여도 Ugw와 Gw의 철탁전위상승 억제효과로 인해 섬락발생시간이 지연되므로 인접철탁에 의한 반사파가 도달하기 전에 섬락이 발생할 확률이 상대적으로 매우 작다. 따라서 섬락전압이 낮게 발생하는 효과를 기대할 수 있다.

그림 6은 Ugw와 Gw의 적용 효과를 간단히 나타낸 것으로, 송전철탁의 가공지선에 뇌격이 있었을 경우 철탁 임피던스 Z_T 를 통해 탐각저항 R_T 로 방전하는 뇌격파형과 이때 역섬락이 발생한 A상의 전압파형을 나타낸 것이다.

(a)는 $2/70[\mu s]$ 100[kA]의 뇌격전류 인가를 보인 것이며 (b)는 각각 일반철탁, Ugw가 적용된 철탁 및 Gw가 적용된 철탁에서 뇌격전류의 대지 방전시 철탁 탐각접지저항의 전압파형을 보인 것이다. (c)는 Ugw, Gw가 적용된 경우에 한하여 Ugw, Gw 설비의 접지저항을 통해 방전하는 뇌서지의 전압파형을 보인 것이며 (d)는 상도체 A상 역섬락을 가정하여 Ugw, Gw 설치 유무에 따라 뇌격철탁의 A상도체로 유기되는 과전압을 나타낸 것이다. Ugw나 Gw가 적용된 철탁에서는 철탁의 탐각접지저항 외에도 (c)처럼 Ugw와 Gw를

통해서 대지방전이 가능하므로 철탑의 전위상승을 억제시킬 수 있으며, 그로 인해 (d)와 같이 상도체에 유기되는 과전압에서 상대적으로 큰 과전압 제한효과를 얻을 수 있다.

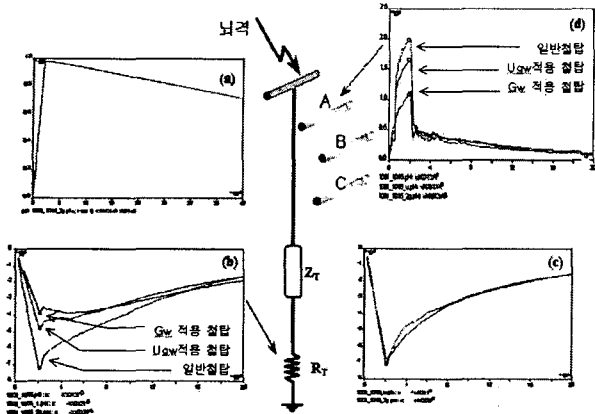


그림 6. Ugw와 Gw 적용시 철탑 각 부분의 전압파형 비교
Fig. 6. Comparison of voltage waveform on tower according to application of Ugw and Gw

그림 7은 변전소에서 Ugw와 Gw 적용효과를 간단히 나타낸 것으로, (e)는 변전소 선로인입부 발생전압을 나타내며 (f)는 선로인입부 피뢰기의 방전전류를 나타낸 것이다. Ugw 및 Gw가 적용될 경우 선로인입부 발생전압의 제한효과가 뛰어나며, 피뢰기의 방전전류 크기도 매우 작아짐으로써 열화로 인한 피뢰기 손상 가능성을 크게 감소시켜 전력계통 신뢰도에 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

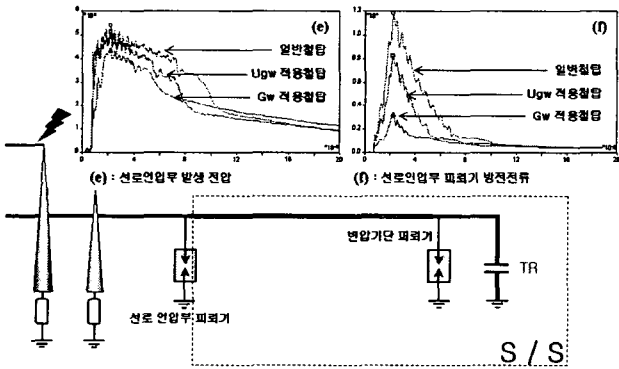


그림 7. Ugw와 Gw 적용시 변전소 인입선로부 전압과 피뢰기 방전전류
Fig. 7. Voltage waveform and lightning arrester discharge current of incoming line in substation according to application of Ugw and Gw

4.2 Ugw와 Gw 설치 위치 검토

Ugw 및 Gw의 효과적인 설치위치에 대해 검토하였다. Ugw와 Gw가 철탑에 설치되는 높이에 따라 상단-A상 위치, 중단-B상 위치, 하단-C상 위치에 설치되는 경우로 분류하였다. 보통 뇌과전압 해석에서는 가혹한 경우를 고려하여 철탑의 A상에서 역섬락이 발생하는 것을 모의하지만, 실제 역섬락 현상은 A, B, C상에서 불규칙적으로 발생한다. 이러

한 섬락 발생 위치의 변화는 Ugw와 Gw의 적절한 설치 위치를 선정하는데 밀접한 영향을 미칠 수 있기 때문에, 모든 상(A, B, C상)에서 섬락이 발생하는 것으로 고려하였으며 이때 효과적으로 과전압을 제한할 수 있는 Ugw 및 Gw의 설치 위치를 검토하였다. 그림 8은 철탑에 100[kA]의 뇌격전류가 침입하였다고 가정하였을 경우 Ugw의 설치 위치에 따라 변전소 선로인입부에 발생하는 과전압을 나타낸 것이다.

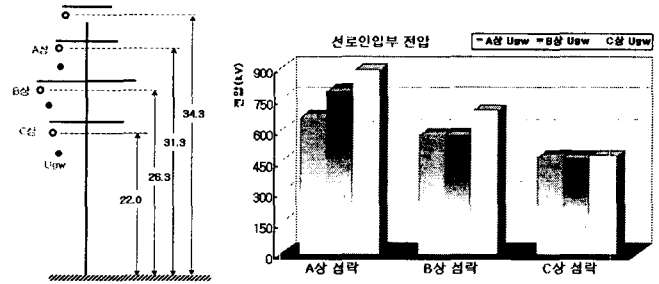


그림 8. Ugw의 설치 위치 검토
Fig. 8. Position examination to install the Ugw

A상에서 섬락이 발생한 경우에는 Ugw의 설치위치에 따라 선로인입부 발생 과전압이 변화하였으며 A상 위치에 Ugw 설치시 가장 좋은 과전압 제한효과를 보였다. 반면, C상에서 섬락이 발생한 경우에는 Ugw의 설치위치에 관계없이 비슷한 과전압 제한효과를 보이고 있다.

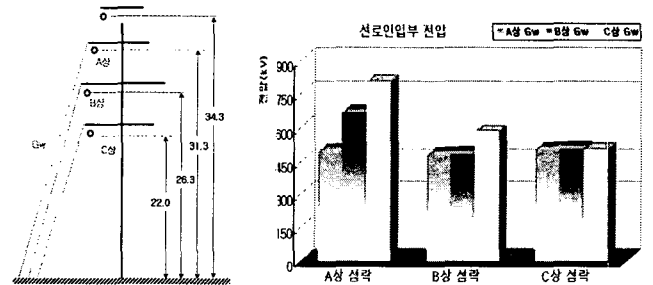


그림 9. Gw의 설치 위치 검토
Fig. 9. Position examination to install the Gw

그림 9는 철탑의 양쪽 암 끝에 Gw를 설치하였을 경우 변전소 선로인입부에 발생하는 전압을 나타낸 것으로, Ugw 설치시보다 뛰어난 제한효과를 보이지만 섬락 발생 위치와 Gw 설치 위치에 따른 변전소 선로인입부 발생 과전압은 Ugw와 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 섬락 상의 위치와 동일한 위치, 혹은 그보다 높은 위치에 Ugw 및 Gw를 설치함으로써 철탑에 흐르는 뇌격전류를 보다 빨리 대지로 방전시켜 철탑 전위가 낮아짐으로써 변전소 선로인입부 전압이 낮아지게 된 것으로 사료된다. 따라서 이상적인 설치위치는 그림에 나타난 결과처럼 A상 위치(상단)에 설치함이 가장 효과적이지만, Ugw는 상도체와 평행하게 설치되기 때문에 외부 요인(바람, 비 등)으로 상도체와의 거리가 근접하게 되면 인접 상도체와의 섬락 발생 가능성이 존재할 수 있기 때문에, 본 논문에서는 안정성을 고려하여 Ugw는 C상

하부에, Gw는 A상 위치에 설치하는 것을 제안한다. 한가지 주의할 점으로, 국내 송전계통에서는 I련 현수애자를 주로 사용하기 때문에 최대 횡진각 70°를 고려할 때 Gw와 상도체간의 섬락이 발생할 수 있다. 따라서 Gw가 적용된 철탑에는 현수애자보다는 횡진각의 범위가 좁은 내장애자를 사용할 필요가 있다.

그림 10은 A상 위치에서 Gw 설치 수에 따른 변전소의 발생 전압을 나타낸 것으로서, 효율성과 경제성을 고려하여 A상 위치(상부)에서 2개를 적용하였다.

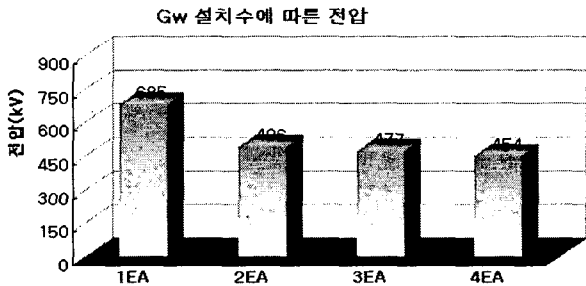


그림 10. Gw 설치수에 따른 변전소 발생 전압
Fig. 10. Voltage magnitude in substation according to the number of Gw

4.3 Underbuilt ground wire와 Guy wire 적용 효과

일반철탑과 Ugw, Gw가 적용된 철탑에 급준한 뇌격을 인가했을 때, 변전소에서 발생하는 전압을 비교함으로써 Ugw와 Gw의 적용효과를 검토하였다. 표 2는 Ugw와 Gw의 설치 효과를 비교하기 위하여 case A~C를 설정한 것이다. 그림 11은 각각 일반철탑, Ugw가 적용된 철탑, Gw가 적용된 철탑에서 섬락이 발생되었을 때 변전소 선로인입부 발생전압을 나타낸 것으로, 가혹한 뇌격전류 조건을 상정하기 위하여 제1철탑에 1/70[μs]의 급준한 뇌격을 적용하였으며, 모선 말단과 선로인입부에 설치된 피뢰기와와의 거리는 20[m]로 피뢰기의 보호범위 내에서 피뢰기로 보호되고 있다.

표 2. 적용효과 검토를 위한 Case 설정
Table 2. Case to examine the application effect of Uge and Gw

Case	철탑	비고
case A	일반철탑	Ugw와 Gw의 적용효과 검토
case B	Ugw가 적용된 철탑	
case C	Gw가 적용된 철탑	

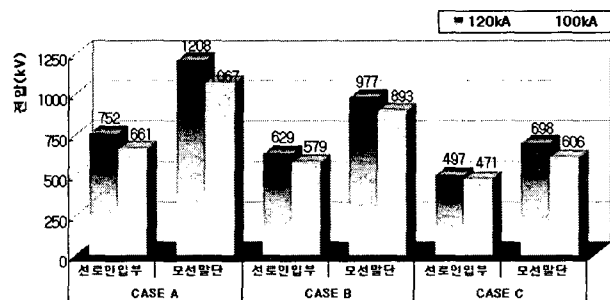


그림 11. Ugw와 Gw의 적용 효과
Fig. 11. Application effect of Ugw and Gw

일반철탑에 뇌격이 침입하였을 경우, 선로인입부에 피뢰기가 적용되었음에도 뇌격전류가 120[kA] 이상인 뇌격에서는 기기의 BIL인 750[kV]를 초과하는 전압이 발생할 수 있음을 확인하였고, 선로인입부 피뢰기를 통해 보호되고 있는 모선말단에서는 더욱 높은 전압이 발생하여 피뢰기 보호범위의 수정 또는 추가적인 피뢰기 설치가 요구된다. Ugw가 설치된 철탑의 경우에는 섬락 전압의 감소 효과로 선로인입부는 보호가 가능하였지만, 모선말단에서는 여전히 BIL을 초과하였다. 반면, Gw 적용시에는 선로인입부 전압이나 모선말단 전압이 BIL 이하로 제한되어 높은 파괴치의 급준한 뇌서지에 대해서도 보호도 가능성을 확인하였다.

또한 변전소의 발생전압에 영향을 미치는 여러 파라미터에 더욱 가혹한 조건을 선정하여 Ugw와 Gw의 과전압 제한 효과를 검토하였다. 표 3, 4, 5는 각각 탑각접지저항, 뇌격전류 크기, 뇌격 파형의 급준도를 변화시킴으로써 뇌과전압이 상승하는 조건을 설정하여, EMTP로 상세 해석하여 얻은 결과파형을 나타낸 것이다. 표 6은 표 3, 4, 5의 여러 파라미터에서도 가장 가혹한 조건만을 고려하였을 때, 변전소의 선로인입부 피뢰기를 통해 대지로 방전하는 피뢰기 방전전류를 나타낸 것이다. 가혹한 조건에서도 철탑에 Ugw 및 Gw가 설치된 경우에는 뇌과전압을 효과적으로 제한시킬 수 있으며, 결국 피뢰기 방전전류도 크게 저하됨으로써 피뢰기의 열화 및 수명저하의 잠재적 위험으로부터도 보호가 가능할 것으로 사료된다.

표 3. 철탑접지저항에 따른 Ugw/Gw 적용효과 검토[kV]
Table 3. Application effect of Ugw/Gw according to the tower footing resistance

	15[Ω]	25[Ω]	50[Ω]
일반철탑	550	570	608
Ugw적용 철탑	518	523	531
Gw적용 철탑	441	447	456

(a) 해석결과 (b) 50[Ω] 적용시 뇌과전압 파형

표 4. 뇌격전류 크기에 따른 Ugw/Gw 적용효과 검토[kV]
Table 4. Application effect of Ugw/Gw according to the lightning current magnitude

	100[kA]	120[kA]	140[kA]
일반철탑	550	603	656
Ugw적용 철탑	518	544	586
Gw적용 철탑	441	466	497

(a) 해석결과 (b) 140[kA] 적용시 뇌과전압 파형

표 5. 뇌격파형 급준도에 따른 Ugw/Gw 적용효과 검토 [kV]

Table 5. Application effect of Ugw/Gw according to the steepness of lightning waveform

	1/70 [μs]	2/70 [μs]	3/70 [μs]
일반철탐	715	601	540
Ugw적용 철탐	630	544	505
Gw적용 철탐	498	466	449

(a) 해석결과 (b) 1/70[μs] 적용시 뇌과전압 파형

표 6. Ugw/Gw 적용효과 검토를 위한 선로인입부 피뢰기 방전전류[kA]

Table 6. Discharge current of Lightning arrester installed incoming line in substation

	50ohm	140 [kA]	1/70 [μs]
일반철탐	16.9	19.7	16.1
Ugw적용 철탐	10	14.3	11.7
Gw적용 철탐	4.2	6.1	4.9

(a) 해석결과 (b) 1/70[μs] 적용시 피뢰기 방전전류 파형

Ugw와 Gw를 철탐에 적용하였을 경우 역섬락 과전압의 감소효과 외에 기대할 수 있는 다른 효과로서, 철탐의 전위 상승을 크게 억제시켜 아킹혼을 통한 역섬락 발생 가능성을 매우 감소시킬 수 있다. 154[kV] 아킹혼의 임계섬락전압은 국내 전력회사의 송전 설계기준에 근거하여 수식 (1)과 같으며, 아킹혼 절연간격 1.12[m]를 적용하여 아킹혼간 전압이 839.6[kV] 초과시 섬락이 발생하는 것으로 계산하였다. 표 7 은 철탐에 낙뢰 침입시 아킹혼간 전압이 839.6[kV]를 초과시키는 즉, 아킹혼을 통해 섬락이 발생하게 하는 최소뇌격전류를 분석한 것이다.

$$V_{flashover} = 580d + 190 \quad (1)$$

여기서, d = 아킹혼 절연간격[m]

표 7. 아킹혼에서 섬락이 발생하는 최소뇌격전류[kA]

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

일반 송전철탐에서와는 달리 Ugw와 Gw가 적용될수록 더욱 높은 뇌격에 섬락이 발생함을 확인하였다. 국내의 낙

뢰 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, 역섬락 뇌서지 침입으로부터 변전소 기기 보호에 매우 효과적임을 알 수 있다.

4.4 제한 거리

Ugw와 Gw의 적용은 침입하는 뇌과전압과 역섬락 발생 가능성을 감소시킬 수 있는 유용한 설비이지만, 추가적인 도체설비로 인한 경제적 문제와 철탐이 거대화되어 부지확보 등의 지리적 문제가 수반되기 때문에 이에 대한 제한적 설치방안이 요구된다. 그러나 변전소의 절연을 위협하는 뇌서지는 변전소에 급접한 철탐에 파도가 매우 급준한 뇌격이 침입한 경우이며, 변전소에서 먼 곳의 뇌격일수록 선로를 따라 진행하면서 파형이 완만해지므로 피뢰기에 의한 보호가 쉬워진다. 그림 12는 1철탐에서 4철탐까지 뇌격점을 변화시켰을 때 변전소 선로인입부와 모선말단에 발생하는 전압을 나타낸 것이다. 1철탐에서 가장 높은 전압이 발생하고 2철탐 이후에는 그 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 급준한 뇌서지 침입으로 변전소 기기에 고장을 초래시킬 수 있는 제1철탐에 서지 저감 효과가 뛰어난 Gw의 적용을 제안하며, 안전여유를 고려하여 2철탐과 3철탐간에는 지리적 문제를 덜 야기할 수 있는 Ugw의 사용을 제안한다. 3철탐 이후에 침입하는 서지가 있을 경우는 그 서지가 선로를 따라 진행하면서 완만해지므로 피뢰기로서도 충분히 보호가 가능하게 된다.

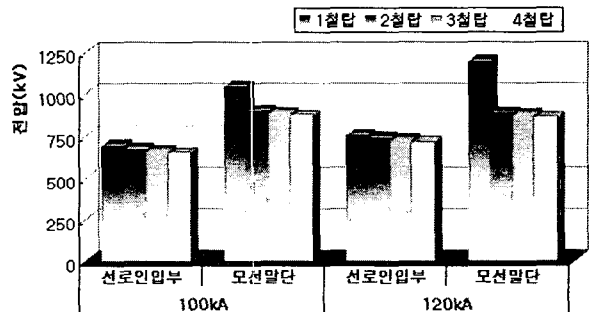


그림 12. 철탐 뇌격점에 따른 변전소 전압
Fig. 12. Voltage magnitude in substation according to lightning stroke point

5. 결 론

본 논문에서는 뇌서지로부터 154[kV]계통의 변전소 기기를 안정적으로 보호하기 위한 방안으로서 변전소 근접철탐에 Ugw와 Gw의 설치를 제안하였다. 이를 위해 EMTP를 이용하여 설치효과를 상세히 검토하였고, 변전소 기기 보호에 미치는 효과를 상세히 분석하였다. 이를 위해 본 논문에서 분석한 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 철탐에서 Gw의 효과적인 설치 위치는 뇌격전류를 보다 빨리 대지로 방전시켜 섬락전압을 감소시킬 수 있는 상단(A상) 위치가 가장 적절하였으며, Ugw는 외부환경요인으로 Ugw와 상도체간 섬락이 발생할 위험성이 존재하므로 안정성 확보를 위해 하단(C상)위치에 설치하는 것이 적절하다.

- 2) 첩탑에 낙뢰가 침입하였을 경우 Ugw와 Gw의 설치를 통해 뇌격전류를 인접첩탑으로 분류시키고 대지 방전을 유도시킴으로써 선로의 과전압 상승을 억제할 수 있었으며, 애자나 아킹흔에서의 섬락 발생 가능성을 크게 감소시켰다. 또한 급준한 뇌격에 대해서도 보호가 충분히 가능함을 보였다.
- 3) Ugw와 Gw가 설치될 경우에는 경제적 문제와 지리적 문제가 발생함으로 제한적 설치가 될 수밖에 없다. 따라서 역섬락시 급준한 뇌서지가 침입할 수 있는 제1첩탑에 Gw를 제2첩탑과 제3첩탑간에는 Ugw를 설치하는 것이 바람직하다.

본 논문에서의 검토 결과 높은 파고치의 급준 뇌서지가 침입하더라도 변전소의 기기를 보다 높은 신뢰도로 완벽히 보호하기 위해서는 기존의 피뢰기만으로부터는 Ugw와 Gw의 설치에 의한 보호가 필요하다고 제안하며, 아울러 본 연구결과가 실제 변전소 근접 송전선로에 설치되기 위해서는 실제적으로 검증될 수 있는 실험 등 실험적 연구가 수반되면 더욱 신뢰성 있는 연구결과가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 원광대학교의 교비지원에 의하여 연구됨

참고 문헌

[1] 김경호, "송전선의 뇌해대책 현상과 전망", 한국전력기술 인협회

[2] 우정욱, 심용보, "LPATS에 의한 7년간의 한반도 뇌격특성분석", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 509~511, 2003.

[3] 우정욱, 심용보, 민병욱, "송변전설비의 낙뢰고장 및 고장 감소 대책", 전기저널, pp. 41~49, 2000. 10.

[4] 한국전력공사 홈페이지, "송·변전설비의 확충", "한국전력통계"

[5] 한전 전력연구원, "345kV 및 154kV급 Gapless피뢰기 정격규격 및 기준정립(최종보고서)" 2000. 2.

[6] IEEE Guide "IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines" IEEE Std 1243-1997

[7] M. Savic, Z.stojkovic "High voltage substation equivalent circuits in the lightning performance estimation" IEE, 1994. 3.

[8] H. Elahi, M.Sublich, "Lightning overvoltage protection of the paddock 362-145kV gas-insulated substation" IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, No. 1, Jan. 1990.

[9] Ali F. Imece, Daniel W, Durbak, "Modeling guidelines for fast front transients" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, Jan. 1996.

[10] 한전 기술연구원, "電力系統過度解析프로그램의 理論 및 活用に 關한 研究" 最終報告書, 1991.

[11] 電力中央研究所, "發變電所耐雷設計ガイドブック", 研究報告 No.175034, 1976.

[12] 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.

[13] 耐雷技術委員會發變電所分科會, "發變電所侵入雷サージの實用的解析手法とその適用" 1991. 3.

저 자 소 개



김재관 (金在寬)

1978년 5월 18일 생. 2003년 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
Tel : (063)850-6735
E-mail : a-gams@hanmail.net



정채균 (鄭彩均)

1973년 7월 14일 생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2002년~현재 동 대학원 박사과정. Tel : (063)850-6735
E-mail : chekyun@wonkwang.ac.kr



이종범 (李鍾範)

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1987~1990년 한국전기연구원 지중송전연구실 실장. 1997~1998년 미국 Texas A&M University 객원 교수. 현재, 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수.
Tel : (063)850-6735, E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr



조한구 (趙漢九)

1959년 4월 14일 생. 1984년 성균관대 공대 전기공학과 졸업, 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 전기기기 기술사, 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공박), 1999년-2000년 동서대학교 전자기계공학부 겸임교수, 현재 대한전기학회 전기물성 응용위원회 사업이사, 한국전기연구원 책임연구원.
E-mail : hgcho@keri.re.kr



서재호 (徐在鎬)

1948년 8월 6일 생. 1973년 명지대 공대 전기공학과 졸업, 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박), 1977년-1979년 대전공업전문대학 조교수, 1980~현재 원광대 공대 전기전자및정보공학부 교수
Tel : (063)850-6733, E-mail : jehoso@wonkwang.ac.kr