

345kV GIS 변전소 뇌썩지 해석

김재관* 이종범
원광대

조한구
한국전기연구원

Analysis of lightning surge on the 345kV Gas Insulated Substation

Jae-Kwan Kim* Jong-Beom Lee
Wonkwang University,

Han-Goo Cho
KERI

Abstract - This paper deals with simulation of lightning overvoltage generated by back flashover entering 345[kV] Gas Insulated Substation. In order to protect the substation equipment against lightning surge, insulation coordination is performed with the lightning arrester. This paper suggests optimal location of lightning arrester using the EMTP/ATPDraw to more economically and effectively reduce the lightning surge incoming overhead lines,

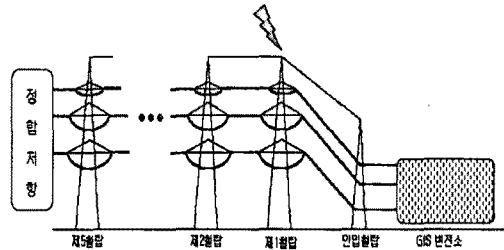


그림 1. 모의 계통도

1. 서 론

급격히 증가하는 전력수요에 대처하고, 345[kV]에서 765[kV]로의 송전 전압의 격상으로 인해 우리나라의 발전 설비, 송·변전설비 및 배전설비는 크게 증대될 전망이다.

그러나 우리나라처럼 국토가 좁고 환경문제가 심각한 현실에서, 기존의 공기절연 변전소로는 변전소의 부지확보는 물론 환경, 안정성, 신뢰성 측면에서 능동적으로 대처할 수 없다. 이러한 이유로 중전기 분야에서 경제성 향상과 함께 환경문제가 보다 능동적으로 대처하고 변전소부지 확보와 지가상승에 대응하기 위해 가스절연 변전소(GIS)의 개발이 이미 오래전에 시작되었다.

GIS는 주변압기를 제외하고 차단기, 단로기, 피뢰기 등이 모두 가스절연 용기 내에 내장된 복합 개폐 시스템으로 종래의 공기 절연 방식의 변전설비와 비교하여 안정성, 신뢰성 및 경제성 등의 측면에서 가장 이상적인 변전 시스템이라 할 수 있다. 특히, 기존의 공기 절연 변전소와 비교해 소요부지가 약 25% 이하이며, 하나의 전력기기처럼 도심의 건물내부에 설치할 수 있는 장점 때문에 최근 변전소는 종래 공기 절연형에서 가스 절연형으로 크게 바뀌어 가고 있다[1-2].

이러한 변화와 함께, 송전선과 변전소를 포함한 복잡한 전력계통에 있어 절연설계의 합리화를 실현하기 위해서는 전력계통의 썩지에 대한 고신뢰성이 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 EMTP/ATPDraw를 이용하여 345[kV] GIS 변전소를 모델링 하였고, 상세한 뇌썩지 해석을 위해 변전소의 뇌썩지 해석에 영향을 미치는 파라미터 특성에 대한 검토를 하였다. 또한, 변전소내에 적절한 위치에서의 피뢰기 설치를 통해 효율적인 내뢰설계를 실시하였다.

2. 계통 모델링

변전소내의 전력기기의 절연을 위협하는 뇌썩지는 모두 인출 가공선로를 통해 침입하게 되는데, 가공선로에 의한 뇌격 침입 형태는 상도체로의 직격뇌에 의한 침입과 가공선 혹은 철탐 뇌격에 의한 역선평 침입의 두 경우가 있다. 그러나 상도체로의 직격뇌를 방지하기 위해 가공지선을 설치하므로, 직격뇌는 가공지선에 의해 차폐된다고 가정하고 역선평에 의한 썩지 침입의 경우만을 고려하였다.

전체적인 계통도는 그림 1과 같고 모의 계통은 가공선로 부와 변전소부로 나누었다.

2.1 가공선로부 모델링

가공지선/상도체는 ACSR 120/480[mm²]을 EMTP/ATPDraw의 LCC를 이용해 선로정수를 구했다. 선로는 345[kV] 2회선 중 1회선만을 모의하였고 인입철탐를 통해 송전선이 변전소로 들어오고, 인입철탐에 가장 근접한 철탐를 제 1철탐로 하여 차례로 제 5철탐까지 모의했다. 그리고 제 5철탐 좌측의 가장 말단은 정합저항으로써 반사파를 고려하지 않았다.

철탐모델은 역선평 모의에 용이한 4단 철탐모델을 적용하였고, 인입철탐는 썩지 임피던스와 전파정수를 통한 단상 분포정수로 모의했다.

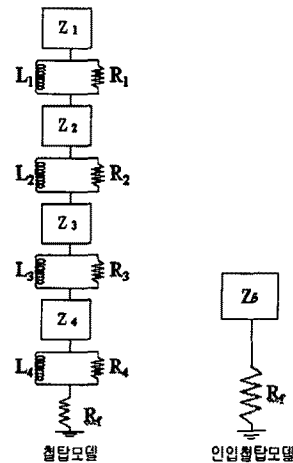


그림 2. 철탐 모델링

뇌격은 2/70[μs] 램프파로서 뇌격 위치는 변전소에 가장 근접한 제 1철탐에 모의하였으며, 철탐 전위 상승을 통한 송전선으로의 역선평은 인덕턴스와 시간제어 스위치를 통한 리더 모델을 적용했다.

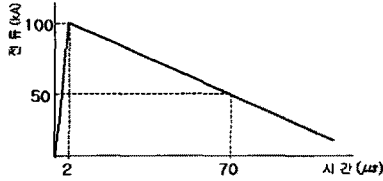


그림 3. 뇌격 파형(2/70μs 램프파, 100kA)

2.2 변전소부 모델링

345[kV] GIS 변전소 모델은 가공선로 인입부, 모선 및 스위치 기어부, 변압기단으로 구분할 수 있는데, 주모선은 3상 일괄형 GIS로서 실제 모양을 EMTF/ATPDraw의 다상모델(K.C.LEE)을 이용해 모델링하였고, 분기모선은 상분리형 GIS로서 써지 임피던스와 전파속도를 이용한 단상 분포정수로서 모델링하였다. 변전소 주요기기는 부싱과 분리기액터, 차단기, 변압기 등의 누설커패시턴스 값을 고려하여 모의하였다.

공기 절연 변전소의 내뢰설계는 주변압기를 피뢰기로 보호하는 것을 기본으로 하여 모선과 기타 기기의 절연레벨을 높이거나 변압기 주변 피뢰기의 효과를 기대하는 반면, 가스 절연 변전소의 경우는 모든 기기의 절연 신뢰도를 변압기와 동등하도록 해야 하는 차이점이 있다[3]. 변전소의 주요기기(인입GIS, 모선, 변압기 등)를 중심으로 피뢰기 설치 위치에 따른 전압 파형을 관찰하여 적절한 내뢰설계를 행하였다.

변전소 구성 모델은 그림 4와 같으며 뇌써지에 대한 가장 가혹한 경우로서 1회선 1뱅크 구조로 모델하였다.

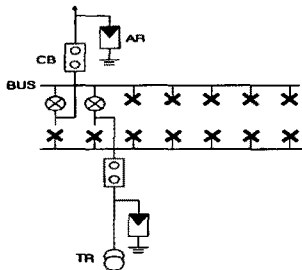


그림 4. 변전소 구성 모델

3. 파라미터 변화시 특성 검토

변전소 뇌써지 해석에 영향을 미치는 파라미터를 표 1에 나타내었다.

표 1. 뇌써지 해석시 영향을 미치는 파라미터

뇌격	철탐	선로	피뢰기	변전소
뇌도 임피던스	가공지선 / 철탐 써지 임피던스	선로정수	설치위치	각 기기의 집중정수 / 써지 임피던스
뇌격전류파형	전파속도	상호유도	V-I특성	변전소 구조
뇌격점 위치	탑각 접지저항	코로나	접지저항	
침입형태				

파라미터 변화시 특성을 알아보기 위한 변화 조건은 표 2와 같다.

표 2. 파라미터 변화 조건

파라미터	변화 조건
뇌격전류파형	파두장을 1, 2, 4μs로 변화
뇌격점 위치	제 1철탐, 제 2철탐, 제 3철탐 뇌격
탑각 접지저항	10, 20, 40Ω으로 변화
변전소 구조	1회선1뱅크, 2회선1뱅크, 2회선2뱅크

표 3은 뇌격전류파형과 뇌격점 위치, 탑각 접지저항의 변화시에 변전소로 침입하는 전압을 나타내었고 변전소 구조 변화시는 피뢰기를 설치하지 않은 상태에서 변압기의 전압을 비교하였다.

표 3. 파라미터 변화시 전압 비교

뇌격전류파형		뇌격점 위치		탑각 저항		변전소 구조	
조건	전압	조건	전압	조건	전압	조건	전압
1μs	2847kV	1철탐	2599kV	10Ω	2377kV	1회선1뱅크	1908kV
2μs	2587kV	2철탐	2274kV	20Ω	2606kV	2회선1뱅크	1567kV
4μs	1691kV	3철탐	2172kV	40Ω	2988kV	2회선2뱅크	1349kV

표 3을 통해 다음을 확인할 수 있다.

- 뇌격전류 파형이 더 급준파일수록 변전소에 침입하는 전압은 커지게 된다.
- 철탐은 송전선에 비해 써지 임피던스가 작아서 철탐 통과시 써지가 부분사되어 작아지는 경향이 있는데, 표 3에서처럼 뇌격이 변전소에서 떨어질수록 써지 전압은 작아진다.
- 탑각 접지 저항은 변전소 뇌써지 해석시 매우 중요한 부분이다. 가공지선 혹은 철탐에 뇌격이 인가되면 뇌써지로 인해 철탐의 전위가 상승하게 되는데, 이 써지는 철탐을 통해 대지로 방전된다. 그러나 철탐의 접지저항값이 높아지면 철탐 전위는 더 상승하게 되어 써지는 대지가 아닌 철탐의 애자나 아킹혼을 통해 송전선으로 유입되는 역섬락이 발생하므로 탑각저항이 높을수록 더 큰 써지가 역섬락을 통해 전력선에 침입하게 된다. 따라서 철탐의 접지 저항값을 낮추는 문제는 매우 중요하다.
- 변전소 구조는 1회선 1뱅크 구조에서 전압이 가장 크게 발생하는데, 이는 변전소내를 진행하는 뇌써지가 회로 분기점에서 분파되어 전압이 저감되기 때문에, 다회선·다뱅크 구조의 뇌써지 전압이 낮아진 것이라 사료된다. 또한, 1회선 1뱅크 구조는 피뢰기의 설치 조건이 최소가 되는 조건이기도 하므로, 변전소 뇌써지 해석시 가장 가혹한 조건으로 모의 대상이 된다.

4. 피뢰기를 통한 내뢰설계

변전소 모델은 다음과 같이 두 경우로 나누었다.

Case A - 1회선 1뱅크 구조

Case B - 인입부 차단기 개방상태의 1회선 1뱅크 구조

변전소 모델은 가장 가혹한 경우인 1회선 1뱅크 구조로 하였다. 또한, 뇌격발생의 55% 이상이 다중뇌격이므로 다중뇌격에 의한 인입선로부 차단기 개방상태에서의 뇌격 모의도 고려했다[3].

Case A는 뇌격전류 100[kA]와 120[kA], 파형 2/70 [μs] 램프파를 변전소에 가장 근접한 제 1철탐에 인가시의 변전소 뇌과전압 분포를 검토하였고, 여기서 탑각 접지저항은 20[Ω]으로 하였다. 변전소내의 주요기기(인입GIS, 모선, 변압기 등)에 대한 내뢰설계를 적절히 수행하기 위해 피뢰기를 설치하는데, 경제적이고 효율적인 내뢰설계를 위해 피뢰기 설치 위치에 따른 몇 가지 경우를 설정하여, 이 결과 값을 서로 비교함으로써 가장 적절한 위치를 검토하였다.

Case 1 : 피뢰기 미설치

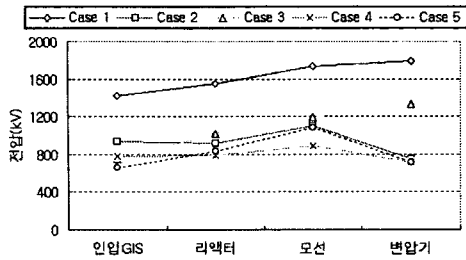
Case 2 : 변압기단에 피뢰기 설치

Case 3 : 인입 GIS에 피뢰기 설치

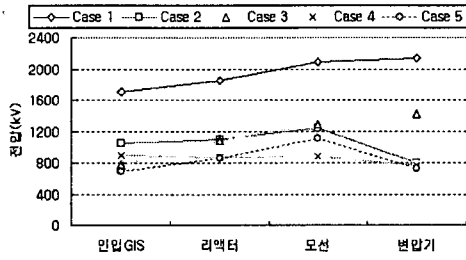
Case 4 : 주모선+변압기단에 피뢰기 설치

Case 5 : 인입 GIS+변압기단에 피뢰기 설치

Case A에서 피뢰기 설치 위치에 따른 변전소 기기전압을 그림 5에, Case B에서 피뢰기 설치 위치에 따른 변전소 기기전압을 그림 7에 나타내었다.



(a) 뇌격전류 100[kA] 인가



(b) 뇌격전류 120[kA] 인가

그림 5. 1회선 1뱅크시의 변전소 기기전압

345[kV] 가스 절연 변전소의 가스 절연기기 BIL은 1170[kV]이다. 그림 5에서, Case 1, 2, 3은 BIL을 초과하여 뇌색지에 대해 적절한 보호를 할 수 없지만, Case 4, 5는 과전압을 BIL 이하로 효과적으로 제한하고 있다.

조건을 달리하여, Case 4, 5에 대해서 변전소 인입GIS 모선의 길이 변화에 따른 전압파형의 비교를 그림 6에 나타내었다.

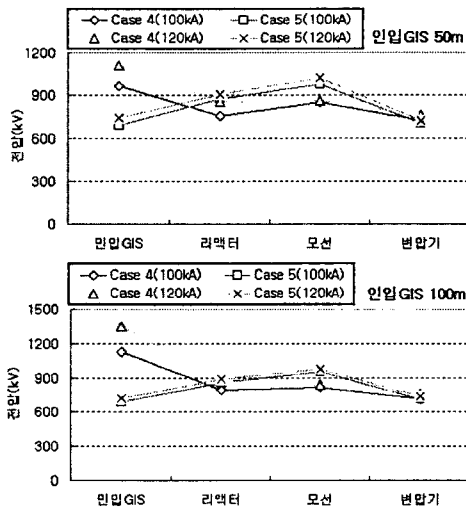


그림 6. 인입GIS 모선 길이에 따른 전압 비교

Case 4는 인입GIS 모선이 길어짐에 따라 주모선에 설치된 피뢰기와 거리도 멀어지므로, 인입GIS부의 피뢰기의 보호 범위를 벗어나게 되어 BIL을 초과하였고, Case 5는 인입GIS 모선 길이 변화에 따른 큰 영향없이 뇌과전압을 BIL 이하로 제한하였다. 이로써 Case 4보다 Case 5가 변전소 주요기기의 보호에 더 효과적임을 알 수 있다.

다중뇌격을 고려한 Case B의 경우는 극간 커패시턴스와 대지 커패시턴스를 π 형태로 개방상태의 차단기를 모의한 점을 제외하고는 모의조건이 Case A와 동일하다. 인입부 차단기 개방상태에서 뇌색지가 침입한 경우는 차단기가 개방

상태이기 때문에, 차단기 이후(모선과 변압기)에서의 과전압은 전압이 매우 낮게 나타나지만, 인입GIS 및 리액터, 차단기에서의 전압은 더욱 크게 나타났다.

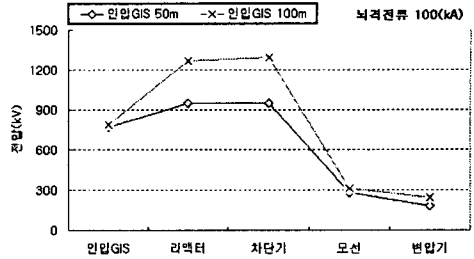


그림 7. 차단기 개방시의 변전소 기기 전압

그림 7은 Case A를 통해 검토된 가장 적절한 피뢰기 설치 위치로 판단된 Case 5를 다중뇌격을 고려한 Case B에 적용했을 때 인입GIS 모선 길이에 따른 전압을 비교한 결과이다. 인입부 차단기 개방상태에서는 개방된 차단기의 반사파로 인해 더 높은 전압이 발생하기 때문에 인입부에 피뢰기를 설치했음에도 피뢰기와 거리가 늘어나자 리액터 및 차단기에서 BIL이 초과되었다.

따라서 차단기 개방시의 뇌색지 해석에서는 모선의 길이에 주의하면서, 모선이 길어질 경우 추가적인 피뢰기 설치를 고려하여야 한다.

5. 결 론

본 논문에서는 345kV GIS 변전소를 모의하여 변전소에 가장 인접한 제 1철탑에 뇌격을 인가했을 때, 역섬락을 통해 변전소로 유입되는 뇌과전압 파형을 통해 변전소의 뇌색지 해석에 영향을 미치는 여러 파라미터를 변화시켜 그 변화 특성을 검토하였고, 변전소내 주요 기기를 보호하는 피뢰기를 적절히 설치하여 경제적이면서도 효율적인 내뢰설계를 행하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 변전소내의 적절한 기기 보호를 위해 Case 1에서 Case 5를 통해 피뢰기의 적절한 위치를 판별하였다. 그 결과 Case 4와 Case 5가 변전소내 과전압을 효과적으로 제한하였다.
- (2) Case 4와 Case 5중에서 인입GIS 모선 길이를 50, 100[m]로 변화시켰을 경우를 통해 Case 5가 Case 4에 비해 더 효과적임을 확인하였다.
- (3) 지금까지의 모의 결과에 따라 345[kV] GIS 변전소의 효과적인 내뢰설계를 행하기 위해서는 변전소 인입GIS 부와 변압기단에 피뢰기를 설치하는 것이 역섬락을 통한 뇌색지로부터 변전소 주요기기를 효과적이고 경제적으로 보호할 수 있는 방법임을 확인하였다.
- (4) 다중뇌격에 의한 차단기 개방상태의 뇌색지 해석에서 변전소 기기 전압은 개방된 차단기에서의 반사파로 선로 인입부 전압이 더 크게 발생하므로 모선이 길어지는 경우는 피뢰기의 추가적인 설치를 고려해야 함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송기동, 박정엽, 신영준 “가스절연변전소(GIS)의 설계검증을 위한 해석기술” 전기학회지 제48권 9호, 1999. 9
- [2] 노철용 “중전기 산업의 기반기술 구축 - GIS 변전소 건설 및 국산화” 전기학회지 제 46권 7호 1997. 7
- [3] 한국전력공사 기술연구원 “지중송전 케이블의 색어지 보호 대책에 관한 연구” 1993. 6.
- [4] Cocis, L.; Svancar, M. “Analysis of MOA location in substations” IEE CNF 341-344vol.2 1999.
- [5] 電力中央研究所 “變電所耐雷設計ガイドブック”, 研究報告 No.175034, 1976.
- [6] 한전 기술연구원, “電力系統過度解析프로그램의 理論 및 活用에 關한 研究” 最終報告書, 1991.