

345kV 승압용 변전소의 뇌격에 의한 이상전압 해석

(Analysis of Transient Voltage by Lightning Stroke at 345kV Step-up Transformer)

조만영* · 신호전 · 허재선 · 김재철**

(Man-Young Cho · Ho-Jeon Shin · Jae-Sun Huh · Jae-Chul Kim)

Abstract

Typically, large scale power generation facilities are linked to 345kV transmission line through a step-up transformer. If the value of transient voltage by generating lightning stroke is large more than electric equipment's BIL, devices insulation is destroyed. LA(Lighting Arrester) is used as a main means of prevention. However, the installation of LA takes the constraints of installation place and expensive installation costs. Therefore, we need to carefully study whether installation of installation can be omitted and the most efficient place of installation. In this paper, we simulated the transient voltage detected by lightning stroke at each equipments in the 345kV transmission power grid by using EMTP-RV program.

Key Words : Insulation Coordination, BIL(Basic Impulse Insulation Level, EMTP-RV, GIS(Gas Insulated Switchgear), GiB(Gas Insulated Bus)

1. 서 론

국내 및 국외의 전력수요는 경제성장과 더불어 지속적으로 증가되고 있다. 증가되는 전력수요를 충족시키기 위해 발전소 건설이 불가피하며, 송전 설비 배전설비 등의 증설도 요구 되고 있다. 대형발

전소에서는 발전기에서 생산된 전력이 step-up 변압기에서 승압된 후 GiB, GIS, 송전철탑을 통해 전력망에 보내지게 된다[1]. step-up 변압기, GiB, GIS, L.A, 부싱, 케이블 등은 각각의 BIL 값을 갖고 있다[참고문헌]. 만일 이러한 전력계통설비에 뇌격이 침투 시 이상전압 값의 크기가 각 기기의 BIL 값보다 큰 경우 전력기기는 절연파괴 되어 소손된다[1-6]. 현 전력계통에서는 이러한 문제에 대한 대책으로 피뢰기 설비가 널리 이용되고 있다[1,4]. 하지만 피뢰기 설치장소의 제약과 고가의 설치비용이 소요되므로 피뢰기의 설치에 대한 효율적인 방안이 필요하다.

본 논문에서는 과도해석 프로그램 EMTP-RV를 이용하여 다양한 상황을 모의함으로써 피뢰기의 설

* 주저자 : 송실대학교 전기공학과 박사수료
** 교신저자 : 송실대학교 전기공학부 교수
* Main author : Soongsil University Electrical Engineering Ph.D. course
** Corresponding author : Soongsil University Electrical Engineering Professor
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
접수일자 : 2012년 8월 30일
1차심사 : 2012년 9월 2일, 2차심사 : 2012년 9월 17일
심사완료 : 2012년 9월 21일

치를 생략할 근거는 없는지, 설치하는 경우 적절한 설치 위치를 검토하였다. 이를 위하여 송전계통 내 변전소 인근 철탑의 상 도체 또는 가공지선에 뇌격이 가해져서 뇌격전류가 발전소용 변전소로 침입 시 각각의 전력 기기에 발생하는 이상전압의 크기 및 파형을 얻었으며, 이 결과를 바탕으로 각 기기의 BIL값과 비교 분석하여 피뢰기 설치유무 및 적정 설치위치를 판별하였다.

2. 송전계통 뇌격사고 모의 등가모델

2.1 345kV 송전선로 및 송압용변전소 구성

대형발전소의 송압용 345kV 변전소와 연계된 송전계통의 경우 일반적으로 그림 1과 같이 대형 발전기가 있고, 인입케이블, GIS switch yard, step-up 변압기 측에 L.A가 설치되며, switch yard 와 step-up 변압기 사이에는 GIB 또는 케이블(XLPE)로 연결되는 형태로 구성된다[7-8].

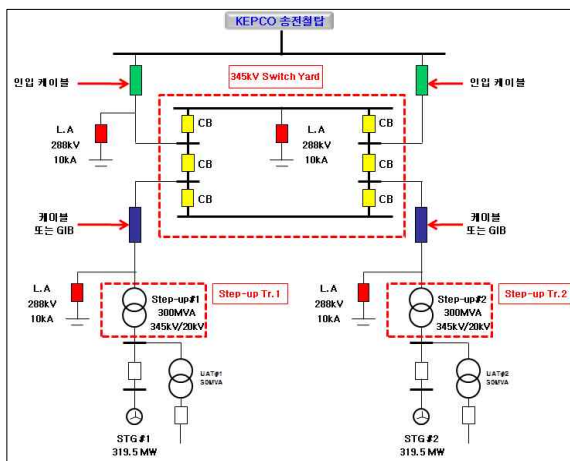


그림 1. 345kV 송전선로 및 송압용변전소 개념도
Fig. 1. Concept of 345kV Transmission Line and Step-up Transformer

2.2 뇌격 위치 및 뇌격 전류

송전선로에서의 뇌격지점은 주로 가공지선 또는 상

도체이다[3,5-6]. 물론 상도체의 경우 가공지선의 보호각도 범위 내에 있으므로 차폐되어 뇌격에 맞을 확률이 상당히 낮겠지만 본 연구에서는 상도체에 뇌격이 가해졌을 때도 모의 분석하여 이상전압의 크기 및 형태를 제시하였다. 그림 2는 뇌격 위치를 나타내고 있다. 그리고 뇌격의 파두시간은 이상전압 상승에 절대적인 영향을 준다[7-8]. 가장 가혹한 뇌격형태 분석을 위해 시뮬레이션에서 적용한 뇌격의 형태는 그림 3과 같이 파두장 1.2 μ s, 파미장 50 μ s 인 파형을 모델링하였으며, 모의 뇌격 전류의 형태는 선형적으로 상승하고 감쇄하는 램프파를 사용하고 피크 값은 국내 및 국외에서 널리 사용 하는 120kA를 사용하였다[7,9].

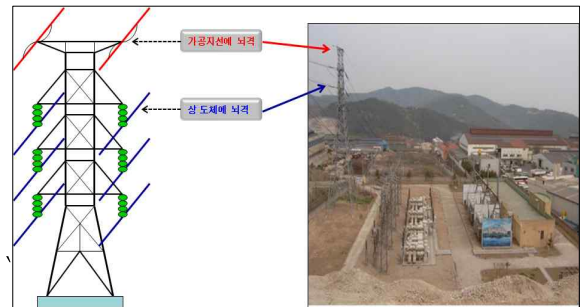


그림 2. 모의 뇌격 위치(가공지선, 상도체)
Fig. 2. Lightning stroke location on simulation (overhead ground wire, phase conductor)

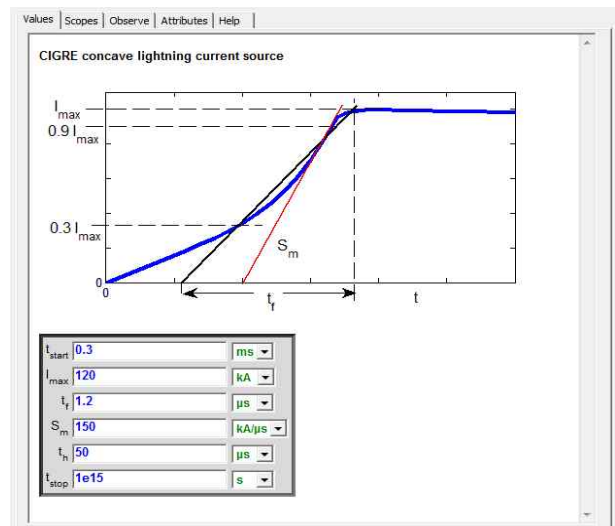


그림 3. 모의 뇌격 형태
Fig. 3. Lightning form on simulation

2.3 345kV 송전선로 및 송압용변전소 등 가모델

본 논문에서는 뇌격에 의한 이상전압 크기를 산출하기 위해 EMTP-RV를 이용하여 345kV 송전선로 및 송압용 변전소, 피뢰기, GIS 내부회로 등을 등가회로로 구성하고, 뇌격전류 해석에 영향을 미치는 GIS switch yard의 전력기기 및 변압기, 피뢰기 파라미터 특성을 반영하여 모의하였다. 단, 345kV 전력계통 특성상 개폐서지는 검토 대상에서 제외하였다. 345kV GIS switch yard와 step-up 변압기 GIB로 연결하는 경우 송전선로의 가공선로에 뇌격 시 유입되는 이상전압을 해석하기 위한 시뮬레이션 등가회로는 그림 4와 같이 구성하였다. 시뮬레이션은 GIS 설비와 변압기를 연결하는 선로에 대해 종류(GIB, 케이블)와 길이에 대한 결과를 도출하였다.

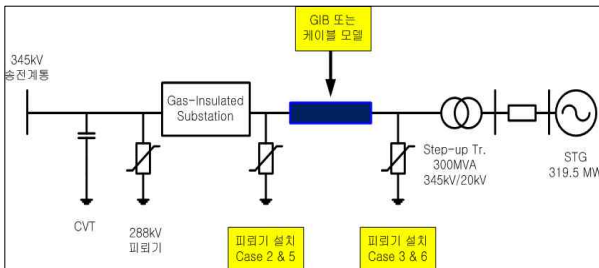


그림 4. 전력계통 뇌격모의 시뮬레이션 등가회로
Fig. 4. Transmission grid Lightning stroke Simulation Equivalent circuit

3. 사례연구를 통한 뇌격시 발생 이상전압 분석

가공선로 및 상도체에 뇌격 시 345kV GIS switch yard 와 step-up 변압기 GIB 또는 케이블(XLPE)로 연결된 계통에서 가공지선에 뇌격전류가 가해졌을 경우 선로길이에 따라 L, C 값 및 변곡점에서의 진행과 반사파계수 및 전파속도에 따라 이상전압의 크기가 달라지므로 선로 길이별, 피뢰기 설치 위치별 각 기기에서 발생하는 이상전압의 크기 및 형태를 과도해석 프로그램을 통해 확인하였다. 표 1은 각 사례별 시뮬레이션 조건에 대해 설명한 것이다.

표 1. 각 case에 대한 시뮬레이션 회로 구성
Table 1. Simulation Circuit construction for each case

구분	GIS switch yard와 step-up 변압기 연결 구성요소	피뢰기 설치 위치 (GIB 또는 케이블 1차, 2차측)
case 1	GIB	설치하지 않음
case 2		GIS switch yard 인근
case 3		Step-up 변압기 인근
case 4	케이블 (XLPE 2,000mm ²)	설치하지 않음
case 5		GIS switch yard 인근
case 6		Step-up 변압기 인근

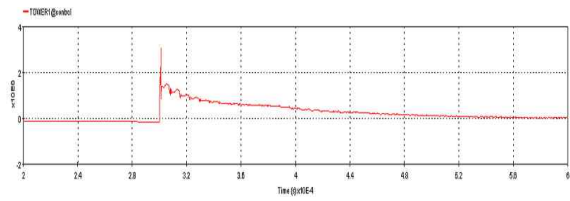
3.1 뇌격 시 이상전압 발생 크기 및 형태

앞선 2.3절과 같이 등가모델을 구성하고 표 1과 같이 각 상황별 모의를 진행할 결과는 아래와 같다. 그림 5와 그림 6은 case 1과 case 4에 대한 결과이다. 그림 5에서 가공지선에 뇌격 시 EMTP-RV로 시뮬레이션 결과, 각 기기에 가해지는 이상전압의 크기 및 형태를 나타내고 있으며, 특히 step-up 변압기 측에 가해지는 이상전압의 크기가 가장 크며, 파형 형태가 다른 기기들과는 차이를 보인다.

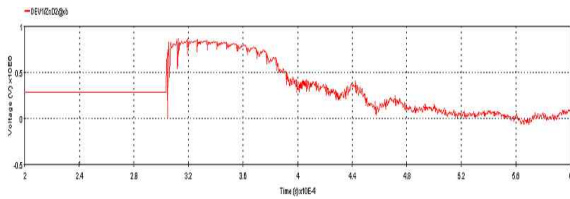
3.2 사례연구 결과분석

표 2는 뇌격전류가 각각 가공지선과 상도체에 인입한 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 수치적으로 정리한 것이다. 표 3은 GIS와 변압기 간에 선로 구성이 케이블일 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그리고 그림 7~12는 표 2에서 설명한 피뢰기의 설치 위치에 따른 시뮬레이션 결과이다. 이 시뮬레이션 결과를 통해 가공지선에 뇌격 시 인입측에 피뢰기가 설치되어 있더라도 345kV GIS switch yard 측 또는 step-up 변압기 측에 피뢰기를 설치하지 않으면 step-up 변압기에 인가되는 이상전압의 크기는 step-up 변압기의 BIL 값보다 커서 절연과파 우려가 있음을 알 수 있으며, 피뢰기를 설치하는 경우 345kV GIS switch yard 측 보다 변압기 측에 설치하는 것이 유리함을 알 수 있다.

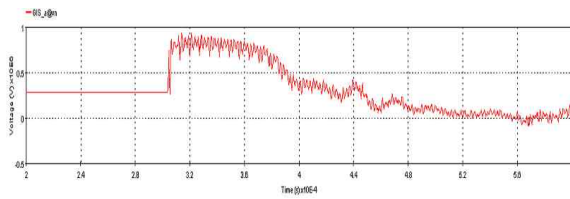
345kV 송압용 변전소의 뇌격에 의한 이상전압 해석



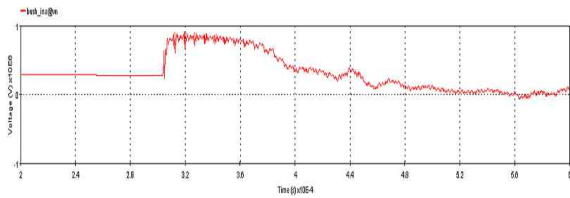
(a) 입상철탑



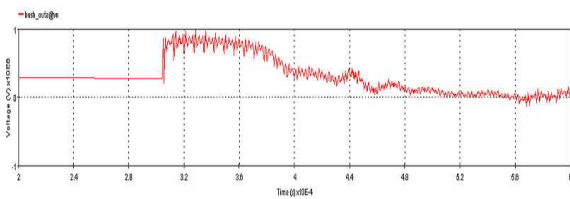
(b) 피뢰기(GIS 송전계통측)



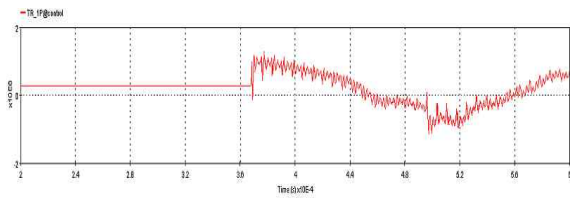
(c) GIS



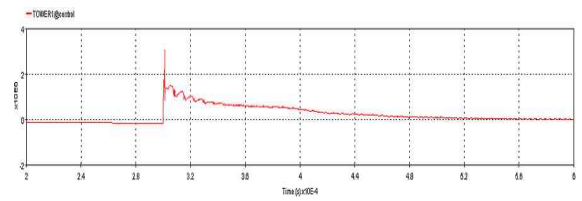
(d) GIS 부상1



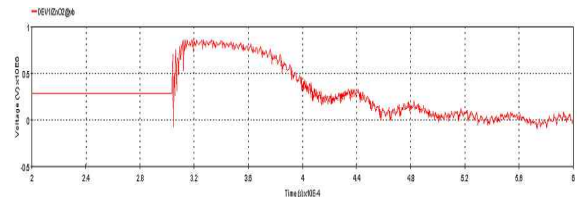
(e) GIS 부상2



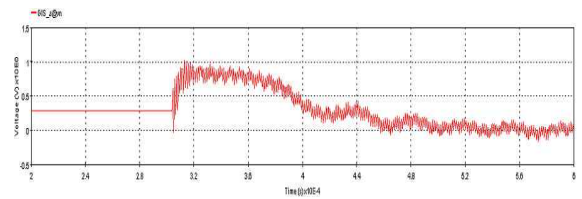
(f) step-up 변압기 1차측



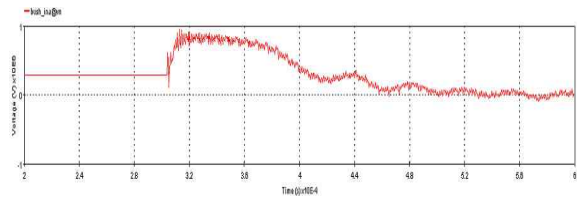
(a) 입상철탑



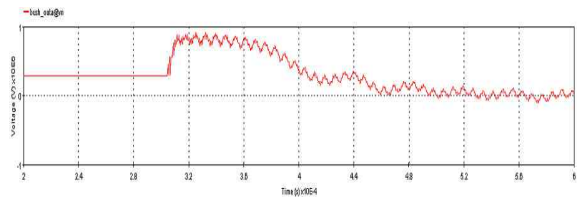
(b) 피뢰기(GIS 송전계통측)



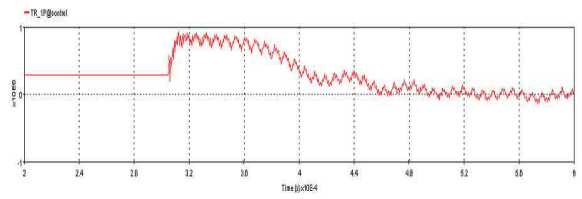
(c) GIS



(d) GIS 부상1



(e) GIS 부상2



(f) step-up 변압기 1차측

그림 5. case 1에 대한 이상전압 파형
Fig. 5. Transient voltage Waveform for case 1

그림 6. case 4에 대한 이상전압 파형
Fig. 6. Transient voltage Waveform for case 4

표 2. 뇌격지점에 따른 각 기기의 이상전압 크기(GIB)
Table 2. Transient Voltage value according to lightning stroke point(GIB)

(단위: kV)

뇌격 지점	GIB 길이	입상 철탑	피뢰기 (GIS송전 계통측)	GIS 부상1 (송전단)	GIS	GIS 부상2 (발전단)	step-up 변압기
가공 지선	50m	3,040	865	909	941	971	1,281
	100m	3,030	866	911	933	973	1,284
	150m	3,027	866	912	933	973	1,278
	200m	3,026	866	912	934	974	1,272
	300m	3,026	866	912	934	974	1,261
상 도체	50m	1,527	937	1,042	1,164	1,167	1,938
	100m	1,512	938	1,044	1,169	1,171	1,958
	150m	1,509	938	1,045	1,170	1,172	1,959
	200m	1,508	938	1,045	1,170	1,172	1,958
	300m	1,507	938	1,045	1,170	1,172	1,953

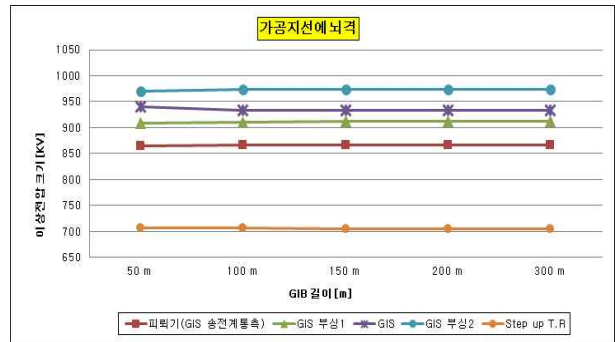


그림 9. case 3에 대한 각 기기의 이상전압 크기
Fig. 9. Transient voltage value of each equipment for case 3

표 3. 뇌격지점에 따른 각 기기의 이상전압 크기(cable)
Table 3. Transient Voltage value according to lightning stroke point(cable)

(단위: kV)

뇌격 지점	케이블 길이	입상 철탑	피뢰기 (GIS송전 계통측)	GIS 부상1 (송전단)	GIS	GIS 부상2 (발전단)	Step up 변압기
가공 지선	50m	3,028	871	953	1,023	909	925
	100m	3,028	876	957	969	951	974
	150m	3,028	867	1,002	1,142	989	1,009
	200m	3,028	858	907	967	917	935
	300m	3,028	828	845	901	826	851
상 도체	50m	1,511	963	1,074	1,196	1,166	1,411
	100m	1,511	963	1,073	1,195	1,165	1,408
	150m	1,511	963	1,072	1,194	1,164	1,405
	200m	1,511	962	1,070	1,191	1,161	1,398
	300m	1,511	964	1,091	1,250	1,193	1,464

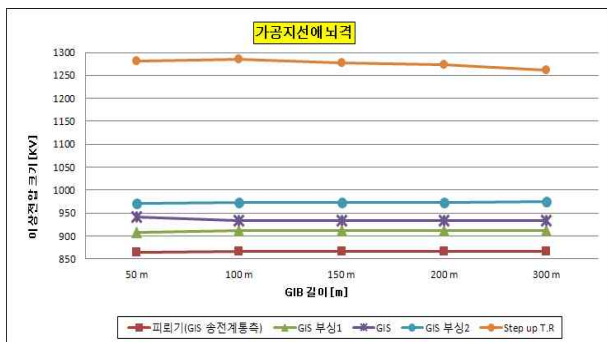


그림 7. case 1에 대한 각 기기의 이상전압 크기
Fig. 7. Transient voltage value of each equipment for case 1

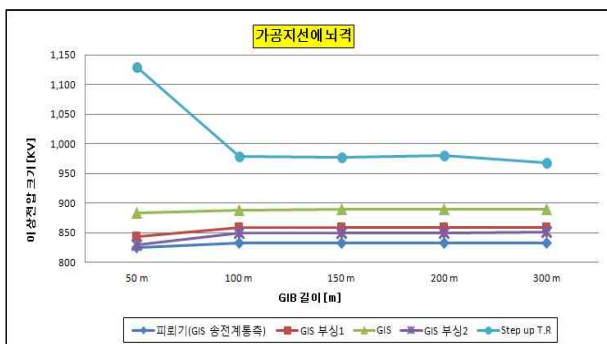


그림 8. case 2에 대한 각 기기의 이상전압 크기
Fig. 8. Transient voltage value of each equipment for case 2

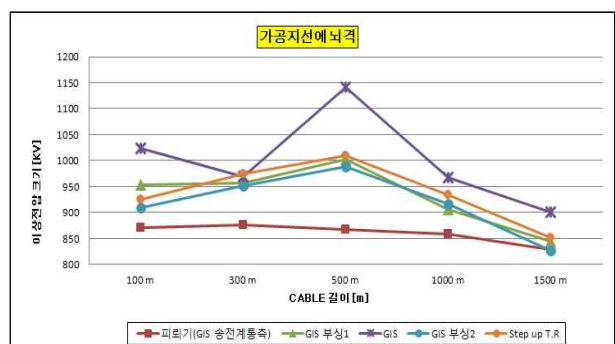


그림 10. case 4에 대한 각 기기의 이상전압 크기
Fig. 10. Transient voltage value of each equipment for case 4

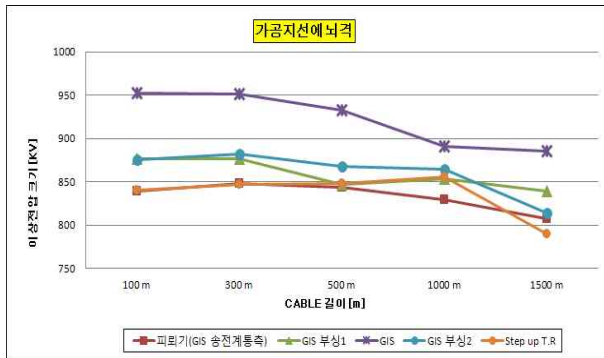


그림 11. case 5에 대한 각 기기의 이상전압 크기
Fig. 11. Transient voltage value of each equipment for case 5

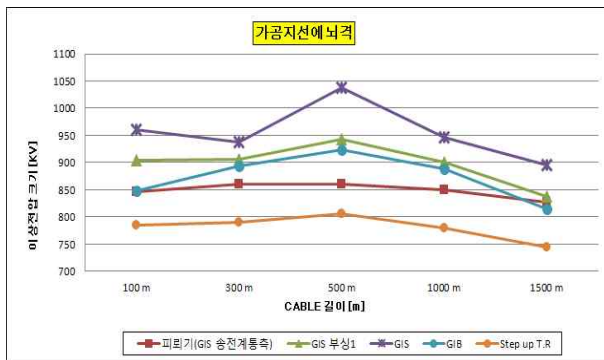


그림 12. case 6에 대한 각 기기의 이상전압 크기
Fig. 12. Transient voltage value of each equipment for case 6

4. 결 론

본 논문은 대형 발전소에 부속된 345kV 송압변전소의 절연협조 방안을 피뢰기 설치위치 case별로 심층 분석하여 피뢰기 설치가 꼭 필요한 경우와 피뢰기 설치가 불필요 경우 및 가장 효과적인 피뢰기 설치 위치를 제시하여 신뢰도 확보 방안 및 합리적인 비용절감 방안 도출 목적으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

가. 상도체에 뇌격이 인가되는 경우 많은 case에서 피뢰기가 설치되어 있음에도 불구하고 각 기기에 검출되는 이상전압의 크기가 각 기기의 BIL 값 이상으로 발생됨으로 반드시 상도체는 가공지선에 의한 보호각도 범위 내에서 보호 되도록

하여야 함을 유추할 수 있다.

나. 가공지선에 뇌격이 인가되는 경우 345kV switch yard GIS와 step-up 변압기 사이가 GIB로 연결시 345kV switch yard GIS 측 또는 step-up 변압기 측에 피뢰기를 설치하지 않을 경우 GIB 길이에 상관없이 이상전압의 크기가 step-up 변압기의 BIL값보다 커서 절연이 파괴될 수 있다. 따라서 본 case의 경우는 반드시 피뢰기를 설치하여야 하며, 피뢰기 설치 시 345kV switch yard GIS 측 보다는 step-up 변압기 측에 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

다. 345kV switch yard GIS와 step-up 변압기 사이가 케이블로 연결 시 가공지선에 뇌격이 인가되는 경우 345kV switch yard GIS 측 또는 step-up 변압기 측에 피뢰기를 설치하지 않아도 케이블 길이에 상관없이 이상전압의 크기가 각 기기의 BIL 값보다 작아서 절연협조를 만족한다. 그러므로 본 case의 경우는 피뢰기를 설치하지 않아도 무방함을 알 수 있었다. 다만 확실적으로 회박하지만 상도체에 뇌격이 가해지는 경우 각 기기에 가해지는 이상전압의 크기가 BIL 값보다 커져 절연이 파괴 될 수도 있으므로 중요도 측면에서 선택적인 피뢰기 설치 여부가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Jung-Hoon Kim et al., "Electric Power Transmission system Engineering", KIEE, munundang, 2010.
- [2] Masoud Farzaneh, William A. Chisholm, "Insulators For Icing AND Polluted Environments", 2009.
- [3] R.E.James and Q.Su, "Condition Assessment of High Voltage Insulation in Power System Equipment", IET Power and Energy Series 53, 2008.
- [4] N.H.Malik, A.A.Ai-Arainy, M.I.Qureshi, "Electrical Insulation in Power Systems", 1998.
- [5] Hermann Koch, "Gas Insulated Transmission Lines", 2012.
- [6] W.DIESENDORF, Dr.Techn.Sc, "Insulation Co-ordination in High-voltage Electric Power Systems", 1974.
- [7] Jae-Kwan Kim, Jong-Beom Lee, and Han-Goo Cho, "Analysis of lightning surge on the 345KV Gas Insulated Substation", 2003 KIEE Summer Conference, 2003. 07.
- [8] KEPCO, "Substation Design Standard(surge arrester)", 2008. 06.

[9] Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, Young-Hwan Chung, and Seok-Jeong Ryu, "Analysis of rate-of-rise of MFTO in QS using EMTP-RV", 2010 KIEE Summer Conference, 2010. 07.

◇ 저자소개 ◇



조만영 (趙萬英)

1962년 2월 10일생. 숭실대 전기공학과 졸업. 2008년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 조엔지니어링 대표이사. 발송배전기술사.

E-mail : cmylee@hanafos.com



신호전 (申浩傳)

1967년 2월 5일생. 2005년 경기공업대 전자통신과 졸업. 2011년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 발송배전기술사.

E-mail : elecsea@naver.com



허재선 (許宰善)

1985년 1월 23일생. 2003년 숭실대 전기공학부 졸업. 2011년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

E-mail : jasonh@ssu.ac.kr



김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업, 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수. 본 학회 감사.

E-mail : jckim@ssu.ac.kr