

DC 혼합배전시스템에서 지중계통의 뇌과전압 해석

Lightning Surge Analysis on Underground System in DC Combined Distribution System

안 천 용* · 이 중 범†
(Chun-Yong An · Jong-Beom Lee)

Abstract - This paper describes the overvoltage through lightning surge analysis on underground system in DC combined distribution systems. It is considered that operating micro grid including distributed generation with smart grid can make possibility of composing new distribution system different from existing one. However, there are many papers about low voltage DC distribution in grids or buildings but not many about replacement or distributing 22.9kV AC distribution system to DC system. Among many research need for DC system development, overvoltage is studied in this paper. Overvoltage is simulated on DC cable when lightning strikes to overhead grounding wire which is installed at the nearest location from power cable section. Analysis as well as modeling is performed in EMTP/ATPDraw. It is evaluated that analysis results can be used to design of DC underground distribution power cable system.

Key Words : EMTP, DC distribution system, DC combined distribution system, Lightning surge, Overvoltage

1. 서 론

현재 우리나라의 배전계통은 154/22.9kV 변전소로부터 AC 전력이 가공선로나 지중선로를 통하여 대수용가에 직접 공급되거나 주상변압기를 거쳐 가정용 수용가에 공급되고 있다. 그러나 장차 분산전원이 포함되는 마이크로 그리드와 이들이 상호 연계된 스마트 그리드의 운용이 이루어진다면 기존과는 시스템이 다른 새로운 배전전압 및 배전계통이 구성될 것으로 전망되어지고 있다. 분산전원과 각종 부하를 결합하는 전력망을 AC 또는 DC 중 어느 방식을 선택하느냐에 따라 AC 마이크로 그리드와 DC 마이크로 그리드로 나누어 질 수 있다. AC 마이크로 그리드는 기존의 배전계통을 그대로 활용하는 장점을 가지고 있지만, AC 계통의 단점인 동기화, 안정도, 무효전력소모의 문제가 내재되어 있다. 한편, DC 마이크로 그리드는 분산전원에서 발생하는 전력을 모두 DC로 변환하여 통합 한 후 배전계통의 한 지점에서 인버터를 통해 연계하는 방식이기 때문에 AC 마이크로 그리드가 갖고 있는 많은 문제점이 발생하지 않으며, 하나의 인버터로 배전망과 연계하므로 비용이 낮고, 보호나 감시도 용이한 장점을 갖게 된다[1][2].

따라서 앞으로 이러한 환경 하에서 배전계통에 대두되고 있는 것이 바로 DC 배전계통이며 이 시스템은 머지않아 현재의 AC 배전계통을 대체할 수도 있을 것으로 전망된다. 만일 DC 배전계통이 이루어진다면 이는 일반적으로 농어촌보다는 도심지에 많이 차지할 것으로 예상되며, 이러한 계통의 운용을 위해서는 이에 관련된 계통 설계, 선로 설계, 기

자재개발, 케이블, 접속재, 절연설계, 계통해석, 고장해석, 보호 등 다양한 기술개발이 필요할 것이다. 현재 DC배전계통에 대한 국·내외 연구사례들은 건물 또는 그리드 내의 저압 DC 배전에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 뿐만 아니라 현재 가공이나 지중으로 운용되고 있는 배전급 22.9kV AC배전계통을 DC 계통으로 대체하거나 신설하는 방안에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 장차 배전급 22.9kV AC 배전계통을 대체할 가능성이 있는 DC 배전계통을 검토하기 위해 사전 연구차원에서 DC 가공선로와 DC 지중선로는 모두 아직 실제 운용되고 있지는 않지만 DC 가공선로와 지중케이블 CV 케이블이 혼합 연결되어 운용되는 DC 혼합배전계통을 고려한 후 이에 대해 모델링하였다. 그리고 다양한 해석이 가능하지만 본 연구에서는 직류 혼합배전계통에서 모델링의 타당성과, 가공선로에 서지 침입시 지중선로에 발생하는 과도전압을 해석하는 것에 중점을 두었으며, 이를 위해 케이블과 접지, 피뢰기 등을 기존의 AC 배전계통을 참고로 모델링하였다. 전압의 선정은 우리나라 AC 22.9kV 배전계통의 일반적이 부하와 전류를 고려하여 Bipolar DC±20kV로 선정하였다[3]-[6].

이에 따라 본 논문에서는 DC 혼합배전선로에서 지중케이블이 인입된 지점에서 가장 가까운 전주의 가공지선 및 상도체에 뇌격을 침입시킨 가장 가혹한 상태에서 DC 지중배전케이블에 어느 정도의 과전압이 발생하는가를 검토하기 위한 뇌 과전압 해석을 하였으며, 해석을 위해 EMTP/ATPDraw 사용하였다. 본 연구에서 얻은 연구결과는 향후 DC 배전계통을 계획하는데 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 배전계통 모의

2.1 가공선로

본 논문에서는 DC 배전계통을 모델링하기 위하여 우선

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University, Korea

E-mail : ipower@wku.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University, Korea

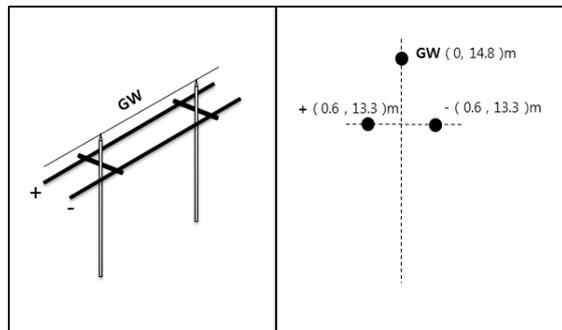
Received : February 13, 2013; Accepted : May 3, 2013

국내에서 현재 운용중인 AC 배전계통의 선로구성 및 조건을 기반으로 하여 변경시킨 선로를 모델링 하였다. 먼저 본문에서 사용한 ACSR 전선의 규격은 표 1과 같다.

표 1 ACSR 전선의 규격
Table 1 ACSR wire standard

공칭단면적	외경 [mm]		전기저항 [Ω/km]
	알루미늄	강	
ACSR 32mm ²	7.8	2.6	0.899
ACSR 160mm ²	18.2	7.8	0.182

AC 배전선로를 기반으로 한 DC 배전선로는 한국전력공사 설계기준 3200에 따라 전주의 길이는 설계기준과 동일하되 DC의 +상과 -상의 간격은 현재 기준이 없는 관계로 기존의 AC 선로보다 상간의 간격을 줄여 그림 1과 같이 구성하여 모델링 하였다[7].



(a) 전주에서의 DC 선로 구성 (b) DC 선로 위치

그림 1 DC 배전선로의 구성도
Fig. 1 Diagram of DC distribution Line

2.2 지중선로

DC 지중배전케이블은 동 테이프 구조로 된 CV 325mm² 케이블을 이용하여 DC 혼합배전계통을 모의하였다.

표 2 CV 325mm² 케이블의 규격
Table 2 CV 325mm² cable specifications

공칭 단면적 [mm ²]	도체 외경 [mm]	절연 두께 [mm]	시스 두께 [mm]	완성품 외경 [mm]	도체 저항 [Ω/km]
325	21.7	8.0	3.0	47	0.0568

표 2은 CV 325mm² 케이블의 규격표 이다. 케이블 제조회사마다 규격의 사이즈는 조금씩 다르기는 하지만 구조와 형태는 거의 같다. 그림 2(a)에서 CV 325mm²케이블 구조로는 케이블 안쪽으로부터 도체 - 도체스크린 - 절연체 - 절연체스크린 - 외피 순으로 되어있다. 그림 2(b)는 케이블 규격에 맞게 EMTP 툴을 이용하여 얻은 케이블모델링 그림이다.

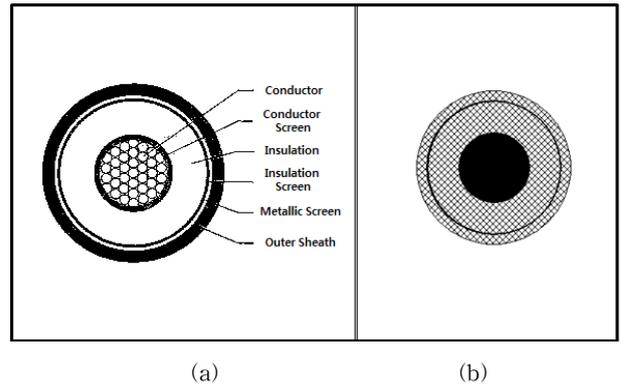


그림 2 CV 325mm² 케이블 구조 및 모델링
Fig. 2 CV 325mm² cable structure and modeling

2.3 피뢰기

본 논문에서 피뢰기는 현재 DC 배전용 피뢰기가 없는 관계로 현행의 AC 배전시스템에서 사용하는 ZnO 갭리스 피뢰기를 사용하였다. ZnO 갭리스 피뢰기는 기존의 SiC에 비해 비선형성이 우수하다. 또한 ZnO 소자는 정상상태에서 매우 작은 전류밖에 흐르지 않기 때문에 직렬갭을 생략한 갭이 없는 피뢰기를 사용한다. 갭리스형 피뢰기는 Gap피뢰기에 비해 동작채무성능이 좋고 열 흡수가 탁월하여 과전압 방전 이후에 속류 차단이 우수하다. 또한 내 오염특성이 좋고 구조가 간단하여 널리 사용되고 있다. 현재 국내 배전계통에 적용되는 피뢰기 규격에서는 배전용 피뢰기의 정격전압으로 18kV, 21kV, 24kV에 대해 규정하고 있다[8]. 본 논문에서 사용한 피뢰기의 V-I특성은 다음 표 3과 같다.

표 3 피뢰기 V-I특성
Table 3 V-I characteristic of lightning arrester

Gapless ZnO 피뢰기 V-I특성	
I [A]	U [V]
0.001	39,800
80	41,040
134	41,880
600	46,380
1,340	49,020
2,610	52,140
5,000	58,380
10,240	64,200

2.4 가공지선 접지 및 피뢰기 접지

현재 DC배전계통에서 접지관련기준이 없는 관계로 가공지선과 피뢰기 접지는 설계기준-3500(접지공사)와 설계기준-3800(배전선내뢰기준)에 따라 중성선은 무시하고 100m 간격으로 접지하였으며, 가공지선의 접지 저항 값은 식 (1)에 의하여 계산식을 이용하여 적용하였다[9]-[10].

$$1.2 \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)} \right) = 5 [\Omega/km] \quad (1)$$

또한 피뢰기 접지 저항은 설계기준에 따라 25Ω으로 적용하였으며, CV 케이블은 중성선이 없는 관계로 비접지방식으로 모의하였다.

2.5 DC 배전계통 정상상태 모의

본 논문에서 DC 배전계통은 가공선로 ACSR 160mm²의 상도체 +상과 -상으로, 가공지선은 32mm²로 모의 하였다. 또한 가공선로의 총 공장은 1km이며, 전주사이의 표준 경간은 50m이다. 지중케이블은 CV 325mm²로서 케이블의 총 공장은 1km로, +상과 -상 두 개의 케이블을 모델링 하였다. 따라서 그림 5(a)는 본 논문에서 해석하려고 하는 DC혼합배전계통의 구성도이고, 그림 5(b)는 DC 배전계통이 정상상태일시 bipolar ±20kV의 파형을 보이고 있다.

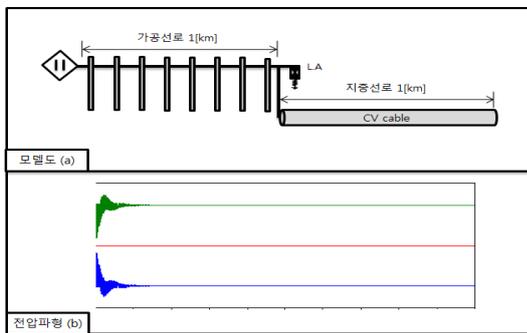


그림 3 DC 배전계통 모델링
Fig. 3 DC distribution system modeling

2.6 뇌격전류

보통 배전선로의 뇌격전류의 크기는 수십kA이기 때문에 가까운 전주에 피뢰기나 보호기기가 없을 경우 직격할 지점의 선로에서는 수MV의 전압이 발생한다.

가공선로에서의 서지전압이 케이블에 유입될 경우 케이블에 발생하는 투과전압과 반사전압은 식 (3)과 같으며, 도식적으로 나타내면 그림 3과 같다. 단, 분기점이나 피뢰기 등의 의한 변이점을 갖지 않을 경우이다.

$$\begin{aligned} \cdot \text{반사전압} \quad v_b &= \frac{Z_{c2} - Z_{c1}}{Z_{c2} + Z_{c1}} \cdot v_f \\ \cdot \text{투과전압} \quad v_t &= \frac{2 \cdot Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \cdot v_f \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, Z_{c1}, Z_{c2} = 가공선로와 케이블의 서지 임피던스

2.6.1 뇌격전류 모의

본 논문에서는 뇌과전압을 해석하기 위해 사용할 뇌격전류는 배전계통에서 일반적으로 가혹한 크기인 과고치 15kA 및 20kA를 선정하였으며, 국내외에서 주로 사용하고 있는 파두장 및 파미장, 2/70μs의 뇌격전류를 Heidler Type으로

모의하였다. 또한 이 뇌격전류를 가공선로의 가공지선과 상도체에 침입시켜 모의한 후 케이블에서 발생하는 과전압을 EMTP로 모델링하여 해석하였다. 표 4는 본 논문에서 사용한 뇌과전압 해석 조건이며, 그림 4는 사용된 뇌격전류 파형을 보이고 있다.

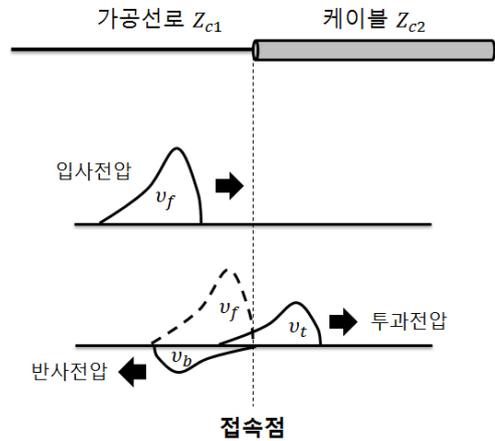


그림 4 가공선로와 케이블의 접속점에서 반사전압과 투과전압
Fig. 4 Reflection and transmission voltage at junction of overhead line and cable

표 4 뇌서지 해석조건

Table 4 Analytical conditions of lightning surge

조 건	항 목
뇌격전류 및 파형	2/70μs , Heidler
뇌도 임피던스	400Ω
뇌격전류 과고치	15kA, 20kA

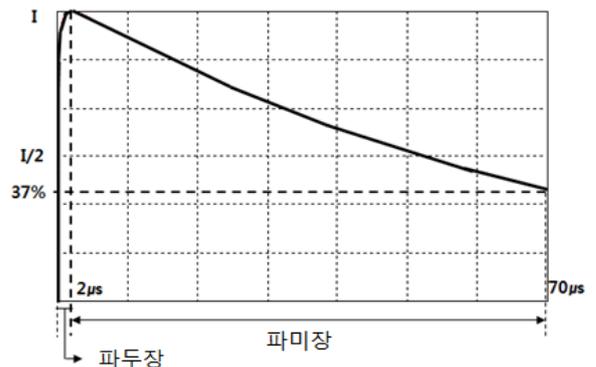


그림 5 뇌격전류파형
Fig. 5 Wave form of lightning stroke current

3. 과도현상 해석

본 논문에서는 과도해석을 수행하기에 앞서 먼저 표 5와 같이 Case를 나누어 해석 대상을 다양하게 나누었다. Case를 다양하게 해석 하여 앞으로의 DC 배전계통의 설계를 위

표 5 Case 해석

Table 5 Case analysis

Case	내 용	뇌격전류
Case 1	입상전주로부터 50m 지점의 가공지선에 뇌격이 침입하였을 경우 케이블의 과전압 (피뢰기 유, 입상전주 접지저항 10Ω 및 25Ω)	20kA
Case 2	입상전주로부터 50m 지점의 가공선로 상도체에 뇌격이 침입하였을 경우 케이블의 과전압 (입상전주에 피뢰기 유와 무)	15 kA
		20 kA
Case 3	입상전주로부터 50m 지점의 가공선로 상도체에 뇌격이 침입하였을 경우 케이블의 과전압 (입상전주 및 케이블 말단에 피뢰기 유와 무)	15 kA
		20 kA
Case 4	입상전주로부터 50m 지점의 가공선로 상도체에 뇌격이 침입하였을 경우 케이블 길이에 따른 과전압 영향(입상전주 피뢰기 유)	15 kA
		20 kA

해서는 BIL을 필수적으로 수립하여야 하는 바, 본 논문에서 얻은 해석결과는 DC 배전계통에서 BIL을 수립하는데 필요한 기초 자료가 될 것으로 사료된다.

3.1 Case 1

Case 1은 케이블 입상전주로부터 50m 지점인 가공지선에 뇌격이 침입하였을 경우를 모의한 것이다. 이때 가공지선과 피뢰기의 접지는 설계기준에 따라 1m이상의 거리로 따로 접지하게 된다. 입상전주에 가공지선 접지 저항 값은 25Ω 이하이며, 입상전주의 피뢰기 접지 저항 10Ω 이하이다. 따라서 이 Case에서는 입상전주에 가공지선이 10Ω으로 접지하였을 경우와 25Ω으로 하였을 때의 케이블에 발생하는 과전압을 해석하였다. 이는 추후에 DC배전계통에서 접지관련에 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

그림 6에서는 본 연구에서는 입상전주에서 가공지선이 25Ω으로 접지되었을 때, 배전계통에서 가혹한 뇌격 전류 20kA의 경우에 케이블 입상 지점, 중간지점, 말단지점에서의 과전압을 해석한 과전압 파형이다.

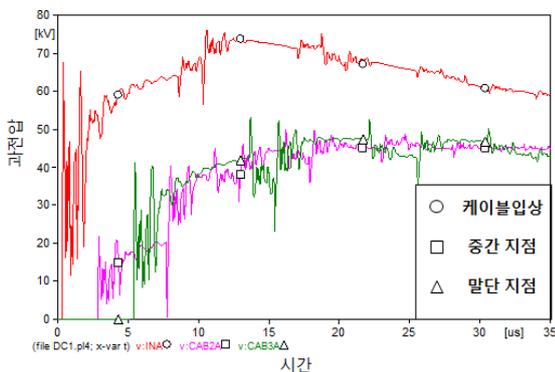


그림 6 케이블의 각 지점에서 발생된 과전압 (뇌격전류 20kA)

Fig. 6 Overvoltage at each point of cable (20kA)

입상지점에서는 약 68kV의 과전압이 케이블에 발생되었으며, 케이블 중간지점의 최대 과전압은 약 50kV, 말단지점

에서는 약 53kV가 발생하였다.

다음은 입상전주에서 가공지선이 10Ω으로 접지되었고, 뇌격전류가 20kA일 때의 과전압을 해석하였다. 해석결과와 그림 7과 같다.

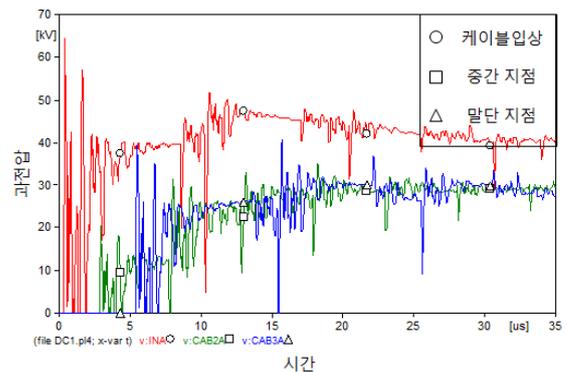


그림 7 케이블의 각 지점에서 발생된 과전압 (뇌격전류 20kA)

Fig. 7 Overvoltage at each point of cable (20kA)

접지 저항을 10Ω으로 하였을 때 케이블 입상의 과전압은 약 65kV였다. 즉 25Ω으로 접지하였을 때보다는 과전압이 다소 작았으나, 접지 저항 10Ω과 25Ω의 경우 모두 과전압에는 큰 차이가 발생하지는 않았다.

3.2 Case 2

Case 2에서는 입상전주 50m지점에 15kA와 20kA의 뇌격이 가공지선이 아닌 상도체에 침입하였을 경우를 모의하여 해석한 경우다. 또한 입상전주에 피뢰기가 설치되어 있는 Case와 되어 있지 않은 Case로 나누어 해석하였다. 피뢰기의 접지 저항은 설계기준-3800(배전선 내뢰기준)에 따라 10Ω으로 선정하여 접지하였다. 그림 8은 뇌격전류 20kA의 경우 케이블 지점에 따른 해석결과를 보여주고 있다.

먼저 피뢰기가 설치되지 않은 Case에서는 입상전주 50m 지점에서 20kA의 뇌격이 +상의 직접 침입하였을 경우 그림 8(a)에서와 같이 케이블 입상에 약 800kV의 과전압이 발생하였다. 케이블 중간인(b) 500m 지점에서는 입상지점보다

전과속도 관계로 약 2.5 μ s 후에 도달하였으며, 이때의 과전압은 347kV의 과전압이 발생하였다. 하지만 말단(c)에서 더 큰 과전압이 반사되면서 두 번째 파형은 중첩이 되어 더 높은 과전압이 발생하였다. 이때의 과전압은 첫 번째 과전압보다 약 133kV가 증가한 480kV의 과전압이 발생하였다. 한편 케이블 말단지점에서는 개방상태이기 때문에 정의 반사가 발생하여 진행파와 반사파가 중첩이 되어 약 668kV의 과전압이 발생하였다.

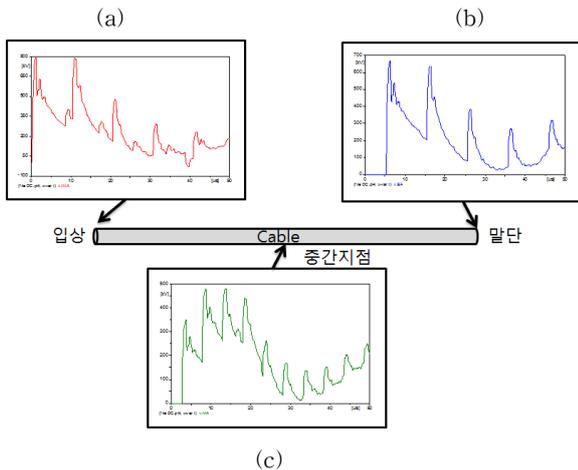


그림 8 케이블 각 지점에서 발생된 과전압 (뇌격전류 20kA)
Fig. 8 Overvoltage at each point of cable (20kA)

따라서, 케이블의 반사파 영향을 알아보기 위해서 케이블의 서지임피던스를 같은 값을 입력하여 반사가 일어나지 않도록 말단에 정합 처리하여 해석하였다. 해석결과 그림 9에서는 말단을 개방하여 반사파를 고려하지 않은 경우와 말단을 정합하여 반사파를 없앤 파형을 비교한 것이다. 케이블 말단에서 반사파가 발생하는 경우가 발생하지 않는 경우 보다 약 1.8배 정도 과전압이 더 발생하였다.

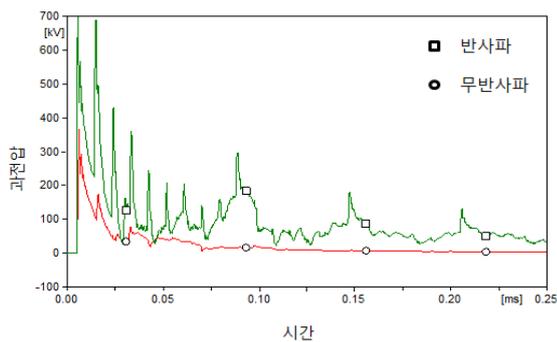


그림 9 케이블에서 반사파 영향 비교
Fig. 9 Effect Comparison of the reflection wave on cable

다음 입상전주에 피뢰기가 설치되었을 경우를 해석한 것으로 피뢰기 접지저항 값 10 Ω 으로 접지하였다. 이 경우에도 뇌격 전류는 20kA와 15kA로 침입시킨 후 해석결과를 비교 검토하였다.

먼저 15kA의 뇌격전류를 입상전주 50m지점 상도체에 침

입시켰을 경우 그림 10에서와 같이 입상전주의 과전압은 152kV이며, 케이블 말단에서는 137kV이 발생하였다. 또한, 20kA의 경우에는 198kV의 과전압이 입상 전주에, 그리고 말단지점에는 163kV의 과전압이 발생하였다.

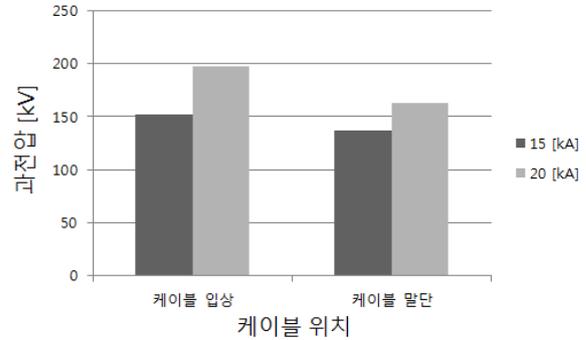


그림 10 케이블 입상지점과 말단지점에서의 과전압 비교
Fig. 10 Overvoltage comparison of starting and ending point on cable

3.3 Case 3

Case 3은 케이블 보호 형태에 따른 과전압 해석이다. Case 2에서 보는 바와 같이 입상전주에 설치되어 있는 피뢰기만으로는 말단에서 발생하는 반사파 때문에 높은 과전압을 피하기 어렵다. 따라서 Case 3에서는 과전압을 낮추기 위한 보호형태로 먼저 입상전주에 피뢰기는 무조건 설치하되, 케이블 말단에도 피뢰기 설치하는 것으로 하고 이에 따른 과전압을 해석하였다. 그림 11은 케이블 말단에 피뢰기 설치한 예를 나타낸 것이다. 케이블 말단의 피뢰기는 입상전주 케이블의 피뢰기와 같은 종류이다.

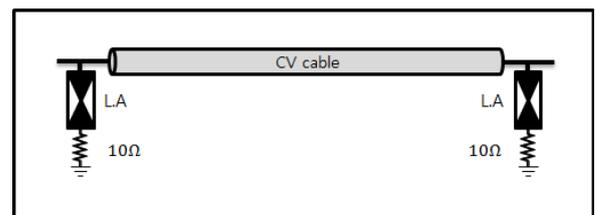


그림 11 말단에 피뢰기 설치
Fig. 11 Installation of lightning arrester at ending point

이 경우 케이블 말단에서 발생하는 반사파는 피뢰기 방전 이후의 전압이 된다. 따라서 그림 12에서 보는 바와 같이 케이블 말단에 피뢰기를 설치할 경우 입상전주에만 피뢰기를 설치한 경우보다 높은 과전압 저감 효과를 보이고 있다. 반사파로 인해 케이블 말단 측에는 비교적 높은 과전압이 발생하기 때문에 케이블 말단에 개폐기, 변압기 등 지중설비가 설치되어 있을 경우 설비들의 심각한 손상이 있을 것으로 사료된다. 또한 케이블 계통에서 높은 과전압은 설비들 뿐만 아니라 케이블 절연체 파괴와 케이블의 열화를 촉진시켜 케이블의 수명을 짧게 한다. 따라서 케이블 말단에 피뢰기를 설치하면 말단에서 발생하는 반사파와 중첩으로 더 커진 과전압을 저감시킬 수 있다.

해석결과 케이블 말단에 피뢰기를 설치하지 않았을 경우는 155kV의 과전압이 발생하지만 피뢰기 설치할 경우는 70kV의 과전압이 발생하였다. 따라서 케이블 말단에 피뢰기를 설치하는 것이 케이블 선로를 보호하는데 훨씬 효과적이라고 사료된다.

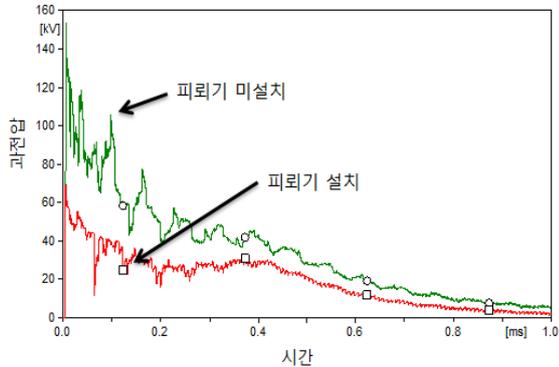


그림 12 케이블 말단에서의 과전압 (뇌격전류 20kA)
 Fig. 12 Overvoltage at ending point of cable (20kA)

한편 20kA의 뇌격전류 경우, 케이블 중간지점에서 그림 13에서 보는 바와 같이 케이블 말단에 피뢰기 설치 시 큰 효과를 얻을 수 있다. 케이블 말단에 피뢰기를 설치하지 않았을 경우 반사파로 인해 과전압이 커지게 된다. 하지만 피뢰기를 설치한 경우는 앞서 언급했듯이 말단에서의 피뢰기 방전 후의 전압만이 반사파로 되돌아온다. 따라서 그림 13에서 보는 바와 같이 피뢰기를 설치한 경우를 보면 반사파는 존재하지만 피뢰기 설치하지 않은 경우보다 작다. 해석결과 피뢰기 미설치 시에는 최고 139kV이 발생하지만 피뢰기 설치시 96kV의 과전압이 발생하여 반사파가 존재하더라도 100kV의 미만의 과전압이 발생하고 있다.

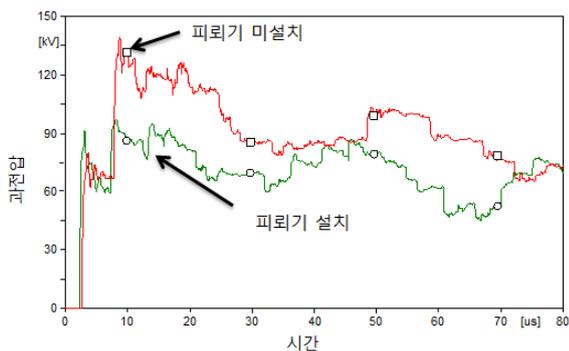


그림 13 케이블 중간지점에서의 과전압 (20kA)
 Fig. 13 Overvoltage at middle point of cable (20kA)

15kA의 뇌격전류 경우 해석결과는 표 6과 같다. 입상 전 주에서는 144kV의 과전압이, 중간 지점에서는 83kV, 말단 지점에서는 64kV의 과전압이 케이블에 발생하였다. 20kA의 과전압보다는 과전압이 낮지만 중단과 말단에서는 비슷한 경향을 보이고 있다.

표 6 15kA의 경우 해석

Table 6 Analysis in case of 15kA

종류	입상	중단	말단
과전압[kV]	144.8	83.4	64.2

3.4 Case 4

배전계통에서는 보호형태도 중요하지만 선로 길이가 가공선로 보다 짧은 지중선로의 경우 이미 해석한 각종 Case에서 보는 바와 같이 반사파로 인한 큰 과전압이 발생함을 알 수 있다. 이는 케이블의 길이가 짧을수록 선로를 따라 진행되는 입상전압의 크기가 작아지기 이전에 되돌아오는 반사파와 신속하게 중첩되기 때문이다. 따라서 이번 Case에서는 케이블 길이가 과전압이 얼마나 더 큰 영향을 주는지를 분석하기 위해 입상전주로부터 50m 지점 가공지선에 20kA, 15kA의 뇌격전류를 침입시켰을 경우 반사파의 영향을 해석하였으며, 이 때 케이블 말단에는 정합하지 않은 상태로 모의하였다.

그림 14는 뇌격전류 20kA의 경우 케이블 길이를 500-1000-1500-2000m 마다 케이블 입상에서와 말단에서의 과전압 결과를 비교하여 보인 것이다.

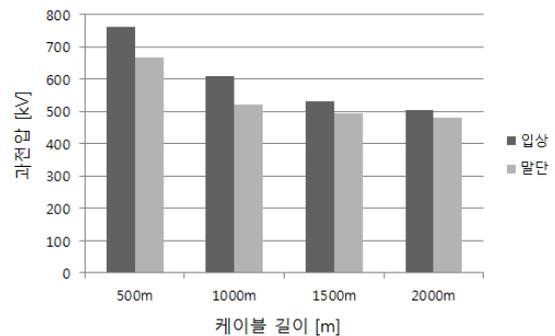


그림 14 케이블 길이별 과전압(뇌격전류 20kA)
 Fig. 14 Overvoltage according to cable length (20kA)

그림 14에서 보는 바와 같이 케이블 길이가 짧아질수록 케이블 입상지점 전압과 말단 지점 과전압이 크게 발생한다. 즉, 케이블로 발생된 뇌서지는 뇌격지점과 케이블 접속점과의 거리 그리고 케이블의 길이 등에 밀접하게 관계됨을 알 수 있다. 또한 투·반사 영향에 의하여 케이블 길이가 짧을수록 과전압이 크게 상승함을 알 수 있다. 따라서 케이블이 짧을수록 말단에 피뢰기를 설치하거나 계통 특성에 따른 보호기기에 대한 적용이 필요함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 가존에 구성되어 운용되고 있지는 않지만 장차 실 배전계통으로 운용될 것으로 예상되는 DC혼합배전계통과 여기에서 가공선로에 뇌서지 침입시 DC 케이블 선로의 과전압을 해석하기 위하여 혼합계통을 모델링한 후 각종 Case를 나누어 과전압을 해석하였다.

- 1) 가공선로의 가공지선에 뇌격이 침입할 경우 입상전주의 가공지선 접지 저항은 25Ω보다는 10Ω으로 하였을 때 약 50kV 정도 과전압을 저감시킬 수 있었다.
- 2) 가공선로의 상도체에 뇌격이 침입 하였을 경우, 입상전주에 피뢰기가 설치되지 않은 경우에는 케이블에는 반사파 영향으로 약 800kV의 높은 과전압이 발생하였다. 또한 입상전주에 피뢰기를 설치하였을 경우 약 150kV의 과전압이 발생하였다.
- 3) 입상전주에만 피뢰기를 설치한 경우 보다 케이블 말단에도 피뢰기를 설치하여야 과전압을 크게 저감시킬 수 있어 케이블 열화 저지는 물론 케이블 말단에 설치된 지중설비를 보호할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 케이블 길이가 짧을수록 반사파로 인한 중첩의 횡수가 증가하게 되면서 더 큰 과전압을 초래하게 된다. 따라서 단거리 케이블 구간에서는 말단에 피뢰기를 설치하여 반사파의 영향을 줄이는 등 더욱 상세한 검토가 필요하다.

본 논문은 직류혼합배전선로에서 가공선로에 직격뇌가 침입하였을 경우 지중선로를 중심으로 과전압을 다양하게 해석하였다. 그러나 우리나라 실정에 맞는 직류혼합배전선로를 설계하기 위하여서는 수많은 조건에서의 연구가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구는 이를 위한 일부 기초연구에 해당되며 계통전압, 선로 구성, 케이블 구조, 절연체 사양 등 많은 조건들이 제시되면 이를 근거로 한 보다 상세한 과전압 해석이 이루어져야만 하며 이를 근거로 직류배전선로에서의 BIL도 결정되어야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] Eung-Sang Kim, "DC Distribution Technology Status and perspective", Journal of the Electrical World/Monthly Magazine, 2010.
- [2] Ju-Yong Kim, "DC distribution technology development prospects in the side of the power provider", Journal of Power Electronics, pp. 28-31, 2010
- [3] Seong-Mun Yun, Chan-Yong Park, Hye-Su Shin, Tae-June Eom, Dong-Jun Won, "Analysis on the Efficiency of DC Distribution System with Renewable Energy and DC Loads" 2010 KIEE Summer Conference, 2010
- [4] DANIEL NILSSON, "DC Distribution System", 2005
- [5] DANIEL NILSSON, "Efficiency analysis of low-and medium-voltage DC distribution systems", IEEE, 2002
- [6] F. Mura, Rik. W. De Doncker, "Design Aspects of a Medium-Voltage Direct Current (MVDC) Grid for a University Campus", ECCE Asia, 8th International Conference on Power Electronics, 2011
- [7] KEPCO, "Design of distribution part(pole) - 3200", 1998. 11
- [8] Sang-Kuk Kim, Chae-Kyun Jung, Jong-Beom Lee,

Wal-Seo Park, "A Study on the Lightning Overvoltage Analysis and Lightning Surge Protection Methods in 22.9kV Underground Distribution Systems" 2004

- [9] KEPCO, "Design of distribution part - 3500(grounding construction)", 2012. 6
- [10] KEPCO, "Design of distribution part -3800(Lightning stroke protection standard in distribution on line)", 2012. 6

Acknowledgment

This work is the outcome of a Manpower Development Program for Marine Energy by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM)

저 자 소 개



Chun-Yong An

was born in Ansan, Korea in 1986. He received his B.S. degrees in Electrical Engineering from Wonkwang University, Korea, in 2011, respectively. Presently, he is pursuing a M.S. degree at Wonkwang University.

Tel : (063)850-6735

E-mail : acy1209@naver.com



Jong-Beom Lee

received his B.Sc., M.Sc. and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Hanyang University, Korea, in 1981, 1983 and 1986, respectively. He worked at the Korea Electrotechnology Research Institute from 1987 to 1990. He was a

Visiting Scholar at Texas A&M University and the Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Switzerland. He is currently a Professor in the Department of Electrical Engineering, Wonkwang University, Korea.

Tel : (063)850-6735

E-mail : ipower@wku.ac.kr