

Analysis on Induced Lightning of a 22.9kV-Y Distribution Line Using a Reduced Model

김 점 식[†] · 김 도 영* · 박 용 범** · 권 신 원*** · 길 경 석[§]
 (Jeom-Sik Kim · Do-Young Kim · Yong-Beom Park · Sin-Won Kwon · Kyung-Suk Gil)

Abstract - This study fabricated a simulation facility which reduced the structure of a current distribution line to 50:1 in order to analyze the induced lightning shielding effect of a 22.9kV-Y distribution line according to ground resistance capacity, grounding locations, etc. When installing an overhead ground wire, the standard for grounding a distribution line with a current of 22.9kV-Y requires that ground resistance in common use with the neutral line be maintained less than 50Ω every 200m span. The reduced line for simulation had 7 electric poles and induced lightning was applied to the ground plane 2m apart from the line in a direction perpendicular to it using an impulse generator. If induced voltage occurred in the line and induced current flowed through the line due to the applied current, the induced voltage and current of the 'A' phase were measured respectively using an oscilloscope. When all 7 electric poles were grounded with a ground resistance of less than 50Ω respectively, the combined resistance of the line was 7.4Ω. When an average current of 230A was applied, the average induced voltage and current measured were 1,052V and 13.8A, respectively. Under the same conditions, when the number of grounding locations was reduced, the combined resistance as well as induced voltage and current showed a tendency to increase. When all 7 electric poles were grounded with a ground resistance of less than 100Ω, the combined resistance of the line was 14.9Ω. When an average current of 236A was applied, the average induced voltage and current of the 'A' phase calculated were 1,068V and 15.6A, respectively. That is, in this case, only the combined resistance was greater than when all 7 electrical poles were grounded, and the induced voltage and current were reduced. Therefore, it is thought that even though ground resistance is slightly higher under a construction environment with the same conditions, it is advantageous to ground all electric poles to ensure system safety.

Key Words : Induced Lightning, Distribution Line, Reduced Model, Overhead Ground Wire, Ground Resistance

1. 서 론

전력계통의 절연설계 및 신뢰성 향상은 뇌과전압과 밀접한 관계를 갖고 있다. 뇌과전압은 철탁 또는 전력선에 낙뢰가 떨어졌을 때 뇌격전류의 크기와 파형에 직접적으로 연관되어 있다. 가공배전선로의 낙뢰는 주요 고장원인의 하나로 전력의 공급 지장을 초래한다. 우리나라의 경우에도 송·배전선로에 낙뢰가 발생하여 인근 지역에 전력공급이 중단되는 사고가 해마다 발생하고 있다[1-3].

낙뢰는 직격뢰와 유도뢰 두 가지로 구분된다. 직격되는 건물 또는 시설이 낙뢰에 직접 맞는 것을 말한다. 반면 유도되는 건물 또는 시설 주변에 낙뢰가 쳐 통선, 전기 등 설비에 영향을 미치는 경우 또는 뇌운 상호간 또는 뇌운과 대지 사이에 방전이 발생하는 경우, 뇌운 아래의 전력선에 이상전압을 발생시키는 경우 등이 있다. 이러한 유도뢰는 직

격뢰에 비해서 발생빈도가 많고 60kV 이하의 송전선에서는 유도뢰전압에 의해서 섬락을 일으킬 수 있다. 유도뢰에 대한 전압 계산 및 실험 등에 대한 연구는 송전선, 배전선과 같은 전력선을 대상으로 하고 있으나 국내에서는 연구가 미진한 실정이다[4-5].

낙뢰에 대한 전기설비의 절연설계 향상을 위한 방법으로 배전선로의 비접지 계통에서 가공지선의 효과에 관한 연구는 비교적 많이 발표되었으나 우리나라와 같은 22.9kV-Y 다중 접지계통에서 유도뢰에 대한 효과를 고려하여 검토한 연구 결과는 많지 않다[6-7]. 이에 대원전기(주)에서 접지저항의 크기와 접지개소에 따른 유도뢰 영향을 분석하였으나 아직 부족한 것이 사실이다[8].

따라서 본 논문에서는 22.9kV-Y 배전선로의 접지저항 크기 및 접지개소에 따른 유도뢰의 차폐효과를 분석하기 위해 현행 배전선로 구조를 50:1로 축소된 모의설비를 제작하였다. 또한 유도전압의 파형 및 크기 등을 분석하여 유도뢰에 대한 접지저항의 영향을 제시하고자 한다.

2. 현행 배전선로의 운영기준

현행 배전선로의 특별고압 선로에 사용되는 설비의 설치 위치는 그림 1과 같다[9]. 전주의 길이는 16m이며, 전주가지면에서 2.5m 이상의 길이로 매설되도록 시공하고 있다.

[†] 교신저자, 정희원 : 대원전기(주) 부설연구소 팀장
 E-mail : jpoint@hanmail.net

* 정희원 : 대원전기(주) 부설연구소 연구원

** 정희원 : 대원전기(주) 상무이사/연구소장

*** 정희원 : 대원전기(주) 기술이사

[§] 종신회원 : 한국해양대학교 전기전자공학부 교수 · 공박

접수일자 : 2010년 10월 1일

최종완료 : 2010년 11월 4일

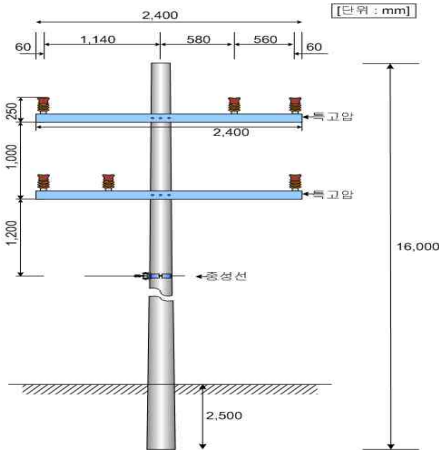


그림 1 배전선로에 적용된 전주 크기 및 설비간격
 Fig. 1 Electric pole size and equipment space applied to the transmission line

특별고압전선과 중선선과의 거리는 1.2m이며, 전선 상호간의 간격은 최소 560mm이다.

현행 선로의 접지기준은 가공지선을 설치할 때 선로 경간 200m 마다 중성선과 공용하여 접지저항 50Ω 이하로 접지시설을 하도록 되어있다[9]. 그림 2는 현행 특별고압 가공전선을 시공할 때 적용하는 도면을 나타낸 것으로 가공지선이 가장 상부에 위치하며, 전력선 및 중성선이 그 하단에 설치된다.

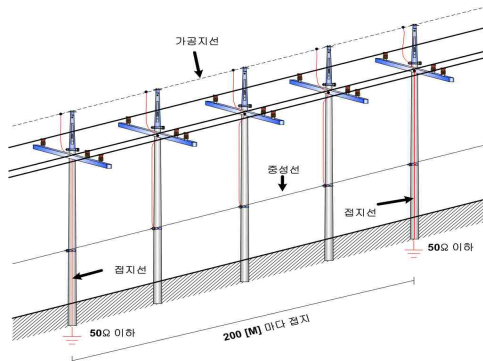


그림 2 배전선로에 시공된 가공지선 및 접지 기준
 Fig. 2 Overhead ground wire installed for the transmission line and its grounding criteria

3. 축소 모의된 배전선로

축소 모의된 배전선로는 전력계통에 동요가 발생한 후 각 타입에 따른 전력계통의 과도현상을 예측하기 위해 도입되었다. 이는 변압기에 미치는 영향, 안테나 및 레이더, 송전선로, 변전소의 전계 및 배전계통의 해석 등에 이용되며 최근에는 EMTP(Electromagnetic Transient Program)와 같이 전력계통의 과도현상을 보다 혁신적으로 정밀하게 계산할 수 있는 해석적 기법과 함께 사용되고 있다. 축소 모의선로는 특히 외부 전계의 자극에 의한 전력 시스템 응답의 평가가 필요한 경우 유용하다[10-11].

이에 본 논문에서는 축소 모의선로를 제작하여 3상 4선식

22.9kV 중성점 다중접지 방식의 계통특성을 해석하고자 한다. 즉, 가공지선과 전력선 및 중성선이 설치된 특별고압 2회선 전선로를 구성하였으며, 실제 선로를 일정 비율로 축소하여 전선로를 제작하였다. 이 때 축소비율 및 구조는 다음 표 1 및 그림 3과 같다.

표 1 축소 모의실험을 위한 가공선로의 축소 비율

Table 1 Reduction ratio of the overhead line for the reduced simulation test

구분	축소비율	단위
선로길이 및 경간	50 : 1	[m]
접지 저항	1 : 1	[Ω]
인가 전류	50 : 1	[A]
도체	50 : 1	-
설치 위치	50 : 1	[mm]

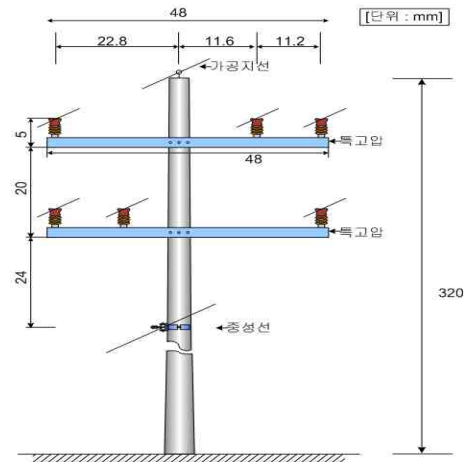


그림 3 축소 모의선로에 적용된 전주 크기 및 설비간격
 Fig. 3 Spacing for electric poles and major equipment configured for the reduced simulation test

유도뢰시험을 위한 시험 설비의 배치는 그림 4와 같이 7개의 전주로 구성되었다. 임펄스 제너레이터(Impulse generator)에 의해 발생한 유도뢰 전류가 선로로부터 직각방향으로 2m 떨어진 지점의 접지면(Ground plane)에 인가된다. 이 전류의 전자기 결합에 의해 선로에 유도전압이 발생하고 유도전류가 흐른다. 이 때 오실로스코프(TDS 3014, Tektronix, 100MHz, 1.25GS/s)를 이용하여 A상에서 유도전압(Tek P5100, Tektronix, DC to 250MHz 10ft, 100x, 2500Vpk 1.75ns, 10MΩ/2.75pF)과 유도전류(TCP 202, Tektronix, 15A peak DC to 50MHz 50A MAX pulse)를 검출하며, 인가전류는 고주파 CT(2878, Pearson, 0.1 V/A, 400A MAX 10Arms, 6ns)를 사용하여 검출하여 고속의 디지털 오실로스코프에 파형을 저장하도록 구성하였다.

임펄스 제너레이터는 최대 360kV까지 충전가능하며 단락시 최대 3kA 전류를 발생시킨다. 이때 임펄스 제너레이터로부터 발생한 아크가 선로에 직접 방전되는 것을 방지하기 위해 그림 5와 같은 격자형의 차폐 공간 내(Faraday cage)에 제너레이터를 설치하여 외부 전자기계의 영향을 받지 않도록 시스템을 최적화 하였다. 본 실험에서는 측정장비 및 선로

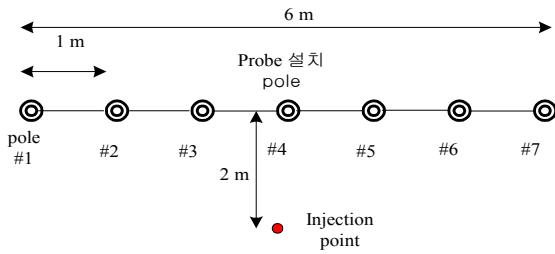


그림 4 축소 모의실험을 위해 구성된 전주의 배치도
 Fig. 4 Arrangement of electric poles configured for the reduced simulation test



그림 5 모의실험에 사용된 임펄스 제너레이터
 Fig. 5 Photograph of the impulse generator used for the simulation test

특성을 고려하여 제너레이터의 출력부에 1,000Ω의 저항을 연결하고 임펄스 제너레이터를 최대로 충전한 후 전극과 접지면 전극 사이를 10cm 간격으로 유지시켜 발생된 아크를 통해 전류를 인가시켰다. 이때 전선로와 전류 인가 지점은 직각이며, 거리는 2m를 일정하게 유지시켰다.

실험이 진행될 때의 측정 프로브 위치는 채널 1(Ch1)은 인가 전류, 채널 2(Ch2)는 A상의 유도전압과 접지(Gnd), 채널 3(Ch3)은 A상 유도전류와 접지(Gnd) 사이를 각각 측정하였다. 또한 모의선로의 말단(1번 전주, 7번 전주)으로부터 발생하는 반사파의 영향을 방지하기 위해 정합저항 480Ω을 말단에 설치하였다. 그림 6은 실제 축소 모의된 배전선로를 구성한 실체사진이다.



그림 6 축소 모의실험을 위한 축소 모의선로(50:1)
 Fig. 6 Photograph of the transmission line for which the reduced simulation test was performed (50:1)

4. 결과 및 고찰

유도뢰 실험은 전주 4번과 직선거리로 2m 떨어진 접지면에 아크를 통해 전류를 인가하고, 제시된 실험조건을 통해 축소 모의된 배전선로의 유도뢰 전압을 측정하여 진행되었다. 데이

터는 각 조건에서 20회를 측정하였으며, 이들의 평균을 취해 결과로 사용하였다. 제시된 실험조건은 표 2와 같다.

표 2 축소 모의실험을 위한 배전선로의 실험 조건

Table 2 Test conditions of the transmission line for the reduced simulation test

구분	접지저항 [Ω]	비고 (접지개소)
Case 1	50	7개소 접지 (Pole #1~#7)
Case 2	50	1개소 접지 (Pole #4)
Case 3	50	2개소 접지 (Pole #2, #6)
Case 4	100	7개소 접지 (Pole #1~#7)
Case 5	100	1개소 접지 (Pole #4)
Case 6	100	2개소 접지 (Pole #2, #6)

여기서, 5W는 가공지선 1가닥, 전력선 3가닥, 중성선 1가닥 등을 의미한다. 현행 배전선로인 3상 4선식 다중접지 방식과 가공지선과 동일한 조건으로 배선하였다. 또한 접지저항의 크기에 따른 유도뢰의 영향을 보코자 현행 접지 시공 기준인 50Ω과 현행 기준보다 다소 높은 100Ω의 저항을 연결하여 실험을 진행하였다. 아울러 다양한 경우의 유도뢰 현상을 모의하기 위해 접지 위치 및 접지개소 수를 변경하여 실험을 진행하였다. 실험결과 전주 7개소 모두를 각각 50Ω의 접지시설이 되었을 때 측정된 주요 데이터는 표 3과 같다. 전선로의 합성저항은 7.4Ω이었으며, 인가 전류가 평균 230A 일 때 A상의 평균 유도전압은 1,052V, 평균 유도전류

표 3 축소된 전주 7개소를 각각 50Ω 이하로 접지 시공했을 때의 측정 값(Case 1)

Table 3 Measured value when 7 reduced electric poles were grounded with a ground resistance of less than 50Ω respectively (Case 1)

No	인가전류 I [A]	유도전압 A상 [V]	유도전류 A상 [A]	선로합성 저항 [Ω]
1	224	941	2.8	7.4
2	231	1,130	16.2	
3	216	962	13.8	
4	218	810	11.4	
5	240	1,310	18.0	
6	232	990	13.2	
7	254	1,240	19.2	
8	224	950	11.4	
9	220	931	12.4	
10*	220	1,080	13.6	
11	228	1,160	14.2	
12	240	1,160	16.9	
13	252	1,290	18.2	
14	240	1,250	16.2	
15	250	1,220	17.6	
16	219	910	11.6	
17	224	980	12.8	
18	224	970	13.0	
19	228	959	12.2	
20	206	792	11.2	
평균	230	1,052	13.8	

는 13.8A로 각각 측정되었다.

전주 1개소를 50Ω 이하로 접지했을 때의 데이터를 표 4에 나타냈다. 접지는 측정점 1개소에 시설되었으며 동일한 조건에서 실험을 20회 반복 실시하였다. 전 선로의 합성저항은 36.8Ω이었으며, 인가 전류가 평균 242A 일 때 A상의 평균 유도전압은 1,166V, 평균 유도전류는 16.4A로 각각 측정되었다. 측정점을 접지하지 않은 상태에서 전주 2개소를 50Ω 이하로 접지했을 때의 데이터를 표 5에 나타냈다. 전 선로의

표 4 축소된 전주 1개소를 50Ω 이하로 접지 시공했을 때의 측정 값(Case 2)

Table 4 Measured value when one electric pole is grounded with a ground resistance of less than 50Ω (Case 2)

No	인가전류 I[A]	유도전압 A상 [V]	유도전류 A상 [A]	선로합성 저항 [Ω]
1	252	1,380	20.8	36.8
2	224	821	11.2	
3	251	1,490	19.8	
4	216	640	10.0	
5	242	1,180	14.8	
6	230	1,070	13.8	
7	270	1,380	22.4	
8	270	1,540	24.4	
9	266	1,430	21.7	
10	240	1,120	13.5	
11*	242	1,150	16.6	
12	253	1,300	18.0	
13	258	1,330	20.8	
14	230	1,070	12.4	
15	206	890	10.2	
16	240	1,020	15.0	
17	230	983	16.0	
18	245	1,250	18.0	
19	234	1,070	14.2	
20	236	1,200	14.6	
평균	242	1,166	16.4	

표 5 축소된 전주 2개소를 각각 50Ω 이하로 접지 시공했을 때의 측정 값(Case 3)

Table 5 Measured value when 2 reduced electric poles were grounded with a ground resistance of less than 50Ω respectively (Case 3)

No	인가전류 I[A]	유도전압 A상 [V]	유도전류 A상 [A]	선로합성 저항 [Ω]
1	239	1,740	18.9	21.8
2	230	1,400	15.8	
3	227	1,290	15.4	
4	242	1,540	17.2	
5	240	1,420	16.1	
6	239	1,390	16.8	
7	238	1,530	15.6	
8	260	1,920	22.2	
9	251	1,760	18.4	
10	240	1,420	16.4	
11	230	1,240	14.6	
12	230	1,220	15.6	
13	220	960	12.2	
14	211	1,110	13.8	
15	224	1,360	15.8	
16	229	1,280	15.0	
17	238	1,280	13.6	
18	232	1,280	16.2	
19	242	1,490	17.2	
20	248	1,220	16.2	
평균	236	1,393	16.1	

합성저항은 21.8Ω이었으며, 인가 전류가 평균 236A 일 때 A상의 평균 유도전압은 1,393V, 평균 유도전류는 16.1A로 각각 측정되었다. 즉, 동일한 조건에서 측정점 비접지 시 접지 개소를 증가시키면 합성저항은 15Ω 감소하나 유도전압은 227V로 오히려 증가하였으며 이때의 유도전류는 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

표 6은 전주 7개소 모두를 100Ω 이하로 접지했을 때의 데이터를 나타낸 것이다. 전 선로의 합성저항은 14.9Ω이었으며, 인가 전류가 평균 236A 일 때 A상의 평균 유도전압은 1,068V, 평균 유도전류는 15.6A로 각각 측정되었다. 즉, 50Ω 이하로 7개 전주 모두를 접지했을 때에 비해 합성저항은 두 배 가까이 증가하였지만 유도전압 및 유도전류는 크게 증가하지 않는 것으로 확인되었다. 또한 50Ω이하로 일부 개소만 접지했을 경우에 비해 그 값이 낮음을 알 수 있다. 따라서 동일한 조건의 공사 환경에서 접지저항이 약간 높다 하더라도 모든 전주를 접지 시공하는 것이 시스템의 안정성 측면은 유리한 것으로 판단된다.

표 6 축소된 전주 7개소를 각각 100Ω 이하로 접지 시공했을 때의 측정 값(Case 4)

Table 6 Measured value when 7 reduced electric poles were grounded with a ground resistance of less than 100Ω respectively (Case 4)

No	인가전류 I[A]	유도전압 A상 [V]	유도전류 A상 [A]	선로합성 저항 [Ω]
1	248	1,270	18.6	14.9
2	240	1,050	16.2	
3	254	1,380	20.6	
4	244	1,220	17.8	
5	238	1,130	16.0	
6	244	1,210	17.8	
7	234	1,170	16.6	
8	221	890	13.1	
9	228	830	12.2	
10	226	970	14.4	
11	226	912	12.6	
12	238	1,110	16.6	
13	230	1,000	15.1	
14	231	1,010	15.2	
15	238	1,030	14.8	
16	230	919	13.6	
17	238	1,130	15.6	
18	234	929	14.8	
19	231	1,030	15.3	
20	241	1,160	16.0	
평균	236	1,068	15.6	

표 7은 동일한 조건에서 전주 1개소를 100Ω 이하로 접지했을 때의 데이터를 나타낸 것이다. 접지는 측정점 1개소에 설치되었으며 이때 전 선로의 합성저항은 56Ω, 인가 전류가 평균 236A 일 때 A상의 평균 유도전압은 1,210V, 평균 유도전류는 12.6A로 각각 측정되었다.

측정점을 접지하지 않은 상태에서 전주 2개소를 100Ω 이하로 접지했을 때의 데이터를 표 8에 나타냈다. 전 선로의 합성저항은 36.4Ω이었으며, 인가 전류가 평균 233A 일 때 A상의 평균 유도전압은 1,386V, 평균 유도전류는 14.9A로 각각 측정되었다. 상기의 결과에서 보여지듯 전주 모두를 100Ω 이하로 접지 시공했을 때보다 일부 개소만 접지했을 경우 합성저항 및 유도전압이 증가하였으며, 유도전류는 약간

표 7 축소된 전주 1개소를 100Ω 이하로 접지 시공했을 때의 측정 값(Case 5)

Table 7 Measured value when one electric pole is grounded with a ground resistance of less than 100Ω (Case 5)

No	인가전류 I(A)	유도전압 A상 (V)	유도전류 A상 (I)	선로합성 저항 [Ω]
1	232	1,260	16.8	56
2	260	1,530	21.6	
3	252	1,270	16.4	
4	248	1,320	16.2	
5	222	840	11.9	
6	224	1,000	12.8	
7	233	1,020	13.2	
8	236	1,150	14.7	
9	240	1,090	14.8	
10	239	1,260	16.0	
11	226	970	12.4	
12	229	1,040	14.6	
13	248	1,260	17.4	
14	236	1,360	16.8	
15	252	1,570	19.6	
16	236	1,320	16.6	
17	230	949	12.6	
18	242	1,340	17.2	
19	242	1,470	18.4	
20	240	1,190	14.4	
평균	238	1,210	12.6	

표 8 축소된 전주 2개소를 각각 100Ω 이하로 접지 시공했을 때의 측정 값(Case 6)

Table 8 Measured value when 2 reduced electric poles were grounded with a ground resistance of less than 100Ω respectively (Case 6)

No	인가전류 I[A]	유도전압 A상 [V]	유도전류 A상 [A]	선로합성 저항 [Ω]
1	220	1,140	11.6	36.4
2	228	1,090	12.6	
3	234	1,520	16.4	
4	244	1,610	15.6	
5	230	1,490	15.6	
6	240	1,380	14.6	
7	242	1,720	18.8	
8	228	1,440	16.0	
9	241	1,370	16.2	
10	230	1,380	15.4	
11	226	1,170	11.8	
12	238	1,450	16.8	
13	234	1,330	13.6	
14	242	1,540	16.0	
15	227	1,330	13.2	
16	220	1,190	14.2	
17	226	1,110	13.0	
18	240	1,720	17.0	
19	242	1,780	18.4	
20	228	969	11.2	
평균	233	1,386	14.9	

감소한 것을 고려할 때 접지개소가 적고 접지저항이 커지면 시스템은 불안정한 것으로 판단된다.

축소 제작된 전선로의 구성에 따른 임피던스가 약간의 차이가 있었지만 각각의 조건에서 측정된 유도전압과 유도전류를 그림 7에 나타냈다. 이 그림에서 알 수 있듯이 유도전압 및 유도전류는 접지저항의 크기보다 전주에 시공된 접지 시설의 개수와 밀접한 함수 관계를 갖는 것으로 확인되고

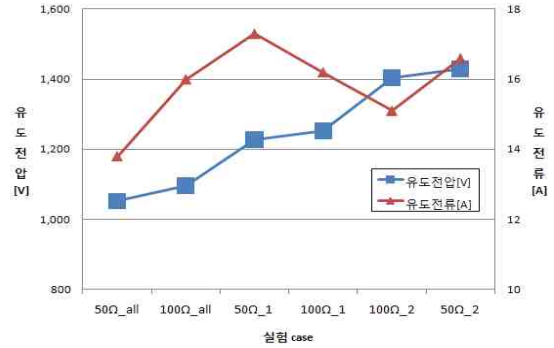


그림 7 축소모의실험에서 측정된 유도전압 및 유도전류
Fig. 7 Induced voltage and induced current that is measured in reduction simulation

있다. 따라서 전주의 접지저항을 낮게 유지하는 것도 중요하지만 더욱 보다 많은 전주를 접지 시공하는 것이 전선로의 안전성 측면에서는 유리함을 알 수 있다.

5. 결 론

배전선로의 접지저항 크기 및 접지개소 등에 따른 유도뢰의 차폐효과를 분석하기 위해서 현행 22.9kV 중성점 다중 접지방식의 배전선로 구조를 축소한 모의실험 분석에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 축소 제작된 전선로의 전주는 7개이며, 유도뢰 인가는 임펄스 제너레이터(impulse generator)를 이용하여 전선로로부터 직각 방향으로 2m 떨어진 지점에서 접지면(ground plane)에 인가하였다. 인가된 전류에 의해 전선로에 유도전압이 발생하고 유도전류가 흐르면 오실로스코프를 이용하여 A상의 유도전압 및 유도전류를 각각 측정하였다.

(2) 전주 7개소 모두가 각각 50Ω 이하의 접지시설이 되었을 때 전선로의 합성저항은 7.4Ω이었으며, 동일한 조건에서 접지 개소를 감소시키면 합성저항은 증가하며, 유도전압 및 유도전류 역시 증가하는 경향을 나타냈다.

(3) 전주 7개소 모두가 100Ω 이하로 접지시설이 되었을 때 전선로의 합성저항은 14.9Ω이었으며, 50Ω 이하로 7개 전주 모두를 접지했을 때에 비해 유도전압 및 유도전류는 크게 증가하지 않는 것으로 확인되었다.

따라서 축소 제작된 전선로의 해석에서 알 수 있듯이 전주의 접지저항을 낮게 유지하는 것도 중요하지만 더욱 중요한 것은 모든 전주를 접지 시공하는 것이 전선로의 안전성 측면에서는 유리함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 지원하여 수행중인 전력산업원천기술개발사업의 연구개발 결과임

참고 문헌

[1] 우정욱 외 1명, "낙뢰측정에 대한 기술동향과 LPATS 데이터에 의한 한반도 낙뢰현황", 한국조명전기설비학회

회 논문지 제17권 제4호, pp.16-23, 2003.

- [2] IEEE Std 142-2007, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants", pp.145-167, 2007.
- [3] 전력연구원, "절연설계 신뢰도 향상을 위한 뇌격측정 설비구축에 관한 연구", 최종보고서, pp.21-22, 2005.
- [4] 김경철 외 2명, "배전계통에서 낙뢰보호용 피뢰기의 접지저항 연구에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제24권 제6호, pp.107-114, 2010.
- [5] Xie Bo et al, "Identification of induced lightning and direct striking based on wavelet transform", IEEE APEMC, pp.1566-1569, 2010.
- [6] Wyatt, "An Improved Model for EMP-Induced Lightning", Harry Dimond Labs Adelphi MD Technical Report, 1980.
- [7] Abdenbi Mimouni 외 2명, "Lightning-Induced Over Voltages on Overhead Lines: Modelling and Experimental Validation", Journal of Electrical Engineering, Vol.58, No.3, pp.146 - 151, 2007.
- [8] 김점식 외 2명, "22.9kV 배전선로 중성선 설치 구조에 따른 유도리 차폐효과 분석", 대한전기학회 논문지 59P 권 제2호, pp.191-196, 2010.
- [9] 한전 배전처, "배전선비 시공실무", pp.52, 205, 2003.
- [10] Alexandre Piantini 외 4명, "A Scale Model for the Study of the LEMP Response of Complex Power Distribution Networks", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.22, No.1, pp.710-720, 2007.
- [11] C. A. Nucci, "Lightning-Induced Voltages on Distribution Systems : Influence of Ground Resistivity and System Topology", Journal of Lightning Research, Vol.1, pp.148-157, 2007.



김도영 (金度映)

1980년 11월 16일생. 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2007년~현재 대원전기(주) 부설연구소 연구원



박용범 (朴容範)

1965년 10월 29일생. 1991년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2010년 중부대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년~현재 대원전기(주) 상무이사/연구소장



권신원 (權信遠)

1976년 6월 26일생. 2003년 충남대학교 전자공학교육과 졸업(공학사). 2009년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1998년~현재 대원전기(주) 기술이사



길경석 (吉暲碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2003년 3월 ~ 2004년 2월 영국 카디프대학 방문교수. 1996년~ 현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수. 2009년 1월 ~ 현재 한국해양대학교 첨단마린조명연구센터 소장

저 자 소 개



김점식 (金点植)

1973년 1월 11일생. 1995년 원광대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2003년 한국해양대 전기공학과 박사수료. 2005년~현재 대원전기(주) 부설연구소 팀장