

2회선 배전계통에서 가공지선 접지 및 피뢰기 설치환경에 따른 뇌과전압 해석

정재균·김상국·이종범
원광대

정영호
한전전력연구원

Analysis of Lightning Overvoltage with Earth of Overhead Grounding Wire and Installation Types of Arrester in Double Circuits Distribution Systems

Chae-Kyun Jung· Sang-Kuk Kim Jong-Beom Lee
Wonkwang University

Yeong-Ho Jeong
KEPRI

Abstract - This paper analyses the lightning overvoltage with earth of grounding wire and installation types of arresters in double circuits distribution systems. First, the model for analysis is selected severer case between upper line and lower line when the direct lightning surge strikes on the overhead grounding wire. The lightning overvoltage is variously calculated with earth distance between overhead grounding wires. This paper also analyses the effect of the installation distance between arresters and the earth resistance of overhead grounding wire. From these results, authors examine the rationality of BIL that is applied in distribution system.

1. 서 론

배전계통은 주로 도심지 부근에 밀집되어 있으며 가공지선의 높이를 포함해 구조물의 높이가 높지 않기 때문에 뇌격이 침입하면 대부분의 썩지는 대지로 흡인되어 실제로 계통에 미치는 영향이 약화되는 특성이 있다. 그러나 도심지 외곽이나 산간, 해안지역에서 운전 중인 배전계통은 도심지와는 달리 선로 주변에 썩지를 흡수할 수 있는 구조물이 적으므로 가공지선에 직격뢰가 침입할 가능성이 많다. 직격되는 선로 주변, 수목, 대지 등에 침입한 뇌격에 간접적인 영향으로 정전유도나 전자유도에 의해 유도되는 유도뢰와는 달리 선로 및 지지물에 직격하는 썩지로 발생빈도는 유도뢰에 비해 적으나, 계통의 선로 및 기기의 절연파괴 위험이 매우 높은 특성이 있다. 그러나 현재 국내 배전계통에 적용되는 직격뢰에 대한 절연강도의 기준은 일부에서 일관성이 없고 모호하게 적용되어 부족설계나 과잉설계의 우려가 있으며, 이에 따른 합리적이고 경제적인 절연여부 등에 대한 재검토가 요구되고 있다[1-2].

따라서 본 논문에서는 이에 대한 검토에 앞서, 2회선 배전계통에서 상단과 하단선로 중 썩지의 영향이 가혹하기 미치는 선로를 선정하여, 이를 기준으로 절연성능에 가장 큰 영향을 미치는 가공지선 접지간격과 피뢰기 설치환경을 변화시켜 선로에서 나타나는 뇌과전압 및 뇌 썩지 차폐효과를 다양하게 검토하였다. 또한 설계기준-3500(접지공사)에[3]의 합성 저항치 적용 외에 각 접지개소의 접지저항을 변화시켜 접지저항 저감에 따른 뇌과전압의 특성을 분석하였다.

2. 2회선 배전계통 모델링 및 뇌격 모델

2.1 2회선 배전계통 모델

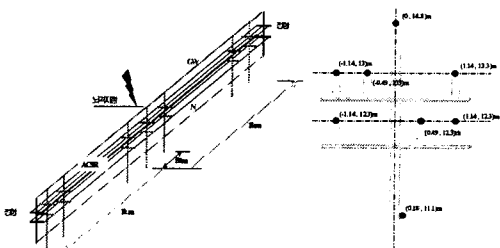


그림 1. 2회선 배전선로 검토모델 및 선로배치도

2회선 배전계통의 직격뢰 해석을 위한 선로 모델은 그림 1과 같이 총 선로 공장이 2km이며 전주간 표준경간은 50m인 계통이다. 또한, 선로 양단은 정합되었으며 뇌격은 선로 중앙의 가공지선에 침입한 것으로 하였다. 가공지선과 중성선의 접속선 및 접지선에는 200Ω의 썩지 임피던스와 300m/μs의 전파속도를 고려하였다.

2.2 가공지선 및 피뢰기 접지

설계기준-3500(접지공사)와 설계기준-3800(배전선내뢰기준)에 의해 가공지선과 중성선은 매전주 접속하였으며, 가공지선의 접지저항 값은 식 (1)의 합성저항 계산식을 이용하여 설정하였다[3-4].

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

피뢰기 접지저항은 25Ω을 적용하였으며, 피뢰기는 2단선로에서 동일전주 상단과 하단에서 동시에 설치하지 않았으며, 피뢰기가 설치된 전주의 가공지선 접지는 생략하였다.

2.3 뇌격 모델

배전선 직격뢰 해석에 필요한 뇌격전류의 파형은 램프파로 파두장과 파미장은 2/70μs를 선정하였으며, 뇌도 임피던스는 400Ω, 뇌격전류 파고치(Ip)는 각각 15kA, 20kA를 적용하여 분석하였다.

2.4 검토 모델 선정

2회선으로 운전 중인 배전계통에 직격뢰 침입시 기기 및 선로의 절연성능 평가를 위해 동일조건에서 2회선 선로의 상단과 하단 중에서 가혹한 경우를 검토모델로 선정하였다. 이의 선정을 위해 뇌격전류 파고치는 20kA를 적용하였으며, 가공지선은 매 100m마다 접지되어있고 피뢰기는 매 200m-500m마다 설치된 계통을 해석하여 비교하였다. 또한, 배전선의 가공지선에 직격뢰가 침입한 경우 상도체에 대지전압 보다는 주로 애자간 설락과 개폐기와 변압기 등과 같은 설비의 절연성능을 검토 대상으로 하기 때문에, 본 논문에서도 애자간과 기기 자체가 설치되는 상-중성선간 전압 위주로 검토하였다.

그림 2에서는 동일 조건에서, 2회선 선로의 상단과 하단에 유기되는 뇌과전압을 비교하여 나타내었다. 그림에서처럼, 모든 피뢰기 설치간격에서 하단선로에 비해 상단선로에서 더욱 높은 전압이 유기됨을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 가장 가혹한 경우인 상단선로를 검토 대상으로 선정하였다.

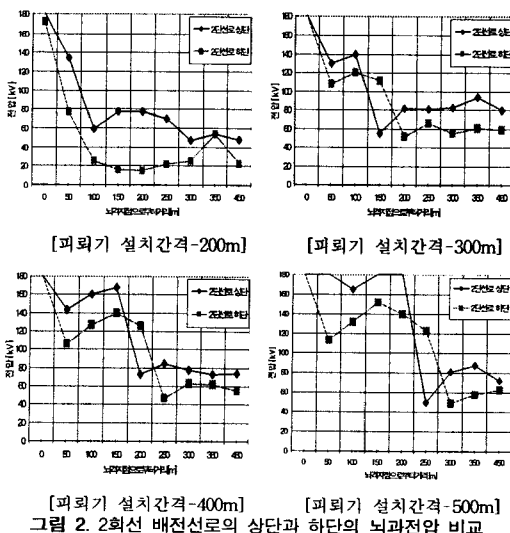


그림 2. 2회선 배전선로의 상단과 하단의 뇌과전압 비교

3. 가공지선과 및 피뢰기의 차폐 원리 및 효과 검토

3.1 가공지선의 뇌격 차폐 원리

배전선로에 직격뢰가 침입하였을 때 가공지선의 뇌격 보호 원리는 유도뢰의 경우와 유사한 상도체와의 전자 결합에 의한 것이다. 가공지선은 뇌격전류를 분류하여 접지에 흐르는 전류를 감소시켜 대지전위의 상승을 억제한다[5-6].

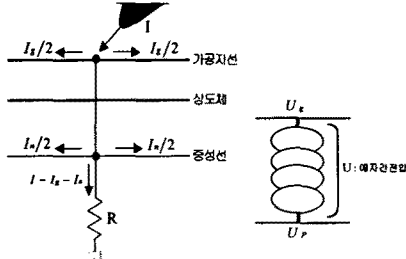


그림 3. 가공지선이 접지된 전주에 뇌격 침입시 뇌격 특성

$$U_p = \frac{1}{2} I_s Z_{pg} \quad (2)$$

$$U_s = (I - I_s - I_n) \cdot R \quad (3)$$

$$U = U_p - U_s = \frac{1}{2} I_s Z_{pg} - (I - I_s - I_n) R \quad (4)$$

$$= -IR + I_s \left(R + \frac{1}{2} Z_{pg} \right) + RI_n$$

- 여기서, U_p : 상도체의 대지전위[kV]
- U_s : 가공지선의 대지 전위[kV]
- U : 애자간 전압[kV]
- I_g : 가공지선에 흐르는 뇌격전류[kA]
- I_n : 중성선에 흐르는 뇌격전류[kA]
- Z_{pg} : 가공지선과 상도체간 상호 써지 임피던스[Ω]
- R : 접지저항[Ω]

그림 3은 가공지선이 접지된 전주에 뇌격이 침입한 경우 직격뢰 보호원리를 나타내었다. 배전선에 뇌격이 침입할 때, 가공지선이 없는 경우 뇌격은 전주 접지로 흐르기 때문에 대지전위 상승은 $(I \times R)$ 이 된다. 또한, 배전선을 지지하고 있는 애자간에는 $-(I \times R)$ 이 유기되게 된다. 이 때, 이 전압이 절연내력을 초과하면 섬락이 발생하게 된다. 그러나, 가공지선이 설치된 경우 뇌격전류는 가공지선과 중성선의 양측으로 분류되며, 접지에는 $(I - I_g - I_n)$ 의 전류가 흐른다. 따라서, 가공지선이 없는 경우와 비교하여 애자간 전위는 $R \times (I_g + I_n)$ 만큼의 전압이 적게 걸리게 되어 식 (4)처럼 애자간 전압도 억제되게 된다. 만약, 뇌격이 가공지선이 접지되어 있지 않은 전주에 침입할 경우에는, 콘크리트 전주 접지에 의해 접지저항 R 이 커지게 되므로 대지전위 억제 효과가 떨어지고 그 결과, 애자간 전압의 억제 효과도 접지가 있는 경우에 비해 떨어지게 된다.

3.2 피뢰기의 뇌격 차폐 원리

피뢰기에 의한 직격뢰 보호는 보호 기기의 애자간 전압을 피뢰기 제한전압 이하로 억제하고, 섬락을 방지하기 위해서이다. 또한, 피뢰기가 설치된 전주에 뇌격이 침입할 경우 뇌격주의 접지점에 흐르는 전류로 인해 대지 전위가 상승하지만 애자간 전압은 피뢰기 제한전압으로 억제되어 섬락이 발생하지 않는다[5-6].

그림 4는 피뢰기가 설치된 전주에 뇌격이 침입하였을 때 뇌격의 특성을 나타내었다. 그림과 같이 배전계통에는 피뢰기가 여러 전주에 설치되게 된다. 따라서, 피뢰기 설치점 사이에서 반사파의 영향이 나타나게 된다. 그림 4의 1호주에서 가공지선에는 $I_g \times Z_g/2$ 의 대지전압이 발생하고, 상도체에는 $I_p \times Z_p/2$ 의 전압이 발생한다. 배전선을 지지하고 있는 애자의 두 단자간에는 이 두 전압의 전압차가 유기되게 된다. 여기서, Z_g 는 가공지선 자기 써지 임피던스이며, I_p 는 피뢰기를 통해 배전선으로 유입되는 전류, Z_p 는 배전선 자기 써지 임피던스이다. 또한, 2호주에도 전진파와 반사파의 시간 지연으로 인해 대지전압이 저감되며, 애자간 전압도 억제되는 효과가 있다. 그리고 피뢰기 설치간격을 줄이고, 피뢰기 접지저항을 낮추게 되면 애자간 섬락발생율도 저감됨을 알 수 있다.

3.3 가공지선만의 뇌격 차폐 효과 검토(피뢰기 설치 무)

그림 5는 뇌격전류 파두장에 따른 최소 섬락전류의 크기를 나타내었다. 그림에서처럼 피뢰기는 설치되어 있지 않고 가공지선만 때 100m마다 접지 되어 있는 배전선로에서 일반전주에 침입한 뇌격은 동일 뇌격전류에서 접지전주에 침입한 경우보다 최소 섬락전류의 크기가 낮게 나타나고 있다. 또한 파두장의 시간이 완만할수록 최소섬락전류의 크기도 비례하여 증가하고 있다. 따라서 파두가 완

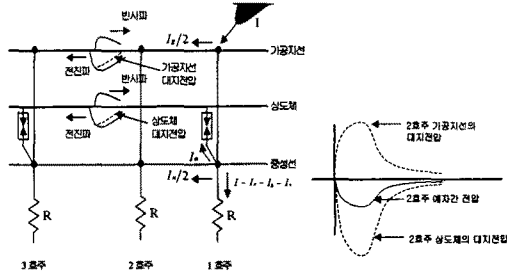


그림 4. 피뢰기가 설치된 지점에서 뇌격침입시 뇌격 특성

만할수록, 그리고 접지지점에 뇌격이 침입할 경우에는 가공지선에 의한 섬락보호 효과가 우수함을 알 수 있다. 그림 6은 2μs의 파두를 가진 뇌격이 접지지점에 침입하였을 때 가공지선 접지저항 크기에 따른 최소 섬락전류를 비교하였다. 가공지선 접지점에 뇌격 침입시 접지저항이 커지면 접지저항이 높을수록 대지전위 억제 효과가 작아지고 애자간 전압(상-중성선간 전압)의 억제 효과도 작아진다. 그림의 분석결과에서도 마찬가지로 접지저항 크기가 작아질수록 섬락전류의 크기가 상승하는 경향을 보이고 있다.

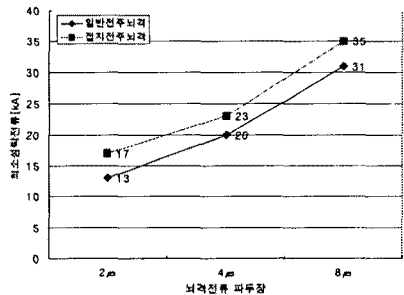


그림 5. 뇌격위치와 파두장에 따른 최소 섬락전류

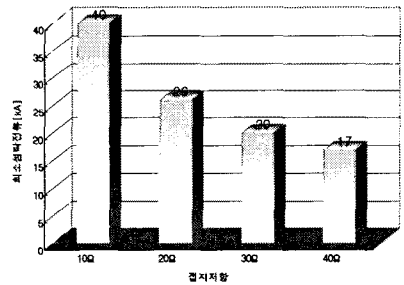


그림 6. 가공지선 접지저항 변화에 따른 최소 섬락전류(파두=2μs)

그림 7은 20kA의 뇌격전류가 배전선의 가공지선에 침입했을 때 뇌격지점에서의 EMTP 해석 결과이다. 그림에서처럼, 30Ω의 접지저항에서는 섬락이 발생하였으나, 20Ω에서는 132kV, 10Ω에서는 82kV의 전압을 보였다.

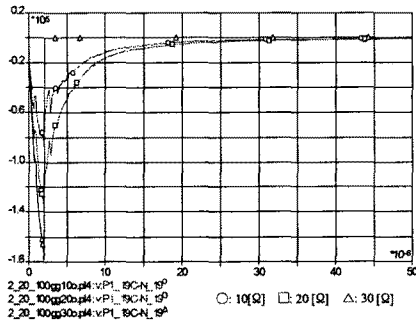


그림 7. 20kA의 뇌격전류 침입시 뇌격지점에서의 EMTP 분석

표 1. 피뢰기 설치환경 및 간격에 따른 뇌과전압

전압		상단선로 전압[kV]											
피뢰기 설치간격	100m	200m			300m			400m			500m		
		뇌격거리	등간격	1경간	등간격	1경간	2경간	등간격	1경간	2경간	등간격	1경간	2경간
15 kA	0m	67	167	115	실락	175	133	실락	실락	133	실락	실락	135
	50m	27	77	44	101	91	49	114	105	49	105	109	49
	100m	22	27	21	121	59	28	138	131	29	126	123	30
	150m	17	16	11	46	22	20	136	135	20	164	163	22
	200m	18	13	7	90	20	12	57	65	12	150	146	15
	250m	21	10	4	76	17	9	75	67	7	61	66	11
20 kA	0m	84	실락	140	실락	실락	170	실락	실락	170	실락	실락	160
	50m	34	134	45	130	130	58	143	130	58	실락	150	58
	100m	30	59	25	140	140	33	160	실락	32	165	154	34
	150m	21	78	15	55	53	23	168	168	23	실락	실락	25
	200m	21	78	11	82	76	17	73	53	16	실락	실락	19
	250m	21	70	16	81	85	14	84	81	13	50	48	17

3.4 피뢰기 설치환경 및 설치 간격에 따른 뇌과전압 검토

표 1은 가공지선이 매 100m 간격으로 접지되어 있는 2회선 배전계통에 뇌격전류 15kA와 20kA의 직격뢰가 침입했을 때, 피뢰기 설치간격과 상단과 하단 피뢰기의 1경간차, 2경간차, 등간격 설치 등의 설치환경에 따른 뇌과전압을 나타내었다. 표에서처럼 동일조건에서 피뢰기 설치간격이 조밀할수록 뇌 차폐 효과가 좋게 나타나고 있으며, 1경간차의 경우 15kA, 피뢰기 설치간격 300m 이상에서 실락이 발생하고 있고, 2경간차의 경우는 15kA, 피뢰기 설치간격 400m 이상에서 실락이 발생하고 있다. 그러나, 등간격 설치의 경우는 실락개소가 나타나지 않았다. 따라서 매 경우 상단과 하단의 피뢰기를 1경간과 2경간차로 설치하는 것에 비해 등간격으로 설치하는 방법은 피뢰기 설치간격을 늘릴 수 있으며, 실락보호 효과가 우수하여 배전계통 절연성능 개선에 매우 효과적임을 알 수 있다.

3.5 가공지선 간격 및 접지저항에 따른 효과 검토(피뢰기 설치 유)

가공지선이 각각 매 100m-300m간격으로 접지되어 있고, 피뢰기는 상단과 하단선로에 등간격으로 100m-500m간격으로 설치되어 있는 2회선 배전선로의 가공지선에 뇌격전류가 20kA인 직격뢰가 침입했을 때 가공지선 접지간격에 따른 뇌과전압을 검토하였다.

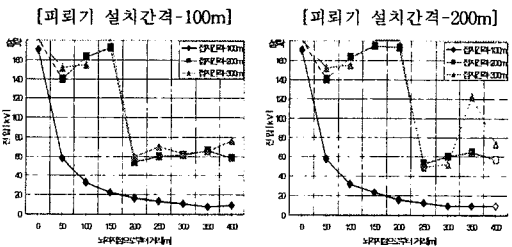
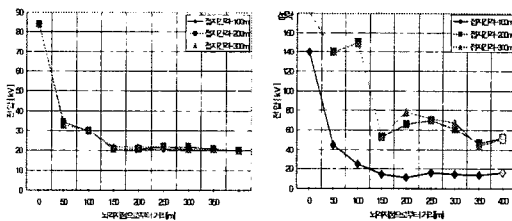


그림 8. 피뢰기 설치간격과 가공지선 접지간격에 따른 뇌과전압

그림 8은 피뢰기가 등간격으로 배치되어 있을 때 각 피뢰기 설치 간격에 따른 뇌과전압을 가공지선 접지간격별로 비교하여 나타내었다. 피뢰기가 100m 마다 설치되어 있을 경우에는 가공지선 접지간격에 관계없이 모두 일정한 값을 보이고 있으나, 피뢰기 설치간격이 증가할수록 가공지선 접지간격을 100m로 할 때 200m와 300m의 접지간격과 비교하여 실락보호효과가 우수하게 나타났다.

그림 9에서는 가공지선이 매 100m 마다 접지되어 있는 선로에서 접지저항을 10Ω, 20Ω, 30Ω, 5Ω/km(41.7Ω)으로 변화하였을 때 피뢰기 설치간격에 따른 뇌과전압을 나타내었다. 그림에서처럼 모든 피뢰기 설치간격에서 가공지선의 접지저항이 작을수록 뇌과전압이 감소하는 특성을 보이고 있다. 이는 뇌격전류로 인해 접지점에 발생하는 대지전위가 접지저항이 감소됨에 따라 억제되기 때

문이다. 따라서 다뤄 지역을 중심으로 배전선의 선로 및 기기의 실락 보호를 위해 가공지선의 접지저항을 낮추는 방안을 고려할 필요가 있다.

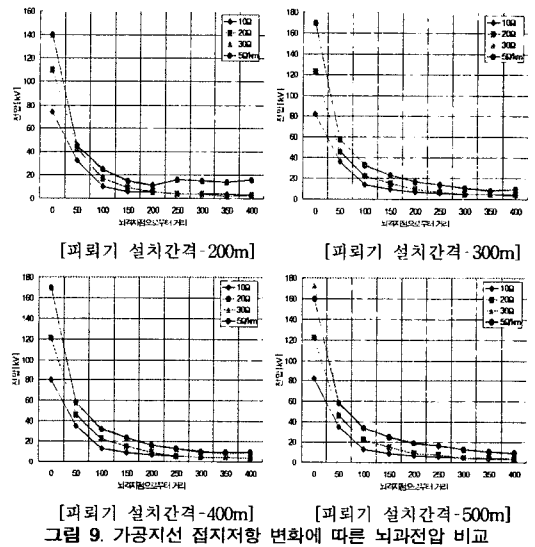


그림 9. 가공지선 접지저항 변화에 따른 뇌과전압 비교

4. 결론

본 논문에서는 2회선 배전계통에서 가공지선 접지 간격 및 접지저항, 피뢰기 설치환경에 따른 뇌과전압을 다양하게 해석하였다. 본 논문에서 분석한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 2회선 배전선로의 상단선로는 피뢰기 설치간격에 관계없이 하단선로에 비해 더욱 높은 전압이 유기된다.
- 2) 가공지선 비접지 전주에 침입한 뇌격은 접지전주에 침입한 뇌격보다 최소 실락전류가 낮으며, 파두가 완만할수록 최소실락전류의 크기도 비례하여 증가한다.
- 3) 피뢰기 설치간격이 조밀할수록 뇌 차폐효과에 좋다.
- 4) 상단과 하단의 피뢰기를 1경간과 2경간차로 설치하는 것에 비해 등간격으로 설치하는 방안에서 실락보호 효과가 우수하게 나타나 배전계통 절연성능 개선에 매우 효과적이다.
- 5) 가공지선 접지간격을 100m로 할 때, 200m와 300m의 접지간격과 비교하여 실락보호 효과가 우수하게 나타났다.
- 6) 가공지선 접지저항이 작을수록 뇌과전압은 감소한다.

[참고 문헌]

- [1] KEPRI, "배전선 절연설계에 관한 연구", 1992. 3
- [2] KEPSCO, "배전기자재 운영업무 편람", 2000. 5
- [3] KEPSCO, "배전분야 설계기준-3500(집지공사)", 1999. 7
- [4] KEPSCO, "배전분야 설계기준-3800(배전선 내뢰기준)", 1995. 10
- [5] 전기협동연구, "배전선 노해대책" 제40권, 6호
- [6] 電力中央研究所, "配電線 耐雷 設計 ガイド"
- [7] IEC 60071-1, "Insulation Co-ordination (Part 1 : Definitions, principles and rules)", 1993. 12
- [8] IEEE Std. 1313.1, "Standard for Insulation Coordination-Definitions, Principles, and Rules", 1996