

배전선로 1선 지락고장시 고장전류의 대지유입률 검토

강문호, 임용훈, 최종기, 이흥호⁺
한국전력공사, 충남대학교⁺

Study on the Fault Current Division Factor in Multi-grounded Distribution System

Moon-Ho Kang, Yong-Hun Lim, Jong-Gi Choi, Heung-Ho Lee⁺
KEPCO, Chung nam Univ.⁺

Abstract - 국내 배전선로는 다중으로 중성선을 접지하여 운영하고 있어 지락고장이 발생하면 큰 고장전류가 발생하며, 이는 중성선 및 가공지선과 접지극으로 분류되어 전원측으로 귀로한다. 유도전력기술기준에서는 이 분류율을 배전선로의 경우 50%로 규정하고 있어 배전선로 신·증설시 통신선과의 이격거리 확보에 어려움이 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 배전선로의 1선 지락전류의 분류율을 기술적으로 검토하기 위해 배전선로 설계기준을 바탕으로 1선 지락고장전류의 대지유입률을 모의하고 그 결과를 분석하였다.

1. 서론

국내 배전선로는 1선지락 시 건전상의 대지전위상승을 억제하여 선로 및 기기의 절연레벨(level)을 경감하고 지락고장시의 지락 과전류계전기의 확실한 동작을 통해 고장을 차단하고 있다. 그러나 선로고장 시에 발생하는 수백 ~ 수천(A)의 전류가 접지극을 통해 일부 분류되기 때문에 접지극의 대지전위가 상승하게 되어 인근 통신설비에 영향을 줄 수 있다. 또한 고장시의 큰 고장전류는 병행통신선에 큰 전자유도전압을 유도하여 장애를 유발할 수 있으나 이는 고장을 고속차단하고 통신선에 고성능 피뢰기를 취부 및 차폐선과 같은 유도대책을 통해 해결 할 수 있다. 본 논문에서는 배전선로 1선 지락고장시의 고장전류에 의한 전자유도장해와 더불어 발생하는 대지전위상승에 대한 평가를 위해 1선 지락고장에 의한 고장전류의 대지유입률을 분석하였다.

2. 본론

2.1 유도전압 산출식

대지전위상승에 의한 유도전압 산출계산식은 정통부 전력유도고시 제 2003-5호에 아래와 같이 규정되어 있다.[4]

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi d}$$

(주) V : 유도전압(V)

d : 전력선과 타 통신시설 간 접지체사이의 이격거리(m)

ρ : 대지교유저항 ($\Omega \cdot m$)

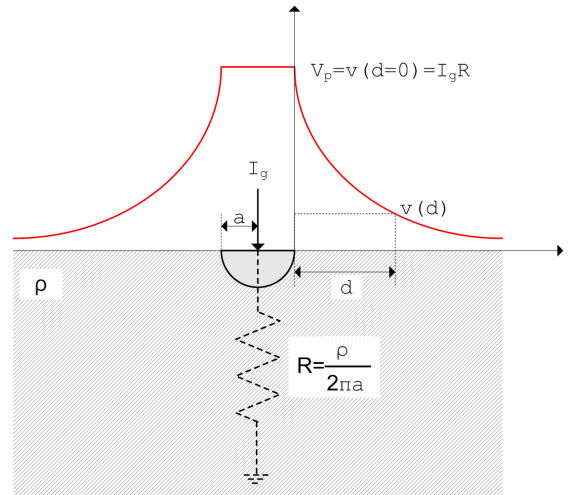
I : 지락 고장점의 대지유입전류로서 송전시설의 경우 고장전류의 10%로 가공 배전시설의 경우는 50%로 하고 있다.

본 고시기준에 따라 지락고장시의 대지전위상승은 유입전류를 고려하여 송·배전선로에 따라 상이하게 적용하고 있다. 그러나 산출에 대한 분명한 근거도 부족할 뿐만 아니라 배전선로의 분류율이 송전선로에 비해 너무 크게 규정되어 있어 이에 대한 정확한 분석이 필요하다.

2.1.1 반구형 접지극의 전위분포

전력계통의 접지와 통신선의 접지는 개별적으로 구성되어 독립 접지극이라 할 수 있다. 그림 1처럼 반구형 접지극의 경우에 한쪽 전극에 접지전류가 흘러도 다른 접지극에 전혀 전위상승을 일으키지 않는 경우도 있으나, 일반적으로 전위상승이 어떤 일정한 경계치 이내에 들어서면 서로 완전히 독립되었다고 볼 수 없으며, 이때의 이격거리는 다음의 세 가지 요인에 의존하게 된다.

- ① 발생하는 접지전류의 최대값
- ② 전위상승의 허용값
- ③ 그 지점의 대지저항률

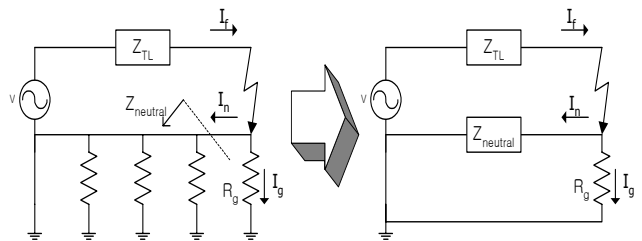


〈그림 1〉 반구형 접지극의 전위분포

전력유도 관련 고시에서는 전력선 지락고장으로 인한 대지전위 상승의 제한치는 650(V)로 규정하고 있으며, 단지 고장시 전류제거시간이 6사이클 이상인 경우 430(V)로 상대적으로 낮게 규정하고 있다. 따라서 배전계통의 지락고장 시 접지극으로 흐르는 전류의 최대값에 따라 설비의 신·증설 시 통신선과의 이격거리를 고려하여 유도대책방안을 수립하기 때문에 접지극의 고장전류 분류율은 큰 의미를 가진다.

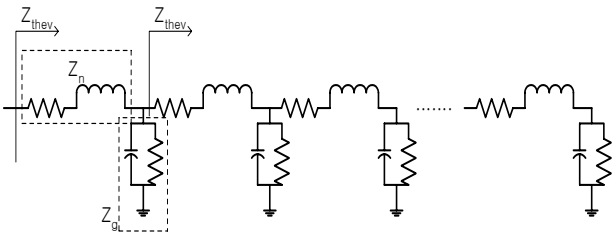
2.2 지락고장전류의 분포

그림 2는 사고지점에서 지락사고전류의 분포와 그 등가회로이다. 고장점의 접지극으로의 유입전류는 접지저항과 배전선로 다중 접지극의 테브난 등가임피던스 그리고 상도체-중성선간의 상호임피던스에 의해 결정된다.



〈그림 2〉 접지전류 계산모델

즉, 접지저항이 클수록, 중성선 테브난 등가임피던스가 작을수록, 그리고 상도체-중성선간의 유도결합이 클수록 접지극으로의 유입전류는 작아지게 된다. 그림 2의 다중접지 배전선로는 IEEE Std 367-1987에서 제시한 테브난 등가회로 계산에 따라 지락고장점에서 고장전류의 대지유입률을 계산하는데 이용할 수 있다.



〈그림 3〉 사다리 회로망

$$Z_{thev} = \frac{Z_n \pm \sqrt{Z_n^2 + 4Z_n Z_g}}{2} \quad (\text{식 1})$$

(주) Z_n : 단위 경간당 중성선의 자기임피던스

Z_g : 접지극 저항

배전선로에서의 1선 지락고장점 접지극으로의 유입전류를 계산하기 위해 표 1과 표 2에 대지저항율이 100(Ω·m)와 300(Ω·m)인 경우의 배전선로 회로정수를 구하였다. 이를 이용하여 그림 2의 등가회로에 적용하여 고장전류의 접지극 유입전류를 구할 수 있다.

〈표 1〉 22.9kV 선로정수(ρ=100Ω·m)

	R [Ω/km]	X [Ω/km]	비 고
A상	0.25316	0.88067	ACSR 160 mm ²
B상	0.25316	0.88067	"
C상	0.25316	0.88067	"
N상	0.29158	0.71378	ACSR 095 mm ²
+ 가공지선			+ ACSR 032 mm ²

〈표 2〉 22.9kV 선로정수(ρ=300Ω·m)

	R [Ω/km]	X [Ω/km]	비 고
A상	0.25393	0.92123	ACSR 160 mm ²
B상	0.25393	0.92123	"
C상	0.25393	0.92123	"
N상	0.29238	0.75436	ACSR 095 mm ²
+ 가공지선			+ ACSR 032 mm ²

2.2.1 접지극 유입전류 계산

실제 배전선로의 경우 상도체-중성선간 유도결합에 의하여 중성선에는 지락고장전류와 반대방향의 전류가 유기되어 접지극으로 유입되는 전류를 감소시키기 때문에 이를 모의계산에 포함하였다. 또한 배전선로 설계기준에 따라 배전선로 전주사이의 중성선 임피던스 상정을 위해 배전선로의 접지극간 평균간격은 시외지역을 고려하여 300m로 가정하였으며 개별 접지저항은 한전 배전설계의 허용값인 100Ω을 적용하였다.[2]

〈표 3〉 접지극 유입전류(상호임피던스 고려, ρ=100 Ω·m)

←--- BUS ---→		←--- NET CURRENT AT SUBSTATION BUS ---→			
No.	Type	Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
(고장상)	1 pha	553.21	-833.21	1000.1	-56.418
	2 phb	-0.83933E-02	-0.11269E-01	0.14051E-01	-126.679
	3 phc	-0.80695E-02	0.11823E-01	0.14315E-01	124.314
	4 neut	-539.62	828.39	988.65	123.080
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		13.580	-4.8212	14.411	-19.545

* 유입률 = 1.44 [%]
(접지극 전위상승 = 1441 V = 14.411A x 100Ω)

〈표 4〉 접지극 유입전류(상호임피던스 미고려, ρ=100 Ω·m)

←--- BUS ---→		←--- NET CURRENT AT SUBSTATION BUS ---→			
No.	Type	Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
	1 pha	392.28	-919.99	1000.1	-66.907
	2 phb	-0.10924E-01	-0.11450E-01	0.15552E-01	-132.588
	3 phc	-0.10164E-01	0.11591E-01	0.15416E-01	131.247
	4 neut	-359.69	914.78	982.96	111.465
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		32.564	-5.2100	32.978	-9.090

* 유입률 = 3.29 [%]
(접지극 전위상승 = 3297 V = 32.9A x 100Ω)

표 3과 표 4는 대지저항율이 100(Ω·m)인 경우에 대해 상호유도결합을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 대상으로 계통해석용 범용 프로그램인 SPLITS(Simulation of Power Line and Terminal Station)를 이용하여 접지극 유입전류를 모의한 결과를 보여주고 있다.

〈표 5〉 접지극 유입전류(상호임피던스 고려, ρ=300 Ω·m)

←--- BUS ---→		←--- NET CURRENT AT SUBSTATION BUS ---→			
No.	Type	Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
	1 pha	552.86	-833.45	1000.1	-56.442
	2 phb	-0.83930E-02	-0.11270E-01	0.14052E-01	-126.676
	3 phc	-0.80690E-02	0.11822E-01	0.14313E-01	124.315
	4 neut	-539.34	828.50	988.59	123.064
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		13.498	-4.9429	14.374	-20.113

* 유입률 = 1.43 [%]
(접지극 전위상승 = 1437 V = 14.3A x 100Ω)

〈표 6〉 접지극 유입전류(상호임피던스 미고려, ρ=300 Ω·m)

←--- BUS ---→		←--- NET CURRENT AT SUBSTATION BUS ---→			
No.	Type	Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
	1 pha	383.43	-923.73	1000.1	-67.457
	2 phb	-0.10706E-01	-0.11478E-01	0.15696E-01	-133.007
	3 phc	-0.10344E-01	0.11560E-01	0.15512E-01	131.821
	4 neut	-349.34	918.24	982.45	110.829
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		34.075	-5.4879	34.514	-9.149

* 유입률 = 3.45 [%]
(접지극 전위상승 = 3451 V = 34.5A x 100Ω)

표 5와 표 6은 대지저항율이 300(Ω·m)인 경우에 대해 해석한 결과값이다. 해석프로그램을 이용하여 배전선로의 분류율을 해석한 결과 배전선로의 지락고장전류의 접지극 유입률은 상호유도결합을 고려하지 않은 경우 대지저항율에 따라 각각 1.44%, 1.43%로 나타났다. 그러나 실제 배전선로의 경우 상도체-중성선간 유도결합에 의하여 중성선에 지락고장과 반대방향의 전류가 유기되어 대지로 유입하는 전류크기는 감소하게 된다.

〈표 7〉 지락고장전류 접지극 유입률 모의결과

대지저항율	지락고장전류의 대지유입률	유도결합	
		불고려	고려
100 Ω·m	1.44 %	3.29 %	
300 Ω·m	1.43 %	3.45 %	

3. 결 론

국내 22.9kV-Y 배전선로는 1선지락 시 건전상의 대지전위상승을 억제하여 선로 및 기기의 절연레벨(level)을 경감하고 지락고장시의 지락과전류계전기의 확실한 동작을 통해 고장을 차단하고 있다. 그러나 선로고장 시에 발생하는 수백 ~ 수천(A)의 전류가 접지극을 통해 일부 분류되기 때문에 접지극의 대지전위가 상승하게 되어 인근 통신설비에 영향을 줄 수 있다. 전력유도고시에 따르면 지락고장점에 대한 접지극 유입전류는 송전선로의 경우 고장전류의 10%로, 배전선로의 경우는 고장전류의 50%로 규정하고 있다. 그러나 이번 모의결과에서는 배전설비의 지락고장전류의 유입률이 전력유도고시에 규정된 값과 비교하여 큰 차이가 있음을 보여주고 있으며, 지락고장전류의 유입률이 대지저항율과는 상관관계가 적은 것으로 나타났다.

한편에서는 배전선로 신·증설시 통신선과의 이격거리 확보 등을 위해 관련기관과 지락고장전류의 유입률에 대한 제검토를 추진하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임용훈 외, "22.9kV 다중접지선로 지락고장점 대지유입전류 및 중성선분류 해석", 대한전기학회 04년 하계학술대회지, pp.473-475, 2004
- [2] 한국전력공사, "배전가공분야 설계기준 DS 3500 접지공사", 2006
- [3] F.Dawalibi, "Ground fault current distribution between soil and neutral conductors" IEEE Trans, March/April, 1980
- [4] "전력유도의 구체적 산출방법에 대한 기술기준" 제2003-5호, 2004