

22.9kV 다중접지선로 지락고장점 대지유입전류 및 중성선분류 해석

임용훈 현덕화 최종기
한국전력공사 전력연구원

An analysis of The ground fault current Distribution of 22.9kV-Y Lines

Yong-Hun Lim*, Duck-Hwa Hyun Jong-Gi Choi
KEPRI, KEPCO

Abstract - During ground faults in power system, large current and raised potential appear at nearby places. This paper presents an analytical procedure of the ground fault current for the towers of a transmission line(154kV) and distribution line(22.9kV) of an arbitrary number of spans during ground faults. In order to economically and securely protect against undesired consequences, it is necessary to evaluate as precisely as possible the value and distribution of the ground fault current.

경우 고장전류의 10분의 1로 가공
배전시설의 경우는 2분의 1로 하고,
지중송배전선시설인 경우는 접지개소의
분류효과를 감안한 치로 한다(A)

관련고시에 따른 지락고장시의 대지전위상승은 대지유입 전류를 송·배전설비에 대해 각 적용하고 있으며 이에 따른 분류를 검토가 필요하다

1. 서론

우리나라의 송전 및 배전계통은 계통에 접속된 변압기의 중성점을 도체로 직접 접지하는 방식으로 운전되고 있다. 1선지락 시 건전상의 대지전위상승을 억제하여 전선로 및 기기의 절연레벨(level)을 경감하고 지락고장시의 지락계전기의 확실한 동작을 통해 고장의 선택차단과 같은 장점을 갖지만 선로 고장 시에는 큰 전류(수백~수천 암페어)가 접지점을 통해 흘러 대지전위가 상승 하게 돼 인근 통신설비나 기기에 영향을 미치게 된다. 또한 평상시에 있어서도 불평형전류나 변압기의 제3고조파에 의한 상시유도장해를 줄 우려가 있으며 고장시의 큰 고장전류는 병행통신선에 큰 전자유도장해를 주게 되는 단점이 있다. 하지만 고장에 의한 통신선 유도장해는 사고를 고속차단하고 통신선에 고성능 피뢰기를 취부하고 차폐선과 같은 유도대책을 통해 해결 할 수 있다. 본 논문에서는 지락고장시의 대전류에 의한 전자유도장해와 더불어 발생하는 대지전위상승에 대한 평가를 통해 지락고장점의 대지전위상승 효과를 분석하고자 한다.

2.1.1 독립접지 전극 간의 간섭

전력계통의 접지와 통신선의 접지는 개별적으로 구성 되어진 각각 독립 접지극 이라 할 수 있다. 그림 1처럼 2개의 접지전극이 있는 경우에 한쪽 전극에 접지전류가 아무리 흘러도 다른 쪽 접지극에 전혀 전위상승을 일으키지 않는 경우이나, 현실적으로 전위상승이 어떤 일정한 범위에 들어서면 서로 완전히 독립되었다고 볼 수 없는데 이 이격거리는 다음 세 가지 요인에 의존하게 된다.

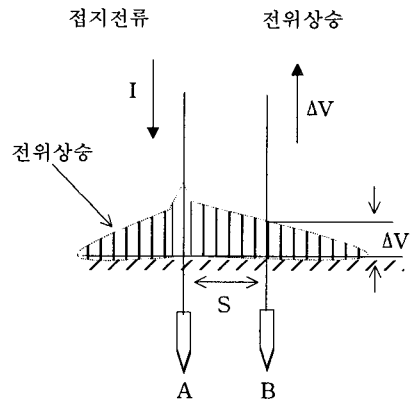


그림 1. 독립접지 전극 간의 간섭

2. 본론

2.1 이상시 유도위험전압 산출방법

대지전위 상승에 의한 이상시 유도위험전압 산출계산식은 관련 법규인 정통부 전력유도고시 제2003-5호에 따르면 있다.

$$V = \frac{\rho I}{2\pi D}$$

- 주) V : 이상시 유도위험전압(V)
- D : 전력선의 접지체 (송·배전선로의 접지시설, 발전소 또는 변전소의 기기장치를 말한다)와 전기통신시설의 접지체(전주의 접지점, 케이블의접속점, 선로의 배단자함, 통신국사의 전기통신시설을 말한다)와의 거리(m)
- ρ : 대지유도저항 (Ω · m)
- I : 지락고장점의 대지 유입전류로서 송전시설의

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

전력유도 관련 고시에서는 전력선 지락고장으로 인한 대지전위 상승의 제한치는 650(V)로 정하고 있어 송·배전계통의 지락고장 시 접지전류의 최대값에 따라 설비의 신·이설 시 통신선과의 이격거리 확보를 통해 유도대책 방안을 고려하여야 한다.

2.2 지락고장전류의 분포

그림 2는 사고지점에서 지락사고전류의 분포와 그 등가회로이다. 고장점의 대지유입전류(접지전류)는 접지저항과 송전선로 중성선 직접접지 및 배전선로 다중접지체의 테브난 등가임피던스 그리고 상도체-중성선간의 상호

임피던스에 의해 결정된다.

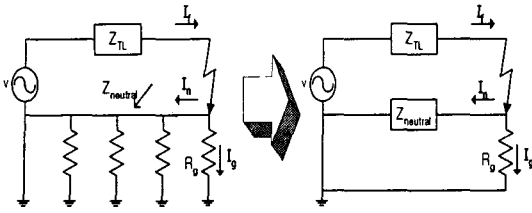


그림 2. 접지전류 계산모델

즉, 접지저항이 클수록, 중성선 테브난 등가임피던스가 작을수록, 그리고 상도체-중성선간의 유도결합이 강할수록 접지전류는 작아지게 된다. 그림 2의 배전선로 다중접지 회로망은 IEEE Std 367-1987에서 제시한 테브난 등가회로 계산에 따라 지락고장점의 대지유입전류를 계산할 수 있다.

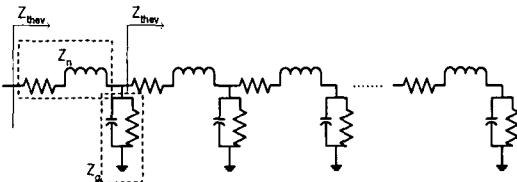


그림 3. 사다리 회로망

$$Z_L = \frac{Z_s}{2} + \sqrt{\frac{Z_s^2}{4} + Z_s Z_P} \quad (\text{식 1})$$

주) Z_s : 단위 경간당 중성선의 자기임피던스
 Z_P : 접지체 저항

송전 및 배전선로에서의 지락고장점 대지유입전류를 계산하기 위해서 표 1과 표 2의 일반적인 배전 및 송전선로 회로정수를 구하고 이를 그림 2의 등가회로를 이용하여 대지유입전류를 구하고 대지저항은 100Ω/m로 가정하였다.

표 1. 22.9kV 선로정수(ρ=100Ω/m)

	R [Ω/km]	X [Ω/km]	비고
A상	0.25269	0.88111	ACSR 160 mm ²
B상	0.25269	0.88111	"
C상	0.25269	0.88111	"
N상	0.32849	0.91569	ACSR 95 mm ²
가공지선	0.91018	0.95972	ACSR 32 mm ²

표 2. 154kV 선로정수(ρ=100Ω/m)

	R [Ω/km]	X [Ω/km]	비고
A상	0.95854E-01	0.59523	ACSR 380 mm ² 2B
B상	0.95822E-01	0.59977	"
C상	0.95854E-01	0.59523	"
가공지선	0.19742	0.65134	ACSR 97 mm ² 2조

2.2.1 대지유입전류 계산

배전선로의 경우 중성선과 가공지선은 300m 간격으로 병렬 접속되어 있어 중성선 임피던스 및 대지유입전류를 감소시키는 효과가 있으나 대지로 유입되는 전류가 가장 큰 경우를 상정하기 위하여 가공지선과의 병렬연결에 의한 임피던스 감소효과는 고려하지 않았다.

철탐과 전주 경간간의 임피던스 상정을 위해 철탐간은 평균간격 300m, 배전선로의 전주간의 평균간격은 50m로 가정하였으며 접지저항은 한전 송전/배전설계의 최대허용값인 25Ω, 15Ω을 각각 적용하였다.

표 3. 배전계통 지락전류 대지유입전류

BUS No.	BUS Type	NET CURRENT AT SUBSTATION BUS			
		Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
(고장상) 1	pha	1817.6	-3566.3	4002.7	-62.994
2	phb	-0.24369E-02	0.13886E-01	0.14098E-01	99.954
3	phc	-0.13359E-01	0.22886E-02	0.13554E-01	170.279
4	neut	-1657.5	3527.4	3897.4	115.169
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		160.03	-38.856	164.68	-13.648

* 대지 유입율 = 164/4002 = 4.1 [%]

표 4. 송전계통 지락전류 대지유입전류

BUS No.	BUS Type	NET CURRENT AT SUBSTATION BUS			
		Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
(고장상) 1	pha	4872.8	-11149.	12167.	-66.391
2	phb	-0.12785E-01	0.95708E-01	0.96558E-01	97.608
3	phc	-0.88644E-01	0.18263E-01	0.90506E-01	168.358
4	neut	-3658.4	10437.	11059.	109.317
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		1214.4	-711.64	1407.5	-30.371

* 대지 유입율 = 1407/12167 = 11.5 [%]

표 5. 송·배전계통 대지유입전류 계산

	한 경간의 선로정수 [Ω]		비고
	배전 (22.9kV)	송전 (154kV)	
한 경간의 임피던스(Z_n) ¹⁾	0.048∠70° [Ω]	0.204∠73° [Ω]	
전주(철탐)의 접지저항(R_g) ²⁾	25.0 [Ω]	15.0 [Ω]	
중성선 등가임피던스($Z_{neutral}$)	1.122∠35° [Ω]	1.834∠38° [Ω]	
지락전류의 대지유입율 ³⁾	4.3 [%]	11.1 [%]	

표 3과 표 4는 계산을 간략히 하기 위하여 도체간 유도결합을 고려하지 않고 계통해석용 범용 프로그램인 SPLITS(Simulation of Power Line and Terminal Station)을 이용한 결과이며 표 5는 식(1)을 이용한 해석 결과값이다. 해석프로그램을 이용한 송·배전선로의 분류율은 각각 4.1%, 11.5%이며 해석계산식에 의한 분류율은 4.3%, 11.1%로 거의 일치된 계산결과값을 보여주고 있다. 하지만 실제로는 상도체-중성선간 유도결합에 의하여 중성선에 지락고장점 반대방향의 역기전류가 유기되어 대지로 유입하는 전류크기는 감소하게 된다

표 6. 배전계통 대지유입전류(상호임피던스 고려)

BUS No.	BUS Type	NET CURRENT AT SUBSTATION BUS			
		Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
(고장상) 1	pha	3773.1	-6263.1	7311.9	-58.934
2	phb	-0.59452E-03	0.12615E-01	0.12629E-01	92.698
3	phc	-0.11259E-01	0.10219E-02	0.11305E-01	174.814
4	neut	-3625.5	6204.4	7186.0	120.299
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		147.64	-58.734	158.89	-21.694

* 대지 유입율 = 158/7311 = 2.1 [%]

표 7. 송전계통 대지유입전류(상호임피던스 고려)

BUS No.	BUS Type	NET CURRENT AT SUBSTATION BUS			
		Active (A)	Reactive (A)	Magnitude (A)	Angle(deg)
(고장상) 1	pha	7038.3	-19862.	21072.	-70.487
2	phb	-0.34198E-02	0.87353E-01	0.87420E-01	92.242
3	phc	-0.77846E-01	0.90244E-02	0.78365E-01	173.403
4	neut	-6152.8	18042.	20011.	107.907
TOTAL CURRENT DISCHARGED BY CENTRAL STATION GROUND		885.36	-819.66	1206.5	-42.793

* 대지 유입율 = 1206/21072 = 5.7 [%]

표6과 표7은 상도체-중성선간의 상호임피던스를 고려한 지락고장점의 대지유입전류 분류율을 계산한 결과값이다.

표 8. 지락고장전류 대지유입율 결과

	지락고장전류의 대지유입율		접지전위상승 ¹⁾ [V/kA] (유도결합 불고려 / 고려)
	유도결합 불고려	유도결합 고려	
배전계통(22.9kV)	4.1 %	2.1 %	1000 / 525
송전계통(154kV)	11.5 %	5.7 %	1725 / 855

접지전위=대지유입율×지락고장전류(1kV)×접지저항

3. 결 론

지금까지 지락고장점의 대지유입전류에 대해 해석하였다. 전력유도고시에 따르면 지락고장점에 대한 대지 유입전류는 송전시설의 경우 고장전류의 10분의1(10%)로 배전시설의 경우는 고장전류의 2분의1(50%)로 정하고 있다. 이는 해석 결과값에서 송전설비의 경우와는 상호 임피던스를 고려하지 않는 경우와 비슷한 결과(10%)를 나타내지만 배전설비의 경우는 지락고장전류의 대지유입율에 큰 차이(전력유도고시: 50%, 해석치: 4%)를 보이고 있다. 해석에서도 가공지선과 중성선 접속에 의한 병렬 감소부분과 상도체-중성선간 상호임피던스를 고려하지 않았다. 전력연구원에서는 지락고장점에 대한 대지유입전류 실측을 통해 다중접지에 대한 배전계통 지락고장전류 대지유입율을 재고할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] “전력유도의 구체적 산출방법에 대한 기술기준” 제2003-5호, 2004
- [2] 한국전력공사, “배전(가공)설계기준”, 1997
- [3] F.Dawalibi, “Ground fault current distribution between soil and neutral conductors” IEEE Trans, March/April, 1980
- [4] IEEE Std 367-1987