

호광저항의 영향을 극복하기 위한 사고거리계산방법

조광철, 방문철, 고송덕

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《전력문제를 푸는데서 가장 큰 예비는 전력공업을 현대화하는데 있습니다. 전력공업의 현대화를 중차대한 과업으로 틀어쥐고 강하게 추진하여 나라의 전력공업을 경제강국의 체모에 맞게 근본적으로 일신시켜야 합니다.》

전력시스템의 현대화에서 보호장치의 수자화는 중요한 연구과제의 하나로 제기되고있다.

선행연구들[1-3]에서는 송전선로보호에서 단락사고때 호광저항의 영향을 극복하기 위한 일련의 방법들이 제기되었지만 이 방법들은 호광저항의 영향을 충분히 극복하지 못하며 따라서 저항추정에서 오차를 가지고있다.

론문에서는 사고점의 전류, 전압위상관계, 완전저항과 호광저항(과도저항)사이의 관계로부터 고저항사고상태에서도 정확한 사고거리를 얻을수 있는 한가지 계산방법을 제안하고 모의실험을 통하여 그 효과성을 검증하였다.

1. 사고점까지의 거리계산을 위한 이론적인 고찰

송전선로의 등가회로는 다음과 같다.(그림 1)

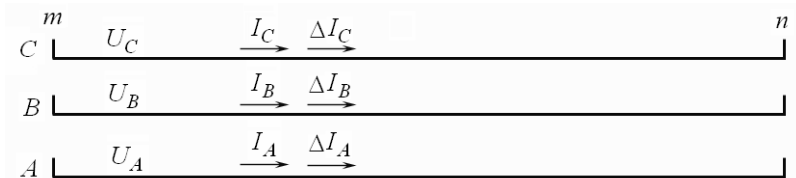


그림 1. 송전선로의 등가회로

송전선로의 등가회로로부터 사고점까지의 거리계산을 위해 변수들을 다음과 같이 설정한다.

U_ϕ : 보호장치설치점(m 점)에서의 상전압(ϕ 는 A, B, C 상중 하나), I_ϕ : 보호장치설치점에서의 상전류, $U_{\phi\phi}$: 보호장치설치점에서의 선전압, $I_{\phi\phi}$: 보호장치설치점에서의 선전류, U_f : 단락분기점전압(상전압 또는 선전압), I_f : 단락분기점전류, ΔI_1 : 보호장치설치점에서 정상분전류의 변화량, ΔI_2 : 보호장치설치점에서 역상분전류의 변화량, $\Delta I_{\phi\phi}$: 보호장치설치점에서 선전류의 변화량, Z_1 : 선로의 단위길이당 정상분저항(Ω/km), x : 보호장치설치점에서 사고점까지의 거리

한편 송전선로에서 사고가 발생하였을 때 단락분기점에서의 전압과 전류의 위상은 같다고 볼수 있다.

$$\text{Arg}(U_f) = \text{Arg}(I_f) \quad (1)$$

만일 보호장치설치점에서의 정상분, 역상분전류가 사고분기점에서의 전류와 위상이 서로 같다고 가정하면

$$\text{Arg}(\Delta I_1) = \text{Arg}(I_f), \text{Arg}(\Delta I_2) = \text{Arg}(I_f) \quad (2)$$

로 되며 따라서 식 (1)로부터 다음과 같은 식을 얻을수 있다.

$$\text{Arg}(\Delta I_1) = \text{Arg}(U_f), \text{Arg}(\Delta I_2) = \text{Arg}(U_f) \quad (3)$$

식 (3)의 위상관계에 기초하여 서로 다른 사고형태에 따르는 사고거리계산식을 유도하면 다음과 같다.

① 단상접지단락일 때

A 상이 단상접지단락되었다고 가정했을 때 계통의 등가회로를 그림 2에 보여주었다.

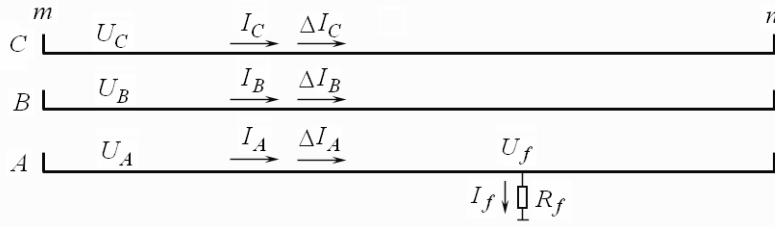


그림 2. 단상접지단락일 때 계통의 등가회로

단상접지단락되면 다음의 관계식이 성립한다.

$$I_{f1} = I_{f2} = I_{f0} = I_f / 3 \quad (4)$$

$$U_f = U_\phi - xZ_1(I_\phi + 3kI_0) \quad (5)$$

여기서 $k = (Z_0 - Z_1) / 3Z_1$ 은 정상분보충결수이며, I_{f1} 은 정상분, I_{f2} 는 역상분, I_{f0} 은 정상분에 해당하는 단락전류이다.

이때 정상분보충결수가 실수라고 가정하면 위상관계는 다음과 같이 된다.

$$\text{Arg}(U_f) = \text{Arg}(I_f) = \text{Arg}(\Delta I_1) \quad (6)$$

그리고 U_f 와 ΔI_1 을 실수부와 허수부로 가르면 다음과 같다.

$$U_f = \text{Re}[U_\phi - xZ_1(I_\phi + 3kI_0)] + j \text{Im}[U_\phi - xZ_1(I_\phi + 3kI_0)] \quad (7)$$

$$\Delta I_1 = \text{Re}(\Delta I_1) + j \text{Im}(\Delta I_1) \quad (8)$$

식 (7), (8)을 식 (6)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을수 있다.

$$\frac{\text{Im}(\Delta I_1)}{\text{Re}(\Delta I_1)} = \frac{\text{Im}[U_\phi - xZ_1(I_\phi + 3kI_0)]}{\text{Re}[U_\phi - xZ_1(I_\phi + 3kI_0)]} \quad (9)$$

식 (9)로부터 사고거리는 다음과 같다.

$$x = \frac{\text{Im}(\Delta I_1) \text{Re}(U_\phi) - \text{Re}(\Delta I_1) \text{Im}(U_\phi)}{\text{Im}(\Delta I_1) \text{Re}[Z_1(I_\phi + 3kI_0)] - \text{Re}(\Delta I_1) \text{Im}[Z_1(I_\phi + 3kI_0)]} \quad (10)$$

여기로부터 상저항은 다음과 같이 쓸수 있다.

$$Z_\phi = xZ_1 \quad (11)$$

여기서 Z_1 은 선로의 단위길이당 정상분저항, ϕ 는 A, B, C 상을 표시한다.

② 3상대칭단락일 때

이때에는 단락전류중에 역상분과 정상분이 포함되지 않으며 따라서 식 (10)을 다음

과 같이 쓸수 있다.

$$x = \frac{\text{Im}(\Delta I_1) \text{Re}(U_{\varphi}) - \text{Re}(\Delta I_1) \text{Im}(U_{\varphi})}{\text{Im}(\Delta I_1) \text{Re}(Z_1 I_1) - \text{Re}(\Delta I_1) \text{Im}(Z_1 I_1)} \quad (12)$$

③ 2상단락일 때

2상단락일 때에는 선전압과 선전류를 고려해야 하므로 식 (12)는 다음과 같이 된다.

$$x = \frac{\text{Im}(\Delta I_{\varphi\varphi}) \text{Re}(U_{\varphi\varphi}) - \text{Re}(\Delta I_{\varphi\varphi}) \text{Im}(U_{\varphi\varphi})}{\text{Im}(\Delta I_{\varphi\varphi}) \text{Re}(Z_1 I_{\varphi\varphi}) - \text{Re}(\Delta I_{\varphi\varphi}) \text{Im}(Z_1 I_{\varphi\varphi})} \quad (13)$$

2. 모의측정실험 및 결과분석

ATP를 리용하여 220kV선로의 단락에 대하여 모의실험을 진행하였다. 모의계통의 정수들은 다음과 같다.

선로의 총 길이: 170km

선로정수: $C_1 = 0.0113 \mu\text{F}/\text{km}$, $Z_1 = 0.01378 + j0.263\Omega/\text{km}$,

$C_0 = 0.0051 \mu\text{F}/\text{km}$, $Z_0 = 0.14171 + j0.8307\Omega/\text{km}$

보호장치설치점(m 점)계통정수: $Z_{m1} = 0.001 + j60\Omega/\text{km}$, $Z_{m0} = 0.001 + j70\Omega/\text{km}$

부하측(n 점)계통정수: $Z_{n1} = 0.001 + j200\Omega/\text{km}$, $Z_{n0} = 0.001 + j140\Omega/\text{km}$

량측계통의 단자전압들사이의 위상차각 δ 가 $0 \sim 30^\circ$ 의 넓은 범위에서 변한다고 할 때 제안한 거리계산방법의 정확성검증을 진행하였다. 이때 량측계통의 정상분, 역상분저항은 서로 같다고 보았다.

① 단상접지단락사고때 거리측정결과

선로의 임의의 점에서 발생한 단상접지단락때 단락지점에서의 호광저항은 $1 \sim 300\Omega$ 범위에서 취하였다.

A 상에서의 호광저항이 1, 10, 100, 300Ω 일 때 이 저항을 통하여 단상접지된 경우 측정결과는 표 1-4와 같다.

표 1. A 상에서 단상접지단락사고때의 측정결과(호광저항 1Ω일 때)

실제 사고거리/km	사고측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	39.99	39.99	-0.03	-0.03
80	79.98	79.99	-0.03	-0.01
120	12.02	120.03	0.02	0.03
160	160.18	160.20	0.11	0.13

표 2. A 상에서 단상접지단락사고때의 측정결과(호광저항 10Ω일 때)

실제 사고거리/km	사고측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	40.03	40.03	0.08	0.08
80	80.00	80.00	0.00	0.00
120	120.00	120.02	0.00	0.02
160	160.11	160.14	0.07	0.09

표 3. A 상에서 단상접지단락사고때의 측정결과(호광저항 100Ω일 때)

실제 사고거리/km	사고 측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	40.46	40.42	1.15	1.05
80	80.15	80.15	0.19	0.19
120	119.80	119.86	-0.17	-0.12
160	159.44	159.61	-0.35	-0.24

표 4. A 상에서 단상접지단락사고때의 측정결과(호광저항 300Ω일 때)

실제 사고거리/km	사고 측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	41.39	41.07	3.48	2.68
80	80.47	80.39	0.59	0.49
120	119.31	119.59	-0.58	-0.34
160	157.92	158.72	-1.30	-0.80

표들에서 보는바와 같이 최대오차는 2.68%이므로 공학적인 요구를 만족시킨다.

② 선간 단락사고때 측정결과

선간 단락사고가 발생하였을 때 단락지점에서의 호광저항은 1~100Ω으로 취하였다. 이때의 측정결과는 표 5-8과 같다.

표 5. A와 B 상사이에 호광저항이 1Ω으로 선간 단락사고때의 측정결과

실제 사고거리/km	사고 측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	40.02	40.02	0.05	0.05
80	80.00	80.10	0.00	0.13
120	120.30	120.31	0.25	0.26
160	160.71	160.72	0.44	0.45

표 6. A와 B 상사이에 호광저항이 10Ω으로 선간 단락사고때의 측정결과

실제 사고거리/km	사고 측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	40.05	40.05	0.13	0.13
80	80.11	80.11	0.14	0.14
120	120.29	120.29	0.24	0.24
160	160.66	160.67	0.41	0.42

표 7. A와 B 상사이에 호광저항이 50Ω으로 선간 단락사고때의 측정결과

실제 사고거리/km	사고 측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	40.22	40.21	0.55	0.53
80	80.17	80.17	0.21	0.21
120	120.21	120.23	0.18	0.19
160	160.43	160.46	0.27	0.29

표 8. A와 B 상사이에 호광저항이 100Ω으로 선간 단락사고때의 측정결과

실제 사고거리/km	사고 측정 거리/km		측정 오차/%	
	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$	$\delta = 0^\circ$	$\delta = 30^\circ$
40	40.43	40.39	1.08	0.98
80	80.24	80.23	0.30	0.29
120	120.12	120.15	0.10	0.13
160	160.13	160.20	0.08	0.13

표들에서 보는바와 같이 선간 단락사고때 최대오차는 0.98%로서 이론적인 계산결과에 거의 가깝다는것을 알수 있다.

맺 는 말

송전선로에서 단락사고가 났을 때 등가회로작성과 사고거리계산유도과정에 일정한 가정을 세우고 사고종류에 따르는 여러가지 계산식들을 제기하고 제안한 이론적인 사고거리계산식에 대한 효과성과 정확성을 검증하기 위하여 220kV송전선로에 대하여 ATP를 통하여 단락사고모의를 진행하였다. 사고거리를 계산한 결과 최대오차는 3%이하로서 선행한 상사식거리계산방법의 정확도(이론적으로 대략 80%정도)보다 훨씬 높다는것을 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 박승협; 계전보호공학, 김책공업종합대학출판사, 21~285, 주체107(2018).
- [2] Pradipta Kishore Dash; International Transaction on Electrical Energy, 25, 678, 2015.
- [3] 葛耀中 等; 电力系统自动化, 26, 6, 34, 2012.

주체109(2020)년 5월 5일 원고접수

A Method of a Fault-Distance Measurement to Overcome Effects of Arc-Resistance

Jo Kwang Chol, Pang Mun Chol and Ko Song Dok

In order to improve accurately of fault distance measurement, in this article suggested was the novel approach to enable to calculate fault-distance from current, voltage, transition resistance of fault point despite of a situation of high resistance.

Keywords: fault resistance, impedance, distance protection