

분산전원이 도입된 특고압배전계통 보호방식영향해석모델

권 훈 마동환 안상현 김재언  
충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학전공

Protection Analysis Model of High-voltage Distribution System  
with Distributed Generation

Hoon Kwon Dong-Hwan Ma Sang-Hyun Ahn Jae-Eon Kim

**Abstract** - 시대가 변화 하면서 선로손실 및 전압강하 문제에 많은 관심을 가지게 되면서, 현재 사용중인 선로 정수값에 대한 고찰을 필요로 하게 되었다. 본 논문에서는 배전선로정수에 대한 현황 및 근거를 확인하고, 또한, 선종별로 장주의 배치에 따른 인덕턴스값 및 온도변화에 따른 교류저항값등에 대한 분석 내용을 소개하기로 한다.

$K_2$  : 분할도체 및 다심케이블 집합 연입률  
 $K_3$  : 압축성형에 따른 가공경화계수  
 $K_4$  : 최대 도체저항 계수  
 $A$  : 도체의 단면적

1. 서 론

배전계통 운용에 있어서 전압강하 및 선로손실을 파악 하는 것은 중요하다. 이 두 값을 정확히 구하기 위해서는 현 배전계통의 선로정수파악이 우선시 되어야 한다. 현 배전계통에서 사용하고 있는 선로정수값은 대부분 한 전설계기준, 한전시방서, KSC[Korean Industrial Standard]에근거를 두고 있으나, 그 정확도에 대해서는 분명치 않다. 따라서, 본 논문에서는 현재 사용중인 배전 선로정수값의 근거를 확인 및 비교 검토함과 동시에 설 계기준에 제시되어 있지 않은 선종별 2단 장주의 인덕턴스 값 및 온도 변화에 따른 교류저항값의 변동을 분석· 제시하기로 한다.

2. 배전선로정수

2.1 배전선로정수적용현황

일반적으로 송전선로는 선로길이가 80km 이하인 경우에는 선로도체의 저항과 인덕턴스만을, 80-240km 일때 는 선로 사이에 존재하는 병렬 커패시턴스의 효과까지, 그 이상일 경우에는 완전분포정수화로로 등가화 시키고 있지만, 배전선로에 있어서는 선로길이가 송전선에 비해 짧으므로 배전선로정수로서는 일반적으로 R, L이 고려 된다. 주로 KSC[Korean Industrial Standard], 한전 구매 시방서, 한전설계기준에서 확인 할 수 있으나, 교류저항 및 장주의 상배치에 따른 인덕턴스값은 명확히 제시 되어 있지 않다.

2.2 DC 저항값의 계산방법

직류도체저항을 구할 때에는 여러 가지 계수들을 설정 해 줘야하는데 이 계수들을 아래와 같이 기술하였고, 다 음과 같은 식으로 계산된다. 일반적으로 표시되는 직류 도체저항은 20[°C]에서의 것이다[5][6]

$$r_{max} = \frac{1000}{58 \times A \times \sigma} K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (1)$$

$\sigma$  : 도체의 도전율  
 $K_1$  : 소선 연입률

2.3 교류 저항값의 계산방법

교류에서 도체실효저항은 도체 사이즈가 작고 주파수 가 높아지면 커지고, 직류저항과의 비로 표시하지만, 표 피효과만으로 20[%]이상 될 때도 있고, 온도상승도 가해 저서 50[%]이상 달한다. 또한 근접효과도 있어 용도에 따라서는 이를 고려하여 계산을 할 필요가 있다. 산출식 은 아래와 같이 표현된다.[5][6]

$$r = r_{max} \times k_1 \times k_2 \quad (2)$$

$$k_1 = 1 + \alpha (T_1 - 20) \quad (3)$$

$$k_2 = 1 + \lambda_s + \lambda_p \quad (4)$$

$r_{max}$  : 20[°C]에서 직류 최대도체저항  
 $k_1$  : 사용온도에서 도체저항과 20[°C] 도체 저항비  
 $k_2$  : 교류저항과 직류저항비  
 $\lambda_s$  : 표피효과계수  
 $\lambda_p$  : 근접효과계수

2.4 인덕턴스값의 계산방법

장주의 상배치에 따라서 적용되는 식을 제시하면 아래 와 같다. 단상 2선식의 장주의 상배치일 경우 [2][3][4][5][6]

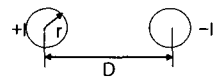


그림 2 가공 왕복선 배치

$$L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{1}{r} - 0.4605 \log_{10} \frac{1}{D} \\ = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{r} \text{ [mH/km]} \quad (5)$$

일반(보통, 편출, 창출)장주에서 볼수 있는 3상 1회선 병 렬 배치로 중성선은 제외 하고, 완전히 연가 되었을 경 우는 아래식과 같다.

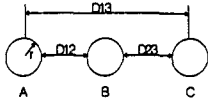


그림 3 병렬배치

$$L_m = 0.05 + 0.2 \log_e \frac{D_{eq}}{r} \text{ [mH/km]} \quad (6)$$

$$D_{eq} = 3\sqrt{D_{12}D_{23}D_{31}} \text{ (기하평균거리)}$$

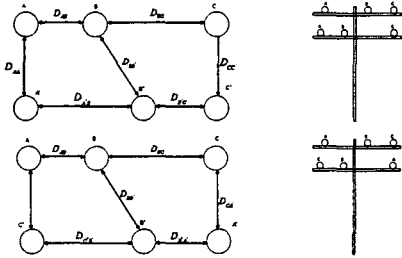


그림 4 2단장주의 상에 따른 배치

한편, 그림 4와 같은 2단장주의 경우는, 연가를 고려한 등가선간거리  $D_{eq} = \sqrt[3]{GMD_{AB}GMD_{BC}GMD_{CA}}$ , 각 상연가를 고려한 등가반경  $GMR_L$ 은  $GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA}D_{SB}D_{SC}}$ 을 이용하면, 그 인덕턴스값은 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D_{eq}}{GMR_L} \text{ [mH/km]} \quad (7)$$

### 3. 선종별 선로정수 산정 및 고찰

#### 3.1 대상선종

선로정수를 산정하는데 있어서 전선의 종류를 선정해야 하는데, 여기에서는 배전계통에 많이 쓰이고 있는 강심알루미늄전선(ACSR), 특고압강심알루미늄연선, 나경동선, 옥외용비닐절연전선(OW), 알루미늄피복강심알루미늄절연전선(ACSR/AW-OC), 알루미늄피복강심알루미늄절연전선을 대상으로 하였다.

#### 3.2 선로정수산정결과

대상선종들의 저항 및 인덕턴스값은 식 (1)~(7) 및 한전설계기준의 계산식을 기준으로 엑셀로 프로그래밍해서 계산하였다. 여기에서는 지면관계상 나경동선과 ACSR을 대상으로 하여 DC저항값, 교류저항값, 장주특성을 고려한 인덕턴스값, 2단장주에 대한 인덕턴스값을 표1~표6에 각각 제시 하였다.

표 1 ACSR의 DC저항 비교값

공칭단면적 (mm <sup>2</sup> )	이론계산치 [Ω/km]	시방서수치 [Ω/km]	오차(%)
240	0.1203	0.12	-0.25
160	0.1822	0.182	-0.11
120	0.2497	0.25	0.12
97	0.2988	0.301	0.73
58	0.4965	0.497	-0.1
32	0.8999	0.899	-0.1
19	0.3004	0.301	0.22

표 2 나경동선의 DC저항 비교값

공칭단면적 (mm <sup>2</sup> )	이론계산치 [Ω/km]	시방서수치 [Ω/km]	오차(%)
22	0.818	0.818	0
38	0.4841	0.484	-0.0207
60	0.3013	0.301	-0.0997
100	0.1783	0.178	-0.1685

표 3 온도차를 고려한ACSR의 교류저항값

공칭단면적 [mm <sup>2</sup> ]	온도 (°C)	AC저항 [Ω/km]	편차(%) (20°C기준)
240	0	0.1145	-8.2096
240	20	0.1239	0
240	60	0.1427	13.1745
240	90	0.1569	21.0325
160	0	0.1701	-8.5244
160	20	0.1846	0
160	60	0.2136	13.5768
160	90	0.2354	21.5803
120	0	0.2319	-8.6244
120	20	0.2519	0
120	60	0.2919	13.7033
120	60	0.2919	13.7033
120	90	0.322	21.7702
97	0	0.2784	-8.6925
97	20	0.3026	0
97	60	0.3509	13.7646
97	90	0.3871	21.829

표 4 3상4선식일때 ACSR의 인덕턴스 비교값

ACSR 공칭단 면적 [mm <sup>2</sup> ]	(2400[mm]완급, D=1320[mm])		
	한전설계기준 (100MVA기준, p.u)	계산값 (100MVA기준, p.u)	오차(%)
160	0.391	0.3927	2.32
95	0.44	0.4409	1.87
58	0.459	0.4598	1.79
32	0.482	0.4822	1.57

표 5 3상4선식일 경우 편출장주를 기준으로 한 비교값

ACSR 240[mm <sup>2</sup> ]	편출 : 0.8782	편출 : 0.8782
	오차	13.9105%

ACSR 160[mm <sup>2</sup> ]	편출 : 0.9197	편출 : 0.9197
	오차	13.39%

표 6 2단장주시 상의 배치에 따른 인덕턴스값의 비교

상의 배치	계산한 L 값 [mH/km]	계산한 X 값 [Ω/km]
ABC-CBA	0.516	0.1940
ABC-ACB	0.5755	0.217
ABC-BCA	0.5535	0.2086
ABC-BAC	0.5755	0.217
ABC-CAB	0.5063	0.1909

### 3.3 고찰

표 1,2는 DC 저항값을 엑셀 프로그램으로 계산한 값과 한전설계기준의 값(시방서수치)을 비교한 것이다. 그 오차의 범위는 0~1%정도로 거의 일치 하였다. 표 3은 온도를 고려한 교류저항 값을 나타낸 것으로 온도에 따른 교류저항값의 변화폭이 20℃를 기준 할때 -8%~21%에 달하므로, 정확한 전압강하 및 선로손실을 계산하기 위해서는 계절과 부하의 상황에 따른 전선의 저항값을 적절히 선정·적용해야 할것이다. 표 4는 보통장주(3상4선식) ACSR의 인덕턴스를 산출한 값으로서 한전설계기준값과 비교하면 1%~2%의 오차 범위를 보이고 있다. 오차의 원인은 도체간 등가거리 적용수치에 있는 것으로 판단된다. 표 5는 상의 배치에 따른 인덕턴스값을 비교한 것으로 편출 장주의 상배치일때가 다른 장주일때 보

다 11%~13%정도 작은 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 표 6은 2단장주일때의 인덕턴스값으로 아래·위의 상의 배치에 따른 인덕턴스값의 변화를 보여 주고 있는데 ABC-CAB일때가 가장 작은 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 본 논문에서는 언급되지 않았지만 영상분 임피던스의 산출값은 한전설계기준의 값과 상당한 오차가 있었는데 이는 대지간 등가거리 적용수치에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

### 4. 결론

현 배전계통에서 사용되고 있는 선로정수 값을 분석하여 본 결과 저항값의 경우에는 그 계산치와 설계기준에서의 제시된 값이 비교적 거의 일치 하였으나, 온도변화에 따른 교류저항값의 변화폭은 -8%~21%정도 산출됨을 확인 하였다. 전압강하계산 및 손실계산시 결코 무시될 수 없다는 결론을 얻었다. 한편 인덕턴스값의 경우에는 보통장주나 창출장주보다 편출장주의 경우가 작았고, 2단 장주의 경우는 상의 배치가 ABC-CAB의 상배치가 다른 어떤 경우의 인덕턴스값보다 작게 산출됨을 확인 하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "한국표준구매서방서"
- [2] 한국전력공사, "한전설계기준", 부표 pp. 1-16, 부록2 케이블구조 및 임피던스
- [3] Vincet. Del. 세계. 문영현 김홍래 남해곤외, "전력시스템공학"
- [4] 김준현, "전력전송공학", 2장 선로의 특성정수
- [5] 진로산업, "전선편람", 제5장 옥외배전용전선, 제11장 기술자료
- [6] 일본전기서원, "전기설비기술핸드북", II-6.선로정수
- [7] William H. Kersting and W. Howard Phillips, "Distribution Feeder Line Models", IEEE Trans. On Int. Application, vol. 31. no 4, 1995
- [8] Hadi Saadat, "Power system Analysis". Chapter4. TRANSMISSION LINE PARAMETERS
- [9] KSC[Korean industrial standards]