

분산전원이 도입된 저압배전계통의 전압해석방법

미동환 권 훈 박윤철 김재언
 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학전공

Voltage Analysis Method of Low-voltage Distribution System
 with Distributed Generation

Dong-Hwan Ma Hoon Kwon Yoon-Chul Park Jae-Eon Kim
 Chungbuk National University, School of Electrical Computer Engineering

Abstract - 발전사업자허가제의 대폭완화조짐과 구역전기사업자의 전기판매허용관련법안예고 등으로 소규모 분산전원인 대체에너지전원(태양광)과 소형열병합발전설비가 배전계통에 보급가속화 될 전망이다. 이와 같이 150kW이하의 소형분산전원이 저압(380V/220V) 배전선로에 도입될 경우 배전회사 내지 전력회사의 배전사업소에서는 전력품질유지상 전압변동문제 등의 사전도입검토를 수행하여야 하는데, 국내에는 아직 저압배전선에 대한 모델이 제시되어 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 국내최초로 분산전원이 도입된 저압배전계통 전압해석모델을 제시하고 부하가 없는 저압배전계통에서 주상변압기와 소형분산전원사이의 전압변동을 보고자 한다.

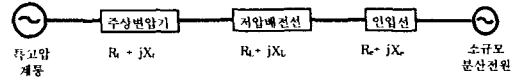


그림 1 소규모 분산전원이 도입된 전압해석용 삼상4선식 저압배전선 모델

단상2선식의 경우는 전술의 삼상4선식 모델에 회귀선로를 하나 더 추가하는 것으로 하여 그림 2와 같이 모델링될 수 있다

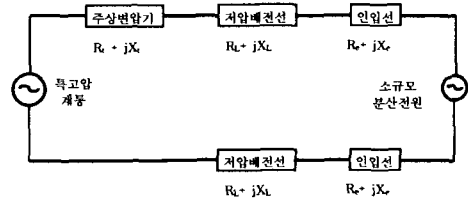


그림 2 소규모 분산전원이 도입된 전압해석용 단상2선식 저압배전선 모델

1. 서 론

태양광발전시스템과 같은 소규모의 대체에너지발전시스템은 그 용량이 150kW이하인 경우에는 배전계통 중에서도 단상 220V 또는 삼상 380V의 저압배전계통 즉, 주상변압기와 저압배전선을 통하여 연결되어 운전되어야 한다. 특히, 소규모 분산전원이 연결되어 있는 저압배전선에 다른 일반 수용가가 같이 혼재되어 있을 경우, 도입된 소규모 분산전원의 출력으로 인하여 저압배전선로가 과전압의 상태로 될 우려가 있다. 이에 대한 대책으로서 저압배전선의 선로정수 $Z=R+jX$ 값을 알아서 전압변동분석을 수행하는 것이다. 그러나 저압배전계통의 경우는 특고압선로의 경우와 달리 선로정수중 X값이 표준적으로 제시되어 있지 않기 때문에 이를 실질적으로 분석하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 우리나라의 저압배전선로의 실태를 파악하여 저압배전선로의 전압해석모델에 관하여 기술되어 있다.

2. 본 론

2.1 전압변동해석을 위한 전압배전 모델

우리나라의 경우 저압배전선에는 380V 삼상4선식 및 220V 단상2선식이 채용되고 있다. 대상 저압배전선의 전제 조건으로서는 상정한 선로 중간에 부하가 없는 또는 과전압이 되는 최악의 경우인 경우하를 고려하였다.

먼저, 삼상4선식 저압배전선로의 경우, 「3상 주상변압기 + 저압선 + 인입선」으로 구성하는 것으로 하여 그림 1과 같이 모델링 될 수 있다. 특히, 주상변압기의 상위 특고압 22.9kV 계통의 임피던스는 주상변압기 이후의 저압계통의 임피던스에 비해 상당히 작은 관계로 전압해석 모델링 상에서는 무시될 수 있다.

2.2 저압배전선 모델의 주상변압기 임피던스 값

주상변압기 임피던스는 용량별로 표1 같은 수치를 사용한다. 현재 사용되고 있는 주상변압기에는 10, 20, 30, 50, 75, 100kVA 용량들이 표준으로 되어 있다. 용량별 주상변압기의 임피던스 값은 저손실형 주상변압기의 경우 다음과 같이 조사, 보고 되고 있다.

표 1 저손실용 주상변압기의 용량별 임피던스 값

용량 [kVA]	%R	%X	기준임피던스 [Ω]	R + jX [Ω]
10	1.90	2.32	5.290	0.100+j0.123
20	1.65	2.46	2.645	0.044+j0.065
30	1.50	2.50	1.760	0.026+j0.044
50	1.25	3.00	1.058	0.013+j0.032
75	1.30	3.00	0.705	0.009+j0.021
100	1.21	3.01	0.529	0.006+j0.016

2.3 저압배전선로의 임피던스 값

삼상 4선식의 선로는 그림3과 같이 A상도체, B상도체, C상도체, 중성선도체가 300mm 등간격으로 각각 상하로 배치되는 것이 일반적이다.

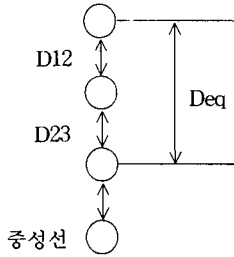


그림 3 저압선배치(3상 4선식)

인덕턴스 L값은 다음과 같은 식에 의거하여 산출할 수 있다. [5]

$$L_m = 0.05 + 0.2 \log_e \frac{D_{eq}}{r}$$

(1) 선로인덕턴스

단, $D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$: 기하평균거리

상기의 식을 삼상4선식 380V선로에 이용되고 있는 OW(옥외용절연전선), DV(인입용비닐전선), CV케이블에 적용한 계산 결과를 다음 표에 제시한다.

표 2 3상4선식 380V선로 OW의 R, X 값

공칭 단면적 (mm ²)	D_{eq} (mm)	r (mm)	계산한 X값(Ω/km)	AC R값(Ω/km)
22	378.0	4.2	0.3635	0.8496
38	378.0	5.5	0.3431	0.503
60	378.0	6.5	0.3273	0.3145
100	378.0	8	0.3116	0.1875

표 3 3상4선식 380V선로 DV의 R, X 값

계산된 면적 (mm ²)	D_{eq} (mm)	외경 (mm)	r (mm)	계산한 X값(Ω/km)	AC R값(Ω/km)
3.1416	378.0	2	1	0.4663	5.8301
5.3093	378.0	2.6	1.3	0.4465	3.4501
8.0425	378.0	3.2	1.6	0.4309	2.2802

표 4 3상4선식 380V선로 CV케이블의 R, X 값

공칭 단면적 (mm ²)	D_{eq} (mm)	외경 (mm)	r (mm)	계산한 X값(Ω/km)	AC R값(Ω/km)
2	378.0	1.8	0.9	0.4796	9.42
3.5	378.0	2.4	1.2	0.4579	5.30
5.5	378.0	3	1.5	0.4411	3.40
8	378.0	3.6	1.8	0.4274	2.3602
14	378.0	4.4	2.2	0.4122	-
22	378.0	5.5	2.75	0.3954	-

단상 220V저압선로에 사용되는 전선의 구조 및 배치는 그림4와 같다. 이 때의 선로 인덕턴스는 식(1)로부터 산출될 수 있다. 단 기하평균거리 $D_{eq} = D_{12} = D_{21}$ 이

다.

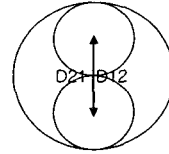


그림 4 단상2선에 이용되는 꼬임전선의 구조 및 배치

단상2선식 220V선로에 이용되고 있는 DV, CV케이블에 적용한 계산 결과를 하기의 표에 제시한다.

표 5 단상2선식 220V선로 DV의 X 값

계산된 단면적 (mm ²)	D_{eq} (mm)	외경 (mm)	r (mm)	D (mm)	X값 (Ω/km)
3.1416	7.2	2	1	7.2	0.1677
5.3093	9.2	2.6	1.3	9.2	0.1664
8.0425	11.5	3.2	1.6	11.5	0.1676

표 6 단상2선식 220V선로 CV케이블의 X 값

공칭 단면적 (mm ²)	D_{eq} (mm)	외경 (mm)	r (mm)	D (mm)	X값 (Ω/km)
2	10.5	1.8	0.9	10.5	0.2041
3.5	11.5	2.4	1.2	11.5	0.1892
5.5	13.5	3	1.5	13.5	0.1845
8	15	3.6	1.8	15	0.1787
14	16.5	4.4	2.2	16.5	0.1708
22	19.5	5.5	2.75	19.5	0.1605

2.4 저압배전선 및 인입선의 표준 길이

저압배전선의 경우는 대부분 OW 및 DV전선이 사용되고 있으며, 인입선의 경우는 CV케이블이 사용되고 있는 상황을 고려하여 2.3절의 기준값을 적용하면 될 것이다. 그리고 문제는 선로의 길이인데, 저압배전선의 경우는 하기의 표7의 표준경간 및 표8의 실측 경간치를 사용하면 되고, 인입선의 길이는 최대 50m까지이나, 그 평균치인 25m를 적용하는 것이 바람직하다.

표 7 저압선의 경간수 제한(1995.10.24제정)

항 목		번화가 및 상가	밀집주택	농어촌
경 간 수	단상2선 220V	100 mm ²	3	5
		60 mm ²	2	4
		38 mm ²	1	3
	삼상4선 380V	100 mm ²	10	10
		60 mm ²	6	10
		38 mm ²	4	8
표 준 경 간		30 m	40 m	50 m

(주) OW전선의 공칭단면적에 대한 허용전류: 302, 206, 153, 112 A

표 8 저압부하마스터에 의한 저압선 실측 경간
(2002년, 충남지사)

항 목		변화가 및 상가	밀집주택	농어촌
경 간 수	단상2선 220V	100 mm ²	1(30m)	2(36m)
		60 mm ²	1(33m)	2(38m)
		38 mm ²	2(41m)	3(50m)
	삼상4선 380V	100 mm ²	2(33m)	2(33m)
		60 mm ²	2(37m)	3(37m)
		38 mm ²	2(44m)	3(44m)
	22 mm ²	3(50m)	3(50m)	

(주) 괄호안의 수치는 1경간당 m를 나타냄.

2.5 저압배전선로의 전압변동

저압배전선이 위치한 지역과 선종에 따라 다양한 수의 모델링이 가능하다. 그림 5는 50kVA 주상변압기와 OW 배전선로 및 인입선으로 구성된 경부하상태의 계통에 역률이 1.0인 소규모 분산전원을 연결시켰을 때 선로의 전압변동을 보여주고 있다. 이 때 소규모 분산전원의 용량이 증가할수록 전압변동이 커짐을 알 수 있다. 그림 5, 6, 7 은 OW 선종 100mm²를 사용하였고 저압선의 배전 길이는 변화가 및 상가의 실측경간을 이용하였다.

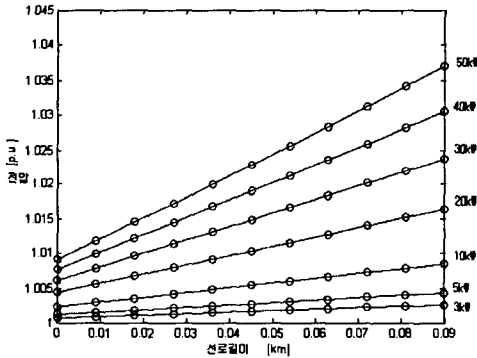


그림 5 pf=1.0 소규모 분산전원

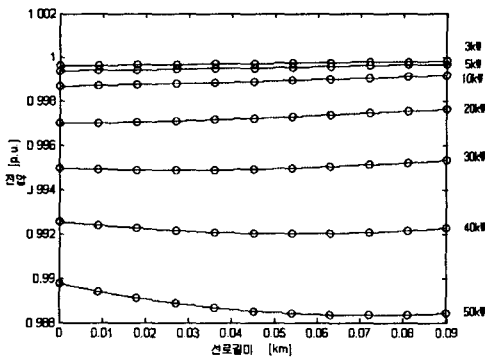


그림 6 pf=0.8(Leading) 소규모 분산전원

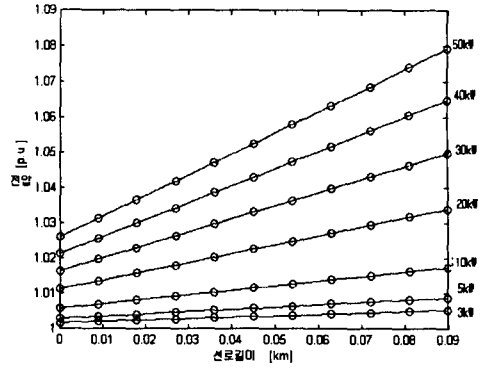


그림 7 pf=0.8(Lagging) 소규모 분산전원

3. 결 론

본 논문에서는 저압배전선로에 소규모 분산전원 도입 시 전압해석이 가능한 저압배전선로의 모델을 제시하였다. 이 모델은 저압배전계통을 22.9kV 특고압계통에 연결시키는 주상변압기, 저압배전선, 인입선, 소규모 분산전원으로 구성하였다. 이 저압배전선 모델의 활용에는 P.tr(주상변압기) 및 저압선로의 임피던스를 파악하는 것이 필수적이다. 또한 주상변압기의 전압조정은 한번 설정되면 변경되기 어렵기 때문에 소규모분산전원의 도입 시 선로말단의 전압상승을 고려해야 한다. 그러나 기존 한전설계기준에는 이들이 제시되어 있지 않은 관계로 전력산업구조 개편 이래 발전사업자가 등장하고 최근 구역 발전사업자의 발전사업허가로 분산전원의 도입이 급진전되어가고 있는 상황에서 배전계통 해석, 운영, 관리에 본 논문에서 제시된 모델이 활용되길 기대한다.

[참고 문헌]

- [1] 김태웅, 김재연, "분산전원이 도입된 배전계통의 전압해석 방법에 관한 연구", 전기학회논문지, pp.69-78, 2003.
- [2] 김태웅, 김재연, "배전계통에 도입되는 분산전원의 운전가능 범위결정에 관한 연구", 대한전기학회논문지 제51권, 제2호, pp.93-101, 2000,2
- [3] 이은미, 노대석, 김재연, 김광호, 조재형, 홍은상, "배전계통에 있어서 전압관리 현황과 개선 방안에 관한 연구", 대한전기학회 제36회 춘계학술대회 논문집, p.p. 28-31, 2002.5
- [4] 한국전력공사 배전처, "배전 손실정수의 재산정에 의한 손실관리 최적방안에 관한 연구", 한국전력공사 배전처 p.p.115-143, 2003.12
- [5] William D. Stevenson, Jr. "Elements of power system analysis", Four Edition, McGRAW-HILL