신 에너지전원이 연계된 배전계통의 전압조정장치 운전 방안

노 대석, 김 찬혁
한국기술교육대학교

Operation Method of Voltage Regulators in Distribution Systems with New Energy Sources

Daeseok Rho, Chanhyeok Kim
Korea University of Technology and Education

Abstract - 최근 생활수준의 향상과 정보통신 산업의 급속한 발전으로 인하여 전 세계적으로 전력품질에 대한 관심이 높아져, 각종 전력품질 개선장치로부터 최적 공급시스템에 이르기까지 다양한 각도에서 전력품질을 향상하기 위한 연구개발이 수행되고 있으며, 특히 정보통신기기 및 정밀제어기기 등의 보급증가로 전압품질에 대한 관심이 높아져가고 있다. 본 논문에서는 신 에너지전원이 도입된 배전계통에서 배전용변전소의 ULTC와 선로의 전압조정장치(SVR)의 효율적인 전압조정을 위한 협조운용 방안을 제시하고자 한다.

1. 서 론

고압배전선로에 분산전원이 연계되어 운용되는 경우, 분산전원의 운용특성에 따라 동일 선로의 다른 수용가에 많은 영향을 미칠 수 있다. 분산형전원이 운전되는 동안에는 전원의 역할을 하여 배전선로의 부하를 감소시키는 효과가 있고, 역으로 분산형전원이 운전되지 않을 시에는 배전선로의 부하를 증가시키는 효과를 가지게 된다. 분산형전원이 도입되면 부하중감의 효과를 일으키므로 분산전원의 운용상태에 따라 주상변압기의 탭 위치를 변경시켜주어야 한다. 그러나 현실적으로 분산형전원의 운전상태에 따라 주상변압기의 탭 위치를 변경시키는 것은 어려운 일이다. 특히 풍력과 같은 경우 정격출력의 90% 정도가 수십 초 동안 변동하는 경우도 발생하여 출력변동에 맞추어 주상변압기 탭을 변동시켜 주는 것은 불가능한 일이다. 따라서 분산형전원의 용량 및 운전상태에 따라 적절한 대책을 세워야 한다.

2. 본 론

2.1 다수의 전압조정장치에 의한 전압조정 개념

방사상 배전계통에서, 선로전압조정장치(SVR)는 그림 1에서 보여진 것처럼 전압강하를 보상하기 위하여 긴 고압피더에 직렬적으로 상호 연결되어 있다. 이것은 또한 분산형전원 계통의 운용에 따른 전압변동의 몇몇 피더를 제어하는 것이 기대될 수 있다. 이러한 경우에, 수용가 전압은 배전용 변전소 LRT에 의해서 우선 조정되고, 다음에 고압피더상의 SVR에 의해서 조정된다. 그러나 LTR의 전압보상은 LRT측 뿐만 아니라 SVR측의 수용가 전압에도 영향을 준다. 그러므로, LRT와 SVR 사이의 최적 조정은 그것들의 완전한 조절을 성취하기 위하여 고려할 필요가 있다.

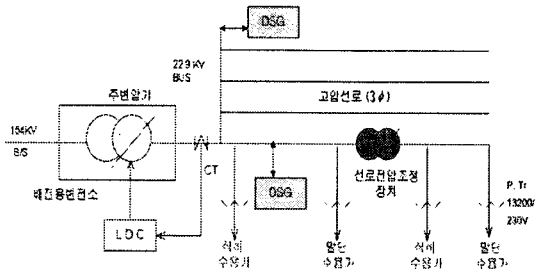

그림 1. 신 에너지전원이 연계된 배전계통의 전압조정 개념도

2.2 신 에너지전원 설치위치에 따른 영향 분석

(1) 모델계통 및 제원

신 에너지전원(분산전원) 설치에 따른 수용가의 전압특성을 분석하기 위하여 다음과 같은 모델계통 조건을 상정한다.

① 설치 후보지의 고압배전선로는 그림 1과 같이 피크부하가 7,000MW이고, 피크시 전압강하 5% 지점에 4MW의 부하가 존재하고, 말단지점(전압강하 10% 지점)에 3MW의 부하가 존재한다고 가정한다. 또한, 배전계통 역률은 90%로 한다.

② 고압배전선로의 주 간선의 총 긍장은 27km로 하고, 10km까지는 160㎟ ACSR-OC, 나머지 17km는 95㎟ ACSR-OC의 선종으로 가정한다. 그림 1의 A, B지점의 주상변압기 탭은 13,200V/230V의 탭을 사용하고, C, D 지점은 12,600V /230V의 탭을 사용한다.

③ 고압 배전선로의 전압강하는 말단 집중부하분포로 하고 다음의 계산식을 사용한다.

$$\Delta V = Z \; I \; L$$

여기서, ΔV :전압강하, Z:임피던스, I :통과전류, L :선로길이

④ 배전용변전소의 피크시 송출전압은 -2%~+2%의 범

위에서 조정되고 있는 데, 여기에서는 22,900V를 기준으로 +2%인 23,358V로 가정한다. 또한, 오프 피크시(피크 부하의 60%인 42MW)의 송출전압은 22,900V로 한다.

3) 저압 배전계통의 전압강하 분담율은 표 1과 같이 두 가지의 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행한다. 주상변압기의 변대직하 수용가전압은 주상변압기의 내부전압강하와 인입선의 전압강하를 고려하고, 변대말단 수용가전압은 전항의 값에 저압선 전압강하도 고려하여 산출한다.

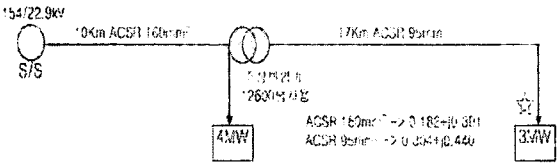

그림 1. 모델 배전계통

표 1. 저압 배전계통의 전압강하 분담율

	주상변압기의 내부전압강하	저압선의 전압강하	인입선의 전압강하	비고
Case 1	2% (4.4V)	4% (8.8V)	2% (4.4V)	피크 시(100%)를 상정함
Case 2	1.2% (2.64V)	2.4% (5.28V)	1.2% (2.64V)	오프 피크 시 (피크시의 60%)를 상정함

(2) 선로중간지점에 신 에너지전원이 설치되는 경우

분산전원이 총 부하(7,000MW)의 10%, 20%, 30%가 도입되어 운용되는 경우, 주상변압기 탭을 변동시키지 않고 사용하는 경우에 대하여 수용가 전압을 분석하면 표 8과 같다. 여기서, 피크시를 나타내는 Case 1에서는 배전용변전소의 송출전압을 23,358V로 가정하고, 오프 피크 시의 Case 2에서는 배전용변전소의 송출전압을 22,900V로 가정한다. 이 표에서와 같이 분산전원이 선로 중간에 설치되어 운용되는 경우, 선로의 다른 수용가에게 과전압 및 저 전압을 유발할 가능성이 크게 된다. 따라서 선로전압조정장치를 도입하거나 선로증강공사 등이 필요한 데, 전자의 방안이 가장 경제적인 대안의 하나가 될 수 있다.

표 2. 수용가 전압의 분포 내역 (Case 1)

(a) 분산전원이 10% 도입된 경우의 수용가 전압

지점 / 전압	배전용변전소 직하 지점 (A)	전압강하 5% 이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5% 이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5% 이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하(V)	0	596	596	1,297
변대직하 수용가 전압 (V)	226.18	215.79	226.48	213.70
변대말단 수용가 전압 (V)	217.38	206.99	217.68	204.90

(주) 변전소 송출전압 : 23,358V, 분산전원 용량 : 700kw

(b) 분산전원이 20% 도입된 경우의 수용가 전압

지점 / 전압	배전용변전소 직하 지점 (A)	전압강하 5% 이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하(V)	0	530	530	1,227
변대직하 수용가 전압 (V)	226.18	216.94	227.69	214.98
변대말단 수용가 전압 (V)	217.38	208.14	218.89	206.18

(주) 변전소 송출전압 : 23,358V, 분산전원 용량 : 1,400 kW

(c) 분산전원이 30% 도입된 경우의 수용가 전압

지점 / 전압	배전용변전소 직하지점 (A)	전압강하 5%이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하 (V)	0	464	464	1,157
변대직하 수용가 전압(V)	226.18	218.10	228.90	216.25
변대말단 수용가 전압(V)	217.38	209.30	220.10	207.45

(주) 변전소 송출전압 : 23,358V, 분산전원 용량 : 2,100 kW

표 3. 수용가 전압의 분포 내역 (Case 2)

(a) 분산전원이 10% 도입된 경우의 수용가 전압

지점 / 전압	배전용변전소 직하지점 (A)	전압강하 5% 이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하 (V)	0	608	608	1,324
변대직하 수용가 전압 (V)	221.57	210.97	221.44	208.38
변대말단 수용가 전압 (V)	212.77	202.17	212.64	199.58

(주) 변전소 송출전압 : 22,900V, 분산형전원 용량 : 700 kW

(b) 분산전원이 20% 도입된 경우의 수용가 전압

지점 / 전압	배전용변전소직하지점 (A)	전압강하 5% 이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하(V)	0	541	541	1,252
변대직하 수용가 전압 (V)	221.57	212.15	222.67	209.68
변대말단 수용가 전압 (V)	212.77	**203.35**	213.87	**200.88**

(주) 변전소 송출전압 : 22,900V, 분산형전원 용량 : 1,400kW

(c) 분산전원이 30% 도입된 경우의 수용가 전압

지점 / 전압	배전용변전소직하지점 (A)	전압강하 5% 이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하(V)	0	473	473	1,181
변대직하 수용가 전압 (V)	221.57	213.33	223.90	210.98
변대말단 수용가 전압 (V)	212.77	**204.53**	215.10	**202.18**

(주) 변전소 송출전압 : 22,900V, 분산형전원 용량 : 2,100kW

(3) 선로말단지점에 신 에너지전원이 설치되는 경우

분산전원이 고압선로 간선의 말단에 연계되어, 순간적(60초 이하)으로 정격의 50%까지 변동하는 것으로 하고, 장기적(60초 이상)으로는 100% 까지 변동하는 것으로 상정한다. 순간적인 출력변동에는 배전용변전소의 전압조정장치(ULTC의 LDC운전)의 응동 시간을 벗어나므로 변전소의 송출전압이 23,358V이고, 장기적인 부하 변동에는 ULTC가 응동하여 송출전압이 22,900V로 조정된다고 가정한다. 표 4에서와 같이 출력변동이 큰 분산전원이 선로의 간선에 존재하는 경우 선로의 다른 수용가에게 과전압 및 저 전압을 유발할 가능성이 높게 된다. 따라서 선로 전압조정장치를 도입하거나 선로증강공사 등이 필요한 데, 전자의 방안이 가장 경제적인 대안의 하나가 될 수 있다.

표 4. 수용가 전압의 분포 내역 (Case 1)

(a) 순간적인 전압변동 시(정격의 50% 변동)의 전압분포

지점 / 전압	배전용변전소직하지점 (A)	전압강하 5%이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하 (V)	0	521	521	869
변대직하 수용가 전압 (V)	226.18	217.11	227.86	221.51
변대말단 수용가 전압 (V)	217.38	208.31	219.06	212.71

(주) 변전소 송출전압 : 23,358V, 선로말단의 부하는 1.5MW임(선로중간은 4MW).

(b) 장기적인 전압변동 시(정격의 100% 변동)의 전압 분포

지점 / 전압	배전용변전소 직하지점 (A)	전압강하 5% 이하의 말단 지점 (B)	전압강하 5%이상의 직하 지점 (C)	전압강하 5%이상의 말단 지점 (D)
고압선 전압강하 (V)	0	386	386	386
변대직하 수용가 전압 (V)	221.57	214.84	225.49	225.49
변대말단 수용가 전압 (V)	212.77	**206.04**	216.69	216.69

(주) 변전소 송출전압 : 22,900V, 선로말단의 부하는 0MW임(선로중간은 4MW).

3. 결 론

출력변동이 큰 분산전원이 선로의 중간지점이나 말단지점에 도입되어 연계운용을 하는 경우, 선로의 다른 수용가에게 과전압 및 저 전압을 유발할 가능성이 있다. 따라서 선로 전압조정장치를 도입하거나 선로 보강공사 등이 필요한 데, 전자의 방안이 가장 경제적인 대안의 하나가 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Daeseok Rho, Horiyuki Kita, Kenichi Nishiya and Hasegawa Jun, "Voltage Regulation Methods Based on an Extended Approach and Neural Networks for Distribution System interconnected with DSG systems", 일본전기학회지B, 117권 3호, 1997년3월

[2] "電壓管理の手引き", 북해도전력회사, 1993

[3] Daeseok Rho, Hiroyuki Kita and Hasegawa Jun, "Basic Studies on the Impacts of Customer Voltages by the Operation of FRIENDS", 일본전기학회 전국대회 No.1486, 1997년3월

[4] 김미영, 노대석, "최적전압조정을 위한 ULTC와 SVR의 협조방안에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2004