

다수 PV 시스템 배전계통 연계 시 전압변동 분석

강철 · 신희상 · 조성민 · 문종필 · 김재철
송실대학교

The Analysis of Voltage Variations at Distribution System Interconnected Multiple PV Systems

Chul Kang · Hee-Sang Shin · Sung-Min Cho · Jong-Fil Moon · Jae-Chul Kim
Soongsil University

Abstract - Recently, the concern of PV(Photovoltaic) systems has increased because of an environmental problem and limitation of fossil fuel. In this paper, distribution system of existing one-way power flow and distribution system generating bidirectional power flow analyze voltage variation at distribution system interconnected multiple PV systems. Also, we analyze a supply voltage range of distribution system using LDC and ULTC voltage regulation method by case study.

우리나라 배전계통에서는 ULTC 및 LDC 전압조정방법이 주로 사용되고 있다. 변전소는 LDC 방식에 따른 ULTC 변압기의 1차측 탭 조정을 통해 배전전압을 송출한다. 그림 1은 ULTC 변압기 및 LDC 전압조정 개념도를 나타낸다. 그림 1에서 주변압기를 고려한 ULTC 및 LDC의 전압조정 방법은 주변압기 2차측에 흐르는 전압과 전류를 이용하여 송출기전압과 송출전압사이의 오차를 계산하고 오차가 db(Dead band) 범위를 벗어나면 ULTC의 탭 값을 증가 또는 감소시킴으로써 배전계통의 적정전압을 유지하도록 전압조정을 하고 있다.[2]

1. 서 론

우리나라는 생활수준의 향상과 전자·정보기기의 수요증가 등 전력수요의 규모가 매년 크게 증가하고 있으며 점점 고품질의 전력을 요구하는 부하가 증가하고 있는 실정이다. 그러나 계속되는 유가상승과 환경문제, 발전소 부지 선정의 어려움 등으로 인하여 대규모의 발전소 건설, 송배전선로의 확충·신설 등이 점점 어려워지고 있다. 이에 따라 새롭고 다양한 에너지 자원의 활용에 대한 관심이 그 어느 때보다 고조되고 있다.

PV(Photovoltaic power generation, 태양광발전) 시스템은 새로운 에너지원으로 주목받고 있는 분산전원의 하나로써 발전규모의 선택이 자유롭고 환경문제도 야기 시키지 않는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 배전계통은 기본적으로 송전계통에서 전력을 수전하여 이를 부하에 공급하는 역할을 하므로 단방향 조류를 고려한 운용형태인데 반해, PV 시스템이 연계된 배전계통은 PV 시스템에서도 전력이 공급되기 때문에 양방향 조류 형태로 운용하게 된다. 그 결과 PV 시스템이 연계된 지점에서는 기존의 단방향 조류에서는 나타나지 않던 고조파, 전압변동, 보호협조 등의 문제점들이 발생할 수 있다. 특히 다수 대의 PV 시스템이 계통에 연계 된 운전되는 피더(Feeder)에서는 변전소에서 공급하는 전력과 PV 시스템에서 공급하는 전력 즉, 양방향의 전력공급으로 인해 연계 된 피더의 부하 용량의 변화가 발생하여 전압변동이 나타나게 된다. 배전계통의 전압은 변전소에 LDC 및 ULTC(Under Load Tap Changer) 변압기로 조정하게 되는데 PV 시스템의 연계로 인한 양방향 조류를 고려하지 못하게 되어 전압변동이 발생함에도 불구하고 적정허용전압범위(20,800~23,800[V])내에서 계통의 전압을 유지하지 못하는 문제가 발생 할 수 있다[1].

본 논문에서는 기존 단방향 조류형태의 배전계통과 PV 시스템이 연계된 양방향 조류가 발생하는 배전계통에서의 LDC 및 ULTC를 고려한 전압조정방법의 결과 모의 및 비교를 통해 PV 시스템이 다수 대 연계 된 배전계통의 전압변동을 분석하고자 한다.

2. 배전계통 모델 및 전압변동

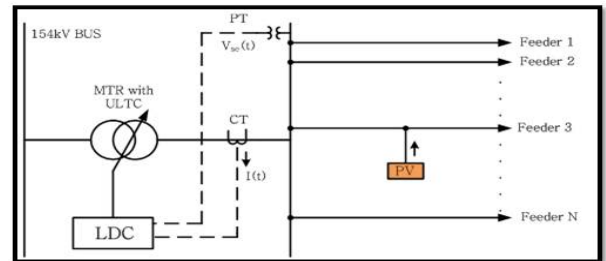
2.1 배전계통 전압 운용 범위

현재 우리나라에서 운용되고 있는 배전계통의 전압은 변전소에서 154/22.9[kV] 1차측 전압 비율로 전압을 하고 있다. 이때의 전압 조정 범위는 ±10[%] 이고, ULTC 탭에서는 ±10Tap × 1.25%(1,925[V])로 전압조정이 이루어지고 있다.

고압 배전계통(22.9[kV])에서 전압유지 범위는 ±10[%]를 기준으로 20,800~23,800[V]를 유지하여야 하며, 저압(주상변압기 2차측) 배전계통에서는 전압강하(주상변압기 2[%] + 저압선 6[%] + 인입선 2[%] = 10[%])를 고려하여야 저압배전계통 유지 전압인 220±13[V], 380±38[V]를 유지할 수 있다.

저압(수용가)측에서는 220±13[V], 즉 233~207[V]의 전압을 유지하여야 한다.

2.2 LDC 및 ULTC를 고려한 전압조정방법



〈그림 1〉 ULTC 변압기 및 LDC 전압조정 개념도

ULTC 및 LDC를 고려한 전압조정 방법은 다음과 같다[2,3].

$$T_k(t+1) = T_k(t) - a_k f_k(e_k(t), c_k(t)) \quad (1)$$

$$c_k(t+1) = g_k(e_k(t), c_k(t)) \quad (2)$$

$$f_k(e_k, c_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } e_k = 1 \text{ and } c_k > dt \\ -1 & \text{if } e_k = -1 \text{ and } c_k < -dt \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$g_k(e_k, c_k) = \begin{cases} c_k + 1 & \text{if } e_k = 1 \text{ and } c_k \geq 0 \\ c_k - 1 & \text{if } e_k = -1 \text{ and } c_k \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$e_k(\Delta V_k, db) = \begin{cases} e_k = 1 & \text{if } \Delta V_k > db \\ e_k = -1 & \text{if } \Delta V_k < -db \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서,

k : ULTC 변압기의 k 번째 탭 ($k=1, 2, \dots, K$)

K : ULTC 변압기의 전체 탭수

ΔV_k : 전압오차(voltage error)

a_k : ULTC 변압기의 탭 간격

db : ULTC 변압기의 Dead Band

dt : ULTC 변압기의 시간지연(time delay)

$c_k(t)$: LDC의 time delay element

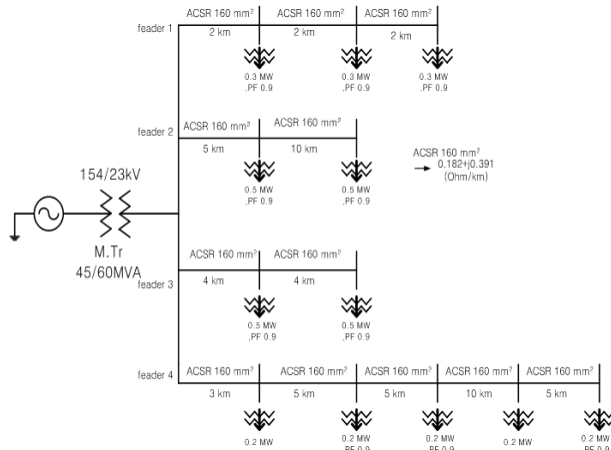
$f_k(t)$: LDC의 tap changing element

$e_k(t)$: LDC의 measuring element

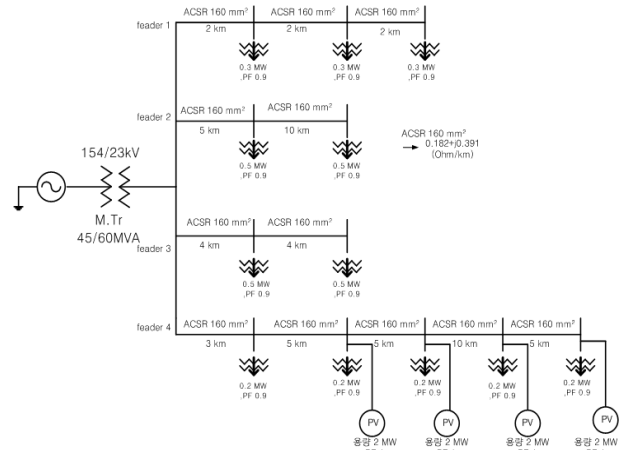
현재의 LDC 전압조정 방법은 PV 시스템이 연계되었을 때의 배전계통을 고려하지 않았기 때문에 PV 시스템이 연계 된 배전계통에서는 양방향 조류로 인해 기존의 LDC 방식에 의한 전압조정으로는 배전계통의 전압을 적정유지전압 범위 내에서 유지하지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

2.2 PV 시스템이 연계 되지 않은 154/22.9[kV] 변전소 및 배전계통 모델

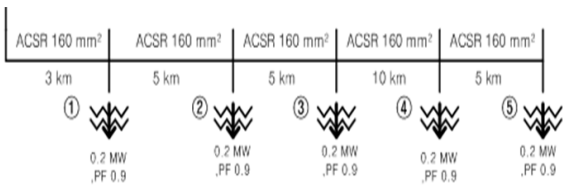
경부하시 154/22.9[kV] 변전소 및 배전계통 모델링은 그림 2와 같다.



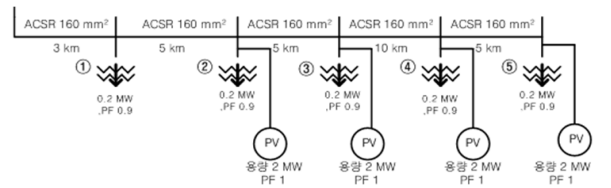
〈그림 2〉 154/22.9kV 변전소 및 배전계통 모델링(경부하)



〈그림 4〉 PV 시스템 연계 시 154/22.9kV 변전소 및 배전계통 모델링(경부하)



〈그림 3〉 경부하시 피더 4



〈그림 5〉 경부하시 PV 시스템이 연계된 피더 4

그림 2는 경부하 시 변전소의 주 변압기(M.Tr with ULTC)의 탭 조정을 거쳐 배전계통의 적정 허용전압범위인 20,800 ~ 23,800[V]를 유지하는 모델로써 피더 4에서의 노드 및 P. Tr 탭비 및 P. Tr 2차측 전압은 표 1과 같다.

〈표 1〉 피더 4에서의 노드 및 주상 변압기(P.Tr) 탭비 및 2차측 전압

	노드 및 P. Tr 탭비	P. Tr 2차측 전압
①	12,600/230 [V]	247 [V]
②	12,600/230 [V]	246 [V]
③	12,000/230 [V]	258 [V]
④	12,000/230 [V]	257 [V]
⑤	12,000/230 [V]	256 [V]

표 1은 PV 시스템이 연계되지 않았을 때 변전소 주변압기 ULTC의 탭 조정을 통해 경부하시 고압배전선로 및 저압 수용가(220±13[V])의 적정 유지 전압으로 운용되고 있음을 보여준다.

2.3 PV 시스템이 연계된 154/22.9[kV] 변전소 및 배전계통 모델
경부하 시 PV 시스템이 연계된 배전계통 모델링은 그림 4와 같다.

〈표 2〉 피더 4에서의 노드 및 주상 변압기(P. Tr) 탭비, 특고압 배전선로 전압, P. Tr 2차측 전압

	노드 및 P. Tr 탭비 [V]	특고압 배전선로 전압		P. Tr 2차측 전압	
		PV 투입 전	PV 투입 후	PV 투입 전	PV 투입 후
①	12,600/230	23,470 [V]	23,610 [V]	247 [V]	248 [V]
②	12,600/230	23,420 [V]	23,840 [V]	246 [V]	251 [V]
③	12,000/230	23,390 [V]	24,020 [V]	258 [V]	265 [V]
④	12,000/230	23,340 [V]	24,270 [V]	257 [V]	268 [V]
⑤	12,000/230	23,330 [V]	24,330 [V]	256 [V]	269 [V]

변전소는 LDC 방법으로 ULTC 변압기의 1차측 탭을 조정함으로써 중·경부하 시의 배전계통 전압을 유지한다. 그러나 이러한 방식은 PV 시스템과 같은 분산전원의 배전계통 연계를 고려하지 않아 PV 시스템 연계 시 표 2와 같이 경부하 시에는 피더 4의 배전계통 전압이 ULTC 변압기의 1차측 탭 조정에도 불구하고, 적정 유지 전압을 벗어나는 경우가 발생하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 여러 분산전원 중 크게 주목받고 있는 PV 시스템이 배전계통에 연계 되어 운전될 경우 발생할 수 있는 전압변동을 사례연구를 통하여 모의하였다. 배전계통은 부하의 변동이 계절별, 시간별 등에 따라 실시간으로 변하게 된다. 변전소는 이러한 부하변동에 따른 전압을 조정하기 위하여 LDC 방법으로 ULTC의 탭을 조정하여 적정 허용범위(20,800~23,800[V]) 내에서 전압을 유지시키게 된다. 이는 현재의 배전계통이 단방향 조류만을 고려하여 운전되기 때문에 가능하다. 그러나 PV 시스템이 연계 된 배전계통에서는 기존 단방향 조류만을 고려하여 전압조정이 이루어졌을 때 계통의 전압이 적정 범위 내에서 운전되지 못하는 경우가 발생하였다. 이는 PV 시스템의 연계로 인해 양방향 조류가 발생하게 되고 그 결과 피더의 부하 용량에 공급하는 전력이 PV 시스템이 연계 되지 않았을 때와는 달라지기 때문이다. 그 결과 현재의 LDC 및 ULTC를 고려한 전압조정 방법은 PV 시스템과 같은 분산전원이 연계 되어 양방향 조류가 발생하는 경우에는 효과적 으로 운영되지 않을 수 있다.

결과적으로 PV 시스템이 연계된 배전계통에서는 계통의 전압을 적정 허용범위 내에서 유지시키기 위해서는 피더에 연계되는 PV 시스템의 용량의 제한, 연계점 위치 선정 등을 PV 시스템 설치전에 충분히 고려해야 하며, PV 시스템이 계통에 연계되어 운전될 경우에는 기존의 전압조정방법과는 달리 양방향 조류를 고려한 전압조정방법으로 계통의 전압을 공급허용범위 내에서 유지시키며 운용되어야 할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

[1] 한국전력공사 배전처, “분산형 전원 배전계통 연계 기술기준”, pp 13, 2005
 [2] 김태웅, 김재언, “분산전원이 도입된 배전계통의 전압해석 방법에 관한 연구”, 대한전기학회논문지, 52A-2-1, pp 69-78, 2003
 [3] Joon-Ho Choi and Jae-Chul Kim, “Advanced Voltage Regulation Method at the Power Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems”, IEEE Trans. on PWRD. Vol.15, No.2, pp 691-696, Apr.2000