

## 풍력발전이 연계된 배전선로의 SVR 적용연구

(A Study on the Application of SVR at the Distribution Line Interconnected with Wind Turbine)

채우규\* · 이학주 · 정원욱 · 김주용

(Woo-Kyu Chae · Hak-Ju Lee · Won-Wook Jung · Ju-Yong Kim)

### 요 약

풍력발전이 배전선로에 연계되면 풍력발전의 출력양에 따라 과전압 또는 저전압 현상을 겪을 것으로 예상된다. 그러나 이러한 문제는 지금까지 이론 및 시뮬레이션을 만들 통하여 고찰이 되었으며 실제 측정을 통해 제시한 사례는 거의 없다.

본 논문에서는 풍력발전이 연계된 장거리 배전선로의 과전압 및 저전압 문제를 실제측정을 통하여 증명하였다. 기존 배전선로의 전압관리 방법에 대하여 설명하였으며 주상변압기 Tap 변경만을 이용해서는 분산전원의 출력변동으로 인한 전압변동을 적정하게 유지할 수 없음을 보였다.

분산전원으로 인한 전압변동을 해소하기 위한 방법으로 여러 가지 대책에 대하여 고찰하였으며, 가장 합리적인 방법으로 SVR 설치를 제안하였으며 배전계통 해석 S/W를 이용하여 SVR 설치를 모의하여 분산전원으로 인한 전압변동을 문제를 해결할 수 있음을 보였다.

### Abstract

It is expected that distribution system, interconnected with wind turbines, would experience the voltage problem due to WT's output. But most papers just consider this problem using the simulation or the theory only.

In this paper, we verify this problem through the measurement at the distribution system and wind turbine. We explain the method for voltage management at distribution system. And we verify that the voltage of D/L interconnected with WTs could not be maintained properly using pole transformer's tap only.

We consider some method to solve this problem and we propose the installation of SVR(step voltage regulator). Finally we show this method's validity through the simulation.

Key Words : Distribution System, Wind Turbine, Voltage Variation, Step Voltage Regulator

\* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원

Tel : 042-865-5986, Fax : 042-865-5944, E-mail : wkchae@kepco.co.kr

접수일자 : 2010년 4월 28일, 1차심사 : 2010년 4월 30일, 2차심사 : 2010년 5월 22일, 심사완료 : 2010년 6월 8일

## 1. 서 론

풍력발전시스템은 국제 환경의 변화 및 유가 상승과 경제성 및 기술의 성숙도로 인해 에너지 산업에서 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 분야가 되었다. 2009년 세계 풍력발전 신규 설치용량이 38[GW]로 2009년 말 전 세계의 총 풍력발전 설비용량은 158[GW]가 되었다. 2014년에는 설비용량이 약 409[GW]가 될 전망이다. 우리나라 역시 정부의 정책에 의하여 2012년 까지 2,250[MW]의 풍력발전을 설치하려는 계획을 갖고 있다[1].

풍력발전은 그 특성상 출력변동이 심한편이고 연계된 계통이 취약하고 연계된 계통에 비하여 발전용량이 크다면 해당 계통의 전력품질에 영향을 미칠 수 있고, 특히 발전 유무에 따라 과전압, 저전압 등 심각한 전압변동 문제를 야기할 수 있다.

수용가에 적절한 전압으로 전력을 공급하는 것은 전기기기의 수명보장, 조명기기의 적정 조도 유지, 안정적인 전기기기 운영을 통한 제품의 품질 유지 등에 있어 필수적이다. 따라서 모든 전력회사는 배전선로 고압측의 전압을 적정하게 유지하기 위하여 변전소 MTr.의 변압기 Tap 조정장치인 ULTC(Under Load Tap Changer) 자동운전, 선로의 적정 부하배분, SVR 설치, 전선의 상위규격으로의 교체 등 여러 가지 방법을 이용하고 있다.

적정전압 범위를 유지하던 배전선로에 분산전원이 연계되면 말단으로 갈수록 전압이 떨어지던 기존 전압 분포에 비하여 말단의 전압이 상승하게 되며, 이러한 현상은 분산전원의 발전량, 연계위치 및 발전 유무에 따라 다양한 형태를 띄게 된다.

따라서 전력회사는 분산전원 연계시 사전검토를 통하여 전압관리상의 문제가 없는지를 검토하게 된다. 그러나 이러한 검토는 분산전원 설치전에 이루어지므로 시뮬레이션에 의지할 수밖에 없는 상황이고, 부하가 증가하는 등 운영여건이 변하게 될 경우 사전검토에 한계가 있게 된다.

본 논문에서는 그동안 주로 이론적으로만 고찰되었던 분산전원 연계 배전선로의 전압관리상의 문제점을 실제 측정을 통하여 고찰하였다. 또 전압관리상의 문

제를 해결하기 위한 다양한 방법을 고찰하였으며 가장 합리적인 대책으로 SVR(Step Voltage Regulator) 설치를 제안하였고 그 효용성을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

## 2. 배전선로의 전압관리

분산전원이 도입되기 전의 배전선로의 전압관리는 단방향 조류 흐름에 의하여 비교적 간단하게 수행되었다. 그러나 분산전원이 연계된 배전계통은 양방향 조류 흐름 때문에 전압을 유추하는 것이 곤란하여 전압관리에 어려움이 있다. 대부분의 논문에서는 분산전원의 배전계통 연계로 인하여 과전압 또는 저전압에 대해서만 언급하고 있고[2-3], 분산전원의 출력이 일정하다면 이러한 문제는 변전소의 ULTC 조정 및 주상변압기 Tap 조정 등의 방법으로 해결이 가능하고, 분산전원 측의 보호장치에 의하여 사전 차단이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 분산전원 연계로 인한 과·저전압 문제보다는 분산전원 연계에 따른 배전선로 전압관리의 문제점 및 그 대책에 대하여 논의하고자 한다.

### 2.1 배전선로 전압 유지기준

전력회사는 수용가에 적절한 전압으로 전력을 공급하기 위하여 전기공급약관에서 정한 기준을 유지하여야 하며 그 기준은 표 1과 같다[4].

표 1. 배전선로 전압 유지기준  
Table 1. Voltage Standard of Distribution System

표준 전압([V])		전압 유지범위([V])
특고압	13,200 / 22,900	12,000 ~ 13,800 / 20,800 ~ 23,800
	220	207 ~ 233
저압	380	342 ~ 418

### 2.2 배전선로의 전압관리 방법

그림 2는 수용가에 적정전압을 공급하기 위한 배전

선로의 전압조정 방법을 개념적으로 나타낸 것이다. 1차 전압조정은 배전용 변전소에 설치된 주변압기의 OLTC Tap을 이용하여 이루어진다. Tap을 조정하는 방법에는 부하전류의 크기 및 22.9[kV] 모선측 전압을 측정하여 가상의 부하중심점(특정 배전선로 또는 주변압기에서 공급되는 모든 배전선로의 평균 부하중심점)의 전압을 일정하게 유지하는 방법인 LDC(Line Drop Compensator)가 주로 사용된다. 주변압기에서 공급하는 모든 배전선로의 부하패턴이 매일 유사한 경우, OLTC Tap 위치를 미리 설정된 값에 따라 자동으로 조정되게 하는 프로그램 방식도 사용된다.

2차 전압조정 방법은 배전선로에 설치된 주상변압기의 Tap을 이용하는 방법이다. 주상변압기 Tap은 통상 13,800/13,200/12,600 등 3개로 구성되어 있으며 고압 배전선로의 전압이 5[%]를 초과하는 지역에서 12,600Tap을 사용하여 적정 전압을 공급하게 된다.

3차 전압조정 방법은 단권변압기 및 전압조정요소로 구성된 SVR(Step Voltage Regulator)를 사용하는 것이다. SVR은 고압측 전압강하가 10[%]를 초과하는 지역에 적용하여 고압 배전선로의 전압강하를 보상하게 된다.

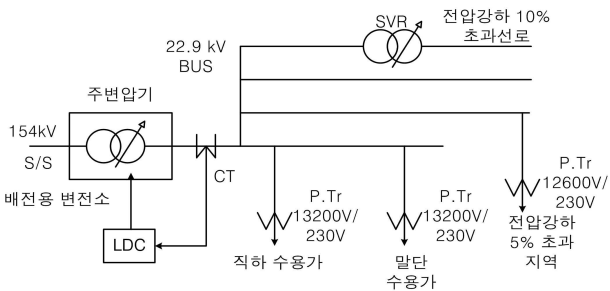


그림 1. 배전선로의 전압조정 개념도  
Fig. 1. Voltage Regulation of Distribution Systems

### 2.3 분산형전원 연계기준에서의 전압조정 정의

국내의 분산형 전원 연계기준에 따르면, “분산형전원은 공통 연결점의 전압을 능동적으로 조정하여서는 안되며, 분산형전원이 계통에 영향을 미쳐 다른 국내 계통에 대한 배전계통의 공급전압이 규정으로 정한

표준전압 및 허용오차의 범위를 벗어나게 하여서는 안 된다[5-6]”로 정의하고 있다.

### 3. 풍력발전 연계 배전선로의 전압 측정 및 분석

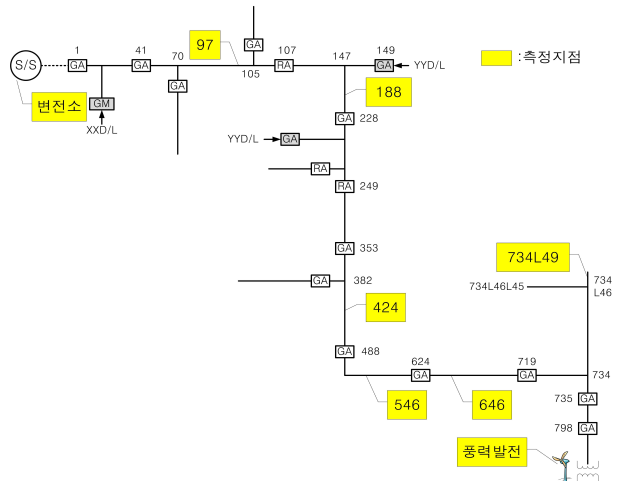


그림 2. OOD/L 단선도 및 전압측정 위치  
Fig. 2. Single Line Diagram of OOD/L and Voltage Measurement Points.

표 2. OOD/L 및 OO풍력 현황  
Table 2. Summary of OOD/L and OOWind Farm

구분		내용
부하	최대[kW]	6,500
	최저[kW]	1,100
선로 공장[km]		48.6
풍력발전기	용량	3상 3,000[kW]
	발전기 형식	DFIG
	연계위치[km]	48
측정	저장 주기	1sample/10[min]
	측정 위치	변전소, 풍력발전소, D/L 6개소

#### 3.1 측정 개요

본 논문에서 측정한 OOD/L 및 OO풍력발전소의 주요 현황은 표 2와 같다.

### 3.2 배전선로의 전압측정 방법

풍력발전이 연계된 배전선로의 전압을 적정하게 유지하기 위해서는 해당 선로의 전압분포를 정확하게 알아야 한다. 배전선로의 고압측 전압은 기 설치된 개폐기, 리클로저 등에서 측정되고 있으나 정확도가 낮아 실제로 사용하기 어렵고, 고압PT를 이용하여 직접 측정하는 것 또한 비용 및 설치에 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 주상변압기 2차측에 전압기록계를 설치하고 주상변압기의 Tap 값을 이용하여 고압측 전압을 유추할 수 있는 방법을 사용한다. 측정된 주상변압기 2차측의 전압은 식 1을 이용하여 고압측 전압으로 환산할 수 있으며 주상변압기에서 발생하는 전압강하분은 고려하지 않기로 한다.

$$V_{high} = \frac{Tap_{PT}}{230} \times V_{PT} \quad (1)$$

여기서,  $V_{high}$  : 고압측 전압,  $Tap_{PT}$  : 주상변압기 Tap값,  $V_{PT}$  : 주상변압기 2차측(저압측) 전압

### 3.3 OOD/L 부하량 및 풍력발전량

배전선로의 전압분포를 분석하기 위해서는 해당 선로의 정확한 부하량 데이터가 필요하다. 부하량 데이터는 변전소 인출전력 측정으로 취득이 가능하나 분산전원이 연계된 경우에는 분산전원의 발전량만큼 선로의 부하량이 감소되어 나타나므로 분산전원의 발전량 정보를 취득하여 선로의 정확한 부하량을 산정하여야 한다. 그림 3은 측정기간 중 일부기간의 부하량 및 풍력발전량 데이터이다.

### 3.4 고압 배전선로의 전압분포 분석

분산전원이 연계된 배전선로의 전압분포는 부하량, 역률, 분산전원의 발전량 등이 유기적으로 관련되어 시간에 따라 계속 변화한다. 따라서 본 논문에서는 각각의 상황을 대표할 수 있는 최대부하-최저발전, 최대부하-최대발전, 최저부하-최대발전, 최저부하-최저발전

전 등 4가지 경우로 분류하여 분석하였으며 가장 대표적인 전압분포를 그림 4에 나타내었다. 이때 최대부하 및 최저부하량은 표 2와 같으며, 최대발전은 약 2,850[kW] 이며 최저발전은 0[kW]이다. A상의 부하가 가장 많이 걸리고 있으므로 그림의 가독성을 위하여 A상만의 결과를 그림에 나타낸다.

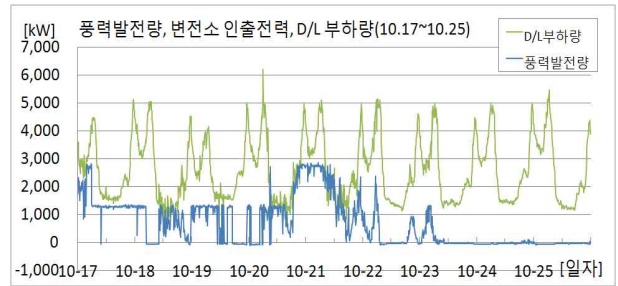


그림 3. OOD/L의 부하량 및 OO풍력발전의 발전량  
Fig. 3. Load and Generated Output. of WT

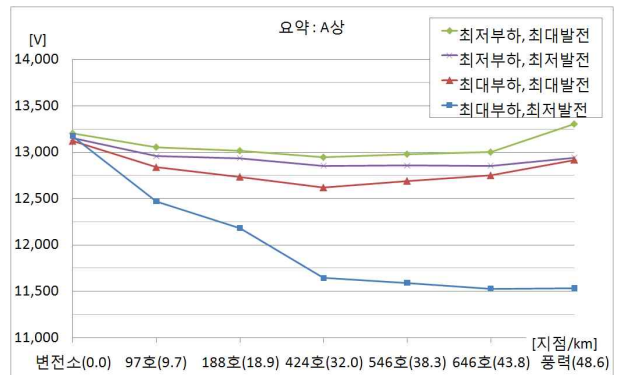


그림 4. 부하량-발전량 조합에 의한 전압분포  
Fig. 4. Voltage Profile for Each 4 Case

#### 3.4.1 Case 1 : 최대부하-최저발전

일반적으로 배전선로의 전압강하는 최대부하시에 발생하게 된다. OOD/L과 말단에 분산전원이 연계된 경우에는 발전량으로 인하여 말단의 전압이 상승하여 D/L 전체에서 고른 전압상승을 가져와서 저전압을 보상하여 줄 수 있다. 그러나 풍력발전량이 적정할 것이라고 가정한 상태에서의 ULTC 및 주상변압기 Tap 설정은 풍력발전량이 없을 경우에 심각한 저전압 현상을 발생시킬 수 있다.

그림 4에 나타난 바와 같이 최대부하-최저발전 조

건인 경우 선로 중간(약 23[km] 지점)부터 전압관리기준인 12,000[V]를 만족하지 못하는 사례가 발생하고 있다.

측정기간에는 A상에서만 전압강하 문제가 발생하고 있으나 부하 추이로 보아 한 겨울에 더 많은 전압강하가 발생할 것으로 예상되며, 상간 전압 불평형으로 인하여 중성선 과전류, 삼상 전기기기의 오동작 등의 문제가 발생할 수 있다.

### 3.4.2 Case 2 : 최대부하-최대발전

전체적으로 'U'자 형태의 전압분포를 나타내며, 상에 따라 약간의 차이가 있긴 하지만 풍력발전이 연계된 지역의 전압이 더 높게 나타나는 경우가 있는데 이는 분산전원의 발전으로 인한 역조류가 발생하기 때문이다.

Case 1의 사례와 같이 최대부하가 걸리는 상황이나 말단에 연계된 풍력발전이 전압을 유지시켜 주고 있어 저전압 문제가 발생하지 않고 있다. 그러나 풍속 또는 외부의 요인에 의하여 발전량이 감소한다면 Case1처럼 저전압 문제가 발생하게 된다.

### 3.4.3 Case 3 : 최저부하-최대발전

D/L 전체의 부하량을 상회하는 발전량으로 인하여 말단의 전압이 더 높게 나타나고 있으며 적은 부하량으로 인해 상간 전압불평형도 거의 나타나고 있지 않다. 또한 경부하 상황이기 때문에 풍력발전기가 계통으로부터 탈락하더라도 전압관리상의 문제점은 발견되지 않는다.

### 3.4.4 Case 4 : 최저부하-최저발전

전반적으로 말단으로 갈수록 전압이 떨어지고 있으며 Case 3에 비하여 말단의 전압이 낮게 되는데 이는 발전량이 없기 때문이다. 하지만 경부하 상황이기 때문에 전압관리 측면에서 문제가 없는 상황이다.

### 3.4.5 측정 지점별 전압분포

표 3은 각 측정 지점별 전압에 대한 통계이다. 말단으로 갈수록 전압변동폭( $\Delta[V]$ )이 커지고 있으며, 평균 전압 또한 대체적으로 감소하고 있다. 일반적인 배전

선로는 오직 부하변동에 의해서만 전압변동이 발생하기 때문에 선로 말단의 전압은 주상변압기 Tap으로 적절하게 대응가능한 수준에서 변동하게 된다.

표 3. 측정지점별 전압통계  
Table 3. Voltage Statistics at Each Point

측정지점 (누적거리)	상	최대(a)	최소(b)	$\Delta[V](a-b)$	평 균
변전소 (0[km])	A상([V])	13,523	12,833	690	13,132
	B상([V])	13,613	13,014	599	13,233
	C상([V])	13,690	13,068	622	13,276
97호 (9.7[km])	A상([V])	13,320	12,373	947	12,877
	B상([V])	13,356	12,724	632	12,974
	C상([V])	13,461	12,833	628	13,080
188호 (18.9[km])	A상([V])	13,290	12,098	1,192	12,797
	B상([V])	13,314	12,506	808	12,907
	C상([V])	13,363	12,568	795	12,955
424호 (32.0[km])	A상([V])	13,206	11,567	1,639	12,643
	B상([V])	13,260	12,333	927	12,834
	C상([V])	13,289	12,269	1,020	12,865
546호 (38.3[km])	A상([V])	13,240	11,513	1,727	12,642
	B상([V])	13,242	12,309	933	12,834
	C상([V])	13,328	12,261	1,067	12,860
646호 (43.8[km])	A상([V])	13,263	11,448	1,815	12,637
	B상([V])	13,299	12,265	1,034	12,859
	C상([V])	13,323	12,204	1,119	12,849
734L49 (48[km])	A상([V])	13,276	11,267	2,009	12,597
	B상([V])	-	-	-	-
	C상([V])	-	-	-	-
풍력발전 (48.6[km])	A상([V])	13,443	11,266	2,177	12,689
	B상([V])	13,564	12,191	1,373	12,957
	C상([V])	13,543	12,162	1,381	12,900
부하량	A상([kW])	586	1,923	-	-
	B상([kW])	496	1,835	-	-
	C상([kW])	504	2,755	-	-
	합계([kW])	1,586	6,513	-	-
발전량	A상([kW])	954	0	-	-
	B상([kW])	954	0	-	-
	C상([kW])	954	0	-	-
	합계([kW])	2,862	0	-	-

그러나 말단에 분산전원이 연계된 배전선로의 경우에는 분산전원의 발전량으로 인하여 최대 전압이 큰 폭으로 상승하게 되어 그 변동폭이 더욱 큰 값을 갖게 되며, 주상변압기에서 그 변동을 감당할 수 없게 된다.

### 3.5 저압 수용가의 전압 변동 분석

본 장에서는 수용가에서 경험하는 전압을 추정하기 위하여 주상변압기 2차측 직하 6개소에서 측정된 데이터 및 식 2를 이용하여 수용가의 전압을 계산하였다. 이때 거리는 저압선로의 공장을 나타내며 실제 조사한 결과를 근거로 저압4경간(200m)을 기준으로 하였다. 또한 인입선의 전압강하는 무시하기로 한다. 역률 역시 실제 측정된 데이터를 활용한다.

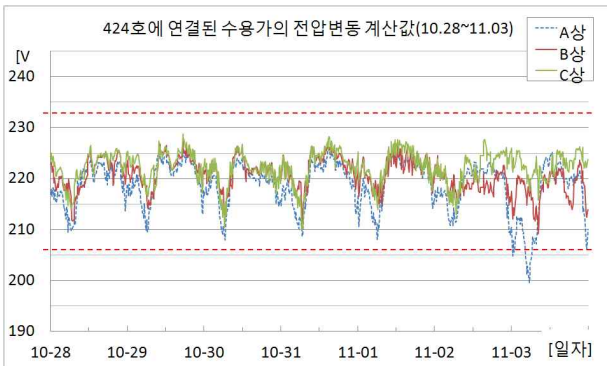


그림 5. 424호 수용가 전압  
Fig. 5. Voltage at Customer of #424 pole

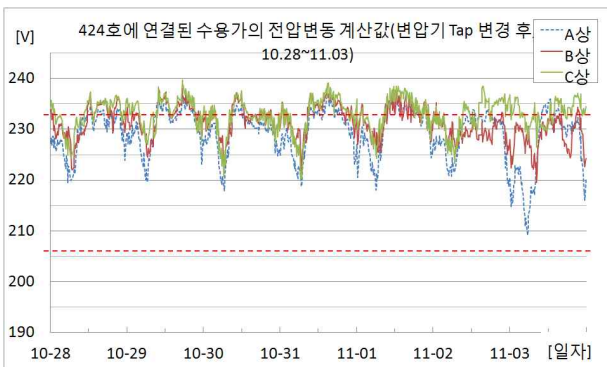


그림 6. 424호 수용가 전압(Tap 변경 후)  
Fig. 6. Voltage at Customer of #424 pole(After Tap Changing)

$$V_{cus} = V_{PT} - K \cdot I \cdot (R \cdot \cos\theta + X \cdot \sin\theta) \cdot l \quad (2)$$

단,  $V_{cus}$ : 수용가 전압,  $V_{PT}$ : 주상변압기 저압측 전압,  $K$ : 전압강하 계산 상수( $K$ : 단상=2, 3상=1),  $I$ : 부하전류,  $R$ : [km]당 저항 값,  $X$ : [km]당 리액턴스 값,  $\cos\theta$ : 역률,  $l$ : 저압선로 공장

#### 3.5.1 전주번호 424호 측 수용가

그림 5는 424호 주상변압기에서 측정된 데이터 및 식 2를 이용하여 계산한 수용가의 전압이며, 207[V] 및 233[V]의 점선은 규정전압 범위를 나타낸다. 부하량이 적은 시기에는 규정전압을 만족하고 있으나 기온저하로 인하여 심야부하가 많이 걸리는 시기(11월 3일)에는 규정전압을 하회하는 경우가 발생하고 있다. 해당 D/L은 부하 특성상 겨울철에 최대부하가 발생하기 때문에 심야부하시간대에 저전압 문제가 지속적으로 발생될 것으로 예상된다.

국지적인 수용가의 저전압 문제를 해결하기 위하여 주상변압기 Tap 변경할 수 있다. 그림 6은 현재의 13,200Tap에서 12,600Tap으로 변경하여 동일한 기간에 전력을 공급할 경우를 가정하여 계산한 수용가의 전압이다.

기존의 저전압 문제는 해결이 되었지만 반대로 과전압이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

이러한 문제는 해당지점이 Tap 변경점에 위치하고 있는 상태에서 분산전원의 발전량이 선로 전체의 전압분포를 변형시키기 때문이다. 따라서 주상변압기 Tap 변경만으로는 저전압 또는 과전압 문제를 해결할 수 없음을 알 수 있다.

#### 3.5.2 전주번호 546호 측 수용가

그림 7은 546호 주상변압기에 연결된 수용가의 전압을 계산한 결과이다. 546호의 경우는 424호와 반대로 과전압이 문제가 되고 있는 상황이다. 과전압 문제를 해결하기 위하여 현재의 12,600Tap에서 13,200Tap으로 변경할 수 있으며 그 결과는 그림 8과 같다. 424호와 마찬가지로 변압기 Tap으로 대처가 불가능한 상황에 놓여 있음을 알 수 있다.

### 3.5.3 발전량과 저압측 전압과의 상관관계

그림 9는 풍력 발전량과 주상변압기 2차측 전압의 상관관계를 나타낸다. x축은 풍력발전량을 나타내고 y축은 주상변압기 2차측의 전압을 나타낸다. 점선은 발전량에 따른 전압의 추세선이다. 데이터의 신뢰성을 높이기 위하여 전체 측정기간인 10월 8일~11월 3일을 분석기간으로 정하였다.

발전량이 증가할수록 주상변압기 2차측의 전압이 상승하고 있으며 그 정도는 변전소에서 선로의 말단으로 갈수록 심해지고 있는 것을 추세선의 기울기를 통하여 확인할 수 있었다.

이는 말단에 풍력발전기가 연계되어 있기 때문이며 풍력발전기에서 가장 가깝고 선로의 말단인 지역인 734L49호의 전압이 풍력발전량에 가장 민감하게 반응하고 있고 전압의 변동범위가 가장 큼을 알 수 있다.

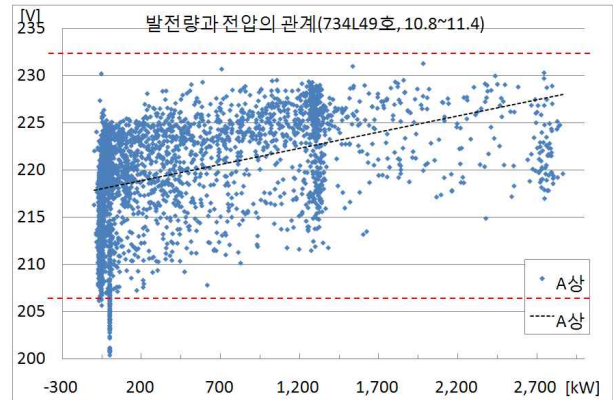


그림 9. 풍력발전과 저압측 전압의 상관관계  
Fig. 9. Correlation Between Wind Power and Low Voltage Side

또한 대부분의 저전압 문제가 풍력발전량이 전혀 없을 때 발생하고 있으며, 약간의 발전량만 있더라도 저전압 문제가 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서 적은 용량의 전력저장장치를 사용하더라도 배전선로의 전압관리에 매우 효과적일 수 있음을 알 수 있다.

## 4. 전압변동 완화를 위한 고찰

### 4.1 전압변동 저감 대책

통상 전력회사는 배전선로의 전압을 규정전압으로 유지하기 위하여 부하 전류에 비례하여 송출전압을 변경시키는 ULTC의 LDC(Line Drop Compensator) 운전을 하고 있으며, 저전압 선로의 전압강하는 주상변압기 Tap 조정을 통하여 보상하고 있다.

그러나 이러한 방법은 선로의 전압분포가 예측 가능한 경우에 시행하는 방법이다. 전술한 바와 같이 저전압 지역에 분산원이 연계되게 되면 그 발전량의 유무에 따라 주상변압기 Tap으로는 보상할 수 없는 과전압 또는 저전압 문제를 겪게 된다.

이때 배전선로 운영자는 분산전원으로 인한 전압관리 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 방법을 생각할 수 있다.

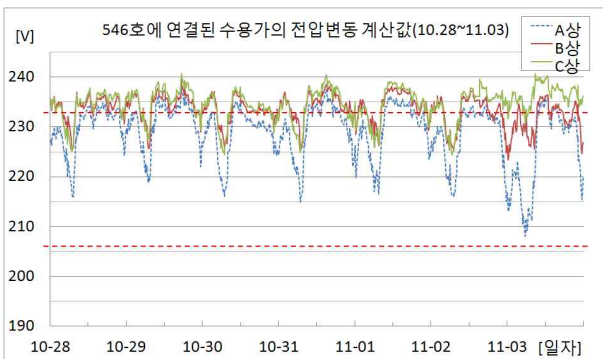


그림 7. 546호 수용가 전압  
Fig. 7. Voltage at Customer of #546 pole

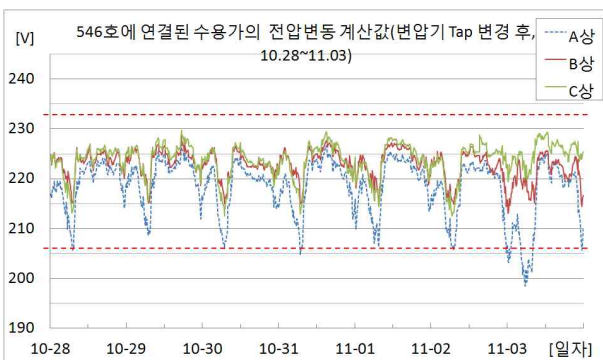


그림 8. 546호 수용가 전압(Tap 변경 후)  
Fig. 8. Voltage at Customer of #546 pole(After Tap Changing)

- 분산전원의 용량 제한
- 분산전원의 출력 제한
- 분산전원의 역률 조정
- 선로용 커패시터 설치
- SVR(Step Voltage Regulator)의 설치

이때 분산전원의 용량제한은 분산전원 도입전에 검토가 이루어져야 할 부분이고, 분산전원의 출력을 제한하거나 역률을 제한하는 것 역시 신재생에너지 활용의 극대화 측면에서 적절한 방법이 아니다. 역률보상용 커패시터는 역률이 좋지 않은 장거리 배전선로의 저전압을 보상하기 위한 방법으로 우리나라와 같이 적정한 역률로 운용되고 있는 배전선로에서는 적절한 방법이 아니다.

따라서 가장 현실적인 대안은 배전선로 중간에 SVR을 설치하여 운영하는 것인데, 분산전원의 출력이 빈번하게 변동하는 경우에는 SVR의 수명 및 적정 전압유지를 고려하여 Bandwidth 및 Delay Time을 적절하게 설정할 필요가 있다.

### 4.2 SVR의 적용[7,8]

SVR(Step Voltage Regulator)은 자동변압기와 부하시 Tap 변경 매커니즘으로 구성되어 있다. 전압 변경은 자동변압기중 직렬권선의 Tap을 변경함으로써 이루어진다. Tap 위치는 보통 ULTC의 작동원리와 동일한 제어회로인 LDC(Line Drop Compensator)에 의해 결정되나, 고정Tap 운전, 송출전압 고정운전 등의 방법을 적용할 수 있다. SVR의 제어회로를 그림 10에 나타내었다. 일반적인 SVR은 ±10[%]의 범위로 전압조정이 가능하며 32개의 Tap을 내장하고 있다.

역방향조류에 대응하기 위하여 양방향 운전이 가능하며, SVR 후단에 분산전원이 설치될 경우에 대비하여 Co-Generation 모드로 운전할 수도 있다. Co-Generation 모드로 운전하게 되면 분산전원의 출력으로 인하여 SVR 2차측의 전압이 과도하게 상승하는 것을 방지할 수 있다.

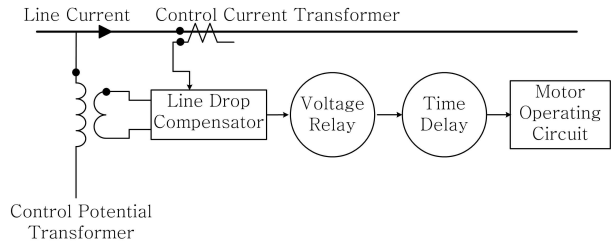


그림 10. SVR 제어 회로  
Fig. 10. SVR Control Circuit

### 4.3 전압변동 저감을 위한 시뮬레이션

#### 4.3.1 현재 상태 시뮬레이션

분산전원 연계에 따른 배전선로의 전압변동을 해석하고 전압변동 저감을 위한 SVR 설치를 모의하기 위하여 그림 2의 배전선로 및 풍력발전을 모델링하였다. 해석 프로그램은 배전계통 해석에 많이 사용되고 있는 CYMDist 4.7을 이용하였다.

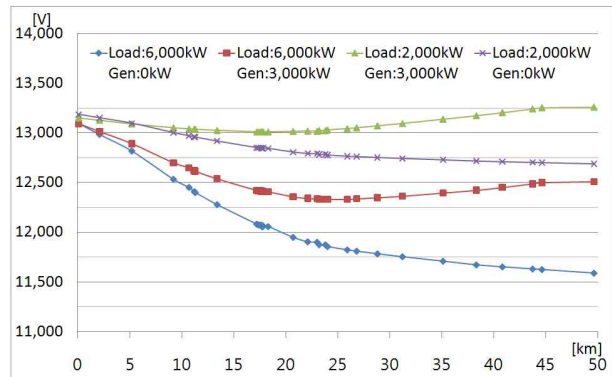


그림 11. 현재 상황에 대한 시뮬레이션 결과  
Fig. 11. Simulation Results for the Present time

표 4. 배전선로 및 풍력발전 시뮬레이션 조건  
Table 4. Simulation Parameter for D/L and WT

최대부하([kW])	6,000
최소부하([kW])	2,000
OOS/S 실측정 역률	0.98
최대 풍력발전량([kW])	2,900
OO풍력 실측정 역률	0.98



표 5. SVR 시뮬레이션 조건[9]  
Table 5. Simulation Parameter for SVR

설치 위치	전압강하 약 5[%] 지점 (전주번호 105호)
기준 전압	13,200[V]
Bandwidth	220[V]
Max Boost/Buck	10[%]/10[%]
Reverse Sensing Mode	Co-generation(Threshold : 1[%])
전압제어 조건	송출전압 고정(13,200[V])

그림 4의 결과와 비교하기 위하여 그림 4의 각 사례 별로 모의하였으며 그 결과는 그림 11과 같다. 이때 ULTC에 의한 영향을 배제하기 위하여 ULTC는 고정 탭으로 모델링하였으며, 전압강하가 가장 심한 A상을 기준으로 하였다.

그림 4의 결과와 마찬가지로 최대 부하시기에 심한 전압강하가 발생하는 것을 확인할 수 있으며 부하량이 적고 발전량이 최대일 경우에는 선로 말단의 전압이 변전소 측의 전압보다 상승하는 것을 확인할 수 있다.

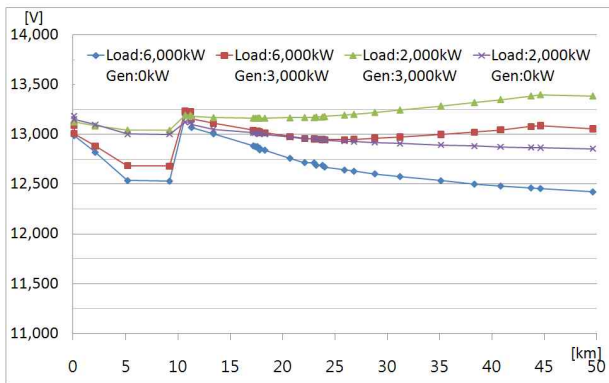


그림 12. SVR 설치에 대한 시뮬레이션 결과  
Fig. 12. Simulation Results for SVR installation

#### 4.3.2 SVR 설치 시뮬레이션

그림 11에서 모델링한 배전선로 및 풍력발전을 이용하여 SVR 설치를 모의하였으며 그 조건은 표 5와 같으며 그 결과를 그림 12에 종합하여 나타내었다.

SVR 설치지점(약 11[km] 지점) 후단에서 선로의 전압이 설정된 값으로 상승된 것을 확인할 수 있다. SVR 설치 전후의 선로 말단에서의 전압변동 폭을 비

교하면 표 6과 같으며 변동 폭이 2009[V]에서 970[V]로 줄어들어 주상변압기 Tap으로 감당이 가능한 상황이 된 것을 확인할 수 있다.

표 6. SVR 설치 전/후 전압변동 비교(734L49호 기준)

Table 6. Voltage Variation Comparison for SVR installation(#734L59 pole)

조 건		전압(고압측)	변동폭 (b)-a)
SVR 설치 전 (실제측정)	최대부하/ 발전량 無	11,267[V](a)	2009[V]
	최소부하/ 최대발전	13,276[V](b)	
SVR 설치 후 (시뮬레이션)	최대부하/ 발전량 無	12,400[V](a)	970[V]
	최소부하/ 최대발전	13,370[V](b)	

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존 논문에서 시뮬레이션 및 이론으로만 검증하였던 분산전원이 연계된 배전선로의 과전압 및 저전압 문제에 대하여 실제측정을 통하여 증명하였다. 기존 배전선로의 전압관리 방법에 대하여 설명하였으며 주상변압기 Tap 변경만을 이용해서는 분산전원의 출력변동으로 인한 전압변동을 적절하게 유지할 수 없음을 보였다. 또한 고압 배전선로의 전압을 측정하기 위하여, 주상변압기 2차측의 전압 및 주상변압기 Tap정보를 이용하여 계산하는 방법을 제안하였다.

분산전원의 배전선로 연계로 인해 발생하는 저전압 및 과전압 문제를 해결하기 위한 방법으로 여러 가지 대책을 고찰하였으며 가장 현실적인 대안으로 SVR 설치를 제안하였다. 분산전원이 연계된 배전선로를 배전계통 해석 S/W를 이용하여 현장상황과 동일하게 모델링하고 SVR 설치를 모의하여 분산전원으로 인한 전압변동을 문제를 해결할 수 있음을 보였다.

향후에는 분산전원 연계에 따른 SVR 최적 설치위치 및 운전 조건에 대하여 고찰하고자 한다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010T100200161).

### References

- [1] Global Wind Energy Council, 'Global Wind 2009 Report', 2010. 2.
- [2] Phil Barker, "Overvoltage Considerations in Applying Distributed Resources on Power Systems" IEEE Conference, 2002.
- [3] Sami Repo, "A case study of a voltage rise problem due to a large amount of Distributed Generation on a Weak Distribution Network", IEEE PowerTech Conference, 2003.
- [4] 한국전력공사, "배전 전압관리 업무지침", 2008.
- [5] 한국전력공사, "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준", 2009.
- [6] IEEE, "IEEE 1547-Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", 2008.
- [7] William H. Kersting, "Distribution System Modeling and Analysis 2nd", 2006, CRC Press.
- [8] Ljubomir Kojovic, "Impact of DG and Voltage Regulator Interaction on Distribution System Voltage Regulation", CIRED, 17th ICED, 2003.
- [9] Cooper Systems, "Voltage Regulators Manual", 2001.

### ◇ 저자소개 ◇



#### 채우규(蔡又圭)

1977년 4월 22일생. 2004년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 2007년 충북대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



#### 이학주(李鶴周)

1966년 12월 5일생. 1989년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사). 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



#### 정원욱(丁元昱)

1978년 1월 25일생. 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2005년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 2005년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



#### 김주용(金周勇)

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.