

## IEC 61850 기반 변전소 자동화 시스템의 전압제어시스템에 대한 기초 연구

정광호, 김진호, 김종우, 최승일  
(주)비츠로시스

### A Basic study on Voltage Control System in IEC61850 based Substation Automation System

Kwangho Jung, Jinho Kim, Jongwoo Kim, Seungil Choi  
VITZROSYS

**Abstract** - 전력계통의 구조가 복잡해지고 무효전력 및 전압제어가 전력계통 운용의 주요사안으로 대두되면서, 급속한 부하증가나 심각한 고장 등의 예측하기 어려운 사고 발생 위험이 커지고 있고, 이로 인해 전압붕괴 등 전력계통 불안정 현상이 전력계통의 안정운전에 큰 위협이 되고 있다. 본 논문에서는 IEC 61850 기반의 변전소 자동화에 사용되는 전압제어기 및 시스템에 대해서 조사하였다.

#### 1. 서 론

최근의 전력계통은 지속적인 수요증가와 전력산업의 구조개편으로 인한 계통의 운용 여유가 점차 감소하고 있다. 이러한 변화는 결국 최근 발생한 광역정전과 같은 심각한 전압 붕괴 현상을 초래하였으며 그로 인하여 전압안정도 해석과 향상 방법에 대해서 새로운 관심을 불러일으키게 되었다. 또 전력수요 증가, 고품질 전기, 전자 부품의 사용 및 전력전자 소자의 사용 증가로 전력계통의 전력 품질은 악화 되고 있으며 고품질 전력에 대한 수용가의 수요가 급증하고 있는 실정이다. 전력품질 문제로는 대표적으로 전압 변동, 플리커, 순간전압강하, 고조파 왜곡 등의 문제가 있다. 배전계통에서는 전력품질의 문제 중 정상상태에서 가장 중요한 문제점은 전압변동 및 역률 저하이다. 일반적으로 수용가에서 사용되는 전기기는 정격전압에서 운전될 때 가장 효율이 좋아지도록 정격전압을 기준으로 설계되어 있다. 따라서 공급전압이 이 정격전압을 유지 못하고 이보다 높아지거나 또는 낮아지면 우선 그 효율측면에서 다소간의 나쁜 영향을 미치게 된다. 예를 들어 백열전구의 경우 공급전압이 정격값보다 5%만 저하되어도 광도가 8%감소되고 반대로 공급 전압값이 정격값보다 5% 상승되면 수명은 45% 단축된다. 또한 배전계통의 역률이 저하되면 공급전압을 유지하기 힘들뿐 아니라 전체적인 손실이 증가하게 된다.

일반적으로 모든 국가에서는 수용가 전압의 적정수준유지를 위해 전기법규상 이를 규정하여 의무화하고 있어, 전력회사는 이를 적절히 유지하기 위하여 별도의 보상장치를 적용하고 있다.

전력계통에 대한 감시, 해석, 진단 및 제어에서 방재, 보안기능에 이르기까지 변전소에서 행하여지는 모든 기능을 통합, 기능의 극대화, 공간의 최소화, 관리의 효율화 등을 도모하기 위하여 변전소자동화(Station Automation : SA)라는 개념이 대두되었다. 변전소 자동화는 최근 무인변전소의 증가, 정보통신기술의 발전에 따라 세계적으로도 최대 관심사가 되고 있으며, 이에 따라 세계 대형전력계통 협의회(International Council on Large Electric Systems : CIGRE)에서도 기존의 보호, 제어, 감시, 진단 등의 분야가 모두 통합하여 Protection and Automation 위원회 (SC B5)가 출범되었다.

배전계통에서 전압 및 무효전력 보상은 일반적으로 변전소 주변압기에 부하시뮬레이션(OLTC)를 채용하고 변전소의 캐패시터를 적용하여 수용가의 전압을 표준범위 내에 조정하고 배전계통의 무효전력을 보상하고 있다. 즉 배전계통 전압/무효전력 보상의 목적은 주 변압기에서 배전계통의 무효전력 공급흐름과 급전선의 전압을 허용범위 내에 유지하는 것에 있다. [1-5]

본 논문에서는 IEC61850기반의 디지털 변전소 종합운영시스템의 전압제어시스템에 사용될 각 중 무효전력 보상장치와 전압안정도 관계 그리고 변전소 주변압기 부하시뮬레이션(OLTC)과 전압안정도 관계를 설명한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 전압제어장치와 전압안정도

부하의 특성과 배전계통의 전압제어장치들의 특성은 계통의 전압안정도에 주요한 영향을 미치는 요소들 중에 속한다. 전압에 따라 유효 무효전력이 변하는 부하는 계통을 통하여 흐르는 전력의 변화에 따라 송전계통의 특성과 상호작용을 하게 된다. 계통의 전압은 송전계통과 부하의 복합적인 특성에 의하여 정해지는 전압에 머물게 된다.

배전계통의 전압조정기와 변전소 변압기의 OLTC는 소비자 수전점의 전압을 일정하게 유지하도록 작용한다. 정상적인 범위안에서 부하는 다분히 일정 MVA-부하로 된다. 그러나 전압이 붕괴되는 과정에서 이들은 오히려 전압 불안정을 조장하는 역할을 한다. 즉, 전압이 저하되면 이를 증가시키기 위하여 장치의 전압비를 감소시키거나 결국은 부하임피던스를 감소시켜 주기 때문이다. OLTC가 그의 조정 가능한 탭 범위의 한계(끝부분)에 이르렀을 때, 배전계통 전압은 저하하기 시작한다. 이때 전통적인 일반 가정부하의 유효 및 무효부하는 전압 저하와 함께 감소하고, 따라서 선로부하가 감소하며 선로의 유도성 전압강하는 감소하게 된다. 그러나 산업용 부하와 최근의 가정부하중 에어컨과 같은 부하는 유도전동기를 주로 사용하고 있어 전압이 저하되어도 이에 비례하여 감소되지는 않는다. 그러나

한편으로 무효전력 보상을 하던 전력용 컨덴서는 전압저하에 따라 무효전력 보상을 부족하게 하여 결과적으로 유도성 무효전력부하가 증가되는 효과를 나타낸다.

배전전압이 수초동안 낮게 유지될 때, 온도조절기의 써모스타트와 수동으로 조작하는 제어수단과 같은 다른 부하조절장치들은 부하를 복구시키려고 한다. 예로서, 가열 부하의 경우는 써모스타트에 의하여 정해진 레벨의 온도에 도달하려고 더 장기간 운전 될 것이다. 이러한 많은 부하가 어떤 주어진 시간동안 운전된다면, 그들이 정격전압에서 10~15분 이상 복구하여 운전되게 된다. 전압의 크기에 따라 제어되는 부하가 복구됨에 따라 송전 및 배전선의 전압은 더욱 저하된다.

정격전압의 85~95% 이하의 전압에서, 어떤 유도전동기는 멈추거나 높은 유도성 전류를 흐르게 한다. 이러한 경우는 전압강하를 더욱 부추긴다. 산업용 및 영업용 전동기 부하는 주로 전자접촉기에 의하여 제어되어 전압이 저하되면 자동적으로 부하가 탈락되고 이로써 전압을 회복시키는 효과를 줄 수 있다. 이윽고 잠시 후에 전압이 회복되면 전동기가 재 시동되어 이번에는 전압 강하의 원인이 되어 원래의 문제가 그대로 존재하게 된다. 그러므로 전압안정도를 정확히 해석하기 위해서는 네트워크 표현시에 배전변압기의 탭절환기와 전력용 컨덴서의 효과가 포함되어야 한다. 해석의 범위에 따라서 다르지만 부하의 특성을 표현할 때 써모스타트나 부하 조절장치를 반드시 고려하여야 한다.

##### 2.2 무효전력 보상장치의 특성과 전압안정도

###### 2.2.1 전력용 컨덴서(Shunt Capacitors)

무효전력을 보상하고 전압을 유지하는데 가장 저렴한 장치로는 전력용 컨덴서이다. 이 전력용 컨덴서는 수전단 부하역률을 개선함으로써 전압안정도의 한계치까지 효과적으로 사용될 수 있다. 이들은 또 발전기에서 순동 무효전력확보로 사용될 때 해주는 데 사용될 수도 있으며 따라서 다수의 경우에 전압붕괴를 방지하는데 도움을 준다. 그러나 전력용 컨덴서는 전압안정도와 전압 조정의 관점에서 볼때 여러 가지 자체적인 제한상들이 있다.

- 전력용 컨덴서로만 집중적으로 보상된 시스템은 전압조정능력이 약하다.
- 어떤 수준 이상의 보상에서는 전력용 컨덴서로서 안정한 운전을 이룰 수 없다.
- 컨덴서에 의한 무효전력량은 전압의 제곱에 비례하여 전압이 낮은 상태에서는 무효전력 보상량이 낮아져 문제로 된다.

###### 2.2.2 조정되는 무효전력 보상장치

SVS(Static Var System)는 최대 용량성 무효전력 출력레벨까지 역률 조정이 가능하다. 조정범위 내에서는 전압조정 문제나 전압 불안정 문제가 없다. 한계치에 도달하면 SVS는 단순히 전력용 컨덴서와 같다. 전압불안정으로 진전될 가능성에 대하여 인식되어야 한다. 동기조상기는 SVS와는 달리 내부에 전압원을 가지고 있다. 이것은 비교적 낮은 전압에서도 무효전력을 공급할 수 있어 전압안정에 기여도가 한층 높다.

###### 2.2.3 직렬 컨덴서

직렬 컨덴서는 자체 조정장치로 모션전압과는 독립되어있다. 직렬 컨덴서에서 공급되는 무효전력은 선로전류의 제곱에 비례한다. 이 장치는 전압안정도에 유익한 효과를 준다. 직렬 컨덴서는 송전선로의 길이를 단축시키는데 이상적으로 사용된다. 별렬 컨덴서와는 달리 직렬 컨덴서는 선로 임피던스와 선로 길이를 모두 감소시켜주어 결과적으로 전압조정과 전압안정도를 탁월하게 개선시켜 준다.

##### 2.3 변압기 OLTC 운전과 전압안정도

전력계통에서는 부하의 증감에 따라 전압이 변화하게 된다. 전력의 품질을 유지하기 위하여 전압을 일정하게 유지할 필요가 있다. 전압을 일정하게 유지하기 위한 수단은 간단하지는 않다. 그 중에 한 가지 수단으로 사용되고 있는 것이 변압기에 부설되는 부하시 탭절환 장치(OLTC : On Load Tap Changer)이다. 이 장치는 변압기에 여러개의 권선 탭을 마련하고 이에 탭을 절환할 수 있는 스위칭 장치를 설치하여 부하운전시에도 변압기의 권수비를 조절하여 전압을 적당한 값으로 유지하는 방법을 사용한다.

###### 2.3.1 일반적인 구조 및 규격

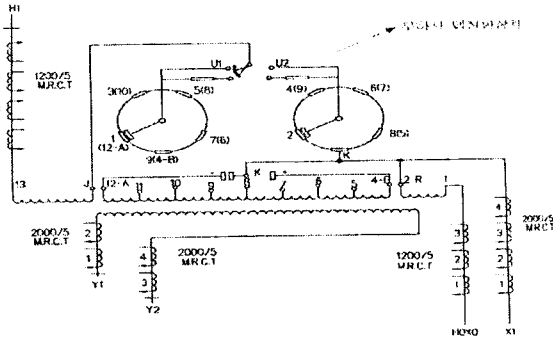
OLTC는 부하전류가 흐르는 상태에서 회로를 절환하는 스위칭 장치로서 다른 기구에 비하여 구조가 복잡하다.

OLTC의 전압조정 범위는  $\pm 7\% \sim \pm 12.5\%$ (보통  $\pm 10\%$ 로 알려짐)이고 절환 탭 수는 종류에 따라 십 수개~20여개에 이르며(우리나라에서는 17Tap, 23Tap이 주로 사용됨), 가능한 한 소전류 권선의 중성점에 설치하여 사용한다.

- 154KV변압기 :  $\pm 10\%$  (161.0 ~ 154 ~ 147.0, 17 또는 21 Tap)
- 345KV변압기 :  $\pm 10\%$  (379.5 ~ 345 ~ 310.5, 17 Tap)
- 765KV변압기 :  $\pm 7\%$  (818.65 ~ 765 ~ 711.45, 23 Tap)

### 2.3.2 동작원리 및 특성

OLTC의 동작은 구동모터의 회전에 의하여 이루어진다. 동작원리는 그림1과 같이 먼저 구동장치에 의해 탭 선택기가 다음 단계 회망하는 위치로 옮겨가는 다음에 절환 스위치가 동작하여 탭 선택기에 의해 선정된 다음 탭으로 전기적 연결을 연속되는 회전동작에 의하여 이루어진다. 이때 절환 스위치가 동작할 때는 일반적으로 한 단계의 탭 사이에 있는 권선이 단락되어 순환전류가 흐르게 된다. 이 순환전류의 크기를 적절히 제한해 주기 위하여 천이 저항을 사용한다.



〈그림 1〉 변압기 권선과 OLTC 연결 단선도

OLTC가 한 탭에서 다른 탭으로 절환 할 때는 일반 스위치와 같이 단순한 순간적 동작이 아니고 OLTC 중심축이 회전하는 전동기축과 기어로 연결되어 있어 회전하면서 여러 개의 접촉부가 일정한 순서에 따라 접촉 및 분리되면서 이루어진다. 이렇게 해야 하는 이유는 회로를 통하여 상당히 큰 부하전류가 흐르고 있어서 회로를 일순간이라도 단절시킬 수 없기 때문이다. 따라서 OLTC의 동작시간은 한 스텝 당 수Sec ~ 수십Sec에 이르고 있다.

#### 2.3.3 탭 선택방식

탭 선택방식은 다음 3가지 방식이 사용되고 있다.

- 선형전압조정방식
- 극성절환방식
- 전위절환방식

#### ① 선형 전압 조정방식 (Linear Voltage Regulation)

탭 선택기의 크기가 제한되므로 탭의 절환 범위 즉, 전압조정범위가 크지 않아 탭의 수가 제한된다.

#### ② 극성 절환 방식(Buck-Boost Connection)

전압 조정범위를 최대 20여개까지 확장 시킬 수 있는 방법이다. 이 방식은 탭 선택기의 크기를 작게 하여 OLTC의 크기를 줄일 수 있으므로 경제적이다.

#### ③ 전위 절환 방식 (Coarse Tap Selector Connection)

전압 조정범위를 확장시킬 수 있으며, 탭 선택기의 크기를 작게 하여 OLTC 외형을 줄일 수 있어 경제적이다 극성절환 방식보다 약간 외형이 크다. 주권선의 (-)점에 접속 시 접촉점 아래의 권선은 사용하지 않으므로 동손을 감소시킬 수 있으며 충격 전압 침입 시 충격전압의 분배로 권선보호에 유리하다.

#### 2.3.4 OLTC 규격조사

표1과 표2는 우리나라에서 주로 사용되는 17Tap OLTC와 21Tap OLTC의 규격 사항을 나타내고 있다.

〈표 1〉 17Tap OLTC 주요 규격 사항

전압강하 탭	8 탭	(1-8)		
중앙 탭	1 탭	9a 9b 9c	9a -> 9b (+ -> -)	9c -> 9b (- -> +)
전압상승 탭	8 탭	(10~17)		
전압 조정 범위	정격전압의 $\pm 10\%$			
스텝 당 전압	정격전압의 1.25%			

※ 중앙탭(9a -> 9c)은 극성 및 전위를 변동시켜주는 탭으로 전압변동이 없음

〈표 2〉 23Tap OLTC 주요 규격 사항

전압강하 탭	10 탭	(1-10)		
중앙 탭	1 탭	11a 11b 11c	11a -> 11b (+ -> -)	11c -> 11b (- -> +)
전압상승 탭	10 탭	(12~21)		
전압 조정 범위	정격전압의 $\pm 12.5\%$			
스텝 당 전압	정격전압의 1.25%			

#### 2.3.5 OLTC에 관련된 보호장치의 보호분석

주변압기에 부설된 부하시 탭절환기(OLTC)는 전력공급지점의 전압을 일정범위로 유지하고자 전력을 공급하는 활성 상태에서 전압변성비를 변경하게 됨으로 인하여 OLTC의 탭 절환 스위치실의 절연유는 절점 아크에 의하여 쉽게 오염된다.

이러한 절연유 열화에 대하여 OLTC전용의 절연유 활성여과장치 가 설치되고, OLTC내의 사고검출을 위하여 OLTC와 콘서베이터 사이에 보호계전기를 설치하여 유속의 급격한 변화를 감지하여 주변압기를 Trip시키고 있으나, OLTC용 보호 계전기 96P(Protection Relay)가 OLTC에서 고장이 발생하지도 않았는데 동작하므로 인하여 주변압기가 Trip되어 공장가동이 중단된 사례가 있어서, 기업체에서 운전되고 있는 OLTC부 주변압기에서 발생할 때 Trip 원인규명과정에 도움이 되길 바라며 96P 동작 분석내용을 소개한다.

변압기에는 전력수요의 변동에 의하여 일어나는 전압강하에 대하여 적용하기 위하여 변압기 설치 위치에 맞는 적합한 전압범위를 이용하고자 변압기에는 전압비를 조정 할 수 있는 탭을 갖춘 변압기가 사용되고 있으며, 주변압 기를 운전정지 시키지 않고 전압탭을 변경하고자 부가된 부하시 탭절환기 (On Load Tap Changer OLTC) 부 주변 압기는 기업체에도 많이 설치되고 있다.

이러한 OLTC 부 주변압기에는 탭절환시의 절점아크에 의하여 절연유의 열화 속도가 빠르게 진전되므로 OLTC 전용의 절연유 활성여과장치를 구비하는 변압기가 시 설되고 있으며, OLTC 본체와 OLTC용 콘서베이터 사이에는 절연유 유속의 변화를 감지하여 OLTC 유격실내에 결함 발생시, 야기되는 손상으로부터 변압기와 탭절환기를 보호하기 위하여 96P(Protection Relay)를 설치한다.

이와 같이 시설된 OLTC에서 96P가 동작하면 주변압기의 1, 2차 측 차당기에 Trip 신호를 송출하여 주변압기를 비상정지 시키게 되는데 OLTC 유격 실내에 결함이 발생하지 않았고, 단 지 부하단의 전압강하로 인하여 전압을 조정할 목적으로 중앙제어실에서 운전근무자가 OLTC의 탭을 내리는 조작을 하였는데, OLTC 보호계전기인 96P가 동작하여 주변압기가 비상정지 되므로 정전사고로 이어졌고 공장가동이 중단 되는 피해가 발생한 사례가 있었다.

### 3. 결 론

전압분리는 계통의 상당한 부분의 전압이 허용할 수 없는 수준으로 저하되는 것을 말한다. 이러한 전압불안정의 사태의 발생은 어떤 한 가지 원인으로 부터만 비롯되는 경우보다는 한 가지 원인에 이어 몇 가지의 연쇄적인 원인이 제공되어 일어나게 된다. 전압붕괴현상의 발생 사례는 그다지 많지는 않으나 지금까지 발생한 몇 가지 전압붕괴사례를 볼 때 발전기 탈락 등이 초기 원인이 된 경우가 많지만 별스럽지 않은 초기동요나 부하의 점진적인 증가가 원인이 된 경우도 있다. 따라서 전압붕괴 예방 대책수립을 위해서는 각 설비별 대책은 물론 설비상호간의 협조가 필요하며 각 설비 및 보호, 제어장치들의 특성을 종합 검토하여야 할 필요가 있고, 이들을 전압제어시스템 설계에 반영할 필요가 있다.

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업인 전력IT 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### 〔참 고 문 헌〕

- [1] Yuan-Yih Hsu and Feng-Chang Lu, "A Combined Artificial Neural Network-Fuzzy Dynamic Programming Approach to Reactive Power/Voltage Control in A Distribution Substation", IEEE Trans. on PWRs, Vol.13, No. 4, pp. 1265-1271, Nov. 1988
- [2] Mesut E. Baran and Ming-Yung Hsu, "Volt/Var Control at Distribution Substation", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 14, No. 1, pp. 312-318, Feb. 1999
- [3] Joon-Ho Choi and Jae-Chul Kim, "Advanced Voltage Regulation Method at the Power Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation
- [4] Joon-Ho Choi and Jae-Chul Kim, "The online voltage control of ULTC transformer for distribution voltage regulation", International Journal of EPES, Vol. 23, No.2, pp. 91-98, Feb. 2001
- [5] Vesna Borzan, Mesut E. Baran, and Damir Novosel, "Integrated Volt/Var Control in Distribution System", IEEE WM 2001, pp. 1484-1489, Feb. 2001