

## 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템 개발 및 성능시험

(A Deveopmnet and Performance Test of Voltage Measurement Accuracy Assessment System for Distribution Equipment)

조진태\* · 김주용 · 이학주 · 김재한

(Jin-Tae Cho · Ju-Yong Kim · Hak-Ju Lee · Jae-Han Kim)

### Abstract

Power distribution system has been changed from radial system to closed loop or mesh system due to connection of distributed generation growth. Data from distribution equipments which are installed at distribution line is required to be accurate for the performance of DMS(Distribution Management System). This paper analyzes the voltage measurement data from distribution equipment. However, the results of the analysis are confirmed to have some errors in voltage measurement data from distribution equipment. These errors come from aging of voltage sensor in distribution equipment and inaccurate data transfer to FRTU(feeder remote terminal unit) through the controller. The main problem is that the voltage measurement data of distribution equipment can not be assessed after it's first installation at the distribution line. The voltage measurement accuracy assessment system is to assess the voltage measurement data from distribution equipment on hot-line. This study had a field test to verify the performance of system.

Key Words : Distribution Equipment, Voltage Sensor, FRTU(Feeder Remoet Terminal Unit), Voltage Measurement Accuracy, Assessment System

### 1. 서 론

태양광, 풍력발전과 같은 신재생에너지원이 지속적으로 배전계통에 연계됨에 따라 기존 수지상의 배전계통은 루프 또는 메쉬 형태로의 전환이 예상되고 있다. 따라서 이와 같은 배전계통의 스마트그리드 전환에 대응하기 위해 배전계통의 실시간 및 예측 정보를 제공하는 스마트 배전운영시스템(SDMS ; Smart Distribution Management System)이 개발되고 있다[1].

---

\* 주(교신)저자 : 한국전력공사 전력연구원  
\* Main author : Researcher, MicroGrid R&BD Center, KEPRI  
Tel : 042-865-5989, Fax : 042-865-5829  
E-mail : jintaecho@kepco.co.kr  
접수일자 : 2013년 6월 23일  
1차심사 : 2013년 6월 26일, 2차심사 : 2013년 8월 15일  
심사완료 : 2013년 9월 6일

배전운영시스템에 있어 배전계통의 운영과 관련된 취득정보는 매우 중요한 부분이다. 하지만 변전소에서 획득한 정보만을 바탕으로 운영자에게 제공하는 배전운영시스템은 신뢰성과 효율성 측면에서 충분하지 않을 것이다. 따라서 배전선로의 여러 지점의 실시간정보를 취득하는 것이 배전운영시스템 측면에서 필요하다고 볼 수 있다. 즉, 스마트그리드 운영을 위해서는 배전선로 여러 지점의 실시간 정보의 취득이 필요하고, 이를 위해서는 배전선로의 실시간 정보를 계측할 수 있는 센서가 필요함을 의미한다[2].

1980년 후반 이후, 배전자동화 시스템이 개발되면서, 전압과 전류센서를 내장한 개폐기, 리클로저와 같은 배전기기가 배전선로에 설치되었다[2]. 이와 같이 배전선로에 설치된 배전기기를 통해 측정된 실시간 정보를 배전운영시스템에 활용한다면 여러 가정과 추정을 줄일 수 있어 배전운영시스템의 신뢰성과 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다[1].

하지만 배전기기를 통해 측정, 전송되는 선로전압 측정치의 경우, 최초 배전기기의 설치 시 배전선로의 실제 전압에 대한 측정 없이 설치되고, 동시에 배전선로 기준전압에 일괄적으로 맞추어 설정하여 운영되고 있어 배전운영시스템으로 전송되는 배전기기의 배전선로 전압이 지속적으로 오차가 발생하고 있는 실정이다. 또한, 주변환경 영향으로 인한 배전기기 전압센서의 열화도 오차의 원인으로 작용하고 있다. 한편, 대부분의 배전기기 전압센서는 용량형 전압분압기(capacitive voltage divider)로서 변환기(transducer)를 포함한 전통적인 변압기(VT; voltage transformer)이다[3].

특히, 분산전원 형태의 신재생 에너지원이 배전계통에 연계될수록 배전계통의 전압유지가 중요한 이슈로 부각되고 있는 현 시점에서 배전선로에 설치된 배전기기가 전송하는 선로전압을 배전운영시스템에서 활용하기 위해서는 배전기기의 전압 전송데이터에 대한 신뢰성이 보장되어야 한다. 즉, 배전계통의 스마트그리드로의 전환을 위해서는 배전기기의 전압계측 데이터의 주기적인 정밀도 평가가 필요한 것이다.

본 논문에서는 한국전력공사의 고창 PT Center 시험선로에 설치된 배전기기를 통해 배전기기의 전압

측정오차를 확인하였다. 이후 설치된 배전기기가 전송하는 전압데이터를 주기적으로 측정 및 평가할 수 있는 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템을 개발하고, 고창 PT Center 내 배전시험선로에 설치된 배전기기를 대상으로 제작된 전압계측 정밀도 평가시스템의 성능시험을 수행하였다.

## 2. 전압계측 정밀도 평가시스템

그림 1은 현장에서 운영 중인 배전선로의 단선도이다. 그림 1에서 보는 것과 같이 배전선로의 두 번째 개폐기의 경우, 배전운영시스템을 통해 확인되는 배전기기의 선로 전압이 A상 : 14,000V, B상 : 14,000V, C상 : 13,830V이다. 이와 같은 전압은 한국전력공사의 전압유지 범위인 13,800V를 초과하는 전압이다. 하지만, 배전선로에 설치된 2번째 배전기기를 제외한 나머지 배전기기를 통해 측정되는 전압은 전압유지 범위 이내인 13,000~13,600V 전압이 계측되고 있으며, 2번째 배전기기 부근에 선로전압이 상승할 요인이 없는 것으로 파악되었다. 따라서 2번째 배전기기의 전압계측에 오차가 있는 것으로 추정할 수 있으나, 문제는 현재로서는 실제 선로전압과의 비교를 통한 배전기기의 전압계측 정밀도 평가를 할 수 없기 때문에, 단순히 2번째 배전기기가 선로 기준전압인 13,200V가 계측되도록 제어부 및 FRTU(feeder remote terminal unit)의 설정을 변경한다는 것이다. 따라서 이로 인해 배전기기 계측전압의 신뢰성은 지속적으로 저하되게 된다.

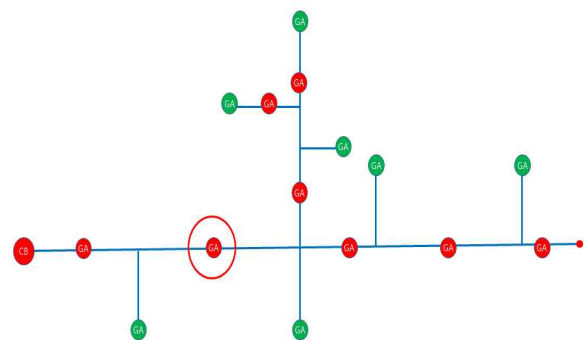


그림 1. 배전선로 단선도  
Fig. 1. Key diagram of distribution line

분산전원 형태의 신재생 에너지원의 배전계통으로 연계가 확대되고 있는 현재, 배전계통의 최적운영위해서는 무엇보다 배전기기가 취득하여 전송하는 계측데이터의 신뢰성이 필요하다. 하지만 현재 배전선로에서는 유지보수시에 검전기 및 검상기로 선로전압의 유무만을 확인할 뿐, 배전기기 전압계측 정밀도를 평가할 방법이 없는 실정이다. 따라서 활선상태에서 배전기기가 설치된 배전선로 부분의 전압을 고정밀로 안전하고 간편하게 측정하여, 실제 배전선로에 설치된 배전기기의 전압계측 정밀도를 평가하는 시스템이 필요하다.

### 2.1 배전기기 전압 오차 측정

현재 배전선로에 설치된 배전기기의 전압계측 오차를 확인하기 위하여 한국전력공사 고창 PT Center의 시험선로에 설치된 개폐기의 전압을 측정하였다. 배전선로의 전압은 그림 2에서 보는 것과 같이 정밀도 0.2급의 표준 변압기로 측정하였다. 개폐기에서 측정되어 배전운영시스템으로 전송하는 전압 계측치는 그림 3에서 보는 것과 같이 개폐기의 전압센서를 통해 분배되어 제어부를 통해 FRTU로 전송되는 전압을 측정하였다. 현재 선로에 설치되는 배전기기는 배전선로 상전압 13,200V의 규정전압일 때 4V가 FRTU로 전송되도록 설계 및 제작되어 있다.



그림 2. 표준 변압기  
Fig. 2. Standard voltage transformer

하지만 전압오차 측정시험을 시행한 개폐기의 C상의 경우 표준 변압기로 선로 측정시 전압이 13,170V이었으나, 개폐기 제어부를 통해 FRTU에 전송되는 개폐기의 전압 측정치는 3.17V이었다. 이것은 선로전압 13,170V일 때, 개폐기 전압센서의 전압 분배 비율에 따라 3.99V가 FRTU로 전송되어야 하지만, 3.17V로 20%의 오차를 가지고 전송되고 있음을 의미한다. 이와 같은 전압 오차 측정시험을 통해 실제로 배전기기의 전압계측 오차가 존재함을 확인할 수 있었다.



그림 3. 개폐기 계측 전압 오차 측정  
Fig. 3. Error measurement of switchgear's measuring voltage

### 2.2 시스템 구성

전압 오차 측정시험을 통해 확인한 배전기기의 계측 전압 오차는 앞에서 언급한 것과 같이 처음 배전기기 설치시 선로의 전압을 측정하지 않고 일괄적으로 규정전압에 맞추어 셋팅할 뿐만 아니라, 센서부 및 제어부의 열화가 발생하여도 활선상태에서 배전선로의 실제 전압을 측정하여 이를 바탕으로 배전기기의 전압 측정 및 전송치를 평가할 방안이 없기 때문이다.

따라서 그림 4에서 보는 것과 같이 활선상태에서 배전기기가 설치된 배전선로 부분의 전압을 고정밀로 안전하고 간편하게 측정하고 이를 통해 설치된 배전기기의 전압계측 정밀도를 평가하는 시스템을 설계하였다. 즉, 전압계측 정밀도 평가시스템은 평가시스템

의 전압센서 및 선로에 설치된 배전기기의 FRTU와 통신을 통해 취득한 전압값을 비교하여 배전기기의 전압 계측 정밀도를 평가하게 된다.

그림 2에서 보는 것과 같이 표준 변압기는 현장의 활선상태인 배전선로의 전압을 측정하기 위해서는 배전선로와 무거운 표준 변압기를 전선으로 연결해야 하기 때문에 안전하지 않으며 동시에 매우 불편하다. 하지만 평가시스템의 전압센서는 절연봉 형태로 구성되어 배전선로 점검시 간편하게 선로전압을 측정할 수 있고, 안전하게 무선통신(Zigbee)으로 평가시스템에 측정된 선로전압 데이터를 전송하게 된다.

또한, 동시에 배전기기의 전압센서를 통해 측정되어 상위시스템으로 전송되는 배전기기 전압 측정데이터는 평가시스템과 배전기기의 FRTU 사이에 직렬통신을 통해 평가시스템으로 전송하게 된다. 이와 같이 취득한 두 데이터를 서로 비교 분석함으로써 선로에 설치된 배전기기의 전압계측 정밀도를 평가하게 되는 것이다.

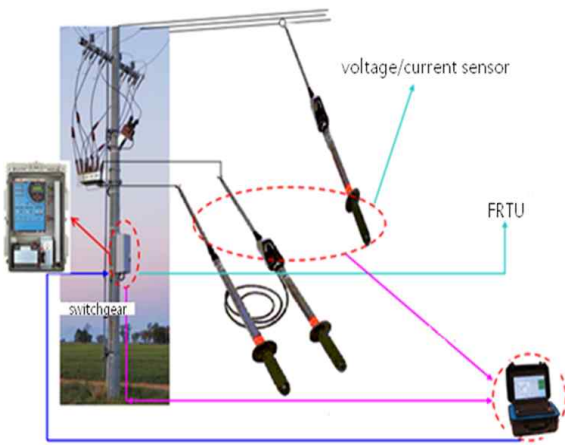


그림 4. 전압계측 정밀도 평가시스템 구성도  
Fig. 4. Diagram of voltage measurement accuracy assessment system

### 2.3 전압계측 정밀도 평가시스템 제작

전압계측 정밀도 평가시스템은 전압센서, 정밀도 평가장치, 운영 소프트웨어로 구성된다. 전압센서는 고압계통의 전압을 측정하는 센서로 배전선로의 전압을

고려하여 전압 측정범위는 0~25kV이고, 정밀도는 0.5%이며, 계측된 선로전압을 디지털신호로 변환하여 정밀도 평가장치로 무선 전송한다. 정밀도 평가장치는 전압센서 및 배전기기 단말장치의 배전기기 전압 측정치를 통신을 통해 수신하여 비교하여 평가한다. 운영 소프트웨어는 통신, 비오차 계산, 통신상태 감시 및 표시 기능을 수행한다. 전압센서와 정밀도 평가장치는 무선통신(Zigbee), 배전기기 FRTU와는 직렬통신을 통하여 데이터를 취득하는 프로세스인 통신기능과 전압센서와 FRTU와의 통신을 통해 선로전압과 배전기기 전압 측정치를 취득하여 서로 비오차를 계산하는 비오차 계산 기능, 더불어, FRTU 및 전압센서와 통신 상태를 지속적으로 감시하고 표시하는 기능을 운영 소프트웨어에서 수행한다.



그림 5. 전압계측 정밀도 평가시스템 시작품  
Fig. 5. Prototype of voltage measurement accuracy assessment system

이와 같은 전압계측 정밀도 평가시스템을 그림 5에서 보는 것과 같이 제작하였다. 전압센서의 경우, 계통의 전압 실효치를 계측하고, 이를 표시한다. 또한, Zigbee 통신용 프로토콜을 지원하고, 주기적 폴링에 대해 응답하며, 통신장치에 대한 접속 상황을 표시한다. 또한, 평가장치에서 수신된 GPS 신호를 수신하여 전압센서의 내부 시각을 동기화한다. 평가 장치의 경우, 배전기기 및 단말장치에서 계측된 전압 크기를 전압센서에서 측정된 신호와 비교하여 정밀도(비오차)를 계산하고, 배전기기 단말장치와 평가장치, 전압센



서와 평가장치 사이의 통신 상태를 감시한다. 정밀도 평가는 HMI(human machine interface) 환경에서 진행하고, 분석 결과를 시간별, 장치별로 저장한다. 이를 통해 배전기기 유지보수시 휴먼 에러를 최소화시켜 유지보수 업무의 신뢰성을 최대화할 수 있으며, 시간 및 위치정보를 포함한 데이터 이력관리로 유지보수 업무의 효율을 향상시키고, 향후 이와 관련된 연구에도 활용 가능하도록 하였다. 또한, 휴대를 위해 외부 220V의 상용전원이 없을 경우, 내부에 배터리를 통해 전원 공급하여 운영할 수 있도록 하였다.

### 3. 성능시험

#### 3.1 전압측정 시험

그림 5에서 보는 것과 같이 제작된 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템의 성능 확인을 위해 한국 전력공사 고창 PT Center 내 시험선로에 설치된 배전기기를 통해 실증시험을 시행하였다. 우선, 본 시스템 성능의 가장 중요한 부분인 평가시스템의 전압센서를 통해 활선상태인 배전선로의 전압측정 실증시험을 시행하였다.

한편, 실증시험시 주변 선로에 의해 일어날 전자계 간섭을 대비하여 전압센서의 차폐를 보완 강화하였으며, 본 시스템의 현장 적용시 가장 중요한 부분인 활선 상태에서 측정시 안전을 확보하기 위해 전압센서에 대한 안전시험을 시행하였다. 기존에 동일한 제품이 없기 때문에 voltage detector, portable phase comparator, insulation solid rod의 규격인 IEC 61243-2, IEC 61481, IEC 60855-1의 시험 규격을 바탕으로 인증시험을 시행하였다[4-6].

그림 6에서 보는 것과 같이 배전기기가 설치된 시험선로 개소의 A, B, C 상에 대해 정밀도 평가시스템의 전압측정 실증시험을 수행하였다. 그림 2의 정밀도 0.2급의 표준 변압기와 평가시스템의 전압센서를 통해 동시에 선로전압을 측정하여 그 결과를 비교하여 성능시험을 시행하였다. 이때, 표준 변압기와 평가시스템의 전압센서는 선로의 전선 연결부분의 커버를 열어, 전선의 도체부분에 직접 접촉하여 측정하였다.

그 결과, 그림 7에서 보는 것과 같이 배전기기가 설치된 선로 A, B, C 상에 대해 표준 변압기 대비 평가시스템 전압센서의 계측 성능에 대해 확인할 수 있었다. 평가시스템의 전압센서를 통한 각 상의 선로전압 10회 측정 결과, 표준 변압기 대비 A상의 경우, 0.05~0.42%, B상의 경우, 0.02~0.45%, C상의 경우, 0.15~0.47%의 오차를 나타냈다. 이것은 0.5% 정밀도로 설계한 평가시스템 전압센서의 성능을 확인할 수 있는 결과라고 할 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템은 선로전압을 간편하고 안전하게 측정함과 동시에 배전기기 전압계측치를 평가할 수 있는 기준값을 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.



그림 6. 전압계측 정밀도 평가시스템 성능시험  
Fig. 6. Verification test of voltage measurement accuracy assessment system

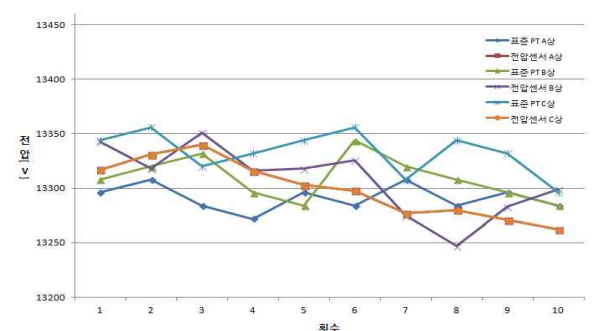


그림 7. 전압측정 시험 결과  
Fig. 7. Result of voltage measuring test

#### 3.2 시스템 실증시험

앞에서 확인된 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스

템의 전압측정 성능을 바탕으로 고창 PT Center 배전 시험선로에 설치된 배전기기 중 가공개폐기 3대에 대한 전압계측 정밀도 평가시험을 시행하였다. 그림 8에서 보는 것과 같이 평가시스템의 HMI를 통해 표 1에서 보는 것과 같은 평가대상 개폐기의 각 상에 대한 전압계측 정밀도 평가 결과를 취득하였다.

표 1에서 보는 것과 같이 시험선로에 설치된 개폐기 3대의 A, B, C상 전압계측 정밀도를 확인한 결과, 실제 선로전압은 13.3~13.4kV로 선로 기준전압인 13.2kV에 가까웠으나, 평가대상 개폐기 3대 모두 선로 전압 보다 높은 전압으로 계측되고 있었다. 특히, 개폐기 1의 A상의 경우, 선로전압 대비 350V의 오차와 2.64%의 오차율을 가지고 있는 것으로 평가되었는데, 이것은 평가시스템으로 통해 정밀도를 평가한 개폐기 중 가장 높은 오차를 나타낸 것이다.



그림 8. 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템의 HMI  
Fig. 8. HMI of voltage measurement accuracy assessment system

표 1. 평가시스템 성능시험 결과  
Table 1. Result of the assessment system's performance test

구분	개 폐 기 1			개 폐 기 2			개 폐 기 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
평가시스템 측정전압 [kV]	13.3	13.3	13.3	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3	13.4
배전기기 측정전압 [kV]	13.6	13.6	13.5	13.7	13.6	13.5	13.4	13.2	13.4
오차 [V]	350	308	217	304	242	138	123	139	48
오차율 [%]	2.64	2.31	1.64	2.27	1.81	1.03	0.92	1.04	0.35

이와 같은 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템의 실증시험 결과를 통해 현장에 설치된 배전기기의 전압계측 정밀도를 평가할 수 있음을 확인하였으며, 이것은 배전기기 전압계측 데이터 오차를 확인할 방법이 없었던 현 시점에서 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템이 배전기기 전압계측 데이터의 신뢰성 확보 방안이 될 수 있음을 보여준 결과라고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

과거와 달리 배전선로에 설치된 배전기기의 전압계측 데이터는 배전계통이 스마트그리드로 전환되고 있는 현 시점의 배전계통 운영 측면에서 매우 중요한 요소가 되어가고 있다. 하지만 현재 배전선로에 설치된 배전기기의 전압계측 데이터에 대한 오차를 직접 평가할 방법이 없기 때문에 단순히 오차 유무를 추정하여 일괄적으로 선로 기준전압에 맞추어 배전기기를 재설정고 있어, 배전기기 전압계측 데이터의 신뢰성을 확보하기 어려운 실정이다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 배전기기 전압계측 정밀도 평가시스템을 개발하고, 한국 전력공사 고창 PT center에 설치된 배전기기를 대상으로 실증시험을 수행하여, 개발된 정밀도 평가시스템의 성능을 확인하였다.

향후 본 시스템을 통해 전국적으로 많은 수가 설치되어 운영되고 있는 배전기기의 전압계측 성능을 간편하고 안전하게 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 보정을 위한 기준을 제공하여 배전기기 전압계측 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

#### References

[1] S.Y. Yun, S.C. Kwon, C.M. Chy, J.Y. Kim, "Development of Load Estimator and Power Flow Program for Smart

- Distribution Management System,” ICEE 2011, 2011.
- [2] D.M. Parker, N.D. McCollough, “Medium-voltage Sensors for the Smart Grid: Lessons learned,” IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-7, 2011.
  - [3] A.H. Luxa, A.B. Mueller and T.J. Noble, “Sensors and Non-conventional VT and CT for Medium Voltage Switchgear,” IET Trends in Distribution Switchgear, pp. 173-180, 1998.
  - [4] Live working - Voltage detectors - part 2: Resistive type to be used for voltages of 1kV to 36kV a.c., IEC std. 61243-2, 2002.
  - [5] Live working - Portable phase comparators for use on voltages from 1kV to 36kV a.c., IEC std. 61481, 2004.
  - [6] Live working - Insulation foam-filled tubes and solid rods - Part 1: Tubes and rods of a circular cross-section, IEC std. 60855-1, 2009.

◇ 저자소개 ◇



**조진태(趙眞兌)**  
 1979년 11월 1일생. 2006년 고려대 전기 전자전파공학부 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 MicroGrid연구사업단 선임보연구원.



**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 한국전력공사 전력연구원 MicroGrid연구사업단 책임연구원.



**이학주(李鶴周)**  
 1965년 12월 23일생. 1989년 충남대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원 MicroGrid연구사업단 선임연구원.



**김재한(金宰漢)**  
 1979년 1월 28일생. 2005년 (주)썬코리아 전자 주임연구원. 2008년 건국대 전기공학과 졸업(석사). 2008년 한국전력공사 강원전력본부 근무. 현재 전력연구원 MicroGrid연구사업단 일반연구원.