

D-PMU 데이터를 활용한 배전망 상태 감시 및 문제 추정

이민수, 윤왕식, 윤성국
송실대

Distribution Status Monitoring and Event Estimation Using D-PMU Data

Min-soo Lee, Wang-sik Yoon, Sung-guk Yoon
Soongsil University

Abstract - 최근 배전망에는 다수의 재생에너지가 설치되고 있기에 원활한 배전망 운영을 위해 보다 정밀한 계측이 요구되고 있다. 이를 위해 D-PMU(Distribution-Phasor Measurement Unit)가 배전망에 도입되고 있다. 유무효 전력 및 전압 크기만을 계측하는 기존의 계측기와는 달리 D-PMU는 최대 120회/초로 전압, 전류의 페이지를 계측할 수 있기에 그 중요성이 커지고 있다. 본 논문은 2020년 3월 한 달 동안의 송실대학교에 설치된 D-PMU에서 계측된 데이터를 분석하고 문제의 원인을 추정하였다.

1. 서 론

에너지의 수요는 세계적으로 증가하고 있는 추세이다. 최근 에너지 정책은 화석 연료 기반의 에너지의 의존도를 줄이고 재생에너지 사용을 확대하는 것과 소비효율을 향상시키는 방향으로 진행되고 있다. 우리나라의 정책 역시 제 3차 에너지 기본 계획에서 밝힌 것과 같이 재생에너지 사용증대, 소비효율 향상 등을 목표로 하고 있다. [1] 송전망을 통해 전력계통으로 인입되는 MW 단위의 대규모 재생에너지 단지를 제외하면 kW급 재생에너지는 일반적으로 배전망을 통해 인입된다. 기존의 배전망은 단방향 전력 전달만을 위해 설계되었기 때문에 배전망에서의 재생에너지 사용을 확대하기 위해서는 배전망 안정화를 위한 연구개발이 필요하다. 배전망 안정화에 대한 기본 기술은 정밀하고 실시간으로 파악할 수 있는 데이터 계측 기술이다.

D-PMU(Distribution-Phasor Measurement Unit)는 송전망을 위해 개발된 PMU를 배전망 용으로 개량시킨 것이다. PMU는 1992년 Virginia Polytechnic에서 처음 개발된 이후로 많은 연구와 개발이 진행되어 상용화 되었다. GPS(Global Positioning System) 안테나를 가지고 있는 D-PMU는 동기화된 전압, 전류 위상 및 크기의 측정이 가능하다. D-PMU 데이터를 활용하여 전력문제 위치추적, 머신러닝 기반 데이터 해석 등 다양한 연구가 이루어지고 있다. [2]

본 논문에서는 송실대학교 캠퍼스 내에 설치된 D-PMU를 활용하여 캠퍼스 내의 배전망의 상태를 감시하고 전력 문제의 원인을 추정하였다. 2020년 3월 한 달간 D-PMU가 설치된 변압기에서 얻은 데이터를 분석하였으며, 발생한 전력문제를 해당 문제의 원인 및 해결방안을 추정하였다.

2. 본 론

2.1 D-PMU

기존의 배전망에 설치된 계측기는 위상에 대한 데이터 없이 유무효 전력과 전압 크기만을 계측할 수 있었으나 D-PMU를 통해서 전압과 전류의 크기와 위상각을 페이지의 형태로 측정할 수 있다. D-PMU는 각 수치를 초당 120회 측정하고, 측정된 데이터를 활용하여 실효값, 최대/최소값, 파형 전고조파 왜율, 과고율, 불평형율을 감지해 낸다. 또한 해당 데이터를 이용해 D-PMU 기기 내부에서 전력 문제를 산출해내기도 한다. [3] 해당 데이터들은 기기에 내장된 GPS에 연동되어 다른 지역에 설치된 D-PMU와도 동기화된 정보를 획득할 수 있다.

2.1.1 계통 상황 인지

동일한 배전망에 설치된 다수의 D-PMU는 GPS를 통해 동기화된 페이지 데이터를 획득할 수 있다. 기존의 유무효 전력과 전압을 통해 수행하는 상태추정에 비해 직접 동기화된 페이지 정보를 확인하는 D-PMU를 통해 상태추정의 정확도를 획기적으로 높일 수 있다. 이에 최근 D-PMU 데이터를 활용한 배전망 상태추정 연구가 활발히 진행되고 있다. [4]

2.1.2 전력 품질

전력 데이터가 부하의 변동, 변압기의 상태에 따라 실시간으로 변화하는 것과 같이 전력 데이터 분석을 통해 문제를 발견할 수 있다. 예를 들어 대형 모터의 시동으로 배전망의 전압이 순간적으로 변동하면 전력 계측기에는 해당 전압 데이터가 기록된다. 기존의 전력 계측기는 계측 주기가 수초에서 수분으로 길어 이와 같은 순간적인 변화를 인지하지 못하였다. 반면 D-PMU는 높은 샘플링 주기를 가지고 있기에 위와 같은 순간 전압 변동 문제를 잡아낼 수 있다. 또한 D-PMU 데이터를 활용하여 전압/전류 파형 전고조파 왜곡율(Harmonic Distortion Factor), 과고율(Crest Factor), 불평형율(Unbalanced Factor) 등 세부적인 전력문제를 파악하여 전력 품질을 확인할 수 있다.

2.2 D-PMU 데이터 분석

2.2.1 사용 데이터

본 논문에서는 송실대학교에 설치된 D-PMU를 사용했다. D-PMU는 송실대학교 건물 A의 저압 변압기에 설치되어 있다. 본 논문에서는 해당 D-PMU의 2020년 3월 데이터를 분석하여 주기적으로 발생하는 문제를 기술하고, 급변하는 큰 문제를 확인하였다.

2.2.2 발생한 문제

<표 1> 송실대학교 배전망 발생 문제

발생 위치	문제	심각도	발생 횟수
건물 A	전력 품질/ 전압 고조파	2.19~3.42%	1,856회
	전력 품질 / 전압 플리커	16.31~1599.95%	102회
	전력 품질 / 급속 전압 변동	7.82~8.15%	10회

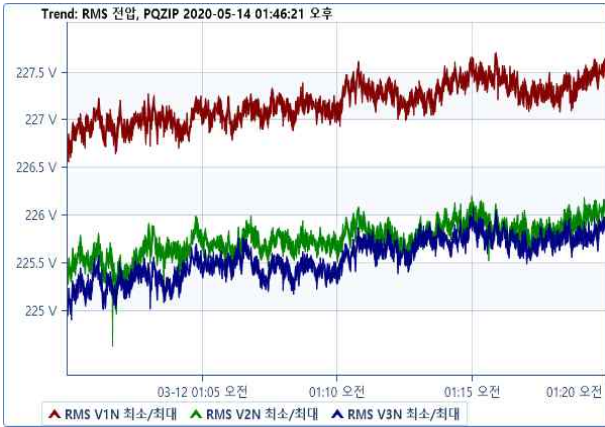
해당 기간에 건물 A에 발생한 문제는 <표 1>과 같다. 건물 A에서는 전압 고조파, 전압 플리커, 급속 전압 변동의 총 3가지의 문제가 발생했다. 각 문제의 실효치 전압 그래프는 <그림 1> ~ <그림 3>와 같다. 해당 데이터를 IEEE의 전력품질 기준과 비교하여 문제의 성질, 추측 가능한 발생원인, 각 원인의 심각성을 확인하였다. [5]

2.2.3 전압 고조파

전압 고조파는 본래 기기가 작동하는 주파수의 정수배의 고조파가 원래 전압에 흘러들어 파형이 왜곡되는 문제를 말한다. 문

제의 원인으로 추정할 수 있는 것에는 비선형 부하의 사용과 승압기의 주변 상황(주변에 산재하는 정류기, 직류 브러쉬 모터 등)등을 꼽을 수 있다. 해당 문제는 3상 배전망의 과부하, 전력 효율 감소라는 악영향을 끼칠 수 있으나, 조사한 데이터에서의 전압 고조의 수치는 2.19~3.42%로 낮은 심각도를 보여주었다. 일반적 고조파의 심각도 범위는 20%내외로 발생한 전압 고조파 문제는 무시할 수 있는 수준이라고 판단할 수 있다. 전압고조파는 다음과 같은 수식으로 구할 수 있다.

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n-s}^2}}{V_{fund-s}} \times 100\% \quad (1)$$

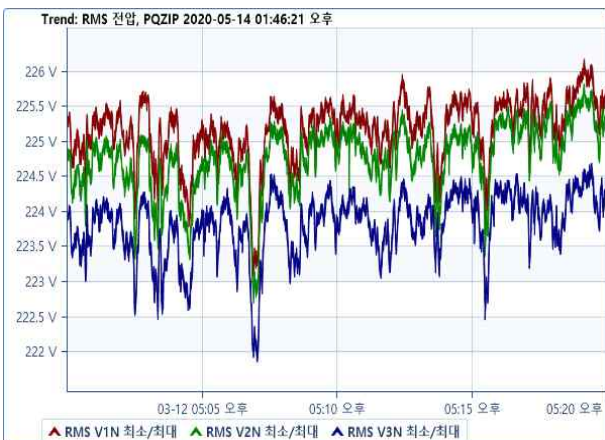


〈그림1〉 전압 고조파 그래프

2.2.4 전압 플리커

전압 플리커는 전압의 파형에서 발생하는 무작위 전압 변형이다. 이 문제는 민감한 전자기기, 전등의 밝기 등에 악영향을 끼칠 수 있다. 전압 플리커 문제의 주 발생 원인으로서는 대규모 모터의 시동, 사이클로 컨버터의 사용 등이 있다. 관측된 전압 플리커 문제의 심각도는 다양한 수치가 발견되었는데, 이 중에는 허용치인 0.1~0.7%를 한참 상회하는 1599.99%를 보이는 경우도 있었다. 본 D-PMU가 설치된 건물 A에는 대규모 모터를 보유한 실험실이 다수 산재되어 있고 전압 플리커 문제가 비주기적으로 짧은 시간동안만 발생한 것을 고려할 때 해당 실험실에서 대규모 모터를 사용한 시점에 전압 플리커 문제가 발생한 것으로 추측할 수 있다. 전압 플리커는 다음과 같은 수식으로 구할 수 있다. t_f 는 플리커가 발생한 시간을 의미한다.

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{10\text{min}}} \quad (2)$$



〈그림2〉 전압 플리커 그래프

2.2.5 급속 전압 변동

급속 전압 변동 문제는 불특정 기간 내에 10%이상의 전압 변동이 일어나는 문제이다. 이 문제 역시 전압 플리커와 마찬가지로 민감한 전자기기 등에 악영향을 끼칠 우려가 있다. 주 발생 원인은 모터의 시동 등이 있다. 관측된 데이터에서 일반적인 경우의 7~8% 이내의 변동치만 검출되었기에 다른 부하에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 이 문제 역시 전압 플리커의 경우와 마찬가지로 숭실대학교 내의 시설에서 모터의 사용이 주 원인인 것으로 보인다.



〈그림3〉 급속 전압 변동 그래프

3. 결 론

D-PMU는 배전망에서 설치되어 실시간으로 동기화된 전압, 전류의 크기와 위상각을 계측할 수 있는 장비이다. 이를 활용하면 배전망에서의 발생한 문제의 파악과 원인 분석이 수월하게 진행할 수 있다. 본 논문에서는 D-PMU 데이터를 활용하여 배전망 상태를 확인하고 발생한 문제의 파악과 원인추정을 진행하였다. 획득한 데이터로 D-PMU가 설치된 변압기에서 발생하는 문제와 부하 측의 문제점도 파악할 수 있는 것을 확인하였다. 후속 연구로 D-PMU 데이터를 기계학습 기법으로 분석하고 진단하는 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (Grant number: R12XA04)

[참고 문헌]

- [1] 산업자원통상부, “제 3차 에너지 기본계획”, 2019
- [2] Alexandra von Meier, David Culler, Alex McEachern, Reza Arghandeh, “Micro-Synchrophasors for Distribution Systems,” 2014 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, 2014
- [3] Hamed Mohsenian-Rad, Emma Stewart, and Ed Cortez, “Distribution Synchrophasors,” IEEE Power & Energy Magazine, Vol. 16, No.3, pp26-34, 2018
- [4] Emile Dusabimana, Sung-Guk Yoon, “A Survey on the Micro-Phasor Measurement Unit in Distribution Networks,” Electronics, vol. 9, no. 2, 305, Feb. 2020
- [5] A. Kannan, Vipul kumar, T. Chandrasekar, Dr. B. Justus Rabi, “A Review of Power Quality Standards, Electrical software tools, Issues and Solutions,” International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy, 2018