

# 스마트 미터링 인프라의 데이터량 변화와 배전망 상태의 상관관계 분석

김재범\*, 최강운, 심명현, 문종희, 김우용

한국전력공사 전력연구원, 배전 연구소

\*jaebeam@kepc.co.kr, wooyoungkim@kepc.co.kr, kangunchoi@kepc.co.kr,  
jongheemoon@kepc.co.kr, myunghyunShim@kepc.co.kr

## Analysis of the Correlation between Data Volume Variation in Smart Metering Infrastructure and Distribution Network Conditions

Jaebeom Kim, Wooyong Kim, Kangun Choi, Jonghee Moon, Myunghyun Shim

Korea Electric Power Corporation Research Institute, Power Distribution Laboratory

### 요약

스마트 미터링 인프라는 배전망에 접속된 전체 전력 수요 및 발전원의 전력량과 품질을 실시간으로 계측하는 시스템이다. 이차림 대규모로 생산되는 전력 계측값은 전력 수요, 재생e 발전량 예측 등 통계 기반의 배전망 계획에 활용되고 있다. 하지만 대규모로 생산되는 계측 데이터는 시스템 간 동기화, 데이터 오류 검출 및 판정의 지연 원인이 되어 정전·이상 대응 등 실시간 배전망 운영 목적으로의 미터링 인프라 활용을 어렵게 하고 있다. 본 연구에서는 스마트 미터링 인프라의 데이터 발생 패턴 변화와 배전망 상태의 상관관계를 분석하여 실시간으로 배전망의 운영 상태를 판정하는 기법을 제안한다.

### I. 서론

최근의 배전망은 분산에너지자원 (Distributed Energy Resources, DER)의 확대, 수요반응(Demand Response)의 활성화 및 부하 패턴의 복잡성 증가로 과거보다 높은 변동성과 불확실성을 갖고 있다. 이를 해결하기 위해서는 배전망의 실시간 가시성을 확보하기 위한 감시 체계 확보가 필수적이다. 스마트 미터링 인프라 (Advanced Metering Infra:AMI)는 배전망 접속된 주요 부하 및 발전원에 설치된 지능형 전력량계를 전력품질 및 과금 계측용으로 이용한 인프라로, 주기적으로 검침 값을 제공하던 과거의 검침 시스템과 달리 배전망의 시계열 품질 데이터를 제공함으로써 배전망의 설계와 운영에 필요한 가시성을 크게 향상시키고 있다. 하지만 이 과정에서 발생한 방대한 데이터는 실시간성의 저하, 인공지능 학습 시 데이터 오버피팅(Over fitting) 문제, 저장·처리를 위한 시스템 운영비의 증가 등 새로운 문제점을 발생시키고 있다[1]. 따라서 보다 경량화된 배전망 상태의 판단 기법 개발이 필요하다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위해 AMI에서 발생하는 데이터량의 변화와 배전망 상태간의 상관관계를 분석 및 이용하는 방법을 제시한다. 제시된 기법은 시계열 계측값의 확인 등 연산 전처리 단계에서 데이터량의 변화만으로도 배전망의 상태를 판정하는 등 배전망 실시간 가시성 확보와 복구 대응 등 운영에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### II. 본론

배전망 상태에 따른 AMI 데이터량 변화는 아래와 같은 특성을 갖는다. AMI에서 운용되는 전력량계는 배전선로 변압기 2차측 380V 이하 부하점에 운용되는 저압 전력량계와 3.3kV -154kV 및 345kV 초과 고압에 운용되는 고압 전력량계로 구분된다. 한국전력의 경우 '21년도부터 도입이 진행중인 AMI 2.0용 AMIGO 전력량계부터 저고압 전력량계의 데이터 모델을 DLMS/COSEM으로 단일화 하였다. 해당 AMIGO 전력량계는 배전망에 접속한 재생e 발전원의 변동성 확인 등 대응력 향상을 위해 전력품질 (Power Quality) 1분 계측과 더불어 정전, 복전 등 이벤트 정보에 대한 실시간 Push 데이터 처리가 가능하다. 이러한 데이터 발생 특성은 전력량계

의 전원측, 또는 부하측이 정상적인 상태에서 발생하는 주기적 데이터와 비정상 상태에서의 이벤트 데이터의 합산으로 표현될 수 있다. 아래 수식 (1)은 전력량계에서 5분(D5) 주기로 발생하는 데이터와 15분 주기의 데이터(D15)가 8주기에 따라 발생 것을 표현한 것이다.

$$f(t) = D_5 \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - 300k) + D_{15} \sum_{m=0}^{\infty} \delta(t - 900m) \quad (1)$$

만약 AMI의 품질과 배전망 상태가 모두 정상일 경우, D5 계측 수가 1개, D15 계측 수가 2개인 주기의 계측을 수행하는 전력량계는 수식 (1)을 따라 그림 2와 같이 반복적인 패턴의 데이터를 발생시키게 된다.

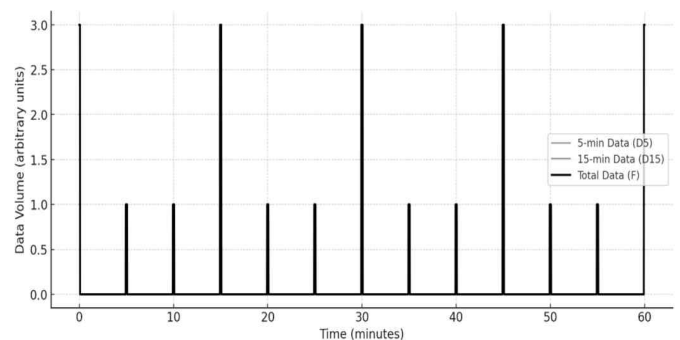


그림 2 배전망이 정상 상태인 경우 데이터 발생량

일반적으로 AMI에서는 전력량계가 Data Concentrate Unit(DCU)에 1:N 형태로 접속되어 데이터가 누적되므로, 정상상태에서 DCU에 누적되는 데이터의 총량은 전력량계의 수(N)과 주기적인 발생량( $r = f(t)$ )로 계산될 수 있다.

$$D_{base}(t) = N \times r \quad (2)$$

하지만 배전 계통에서 비정상적인 정전 및 과전압 등 이벤트가 발생하는 경우, 전력량계는 정상상태 이외의 데이터를 생산하게 되며, 이때의 발생된 데이터는 이벤트로 생성된 데이터량  $E(t)$ 가 수식 (3)과 같이 발생하게 된다. 이때 정상상태의 데이터량  $B(t)$ 는 수식 (2)와 같으며,  $F(t)$ 는 총 발

생된 데이터량을 나타낸다.

$$E(t) = F(t) - B(t) \quad (3)$$

(3) 수식에서 이벤트 데이터  $E(t)$ 가 0 이상을 나타내는 경우로 해당 조건식은 아래 (4)와 같으므로,

$$E(t) \geq 0 \iff F(t) - B(t) \geq 0 \quad (4)$$

즉,

$$F(t) \geq B(t) \quad (5)$$

(5) 조건식이 참일 경우, 배전망의 이상 상태로 인한 추가 데이터가 AMI에서 발생 및 처리되고 있음을 정의할 수 있다. 이때, 이벤트 발생량인  $E(t)$ 의 경우, 수식 (6)과 같이 표현될 수 있으며, 이벤트 발생 총량은 배전선로 2차측 동일 저압선로에 접속된 부하점의 전력량계의 수에 비례적으로 증가해야 한다.

$$E(t) = \sum_{i=1}^M E_i \cdot \delta(t - t_i) \quad (6)$$

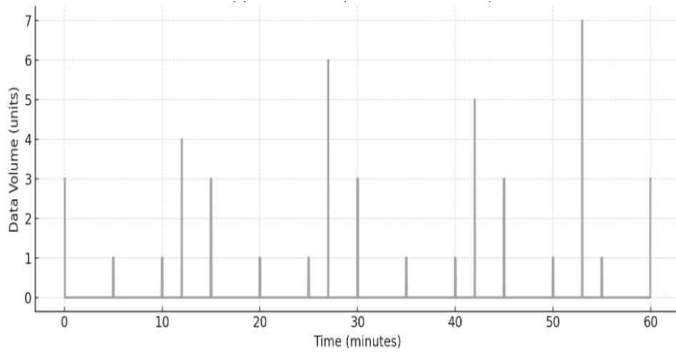


그림 3 배전망이 비정상 상태인 경우 데이터 발생량

그림 3의 모델은 장치의 이상상태가 반영될 수 없으므로, 이를 배제하기 위한 확률 조건이 필요하다. 즉, 수식 (5)를 통해 AMI의 데이터 발생량을 기반으로 배전망의 정상 상태와 비정상 상태는 구분할 수 있으나,  $E(t)$ 의 발생량은 배전망의 이상 유형과 전력량계, 통신설비의 유형 등 AMI 설비의 구성 등 외란에 따라 변화된다. 이때 (5)의  $E(t)$ 의 발생 확률 조합은 수식 (7)과 같이 표현될 수 있다. 해당 식에서  $X$ 는 이상 데이터가 발생한 전력량계의 숫자이며,  $k$ 는 전체  $n$  수량에서의  $k$  조합이며,  $p_k$ 는 선택된  $k$ 대에서 이벤트가 발생할 확률, 이외는 나머지 단말에서 이상이 발생하지 않을 확률이다.

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k} \quad (7)$$

일반적인 경우, DCU와 통신하는 집단 전력량계들의 주기적 계측값에 누락이 발생하지 않았을 경우, 전력량계가 배전망의 이상을 탐지하지 못할 확률은 0에 수렴하므로 이벤트 발생량  $E(t)$ 는 계량기 수량에 비례적으로 증가한다. 하지만 장치의 이상 또는 AMI 통신설비의 간헐적 이상으로 인해 주기적으로 계측되는 수식 (2)에 전력량계 간 편차가 발생하는 경우, 발생 데이터량의 패턴에 불안정성 문제가 과급되어 배전망 이상 등 상태 판정의 정확도는 낮아지게 된다. 따라서 설비의 통신 이상과 이상을 포함하여 이벤트를 탐지하지 못하거나, 또는 탐지된 데이터가 정상적으로 DCU등 시스템으로 전송되지 못할 확률  $1-p$ 는 개별 전력량계마다 별도의 관측이 필요하다. 아래 수식은 개별 전력량계의 이벤트 검출 확률 ( $p_i$ )를

반영한 수식이다. (8)에서  $p_i$ 는 해당 전력량계가 발생시킬 예상 발생 데이터량 수식(1)을 기준으로 실제 데이터 수집 완료량을  $t$ 시간 동안 기록하여 산정한다.

$$P(X = k) = \sum_{A \subseteq \{1, \dots, n\}, |A|=k} \prod_{i \in A} p_i \prod_{j \notin A} (1 - p_j) \quad (8)$$

하지만 (8) 수식에서 전력량계의 수량( $n$ )이 증가하는 경우, DCU 등 상위 설비에서 이상 탐지의 확률 연산이 어려워지므로 Poisson-Binomial 또는 Normal Approximation을 이용하여 이상 판정값의 신뢰도 수준의 근사 또는 분포를 계산할 수 있다[2]. 아래 그림은 전력량계 100대가 수식(1)에 비례하여 데이터를 90~100% 신뢰도 수준으로 전송할 때, 수식 (6)의 정확도 수준을 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과 전력량계가 안정적으로 DCU와 통신하여 주기적인 데이터를 약 90~100%내외의 확률로 전송하고 있는 경우에는, 약 95% 수준의 배전망 이상 상태 판정 정확도를 보여주었다.

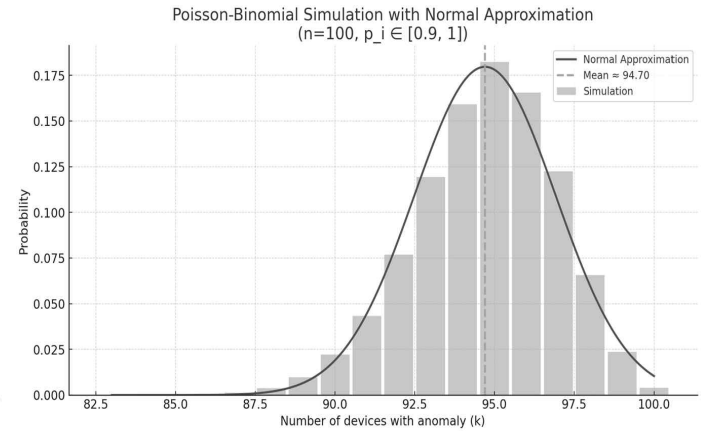


그림 4 AMI 전력량계 및 통신망 불안정에 따른 배전망 상태 판정 신뢰도 지수 시뮬레이션 결과

### III. 결론

본 연구에서는 배전망 불안정성을 신속하게 파악하기 위해 네트워크의 트래픽을 활용하는 방안을 제안하였다. 제안된 방법은 AMI 모든 데이터의 검출값을 서버에서 확인하여 검증하는 통계적 방법을 사용하지 않고, 순수 데이터 발생량을 기반으로 실시간 판정을 시행하는 특징을 갖는다. 이는 서버에서의 실제 이벤트 데이터를 판독 전, 현장 설비가 조기에 실시간으로 배전망의 이상 탐지를 가능하게 하고, 계통의 회복력과 운영 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. 향후 연구에서는 설비 관리용으로 발생하는 제어 데이터를 소거하는 분류 기법을 적용하여 판정 정확도를 향상 시키는 알고리즘과, 데이터 발생량이 감소하는 추세선 발생 시 배전망 이상 형태 등을 복합적으로 고려할 필요가 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국전력공사의 주력연구과제(R25DA09)에 의해 지원되었음

### 참 고 문 헌

- [1] Feng, Cong, Ali Mehmani, and Jie Zhang., "Deep learning-based real-time building occupancy detection using AMI data." IEEE Transactions on Smart Grid 11.5, 4490-4501. 2020
- [2] Neammanee, Kritsana., "A refinement of normal approximation to Poisson binomial." International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, 2005.5, 717-728, 2005.5