

# 스마트미터링 기반의 분산전원 실시간 감시 제어 인프라 개발

최강운\*, 문중희, 심명현, 김재범, 김우용

한국전력공사 전력연구원, 배전 연구소

\*kangun@kepc.co.kr, jh.mun@kepc.co.kr, mh.shim@kepc.co.kr, jaebeom@kepc.co.kr, eugene.kim@kepc.co.kr

## Development of Real-time DER Control and Monitoring Infrastructure using Smart Metering

Kangun Choi, Jonghee Mun, Myunghyun Shim, Jaebeom Kim, Wooyoung Kim

Power Distribution Laboratory, Korea Electric Power Corporation Research Institute(KEPRI)

### 요약

본 논문은 탄소중립 정책으로 급증하는 분산전원(DER)이 야기하는 배전망 불안정 문제와 기존 관제 장치(RTU)의 낮은 보급률 및 보안 취약점을 극복하기 위해, 기 구축된 스마트미터링 인프라인, 스마트미터 게이트웨이(SMGW)와 보안강화형 전력량계(AMIGO)를 활용한 실시간 관제 시스템을 제안한다. 이 시스템은 국제 표준인 LwM2M 및 DNP3.0 프로토콜을 적용하여 상호운용성을 확보하였으며, 제주 지역 실증을 통해 1분 이내의 데이터 취득과 96.4%의 제어 성공률을 기록함으로써 경제성과 보안성을 동시에 갖춘 배전망 운영 인프라 신뢰성을 입증하였다.

### I. 서론

재생에너지 3020 이행계획 등 정부 정책에 따라 분산전원 연계 신청이 급증하면서 배전선로의 허용 용량 초과 및 과전압 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 이에 대한 대책으로 출력 제어(Curtailment)의 필요성이 대두되었으나, 기존의 배전지능화시스템(DAS)용 단말장치(FRTU)나 전용 RTU는 구축 비용이 높게 들어서(개소당 약 200만원) 경제적 부담이 크다. 반면, 한국전력공사가 전국적으로 구축 중인 스마트미터링(AMI) 시스템은 저비용(개소당 약 40만 원)으로 통신 및 데이터 처리가 가능하여 경제적인 대안으로 주목받고 있다.[1] 그러나 AMI망은 기본적으로 업무망(OA) 또는 외부망 성격을 가지므로, 이를 전력망 제어(ADMS)에 직접 활용하기 위해서는 엄격한 보안 요건을 충족해야 한다. 2018년 제정된 「신재생에너지 보안 가이드라인」에 따라 제어 시스템은 외부 인터넷망과 물리적으로 분리되어야 하며, 중요 데이터는 암호화되어야 한다.

본 논문의 주 목적은 스마트미터링(AMI)의 핵심 요소인 스마트미터 게이트웨이(SMGW)와 보안강화형 전력량계(AMIGO)를 활용하여 별도의 고가 장비 없이도 분산전원을 실시간으로 감시하고 제어할 수 있는 기술을 개발하는 것이다.[2] 구체적으로는

- ① AMI 설비와 배전계통운영시스템(ADMS)을 연계하는 보안 서버 및 인터페이스 개발
- ② KCMVP(한국형 암호모듈) 및 망 분리 기술을 적용한 보안 체계 확립
- ③ 제주 지역 실증을 통한 제어 성공률 및 실시간성 검증 목표

### II. 본론

#### 1. 시스템 설계 및 보안 아키텍처

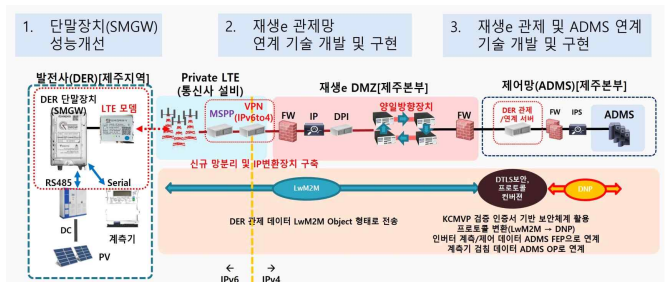
##### 1.1 전체 시스템 구성

제안하는 시스템은 크게 현장 설비(Edge), 통신망(Network), 그리고 서버 시스템(Platform)으로 구성된다.

- 현장 설비: 태양광 인버터와 연결된 SMGW가 핵심적인 엣지(Edge)

장치 역할을 수행한다. SMGW는 인버터로부터 Modbus 통신을 통해 발전량, 전압, 전류 정보를 수집하고, 보안강화형 전력량계(AMIGO)로부터 정밀 계측 데이터를 수집한다.

- 통신망: 현장 데이터는 LTE 무선망을 통해 전송된다. 이때 보안성을 위해 Private LTE망을 구성하고, VPN(가상사설망)을 통해 암호화된 터널을 형성하여 데이터 유출을 방지한다.
- 서버 시스템: 수집된 데이터는 재생e 연계 서버로 전송된다. 이 서버는 LwM2M 프로토콜로 수신된 데이터를 ADMS가 인식할 수 있는 DNP 3.0 프로토콜로 변환하여 상위 제어 시스템으로 전달한다.



[AMI기반 재생e(DER) 제주본부 관제 구성도]

##### 1.2 보안 아키텍처 및 망 분리

본 연구의 핵심은 제어망(ADMS)과 외부망(AMI/LTE) 간의 안전한 연체이다.[3] 이를 위해 다음과 같은 다층 보안 체계를 설계하고 국정원 보안성 검토를 완료하였다(2024.12). 적용된 보안기능 중 종단간 암호화 및 기기 인증은 기존의 AMI시스템의 보안적용 기능을 활용하였다.

#### 2. 핵심 기술 및 프로토콜 구현

##### 2.1 LwM2M 기반 관제 프로토콜 표준화

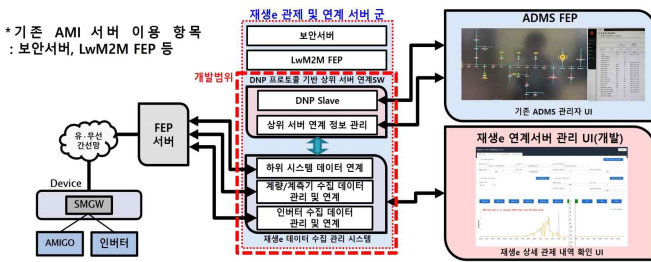
다양한 제조사의 인버터와 SMGW 간의 호환성을 확보하기 위해 OMA(Open Mobile Alliance)의 LwM2M(Lightweight M2M) 국제 표준

을 기반으로 재생에너지 관제용 객체(Object) 및 자원(Resource)을 정의하였다.

- 주요 정의 항목: 유효/무효전력 제어 명령, 인버터 상태 정보, 발전량 계측 정보, 역률 제어 설정값 등.
- 기능: SMGW는 인버터의 비표준 Modbus 맵을 LwM2M 표준 객체로 매핑(Mapping)하여 서버로 전송함으로써, 상위 시스템은 인버터 제조사와 무관하게 단일한 방식으로 관제할 수 있다.

## 2.2 DNP3.0 프로토콜 변환

기존의 배전계통운영 시스템(ADMS)은 DNP3.0 프로토콜을 사용한다. 따라서 상위시스템(ADMS)과의 호환성을 높이기 위해서 재생e 연계 서버에서 하위 LwM2M으로 받은 데이터를 DNP3.0 프로토콜로 변환하여서 데이터를 업로드 하였다. 실증시 실제 운영하는 배전계통운영 시스템 변경이 불가능하여서 데이터를 호환하는 방향으로 적용하였다.



[프로토콜 변환 및 장치관리 재생e 연계서버 구성]

## 2.3 실시간 제어 및 데이터 처리

기존 AMI의 15분 단위 검침 주기(LP)로는 급변하는 재생에너지 변동성에 대응할 수 없다. 본 시스템은 1분 주기의 실시간 감시 체계를 구현하였다.

- Fast-Track 처리: 관제에 필수적인 전압, 전류, 유효전력 데이터는 우선순위를 높여 1분 단위로 수집 및 전송하며, 과금용 데이터와 트래픽을 분리 처리한다.
- 제어 명령 이행: ADMS에서 출력 제한 명령(예: 유효전력 30% 제한)을 내리면, 연계 서버 → SMGW → 인버터 순으로 명령이 전달되며, SMGW는 인버터의 응답 및 출력 변화를 감지하여 이행 결과를 즉시 상위 서버로 피드백한다.

## 3. 실증 및 성능 분석

### 3.1 실증 환경

제주 지역의 재생에너지 과밀 해소 및 계통 안정화를 위해 제주본부 관할 태양광 발전소 10~11개소를 대상으로 실증 사이트를 구축하였다. 2024년 5월부터 AMI 서버 연동 시험을 시작하였으며, 2024년 12월에는 ADMS와 연계한 통합 실증을 수행하였다.



[제주지역 PV개소 실증 개소 설치 구성]

## 3.2 제어 성공률 분석

시스템의 신뢰성을 검증하기 위해 ADMS에서 하달된 제어 명령이 실제 인버터에 적용되고 그 결과가 회신되는 비율인 '제어 성공률'을 측정하였다.

- 측정 방법: 총 11개소의 SMGW를 대상으로 522,503건의 트랜잭션 로그를 분석하였다.
- 분석 결과: 전체 제어 명령 중 96.4%가 성공적으로 수행되어, 연구 목표치인 95%를 상회하였다. 실패 사례의 대부분은 일시적인 무선 통신 음영 또는 인버터 자체의 응답 지연으로 분석되었으며, 이는 재전송 로직(Retry)을 통해 보완 가능하다.

## 3.3 데이터 실시간성(Latency) 분석

현장의 전력 품질 변화를 운영자가 얼마나 빠르게 인지할 수 있는지 평가하기 위해 데이터 지연 시간을 측정하였다.

- 측정 결과: 인버터/계기에서 데이터가 생성된 시점부터 상위 서버 DB에 저장되는 시점까지의 평균 소요 시간은 56초로 측정되었다.

## 3.4 계측 정확도 비교

인버터 자체 계측값과 한전의 보안 전력량계(AMIGO) 계측값을 비교 분석한 결과, 평균 6%의 오차가 확인되었다. 특히 일부 특고압 개소에서는 전압강하로 인해 3~5V의 전압 차이가 발생하였다. 이는 인버터 계측값에만 의존할 경우 과전압 판단 오류가 발생할 수 있음을 시사하며, 정밀도가 높은 AMIGO 전력량계 기반의 감시가 필수적임을 입증한다.

## III. 결론

본 연구를 통해 고가의 전용 설비(RTU) 없이 기존 AMI 인프라를 활용하여 분산전원을 실시간으로 감시하고 제어할 수 있는 기술을 성공적으로 개발하고 실증하였다.

1. 경제성 확보: 기존 RTU 방식 대비 구축 비용을 절감할 수 있어, 소규모 분산전원까지 관제 범위를 경제적으로 확대할 수 있는 기반을 마련하였다.
2. 보안성 강화: 국가 보안 가이드라인을 준수하는 망 분리(DMZ) 및 AMI 보안체계를 활용하여 종단간 보안체계를 확립하였다.
3. 운영 효율성 제고: 96.4%의 높은 제어 성공률과 1분 이내의 실시간 데이터 확보를 통해, 배전계통 운영자가 재생에너지 변동성에 능동적으로 대응하고 전압 안정도를 유지할 수 있게 되었다.

향후 본 기술은 육지 계통의 재생에너지 관제 사업으로 확대 적용될 예정이며, 개발된 LwM2M/DNP3.0 변환 기술과 보안 솔루션은 향후 VPP(가상발전소) 및 전기차 충전 인프라 등 다양한 유연 자원 관제 플랫폼의 표준 모델로 활용될 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국전력공사의 주력 연구과제(R25DA09)에 의해 지원되었음

## 참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 배전망사업실 "분산e 감시제어 인프라 master plan," 2023., pp. 6-7.
- [2] 최강운, 박병석, 김동섭, "AMI2.0 기반의 IoT Gateway 연구," 전기학 회논문지, 제 70권, 11호, pp. 1705-1713, 2021.
- [3] Y. Kabalci, "A Survey on Smart Metering and Smart Grid Communication," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1125-1147, Secondquarter 2016.