

비대면 전자봉인체계의 운용특성에 관한 연구

김범수*, 구본승*, 황승욱**

*한국전력거래소, **한국화학융합시험연구원

kbs@kpx.or.kr

A Study on the Operation Characteristics of Non-face-to-face Electronic Sealing System

Bum-Soo Kim*, Gu Bon-seung*, Seung-Wook Hwang**

*Korea Power Exchange

**Korea Testing & Research Institute

요약

최근 신재생 에너지를 기반으로 하는 신재생에너지 발전소 등의 분산전원 비중이 급증하고 있으므로 현재 전력거래소가 운영하고 있는 수동적인 하드카피 업무체계에서 제한된 조직 및 인력으로는 계량설비 봉인 업무를 효율적으로 운영하는데 어려움이 있다. 따라서, 본 논문에서는 한국전력거래소(이하 '전력거래소')에서 현재 수행하고 있는 수동적인 '하드카피(종이로 출력된 인쇄물)'를 기반으로 하는 대면 업무체계에서 비대면 구조의 '소프트카피(디지털 형태의 문서)' 업무체계를 설계하고 보안성과 무결성이 확보된 전자봉인 계량시스템을 적용한 비대면 원격모니터링의 모의운영을 구현하기 위하여 기초 단계인 비대면 전자봉인체계의 도입방안을 제시한다. 또한, 전자봉인 장치, 모뎀, 중계용 안테나 그리고 비대면 전자봉인서버로 구성되는 전자봉인 시스템을 구현한다. 상기에서 제시한 도입방안과 전자봉인 시스템을 바탕으로 6개의 발전소별 운용 데이터를 취득하여 분석한 결과, ring type이 적용된 발전소는 전자봉인 장치 설치 성공률이 100%로 산정되어 적절한 통신 방식임을 알 수 있었다.

1. 서론

세계적으로 발전하고 있는 계량산업은 디지털전환(DX, Digital Transformation)이라는 큰 변화의 틀에서 지능형 방식의 계량서비스를 제공하기 위하여 본격적인 기술개발이 진행되고 있으며, 지능형 방식의 계량서비스 도입으로 행정업무의 효율성과 정보제공의 디지털화를 통하여 사용자에게 실시간 또는 효과적인 정보제공을 하고자 이에 필요한 기술개발을 추진하고 있다. 또한, 최근 신재생 에너지를 기반으로 하는 신재생에너지 발전소 등의 분산전원 비중이 급증하고 있으므로 현재 전력거래소가 운영하고 있는 수동적인 하드카피 업무체계에서 제한된 조직 및 인력으로는 계량설비 봉인 업무를 효율적으로 운영하는데 어려움이 있다[1-3].

따라서, 본 논문에서는 한국전력거래소(이하 '전력거래소')에서 현재 수행하고 있는 수동적인 '하드카피(종이로 출력된 인쇄물)'를 기반으로 하는 대면 업무체계에서 비대면 구조의 '소프트카피(디지털 형태의 문서)' 업무체계를 설계하고 보안

성과 무결성이 확보된 전자봉인 계량시스템을 적용한 비대면 원격모니터링의 모의운영을 구현하기 위하여 기초 단계인 비대면 전자봉인체계의 도입방안을 제시한다. 또한, 전자봉인 장치, 모뎀, 중계용 안테나 그리고 비대면 전자봉인서버로 구성되는 전자봉인 시스템을 구현한다. 상기에서 제시한 도입방안과 전자봉인 시스템을 바탕으로 6개의 발전소별 운용 데이터를 취득하여 분석한 결과, patch type이 적용된 발전소 2개소는 전자봉인 장치 설치 성공률이 75%이며, 함체 내부 공간협소 및 근접한 금속면으로 인해 RFID 신호의 감쇠, 들뜸 현상으로 인해 지속적인 봉인상태의 신뢰성을 확보하기 어려움을 알 수 있었다. 한편, ring type이 적용된 발전소 4개소는 전자봉인 장치 설치 성공률이 100%로 산정되어 적절한 통신 방식임을 알 수 있었다.

2. 비대면 전자봉인체계 도입방안

2.1 전자봉인의 종류 및 특징

전자봉인의 분야에서는 무선통신 기술을 기반으로 시스템을 구성하여 컨테이너, 화물운송의 분야에서 활발하게 사용되고 있지만 유선 방식을 통한 전자봉인이 가능하다면 경제

적 측면이나 현장 적용 측면에서 유용하므로 유선 방식도 충분히 고려되어야 한다. 우선 전자봉인 분야에서 주로 사용하고 있는 무선통신 방식은 LTE, ZigBee, GSM, GPRS, GPS, Bluetooth, NFC, Wi-Fi, RFID 등이 있으며 전력거래소 계량설비의 특징상 현장에 적용 가능하다고 판단되는 각 무선통신 방식별 특징과 특성을 분석하면 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

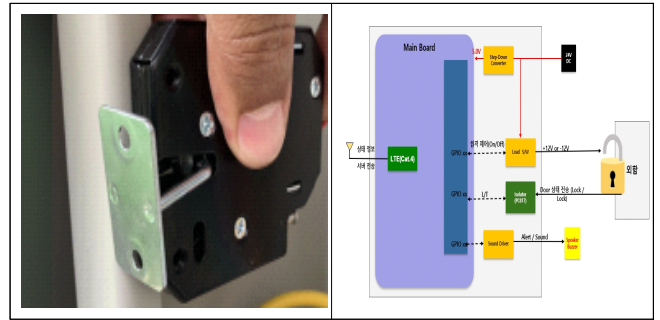
[표 1] 무선통신 방식별 장·단점

구분	장·단점	
통신방식	장점	단점
LTE	<ul style="list-style-type: none"> 기존 발전소에 설치 전력거래소 계량시스템에 연결 완료 추가 장치 설치 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 모델 개조 필요 기능 추가에 과도한 비용 발생
ZigBee	<ul style="list-style-type: none"> 저전력, 저비용 양방향 무선망 통신 자체적인 통신확장 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 저속 별도의 허브장치 필요 데이터 유효전송거리 $\geq 20m$
Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"> 통신거리 $\geq 100m$ 기존 발전소에 이미 설치 확장성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 장애물에 취약(통신장애) 정보의 유출이나 해킹
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> 유효 통신거리 50m 이상 여러 기기들과 통신 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 끊김현상 자주 발생
NFC	<ul style="list-style-type: none"> 보안성이 뛰어남 양방향 가능(읽기, 쓰기) 여러 기기들과 통신 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 통신거리 매우 짧음 유효 전송거리 $\geq 10cm$
RFID	<ul style="list-style-type: none"> 비접촉 인식 가능 신뢰도가 높음 다양한 정보의 저장 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 고비용 유효 전송거리 $\geq 20m$

2.2 전자봉인 기술의 적정성 검토

발전소 계량설비 및 계기함의 형상이나 구조 등을 파악하기 위하여 특고압 수전의 태양광발전소 7개소를 방문하여 현장을 검토한 결과, 일반적으로 배전반 1면 하단(바닥면)에 MOF가 설치되어 있고, 상단에 계기함이 위치하고 있으며 계기함 내부에 전력거래소 계량설비와 한전 수전 계량설비와 모뎀 등이 설치되어 있음을 확인할 수 있다. 또한, 계기함은 보통 철제로 제작되었고, 무선 방식의 전자봉인 시스템 구현 시 하나의 모뎀으로는 계기함 내부에 설치된 전력량계 및 단자대(TTB)에 대한 전자봉인과 외부에 설치된 MOF(PT & CT)에 대한 전자봉인을 통신하기에는 현실적으로 어려운 점이 많다. 한편, 유선방식의 경우에는 그림 1과 같이, 봉인상태 확인의 신뢰성이나 경제성이 우수하다고 판단되나 기존 발전소에도 적용 가능한 시건장치 구조 설계의 어려움이 있고 하나의 계기함 내에 전력거래소용과 한전용 계량설비가 같이

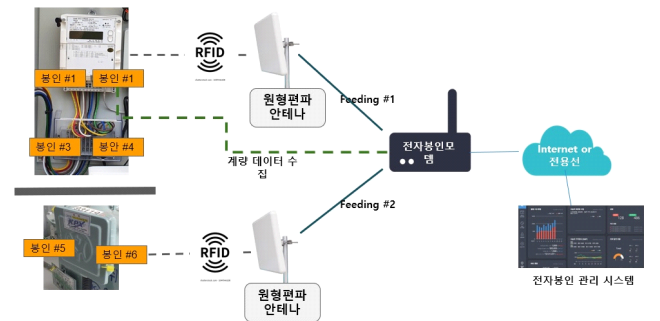
설치되어 있다면 봉인의 해제와 재봉인에 있어서 한전과의 업무 진행 시 업무의 순서 및 유지관리하는데 어려움이 발생할 가능성이 있다. 즉, 한전과의 업무처리 순서와 적정한 시건장치를 개발하거나 기존 시건장치 적용이 가능하다면 유선방식을 채택하는 것이 최선이라고 판단되나 현재 상황으로는 문제를 해결할 수 없으므로 타 기관에 의존도가 없는 무선 방식에서 최선의 통신기술을 선정하고자 한다.



[그림 1] 유선방식에 적용가능한 시건장치와 구성검토

2.3 전자봉인체계 방안 선정

본 논문에서 유선방식에 적용 가능한 시건장치 등을 개발하는데 실질적인 어려움이 있으므로 현장검증에서 취득한 정보를 바탕으로 무선방식 중 전자봉인 적용 시 최적의 방안을 제안한다. 여기서, 무선방식 선정 시 기존 비교 분석하는 방식에서 추가적으로 BLE 5.0과 LoRa 방식을 추가로 검토하며 현장전원의 필요 유무와 통신거리 등을 비교 분석한 결과 마찬가지로 그림 2와 같이, RFID 방식이 최적이라고 판단할 수 있다. 또한, 계기함의 구조상 MOF의 봉인도 전자봉인 영역에 포함시키려면 안테나와 모뎀의 추가설치가 필요하므로 비용적인 측면에서도 적절하지 않다고 판단하여 계량설비 중 전력량계와 무정전 단자대만 전자봉인을 적용하는 것이 적절하며, MOF와 같은 계기용 변성기에는 추후 시범사용을 통해 적절성을 판단하여 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.



[그림 2] RFID 방식 근거리 모뎀 통신방식 검토(안)

3. 비대면 전자봉인 시험 시스템 구현

현 봉인 발급 체계의 비효율성을 개선하기 위해서는 전력 거래소에서 현장사이트 통합관리가 필연적으로 요구되며, 이를 제공하는 전자봉인 시스템은 현장의 고유 정보, 즉 계량정보와 봉인정보의 수집, 전송, 저장, 처리에 이르는 일련의 과정이 모두 구비되어야 한다. 이를 제공하기 위해 전자봉인 시스템은 그림 3과 같이, 전자봉인 장치, 모뎀, 중계용 안테나 그리고 비대면 전자봉인서버로 구성되는 부속 설비를 필요로 하며, 각 설비는 비대면 전자봉인 발급 체계와 유기적 연계를 통해 현장 봉인의 무결성을 원격에서 관리가 가능하도록 구현한다.



[그림 3] 전자봉인 시험 시스템

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

비대면 전자봉인체계의 현장 시험 특성을 분석하기 위한 시험 항목은 표 2와 같이 진행이 되며, 각 사이트 마다 테스트 및 기능동작, 데이터 수집 및 기능 동작 확인 테스트를 실시한다.

[표 2] 시험 항목

연번	시험 항목	시험목적 및 내용
1	현장 설치	설치확인
2	전자봉인 모뎀 순시 데이터 수집	데이터 수집 확인
3	전자봉인 모뎀 발전량(LP) 데이터 수집	데이터 수집 확인
4	전자봉인 장치 탐지 데이터 수집	데이터 수집 확인
5	전자봉인 장치 훼손 데이터 수집	데이터 수집 확인
6	Data Base 데이터 수집	데이터 수집 확인
7	서버 전송	데이터 전송 확인
8	순시 데이터 테스트	기능 동작 확인
9	실시간 전자봉인 장치 탐지 테스트	기능 동작 확인
10	실시간 전자봉인 장치 훼손 테스트	기능 동작 확인
11	Data Base 데이터 수집 테스트	기능 동작 확인

한편, 실증 사이트는 표 3과 같이 5개 발전소에서 진행되었

으며, 소형 태양광 1개소, 대형 태양광 2개소, 풍력발전소1개소, 수력발전소(중양급전발전소) 1개소로 총 5개소이다. 또한, A, B 발전소는 patch type의 통신방식을 채택하며, C, D, E, F 발전소는 ring type을 적용한다.

[표 3] 실증 사이트 및 기간

연번	발전소명	용량 (kW)	실증기간
1	A	481	2023.03.08. ~2023.03.10.
2	B	21,000	2023.03.08. ~2023.03.10.
3	C	2,000	2023.03.09.~2023.03.10.
4	D	74.69	2023.03.24. ~2023.04.11.
5	E	400,000	2023.03.23. ~2023.03.27.
	F	400,000	2023.04.26.~2023.07.17.

4.2 비대면 전자봉인체계 운용 특성

비대면 전자봉인체계의 운용 특성을 분석하기 위하여 총 5개소 발전소 실증 결과를 나타내면 표 4와 같다. 여기서, 전자봉인체계의 계량데이터를 전력거래소 서버로 송신하는 점은 문제가 없었으나, 봉인상태에 대한 통신 성공률은 A, B 발전소의 경우 75%, C, D, E의 경우 100%로 산정된다. 또한, 전자봉인장치의 봉인훼손상태 여부에 대한 시험을 진행한 결과, 성공률은 봉인상태와 동일하게 나타남을 알 수 있다.

[표 4] 비대면 전자봉인체계의 운용 특성

연번	구분	계량데이터 결과		통신시험 결과	
		순시 값	발전량	봉인상태	봉인훼손상태
1	A	정상	정상	정상 (75%)	정상 (75%)
2	B	정상	정상	정상 (75%)	정상 (75%)
3	C	정상	정상	정상 (100%)	정상 (100%)
4	D	정상	정상	정상 (100%)	정상 (100%)
5	E	-	-	정상 (100%)	정상 (100%)
	F	정상	정상	-	-

5. 결론

본 논문에서는 국내 전력시장의 행정력 효율성 제고 및 회

원사 불편해소를 위한 효율적인 계량봉인 업무체계 구축을 위하여, 현재 대면 업무체계에서 비대면 구조인 소프트카피(디지털 형태의 문서) 업무체계를 설계하고 보안성과 무결성이 확보된 전자봉인 계량시스템이 적용된 비대면 원격모니터링의 모의운영을 구현, 실증하여 특성을 분석한다. 이에 대한 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 전자봉인 장치의 사용 환경이 금속함체 내부 영역으로 국한되고 봉인 장치의 사용 기간이 장기인 점을 고려하여, 본 논문에서는 무전원 동작이 가능하며 다수의 장치와 근거리 동시 통신이 가능한 RFID 통신 기술을 채택하였다.

(2) patch type이 적용된 발전소 2개소(A, B)는 전자봉인 장치 설치 성공률이 75%이며, 함체 내부 공간협소 및 근접한 금속면으로 인해 RFID 신호의 감쇠, 들뜸 현상으로 인해 지속적인 봉인상태의 신뢰성을 확보하기 어려움을 알 수 있었다.

(3) ring type이 적용된 발전소 4개소(C, D, E, F)는 전자봉인 장치 설치 성공률이 100%로 산정되어 적절한 통신 방식임을 알 수 있었다.

(4) 본 논문에서는 실질적인 전자봉인체계 도입 전 기초 연구를 통해 전자봉인체계에 적절한 통신방식을 선정할 수 있었으며, 도입 전 시범사업을 통해 다양한 요소의 검토 및 보완이 요구됨을 알 수 있고, 향후에는 시범사업을 대상으로 실제 현장에서 일어나는 문제에 대해 분석하고자 한다.

참고문헌

- [1] 계량에 관한 법률
- [2] 전력거래소, “전력시장운영규칙”, 2023. 6
- [3] 한국전력, “한전일반구매규격, G-Type 저압 전자식 전력량계”, 2020. 10개정
- [4] AGST 2023, “A study on the Type Approval and Verification System for Legal Metrology in the Electricity Field”, 2023. 06