

스마트 분전반에서 RF통신을 이용한 MCB 기반 전력 데이터 수집 기법

김범열*, 김형규*, 오정환*, 함성식*, 안길영*

Power Data Gathering Method for the MCB Switch Board by Using the RF Communication

Bum-Youl Kim*, Hyung-kyu Kim*, Jung-Hwan Oh*, Sung-Sik Ham*, Kilyoung Ahn*

요약

본 논문은 MCB(Miniature Circuit Breaker)가 설치된 스마트 분전반에서 RF통신을 이용한 전력 데이터 수집 방법 및 MCB의 상태정보를 파악하는 방법에 대한 내용이다. 이를 구현 하기 위하여 MCB에 설치 될 수 있는 소형 분기 계측 장치(E 태그) 및 에너지 데이터 수집 장치 (E 콜렉터)를 만들었으며, E 태그에서 수집된 전류, 전압, 전력 데이터를 RF 통신을 이용하여 E 콜렉터에 송신 하였다. 그리고 무선통신 성공률을 향상하기 위하여 Heatbeat (패킷 길이가 짧은 무선신호)을 만들어 통신 성공률을 10% 향상시켰으며, 무선통신 성공률과 MCB 부하단의 전류 량의 상관 관계를 가지고 베이즈 정리(Bayes' theorem)를 이용하여 MCB의 트립(Trip)상태(과전류에 의하여 차단기가 자동으로 스위치를 오픈한 상태)를 판별하는 알고리즘으로 사용하였다. 그 결과 통신의 유무를 가지고 MCB의 온/오프를 판단하는 기본 방식 대비 차단기 트립(Trip)상태 판단에 필요한 시간을 같은 조건에서 10 초 단축 하였다.

키워드 : 스마트 배전반, 무선통신, 베이즈 정리, MCB

Key Words : Smart Switch board, Wireless communication, Bayes' theorem

ABSTRACT

In this paper, we propose a method of collecting power measuring data in a smart switch board installing MCB (Miniature Circuit Breaker) and a method of checking the state information of the MCB by using RF communication. We made a small branch power measuring device (E Tag) that can be installed on the MCB and energy data collecting device (E Collector). At the same time, it is possible to check the Trip/Close state value of the MCB without an auxiliary device. For this purpose, We used the Bayes' theorem to determine the MCB state (Trip/Close). As a result, Trip state determining time was reduced by 10 seconds under the same condition compared to the previous method without Bayes' theorem.

* First and Corresponding Author : LS Electric, bykima@ls-electric.com, 정회원

* LS Electric

논문번호 : 202205-068-D-RN, Received April 29, 2022; Revised June 16, 2022; Accepted June 17, 2022

I. 서론

전기 안전에 대한 필요성이 대두되면서 다양한 스마트 분전반 및 스마트 분전반 관련 표준화 연구가 진행되고 있다¹⁻³⁾.

그리고 지구 온난화로 인하여 에너지 생산 및 효율을 높이는 기술에 관심이 높아지고 있으며 사용 되는 공장의 에너지를 전부 재생 에너지로 대체 하는 국제적 기업간 협약(RE100)이 생기고 있다. 이런 사례는 효율이 낮은 재생 에너지를 강제적으로 사용하게 하는 정책적 효과를 줄 뿐만 아니라 에너지 효율화 관련 장치에 대한 수요를 증가 시킬 수 있다.

스마트 분전반 내에는 에너지 측정 장치 및 차단기 상태를 디지털 인풋(DI) 및 보조 접점 장치를 통해 상위로 올려 주는 장치가 있는데, 요즘 비용 절감 차원으로 에너지 측정 장치의 통신의 유무만을 파악하여 차단기 상태가 온/오프 인지를 알려 주는 제품들이 나오고 있다. 그러므로 이러한 전력 데이터 수집 및 차단기 상태 분석 그리고 에너지 절감 및 안전관리(차단기 온/오프 상태 정보는 안전에 관련된 정보로 분류됨) 솔루션들이 계속 등장 할 것으로 예상 된다.

그러므로 이러한 시대적 변화는 기존의 분전반에서 스마트 분전반으로의 변화를 급속하게 이끌 것이다. 이러한 변화는 단순히 차단기만 존재하던 과거의 분전반에서 IoT기술과 연동되는 분전반으로의 변환 되는 시점이 가속화 될 것을 의미하며 전기자동차가 보급이 확산 되면, 스마트 분전반이 전력 분배를 하는 지능형 분전반으로 발전 할 것으로 판단 된다⁴⁾.

본 논문은 스마트 분전반 구현 방법에 대한 내용이다. 이를 위하여 맨 처음 MCB 크기에 적합한 소형 분기 계측 장치 (E 태그) 및 에너지 데이터 수집기(E 콜렉터) 제작 방법을 기술 하였고 부가적으로 별도의 보조 장치 없이 MCB의 온/오프 상태를 전원의 통전만으로 확인 할 수 있는 방법을 기술 하였다. 그리고 이를 구현 하면서 무선 통신 에러율에 의한 차단기 상태 정보 확인 시간이 길어진 문제가 있었다. 이를 해결하기 위하여 사용 부하와 통신 에러율과의 상관 관계를 베이스 정리를 이용 하였고 상태 정보 확인 시간을 단축 할 수 있었다.

II. 본론

2.1 시스템 구성

스마트 분전반은 스마트 그리드 기술이 도입된 환경에서 전기에너지의 공급과 사용을 효율화하고 전기

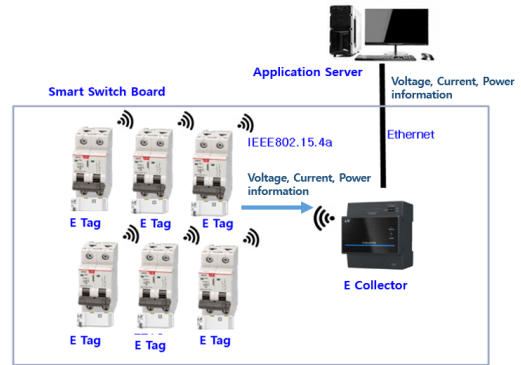


그림 1. MCB기반 배전반 데이터 수집 구성도
Fig. 1. Smart Switch Board Configuration

설비의 안정적인 운영과 관리를 가능하게 하는 시스템으로 정의하고 있다¹⁾. 그러므로 본 논문에서는 IoT 기술을 통한 에너지 절감 및 부하 관리를 MCB 분기 전력 단위로 모니터링 할 수 있도록 그림 1과 같이 스마트 분전반을 구성하였다. MCB 기반 전력 데이터 수집 및 MCB 상태 분석 방법을 설명하면, E 태그는 MCB 밑에 설치가 되어 있어서 E 태그가 전력량계 역할을 수행 하듯이 전력, 전류, 전압 값을 측정하고 IEEE 802.15.4a 무선 규약을 통해 E 콜렉터로 전송하고 E 콜렉터에서 수신된 전류, 전압, 전력 값을 이더넷으로 상위 서버로 전달한다. MCB의 온/오프 상태 정보는 E 태그의 통신 여부를 가지고 온/오프 상태를 판단하게 되는데 이를 위하여 MCB 아래 부착된다. 만일 MCB가 오프 뒀다면 E 태그는 통신 두절 상태가 되는데 이 상태를 MCB의 오프 상태로 판별한다. 검은선은 이더넷 통신선이며 상위 시스템과 연동된다. 그리고 회색 테두리는 스마트 분전반의 경계이며 분전반 내에 MCB 및 E 태그가 있다. E 태그는 MCB 부하단에 설치되어 전력데이터를 측정한다. MCB 부하단에 설치한 사유는 E 태그 교체 편리성을 위함이며 또한 앞서 설명한 것과 같이 통신 불능 시, 통신 두절 된 상태를 MCB가 오프가 되었다라고 판단하기 위함이다.

2.2 E 태그 구현

그림 2는 E 태그 구성을 보인다. E 태그는 MCB에 직접 체결 할 수 있는 구조로 설계를 하였다. 여기서 전원 보드는 AC 220V를 직접 받아 DC 3.3V로 변환 하는 기능을 하며, 메인보드는 계측 및 RF 통신을 담당한다. 그림 2에서원통형의 구조물은 CT (Current Sensor)이다.

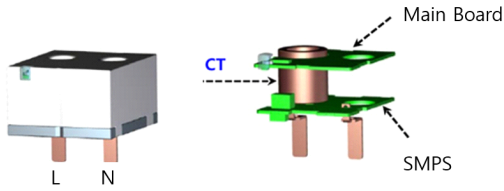


그림 2. E 태그 구성
Fig. 2. E Tag Configuration

스마트 배전반에서 E 태그 설계 시, 중요한 요소는 소형화이다. 특히 전류 센서의 경우, CT센서 외, 로고스키 및 홀 효과(Hall Effect)센서 등을 고려 할 수 있겠으나 본 연구에서는 CT센서로 구현을 하였다. 사유는 계측 정확도 1%를 만족 하기 위해서는 로고스키 및 홀 효과(Hall Effect) 센서 같은 경우, 좀 더 보완해야 할 부분이 있다.

2.3 E 콜렉터 구현

E 콜렉터는 E 태그에서 보내는 무선 데이터를 수집하여 상위 운영 시스템이 내장된 서버로 인터넷을 통하여 전송을 하는 장치이다. E 태그와 마찬가지로 그림 3과 같이 전원보드와 메인보드로 구성 하였다. E 콜렉터 설계 시, 고려된 점은 E 태그가 어떻게 설치될지 모르기 때문에 신호 간섭에 의한 음영 지역(Dead Zone)이 발생 할 가능성이 있다.

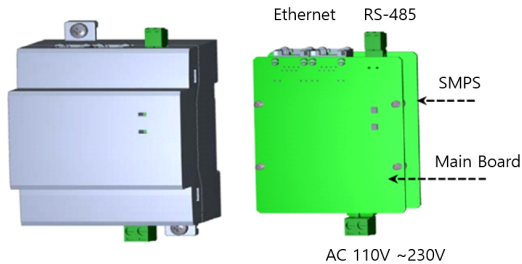


그림 3. E 콜렉터 구성
Fig. 3. E Collector Configuration

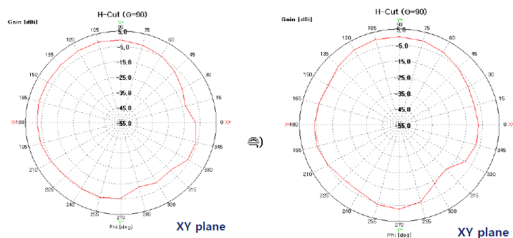


그림 4. E 콜렉터 안테나 Gain 특성
Fig. 4. E Collector Antenna Gain Characteristics

이를 최소화 하기 위하여 안테나를 2개를 이용하여 번갈아 가며 통신을 시도 하였으며 안테나 게인(Gain) 특성은 원형에 가깝게 설계를 하였다. 설계한 E 콜렉터의 RF 게인(Gain) 특성은 그림 4와 같다.

2.4 E 태그와 E 콜렉터 간 RF 통신 구현

그림 4에서 왼쪽은 Ant1의 방사 패턴이며 오른쪽은 Ant2의 RF 방사 패턴이다. Ant1의 경우, 2.4GHz에서 평균 -3.62 dBi를 보였으며 Ant2의 경우, -3.7dBi 특성을 보였다. 전체적으로 게인(Gain)이 떨어 지는데 그 원인은 E 콜렉터의 구조적 특성에 기인한다. 하지만 일반적으로 분전반의 크기의 경우, 통신거리가 3m 내외를 만족하면 되므로 높은 게인(Gain)을 통한 통신 거리 향상 보다는 원형 특성에 가깝게 안테나를 매칭이 유리하다고 판단 하였다. E 태그와 E 콜렉터의 RF 출력은 0dBm 이고 분전반 내에서 RF 통신에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 그리고 안테나 2개를 통하여 난 반사에 의한 음영 지역 발생을 최소화 했다.

E 태그와 E 콜렉터 간의 무선 솔루션으로는 IEEE 802.15.4a를 이용하였으며 구현 시, TI사의 CC2650 솔루션을 사용 하였다^{6,7}. 펌웨어(F/W)의 경우, 일반적으로는 지그비 스택을 해당 반도체 칩에 올려서 구현 하지만, 스마트 배전반에서는 3m 내외의 배전반이라는 무선 환경이 주어지므로 굳이 메쉬 네트워크가 필요 없다고 판단하여 파이(PHY), 맥(MAC)까지만 활용 하였다. 통신 관련 구현된 프로토콜은 그림5와 같다. 그림 5를 보면, 구현된 프로토콜이 일반적인 IEEE 802.15.4a 기반으로 구현 하였다. E 콜렉터는 팬 아이디(PAN ID)를 가지는 데이터 수집기가 되며,

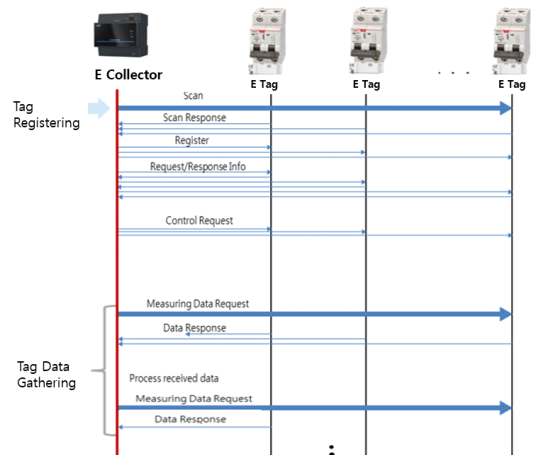


그림 5. E 태그와 E 콜렉터 간의 통신 프로토콜
Fig. 5. Protocol between E Tag and E Collector

E 태그는 이를 기준으로 군집하는 노드가 될 것이다. 각 노드들은 맥(MAC) 주소[6byte]로 구분이 되지만 통신 프레임을 줄이기 위하여 축약 주소(Short Address, 2 byte)를 기반으로 통신하도록 하였다. 이때 E 콜렉터는 각 E 태그들에게 자신의 팬 아이디(Pan ID) 와 축약 주소를 브로드캐스트(Broadcast) 명령을 통해 전송하고 각 E 태그들은 자신의 축약 주소를 E 콜렉터에 전송한다. 이러한 과정은 그림5에 있는 스캔 명령을 통해 수행이 된다. E 콜렉터는 각각의 E 태그의 축약 주소를 알고 있으므로 등록 후, E 태그를 일대 일로 컨트롤 명령(Control Request) 명령을 통하여 통신이 가능하다. E 태그 등록 후, 그 이후에는 자동으로 10초를 주기로 데이터 수집 구간이 반복이 되도록 구현 하였다. 이 구간이 반복이 되면서 E 태그에서 측정된 전류, 전압, 전력 데이터가 주기적으로 전송이 되며 만일 통신 실패 하더라도 이를 반복을 통해 재전송을 하게 된다.

III. 통신 실험 검증

3.1 TEST 환경 및 데이터 수집 프로토콜

통신 실험을 수행하기 위하여 TEST BED는 그림 6과 같이 구성 하였다. E 태그는 20개를 사용하였으며, 이를 E 콜렉터에 상위 소프트웨어(Data Collecting S/W)를 이용하여 등록하였다. 기본적인 전력 값은 바로 볼 수 있도록 하였고 각 E 태그 이름을 클릭하면, 통신 성공률과 차단기 상태를 볼 수 있도록 구현 하였다. 그림 6에서 조그만 녹색 창을 보면, 전력 관련 기본 데이터가 올라오는 것을 확인 할 수 있다.

그리고 그림 6에서 MCB가 오프가 되면 E Tag가 동작을 하지 않으므로 녹색으로 표시된 부분이 회색으로 변하게 된다.

그리고 설계한 Data 수집 관련 프로토콜은 그림 7

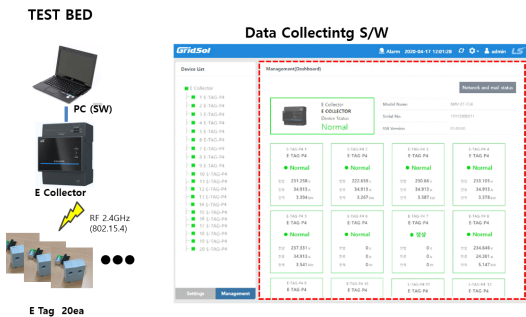


그림 6. E 태그와 E 콜렉터 실험 셋팅 환경
Fig. 6. TEST Environment for E Tag and E Collector

Measuring Data Request and Data Response

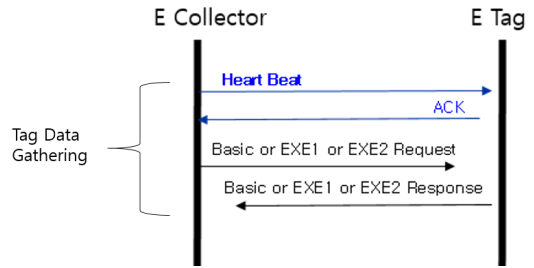


그림 7. E 태그와 E 콜렉터 간의 Tag 데이터 수집
Fig. 7. Data Gathering between E Tag and E Collector

과 같다. 설계 Packet은 크게 4가지로 나누어 송신 및 수신을 하는데 여기서, 하트비트(Heart Beat)는 알로하(ALOHA) 알고리즘에서 통신 성공률을 높이기 위한 짧은 통신 Packet이다. 나머지 3개의 패킷은 E 태그가 측정된 전력 관련 데이터가 되겠다.

이를 3개로 나누어 보낸 이유는 무선 Packet의 최대 크기는 128byte 이기 때문이다. 그러므로 Measure Basic, Measure EXE1, Measure EXE2 이렇게 3개로 나누었다. 패킷에 대한 내용은 표 1의 아래에 기술하였다.

3.2 RF통신 성공률 측정 결과

RF 통신 성능 검증 및 측정을 위하여 시스템 구성은 그림 6과 같이 구성하였으며 사용한 프로토콜은 그림 7과 같이 구현하여 통신 성공률을 측정 하였다. RF 통신 시험 시나리오는 E 콜렉터 1대에 E 태그 20개를 등록 하여 진행하였으며 RF 통신 성능 시험 결과는 표 1과 같다. 시험 결과가 말해 주듯이 패킷 길이가 길수록 무선 충돌 확률이 높아지므로 통신 성공률이 떨어지는 반면, 패킷이 작을수록 통신 성공률이 올라가는 것을 표를 통해 알 수 있다. 그러므로 통신

표 1. Packet RX 길이에 따른 통신 성공률
Table 1. Success rate according to packet RX Length

Packet	Byte	TX(ea)	RX (ea)	Rate
Heart Beat	30	12,645	11,380	90%
MeasureBasic	80	4,215	2,866	68%
MeasureEXE1	96	4,215	3,245	77%
MeasureEXE2	107	4,216	2,698	64%
Sum.		25,291	20,190	80%

- Heart Beat: 정보가 없고 통신 유무만 확인하는 Packet
- MeasureBasic: 전류/전압/유효 전력 정보가 있는 Packet
- MeasureEXE1: 무효 및 피상 전력까지 포함한 Packet
- MeasureEXE2: 제품정보를 포함한 Packet

성공률을 높이기 위하여 하트비트(HeartBeat) 신호를 정의하여 전송하였다.

다만 Measure Basic Packet과 MeasureEXE1 Packet의 경우, 반대의 결과가 나왔는데 패킷의 차이는 16 byte 밖에 안 나며 11% 정도의 오차를 나는 것은 무선 충돌에 의한 오차 보다는 RF성능 및 외부 RF 노이즈에 의한 오류라고 판단이 된다.

3.3 차단기 Off 상태 확인

MCB 부하 말단에 E 태그를 설치 했을 때, 차단기 상태 확인 시, 통신 성공률이 중요한 이유는 바로 통신 성공률이 차단기 상태 여부를 판별하는 확률 값으로 반영이 되기 때문인데 이를 보완하기 위하여 재전송으로 오류를 줄일 수 있다.

즉, 연속적으로 재전송을 해서 1번이라도 성공 할 경우, 해당 성공률은 올라가므로 그 성공률 값(예를 들면, 통신 성공률 80% 일 때, 2번 시도해서 1번 이상 통신 될 확률은 96%임)을 올려서 해당 오류를 줄일 수 있다. 하지만, 만일 5번의 재전송을 해서 오류를 줄인다고 하더라도 2초에 한번 통신 시, 하루에 43,200 번을 통신을 한다고 가정 하더라도 이 때 다섯 번 연속해서 통신 실패 할 경우는 하루에 13번이 발생 된다. 이는 차단기 상태 값을 잘못 인식하여 알람을 13 번 발생 시킨다는 의미이다. 이를 보완하기 위해서 좀 더 재전송 횟수를 좀 더 늘려야만 한다.

표 2는 통신 성공률 변화에 따른 재전송 횟수이다. 기준은 하루에 43,200번 통신 하고 10일 동안 1번 이하 발생을 가정 하여 계산을 하였다. 본 실험 결과에서의 통신 성공률이 80%이므로 위의 가정을 고려했을 때, 전송 횟수는 9번 이상이 필요하고 최대 18초 이상 기다려야지만 열흘에 한번 꼴로 발생한다는 것을 알 수 있다. 하지만 만일 E 태그가 10개 이상 쏜다면 발생 확률은 10배가 올라가므로 결국, 하루에 한번 꼴로 사용자는 잘못된 알람을 받을 수 있다. 그러므로 정확도 100%를 위해서는 결국에는 기존에 구성하는 방법과 같이 AX, AL(보조 접점 및 경보 접점)과 PLC(Programmable Logic Controller)의 디지털 인풋(DI)이 필요하다.

하지만 이렇게 스마트 분전반 구현 시, 복잡도 및 비용이 증가 할 수 밖에 없다.

본 논문에서는 차단기 온/오프 상태 여부를 흑백논리로 표현하는 것 보다 이러한 상태를 그대로 사용자에게 확률로 표현하여 차단기 상태의 인식 속도를 개선 하려고 하였다. 즉, 통신 성공률과 차단기가 온/오프 일 확률 및 부하 상태 값을 이용하고 또한 해당 사

표 2. 통신 성공률에 따른 재전송 횟수
Table 2. Success rate according to packet RX Length

통신 성공률	전송 횟수	지연시간
60%	15	30초
70%	11	22초
80%	9	18초
90%	6	12초
100%	1	2초

항에 대한 확률을 계산하고자 하였는데 이러한 확률론적인 접근은 최근 AI 인공지능 및 고장 관리 등 다양하게 사용되고 있는 베이즈 정리를 이용 하였다^{5,8)}.

IV. 차단기 트립(Trip) 확률 판별

4.1 베이즈 정리(Bayes' theorem)

베이즈 정리(Bayes' theorem)란, 두 확률 변수의 사전 확률과 사후 확률 사이에서 관계를 나타낸 정리이다. 이 식을 활용하면 사전 확률로부터 사후 확률을 구 할 수 있는데 식은 아래와 같이 정의가 된다⁵⁾.

$$P(A1|B) = \frac{P(B|A1)P(A1)}{P(B)} \tag{1}$$

$$= \frac{P(B|A1)P(A1)}{P(B|A1)P(A1)+P(B|A2)P(A2)}$$

여기서,

- P(A1|B): B값이 주어진 경우에 A1의 사후 확률.
- P(B|A1): A1값이 주워 졌을 때, B의 조건부 확률.
- P(A1): A1의 사전 확률, B값에 대한 정보를 모름.
- P(A2): A2의 사전 확률, A1 이 외의 경우의 수.
- P(B): B의 사전 확률, 정규화 상수 역할을 함.

이를 베이즈 정리를 적용하면, 통신 성공률 80% 일 때, 차단기가 오프 일 확률을 계산 할 수 있다. 각 상수는 차단기가 오프 일 확률을 P(A1)= 0.5, 차단기 온(ON)일 확률을 P(A2)= 0.5, 그리고 무선 통신 성공률을 P(B)=0.8 라고 정의하여 대입을 할 수 있다. P(B|A1)은 0.8*0.5 그리고 P(B|A2)는 0.8*0.5로 나타 낼 수 있다. 이를 대입하여 계산하면, 차단기 오프 일 확률은 80%가 된다.

즉, 차단기의 온/오프 여부는 통신 성공률과 같음을

알 수가 있다. 결국 차단기 상태 값 판별은 통신 성공률에 따라 결정 됨을 알 수가 있다.

4.2 허용 전류와 차단기 트립(Trip)

차단기 트립(Trip)이란, 과전류가 흘렀을 때 차단기가 오프 되는 상황을 트립(Trip)이라고 한다. 그리고 전류가 다시 투입되는 상황을 클로즈(Close)라고 한다. 본 논문에서 차단기 오프 및 트립을 구분하여 사용하는 이유는 임의로 차단기를 오프 한 것과 과전류로 전류 투입이 중지된 상황인 트립을 구분하기 위함이다.

식(1)에서 차단기 오프 확률 $P(A1)$ 을 50% (0.5)로 잡았는데, 이는 엄밀히, 사람이 차단기를 온/오프 했을 때의 확률이다. 만일 과전류가 흘렀고, E 콜렉터에서 최종적으로 읽은 전류 값이 과전류에 가까운 값이라고 했을 경우, 차단기 트립 일 확률은 0.5가 아닌 높은 값을 가져야 할 것이다. 즉, 인위적으로 차단기를 오프 한 것이 아닌, 실제 과전류에 의해 트립 될 확률을 계산하여야 한다. 이를 반영하기 위하여 전류와 트립(Trip) 확률 관계를 그림 7 그래프를 사용하였다. 이는 통상적으로 MCB는 허용 전류의 80%일 때 트립(Trip) 될 수 있도록 설계를 하므로 이 때의 확률은 90%으로 잡았다. 물론, 허용 전류 이상 일 때는 100%이다. 그리고 허용 전류의 50% 이하의 경우에는 50%를 유지하도록 만들었다. 이는 허용 전류에 가깝게 사용할 수록 트립(Trip)될 확률이 높음을 경험치로 반영한 결과이다. 그림 8의 환산 값을 활용하여 만일 허용 전류의 80%에서 통신 두절이 발생 했을 때, 차단기 트립(Trip) 일 확률을 구하면, $P(A1)$ 의 확률이 0.5에서 0.9가 되며, 반대로 On일 확률 $P(A2)$ 는 0.1일 된다. 이를 대입하여 계산하면, 차단기 트립(Trip)확률은 98.7%이다.

이 결과에서 알 수 있듯이 허용 전류에 가깝게 전류가 흐를 때 차단기의 트립(Trip) 상태 판별 정확도

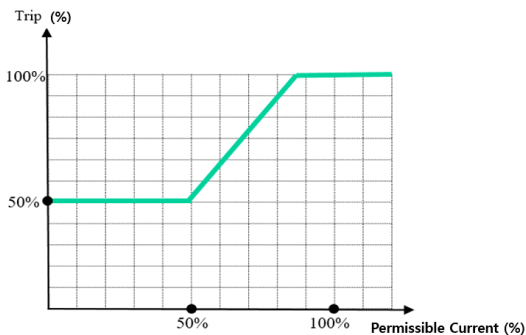


그림 8. 허용 전류에 따른 차단기 트립(Trip) 확률
Fig. 8. Trip Probability according to Current

가 98.7%까지 높아지는 것을 알 수 있다. 이를 통해 베이지안 식을 활용하고 통신 성공률과 허용 전류 값을 사용하면, 차단기 상태 판별에 유용하게 활용 할 수 있다. 이 식의 유용성은 E 태그가 MCB 부하 단에 설치 되었을 때 통신 두절 여부 및 측정된 전류 값을 가지고 확실적인 값으로 사용자에게 정보를 빠르게 제공이 가능하다.

앞에서 언급한 인식 시간이 얼마나 빨라지는 지를 성능 분석 결과의 의미로 살펴보면, 표 2에서, 통신 성공률 80% 일 때, 10일 동안 차단기 상태 오류 횟수를 한 번 이내로 설계 할 경우, 판단에 걸리는 시간은 18초가 걸렸다.

하지만 본 논문에서 제안한 방식으로 부하 상태 값을 확인하고 차단기의 트립 상태 값을 판단 할 경우, 만일 부하 값이 허용치의 90%를 사용 했을 때, 판단 정확도가 베이지 정리를 적용하면 98.7%까지 올라간다. 그러므로 같은 조건에서 차단기 트립(Trip)상태 판단에 걸리는 시간은 같은 조건(10일에 한번 오류 전송 조건)이라고 했을 때가 8초(4번통신)이므로 제안하는 방식을 사용하면, 10초가 빨라짐을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 스마트 분전반에서 RF통신을 이용하여 전력 데이터 수집 및 MCB의 트립(Trip) 여부를 판별할 수 있는 시스템을 구현하였다. 이 때 판별 알고리즘으로는 베이지안 정의를 이용 하였다. 이를 위하여 스마트분전반에 MCB에 설치 할 수 있는 E 태그 및 E 콜렉터를 만들었으며 관련 구현 내용을 기술하였다. 그리고 다수의 E 태그를 짧은 시간에 수집을 하기 위하여 알로하(ALOHA) 알고리즘을 사용하였는데, E 태그에 전송 하는 데이터가 클 경우, 패킷 충돌로 인한 통신 에러율이 높아졌다. 이는 MCB의 상태 정보를 파악 하는데 제약이 되었는데 이를 위해 충돌 확률을 낮추기 위한 별도의 짧은 프레임인 하트비트 신호를 만들어 적용하였고 그 결과 통신 성공률을 90% 가까이 올릴 수 있었다. 또한, 부하의 전류 값의 트립 확률과 통신 에러율을 베이지 정리 (Bayes' theorem)에 대입하여 통신 에러 시, 차단기 상태 파악 인식 속도를 높였다.

기존 방식은 디지털 인풋(DI) 및 보조 접점 장치를 통해 차단기를 상태를 파악을 했으나 비용 및 설치 공간 상의 이유로 불리하다. 그래서 기존 스마트 분전반에서 E 태그와의 통신 유무를 통해 차단기 상태를 파악을 하고 있었지만, 이 경우 통신의 유무만으로는 차

단기 트립을 감지하면 정확히 인식하는 시간이 길어진다. 본 논문에서는 이에 따른 시간지연을 단축하기 위하여 통신 성공률과 E 태그에서 보내오는 전류 값의 상관 관계를 베이지 정리를 통해 차단기 상태 파악 시간을 개선 하였는데, 베이지 정리를 적용 안했을 시에는 10일에 여러 한번 기준으로 차단기 온/오프 상태 판단에 걸리는 시간이 18초 걸렸으나 차단기 부하 상태를 반영하여 활용하였더니 8초 이내로 개선 하였다. 물론 전류 허용치의 50%이내를 사용 했을 때는 판별하는 시간을 단축 시킬 수는 없지만 부하가 많이 사용 된다는 것은 전기적 사고의 위험 치가 증가한다는 것을 의미하며 이 때 판별 시간을 10초정도를 줄일 수 있다는 것은 본 연구의 중요한 성과라고 할 수 있다.

스마트 분전반은 기기 별로 E 태그를 사용을 하기 때문에 분기 회로의 부하가 얼마나 사용되고 있는지에 대한 정보 제공이 가능 하다. 그러므로 차단기 및 주 전원선 교체 주기 및 부하 균등 분배를 통한 전력 기기 수명 연장, 정전 관리 등에 활용이 되고 있다^[9].

그리고 향후, 관련 기술의 발전을 위하여 딥러닝과 같이 AI 관련 기술들이 스마트 배전반에 적용 관련하여 추가 연구가 필요할 것으로 사료 된다.

References

[1] H. Moon, "A study on the standardization of smart distribution board for electrical safety," *The Trans. KIEE*, vol. 65, no. 1, pp. 227-231, 2016.
(<https://doi.org/10.5370/kiee.2016.65.1.227>)

[2] Y. Lim, "Development of intelligent distribution panel for monitoring electrical safety," *Korean Electr. Soc. Autumn Conf.*, pp. 82-88, Oct. 2017.
(<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE01332885>)

[3] B. Hyun, "Development of household LVDC distribution board system," *Korean Power Electr. Soc. Autumn Conf.*, pp. 142-143, Nov. 2020.
(https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE10500715&mark=0&useDate=&ipRange=N&accessgl=Y&language=ko_KR&hasToBanner=true)

[4] Y. Son, "Distribution switchboard for slow charger of ev able to distribute as power

capacity," *Trans. The Korean Soc. Automotive Eng.*, vol. 26, no. 2, pp. 187-195, Dec. 2017.
(<https://doi.org/10.7467/ksae.2018.26.2.187>)

[5] K. Kang, "Bayesian Statistics," Free Academy, p. 3, Sep. 2005.

[6] TTAE.IE 802.15.4-2015, "Low-Rate Wireless Personal Area Networks," TTA, Dec. 2017.
(<https://www.tta.or.kr/>)

[7] TI, "CC13x0, CC26x0 SimpleLink™ Wireless MCU," Technical reference Manual," TI, Jun. 2020.
(<https://www.ti.com/lit/ug/swcu117i/swcu117i.pdf>)

[8] S. Lee, "Probability calculation of component or subsystem failure used by bayes formula," *J. Safety Manag. Sci.*, vol. 3, no. 2, Jun. 2001.
(<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO200111921441384&dbt=NART>)

[9] K. Um, "A study on load current and temperature to expect lifetime of high-power cables," *J. The Inst. Internet, Broadcasting and Commun.*, vol. 15, no. 4, pp. 199-203, Aug. 2015.
(<https://doi.org/10.7236/jiibc.2015.15.4.199>)

김 범 열 (Bum-Youl Kim)



1996년 2월 : 한양 대학교 전자공학과 졸업
1998년 2월 : 한양 대학교 전자공학과 석사
2001년 8월~현재 : LS 일렉트릭(주) 매니저

<관심분야> 스마트 그리드, 전기차 충전 인프라, 전력기기 유무선 통신

[ORCID:0000-0002-7752-8220]

김형규 (Hyung-kyu Kim)



2008년 2월: 명지 대학교 전기
공학과 졸업
2010년 2월: 명지 대학교 전기
공학과 석사
2010년 4월~현재: LS 일렉트
릭(주) 매니저
<관심분야> 전력계통, 통신 및
지능화 기기 HW, FW 개발

[ORCID:0000-0001-9521-5984]

안길영 (Kilyoung Ahn)



1994년 2월: 부산 대학교 정밀
기계공학 학사
1996: 한국 과학기술원(KAIST)
석사
2001: 한국 과학기술원(KAIST)
박사
2001년~현재: LS 일렉트릭(주)
연구 위원(상무)

2018년~현재: 한국 CIRED(세계배전망협의회)분과장
2019년~현재: 대한 전기학회 LVDC 설비 연구회
회장

<관심분야> Smart /DC 기기와 시스템 및
Application, 배전계통, 관련 대응 제품과 Biz 모
델

오정환 (Jung-Hwan Oh)



1994년 2월: 서울 과학기술대
학교 전기공학과 학사
1996년 8월: 숭실 대학교 전기
공학과 석사
2001년 2월: 숭실 대학교 전기
공학과 박사
2010년 4월~현재: LS 일렉트
릭(주) 매니저

<관심분야> 스마트 그리드, 스마트 미터링, 전력기
기 유무선 통신

[ORCID:0000-0001-9622-8330]

함성식 (Sung-Sik Ham)



1994년 2월: 한양 대학교 전자
공학과 학사
2012년 8월: 한양 대학교 전자
공학과 석사
1994년 7월~현재: LS 일렉트
릭(주) 시니어 매니저

<관심분야> 스마트 그리드, 통
신 Network 기술을 활용한 산업용 기기&설비
자동화, 산업기기 디지털화 및 Connectivity, 산
업 자동화 시스템 Architecture 설계 및 운영