

# 전기설비의 센서 정보 신선도 제어 방법

정 상 우\*, 안 윤 영\* 심 태 형<sup>o</sup>

## Controlling Sensor Information Freshness for Electrical Equipment

Sang-Woo Jung\*, Yoon Young An\*, Taehyoung Shim<sup>o</sup>

### 요 약

최근 전기안전관리법 개선에 따라 생애이력 기반 전기설비 안전관리를 위한 전기설비 모니터링, 수명예측 및 실시간 안전관리 등 요구가 점차 증가하고 있다. 사물인터넷(IoT) 기술 발전과 함께 실시간으로 생성되는 다양한 전기설비 센서 정보를 통해 온라인 안전관리 등 대응이 가능하다. 그러나, 수집되는 센서 정보의 시각, 주기 등이 서로달라 신속한 제어 등 안전관리 수행을 위한 통합된 센서 정보기반 전기설비 안전성 판단에 어려움이 있다. 본 논문에서는 각 센서 정보마다 전달 및 소비되는 시간 변화에 따른 센서 정보의 가치의 정도를 센서 정보 신선도(Freshness of Sensor Information)라 정의하고, 전기안전 데이터 서버 등 센서 정보 수송장치로 전달하는 센서 정보 신선도 제어 방법을 제안한다. 본 제안 방법을 통해 수집되는 센서 정보의 신뢰성을 높이고, 효율성 높은 전기설비 안전관리가 가능하다.

**키워드:** 전기설비, 전기설비, 센서 정보 신선도, 센서 정보 신선도 제어

**Key Words :** Electrical Equipment, Sensor Information Freshness, Controlling Information Freshness

### ABSTRACT

Recently, the demand of the advanced the electrical safety management system for lifecycle prediction and real-time safety management is gradually increasing. With the advanced IoT technologies, real-time safety management for electrical facility can effectively manage electrical facility safety management system. However, due to various generating time and period of sensor information, it is difficult to determine the electrical equipment safety from the integrated sensor information. In this paper, we propose the value of sensor information according to the time change of delivery and consumption for each sensor collected through sensor information freshness, and propose a method for controlling the freshness. This proposed method increases the reliability of collected sensor information and enables highly efficient safety management of electrical facilities.

### 1. 서 론

최근 전기안전관리법 통과에 따라 생애이력 기반 전기설비 안전관리를 위한 전기설비 모니터링, 수명에

측 및 실시간 안전관리 등 요구가 점차 증가하고 있다<sup>[1-4]</sup>. 이와 같은 생애이력 전기설비 관리는 사물인터넷(IoT) 기술 발전과 함께 실시간으로 게이트웨이 또는 데이터 서버에 전송되는 다양한 전기설비 센서 정보

\* 본 연구는 산업기술평가원 에너지기술개발사업 “생애이력 관리를 통한 전기설비 안전관리기술 개발(과제번호: 20202910100030)”의 일환으로 수행되었습니다.

• First Author: Electronics and Telecommunications Research Institute, jsw256@etri.re.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute, thshim@etri.re.kr, 정회원

\* Electronics and Telecommunications Research Institute, yyahn@etri.re.kr, 종신회원

논문번호 : 202211-277-C-RU Received November 7, 2022; Revised December 14, 2022; Accepted December 19, 2022

를 기반으로 온라인 안전관리 등 효율적인 전기설비 안전관리 대응이 가능하다<sup>2)</sup>. 그러나, 수집되는 센서 정보는 저항, 부분방전 등 전기설비에 설치된 센서 장치마다 생성하는 센서 정보의 시각, 주기 등이 서로달라 통합된 센서 정보로부터 전기설비 안전성 판단하여 신속한 제어 등 안전관리 수행에 어려움이 있다.

시간 변화에 따른 정보의 가치 변화(Age of Information)<sup>5)</sup>에 대한 연구는 정보 수집되는 센서마다 전달 및 소비되는 시간 변화에 따른 센서 정보의 가치를 센서 정보 신선도라 정의하고 있다. 그러나 센서 정보 신선도 분석<sup>6,7)</sup>에 대한 전기설비 안전 센서 장치와 같은 실제 시스템에 적용한 사례를 찾기에 어려우며, 신선도 개선을 위한 노력을 찾기는 더욱 어렵다.

본 논문에서는 전기안전 데이터 서버로 전달되는 전기설비 관리 정보들의 통합적인 신선도 개선을 위한 센서 정보 신선도 제어 방법<sup>8)</sup>을 제안하여 전기설비 시스템 적용에 따른 결과를 비교 분석한다.

## II. 센서 정보 신선도

### 2.1 센서 정보 신선도 개요

신선한 정보란 아직 정보 활용의 가치가 있으며, 부패하지 않은 정보를 의미한다. 그림 1은 시간 변화에 따른 신선도의 변화를 과일에 빗대어 나타낸다. 하루가 채 지나지 않은 바나나의 신선도는 4일이 지난 바나나보다 더 높을 것이며, 다른 어떤 과일은 시간이 경과함에 따라 바나나보다 부패 변화가 작을 수도 있다. 이와 같이 실시간으로 생성되어 소비되는 센서 정보는 시간의 변화에 따라 신선도는 감소하며, 센서 정보 분류 기준에 따라 신선도 감소 변화는 다를 수 있다.

센서 정보의 신선도<sup>13)</sup>란, 센서 장치 등 센서 정보 생산자로부터 실시간성 정보가 생성되어 정보 수요자

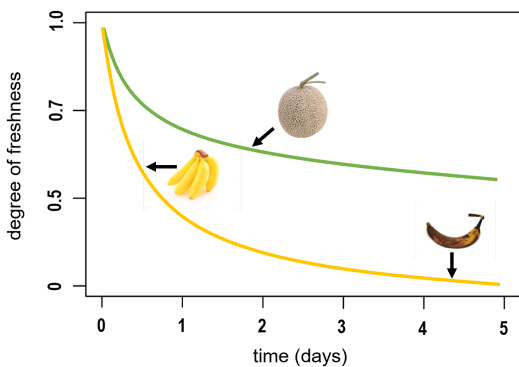


그림 1. 시간 변화에 따른 신선도의 변화  
Fig. 1. Freshness change in time domain

까지 전달 및 소비되는 시간 변화에 따른 센서 정보의 가치의 척도를 가리키며, 수식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$fr_i(t) = [dec_i(t)]^{-1} = [\alpha_i(t - t_0)]^{-1} \quad (1)$$

여기서  $fr_i(t)$ 는  $t$  시각 센서 정보  $i$ 의 신선도를 나타내며, 정보의 부패도를 나타내는 센서 정보 부패도  $dec_i(t)$ 의 역함수로 표현된다.

센서 정보  $i$ 의 시간에 따른 신선도 변화율을 나타내는  $\alpha_i$ 는 해당 정보의 신선도 변화 결정 변수로 센서 정보 생성 시각  $t_0$  이후, 시간에 따른 센서 정보  $i$ 의 부패 증가율의 크기를 나타낸다.

그림 2는 센서 정보 생성주기와 센서 정보 신선도의 변화 관계를 나타낸다. 센서 정보 신선도를 결정하는 요소는 생성 후 경과 시간과 함께 센서 정보의 생성 주기에도 영향을 받는다. 짧은 주기로 업데이트되는 센서 정보는 새로 발생된 센서 정보로 자주 교체가 되어 신선도 감소가 빠르다. 반대로 간헐적으로 발생하는 장치 오류 등 알람 정보는 시간이 지나더라도 신선도 유지가 반드시 필요하므로, 시간 경과에 따른 신선도 감소는 상대적으로 적다. 그림 1에서 멜론이 바나나와 비교하여 시간 변화에 따른 신선도 감소가 상대적으로 낮은 것과 같다.

표 1은 센서 정보의 신선도 변화 결정 요소를 나타낸다. 센서 정보의 신선도를 변화시키는 변화 결정 요소는 센서 정보의 시간 경과, 센서 정보의 생성 주기 이외에 센서 정보 값의 상태변화를 포함할 수 있다.

**a) 시간경과( $\Delta t$ , time):** 센서 정보의 시간 변화는 센서 정보의 생성 후 경과 시간을 의미하며, 시간 경과에 따라 센서 정보의 부패 정도가 증가하기 때문

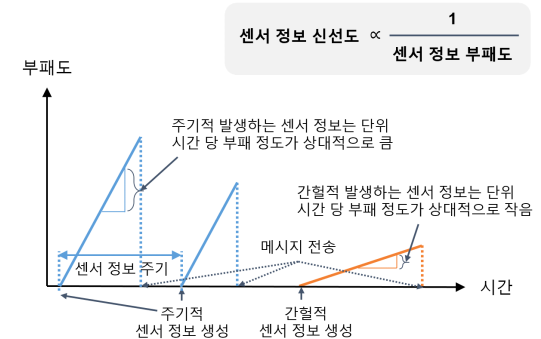


그림 2. 센서 정보 생성빈도에 따른 센서 정보 신선도의 변화 특징  
Fig. 2. Changes in sensor information freshness based on the sensor information generation frequency

표 1. 센서 정보 신선도 변화 결정 요소  
Table 1. Determining factors for the change of sensor information freshness

결정 요소	신선도 변화
시간경과( $\Delta t$ )	시간 변화에 따라 센서 정보의 신선도는 점차 감소
상태변화( $\Delta s$ )	상태변화가 클수록 센서 정보의 신선도 감소 기울기가 작음
생성빈도( $f$ )	생성빈도가 높을수록 센서 정보의 신선도 감소 기울기가 큼. 생성빈도는 생성주기( $T$ )에 반비례함

에 신선도는 점차 감소

- b) **상태변화( $\Delta s$ , state):** 센서 정보 값의 상태변화의 크기는 센서 정보의 가치를 반영하며, 실시간 센서 정보 값의 변화가 클수록 시간이 경과되더라도 중요한 정보로 판단
- c) **생성빈도( $f$ , frequency):** 생성빈도가 높은 센서 정보는 빠르게 업데이트 되는 정보의 영향으로 빠르게 부패하며, 간헐적으로 발생하는 생성빈도가 낮은 센서 정보는 시간 변화에 따른 센서 정보 신선도 유지 필요

센서 정보의 신선도 변화 결정 요소 추세에 따라 일 예로 수식 (1)에 정의된 신선도 변화 결정 변수  $\alpha_i$  를 아래와 같이 모델링 할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{f_i}{r_i |s_i(t) - \bar{s}_i|} \alpha \frac{f}{\Delta s}, \quad \alpha_i > 0 \quad (2)$$

여기서  $f_i$  는 센서 정보  $i$ 의 생성빈도,  $r_i$  는 센서의 정보 전송률,  $s_i(t)$ 는  $t$  시각 센서 정보  $i$ 의 상태,  $\bar{s}_i$ 는 평균 또는 최근 일반적 상태일 때 센서 정보  $i$ 의 상태 값을 나타낸다. 즉,  $\alpha_i$ 는 생성빈도  $f$ 에 비례, 상태변화  $\Delta s$ 에 반비례한다.

### 2.2 센서 정보 신선도 개선

센서 정보는 시간 경과에 따라 부패도가 증가하여 정보의 가치가 사라지므로, 신선도를 최대화할 수 있는 센서 정보 획득 제어 방법이 필요하다.

그림 3은 서로 다른 시각에 도착한 두 가지 센서 정보 1과 2의 센서 정보 부패와 센서 정보 생성 시각 제어 방법에 따른 센서 정보의 신선도 개선 방법을 나타낸다. 앞서 생성된 센서 정보 1은 통합된 정보를 정보 수요자로 전송하는 시점에서 센서 정보 2와 비교하여 부패정도가 상대적으로 높다. 센서 정보 1의 생성 시점을 늦추고, 센서 정보 2의 생성 시점을 앞당기

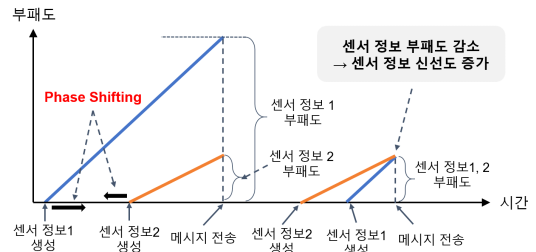


그림 3. 신선도 최대화를 위한 센서 정보 생성 시각 제어 방법의 개요  
Fig. 3. Controlling sensor information freshness by phase shifting method

기 위한 센서 정보 생성시각 제어(Phase Shifting) 방법을 수행하면, 두 센서 정보 모두 신선도 유지가 가능하다. 즉, 센서 정보가 소비되는 시점에서 센서 정보 1과 2의 신선도를 비슷한 시점으로 맞춘다면, 센서 정보의 신선도 제어 방법을 통해 센서 정보 수요자에 전달된 통합 센서 정보 신선도를 개선할 수 있다. 또한, 센서 정보 값의 상태변화 크기에 따라 센서 정보 생성주기 제어(Period Shifting) 방법을 통해 센서 정보의 신선도를 유지할 수 있다.

## III. 센서 정보 신선도 제어

### 3.1 센서 정보 수집장치 구조

정보의 수집, 통합 및 변환 목적으로 설계된 센서 정보 수집장치는 센서와 연결된 센서 장치로 센서 정보를 요청, 센서 장치부터 센서 정보를 수신하여 통합된 센서 정보를 목적에 맞게 변환, 데이터 서버 등 센서 정보 수요장치로 전송하는 역할을 한다. 그림 4는 센서 장치, 센서 정보 수집장치, 센서 정보 수요장치 간의 관계를 나타낸다.

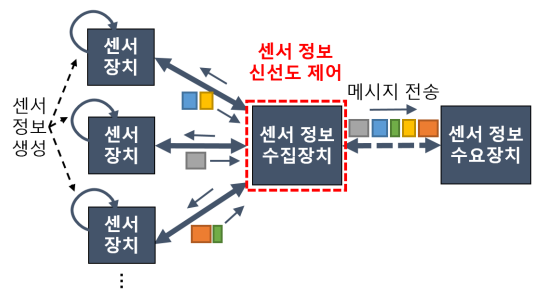


그림 4. 센서 정보 수집장치 기반 센서 정보 수집 및 전송 시스템 모델  
Fig. 4. Sensor information collection and transmission system model based on sensor information collection device

### 3.2 센서 정보 신선도 제어 절차

그림 5는 센서 정보 수집장치에서 센서 정보 신선도 제어 절차를 나타낸다.

- a) **단계1:** 센서 정보 수집장치는 다수의 센서 장치로부터 센서 정보를 수신하여 각 센서 정보마다 시간에 따른 센서 정보  $j$ 의 신선도 함수,  $fr_j(t)$ 를 도출
- b) **단계2:** 센서 정보 수집장치는 단계 1에서 도출한 센서 정보 신선도 함수  $fr_j(t)$ 를 기반으로  $t$ 시각마다 신선도  $fr_i$ 를 계산
- c) **단계3:**  $t$ 시각, 부패 경고가 발원된 센서 정보  $j$ 에 대해, 신선유지 임계값  $\delta_{fr}$  보다 낮아 신선도 개선이 필요할 경우 부패된 센서 정보  $j$ 를 제거
- d) **단계4:** 센서 정보 수집장치는 수신된 센서 정보 신선도를 기반으로 통합 신선도,  $Fr(t)$ 를 계산. 일 예로, 통합 신선도는 모든 센서 정보 신선도의 합으로 계산될 수 있음
- e) **단계5:** 신선도가 높은 정보의 전송 지연을 최소화하고자 통합 센서 정보 신선도,  $Fr(t)$ 를 통합 신선도 임계값  $\delta_{Fr}$ 과 비교
- f) **단계6:** 통합 신선도  $Fr(t)$ 가 임계값  $\delta_{Fr}$ 보다 높아 정보 수요자로 센서 정보 메시지 전달이 필요한 시점에 통합된 센서 정보 메시지 생성. 이때 센서 정보 메시지는 센서 정보 수집장치의 단위 메시지 Payload의 크기에 제한
- g) **단계7:** 조합된 센서 정보 데이터를 정보 수요장치(클라우드, 데이터 서버 등)로 전송

### 3.3 센서 정보 신선도 개선 방안

그림 5에 명시된 센서 정보 생성 시간 제어는 센서 정보 수집장치로 전송되는 센서 정보의 신선도를 최대화 하기위해 일 예로 반딧불이 동기화 절차<sup>[9]</sup>를 활용할 수 있다. 또한, 센서 정보 수집장치에서 각 센서 정보 별 수집주기의 변화를 통해 센서 정보 상태변화에 따른 신선도 변화에 능동적으로 대응한다.

## IV. 센서 정보 신선도 기반 전기설비 관리

### 4.1 전기설비 안전관리 시스템 구성

그림 6은 전기설비 구성도 및 전기안전 센서 정보 수집을 위한 센서 정보 구성 예시를 나타낸다. 본 구성도에는 전기설비의 접지저항(GR, Ground Resistance), 차단기(CB, Circuit Breaker), 열화상카메라(TC (Thermal Camera: Temperature), 부분방전(PD, Partial Discharge) 센서, 전력품질(PQ, Power Quality) 센서가 설치되어 있으며 각각의 센서 정보는

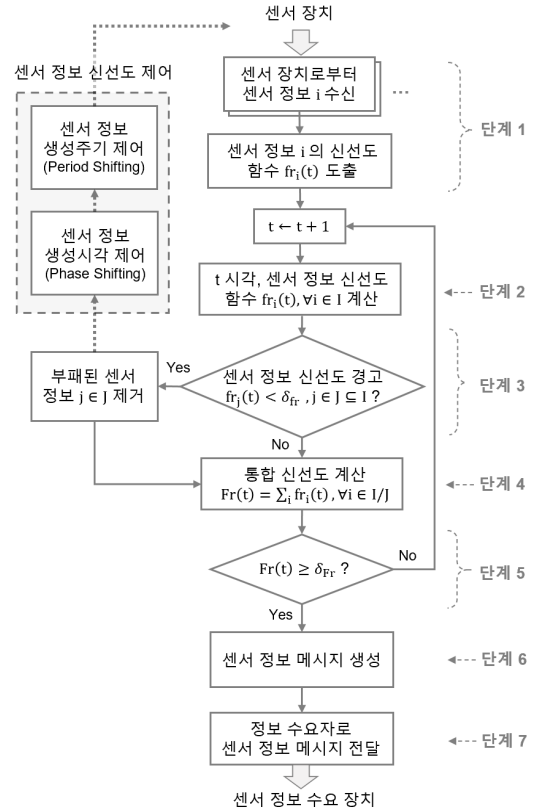


그림 5. 통합 신선도 최대화를 위한 센서 정보 신선도 제어 및 메시지 전송 절차

Fig. 5. Controlling freshness and message transmission procedure to maximize integrated freshness of sensor information

센서 정보 수집장치로 통합 및 변환되어 센서 정보 수요장치에 해당하는 전기안전 관리시스템으로 전송된다.

표 2는 그림 6에 구성된 센서장치 항목 및 센서 정보의 생성주기 및 수집 데이터 크기 값을 나타낸다. 이를 바탕으로 전기설비 센서 정보 수집장치에서 수집주기 및 센서 정보 생성 시간 제어를 통해 개별 및 통합 센서 정보 신선도를 개선을 목적으로 한다.

표 2. 전기설비 안전관리를 위한 센서장치 구성  
Table 2. The structure of sensor information for electrical safety management system

전기안전 센서장치	생성주기 (초)	데이터 (Bytes)
GR (Ground Resistance)	2	40
CB (Circuit Breaker)	1	128
TC (Thermal Camera: Temperature)	10	61
PD (Partial Discharge)	60	29
PQ (Power Quality)	1	105

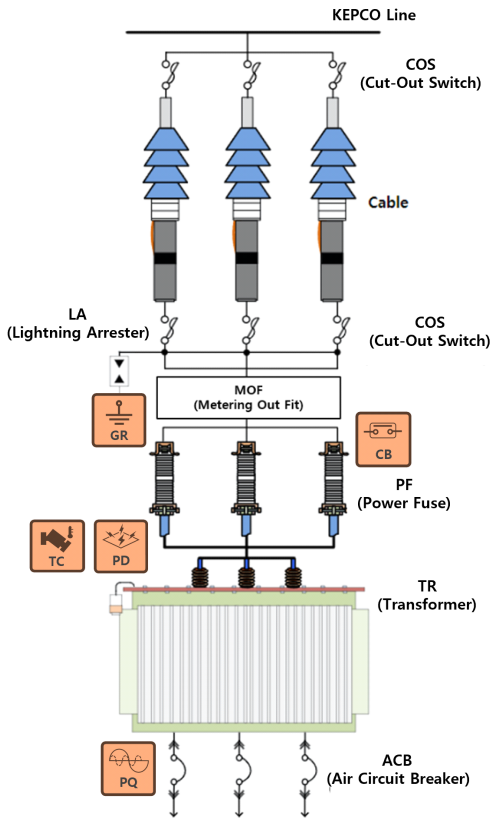


그림 6. 전기설비에 설치된 전기안전 센서 정보 수집 장치의 구성도: 접지저항(GR), 차단기(CB), 열화상카메라(TC), 부분방전(PD), 전력품질(PQ) 센서장치  
 Fig. 6. Diagram of electrical equipment that collects sensor information: GR (Ground, Resistance), CB (Circuit Breaker), TC (Thermal Camera), PD (Partial Discharge), and PQ (Power Quality)

전기설비 내 모든 전기안전 센서장치는 센서 정보 수집장치와 RS485/MODBUS 통신<sup>[10]</sup>기반 시리얼 통신을 활용하며, 기본적으로 9,600 bps (1,200 Bytes/sec) 전송속도를 활용한 데이터 전송을 수행한다.

#### 4.2 전기설비 센서 정보 신선도 개선

전기설비의 최소(worst) 및 최적(optimum) 제어란, 시간에 따라 센서 정보 수집장치에 수집되는 통합 센서 정보의 신선도  $Fr(t)$ , 값을 센서정보의 생성시각 제어(Phase Shifting)를 기반으로 최소 및 최적 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 여기서 최소(worst) 의미는 센서 정보 수집장치에서 각 센서 정보 데이터를 통합하여 센서 정보 수요장치로 전송하는 시점에서 전기 설비의 통합 센서 정보의 신선도가 가장 낮은 경우(즉, 통합 센서 정보 부패도가 가장 높은 경우)를 나타내며, 반대로 최적(optimum)은 센서 정보 수집장치에서 각

센서 정보 데이터를 통합하여 센서 정보 수요장치로 전송하는 시점에서 전기 설비의 통합 센서 정보의 신선도가 가장 높은 경우(즉, 통합 센서 정보 부패도가 가장 낮은 경우)를 나타낸다.

그림 6에 묘사된 센서장치(GR, CB, TC, PD, PQ)는 표 2에 정의된 센서 정보 생성주기에 따라 생성된 데이터를 전송하고 있는 모델을 정의하고 있습니다. 이와 같은 모델에서 각 센서정보의 생성시각 제어(Phase Shifting)을 조절하여, 가장 통합 센서 정보 신선도가 낮은 경우를 최소(worst) 케이스, 가장 통합 센서 정보 신선도가 높은 경우를 최적(optimum)의 센서 정보 생성 시각 제어를 나타낸다. 일 예로, 그림 7을 통해 그림 6에 묘사된 전기 설비 내에서 가장 주기가 짧은 CB와 PQ 2개의 센서가 있는 경우 아래와 같이 최소(worst) 및 최적(optimum) 센서 정보 신선도 제어 결과를 살펴볼 수 있다.

그림 7에서 최소(worst) 통합 센서 정보 신선도 제어 결과를 나타내면 아래와 같다. CB 센서 정보는 첫 번째 데이터 1을 생성 후 센서 정보 수집장치로 전송한다. 이 때 RS485/MODBUS 통신기반 시리얼 통신을 활용하며, 9,600 bps (1,200 Bytes/sec) 전송 시 전송 지연(propagation delay)이 0.107 sec 발생한다. 그 사이 PQ 센서 정보의 데이터가 도착하여 센서 정보 수요장치로 전송하였기 때문에, CB 센서 정보 데이터 1은 다음 PQ 센서 정보 데이터가 도착 시각까지 수집장치에 기다린다.

PQ 센서는 센서 정보 생성 주기 1 sec가 경과하여 센서 정보 데이터 1을 생성 후 센서 정보 수집장치로

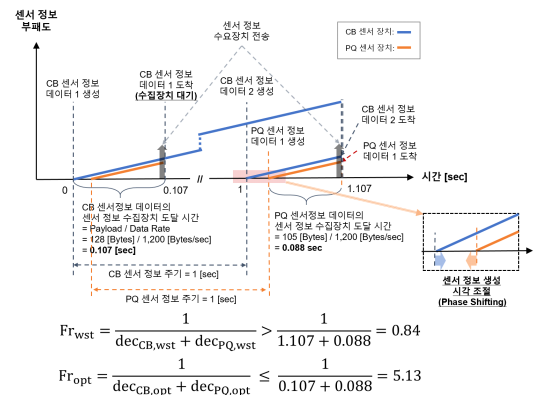


그림 7. 센서 정보 신선도 제어에 따른 전기설비 센서 정보 신선도 비교  
 Fig. 7. Comparison between the worst case and the optimum case by controlling sensor information for electrical equipment

전송한다. 마찬가지로 CB 센서 또한 센서 정보 생성 주기 1 sec가 경과하여 센서 정보 데이터 2를 생성 후 센서 정보 수집장치로 전송한다. 센서 정보 수집장치는 PQ 센서 정보 데이터 1이 도착함과 동시에 기존에 수집장치에 보관하던 CB 센서 정보 데이터 1을 통합하여 수요장치로 전송한다. 센서 정보 수요장치로 전송 직전까지, CB 센서 정보 데이터 1은 1.107 sec, PQ 센서 정보 데이터 2는 0.088 sec 시간 동안 센서 정보 수집장치에 대기하고 있으며 통합 센서 정보 신선도  $Fr_{wst}$  값은 0.84 값을 얻는다.

반대로, PQ 센서 정보 데이터의 생성 시각을 조절 (Phase Shifting)하여 조금 앞당기거나, CB 센서 정보 생성 시각을 조금 늦추면, 동시에 CB 센서 정보 데이터 및 PQ 센서 정보 데이터가 도착할 수 있다. 이와 같은 경우 CB 센서 정보 데이터 1은 0.107 sec, PQ 센서 정보 데이터 1은 0.088 sec 이므로  $Fr_{opt}$  값은 5.13 값을 얻을 수 있다. 이와 같은 접근으로 CB-PQ-GR 센서 정보 조합 결과, CB-PQ-GR-TC 센서 정보 조합 결과, 그리고 CB-PQ-GR-TC-PD 센서 정보 조합에 대한 최소(worst) 및 최적(optimum) 제어 결과를 얻을 수 있으며, 그 결과는 그림 8에서 살펴볼 수 있다.

그림 8은 센서 정보 수집장치에 수집되는 전기설비 센서정보의 생성시각 제어(Phase Shifting) 기반 전기설비의 센서 정보 신선도 제어 최소(worst) 및 최적(optimum)의 결과를 나타낸다. 일반적으로 센서장치의 수가 증가하거나, 각 센서장치에서 생성하는 센서 정보의 생성주기가 다양할수록, 통합 센서 정보 신선도는 감소한다. 그림 7에서 전기안전 센서의 개수가 접지저항(GR), 열화상 카메라(TC), PD센서(PD)로 점

표 3. 전기설비 센서 정보 제어에 따른 센서장치 구성 별 통합 센서 정보 신선도 결과 비교

Table 3. Freshness of integrated sensor information by sensor device configuration according to electrical facility sensor information control

전기설비 센서 장치 구성	통합 센서 정보 신선도 Fr		배율
	최소 (worst)	최적 (optimum)	
CB, PQ	0.84	5.13	6.1
CB, PQ, GR	0.31	4.37	14.1
CB, PQ, GR, TC	0.10	3.57	37.0
CB, PQ, GR, TC, PD	0.016	1.92	116.2

차 증가할수록 센서 정보 신선도는 감소하는 경향을 보인다.

표 3은 전기설비 센서 정보 신선도 개선 결과를 수치적으로 비교하여 나타낸다. 센서 정보 수집장치에서 센서 정보의 신선도를 고려하지 않고 센서 정보를 수집할 경우 신선도 감소는 급격하게 감소하는 경향을 보인다. 그림 7에서 2개의 센서 장치(CB, PQ)가 존재할 때 신선도는 0.84이고, 5개의 센서가 모두 존재할 경우 0.02으로 50배가 넘는 신선도 감소 결과를 보였다. 그러나 센서 정보 수집장치에서 각 센서 정보의 신선도 제어를 수행할 경우 2개의 센서장치(CB, PQ)의 신선도가 5.13일 때, 5개의 센서장치의 신선도는 1.92로 2.7배 감소하였다. 이는 센서정보 신선도 개선 전과 후 신선도 감소 비율이 50배에서 2.7배로 크게 개선하는 결과를 얻었다.

또한, 센서장치의 개수가 증가할수록 센서 정보의 신선도 개선효과는 크게 나타난다. CB와 PQ 총 2개 센서장치만 존재할 때 신선도 제어 전과 후의 신선도 개선은 6.1배로 나타나며, 3개 센서장치(CB, PQ, GR)는 14.1배, 4개 센서장치(CB, PQ, GR, TC)는 37.0배, 5개의 센서 장치(CB, PQ, GR, TC, PD)는 116.2배의 통합 신선도 개선 효과를 얻을 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 수집되는 센서 정보마다 전달 및 소비되는 시간 변화에 따른 센서 정보의 가치를 센서 정보 신선도라 정의하고, 센서 정보 수집장치에서 센서 정보 수요장치로 전달하는 센서 정보 신선도 제어 방법을 제안하였다. 전기설비 센서 장치 사례를 통해 살펴본 결과 센서 장치의 수가 증가할수록, 최대 센서 정보 주기가 클수록 통합 센서 정보 신선도는 신선도

전기설비의 통합 센서 정보 신선도 변화 비교

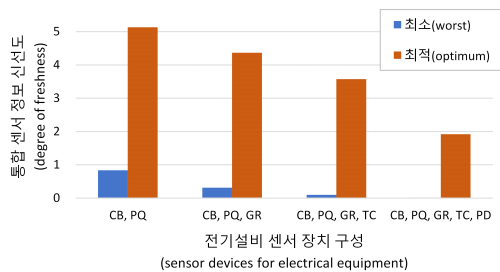


그림 8. 센서 정보 신선도 제어에 따른 전기설비 센서 정보 신선도 비교

Fig. 8. Comparison between the worst case and the optimum case by controlling sensor information for electrical equipment

제어를 통해 크게 개선할 수 있었다. 본 제안 방법을 통해 실시간으로 수집되는 센서 정보의 신뢰성을 높이고, 효율성 높은 전기설비 안전관리가 가능하다.

### References

[1] “Enforcement regulation of the electrical safety management act,” Apr. 2021, from <https://law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=230921>.

[2] H. Kang, et al., “A testbed for experimenting IoT platform on high-voltage customer electrical installation,” in *Proc. Int. Conf. ICTC*, pp. 1301-1304, Oct. 2018. (<https://doi.org/10.1109/ICTC.2018.8539572>)

[3] Z. Zhao, et al., “An optimal power scheduling method applied in home energy management system based on demand response,” *ETRI J.*, vol. 35, no. 4, pp. 677-686, Aug. 2013. (<https://doi.org/10.4218/etrij.13.0112.0625>)

[4] H. Kang, Y.-Y. An, and S. Jeong, “Architecture of electrical safety management for high-voltage power installations based on IoT platform,” *J. KICS*, vol. 42, no. 5, pp. 1077-1084, May 2017. (<https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.5.1077>)

[5] R. D. Yates, et al., “Age of information: an introduction and survey,” *IEEE JSAC*, vol. 39, no. 5, May 2021. (<https://doi.org/10.1109/JSAC.2021.3065072>)

[6] M. Costa, M. Codreanu, and A. Ephremides, “Age of information with packet management,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, pp. 1583-1587, Jun. 2014. (<https://doi.org/10.1109/TNET.2020.2971350>)

[7] Y. Inoue, H. Masuyama, T. Takine, and T. Tanaka, “A general formula for the stationary distribution of the age of information and its application to single-server queues,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 65, no. 12, pp. 8305-8324, Dec. 2019. (<https://doi.org/10.1109/TIT.2019.2938171>)

[8] T. Shim, et al., “Method and apparatus for controlling freshness of sensor information,” U.S. Patent Application, No. 17/206,074, Mar. 2021, from

<https://patents.google.com/patent/US20220068508A1>.

[9] I. Fister, et al., “A comprehensive review of firefly algorithms,” *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 13, pp. 34-46, Dec. 2013. (<https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.06.001>)

[10] Modbus, “Modbus Specifications and Implementation Guides,” from <https://www.modbus.org/specs.php>.

### 정 상 우 (Sang-Woo Jung)



2018년 2월 : 목원대학교 컴퓨터공학과 학사  
 2021년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2021년 9월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
 <관심분야> IIoT 센서 네트워크

[ORCID:0000-0001-9109-7220]

### 안 윤 영 (Yoon Young An)



1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사  
 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사  
 2006년 8월 : 경북대학교 전자공학과 박사  
 1993년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> ICT 기반 전기안전, 스마트그리드, BEMS/FEMS

[ORCID:0000-0002-6349-7515]

심 태 형 (Taehyoung Shim)



2008년 8월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 학사

2016년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 박사 졸업

2016년 1월~현재 : 한국전자동  
신연구원 선임연구원

<관심분야> 로보틱네트워크, 사물인터넷

[ORCID:0000-0001-9480-9203]