

# 전기 에너지 모니터링 시스템의 신뢰성 평가 방안

유영학<sup>1</sup>, 임춘성<sup>2\*</sup>, 최대순<sup>3</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 대학원 융합기술경영공학과 박사과정, <sup>2</sup>연세대학교 공과대학 산업공학과 교수,  
<sup>3</sup>(주)엔토스정보통신 부설 연구소 수석연구원

## Assessing the accuracy of electric energy monitoring system

Young Hag You<sup>1</sup>, Choon Seong Leem<sup>2\*</sup>, Dae Soon Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Convergence Technology & Management Engineering, Yonsei University  
Graduate School

<sup>2</sup>Professor, Department of Industrial Engineering, College of Engineering, Yonsei University

<sup>3</sup>Chief Researcher, Entoss, Co., Ltd. Research Lab

요 약 고도의 경제성장에 지속되고 있는 가운데 에너지를 효과적으로 사용하는 연구와 기술은 꾸준히 개발되고 있으며, 에너지를 효율적으로 관리하기 위해서는 에너지의 사용량을 분석하여 에너지 사용량에 관여한 요인들의 특성을 파악하여야 한다. 따라서 에너지 사용 데이터의 정확한 측정은 에너지 관리측면에서 중요한 요소로 작용한다. 본 연구에서는 데이터 측정의 중요성을 인식하여 전기에너지 모니터링 시스템의 신뢰성 평가방안을 제시한다. 전통적인 통계 기법에 따라 측정오차 값을 확률변수로 하여 통계량으로 정하고, 이 통계량의 분포를 생각하여 임의의 신뢰구간을 적용하고 측정 정확도의 신뢰수준을 결정하는 절차 및 방법을 제시한다. 제안된 절차는 모집단의 평균과 표준편차 정보가 없을 때 그리고 적은 표본자료에도 용이하게 이용될 수 있도록 t-분포의 누적분포함수를 사용하여 에너지 측정장비의 신뢰도를 평가하는 방안을 활용하였다.

주제어 : 정확도 평가, 신뢰 구간, 에너지 관리 시스템, 측정, 상대 오차

**Abstract** In order to manage energy efficiency by analyzing the amount of energy, it would determine the nature of the factors involved in the energy utilization. Therefore, accurate measurement of the energy consumption data is an important factor in the energy management. In this study, we are aware of the importance of the data measurement, and proposes the accuracy assessment of electric energy monitoring system. According to conventional statistical methods it is proceeded as follows; i) the measurement error value would be determined by a random variable, ii) setting the confidence interval to consider the distribution of the statistic and determines the confidence level of the measurement accuracy. And using the t-distribution CDF is used to facilitate even small sample data.

**Key Words** : Assessment of Accuracy, Confidence Interval, Energy Management System, Measurement, Relative Error

## 1. 서론

### 1.1 에너지 관리 시스템

일반적으로 에너지 관리 시스템은 하드웨어, 소프트웨어

어 및 ICT 기반 모니터링과 제어 기술을 토대로 에너지 사용현황을 실시간으로 모니터링하고 집계 데이터를 분석하여 에너지 사용을 최적화하는 통합 에너지 관리 솔루션이다.

\*Corresponding Author : Choon Seong Leem (leem@yonsei.ac.kr)

Received July 9, 2018

Accepted September 20, 2018

Revised August 9, 2018

Published September 28, 2018

이 같은 에너지 관리 시스템은 일반적으로 Fig. 1과 같이 주로 측정, 가시화, 분석, 관리 및 절감의 5개 기능을 수행하며 전반적인 에너지관리성과 측정을 위해 필요한 공정, 설비별, 제품별로 에너지의 사용량을 분석하여 특성을 파악한다. 이때 에너지원으로 전력, 가스, 열, 스팀 등을 다양하게 사용할 수 있는데, 특히 전기에너지는 일한 결과가 다양한 형태로 나올 수 있어 여러 분야에 적용되기 때문에 종종 에너지 관리대상의 중점 항목으로 분류된다.

시설과 설비의 전기에너지 사용 효율 향상을 위해서는 측정된 전기 데이터와 생산정보 등을 면밀하게 분석하여 어떤 부분을 절약할 수 있는지 판단하고, 이에 근거한 제어실행을 통해 에너지 및 전력 소비를 효율적으로 관리하고 절감할 수 있도록 의사결정시스템을 지원해야 한다. 따라서 에너지 사용 데이터의 정확한 측정은 에너지 관리에서 중요한 요소로 작용한다.



Fig. 1. Function of energy monitoring system

### 1.2 에너지 관리 및 모니터링 시스템의 국내 외 환경

십여 년 전부터 에너지 사용에 대한 절감은 소비절약의 문제를 넘어 세계인 모두에게 지구환경 및 인간윤리 등 전 분야에 걸쳐 글로벌하게 영향을 끼침으로서 에너지 및 전력 소비 절감의 필요성이 더욱 가시화되고 있다.

특히 2015년 12월 파리기후협약이 체결되면서 에너지의 효율적인 사용과 절감을 위한 에너지 관리 시스템에 대한 관심이 고조되고 있으며[1]. 국내에서도 세계적인 탄소규제에 대응하여 기업의 이윤뿐만 아니라 고객의 기업인지도 측면에서 에너지 사용에 대한 관리를 체계적으로 관리하기 위한 IT 기반의 시스템 개발에 많은 노력을 경주하고 있는 추세이다[2].

에너지 관리 시스템은 관리대상에 따라 크게 HEMS (Home Energy Management System), BEMS(Building Energy Management System), FEMS(Factory Energy Management System) 및 Cluster/Community EMS 등으로 분류하는데[3][4], 최근에는 그 범위가 점차 확대되

어 Fig. 2와 같이 선박을 대상으로 전력데이터를 실시간으로 모니터링 하는 선박 에너지 모니터링 시스템(SEMS, Ship Energy Monitoring System)도 개발하여 적용하고 있다.

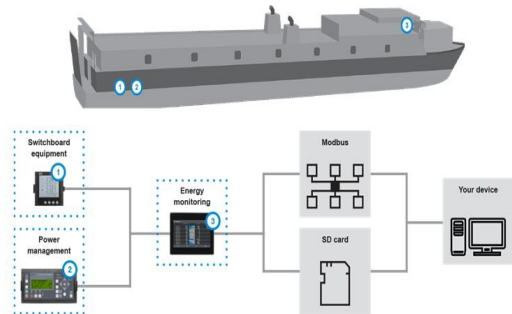


Fig. 2. SEMS, Ship Energy Monitoring System  
 \* Source: <https://www.deif.co.kr/marine-and-offshore/applications/ship-energy-monitoring-system-sems>

한편 지멘스, 내셔널 인스트루먼트, 슈나이더 일렉트릭 등 세계적으로 전력 모니터링 시스템을 개발하여 제공하는 선두 기업들은 최근 들어서는 전력 모니터링뿐만 아니라 ICT 장비에 제공되는 전력을 원격으로 조절하는 등 수요처의 요구에 대응하여 다양한 기능들을 선택적으로 제공하고 있다.

에너지의 생산량은 항상 제한되어 있다는 점을 감안할 때, 어떤 부분을 절약할 수 있는지 판단하고 에너지 및 전력 소비를 효율적으로 관리하여 절감할 수 있는 모니터링 시스템의 수요는 지속적으로 증가할 것이며, 이에 따른 에너지 모니터링 시스템의 측정 신뢰성 또한 중요시된다.

### 1.3 정확한 에너지 데이터 측정의 중요성

한국에너지공단은 1993년부터 주택·건물·지역·융복합 지원, 태양광대여, 설치의무화 등 다양한 보급프로그램을 통해 30만여 개소에 신재생에너지 설비를 보급한 바 있으며, 2018년부터는 실시간 모니터링이 가능한 신재생에너지 통합모니터링시스템(Renewable Energy Monitoring Service)을 운영함으로써 신재생에너지 설비 사용자가 직접 실시간으로 설비 발전량을 조회하고 설비 고장 여부를 확인할 수 있도록 하고 있다[5]. 또한 KT는 2018년 7월부터 중소형 태양광 발전소의 전력생산 상황을 실시간으로 모니터링하고 관리해 운영 효율을 높일 수 있는 모니터링 서비스를 제공할 예정이다[6].

이와 같은 에너지 관리 및 모니터링 시스템을 통해 에너지 절감을 실현하기 위해서 가장 우선시되어야 할 일은 얼마만큼의 에너지를 사용하고 있는지를 파악하는 일이다[7]. 본고에서 언급하는 전기에너지의 경우를 예로 들면 현재 전압, 전류, 역률을 종합적으로 측정 하여 어떤 부하를 가동하고 있으며, 부하 가동에 대한 낭비요소는 없는지를 분석하여 최적의 운전 조건을 찾음으로써 전기 에너지 소비의 효율을 확보 하는 것이다.

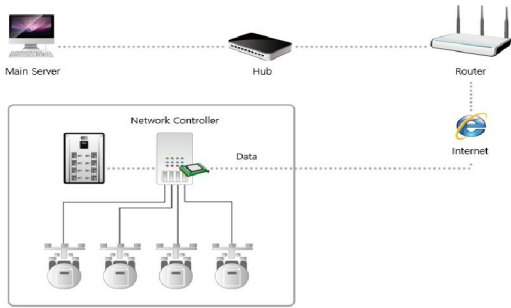


Fig. 3. Example of power monitoring using ethernet module

\*Source: [https://www.sollae.co.kr/kr/applications/monitoring\\_elec.php](https://www.sollae.co.kr/kr/applications/monitoring_elec.php)

그러나 에너지 데이터의 측정이 정확히 이루어지지 않게 되면 현재 사용량을 정확히 알 수 없을 뿐 아니라 잘못된 데이터로 인하여 발생된 결과는 부하 운전에 대한 신뢰도를 잃게 하고, 초기에 목적인 전기 에너지의 절감보다는 전체적으로 비효율적인 운영요소만 가중하게 될 것이다[8,9].

따라서 에너지 데이터에 대한 정확한 측정은 그 중요성이 상당하다고 할 수 있다. 이에 본고에서는 표준 통계학 추정에 기반하여 추출된 에너지 측정 정보로부터 모집단의 값을 추정하고 정확도에 대한 확신을 결정하는 과정을 제시하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 전기에너지 모니터링 시스템의 신뢰성 평가

### 2.1 측정 오차[10,11]

에너지 모니터링을 위한 전력측정장비는 각자가 지닌 오차범위가 있고 온도나 습도 등의 주변 환경, 그리고 배선 등에 따라 측정값이 달라질 수 있으며, 케이블 저항에 따라서도 소비하는 전력의 측정값이 다를 수가 있다. 전

력모니터링 시스템은 전력측정 장비의 결과 값을 사용하기 때문에 결국 전력측정 장비의 측정오차는 전력모니터링 시스템의 오차발생의 원인을 제공하게 된다.

이때 측정치의 평균에 내재하는 측정오차의 크기는 표본평균의 표준오차로 표현한다. 즉, 확률적 표본에서 표본평균의 표준오차는 식 (1)과 같이 표본의 표준편차를 표본크기의 제곱근으로 나누어 추정한다.

$$SE(Stadard Error) = \sigma / \sqrt{n} \approx SD / \sqrt{n} \quad (1)$$

여기서, SE = 표본평균의 표준오차, SD = 표본표준편차, n = 표본크기를 나타낸다.

한편 어떠한 전력측정의 환경이나 특정 조건 하에서 전력측정장비의 통계적인 정확도를 평가하기 위해서는 식 (2)와 같이 신뢰수준  $\hat{p} = (1 - \beta)$ 에 대한 상대오차 d 또는 절대오차 ε로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} P[|e_j| < \varepsilon] &\geq \hat{p} = (1 - \beta), \\ P[|x_j| < d] &\geq \hat{p} = (1 - \beta) \end{aligned} \quad (2)$$

위의 식 (2)에서 오차  $e_j$ 는  $V_{m_j}$ (측정값)- $V_{r_j}$ (참값)을 나타내는 값이고 오차  $x_j$ 는 오차  $e_j$ 를  $V_{r_j}$ (참값)으로 나눈 값이라고 정의하면, 측정된 소비전력의 값은 측정 환경에 대해 임의로 작용할 뿐만 아니라 불확실성을 내포하고 있기 때문에 오차 값  $e_j$ 와  $x_j$ 는 확률변수가 된다. 따라서 측정 장비의 정확도는 신뢰수준  $\hat{p} = (1 - \beta)$ 에 대한 신뢰구간에 의해 통계적으로 다시 정의할 수 있다. 즉, 식 (2)는 소비전력의 측정값  $V_{m_j}$ 는  $\hat{p}$ 보다 큰 확률로 신뢰구간  $[V_{r_j} - \varepsilon; V_{r_j} + \varepsilon]$  내에 포함되어 있음을 의미한다. 이를 다시 역으로 해석하면 신뢰수준  $\hat{p}$ 를 갖는 신뢰구간  $[V_{m_j} - \varepsilon; V_{m_j} + \varepsilon]$ 는 실제의 전력 값  $V_{r_j}$ 을 포함한다는 의미이다. 오차  $e_j$ 와  $x_j$ 에 대한 중심 신뢰구간은 각각  $[-\varepsilon; +\varepsilon]$  및  $[-d; +d]$ 이며,  $\beta$ 는 사용자가 수용할 수 있는 유의수준이다.

### 2.2 전력측정 장비의 신뢰성 평가방안[12][13]

측정오차는 관측하려는 실제 참값과 관측에서 얻어지는 측정값의 차이로 정의되는데, 본고에서는 실제 소비전력과 전력측정 장비가 소비전력을 측정하는 과정에서 발생한 임의의 개별오차들을 독립적이고 정규분포를 따르는 것으로 가정한다.

라플라스는 실험 오차를 분석하면서 정규분포를 사용했으며, 1809년 가우스는 실험 오차가 정규분포를 따른다는 가정 하에 최소제곱법을 이론적으로 도입하여 정당화한 바 있다[14]. 이 같은 임의의 가정은 측정된 표본들의 실험을 통해 자주 검증된 바 있으며, 더욱이 통계적인 추론에 이르게 한다는 점에서 매우 유용하게 사용되어 왔기 때문에 본 연구에서도 적용하여 사용한다. 간혹 비정규 분포가 발생하는 오류가 나타나는데, 이는 장비의 일부 오동작에 의해 발생할 수가 있다.

2.2.1 확률적 추정 프로세스[15]

에너지 모니터링을 위해 전력측정 장비를 이용하여 사용한 전력 값을 측정했을 때 실제 참값과 다르게 나타날 수 있다. 이처럼 발생하는 상대오차는  $X = \frac{V_m - V_r}{V_r}$  로 표현할 수 있다. 여기서 변수 X는 확률변수이며, 측정값  $V_m$  역시 확률변수이다. 비록 실제 참값인  $V_r$ 은 알 수가 없지만 측정할 수가 있는 값이며, 이는 전력측정 장비의  $V_m$ 으로부터 추정할 수 있다.

전력측정 장비에서 발생하는  $x_1, \dots, x_n$ 을 소비전력 측정값의 표본으로 설정한다. 이때  $x_1, \dots, x_n$ 은 독립적이며 미지의 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 를 갖는 정규분포를 따르는 연속 값  $X_1, \dots, X_n$ 의 표본 값이다. 여기서 n개의 표본으로부터 얻은  $\bar{x}$ 와  $s^2$ 는 모평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 의 추정치이며 확률변수이다.  $\bar{x}$ 와  $s$ 는  $x_1, \dots, x_n$ 에서 얻은  $\bar{x}$ 와  $s$ 의 표본 값이므로  $\mu$ 은  $\sigma$ 은 각각  $\bar{x}$ 와  $s$ 에 의해 추정한다.

$\bar{x}$ 가 평균  $\mu$ 와 분산  $\sigma^2/n$ 을 갖는 정규변수이면,  $(n-1)s^2/\sigma^2$ 은 자유도  $V = n-1$ 의 카이제곱분포를 따른다. 그리고 변수  $T = \sqrt{n}(\bar{x} - \mu)/s$ 은 Student t-분포를 따르고, 이때 자유도는  $V$ 이다. 이 과정은 간단하게 다음과 같이 수식으로 정리할 수 있다[16].

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \cdot \frac{\sigma}{s}$$

$$= \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \cdot \frac{1}{(n-1)}}}$$

$$= \frac{Z}{\sqrt{U/(n-1)}} \sim t_{(n-1)}$$

여기서  $U$ 는 카이제곱분포를 따른다. 이때 임의로 설정한 유의수준  $\alpha$ 에 대한 평균값의 신뢰구간은  $[\bar{x} - t_{v,\alpha/2} * s/\sqrt{n}; \bar{x} + t_{v,\alpha/2} * s/\sqrt{n}]$ 으로 표현할 수 있으며, 확률변수  $T$ 를 식 (3)과 같이 정의한다.

$$P[-t_{v,\alpha/2} \leq T \leq t_{v,\alpha/2}] = 1 - \alpha \tag{3}$$

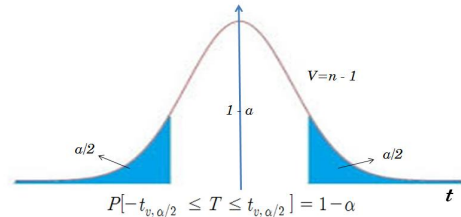


Fig. 4. Student-t distribution

신뢰구간은 표본으로부터 산출된 통계값과 함께 제공되는데, 일반적으로 표준통계학에서 신뢰구간이라 함은 모수가 어느 범위 내에 있는지를 확률적으로 보여주는 방법이다.

식 (3)에도 나타나듯이 구간이 모수의 참값을 포함시킬 확률을 신뢰수준(confidence level) 또는 신뢰도라 하고 보통 95%로 정하며 이것은 유의수준  $\alpha$ 와  $(1 - \alpha)$ 의 관계에 있다. 통계적으로 신뢰수준  $(1 - \alpha)$ 로 모수를 포함하는 구간을 신뢰구간(confidence interval)이라 명명하고 신뢰구간의 상한과 하한을 신뢰한계(confidence limit)라 부른다. 이때 신뢰구간을 구하기 위해 모수의 점 추정량을 통계량으로 정하고 이 통계량의 분포 정도를 고려하여 신뢰수준을 정해 모수를 포함하도록 한다.

2.2.2 전력 측정값에 대한 신뢰구간 설정

전력측정 장비뿐만 아니라 우리가 사용하는 모든 측정기기는 신뢰성에 대한 확보가 매우 중요하다. 그러나 일반적으로 측정된 표본 값  $x_1, \dots, x_n$ 에 대한 모수 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 은 알 수가 없으므로 개별 측정값이 실제 참값의 신뢰구간 내에 있을 확률을  $\hat{p}$ 라고 할 때 식 (4)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{p} = P[-d \leq X_i \leq d] \tag{4}$$

여기서  $\Phi(\cdot)$ 를 표준 정규화된 CDF(누적분포함수)라고 하면, 확률  $\hat{p}$ 는 다음의 식 (5)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{p} = P\left[\frac{-d-\mu}{\sigma} \leq \frac{X_i-\mu}{\sigma} \leq \frac{d-\mu}{\sigma}\right] \quad (5)$$

$$= \Phi\left(\frac{d-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{-d-\mu}{\sigma}\right)$$

식 (5)에서 미지의 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 에 대한 유의 수준을  $\alpha$ 라고 할 때, 식 (4)을 이용하여 확률  $\hat{p}$ 의 값을 식 (6-1) ~ (6-4)의 과정을 통해 식 (7)과 같이 도출한다.

$$-d \leq x_i \leq d \quad (6-1)$$

$$\bar{x} - t_{v,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{v,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6-2)$$

위의 식들로부터

$$-d - \bar{x} + t_{v,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq x_i - \mu \leq \quad (6-3)$$

$$d - \bar{x} - t_{v,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{-d - \bar{x}}{s} + t_{v,\alpha/2} \frac{1}{\sqrt{n}} \leq \frac{x_i - \mu}{s} \leq \quad (6-4)$$

$$\frac{d - \bar{x}}{s} - t_{v,\alpha/2} \frac{1}{\sqrt{n}}$$

그리고  $\Psi(\cdot)$ 을 자유도 V의 Student t-분포의 누적 분포함수라고 설정하면,

$$\hat{p} = \Psi\left(\frac{d - \bar{x}}{s} - t_{v,\alpha/2} / \sqrt{n}\right) - \quad (7)$$

$$\Psi\left(\frac{-d - \bar{x}}{s} + t_{v,\alpha/2} / \sqrt{n}\right)$$

$$= \Psi(u_1) - \Psi(u_2)$$

이때 자유도의 값이 큰 경우에는 식 (7)에서  $\Psi(\cdot)$ 은 정규분포의  $\Phi(\cdot)$ 로 대체한다.

또한, 전력측정 장비가 교정 및 보정 등을 통해 편향된 값이 제거되어 측정값이 비 편향적이 되면 변수  $u_1$ 과  $u_2$ 의 값은 같게 되고, 상호 마주보게 되는 형상이므로 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{p} = 2\Psi(u_1) - 1 = 2\Psi\left(\frac{d}{s} - t_{v,\alpha/2} / \sqrt{n}\right) - 1 \quad (8)$$

위의 식 (8)에서  $t_{v,\alpha/2} / \sqrt{n}$  값은 n이 증가할수록 작아지는데, 이는 다시 말해 신뢰수준은 n에 따라 변한다고 추론할 수 있다. 즉 표본의 크기가 커질 경우, 측정시스템의 정확도 평가에 대한 불확실성은 대폭 감소하게 된다.

## 2.2 확률적 추정 프로세스

전력측정 장비의 측정정확도는 테스트에 의한 방법으로 정의할 수가 있는데, 일반적으로 장치나 시스템의 사용자는 오차의 최소허용수준인  $\hat{p}_{\min}$  값을 설정 할 수가 있다.

전력측정 장비에 대한 테스트를 수행하여 얻은 표본  $x_1, \dots, x_n$ 에 대해 통계값  $\bar{x}$ , s, n 값을 산출하고, 식 (7)에서와 같이  $\hat{p}_{\min} = \psi(u_1) - \psi(u_2)$ 로부터 d의 최소 값인  $d_{\min}$ 을 구할 수 있다. 이와 같이 구한  $d_{\min}$ 을 신뢰수준  $\hat{p}_{\min}$ 에서의 전력측정 장비의 통계적인 정확도라고 명명한다.

전력측정 장비와 같은 계측장비는 일정수준 이상의 정확성을 보유하여야만 하는데, 이는 사용자의 사용 목적에 따라 달라질 수 있다. 즉, 신뢰수준에 대한 최소한의  $\hat{p}_{\min}$ 을 설정할 필요가 있는데, 이는 전력측정 장비의 정확도 점검을 위해 수행하는 테스트 조건에 따라 다르고 일부 사용자는 일정수준 이상의  $\hat{p}_{\min}$  값을 요구하기도 한다. 이에 본고에서는 전력측정장비가 사전에 설정한 정확도에 대한 만족 여부를 판단하는 과정을 다음과 같이 수행한다.

가) 소비전력이라는 객체에 대해 사전에 계산된 실제 기준 값에 대비하여 표본의 측정값  $\bar{x}$ , s, n을 통계적으로 계산하고, 두 가지 방법으로 사전에 설정한 정확도에 대해 만족여부를 체크한다.

나) 상기의 식 (7)을 이용하여 신뢰수준  $\hat{p}$  값을 구한다. 이때  $\hat{p}$ 에 대해 주어진 값 d을 수용하는 조건은  $\hat{p} \geq \hat{p}_{\min}$ 이며,  $\hat{p}_{\min}$  값은 사전에 설정한 기준 또는 사용자가 원하는 값을 설정한다.

다) 사용자가 요구하는 신뢰수준의  $\hat{p}_{\min}$ 을 목표로 값으로 정한 후, 이를 식 (7)로부터 구한다. 그리고  $\hat{p} = \hat{p}_{\min}$ 을 만족하는 d 값을 계산하며 이 최소값을  $d_{\min}$ 이라 명명하고, 이를 선정된 객체인 소비전력에 대한 최고의 허용수준이라고 정의한다.

## 3. 수치적 예제

서울의 한 주상복합단지 A가구의 10일 간의 전력 사용 테스트에 의해 측정된 10개의 상대오차 값이 Table 1

에서와 같이  $-0.05, 0.07, -0.05, 0.06, 0.045, -0.015, 0.055, 0.040, 0.080, 0.065$  으로 산출되었다고 했을 때, A가구의 10일 간의 전력사용 측정값에 대한 신뢰성에 대해 분석한다.

Table 1. 10-day power use test of a residential complex A

Date	Usage of Power Consumption (Vr), kWh	Measurement of Power Consumption (Vm), kWh	Relative Error
1	22.020	20.920	-0.050
2	24.125	25.815	0.070
3	19.005	18.066	-0.050
4	20.950	22.207	0.060
5	21.050	21.997	0.045
6	22.100	21.769	-0.015
7	19.210	20.267	0.055
8	24.050	25.012	0.040
9	23.850	25.758	0.080
10	24.555	26.151	0.065

통계적 계산에 의해 소비전력 측정값의 편차  $\bar{x}$ 는 0.03 이고 표준편차  $s=0.049$ 로 산출된다. 사용자의 요구에 따라  $d$ 을 0.12, 허용 유의수준  $\alpha$ 은 0.05로 설정하였다면, 신뢰성을 판단하기 위한  $\hat{p}$  값은 식 (7)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

우선  $t$ -분포표를 이용하여 자유도=9 일 때의  $t_{v,\alpha/2} = 2.262$  을 구하고, 식 (7)을 이용하여

$$\begin{aligned}(u_1) &= \psi\left(\frac{0.12-0.03}{0.049} - 2.262/\sqrt{10}\right) \\ &= \psi(1.8367 - 0.7153) \\ &= \psi(1.1214) \\ &= 0.8544 \text{ (자유도} = 9, t_{0.025})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(u_2) &= \psi\left(\frac{-0.12-0.03}{0.049} + 2.262/\sqrt{10}\right) \\ &= \psi(-3.0612 + 0.7153) \\ &= \psi(-2.3459) \\ &= 0.0218 \text{ (자유도} = 9, t_{0.025})\end{aligned}$$

$$\therefore \hat{p} = 0.8544 - 0.0218 = 0.8326$$

만약에 전력측정 장비가 완전히 보정되어 소비전력을 측정할 때 편향적인 결과가 없어서 편차가 나타나지 않고, 이때 허용 유의수준  $\alpha$ 을 0.05로 설정하면 요구된 신

뢰구간의 신뢰수준  $\hat{p}$ 의 하한 값은 식 (8)로부터 구할 수 있으며 표본 수가 증가할수록 그 값은 커진다.  $n$ 이 무한히 증가한다면  $\hat{p}$ 는 상한값  $[2\phi(d/\sigma) - 1]$ 에 수렴하게 되며, 이는 표준편차  $\sigma$ 에 대해 구간  $[-d; d]$ 의 신뢰수준은 확률변수가 중심극한정리를 따르는 것으로 간주한다.

소비전력 측정 시 발생한 편향된 값을 제거할 수 있다면 측정오차 값들은 중심극한화 될 것이고, 표준편차의 추정치  $s$ 는 표본으로부터 계산할 수 있다.

예를 들어, 표본 크기  $n$ 을 20이라 하고 표본의 표준편차  $s=0.035$  그리고 상대오차  $\delta=0.10$  이라고 하면 식 (8)로부터 확률  $\hat{p}$ 을 다음과 같이 구할 수가 있다.

$$\begin{aligned}\hat{p} &= 2 \times \psi\left(\frac{d}{s} - t_{v,\alpha/2}\right) - 1 \\ &= 2 \times \psi\left(\frac{0.10}{0.035} - 0.468\right) - 1 \\ &= 2 \times \psi(2.3891) - 1 \\ &= 2 \times 0.9863 - 1 \\ &= 0.9726\end{aligned}$$

이때 사용자가 허용할 수 있는 전력측정 장비의 정확도 수준의 목표치를  $\hat{p}_{\min} = 0.950$  으로 설정하였다면, 이는  $\hat{p}$ 에 대하여 주어진 값  $d$ 에 대한 수용조건  $\hat{p} \geq \hat{p}_{\min}$ 을 만족하게 된다.

그리고 다음과 같은 확률적 과정을 통해  $\hat{p} = \hat{p}_{\min}$ 을 만족하는  $d$ 의 최소값  $d_{\min}$ 을 구한다.

$$2 \times \psi\left(\frac{d_{\min}}{s} - t_{v,\alpha/2}\right) - 1 = 0.950$$

$$\psi\left(\frac{d_{\min}}{s} - t_{v,\alpha/2}\right) = 0.975, \text{ } t\text{-분포 계산(역산)}$$

$$\frac{d_{\min}}{s} - t_{v,\alpha/2} = 2.093$$

$$\frac{d_{\min}}{s} = 2.093 + 0.468 = 2.561$$

$$\therefore d_{\min} = 2.561 \times 0.035 = 0.0896$$

## 4. 결론 및 활용 방안

### 4.1 연구방법 및 향후 연구

에너지 관리 시스템 분야에서는 ICT 융합을 통한 기술연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 제조업과 같은 산

업현장에서는 통합화에 대한 요구와 관심이 높아 에너지 모니터링 또한 별도의 영역이 아닌 전체 엔지니어링 환경에 적용되고 있는 추세이므로 생산 및 사용하는 에너지 정보를 정확히 측정하고 효율적으로 관리하는 것이 중요하며, 그 필요성이 점점 가시화되고 있다[17].

본문에서도 언급했듯이 에너지 모니터링을 위해 사용하는 전력측정장비가 소비전력을 측정할 때 발생하는 오차는 확률변수임을 알 수 있다. 특히 측정된 오차의 편차는 사용 및 발생전력의 측정환경이나 조건에 의해 많은 영향을 받을 것으로 예측된다. 따라서 이 같은 통계적인 배경을 고려할 때, 전력측정장비의 정확성을 평가하기 위해 측정값을 통계량으로 정하고 이 통계량의 분포를 생각하여 신뢰구간을 적용한 것은 매우 타당하고 효과적인 방법 중에 하나라고 판단된다. 특히 정보의 신뢰성이란 정보사용자가 신뢰할 수 있는 것이어야 하는데[18], 모집단의 평균 및 표준편차에 대한 정보가 없을 때 표본 평균의 표준오차를 이용하여 통계적인 정확도를 표현한 것은 매우 실용적이다.

그러나 본문에서도 언급했듯이 표본이 큰 경우에는 확률변수가 정규화 된 분포를 따르게 되므로 가우스의 오차함수 등을 이용한 신뢰성 확률값을 획득하는 편리성을 시도할 필요가 있다. 또한 전력측정장비의 정확도를 체크하기 위해서는 측정 기준값에 대한 명확한 정의가 있어야 하나 수행하는 테스트 환경의 다양성으로 인해 이를 극복하기가 쉽지 않으며 향후 세심한 보완연구가 필요한 것으로 생각된다.

또한 표준통계학의 확률적 추론 방법은 프로세스 과정에서 유의수준을 설정하게 되는데, 이를 얼마로 설정할 것인가가 중요한 문제가 될 수 있다. 유의수준을 10%로 설정했다면 10%의 확률로 잘못된 판단을 내리게 되는 리스크를 감수해야만 한다. 따라서 같은 최우원리를 사용하고 있지만 유의수준과 같은 개념이 없으므로 표준통계학 같이 어느 한쪽으로 판정을 내리는 것이 아니라 단지 양쪽의 가능성을 남겨두고 그 가능성의 비율관계만을 제시하는 베이즈 추정을 이용한 연구가 수행될 수 있다.

#### 4.2 활용 방안

2010년대 초반 구글과 마이크로소프트에서는 데이터 마이닝 기법을 사용하여 스마트 전력사용 모니터링 서비스를 제공하다 가구 정보 획득의 어려움 및 스마트 그리드 환경에 대한 인식부족 등의 이유로 사업을 중단한바

있다. 그러나 최근 들어 한국에너지공단의 신재생에너지 통합모니터링시스템 지원 사업, KT의 GiGA energy Gen-태양광 O&M (Operation&Management) 서비스 등 에너지 모니터링에 대한 적극적인 서비스가 전개되고 있다. 이때 일정 수준 이상의 서비스 제공이 요구되는 바, 본 연구의 결과를 활용한 에너지 측정데이터의 신뢰성 분석은 합리적인 운용방법이라 할 것이다.

기업들은 생산관리 뿐만 아니라 에너지관리 측면에서 효율적이 운영·관리를 위해 다양한 시도를 하고 있으며 [19], 제조, 생산, 모니터링, 관리 등 모든 공정에서 발생하는 거대한 데이터를 분석하고 처리하기 위해 최근에는 데이터마이닝 기법의 활용이 점차 증가하고 있다. 이는 대용량의 데이터를 대상으로 데이터 간의 관계, 패턴, 규칙 등을 파악하여 유용한 지식을 획득하는 것인데, 이 같은 일련의 과정에서 통계적 추정에 의한 신뢰성분석은 적극적으로 활용될 것이다.

## REFERENCES

- [1] Korea Environment Industry Technology Institute. (2017), BEMS Core technology and energy management issues and market analysis: Trend Report
- [2] J. Y. Chu & D. H Lee. (2018), Influence of smart factor's implementing energy management system on innovation resistance and performance, *Journal of Digital Convergence*, 16(1), 103-116.
- [3] Korea Energy Economics Institute. (2013). Energy Management System Industrial Promote Plan: Basic Research Report.
- [4] G. T. Lee, G. J. Lee & J. W. Kim. (2014), Korea Evaluation Institute of Industrial Technology Issue Report - Cloud-based integrated building automation system technology that provides energy optimization services.
- [5] K. O. Lee. (2017), Journal of Smart Factory - Integrated system energy monitoring system will be the future industry trend. <http://www.fajournal.com/news/articleView.html?idxno=4734>
- [6] KT Group. (2017), KT-MEG <https://blog.kt.com/tag/KT-MEG>
- [7] Schneider Electric. (2011), Power monitoring system for energy management, <https://www.kemco.or.kr>
- [8] K. T. Jung, S. M. Yoon, H. J. Moon &, W. H. Yeo.

(2012), A Study on Building Energy Consumption Pattern Analysis Using Data Mining. *Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 12(2), 77-82.

[9] G. Y. Cho, C. S. Lim & K. Y. Nam. (2016), Development and Operation of an Energy Management system for Solar Photovoltaic Power Generation, *the Korea Society for New and Renewable Energy Fall Conference*.(pp. 85).

[10] Statistics Korea. (2003), Theory and Practice of Intuitive Field Surveillance Monitoring - Research Report

[11] Sheldon M. Ross. (2011), *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Forth Edition* : Elsevier.

[12] Julian L. Simon. (1997), *Resampling: "The New Statistics", Second Edition* : Simon Books.

[13] Sheldon M. Ross. (2014), *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists* : Academic Press

[14] Pang-ning Tan, Michael Steinbach & Vipin Kumar. (2007) *Introduction to Data Mining* : Addison-Wesley.

[15] S. S. Hong. (2013), *Statistics of Use 2*  
<https://www.kocw.net/home/cview.do?cid=e43fc0165bfcd878>

[16] Wikipedia. (2017), *Chebyshev's inequality*  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev%27s\\_inequality](https://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev%27s_inequality)

[17] Data NET. (2017), Intelligent data center for power monitoring and management  
<http://www.datanet.co.kr/news/articleView.html?idxno=116480>

[18] J. H. Lee, (2017), A Study on How Reference Group, Convenience and Pursuit of Information Affect Subscription-Based Webtoon Service Usage through Reliability and Curiosity, *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(2), 101-109.

[19] Y. S. Jeong, (2018), Linking Algorithm between IoT devices for smart factory environment of SMEs, *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(2), 233-238.

유 영 학(Young Hag You)

[정회원]



- 2008년 2월 : 동국대학교 경영학과 (경영학사)
- 2010년 8월 : 연세대학교 산업정보경영학과 (공학석사)
- 2017년 12월 : 연세대학교 융합기술경영학과(박사수료)

- 현재 : ㈜위엔아이티 대표이사
- 관심분야 : 금융IT, 에너지 효율, 스마트 공장, 산업정책, 경영전략
- E-Mail : yhyou@wenit.co.kr

임 춘 성(Choon Seong Leem)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : Univ. of California at Berkeley(공학박사)

- 1993년~1995년 : 미국 Rutgers University 산업공학과 조교수
- 현재 : 연세대학교 공과 대학 산업공학과 교수
- 관심분야 : 기술 기반 사업화 전략, 비즈니스 모델 개발 방법론, 산업 경쟁력 및 산업 정보화 평가 분석
- E-Mail : leem@yonsei.ac.kr

최 대 순(Choi Dae Soon)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 금속공학과 (공학사)
- 1992년 1월 : NYU Polytechnic School of Eng. (공학석사)
- 1995년 5월 : NYU Polytechnic School of Eng. (공학박사)

- 현재 : ㈜엔토스정보통신 연구소 수석연구원
- 관심분야 : ITS, 에너지 효율, 스마트시티, 빅데이터 분석
- E-Mail : nald0412@naver.com