

# 전동기와 조명기기의 에너지사용 분석을 통해 효과적인 EERS 절감량 산정을 위한 주요인자 도출 연구

염지훈<sup>†</sup> · 최한호\* · 이현웅 · 박성우 · 김창식 · 한승희

한국에너지공단, \*동국대학교 신재생에너지공학과

(2019년 7월 24일 접수, 2019년 8월 28일 수정, 2019년 8월 30일 채택)

## Study on Effective EERS Savings Calculating Method through Analysis of Energy Consumption of Electric Motor & Lighting Devices

Jeehoon Yeom<sup>†</sup> · Hanho Choi\* · Hyunwoong Lee · Sungwoo Park · Changsik Kim · Seunghee Hahn

Korea Energy Agency, \*Dongguk Univ

(Received 24 July 2019, Revised 28 August 2019, Accepted 30 August 2019)

### 요 약

에너지절약보다 에너지절감이 강조되는 시대의 흐름에 따라 미국 및 주요 EU국가에서 도입하여 시행하고 있는 에너지효율향상의무화제도(EERS)의 국내 도입은 필수적이며, EERS제도의 안정적인 정착을 위해서는 정확하고 신뢰도 높은 절감량 측정이 수반되어야 한다. 특히 국내 총 전력사용량의 60% 이상을 차지하고 있는 전동기와 조명기기는 제도 시행에 있어서 뿐만 아니라 국가에너지 효율향상에 있어 가장 중요한 기기이다. 본 논문에서는 전동기, 조명기기의 정확한 사용실태 파악을 위해 계량전송장치를 400여개 사업장에 설치수집분석하여 EERS 제도 도입에 따른 절감량 산정시 활용할 수 있도록 가동율, 부하율 등 주요인자를 실측에 입각하여 도출, 제시하고자 한다.

**주요어** : 전동기, 조명기기, 가동율, 부하율, 에너지공급자효율향상의무화제도

**Abstract** - It is essential to introduce EERS (Energy Efficiency Resource Standards) according to the trend of the era in which energy saving is emphasized, and it is time to settle down in a stable manner. Electric motors and lighting devices, which account for more than 60% of the nation's electricity use, are the most effective items of the EERS. And accurate methods of calculating savings must be preceded. In this study, the operation rate and load rate are measured through the demonstration of energy use at 400 businesses and the measured rates are used for EERS savings calculation. The results imply that the proposed method can be successfully applied to calculate cost-effective and reliable energy savings.

**Key words** : Electric Motor, Lighting, Load rate, Operating rate, EERS(Energy Efficiency Resource Standards)

## 1. 서 론

2017년 전력판매량은 2000년 대비 2배 이상 증가하였으며, 2031년까지의 전력수급전망 또한 꾸준히

증가추세인 것으로 전망되어 지고 있다. 이에 정부도 에너지전환정책의 일환으로 신재생에너지 보급·확산과 에너지신산업, 기기효율향상에 따른 EERS(Energy Efficiency Resource Standards: 에너지공급자 효율향상의무화제도)제도 도입 결정 등을 마련하고 정책적으로 지원하고 있으며, 특히 에너지절약 보다 에너지절감이 강조되는 시대의

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-52-920-0624 E-mail: yjhsalt11@energy.or.kr

흐름에 따라 2000년대 초반부터 미국과 유럽에서 에너지정책의 일환으로 도입한 EERS 제도가 국내에도 안정적으로 정착하여야 하는 시점이다.

광업·제조업 등 전력판매량의 50% 이상이 산업 부문에 편중되어 있는 국내 에너지밸런스 구성에 따라 그간의 에너지정책은 RPS, 배출권거래제, 목표관리제등을 통해 발전사업자 및 일정규모이상의 사업장 등 산업계가 대상이 되어 중소기업 에너지 소비자 및 상업부문 에너지소비자는 에너지관리의 사각지대로써 존재하였다. 이에 주요선진국에서 도입하여 활성화되어 있는 EERS를 통해 이러한 사각지대에 에너지효율향상을 통한 관리가 수반되어야 필요가 강조되고 있다.

국가에너지기본계획 등 에너지계획에서 가장 **Table 2.** LP데이터 수집횟수 별 계량기 수(동력기기)

수집 횟수	전체 데이터		유효 데이터	
	계량기 수	비율(%)	계량기 수	비율(%)
> 30,000	18	24	4	5
> 20,000	33	43	13	17
> 10,000	56	74	31	41
> 5,000	68	89	50	66
> 1,000	76	100	73	96
< 1,000	0	0	3	4

중요한 부분은 정확한 수요예측과 실현가능한 목표설정이며, 에너지 수요감축을 위한 신생제도인 EERS 또한 달성가능한 목표설정과 비용효과적인 절감량산정을 통한 실적검증이 수반되어야 한다.

본 논문은 국내 총 전력사용량의 60% 이상을 차지하는 전동기, 조명기기 사용실태에 대한 대규모 실증을 통하여 가동율 및 부하률 등을 분석하였

다. 이를 통해 실증에 기반한 연간전력사용량을 세부분석하고 EERS 제도 시행에 따른 합리적인 절감량 산정방법론을 제안하고자 한다.

## 2. 실증사이트 구축

조명기기(LED) 데이터 확보를 위해 기존에 형광등·메탈할라이드 등을 사용하다 동일공간에 LED로 교체를 실시한 사무용 건물·공장·마트 등 288개 사업장(가정 제외)을 대상으로 실증사이트를 구축하였으며 전동기 데이터를 확보하기 위해 기존에 인버터없이 사용하던 동력기기(팬·펌프·블로워·컴프레서)부하에 인버터를 부착하고 동일

조건에서 가동되는 63개 사업장을 대상으로 실증 사이트를 구축하였다.

정확한 데이터 취득을 위해서 Fig. 1.에 주어진 계량데이터 확보 개념도와 같이 국내 주요 통신3사의 LTE통신에 기반한 데이터 전송 기술을 바탕으로 ‘설비→계량기→LTE모뎀→DB서버’형태로 계량 및 데이터 전송을 실시하였다.



**Fig. 1.** 계량데이터 확보 개념도

**Table 1.** LP데이터 수집횟수 별 계량기 수(조명)

수집 횟수	계량기 수	비율(%)	비고
> 30,000	153	39	-
> 20,000	200	51	-
> 10,000	332	85	-
> 5,000	359	92	-
> 1,000	378	97	-
< 1,000	11	3	분석제외

계측 단말은 안정적인 데이터 전송이 가능한 한 전 G-Type 계량기를 사용하였고, 계량기능 요구사항은 정밀도 1.0급(class 1.0) 이상, DLMS/COSEM 지원(한전 인증 필수), 15분 간격 90일 데이터 저장(정전 시 보존), 외부 배터리에 의한 RTC 지원을 충족하였으며, 통신은 통신사 인증을 득한 LTE망을 이용하였다. 날짜, 시간, 전력량(피상, 유효, 무효)등의 데이터를 15분 간격으로 대용량 서버를 통해 수집하였으며, 1년간('16.7.1~'17.6.30) 수집된 데이터를 바탕으로 분석을 실시하였다.

### 3. 품목별 실증사이트 운영 및 분석조건

#### 3-1. 조명기기

유의미한 데이터 분석을 위하여 실증사이트는 LED 교체 후에도 교체 전과 동일하게 사용되고 별도 제어없이 설비가 설치된 수명기간 동안 지속적으로 사용되는 조명기에 한정하였으며, 간헐적으로 사용되는 센서등과 생산판매가 금지된 백열등은 실증대상에서 제외하였다.

계량전송장치는 G-type계량기와 LTE모뎀으로 구성되어 주로 건물 분전반의 전등부하에 연결하였으며, 별도의 전등부하로 구분되어 있지 않은 경우 전등부하를 별도로 분기하여 측정하였다.

LTE통신 및 계량기에 이상이 없는 경우 1개 계측기에서 1년간 15분간격으로 수집되는 LP(Load Profile)데이터의 35,040개이며, 본 연구에서는 2주 이상 수집된 LP데이터를 유효한 데이터로 판단하고 1,000개 이상의 LP데이터가 수집된 378개 계량기를 바탕으로 분석을 실시하였다.

아래 Table 1.에서 보이는 바와 같이 100일 이상의 LP데이터를 수집한 계량기의 비율은 85%, 50일 이상의 LP데이터를 수집한 계량기는 92%이다. 10일 이하의 LP데이터를 수집한 11개 계량기 데이터는 3%로 표본수가 부족한 것으로 판단하고

분석에서 제외하였다.

#### 3-2. 동력기기(인버터 설치)

상시 운영되고 있는 동력기기(팬·펌프·블로워·컴프레서)에 인버터를 설치하고 개체 전후 동일하게 사용되는 장소에 실증사이트를 구축하였으며, 인버터 가동에 대한 안정성 제고를 위해 판넬, 리액터, 필터를 필수사항으로 구성하였다.

계량전송장치는 G-type계량기와 LTE모뎀으로 구성되어 동력기기의 1차측에서 전력량을 계측하였다. 계량전송장치와 동력설비는 각각 1:1 측정하였으며, 효과적인 분석을 위해 최대전력의 3% 미만인 측정데이터는 대기전력으로 가정하고 3% 이상의 측정데이터(이하 유효데이터)를 바탕으로 추가 분석을 실시하였으며, 통신조건은 조명기기 통신조건과 동일하다.

아래의 Table 2.는 수집횟수 별 계량기 수를 보여준다. 전체데이터 기준으로 100일 이상의 LP데이터를 수집한 계량기의 비율은 74%, 50일 이상의 LP데이터를 수집한 계량기는 89%이며, 10일 이하의 LP데이터를 수집한 계량기는 없었다.

### 4. 품목별 실증데이터 분석 결과

#### 4-1. 조명기기

데이터 분석은 건물용도, 세부유형(산업분류), 기업유형별 가동율과 사용율에 대해서 분석하였으며, 가동율은 조명기기가 ON되어 있는 비율, 사용율은 평균전력/최대전력으로 정의하였다. 예를 들어 한 구역내에 있는 100대의 조명기기를 묶어 계측을 하였는데 60대의 조명이 24시간동안 가동되었을 경우 가동율은 100%, 사용율은 60%가 된다.

분석대상이 되는 378개 계량기 전체의 가동율과 사용율은 각각 78.6%, 53.6%로 집계되었으며, 이중 상대적으로 가동시간이 높은 공동주택의 지하주차

장 43개소를 제외할 경우 가동율과 사용율은 76.3%, 52.0%로 하락함을 알 수 있다.

#### 4-1-1 건물용도별 분류

건물용도는 공장, 일반건물, 공동주택(주차장)으로 구분하였으며, 아래 Table 3.의 건물용도별 가동율과 사용율에서 보이는바와 같이 공장, 일반건물, 공동주택 지하주차장의 가동율은 각각 76.1%, 76.6%, 96.3%이며, 사용율은 각각 53.6%, 49.1%, 66.5%로 분석되었다.

#### 4-1-2 세부유형별 분류

공장과 일반건물에 대해서 각각 산업분류, 세부 용도별로 구분하였으며 가동율과 사용율은 아래 표들과 같다. Table 4.는 공장의 산업분류별 가동율과 사용율을 보여준다. 화공분야 공장의 가동율과 사용율이 91.4%, 65.8%로 가장 높았고 제지목재분야 공장의 가동율과 사용율이 66.0%, 43.7%로 가장 낮음을 알 수 있다.

Table 5.는 일반건물의 용도별 가동율과 사용율을 보여주는데 물류센터 분야의 가동율과 사용율이 87.0%, 63.1%로 가장 높았고 학교의 가동율과 사용율이 50.4%, 11.1%로 현저히 낮음을 알 수 있다.

**Table 3.** 건물용도별 가동율과 사용율

구분	가동율(%)	사용율(%)	계량기 수
공장	76.1	53.6	213
일반건물(사무·판매)	76.6	49.1	122
공동주택(지하주차장)	96.4	66.5	43
합 계(공동주택 제외시)	76.3	52.0	335
합 계	78.6	53.6	378

**Table 4.** 산업분류별 가동율과 사용율(공장)

구분	가동율(%)	사용율(%)	계량기 수
산업기타(제조업)	74.8	52.1	130
금속	83.5	57.7	29
섬유	77.6	56.3	21
식품	72.2	59.0	11
제지목재	66.0	43.7	14
화공	91.4	65.8	8
합 계	76.1	53.6	213

**Table 5.** 세부용도별 가동율과 사용율(일반건물)

구분	가동율(%)	사용율(%)	계량기 수
대형마트	67.6	47.7	31
전자대리점	83.0	53.5	51
물류센터	87.0	63.1	11
학교	50.4	11.1	5
건물기타(사무용)	75.3	43.3	24
합 계	76.6	49.1	122

#### 4-1-3 기업유형별 분류

기업유형은 대기업과 중소·중견기업으로 구분하였으며 표본수가 상대적으로 부족한 비영리단체(학교 등)은 제외하였다. 공장의 기업유형별 가동율과 사용율을 Table 6.에 정리하여 보였다. 대기업의 가동율이 82.8%로 중소·중견기업에 비해 8.6%p 높고, 사용율 또한 59.2%로 7.5%p 높다는 것을 알 수 있다.

Table 7.은 일반건물의 기업유형별 가동율과 사용율을 보여주는데 대기업의 가동율이 79.8%로 중소·중견기업에 비해 14.3% 높고, 사용율 또한 53.1%로 12.9% 높은 것을 알 수 있다.

#### 4-2 인버터

데이터 분석은 설비형태, 건물용도, 세부유형(산업분류), 기업유형별 가동율과 부하율에 대해서 분석하였으며, 가동율은 동력기기가 ON되어 있는 비율, 부하율은 평균전력/최대전력이다. 분석의 고

도화를 위해 최대전력의 3%이상의 데이터를 유효데이터로 가정한 추가분석을 실시하였다.

#### 4-2-1 설비형태별 분류

설비형태별는 팬, 펌프, 블로워, 컴프레서의 전체데이터와 유효데이터의 가동율 및 부하율은 Table 8.과 같다. 전체 데이터 기준 가동율과 부하율은 각각 89.9%, 37.5%이며, 설비형태별로 구분하였을 때 팬, 펌프, 블로워, 컴프레서의 가동율은 각각 92.0%, 89.5%, 73.8%, 90.4%이며, 부하율은 각각 32.0%, 39.5%, 52.5%, 42.6%로 분석되었다. 최대전력의 3%이상의 데이터로만 분석한 유효데이터 기준의 경우, 가동율과 부하율은 각각 59.8%, 62.1%이며, 설비형태별 팬, 펌프, 블로워, 컴프레서의 가동율은 각각 53.2%, 64.2%, 65.8%, 65.5%이며, 부하율은 각각 61.3%, 59.3%, 77.5%, 64.1%로 분석되었다.

Table 6. 기업유형별 가동율과 사용율(공장)

구분	가동율(%)	사용율(%)	계량기 수
대기업	82.8	59.2	42
중소·중견기업	74.2	51.7	169
합 계	75.9	53.2	211

Table 7. 기업유형별 가동율과 사용율(일반건물)

구분	가동율(%)	사용율(%)	계량기 수
대기업	79.8	53.1	96
중소·중견기업	65.5	40.2	18
합 계	77.5	51.0	114

Table 8. 설비형태별 가동율과 부하율

구분	전체 데이터		유효 데이터		계량기 수
	가동율(%)	부하율(%)	가동율(%)	부하율(%)	
팬	92.0	32.0	53.2	61.3	33
펌프	89.5	39.5	64.2	59.3	24
블로워	73.8	52.5	65.8	77.5	4
컴프레서	90.4	42.6	65.5	64.1	15
합 계	89.9	37.5	59.8	62.1	76

#### 4-2-2 건물용도별 분류

건물용도별로 공장과 일반건물로 대분류하였으며 각각의 데이터는 Table 9.와 같다. 전체데이터 기준, 가동율과 부하율은 공장이 89.2%, 42.9%, 일반건물이 91.0%, 30.2%이며, 유효데이터 기준은 공장이 66.3%, 63.8%, 일반건물이 50.8%, 61.1%이다.

#### 4-2-3 기업유형별 분류

기업유형별로 대기업과 중소·중견기업으로 대분류 할 수 있으며, 각각의 데이터는 Table 10.과 같다. 전체데이터 기준, 가동율과 부하율은 대기업이 91.0%, 32.1%, 중소·중견기업이 88.9%, 43.0%이며, 유효데이터 기준은 대기업이 53.0%, 60.4%, 중소·중견기업이 66.5%, 63.7%이다.

## 5. 실증결과를 반영한 연간전력사용량 분석 및 EERS 활용방안

### 5-1. 조명기기

본연구의 실증결과와 대규모 조사를 통해 도출된 선행 연구자료를 활용하여 연간전력사용량 및 전력사용비중을 산정하였다. Table 11.은 조명기기에 대하여 산정한 결과를 정리해 놓은 것이다. 실증 대상이 아닌 가정부문과 가로등은 선행 연구자료를 활용하였으며, 연간전력판매량은 2016년 판매전력인 497,039GWh를 기준으로 하였다. 산업·건물 분야의 가동시간 및 사용율은 실증을 통해 분석된 평균값을 반영하였고, 분석결과 연간전력판매량 대비 조명기기 사용비율은 18.3%로 선행 연구 결과인 16.6%와 1.7% 차이를 나타냈다. 건

Table 9. 건물용도별 가동율과 부하율

구분	전체 데이터		유효 데이터		계량기 수
	가동율(%)	부하율(%)	가동율(%)	부하율(%)	
공장	89.2	42.9	66.3	63.8	44
일반건물	91.0	30.2	50.8	61.1	32

Table 10. 건물용도별 가동율과 부하율

구분	전체 데이터		유효 데이터		계량기 수
	가동율(%)	부하율(%)	가동율(%)	부하율(%)	
대기업	91.0	32.1	53.0	60.4	38
중소·중견기업	88.9	43.0	66.5	63.7	38

Table 11. 부문별 연간전력사용량(조명기기)

구분	보급용량 (MW)	가동시간 (H)	사용율 (%)	연간전력 사용량 (GWh)	연간전력 판매량 대비비율 (%)
산업	6,711.2	0.761×8,760	0.536	23,980.3	4.8
건물	16,938	0.766×8,760	0.491	55,805.4	11.2
가정	8,660.4	-	-	7,788.85	1.6
가로등	794.1	4,360	-	3,462	0.7
합 계	33,103.7	-	-	91,036.55	18.3

**Table 12.** 부문별 연간전력사용량(동력기기)

구분		보급용량 (MW)	가동시간 (H)	부하율 (%)	이용율 (%)	연간전력 사용량 (GWh)	연간전력 판매량 대비비율 (%)
전체 데이터	산업	86,088.3	0.89×8,760	0.429	0.7	202,007.93	40.6
	건물	12,202.7	0.91×8,760	0.302	0.8	23,501.65	4.7
	합계	98,291.0	-	-	-	225,509.58	45.4
유효 데이터	산업	86,088.3	0.66×8,760	0.638	0.7	223,295.76	44.9
	건물	12,202.7	0.51×8,760	0.611	0.8	26,543.30	5.3
	합계	98,291.0	-	-	-	249,839.07	50.3

물부문은 실증분석결과 11.2%, 선행연구 11.3%로 큰 차이가 없었으나, 산업부문의 경우 실증분석결과 4.8%, 선행연구 3.0%로 상대적으로 큰 차이를 보인다.

## 5-2. 동력기기

조명기기와 동일하게 실증결과와 선행연구 자료를 활용하여 연간전력사용량을 산정하였으며, 냉장고·선풍기 등 가전제품에 주로 사용되는 소형전동기를 제외한 산업, 건물부분에서 일반적으로 사용되는 전동기에 대해 산정하였으며 그 결과는 Table 12.에 정리하여 나타내었다.

전체데이터를 바탕으로 분석한 결과 연간전력판매량 대비 동력기기 사용비율은 45.4%로 선행연구 결과인 43.3%보다 +2.1% 차이를 나타내었으며, 같은 해 수행된 다른 선행연구 결과인 46.3%과는 -0.9% 차이를 보였다. 또한, 유효데이터를 바탕으로 분석한 결과는 연간전력판매량 대비 동력기기 사용비율은 50.3%로 선행연구 결과인 43.3%보다 +7.0% 차이를 나타내었으며, 같은 해 수행된 다른 선행연구 결과인 46.3%과는 4.0% 차이를 보였다.

## 5-3. EERS 활용방안

EERS는 에너지소비자와 직·간접적 접점에 위치한 에너지공급자에게 효율향상에 따른 에너지절감 의무목표를 부여하여 효율향상 투자유도 및 국가에너지 절감성과 극대화를 유도하는 제도로 EU에서는 WC(White Certificate) 또는 EEO(Energy Efficiency Obligation), 미국 등에서는 EERS(Energy Efficiency Resource Standard)로 명칭으로 2000년대 초중반부터 활발히 운영되고 있다. 국내에서는

2018년 고시개정을 통해 시행을 확정하였으며, 현재 시행대상은 한국전력공사등이 있다. EERS제도의 안정적 도입을 위해서는 정확한 절감량 산정방법이 필수적인 요소이며, 절감량 산정 방법으로는 설비에 대해 직접측정방식, 설비의 일부를 측정하는 방식, 통계를 활용하여 표준절감량을 산정하는 방식으로 크게 구분할수 있다. 직접 측정을 하는 방법이 절감량에 대한 신뢰도를 높일수 있지만 측정에 수반되는 비용이 효율향상 투자비용보다 높을 개연성이 있어, 측정 대상은 건물전체, 산업공정 개선등의 대규모 프로젝트에 국한 하는 것이 적합하다. 조명기기, 전동기와 같은 단품의 설비에는 해당 연구와 같이 실증에 기반한 신뢰도 높은 표준절감량을 산정하고 이를 활용하여 절감량을 산정하는 방법이 효과적일 것이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 국내 총 전력사용량의 60% 이상을 차지하는 전동기, 조명기기 사용실태에 대한 대규모 실증을 통하여 가동을 및 부하를 등을 분석하였다. 350여개 사업장에 500여개 계량전송장치를 설치하고 LTE통신을 이용해 100% 실시간 데이터를 수집하여 분석을 실시하였으며, 이를 통해 연간 전력 사용량등을 도출·분석하였다. EERS 제도도입에 필수 조건인 절감량산정을 위해서 본 논문에서 제안한 분석결과를 활용하면 비용효과적이고 신뢰도가 높은 에너지절감량을 산정할수 있고, 더 나아가 에너지기본계획, 전력수급계획 등 국가에너지 계획수립에도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(20152010103110)

## References

1. KEEI, 2018, Yearbook Of Energy Statistics
2. MOTIE, 2017, 8th Basic plan of power supply and demand
3. ATEE, 2015, Snapshot of Energy Efficiency Obligations schemes in Europe
4. EUROPEAN COMMISSION, 2006, Directive 2006/32/EC on Energy End-Use Efficiency and Energy Services
5. EUROPEAN COMMISSION, 2012, EU Energy Efficiency Directive (2012/27/EU) Guidebook for Strong Implementation
6. KEPCO, 2017, The Monthly Report on Major Electric Power Statistics
7. KEA, 2017, An Analysis of the current status and supply outlook of domestic power consumption by power usage device
8. KEA, 2017, A Study on the survey and analysis of motor technology, market and supply status and the activation of supply system