

실증 ESS 기반 유통 물류시설의 에너지 사용량 분석 및 평가를 위한 측정경계와 영향변수 선정 방법론 및 가이드라인

정기철[†] · 권동명 · 최옥환 · 고명찬

(주)에코센스

(2020년 4월 7일 접수, 2020년 5월 11일 수정, 2020년 5월 15일 채택)

Methodology and Guidelines for Selecting Measurement Boundaries and Influence Variables for Analyzing and Evaluating Energy Usage in Demonstration ESS-Based Distribution and Logistics Facilities

Kicheol Jung[†] · Dongmyung Kwon · Okhwan Choi · Myungchan Go

ECOSENSE

(Received 7 April 2020, Revised 11 May 2020, Accepted 15 May 2020)

요 약

ESS 기반 건축물은 에너지 절감을 ZEB, BEMS, FEMS 등 에너지 절감을 위한 주요한 수단으로 활발히 연구되고 있다. 하지만 규모가 큰 건축물에서는 에너지 사용설비가 매우 많아, 실시간 계측 시스템 구축을 위해서는 중요 에너지 사용 설비 파악이 필요하다. 또한 에너지 사용량이라는 종속변수에 영향을 끼치는 인자들 역시 무수히 많아, 효과적인 에너지 관리가 어렵다는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서는 실증 ESS 유통 물류시설을 대상으로 실사를 통해 에너지 공급현황에 따른 측정 경계 방법론을 적용, 계측 시스템 구축을 위한 우선순위를 제시하였다. 이후 실제 유통물류 시설의 에너지 사용량에 영향을 미치는 독립변수 파악을 위해 필요한 영향 변수들을 고유변수와 기상변수로 분류하여 종속변수인 실제 유통물류 시설의 에너지 사용량에 영향을 끼칠 가능성이 있는 모든 인자들을 영향변수화 하여, 이를 가이드라인으로 제시하였다. 본 연구 결과를 적용함으로써 복잡한 구조의 유통 물류 시설에서 저비용, 고효율로 모니터링 시스템 구축할 수 있고, 그렇게 계측된 에너지 사용량에 주요한 독립변수를 파악하여 에너지 사용량의 추이 파악과 절감포인트 도출을 통한 효과적인 ESS-기반 시설물의 운용이 가능할 것으로 기대된다.

주요어 : 건물에너지관리시스템, 측정경계 설정, 영향변수, 계측포인트, 유통물류시설

Abstract - ESS-based buildings are being widely studied as an effective methods for saving energy with ZEB, BEMS, and FEMS. However, in large scale buildings, there are many energy-consuming facilities, so it is necessary to identify important energy-consuming facilities to build a real-time measurement system. In addition, there are a myriad of factors that affect the dependent variable of energy use, therefore there is a limitation that effective energy management is difficult. Therefore, this study applied the measurement boundary setting methodology according to the energy supply status through due diligence for the demonstration ESS distribution logistics facility, and suggested the methodology for presenting priority for the construction of the measurement system. Afterwards, the impact variables that Acting as an independent variable affecting the energy consumption of the distribution and logistics facilities were categorized into intrinsic and meteorological variables. Lastly, all factors that could affect the energy consumption of the actual distribution and logistics facilities, were classified and presented as guidelines list.

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-2-850-2406 E-mail : talented1@ecosense.co.kr

By applying the results of this study, it is possible to build a monitoring system at a low cost and high efficiency in a distribution and logistics facility with a complex structure. And by identifying the main independent variables for the measured energy consumption, effectively identifying trends in energy consumption and deriving saving points It is expected to be able to operate the ESS-based infrastructure.

Key words : BEMS, Measurement boundary setting, Impact variable, Logistics facility

1. 서론

우리나라 건물부문의 최종 에너지소비는 1990년 이후 매년 2.5% 이상 증가하고 있다. ESS 기반 건축물은 BEMS, ZEB 등과 같은 건축물 단위의 에너지 절감을 실현하고자 최근에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있다^{1,2)}. 또한 산업부의 2017년 까지 공공기관 ESS, BEMS 설치 의무화 지침에 따라 ESS와 BEMS의 보급현황이 꾸준히 증가하였으며, ESS 기반 건축물들의 에너지 절감 효과 역시 입증되고 있다³⁾. 하지만 현재까지는 공공부문의 일반적인 사무 건물에 대한 ESS 보급 사례가 주로 연구되어 있으며, 일반적인 민간부문의 건물에 대한 ESS 기반 건축물의 연구사례는 많지 않다. 우리나라 건물부문의 최종 에너지 소비량 중 특히 상업건물의 증가율은 5% 수준으로 건물부문 에너지 소비 증가를 주도하고 있다⁴⁾. 이에 민간 부문으로의 정책적 BEMS 확대 의무화에 대한 논의도 활발하게 이루어지고 있어, 민간부문의 다양한 용도의 건물에 대해 ESS 기반의 건축물의 BEMS를 효과적으로 구축 및 운영하기 위한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

그러나 BEMS 및 ZEB 구현에 필수 요소인 계측 시스템 구축은 적지 않은 초기비용이 소요되는 계측기 설치 및 모니터링 시스템 구현이 필요하고, 이는 민간에서 BEMS 및 ZEB 도입을 꺼리는 가장 큰 원인이 되고 있다. 특히 유통물류시설의 경우 몇몇의 주요 설비가 대부분의 에너지사용량을 차지하는 공장과는 에너지 사용량의 특성이 달라 주요 에너지 사용 설비를 파악해 계측 시스템을 구축하는 방법론이 더욱더 중요하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 복잡한 에너지 사용 특성을 갖는 유통물류시설의 에너지 사용현황을 파악하여, 측정의 우선순위를 정하는 방법론을 제시할 것이고, 에너지사용량에 영향을 미칠 수 있는 다양한 영향인자들을 파악 및 분류하여 추후 계측된 에너지 사용량을 종속변수로 에너지 성과를 평가할 수 있는 근거를 제시하고자 한다. 본 연구 내용을 적용하여 민간의 ESS기반의 BEMS 및 ZEB 구축이 확대되고, 에너지 절감을 위한 정량적 평가가 가능할 것이다.

2. 대상 및 방법

본 연구는 실증의 ESS 기반 민간 상업용 건물 중에서 유통물류시설의 특성에 초점을 맞추어 진행되었다. 기존의 유통물류시설의 에너지사용현황을 파악 및 검토하여 계측포인트와 각 포인트의 우선순위를 새로이 도출하였다. 계측포인트는 건물의 특성에 맞추어 각각의 측정 경계 설정 방법론을 통해 도출될 수 있고, 본 실증 유통물류시설에서는 **에너지 공급 현황에 따른 경계 설정**을 적용하여 계측포인트와 우선순위를 도출하였다.

이후 계측될 데이터를 평가 및 분석하기 위해, 최종 절감 목표인 에너지 사용량을 종속변수로, 다양한 인자들을 계측 및 수집하여 중요 영향인자들을 선별 및 영향변수화 하는 일련의 과정에 대한 방법론을 구축하였다. 방법론은 유통물류시설에 특화된 에너지 사용 양상과 환경에 따른 주요 영향변수 선정의 가이드라인으로 구성하였다.

2-1. 측정경계설정

측정 경계 설정은 건물의 에너지원 흐름 파악 및 계측 수준을 확인하여 에너지성과평가를 어떻게 도출할 것인지 전략을 수립하는 단계로 선정된 건물 전체의 에너지 사용현황을 파악하여 에너지 모니터링이 필요한 시설별 우선순위를 도출하는 단계이다. 측정경계를 설정하는 방법은 복합 건물의 경우 부지 운영 주체에 따라 부지별로 경계를 설정하는 **부지 경계 설정**과 해당 건물내의 시설들을 용도별로 구분하여 비슷한 용도로 사용되는 시설들을 묶어 각각 부분시설로 경계를 설정하는 **용도구분에 따른 경계 설정**, 마지막으로 에너지사용량 데이터를 토대로 건물, 시스템 등의 정보가 포함된 Energy-flow map과 Fence diagram을 작성하거나, 각각의 에너지원 흐름을 파악, 동일 에너지원 및 에너지 공급을 받는 건물, 시스템 등을 하나의 부분시설로 측정 경계를 설정하는 **에너지 공급 현황에 따른 경계 설정**이 있다⁵⁾.

2-2. 영향변수 파악 및 분류

계측 시스템 구축 이후 수집된 데이터를 회귀분

석 모델을 통해 절감 성과를 평가하기 위해서는 에너지사용량과 더불어 에너지사용량에 영향을 주는 요인을 파악하여야 한다. 상대적으로 에너지사용 형태가 간단한 철강공장을 예시로 들면, 에너지사용량에 영향을 미치는 인자들은 외기온도, HDD, CDD, 생산량, 주요설비 가동률, 주요설비 가동시간 등으로 이야기할 수 있다. 이처럼 에너지 사용량에 영향을 미치는 측정 가능한 요인을 영향변수라 한다. 영향변수는 일상적으로 에너지사용량에 영향을 미치는 독립변수와 비일상적으로 영향을 미치는 정적요인으로 구분된다. 에너지 사용량을 종속변수로 회귀분석을 진행하기 위한 영향변수들을 파악 및 분류하여, 에너지사용량과 영향변수들 간의 상관관계 분석을 진행한다. 그 영향인자들 중 에너지 사용량과의 상관관계가 통계적으로 유의미한 인자들과 에너지사용량의 선형 회귀분석을 통해 에너지사용량 모델을 구축하는 단계이다. 이렇게 구축된 모델은 추후 에너지 절감 성과를 정량적으로 도출할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

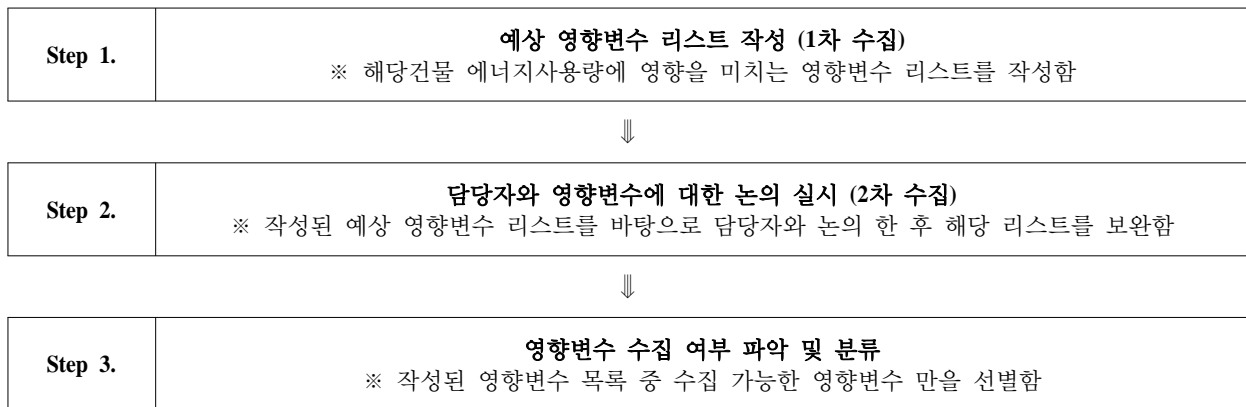
3-1. 측정 경계 설정 및 계측기 설치 포인트 도출

유통물류 시설에서의 에너지 사용량 분석 및 평가를 위해 측정 경계 설정을 위해 먼저 최적 경계 설정 방법론을 선택하여야 한다. 본 연구에서는 실제 각 층별로 구분된 건물의 경우를 기준으로 방법론을 적용하였다. 각 층별로 구분된 건물 대부분의 경우 에너지 사용량 고지서 역시 각 층별로 관리된다. 따라서 각각의 층을 건물의 부분시설로 구역화한 뒤 에너지사용량을 파악하는, **에너지 공급 현황에 따른 경계설정 방법론**을 적용하여 측정경계를 설정하였다. 먼저 고지서를 통해 도출된 층별 에너지 사용량을 바탕으로 <표 1>의 2단계와 같이 정량

적으로 도표화하여 계측 우선순위를 도출하였다. 그 결과를 바탕으로 해당 건물의 담당자와의 논의를 통해, 관리 및 설치의 용이성, 계측 시스템 구축 비용의 합리성, 현장의 요구사항 등을 정성적으로 반영하여 <표 1>의 2단계와 같이 최종적으로 계측 시스템 구축 범위 및 우선순위를 선정하였고, 이를 토대로 계측 시스템 구축을 추진하였다. 본 연구에서 실증의 유통물류시설을 대상으로 적용한 3단계의 정량적, 정성적 방법론은 각각의 건물에 대해 적용이 가능하다.

3-2. 영향변수 파악 및 분류

에너지사용량에 영향을 끼치는 잠재적 변수들을 영향변수라 한다. 일반적으로 건물의 에너지 사용량에 영향을 끼치는 변수는 크게 2 종류로 기상변수와 고유변수로 구분이 된다. 기상변수는 기상정보를 변수화 한 것으로 건물의 에너지 사용량에 일반적으로 영향을 끼치는 변수로, 대표적으로 일평균 기온, 일평균 상대습도, HDD(Hot Degree Day, CDD(Cooling Degree Day) 등이 있다⁶⁾. 고유변수는 대상 건물의 고유한 용도 및 특성에 따라 에너지 사용량에 영향을 끼치는 변수이다. 건물의 재실률, 물품의 생산량, 건물 내 설비의 작동시간과 같이 그 종류가 매우 많고 복잡하여 영향변수를 산정하기도 데이터를 수집하기도 어렵다는 특징을 가지나, 건물의 에너지 사용량에 대한 상관관계는 보통 기상변수에 비해 큰 편이다⁷⁾. 영향변수의 정확한 파악은 에너지절감이라는 최종 목표를 달성하기 위해 필수적이라고 할 수 있다. 하지만 이러한 영향변수들은 따라서 본 연구에서는 실증 유통물류 판매시설을 대상으로 에너지 사용량에 잠재적으로 영향을 끼칠 수 있는 변수인 영향변수들을 파악 및 분류하였다. 영향변수의 선정은 <그림 1>과 같이 3가지의 단계로 진행된다. 1단계에서는 대상 건축물의 특성 및 에너지사용 설비 현황을 바탕으로 예상



<그림 1> 영향변수 선정 단계

<표 1> 판매시설 측정경계 설정 방법

구분	내용				
1단계	해당 판매시설의 전체 운영경계 확인				
2단계	건물 층별 에너지사용량 파악하여 에너지 모니터링이 필요한 우선순위를 도출				
	구분	에너지원	에너지사용량(GJ)	비율(%)	우선순위
	5층 영화관, 식당	전력	120	39%	1
		LNG	60		
		스팀	20		
		합계	200		
	4층 생활잡화	전력	80	24%	2
		LNG	40		
		합계	120		
	3층 남성의류	전력	40	11%	3
		LNG	15		
		합계	55		
	2층 여성의류	전력	20	6%	6
		LNG	10		
		합계	30		
	1층 화장품	전력	38	10%	4
		LNG	8		
		합계	51		
	지하1층 식당	전력	43	10%	4
		LNG	7		
스팀		1			
합계		51			
총합		507	100%	-	
3단계	에너지 모니터링이 필요한 측정경계 설정				
	구분	에너지원	비율(%)	우선순위	최종선정
	5층 영화관, 식당	전력	39%	1	✓
		LNG			
		합계			
	4층 생활잡화	전력	24%	2	✓
		LNG			
		합계			
	3층 남성의류	전력	11%	3	
		LNG			
		합계			
	2층 여성의류	전력	6%	6	
		LNG			
		합계			
	1층 화장품	전력	10%	4	
		LNG			
		합계			
	지하1층 식당	전력	10%	4	✓
		LNG			
		스팀			
합계					
총합		100%	-		

<표 2> 판매시설 영향변수

구분	설명
건물 전체	<p style="text-align: center;"><건물전체 M&V 적용 시></p> <p>건물 전체에 대한 M&V 적용 시, 에너지원 측정과 동일 기간에 해당되는 독립변수를 파악해야함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 종속변수 <ul style="list-style-type: none"> •에너지사용량 <ul style="list-style-type: none"> → 고지서 자료 활용 → 측정기기(계측기)를 활용하여 수집된 데이터 활용 - 독립변수 <ul style="list-style-type: none"> •월별 이용객 수 •판매시설 가동시간 •매출액 •냉방/난방 기준온도 •운영일
판매 시설 존별 (영향 변수)	<p style="text-align: center;"><대형마트 프로젝트 M&V 적용></p> <p>대형마트 내 코너별 공간을 대상으로 에너지절감 솔루션이 적용된 경우, 관련 용도별 에너지원 측정과 동일 기간에 해당하는 독립변수 data 수집 및 적용을 통해 프로젝트 에너지 성과평가 수행</p> <ul style="list-style-type: none"> - 종속변수를 경계 내 모든 에너지 사용량 또는 난방, 냉방, 냉난방 등으로 구성하여 관련 독립변수를 적용하여 수행할 수 있음 - 프로젝트 M&V는 월별 또는 주단위로 데이터를 수집하여 성과평가 할 수 있음 - 적용되는 에너지절감솔루션의 종류에 따라 영향을 미치는 공간의 범위를 선택적으로 구분하여 M&V 방법론을 적용할 수 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 종속변수 <ul style="list-style-type: none"> •프로젝트 M&V 대상 단위(층 또는 코너)별 에너지사용량의 면적대비 구분 <ul style="list-style-type: none"> → 공간이 구분되어 있으며, 공간별 에너지사용량이 계측이나 산정이 가능한 경우 공간으로 구분 •용도별 에너지 사용량 계측 <ul style="list-style-type: none"> → 냉방, 난방, 급탕, 공조 등 일부 용도에 관한 에너지절감솔루션 적용일 경우 해당 용도의 에너지 사용량을 분리하여 M&V 방법론 적용 *예) 공조에 대한 절감솔루션이 적용된 경우, 공조 설비의 에너지사용량과 공조 에너지사용에 영향을 미치는 영향변수 데이터 수집을 통해 M&V 방법론을 적용할 수 있음 - 독립변수 (공통) <ul style="list-style-type: none"> •해당 면적의 고객 수(총 고객 수 대비) •단위시간 당 해당 면적의 고객 수(총 고객 수 대비) •해당구역 상주 직원 수 •해당면적 전등 종류별 개수 및 사용시간 •냉·난방 기기 가동시간 (냉장/냉동식품 코너) <ul style="list-style-type: none"> •냉장고 대수 •냉동고 대수 •냉장·냉동 쇼케이스 대수 (야채 및 신선코너, 정육코너) •냉장고 대수 •냉장 쇼케이스 대수 •냉동고 대수 (수산물 코너) <ul style="list-style-type: none"> •수족관 대수 •수산물 쇼케이스 대수

구분	설명
	<ul style="list-style-type: none"> •가공 기기 대수 및 사용시간 (조리코너) •조리기구 대수 및 사용시간 (제과·제빵코너) •제빵기구 대수 및 사용시간 •제빵 인력 및 근무시간 (전자제품코너) •전시상품 대수 및 사용시간 (푸드 코트) •조리기구 대수 •영업시간 •직원 평균 근무시간 •고객 수 (입점매장) •영업시간 •직원 평균 근무시간 •고객 수 (지원시설) •포스 대수 •사무기기 대수 •직원 평균 근무시간 •에어커튼 사용시간 (주차장) •시간별 주차대수 •동절기 도로열선 사용시간 (물류창고) •평균 물류량(일정 기간) •물품 종류별 물류량 •물류창고 직원 평균 근무시간 •물류장비 대수 및 사용시간

영향변수의 리스트를 작성하며, 본 단계에서는 영향변수의 수집가능성 등은 염두에 두지 않고 최대한 넓은 범위에서 모든 변수를 작성하여 목록화 한다. 2단계에서는 대상 건축물의 담당자와의 협의를 통해 영향변수에 대한 논의를 실시하며 누락된 영향인자를 보충 및 보완하여 리스트를 작성한다. 마지막 3단계에서는 그렇게 추려진 영향변수 중에서 수집이 가능한 영향변수만을 취사선택하여 최종적인 영향변수로 선정하여 목록화 하도록 한다.

본 연구에서 대상 건축물에 대해 영향변수 선정 단계를 통해 최종적으로 도출된 영향변수는 <표 2>와 같다. 이렇게 선정된 영향변수들을 독립변수로 종속변수인 에너지 사용량과의 상관관계 분석을 통해 에너지사용량 절감 방안을 도출할 근거를 얻을 수 있다. 본 연구의 목적은 실증 유통물류시설의 실사를 통해 도출된 영향변수들을 목록화하여 일반적인 유통물류시설의 영향변수 선정을 위한 가

이드라인을 제시하는 것으로, 실제 각각의 건물별로 영향변수의 적용 및 검증은 상황에 맞게 적용해야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 민간부문의 건물 중에서도 실증 유통물류시설을 대상으로 특정하여, 일반적인 유통물류시설의 에너지 사용량 분석 및 평가를 위한 계측 포인트 선정을 위한 방법론과, 에너지 사용량에 직접적인 영향을 줄 수 있는 영향변수 중 유통물류시설에 직접적인 영향을 미치는 고유변수를 실사 조사를 통한 결과로 영향변수를 목록화하여 적용 가능한 가이드라인을 제시하였다. 본 연구결과 및 가이드라인을 적용하여 저비용 고효율의 계측시스템 구축과 보다 정확한 영향변수 파악을 통해 에너지사용량 절감을 위한 방안 도출이 가능할 것이다.

5. 사 사

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 20172410104800)

References

1. Hong, J., Cho, G., Lee, S., Yoe, M., & Kim, K., 2008, October. A study on application status and improvement direction of the building energy management systems (BEMS) in Korea. In Korean Institute of Architectural Sustainable Environments and Building Systems Fall 2008 Conference pp. 194-197.
2. Park, J. H., & Hong, T. H., 2010. Improvements of Policies related Building Energy Reduction in Korea. Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 11, No. 4, pp. 32-40.
3. Cho, H. S., 2014. Energy Management System (EMS) based on Energy Storage System (ESS). In Proceedings of the KIEE Autumn Conference, KIEE, pp. 257-259.
4. Kwon K, S., 2019,, The Ministry of Trade, Industry and Energy of Korea, <http://www.motie.go.kr>
5. Kim, J. H., Kim, H. S., Choe, S. J., Park, S. G., Kim, J., & Jang, Y. G., 2011. A Study on the Calculation of \$ CO_2 \$ Emission and Road Freight Environmental Index for Logistics Companies. Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 29, No. 2, pp. 25-35.
6. Jung, S. W., & Kim, S., 2014. Electricity demand forecasting for daily peak load with seasonality and temperature effects. The Korean Journal of Applied Statistics, Vol. 27, No. 5, pp. 843-853.
7. Kwon, W. J., Yoon, J. H., & Kwon, D. M. (2018). A Study on the BEMS Installation and performance Evaluation Method for Energy Monitoring (Measuring) of New Building. Journal of Energy Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 32-48.