

조명제어시스템을 위한 효율적인 계측 및 검증(M&V) 기법 연구

김정욱* · 부창진** · 김정혁*** · 오성보*** · 김호찬***†

*상명대학교 에너지그리드학과, **제주대학교 첨단기술연구소, ***제주대학교 전기공학과
(2011년 5월 11일 접수, 2011년 9월 4일 수정, 2011년 9월 4일 채택)

A Study on the Effective M&V Method for the Lighting Control System

Jeong-Uk Kim*, Chang-Jin Boo**, Jeong-Hyuk Kim***,
Seong-Bo Oh***, and Ho-Chan Kim***†

*Dept. of Energy Grid, Sangmyung University, **Research Institute of Advanced Technology, Jeju National University,
***Dept. of Electrical Eng., Jeju National University

(Received 11 May 2011, Revised 4 September 2011, Accepted 4 September 2011)

요 약

본 논문에서는 다양한 공장 및 빌딩에서 조명제어시스템을 대상으로 계측 및 검증(M&V) 방법을 사용하여 효율적인 에너지 절약 방법을 제시한다. 에너지 가격을 줄이기 위해서는 전력피크시간에 제어가능한 다양한 수요자원을 고려하는 필요하지만, 일반적으로 빌딩에서 고려되는 수요자원은 피크전력이다. 본 논문에서는 M&V 방법을 사용하여 전력소비량을 줄일 수 있는 새로운 에너지절약방법을 제안하고 현장계측시스템을 구성하고 시뮬레이션 방법을 통해 제안된 방법이 효과적임을 확인한다.

주요어 : 조명제어, 계측 및 검증(M&V) 기법, 빌딩에너지, 에너지절감, 부하제어

Abstract — This paper presents an effective energy saving algorithm for lighting control systems using M&V method in various buildings and factories. It is important to aggregate a various demand side resource which is controllable at the peak power time to reduce the energy cost. Previous demand side algorithm appropriate for building is based on peak power. In this paper, we develop the new energy saving algorithm using M&V method to reduce the quantity of power consumption. The simulation results show that the proposed method is very effective.

Key words : Quantity of Power Consumption, Load Control, Energy Saving, Building Energy

1. 서 론

에너지다소비 사회로 진입한 우리나라는 비용효과적인 에너지정책의 수립이 필요하다. 소모 비용 측면에서 에너지효율 및 수요관리는 지구온실가스를 저감시키기 위한 최적의 수단으로 간주되고 있다. 수요관리는 전력수요를 합리적으로 조절하여 부하율 향상을

통한 원가절감과 전력 공급안정을 도모함과 동시에 국가적인 에너지자원 절약에도 기여한다. 지금까지의 수요관리 정책은 침투부하 억제에 위한 심야전력 활용, 최대수요전력제어, 직접부하제어, 원격제어에어컨 등의 방법이 제시되어 왔다 [1-2].

국내의 경우, 에너지 효율 및 수요관리 투자 효과를 측정할 수 있는 신뢰할 만한 수단 및 방법의 제안 및 적용이 극히 제한적으로 수행되어 왔으며, 이에 따라 에너지효율 및 수요관리에 대한 투자가 제한되고 있는 실정이다. 현재 수요 관리사업에 대한 평가를 위

†To whom corresponding should be addressed.
Department of Electrical Engineering, Jeju National University,
Jeju 690-756, Korea
Tel : 064-754-3676; Fax : 064-756-5281; E-mail : hckim@jeju.ac.kr

한 지표는 주로 조사데이터에 의존하고 있으며, 프로그램별 에너지 절감량과 최대수요 절감량에 대한 현장측정 등을 통한 성과검증은 수행되고 있지 않다. 에너지의 효율적 사용에 의한 온실가스 배출저감 및 전력수요 피크저감 등이 다른 대안들과 경쟁하기 위해서는 수요관리 프로그램의 효과를 지속적이고 신뢰성 있는 한국형 M&V(Measurement and Verification) 도입방안에 대한 연구가 필요하다 [3].

스마트그리드(Smart Grid)는 고도의 성과검증 능력을 바탕으로 수요관리의 신뢰성과 예측 가능성을 높여주고, 에너지절약 수단의 절약 효과를 정량화시켜 준다. 스마트그리드의 발전된 계량 시스템과 통신 인프라는 데이터의 측정과 저장, 검색을 도와줌으로써 쉽게 에너지 절약과 수요 감소를 확인할 수 있게 해 준다. 이것은 전력사업자들이 에너지 효율 및 수요반응 프로그램을 보다 자신 있게 통합 자원관리계획에 결합시킬 수 있게 하고, 전력사업자가 시행하는 에너지 효율 프로그램의 비용 효과성을 향상시켜 줄 수 있다. 이는 결국 현재 수준 이상의 에너지 효율 프로그램들을 시행할 여력을 갖게 해준다 [4].

본 논문에서는 에너지효율 개선 및 수요관리 기법의 경제성을 분석하고자 한다. 고효율 조명기기로의 교체에 따른 에너지절감효과 산정을 위해 표본수용가를 대상으로 교체전과 교체후 일정 기간동안 현장계측을 수행하고, 수용가별 연간 에너지절감량 및 피크 억제량을 산정하여, 전력사용량 및 첨두부하 억제를 위한 조명제어기의 운영 방식 및 제어 알고리즘을 고찰하고, 고효율 조명기기 교체 방법의 실측 결과 수요관리 방법의 결과를 보이도록 한다.

2. 고효율 조명기기 교체의 경제성 분석

2-1. 고효율 조명기기 보급 확대 정책

현재 국내에서 시행되고 있는 고효율기기 보급 확대를 위한 제도는 효율관리제도인 ‘고효율기자재 인증제도’, ‘에너지소비효율등급제도’, ‘대기전력저감프로그램’와 고효율기기 교체 및 설치에 대한 장려금을 지원하는 ‘고효율기기 장려금 지원제도’가 있으며, 고효율기기의 보급확대라는 공동의 목표로 대상 및 그 방법에서 차별성을 두고 시행되고 있다.

본 논문에서는 고효율기기 장려금지원제도를 통해 보급이 진행되고 있는 고효율 조명기기를 대상으로 하며, 이들 기기의 품목별 설치 지원금 및 장려금 지원수

Table 1. 고효율 조명기기 품목별 지원금 지급기준

고효율 조명기기		개당 절전 용량 (kW/개)	최소 시설수량 (개)	지원단가 (원/개)		
				신설	교체	
형광 등용 안정기	FLR	32W 1등용	0.018	56	-	2,100
		32W 2등용	0.036	28	-	3,100
	FPL T-5	32W 1등용	0.018	56	1,400	2,100
		32W 2등용	0.036	28	2,100	3,100
	MH	150W용	0.05	20	9,200	
		200W용	0.07	15	10,000	
350W용		0.09	12	10,800		
LED 조명	백열등 대체용	5W 이하	0.025	40	25,000	
		5W 초과 10W 이하	0.05	20	34,500	
		10W 초과	0.09	12	59,000	
	할로겐등 대체용	5W 이하	0.025	40	13,000	
		5W 초과 10W 이하	0.05	20	33,000	
		10W 초과	0.09	12	57,500	
LED 유도등	단면 (피난용)	소형	0.003	34	10,000	
		중형	0.003	34	12,000	
		대형	0.002	50	15,000	
	양면 (피난용)	소형	0.006	17	13,000	
		중형	0.006	17	15,600	
		대형	0.004	25	19,500	
	단면 (통로용)	소형	0.0024	42	10,000	
		중형	0.003	34	12,000	
		대형	0.002	50	15,000	
	양면 (통로용)	소형	0.0048	21	13,000	
		중형	0.006	17	15,600	
		대형	0.004	25	19,500	

※ 출처: 전력수요관리사업 관리지침(2009. 8. 4)

준은 Table 1과 같다. 이 때, 지원금은 고효율 조명기기의 경우 절전용량의 합이 1 kW 이상 신설 또는 교체한 경우 지급된다. 단, 고효율 피난용 LED유도등, 통로용 LED유도등 등은 절전용량의 합이 0.1 kW 이상 신설 또는 교체한 경우도 포함한다.

2-2. 절감량 산정 방안

수요관리사업 설계단계에서 기대(목표)했던 에너지 절감량(성과)을 달성했는지 여부를 검증하기 위해서는 정확한 계측과 M&V 프로토콜로 알려진 시행절차 및 검증방법론의 정립이 필요하다. 고효율 조명기기 교체의 효율을 산정하기 위해 교체전후 에너지절감량은 일반적으로 다음과 같이 결정된다.

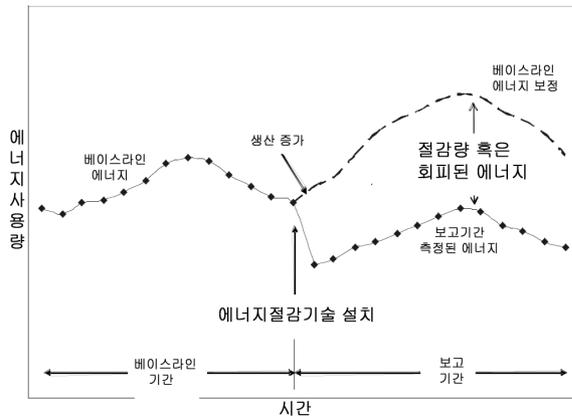


Fig. 1. 에너지절감량 산정개념

$$\text{에너지절감량} = \text{베이스라인 에너지} - \text{설치 후 에너지} \pm \text{보정}$$

베이스라인 에너지는 에너지효율향상 프로그램의 시행 전의 에너지사용량을 의미하고 설치 후 에너지는 에너지효율향상 프로그램 시행 후의 에너지사용량을 의미한다. 에너지효율향상 프로그램과 무관한 에너지 사용량의 변화는 최종 에너지절감량을 추정할 때 정 (+) 또는 부(-)의 값으로 보정되는데, 에너지 사용량에 영향을 미치는 조건들은 즉 날씨, 부하점유형태, 설비의 처리량 및 설비 운전(계획)들의 값에 따라 달라진다. 일반적으로 보정 항목은 종종 날씨의 변화나 생산량 변화 등과 같은 계절적 또는 주기적인 기간 동안 발생 가능하고 예상되는 매개변수의 변화에 대한 일상적 보정치와 설비의 규모, 냉방/난방 면적, 생산제품의 유형, 건물외장 특성, 시설 내에 설치된 장비의 크기, 유형 및 용도, 실내 환경 조건 및 점유 유형 등과 같이 통상적으로 고정적이라고 예상되는 요소들에 변동이 있을 경우에 대한 비일상적 보정치의 두 가지 유형의 보정 항목으로 구분된다. 베이스라인과 설치 후 에너지 사용량은 계측 형태에 따라 구분되는 여러 가지 M&V 접근 방법을 통해서 결정될 수 있다.

미국에서는 에너지절감량을 보정하기 위해서 에너지 정책법으로 에너지절감기술을 도입하는 계약 수행자가 연간 에너지절감 비용을 검증하도록 규정하고 있다. 측정과 검증의 목표는 계약 기간 동안 프로젝트의 성과를 평가하는 방법을 제시함으로써 기관이 가지는 위험을 줄이는 것이다. IPMPV(International Performance Measurement & Verification Protocol)는 에너지 효율 향상사업을 촉진하고 에너지 효율 제고에 존재하는 장

Table 2. IPMVP M&V 옵션의 적용 대상

구 분	대상 프로젝트
Option A: 주요변수 측정	<ul style="list-style-type: none"> - 절감량이 작고, 독립변수 및 미지수가 제한된 프로젝트 - 에너지저감불가능에 대한 위험도가 낮은 프로젝트 - 상호영향효과를 무시하거나 약정하는 프로젝트
Option B: 전체변수 측정	<ul style="list-style-type: none"> - 단순 기기 대체 프로젝트 - 개별 방안별 에너지 절감량 산정이 필요한 프로젝트 - 상호영향효과를 무시하거나 약정하는 프로젝트 - 독립변수들이 복잡적이지 않은 프로젝트
Option C: 전체시설	<ul style="list-style-type: none"> - 복합프로젝트 - 개별 방안별 에너지 절감량 산정이 필요 없는 프로젝트 - 기대절감량이 실제 절감량보다 큰 프로젝트 - 상호영향효과를 포함하는 프로젝트 - 독립변수가 복잡적이지 않고 모니터링 용이한 프로젝트
Option D: Calibrated 시뮬레이션	<ul style="list-style-type: none"> - 신규건물 또는 방안별 에너지 절감량이 요구되는 프로젝트 - Option C로 비효율적인 평가가 어려운 방안 - 복합적인 baseline조정이 기대되는 프로젝트 - Baseline 계측자료 부재 또는 자료수집비용이 높은 프로젝트

애를 극복하기 위하여 성과의 계량 및 검증에 대한 정의와 포괄적인 접근방법을 제공하여 M&V 절차의 기본적인 틀을 마련해 줌으로써 에너지 효율 기기 구매자와 판매자가 용이하게 M&V를 적용할 수 있도록 할 목적으로 설계되었다. 하지만 IPMVP는 구체적인 기기나 기술 등에 대한 세부사항은 제공하지 않는다. IPMVP는 미국뿐만 아니라 국제적으로도 폭넓게 채택되어 많은 나라에서 표준 M&V 문서가 되고 있으며 미국의 에너지 서비스 회사들은 M&V의 산업표준으로 IPMVP를 채택하고 있다.

에너지절감량을 추정하기 위해서 M&V를 실시할 경우 에너지절감기술만을 측정할 수도 있고 에너지절감기술을 포함한 설비 전체를 측정할 수도 있다. IPMVP에서 M&V 옵션에 따른 특징을 정리하면 Table 2와 같은데, 기본적으로 4가지의 옵션을 제공한다. 본 논문에서 적용할 예정인 옵션 A와 B는 전체 설비로부터 분리된, 개별적인 에너지절감기술에 대한 M&V에 초점을 맞춘다. 옵션 C는 설비 전체 혹은 하위 단의 에너지사용량 미터 혹은 요금계산서를 이용하여 에너지절감기술로 인한 에너지절감량을 추정한다. 옵션 D는 기초년도 또는 설비 교체 이후 자료가 신뢰할 수 없거나 이용할 수 없을 경우에, 절감량 결정이 가능한 장비의 에너지 이행 또는 전체 설비에 대해 시뮬레이션하고 이에 의거하여 절감량을 산정한다.

옵션 A의 일반적인 적용대상으로는 조명기기 교체 등이며 사용시간은 건물의 일정이나 근무자의 행동에 따라서 정해지고 소비전력의 측정은 주기적으로 이루어진다. 에너지절감량 측정방법은 주요 인자를 단기 혹은 연속 측정하거나 추정하여 교체 전과 교체 후의 에너지사용량을 공학적으로 도출하고 이로부터 에너지절감량을 추정한다.

본 논문에서는 단상 2선식 전자식 전력량계를 사용하여 조명기기의 적산전력량을 1분단위로 검침하여 인터넷 통신을 이용하여 DB에 기록한다. 적산전력량값은 1시간단위로 차이값(kWh)을 계산한다. 측정 결과는 Fig. 2와 같은 과정으로 분석한다.

여기서 연간 에너지 절감량을 산출하기 위하여 월별 조명 사용시간이 일정하며, 전기요금은 산업(병) 고압 A의 평균 요금을 산정한 결과인 91.9원/kWh을 적용

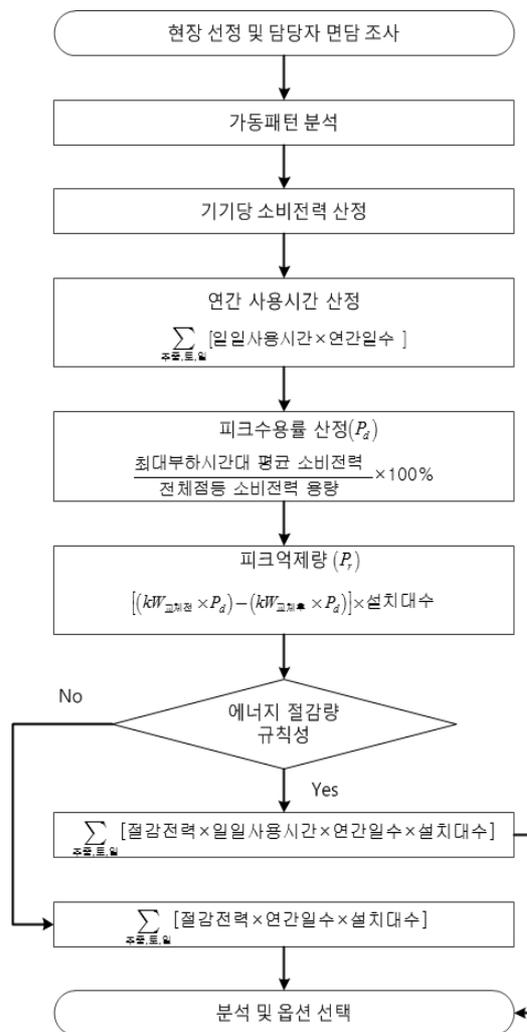


Fig. 2. 에너지절감량 분석과정

하였다.

수용가별 현장 M&V는 대상 수용가의 현장정보 수집 및 분석, 현장계측 및 결과분석, 에너지절감량 및 피크억제량 산정 순으로 진행된다. 수용가별 현장정보 수집 및 분석은 M&V 시행에 앞서 실시한 수용가 사전조사 및 현장실무자와의 면담을 통해 취득한다. 사전조사 결과 대부분의 대상수용가는 사업장 전체보다는 일부 사업장을 대상으로 고효율 조명기기를 교체하는 경우가 많다. 따라서, 교체대상 기기와 교체수량, 그리고 설치장소는 실제 교체가 이루어진 장소를 대상으로 한정한다.

3. 조명 절전 운전의 경제성 분석

3-1. 조명 절전 운전

수요관리는 조명기기의 교체와는 달리 수요를 조절하여 에너지 사용량을 절감하는 것이다. 수요관리의 일환인 IT 기반의 부하제어는 IT 기술을 활용하여 수동 또는 자동으로 부하제어를 실행하게 된다. 제어가능한 부하의 예는 다음과 같다.

- 1) 조명부하 : 근무공간, 공용공간의 존별 격등 구성 등
- 2) 사무용기기 : 냉장고, 복사기, 선풍기
- 3) 냉난방부하 : 공용공간 온도조절, 근무자 zone별 온도조절, 냉동기보일러 ON/OFF

개별 부하가 가지는 고유한 제어 특성으로 인하여 부하제어시 제한 사항을 가지고 있으며, 이에 대한 사례는 아래 표와 같다. 부하제어 시의 제한 사항은 현장 상황에 맞추어 다음 Table 3과 같이 설정하였다.

Table 4와 같이 설정한 자동 부하제어 알고리즘은 근무시간 중에 지속적으로 수행되므로 적용 시점이 너무 이르거나 빠른 시점에 수행되면 근무 환경에 악영향을 미칠 수 있다 [6-7]. 따라서, 빈번한 제어를 억제하여 사용자의 운용환경에 미치는 영향을 최소화하여

Table 3. 부하제어 제한 사례

부하	구분	현재값	제한사례	지속시간	제어방향
부하1	A	ON			
부하2	A	OFF			
부하3	B	ON	ON지속시간 10분	8	
부하4	B	OFF	OFF지속시간 5분	8	
부하5	C	26	상한값 28		+
부하6	C	22	하한값 20		-

Table 4. 조명 부하제어 방안

시간대	조명		제어방법
	근무공간	공용공간	
00:00~08:00	-	필요시 ON	재부재 제어
08:00~12:00	상시 ON		재부재 제어
12:00~13:00	점심시간 OFF		스케줄 제어
13:00~18:30	상시 ON		재부재 제어
18:30~24:00	-		재부재 제어

야 한다. 조명 교체 사업과 비교될 수 있는 단순한 조명제어 알고리즘은 점심 시간 중의 조명 소등과 공용공간의 필요시 조명 점등이다. 이는 조명 자동제어 시스템의 스케줄 제어와 동작 감지 센서를 활용하여 가능하다.

3-2. 절감량 산정 방안

전력수요관리사업의 효율성과 투명성을 확립하고 개선방안을 수립하기 위해서는 합리적인 사업선정, 포트폴리오 구성, 투자규모 및 우선순위 등 다양한 정책적 의사결정이 필요하다. 수요관리 M&V는 전력수요관리 사업추진을 통해 실질적으로 달성한 에너지절감량(Energy Savings)에 대한 객관적인 성과를 계량하기 위해 시행하는 일련의 성과계량 과정이며, 수요관리사업 설계단계에서 목표로 예상했던 성과에 대한 달성여부를 검증하는 과정이다.

이를 위해서는 수요관리사업의 투자비용 및 편익의 정확한 측정과 검증이 필요하며, 프로그램별 비용효과 검증에 필요한 전력량 절감효과(kWh) 및 최대수요 절감효과(kW)의 정확한 측정이 요구된다. 전력수요관리에 의한 성과계량지표는 전력수급정책의 수요관리 목표량을 수립하는데 필수적인 지표로서 중요할 뿐만 아니라, 수요관리 평가의 신뢰성과 효율성을 제고하는데 중요하기 때문에 M&V를 통한 합리적인 평가체계가 구축되어야 한다.

국내의 경우, 에너지 효율 및 수요관리 투자 효과를 측정할 수 있는 신뢰할 만한 수단 및 방법의 제안 및 적용이 극히 제한적으로 수행되어 왔으며, 이에 따라 에너지효율 및 수요관리에 대한 투자가 제한되고 있는 실정이다. 현재 수요관리사업에 대한 평가를 위한 지표는 주로 조사데이터에 의존하고 있으며, 프로그램별 에너지 절감량과 최대수요 절감량에 대한 현장측정 등을 통한 성과검증은 수행되고 있지 않다. 에너지의 효율적 사용에 의한 온실가스 배출저감 및 전력수요

Table 5. 수용가별 연간 전력사용시간

부문	업종	대상수	대상 수용가	검침포인트	연간사용시간 (h/년)
산업	식품	2	현장 1	가동공급실	6,119.9
			현장 2	공작실	2,655.5
	섬유	2	현장 3	공장동	6,128.3
			현장 4	공장동(1공장)	5,442.5
	제지목재	1	현장 5	소각로운영실	5,524.1
	화공	1	현장 6	사무실	1,832.2
	금속	2	현장 7	공정현장	3,556.0
			현장 8	주차장	723.5
	산업기타	2	현장 9	생산현장	2,533.7
			현장 10	생산현장	-
건물	상가	2	현장 11	매장	3,808.7
			현장 12	매장	1,561.3
	숙박	1	현장 13	복도	6,038.3
				주기식별표시등	5,709.1
				배전실	5,966.9
	운수통신	1	현장 14	화장실	5,641.1
				사무실	2,911.6
	금융	1	현장 15	사무실	2,937.2
	사무	1	현장 16	사무실	2,937.2
				복도	1,115.7
공공	2	현장 17	복도	1,115.7	
		현장 18	로비	1,952.1	
교육	1	현장 19	화장실	388.3	
건물기타	1	현장 20	주차장	6,129.8	

피크저감 등이 다른 대안들과 경쟁하기 위해서는 수요관리 프로그램의 효과를 지속적이고 신뢰성 있는 한국형 M&V 도입방안 연구가 필요하다.

4. 현장계측 시스템 구성 및 실험

본 논문에서는 조명기기 전체에 대하여 2005년도 국가에너지 종합정보 DB 구축자료를 토대로 산업, 건물, 주택의 3부분으로 나누고 이를 다시 업종별, 용도별, 형태별로 구분하여 산업내 8개 업종과 건물 9개 업종에 대하여 32W 직관형램프의 보급비율, 각 업종별 전체조명사용량 및 직관형형광등의 사용률을 토대로 하여 결정계수를 산출하고 최하위 순위를 제외한 총 20개소를 선정하여 Table 5에 나타내었다. 주택부문의 경우 현재 장려금 지급이 되지 않고 있음을 고려하여 대상에서 제외하였다.

고효율조명기기로의 교체에 따른 에너지절감효과 산



Fig. 3. 검침 포인트의 계량기 설치 판넬

정을 위해 표본수용가를 대상으로 교체전과 교체후 일정 기간동안 현장계측을 수행하고, 수용가별 연간 에너지절감량 및 피크억제량을 산정하였다. 고효율조명기기 M&V 표본수용가는 기존 40W 전자식 안정기(1등용, 2등용)를 32W 고효율 전자식 안정기로 교체하거나, 일반 메탈할라이드램프용 안정기를 고효율 메탈할라이드램프용 안정기로 교체, 백열등 및 삼파장램프를 LED 램프로 교체하는 등 다양한 종류의 조명기기를 대상으로 한다. 현장계측을 위해 검침 포인트에 Fig. 3과 같이 전자계량기를 설치하고 PLC(전력선통신) 또는 유선, 데이터 로거를 통하여 배전반까지 통신이 가능하도록 구성하였다.

현장데이터 수집을 위한 M&V 시스템의 구성도는 Fig. 4와 같다. M&V 시스템은 상위 운영체제인 M&V 서버시스템이 수용가의 에너지사용량 계측기와 실시간으로 통신하여 전력량을 계측하고, 실시간으로 DB에 저장한다. 온라인 통신회선 구축의 경우 수용가측은 ADSL 통신을 기본으로 하고 있으며 현장 설치시 전자식 계량기와의 통신 설정과 센터 서버간의 통신방식을 설정하여야 한다. 오프라인 수집장치인 로거에 의한 데이터 수집의 경우에는 M&V 서버로 측정값을 입력할 수 있도록 표준포맷으로 변환하는 기능을 포함하고 있다. 수집된 검침데이터는 효율관리 분석, 활용의 기초 자료로 제공될 수 있도록 한다.

Fig. 5의 모니터링 시스템 프로세스는 검침 개소별 수집방법에 따라 원시 자료를 수집하고, 과거 수집 프로파일 정보에 따른 결측보정, Baseline, Parameter 등의 정보를 실시간으로 적용하여 분석데이터가 처리될

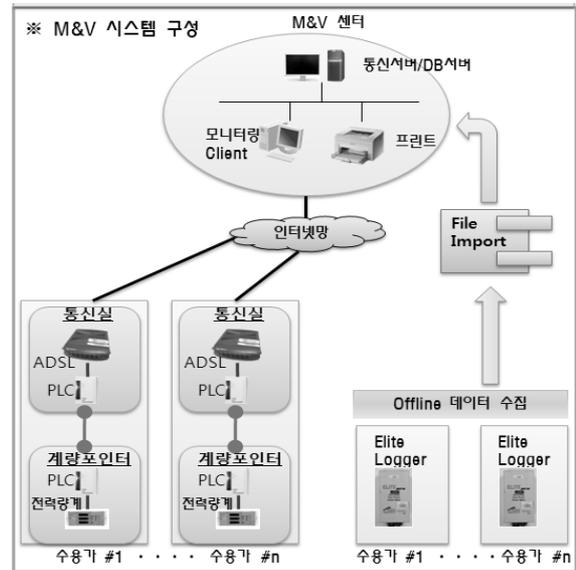


Fig. 4. M&V 시스템 구성도

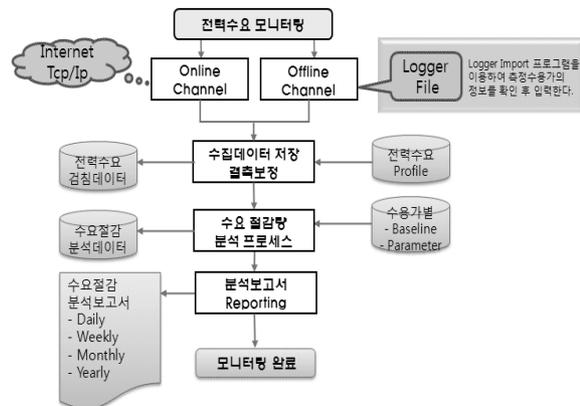
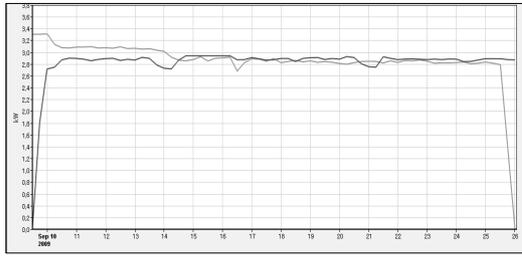


Fig. 5. 모니터링 시스템 프로세스

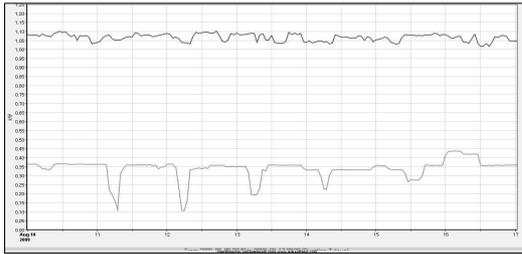
수 있도록 구성하였다. 수집데이터의 정밀도를 구분하기 위해 결측구간의 보정데이터에 대해서는 결측구간을 단계별로 구분하여 정밀도 등급을 적용하였다. 고효율기기 교체전에 측정하는 데이터의 경우 해당 기기의 사용환경에 대한 정보를 추가적으로 기록한다.

조명기기의 경우 수용가별로 전자식전력량계를 통해 얻어진 현장계측 데이터를 실시간으로 수집한다. 수집간격은 1분단위이며, 5분단위 사용량을 별도로 기록한다.

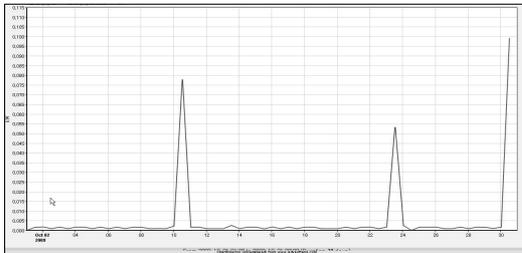
현장 20개소에 대한 가동패턴 분석은 사용시간의 가변성과 일별 사용패턴의 규칙적인 반복성, 타이머에 의한 동일 시간대에 동일패턴 반복성, 사용빈도 추정 가능성이 여부를 고려하기 위해 실시하였으며, 가동패턴에 따라 옵션 A와 옵션 B를 결정하는 요소로 작용



(a) 옵션 A 가동 패턴(현장1)



(b) 옵션 B 가동 패턴(현장5)



(c) 옵션 A와 옵션 B 적용 불가 가동 패턴(현장10)

Fig. 6. 현장 가동패턴

한다. 현장 20개소의 대표적인 가동패턴을 Fig. 6에 나타내었다. 옵션 A의 경우 24시간 가동에 소비전력 및 사용시간에 대한 통계적 유의성 확보가 가능하고, 옵션 B의 경우 스위치 조합 등에 의해 사용패턴이 불규칙적인 현상이 나타나므로 장기적인 측정을 통한 소비전력을 기준을 적용하여야 한다. 기기의 사용이 거의 이루어지지 않음으로써 가동패턴이 없는 경우 사용빈도 추정이 어려워, 연 가동시간을 추정할 수 없으며 분석이 불가능한 수종이 이다.

계측전력량을 검침수량으로 나누어 대당 절감전력 및 피크억제량을 Table 6과 7과 같이 산출하였으며, 이를 바탕으로 전체 교체수량과 연간사용시간을 적용하여 절감전력량 및 절감액을 산정하였다. Table 6에서 고효율조명기기로 교체하면서 교체전-후에 대한 소비전력을 계측하고, 분석한 결과 유의할 만한 에너지 절감이 이루어졌고 대부분의 현장에서 교체 전-후 부하가 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 Table 7에서 부하가 일정하게 유지되는 현장에서 연간 에너지절감량은 사용시간과 평균 절감량을 곱하여

Table 5. 고효율 조명기기 교체 전-후 용량

사업장	교체전		교체후	
	종류	용량(W)	종류	용량(W)
현장 1	메탈-안정기	250	메탈-안정기	250
현장 2	형광등	40	형광등	32
현장 3	메탈	250	메탈	200
현장 4	형광등	40	형광등	32
현장 5	전구식	23	LED	8
현장 6	형광등	40	형광등	32
현장 7	메탈	250	메탈	200
현장 8	메탈	250	메탈	250
현장 9	메탈	250	메탈	200
현장 10	메탈	250	메탈	200
현장 11	백열등	30	LED	7
현장 12	백열등	60	LED	7
현장 13	백열등	30	LED	7
현장 14	형광등	32	LED	22
	형광등	32	형광등	32
	형광등	26	LED	10
현장 15	형광등	40	형광등	32
현장 16	형광등	40	형광등	32
현장 17	백열등	30	LED	7
현장 18	백열등	30	LED	7
현장 19	백열등	60	LED	7
현장 20	형광등	40	LED	8

Table 6. 고효율 조명기기 교체 전-후 절감효과 분석

사업장	검침결과 분석						
	절감 전력 (W/대)	교체 수량	피크 억제량 (W)	사용 시간 (h/년)	절감 전력량 (kWh/년)	절감액 (천원/년)	옵션
1	.8	24	65.5	8,503.5	571.4	52.5	A
2	10.6	22	172.3	3,574.0	835.3	76.8	B
3	33.2	13	419.9	8,583.6	3,709.2	340.9	A
4	16.5	530	6,014.9	6,646.5	58,169.0	5,345.7	B
5	14.0	100	1,246.5	7,805.3	10,904.9	1,002.2	B
6	12.2	22	169.5	2,020.1	543.0	49.9	B
7	47.2	65	584.0	4,987.0	15,312.5	1,407.2	B
8	8.8	4	-	1,011.7	35.6	3.3	A
9	52.6	9	56.1	3,339.7	1,580.4	145.2	B
10	0.0	10	-	-	-	-	×
11	25.4	122	3,149.1	5,261.1	16,299.7	1,497.9	B
12	56.0	11	197.4	1,561.3	961.9	88.4	B
13	26.9	1,000	25,894.9	8,446.5	227,413.8	20,899.3	A
14	12.5	12	135.1	7,974.7	1,197.8	110.1	A
	2.9	22	60.1	8,348.3	533.8	49.1	A
	16.7	24	353.5	7,893.3	3,161.4	290.5	A
15	7.9	405	2,858.0	3,090.0	9,891.6	909.0	B
16	11.3	420	4,111.0	3,559.2	16,948.7	1,557.6	A
17	25.0	142	2,202.7	1,426.0	5,061.8	465.2	B
18	24.4	116	2,360.6	3,325.4	9,422.7	865.9	B
19	54.5	3,051	138,290.1	456.8	75,948.6	6,979.7	B
20	33.6	918	30,128.8	8,571.0	264,014.9	24,263.0	A

산정할 수 있다. 부하가 일정하게 유지되지 않는 현장의 경우에는 사용패턴 및 사용시간에 대한 현장 실

측이 지속적으로 수행되어야 정확한 에너지 절감량을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 기존 40W 전자식 안정기(1등용, 2등용)를 32W 고효율 전자식 안정기로 교체, 일반 메탈 할라이드램프용 안정기를 고효율 메탈할라이드램프용 안정기로 교체, 백열등 및 안정기내장형램프를 LED 램프로 교체하는 등 다양한 종류의 조명기기를 대상으로 전력수요관리사업의 효과률고효율 조명기기 M&V를 활용하여 살펴보았다. 대상기기를 대상으로 조명기기의 교체 전후의 전력을 측정하고 전반적으로 고효율 조명기기로의 교체시 절감효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 일부 수용가에서는 전압강하와 같은 주변 환경요인에 의해 소비전력 변동이 발생하여 실제 예상치보다 절감효과가 감소되는 경우도 있었지만 대체적으로 표준정격 소비전력과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 그리고 사용시간의 경우 대상 수용가의 업종이나 용도별로 가동행태가 차이를 보이는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20101020300620).

참고문헌

1. 김형중, et al., “직접부하제어 시스템의 운영 및 구성방안,” 2003년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 627-629, 2003.
2. 김진호, 박종배, 박종근, “직접부하제어자원의 활용방안에 대한 연구,” 2003년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 606-608, 2003.
3. 조기선, 이창호, “에너지 절약기술 시행성과의 계측 및 검증(M&V) 시스템 구축 방안,” 2005년도 한국기술혁신학회 춘계학술대회논문집, pp. 126-138, 2005.
4. 박찬국, “미국 스마트그리드 시장 현주소와 도전과제,” 에너지경제연구원, 2009.
5. 김정욱, “효율기향상기기 M&V 시범적용 연구,” 에너지관리공단, 2009.
6. 김정욱, “직접부하제어 시스템의 새로운 부하 배분 알고리즘,” 대한전기학회 논문지, 59권 2호, pp. 407-410, 2010.
7. 조성원, “신경망과 퍼지논리를 이용한 최대수요전력 제어시스템에 관한 연구,” 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 9권 4호, pp. 420-425, 1999.