2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

고효율조명기기 프로그램 성과의 계량 및 검증 기법의 개발

조기선 · 박종진 · 이창호
한국전기연구원

김회철
에너지관리공단

Development of a Measurement and Verification Scheme for Efficient Lighting Program

Ki-Seon Cho · Jong-Jin Park · Chang-Ho Rhee
Korea Electrotechnology Research Institute

Hoi-Cheol Kim
Korea Energy Management Corporation

Abstract - This paper describes a measurement & verification scheme for the high efficient lighting program in Demand Side Management (DSM), which was introduced in the beginning of the 1980's in Korea. With the dramatic changes in the circumstance of power industry in Korea, it is required the reviewing for the existing process of DSM programs and the development of the new process methods/standards on the evaluation of DSM programs. To design an accurate evaluation scheme for the high efficient lighting program, in this paper, we develop an evaluation prototype for the high efficient lighting program using measurements and stipulated factors. The proposed scheme is tested by practical measurements and modified stipulated factors. Results from the case studies show the proposed scheme could provide the practical performance evaluation results with promising accuracy.

1. 서 론

최근 전력산업의 구조개편으로 국가 전력수급 안정 방안에 있어서 새로운 패러다임에 대한 요구가 확대되고 있다. 경쟁시장이 도입된 발전부문과는 대조적으로 수요측 자원부문은 아직도 가격신호에 대한 탄력성을 확보하지 못하고 과거 수직통합형 전력산업구조에서와 동일하게 가격 비탄력성이 여전히 존재하고 있다. 수요측 자원의 가치를 재평가할 수 있도록 기술적 및 제도적 장치와 더불어 지속적인 기술 개발이 이루어지지 않는다면, 수요측 자원이 공급측 자원의 시장지배력에 대응할 수 없으며, 시장경쟁원리의 도입을 통한 전력산업 전반의 효율성을 제고하고자하는 전력산업 구조개편 본연의 목표는 달성될 수 없다. 수요측 자원의 가치 제고 방안은 현행 전력수요관리 시책에서부터 출발할 필요가 있다.

최근의 고유가 행진과 경제적으로 급성장하고 있는 신흥국가들의 출현 등으로 에너지 안보에 대한 위협과 더불어 국내외 환경규제의 지속적인 강화 및 국제적 기후변화협약인 교토의정서가 발효됨에 따라 정부는 "에너지원단위 개선 3개년계획"과 함께 "기후변화협약대응전략"을 수립하여, 에너지소비의 합리화 실현과 국제협약이행이라는 두 가지 목표를 달성하기 위해 지속적이고도 체계적인 대응을 준비하고 있다[1,2].

전력은 사용의 편리성으로 경제성장 및 국민생활 수준의 향상에 따라 소비가 지속적으로 증가하고 있으며, 수요에 대비해 지속적인 설비확충과 소비합리화를 위한 다양한 전력수요관리(demand side management ; DSM)시책을 추진함으로써 국가 전력수급안정을 도모하고 있다[3].

에너지절약에 대한 패러다임은 과거 80년대의 에너지 소비절약에서 에너지 소비의 합리화로 변화되고 있으며, 정부는 과거의 공급력 확보를 위한 설비확충 위주의 전원계획에서 벗어나 수요관리의 지속적인 강화를 통한 지속가능발전을 도모하고 있다. 부하관리에 편중되어 있던 국내 수요관리 사업에서도 장기적으로 효율향상 프로그램의 비중을 확대해 나갈 계획으로 있다(그림 1)[3].

그동안 전력수요관리는 에너지공급사로 하여금 자체예산편성 및 실행계획을 정부에 제출하고 정부의 승인을 득한 후 추진되어왔으나, 전력산업 구조개편 시점에 즈음하여 예산을 비롯한 추진체계에 있어서 정부의 역할이 확대 이관됨으로써, 과거에 크게 문제시되지 않았던 일부의 사안들이 시급한 쟁점으로 부각되고 있으며, 그 중에 전력수요관리사업의 수행성과를 객관적으로 평가하고 이를 다시 정책에 반영하고자 하는 일련에 움직임이 있어왔다. 과거 에너지공급사의 예산을 통해서 추진되어왔던 전력수요관리사업은 보급실적과 보급실적에 따른 기대효과의 계산에 의해 사업의 성과를 평가하였으나, 전력산업기반기금의 예산을 통해서 추진되는 현행 전력수요관리사업은 보다 체계적이고 객관적인 평가절차 및 방법을 개발하여 주기적으로 기금의 편익을 평가할 필요가 있다. 정부는 이러한 사업성과의 평가결과를 통해서 지속적으로 정책결정에 반영하여 기금의 효율적 운용에 만전을 기해야 하는 새로운 의무가 발생된 것이다.

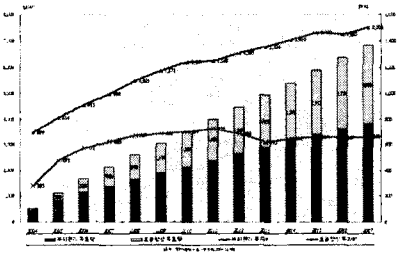

그림 1 장기 전력수요관리계획
Fig. 1 Long term demand side management plan

전력수요관리사업의 성과는 분석시점에 따라 사전분석과 사후분석으로 구분될 수 있으며, 사전분석은 수요관리 기술의 도입에 따른 사업의 효과로 주로 경제성 측면에서 분석이 이루어지며, 사후분석은 예상했던 기대효과가 실지로 발현되었는지에 대한 심층 분석 형태로 수행된다. 본 논문에서는 전력수요관리사업의 사후분석에 초점을 두어 실지로 전력수요관리 기술이 현장에 적용되어 어느 정도의 성과를 도출하고 있는지 평가하기 위한 계량화 방법과 그 체계에 대한 원형을 제시하고자 한다. 그 중에서도 고효율조명기기 프로그램의 성과에 대한 객관적 계량 및 검증(Measurement & Verification; M&V) 방법과 그 체계에 대해서 논의한다.

전력수요관리 프로그램의 계량 및 검증에 대한 정의와 일반적인 방법론에 대해서 2장에 기술하고, 고효율조명기기 프로그램의 성과에 대한 계량 및 검증을 위한 쟁점사안과 국내에서 적용할 수 있는 비용효과적인 계량 및 검증 방법론에 관해 제안한 방법을 이어지는 3장과 4장에 제시하였으며, 5장에서는 실지로 현장에 데이터 수집기(data logger)를 시설하여 그 자료를 통해서 고효율조명기기 프로그램의 성과를 평가하는 과정을 예시하였고, 마지막으로 6장에서 결론을 제시하였다.

2. 전력수요관리 프로그램의 계량 및 검증

2.1 M&V 정의

전력수요관리 프로그램의 시행성과에 대한 M&V란 전력수요관리 프로그램 기술을 도입함으로써 발생되는 수요 및 에너지 절감량(demand and/or energy savings)을 계량화하여 검증하는 행위로써, 수요관리기술의 도입 전후의 절감량 차이를 측정을 비롯한 다양한 방법을 통해서 종합적으로 분석하는 것을 말한다. M&V를 시행하기 위해서는 반드시 비용이 수반된다.

따라서 도출하고자 하는 정보의 중요도와 요구되는 정밀도 등을 고려하여 가장 비용효과적인 M&V방법을 선정하는 것이 필요하며, 현실적으로 그 비용은 전력수요관리 프로그램 시행 비용의 10%이내가 합당한 것으로 알려져 있다.

2.2 M&V 방법론

전력수요관리 프로그램의 시행성과를 계량하고 검증하는 방법은 절감량을 산출하는데 소요되는 비용과 요구되는 정밀도 수준에 따라 다양한 방법이 존재하여, 현재까지 다루어지고 있는 4가지 방법론에 대해서 본 절에서 개괄적으로 기술하였다.

▌Option A

Option A는 일반적으로 설비 개체에 대한 성과평가(performance verification)로 정의되며, 측정 또는 약정된 성능과 약정된 소비량을 이용한 방법이다. 설비의 개체 전후에 시스템의 성능을 측정(순간 또는 단기측정)하거나 선행된 성능평가 결과를 활용하여 설비 개체의 성능평가를 수행하고, 미리 약정한 인자(stipulated parameter)- 운전시간 등-의 차이를 계산한 후 이를 승산함으로써 절감량을 결정하는 방법이다. 본 방법은 조명이나 냉방부하 등과 같이 한 건물내의 개별부하나 시스템에 적용하기 적합한 방법이며, 정밀도 수준이 가장 낮은 접근방법이지만 비용측면에서 가장 유리한 방법이다.

▌Option B

Option B는 측정된 성능과 약정된 소비량을 이용하는 것은 Option A와 유사하나, 설비 개체의 성능측정에 있어서 순간측정보다는 장단기간의 결친 연속측정을 통해서 성능을 검증하고, 운전시간 등의 약정된 요소에 현장의 특성을 반영한 접근방법이다.

▌Option C

Option C는 건물 전체나 참여자 주계량기의 측정치를 이용하여 절감량을 결정하는 방법으로, 개체별로 설비를 측정하기 곤란한 경우나 에너지 시스템간의 상호작용에 대한 측정이 요구되는 경우, 그리고 단열 등과 같이 직접적인 절감량을 산출하기는 어려우나 그 효과를 파악할 필요가 있는 경우에 사용할 수 있는 방법이다.

▌Option D

Option D는 "VisualDOE" 등과 같은 컴퓨터 시뮬레이터를 이용하여 절감량을 결정하는 방법으로써, 설비나 건물에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델과 개별 성능검증 자료를 통한 파라메터 수치를 결정하여, 적용기술의 효과를 계량화하는 방법이다. 현장의 특성이 항상 동일할 수 없으므로, 현장 특성을 반영할 수 있는 모델 및 파라메터의 조율과정이 요구되고, 설계를 비롯한 다양한 전문지식이 요구되는 방법으로, 많은 시간과 비용이 소요되는 방법이다.

3. 고효율조명기기 프로그램의 계량 및 검증

모든 전력수요관리 프로그램을 비용효과적인 단일한 방법으로 계량화하는 것은 불가능하다. 따라서 전술한 바와 같이 예산이나 정밀도 제약에 따라 적절한 방법을 선별적으로 사용할 필요가 있으며, 적용기술의 전기적 특성을 고려한 가장 효과적인 계량 및 검증 대안을 세우는 것이 M&V의 경제성을 제고하는 방법이다.

고효율조명기기 프로그램에 대한 비용효과적인 계량 검증 기법으로는 전술한 Option A와 약정한 전력사용행태를 고려한 계량 및 검증이 가장 일반적으로 권고되고 있다. 본 논문은 이러한 일반적 권고사항에 추가적으로 고려할 중요한 쟁점들이 있음을 인지하고 이에 대한 대안을 제시함으로써, Option A의 신뢰성을 제고하고자 한다.

3.1 기존 접근법의 고찰

고효율조명기기 프로그램의 계량검증 방법으로는 대부분의 국가에서 Option A에 의한 접근방법을 사용 및 권고하고 있다. Option A에 의한 고효율조명기기 프로그램의 M&V는 순간측정(spot measurements)이나 단기측정(short-term measurements)에 의한 설비 개체의 성능평가와 약정인자(stipulated parameter)를 이용한 공학적 계산을 기초로 절감량을 계산하며, 대개의 경우, 설비의 설치 후에 지속적으로 측정을 수행하기 보다는 설비의 설치 당시의 순간계량과 설비자체의 성능평가에 의한 방법이 주류를 이루고 있다.

설비자체의 성능평가는 성능평가 및 인증과정에서 수집된 자료를 통한 평균 소비전력 및 평균 효율(efficiency)을 공시하고 이를 바탕으로 절감량을 산출하며, 절감량 산출에 있어서 기준은 시장에 일반적으로 보급된 설비로 설정하거나 사용처에 이미 시설되어 있던 시설물의 성능을 기준으로 삼는다.

국내에서는 10년이 넘도록 고효율조명기기 보급 프로그램이 시행되고 있으나, 시장으로 그 기능을 전환할 시점에 대해서는 이렇다할 보고가 없었다. 이에 대한 근본적인 원인은 설비 자체의 성능에 있는 것보다는 설비가 현장에 적용되어 나타나는 효과의 객관적인 평가가 미흡하고 객관적인 평가가 이루어지지 못함으로써 프로그램의 가치를 명확히 파악하지 못한데서 온 것이라고 판단되며, 본 논문에서 제시한 고효율 조명기기 성과의 계량 및 검증 방법이 이러한 문제점의 파악 및 대안 수립에 기초가 될 것이다.

3.2 고효율조명기기 M&V의 목표

고효율조명기기의 M&V를 통해서 최종적으로 도출하고자 하는 평가목표는 절감전력(kW Savings), 절감에너지(kWh Savings), 첨두부하 억제량(Peak Demand Reduction), 유효사용대수 또는 사용률(rate of usage), 유효운전시간(effective hours of usage) 등을 고려해 볼 수 있다. 현행 M&V에서는 절감전력, 절감에너지, 첨두부하억제량을 M&V의 산출물로 선정해 약식평가가 이루어지고 있으나, M&V의 경제성을 고려할 때, 전술한 5개 산출 목표는 반드시 고려되어야할 물리량으로 판단되며, 본 논문에서는 이들 산출물을 도출하기 위한 M&V 방법에 대해서 제안한다.

□ 절감전력(Demand(kW) Savings)

$$\triangle kW = kW_{개체전} - kW_{개체후} \quad (1)$$

□ 절감에너지(Energy(kWh) Savings)

$$\triangle kWh = kWh_{개체전} - kWh_{개체후} \quad (2)$$

□ 첨두부하억제량(Peak Demand Reduction)

$$PDR = \triangle kW \times 피크기여율 \quad (3)$$

▌유효사용대수

$$:= 시설대수 \times 사용률(사용대수/시설대수) \quad (4)$$

▌유효운전시간(일간)

$$:= AVE(EDLC) \quad (5)$$

여기서, $EDLC$는 등가일간부하곡선(Equivalent Daily Load Curve)이며, $AVE(*)$는 *의 평균을 의미한다.

전술한 M&V결과는 수용가의 전력사용행태에 따라서 상이하게 나타나므로 수용가의 행태를 반영하지 않고 단순산술평균을 취하는 것은 많은 오차를 유발할 수 있으므로, 전력사용행태에 따라서 약정요소를 적절히 선정할 필요가 있으며 본 논문에서는 표 1과 같이 전력사용행태를 구분하고 이에 따른 계량화 지표를 선정하였다.

표 1 M&V Option A의 주요 평가지표
Table 1 Main indexes for evaluating the performance of efficient lighting program

용도	시장단위	중요 계량 지표
주거용	단독주택,아파트, 연립주택	시설대수
업무용	사무실, 숙박업소, 병원, 학교, 상가, 공공시설,기타	일형별[주1] 일일 점등시간
산업용	광업,농수산업,식료품/제조,요업, 섬유/의복, 목재/나무, 펄프/종이, 출판/인쇄,석유화학,1차금속,가구 조립금속,기타기계,사무기기,기타	일형별 업무/조업 일수 일형별 설비 사용률[주2] 소비전력

주1)일형:주거용(주중/주말),업무용(업무/비업무),산업용(조업/비조업)
주2)사용률 : 총 설비 시설대수 대비 유효사용설비 비율

4. 제안한 계량검증 기법

본 논문에서 정의한 고효율조명기기 프로그램 성과를 계량화하는 지표로는 절감전력(kW Savings), 절감에너지(kWh Savings), 피크억제전력, 사용률(또는 유효 사용대수), 그리고 유효운전시간 등을 선정하였다. 제안한 M&V 방법의 전체적인 흐름도는 그림 2에 제시하였다.

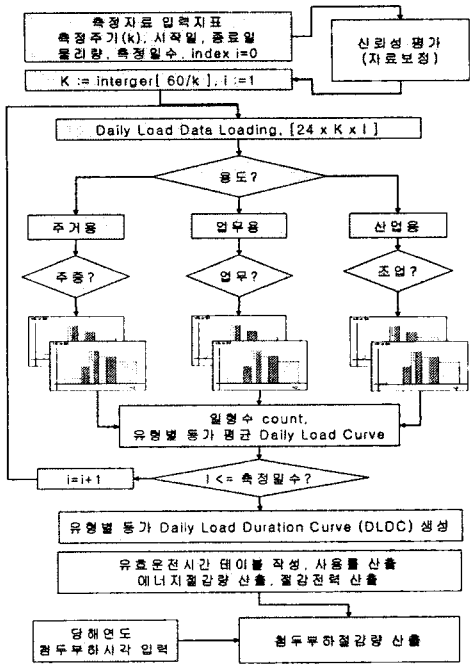

그림 2 제안한 M&V방법의 흐름도
Fig. 2 Flowchart for the proposed M&V scheme

측정 자료를 통해서 약정요소를 식별하기 위해 측정 자료의 용도 및 시장단위를 식별하고 측정일의 일형(표1 참조)에 따라 개별적인 평균일부하곡선(Average Daily Load Curve)을 도출하고, 다양한 형태의 측정 자료를 확보하여 시장단위별 평균을 취해 시장단위별 등가일부하곡선(EDLC; Equivalent Daily Load Curve)으로 계산한다. 계산소요시간을 단축하기 위해서 EDLC는 재귀적 평균(Recursive average)기법을 통해서 계산하였다. 또한, 도출한 EDLC는 시장단위별 고효율조명기기의 M&V에 사용하게 된다. EDLC는 다시 지속곡선의 형태인 EDLDC(Equivalent Daily Load Duration Curve) 로 변형하여 연간 운전시간에 대한 정보를 기록하게 된다.

첨두부하절감량(PDR)은 당해연도의 첨두부하 발생시각을 입력받아 식(6)과 같이 계산할 수 있다.

$$PDR|_{t=peak\ time} = EDLC(Peak\ Time) \qquad (6)$$

5. 사례연구

제안한 고효율조명기기 프로그램의 성과에 대한 M&V 방법은 한국전기연구원에서 개발한 M&V 시스템을 통해서 구현하였으며, 측정자료는 한국전기연구원의 연구동 - 2등용 고효율조명기구 24기, 2개 분기)에 Dent Instrument사의 Elite Logger를 설치하여 1주일간의 측정 자료를 확보(그림 3)하고 이를 통한 사례연구를 수행하였다.

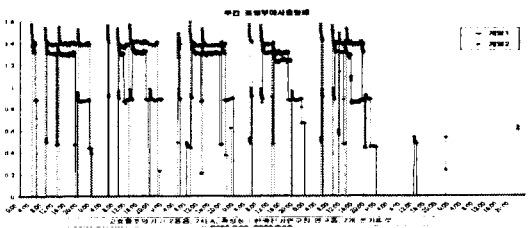

그림 3 사례연구를 위한 측정자료
Fig. 3 Measurements for a case study

사례연구로 수행한 측정점은 전술한 용도 및 시장단위가 업무용-사무실에 해당하며, 동일한 시장단위임에도 불구하고 두 측정점의 측정자료가 다른 특성을 보이고 있음을 그림 3을 통해서 확인할 수 있다. 제안한 M&V방법에 의해서 도출된 일형별 평균일부하곡선과 업무일 등가일부하지속곡선(EDLDC)은 그림 4 및 5와 같으며, 그림 5를 통해 <유효대수, 지속시간> 벡터 테이블을 작성하여 약정요소로 활용한다.

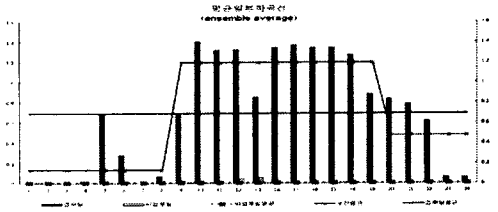

그림 4 일형별 평균일부하곡선
Fig. 4 Equivalent Daily Load Curve on working day and day-off

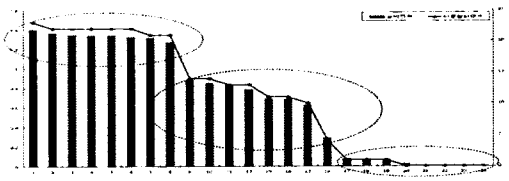

그림 5 업무일 등가일부하지속곡선
Fig. 5 Equivalent Daily Load Duration Curve for working days

제안한 M&V기법을 통해서 수행한 검증결과는 표2에 제시하였다. 표 2에 제시된 바와 같이 유효사용대수와 유효운전시간의 차이가 절감에너지 및 첨두부하기여량을 기존 방법에서 낮게 책정되어있음을 확인할 수 있고, 제안한 기법이 보다 현실적이고 정밀한 계량이 수행되고 있음을 확인할 수 있다. 본 제안기법은 M&V시스템의 원형으로 사용될 수 있다.

표 2 제안한 M&V기법에 의한 계량검증 결과
Table 2 Results for the proposed M&V scheme

구분	기존	제안	비교
시장단위	업무용	업무용-사무실	-
절감전력(kW)	0.864	0.888	0.024
절감에너지(kWh)	1,658	2,365	706.7
첨두부하억제량	0.605 (0.864*0.7)	0.886 EDLC(15시)	0.281
유효사용대수(EA)	24	19.14	
유효운전시간(h)	8	<8,22>,<8,11>,<8,0,3>	-

* 전자식 안정기(2등용)X24기,Peak Time:15시, 연간업무일: 240일 기준

6. 결 론

본 연구는 고효율조명기기 프로그램의 성과에 대한 계량 및 검증(Measurement & Verification ; M&V) 방법을 제안하였다. 국내 전력수요관리 프로그램이 시행 주체가 전력회사에서 정부로 이관됨으로써 정밀한 M&V에 대한 요구가 증대되고 있는 시점에서 M&V방법에 관한 연구는 매우 중요하다. 본 연구에서는 M&V 비용측면에서 가장 유리한 Option A에 신뢰성을 제고하기 위한 약정요소의 세분화기법을 사용하여 현실성 있는 고효율조명기기 프로그램의 M&V방법을 제시하였으며, M&V의 목표로는 절감전력, 절감에너지, 첨두부하삭감량, 사용률, 유효운전시간 등을 계량지표로 선정하여 이를 도출하기 위한 M&V방법을 제시하였다. 향후, 국가적 차원에서 전체 참여자에 대한 M&V성과를 도출하여, 실질적 비용효과를 분석할 예정이다.

[Acknowledgments]

본 연구는 "수요관리사업 평가시스템 구축사업에 관한 전력산업기반조성사업"의 연구 성과의 일부임.

[참 고 문 헌]

[1] 기후변화협약대응위원회, *기부변화협약 대응 제3차 종합대책*, 2005.2.
[2] 산업자원부 외, *에너지원단위 개선 3개년('05-'07)*, 2004.12
[3] 산업자원부, *제2차 전력수급기본계획*, 2004.12.
[2] CPUC, *The California Evaluation Framework*, 2004.6
[3] 에너지관리공단, *DSM 프로그램별 M&V 및 경제성평가*, 2000.12.
[4] DOE, *International Performance Measurement and Verification Protocol*, USA, 1997.12., Revised 2002.
[5] CenterPoint Energy, *Commercial & Industrial Standard Offer Program - Program Manual*, 2004.9