

에너지 절약기술 시행성과의 계측 및 검증(M&V) 시스템 구축 방안

조기선* · 이창호**

한국전기연구원, 전력산업연구그룹

031-420-6126, kscho@keri.re.kr, * 031-420-6120, chrhee@keri.re.kr **

Establishing Plan of Measurement and Verification System for evaluating the performance of Energy Efficiency Programs

Ki Seon Cho, Chang Ho Lee

Electricity Industry Research Group, Korea Electrotechnology Research Institute

1. 서 론

우리나라는 2002년을 기준으로 에너지소비량이 세계 10위로 연간 215백만TOE를 사용하고 있으며, 연평균 에너지소비 증가율에 있어서도 주요 선진국에 비해 상당히 높은 6.8%의 증가율을 기록하고 있다. 에너지의 해외의존도에 있어서도 약 97%에 달하여 에너지 안보문제에 있어서도 공급안정도를 유지하기 위한 지속적인 노력이 요구되고 있다. 이에 정부는 2004년 12월에 에너지지원단위 개선 3개년 계획을 수립하여 구체적인 에너지자원의 효율적 이용을 위한 시행계획을 수립한 바 있다. 또한, 2005년 2월 16일부로 교토의정서가 발효됨으로써 우리나라도 환경규제에 대한 국제협약에서 자유로울 수 없으며 이에 대한 철저한 대비와 정책결정이 요구되고 있다.

에너지수요의 관리(Demand Side Management ; DSM)는 과거의 단지 에너지 소비에 있어서의 절약의 개념을 넘어서 에너지의 합리적인 이용에 관심이 집중되고 있다. 경제성장을 저해하지 않는 차원에서 에너지절약의 유도는 국가적인 부가가치를 제고하고 동일한 재화를 생산하는 데 요구되는 전력사용량을 줄이는 에너지지원단위 개선으로 이루어지고 있다. 우리나라는 1980년대부터 에너지 특히 전력부분의 수요관리사업을 지속적으로 추진해 오고 있다. 전력부분의 전력수요관리는 크게 부하관리부문과 효율향상부문으로 대별되고 있으며, 부하관리로는 하계휴가보수와 자율절전제도가 시행되고 있으며, 효율향상부문에서는 고효율기기의 보급사업이 시행되고 있다. 또한, 전력수급의 불안정시에 전력부하의 직접적인 제어를 목적으로 한 직접부하제어사업 등이 시행되고 있다.

현재 다수의 에너지절약관련 정부시책이 시행되고 있으며, 향후에도 지속적으로 에너지절약시책이 시행될 것으로 판단된다. 정부로서는 비용효과적인 시책을 개발하여 추진하며, 비용효과면에서는 그 효과가 작을지라도 국제적인 협약규제를 만족시키기 위해서 정책적으로 시행할 필요가 있는 다양한 시책들에 있어서도 객관적으로 추진 타당성을 검증할 필요가 있다. 시책 추진의 타당성과 시행효과를 검증하기 위해서는 우선적으로 시행효과의 계량화가 전제되어야 한다. 하지만, 현재까지 시행효과에 대한 객관적인 계량화 방법 및 검증도구 그리고 검증을 위한 성문화된 절차 및 규약이 국내에서는 미약한 상태에 있다.

본 연구에서는 이러한 근본적인 문제점을 해결하기 위해서 국내에서 시행되고 있는 에너지절약기술의 시행효과를 검증할 수 있는 시스템에 관한 구축방안을 수립하고자 한다. 에너지 절약기술

의 시행효과를 검증하기 위해서는 먼저, 어떠한 관점에서 그리고 어느 정도의 비용과 정밀도를 가지고 검증할 것인지에 대한 사항이 선결되어야 한다. 본 연구에서는 에너지 절약기술을 전담하는 전담기관(정부)의 관점에서 다수의 에너지절약 기술중에서 고효율 기기 보급사업에 대해 계량 및 검증(Measurement and Verification ; M&V) 시스템을 구축하는 방안에 대해서 제안한다. 이는 향후 대다수의 에너지 절약기술을 포괄하는 시스템으로 개발하기 위한 기반연구이며, 향후 확장가능성을 고려하여 범용적으로 설계하였다.

본 연구에서 구축한 에너지 절약기술의 계량검증 시스템은 에너지 절약기술의 정밀한 성과계량을 달성함과 동시에 다양한 조건에서의 표준 절감표를 수립함으로써, 동일한 프로그램에 신규로 참여한 수용가에 대한 계량검증 비용을 낮춤으로써, 해당 에너지 절약기술의 전반적인 비용을 개선할 수 있다. 본 연구의 결과로서 나타나는 계량검증 자료는 프로그램에 참여하는 수용가에게 객관적인 자료를 제공함으로써 프로그램의 참여도를 제고할 수 있고, 프로그램의 시행기관에게는 프로그램의 추진타당성을 뒷받침하는 자료를 확보함으로써 사업추진의 효율성을 제고하며, 마지막으로 정부로서는 시행중인 에너지 절약기술의 시행효과를 객관적으로 판단할 수 있는 자료를 확보함으로써 어떠한 시책을 지속적으로 추진하고 어떠한 시책을 시장으로 전환해야할지 그리고 그 시점은 언제가 될지에 대한 판단의 기초적인 정보를 제공받게 된다.

2. 에너지 절약기술의 계량검증 이론 배경

에너지 절약기술의 시행효과를 계량검증하기 위해서는 우선적으로 계량검증 시행의 관점을 명확히 할 필요가 있으며, 이에 따라서, 시스템의 기본 기능에 차이가 발생하게 된다. 본 장에서는 우선적으로 계량검증 시행 관점의 차이에 기초적인 계량검증의 이론적인 배경에 대해서 기술한다.

2.1. 계량검증 시행의 관점

에너지 절약기술의 시행효과를 계량검증하기 위한 시행관점은 프로그램에 참여하는 참여자의 관점과 프로그램을 보급시행하는 시행기관(한국전력공사, 에너지관리공단)의 관점, 그리고 전담기관(정부)의 관점으로 대별할 수 있다. M&V의 시행관점에 따른 M&V의 목적, 규모, 측정점, 요구되는 정보, 및 주요 쟁점에 대해서 요약정리하면 <표 1>과 같다.

M&V의 목적은 참여자에게는 비용편익의 현실화가 시행기관측면에서는 설치검증의 객관성확보 및 정부측면에서는 실질적 절감량의 파악에 있다. M&V 규모는 정부 전담기관쪽으로 갈수록 그 규모가 기하급수적인 커지므로, 정부 전담기관의 관점에서 M&V를 시행하기 위해서는 막대한 비용이 소요됨과 동시에 개개의 설비에 대한 M&V는 현실적이지 못하므로 다양한 확률 통계적 기법을 사용하여 계량검증을 실현할 필요가 있다.

측정점에 있어서 그 시설위치에 대한 정보와 참여수용가에 대한 일반사항은 표본에 의한 계량검증의 정밀도를 제고하기 위해서 필수적인 자료이며, 또한 표본의 층화구분에 유효하게 사용된다. 따라서 계량검증과 함께 수용가에 대한 기본정보를 수집할 필요가 있다.

<표 1> M&V 시행관점 비교 I

	참여자측	시행기관측	정부측
목적	Savings Verification	Savings+ Installation Verification	Performance Verification
	·비용편익의 현실화	·설치 검증	·비교 분석(절감량) ·예상/실적 비교 ·결과의 정책 반영
규모	참여 measure 수	보급 program 개수	시행기관 개수
	절감량 기준 최소 Unit 개수	program수 × measure 수 × 보급업체 수	시행기관의 규모 × 시행기관 수
	최소단위 조명 : 수십기 조명 외 : 1기 이상	말단 measure 개수 (조명: 19개) (전동기: 21개) (인버터: 18 or 34개) (자판기: 1개) (펌프, 변압기: 미정)	2개 시행기관 (한전, 에너지관리공단) × 각 시행기관의 size
측정점	전수 및 임의표본추출	임의표본추출 및 층화비율표본추출	임의표본추출 및 층화비율표본추출
	무작위 또는 층화표본 (시설위치의 특성고려)	층화표본이 현실적	층화표본이 현실적
요구되는 정보	시설위치 정보	층화구분 정보 (계약종별, 업종, 지역등)	

에너지 절약기술에 참여한 수용가는 본 M&V의 모집단을 구성하게 된다. 모집단의 크기에 대한 주요쟁점을 2004년도 수요관리 프로그램에 적용하여 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2>에 제시된 바와 같이 전력수요관리 프로그램에 따라서 참여자측의 단위기기의 규모도 상이할뿐더러 시행기관측과 정부측에서 바라보면 모집단의 크기는 프로그램과 참여한 수용가에 따라 상이하게 결정된다. 상대적으로 참여수용측면에서는 규모가 작지만 시행기관이나 정부측에서 바라보면 개별 프로그램별 모집단의 규모는 1,000개 이상으로 구성된다. 표본을 구성하는데 있어서 참여자측은 상대적으로 규모가 작기 때문에 전수 또는 부하특성에 기초한 표본추출방법을 사용할 필요가 있으며, 시행기관이나 정부측의 관점에서는 M&V의 예산규모를 통해서 계량의 규모와 계량의 정밀도 및 검증의 난이도를 결정할 필요가 있다.

M&V의 목적은 전술한 관점에 따라서, 참여수용가의 측면, 수요관리 프로그램의 실시와 직·간접으로 참여하거나 궁극적으로 전력을 공급하는 의무를 지고 있는 전력회사 또는 관련기관인 시행기관측면, 그리고 사회 전체적인 입장에서 에너지의 수급 및 에너지의 효율적 사용, 수요관리의 실시와 따른 환경 오염물질의 저감 등의 편익에 집중되는 국가적 측면에서의 분석이 이루어져야 한다.

<표 2> M&V 시행관점 비교 II

		참여자측	시행기관측	정부측	
주요 쟁점	모집단 크기 (2004년 기준)	냉난방	최소 1기	548개소	※주 참조
		에어컨	최소 1기	7,340대	
		조명	최소 50기	59,000개소	
		자판기	최소 1기	1,882대	
		인버터	최소 1기	2,480대	
		전동기	최소 1기	6,687대	
	종합	small size	개별 measure별 모집단의 크기는 1000 이상		
	표본집단	measure별 문제점	매우 작다	작지 않다	작지 않다
			Census	Sample	Sample
		결정요인	Census or Random	Size? (M&V예산)	Size? (M&V예산)
대안		Random인 경우에는 최소기준을 설정 요구	예산에 따른 통계적으로 유의한 수준의 Sample Size 결정해줄 필요가 있음		

※주 : 2005년도부터 한전 및 에너지관리공단의 경쟁체제에서 모집단의 크기는 급증할 것으로 예상됨

2.2 계량검증 방법

에너지 절약기술의 시행효과에 대한 성과계량기법들은 일반적으로 공학적 기법과 통계적 기법으로 분류된다. 통계적 기법으로는 단변수만을 사용하는 단변수통계모형과 여러 영향 요인을 고려한 다변수통계모형으로 구분된다. 본 절에서는 기존에 논의되어 온 바 있는 기본 접근법에 대해서 기술한다.

1) 단변수 통계모형

(1) 통계적 비교법(statistical comparison method)

통계적 비교법은 단순하면서도 직관적인 분석방법으로 미리 DSM 프로그램의 참여자와 비참여자 집단에 대한 표본을 각각 구성하고, 두 집단간의 최종수용가의 계측치를 평균하여 비교하여 DSM에 의한 효과를 분석하는 방법이다. 또는 프로그램 참여자에만 국한하여 프로그램 참여 전후의 계측치를 비교하여 이를 효과로 간주하기도 하는데, 이것은 원래의 방법과 달리 시기의 차이로 같은 결과를 제공해 주지 않을 수도 있다. 이 방법은 통계적 비교법 또는 단순 비교법(simple comparison method)이라 한다. 이 방법은 결과가 간단한 수치로서 결정되기 때문에 규제당국이나 경영층 등에게 직관적인 DSM 프로그램의 효과를 설명하는데 가장 유용하게 사용하고 있다.

(2) 보정 공학적 기법(Calibrated Engineering Method)

최종수용가에 대한 계량이나 공학적 시뮬레이션 모형 등과 같이 신뢰성이 있는 정밀한 방법은 일반적으로 소요비용이 비싸고 많은 현실적인 제약들이 뒤따른다. 보정공학적기법은 알고리즘을 통하여 구해진 상대적으로 부정확한 추정치를 정밀한 다른 계량값을 이용하여 보정한다면 보다

정밀한 결과를 얻을 수 있다는 원리를 이용하는 방법이다. 이 방법을 통계적 방법으로 분류하는 이유는 프로그램 시행 후에 정밀한 조사결과를 가지고 프로그램 사전의 추정치를 통계적으로 검증하기 때문이다. 즉, 통계적 방법을 이용하여 공학적 방법을 보완하는 방법으로서, 공학적 방법과 통계적 방법의 중간쯤에 있는 방법이다.

2) 다변수 통계모형 - 조건부 수요모형(Conditional Demand Model)

조건부 수요모형은 1980년에 Parti에 의해 개발된 개별수용가에 대한 미시적 전력수요모형이다. 이 모형의 개발 이전에는 최종 전력수용가별 전력사용량을 구하기 위해 수용가가 보유한 개별 기기에 각각의 계량기를 부착하여 계측하는 측정하는 방법론을 적용하여 왔지만, 이는 방법론적인 제약으로 많은 문제점을 가지고 있다. 즉, 소요비용측면에서 너무 고가라는 문제점과 기기에 직접적으로 부착된 계량기를 통해서 개별 수용가들의 특성과 이용 형태를 반영하는 것이 불가능하다는 문제점이 도출된다는 점이다. 따라서, 조건부수요모형에서는 이런 단점들을 해결하기 위해 개별 수용가의 전력사용량을 수용가들의 기기 보유에 대한 정보, 에너지가격, 개별 등의 함수로 다변수 회귀모형으로 표현하여, 기기별 단위 전력 사용량이 기기 보유를 포현하는 지시변수의 계수로써 나타나게 한다. 조건부수요모형은 실제 계측된 데이터를 이용하여 단계별 회귀분석(stepwise regression)을 통해 각 계수들을 결정하여 최종 추정식을 찾아내는 방법이다.

3) 공학적 기법 - 엔지니어링 알고리즘

엔지니어링 알고리즘에서는 많은 참여 수용가를 갖는 DSM 프로그램의 총효과는 프로그램의 단위효과에 참여수용가수를 승산하여 계산한다. 에너지엔지니어링 알고리즘은 DSM프로그램에서 채택한 대상 기기의 공학적 특성에 기초하여 프로그램 총효과를 추정하는 방법이다. 즉 사전에 결정된 대상프로그램의 단위 효과를 참여수용가수에 곱하여 총효과를 산출하는 방법으로 개별 DSM 프로그램이 가져오는 에너지 절감량과 부하절감량을 용이하게 계산할 수 있는 장점이 있는 대신에 기타 개별 프로그램들에 의한 상대적인 효과를 계산할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 엔지니어링 알고리즘에 의한 총효과 추정은 대상 기기의 성격이 다르므로 기기별로 다른 요인들이 고려되어야 한다.

4) M&V 방법의 선정에 있어서 주요 쟁점

전술한 방법들은 절대적이라기보다는 프로그램의 유형, 예산, 요구되는 정밀도 등에 따라 여러 가지 기법들 중에서 가장 적합한 것을 선택하여야 한다. 각 프로그램 시행에 있어서의 단위 에너지소비량을 구할 수 있는지의 여부와 구하는 난이도의 문제가 있다. 단위 에너지소비량은 DSM 총효과의 타당성을 판정하는 기준이 될 수 있을 뿐만 아니라 수요예측에도 사용이 가능한 유용한 정보이므로 이 값을 구할 수 있는가? 얼마나 쉽게 구할 수 있는가의 문제는 기법을 평가하는 데 있어서 매우 중요한 지표라 할 수 있다.

데이터의 요구량과 요구되는 데이터의 수집 난이도에 관한 문제도 있다. 데이터의 요구정보는 비용과 개별적인 관계가 있을 뿐만 아니라 기법 자체의 선택을 제약할 수 있다. 따라서 데이터를 많이 요구하는가와 수집이 용이하고 가능한 데이터인가 하는 문제가 고려되어야 한다.

그 외 오차와 비용문제도 있다. 물론 프로그램에 대한 평가기법에 있어서 그 오차가 작고 비용이 싼 기법에 대한 선호도가 있는 것은 당연한 사실이며, 또한 통계적 추정에 있어서 그 가정에 대한 민감도 역시 기법을 평가하는 데 있어서 중요한 문제라 할 수 있다. 이상과 같이 각종 기법의 평가시에 고려해야 할 사항들을 종합하여 각종 기법을 분석하여 보면, 각 기법은 각기 장단점을 가지고 있다.

이상에서 살펴본 각 기법에 의한 성과계량 모형의 경우 단순히 DSM프로그램에 대한 성과계량과 즉, 영향만을 평가하는 기법이므로 순수한 모니터링 시스템이라 하기 어렵고 통계적 기법의 경우 그 통계를 만들기 위한 기본적인 데이터의 요구량이 너무 많기 때문에 우리나라 현실로 볼 때 그대로 적용하는 데는 많은 애로점이 있으며, 공학적 기법의 경우 대부분 기기 자체에 대한 단순한 계산이거나 건물자체에 대한 너무 복잡한 컴퓨터 시뮬레이션을 응용하기 때문에 이 또한 우리 현실에 그대로 적용하기에는 많은 제약이 따른다고 할 수 있다.

5) M&V 방법별 필요물리량 및 성과계량검증 방법론

전술한 일반적인 방법을 바탕으로 M&V의 시행관점에 따라서 계량검증을 위해서 요구되는 자료와 그 방법론에 관하여 <표 3>에 정리하였다. <표 3>은 필요물리량은 시행효과를 검증하기 위한 자료이며, 이는 본 연구의 계량검증을 통해서 확인할 수 있는 물리량이나, 직접적인 계량이 현실적으로 불가능한 값도 있음을 간과할 수 없다. 직접적인 계량이 불가능한 물리량에 대해서는 사회적인 공감대가 형성된 공인된 값을 사용할 필요가 있으며, 이에 대한 지속적인 연구개발이 요구된다.

<표 3> M&V 시행관점과 성과계량 요약

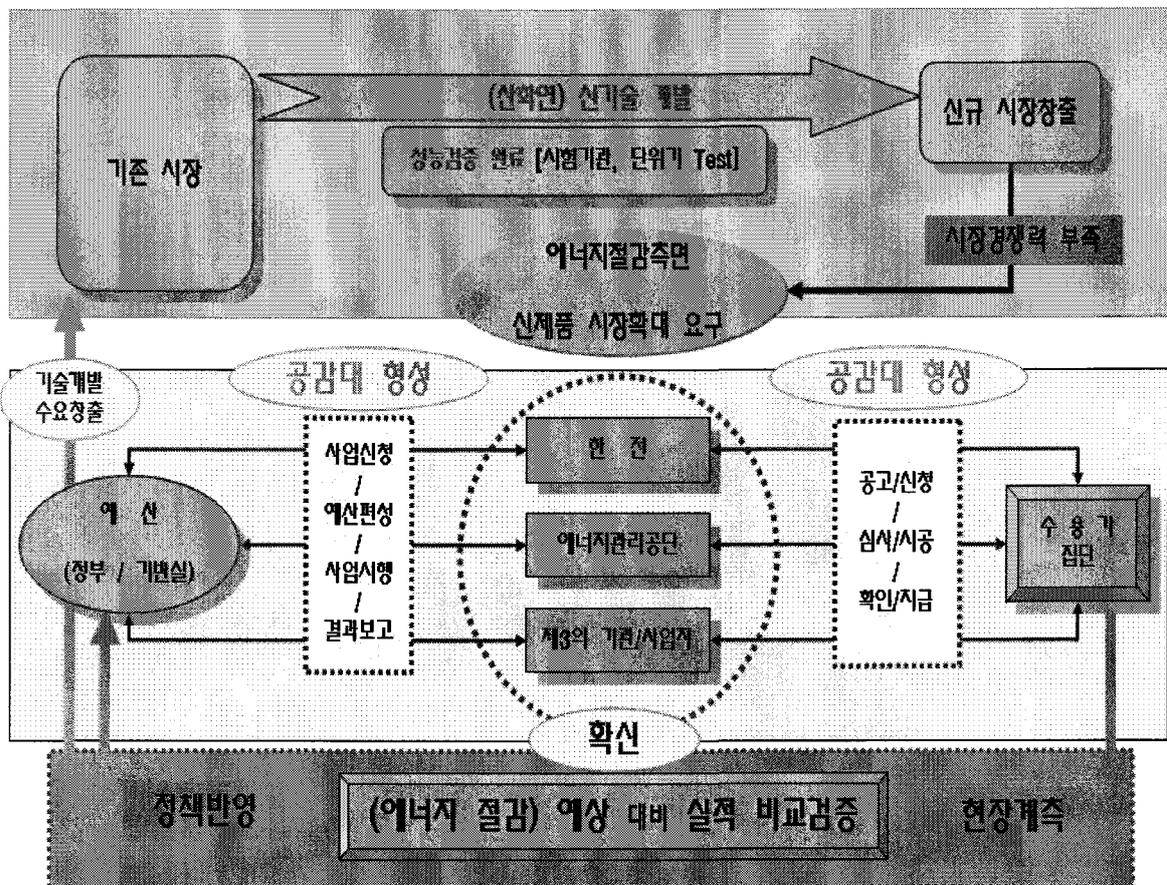
	성과계량(kW, kWh)		
	필요물리량	방법론	비고
최종소비자	침두수요 절감량 전력량 절감량	시행 전후 계측 제조업체자료부터 유추	비교적 평이(소비자 단독의 자료만 필요 로 함)
전력회사 또는 시행기관	전체수요에 대한 연중 시간대별부하 지속곡선(수요관리 실시 전후) 수요관리 프로그램 별 미래 시장 보급 률 및 물량, 미래 수요곡선 등 수명 기간 자료 확보	샘플 수용가의 계 측자료로부터 유추 (통계적기법, 엔지 니어링 기법 등 적 용) 수요관리 프로그램 별 동시율 등의 추 가 정보 활용 장기분석시 부하곡 선(LDC) 활용	수요관리 프로그램별 참여자 분포에 대한 분석 필요(산업용, 상 업용, 주택용 등) 필요시 수용가 구분 별 부하지속곡선 분 석 과정 필요
정부 전담기관	전력회사에서 사용하 는 모든 자료 다른 에너지부문의 자 료	전력회사에서 사용하 는 방법론과 동일하지 만 가스 등과 같은 다 른 부문과의 비교 과 정 및 방법론 필요	국가전체적인 차원에서 의 에너지 자원의 최적 배분

3. 개발 실증 및 결과

본 연구에서 개발한 에너지 절약기술의 시행효과 분석용 시스템에 대해서 본 장에서 기술한다. 먼저, 제안한 계량검증 시스템의 개념도와 전술한 바 있는 M&V의 관점에 대한 명확히 정의하고 이에 부합된 데이터베이스 및 기능의 정의와 구현 순으로 기술하며, 제안한 시스템과 그 구성기능에 대해서 기술한다.

3.1. 제안한 계량검증 시스템의 개념도

본 연구에서 개발한 계량검증 시스템은 기존의 에너지 소비시장에서 창출된 신규 에너지절약 기술의 시장경쟁력을 확보할 차원에서 신제품 시장확대에 대한 사회적인 요구를 수용하기 위한 에너지 절약기술 중 효율향상기기의 신제품 시장보급 프로그램에 대한 것으로 시책의 전담기관은 정부이며, 에너지관리공단과 한국전력공사가 시행기관으로 참여하고, 수용가가 프로그램에 참여하는 형태로 설계하였으며, 에너지절약전문기업 등은 수용가 집단에 포함시켜 정의하였다. 에너지 절감 측면에서의 에너지 절약기술의 에너지 절감량에 대한 현장계측을 통한 도출한량을 현실화하고 이를 정책에 다시 반영할 수 있는 중요한 정보로써 M&V가 있음을 <그림 1>에 도시하였다.



<그림 46> 계량검증 시스템의 개념도

M&V를 통해서 에너지 절약기술의 시행효과를 객관적으로 판단함과 동시에 이 정보가 다시 기존시장에 편입되어 새로운 기술개발에 대한 동기를 부여하고 정부는 이 결과를 통해서 에너지 절약기술의 시장편입 시점 및 시책의 후속조치에 대한 자료를 확보하게 된다.

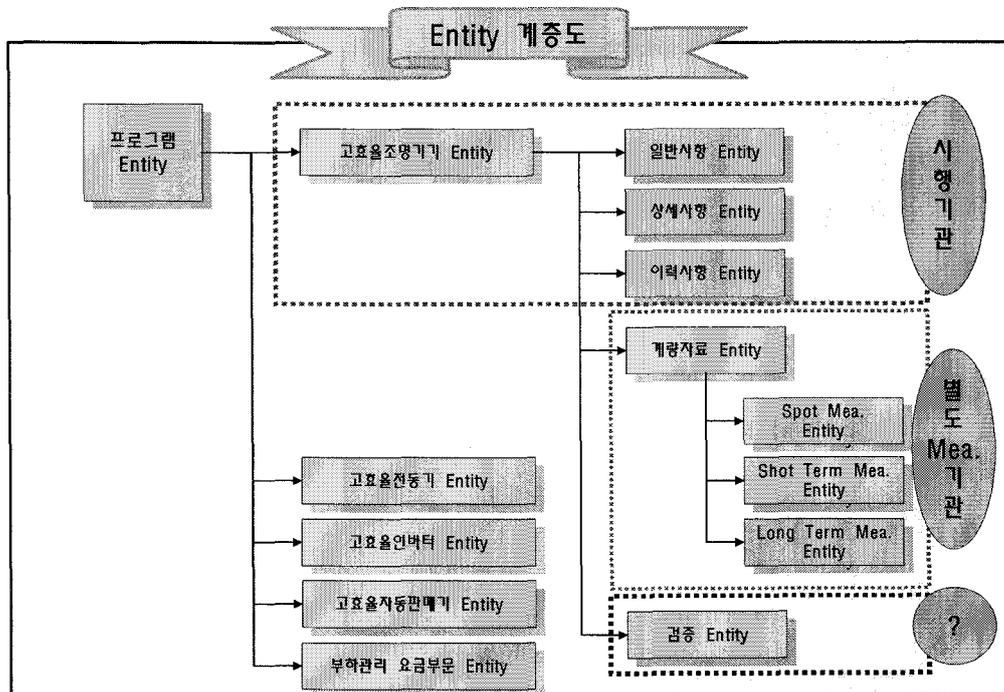
3.2. 제안한 계량검증 시스템의 계량검증 관점

본 연구에서 개발한 계량검증 시스템의 시행관점은 정부 전담기관에서 활용될 수 있는 시스템으로 M&V의 관점을 정립하였으며, 일반 참여자는 자신의 M&V 시행결과를 열람할 수 있도록 시스템의 유저에 따라서 기능을 제한하는 방법을 통해서 M&V 관점을 정의하였다. 본 시스템은 Web기반으로 구축되어 있어, 유저의 등급별로 계량검증시스템의 기능 및 역할을 정의하였다.

M&V의 관점에서 정의한 유저의 그룹은 일반유저, 계량을 전담한 계량업체, 시행기관, 그리고 정부 전담기관으로 나누었다. 시행기관은 프로그램에 참여한 수용가에서 제출한 최종 자료를 본 시스템의 Web 페이지에서 입력하고 입력된 정보는 본 시스템의 DB에 기록되어 언제 어디서나 Web을 통해서 자료를 열람/수정할 수 있도록 구축되었다. 하지만, 일반유저의 경우는 자신의 정보만을 접근할 수 있고, 시행기관도 자신이 보급한 참여자의 정보만을 접근할 수 있으며, 계량업체도 시행기관에서 지정한 업체에 대해서 지정한 참여자에 대해서만 접근이 가능하다. 반면, 정부 전담기관은 본 시스템의 모든 기능 및 정보에 접근할 수 있다. 이는 자료의 신뢰성과 정보의 보호를 위해서 도입하였다.

3.3 개발한 시스템의 데이터 베이스

본 연구에서 개발한 M&V 시스템의 데이터베이스에 대한 엔티티(Entity) 정의는 <그림 2>에 보였다. 본 시스템의 엔티티는 크게 프로그램에 참여한 참여자의 정보를 저장할 엔티티와 각 고효율기기에 대한 엔티티로 구성되며, 각 프로그램에 대해서는 다시 일반사항, 상세사항, 이력사항, 계량자료 및 검증 엔티티로 구성된다. 또한 계량자료는 측정의 종류에 따라서, 순시측정, 단기측정, 장기측정, 성능검증의 형태로 다양한 계량방법을 모두 수용할 수 있도록 엔티티를 정의하였으며, 이들 계량자료를 기초로 공학적 연산을 통한 검증결과는 검증 엔티티에 수록되어 실질적으로 Web을 통해서 그 결과를 확인할 수 있다.



<그림 47> 데이터베이스 엔티티 구성도

각 엔티티에 대해서 구체적으로 개별 엔티티를 살펴보면, 먼저, 프로그램 엔티티는 참여자 엔티티로 프로그램 참여자에 대한 정보를 수록하는 기능을 한다. 참여자 엔티티에는 시행주관기관 정보, 프로그램 참여정보 및 수용가 일반사항정보 그리고 프로그램의 각종 보급지원금 정보를 담고 있는 엔티티로 엔티티의 최상위에 위치하게 된다. <그림 3>에 참여자 엔티티를 보였다.

참여자 Entity				
No	속성	형태	단위	비고
1	시행주관기관	code		CODE-01
2	참여연도	number		
3	참여번호	number		
4	참여프로그램	code		CODE-02 (프로그램명에 해당하는 코드)
5	참여기술명	code		CODE-02 (참여기술명 코드포의 매치의 코드)
6	일부	varchar		설치 고재명 : 임박을 하지 않을 수 있음, 영발생차량
7	설치장소	varchar		가정용 설치된 주소(도시명까지도 입력할 수도 있음)
8	인물구분	bool		기술(0), 신규(1)
9	건물연면적	number	m ²	
10	입종분류	code		CODE-03
11	계량종별	code		CODE-04
12	계량면적	Real	kW	
13	설치지원금단위	Real	천원/kW	참여일 연세의 설치지원금 단위
14	설치지원금	Real	천원	
15	보급지원금단위	Real	천원/kW	
16	보급지원금	Real	천원	보급지원금이 없는 경우는 zero로 Setting
17	제1 고유Key			제조일 값 (연선)

프로그램 참여자 일반정보					
No	속성	형태	단위	비고	제1 고유Key
1	시행주관기관	code			제1 고유Key 포함
2	참여연도	number		53070	10-4-3-5-3-11-1
3	참여번호	number			
4	참여프로그램	code			
5	참여기술명	code			
6	일부	varchar			
7	설치장소	varchar			
8	인물구분	bool			
9	건물연면적	number	m ²		
10	입종분류	code			
11	계량종별	code			
12	계량면적	Real	kW		
13	설치지원금단위	Real	천원/kW		
14	설치지원금	Real	천원		
15	보급지원금단위	Real	천원/kW		
16	보급지원금	Real	천원		
17	제1 고유Key				1-2004-9-53-53110-상호

<그림 48> 참여자 엔티티

각 엔티티에 대해서 구체적인 정의에 대한 기술을 피하고 고효율조명기기의 검증 엔티티만을 보면, <그림 4>와 같이 수용가를 구분하는 속성키값과 프로그램 참여자 정보, 계량정보, 검증정보, 표본추출에 대한 환산계수 정보를 포함하고 있어 최종적으로 본 검증 엔티티만을 통해서 검증을 완료할 수 있도록 하였다.

고효율조명기기 Verification Entity					
No	속성	형태	단위	비고	
1	제1 고유Key			제조일 값	
2	시행주관기관	code		참여자 Entity와 Binding	
3	참여연도	number			
4	참여번호	number			
5	참여프로그램	code			
6	참여기술명	code			
7	확장형태	number			순간(1), 단계(2), 장차(3)
8	확장횟수	number		확장결과	
9	네 확장형태	number			표본추출방법(4), Billing(5), Simulation(6), No(0)
10	전력(불선전)	Real	kW		
11	전력(불선전)	Real	kW		
12	발전 전력	Real	kW		
13	운영시간				
14	전력량(불선전)	Real	kWh/year		
15	전력량(불선전)	Real	kWh/year		
16	발전 전력량	Real	kWh/year		
17	발전 전력	Real	kW		
18	발전 전력량	Real	kWh/year	요산단 환산결과	
19	환산 계수1	Real			
20	환산 계수2	Real			
21	환산 계수3	Real			
22	환산 계수4	Real			
23	환산 계수명1	varchar		환산계수에 대한 명칭	
24	환산 계수명2	varchar			
25	환산 계수명3	varchar			
26	환산 계수명4	varchar			

<그림 49> 고효율조명기기 검증 엔티티

3.3. 개발 시스템 및 구성 기능

본 연구에서 개발한 전력수요관리 성과 계량검증 시스템의 Web 화면 및 그 기능에 대해서 기술한다. <그림 5>는 개발한 시스템의 메인 Web 화면을 나타낸 것이다. 주 화면은 당해연도 현재까지 전력수요관리 프로그램의 보급현황을 보급대수, 보급량, 투자비, 예상 절감량에 대해서 일단 위로 열람할 수 있으며, 장기적인 국가 수요관리목표를 확인할 수 있다.



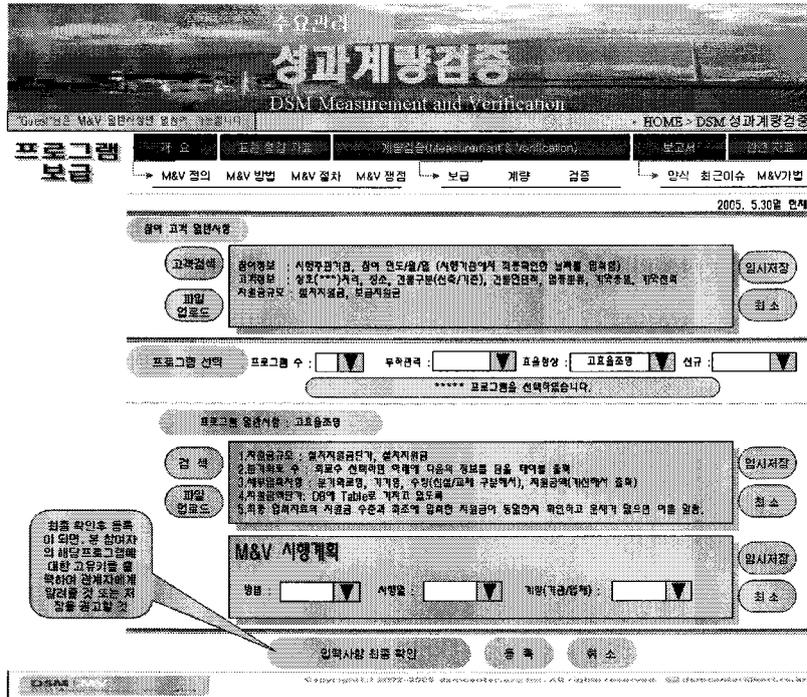
<그림 50> 제안한 성과계량검증 시스템 주화면

당해연도 계량현황에 대해서는 계량일정 및 계량방법 및 계량기관에 대해서 표시함으로써 참여자가 향후에 추진될 계량 일정을 확인할 수 있도록 하였다. 당해연도 검증현황은 시행기관이나 정부 전담기관에서 검증을 완료한 자료를 일반인이 열람할 수 있는 기능으로써 이는 반드시 시행기관이나 전담기관이 자료의 열람을 허용한 경우에 한해서만 열람할 수 있도록 하였다. 또한, 최근의 M&V 쟁점사항을 비롯한 기본적인 M&V 자료를 확인할 수 있다. 본 계량검증 시스템의 최종 활용분야이기도 한 표준 절감자료에는 지속적인 계량검증을 통해서 확보된 자료를 지속적으로 갱신하여 향후에 참여하는 참여수용가에 대해서 유효한 조건에 있는 경우에는 유효한 결과를 별도의 계량을 거치지 않고 그 결과를 일반화 할 수 있도록 하였으며, 이 표준 절감 자료는 모든 유저가 접근할 수 있도록 하였다.

본 시스템의 계량검증 부기능은 보급 계량 검증으로 그 기능을 세분화하여 보급에서는 시행기관이 참여수용가의 일반정보를 입력할 수 있는 기능이며, 계량 기능은 계량업체로 하여금 계량을 실시한 자료를 시스템에 입력할 수 있도록 할애한 페이지고, 검증 기능은 최종 계량검증 자료를 생성하고 그 결과를 확인할 수 있는 페이지로 구성하였다.

<그림 6>은 M&V의 “프로그램 보급” 페이지에서 시행기관의 참여자 정보입력창을 보여주고 있다. 시행기관은 참여한 수용가의 일반사항과 함께 M&V의 시행계획으로 그 방법 및 시행일자 그

리고 계량을 시행할 기관에 대해서 기록하며, 시행기관의 업무과다에 대비해서 Excel 파일의 형태로 자료를 업로드할 수 있는 기능을 부가적으로 구현하였다.



<그림 6> M&V 프로그램 보급 화면

<그림 7>은 M&V를 위한 계량정보의 입력창으로써 계량한 업체 및 기관에서 시행 프로그램의 계량정보를 선택하여 그 자료를 업로드 할 수 있도록 정의되었다.



<그림 7> M&V 프로그램 계량 화면

본 계량페이지에서는 계량자료(Excel File)의 업로드와 업로드된 자료의 신뢰성 검증 - 불량자료의 유무 및 누락 자료의 식별의 통한 불량자료 및 누락자료의 보정 -과 계량이 완료된 자료에 대한 검증을 실시한다. 본 페이지에서 설계된 바와 같이 고효율조명기기 프로그램의 경우, 전수로 계량하지 않더라도 계량한 정보와 함께 수용가의 일반사항 정보를 활용한 현 상태의 보급프로그램의 검증할 수 있도록 하였다. 이는 전담기관이 필요한 시점에서 참여수용가의 검증정보를 확인할 수 있도록 하기 위해서 이와 같이 설계한 것이다.

검증을 완료한 자료는 계량검증결과를 해당 Web page에서 바로 확인할 수 있도록 하였으며, 본 페이지에서는 계량한 자료 전체를 시스템에 보관하지 않고 Excel 업로드 파일은 원본을 유지하고 검증을 완료한 자료에 대해서만 열람할 수 있도록 설계하여 Web 서버의 부담을 줄이도록 설계하였다.

The screenshot displays the '성과계량검증' (Performance Measurement and Verification) web application. The main content area features a table with the following data:

No	시행기관	프로그램	연차 보급량	계량 형태		
				표준 절감량	정당기 측정	성능검증
1	한국전력공사	고효율조명	100	85	40	5
2	한국전력공사	고효율조명기기	50	90	15	5
3	한국전력공사	고효율조명기기	20		15	5
4	한국전력공사	일사대	20	15		5
5	한국전력공사	복합설비	100	190		
6	한국전력공사	유기보수	5,000		5,000	
7	한국전력공사	차출절전	1,000		1,000	
8	한국전력공사	고효율조명기기	50	30	10	10
	합		6,340	230	6,080	30

Additional elements in the screenshot include a 3D pie chart on the right, a search bar at the top, and a sidebar with program selection options. A callout box on the left indicates '선택의 편의성을 위한 링크' (Link for convenience of selection).

<그림 8> M&V 프로그램 검증 화면

<그림 8>은 M&V의 검증을 위한 화면으로 계량이 완료되고 계량된 자료에 대해서 개별 검증이 완료된 상태에서 시행기관이나 전담기관에서 그 결과를 종합적으로 검토할 수 있도록 구성된 페이지이다. 설계안에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 프로그램에서도 계량방법은 다양하게 존재할 수 있다. 따라서 이들 결과의 조합은 다양한 알고리즘이 수립될 수 있으며, 현재는 보급대수와 정밀도에 대한 가중평균으로 미계량 자료를 일반화하였다. 시행기관 및 전담기관은 현재시점까지 보급된 모든 자료에 대해서 표준절감표에 의해서, 성능검증에 의해서, 계량에 의해서 다양한 방법으로 보급 프로그램의 시행효과를 검증할 수 있다. 본 시행효과 검증이 완료된 즉시 시행기관과 전담기관은 작성한 검증자료에 대한 공개여부를 결정해야 하며, 이를 통해서 일반유지를 비롯한 타 시행기관에서 그 자료를 활용할 수 있다.

전담기관에서는 프로그램별로 그 시행효과를 비교분석할 수 있으며, 현 시점에서의 보급프로그램 별 비용편익 비교우위를 결정할 수 있도록 그 기능을 본 시스템에서 마련해 놓고 있으며, 계량검증의 신뢰성을 제고하기 위해서 계량에 대한 기본적인 권고사항을 각 프로그램별로 제공하고 있어 시행기관 및 전담기관에서 이를 참조하여 유의한 수준의 신뢰성을 얻기 위한 계량의 수준을 결정할 수 있도록 기능을 제공하였다.

4. 결 론

본 논문은 에너지 절약기술의 시행효과를 검증하기 위한 계량검증(Measurement & Verification; M&V) 시스템의 구축을 위한 설계안을 제안하였다. 에너지 절약기술의 시행효과는 어떠한 방법을 통해서건 반드시 계량화되어야 하지만, 아직까지 국내에서 구체적인 시행경험이 없는 상태에 있으며, 본 논문에 이에 대한 기본적인 계획안을 제공했다는 점에서 중요한 의미를 갖는다.

본 연구에서 개발한 M&V시스템은 M&V시행관점에 따라 그 기능을 유저등급에 따라 접근성을 달리 적용하여 설계·구현하였으며, 상위 기관의 정보는 공개된 경우에 한하여 일반유저가 열람할 수 있도록 구성하여 자료의 신뢰성을 저해하는 각종 인터럽트를 배제하였다. 본 연구에서 개발한 시스템의 주요 기능을 요약하면 다음과 같다.

- M&V 시행관점에 따른 다양한 유저의 수용
- 정부 전담기관의 관점에서 M&V 구현
- 시행기관 및 계량업체의 자료 입력의 간소화 실현
- 계량자료의 신뢰성 검증 알고리즘 설계
- 계량자료의 신뢰성 검증을 위한 불량자료(bad data) 식별 알고리즘 개발
- 계량자료의 신뢰성 검증을 위한 누락자료(missing data) 보정 알고리즘 개발
- 전담기관의 계량검증 시점의 임의성 부여
- 전담기관의 계량검증을 위한 기초정보 제공
- 기능사용의 편의성 및 신속성 제공

본 연구에서는 에너지 절약기술 중에서 고효율기기보급 프로그램에 국한한 M&V시스템을 설계하였다. 향후, 추가적으로 부하관리 프로그램을 개발하여 병합하면, 국내 전력수요관리 프로그램의 실질적인 계량검증시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

에너지 절약기술의 시행효과 검증을 위한 계량검증시스템은 그 필요성이 인식되고 있음에도 불구하고 구체적인 시스템에 대한 논의가 미진한 상태이나 본 논문에서 제안한 시스템이 에너지 절약기술의 시행효과 계량검증에 대한 연구와 시스템 개발에 대한 많은 논의의 기초가 되기를 기대한다.

<참고문헌>

- 에너지관리공단 DSM사업처(2002), 「DSM 프로그램별 M&V 및 경제성평가」
 에너지관리공단(2000), 「수요관리기법 조사연구」
 에너지관리공단(1997), 「북미에너지절약 측정 및 평가 규약」
 에너지관리공단(2005), 「수용가부하곡선을 이용한 전력사용 행태분석」
 CenterPoint Energy(2004), *2005 Commercial & Industrial Standard Offer Program Manual*
 California PUC(2004), *The California Evaluation Framework*
 DOE(1997), *International Performance Measurement and Verification Protocol*
 한국전기연구원(1996), 「DSM성과계량 및 비용효과 분석 모델개발-비용효과 분석부문」
 김인길(1996), 「에너지절약 시책 평가 모델 개발 연구」, 에너지경제연구원