

포트폴리오 이론을 적용한 효율향상 프로그램의 적정 투자계획 수립방안

이 우 남 / 건국대학교 전력시장신기술연구센터

I. 서 론

최근 전세계적으로 기후변화 및 산업화로 인한 에너지 다소비 사회로의 전환으로 인해 에너지수요 측면에서의 소비절약에 대한 중요성이 한층 더 높아지고 있다. 이러한 점에서 국내외적으로 에너지를 공급하는 측면에서 에너지 문제를 해결하는 것에서 벗어나 에너지효율화 사업 및 수요반응을 통하여 에너지사용량을 줄이고자 하는 방안인 에너지 수요관리의 중요성이 한층 더 부각되고 있다.

수요관리의 주요 수단 중의 하나인 부하관리의 경우 에너지소비자가 에너지요금이나 인센티브에 반응하여 자신의 수요패턴을 조정함으로써 계통최대부하시간대의 에너지수요 경감 또는 부하이동을 통해 계통운영의 안정성 및 신뢰도를 향상시키는 것을 목적으로 한다. 반면 효율향상의 경우 에너지소비자가 에너지소비효율이 높은 기기 또는 시스템의 도입을 유도함으로써, 기존기기 대비 동일한 효율을 제공하면서 에너지소비자의 전반적인 에너지사용량 절감을 도모하는데 그 목적이 있다. 따라서, 효율향상은 국가 에너지소비 완화 차원에서 주요수단으로 활용될 수 있는 가치를 제공해주게 된다. 또한, 다양한 연구결과들을 통해 효율향상이 가지는 공급자원대비 비용효과성(Cost-Effectiveness)이 입증되고 있으며[1],[2] 미국 캘리포니아 주의 경우 효율향상을 에너지자원 중 최우선자원으로 인식하고 이를 자원계획

수립에 반영하고 있다[3].

이러한 효율향상이 국가 에너지절감을 위한 주요 대응 수단이라는 인식과 효율향상 자원이 갖는 비용효과성을 바탕으로 미국을 비롯한 유럽의 주요 선진국에서는 에너지공급자에게 효율향상을 통한 에너지절감을 의무화 하는 에너지효율향상의무화제도(Energy Efficiency Resource Standard, EERS)를 도입하여 추진중에 있다. EERS 제도 하에서 각 에너지공급자는 다양한 효율향상 프로그램을 통해 연도별 또는 단계별 의무절감목표량을 달성해야 한다. 또한 의무목표달성의 유연성을 부여하기 위해 의무대상자간의 에너지절감 인증서를 거래 할 수 있도록 시장거래 메커니즘을 제공하고 있다.

한편, 국내 수요관리는 과거 부하관리를 중심으로 추진되어 왔으며, 소비자를 대상으로 한 효율향상 프로그램의 경우 1994년 고효율조명 보조금지원사업을 시작으로 고효율전동기, 고효율인버터, 고효율변압기, 신조명(LED)등 다양한 기기들에 대한 보조금지원이 이루어져 왔으며, 향후 보다 적극적인 효율향상 프로그램의 추진을 위해 EERS의 국내도입이 예상되고 있다.

국내 효율향상 프로그램은 일반적으로 규제적 성격의 고효율 인증 및 등급제도 등을 제외하였을 때, 소비자에게 지원대상 고효율기기에 대한 보조금 지원사업을 통해 운영되기 때문에 각 프로그램에 투입된 연도별예산 수준이나 에너지절감량 및 기기보급특성을 고려한 합리적인 투자계획 수립이 이루어져야 한다. 하지만 국내 수

요관리 평가는 캘리포니아 테스트를 바탕으로 하여 당해 연도 사업계획 및 실적에 대한 경제성평가위주로 진행되고 있으며, 각 프로그램간의 우선순위 설정 및 적정 투자예산 배분을 위한 포트폴리오구성에 여러가지 한계점을 내포하고 있다. 따라서, 본 글에서는 평균-분산 기반의 포트폴리오 이론을 적용한 효율향상 프로그램의 적정 투자계획 수립방안을 제시함으로써, 프로그램 시행실적의 변동성과 같은 위험요소를 감안한 투자론적 관점에서의 접근방식을 제안하고자 한다.

II. 포트폴리오 이론과 최적 포트폴리오의 선택

일반적으로 여러가지 종류의 자산을 결합하여 포트폴리오를 구성하는 가장 중요한 목적은 분산투자(Diversification)에 의해 투자위험을 감소시키는 데 있다. 투자자들은 포트폴리오 분석을 통해 원하는 수준의 기대수익률에 대하여 위험을 최소화시키거나, 혹은 투자자들이 부담하고자 하는 위험수준에서 가장 높은 기대수익률을 실현해 주는 효율적 포트폴리오(Efficient Portfolio)를 선택하고자 할 것이다. 따라서, 포트폴리오 선택이론(Portfolio Selection Theory)이란 수많은 효율적 포트폴리오 중에서 개별투자자의 위험 수준에 적합한 최적의 포트폴리오를 선택하는 방법론을 제시해 주는 것이다. 이러한 포트폴리오 이론은 1952년 Markowitz에 의해 처음으로 제안되었으며, 평균-분산(Mean-Variance)에 기초한 효율적 포트폴리오 모형을 통해 기존의 비용최소화 개념에서 한발 더 나아가 장기간에 걸친 수익흐름의 불확실성 혹은 위험을 함께 고려한 자산 배분 방법론을 제시하였다[4],[5].

1. 포트폴리오의 기대수익률과 위험

포트폴리오의 기대수익률은 포트폴리오를 구성하는 개별자산들의 기대수익률을 구성비율로 가중평균한 값이다. 아래 식은 n 개의 개별자산으로 구성된 포트폴리오의 기대수익률을 정의한 것이다.

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot E(r_i) \\ = \omega_1 \cdot E(r_1) + \omega_2 \cdot E(r_2) + \dots + \omega_i \cdot E(r_n)$$

여기서, $E(r_p)$ 는 포트폴리오의 기대수익률, ω_i 는 개별자산 i 의 구성비율, $E(r_i)$ 는 개별자산 i 의 기대수익률을 의미한다.

위의 식에 의하면 포트폴리오의 기대수익률은 포트폴리오를 구성하는 개별자산의 기대수익률과 구성비율에 의해서만 결정되며, 개별자산들의 수익률 간의 상관관계는 포트폴리오의 기대수익률에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

다음으로 포트폴리오의 위험은 포트폴리오를 구성하는 개별자산들의 위험과 구성비율뿐만 아니라, 개별자산들의 수익률 간의 상관관계에 의해 결정된다. 따라서, 두 개별자산들의 수익률 간의 상관관계에서 기인하는 위험감소 효과는 투자자금을 여러 자산에 분산 투자할수록 더욱 두드러지게 나타나는데, 이 효과를 분산효과(Diversification effect) 또는 포트폴리오 효과(Portfolio Effect)라고 한다. 우리가 단 한 개의 개별자산에 모든 자금을 투자하지 않고, 여러 개의 상이한 투자자산에 분산 투자하는 것은 포트폴리오 효과에 의해 위험을 감소시키기 위해서이다.

포트폴리오의 위험을 나타내는 포트폴리오의 분산은, 그 포트폴리오를 구성하는 각 개별자산들의 분산에 의해서만 결정되는 것이 아니라, 각 개별자산 상호간의 공분산이나 상관계수에 의해서도 달라진다. 포트폴리오를 구성하는 개별자산들 간의 공분산이나 상관계수가 음(-)의 값을 가질 때는 포트폴리오의 분산은 작아지게 되며, 반대로 공분산이나 상관계수가 양(+)의 값을 가지면 포트폴리오의 분산은 커지게 된다. 따라서, 수익률이 동일한 방향으로 변동하는 개별자산들로 포트폴리오를 구성하게 되면, 개별자산들 간의 공분산이나 상관계수가 양(+)의 값을 가지기 때문에 포트폴리오의 분산은 커지게 되며, 포트폴리오의 분산효과는 작아지게 된다. 반대로, 수익률이 서로 반대 방향으로 변동하는 개별자산들로 포트폴리오를 구성하게 되면, 개별자산들 간의 공분산이나 상관계수가 음(-)의 값을 가지기 때문에 포트폴리오의 분산은 오히려 작아지게 되며, 포트폴리오의 분산효과는 커지게 된다.

상기의 개념을 바탕으로 일반화한 n 개의 개별자산으로 구성된 포트폴리오의 분산은 다음과 같다.

$$Var(r_p) = \sigma_p^2$$

● 기 획 시 리 즈

$$= \omega' \Sigma \omega$$

$$= [\omega_1 \omega_2 \cdots \omega_n] \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix}$$

여기서, $Var(r_p)$ 는 포트폴리오의 분산, ω_i 는 개별자산 i 의 구성비율, Σ 는 분산-공분산 행렬, σ_i^2 는 개별자산 i 의 분산, σ_{ij} 는 개별자산 i 와 j 간의 공분산을 나타낸다.

이와 같이, 포트폴리오의 기대수익률은 포트폴리오를 구성하는 개별자산들 간의 공분산이나 상관계수에 의해 전혀 영향을 받지 않는데 반해, 포트폴리오의 분산은 개별자산들 간의 공분산이나 상관계수에 의해 결정된다는 사실은 Markowitz의 포트폴리오 이론의 핵심이라고 할 수 있다.

2. Markowitz의 효율적 투자선(Efficient Frontier)

평균-분산 기준에 의해 개별자산과 포트폴리오를 평가하기 위해서는 기대수익률과 위험의 두 요인을 고려하게 된다. 투자자산의 가치는 그 투자로부터 기대되는 수익률이 클수록 커지며, 반면에 위험이 클수록 작아진다. 따라서, 투자자들은 수많은 투자 대상 가운데에서 기대수익률이 높고 위험이 작은 투자안을 지배원리(Dominance Principle)에 의해 선택하게 된다. 지배원리란 같은 위험 하에서는 기대수익률이 높은 것이, 같은 기대수익률 하에서는 위험이 작은 것이 그렇지 않은 투자대상을 지배한다는 것으로, 이 지배원리에 입각하여 선택되는 투자안이 효율적 투자대상이 된다. 또한, 특정 투자자가 이러한 효율적인 투자대상들 중에서 어떤 것을 최적의 포트폴리오로 선택하느냐 하는 문제는 단지 그 투자자가 선호하는 위험 수준에 달려있다.

다음 그림을 살펴보면, 곡선 AB상에 나타난 모든 점들과 그 하위영역에 존재하는 점들은, 그 각각이 투자 가능한 모든 개별자산이나 포트폴리오를 나타내는 투자기회 집합(Opportunity Set)을 의미한다. 이러한 투자기회 집합에 나타나 있는 수많은 개별자산의 포트폴리오 중에서 효율적인 포트폴리오를 구별하는 문제는 지배원리에 의거 동일한 위험 수준을 가지는 투자대상 가운데 기대수익률이 가장 높은 투자안을 찾으면, 그 투자안이 해당

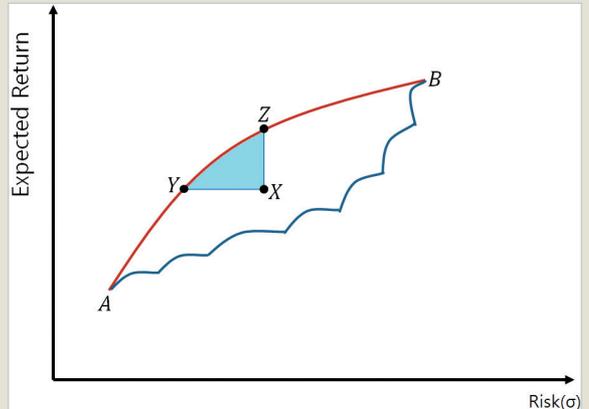


그림 1 효율적 투자선 및 최적포트폴리오 선택

위험 수준에서 가장 효율적인 투자안이 되는 것이다. 이와 마찬가지로, 동일한 기대수익률을 가지는 투자대상 가운데 위험 수준이 가장 낮은 투자안을 선택하면, 그것이 해당 기대수익률에서 가장 효율적인 투자안이 되며, 따라서 곡선 AB상의 모든 포트폴리오는 지배원리에 의해 효율적 투자안을 나타내기 때문에 이를 효율적 투자선 혹은 효율적 투자선(Efficient Frontier Curve)라고 부른다. 이 이론은 1952년 Markowitz가 발표한 논문에서 주장한 것으로, 이를 Markowitz의 효율적 프론티어라고 하며, 이때 투자자는 최적 포트폴리오의 선택을 위해 현재의 포트폴리오(X)와 동일한 위험 수준에서 최대의 기대수익률을 가져다주는 포트폴리오(Z) 또는 현재와 동일한 기대수익률 하에서 위험을 최소화하는 포트폴리오(Y)를 선택하게 된다.

III. 효율향상 투자계획에의 적용

1. 효율향상 프로그램의 기대절감량 및 위험

효율향상 프로그램에 대한 계획수립에 있어 가장 기본적인 고려사항 중의 하나는 현재 각 프로그램의 구성비(Mix) 또는 전체 프로그램 포트폴리오가 최적의 조합으로 구성되어 있는가에 대한 것이다. 따라서, 적정 포트폴리오의 구성을 위해 연도별 각 프로그램의 시행효과에 대한 추이를 분석하고 이를 바탕으로 향후 프로그램 시행효과의 변동성을 최소화하거나 기대효과를 최대화하는 포트폴리오를 구성할 필요가 있다. 이를 위해서는,

효율향상 프로그램별 고효율기기의 수명을 고려하여 균등화된(Levelized) 에너지절감비용을 산출하여 단위 에너지를 절감하기위해 소요되는 비용을 계산하고, 포트폴리오 이론을 적용하기 위해 이의 역수인 단위 예산투입당 절감에너지의 형태로 변환이 필요하다.

먼저, 연도별 각 효율향상 프로그램별 균등화된 에너지절감비용은 'CSE(Cost of Saved Energy)' 로 정의되며, 이는 고효율기기를 설치하였을 경우 기기의 수명기간 동안 연간 발생하는 에너지절감 효과를 바탕으로 단위 에너지절감량당 소요되는 투자비용을 의미한다. 따라서, CSE의 값이 작으면 프로그램에 의해 비용효과적으로 효율향상을 달성할 수 있다는 것을 의미하며, 산출식은 다음과 같다[6].

$$CSE = \frac{CRF \times PC}{SE}$$

$$CRF = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

여기서, PC는 총 프로그램 비용(지원금, 인건비, 홍보비, 운영비 등) [원], SE는 연간 에너지절감량 [kWh], i는 할인율%, n은 기기수명[년]을 나타낸다.

다음으로 계획년도의 기대절감량 및 위험을 계산하기 위해, 각 프로그램별 과거 연도별 실적 및 투입비용을 토대로 산출된 단위 예산투입당 에너지절감량[kWh/원]을 바탕으로 계획년도의 기대절감량 및 위험의 추정이 이루어지게 되며, 이때, 일반적으로 차기년도의 에너지절감편익은 최근 실적의 영향을 많이 받는 것을 전제한 가중이동평균법을 적용하여 기대절감량 및 위험을 산출하게 된다.

2. 사례연구

본 기고에서는 사례연구를 위한 기초자료로서 2005년에서 2009년까지의 5년 동안의 효율향상 프로그램별 실적을 바탕으로 간단한 사례연구를 진행하였다기.

가. 입력데이터 산출

먼저, 각 연도별 에너지절감편익 및 계획년도(2010년)의 기대절감량을 산출한 결과는 다음 표와 같다.

표 1 연도별 효율향상 프로그램별 절감편익 및 계획년도 기대절감량

연도	가중치	고효율 안정기	메탈할 라이드	LED	고효율 인버터	고효율 변압기
2005	5%	130.23	-	-	140.24	194.17
2006	5%	124.41	-	-	117.33	33.50
2007	20%	162.25	-	-	143.57	49.40
2008	25%	130.23	27.94	21.20	199.16	89.45
2009	45%	127.71	15.62	21.61	215.52	53.48
2010년도 기대절감량		135.21	21.78	21.40	188.37	67.69

표 2 효율향상 프로그램별 분산-공분산 행렬산출결과

프로그램	고효율 안정기	메탈할 라이드	LED	고효율 인버터	고효율 변압기
고효율 안정기	238.29	17.88	-0.58	-98.52	-147.47
메탈할 라이드	17.88	75.95	-0.79	-129.06	75.22
LED	-0.58	-0.79	0.08	4.21	-2.45
고효율 인버터	-98.52	-129.06	4.21	1761.84	-186.96
고효율 변압기	-147.47	75.22	-2.45	-186.96	4211.67

다음은 포트폴리오 위험(Risk)을 계산하기 위한 분산-공분산 행렬의 산출결과를 보여준다.

분산-공분산 행렬 도출결과 고효율안정기-메탈할라이드, 메탈할라이드-고효율변압기, LED-고효율인버터 프로그램간의 경우를 제외한 나머지의 경우에서 프로그램 간에 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 각 프로그램별 분산은 LED 프로그램의 변동성이 가장 작고, 고효율변압기 프로그램의 변동성이 가장 큰 것으로 나타났다. 그리고 고효율인버터 프로그램의 경우 기대절감량이 큰 반면 최근 5년간의 에너지절감의 변동성은 타 프로그램에 비해 상당히 큰 것으로 나타났다.

나. 효율적 투자선 및 적정 포트폴리오의 산출
현재 포트폴리오 기준에서 기대절감량 최대화 및 위험을 최소화하는 포트폴리오 도출을 위한 목적함수는 다음과 같다.

- ① 현재기준 포트폴리오의 위험과 동일한 상황에서 기대절감량 최대화

● 기 획 시 리 즈

$$\text{Maximize } E(r_p)$$

$$\text{s.t. } E(r_p) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot E(r_i)$$

$$\sigma_p = \sigma_{\text{Current}}$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

$$0 \leq \omega_i \leq 1$$

② 현재기준 포트폴리오의 기대절감량과 동일한 상황에서 위험 최소화

$$\text{Minimize } \text{Var}(r_p)$$

$$\text{s.t. } \text{Var}(r_p) = \omega' \Sigma \omega$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i \cdot E(r_i) = E(r_p)_{\text{Current}}$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

$$0 \leq \omega_i \leq 1$$

다음으로 포트폴리오 최적화의 경우 일반적으로 활용되는 최적화 기법을 통해 산출이 이루어지게 되며, 효율적 투자선을 도출하기 위하여 먼저 최소 위험수준과 최대 위험수준을 최적화를 통해 도출한 후, 이 두 위험수준 사이의 모든 위험수준에서 기대절감량을 최대화하는 포트폴리오에 대하여 반복계산을 통해 도출하게 되며, 그 결과는 다음 그림과 같다.

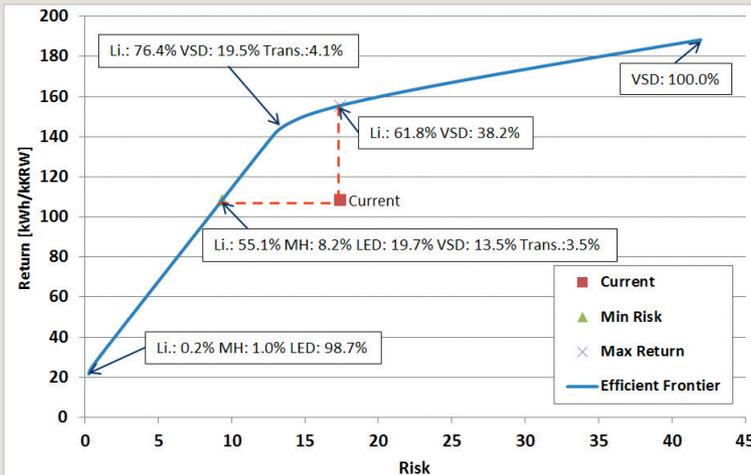


그림 2 효율향상 포트폴리오의 효율적 투자선 및 최적포트폴리오 도출

현재 효율향상 프로그램 포트폴리오를 기준으로 산출한 리스크 최소화 관점에서 포트폴리오 최적화 결과 기대절감량이 동일한 조건에서 리스크가 17.36에서 9.34로 약 46.2% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 고효율 안정기, 메탈할라이드 프로그램을 제외한 나머지 프로그램들의 비중은 감소하는 것으로 나타났으며, 상대적으로 타 프로그램에 비해 변동성이 큰 고효율인버터 프로그램의 경우 그 감소폭이 제일 큰 것으로 나타났다. 다음으로 기대절감량 최대화 관점에서 포트폴리오 최적화 결과, 현재 리스크와 동일한 조건에서 기대절감량이 108.36에서 155.51로 42.5% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 고효율 안정기, 고효율 인버터 프로그램을 제외한 나머지 프로그램들의 예산비중은 0%로 나타났다. 이는 현재기준에서 기대절감량을 최대화하기 위해서는 기대절감량이 타 프로그램에 비해 상대적으로 큰 고효율안정기 프로그램과 고효율 인버터프로그램위주로 진행되어야 한다는 것을 의미한다.

IV. 결 론

지금까지 우리나라의 효율향상 프로그램에 대한 투자계획은 프로그램 시행자의 직관적인 판단 또는 정부의 주요 정책기조에 따라 진행되어 왔으며, 국가적 편익 최대화 관점, 예산투입에 따른 에너지절감 리스크 최소화 관점에서의 투자계획 수립은 미흡한 것이 사실이다. 따라서, 본 기고에서는 투자론적 관점에서 포트폴리오 이론을 적용한 효율향상 프로그램의 합리적인 투자계획 수립 방법론을 제안하고자 하였다. 하지만 현재의 수요관리 시행체계 하에서 향후 좀 더 신뢰성 있고 실현가능한 투자계획 도출을 위해서는 먼저 프로그램의 시행효과에 대한 신뢰성이 확보되어야 한다. 우리나라의 경우 효율향상 프로그램 시행에 따른 성과의 측정 및 검증(Measurement & Verification)체계가 확립되어있지 않음에 따라 고효율기기별 표준절감량 및 실태조사를 근거로 에너지절감

량 및 피크억제량을 산출하고 있는 실정이다. 이는 동일한 고효율기기를 사용하더라도 부문별, 용도별로 기기 사용행태가 상이한 수용가의 특성을 반영하는데 한계가 있으며 그 결과 도출에 있어 상당한 불확실성을 내포할 수밖에 없다. 따라서, 통계학적 방법론에 기반한 M&V 체계를 확립하여 부문별, 용도별로 대표성 및 신뢰성을 갖는 에너지절감 데이터를 지속적으로 확보하고 갱신해 나간다면, 좀 더 합리적이고 달성가능한 효율향상 프로그램 계획수립이 이루어 질 수 있을 것이다. 또한, 현재 고효율기기 및 기타 고효율인증대상기기에 대한 시장조사를 바탕으로 한 고효율기기 보급의 기술적, 경제적, 그리고 달성가능 잠재량에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있으며, 이를 통해 향후 프로그램의 지속여부 및 신규프로그램의 도입, 그리고 최대 투자규모의 제약에 따른 포트폴리오 조정과 관련한 합리적 의사결정이 이루어질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Meier A., Arthur H. Rosenfeld, "Supply Curves of Conserved Energy for California's Residential Sector", Energy, vol.7, no.4, pp.347~358, 1982.
- [2] Stoft S., "The Economics of Conserved-Energy Supply Curves: University of California Energy Institute", 1995.
- [3] CPUC, "Decision Approving 2010 to 2012 Energy Efficiency Portfolios and Budgets", 2009.
- [4] Markowitz, H., "Portfolio selection", The Journal of Finance 7(1), pp. 77~91, 1952.
- [5] Markowitz, H., "Portfolio Selection", 2nd Ed. Cambridge, MA: Blackwell Publishers Ltd., 1991.
- [6] Friedrich K. et al., "Saving Energy Cost-Effectively: A National Review of the Cost of Energy Saved through Utility-sector Energy Efficiency Programs", ACEEE, 2009.
- [7] 한국전력공사, 전력수요관리사업 수행결과 보고서, 2006-2010.