

베이스라인 조정에 의한 에너지소비 및 원단위 목표설정과 성과평가에 관한 연구

이상엽*

Performance Assessment Methodology of Energy Conservation and
Efficiency with Consideration of Baseline and Target Adjustment

Sang-Youp Lee

국문요약 ■

ABSTRACT ■

I. 서 론 ■

II. 분석방법론 ■

III. 사례분석 결과 ■

IV. 결 론 ■

참고문헌 ■

국문 요약

본 연구에서는 효과적인 에너지 관리를 위한 경제학적 일반방법론을 기초로 경제적 주요 변수가 고려된 목표조정 및 이행실적 평가 방법론을 제시하였다. 에너지소비 및 원단위는 생산량, 생산구조 등 요인에 의해 직접 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 목표달성시점의 실질 생산량을 반영해 베이스라인 및 목표 재조정을 하고 이에 기초해 목표달성도를 평가하였다. 사례분석 결과, 생산량 변동을 고려한 베이스라인 및 목표조정 유무에 따라 평가결과의 차이가 있음을 확인하였다. 본 연구는 성과의 지속적 개선을 축으로 한 적합성 평가제도와 교토메카니즘 활용 과정에서 최근 활발하게 수행되고 있는 온실가스 배출량 검증 제도에서 핵심이 되는 검증기준 마련에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 | 에너지절약, 에너지효율개선, 베이스라인 조정, 목표조정, 성과평가

Abstract

This paper presents a method for developing the performance assessment of energy conservation and efficiency based on baseline and target adjustment approach. Energy consumption is related with output level and production structure. This paper suggests improvement for target establishment and performance assessment with regard to real output level in target year. Numerical illustrations of baseline and target adjustment method are shown different compared with the general assessment results. This study will contribute to applying the conformity assessment and Greenhouse Gas Emissions verification system.

Keywords | energy conservation, energy efficiency improvement, baseline adjustment, target adjustment, performance assessment

I 서 론

친환경 에너지 소비구조 개편을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 더욱이 교토의정서 발효에 따른 배출권시장의 확대, 이에 대비하기 위한 온실가스 감축 정책연구가 다양한 관점에서 중요성이 증가하고 있다. 이와 관련해 화석에너지와 신재생에너지를 포괄하는 지속 가능한 에너지 시스템 개념상 화석에너지 소비의 효율적 관리(sustainable fossil fuels) 역시 매우 중요한 과제이다. 전통적인 직접규제와 시장경제적 환경정책 간 통합적 운영의 장점은 이미 이론적으로 밝혀진 상태이지만, 이와 같은 통합적 접근 역시 정책수용자의 정책 대응 학습효과가 축적되면서 정보비대칭이 가중되어 정책효과가 기대에 못 미치는 결과로 나타나고 있다. 또한 복잡한 환경·에너지의 특성상 정부중심의 정책은 일정 목표는 달성되더라도 예상치 못한 기타 오염물질 배출은 오히려 증가하는 모순도 발생할 수 있으며, 경제여건 및 생산구조 등에 따라 실질적인 목표달성여부에 대한 판단은 다양하게 접근될 수 있다.

이와 같이 정책공급자와 수용자 사이의 정보비대칭 문제 해결 등 효과적인 정책운용을 위한 방안으로서 자발적협약(Voluntary Agreement; VA)정책은 적절한 대안으로 평가된다(Wilma 등, 2004 ; OECD, 1997). VA는 기업 측면에서는 저비용으로 환경관리를 할 수 있고, 동시에 정부는 행정비용 절감으로 환경개선 효과를 얻을 수 있는 일종의 경제적 관점의 환경정책 수단으로 평가될 수 있기 때문이다. 그러나 정책 효과성 측면에서 실효성이 문제가 될 수 있으며, 산업계 이익에 정부만 비용을 지불할 수 있는 측면도 존재한다. 이와 같은 관점에서 본 연구는 VA형태 정책수단의 효과적인 운영을 위한 평가체제 개선방안을 제시하였다.

특히, 신고유가시대 및 환경규제 등에 대비하기 위한 효과적인 에너지 수요관리는 21세기에도 지속적으로 중요한 과제이다. 특히, 에너지 수요관리를 위한 객관성 있는 평가체제 도입의 중요성은 증대되고 있다. 객관적 평가체제는 에너지절약 및 효율 평가를 기초로 효율 극대화 대안을 마련할 수 있을 뿐만 아니라, 에너지 관련 정책을 시행하는 정부 차원에서 정책 실효성 평가 그리고 에너지를 직접 소비하는 산업계의 합리적인 감축목표 설정을 유도하는 등 다양한 유용성을 지니기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 에너지 관리를 위한 경제학적 일반방법론을 기초로 경제적 주요 변수가 고려된 목표조정 및 이행 실적 평가 방법론을 제시하였다. 이를 위해 요인분해 방법론을 중심으로 에너지소비 및 원

단위에 영향을 미치는 요인들을 파악하고, 이중 경제적 변수를 대표하는 생산량을 사용하여 분석하였다.

II 분석방법론

1. 선행연구 검토

기본적으로 에너지 소비 및 온실가스 배출은 생산량, 생산제품 구성비, 에너지 사용기술 및 에너지원 구성에 의해 결정된다. 생산량과 생산제품 구성비는 국내의 경제여건, 시장의 수요 추이에 의해 직접 영향을 받으며, 고부가가치와 관련된 요인이다. 한편, 에너지 사용기술 및 에너지원 구성은 어떻게 에너지를 구성하여 어떤 기술로 상품을 생산하느냐의 문제이며, 기술적 에너지 효율과 밀접한 연관이 있다(Jaccard, 2006). 이와 같은 관점에서 에너지 소비에 영향을 미치는 요인별 분석을 위해 요인분해방식(Decomposition Method)이 주로 이용되고 있다(Ang et al. 1997, Greening et al. 1998, Park 1992). 일례로 아래의 접근 방법론은 에너지 소비량에 영향을 미치는 개별요인을 공정별로 분석할 수 있다. 여기서 I는 기준이 되는 에너지 원단위하에서 해당 제품을 생산할 때 소비되는 에너지량이다. 공정별 기준 에너지 원단위는 가장 실적이 우수했던 특정년도 또는 특정값을 취할 수 있으며, 에너지 소비량의 정도를 비교할 수 있는 지수 역할을 한다(이상엽 외, 2003).

$$\sum E = \sum Q \cdot \frac{I}{\sum Q} \cdot \frac{\sum E}{I}$$

여기서,

$\sum Q$: 생산변수 (Q)

$\frac{I}{\sum Q}$: 생산구조변수 (a_i)

$\frac{\sum E}{I}$: 효율변수 (e_i)

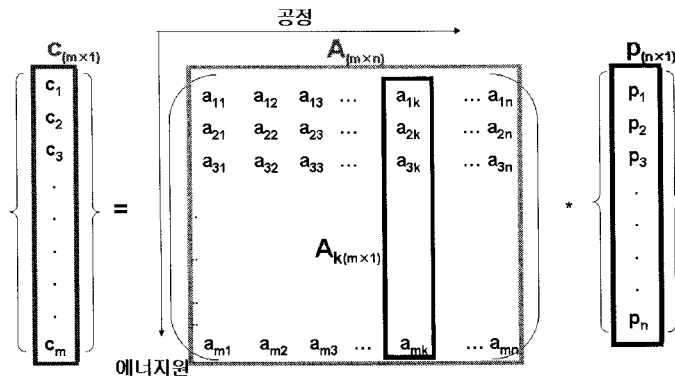
$I = \sum(Q_i \cdot U_i)$, U_i : 기준원단위(TOE/Q)

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta Q \sum_i (a_{i0} \cdot e_{i0}) \cdots \text{생산효과} \\ &+ Q_0 \sum_i (\Delta e_i \cdot a_{i0}) \cdots \text{효율효과} \\ &+ Q_0 \sum_i (\Delta a_i \cdot e_{i0}) \cdots \text{구조효과} \\ &+ Q \sum_i (\Delta a_i \cdot e_{i0}) + \Delta Q \sum_i (\Delta e_i \cdot a_{i0}) + Q_0 \sum_i (\Delta a_i \cdot \Delta e_i) + \Delta Q \sum_i (\Delta a_i \cdot \Delta e_i) \cdots \text{복합효과} \end{aligned}$$

즉, 에너지소비 변화는 생산량, 효율, 구조 등의 개별효과와 이들의 복합적인 관계에 따른 효과로 결정된다. 각 개별효과는 모두 생산량, 구조, 효율의 변화량으로 도출된다. 예를 들어, 효율효과는 기준과 비교시점에서 효율지수의 변화(Δe)와 기준시점의 생산(Q) 및 구조(a)변수에 의해 결정된다. 즉, 생산구조와 생산량은 기준시점으로 고정하여 효율효과를 파악한다는 의미이다. 여기서 각 효과의 크기는 에너지소비 증감에 미치는 기여도, 혹은 순효과(net Effect)로 해석될 수 있다. 이와 같이 에너지 소비량 증가의 원인을 각각의 효과로 구분하게 되면, 어떤 요인이 증가요인이고 감소요인인지를 파악할 수 있기 때문에 향후 에너지절약방안 마련에 유용하게 사용될 수 있다. 특히, 공정 및 에너지원별 등으로 구분하여 분석할 경우, 구체적인 증감요인을 파악할 수 있는 장점이 있다.

에너지 소비량 파악과 마찬가지로 에너지효율지표인 원단위 개선 여부 역시 공정별 원단위(원단위 효과), 생산구성비(생산효과), 기타 생산비 및 원단위 변동 상호효과로 에너지효율 개선효과를 파악하고 잠재성 여부를 추론할 수 있다.

그림1 원단위 요인분석



여기서, c는 원단위, a는 공정별 원단위, p는 제품구성비임.

위의 관계를 각각의 순효과로 구분하기 위해 아래와 같이 원단위 개선의 여부를 파악할 수 있다. 본 분석방법에 의하면 공정별 원단위 개선이 전체 에너지효율에 미치는 영향뿐 아니라, 에너지원별로 전체 원단위 개선에 기여한 정도를 파악할 수 있다.

$$\begin{aligned}\Delta c &= c^2 - c^1 = (A^1 + \Delta A) * (p^1 + \Delta p) - A^1 * p^1 \\ &= \Delta A * p^1 + A^1 * \Delta p + \Delta A * \Delta p\end{aligned}$$

여기서

$\Delta A * p^1$: 공정별 원단위 변동에 의한 효과(원단위효과)

$A^1 * \Delta p$: 생산구성비 변동에 의한 효과(생산효과)

$\Delta A * \Delta p$: 기타생산비 및 원단위 변동 상호효과(기타효과)

2. 목표에 대한 실적평가 방법

본 연구에서는 에너지 및 원단위 요인분석의 이론적 선행연구배경을 기초로, VA와 같은 정책수단에서 목표달성여부를 객관적으로 평가할 수 있는 대안 방법론을 분석하였다. 만약, VA정책 관리자가 적절한 목표달성 평가체계를 제시하지 못하는 경우, 참가한 사업장의 감축의지노력에 도움을 주지 못할 뿐만 아니라, 정책의 사후관리 수단으로 활용되는 실적평가 역시 형식적으로 운영될 가능성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 목표달성여부에 관한 사후평가 방안 관점에서 대안을 마련하여 VA정책의 효율성을 제고하고자 한다. 특히, 여러 가지 요인 중 목표수립시점과 목표년도의 생산량 변동을 고려한 분석에 초점을 두었다. 즉, 평가기준이 되는 베이스라인과 목표를 목표년도의 실질 생산량에 기초하여 조정(Baseline and Target Adjustment)하는 방법론을 통해 동일한 저감노력에 대해 상이한 평가결과가 나타날 수 있음을 살펴보고자 하였다. 동 방법론은 두 가지 방식으로 구분하여 분석되었다. 첫째, 제품별 베이스라인 원단위가 생산량 변동과 무관한 경우의 목표 조정, 둘째, 생산량과 에너지 소비량의 함수관계를 이용한 베이스라인 원단위 조정과 목표 조정이다.

1) 최종 제품 생산량 변화에 따른 목표조정 (베이스라인 원단위 일정)

에너지 원단위 저감목표는 제품생산량 및 생산구조 등과 같은 생산여건 변동에 따른 에너지 사용량 변화를 인정하는 목표수립 방식이다. 따라서 사후평가 시 이 변화에 따라 목표가 조정될 필요가 있다. 즉, 에너지 소비 및 원단위 목표는 각 제품 생산량과 생산구조 계획, 각 제품의 에너지 원단위 저감잠재성을 고려하여 결정된 저감비율에 의해 설정될 수 있다. 그러나 목표년도의 각 제품의 실질 생산량과 생산구조는 생산여건 변화 등으로 인해 당초 계획과 동일하지 않을 수 있다. 따라서 각 제품의 실질 생산량을 반영하여 목표를 조정한 후 에너지 원단위 및 총 에너지 사용량 개선성과를 평가해야 한다. 즉, 조정된 목표는 실질적으로 달성된 원단위와 실질 에너지 소비량을 비교하는 평가기준이 되며, 종합적으로는 초기의 목표비율과 조정된 목표비율을 비교함으로써 각 제품의 실질 생산량과 생산구조가 목표달성에 미치는 영향을 살펴볼 수 있다. 다음 <표1>은 이와 같은 목표조정 과정을 나타낸다.

표1 베이스라인 원단위가 일정할 경우 목표조정방식

	기준년도 (베이스라인 ¹⁾)	목표	실질값	조정 목표
에너지 소비량	$SEC_0 * t_0$	$SEC_n * t_n$	$SEC_N * t_N$	$SEC_n * t_N$
총 에너지 소비량	$\sum (SEC_0 * t_0)$	$\sum (SEC_n * t_n)$	$\sum (SEC_N * t_N)$	$\sum (SEC_n * t_N)$
목 표 비 율	1	$\frac{\sum (SEC_n * t_n)}{\sum (SEC_0 * t_n)}$	$\frac{\sum (SEC_N * t_N)}{\sum (SEC_0 * t_N)}$	$\frac{\sum (SEC_n * t_N)}{\sum (SEC_0 * t_N)}$
총 S E C	$\frac{\sum (SEC_0 * t_0)}{\sum t_0}$	$\frac{\sum (SEC_n * t_n)}{\sum t_n}$	$\frac{\sum (SEC_N * t_N)}{\sum t_N}$	$\frac{\sum (SEC_n * t_N)}{\sum t_N}$

여기에서, SEC: 에너지 원단위, t: 제품별 생산량

$\sum (SEC_0 * t_0)$: 기준년도의 실제 총 에너지 소비량

1) 기준년도의 값들에 대해서는 평가기준과 혼란을 초래할 수 있으므로 기준년도를 제외하고는 모두 베이스라인 의 용어 로 대체하여 사용하였다.

$\sum(SEC_0 \cdot t_n)$: 기준년도 제품 구성하의 기준 에너지 소비량

$\sum(SEC_n \cdot t_n)$: 목표 에너지 소비량

$\sum(SEC_0 \cdot t_N)$: 실질 생산량하의 BAU 에너지량

$\sum(SEC_n \cdot t_N)$: 실질 생산량하의 목표 에너지량

$\sum(SEC_N \cdot t_N)$: 실질값

기준년도 대비 각 제품의 생산량 변동과 에너지 저감 잠재성을 고려하여 제품별 원단위 목표(SEC_n)와 총 에너지 원단위 목표 ($\sum(SEC_n \cdot t_n) / \sum t_n$) 가 수립될 수 있으며, 기준년도의 제품별 에너지 원단위(베이스라인 원단위)가 일정하다면, 이에 따라 목표비율 ($\sum(SEC_n \cdot t_n) / \sum(SEC_0 \cdot t_n)$) 이 결정된다. 목표비율이 낮다고 판단되는 경우 각 제품별 원단위 목표 또는 생산 계획을 변경하여 높일 수 있을 것이다. 일반적으로 목표달성은 이와 같은 총 에너지 원단위 목표 ($\sum(SEC_n \cdot t_n) / \sum t_n$) 에 대해서 평가된다. 그러나, 이와 같은 방식은 실질 생산량(t_N)이 고려되지 않은 목표로서, 평가 시 실질 생산량과 계획 생산량의 차이($t_N - t_n$)에서 비롯된 에너지 사용량 변화가 무시되는 결과를 초래한다. 이와 같은 오류를 해결하기 위해 위 <표1>에서 제시된 조정방식을 이용하여 실질 생산량으로 총 에너지 원단위 목표 ($\sum(SEC_n \cdot t_N) / \sum t_N$) 를 조정하여 평가기준으로 활용할 수 있다. 목표비율 역시 베이스라인값을 ($\sum(SEC_0 \cdot t_n)$) 에서 ($\sum(SEC_0 \cdot t_N)$) 으로 조정하여 평가해야 한다. 이와 같이 조정된 목표값 및 베이스라인값으로 실질적으로 달성된 결과를 평가할 수 있다.

2) 생산량과 에너지 함수 관계를 이용한 베이스라인 원단위 및 목표조정

생산량 변화에 따라 베이스라인 원단위(SEC_0)가 변동하는 상황에서, 목표달성을 평가하는 방식은 위의 베이스라인 원단위가 일정할 때에 비해 상대적으로 복잡한 산정방식이 요구된다. 즉, 상기 나의 1)의 방식을 이용한 목표조정 이전에 베이스라인 원단위 조정과 베이스라인 원단위 조정 결과가 반영된 목표조정 과정이 선행되어야 한다.

가. 베이스라인 원단위 조정

당해 생산량에 대한 에너지 원단위는 에너지 소비량과 생산량과의 관계를 이용하여 산정할 수 있다. 에너지소비(E)와 생산량(t)간의 관계를 선형회귀분석을 이용해 도출할 경우, 함수식은 다음과 같다.

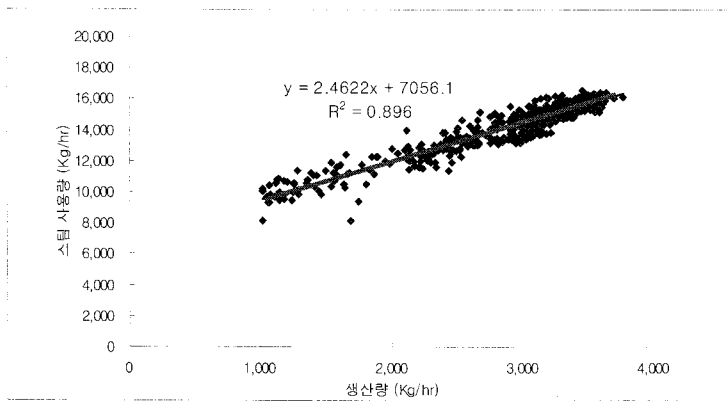
$$E = a * t + b$$

이때 에너지 원단위는 $SEC = E/t = a + b/t$ 이다. 즉, 생산량이 t_x 일 경우 원단위는 $SEC_x = a + b/t_x$, 생산량이 t_y 일 경우 원단위는 $SEC_y = a + b/t_y$ 이다. 따라서 원단위 간 관계는 다음과 같다.

$$SEC_y - SEC_x = (a + b/t_y) - (a + b/t_x)$$

우선, 본 분석에서는 실질 감축량 사후평가 시 베이스라인 원단위 조정의 필요성을 설명하기 위해 국내 온실가스 감축사업 등록제도에 참여한 사업 중 한 개의 사업 3년간 일별, 공정별 스팀소비량과 생산량 자료를 이용하여 간단한 사례분석을 제시하였다. 다중회귀분석을 통해 스팀소비량과 생산량과의 인과관계가 다음과 같이 추정되었다<그림2>.

그림2 에너지 소비량과 생산량 관계



위와 같은 에너지소비와 생산량의 관계를 이용해 제품 A의 생산량인, t_A 일 경우의 베이스라인 원단위(SEC_A)를 목표년도의 실질 생산량인, t'_A 을 반영하여 베이스라인 원단위($SEC_{A'}$)을 다음과 같이 조정할 수 있다.

$$E = 2.46 \cdot t + 7.05$$

$$SEC = E/t = 2.46 + 7.05/t$$

$$SEC_A = 2.46 + 7.05/t_A$$

$$SEC_{A'} = 2.46 + 7.05/t_{A'}$$

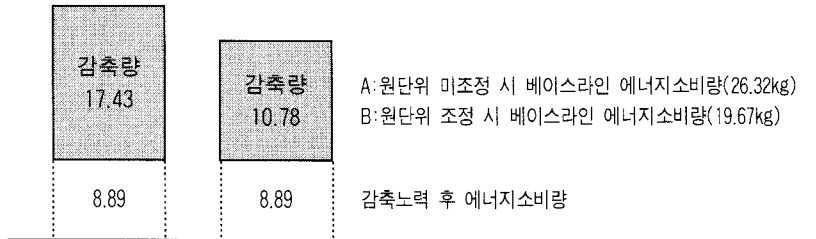
$$SEC_{A'} = SEC_A + 7.05 \cdot (1/t_{A'} - 1/t_A)$$

만약, 기준년도의 A제품 생산량과 스팀소비당 원단위가 각각 2.87kg, 4.91 ton/kg이고 목표년도의 원단위가 1.66일 경우, 우선 목표년도의 실질 생산량 5.36kg에 해당하는 원단위는 다음과 같이 3.67로 조정된다.

$$SEC_{A'} = 4.91 + 7.05 \cdot (1/5.36 - 1/2.87) = 3.67$$

따라서 실질 스팀소비 감축량은 조정된 원단위(3.67)와 목표년도 원단위(1.66)의 차이이며, $10.78[(3.67-1.66) \cdot 5.36]$ 로 산정된다. 그러나, 베이스라인 원단위 조정 없이 평가할 경우 감축량은 $17.43[(4.91-1.66) \cdot 5.36]$ 으로써 실질적인 에너지절약 효과보다 과대 추정될 수 있다<그림3>. 즉, 에너지 소비량과 생산량과의 관계를 고려하여 베이스라인 원단위 조정을 하지 않을 경우, 실질 에너지소비 감축량은 상이하게 평가될 수 있다.

그림3 원단위 조정과 에너지소비 감축량 사례



나. 베이스라인 원단위 조정과 목표 조정

본 절에서는 에너지와 생산량 함수관계에 의해 조정된 베이스라인 원단위가 목표 원단위에 미치는 영향을 분석한다. 우선, 목표수립 시 목표년도의 제품 생산량을 t_n 으로 가정하였을 경우, 목표율($\sum (SEC_n \cdot t_n) / \sum (SEC_0 \cdot t_n)$)을 결정짓는 베이스라인 원단위 SEC_0 는 SEC'_0 로, 그리고 목표년도의 실제 생산량이 t_N 이 되었을 경우, 베이스라인 원단위 SEC_0 는 다시 SEC''_0 로 조정되어야 한다.

$$SEC'_0 = SEC_0 + b \cdot (1/t_n - 1/t_0)$$

$$SEC''_0 = SEC'_0 + b \cdot (1/t_N - 1/t_n)$$

한편, 목표 원단위 SEC_n 역시 SEC'_0 에 해당 제품의 원단위 개선비(SEC_n/SEC_0)가 반영된 SEC'_n 으로 조정되어야 하는데, 이는 다음과 같이 산정된다.

$$SEC'_n = \frac{SEC_n}{SEC_0} \cdot SEC'_0$$

위의 결과들을 이용하여 <표1>의 목표조정방식은 아래 <표2>와 같이 재정리된다.

표2 기준 원단위 변동을 고려한 목표조정방식

	기준년도	목표	실질값	조정 목표
에너지 소비량	$SEC_0 * t_0$	$SEC_n * t_n$	$SEC_N * t_N$	$SEC'_n * t_N$
총 에너지 소비량	$\sum(SEC_0 * t_0)$	$\sum(SEC_n * t_n)$	$\sum(SEC_N * t_N)$	$\sum(SEC'_n * t_N)$
목표비율	1	$\frac{\sum(SEC_n * t_n)}{\sum(SEC_0 * t_n)}$	$\frac{\sum(SEC_N * t_N)}{\sum(SEC_0 * t_N)}$	$\frac{\sum(SEC'_n * t_N)}{\sum(SEC_0 * t_N)}$
총 SEC	$\frac{\sum(SEC_0 * t_0)}{\sum t_0}$	$\frac{\sum(SEC_n * t_n)}{\sum t_n}$	$\frac{\sum(SEC_N * t_N)}{\sum t_N}$	$\frac{\sum(SEC'_n * t_N)}{\sum t_N}$

III 사례분석 결과

앞 장에서 제시한 분석방법론 적용을 위해 본 연구에서는 국내 에너지이용합리화법에 의거한 “에너지 자발적 협약”에 참여한 사업장의 에너지사용 실적을 이용하였다. 에너지 자발적 협약은 에너지 원단위 개선을 목표로 한 정책으로서, 정책효과는 참여기업의 합리적 목표설정과 달성여부에 있다. 따라서, 객관적 평가를 위한 합리적 기준은 정책관리자나 참여기업 관점에서 중요한 요소이기 때문에 본 연구에 적합한 사례가 될 수 있다. 본 연구의 분석에 적용되는 사례는 3개의 제품을 생산하고 있는 기업으로서 기준년도 및 목표년도의 일반사항은 아래 <표3>과 같다.

표3 분석자료 (단위: 톤, TOE)

제품	기준년도 (베이스라인)			목표년도		
	생산량 t_0	에너지 소비량 $SEC_0 * t_0$	에너지 원단위 SEC_0	생산량 t_n	에너지 소비량 $SEC_n * t_n$	에너지 원단위 SEC_n
A	22,974	16,748	0.729	26,130	16,305	0.624
B	8,515	10,593	1.244	24,870	23,627	0.950
C	4,691	1,037	0.221	2,960	435	0.147
총계	36,180	28,378	0.784	53,960	40,367	0.748

<표3>에는 각 제품생산에 요구되는 에너지 소비량과 이에 따른 에너지 원단위가 각각 나타나 있으며, 베이스라인 총 에너지 원단위는 0.784이다. 이와 같은 상황에서 목표수립 시점의 제품 생산량은 베이스라인 대비 149% 증가한 53,960톤을 예상하고 있으며, 에너지 원단위 목표는 0.784의 95.4% 수준인 0.748로 결정하고 있다.

1. 최종 제품 생산량 변화에 따른 에너지절약 평가 (베이스라인 원단위 일정)

기준년도의 에너지 원단위(SEC_0)가 생산량 변화와 무관하여 일정하다고 가정할 때, 먼 저 목표수립 시점의 계획 생산량(t_n)을 반영한 베이스라인에 대한 조정은 다음과 같다. 베이스라인 원단위 0.784는 $0.938 (= \sum(SEC_0 \cdot t_n) / \sum t_n = 50,641 / 53,960)$ 로 조정되며, 각 제품 별 베이스라인 에너지 소비량과 총 에너지 소비량 역시 다음 <표4>와 같이 조정된다. 그 결과 목표 원단위 0.748은 초기 베이스라인 원단위 0.784의 95.4% 수준이 아닌 조정 베이스라인 원단위 0.938의 79.7% 수준으로 해석이 달라진다.

표4 베이스라인 조정에 따른 에너지 소비량

제품	베이스라인	베이스라인 조정 (제품별 원단위 고정)		
	SEC_0	t_n	SEC_0	$SEC_0 \cdot t_n$
A	0.729	26,130	0.729	19,049
B	1.244	24,870	1.244	30,938
C	0.221	2,960	0.221	654
총계	0.938	53,960	0.938	50,641

다음으로 목표년도의 실질 생산량(t_N)에 대한 실질 에너지 사용량($SEC_N \cdot t_N$)과 원단위 (SEC_N)를 평가하기 위해 실질 생산량(t_N)을 고려하여 베이스라인 및 목표를 조정한다<표 5>. 본 사례분석의 경우, 목표년도의 실질 생산량 58,104톤은 계획했던 53,960톤보다 증대 되었다. 이에 제품별 실제 생산량을 반영하여 기준년도의 총 에너지 사용량 및 원단위를 재조정하면 각각 54,806톤, 0.931(TOE/톤)이 되며, 목표는 에너지 소비량(43,139톤) 및 원 단위(0.742)로 조정된다.

표5 목표년도 실질 생산량 변동에 따른 에너지 소비량 조정 I

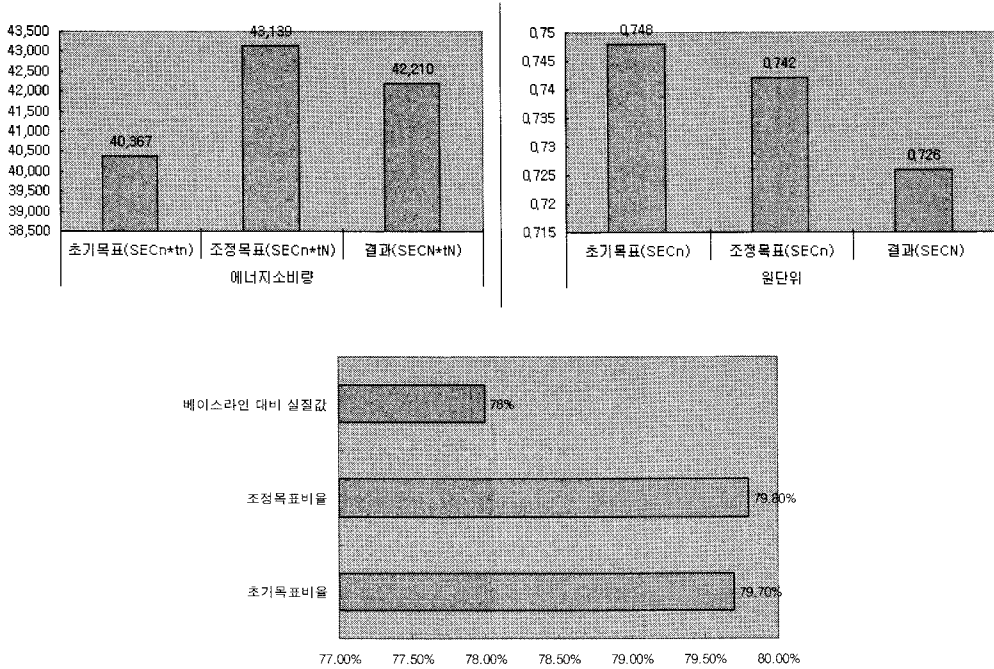
제품	실제 에너지 사용량			조정된 베이스라인 에너지 소비량	조정된 에너지 소비량 목표
	t_N	$SEC_N \cdot t_N$	SEC_N	$SEC_0 \cdot t_N$	$SEC_n \cdot t_N$
A	28,410	17,188	0.605	20,711	17,728
B	26,210	24,506	0.935	32,605	24,900
C	3,484	516	0.148	770	512
총계	58,104	42,210	0.726	54,806	43,139

제품별 에너지 사용량과 생산구조가 고려되지 않는 일반적인 성과평가 관점에서 에너지 원단위는 0.748에서 0.726으로 2.9% 개선된 것으로 평가되고, 총 에너지 사용량은 목표가 40,367톤이고, 실제 에너지 사용량은 42,210톤이므로 미달성된 것으로 평가된다.

그러나, 상기 조정방식들을 이용하여 평가할 경우, 목표비율과 개선율에 있어 다음과 같은 차이가 발생된다. 원단위 목표는 0.742대비 0.726으로써 미조정 시와 마찬가지로 개선되었지만 개선율은 차이가 난다. 그리고 총 에너지 사용량은 조정목표가 43,139톤이고, 목표년도 실제 에너지 사용량은 42,210톤으로써 목표가 달성된 것으로 평가되어 일반적인 목표 달성도 평가결과와 상이한 결과가 나타난다. 목표비율 $79.8\%((SEC_n \cdot t_N)/(SEC_0 \cdot t_N))$ 역시 본 사례분석 결과에서는 초기 목표비율 $(SEC_n \cdot t_n)/(SEC_0 \cdot t_n)$ 79.7%와 큰 차이는 없지만, 실질 생산량 변동에 따라 목표비율의 차이는 크게 달라질 가능성이 있다. 한편, 달성된 비율 $(SEC_N \cdot t_N)/(SEC_0 \cdot t_N)$ 은 78%로 나타나 목표비율들을 훨씬 상회하여, 효과적인 목표달성이 이루어진 것으로 분석된다.

위와 같이 최종제품의 생산량 변화를 실질적으로 고려하지 않는 일반적인 성과평가는 실질 생산량을 고려해 목표를 조정한 결과와 상이하게 나타날 수 있다. 따라서 본 분석에서 제시하는 방법론은 VA 참가자 입장에서 합리적인 목표를 설정하도록 대안을 제시할 뿐 아니라, 정책평가 관점에서도 목표 달성 및 미달성 여부에 관한 원인분석 등에 유용하게 적용될 수 있는 장점이 있다<그림4>.

그림4 달성도 평가 I



2. 최종 제품 생산량 변화에 따른 에너지절약 평가 (베이스라인 원단위 변동)

베이스라인 원단위 조정을 고려하는 본 분석에서도 <표3>의 기본 분석자료를 이용하였다. 즉, 모든 제품의 베이스라인 원단위, 생산량, 원단위 목표는 <표3>의 값과 동일하다. 그러나 생산량에 따라 변동하는 제품 B의 베이스라인 원단위는 생산량과 에너지 소비량 아래 함수관계를 도출하여 조정하였다. 제품 B의 에너지(연료 및 전력) 소비량과 생산량 자료를 이용해 추정된 관계는 다음과 같다.

$$E = 0.992 * t_B + 2,146 \quad (R^2=0.91, \text{ t값 } 90\% \text{ 유의})$$

따라서, 위 방정식과 원단위 조정식을 이용해 도출된 제품 B의 계획 생산량(t_B)에 대한 베이스라인 원단위는 1.244에서 1.079로 조정되며 베이스라인의 총 원단위는 0.862가 된다. 결과적으로 기준년도의 각 제품별, 전체 에너지 소비량은 다음 <표6>과 같이 조정된다.

표6 베이스라인 조정 및 조정 결과 비교

제품	베이스라인	베이스라인 조정 (제품별 원단위 고정)			베이스라인 조정 (제품별 원단위 변동)		
	SEC_0	t_n	SEC_0	$SEC_0 * t_n$	t_n	SEC_0	$SEC_0 * t_n$
A	0.729	26,130	0.729	19,049	26,130	0.729	19,049
B	1.244	24,870	1.244	30,938	24,870	1.079*	26,827**
C	0.221	2,960	0.221	654	2,960	0.221	654
총계	0.938	53,960	0.938	50,641	53,960	0.862	46,530

* SEC_0' , ** $SEC_0' * t_n$

목표년도의 실질 생산량(t_n)을 고려하여 조정된 베이스라인 및 목표는 아래 <표7>과 같다.

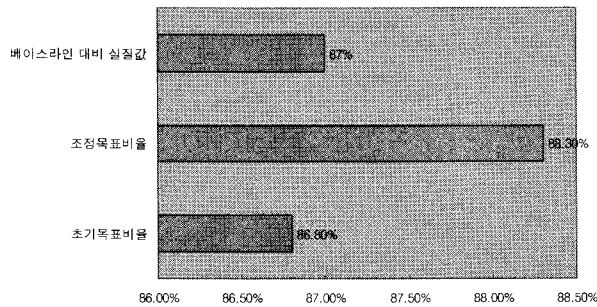
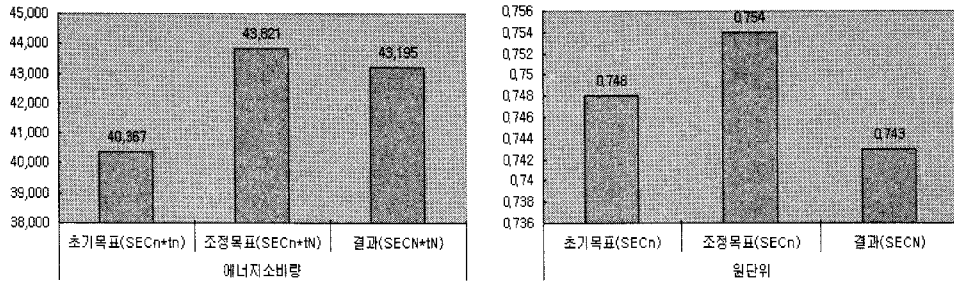
B 제품의 베이스라인을 실질 생산량인 26,210톤에 기초해 조정하면, B 제품의 베이스라인 원단위 (SEC_0'')는 1.074이 되며, 원단위 목표(SEC_n')는 0.976이 된다. A, C 각 제품에 대한 조정결과는 <표5>와 동일하다. 결과적으로 베이스라인의 총 에너지 사용량 및 원단위는 각각 49,627톤, 0.854(TOE/톤)이다. 목표는 에너지 사용량 및 원단위에 있어 각각 43,821톤, 0.754(TOE/톤)로 조정되었다. 이를 바탕으로 실제 에너지 원단위와 사용량을 평가할 경우, 원단위에 있어서는 조정 전·후 목표 모두에 있어 개선이 있는 것으로 평가되나, 에너지 사용량에 있어서는 조정 전·후 목표 각각에 대해 상반된 평가결과가 나타났다<그림5>. 목표비율은 초기 목표 86.8%에서 88.3%로 조정되어 생산량 증가에 의해 목표비율이 하향 조정되는 결과가 초래된 것으로 평가된다. 그러나 베이스라인 대비 실질 에너지 사용량은 87.0% 수준으로 나타나 조정된 목표비율 관점에서 감축이 더 이루어졌다고 평가할 수 있다. 그러나, 목표비율 관련 평가를 위해서는 조정목표비율뿐 아니라, 목표수립시점의 비율 역시 종합적으로 판단해야 할 것이다. 이와 같은 분석결과는 제품 생산량 및 원단위 특징에 따라 상이하게 나타날 수 있으며, 기준 원단위를 일정하게 유지할 때와 비교해 차별성있는 평가가 가능하다는 데에 의미가 있다.

표7 목표년도 실질 생산량 변동에 따른 에너지 소비량 조정 II

제품	실제 에너지 사용량			조정된 베이스라인 에너지 소비량	조정된 에너지 소비량 목표
	t_N	$SEC_N \cdot t_N$	SEC_N	$SEC_0 \cdot t_N$	$SEC_n \cdot t_N$
A	28,410	17,955	0.632	20,711	17,728
B	26,210	24,724	0.943	28,146 *	25,581 **
C	3,484	516	0.148	770	512
총계	58,104	43,195	0.743	49,627	43,821

* $SEC_0'' \cdot t_N$, ** $SEC_n' \cdot t_N$

그림5 달성도 평가 II



IV 결 론

본 연구에서는 VA 유사제도 및 에너지소비 사업장의 목표달성도 평가방법에 대한 합리적 접근방법을 분석하였다. 에너지소비 및 원단위는 생산량, 생산구조 등 요인에 의해 직접 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 목표달성 시점의 실질 생산량을 반영해 베이스라인 및 목표 재조정을 하고 이에 기초해 목표달성도를 평가하였다. 사례분석 결과, 생산량 변동을 고려한 베이스라인 및 목표조정 유무에 따라 평가결과의 차이가 있음을 확인하였다. 한편, 생산량 변동뿐 아니라 에너지 원단위가 일정할 때와 생산량과 에너지 소비량과의 함수관계가 고려되었을 경우에도 각각 다른 절약효과가 나타났다. 이와 같은 결과는 평가기준에 따라 개선효과가 상이하게 나타날 수 있음을 시사하고 있다.

특히, 본 연구에서는 시장상황을 잘 반영할 수 있으며, 상대적으로 낮은 행정비용으로 산정가능한 생산량 변동만을 우선 고려하여 조정방식을 분석하였다. 이와 같은 조정방식을 통해 에너지소비 사업장은 생산량 전망에 기초해 실현가능한 목표설정이 가능하다. 이를 위해 목표수립 시점에 목표달성도 평가결과에 중요한 변수가 되는 생산량과 에너지 함수관계, 기준년도 생산량, 에너지 사용량, 기준년도 원단위를 입증할 수 있는 기반을 마련해야 한다. VA 등 정부정책 관점에서는 실질적인 감축효과를 파악할 수 있을 것이다.

한편, 본 연구는 성과의 지속적 개선을 축으로 한 적합성 평가(Conformity Assessment)²⁾ 제도와 교토메카니즘 활용과정에서 최근 활발하게 수행되고 있는 온실가스 배출량 검증제도에서 핵심이 되는 검증기준 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제시된 방법론과 관련해, 국내 에너지효율 개선 및 온실가스 감축 목표달성도 평가를 위해 생산량 변동뿐 아니라, 합리적 목표조정 방안에 관한 추가 연구와 정책검토가 요구된다. 예를 들어, 부가가치와 관련된 경제적 요인을 추가 고려하고, 에너지소비와 연관이 깊은 온실가스 배출저감 실적 평가 등과 관련해 추가 연구가 가능할 것이다.

2) 적합성평가는 제품, 프로세스, 시스템, 사람 또는 기관이 규정된 요구사항을 충족시키는 정도를 체계적으로 평가하는 것으로서, 목표달성평가 역시 적합성평가의 일례이다.

참고문헌

1. 박희천. 2001. “한국 제조업의 에너지효율 향상평가” 『환경경제연구』 Vol.10, No.2: 135-160, 한국환경경제학회/한국자원경제학회.
2. 산업자원부. 2005. “자발적 협약 운영규정(산업자원부 공고 제2005-195호)”
3. 이상엽, 안운기. 2003. “철강산업의 에너지효율 지수개발과 관리기법 연구” 『자원환경경제연구』 제12권 제1호: 29-48, 한국환경경제학회/한국자원경제학회.
4. Ang, B.W., Pandiyan, G. 1997. “Decomposition of Energy-induced CO2 Emissions in Manufacturing” *Energy Economics* 19: 363-374.
5. Climate Change Agreements. 2002. “Guidance on How to Adjust Targets to Allow for Product Mix and Throughput Changes” CCA 08.
6. EU. 2004. “Commission Decision of 19 Jan 2004, Establishing Guidelines for the Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions Pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council”
7. ISO/IEC 17000. 2004. “Conformity Assessment - Vocabulary and General Principles (2004-11-01)”
8. Greening, L.A., W.B., Davis, L. Schipper, 1998. “Decomposition of Aggregate Carbon Intensity for the Manufacturing Sector: Comparison of Declining Trends from 10 OECD Countries for the Period 1971-1991” *Energy Economics* 20: 43-65.
9. Mark Jaccard. 2006. 『Sustainable Fossil Fuels: the Unusual Suspect in the Quest for Clean and Enduring Energy』 20-21. Cambridge.
10. Wiilma, R.-Q., G.-D., Anton, K., Madhu, 2004. "Incentives for Environmental Self-Regulation and Implications for Environmental Performance" *Journal of Environmental Economics and Management* 48: 632-654.