

Research Paper

## 다오염물질 상황에서의 최적가용기법 기준의 경제적 효율성에 관한 연구

한택환\* · 임동순\*\*

서경대학교 금융경제학과\*, 동의대학교 경제학과\*\*

### Economic Efficiency of the BAT Standards in a Multi-pollutant Environment

Taek-Whan Han\* · Dongsoon Lim\*\*

Department of Economics and Finance, SeoKyeong University\*

Department of Economics, Dongeui University\*\*

**요약:** 우리나라는 2015년 환경오염시설의 통합관리에 관한 법률을 통과시켜서 BAT 기준서에 의한 통합 환경관리가 실시중이다. 통합환경관리의 성격을 요약하면 다오염물질 배출원에 대한 관리의 통합화와 BAT 로 대변되는 기술적 기준에 의한 규제이다. 일반적으로 경제학에서는 기술기준에 의한 규제는 정태적·동태적 비효율성을 가져오는 것으로서 회피하여야 할 정책수단으로 알려져 있다. 통합환경관리제도는 BAT규제를 바탕으로 운용되는데 이에 대한 경제적 효율성 역시 심각한 의문의 대상이 될 수 있다. 본 논문은 BAT 기준의 효율성을 경제학적 관점에서 평가하고자 시도한다. 간단한 다오염물질 모형을 통하여 BAT 규제의 경제적 효율성을 분석하여 본 결과 단일오염물질상황에서도 정보의 불완전성으로 인하여 약하게 존재하던 환경세의 BAT 대비 비효율성이 다오염물질 상황하에서는 더욱 커짐을 보여주었다. 다오염물질관리체계로서 IPPC와 BAT가 한 묶음으로 추진되고 실행되어온 이유가 이러한 사실에 의하여 부분적으로 설명된다. EU에서 석탄 상대가격의 하락으로 대기오염물질의 배출 증대가 우려되는 상황에서 BAT 기준의 강화로 대처한 것이 가격구조와 실효적 환경세의 변동으로 인한 환경적 후생손실을 BAT 규제 등으로 대처한 사례 중의 하나로 볼 수 있다.

**주요어:** 최적가용기법, 환경세, 효율성, 사회후생, 불완전 정보

**Abstract:** Korea has passed the Act on the Integrated Control of Pollutant-Discharging Facilities in 2015, and the integrated environmental management under the BAT standard is underway. To summarize the nature of integrated environmental management, it is the regulation by the integration of the management of the multi-pollutant source and the technical standard of BATs. In general, in environmental economics, regulation-based on technical standards are known to be inefficient. This

First Author: Taek-Whan Han, Department of Economics and Finance, SeoKyeong University, Seoul 02713, Korea, Tel: +82-2-940-7211, Fax: +82-2-6008-7636, E-mail: twhan@skuniv.ac.kr, ORCID: 0000-0002-7866-921X

Corresponding Author: Dongsoon Lim, Department of Economics, Dongeui University, Busan 47340, Korea, Tel: +82-51-890-1411, E-mail: dslim@deu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-1999-2113

Received: 3 January, 2019. Revised: 19 February, 2019. Accepted: 1 April, 2019.

paper attempts to evaluate the efficiency of BAT standards from an economic point of view. A simple multi-pollutant model demonstrates that the inefficiency of the environmental tax with imperfect information in a single pollutant situation is amplified under multi-pollutant conditions. The simultaneous introduction of BAT and IPPC can be partially explained by this logic. It is also highlighted by the strengthening of BAT standards by EU, as a countermeasure to the potential deterioration of air quality caused by the change of effective environmental taxes accompanying the fuel and emission price changes.

Keywords: best available technique, environmental tax, efficiency, social welfare, incomplete information

## I. 연구목적

최적가용기법(BAT: Best Available Technique) 규제는 직접규제의 하나인 기술기준으로서 경제적 수단(환경세나 배출권 거래 등)과 대비하여 볼 때 효율성이 낮은 정책대안이다. 그럼에도 불구하고 EU에서 1996년 이후 그리고 우리나라에서는 2015년 이후 시행되고 있는 통합환경관리제도하에서 BAT는 보편적인 환경정책수단으로서 큰 비판을 받지 않고 시행되고 있다. 본 논문은 BAT 규제와 같은 기술기준이 효율성 면에서 큰 비판을 받고 있음에도 불구하고 통합환경관리제도와 결합하여 시행되고 있는 이유를 경제학적인 측면에서 분석하고자 한다.

본 논문은 BAT규제와 같은 기술기준이 단일오염물질을 전제로 한 규제환경에서는 효율적이기 어렵지만, 통합환경관리에서 전제하고 있는 다오염물질 환경하에서는 대표적인 경제적수단인 환경세에 비한 비효율성이 개선될 수 있음을 보여주고자 한다.<sup>1)</sup> 그리고 통합환경관리의 다오염물질적인 성격으로 인하여 BAT규제가 별다른 비판 없이 암묵적으로 수용되고 있는 이유 중의 하나인 것을 논증하고자 한다.

## II. 다오염물질 상황에서의 통합환경관리와 BAT규제

하나의 오염원에서 배출되는 오염물질은 하나의 환경매체만을 오염시키는데 그치지 않고 오염물질의 종류만큼이나 다양한 경로로 매체간에 상호 연관되어 오염의 확산이 진행된다. 환경의 질은 여러 오염

물질의 배출량 혹은 저감량의 함수이다. 한편 오염물질의 배출량 및 저감량 간에, 그리고 오염물질의 저감비용간에도 상호연관관계가 존재한다.

사례들의 예를 들면 다음과 같다. Sung et al. (2016)은 기존 대기오염 방지시설은 배기가스 중 오염물질(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM 등)을 제어하는 과정에서 가스상 수온을 동시에 제거하는 이중 효과(cobenefit)를 가지고 있다고 분석하였다. 한편 Shin et al. (2018)는 전기 및 증기 생산공정에서도 오염물질간 대체 관계가 존재하며, 오염물질 저감 기법들이 상호 영향을 미치기 때문에 통합적인 관점으로 최적가용기법을 적용하여야 한다고 하였다. 대표적인 예로 저 NO<sub>x</sub> 버너에서의 질소산화물과 미연탄소와 일산화탄소 및 탄화수소간의 대체성, 그리고 질소산화물 저감을 위해 유동층 과립화 공정 사용 시 NO<sub>x</sub>와 아산화질소(N<sub>2</sub>O)간의 대체성 등을 예로 들 수 있다(Shin et al. 2018). 이런 문제점들을 고려하여 진일보한 환경관리정책을 펼치기 위해서 대기·수질·토양 등 각 오염매체를 종합적으로 고려하는 매체통합적 환경관리를 통합환경관리라 할 수 있다.

유럽연합(EU)은 산업활동에 따른 자원의 사용 및 수질·대기 등 여러 매체로의 오염물질 배출, 에너지 효율화 및 안전사고 예방 등을 종합적으로 평가하여 환경오염을 효율적으로 사전 예방하는 “통합환경관

1) 본 논문은 BAT 규제에 대한 유일한 대안이 환경세라는 전제하에 분석하는 것은 아니며 BAT규제와 환경세의 상대적 효율성만 비교분석하고 있다. 이를 BAT 규제의 보편적 효율성 평가로 일반화하는 것이 가능하겠지만 본 논문은 양자간 비교에 국한시키고자 한다.

리 지침(IPPC; Integrated Pollution Prevention and Control, Directive 96/61/EC)<sup>1)</sup>를 1996년 제정하였다. 이는 사업장의 환경오염을 하나의 체계로 이해하여 여러 매체에 대한 총체적인 영향을 평가하고 종합적으로 환경오염 저감방안을 찾는 것이다. IPPC는 이후 2010년에 산업배출지침(IED: Industrial Emission Directive)으로 개선·강화되었다.

IPPC와 IED의 통합환경관리 지침의 특징은 ① 산업 내 활동이 환경에 미칠 수 있는 전반적인 영향에 대해 분석하는 통합적 접근(Integrated Approach), ② 지속적인 정보교환을 통해 높은 수준의 환경관리를 달성하는 최적가용기법(BAT; Best Available Techniques) 적용, ③ 산업 시설의 기술적 특성, 지리적 위치, 지역 환경 조건 등에 대해 탄력적으로 적용하는 유연성(Flexibility), ④ 인·허가 절차에 대해 정보 공개 및 주민 의사 결정 과정을 통해 주민의 의견을 적극적으로 반영하는 주민참여(Public Participation)로 나타낼 수 있다(Han 2016).

이중 가장 중요한 것은 최적가용기법(BAT)의 적용이다.<sup>2)</sup> EU의 BAT 선정은 BREF (Best Available Techniques Reference Document: BAT 기준서) 작성성을 통해 결정이 된다.

우리나라에서는 2015년 「환경오염시설의 통합관리에 관한 법률」이 제정되어 2017년부터 시행 중이다. 통합 환경관리는 배출시설(Sources) 운영과 생산과정에서 발생하는 모든 오염배출사항을 최적가용기법(BAT: Best Available Technique)에 근거하여 통합적으로 허가(integrated permitting approach) 하고 운영현황을 모니터링하는 것을 의미한다. 국내에 도입된 통합환경관리제도는 기존의 단일 매체 관리 정책의 한계점과 산업배출시설 허가제도의 문제점을 바로 잡아 산업배출 오염물질을 효과적으로 감소 및 최소화시키고 최적관리를 통해 사업장의 여건에 맞는 적용체계 마련과 함께 환경기술의 발전을 촉진함으로써 사업장의 환경수준 제고와 함께 국민의 건강과 환경을 보호하기 위한 목적을 가지고 제도화되었다.

### III. BAT 규제의 경제적 효율성에 관한 선행연구

환경정책수단의 하나로서 최종 결과를 명시하지 않고 잠재적인 오염자가 채택해야 하는 기술, 기법, 사례만을 설정한 많은 기준들이 있는데 이를 총칭하여 기술 기준이라 부른다. BAT 규제는 그 명칭으로 보아서 기술기준으로 간주될 수 있으나, 실제로 BREF 설명서를 보면 배출기준이 혼용되어 있다. 즉, BAT 규제는 기술기준과 배출기준의 결합이라고 볼 수 있다. 경제학에서는 기술기준이나 배출기준 등 환경기준(직접규제)의 비효율성에 관한 매우 확립된 평가가 존재하다

기술기준이나 배출기준하에서는 오염원이 배출량을 효율적인 수준으로, 또 비용효과적인 방식으로 감축하게 하는 인센티브가 존재하지 않거나 미약하다.

Pearce and Brisson(1993)과 Førsund(1992)는 1)최적가용기술(Best Available Technology)<sup>3)</sup>과 BATNEEC (Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs)은 산출변화에 대한 고려가 결여되어 있어서 본질적으로 비용면에서 비효율적이며, 2) 최적가용기술 또는 BATNEEC이 가장 경제적인 해

2) IED 제3조에서 BAT는 “가장 효과적이고 앞선 단계의 산업 활동 및 관련 배출시설의 운영방식으로, 전체적으로 오염 물질과 그 환경 영향을 예방하고, 예방할 수 없는 경우에는 오염물질의 배출과 환경영향을 저감하기 위해 설정된 배출 한계값(ELV)과 관련하여 원칙상 그러한 배출한계값의 근거를 제시하는 데 실질적으로 적합한 특정 기법”을 말한다. 여기서 최적(Best)이란 전체적으로 높은 수준의 환경 보호를 달성할 수 있는 가장효과적인 것을 의미하며, 가용(Available)은 배출시설 운영자가 합리적으로 이용할 수 있는 한 그 기법이 해당 EU 회원국 내에서 사용되거나 만들어진 여부와 관계없이, 비용과 편익을 고려했을 때 경제적·기술적 실현성이 있으며 관련 산업부문에서 실행할 수 있는 규모로 개발된 기법을 말한다. 기법(Techniques)이란 적용된 기술뿐만 아니라 해당 배출시설을 설계·설치·유지·운영·해체하는 기법도 포함하는 개념이다(Han, 2016 및 European Commission 2010).

3) BATNEEC은 최적가용기법(Best Available Technique)과 유사한 개념이며 최적가용기술(Best Available Technology)은 사후처리기술로서 주로 하드웨어적인 기술을 말한다. 최적가용기법(Best Available Technique)과 최적가용기술(Best Available Technology)은 다른 개념이며 구분되어 사용되어야 한다.

법이라 할지라도, 그것이 사회적으로 최적의 배출 수준 또는 주변 농도를 생성 할 것이라는 보장은 없고, 3) BATNEEC은 여러 오염원이 있는 경우 효율성을 달성하지 못한다는 점을 논증하였다.

Pearce and Brisson (1993)의 논문으로부터 20여 년이 지난 현재 BAT는 Technology가 아닌 Technique 개념을 채택하여 이러한 문제를 적어도 개념적으로는 부분적으로 해결하였으며, 환경 편익 대비 비용이라는 개념을 도입하여 두 번째 비효율성에 대한 교정도 시도하고 있다. 그리고 무엇보다 다매체간 영향을 중시함으로써 환경편익의 측정도 정교화되고 있다. 이러한 최적가용기술에서 BATNEEC을 거쳐 최적가용기법으로 개념적 개선이 이루어졌음에도 불구하고 Sorrell (2002)은 BATNEEC이나 최적가용기법은 비용측면에 대한 고려에서는 개선이 되었지만 여전히 효율성을 가져온다는 보장은 없다고 보고 있다.

BAT규제의 도입초기에는 여기에 대한 회의론도 적잖게 있었다. Cunningham (2000)은 BAT가 기술적 저감정책이나 사후처리기술 중심으로 운영이 되거나 미국의 최대 가용 통제기술(Maximum Available Control Technology, MACT)처럼 시스템의 한 유형에만 집중하는 경우 실패할 개연성이 높으며 기술 고착을 가져올 가능성이 크다고 보았다. Cunningham (2000)은 BAT 보다는 IPPC와 환경영역체제가 환경규제수단과 함께 같이 시행된다면 강력한 도구가 될 수 있다고 보았다. 한편 BAT 도입의 경제적 효율성에 대한 실증연구로서 Larsson & Telle (2005)는 노르웨이에서 기대배출량 대비 비용 증가라는 두가지 변수를 중심으로 DEA분석을 통하여 평가한 결과, BAT의 시행으로 인하여 모든 배출 시설에서 커다란 비용이 발생하고 있다는 것을 보여주었다.

BAT에 대한 비판에 대응하여 EU의 유럽집행위원회를 중심으로 한 정책주도 그룹은 경제적 측면에 대한 보완과 다매체 최적화라는 관점에서 지속적으로 제도를 보완해나가고 있다. 이러한 경향을 보여주는 것이 European Commission (2006)과 Soria (2007)이다. European Commission (2006)은 IPPC/IED/BAT의 경제적 측면에 대한 고려를 설명하고 있는데,

BAT에 대하여 “적절한 산업 부문에서 경제적 기술적으로 합당한(viable) 조건하에서 개발된 기법이어야 한다”고 규정하고 있다. 경제적 합당함이란 산업구조, 시장구조, 탄력성, 이행속도 등을 고려한 것이다. 그리고 이러한 모든 점들을 고려함에 있어서 반드시 매체간 효과(cross-media effect)를 고려하도록 하고 있다.

좀 더 구체적으로 보면, European Commission (2006)은 IPPC 지침 제 9조 (4)항은 허용 조건이 BAT에 기초해야 하지만 관련 설비의 기술적 특성, 지리적 위치 및 지역 환경 조건을 고려하여야 하는데, 어느 옵션이 더 높은 수준의 보호를 제공하는지 판단할 필요가 있는 경우 다매체간 방법론이 이 결정에 도움이 될 수 있다고 규정하고 있다. 또한 European Commission (2006)은 어느 기술이 가장 높은 수준의 보호를 제공하는지 평가를 수행할 때 매체간 영향을 판단하여 BAT를 결정하는 방법론을 제시하고 있다. 이와 동일한 맥락에서 Vercaemst (2001) 역시 BAT 선정에 있어서의 경제학적 분석 도구와 매체간 영향평가의 중요성을 강조하고 있다. Ministry of Environment (2017)에 따르면 우리나라 역시 통합환경관리에 있어서의 BAT결정시 다매체간 영향을 고려하도록 명시하고 있다.

#### IV. 다오염물질 상향하에서 BAT규제가 효율적일 수 있는 조건에 관한 분석

본 논문은 간단한 이론적 분석을 통하여 다오염물질 상향에서의 BAT정책의 효율성을 대표적인 경제적 수단인 환경세와 비교하여 분석한다.<sup>4)</sup> 전술한 바와 같이 IPPC/IED/통합환경관리법 체계 내에서의 BAT는 최상의 기법 중 환경개선 대비 비용이 과다하지 않은 기법을 뜻하며, 여기에는 매체간 영향을 통합적으로 고려하도록 되어 있다. BAT는 기본적으로 인허가 기준이며, 기술에 기반한 환경기준이다. 즉, 배출량 등의 지표가 일정기준을 넘어가면 인허가가

4) 효율성이란 사회후생의 크기로 측정되며 경제학에서 말하는 Pareto적인 의미로 정의한다.

되며 그렇지 않으면 인허가를 주지 않는 전형적인 직접규제의 정교화된 형태이다.<sup>5)</sup> BAT 규제는 이처럼 일반적인 기술기반 환경기준이지만, 비용편익분석과 유사한 형태의 분석기법을 사용하고 있으며, 다매체 영향에 대한 명시적 고려가 포함되어 있는 등 단순한 직접규제에 비하여서는 발전된 규제수단이라고 할 수 있다.

기술기준이 배출부과금에 대비하여 비효율적이라는 분석은 여러 문헌에서 발견되고 있고 충분한 지지를 받고 있다. 그러나 대체로 그동안의 표준적인 문헌에서의 기술기준이나 기술기반 환경기준의 비효율성에 대한 분석은 단일오염물질을 상정한 것이었다. 본 논문에서는 통합 환경법하에서의 BAT 규제를 “다오염물질간 통합적 기술기반 환경기준”으로 규정하고 이의 경제적 효율성을 분석하기 위하여서 환경세 제도와 비교하고자 한다. 환경세는 배출량에 대하여 부과되며 저감량에 대하여는 보조금이 지급되는 제도를 말한다. BAT는 인허가기준이며 활동량 단위당 일정수준의 저감량을 요구하는 저감원단위 규제로 정의한다.

단일오염물질의 경우를 보자. 단일오염물질 저감량  $q$ 로부터의 환경질은 함수  $R(q)$ 로 정의되고  $q$ 로부터 발생하는 비용  $C$ 의 음수값으로 정의되는 경제적 편익  $B(q) = -C(q)$ 가 정의되어 있고  $\lambda(0 \leq \lambda \leq 1)$ 는  $R$ 과  $C$ 의 사회후생함수내의 상대적 가중치를 나타내는 파라미터라 할 때, 사회후생함수는  $(1-\lambda)B(q) + \lambda R(q)$ 으로 표현된다. 여기서 배출기업은 이윤극대화를 하므로 기업의 경제적 편익함수는  $B(q)$ 인데 환경세율을  $t$ 라 하면 배출기업은  $B(q) + tq$ 를 극대화 한다. 그러므로 사회후생을 극대화하기 위한 환경세율은  $-\frac{\partial B}{\partial q} = t = \frac{\lambda}{(1-\lambda)} \frac{\partial R}{\partial q}$ 가 되도록 환경세율  $t$ 를 설정함으로써 구할 수 있다.

즉, 특정의  $\lambda$ 에 상응하는  $q$ 의 유일한 값  $q^*$ 가 존재하며 상응하는 환경질 수준  $R^*$ 가 결정된다. 즉, 단일오염물질 상황에서 원하는 환경질 수준  $R^*$ 를 달성하는  $t^*$ 를 찾으면 이로부터 사회적 최적치 달성된다.

단일오염물질하 환경세의 효율성은 Figure 1에서 보듯이 오염원(pollution sources)이 여러 개 있을

때 더욱 현저히 나타난다. 동일 저감량하에서( $\bar{q} = q_1 + q_2$ ) BAT 적용시의 사회전체의 저감비용의 합계가 환경세 적용시의 저감비용합계보다 크다. 불완전 정보로 인하여 최적의 환경세율  $t^*$ 를 정부가 알고 있다는 가정이 충족되지 못하면, 즉  $t$ 가 최적  $t^*$ 가 아닌  $t'$ 으로 잘못 책정되면 그로 인한 후생손실이 발생한다.<sup>6)</sup> 그러나 이는 BAT로 인한 후생손실보다는 대체로 작다. 왜냐하면  $t$ 가  $t'$ 으로 소폭 잘못 책정되었다 할지라도 여러 오염원들이  $t'$ 으로 한계저감비용이 균등화됨으로써 절감되는 저감비용의 크기가 매우 크기 때문이다. 위의 Figure 1에서  $t$  하의 저감비용

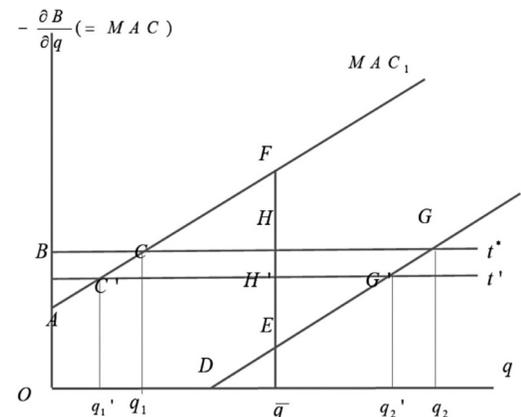


Figure 1. Efficiency of Environmental Tax over BAT standards with multiple pollution sources.

5) 환경오염시설의 통합관리에 관한 법률 제7조 ①의 1(배출시설등에서 배출하는 오염물질등을 제8조제1항 전단에 따른 허가배출기준 이하로 처리할 것) 동법 제8조의 ①(환경부장관은 제6조에 따른 허가 또는 변경허가를 하는 경우에는 제24조제4항에 따른 최대배출기준 이하로 허가배출기준을 설정하여야 한다. 이 경우 허가배출기준의 설정 방법 및 절차는 환경부령으로 정한다.) Bref 언급하고 EU도 언급해야 함.  
6) 만약에 환경세에 대하여 배출량이 매우 민감하게 변할 때, 즉 MAC가 평평할 때, 그리고 배출량 변동에 따른 환경피해가 민감하게 변할 때, 즉 한계피해비용곡선은 상대적으로 가파를 때, 불완전정보에 따른 후생손실이 상당히 크며 이때는 환경세의 환경기준에 대한 효율성 면에서의 우위가 약화된다. 한편, 기술기준이나 배출기준이 비효율적이지만 정보의 불완전성을 고려할 때 현실적으로 효율적일 수 있는 가능성이 존재한다. 이러한 연구로서 Bontems and Bourgeony (2002)는 환경세와 저감 기술기준이 결합 사용되는 상황에서 완전한 정보가 존재할 경우 기술 규제는 불필요하지만 배출량의 모니터링 비용이 크고 환경오염이 기업의 사적 정보일 때 환경당국이 기술적 기준을 부과하는 것이 보다 효율적이라고 주장하였다.

절감액과  $t'$  하의 저감비용 절감액은 거의 같으며 다만 총 저감량이 감소하거나 증가할 뿐이다.<sup>7)</sup> 이로 인한 후생손실은 저감비용의 절감에 따른 후생 증가보다 대체로 훨씬 작다. 이처럼 단일오염물질 상황에서 불안정정보는 환경세 대비 BAT의 상대적 효율성을 어느 정도 개선시킨다. 이제 다오염물질 상황을 살펴보자.

다오염물질하에서의 환경세와 BAT의 효율성을 비교하기 위하여  $n$ 개의 오염물질이 배출되는 상황을 상정하자. 사회후생함수를 다음 식 (1)과 같이 상정하자.

$$(1 - \lambda) B(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) + \lambda R(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) \quad (1)$$

- $q_i$  :  $i$ 번째 오염물질의 배출저감량
- $R$  :  $q$ 의 함수인 환경개선의 크기
- $B$  :  $q$ 의 함수인 배출저감 및 재화생산 비용에 -부호를 붙인 크기. 경제적 편익으로 해석
- $R^*$  : 사회적으로 최적으로 요구되는 후생 수준
- $\lambda$  : 임의의 가중치

후생극대화 최적조건은 모든  $i$ 에 대하여  $-\frac{\partial B}{\partial q_i} = \frac{\lambda}{1-\lambda} \frac{\partial R}{\partial q_i}$ 가 성립하는 것이다. 여기서 변수의 숫자가  $n$ 개이며 방정식의 숫자는  $n+1$ 개이므로  $\lambda$ 값에 따라서 무수한 해가 존재하며, 이 점들을 “환경계약곡선”이라고 칭할 수 있다. 이러한 관계가 다음 Figure 2에 표현되어 있다. 그림에서 가로축은 오른쪽 방향으로 증가하는 오염물질 1의 저감량이며, 세로축은 위쪽 방향으로 증가하는 오염물질 2의 저감량이다. 가로축의 크기는 최대가능한 오염물질 1의 저감량을 나타내며 세로축의 크기는 최대가능한 오염물질 2의 저감량을 나타낸다. OB는 오염저감량이 모두 0으로 오염물질 저감을 전혀 하지 않아서 경제적 편익이 극대화된 상황이다. 그리고 OR은 오염물질저감이 극대화되어 환경개선이 극대화된 상황이다. 그림 전체를 “환경 에지워스 상자(The Environmental Edgeworth Box)”라고 명명할 수 있을 것이다.

여기서 환경세가 부과되면 오염원 기업은 환경세 하에서의 경제적 편익인  $-B(q_1, q_2, \dots, q_n) + \sum_{i=1}^n tq_i$

를 극대화하도록 할 것이다. 그러므로 환경세에 의한 후생극대화는  $t_i = \frac{\lambda}{1-\lambda} \frac{\partial R}{\partial q_i} = -\frac{\partial R}{\partial q_i}$ 의 조건을 만족하도록 환경세율을 결정하면 달성된다. 규제당국이 완전한 정보를 가지고 이 조건이 충족되도록 환경세를 설정하면 Figure 2와 같은 최선(first-best)의 상황이 달성가능하다. Figure 2에서  $T^*$ 는 최적하에서의 환경세간의 상대적 비율이다. 최적 환경세로 유도된 최선의 상황인 E점은 오염배출원들의 경제적 유인으로 인하여 안정적이다.

한편, 원단위 규제에 정의되는 BAT 기준을 통하여 최선(first-best) 점인 E 점에 도달하는 방법은 E 점과 R 원점(OR)을 연결하는 방사선의 기울기와 동일한 상대적 저감원단위 비율이 나오도록 오염물질별 원단위 기준( $s_i$ )을 부과하는 것이다. 이 때의 저감원단위 비율을 최적 저감원단위비율( $S^*$ )이라고 할 수 있다. BAT 규제하에서 E에 도달할 수 있는 원단위 기준은 비교적 용이하게 결정할 수 있다. 그러나 이때 배출원이 E에 도달하도록 행동하는 유인이 주어지지 않거나 미약하다면, E점은 안정적이지 않다.

현실적인 환경정책은 사회적으로 요구되는 R(환경질)의 수준, 즉  $R^*$ 를 달성하도록 요구하는 방식으로 주어질 것이다.<sup>8)</sup> 이 때에 최선의 정책은 배출원의 행

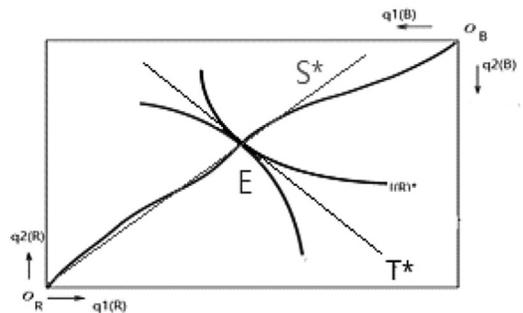


Figure 2. The First-Best Situation.

7)  $t'$ 하의 절감액은 삼각형 GHF+삼각형 EHG이며  $t'$ 하에서의 절감액은 GH'F+삼각형 EHG'으로서 큰 차이가 없다. 다만 배출저감의 크기는  $q_1 + q_2$ 에서  $q_1' + q_2'$ 로 작아진다. BAT 하에서는  $\bar{q}$ 의 저감량이 달성된다고 하더라도 이와같은 저감비용의 절감이 발생하지 않는다.  
8)  $R^*$ 는 환경계약곡선상의 무수한 점들 중에서 특정의  $\lambda$ , 즉  $\lambda^*$ 에 상응하는 점에서의 R이다.

동이 다음 Figure 2에서  $I(R^*)$ 라는 환경무차별곡선과 편익무차별곡선  $I(B)$ 이 접하는 점 E를 찾아가도록 유도하는 것이 될 것이다.

이러한 논의를 전제로 환경세와 BAT 규제가 다오염물질 상황에서 최적에 도달할 가능성을 비교하여 보자. Figure 3에서 최적점 E는 최적 환경세비율  $T^*$  혹은 최적 원단위비율  $S^*$ 에 의하여 달성되고 있다. 그리고  $I(R^*)$ 상에서 최적에서 벗어나는 것은 T가  $T^*$ 에서, 혹은 S가  $S^*$ 에서 벗어날 때 발생한다. 점 E'은 환경질 수준  $R^*$ 를 유지하면서 환경세비율이 변화할 때( $T^* \rightarrow T'$ )의 저감량 조합을 나타내는 점이며 이 점에서의 저감원단위비율을  $S'$ 이라고 하자. E'점은 새로운 환경세비율 곡선  $T'$ 과  $I(B^*)$  무차별곡선이 접하는 점으로서  $I(R^*)$  무차별곡선이 교차하는 점이다. 이는 E에 비하여 후생감소를 나타내주고 있다.

이처럼 Figure 3에서 환경세비율의 변화( $T^* \rightarrow T'$ )와 원단위비율의 변화( $S^* \rightarrow S'$ )로 인한 저감량조합의 귀결점은 E'으로 동일하게 되도록 설정되어 있다. Figure 3에서 T의 변화와 S의 변화를 대비하여 보면 T의 변화보다는 S의 변화가 더 크다. 즉, 동일한 저감량 및 후생변화를 가져오는데 있어서 원단위의 상대적 변화보다 환경세의 상대적 변화를 적게 요구한다.

그래프에서 보이는 관찰이 보편적으로 성립할 수 있는지를 검토하여 보자. 이것은 수학적으로 증명될 수 있다. 우리가 증명하여야 할 것은 E→E'으로 이동할 때 S의 변화율 대비 T의 변화율이 작다는 것, 즉

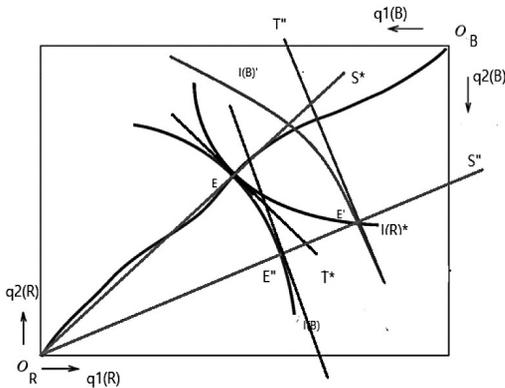


Figure 3. Social Welfare of BAT and Environmental Tax under Multi-pollutant Environment.

$\frac{dT}{dS} \Big|_{R=R^*} < 1$ 임을 증명하면 된다.

점 E''에서의 식은  $B_1=TB_2$ ,  $q_2=q_1S$ ,  $R(q_1, q_2)=R^*$ 이다. 점 E''에서의 식을 전미분하여 정리하고 음함수 법칙(implicit function rule) 적용하여 비교정태분석의 해인  $dT^*/dS$ 를 구하면 다음과 같다.<sup>9)</sup>

$$\begin{aligned} \frac{dT^*}{dS} \Big|_{R=R^*} &= \frac{q_1((B_{11}-TB_{21})\frac{R_2}{R_1} - (B_{12}-TB_{22}))}{-B_{21}(1 + \frac{R_2}{R_1}S)} \\ &= \frac{q_1(G\frac{R_2}{R_1} - H)}{-B_{21}(1 + \frac{R_2}{R_1}S)} \end{aligned}$$

여기서  $G=(B_{11}-TB_{21})$ ,  $H=(B_{12}-TB_{22})$ 으로 정의되며,  $B_{11}>0$ ,  $B_{21}<0$ ,  $B_{12}<0$ ,  $B_{22}>0$ 이므로  $G>0$ ,  $H<0$ 이다.<sup>10)</sup>

지금까지는  $R=R^*$ 로 고정하였을 때의  $dT/dS$ 를 구하였다. 점 E'에서의 식은  $B_1=TB_2$ ,  $q_2=q_1S$ ,  $B(q_1, q_2)=B^*$ 이다. 이제  $I(B^*)$ 를 따라 움직이면서 S변화에 따라 T가 어떻게 변화하는지를, 즉 E에서 E'으로 움직일 때의 관계를 전미분으로 표현하여 정리하고 음함수법칙(implicit function rule)을 적용하여 비교정태분석의 해인  $dT^*/dS$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dT^*}{dS} \Big|_{B=B^*} &= \frac{q_1((B_{11}-TB_{21})\frac{B_2}{B_1} - (B_{12}-TB_{22}))}{-B_{21}(1 + \frac{B_2}{B_1}S)} \\ &= \frac{q_1(G\frac{B_2}{B_1} - H)}{-B_{21}(1 + \frac{B_2}{B_1}S)} \end{aligned}$$

9) 전미분을 통하여  $dq_1$ ,  $dq_2$ ,  $dT$ 의 3개의 미지수를 가지는 연립 방정식이 만들어진다. 여기서 그 해 중하나인  $T^*$ 가 파라미터 S가 변화할 때 얼마나 변화하는지 그 민감도, 즉  $dT^*/dS$ 를 비교정태분석과 음함수법칙(implicit function rule)을 적용하여 도출한다.

10)  $B=-C$ , 즉 경제적 편익은 비용에 - 부호를 붙인 것으로 정의된다. 한 오염물질의 한계저감비용은 다른 오염물질 저감량의 증가함수이므로 여기서  $B_{12}<0$ ,  $B_{21}<0$ 이다. 이는 오염물질의 배출이 동일한 활동(원료의 연소 등)으로부터 나오는 것이므로 자연스러운 현상이다. 또한  $B_{11}>0$ ,  $B_{22}>0$ 인 것은 일반적으로 비용함수의 2차도함수가 양수(한계비용 체증)인 것로부터 도출된다.

따라서 두 개의 비교정태 도함수의 크기를 비교하기 위하여 그 값을 나누어주면 다음과 같으며,  $\frac{B_2}{B_1} < \frac{R_2}{R_1}$ 이고  $G < 0, H > 0$ 이므로 다음의 부등식이 성립한다.

$$\frac{\frac{dT^*}{dS}|_{R=R'}}{\frac{dT^*}{dS}|_{B=B'}} = \frac{(G \frac{R_2}{R_1} - H) (1 + \frac{B_2}{B_1} S)}{(G \frac{B_2}{B_1} - H) (1 + \frac{R_2}{R_1} S)} < 1$$

여기에서  $\frac{dT^*}{dS}|_{R=R'} < 1$ 이기 위한 충분조건은  $\frac{dT^*}{dS}|_{B=B'} = \frac{1}{\varepsilon} < 1$ , 즉  $\varepsilon > 1$ 이다.

$\varepsilon > 1$ 의 조건은 이론적인 것이 아니고 실증적인 것이다.  $\varepsilon$ 의 실제값의 데이터는 발견하지 못하였다. 다만 몇가지 연료원간 대체탄성치에 대한 데이터를 보면 Papageorgiou C et al.(2013)은 유럽의 투입산출표와 생산성 데이터베이스를 사용하여 생산함수를 도출한 결과 전력부문의 경우 청정에너지원과 오염에너지원간의 대체탄성치가 약 1.8이며 비전력부문의 경우는 음의 수치가 추정되었다. 한편 Zhang and Chen(2012)은 중국의 가스화 석탄의 대체탄성치를 약 1.05 정도가 될 것으로 장기 전망하였다. 이러한 간접 데이터로부터 오염물질간 대체탄성치도 1 혹은 그 이상이 될 개연성이 충분히 있다고 유추된다. 물론 이것은 향후 실증분석을 통하여 규명되어야 한다. 그리고 위의 조건은 필요조건이 아니고 충분조건이다. 즉,  $\varepsilon > 1$ 의 조건이 충족되지 않아도  $\frac{dT^*}{dS}|_{R=R'} < 1$ 이 성립할 수 있다.

그러므로 많은 경우(대체탄성치가 1보다 작은 경우에도) BAT 원단위 규제보다 환경세비율의 변화에 대하여 저감량의 변화가 더욱 민감하게 발생한다. 즉, 불완전정보하에서 잘못된 환경세로 인한 후생손실이 잘못된 BAT 규제보다 크다는 것을 알 수 있다.

### V. 실효적 환경세의 왜곡으로 인한 후생손실과 BAT 적용 사례

지금까지의 분석에서 “환경세”라고 설정된 것은 배출부과금 등 실제의 법률적 제도적 환경세라기보다는 연료가격, 배출권가격, 실제의 부과금, 보조금 등에 의하여 배출저감에 대하여 주어지는 가격 유인이라고 할 수 있다. 이러한 광의의 실효적 환경세는 보조금이나 세제 등에 의하여 변화할 수도 있고 에너지 가격 등에 의하여 변화할 수도 있다. 즉, 환경세는 최적으로 결정되었을 경우에도 연료가격 변화 등에 의하여 실효적인 환경세가 변화하고 이에 따라 후생손실이 발생할 수도 있다.

영국에서는 2002년 이후 이산화탄소 저배출 차량에 대한 세제지원으로 인하여 2001년의 디젤 차량 비중이 19%이었던 것이 2009년에는 42%까지 높아졌다. 디젤 차량에서 대기오염물질 배출이 휘발유 차량보다 훨씬 높아 건강에 미치는 악영향이 20배 정도 높았다(Kim, 2018 및 UK Defra, 2010). 또한 영국에서 2016년의 경우 891백만 파운드의 보조금이 목재를 연료로 하는 바이오매스 에너지 생산에 지급된 바 있다. 그러나 목재 연소로부터의 PM10 배출이 천연가스보다는 10~100배 높아 대기오염 측면에서는 불리하다는 점이 지적되어 바이오연료에 대한 보조금 지급의 중단을 요구하는 운동이 진행중이다(Biofuelwatch 2018; Kim 2018; UK Defra 2010). 이러한 상황을 그래프로 표현한 것이 다음 Figure 4에 나타나 있다.  $q_1$ 은 이산화탄소 저감량이며  $q_2$ 는

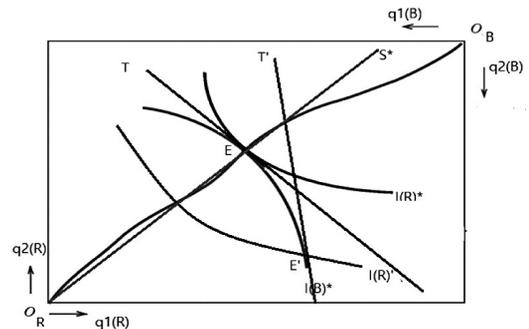


Figure 4. Welfare Improvement by BAT with the EUA Price Fall.

미세먼지 원인물질 저감량이다. 이러한 환경세 및 보조금의 변화는 실효적인  $T(=\frac{t_1}{t_2})$ 의 기울기를 상승시켰다. 이 때 배출원들은  $I(B^*)$  무차별곡선을 따라 새로운 균형점  $E'$ 으로 이동하여 미세먼지 원인물질 저감량( $q_2$ )은 감소하였으나 이산화탄소 저감량( $q_1$ )은 소폭 증대하였으며 환경질은 하락하였다. 이 때 BAT 규제를 통하여 원단위 비율을  $S^*$ 으로 강제한다면 균형점은  $E$ 로 회복될 수 있을 것이다. 물론 환경세와 달리  $S^*$ 로 강제하는 것의 경제적 유인의 부족에 따른 실효성이 문제가 될 수 있다.  $S^*$ 가 유효하게 강제된다 하더라도 배출원의 행동이  $E$ 로 향하지 않고  $S^*$  직선 상의 다른 점으로 향할 수도 있다. 그러나  $E'$ 점이 파레토 최적에서 크게 벗어난 점인 것과 달리  $S^*$ 의 값이  $E$ 를 향하여 올바르게 책정되면 배출원들이 저감 노력을 게을리하여 환경개선이 저해될 수는 있겠지만 그 댓가로 경제적 편익의 증대(비용의 절감)를 얻을 수는 있을 것이다. 즉, BAT 하에서는 배출원이  $S^*$  직선을 따라 저감량을 결정하므로 환경계약곡선에서 크게 벗어나지 않는 결과를 가져올 수 있다.

위의 경우는 이산화탄소 배출에 대한 실효적 환경세는 크게 변하지 않은 상태에서 대기오염물질에 대한 환경세를 변화시켜서 발생한 사례이다. 2010년 경 배출권 가격과 석탄가격의 변화로 이산화탄소와 대기오염물질에 대한 실효적인 환경세가 동시에 변화하였는데 총량이 묶여 있는 이산화탄소와 달리 대기오염물질의 실효적 환경세 하락으로 인하여 대기오염에 대한 우려가 크게 증가하였다. EU에서는 온실가스 배출권 가격이 2008년에 톤당 24유로에서 2012년에는 4.5유로로 급락하였으며 이 시기에 가스 대비 석탄의 상대가격이 하락하였다.<sup>11)</sup> 이에 따라 그 이전까지 EU 국가들의 전원내 석탄 비중이 감소추세였던 것이 반전하여 오히려 증가추세로 돌아서게 되었다. EU는 이러한 상황에 대응할 수단으로서 BAT규제를 사용한 사례가 있다. EU는 2008년부터 BAT, IED 등의 비시장적 환경규제를 동원하여 석탄의 사용을 억제하였으며 이는 실제로 석탄사용비중의 하락, 대기질의 개선 등의 결과를 가져온 것으로 평가되고 있다(Lim DS & Han TW 2019).

## VI. 토론 및 결론

다오염물질 상황하에서 불완전정보 등으로 인하여 환경세구조의 외생적인 왜곡이 발생할 경우 이윤추구적 기업의 민감한 반응으로 인하여 후생이 크게 감소할 개연성이 있다. 직접규제적인 BAT의 적용은 이러한 환경세의 왜곡이 발생할 경우 이를 보정하여 주는 역할을 할 수 있다.

그러나, 이것이 BAT 규제가 환경세보다 보편적으로 우월하다는 증거는 되지 못한다. 본 논문은 다만 BAT가 유럽이나 한국에서 IPPC와 함께 추진되는 배경의 하나로서 다오염물질 상황을 전제한 통합환경관리의 틀에서는 단일오염물질 상황에서보다 BAT의 비효율성이 개선된다는 점을 논증하였을 뿐이다. BAT 규제의 타당성은 단일 오염물질의 경우에는 미약하지만 다수의 오염물질이 존재할 경우에는 그 타당성이 개선된다는 사실을 보여주었다.

BAT 기준이 다오염물질 상황하에서 타당성이 개선되는 것은 불완전정보와 거래비용의 존재로 인한 것이다. 즉, 완전정보와 거래비용이 부재하는 이론적 진공상태하에서 환경세가 BAT 규제보다 효율적이라는 사실은 변하지 않는다. 본 논문은 BAT 규제가 효율적이라는 것을 보여주는 것이 아니라 다만, 다오염물질과 불완전정보 상황하에서 BAT 규제의 비효율성이 개선되는 것을 보여주었다. BAT 규제와 통합환경관리(IPPC)가 별개의 개념임에도 불구하고 일체화되어 추진되는 이유가 바로 이러한 점에 있을 것이라는 점을 시사하고 있다.

그러나 이러한 다오염물질상황하에서의 BAT의 상대적인 효율성 개선도 오로지 정태적인 측면에서만 유효하며, 동태적인 측면(기술진보에 대한 유인)에서는 상실된다. IPPC에서는 BREFs의 정기적인 업데이트를 통하여 이를 해소한다고 생각하고 있으나, BREFs의 업데이트가 기존 산업내의 상위수준의 기술(예를 들면 상위 5%)을 반영하여 업데이트된다면

11) 배출권 가격 급락과 석탄가격 하락 등은 대기오염물질 다배출 연료인 석탄의 비용을 하락시켜 대기오염물질 저감의 가격을 하락시켜 실효적으로 대기오염물질에 대한 환경세를 하락시킨 것과 동일한 효과를 가져왔다고 볼 수 있다.

기존의 업체들은 기술기준의 강화를 두려워하여 오히려 기술진보를 정체시키고자 하는 유인을 가지게 된다. BREFs의 작성에서 이러한 기술진보에 대한 음의 유인이 존재하는 것을 감안하는 것이 가능할지 의문스럽다.

## References

- Biofuelwatch. 2018. UK: End Biofuel Subsidies. Biomass Subsidies Briefing.
- Bontems P, Bourgeon JM. February 2002. Technology standard, environmental taxation and pollution monitoring. Institut d'Economie Industrielle.
- Cunningham D. 2000. IPPC, BAT, and voluntary agreements. *Journal of Hazardous Materials* 78, 105-121.
- European Commission. 2008. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control (Codified version)(Text with EEA relevance), Official Journal of the European Union.
- European Commission. 2010. European Parliament and Council Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions. Official Journal of European Union.
- European Commission. July 2006. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Economics and Cross-Media Effects,
- European Commission. 1996. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning Integrated Pollution Prevention and Control, Official Journal of the European Communities.
- Field B, Field MK. 2016. *Environmental economics: An introduction*, (7th edition), New York, McGraw-Hill Education.
- Førsund F. 1992. BAT and BATNEEC: An Analytical Interpretation, mimeo, Department of Economics, University of Oslo.
- Han DH. 2016. Current development in integrated pollution prevention and control and countermeasures for Korean businesses. Analysis Report on Product Environmental Regulations 05, Korea Environmental Industry and Technology Institute. [Korean Literature]
- Kim K, Shin S, Moon H, Jeon T, Shin S. 2017. Integrated Approach for Environmental Permits and Understanding BAT References of EU. *Journal of the Korean Society of Urban Environment* 17(1): 109-117. [Korean Literature]
- Kim SD. 2018. Integrated Management of Air Pollutants and Greenhouse Gases. Issue Paper 2018-2. Korea Legislation Research Institute. [Korean Literature]
- Kong SY. 2013. The comparison of Korea's environmental technology and BREFs and Case Studies on the Cost of adopting BAT standards. Research Report 2013-10, Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Larsson J, Telle K. March 2005. Consequences of the IPPC directive's BAT requirements for abatement costs and emissions Discussion Papers No. 411, Statistics Norway, Research Department.
- Lim DS, Han TW. 2019. Non-Market Environmental Regulations and the Use of Coal in EU Countries. unpublished working paper. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2016. A Study for the Efficient Implementation of Integrated Pollution Prevention and Control (Research Project Report, Korea Environment Institute). [Korean Literature]

- Papageorgiou C, Saam M, Schulte P. 2013. Elasticity of Substitution between Clean and Dirty Energy Inputs – A Macroeconomic Perspective. Discussion Paper No. 13-087. ZEW (Center for European Economic Research).
- Pearce D, Brisson I. 1993. BATNEEC: The Economics of Technology-Based Environmental Standards, with a UK Case Illustration. Oxford Review of Economic Policy. 9(4).
- Shin S, Park JH, Lee DG, Kim DG. 2018. Understanding and Improvement of Best Available Techniques for Electricity and Steam Production Facility, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 34(2): 281-293. [Korean Literature]
- Soria D. 2007. Economics and Cross Media Effects - BREF: economic viability, Perugia, 22 Gennaio.
- Sorrell S. 2002. The meaning of BATNEEC: interpreting excessive costs in UK industrial pollution regulation, Journal of Environmental Policy and Planning, 4 (1): 23-40.
- Sung JH, Oh JS, Back SK, Jeong BM, Jang HN, Seo YC, Kim SH. 2018. Estimation of Mercury Emission from Major Sources in Annex D of Minamata Convention and Future Trend Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 32(2): 193-207. [Korean Literature]
- UK Defra. 2010. Air Pollution: Action in a Climate Change.
- Vercaemst P. May 2002. BAT: when do Best Available Techniques become Barely Affordable Technology?. IMS/N9109/PVc/02-26/V1, Vito (Flemish Institute for Technological Research) BAT-centre.
- Zhang P, Chen K. 2012. Research of Energy Substitution Strategy in China, 2012 International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, Physics Procedia 24(2012): 598-602.