

## 蔚山地域에서의 亞黃酸가스 排出權去來制 費用效率性 分析

趙勝國\* · 郭承俊\*\* · 韓相庸\*\*\*

### 논문초록

본 연구는 울산지역에 배출권거래제를 적용할 때 얻을 수 있는 잠재편익을 사전적으로 알아보기 위해 배출권거래제의 본래적 특성에 부합하는 자료 및 분석방법을 채택한다. 즉 기존 연구를 개선하는 시도로서 자료를 농도중심에서 총량중심으로 전환하고 공학적 접근보다는 회귀분석(regression analysis)을 통하여 오염원별 오염저감비용함수를 추정한다. 구체적으로 첫째, 울산지역 1~3종 배출업소들의 1997~1999년 오염저감비용 및 배출량 자료를 가지고 배출업소별 오염저감비용함수를 추정하고, 둘째, 연료규제, 일률삭감, 그리고 배출권거래제와 같은 정책별 모의실험을 실시하여 각 정책간 비용효율성을 비교한다. 아울러 목표삭감량과 종별·배출량별 참여기업수의 변화에 따른 비용절감효과의 변화를 분석하여 정책시행에 필요한 기준(benchmark)을 제시한다.

핵심주제어: 배출권거래제, 비용효율성

경제학문헌목록 주제분류: Q2

\* 한세대학교 경영학과 조교수

\*\* 고려대학교 정경학부 경제학과 부교수

\*\*\* 고려대학교 경제학과 박사과정

## 1. 서론

배출권거래제는 환경목표에 상응하는 이전 가능한 배출권의 양을 제한함과 동시에 오염저감비용구조가 상이한 오염원들에게 배출권거래시장에 참여하도록 경제적 유인을 제공한다. 구체적으로 배출권의 구입에 드는 비용이 추가적인 오염저감비용보다 저렴한 오염원은 배출권을 구입함으로써, 상대적으로 오염저감비용이 적은 오염원에는 오염을 더 많이 줄여 자신이 보유한 배출권을 매각함으로써, 경제적 이득을 취할 수 있는 유인을 제공한다. 배출권거래제는 모든 배출권거래시장의 참여자들이 경제적 동기에 의해 자신에게 유리한 최선의 선택을 함으로써 최소비용으로 오염저감을 달성하게 한다(Tietenberg, 1985).

이와 같은 배출권거래제의 비용효율성(cost effectiveness)을 우리나라에 실현하기 위해 학계 및 당국은 아황산가스와 울산지역을 대상으로 총량규제에 근거한 배출권거래제의 도입을 조심스럽게 검토한 바 있다(안병훈, 1996; 한국환경기술개발원, 1997; 한국환경경제학회, 2000).

바람직한 규제수단이란 동일한 정책목표를 달성하는 데 소요되는 비용이 더 적은 수단이다. 따라서 배출권거래제의 도입에 앞서 동 제도의 비용효율성을 검증해야 하고, 배출권거래제의 비용효율성을 검증하기 위해서는 동 제도의 비용과 직접규제하의 비용을 비교해야 한다. 그러나 배출권거래제는 아직 시행되고 있지 않기 때문에 이들을 직접 비교할 수는 없고 모의실험(simulation)을 통해 간접적으로 비교해야 한다. 그런데 상당한 공헌에도 불구하고 배출권거래제의 비용효율성에 관한 장태구(1994)의 연구는 적절하지 않은 오염저감비용함수의 이용, 안병훈(1996)의 연구는 공학적 접근에 의한 한계, 박승준·한상용(1999)의 연구는 본래적 의미와 다른 자료의 사용 등과 같은 문제점을 갖고 있어 정확한 분석을 위해 이에 대한 개선이 필요하다.

따라서 본 논문은 배출권거래제의 적용 대상지역 및 오염물질을 기존의 논의에서처럼 울산과 아황산가스로 한정하고 다음과 같은 점들을 고려하고자 한다. 첫째, 울산지역의 오염원별, 즉 업체별 실제 배출량 및 저감비용을 사용하여 오염저감비용함수를 추정한다. 이는 배출권거래제의 본래적 특성에 맞는 분석, 즉 농도중심의 분석에서 총량중심의 분석으로의 전환을, 공학적 접근에 의한 오염저감비용함수의 추정보다 회귀분석(regression analysis)에 의한 오염저감함수의 추정을, 그리고 오

염원별 오염저감비용함수의 추정을 의미한다. 둘째, 비교에 필요한 직접규제를 실제 울산지역에서 광범위하게 시행중인 연료규제와 목표삭감량을 일률적으로 저감하는 것으로 확정한다. 셋째, 1997년부터 1999년까지 상대적으로 최근의 자료를 활용한다. 이와 같은 점들을 고려하여 배출권거래제가 울산지역에 도입되는 경우의 비용절감효과를 구체적으로 예측하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 본 논문에서 적용한 모의실험 이론의 소개와 오염저감비용함수에 관한 설명이 있고 아울러 추정에 사용된 자료에 대한 논의가 이어진다. III절에서는 모의실험의 각 시나리오에 대한 분석결과를 제시하고, IV절은 결론으로 할애한다.

## II. 모의실험의 이론적 모형과 오염저감비용함수의 추정

### 1. 모의실험의 이론적 모형

본 연구의 목적은 배출권거래제의 적용시 얻을 수 있는 잠재편익의 크기를 사전적으로 알아보는 것이다. 이 목적을 위해 단순화된 배출권거래시장을 가정하고 직접규제와 배출권거래제에 관한 모의실험을 통해 비용절감효과를 예측한다. 분석의 단순화를 위해서 오염물질, 계절적 특성, 배출권시장에 대해 다음과 같이 가정한다.

첫째, 오염물질의 배출량은 시간이 지남에 따라 축적되지 않으므로 현재의 오염수준은 과거의 오염수준과 독립적이다. 둘째, 오염수준은 전체 배출량에만 의존하고 오염원들 사이의 배출량의 분포와는 관계가 없다. 셋째, 오염수준은 계절적 요인의 영향을 받지 않는다. 넷째, 배출권거래시장에서의 거래비용은 무시할 정도로 작다.<sup>1)</sup>

위의 가정하에서 오염원의 배출량과 평균오염수준 간에는 다음 식(1)과 같은 관계가 성립한다.

1) 실제로 거래비용은 상당히 클 수 있으며 이 경우 배출권거래제의 비용효율성은 훼손될 수 있다.

$$A = a + b \sum_{j=1}^J (\bar{e}_j - r_j) \quad (1)$$

$A$ : 연간 평균오염수준

$\bar{e}_j$ :  $j^{\text{th}}$  오염원이 오염물질을 추가적으로 저감하지 않을 경우의 배출수준

$r_j$ :  $j^{\text{th}}$  오염원의 오염물질 저감량

$J$ : 규제대상인 총 오염원 수

$a$ : 규제대상이 아닌 자연적 기초오염수준을 나타내는 파라미터

$b$ : 비례상수

여기서 비용효율성은 각 오염원이 정해진 오염목표수준  $\bar{A}$ 를 최소비용으로 달성하기 위해 자신의 오염수준을 결정하는 것으로 정의되고, 즉 선택변수는  $r_j$ 이고, 각 오염원의 오염저감  $r_j$ 를 달성하기 위한 최소비용을 비용함수  $C_j(r_j)$  ( $C_{r_j} > 0$ )라고 정의하면, 비용최소화를 위한 각  $r_j$ 의 결정은 다음 식(2)와 같이 부등제약하의 극소화문제의 해가 된다.

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J C_j(r_j) \quad \text{s.t.} \quad a + b \sum_{j=1}^J (\bar{e}_j - r_j) \leq \bar{A}, \quad r_j \geq 0, \quad j=1, \dots, J \quad (2)$$

위 식(2)와 같은 극소화문제를 Lagrange 함수와 Kuhn-Tucker 조건을 적용하여 풀면 다음 식(3)과 같은 최소비용해를 위한 필요충분조건을 얻을 수 있다(Chiang, 1984).

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_j(r_j)}{\partial r_j} - \lambda b &\geq 0, \quad j=1, \dots, J \\ r_j \left[ \frac{\partial C_j(r_j)}{\partial r_j} - \lambda b \right] &= 0, \quad j=1, \dots, J \\ a + b \sum_{j=1}^J (\bar{e}_j - r_j) &\leq \bar{A}, \\ \lambda \left[ a + b \sum_{j=1}^J (\bar{e}_j - r_j) - \bar{A} \right] &= 0, \\ r_j \geq 0, \quad \lambda &\geq 0, \quad j=1, \dots, J \end{aligned} \quad (3)$$

위 식들의 경제학적 의미는 첫째, 비용최소화의 실현을 위해서는 각 오염원의 한계오염저감비용이 모두  $\lambda b$ 로서 같아야 한다. 둘째,  $\lambda$ 는 오염목표수준  $\bar{A}$ 의 한 단위 완화시 얻어질 수 있는 저감비용을 의미하며, 오염원의 오염저감이 필요한 경우  $\lambda > 0$  이 된다. 이러한 비용효율성은 환경당국이 각 오염원의 비용함수에 관한 정보를 갖고 있지 않아도 각 오염원이 자발적으로 비용최소화를 달성해 나간다는 점에서 직접규제방식과 큰 차이가 있다.

한편 직접규제방식하에서의 오염저감 총비용은 오염저감비용함수를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.  $r_j^*$ 는 설정된 환경목표수준에 따라 각 오염원에 일반적으로 할당된 삭감량이고, 즉  $\bar{A} = a + b \sum_{j=1}^J (\bar{e}_j - r_j^*)$  이고 이때 총비용은  $\sum_{j=1}^J C_j(r_j^*)$  이다.

## 2. 오염저감비용함수의 추정

배출권거래제의 비용절감효과를 예측하기 위해서는 먼저 아황산가스의 저감과 관련된 비용함수를 알아야 한다. 그리고 아황산가스의 오염저감비용함수를 구하기 위해서는 우선 선택가능한 아황산가스 저감방안을 파악하여야 한다. 일반적으로 아황산가스 배출량을 줄이는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 첫째, 사용하는 연료의 황함유량을 줄이는 방법과, 둘째, 연료사용 후 발생하는 배연에서 아황산가스를 배연탈황 등의 설치를 통해 제거하는 것이다. 물론 이외에도 다른 방법들이 있을 수 있으나 현재 우리나라에서 이용가능한 방법으로는 연료전환과 배연탈황이 가장 보편적이다.<sup>2)</sup>

다음으로 아황산가스의 오염저감비용함수를 추정하기 위해서는 어떤 변수가 저감비용에 영향을 미치는 변수인지를 규정해야 한다. 일반적으로 오염물질의 저감량이 많을수록 저감비용은 증가하고, 배출시설의 규모가 클수록, 즉 기존의 배출량이 많을수록 저감비용은 감소한다. 이를 정리하면 다음 식(4)와 같다.

2) 기타 아황산가스 배출감축방법에는 LNG와 같은 청정연료로 연료를 전환하는 것도 있으나 본 연구에서는 이를 제외하였다. 그 이유는 조사 결과 현재로서는 LNG로 연료를 전환하는 것은 기존의 시설 자체를 바꿔야 함을 의미해 결과적으로 업체들에 막대한 비용부담을 지워 그 가능성이 낮기 때문이다.

$$\ln(TC_i) = \alpha + \beta \cdot \ln(R_i^*) + \gamma \cdot \ln(r_i) + \varepsilon_i \quad (4)$$

$TC$ : 오염저감비용 = 연료전환비용 + 오염방지비용(방지시설 설치 및 운영 비용 + 탈황시설 설치 및 운영비용)<sup>3)</sup>

$$r_i = \frac{R_i}{R_i^*} \quad (\text{저감률})$$

$R_i^*$ : 기준배출량

$R_i$ : 저감량

#### (1) 배출량 계산

울산지역에 소재하는 1~3종 배출업소들을 대상으로 현지 조사를 실시하여 그 중 108개 업소에 대해 1997~1999년 비용 및 배출량 자료를 확보하였다. 그러나 자료 정리단계에서 1999년 오염방지비용(방지시설 및 탈황설비의 설치 및 운영비용) 및 연료사용 자료가 누락된 53개 배출업소들과 탈황설비를 갖춘 세 개 업소를 제외하였다.<sup>4)</sup> 탈황설비를 갖춘 업소들은 연료사용량이나 오염방지비용은 매우 크나 탈황비용이 높을 경우 배출량이 상대적으로 적기 때문에 통계적으로 outlier가 될 가능성이 매우 높기 때문이다. 추정에 사용된 52개 업체들의 종별 분포는 <표 1>과 같다.

각 업소의 배출량을 황합유량별 연료사용량을 근거로 계산한 결과 울산지역의 52개 배출업소들에 의한 총배출량은 1997년에 5만 3,200톤이었고 1999년에는 1만 8,800톤이었다. 총배출량은 1999년에 1997년에 비해 상당히 감소하였지만, 1997년의 배출량보다 1999년의 배출량이 오히려 증가한 업체가 21개에 달했다.

<표 1> 사용된 자료의 종별 배출업소 현황

1종	2종	3종	계
30	12	10	52

자료: 연구자 작성.

- 3) 여기서 방지시설이란 탈황시설을 제외한 기타 시설이라고 업체들이 보고한 것이다. 한편 방지시설 및 탈황시설의 설치비용은 설치연도의 투자액 대신 매연도의 감가상각비가 되어야 한다는 주장이 있지만 첫째, 매연도의 감가상각비는 자료에 많은 제약이 있어 구할 수가 없고, 둘째, 저감비용의 개념으로는 설치연도의 투자액이 더 타당할 수도 있다.
- 4) 울산지역에 탈황설비를 갖춘 업체는 1999년 현재 10개이다. 그런데 이들 중 조사에 응한 업체가 세 개이다.

## (2) 연료전환비용의 계산

연료대체에 의한 각 배출업체의 오염저감비용을 계산하기 위해서는 우선 울산에 공급되는 중유의 구입단가를 알아야만 한다. 보통 유류의 판매는 정유소, 도매판매(대리점), 소매판매(주유소)를 통해 이루어지고 있으나, 중유는 정유소와 대리점을 통하여만 공급되고 있고, 산업용과 발전용의 가격이 서로 다르다. 각 처에 의뢰하여 조사한 0.1% 경유와 0.5%, 1.0% B-C유의 가격은 <표 2>와 같다.

1997년부터 현재까지 울산지역은 0.5%S 이하의 저유황유를 사용하도록 되어 있다. 따라서 먼저 1999년 한 해 동안 배출업체들이 다양한 연료들을 사용하여 얻은 발열량을 계산하였고, 이와 동일한 발열량을 과거 1.0%S 중유를 사용하여 산출하는 경우에 필요한 연료량을 구하였다. 그리고 각각에 소요되는 비용의 차이를 연료규제 강화에 의한 연료전환비용으로 추정하였고 이를 오염저감비용에 포함시켰다.

<표 2> 울산지역에 공급되는 유류의 가격<sup>5)</sup>

(단위: 원/liter)

연 도	용 도	0.1% 경유	0.3% 중유	0.5% 중유	1.0% 중유	4.0% 중유
1997	산업용	321.90	252.51	224.23	195.95	153.55
	발전용	187.68	122.54	-	-	-
1998	산업용	506.41	323.44	292.11	260.78	206.80
	발전용	175.30	143.04	-	-	-
1999	산업용	478.38	253.04	242.63	232.22	183.90
	발전용	173.32	129.36	-	-	-

## (3) 오염방지비용

각 배출업소의 오염방지와 관련된 비용은 1997년부터 1999년도까지 방지시설과 탈황시설의 설치 및 운영에 들어간 비용을 개별 조사를 통해 구하였다. 전술하였듯이 탈황시설을 갖춘 업소들은 분석에서 제외되었기 때문에 오염방지비용은 결국 방

- 5) 0.3% 중유의 가격은 1.0% 중유와 0.5% 중유 가격의 차이를 고려하여 산출하였고, 4.0% 중유의 가격은 현재 조사할 수 없으므로 본 연구에서는 1998년 1.0% 중유 가격을 보정하여 계산하였다. 산업용 0.5% 중유의 1997년도 자료는 조사가 이루어지지 않았으므로 에너지관리공단에서 제공하는 자료에서 가격범위가 비슷한 B-A유의 1997년도 월별 자료를 이용하여 산출하였고, 1998년, 1999년 산업용 0.1% 경유의 경우 연도별 자료가 부재하여 해당 연도의 0.05% 경유 자료를 바탕으로 계산하였다. 발전소에서는 2.59% B-C유를 사용하고 있었고 그 가격은 1999년에 123.95원/liter이었다.

지시설의 설치 및 운영에 든 비용이 되었다. 그런데 대부분의 업소들이 연료전환을 주로 하고 특별한 방지시설을 설치·운영하지 않음을 조사과정에서 알 수 있었다.

#### (4) 오염저감비용함수의 추정

먼저 1997년 배출량을 기준배출량으로 규정하고 이에 따라 저감량을 1997년 배출량과 1999년 배출량과의 차로 하여 전술한 자료를 이용해 앞의 식(4)를 추정하였다. 이에 따라 얻어진 결과는 다음과 같다.<sup>6)</sup>

$$\ln(TC_i) = 2.2672 + 0.3744 \cdot \ln(R_i^*) - 0.4317 \cdot \ln(r_i) \quad (5)$$

(3.1195)    (2.3366)                    (-1.3250)

여기에서  $\ln(r_i) = \ln(R_i) - \ln(R_i^*)$ 이므로 식(5)를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\ln(TC_i) = 2.2672 + 0.8061 \cdot \ln(R_i^*) - 0.4317 \cdot \ln(R_i) \quad (5)'$$

여기에 각 배출업체의 1997년 기준배출량을 대입하면 최종적으로 각 배출업체의 오염저감비용함수를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\ln(TC_i) = \delta_i - 0.4317 \cdot \ln(R_i) \quad (6)$$

여기서 개별 배출업체들의  $\delta_i$  값들의 범위는 -1.78~10.52로 나타났다.

그러나 모의실험을 실시한 결과 저감률(저감량)에 대한 계수의 값이 음(-)이 나와 배출권거래제에서 각 배출업소의 오염저감비용을 최소화하기 위해 각 배출업소의 저감량을 구하는 최적화문제는 해를 갖지 않게 되었다. 즉 저감률(저감량)이 높으면(많으면) 저감비용도 증가해야 하는데 저감률(저감량)이 높을수록(많을수록) 비용이 감소한다고 현실과 상충되게 추정된 것이다. 이와 같은 결과가 나오는 이유는, 다른 가능성들이 있을 수 있겠지만, 첫째, 1997~1999년 기간 동안 오염방지 비용을 지출하였음에도 불구하고 많은 배출업소들의 경우 IMF 이후 1999년의 배출량이 1997년에 비해 증가한 사실을 들 수 있다. 비용절감효과를 정확히 예측하기

6) 괄호 안은  $t$  값이다.



위해서는 최근의 자료를 가지고 분석해야 하는데 배출량의 경우 IMF 관리체제라는 충격이 배출량의 최근 추세를(즉 IMF 전후 배출량들을) 왜곡한 것 같다. 둘째, 1997년 7월에 연료규제가 1.0%S에서 0.5%S로 강화되어 업소들이 전반기와 후반기에 사용한 연료의 황함유량이 각각 달라졌다. 그러나 자료는 연말을 기준으로(즉 대부분이 0.5%S로) 정리되었기에 그 과정에서 배출량이 실제와 달리 크게 줄어들었을 가능성이 있다. 셋째, 울산지역 배출업소들이 지속적으로 강화되는 연료규제 등에 영향을 받아 1997년에 배출량을 과도하게 줄였다고 볼 수 있다. 앞의 이유들을 감안하여 다음과 같은 대안을 고려하게 되었다.

먼저 많은 업소들의 1999년 배출량은 증가하였기 때문에 이는 그대로 활용하기로 하되 1997년 배출량을 다음과 같이 조정하기로 하였다. 첫째, 1997년 후반기부터 0.5%S 연료규제를 적용받았으므로 위의 모형에서 1997년 실제 배출량을 기준배출량으로 사용한 것을 수정하여 0.5%S 중유 사용을 전제로 하고 연료사용량에 근거해 1997년 기준배출량을 다시 계산하였다. 이를 위해 먼저 1997년과 1999년의 가동률이 같다고 가정하였다(울산지역 대부분의 배출업체들은 1997년에 비해 1999년의 가동률이 실제 약간 증가하였다). 그리고 배출업체들이 사용한 연료가 산출한 총발열량을 동일하게 얻기 위해 0.5%S 중유를 얼마나 사용해야 할 것인가를 계산하고 이에 따라 기준배출량을 구하였다. 둘째, 1997년 기준배출량을 첫번째 방법과 동일하게 계산하되 1997년 상반기에는 1.0%S 연료규제를 적용받았기 때문에 1.0%S 중유 사용을 전제로 하여 계산하였다. 나머지 1999년 배출량 및 저감비용의 계산은 두 방법 모두 앞의 경우와 같다. 첫번째 방법에서 전제로 한 0.5%S 중유 사용이 현재 적용되고 있는 규제이므로 이를 기준으로 결과를 설명하고 1.0%S의 경우는 부록에 그 결과를 소개한다. 위와 같은 방법으로 추정된 식은 다음과 같다.<sup>7)</sup>

〈함수추정 I — 0.5%S conditional function〉

$$\ln(TC_i) = -0.7514 + 0.5502 \cdot \ln(R_i^*) + 1.4031 \cdot \ln(r_i) \quad (7)$$

(-0.6362)    (3.6604)                    (0.7674)

7) 괄호 안은  $t$  값이다.

여기에서  $\ln(r_i) = \ln(R_i) - \ln(R_i^*)$  이므로

$$\ln(TC_i) = -0.7514 - 0.8529 \cdot \ln(R_i^*) + 1.4031 \cdot \ln(R_i) \quad (7)'$$

이 식은 배출시설의 규모가 클수록 저감비용이 감소하고 저감량이 많을수록 저감 비용이 증가한다는 것을 보여준다. 그리고 통계적 유의수준(statistical significance)도 배출시설의 규모에 관한 변수의 경우 상당히 높다는 것을 알 수 있다. 다만 저감을 변수의 통계적 유의수준이 앞의 식(5)에 비해 상대적으로 낮아졌다는 것을 알 수 있다. 여기에 각 배출업체의 1997년 기준배출량을 대입하면 최종적으로 각 배출업체의 오염저감비용함수를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\ln(TC_i) = \delta_i + 1.403103 \cdot \ln(R_i) \quad (8)$$

위에서 추정된 개별 배출업체들의  $\delta_i$  값들의 범위는 -8.63~0.35로 나타났는데 이렇게 상수항 값들의 차이가 큰 이유는 각 배출업체들의 설비규모의 차이를 반영하는 것으로 여겨진다. 최종적으로 구한 식(8)은 저감량이 많을수록 저감비용이 증가한다는 이론 및 현실을 잘 설명하고 있고, 각 업소의 저감량을 대입하면 각기 다른 52개의 오염저감비용함수들이 도출된다.

### Ⅲ. 비용절감 모의실험(simulation) 분석

#### 1. 기준 및 규제 시나리오

규제정책의 비용효율성을 측정하기 위해서는 시행하려고 하는 규제정책과 비교할 수 있는 기준 시나리오가 필요하다. 본 연구에서는 전술한 이유로 모든 배출업체들의 기준배출량을 B-C유 0.5%S를 사용한다는 가정하에 분석하였다. 그리고 본 논문에서 오염저감비용을 비교하는 규제 시나리오들은 다음과 같다.

### • 연료규제

울산지역은 1986년 3월 대기오염 특별대책지역으로 정해진 이후 연료규제정책의 적용을 받아 1981년 B-C유 황 함유량이 4.0% → 1.6%, 1996년 7월 1.6% → 1.0%, 1997년 7월 1.0% → 0.5%로 강화되고 있고 2001년 7월 이후에는 0.5% → 0.3%로 더욱 강화될 예정이다. 본 모의실험의 연료규제란 2001년 7월 이후 실시 예정인 0.5%S → 0.3%S 경우와 장래 실시 가능성이 어느 정도 있는 0.5%S → 0.1%S 경우 두 가지이며, 모든 업소들이 예외없이 연료를 각각 0.5%S → 0.3%S 및 0.5%S → 0.1%S로 전환하는 것을 의미한다.

### • 일률삭감(Uniform Reduction)

위의 연료규제에 의해 설정된 저감량을 동일한 비율로 개별 배출업체에 적용하는 정책을 의미한다. 예를 들어 0.5%S → 0.3%S의 경우 총배출량을 현재보다 40% 저감하는 것을 의미하며 이를 달성하기 위해 모든 업소들로 하여금 그들의 배출량을 각각 40%씩 줄이도록 하는 것이 일률삭감규제인 것이다.

### • 배출권거래제

배출권거래제에서는 허용배출량에 해당하는 배출권이 배출업체들이 참가하는 배출권시장에서 거래되고 각 배출업체들은 자신들의 한계오염저감비용을 고려하여 거래를 한다. 즉 각 배출업소는 자율적으로 비용최소화의 해인 저감량을 결정하고 할당량과 배출량의 차이를 배출권시장에서 거래하게 된다.

## 2. 모의실험결과 분석

본 연구에서는 기준 시나리오에 대한 각 규제정책의 비용효과를 비교·검토하기 위해 0.5%S의 경우 0.3%S 사용(기준 시나리오 대비 40% 배출저감)과, 0.1%S 사용(기준 시나리오 대비 80% 배출저감)을 대상으로 각 규제정책들의 비용을 추정하고자 한다.<sup>8)</sup>

8) 전술하였지만 결과를 도출하는 방법을 요약하면 앞에서 추정한 각 배출업체의 오염저감함수, 즉 식(8)과 시나리오별 저감량을 II절의 식(2) 이하에 언급된 규제별 절차에 적용하면 된다. 모의실험은 General Algebraic Modeling System(GAMS)에 의해 실행되었다.

〈표 3〉 시나리오별 총삭감비용<sup>9)</sup>

(0.5%S conditional function)

	삭감비율	총삭감비용 (억원/년)	비용절감 (연료규제대비)	비용절감비율 (%)
연료규제	40% (0.3%S 준수)	153.59	-	-
	80% (0.1%S 준수)	254.80	-	-
일률삭감	40% (0.3%S 준수)	61.23	92.36	60.13
	80% (0.1%S 준수)	161.95	92.85	36.44
배출권거래제	40% (0.3%S 준수)	37.65	115.94	75.49
	80% (0.1%S 준수)	99.30	155.50	61.03

〈표 3〉에 의하면 연료규제를 강화할 경우, 즉 0.5%S에서 0.3%S나 0.1%S로 가는 경우 연간 삭감비용이 증가하고 이에 따라 일률삭감이나 배출권거래제의 상대적인 비용절감효과가 나타났다. 예를 들어 연료규제가 0.5%S에서 0.3%S인 경우 배출권거래제의 비용절감액이 연간 약 116억 원에 달하고 이것이 0.5%S에서 0.1%S로 강화되는 경우 비용절감액이 연간 약 156억 원으로 커지는 것을 알 수 있다. 즉 배출권거래제의 연료규제 대비 절감비율이 각각 75%, 61% 정도여서 상당한 비용개선효과가 나타났다. 마찬가지로 일률삭감도 연료규제에 비해 비용절감효과가 있는 것으로 나타났지만 위 결과에 의하면 기준 대비 40% 및 80% 삭감에 있어 일률삭감과 배출권거래제의 비용절감비율이 각각 60% : 75% 그리고 36% : 61%로 배출권거래제의 비용개선효과가 일률삭감의 그것보다 더 크며 이는 규제가 강화될 수록 현저하다.

그런데 특이한 것은 40% 삭감 때보다 80% 삭감시에 일률삭감이나 배출권거래제의 비용절감효과가 모두 줄어든다는 점이다(즉 각각 60%에서 36%로, 75%에서 61%로). 이는 각종 규제들을 지속적으로 적용받고 있는 울산지역의 배출업체들이 이미 상당한 배출저감 노력을 기울였기 때문에 삭감량을 일정 규모 이상으로 증가시킨다면 정책의 비용절감효과가 잠식될 수 있다는 것을 시사한다.

위의 결과에 의하면 앞으로 연료규제를 강화하는 경우 일률삭감이나 배출권거래제 모두 비용효과적이라고 나타났다. 그러면 다음으로 일률삭감과 배출권거래제를

9) 0.1%S 증유의 가격은 1.0%S와 0.5%S의 가격차이를 앞에서 추정한 0.3%S의 가격에 반영하여 계산하였다.

〈표 4〉 삭감률에 따른 배출권거래제 도입시 비용개선 효과

〈0.5%S conditional function〉

삭감비율		50%	60%	70%	80%	90%
총삭감량 (톤)		9,407	11,289	13,170	15,052	16,933
총저감비용 (억원/년)	일률삭감	83.75	108.16	134.28	161.95	191.05
	배출권거래제	50.28	66.5	81.34	99.30	117.47
비용절감 (억원/년)		33.47	41.66	52.94	62.65	73.58
비용절감비율 (%)		39.96	38.52	39.43	38.68	38.51
총거래량 (톤)		2,978	3,915	4,167	4,571	5,873

상호 비교하여 어느 규제가 더 비용개선효과가 있는지 살펴보기로 한다. 목표삭감량이 점점 커질 때 각 규제가 갖는 비용절감효과의 변화를 살펴보기 위해 50%, 60%, 70%, 80%, 90%로 삭감률을 변동시켜 분석을 실시하였다.

그 결과를 〈표 4〉에 정리하였는데 모든 삭감률에 대해 배출권거래제가 일률삭감보다 저감비용이 상당히 적게 들고 또한 삭감률이 커질수록 배출권거래제에 의한 비용절감액이 점점 더 커지는 것을 알 수 있다. 예컨대 배출량을 50% 줄이는 경우 일률삭감 및 배출권거래제의 총저감비용은 각각 약 84억 원, 50억 원이고 80% 삭감의 경우 이는 각각 약 162억 원, 99억 원에 달해 비용절감폭이 커지고 있다. 이 결과는 삭감률이 많아질수록 기업간 한계저감비용의 차이가 더욱 커지고 따라서 배출권거래제의 도입으로 저감비용을 더욱 줄일 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 동일한 이유로 삭감률이 커질수록 거래량도 많아진다는 사실을 이 표에서 확인할 수 있다. 그러나 비용절감비율은 총저감비용이 삭감량에 비례하여 증가하기 때문에 삭감률의 변화에 따라 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.

배출권거래제에 참여하는 기업수의 변화에 따른 비용절감효과의 변화를 분석하기 위해 1종 업소들만, 1종·2종 업소들만, 1종·2종·3종 업소 모두 배출권거래제에 참여하는 세 경우를 가정하고 모의실험을 하였다. 그 결과는 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉에서 보는 것처럼 각 삭감률 수준에서 참여기업수가 많아질수록 비용절감액은 증가한다. 이는 특히 1종 업소들만이 참여하는 첫번째 경우보다 1·2종 업소들이 참여하는 두번째 경우에 두드러지게 나타났는데(약 12억 원에서 23억 원, 32억 원에서 63억 원으로), 1·2·3종 업소들 모두 참여하는 세번째 경우에는 첫번째 경우보다 비용절감액이 훨씬 크지만(약 12억 원에서 24억 원, 32억 원에서 63억 원으로)

〈표 5〉 참여기업 수에 따른 비용절감 효과 (종별)

〈0.5%S conditional function〉

		1종 배출업소		1·2종 배출업소		1·2·3종 배출업소	
		40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)	40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)	40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)
총삭감량 (톤)		3,365	6,730	7,502	15,005	7,526	15,052
총저감비용 (억원/년)	일률삭감	40.9	108.16	59.92	158.46	61.23	161.95
	배출권거래제	28.86	76.24	37.14	95.85	37.65	99.30
비용절감 (억원/년)		12.04	31.92	22.78	62.61	23.58	62.65
비용절감비율 (%)		29.44	29.51	38.02	39.51	38.51	38.68
총거래량 (톤)		1,250	2,461	2,592	5,268	2,610	4,571

두번째 경우의 그것에 비해서는 약간 증가하는 것에 그쳤다(약 22.78억 원에서 23.58억 원, 62.61억 원에서 62.65억 원으로). 두 경우 모두 삭감량이 40%일 때보다 삭감량이 80%일 때 참여기업수의 증가에 따른 비용절감효과가 더 크게 나타나고 있다.

한편 거래량 측면에서도 1종 업소들만이 참여하는 경우보다 1·2종 업소들이 참여하는 경우에 거래량이 크게 늘어났으며, 1·2·3종 모두 참여하는 경우의 거래량은 1·2종이 참여하는 경우의 거래량보다 약간 증가하거나(40% 삭감시) 약간 감소하였다(80% 삭감시).

배출권거래제는 서로 다른 오염저감함수를 갖는 기업들간에 자유로운 거래를 허용하여 최적으로 오염을 저감하도록 하는 제도이다. 이런 방식하에서는 서로 다른 저감함수를 갖는 기업들이 많이 참여할수록 거래로 인한 이익이 커지게 되어 총 절감액이 늘어나게 된다. 그런데 본 연구결과에 의하면 참여기업수가 어느 정도 증가하면 비용절감액이 꽤 증가하지만 그 이상 참여기업수가 늘어나면 비용절감액이 그리 크게 증가하지 않는다고 나타났다. 이는 기존의 이론과 상충되어 보이지만 다음과 같이 해석될 수 있다. 현재 비용절감액은 각 삭감량에 따라 일률삭감과 배출권거래제의 총저감비용의 차이로 계산되고 있는데, 1종, 2종 업소들의 삭감량이 상대적으로 커 3종을 추가해 봐야 일률삭감의 총저감비용이 크게 증가하지 않는다. 따라서 3종을 참여시켜도 비용절감액이 1·2종이 참여한 경우보다 크게 증가하지 않고 일정한 수준에 머물고 있다고 사료된다.

3종을 추가시키는 경우 비용절감액과 거래량이 그리 크게 증가하지 않는다는 모

〈표 6〉 참여업체 수의 변화에 따른 비용절감 효과(배출량별)

〈0.5%S conditional function〉

	500톤 이상(9개)		100톤 이상(16개)		20톤 이상(30개)		0톤 이상(53개)	
	40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)	40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)	40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)	40% 삭감 (0.3%S)	80% 삭감 (0.1%S)
총삭감량 (톤)	6,603	12,681	7,220	14,440	7,466	14,932	7,526	15,052
총저감비용 (억원/년)	일률삭감	37.67	99.63	49.84	131.81	57.43	151.88	61.23
	배출권거래제	30.38	75.90	34.29	90.68	35.93	95.03	37.65
비용절감 (억원/년)	7.29	23.73	15.55	41.13	21.50	56.85	23.58	62.65
비용절감비율 (%)	19.35	23.82	31.20	31.21	37.44	37.43	38.51	38.68
총거래량 (톤)	1,897	3,321	2,382	4,765	2,599	5,203	2,610	4,571

의실험 결과와 3종을 추가시키는 경우 행정비용이 증가할 수 있다는 사실을 모두 감안할 때 동 제도가 실시되는 경우 2종 업소들까지만 포함시키는 것이 바람직하다고 판단된다.

위와 같은 결과들을 배출량별 참여업체수 변화에서도 확인할 수 있다. 이는 〈표 6〉에 정리되어 있다.

〈표 6〉에 의하면 연간 배출량이 500톤 이상에서 100톤 이상으로 그리고 20톤 이상인 업체들로 참여업체의 폭을 확대시킬 때 비용절감액이 의미있게 증가한다고 나타났다. 그리고 조사대상인 53개 업소를 모두 참여시켰을 때 비용절감액은 증가하지만 그 효과는 이전에 비해 그리 크지 않게 나타나 〈표 5〉의 결과와 유사하다.

#### IV. 결 론

울산지역 업체들을 대상으로 아황산가스의 오염저감비용함수들을 추정하여 모의 실험을 실시한 결과 배출권거래제의 비용절감효과가 직접규제에 비해 뚜렷하게 나타났다. 특히 연료규제를 강화하는 것보다 총량규제에 근거하여 일률적으로 배출량을 삭감하는 것이, 그리고 배출권거래제를 도입하는 것이 상당히 비용효율적이라고 나타났다.

그리고 일률삭감방식과 배출권거래제를 비교한 결과 배출권거래제가 더 비용효

울적이라는 것을 알 수 있었다. 일률삭감에 대한 배출권거래제의 비용절감액은 목표 삭감률이 커질수록 더욱 증가하였다. 즉 배출허용기준이 강화될수록 배출권거래제가 직접규제방식에 비해 비용측면에서 효율적으로 나타났다.

그리고 배출권거래제에 참여하는 기업의 범위를 변화시켜 비용절감효과를 분석한 결과 참여업소들을 2종까지 또는 배출량이 20톤 이상인 업소들까지 확대하는 경우 비용절감액(비용절감비용)이 증가하였다. 3종까지 또는 전업소까지 참여를 확대하는 경우 1·2종 또는 배출량이 20톤 이상인 업소들만이 참여하는 경우의 비용절감액과 유사하였다. 그리고 거래량도 1·2종 또는 배출량이 20톤 이상인 업소들을 대상으로 하는 경우에 상당히 증가하였다. 따라서 동 제도의 도입초기 단계에는 1·2종 또는 배출량이 많은 업소들만을 대상으로 적용하고 발전단계에서 참여기업의 범위를 차차 확대하는 것이 바람직하다고 판단된다.

본 연구는 기존의 연구를 개선하고자 오염원별 실제 배출량 및 저감비용을 조사하여 오염저감비용함수를 추정하였다. 이는 현 상황에 가장 근접한 모의실험을 실시한다는 측면에서 적절한 방법이라고 사료된다. 하지만 전술하였듯이 자료정리 과정에서 배연탈황시설을 갖춘 업체들이 제외되었다. 왜냐하면 이 업체들은 저감비용은 상당히 크지만 배출량이 매우 적어 통계적으로 outlier가 되어 의미있는 회귀분석을 저해하기 때문이다. 따라서 결과적으로 본 연구는 배연탈황시설을 갖춘 업소들을 고려하지 않은 것이 되었다. 이를 개선하기 위한 방법의 하나로 배연탈황시설을 갖춘 업소들만을 대상으로 오염저감비용함수를 추정하여 모의실험을 실시하는 방안이 있는데, 이는 울산지역에 소재하면서 배연탈황시설을 갖춘 업소들이 회귀분석을 할 만큼 충분하지 않아 불가능하였다. 따라서 향후 공학적인 접근에 의해 배연탈황시설업소들에 대한 비용효과분석이 요망된다. 참고적으로 앞에서 소개한 안병훈(1996)의 연구가 이에 해당하는데 그 결과가 본 연구의 결과와, 배출권거래제가 비용효율적이라는 본질적인 측면에서, 거의 비슷하였음을 밝힌다.

한편 0.3%S와 0.1%S 중유가격이 존재하지 않아 이를 합리적으로 추정하여 사용하였지만 본 연구의 비용절감효과는 이들 가격에 민감하다는 것을 지적하지 않을 수 없다. 또한 배출권거래제의 비용개선효과를 예측하는 데 있어 기준(benchmark)으로 사용한 연료규제는 유연성을 가정하지 않아 동 지역에서 시행중인 연료규제와 다르다는 것에 유념해야 한다. 그리고 1997년부터 1999년까지는 IMF 관리체제에 영향을 받은 시기와 자료의 제약이 있었음을 다시 한번 강조한다. 마지막으로 배출



권거래제의 실시에는 필요한 거래비용을 포함시킨다면 예측된 비용절감효과는 이보다 낮아질 수 있다.

#### ■ 참고문헌

1. 광승준·한상용, "오염배출권거래제를 이용한 효율적 대기배출규제제도의 설계: 비용효율성을 중심으로," 한국경제연구원, 『규제연구』, 제8권 제1호, 1999, pp. 39~64.
2. 광승준·허세립·조승국, 『오염배출권거래제』, 자유기업센터, 1998.
3. 안병훈, 『배출권거래제의 설계 및 환경문제에 대한 적용방안에 관한 연구』, 한국환경기술개발원, 1996.
4. 장태구, "모의실험을 이용한 오염유발 허가권제도의 비용절감효과 분석," 『환경경제연구』, 제3권 제1호, 1994, pp. 35~56.
5. 한국환경경제학회, 『대기오염물질 배출권거래제 도입 타당성에 관한 연구』, 환경부, 2000.
6. 한국환경기술개발원, 『울산지역 총량규제 시범실시계획(안) 수립』, 국립환경연구원, 1997.
7. Chiang, A. C., *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, 3d ed., Sec. 21.2, New York: McGraw-Hill, 1984.
8. Tietenberg, T. H., "Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy," *Resources for the Future*, Washington, D. C., 1985.

〈부록〉 오염저감함수 추정 및 모의실험 분석결과 II  
(1.0%S 중유 사용의 경우)

본문에서와 동일한 방법으로 오염저감함수를 1.0%S를 전제로 추정하면

$$\ln(TC_i) = -0.4458 + 0.5804 \cdot \ln(R_i^*) + 1.4875 \cdot \ln(r_i)$$

(-0.443)      (4.543)                      (0.927)

여기에  $\ln(r_i) = \ln(R_i) - \ln(R_i^*)$  과 각 배출업체의 1997년 기준배출량을 대입하면 최종적으로 각 배출업체의 오염저감비용함수를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\ln(TC_i) = \delta_i + 1.4875 \cdot \ln(R_i)$$

위에서 추정된 개별 배출업체들의  $\delta_i$  값들의 범위는 -8.84~0.71로 나타났고, 이 식들을 이용해 모의실험을 실시한 결과는 다음과 같고 그 해석은 본문과 동일하다.

〈부표 1〉 시나리오별 총삭감비용

	삭감비율	총삭감비용 (억원/년)	비용절감 (연료규제대비)	비용절감비율 (%)
연료규제	50% (0.5%S 준수)	109.59	-	-
	70% (0.3%S 준수)	263.18	-	-
일률삭감	50% (0.5%S 준수)	123.79	-14.20	-12.96
	70% (0.3%S 준수)	204.20	58.98	22.41
배출권거래제	50% (0.5%S 준수)	80.26	29.33	26.76
	70% (0.3%S 준수)	132.49	130.69	49.66

&lt;부표 2&gt; 삭감률에 따른 배출권거래제 도입시 비용개선 효과

삭감비율		50%	60%	70%	80%	90%
총삭감량 (톤)		9,407	11,289	13,170	15,052	16,933
총저감비용 (억원/년)	일률삭감	123.79	162.36	204.20	249.07	296.77
	배출권거래제	80.26	105.04	132.49	162.68	193.82
비용절감 (억원/년)		43.53	57.32	71.71	86.39	102.95
비용절감비율 (%)		35.16	35.30	35.12	34.69	34.69
총거래량 (톤)		2,973	3,384	4,168	4,571	5,140

&lt;부표 3&gt; 참여기업 수에 따른 비용절감 효과 (종별)

		1종 배출업소		1·2종 배출업소		1·2·3종 배출업소	
		50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)	50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)	50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)
총삭감량 (톤)		4,206	5,889	9,378	13,129	9,407	13,170
총저감비용 (억원/년)	일률삭감	81.64	134.67	121.46	200.35	123.79	204.20
	배출권거래제	--	--	79.23	132.02	80.26	132.49
비용절감 (억원/년)		--	--	42.23	68.33	43.53	71.71
비용절감비율 (%)		--	--	34.79	34.11	35.16	35.12
총거래량 (톤)		--	--	2,972	4,168	2,973	4,168

주: (--) 표시는 수치해석적 방법으로 최적해를 구하지 못하는 경우임.

&lt;부표 4&gt; 참여업체 수의 변화에 따른 비용절감 효과 (배출량별)

		500톤 이상(9개)		100톤 이상(16개)		20톤 이상(30개)		0톤 이상(53개)	
		50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)	50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)	50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)	50%삭감 (0.5%S)	70%삭감 (0.3%S)
총삭감량 (톤)		8,254	11,556	9,025	12,635	9,333	13,066	9,407	13,170
총저감비용 (억원/년)	일률삭감	79.11	130.50	102.99	169.88	117.11	193.19	123.79	204.20
	배출권거래제	--	110.78	--	123.30	78.62	129.71	80.26	132.49
비용절감 (억원/년)		--	19.72	--	46.58	38.49	63.48	43.53	71.71
비용절감비율 (%)		--	15.11	--	27.42	32.87	32.86	35.16	35.12
총거래량 (톤)		--	3,470	--	3,718	2,967	4,159	2,973	4,168

주: (--) 표시는 수치해석적 방법으로 최적해를 구하지 못하는 경우임.