

# 環境基礎設施의 適正規模와 政策的 示唆點

金 東 石

(本院 專門研究員)

## ◇ 要 約 ◇

환경기초시설에 대한 투자가 우리나라 총 환경관련 예산의 80% 이상을 차지하고 있다는 사실에서도 알 수 있듯이, 수질·폐기물의 관리를 위한 기초시설의 건립과 운영은 환경정책의 가장 중요한 부분인 동시에 대규모의 재원을 필요로 하는 사업이며, 따라서 비용극소화를 위한 많은 노력이 요구된다. 환경기초시설의 설치·운영에 소요되는 비용은 크게 두 부류로 나누어지는데, 설치비와 운영비에는 규모의 경제가 있어서 규모가 큰 시설일수록 평균비용이 감소하는 반면, 수거운반비와 보상비는 규모가 큰 시설일수록 평균비용이 증가한다. 따라서 총비용은 시설규모의 U자형 함수가 될 것이며, 이 논문의 목적은 각 비용요소를 계량화하여 환경기초시설의 적정규모, 즉 총비용을 극소화시키는 시설규모를 도출하기 위한 모형을 제시하는 것이다. 이 논문에서 제시한 모형은 수학적으로 단순하여 현실 문제에 쉽게 적용할 수 있으며, 간단한 컴퓨터 프로그램을 통하여 적정규모를 계산하고 비용분석을 할 수 있다.

이 모형을 우리나라의 소각시설에 적용한 결과 다음과 같은 정책적 시사점들을 얻을 수 있었다. 첫째, 생활폐기물의 수거운반비가 1,500원/톤/km이고 가구들이 폐기물 관리지역내에 고르게 분포되어 있다고 가정할 때에 총소각비용을 최소화하기 위해서는 약 23만 가구당 처리용량이 830톤/일인 소각장을 설치·운영하여야 하며, 이때에 폐기물 단위당 처리비용은 약 100원/kg이다. 둘째, 가구당 폐기물발생량과 인구밀도의 지역간 차이로 인하여 적정규모 역시 지역간 차이가 있으며, 우리나라에서는 도시지역일수록 규모가 큰 시설이 효율적이다. 셋째, 폐기물 처리사업은 오염의 원인과 수익의 주체가 분명하므로 처리에 소요되는 비용은 가계가 부담하여야 하며, 이를 위하여 현재의 쓰레기봉투가격을 인상하여야 한다. 넷째, 현재 폐기물 처리시설의 설치·운영이 공공부문에 의하여 이루어지고 있어 이를 민영화하는 것이 바람직한데, 그 이유는 환경기초시설의 적정규모를 도출함에 있어 핵심사항인 비용에 관한 정보를 관련 분야의 민간부문이 더 많이 가지고 있을 가능성이 높으며, 입찰을 통하여 사업자를 선정할 경우 가장 효율적인 기업에 의한 설치·운영이 가능하기 때문이다. 이를 위하여 쓰레기봉투가격의 인상과 함께, 폐기물의 처리가 행정구역에 연계되어 이루어지고 있는 현재의 제도 역시 폐지되어야 한다.

## I. 序 論

지난 30여년간의 고도성장과정에서 소홀히 다루어져왔던 환경개선에 정부가 적극적으로 대처하기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 빈곤으로부터 벗어나 경제성장을 이루는 것이 최대의 목표이던 단계를 지나, 쾌적한 환경에 대한 국민적 요구가 중요한 사회적 이슈로 거론되는 단계에 접어든 것이다. 1990년대에 들어 환경관련 법령이 체계적으로 정비되고 환경담당부서가 部로 승격되었으며, 1997년에는 환경부의 자체 예산이 처음으로 1조원을 돌파하였다.

환경보전과 관련된 정부의 역할은 (i) 법령의 정비와 집행, (ii) 환경오염의 방지 및 개선, (iii) 폐기물 관리, (iv) 연구개발 및 환경교육, 그리고 (v) 기타사업 등으로 이루어지며, 환경관련 예산의 대부분은 폐기물 관리와 환경오염 방지 및 개선에 집행되고 있다. 이 분야에 있어 가장 시급한 과제는 소각장, 매립장, 정수장, 하·폐수처리시설 등 환경기초시설의 확충인데, 이는 환경관련 예산의 80%<sup>1)</sup> 이상이 이들 사업에 지출되고 있다는 사실로 확인할 수 있다. 환경기초시설의 건립은 피부로 느끼는 환경질의 개선에 직접적인 영향을 미치는 사업이며, 시설의 특성상 일정 수준 확보된 후에는 경상비용 외의 대규모 재원이 필요하지 않으나 이에 이르기까지 기간간에 대규모의 재원이 필요한 사업이다.

이 논문의 목적은 환경기초시설의 적정규모를 도출하는 것이다.

1) 1997년도 환경부 자체예산 1조800억원 중 수질개선 및 상·하수도 사업과 폐기물관리에 집행될 예산은 각각 5,684억원(53%)과 2,717억원(25%)이며, 타부처의 환경관련 예산의 대부분은 수질개선 및 상·하수도 사업에 투자된다. 재정경제원(1997).

현재 우리나라가 환경기초시설 확충의 목표로 설정한 2005년까지 수질, 상·하수도 및 폐기물 분야에 소요될 재원은 약 50조원으로 예상되며,<sup>2)</sup> 이중 많은 부분이 환경기초시설의 건립에 투자될 전망이다. 이 논문의 목적은 주어진 양의 폐수 혹은 폐기물을 처리하는데 드는 비용을 극소화하는 환경기초시설의 규모를 도출하는 것이다.

환경기초시설의 적정규모를 도출하기 위하여 이 논문에서 사용하고 있는 모형은 소각시설과 같이 기존의 도로를 통하여 오염물질을 운반할 수 있으며 대규모의 부지를 필요로 하지 않는 시설에 가장 쉽게 적용될 수 있다. 매립과 달리 소각처리는 악취·침출수 등 2차 오염의 문제가 없어서 국토가 협소한 선진국에서 선호되고 있는 폐기물 처리방법이며,<sup>3)</sup> 다이옥신 등 유해물질을 적은 비용으로 제거할 수 있는 기술이 갖추어진다면 우리나라에도 바람직한 방법이라고 할 수 있다. 매립시설은 대규모의 부지를 필요로 하며, 하·폐수 처리시설은 입지가 하천의 주위로 한정되어 있고 오염물질이 관거를 통하여 운반되므로 이 논문의 모형을 적용할 때에는 약간의 수정이 필요할 것이다.

## II. 模 型

환경기초시설의 설치 및 운영에 필요한 비용은 크게 설치비, 운영관리비 및 수거운반비의 세 범주로 구분되며, 다른 대규모 사업

2) 韓國環境技術開發院(1996), p. 201.

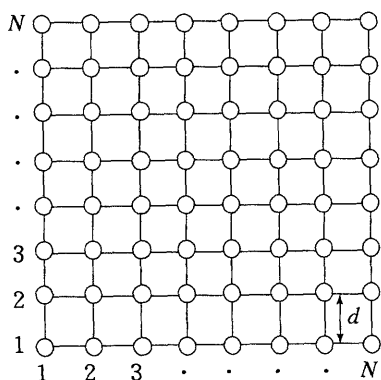
3) 소각률이 높은 주요 선진국의 생활폐기물 소각처리율은 다음과 같다. 일본 72.8%; 스위스 79.6%; 스웨덴 52.8%; 프랑스 41.0%. 한국자원재생공사(1994).

에서와 같이 초기에 대규모의 설치비가 소요되고, 이후 장기간에 걸쳐 경상비가 지출된다. 환경기초시설에 투자함에 있어 ‘적정규모’의 문제가 중요한 이유는 다음과 같다. 일반적으로 환경기초시설의 설치·운영에는 비용 측면의 규모의 경제가 있어서, 규모가 큰 시설을 지을수록 평균 설치비 및 운영관리비는 낮아지게 된다. 반면에 규모가 작은 시설을 여러 개 설치할수록 각 오염원으로부터 처리시설까지의 총수거운반비는 낮아지게 된다. 극단적인 예를 들자면, 각 오염원에 처리시설을 설치할 경우 수거운반비는 0이 되나 막대한 설치비가 필요하게 될 것이며, 반대로 전국에 하나의 처리시설만 있는 경우에는 설치·운영비가 절약되는 대신 막대한 수거운반비가 필요하게 된다. 따라서 총비용은 시설규모의 U자형 함수가 될 것이며, 각 비용요소를 모형화하여 환경기초시설의 적정규모, 즉 총비용을 극소화시키는 시설규모를 도출하는 것이 이 논문의 목적이다.

## 1. 오염원의 공간적 분포형태 및 수거·운반비

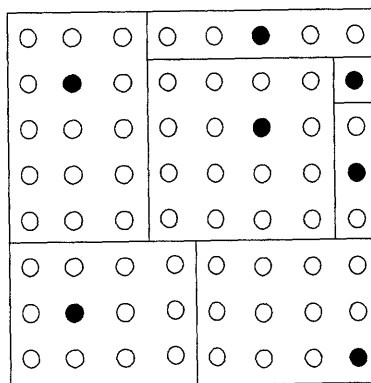
환경기초시설의 설치비 및 운영관리비는 각각 시설용량 및 처리량에 의존하여 모형화하기가 용이하고 母數의 推定에 필요한 자료를 쉽게 얻을 수 있는 반면, 수거운반비는 오염원들의 공간적 분포형태를 인위적으로 가정해야 하므로 모형화가 쉽지 않고 모수의 추정에도 필요한 자료를 얻기가 어렵다. 오염원들의 분포는 지형에 크게 영향을 받으며, 또한 도시·비도시지역간 밀도의 차이가 커서, 모든 국가에 있어 그 분포가 크게 불규칙하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서는 오염원이 국토내에 고르게 분포되어 있다는 가정하에서 환경기초시설의 적정규모를 구한 후, 比較靜態分析을 통하여 밀도차이가 적정규모에 미치는 영향을 분석하는 점

[그림 1] 오염원의 분포



○ : 오염원  
— : 도로

[그림 2] 구역·입지 설정 예



○ : 오염원  
● : 오염원 및 환경기초시설

근법을 택하기로 한다.

한 국가내에  $N^2$ 개의 오염원이 있으며 이들이 [그림 1]에서와 같이  $N \times N$  크기의 정사각형내에 격자형으로 배열되어 있다고 하고 다음을 가정하자. (i) (대각선상이 아닌) 인접한 두 오염원은 도로로 연결되어 있다. 즉 모든 오염원은 수평과 수직의 도로로 연결되어 있다. (ii) 인접한 두 오염원간의 거리는  $d$ 이다. (iii) 환경기초시설의 설치와 운영은 행정구역과 독립적이다. (iv) 오염원과 환경기초시설이 차지하는 면적은 0이거나 무시할 만큼 작으며, 환경기초시설은 오염원과 같은 위치에 설치한다. (v) 한 구역내에서 오염물질은 가장 짧은 경로를 통하여 기초시설로 운반된다.

이러한 가정하에서 비용극소화의 문제는  $N^2$ 개의 오염원을 어떻게 구역지를 것인가, 그리고 각 구역내의 어느 지점에 기초시설을 설치할 것인가의 두 가지 문제로 압축된다. 이 논문에서는 직사각형 모양의 구역만을 고려하기로 하며, [그림 2]는 구역 및 입지 설정의 예를 나타내고 있다.

이제 다음의 두 정리를 통하여 한 구역내에 기초시설이 구역의 중앙 - 엄밀히 말하면 中位 - 에 위치할 때에 운반비용이 최소화되며, 같은 수의 오염원을 갖는 직사각형들 중 정사각형 모양의 구역이 가장 작은 운반비용을 가짐을 보이고 그때의 운반비용을 도출하기로 하자.

정리 1 한 구역내의 총운반거리는 기초시설이 구역의 中位에 위치할 때에 최소화된다.<sup>4)</sup>

증 명  $n \times m$  크기의 구역내  $(x, y)$ 에 기초시설이 위치할 때 총운반거리는

$$\begin{aligned}
 G(x, y) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [ |x-i| + |y-j| ] d & (1) \\
 &= md \sum_{i=1}^n |x-i| + nd \sum_{j=1}^m |y-j|, \\
 & \quad x=1, 2, \dots, n, \quad y=1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

이다. 두 집합  $\{1, 2, \dots, n\}$ 과  $\{1, 2, \dots, m\}$ 의 中位數(median)를 각각  $n^*$ 와  $m^*$ 로 표기하기로 하자. 그러면 식 (1)의 첫째 항은  $x$ 만의 함수로서  $n^*$ 에서 최소화되고 둘째 항은  $y$ 만의 함수로서  $m^*$ 에서 최소화되며,  $G(x, y)$ 가 두 항의 합이므로  $G(x, y)$ 는  $(n^*, m^*)$ 에서 최소화된다. 즉 구역내 총운반거리는 기초시설이 구역의 中位에 위치할 때 최소화된다. ■

정리 2 (정리 1에 따라) 환경기초시설을 구역의 中位에 설치할 경우, 오염원의 수가 동일한 직사각형 모양의 구역들 중에서 정사각형에 가장 가까운 구역이 최소 총운반거리를 갖는다.

4) 예를 들어  $5 \times 7$  구역의 中位는 (3, 4)이고,  $6 \times 8$  구역은 네 개의 中位 (3, 4), (3, 5), (4, 4), (4, 5)를 가지며,  $5 \times 8$  구역에는 두 개의 中位 (3, 4)와 (3, 5)가 있다. ' $n \times m$  구역'에서  $n$ 과  $m$ 은 각각 列(column)과 行(row)의 수를 의미하며, 위치를 나타내는 좌표 ' $(x, y)$ '에서  $x$ 와  $y$ 는 각각 수평·수직적 위치를 나타낸다.

〈표 1〉 구역의 형태와 운반거리( $d=1$ )

구역의 형태	오염원의 수	총운반거리
1 × 256	256	16,384
2 × 128	256	8,320
4 × 64	256	4,352
8 × 32	256	2,560
16 × 16	256	2,048

이 정리의 증명에 앞서 그 직관적 타당성을 살펴보고 간단한 예를 들기로 하자. 정사각형 모양의 구역과 동일한 규모의 직사각형을 만들려면 윗부분(혹은 아랫부분)의 오염원들을 양쪽으로 옮겨야 하는데, 이때 옮겨진 점들로 인한 수평거리 증가분은 수직거리 감소분을 상회한다. 이는 동일한 면적의 직사각형들 중 정사각형이 가장 작은 둘레를 갖는 것과 비슷한 원리이다. 〈표 1〉은 오염원의 수가 256개인 구역들의 총운반거리를 예시하고 있는데, 총운반거리는 정사각형 모양의 구역(16×16)에서 최소화됨을 알 수 있다.

보조정리 1  $\sum_{i=1}^n |n^* - i| = \begin{cases} \frac{1}{4}(n^2 - 1), & n \text{ 홀수,} \\ \frac{1}{4}n^2, & n \text{ 짝수.} \end{cases}$

증 명  $n$ 이 홀수인 경우  $n^* = (n+1)/2$ 이므로

$$\sum_{i=1}^n |n^* - i| = [(n^* - 1) + (n^* - 2) + \dots + 2 + 1] \times 2 = \frac{1}{4}(n^2 - 1).$$

$n$ 이 짝수인 경우 두 개의 中位數  $n/2$ 과  $n/2 + 1$ 이 존재하나 어느 것을 택하더라도  $\sum |n^* - i|$ 의 값은 동일하다.  $n^* = n/2$ 을 택하면

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n |n^* - i| &= [(n^* - 1) + \dots + 2 + 1] \\ &\quad + [1 + 2 + \dots + (n - n^*)] = \frac{1}{4}n^2. \end{aligned}$$

정리 2의 증명 식 (1)과 보조정리 1에 의하여



$$G(n^*, m^*) = md \sum_{i=1}^n |n^* - i| + nd \sum_{j=1}^m |m^* - j|$$

$$= \begin{cases} md \cdot \frac{1}{4} (n^2 - 1) + nd \cdot \frac{1}{4} (m^2 - 1), & n \text{ 홀수, } m \text{ 홀수,} \\ md \cdot \frac{1}{4} (n^2 - 1) + nd \cdot \frac{1}{4} m^2, & n \text{ 홀수, } m \text{ 짝수,} \\ md \cdot \frac{1}{4} n^2 + nd \cdot \frac{1}{4} (m^2 - 1), & n \text{ 짝수, } m \text{ 홀수,} \\ md \cdot \frac{1}{4} n^2 + nd \cdot \frac{1}{4} m^2, & n \text{ 짝수, } m \text{ 짝수.} \end{cases}$$

정리 2의 가정에 의하여  $n$ 과  $m$ 의 곱이 일정하다고(즉  $nm=k$ ) 하자. 그러면  $m=k/n$ 이 되고, 따라서

$$G(n^*, m^*) = \frac{1}{4} d \cdot \begin{cases} (k-1)n + k(k-1)/n, & n \text{ 홀수, } m \text{ 홀수,} \\ kn + k(k-1)/n, & n \text{ 홀수, } m \text{ 짝수,} \\ (k-1)n + k \cdot k/n, & n \text{ 짝수, } m \text{ 홀수,} \\ kn + k \cdot k/n, & n \text{ 짝수, } m \text{ 짝수} \end{cases}$$

가 된다.  $G(n^*, m^*)$ 를  $n$ 으로 미분할 수 있다는 가정하에서  $G(n^*, m^*)$ 를 극소화시키는  $n$ 의 값은

$$\tilde{n} = \begin{cases} \sqrt{k}, & n \text{ 홀수, } m \text{ 홀수,} \\ \sqrt{k-1}, & n \text{ 홀수, } m \text{ 짝수,} \\ \sqrt{k/(1-1/k)}, & n \text{ 짝수, } m \text{ 홀수,} \\ \sqrt{k}, & n \text{ 짝수, } m \text{ 짝수} \end{cases}$$

이다.  $n$ 과  $m$ 이 동시에 홀수이거나 동시에 짝수인 경우 정사각형이 가능하며, 이때  $\tilde{n} = \tilde{m} = \sqrt{k}$ , 즉 정사각형의 총운반거리가 가장 작다. 그렇지 않은 경우에는 정사각형 모양의 구역이 불가능하나,  $k$ 가 충분히 클 경우  $\sqrt{k-1}$ 과  $\sqrt{k/(1-1/k)}$  모두  $\sqrt{k}$ 에 가까운 값이 되므로  $\tilde{n} \cong \tilde{m} \cong \sqrt{k}$ , 즉 모양이 정사각형에 가장 가까운 구역의 총운반거리가 가장 작다. ■

정리 2에 의해 정책입안자는 정사각형 모양(즉  $n = m$ )의 구역만 고려하면 된다.<sup>5)</sup> 이제, 오염원당 오염물질 발생량을  $w$ 로, 단위 거리 · 무게당 운반비용을  $c$ 로 정의하자.<sup>6)</sup> 그러면 정리 1에 따라  $n \times n$  구역내의 증위에 환경기초시설을 설치할 경우 이 구역내 총운반비용  $G^*(n)$ 은 식 (1)과 보조정리 1에 의하여 다음과 같이 얻어진다.

$$G^*(n) = wc \cdot \begin{cases} nd \cdot \frac{1}{4}(n^2-1) + nd \cdot \frac{1}{4}(n^2-1), & n \text{ 홀수,} \\ nd \cdot \frac{1}{4}n^2 + nd \cdot \frac{1}{4}n^2, & n \text{ 짝수,} \end{cases} \quad (2)$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{2}wdc(n^3-n), & n \text{ 홀수,} \\ \frac{1}{2}wdcn^3, & n \text{ 짝수.} \end{cases}$$

## 2. 설치비

앞에서 언급한 바와 같이 환경기초시설의 설치비는 시설용량의 함수로서, 비용 측면의 규모의 경제가 있는 것이 일반적이다. 그러나 기술적인 제약으로 인하여 일정 규모 이상에서는 규모의 경제가 소진되어 설치비는 시설용량에 비례하게 된다. 규모의 경제가 소진되는 용량의 수준을  $\bar{u}$ 라고 하면, 처리용량이  $u$ 인 시설의 설치비  $F(u)$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다(그림 3 참조).

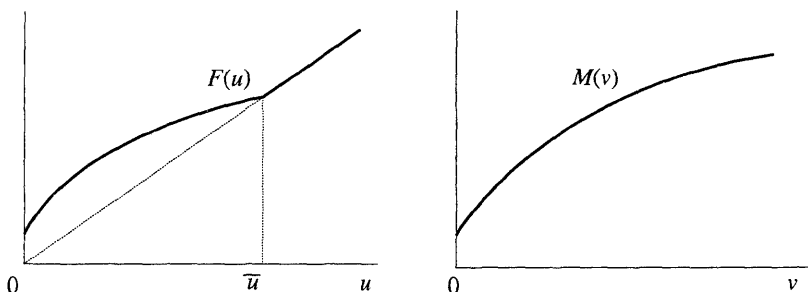
$$F(u) = \begin{cases} \alpha_1 + \beta_1 u^{\gamma_1}, & 0 \leq u \leq \bar{u}, \alpha_1 > 0, \beta_1 > 0, 0 < \gamma_1 < 1, \\ \rho u, & u > \bar{u}, \rho = (\alpha_1 + \beta_1 \bar{u}^{\gamma_1}) / \bar{u} > 0. \end{cases} \quad (3)$$

$(\beta_1, \gamma_1, \rho)$ 가 모두 양의 값을 가지므로  $F(\cdot)$ 는 단조증가함수이

5) 물론 이것이 모든  $N$ 에 대하여 가능한 것은 아니다. 예를 들어  $N=10$ 인 경우  $n=m$ 의 크기가 1, 2, 5, 혹은 10이 아닌 구역들로의 분할은 불가능하다. 이 논문에서는  $N$ 의 값이 충분히 커서 정사각형 모양의 구역들로 분할함으로써 東南쪽 테두리에 생기는 여백의 비중이 무시할 만큼 작다고 가정하기로 한다.

6) 여기에서  $c$ 에는 오염물질의 수거 및 운반에 관련된 모든 비용이 포함된다.

[그림 3] 설치비와 운영비함수



며,  $\gamma_1 < 1$ 이므로  $F(\cdot)$ 는  $[0, \bar{u}]$  구간에서 수평축에 대하여 오목 (concave)한 함수이나, 전체적으로는 오목하지도, 볼록(convex)하지도 않다.

$n \times n$  구역내에는 모두  $n^2$ 개의 오염원이 있고, 오염원당 매기 오염물질 발생량이  $w$ 이므로, 이 구역내의 매기 발생량은  $wn^2$ 이며, 따라서 이 구역에 설치할 처리시설의 용량은 적어도  $wn^2$ 이어야 한다. 그러나 오염물질 발생량에 期別 變動(variation)이 있어서 이에 대비코자 시설용량에 약간의 여유를 두어야 한다고 가정하고 그 계수를  $p(\geq 1)$ 라고 하자.<sup>7)</sup> 그러면 이 구역내에 필요한 처리시설의 용량은  $u = pwn^2$ 이고<sup>8)</sup> 이에 소요되는 설치비는 다음과 같이 얻어진다.

$$F^*(n) \equiv F(u) = F(pwn^2) = \begin{cases} \alpha_1 + \beta_1 (pwn^2)^{\gamma_1}, & 0 \leq n \leq \bar{n} = \sqrt{\bar{u} / pw}, \\ \rho(pwn^2), & n > \bar{n}. \end{cases} \quad (4)$$

7) 엄밀히 말하여  $p$ 는 內生變數(혹은 政策變數(control variable))로 다루어져야 한다. 그러나 이를 위해서는 기별 발생량( $w$ )의 확률적 특성과 발생량이 시설용량을 초과할 때의 손실함수에 대한 가정이 필요하므로 모형이 지나치게 복잡해질 것으로 예상되며, 더욱이 손실함수의 설정에는 주관적 요소(예를 들어, 제때에 처리되지 못하여 길에 쌓인 폐기물로 인한 불쾌감)가 개입되므로, 이 논문에서는  $p$ 를 外生變數의 하나로 간주하기로 한다.

8) 매기당 처리량이  $wn^2$ 이고 시설용량이  $pwn^2$ 이므로 각 시설의 가동률은  $wn^2 / pwn^2 = 1/p$ 이다. 즉  $p$ 는 가동률의 역수이다.

### 3. 운영비

환경기초시설의 운영비에도 규모의 경제가 존재하며, 설치비와는 달리 일정 수준 이상에서도 규모의 경제가 소진된다고 보기 어렵다. 따라서 이 논문에서는 처리량  $v$ 에 필요한 운영관리비  $M(v)$ 를 다음과 같이 가정하기로 하자(그림 3 참조).

$$M(v) = \alpha_2 + \beta_2 v^{\gamma_2}, \quad \alpha_2 > 0, \beta_2 > 0, 0 < \gamma_2 < 1.9^9 \quad (5)$$

$n \times n$  구역내의 매기 평균발생량이  $v = wn^2$ 이므로 이에 소요되는 운영비는 다음과 같다.

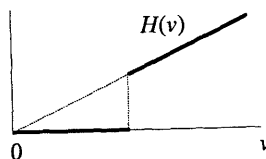
$$M^*(n) \equiv M(v) = M(wn^2) = \alpha_2 + \beta_2 (wn^2)^{\gamma_2}. \quad (6)$$

### 4. 부대수입

특정 환경기초시설의 경우 시설의 운영에 따른 부대수입이 가능하며, 이러한 부대수입은 시설의 적정규모 도출과정에 고려되어야 한다. 예를 들어, 규모가 큰 소각장의 경우 소각과정에서 발생하는 폐열을 이용한 지역난방사업을 생각할 수 있다. 모형의 단순화를 위하여 부대수입  $H(v)$ 가 실제 처리량  $v$ 에 비례한다고 가정하자.<sup>10)</sup> 즉

9) 운영관리비는 매기의 처리량  $v$ 뿐 아니라, 시설용량  $u$ 에도 의존하는 것이 일반적이나, 이 논문에서는 분석의 편의를 위하여  $v$ 에만 의존하는 것으로 가정하고 있다.

10) 이 가정이 소규모 소각장에는 적용되지 않는데, 그 이유는 소규모 소각장의 경우 폐열판매수입에 비하여 폐열공급에 필요한 설비투자가 훨씬 크기 때문이다. 이 경우 부대수입  $H(v)$ 는 다음의 그림에서와 같이 일정 수준 이상에서만 처리량에 비례하는 형태를 취할 것이다.



$$H(v) = \beta_3 v, \quad \beta_3 > 0. \quad (7)$$

앞에서 본 바와 같이  $n \times n$  구역의 매기 발생량이  $v = wn^2$ 이므로 이 구역내의 부대수입은 다음과 같다.

$$H^*(n) \equiv H(v) = H(wn^2) = \beta_3 wn^2. \quad (8)$$

### 5. 외부효과와 님비현상

대부분의 환경기초시설은 혐오시설로 인식되어 님비현상의 대상이 되는데, 이는 시설의 운영에 따른 外部效果(externality)에 기인하며, 그 예로는 소각시설에서 배출되는 다이옥신 등의 유독물질이나 매립시설 주위의 악취, 그리고 수거차량의 운행으로 인한 시설 주위의 교통혼잡 등이 있다. 이러한 외부효과는 오염물질 처리를 위한 사회적 비용의 일부로서, 이것이 처리비용에 반영되지 않을 경우 효율성이 상실됨은 물론이며, 이는 적정수준 이상의 오염물질 발생으로 나타난다. 일반적으로 외부효과는 주변에 있는 경제주체들에 대한 화폐적 보상, 혹은 외부효과를 상쇄할 편익시설의 건설 등에 의하여 보상된다.

직관적으로, 환경기초시설로부터의 외부효과  $E$ 는<sup>11)</sup> 규모  $u$ 의 증가함수이고 거리  $\delta$ 의 감소함수이며, 일정 거리 이상에서는 그 크기가 무시할 만큼 작아진다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$E = \begin{cases} E(u, \delta), & 0 \leq \delta \leq \delta_u, \frac{\partial E}{\partial u} \geq 0, \frac{\partial E}{\partial \delta} \leq 0, \\ 0, & \delta > \delta_u. \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)에서  $\delta_u$ 는 외부효과의 크기가 무시할 만큼 작아지는 거리이며, 규모  $u$ 의 증가함수이다.  $E$ 가  $\delta$ 의 감소함수이므로 외부효과

11) 여기에서  $E$ 는 시설의 수명기간중 느끼는 외부효과로 정의된다.

의 크기는 시설과 동일한 위치에 있는 오염원( $\delta=0$ )에서 가장 크며 시설로부터 멀어짐에 따라 점점 작아져서  $\delta_u$ 에 이르면 0이 된다. 따라서 오염원들의 분포공간내에서  $E(u, \delta)$ 는 원뿔 모양을 가진다.  $E(u, \delta)$ 의 예로는  $\alpha u^\beta / \delta^\gamma$ 나  $\alpha u - \gamma \delta$  등을 생각할 수 있으며, 외부효과에 관련된 모수들의 벡터를  $\beta_4$ 로 표기하기로 하자.  $E(u, \delta)$ 의 정확한 형태는 實證分析의 대상이며, 과거 기초시설의 설치과정에서 이루어진 보상체계나 주변지역의 부동산가격 하락, 혹은 설문조사를 통하여 추정할 수 있다.

앞에서 살펴본 비용들과는 달리 외부효과에는 주관적 요소가 개입되어 모형화하기가 어려울 뿐 아니라, 고려의 대상이 되는 규모가 상당히 커서 전대상지역을 소수의 구역으로 나누어야 할 때에는 시설의 최적 위치의 도출이 복잡하게 된다. 예를 들어 전국을 하나의 구역으로 설정할 경우, 외부효과의 크기가 오염원-시설간 거리의 감소함수이므로, 오염원들의 효용함수가 동일할 경우 구역내 외부효과의 총계는 시설이 구역의 중위에서 멀어질수록 작아지며 구역의 꼭지점에서 최소화된다. 따라서 외부효과의 크기가 운반비를 증가할 경우 구역내의 총비용이 반드시 중위에서 극소화되지 않을 수도 있으며, 전대상지역을 소수의 구역으로 나눌 경우, 정사각형 모양의 구역 설정이 반드시 효율적인 선택이 아닐 수도 있다.

이 논문에서는 분석의 편의를 위하여 고려의 대상이 되는 규모가 전체 규모에 비하여 충분히 작으며, 따라서 주변지역에서 발생할 수 있는 비효율의 크기가 무시할 만큼 작다고 가정하기로 하자. 이때 하나의 시설이 주변의 경제주체들에게 미치는 외부효과의 총계는 시설의 규모에만 의존할 뿐, 구역의 형태나 시설의 위치에는 의존하지 않게 된다.

이제 한 시설로부터 가로, 세로로 각각  $id, jd$ 만큼 떨어져 있는 오염원까지의 거리가  $\delta_{ij} = d\sqrt{i^2 + j^2}$ ,  $i, j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  이므로 규

모가  $u$ 인 시설이 미치는 외부효과의 총계는 위와 같은 가정하에서

$$E(u) = \sum \sum_{(i, j), \delta_{ij} \leq \delta_u} E(u, \delta_{ij})$$

이며,  $n \times n$  구역에 필요한 시설의 규모가  $u = pwn^2$ 이므로 이 구역에 위치한 시설이 미치는 외부효과의 총계는

$$E^*(n) \equiv E(u) = E(pwn^2) = \sum \sum_{(i, j), \delta_{ij} \leq \delta_u} E(pwn^2, \delta_{ij}) \quad (10)$$

가 된다.  $n$ 이 커질 때에 식 (10)의 계산량이  $n^2$ 의 크기로 증가하지만,  $E(u, \delta)$ 의 형태가 회전체라는 점을 이용하면, 계산이 쉽고 오차가 작은 근사식을 얻을 수 있다. 예를 들어  $E(u, \delta) = \alpha u - \gamma \delta$ 일 때에  $E(u, \delta)$ 는 높이가  $h = \alpha u$ 이고 밑면의 반지름이  $\delta_u = \alpha u / \gamma$ 인 직원뿔이므로 그 부피는  $V = \frac{1}{3} \pi \delta_u^2 h$ 이고, 區分求積法에 의하여  $V \cong \sum \sum_{(i, j), \delta_{ij} \leq \delta_u} E(u, \delta_{ij}) d^2 = d^2 \cdot E(u)$ 가 된다. 따라서

$$E(u) \cong \frac{1}{d^2} V = \frac{1}{d^2} \frac{1}{3} \pi \delta_u^2 h = \frac{\pi \alpha^3 u^3}{3 d^2 \gamma^2}$$

가 되며, 식 (10)은

$$E^*(n) \equiv E(u) = E(pwn^2) \cong \frac{\pi (\alpha pw)^3 n^6}{3 (d\gamma)^2}$$

가 된다.

### Ⅲ. 適正規模의 導出

#### 1. 총비용함수

앞장의 결과에 따라, 환경기초시설의 설치 및 운영에 필요한 총

비용을 극소화하기 위해서는 전체 관리구역을 크기가 같은  $n \times n$  구역으로 분할하여야 하며, 시설은 각 구역의 중앙에 위치하여야 한다. 따라서 비용극소화의 문제는 적정규모, 즉 비용을 극소화시키는 규모  $n^*$ 의 선택으로 귀결된다.

적정규모  $n^*$ 를 도출함에 있어 한 가지 문제점은, 모든  $n$ 이 반드시 전체 규모  $N$ 의 約數(factor)가 아니라는 점이다.  $n$ 이  $N$ 의 약수가 아닌 경우 전체 구역 중  $n \times n$  구역으로 분할될 수 없는 부분이 생기게 되고, 이 부분에 대한 분할의 문제가 새로이 발생하여, 총비용을 명시적으로 표현하는 것이 어렵게 된다.

이 문제는 다음의 관찰을 통하여 쉽게 해결된다. 이 모형의 적정규모가  $n^*$ 이며, 우선  $n^*$ 가  $N$ 의 약수라고 하자. 그러면 규모  $n^*$ 에서 총비용이 극소화되므로, 각 오염원당 평균비용 역시  $n^*$ 에서 극소화된다. 따라서  $N$ 이 충분히 크고 고려의 대상이 되는  $n$ 의 값들이 충분히 작아서  $n \times n$  구역으로 분할되지 않는 부분이 무시할 만큼 작은 경우, 각 오염원당 평균비용을 극소화시키는 규모를 찾기만 하면 된다. 전체 규모의 총비용을 명시적으로 표현하는 것은 간단하지 않으나, 각 오염원당 평균비용은 앞장의 결과를 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

$n \times n$  구역내의 각 오염원당 평균 운반비, 설치비, 운영비, 부대수입 및 보상비를 각각  $g^*(n)$ ,  $f^*(n)$ ,  $m^*(n)$ ,  $h^*(n)$ ,  $e^*(n)$ 이라고 하자. 이 구역내에는  $n^2$ 개의 오염원이 있으므로 앞장의 식 (2), (4), (6), (8), (10)에 의하여

$$g^*(n) \equiv \frac{1}{n^2} G^*(n) = \begin{cases} \frac{1}{2} wdc(n-1/n), & n \text{ 홀수,} \\ \frac{1}{2} wdcn, & n \text{ 짝수,} \end{cases} \quad (11)$$

$$f^*(n) \equiv \frac{1}{n^2} F(n) = \begin{cases} \alpha_1 n^{-2} + \beta_1 (pw)^{\gamma_1} n^{2(\gamma_1-1)}, & 0 \leq n \leq \bar{n}, \\ \rho pw, & n > \bar{n}, \end{cases}$$



$$\bar{n} = \sqrt{\bar{u} / p w}, \quad \rho = (\alpha_1 + \beta_1 \bar{u}^{\gamma_1}) / \bar{u},$$

$$m^*(n) \equiv \frac{1}{n^2} M^*(n) = \alpha_2 n^{-2} + \beta_2 w^{\gamma_2} n^{2(\gamma_2-1)},$$

$$h^*(n) \equiv \frac{1}{n^2} H^*(n) = \beta_3 w,$$

$$e^*(n) \equiv \frac{1}{n^2} E^*(n; \beta_4)$$

이다. 이제 조각시설의 수명이  $T$ 期이고, 두 期 사이의 할인율이  $r$ 이라고 하자. 그러면 1期初에 평가된 각 오염원당 총평균비용의 현재가치는

$$\begin{aligned} \phi(n) &\equiv f^*(n) + e^*(n) + \sum_{i=0}^{T-1} \frac{1}{(1+r)^i} [g^*(n) + m^*(n) - h^*(n)] \quad (12) \\ &= f^*(n) + e^*(n) + \frac{1+r}{r} \left[ 1 - \frac{1}{(1+r)^T} \right] [g^*(n) + m^*(n) - h^*(n)] \\ &= f^*(n) + e^*(n) + \psi(r, T) \cdot [g^*(n) + m^*(n) - h^*(n)] \end{aligned}$$

이며, 여기에서  $\psi(r, T) \equiv (1+r) / r \cdot [1 - 1 / (1+r)^T]$ 로 정의된다. 참고로 오염원당 부대수입인  $h^*(n)$ 이  $n$ 에 의존하지 않으므로, 부대수입은 적정규모에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

## 2. 적정규모의 도출과 비용분석

환경기초시설의 적정규모  $n^*$ 는  $\phi(n)$ 을 극소화시키는  $n$ 의 값이며, 모형내에 있는 15개의 母數(model parameters)인  $w, d, c, p, r, T, \bar{u}$  및  $\beta \equiv (\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \gamma_1, \gamma_2)$ 에 의하여 결정된다. 즉

$$n^* \equiv \arg \min_{1 \leq n \leq N} \phi(n) = n^*(w, d, c, p, r, T, \bar{u}, \beta). \quad (13)$$

[그림 4]는 적정규모  $n^*$ 의 결정과정을 그래프로 나타내고 있다. 식 (11)에서 확인할 수 있듯이 평균설치비  $f^*(n)$ 은  $n \leq \bar{n}$ 일 때에는

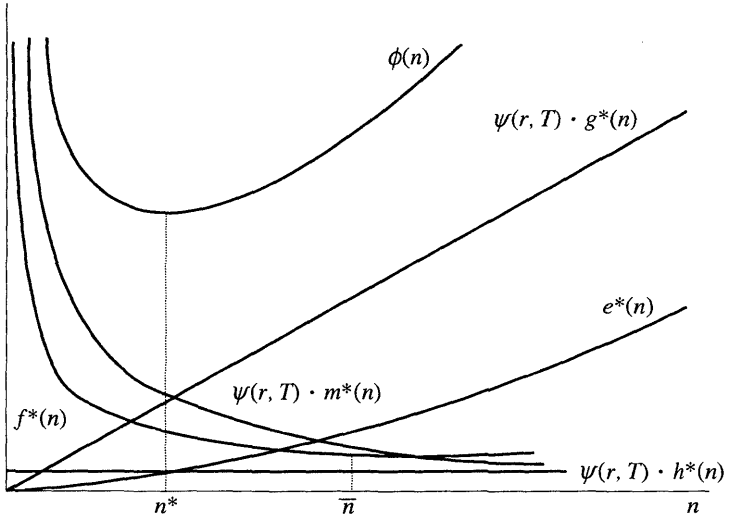
$n$ 에 대하여 단조감소하는 볼록한 함수로서 비용면에서의 규모의 경제를 의미하며,  $n > \bar{n}$ 일 때에는 수평선이 되는데, 이는 이 구간에서 설치비가 규모에 비례하기 때문에 나타나는 현상이다. 평균운영비  $m^*(n)$ 은 모든 구간에서  $n$ 에 대하여 단조감소하는 볼록한 함수로서, 이 역시 비용면에서의 규모의 경제를 의미한다. 평균운반비  $g^*(n)$ 은 규모  $n$ 의 단조증가함수이지만, 오목하지도 볼록하지도 않다. 그러나  $n$ 이 큰 흡수일 경우 함수형태가 짝수에서의 형태에 근접하여, 전체적인 윤곽은 원점을 지나는 직선의 형태를 가진다.  $E(u, \delta)$ 에 대한 기존의 가정만으로는 오염원당 평균보상비  $e^*(n)$ 의 형태에 대한 일반적인 추론이 불가능하다. 그러나 [그림 4]에 나타나 있는 바와 같이,  $e^*(n)$ 은  $n$ 에 대하여 단조증가하는 볼록한 함수일 것으로 예상되는데, 그 이유는  $u$ 가 증가할 때에  $\delta_u$ 가 극히 낮은 속도로 증가하지 않는 한 限界非效用 遞增의 法則에 따라  $E(u, \delta)$ 는 빠른 속도로 증가할 것이며,  $E(u)$ 가  $u^{1.5}$ 보다 빠른 속도로 증가하는 한  $e^*(n)$ 은  $n$ 에 대하여 볼록한 함수가 된다. 마지막으로 평균부대수입  $h^*(n)$ 은  $n$ 에 의존하지 않으며, 따라서 적정규모에 영향을 미치지 않는다. 총평균비용  $\phi(n)$ 은 이들 비용들의 현재가치의 합으로서, [그림 4]에서와 같이 수평축에 대하여 볼록한 형태를 지닌다.

적정규모  $n^*$ 는 규모의 경제가 사라지는 수준인  $\bar{n}$ 보다 작을 수도, 클 수도 있으며, [그림 4-a]는 전자의 경우를, [그림 4-b]는 후자의 경우를 나타내고 있다. 두 그림에서 알 수 있듯이  $n^* < \bar{n}$ 일 때에는 규모의 경제가 사라지지 않을 때와 동일한 결과가 얻어지며, 반대로  $\bar{n}$ 가 매우 작을 때에는 적정규모가 설치비의 영향을 받지 않는다.

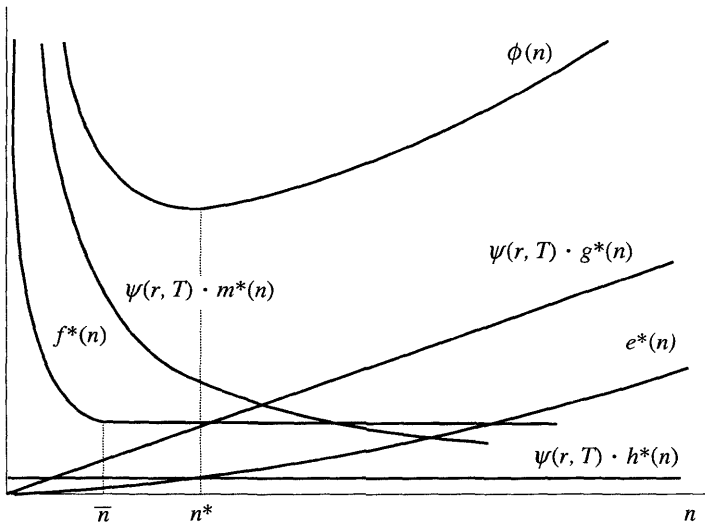
적정규모  $n^*$ 가 가지는 중요한 특징의 하나는 경제 전체의 규모, 즉 총오염원의 수  $N^2$ 에 의존하지 않는다는 것이며 이는 식 (11), (12)를 통하여 쉽게 확인된다. 예를 들어 두 나라(혹은 두 지역)의

[그림 4] 적정규모의 도출

(a)  $n^* < \bar{n}$ 인 경우



(b)  $n^* > \bar{n}$ 인 경우



모수값이 동일한 경우 두 나라에서의 적정규모는 각국의 오염원의 수에 관계없이 동일하다. 이를 다음의 정리로 요약하자.

**정리 3 (규모로부터의 독립성)** 적정규모  $n^*$ 는  $N$ 에 의존하지 않는다.

이 논문에서 전개한 모형의 약점은 각 오염원의 공간적 분포에 대한 비현실적인 가정으로서, 만일 적정규모  $n^*$ 가  $N$ 에 의존할 경우 모형의 결과는 이 가정의 제약을 벗어나지 못하여 그 유용성이 크게 제한적일 수밖에 없는데, 이는 오염원들이 [그림 1]과 같이 분포된 나라는 없기 때문이다.

이제 한 나라가 상이한 모수값을 가지는 두 지역으로 분리되어 있다고 하자.<sup>12)</sup> 앞의 결과에 의하여 비용극소화를 위해서는 각 지역에서의 적정규모를 구하는 것으로 충분하며, 경제 전체의 규모, 즉 두 지역 전체의 오염원의 수를 고려할 필요가 없다. 결국 정리 3에 의하여 지역별 적정규모의 도출이 가능해지며, 이때에 [그림 1]의 가정은 운반비의 계산을 위한 것일 뿐, 모든 오염원이 균등하게 분포되어야 한다는 제약을 가하지는 않는다.

모수들의 값이 주어지면 식 (12)의  $\phi(n)$ 을 직접 계산하여 적정규모  $n^*$ 의 값을 쉽게 찾을 수 있다.<sup>13)</sup> 목적함수  $\phi(n)$ 이 2개 이상의 局部的 極小值(local minima)를 가질 수 있으나 이는  $g^*(n)$ 이  $n$ 의 홀수·짝수 여부에 따라 상이한 함수형태를 가지기 때문에 일어나는 현상일 뿐, 멀리 떨어진 두 개의  $n$ 값이 문제의 解일 수는 없다.

적정규모  $n^*$ 가 계산되면 이를 이용하여 필요한 소각시설의 갯수,

12) 예를 들어, 도시지역의 인구밀도가 농촌지역보다 높으므로, 두 지역의 오염원 간 거리를 각각  $d_1$ ,  $d_2$ 라고 하면,  $d_1 < d_2$ 이다.

13)  $\phi(n)$ 이  $n$ 에 대하여 미분가능하다고 가정하고  $n$ 이 짝수인 경우만을 고려하면 (즉  $g^*(n) = \frac{1}{2}wdcn$ ),  $\phi(n)$ 을  $n$ 으로 미분하여  $n^*$ 를 도출하는 방법을 생각할 수 있으나, 이때의 1차조건(first-order condition)을  $n$ 에 대하여 풀기는 쉽지 않다.

〈표 2〉 적정규모에서의 비용분석

항 목	설 명
$u^* = pwn^{*2}$	각 소각장의 시설용량
$v^* = wn^{*2}$	각 소각장의 매기당 처리량
$k^* = N^2 / n^{*2}$	필요한 소각장의 갯수
$F(u^*)$	각 소각장의 설치비
$M(v^*)$	각 소각장의 운영관리비-매기당
$G^*(n^*)$	각 소각장의 수거운반비-매기당
$H(v^*)$	각 소각장의 부대수입-매기당
$E(u^*)$	각 소각장 설치시 보상비
$n^{*2} \cdot \phi(n^*)$	각 소각장의 수명기간중 총비용(현재가치)
$a^* = \phi(n^*) / [\psi(r, T) \cdot w]$	폐기물 단위당 부과비용
$a^* \cdot w = \phi(n^*) / \psi(r, T)$	오염원당 부담액-매기당

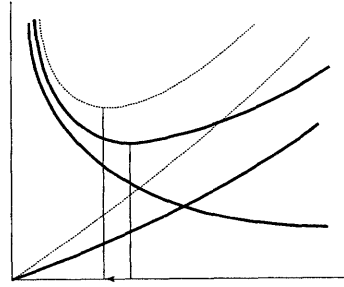
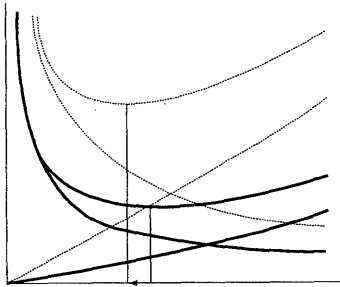
각 시설의 시설용량 및 매기당 평균처리량을 구하고, 다시 이를 이용하여 설치비와 매기당 경상비용을 계산할 수 있다. 이에 대한 설명이 〈표 2〉에 요약되어 있으며, 환경기초시설의 건설 및 예산계획 담당자에 의하여 활용될 수 있다.

오염자부담원칙에 따라 폐기물의 처리에 소요되는 모든 비용을 발생주체가 부담하는 경우, 폐기물 한 단위당 부과해야 하는 비용은 다음과 같이 결정된다. 우선 각 오염원당 매기  $w$ 만큼의 폐기물이 발생되므로, 폐기물 단위당 비용을  $a$ 라고 하면 매기 지출액은  $aw$ 가 되며, 따라서 소각장의 수명기간중 총지출액의 현재가치는  $\psi(r, T)aw$ 원이다. 이 액수가  $\phi(n^*)$ 와 동일해야 하므로 폐기물 단위당 부과해야 하는 비용은  $a^* = \phi(n^*) / [\psi(r, T)w]$ 이며, 오염원당 매기 부담액은  $a^* \cdot w = \phi(n^*) / \psi(r, T)$ 이다.

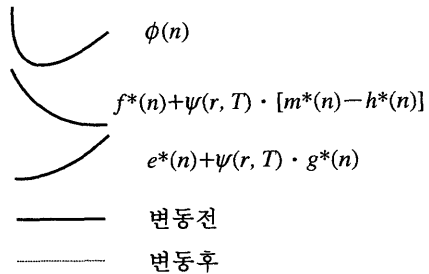
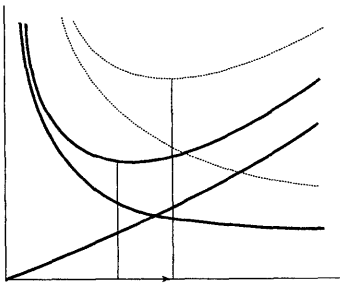
[그림 5] 비교정태분석( $n^* < \bar{n}$ 인 경우)

(a)  $w$  증가,  $T$  증가,  $r$  감소

(b)  $c$  증가,  $d$  증가, 보상비 증가



(c) 설치비와 운영비의 증가



### 3. 비교정태분석

이 절에서는 모수값의 변동이 적정규모  $n^*$ 에 미치는 영향을 그래프를 이용하여 알아보기로 한다.<sup>14)</sup> 이 절의 결과는 [그림 5]와 [그림 6]에 요약되어 있다.

(1) 오염원당 배출량( $w$ )의 증가 :  $n^* < \bar{n}$ 인 경우  $w$ 가 커지면 설치비와 운영비, 운반비와 보상비가 모두 상승하므로 총평균비용곡

14) 이 모형에서는 적정규모  $n^*$ 를 모수들의 陽函數(explicit function)로 표현할 수 없으므로, 偏導函數(partial derivatives)를 이용한 일반적인 비교정태분석이 불가능하다.

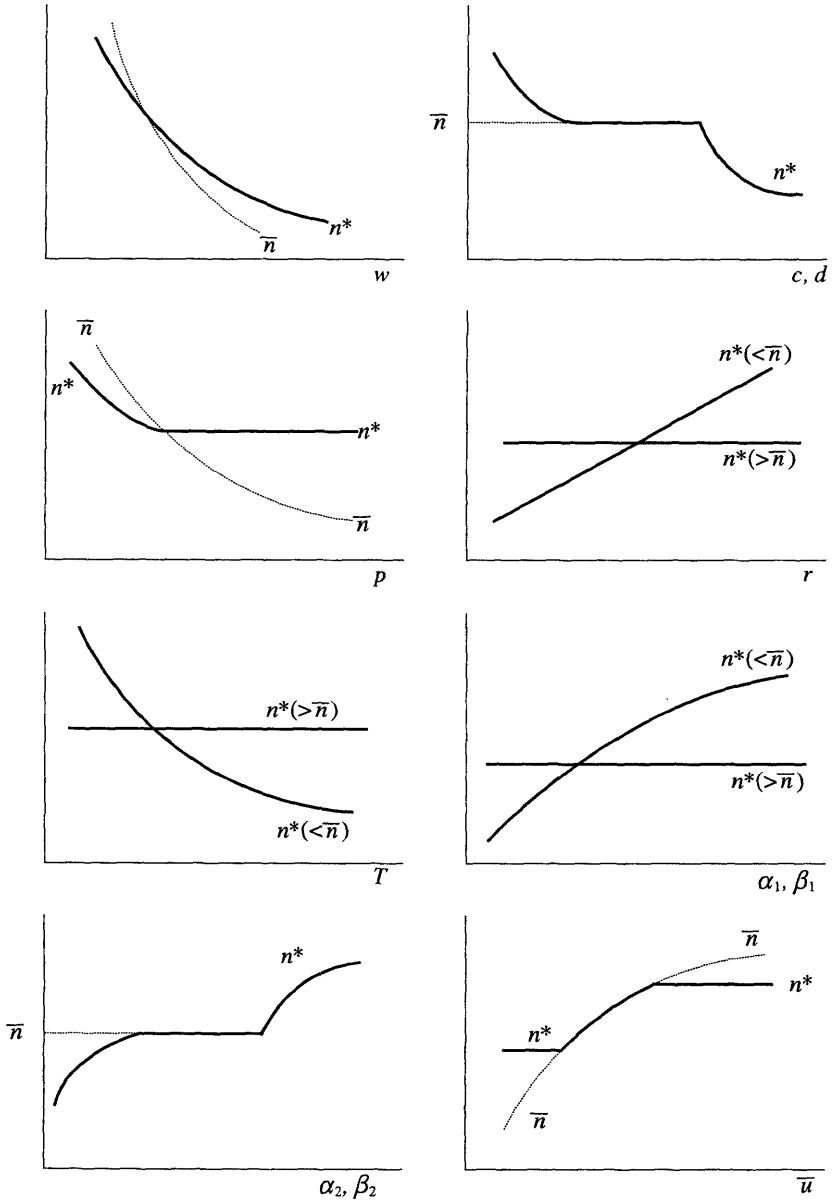
선  $\phi(n)$ 은 상향 이동한다. 그러나 설치비와 운영비에는 규모의 경제가 존재하는 반면, 식 (11)에서 알 수 있듯이 운반비와 보상비의 합이 증가율은  $w$ 의 증가율보다 크다. 따라서 [그림 5-a]에서와 같이  $\phi(n)$ 은 좌상향으로 이동하며 적정규모  $n^*$ 는 작아진다.  $n^* > \bar{n}$ 인 경우 설치비의 증가율이  $w$ 의 증가율과 같으나 운영비의 증가율은 여전히 운반비나 보상비의 증가율보다 작고, 따라서 이 경우에도 적정규모  $n^*$ 는 작아진다.

(2) 단위 운반비( $c$ )와 오염원간의 거리( $d$ )의 증가:  $c$ 가 매우 작을 때에는 운반비가 중요한 요소로 작용하지 않으므로 적정규모의 값은 크게 되며 따라서  $n^* > \bar{n}$ 이다. 이러한 상황에서  $c$ 의 증가는 운반비만을 상승시키므로  $\phi(n)$ 은 좌상향으로 이동하게 되고 적정규모  $n^*$ 는 감소한다.  $c$ 가 계속 증가하여  $n^*$ 가  $\bar{n}$ 에 이르게 되면  $c$ 의 증가분이 충분히 크지 않은 한  $n^*$ 가 작아지지 않는데, 이는  $\bar{n}$  근처에서 설치비의 기울기가 커서  $n$ 이 작아질 때에 오히려 평균비용이 증가하기 때문이다.  $c$ 의 증가분이 충분히 큰 경우 이러한 효과가 사라지게 되고 [그림 5-b]에서와 같이 적정규모는 다시 작아진다. 식 (11)에서 알 수 있듯이, 오염원간 거리( $d$ )의 변동이  $n^*$ 에 미치는 영향은  $c$ 의 변동에서와 동일하다.

(3) 시설용량 여유계수( $p$ )의 증가:  $n^* < \bar{n}$ 인 경우 시설용량 여유계수( $p$ )의 증가는 설치비만을 상승시키며, 따라서  $\phi(n)$ 은 우상향으로 이동하게 되고 [그림 5-c]에서와 같이 적정규모는 증가한다.  $n^* > \bar{n}$ 인 경우 설치비가 증가하지만 설치비 곡선이 수평이므로 적정규모에는 영향을 미치지 않는다.

(4) 할인율( $r$ )의 감소와 수명( $T$ )의 연장:  $n^* < \bar{n}$ 인 경우 할인율이 낮아지면  $\psi(r, T)$ 의 값이 커지므로 수명기간중의 운반비와 운영비의 현재가치가 동일한 비율로 증가한다. 그러나 설치비와 보상비는 이의 영향을 받지 않으므로, 변동 전의 설치비가 보상비보다 크

[그림 6] 비교정태분석





다면  $f^*(n) + \psi(r, T)m^*(n)$ 의 증가율은  $e^*(n) + \psi(r, T)g^*(n)$ 의 증가율보다 작게 되고, 따라서  $\phi(n)$ 은 좌상향으로 이동하며, [그림 5-a]에서와 같이  $n^*$ 는 작아지게 된다. 마찬가지로, 변동 전의 설치비가 보상비보다 크다면  $n^*$ 는 증가하게 되며, 따라서 할인율의 하락이 적정규모에 미치는 영향은 변동 전 설치비와 보상비의 상대적인 크기에 의존한다.  $n^* > \bar{n}$ 인 경우  $f^*(n)$ 이 수평이므로 설치비는 적정규모에 영향을 미치지 않는다. 이때에 할인율이 낮아지면, 운반비와 운영비의 현재가치가 동일한 비율로 증가하는 반면 보상비는 불변이므로  $\psi(r, T)m^*(n)$ 의 증가율은  $e^*(n) + \psi(r, T)g^*(n)$ 의 증가율보다 크게 되고, 따라서  $\phi(n)$ 이 우상향으로 이동하며 결국 적정규모는 커진다. 이때에 보상비의 비중이 작을수록 적정규모의 증가분이 작으며, 보상비가 0일 경우 적정규모는 변하지 않는다. 수명이 연장될 경우  $\psi(r, T)$ 의 값이 커지므로  $T$ 의 증가는  $r$ 의 감소와 동일한 효과를 갖는다. [그림 6]은 보상비가 설치비보다 작거나 없는 경우를 상정하고 있다.

(5) 설치비의 증가: 분석의 편의를 위하여  $\gamma_1$ 이 불변이고  $\alpha_1$ 과  $\beta_1$ 이 동일한 비율로 증가한다고 가정하자(즉 설치비가 모든  $n$ 에 대하여 동일한 비율로 증가한다고 가정하자). 변동 전에  $n^* < \bar{n}$ 였다면 설치비가 증가함에 따라 [그림 5-c]에서와 같이  $\phi(n)$ 이 우상향으로 이동하게 되고 적정규모는 커진다. 변동 전에  $n^* > \bar{n}$ 였다면 적정규모는 변하지 않는다.

(6) 운영비의 증가: 설치비의 증가를 고려할 때와 마찬가지로,  $\gamma_2$ 가 불변이고  $\alpha_2$ 와  $\beta_2$ 가 동일한 비율로 증가한다고 가정하자. 이때에 운영비의 변동이 적정규모에 미치는 영향은 운반비의 변동이 미치는 영향과 비교할 때에 그 방향은 정반대이나 형태는 동일하다. 즉 운영비가 매우 작을 때에는 운영비가 증가함에 따라 적정규모가 증가하며 일정한 수준에 도달하면 적정규모에 영향을 미치지 못하

나, 이 구간을 넘어서 충분히 커지면 [그림 5-c]에서와 같이 적정 규모는 다시 증가한다.

(7) 규모의 경제가 소진되는 시설규모( $\bar{u}$ )의 증가:  $\bar{u}$ 가 충분히 작을 때에는 설치비곡선이 수평인 구간에서 비용극소화가 이루어지므로  $\bar{u}$ 의 변동은 적정규모에 영향을 미치지 않는다(그림 4-b 참조).  $\bar{u}$ 가 계속 증가하여  $\bar{n} = \sqrt{\bar{u}/pw}$ 가  $n^*$ 에 도달하면  $n^*$  역시  $\bar{n}$ 와 함께 증가하게 되는데, 그 이유는  $\bar{u}$ 의 증가에 따른 설치비의 감소 효과가 있기 때문이며, 이 구간에서 적정규모  $n^*$ 는  $\bar{n}$ 와 동일하다.  $\bar{u}$ 가 이 구간을 지나 더욱 커지게 되면 운영비와 운반비의 상승분이 설치비의 감소분을 상회하게 되고 따라서  $\bar{u}$ 는 더 이상 적정규모에 영향을 미치지 못하게 된다.

#### IV. 우리나라 燒却施設의 適正規模 및 政策的 示唆點<sup>15)</sup>

이 章에서는 앞에서 소개한 모형에 따라 우리나라 소각시설의 적정규모를 산출하기로 한다. 이를 위하여 우선 1995년 자료를 이용하여 모형의 모수들을 추정한 후 식 (12)에 의하여 적정규모를 계산하고, 마지막으로 비교정태분석을 통하여 이 모형이 갖는 정책적 시사점을 살펴보기로 한다.

15) 이 章에서 인용된 자료는 출처가 달리 명시되어 있는 자료를 제외하고는 모두 환경부(1996)에서 찾아볼 수 있다.

## 1. 모수의 추정

가. 설치비( $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \bar{u}$ ), 운영관리비( $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ ), 폐열판매수입( $\beta_3$ )

1995년말 현재 우리나라에는 지방자치단체가 보유하고 있는 소각시설이 모두 514개소가 있고, 이들의 총소각용량은 4,272.6톤/일이며 1995년중 총소각량은 33만8,772톤이다. 그러나 이들 대부분이洞·里 단위의 행정구역내에서 사용되는 초소형 소각시설들이고, 또한 많은 시설들이 1995년중에 설치되어, 설치비 및 운영관리비에 관련된 모수들을 추정하는 데 적당하지 않다. <표 3>은 이들 모수의 추정에 사용된, 처리용량 10톤/일 이상 대형 소각시설들의 비용관련 자료이다. 이들 14개 소각시설의 총처리용량은 2,155톤/일로서 전체 소각용량의 약 50%를 차지하며, 1995년 전체 소각량의 약 83%인 28만321톤을 처리하였다.

엄밀히 말하여 설치비를 결정하는 네 개의 모수  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \bar{u}$  는 동시에 추정되어야 한다. 그러나 현재의 기술수준으로 400톤/일 이상의 시설에서는 규모의 경제가 소진되어 설치비가 규모에 비례하므로, 여기에서는 400톤/일을  $\bar{u}$  의 추정치로 사용하기로 하고, 나머지 모수들은 규모의 경제가 작용하는 구간에 대해서만 추정하기로 한다.

설치비와 관련된 나머지 모수들( $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ )은 最尤推定法(maximum likelihood estimation method : MLE)이나 非線型最小自乘法(nonlinear least-square method : NLLS)에 의하여 쉽게 추정될 수 있다.  $i$ 번째 소각시설의 설치비와 시설용량, 그리고 오차항을 각각  $F_i, u_i, \varepsilon_i$ 라고 하면 ( $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ )을 추정하기 위한 추정방정식은

〈표 3〉 대형소각시설의 설치 및 운영현황(1995)

소재지	시설용량	설치비	1995년중		1995년중		1995년중		1995년중
			가동일수	처리량	운영관리비	폐열판매비			
			연간	연간	가동일당	연간	가동일당	연간	
톤/일	백만원	일	톤	톤/일	백만원	백만원/일	백만원		
서울 목동 1	150	25,000	365	26,306	72.071	1,848	5.063	199	
경기 고양시	300	23,600	31	7,500	241.935	670	21.613	37	
경기 부천시	200	28,872	201	31,970	159.055	2,400	11.940	90	
경기 안양시	200	15,444	365	53,285	145.986	2,263	6.200	414	
부산 사하구	200	16,100	184	12,564	68.283	1,800	9.783		
대구 달서구	200	20,213	365	63,391	173.674	2,133	5.844		
경기 성남시	100	17,778	365	16,397	44.923	2,500	6.849		
경기 의정부	50	3,380	365	6,410	17.562	305	0.836		
충북 보은군	12	462	365	1,550	4.247	14	0.038		
경남 창원시	200	10,081	265	59,848	225.842	2,000	7.547		
대전 대덕구	98	3,161		1,100					
서울 목동 2	400	27,950							
강원 홍천군	14	650							
충북 음성군	30	1,112							
합 계	2,155			280,321				740	

- 주 : 1) 설치비는 GNP디플레이터를 이용하여 계산한 1995년 불변가격임.
- 2) 1995년 이전에 완공된 소각장의 1995년중 가동일수는 365일로 하였음.
- 3) 가동일당 처리량 및 운영관리비는 각각 연간처리량 및 운영관리비를 가동일수로 나누어 계산하였음.

자료 : 환경부, 『전국 폐기물 발생 및 처리현황('95)』, 1996.

$$F_i = \alpha_1 + \beta_1 u_i^{\gamma_1} + \epsilon_i$$

가 된다. 오차항들이 서로 독립이며 평균이 0이고 분산이  $\sigma_1^2$ 인 정규 분포를 따른다는 가정하에서  $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ 의 最尤推定値는 尤度函數를 극대화시키는 모수들의 값이며, 誤差의 自乘合(sum of squared residuals)인  $\sum(F_i - \alpha_1 - \beta_1 u_i^{\gamma_1})^2$ 을 극소화시키는 모수값인 非線型

最小自乘推定値와 일치한다. 운영비와 관련된 모수 ( $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ ) 역시 동일한 방법으로 추정될 수 있으며, 이때에는 가동일당 운영비와 처리량을 사용하여야 한다. 운영비함수의 오차항의 분산을  $\sigma_2^2$ 이라고 하자.

설치비함수의 추정을 위한 목적함수는  $\alpha_1=0$  주위에 여러 개의 국부적 극대값(local maxima)을 가지는데,  $\beta_1$ 과  $\gamma_1$ 의 추정치가 거의 일정한 반면  $\alpha_1$ 의 추정치는 출발값(starting value)에 크게 의존하였다. 이러한 이유로 이 논문에서는  $\alpha_1=0$ 이라는 가정하에  $\beta_1$ 과  $\gamma_1$ 의 추정치만을 구하였으며, 운영비함수의 추정도 비슷한 상황에 있어서  $\alpha_2=0$ 이라는 가정하에  $\beta_2$ 와  $\gamma_2$ 만을 추정하였다. <표 3>의 자료를 이용한 이들 모수의 최우추정치는<sup>16)</sup>

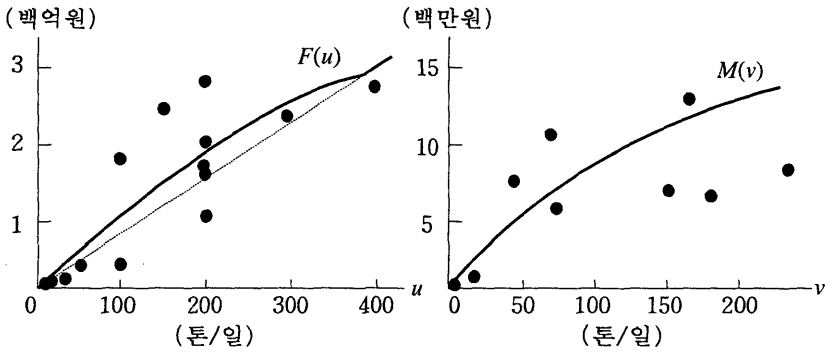
$$\begin{aligned} \hat{\beta}_1 &= 393.105 (370.037), \quad \hat{\gamma}_1 = 0.724 (0.172), \quad \hat{\sigma}_1 = 5,617, \\ \hat{\beta}_2 &= 0.319 (0.550), \quad \hat{\gamma}_2 = 0.682 (0.334), \quad \hat{\sigma}_2 = 4 \end{aligned}$$

이며, 각각의 부호와 크기가 식 (3)과 (5)에 주어진 조건들을 만족시키고 있다. [그림 7]은 설치비 및 운영비의 관찰치와 추정된 함수를 보여주고 있다.

<표 3>의 소각장 중 첫 4개의 시설에서는 폐열판매를 통한 수입을 얻고 있으며, 1995년중에 11만9,061톤을 처리하여 7억4천만원의 폐열판매수입을 얻었다. 따라서 처리톤당 평균폐열판매비는 6,215원이며, 이를  $\beta_3$ 의 추정치로 사용하기로 하자.  $\beta_3$ 의 추정치는 가동일당 폐열판매비를 처리량에 回歸하여 구할 수도 있으며 이때의 추정치는 5,119원/톤이었다. 앞에서 언급한 바와 같이  $\beta_3$ 의 값은 적정규모  $n^*$ 에 영향을 미치지 않는다.

16) ( $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ )의 추정에는 14개의 관찰치가 모두 사용되었으나 ( $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ )의 추정에는 1995년중 전혀 가동되지 않은 세 개의 소각장(목동2기, 흥천, 음성)과 거의 가동되지 않은 대전의 소각장을 제외한 10개의 관찰치가 사용되었다. 괄호 안의 숫자는 추정치들의 표준편차이다.

[그림 7] 설치비와 운영비함수의 추정



### 나. 외부효과와 보상비

과거의 보상비 자료나 주변지역 주택가격의 변동, 혹은 설문조사를 통하여 소각시설의 설치 및 운영에 따른 외부효과의 크기를 측정할 수 있으나 이러한 자료를 구하는 것이 용이하지 않아 이 논문에서는 외부효과를 고려하지 않았다. 앞에서 언급한 바와 같이 시설의 규모가 커질수록 평균 외부효과 역시 커지는 것이 일반적이므로 외부효과가 고려되지 않을 경우 적정규모는 過大推定된다. 거래비용과 2차 오염의 감소라는 측면에서 볼 때, 환경기초시설로 인한 외부효과의 문제는 인근 주민에 대한 보상보다는 청정기술의 개발을 통한 근본적인 해결이 바람직하며, 이때에 외부효과를 정확히 계산하지 못하여 발생하는 적정규모 과대추정의 문제 역시 해소된다.

### 다. 가구당 폐기물 발생량( $w$ )과 가구간 거리( $d$ )

폐기물은 발생주체에 따라 생활폐기물과 사업장폐기물로 구분되며, 사업장폐기물은 성질에 따라 다시 사업장일반폐기물과 지정폐기물(유해하거나 특수처리가 필요한 폐기물)로 구분된다. 생활폐기

〈표 4〉 일반폐기물의 발생 및 처리현황

(단위: 톤/일)

	매 립	소 각	재활용	계
생활 폐 기 물	34,546	1,922	11,306	47,774
사업장일반폐기물	31,203	5,691	58,929	95,823
계	65,749	7,613	70,235	143,597

자료 : 환경부, 『전국폐기물 발생 및 처리현황 '95』, 1996.

물과 사업장일반폐기물을 합하여 일반폐기물이라고 하며, 매립, 소각 및 재활용의 세 가지 방법에 의하여 처리된다. 1995년도 일반폐기물의 발생 및 처리현황은 〈표 4〉와 같다. 소각에 의한 처리비율은 생활폐기물과 사업장일반폐기물에 있어 각각 약 4%와 6%이며 일반폐기물 전체의 소각률은 약 5.3%이다. 재활용되는 부분을 제외한 폐기물의 소각률은 생활폐기물과 사업장폐기물에 있어 각각 약 5.3%와 15.4%이고 전체적으로는 10.4%여서, 우리나라는 대부분 매립에 의존하고 있음을 알 수 있다. 현행 「폐기물 관리법」에 따르면 사업장폐기물의 처리책임이 원칙적으로 배출자에게 있어서, 앞에서 전개한 모형을 적용하기가 적당하지 않다. 이런 이유로 이 논문에서는 생활폐기물만을 분석의 대상으로 삼기로 한다.

우리나라의 전국토는 생활폐기물 관리구역과 관리제외지역으로 구분되는데, 1995년말 현재 관리구역의 면적은 6만9,542km<sup>2</sup>로서 전국토면적 9만9,395km<sup>2</sup>의 약 70%이고, 관리구역내 인구는 4,459만600명으로 총인구 4,597만9,231명의 약 97%이다. 〈표 4〉의 생활폐기물 발생량(4만7,774톤/일)은 관리구역내의 발생량이다. 한편 1995년말 우리나라의 총가구수는 1,296만1,138가구로서,<sup>17)</sup> 가구당 평균 가구원수는 3.55명이며 관리구역과 관리제외구역의 가구당 평

17) 통계청(1997).

균 가구원수가 동일하다고 가정하면, 관리구역내의 가구수는 총가구수의 97%인 1,256만9,695이다. 따라서 관리구역내 한 가구당 면적은 평균  $5,533\text{m}^2$ 이며, 가구들이 [그림 1]과 같이 분포되어 있다고 가정할 때 인접한 두 가구간 거리는  $d = \sqrt{5,533} \cong 74\text{m}$ 이다.<sup>18)</sup>

관리구역내에서 발생한 생활폐기물 중 소각된 양이 1,922톤/일이므로 1995년 가구당 평균소각량은 0.153kg/일이다. 그러나 소각의 비중을 가능한 한 크게 늘리는 것이 환경부의 정책목표임을 감안할 때, 매립되는 생활폐기물 중 가연성 물질과 소각된 부분의 합계인 ‘총소각가능량’을 사용하는 것이 이 논문의 목적에 적합하다.<sup>19)</sup> 韓國環境技術開發院(1996)은 2005년의 1인당 폐기물 발생량을 1.4kg으로, 그리고 50%의 소각률을 예상하고 있다. 가구당 가구원의 수가 현재와 동일하다고 가정하면, 이때의 가구당 소각량은  $w = 2.483\text{kg}/\text{일}$ 이며,<sup>20)</sup> 다음 절의 걱정규모 도출 및 비교정태분석에서는 이 값을 사용하기로 한다.

#### 라. 기타 모수( $c, p, r, T$ )

폐기물 단위 거리·무게당 수거운반비  $c$ 를 추정하기 위해서는 인건비, 연료비, 차량의 감가상각비 등 수거·운반에 소요된 총비용과, 총운송량 및 운행거리에 대한 자료가 필요하나 이는 현실적으로 거의 불가능하다. 더욱이 이 논문의 모형에서는 한 대의 운송차량이 한 가구에서 배출되는 폐기물만을 소각장으로 운반한다고 가정하고 있으므로, 이 모형의  $c$ 는 실제의 단위 거리·무게당 수거운반비와 큰 차이를 가진다. 따라서 이 논문에서는 비공식적인 자료

18) 쉽게 예상할 수 있듯이  $d$ 값의 지역간 편차는 매우 크며 인구밀도가 가장 높은 서울특별시의 경우  $d \cong 14\text{m}$ 이며, 가장 낮은 강원도에서는  $d \cong 165\text{m}$ 이다.

19) 1995년 매립된 생활폐기물 중 가연성 물질은 2만5,967톤/일이며 소각량이 1,922톤/일이므로 총소각가능량은 2만7,889톤/일이고 가구당 소각가능량은 2.219kg/일이다.

20)  $1.4\text{kg}/\text{일} \times \text{평균가구원수} \times 50\%$ .



를 통하여 추산한 값인  $\hat{c}=1,500$ 원 /톤 /km를 포함하는 다양한  $c$ 값에 대하여 적정규모  $n^*$ 를 도출하기로 한다.

<표 3>에 열거한 소각시설 중 1995년에 가동되지 않은 세 개의 시설과 가동률이 극히 낮은 대전의 시설을 제외한 10개 시설의 연간 총처리가능량이 39만9,180톤인 반면 1995년중 처리량은 27만9,221톤으로서 약 70%의 가동률을 보이고 있다. 이 논문에서는 가동률의 역수를  $p$ 의 추정치로 사용하기로 하며, 그 값은  $\hat{p}=1.43$ 이다. 가동률을 계산함에 있어, 1995년 이전에 설치된 소각시설의 1995년중 가동일수를 365일로 하였으나, 유지·보수의 목적으로 가동되지 않은 기간이 있을 수 있으므로 실제 가동된 기간만을 고려한다면 가동률은 훨씬 높아질 것이며, 따라서  $\hat{p}$ 은 1.43보다 훨씬 낮아질 것이다. 그러나 유지·보수를 위하여 가동이 중지된 기간 역시 소각시설의 정상적인 운영의 일부로 보아야 하므로, 평균적인 가동률을 계산함에 있어 이 기간이 포함되어야 마땅하다.

마지막으로, 다음 절에서는 연간 할인율이 10%이고 소각장의 수명이 15년(즉  $T=365 \times 15=5,475$ 일)인 것으로 가정하였다.

## 2. 적정규모의 도출과 비용분석

모수들의 값이 주어지면, 식 (12)의 가구당 평균비용  $\phi(n)$ 을 계산하여 적정규모  $n^*$ 를 쉽게 찾을 수 있으며,<sup>21)</sup> 이렇게 구해진  $n^*$ 를

21) 이 논문에서는 다양한 모수값에 대하여 적정규모를 도출하였는데, 모든 경우에서 적정규모는 홀수였다. 이는 식 (11)에 주어진  $g^*(n)$ 의 형태로부터 짐작할 수 있으며, 적정규모  $n^*$ 를 찾기 위한 컴퓨터 코드를 만들 때에 이 성질을 이용하면 대단히 편리하다. C언어를 이용하여 가구당 총비용함수  $\phi(n)$ 을  $\phi$ 라는 함수로 만들었을 경우  $n^*$ 를 찾기 위한 모듈은 다음과 같다.

```

j = 3;
min = phi(j) * 2;
while min >= phi(j)
{
    min = phi(j);
    j = j + 2;
}
nstar = j - 2;
    
```

〈표 5〉 적정규모의 도출과 비용분석

단위운반비(톤·km당)	원	1,000	1,500	2,000	
적정규모(한 번의 크기)		619	483	405	
적정규모(구역당 가구수)	가 구	383,161	233,289	164,025	
필요한 소각장의 수	개 소	33	54	77	
각 소각장의 시설용량	톤/일	1,360	828	582	
각 소각장의 매기 처리량	톤/일	951	579	407	
폐기물단위당 부과비용	원/kg	90	100	108	
가구당 매기 부담액	원/일	223	248	268	
소각장당 비용분석					
수명기간중	총 비 용	백만원	248,549	168,319	128,038
	설 치 비	"	102,357	62,321	43,817
	운 반 비	"	63,478	45,236	35,558
	운 영 비	"	99,940	71,251	56,036
	폐열대금	"	17,226	10,488	7,374
매 기 당	운 반 비	"	22	16	12
	운 영 비	"	34	24	19
	폐열대금	"	6	4	3
경제전체 비용분석					
수명기간중	총 비 용	백만원	8,153,699	9,069,098	9,811,889
	설 치 비	"	3,357,857	3,357,857	3,357,857
	운 반 비	"	2,082,398	2,437,310	2,724,938
	운 영 비	"	3,278,556	3,839,043	4,294,206
	폐열대금	"	565,112	565,112	565,112
매 기 당	운 반 비	"	715	837	935
	운 영 비	"	1,125	1,318	1,474
	폐열대금	"	194	194	194
	사업수입	"	2,799	3,113	3,368
	경상수익	"	1,153	1,153	1,153

이용하여 필요한 소각장의 갯수, 각 소각장의 시설용량과 평균처리량을 구하고, 다시 이를 통하여 〈표 2〉에서와 같이 설치비와 매기의 경상비용을 계산할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 단위 운반비용인  $c$ 의 추정치가 용이하지 않으므로 여기에서는 다양한  $c$ 값에 대한 적정규모의 계산과 비용분석을 시도하기로 한다.

〈표 5〉는 단위운반비( $c$ )가 1,000, 1,500, 2,000원/톤/km의 세가지 값을 취할 때의 적정규모와 비용구성을 계산한 결과이다. 예를

들어  $c=1,500$ 원일 때에  $n^*=483$ 이며, 따라서  $483^2=23$ 만3,289가구당 하나의 소각장이 필요하다. 각 소각장의 처리용량은 828톤/일이며 매일 평균 579톤을 소각하게 된다. 각 소각장의 설치비는 623억원이고, 매기당 1,553만원의 운반비와 2,446만원의 운영비가 소요되며 360만원의 폐열판매수입이 발생한다. 이들 총비용의 수명기간중 현재가치는 소각장당 1,683억원이며, 각 비용들의 구성비는 설치비 37%, 운반비 27%, 운영비 42%, 폐열대금 -6%이다. 식 (12)를 이용하여 계산한 폐기물 단위당 부과비용은 99.7원/kg이며 가구당 매기  $99.7 \times 2.483=248$ 원을 부담하게 된다. 한편 생활폐기물 관리구역내에 총 1,256만9,695가구가 있으므로 이러한 소각장이 약 54개 필요하며 총설치비는 3조3,579억원이다. 매기당 경상비용은 약 21.5억원이고(운반비 약 8.4억원과 운영비 약 13.2억원) 경상수입은 약 33억원(폐열판매수입 약 1.9억원과 가계로부터의 처리비용 약 31.1억원)이며, 따라서 매기당 경상이익은 약 11.5억원이다. 따라서 사업기간의 시초에 3조6,353억원을 조달하여 54개의 소각장을 설치하고, 매기(매일)의 이익금인 약 11.5억원을 설치비의 상환에 충당하게 된다.

이상의 분석은 오염원들이 [그림 1]과 같이 분포되어 있다는 가정하에서만 타당하며, 모수의 값들이 지역에 따라 상이할 경우 각 지역마다 상이한 적정규모가 도출된다. 적정규모를 결정하는 모수들 중 지역에 따라 그 차이가 큰 모수는 가구당 폐기물 발생량( $w$ )과 가구간 거리( $d$ )이다. <표 6>은 서울시 동대문구와 강원도 인제군에서의 적정규모와 비용분석을 요약하고 있다. 이들 지역의 가구당 평균 가구원수가 전국과 동일하다고 가정하면 두 지역의 가구간 거리는 각각 11m와 432m이며 가구당 발생량은 각각 3.641kg/일과 1.520kg/일이다. 이러한 지역간 모수값의 차이에 따른 적정규모의 차이 역시 매우 커서, 동대문구에서는 용량이 1만839톤/일인

<표 6> 지역간 비교

항 목	단 위	서울특별시 동대문구	강원도 인제군
생활폐기물 관리구역	km <sup>2</sup>	14	1,845
인 구	명	420,069	35,062
가구수	가구	118,414	9,884
구역내 폐기물 발생량	톤/일	660	23
가구간 거리	m	11	432
가구당 소각량	kg/일	3.641	1.520
적정규모(한 변의 크기)		1,443	239
적정규모(구역당 가구수)	가구	2,082,249	57,121
소각장의 시설용량	톤/일	10,839	124
폐기물 단위당 부과비용	원/kg	61	199
가구당 매기 부담액	원/일	223	303
비용구성	설 치 비	%	60.3
	운 반 비	%	19.4
	운 영 비	%	30.4
	폐열대금	%	-10.2
			25.6
			38.8
			38.7
			-3.1

하나의 소각장이 동일한 조건의 구역 다섯 개를 대상으로 운영될 때에 총비용이 극소화되는 반면, 인제군과 같은 지역에 필요한 시설의 규모는 124톤/일이며, 두 지역에서의 폐기물 1kg당 부과비용은 각각 61원과 199원이다. 비용구성에도 많은 차이가 있어서, 동대문구에서는 설치비가 가장 큰 비중(62%)을 차지하는 반면, 인제군에서는 운반비와 운영비가 각각 총비용의 39%씩을 차지한다.

### 3. 비교정태분석

모수의 변동이 적정규모에 미치는 영향의 방향과 크기를 파악하기 위하여 여타 모수들의 값이 불변인 상태에서 특정 모수의 값을 변화시키고 이때의 적정규모를 도출하였는데, 그 결과는 [그림 6]

〈표 7〉 비교정태분석

모 수	설 명	범 위	단 위
$w$	가 구 당 소 각 량	0.1 ~ 4.0	kg/일
$d$	가 구 간 거 리	10 ~ 500	m
$c$	단 위 운 반 비	500 ~ 6,500	원/톤/km
$p$	가 동 료 의 역 수	0.2 ~ 2.0	
$r$	할 인 율	6 ~ 18	%
$T$	시 설 의 수 명	5 ~ 25	년
$\beta_1$	설 치 비	$\times 0.0 \sim \times 2.0$	추정치의 배수
$\beta_2$	운 영 비	$\times 0.0 \sim \times 2.0$	추정치의 배수
$\bar{u}$	임계치 (설치비용)	100 ~ 2,000	톤/일

과 정확히 일치하였다. 소각시설의 설치와 운영에 수반되는 비용조건  
의 변동이 적정규모에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 6개의  
모수( $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ )를 모두 개별적으로 고려하여야 하나,  
이 논문에서는  $\gamma_1$ 과  $\gamma_2$ 의 값이 불변이고  $\alpha_1$ 과  $\beta_1, \alpha_2$ 와  $\beta_2$ 가 동일한  
비율로 변하는 경우만을 고려하였다. 이 절에서 고려한 모수들의  
변동범위는 〈표 7〉에 요약되어 있다.

#### 4. 정책적 시사점

우리나라의 폐기물 관리정책과 관련하여 이 논문이 제시하는 정  
책적 시사점은 다음의 다섯 가지로 요약된다.<sup>22)</sup> 우선, 현재 생활폐  
기물의 처리책임이 市·郡·區의 長에게 있어서 폐기물 처리시설  
의 설치 및 운영이 공공부문에 의하여 이루어지고 있는바, 이를 민  
영화하는 것이 바람직하다. 그 이유는 환경기초시설의 적정규모를  
도출함에 있어 설치비, 운영비, 운반비, 보상비 등 각 비용의 정확

22) 이 다섯 가지 시사점들은 이 후에서 이루어진 우리나라에서의 적정규모 도출  
이나 비교정태분석으로부터 얻을 수 있는 결과라기보다는 모형의 설정단계에  
서 이미 예상할 수 있는 내용이라고 할 수 있다.

한 산출이 핵심사항인데, 이들 비용에 관해서는 관련 분야의 민간 부문이 더 정확한 정보를 가지고 있을 가능성이 높으며, 입찰을 통하여 사업자를 선정할 경우 가장 費用效率的인 기업에 의한 설치·운영이 가능하기 때문이다. 환경기초시설의 민영화에는 두 가지 개념, 즉 민간에 의하여 운영이 이루어지는 모든 형태를 포함하는 ‘광의’의 민영화와, 소유권이 이전되지 않고 경영만 민간에 의하여 이루어지는 ‘협의’의 민영화가 있다. 그러나 기초시설의 설치 및 운영에 따른 모든 비용이 동일 주체에 의하여 고려되는 한, 소유권의 보유 여부는 사업의 수익성과 채원조달가능성에 따라 결정되는 사안일 뿐, 비용극소화 및 적정규모에는 영향을 미치지 않는다.

민간에 의한 폐기물 처리시설의 운영에 있어 유의할 점은 수거·운반과 시설 자체의 운영이 동일한 주체에 의하여 이루어져야 한다는 점이다. 폐기물 처리비용의 극소화를 위해서는 수거·운반과 시설의 운영을 포함하는 모든 비용이 동시에 고려되어야 하나, 이들 기능이 다른 주체에 의하여 이루어질 경우, 각각의 비용극소화가 총비용의 극소화로 이어지지 않을 수 있기 때문이다. 예를 들어, 폐기물 처리비용의 극소화를 위해서는 재활용 가능자원과 불가용자원, 그리고 가연성물질과 비가연성물질이 분리수거되어야 하나, 수거업체의 입장에서는 이에 대한 동기가 결여되어 있다. 따라서 수거·운반과 시설의 운영이 동일한 주체에 의하여 이루어지거나, 적어도 비용의 内部化(internalization), 즉 이해관계를 일치시킬 수 있는 장치가 마련되어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 폐기물 처리에 관한 한 통합적인, 즉 재활용, 매립, 소각 및 수거·운반에 드는 모든 비용이 동시에 고려되는 체제를 마련하여야 한다.

둘째, 폐기물 처리사업은 오염의 원인과 수익의 주체가 극히 분명할 뿐 아니라, 排除性(excludability)과 競争性(rivalry) 등의 측면에 있어 公共財로서의 성격이 극히 약하므로<sup>23)</sup> 폐기물 처리에 소

요되는 비용은 그 대부분을 가계가 부담하는 것이 마땅하며, 이를 위하여 현재의 폐기물 단위당 부과비용을 재조정할 필요가 있다. 쓰레기 종량제의 실시에 따라 각 가계는 해당 시·군·구에서 제작한 규격봉투만을 사용할 수 있는데, 단위 부과당 부과비용은 봉투의 크기와 지역에 따라 10~20원/ℓ이며, 이를 무게 기준으로 환산하면<sup>24)</sup> 17~34원/kg으로서 이 논문에서 추정한 단위당 처리비용인 93~111원/kg에 크게 못 미치고 있다. 비록 단위 운반비의 추정이 용이하지 않고, 가구의 분포에 대한 가정이 비현실적이며, 현재 재활용되지 않는 생활폐기물의 대부분이 매립에 의하여 처리되고 있으므로 이 논문에서 제시한 처리비용의 추정치가 직접 비교의 대상이 될 수는 없으나 현재의 부과비용이 실제 처리비용을 크게 하회하리라는 데에는 의심의 여지가 없다. 사용료의 인상은 환경기초시설의 민영화에 직결되는 문제로서, 현재 실제 비용을 크게 밑도는 사용료로 인한 낮은 수익성이 민자유치가 부진한 가장 큰 이유라는 점을 감안할 때, 우선적으로 개선해야 할 과제라고 할 수 있다.

쓰레기봉투가격을 인상함에 있어 고려하여야 할 점은 가격이 높을수록 불법적으로 투기되거나 재활용품에 섞여서 배출되는 폐기물의 양이 많아질 것이라는 점이다. 따라서 폐기물의 처리비용과 봉투가격을 계산할 때에는 각 가계에서 지불할 의사가 있는(willingness to pay) 금액과, 봉투가격이 이 액수를 초과했을 때에 불법

23) 폐기물 처리에 정부의 개입이 필요한 이유는 폐기물의 처리가 공공재의 성격을 가져서가 아니라, (i) 민간에 의하여 이루어지더라도 자연적 독점이 발생할 수 있으며, (ii) 초기에 대규모의 재원이 필요한 반면 회수기간이 길어서 투자의 불확실성이 크고, 결과적으로 시장기구를 통한 충분한 공급이 이루어지기 어려우며, (iii) 우리나라에서는 전통적으로 폐기물의 처리가 정부의 몫이라는 인식이 있어 왔기 때문이다.

24) 지역에 따라 차이가 있으나, 생활폐기물 1리터의 무게는 약 0.6kg이다. 한국 자원재생공사(1994). 이 값은 쓰레기봉투가격이 높아질수록 커질 것으로 예상된다.

투기될 폐기물의 양 및 이의 처리비용을 고려하여야 한다. 참고로 김광임(1996)의 연구에 의하면, 서울시에 사는 주민들이 쓰레기를 배출하기 위하여 현재의 지출에 추가하여 지불하고자 하는 금액은 38원/kg에 불과한 것으로 추정되었다. 한편 이러한 부정적인 효과 및 주민의 저항으로 쓰레기봉투의 가격 인상이 어려워 민영화에 지장이 있을 경우에는 중단기적인 대책의 하나로 민영화는 추진하되 적자분을 보전하여주는 방안을 생각할 수 있다.

셋째, 폐기물의 처리가 행정구역에 연계되어 이루어지고 있는 현재의 제도는 폐지되어야 하며, 이는 처리시설의 민영화 및 사용료의 현실화에 앞서 이 논문이 제시하는 가장 핵심적인 시사점이다. <표 5>에 나타나 있는 바와 같이 현재 우리나라에서의 소각시설의 적정규모는 500톤/일을 초과한다.<sup>25)</sup> 그러나 앞에서 언급하였듯이 현재 대부분의 소각시설이 초소형이어서 이로 인한 설치비의 낭비가 막대할 것으로 예상되는데,<sup>26)</sup> 이는 적정규모에 근거한 폐기물 관리구역의 분할이 이루어지지 않아서 발생하는 낭비이다. 따라서 중앙정부는 입찰을 통하여 노출된 정보를 바탕으로, 지역별 현황(가구당 발생량 및 인구밀도)을 고려하여 전체 관리구역을 적정 분할하고, 각 구역별로 사업자를 선정하여 시설의 설치 및 운영이 이루어지도록 해야 한다. 이때에 현행 「폐기물 관리법」을 개정할 필요는 없으며, 단지 각 구역의 사업자가 해당 구역내의 市·郡·區

25) 이러한 관점에서 볼 때 현재 추진되고 있는 대형 소각시설정책은 바람직한 것으로 판단된다. <표 3>에 열거된 대형 시설들의 규모가 적정규모에 미치지 못하고 있는 것은 시설의 설치·운영상의 기술적인 제약이 있거나 혹은 폐기물의 처리가 행정구역을 벗어나는 데에 따른 거래비용이 크기 때문인 것으로 짐작된다.

26) 예를 들어, 하루 처리용량이 1톤인 소형 소각시설은 약 282가구(즉  $n = \sqrt{282} \approx 17$ )의 폐기물을 처리할 수 있는데, 단위운반비가 1,500원일 때에 이러한 소각장의 폐기물 1kg당 처리비용은 541원으로 적정규모에서의 처리비용인 100원의 5배 이상이며, 우리나라 전체에 이러한 규모의 시설만을 건설할 경우 수명기간중 총처리비용은 49조원에 달한다.



와 계약을 맺으면 된다.

넷째, 쓰레기 종량제에 이어 두번째 단계로 실시해야 할 제도는 가연성 물질과 비가연성 물질의 분리배출이다. 이 제도가 실시될 경우 소각시설의 처리비용이 감소될 뿐 아니라 폐열회수율이 높아지고 소각과정에서 발생하는 유독물질의 양도 줄어든다.

마지막으로, 앞절의 비교정태분석으로부터 얻을 수 있는 시사점은 소각시설의 적정규모가 지역마다 상이하다는 점이다. 소각시설의 설치비와 운영비, 할인율, 수명 등의 지역간 편차가 그리 크지 않은 반면, 가구당 폐기물 발생량( $w$ ) 및 인구밀도( $d$ )는 지역에 따라 상이할 것이며, 이것이 소각시설에 대한 투자 계획시 고려되어야 한다.<sup>27)</sup>

한편 현재 우리나라 대부분의 대형 소각시설은 스토카 방식인데, 유독물질의 발생 등 환경적인 이유로 가까운 장래에는 모두 새로운 방식의 시설로 대체될 전망이다. 그러나 플라스마(plasma) 방식 등 청정기술에 의거한 소각시설의 설치비가 스토카 방식의 설치비를 크게 상회할 것으로 전망되는바, 규모의 경제를 누리기 위한 소각시설의 적정규모는 더욱 커질 것이며 이에 따라 총비용도 증가할 것으로 예상된다.

## V. 結 論

환경기초시설에 대한 투자가 우리나라 총 환경관련 예산의 80%

27) 일반적으로 도시지역이 비도시지역에 비하여 가구당 폐기물 발생량( $w$ )이 많고 가구간 거리( $d$ )가 짧다. 그러나  $w$ 와  $d$ 가 적정규모에 미치는 영향의 방향이 반대이므로, 도시지역과 비도시지역간 적정규모의 차이에 대한 일반적인 결론을 내릴 수는 없다.

이상을 차지하고 있다는 사실로부터 확인할 수 있듯이, 수질·폐기물의 관리를 위한 기초시설의 건립과 운영은 환경정책의 가장 중요한 부분인 동시에 대규모의 재원을 필요로 하는 사업이며, 따라서 비용극소화를 위한 많은 노력이 요구된다. 이러한 인식에서 출발하여 이 논문에서는 (i) 기초시설의 설치 및 운영에 따른 비용을 모형화하여 기초시설의 적정규모를 도출하고 이에 수반되는 총비용규모를 계산하였으며, (ii) 그 예로 우리나라에서의 소각시설의 적정규모와 그에 상응하는 폐기물 단위당 부과비용을 추정하고, (iii) 마지막으로 비용극소화를 위한 다음과 같은 제도개선방향을 제시하였다. 첫째, 공공부문에 의하여 이루어지고 있는 환경기초시설의 설치 및 운영은 민영화하는 것이 바람직한데, 이는 적정규모 도출의 필수 요소인 비용조건에 관한 정보가 민간부문에 더 많이 있을 것이기 때문이다. 둘째, 환경기초시설의 경우 오염의 원인과 수익의 주체가 확실하므로 처리비용은 국가의 보조 없이 가계가 부담하여야 한다. 셋째, 행정구역에 연계된 현재의 처리방식은 바람직하지 않으며, 적정규모에 따른 관리구역의 재분할이 필요하다. 특히 폐기물의 경우 사용자 징수가 용이하므로 즉각적인 시행이 가능하며 이로 인한 추가적인 행정비용은 크지 않을 것으로 예상된다.

이 논문의 가장 중요한 목적은 환경기초시설의 적정규모 추정 자체가 아니라, 이들 시설의 설치와 운영에 경제학적 방법론을 이용하여 적정규모의 도출과 비용분석을 위한 모형을 제시하는 데에 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 이 논문에서 제시한 모형과 현실 사이에는 상당한 괴리가 있을 수 있으며 이 분야의 많은 연구가 요망된다. 예를 들어, 이 논문에서는 소각장을 중심으로 모형을 전개하였으나, 폐기물 처리 전체에 드는 비용을 극소화하기 위해서는 매립, 소각, 재활용이 동시에 고려되어야 하며, 이때에 매립과 재활용에 관련된 비용요소와 배출되는 폐기물의 구성에 대한 모형화가 추가

적으로 필요하다. 한편 오염원인자 및 수익자 부담원칙에 따라 폐기물 처리비용을 가계가 부담할 때에는 부과비용(쓰레기봉투가격)이 가계의 행위에 미치는 영향 역시 분석에 고려되어야 한다. 부과비용이 변함에 따라 생활폐기물의 발생량과 단위 부과당 무게, 그리고 불법 투기되는 양도 변할 것이며, 이러한 요인들이 미리 고려되지 않을 경우 폐기물 처리시설에 대한 과잉투자가 일어날 수 있다. 앞에서 언급하였듯이 오염원의 분포형태와 운반비 및 외부효과에 대한 정밀한 분석 역시 모형의 현실설명력을 높여줄 것이다.

이 논문에서 제시한 모형은 立地理論(location theory)의 한 예라고 할 수 있으며, 환경기초시설뿐 아니라 소방서, 경찰서 등의 공공시설이나 전국을 대상으로 하는 판매망을 구축하기 위한 대리점의 입지 등에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

### ▷ 參 考 文 獻 ◁

- 김광임, 「쓰레기 배출에 대한 지불의사액 추정」, 『환경포럼』, 제3권 제2호, 한국환경기술개발원, 1996.
- 재정경제원, 『1997년도 예산개요』, 1997.
- 통계청, 『한국통계연감』, 각년호.
- 韓國開發研究院, 『財政統計資料集』, 1996.
- 한국자원재생공사, 『廢棄物 處理方法別 經濟性 및 環境性 比較評價』, 1994.
- 韓國環境技術開發院, 『21世紀를 향한 環境政策의 課題와 推進方向』, 1996.
- 환경부, 『전국 폐기물 발생 및 처리 현황('95)』, 1996.

## ■ 論 評

---

### 洪 鍾 豪

(漢陽大學校)

최근 소각시설의 설치에 따른 입지선정상의 님비(NIMBY)현상이나 다이옥신 배출 등 많은 문제점들이 나타나고 있다. 이러한 시점에서 이 논문은 소각시설 설치와 관련된 제반비용, 즉 폐기물 운반비, 설치비, 운영비 및 외부효과를 고려하여 비용을 최소화시키는 적정 소각시설의 입지 및 규모에 대한 경제학적 분석을 시도하였다는 면에서 큰 의미가 있는 연구라고 생각된다. 특히 분석의 엄밀성이 매우 돋보이며 구성상 논리적 체계가 잘 잡혀 있어 본 검토자도 많은 흥미를 갖고 논문을 읽을 수 있었다. 몇 가지 점들에 대해 간단히 언급하고자 한다.

첫째, 소각시설의 설치가 유발하는 외부효과에 따른 비용발생에 관한 논의가 상대적으로 소홀히 다루어졌다고 판단된다. 일반적으로 소각시설과 같은 환경기초시설의 경우 가장 문제가 되는 것은 그것이 혐오시설이라는 데에 있다. 즉 소각시설의 입지에 따른 주민반대 및 이로 인한 지역간 갈등, 여기서 발생하는 보상문제 등이 주된 관심사가 된다. 정부가 1990년대에 들어 소각을 통한 폐기물 처리를 본격적으로 추진하면서 입지를 선정하는 과정에서 예외 없이 이러한 갈등이 표출되었고, 이로 인해 소각장 건설 자체가 연기되거나 백지화된 경우가 종종 발생하고 있는 현실이다.

이러한 현실을 반영하듯 그간의 국내외 연구도 환경오염과 같은 외부효과가 발생하였을 때 이를 부동산 가격을 통해 관찰하거나(헤도닉 가격모형), 설문조사를 통해 소비자의 지불의사액(조건부 가

치측정법)을 추정하는 등의 연구방법을 사용하여 환경재의 가치를 측정하는 방향으로 진행되어왔다. 물론 이 연구에 있어 입지이론(location theory)을 혐오시설의 입지문제와 접목하여 분석을 시도한 것은 그 자체로서 기여한 바가 분명히 있다. 그러나 소각시설의 적정규모를 추정하는 데 있어, 입지에 따른 주민반발과 가동에 따른 오염물질 발생 등의 외부효과 문제가 보다 중요한 변수로 작용한다고 보았을 때 여기에 좀더 비중을 두고 연구를 진행시켰었으면 하는 아쉬움이 든다. 모형의 설정단계에서 포함된 외부효과와 관련된 논의가 실증분석단계에서도 변수로 포함되었다면, 전체적인 논문의 완성도도 높아졌을 뿐만 아니라 우리나라 소각시설에 대한 적정규모 추정에 있어서도 보다 현실설명력이 강한 추정치를 확보할 수 있었을 것으로 판단된다. 저자의 말처럼 외부효과에 대한 보다 심층적인 분석이 향후 과제로서 계속 연구되기를 기대한다.

이와 더불어 각 오염원당 총평균비용의 현재가치를 나타낸 식(12)에 있어 보상비  $e(n)$  또한 할인율의 영향을 받는 것으로 포함시켜 비교정태분석을 하는 것이 보다 타당할 것으로 판단된다. 왜냐하면 소각시설의 수명  $T$ 기 동안 환경오염으로 인한 외부효과는 계속 발생할 것이고, 이에 따라 보상비도 주어진 기간동안 지속적으로 발생할 것이기 때문이다. 만약 저자가 1期初에 향후  $T$ 기 동안 발생할 모든 보상비를 동시에 고려하는 것을 의도하였다면 이를 제 II장의 모형설정 과정시 명시적으로 언급했어야 할 것으로 본다.

둘째, 향후 소각시설의 설치가 도시폐기물의 처리에 보다 중점을 두고, 특히 대형 소각시설의 설치가 주로 도시지역에 집중적으로 입지할 것으로 예상되는 만큼 우리나라 소각시설의 적정규모 추정에 있어 필요한 제반 모수를 도시지역을 기준으로 추정하는 방법을 제시하고자 한다. 현실적으로 기존의 도시지역의 소각시설규모와 기타 里, 郡 지역의 소각시설의 규모는 큰 차이를 보이고 있으며,

저자가 지적한 대로 가구당 폐기물 발생량과 가구간 거리에 있어서도 큰 차이가 나타나고 있다.

따라서 추정결과에 크게 영향을 미치는 가구간 거리 및 인구를 포함한 제반 모수를 전국을 대상으로 하는 것이 아니라 일정 규모 이상의 도시를 기준으로 산정할 필요가 있다. 여기에 기초하여 설치비 및 운영비와 관련된 모수를 추정하는 단계에서부터 도시지역의 소각시설 자료에 기초하여 추정이 이루어지고 그 결과를 도시지역의 적정 소각시설 규모를 판단하는 데 국한하여 활용하는 것이 추정결과의 유의성을 높임과 동시에 모형의 현실설명력도 증가시킬 것으로 판단된다.

마지막으로, 이 논문에 기초한 저자의 정책적 시사점에 대해 언급하고자 한다. 먼저 저자는 수거 운반, 시설 설치 및 운영이 동일 민간주체에 의해 이루어져야 할 필요성을 주장하였다. 이는 이 논문의 모형 설정의 특성상 자연스러운 결론이라고 할 수 있다. 그러나 현행 수거운반업체의 영세성, 공공부문에 의한 시설설치 및 운영 등을 고려해볼 때 민간에 의한 이러한 통합관리가 결코 단기간에 이루어질 수 있는 것은 아니라고 판단된다. 대규모의 자본이 소요될 뿐만 아니라 수익성이 보장된다고 판단될 때에만 민영화이 이루어질 것이며, 폐기물 처리의 특성상 수익성 보장이 쉽게 이루어지지 않는 것이다.

저자는 대안으로서 수거료의 현실화를 논하고 있는데, 이는 물론 적절한 조치이나 그리 간단한 문제가 아닐 것이다. 왜냐하면 저자의 지적처럼 민간에 의해 폐기물 처리서비스가 공급된다고 하였을 때 이는 자연독점적 경향을 보일 가능성이 높으며, 자연스레 정부의 가격규제가 동반될 소지가 높기 때문이다. 폐기물 처리서비스가 갖는 필수재적 성격을 고려해볼 때 폐기물처리로 인해 생기는 외부효과에 따른 비용발생 요인까지를 포함시킨 민간이 요구하는 수준

의 수수료 현실화는 쉽게 이루어지지 않을 것으로 생각된다. 따라서 환경기초시설의 민영화를 중장기적 과제로 인식하고 민간의 참여를 지속적으로 유도할 수 있는 정부의 역할(다양한 보조금의 지급 등)이 언급될 필요가 있다고 사료된다.

또한 저자는 폐기물처리의 행정구역 연계를 폐지해야 한다고 주장하였다. 이러한 시사점 역시 이 논문에서 상정한 모형에서 도출된 직접적인 결과이다. 그러나 소각시설과 같은 혐오시설입지에 따른 사업주체, 정부 및 주민간 갈등을 고려할 때 현실적으로 소각시설이 입지하는 데에는 적지 않은 거래비용이 소요될 가능성이 농후하며, 이는 궁극적으로 최적입지에 따른 비용절감효과를 상쇄하고도 남을 수 있을 것으로 생각된다. 오히려 특정 행정당국과의 직접 협상을 통해 소각장 입지를 선정하는 것이 보다 비용효율적일 가능성도 있을 것이다. 이에 대한 지적도 이루어졌으면 한다.

## 金 在 亨

(本院 研究委員)

金東石 박사의 논문은, 소각장, 정수장 등 환경기초시설에 대한 투자가 우리나라 總環境豫算의 80% 이상을 차지하고 있는 현실에도 불구하고 그동안 효율적인 시설의 설치 및 운영에 관한 연구가 거의 전무하였다는 점에 착안하여, 현재 환경기초시설의 설치 및 운영에 따르는 비용조건을 전제로 기초시설의 適正規模를 推定하였으며 이에 수반되는 總費用規模를 계산하고 나아가 향후 기초시설의 설치 및 운영에 있어서 유의하여야 할 政策的 示唆點을 도출하고 있다.

환경기초시설 가운데에서 특히 본 논문이 초점을 두고 있는 燒却施設은 埋立과 달리 악취·침출수 등 2차 오염의 문제를 야기하지

앞으로 국토가 협소한 선진국에서 선호되고 있는 폐기물 처리방법이며, 다이옥신 등 유해물질을 적은 비용으로 제거할 수 있는 기술만 갖추어진다면 우리나라에서도 바람직한 방법이라 할 수 있다. 그러나 소각시설의 건립은 시설의 특성상 일정 수준이 확보되고 난 후에는 경상경비 외의 많은 재원이 필요하지 않지만 이에 이르기까지는 短期間에 大規模의 財源이 필요한 사업이므로, 기초시설 投資의 效率을 극대화하기 위해서는 시설의 적정규모를 도출하는 노력이 매우 중요하다. 이러한 맥락에서 金박사가 경제학의 立地理論 (Location Theory)을 원용하여 환경기초시설의 적정규모를 최초로 도출한 것은 큰 의미를 갖는다고 하겠다.

특히 오염원의 공간적 분포형태에 대한 독창적이고 설득력 있는 가정을 제시함으로써 운반비, 설치비, 운영비 등에 존재하는 規模의 經濟效果를 모형화하고 總費用函數를 도출한 점, 1995년까지 우리나라의 소각장 建立事例 자료들에 기초하여 적정규모를 추정하고 추정된 적정규모로부터 필요한 소각장의 갯수, 소각장의 시설용량과 평균처리량, 그리고 설치비와 每期의 경상비용까지 계산하여 다양한 費用分析을 시도하고 있는 점 등은 매우 돋보인다 할 것이다.

그러나 본 논문이 추정한 소각시설의 적정규모가 582~1,360톤/일로서 현재 우리나라에 설치된 소각장 시설 중 최대의 규모인 서울 목동의 400톤/일 규모보다도 훨씬 더 크게 나타난 점은 모형의 現實 說明力을 다소 떨어뜨린다고 하겠다. 이에 관해서는 두 가지 측면에서 논평이 가능하다고 보는데, 첫째는 자료상의 제약 때문에 환경기초시설 설치가 야기하는 님비현상, 즉 부정적 외부효과가 推定過程에서 전혀 고려되지 못하여 적정규모 값이 過大評價되었다는 지적이다. 저자도 인정한 바 있듯이 적정규모를 추정하는 과정에서 외부비용의 크기에 대한 자료를 구하는 것이 용이하지 않아 외부효과를 전혀 반영해줄 수 없었고 이는 곧 적정규모의 과대평가로 이



어졌다는 주장이다. 論評者도 이러한 주장에 전적으로 동의한다. 이 문제는 향후 시설주변지역의 토지·주택가격 변동자료 조사라든가 주민번호에 대한 설문조사 등을 통하여 외부효과의 크기를 측정하여 자료를 보완하고, 이를 추정에 반영한다면 해결될 수 있는 문제이다.

過大推定과 관련한 다른 한 가지 논평은 金박사가 설정하고 있는 模型 자체에 대한 비판이다. 金박사의 모형은 외부효과를 기초시설 規模( $u$ )의 증가함수, 시설과 고객간 距離( $\delta$ )의 감소함수로 정의하여 외부효과를 환경기초시설 사업추진의 總費用函數의 하나로 통제하고 있다. 하지만 본 모형에서 제시한 사업추진의 총비용함수는 누구의 총비용함수인지 불분명하다. 본 모형이 처음에는 환경기초시설 사업자, 즉 생산자의 비용인 설치비, 운반비, 운영비, 부대비용을 총비용함수로 정의하는 듯하다가, 마지막 부분에서는 외부효과 비용을 총비용함수에 추가하고 있기 때문이다. 前者의 비용(설치비, 운반비, 운영비 등)은 순수한 생산자의 비용이지만 後者의 비용(외부효과)은 생산자보다는 주로 소비자의 비용이라고 보아야 하기 때문에 이 총비용을 최소화하는 主體는 생산자(여기서 생산자에 정부도 포함될 수 있음)나 소비자 어느 한쪽이 아니라 사회후생을 극대화하려는 ‘政策立案者’로 해석해야 한다. 이런 경우 본 모형이 생산자와 소비자간에 일어날지 모르는 상호작용을 어느 정도 고려해줄 수 있는지에 대한 의문이 제기될 수 있다. 생산자 비용인 설치비, 운반비, 운영비 등을 소비자에게 어느 정도 전가시킬 수 있는가, 혹은 외부효과 비용을 생산자와 소비자가 어떻게 분담하는가의 문제가 적정규모 도출과 무관할 수 없다. 예컨대, 생산자가 첨단시설의 설치비 및 운영비를 부담하여 악취나 침출수 등의 오염물 배출을 줄일수록 소비자에 대한 부정적 외부효과 크기가 작아질 것이고, 반대로 소비자의 오염에 대한 거부감이 클수록 외부효과 비용

이 증가할 것인데, 이러한 상호작용이 본 모형에서는 전혀 다루어질 수 없다. 정책입안자의 문제가 모형에서 제시한 총비용함수처럼 그리 간단하지 않은 것이다. 이러한 문제는 향후 본 모형이 운반비, 설치비, 운영비 등은 공급조건으로, 그리고 외부효과 비용은 수요조건으로 내생화되어 공급과 수요조건의 相互作用에 따라 적정규모가 결정되는 새로운 模型으로 확장됨으로써 일부 극복될 수 있을 것이다.

약간 지엽적인 문제이긴 하지만 본 모형은 고려의 대상이 되는 적정규모가 상당히 커서 전 대상지역을 소수의 區域으로 나누어야 할 때에는 시설의 최적위치 도출이 복잡하게 되는 등의 문제도 야기한다. 또한 외부효과의 크기가 운반비를 능가할 경우에는 한 구역내의 총비용이 中位에서 극소화되지 않을 수도 있어 전 대상지역을 정사각형 모양으로 구역을 설정하는 본 모형이 실제로 넘비현상을 얼마나 잘 반영해줄 수 있을지도 의문으로 남는다.

나아가 환경기초시설의 설치와 관련한 문제에 있어서 그동안 핵심적인 논쟁거리가 무엇이었던가를 반문해볼 때, 본 논문의 메시지는 기초시설 설치와 관련한 논쟁의 핵심을 비껴가고 있다는 비판도 피하기 어려울 것 같다. 어느 규모의 기초시설을 몇 개 어디에 설치할 것인가와 관련한 논쟁의 핵심은 사실상 운반비와 설치비에 존재하는 規模의 經濟效果가 얼마나 큰가, 작은가에 있는 것이 아니라 넘비현상과 같은 外部效果가 얼마나 큰가, 작은가에 있다고 보는 것이 타당하다. 운반비나 설치비에 존재하는 규모의 경제효과보다는 폐기물시설이 미칠 부정적 외부효과 때문에 대규모 소각장이 건립되기 어려우며, 외부효과 때문에 소각장이 지역의 中位에 위치하지 못하는 경우가 대부분이기 때문이다. 따라서 운반비, 설치비 등에 존재하는 규모의 경제효과에 초점을 두면서 환경기초시설의 적정규모를 도출한 본 연구는 그 결과를 현실에 적용하는 데 일정한

한계를 가질 수밖에 없다고 본다. 오히려 저자도 언급한 것처럼 본 모형이 환경기초시설보다는 소방서 등의 공공시설이나 전국을 대상으로 하는 물품판매망을 구축하기 위한 대리점의 입지연구 등에 더욱 자연스럽게 적용될 수 있을지도 모른다.

金東石 박사는 모형을 활용한 비교정태분석을 통하여 다음과 같은 制度改善方向도 제시하고 있다. 첫째, 적정규모 도출의 필수요소인 비용조건에 관한 정보가 공공부문보다 민간에 더 많이 있을 것이기 때문에 공공부문에 의하여 이루어지고 있는 환경기초시설의 설치 및 운영은 民營化하는 것이 바람직하다. 둘째, 환경기초시설의 경우 오염의 원인과 수익의 주체가 확실하므로 폐기물 處理費用은 國家의 보조 없이 家計가 전적으로 부담하여야 한다. 셋째, 행정구역에 연계된 현재의 처리방식은 바람직하지 않으며, 적정규모에 따른 관리 行政區域의 再調整이 필요하다. 이러한 주장들은 비록 일부 논거들이 비교정태분석으로부터 직접 유도된 것이 아니라 모형의 설정에 있어서 사전적으로 도입한 假定에 입각한 것이라는 아쉬움이 있긴 하지만 몇 가지 흥미로운 정책적 시사점을 던져준다.

첫째, 환경기초시설의 민영화 주장은 최근 정부가 의욕을 갖고 추진하고 있는 정책과 방향이 일치하면서 그 理論的 根據를 제공한다는 점에서 의의를 갖는다고 본다. 둘째, 폐기물 처리비용을 전적으로 가계가 부담하여야 한다는 주장은 현재의 폐기물처리 단위당 부과비용을 上向調整해야 한다는 주장으로 이어지고 있는데, 기본적인 정책방향에는 논평자도 동의하나 여기에는 異論이 제기될 수 있다. 처리비용을 國家의 보조 없이 家計가 전적으로 부담하여야 한다는 주장은, 폐기물 처리시설의 경우 오염의 원인과 수익의 주체가 분명하므로 오염자부담원칙에 의하여 가계가 처리비용을 전담하여야 한다는 주장인 것 같은데, 이는 설치비, 운반비, 운영비 등의 경우에만 타당한 것이지 외부효과의 경우는 그렇지 않을 수 있

다. 예를 들어 외부효과는 비용 및 수익의 주체가 상대적으로 불분명할 가능성이 매우 클 것이므로 외부효과를 잘 반영해주려면 최소한 어느 선까지는 政府의 補助가 개입될 수 있는 여지가 충분히 있는 것이다.

한편 현재 종량제의 실시에 따라 폐기물처리 단위당 부과되는 비용이 17~34원/kg인데, 이는 본 논문에서 추정한 단위당 처리비용 93~111원/kg과 큰 차이를 시현하고 있어 위상이 불가피하다는 주장도, 본 모형이 아직 외부효과 비용을 완전히 내생화하지 못했고, 현재 폐기물의 대부분이 소각이 아니라 埋立에 의하여 처리되고 있으므로 양자의 비교가 곤란하다는 점을 고려할 때 약간 성급한 결론이 아닐까 한다.

셋째, 추정된 적정규모를 고려하여 폐기물관리의 行政區域 再調整이 필요하다는 주장에 논평자는 적극 동조하고 싶다. 현재 환경기초시설의 설치·운영은 각 지방자치단체에 의해서 獨立의으로 처리되는 경우가 대부분이므로 규모의 경제효과가 극대화되지 못하고 있는 실정이다. 필요시 인접한 2~3개의 지자체들이 聯合하여 기초시설 투자 및 운영을 共同處理한다면 훨씬 비용을 절감할 수 있는 경우가 많음에도 불구하고 말이다. 본 논문이 제시하는 것처럼 정확한 기초시설의 '適正規模'가 추정될 수 있다면, 이는 어떤 지자체들에 있어서 상호 연합, 즉 공동처리가 필요한 것인지를 시사해줄 수 있을 것이다. 서구 선진국의 경우 몇 개의 지자체가 연합하여 일종의 特別地自體와 같은 조직을 구성하고, 환경기초시설을 공동설치·운영하는 경우가 적지 않음은 결코 우연이 아니다.

저자는 결론부분에서 본 논문의 목적이 환경기초시설의 적정규모를 推定하는 작업 그 자체가 아니라 이들 시설의 운영에 經濟學的方法論을 도입하여 적정규모를 도출하고 비용분석을 행하기 위한 模型을 제시하는 데 있다고 주장하였다. 이는 그만큼 이 분야에서

경제학적 방법론을 활용한 연구가 없었음을 반영하기도 하고, 저자 스스로가 본 모형의 추정치에 대하여 단정적인 결론을 내리는 것을 유보하려는 의도로 해석되는데, 향후에 본 논문의 모형 및 추정방법들에 대하여 다양한 擴張, 改善 논의가 이어지기를 기대해본다.