

# 계약 회귀하의 목표계획법을 이용한 국내 천연가스 산업의 규모의 경제성 분석\*

김봉진\*\* · 윤희천\*\*\* · 이정동\*\*\*\* · 김태유\*\*\*\*\*

A Goal Programming/Constrained Regression: Economies of Scale  
for the Korean Natural Gas Industry\*

Bongjin Gim\*\*, Hee-Chun Yun\*\*\*, Jeong-Dong Lee\*\*\*\*, Tai-Yoo Kim\*\*\*\*\*

## ABSTRACT

We consider a problem of estimating the economies of scale for the natural gas industries. The goal programming/constrained regression is employed for estimating the economies of scale for the natural gas industry, and the problem is formulated as a linear programming problem. Also, the translog cost function is used to represent the cost structure for the natural gas industry. The Korean Gas Corporation was selected as a case study, and we demonstrate that the suggested goal programming/constrained regression approach is appropriate for estimating the economies of scale for the Korean natural gas industry.

## 1. 서 론

1987년 수도권을 중심으로 본격 공급되기 시작한 국내 천연가스 사업은 비석유 에너지원의 장기 안정적 공급과 청정에너지를 공급하기 위한 목적으로 시작되었다. 천연가스 산업은 기타 자원 산업과 마찬가지로 초기의 기본설비를 구성하는데 많은 투자가 소요되며 사업 준비기간도 장기

인 특성을 갖고 있다. 또한 천연가스 산업은 자본집약적 산업으로서 대부분의 비용은 인수기지 및 배관의 설치 및 운영에 투입되는 자본적 성격의 비용이며, 자본비용은 고정비용 또는 시장의 특성에 따라 매몰비용(sunk cost)으로 간주되어 경쟁적 시장 조건하에서 진입장벽 형성의 원인으로 작용한다.

국내 천연가스 도매사업은 한국가스공사에 의

\* 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

\*\* 단국대학교 산업공학과

\*\*\* 현대정유

\*\*\*\* 서울대학교 공학연구소

\*\*\*\*\* 서울대학교 기술정책 대학원과정

해 독점적으로 운영되고 있으며 편리성을 추구하는 국민의 기대와 환경문제, 대체에너지로서의 보급확대 정책에 의해 천연가스의 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 국내 천연가스 산업이 자연독점(natural monopoly)의 조건을 만족하는 가에 대한 논란이 생기게 되었다. 비용측면에 초점을 맞추는 경우에는 비용의 하위가산성(subadditivity)으로 한 산업의 자연독점 여부를 판단할 수 있으며, 한 산업의 하위가산성은 총산출량을 독점적으로 생산할 때의 비용이 이를 분할하여 생산할 때의 비용보다 작은 경우에 만족된다. 어떤 산업의 비용조건이 하위가산성을 만족하는지의 여부는 쉽게 판정할 수 없으나 국내 천연가스 산업과 같이 단일재를 생산하는 경우에는 규모의 경제성(economies of scale)이 하위가산성을 달성하기 위한 충분조건이 된다.

규모의 경제를 측정하기 위한 연구는, 일반적으로 그 결과가 정책 도출시에 큰 시사점을 제공하므로 전력산업 등 여러 산업에서 중요한 위치를 차지하여 왔다. 전력산업을 대상으로 규모의 경제를 측정한 연구는 Christensen and Greene [7]을 필두로 Nemoto, Nakanishi and Madono [9] 등에 의해 연구되었다. 규모의 경제성 측정에 관한 연구는 최근에 이르기까지 세계 각국에서 관심의 대상이 되어왔으며, 그 연구결과는 미국의 전력산업 구조개편을 비롯하여 철도산업, 통신산업 등에서 산업정책 결정의 중요지표로 간주되어 왔다.

천연가스 산업의 규모의 경제성과 관련하여 Robinson [10]은 공학적 비용분석법을 제시한 바 있다. Callan [4]은 Robinson의 방법에 근거하여 Cobb-Douglas 형태의 비용 함수를 제시하였고, Aivazian et. al. [2] 등은 미국 천연가스 운송산업(natural gas transmission)을 대상으로 규모의 경제와 기술변화의 효과를 계측하였다. 일반적으로 가스산업의 경우에는 규모의 경제를 추정하고

정책적 의미를 도출하는 연구가 흔하지 않으나 전력 및 기타산업에 적용되었던 규모의 경제성 분석에 관한 방법론을 이용하여 분석하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

초월대수 함수는 유연성을 갖는 어떤 함수들보다도 실증분석에서 가장 많이 사용되어 왔다. Christensen and Greene [7]은 미국의 기력 발전회사들을 대상으로, Evans and Heckman [8]은 미국의 통신회사인 AT&T를 대상으로 초월대수 비용함수를 이용하여 규모의 경제성을 추정한 바 있다. Charnes, Cooper and Sueyoshi [6]는 초월대수 비용함수와 제약 회귀하의 목표계획법을 사용하여 미국의 AT&T 회사를 대상으로 규모의 경제성을 추정하였다.

생산함수 및 비용함수를 추정하여 규모의 경제성을 계측하는 방법들은 계량경제학적 방법(econometric method)과 변경추정법(frontier estimation method)으로 구분된다. 계량경제학적 방법은 통계적 추정법으로서, 모든 관측치가 가장 효율적인 생산의 결과이고 추정시 발생하는 오차는 불규칙적인 상황변화에 따른 생산착오 및 관측오차 등에서 기인하는 백색잡음(white noise)이라는 가정하에 추정치가 관측치들의 중앙을 지나도록 하는 추정방법이다. 이에 비해 변경추정법은 추정오차가 생산의 비효율을 포함한다는 가정하에 추정치가 관측치들의 상한이나 하한에 존재하도록 하는 추정방식이다.

본 논문에서는 변경추정법의 일종인 제약 회귀하의 목표계획법(goal programming/ constrained regression)과 초월대수 비용함수(translog cost function)를 이용하여 국내 천연가스 산업의 규모의 경제성을 추정하고자 한다. 제약회귀하의 목표계획법은 Charnes, Cooper and Sueyoshi [5]에 의해 규모의 경제성 평가에 도입된 바 있다. 일반적인 목표계획법이 목표치에 대한 양 측면(two-

sided)의 오차를 최소화하는 반면에 제약회귀하의 목표계획법에서는 추정오차가 생산의 비효율을 포함한다는 가정하에 오직 한 측면(one-sided)의 오차만을 허용하는 특성을 갖고 있다. 제약 회귀하의 목표계획법을 이용한 규모의 경제성 분석에서는 생산함수에 대해서는 관측치들의 상한에 존재하는 생산경계(production frontier)를 추정하고, 비용함수에 대해서는 관측치들의 하한에 존재하는 비용경계(cost frontier)를 추정한다.

제약 회귀하의 목표계획법을 이용한 비용함수의 추정방법은 추정함수가 변형을 이루기 때문에 오차의 분포에 대한 잘못된 가정에서 발생할 수 있는 오류를 피할 수 있는 장점이 있는 반면에, 추정결과에 대한 통계적 의미를 찾을 수 없고 오염된 자료의 영향을 크게 받는다는 단점을 갖고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 관측치에 내재된 통계적 오차를 고려하는 통계적 변경추정모형을 사용하거나(Seiford and Thrall [11]), 추정의 결과를 분석하여 측정오차의 문제가 큰 관측치들을 선별적으로 제거해 나가는 변형모형이 Wilson [12]에 의해 개발된 바 있다. 그러나 본 논문에서는 주어진 자료수가 극히 제한되어 있고, 소수의 관측자료만으로 유용한 정보를 얻으려는 본래의 목적을 감안하여 변경추정모형을 변형없이 사용하였다.

한편 국내 천연가스 산업은 생산 및 공급을 시작한 기간이 짧고 독점체제로 운영되어 왔기 때문에 생산 및 비용함수를 추정하기 위한 자료수가 매우 한정되어 있다. 따라서 기존의 계량경제학적 방법이나 통계적 추정방법으로는 함수의 추정시에 자유도의 부족을 초래하여 추정의 유의도가 떨어지는 문제점을 갖고 있다. 따라서 제약회귀하의 목표계획법은 현재 필요한 자료수가 극히 한정되어 있는 국내 천연가스 산업의 규모의 경제성 추정에 가장 적합한 방식으로 사료된다. 또

한 본 논문의 방법론적 특징은 Charnes, Cooper and Sueyoshi [6]가 비용함수의 추정을 위해 인위적으로 부과한 요소비용의 점유율에 관한 조건들을 삭제하고 비용점유율에 관한 계량경제학적인 합계조건을 제약조건으로 추가하였다는 점이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2절에서는 천연가스 산업에 대한 규모의 경제를 평가하기 위한 제약 회귀하의 목표계획법 모형을 수립한다. 또한 추정된 초월대수 비용함수로부터 규모의 경제성 지수를 계산하여 천연가스 산업의 규모의 경제성을 판단하는 과정을 설명한다. 제 3절에서는 사례연구로서 국내 천연가스 도매사업을 독점적으로 운영하고 있는 한국가스공사를 대상으로 규모의 경제성 평가를 한다. 제 4절에서는 본 논문의 결과를 요약하고 향후 연구과제를 논한다.

## 2. 제약 회귀하의 목표계획법 모형

초월대수 함수는 생산기술에 대해 사전적인 제약을 가하지 않는 유연한 형태를 갖고 있으며, 임의의 2차 미분가능한 함수에 대해 2차 Taylor-series로 근사시킨 형태로 표현된다. 천연가스 산업에 대한 초월함수 정의를 위하여 다음과 같은 기호를 사용하기로 하자:

$m$  = 투입요소의 수,

$C_t$  =  $t$  연도의 총비용,

$Y_t$  =  $t$  연도의 산출량,

$P_{it}$  =  $t$  연도의  $i$  번째 투입요소의 가격,

$S_{it}$  =  $t$  연도의  $i$  번째 투입요소의 비용 점유율.

또한  $a, b, a_i, a_{ij}, d, d_i$  등이 각 항목에 대한 회귀계수(regression coefficient)를 나타낼 때, 단일 산출물에 대한 초월대수 비용함수의 일반식은 다음과 같이 표현된다:

$$\ln C_t = a + b \ln Y_t + \sum_{i=1}^m a_i \ln P_{it} +$$

$$1/2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln P_{it} \ln P_{jt}$$

$$+ (d/2) (\ln Y_t)^2 + \sum_{i=1}^m d_i \ln P_{it} \ln Y_t$$

(1)

일반적으로 비용함수를 사용하여 규모의 경계를 평가할 때에는 어느 한 시점에서 다수의 업체를 대상으로 하는 cross-section 자료를 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 현재 국내 천연가스 산업은 독점으로 운영되고 있으므로 cross-section 자료를 이용하는 것이 불가능하다. 따라서 국내 천연가스 산업의 비용함수 추정을 위하여 (1)식과 같이 시계열(time-series) 자료를 이용하는 초월대수 비용함수를 사용하였다.

시계열 자료를 이용하는 생산함수 또는 비용함수 분석에서는 기술이 변화함에 따라 함수 자체가 이동하는 효과를 고려하는 것이 일반적이며 이를 기술진보효과라 한다. 기술진보효과를 고려하는 대표적인 방법은 함수의 설명변수로서 시간 등과 같은 기술진보의 대리변수(proxy variable)를 명시적으로 포함시켜 이 값에 대한 함수의 미분치를 기술진보율로 간주하는 방법이 있다. 그러나 국내 천연가스 산업의 역사가 짧은 특성을 감안할 때 단기간의 분석기간 동안에는 기술진보가 이루어지지 힘든 것으로 판단되므로, 본 논문에서는 기술진보 대리변수가 제외된 (1)식과 같은 시계열 자료를 이용하는 초월대수 비용함수를 사용하였다.

(1)식과 같은 초월대수 비용함수가 경제이론에 부합하는 비용함수가 되기 위해서는 여러 조건들을 만족시켜야 한다. Christensen and Greene [7]에 의하면 비용함수의 요소가격에 대한 선형 동

차성(linear homogeneity) 조건은 다음과 같다:

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1, \quad \sum_{i=1}^m a_{ij} = \sum_{j=1}^m a_{ij} = \sum_{i=1}^m d_i = 0 \quad (2)$$

또한 회귀계수  $a_{ij}$ 와  $a_{ji}$ 는 서로 일치하여야 하므로 초월대수 비용함수의 대칭(symmetry) 조건은 다음과 같다:

$$a_{ij} = a_{ji}, \text{ for } i \neq j \text{ and } i \& j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

한편 요소 가격이 일정할 때 산출량이 증가하면 총비용도 증가해야 하므로  $e$ 를 아주 작은 양수(positive value) 값이라 할 때, 다음과 같은 산출량에 대한 비용의 증가성 조건을 만족시켜야 한다:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial Y} > 0 &\Leftrightarrow \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Y} > 0 \Leftrightarrow \\ \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Y} &\geq e \Leftrightarrow b + d \ln Y_t + \\ \sum_{i=1}^m d_i \ln P_{it} &\geq e, \text{ for } i = 1, 2, \dots, m, t = \\ &1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (4)$$

각 투입요소의 전체비용에 대한 비용점유율은 0과 1 사이의 값을 가지며 그 총합은 1이 된다. 요소  $i$ 에 대한 비용점유율은 Shephard's Lemma를 이용하여 얻을 수 있으며, 초월대수 비용함수에 대한  $t$  연도의  $i$  요소에 대한 비용 점유율의 추정치,  $CS_{it}$ ,는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} CS_{it} &= a_i + \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln P_{jt} + d_i \ln Y_t, \text{ for} \\ i &= 1, 2, \dots, m, \text{ and } t = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

한편 초월대수 비용함수를 나타내는 (1)식의 우변을 간략하게  $f(p_t, q_t)$ 로 표기하기로 하자. 여기서  $p_t$ 는  $t$  연도의 가격,  $q_t$ 는  $t$  연도의 물량을 나타낸다. 그러면 계량학적 방법을 이용한 규모의 경제성 분석에서는 (2), (3), (4) 등의 제약하에  $f(p_t, q_t)$ 와  $\ln C_t$ 의 차이의 제곱으로 정의되는 평균제곱오차(mean square error)를 최소화하는 추정계수들을 회귀분석 등과 같은 통계적 방법에 의해 도출한다. 또한 계량경제학적 방법에서는 추정계수의 통계적 안정성을 확보하기 위하여 연립 방정식 추정모형에 의해 (1)식과 (5)식을 동시에 추정하는 것이 일반적이다(Berndt [3]). 그러나 제약회귀하의 목표계획법에서는 위와 같은 연립 추정이 불가능하므로 계량경제학적 방법과 근사한 결과를 얻을 수 있도록 다음과 같은 요소비용 점유율에 대한 제약조건을 부가하였다:

$$(1 - r) S_{it} \leq CS_{it} \leq (1 + r) S_{it}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, m, \text{ and } t = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

여기서  $r$ 은 초월대수 비용함수에 대한 제약회귀하의 목표계획법 모형에서 가능해를 얻을 수 있는 최소의 양수값을 나타낸다.

본 논문에서는 다음과 같은 제약회귀하의 목

표계획법 모형을 사용한다:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } z &= \sum_{t=1}^n \delta_t \\ \text{subject to} & \\ & f(p_t, q_t) + \delta_t = \ln C_t, \\ & \delta_t \geq 0, t = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 함수  $f(\dots)$ 는 추정대상인 초월대수 비용함수를 나타낸다. 한편  $\delta_t$ 는 비음수이어야 하므로 모든 추정계수들은 모든  $t$  값에 대하여  $f(p_t, q_t) \leq \ln C_t$  조건을 만족시켜야 한다. 따라서 추정된 비용함수는 연도별로 관측된 비용들에 대하여 변경(frontier, envelope)을 이루게 되며,  $\ln C_t$ 와  $f(p_t, q_t)$ 의 차이인  $\delta_t$ 는 생산의 비효율을 나타내는 척도로 사용될 수 있다. 위와 같은 모형과 Charnes, Cooper and Sueyoshi [6]가 미국의 AT&T 회사를 대상으로 제시한 모형과의 유일한 차이점은 초월대수 비용함수의 추정시에 시간의 흐름에 따른 기술진보 대리변수가 생략된 점이다. 따라서 국내 천연가스 산업에 (1)식과 같은 초월대수 비용함수와 (7)식과 같은 제약 회귀하의 목표계획법을 적용한 선형계획 모형은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } z &= \sum_{t=1}^n \{ \ln C_t - a - b \ln Y_t - \sum_{i=1}^m a_i \ln P_{it} - 1/2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln P_{it} \ln P_{jt} \\ & - (d/2) (\ln Y_t)^2 - \sum_{i=1}^m d_i \ln P_{it} \ln Y_t \} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{subject to } & \ln C_t - a - b \ln Y_t + \sum_{i=1}^m a_i \ln P_{it} - 1/2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln P_{it} \ln P_{jt} \\ & - (d/2) (\ln Y_t)^2 - \sum_{i=1}^m d_i \ln P_{it} \ln Y_t \geq 0, t = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1, \quad \sum_{i=1}^m a_{ij} = \sum_{j=1}^m a_{ij} = \sum_{i=1}^m d_i = 0 \quad (10)$$

$$a_{ij} = a_{ji}, \text{ for } i \neq j \text{ and } i \& j = 1, 2, \dots, m. \quad (11)$$

$$b + d \ln Y_t + \sum_{i=1}^m d_i \ln P_{it} \geq e, \text{ for } i = 1, 2, \dots, m, t = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

$$(1 - r) S_{it} \leq a_i + \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln P_{jt} + d_i \ln Y_t \leq (1 + r) S_{it},$$

for  $i = 1, 2, \dots, m, t = 1, 2, \dots, n.$  (13)

국내 천연가스 산업에 대한 규모의 경제성은 위와 같은 선형계획 문제의 해를 구하여 (1)식으로 표현되는 초월대수 비용함수를 추정 한 후에, 추정된 초월대수 비용함수로부터 규모의 경제성 지수(SCE)를 계산하여 얻을 수 있다. 규모의 경제성 지수는 비용함수의 경우에  $SCE = 1 - \text{비용 탄력성}$ 으로 정의되며, (1)식과 같은 초월대수 비용함수에 대한  $t$  연도의 규모의 경제성 지수,  $SCE(t)$ ,는 다음과 같이 정의된다:

$$SCE(t) = 1 - \left\{ b + d \ln Y_t + \sum_{i=1}^m d_i \ln P_{it} \right\} \quad (14)$$

규모의 경제성 지수는 비용 탄력성이 작아질수록 커지며 천연가스 산업에 대한  $t$  연도의 규모의 경제성은  $SCE(t)$ 의 부호를 이용하여 판단할 수 있다. 천연가스 산업의  $t$  연도의 규모의 경제성은  $SCE(t)$ 의 값이 0이면 규모의 불변경제(constant return to scale), 양수이면 규모의 경제(economies of scale), 음수이면 규모의 불경제(diseconomies of scale)를 나타낸다.

### 3. 사례 연구

#### 3-1. 자료

사례연구로는 현재 국내 천연가스 도매사업을 독점적으로 운영하고 있는 한국가스공사를 대상

으로 하였다. 한국가스공사의 비용함수 추정을 위하여 사용된 자료는 한국가스공사의 1987년부터 1993년 사이의 매년도 대차대조표, 손익계산서, '93년도 경영실적보고서' [1]에 근거하였다. 생산 요소는 노동과 자본 두 종류로 구분하였으며 투입노동량은 연도별 평균임금 지급인원을 기준으로 하였다. 노동비용은 인건비 항목을 GNP 디플레이터로 실질화하여 사용하였고 노동가격은 위와 같은 방법으로 구해진 노동비용을 사용노동량으로 나눈 값을 사용하였다.

한국가스공사의 자본은 크게 인수기지 부분과 배관 부분에 투자된 자본이며 자본사용량을 정의할 수 있는 통일된 단위의 사용이 어려운 형편이다. 따라서 본 논문에서는 Nemoto, Nakanishi and Madono [9]가 사용한 방법을 이용하여 유형 고정자산 항목으로부터 도출되는 자본스톡을 자본사용량으로 정의하고, 자본가격은 자본재 가격 지수에 이자율과 감가상각률을 더한 항목을 곱하여 계산하였다. 그리고 자본비용은 자본스톡과 자본가격을 곱하여 구하였다.

한국가스공사의 산출량은 판매가스량으로 측정될 수 있으나 판매가스량은 가스의 공급비용이 수송거리에 따라 달라지는 특성을 잘 반영하지 못하는 단점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 한국가스공사의 산출량을 각 공급지별 공급량에 배관길이를 곱한 항목을 합산하여 구하였다. 이러한 종류의 산출량은 전체비용중 수송비용이 큰 비중을 차지하는 항공, 철도, 도로운송 사업에서 일반적으로 사용된다. 총비용은 노동비용과 자본

〈표 1〉 한국가스공사의 연도별 총비용, 산출량, 요소가격, 노동비용 점유율

연도	총비용(C <sub>t</sub> ) 백만원	산출량(Y <sub>t</sub> ) 천Ton-Km	자본가격(P <sub>1t</sub> ) 원/십원	노동가격(P <sub>2t</sub> ) 백만원/인	노동비용 점유율(S <sub>1t</sub> )
1987	50,365	70,532	1.204	10.603	0.144
1988	70,258	98,517	1.512	12.093	0.131
1989	72,662	104,316	1.547	13.408	0.154
1990	72,924	144,133	1.560	12.429	0.148
1991	75,410	179,894	1.567	13.372	0.157
1992	97,915	247,658	1.549	14.187	0.133
1993	108,846	361,520	1.630	14.676	0.132

비용의 함으로 구성하였고, 〈표 1〉에는 위와 같은 방식에 의해 계산된 한국가스공사의 총비용, 산출량, 요소가격, 노동비용 점유율 등을 연도별로 수록하였다.

생산요소는 노동과 자본 두 종류로 구분하였으므로, 연도별 자본비용 점유율(S<sub>2t</sub>)은 노동비용 점유율을 이용하여 얻을 수 있다.

### 3-2. 추정결과

식 (12)의 요소비용 점유율에 대한 오차허용률 r은 5%, 10%, 15%, ... 등 5% 간격으로 대입하여 가능해가 도출되는 최소 오차허용률을 검색하였으며, 최종적으로 선택된 r의 값은 10%이다.

한국가스공사의 규모의 경제성은 제시된 선형계획법 문제의 해로서 구할 수 있으며, 초월대수 비용함수에 대한 추정계수를 〈표 2〉에 수록하였다.

위와 같은 초월대수 비용함수에 대한 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.989, 노동점유율에 대한 결정계수는 0.999, 자본점유율에 대한 결정계수는 0.995로 모두 99% 이상이 되어 추정의 적합도가 상당히 양호한 것으로 나타났다. 또한 노동점유율과 자본점유율을 비용함수의 추정결과로부터 계산한 결과, 이 둘은 모두 0과 1 사이에 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 초월대수 비용함수에 의한 추정치는 대체적으로 양호한 것으로 사료된다.

한편 i 요소가격의 변화에 대한 j 요소투입량의 변화를 측정하기 위하여 다음과 같은 식으로 정

〈표 2〉 초월대수 비용함수의 추정계수

추정계수	추정치	추정계수	추정치
a	29.5718	a <sub>22</sub>	-0.0014
b	-3.4439	a <sub>12</sub>	0.0014
a <sub>1</sub>	0.0817	d	0.3084
a <sub>2</sub>	0.9183	d <sub>1</sub>	0.0052
a <sub>11</sub>	-0.0014	d <sub>2</sub>	-0.0052

의되는 Allen의 대체탄력성( $\sigma_{ij}$ )을 계산하였다:

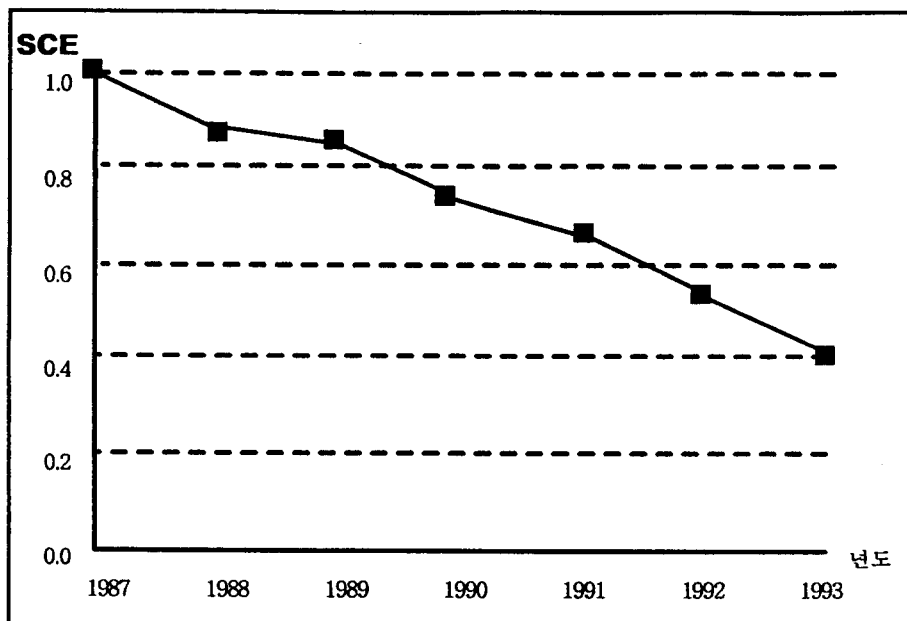
$$\sigma_{ij} = (C \times dC_{ij}) / (dC_i \times dC_j) \quad (15)$$

여기서 C는 총비용,  $dC_{ij}$ 는 비용함수의 요소가격  $i$ ,  $j$ 에 대한 2계(second order) 미분치,  $dC_i$ 는 요소가격  $i$ 에 대한 1계 미분치를 나타낸다. Allen의 대체탄력성은  $i$  요소가격의 변화에 의한  $j$  요소투입량의 변화량이  $j$  요소가격의 변화에 의한  $i$  요소투입량의 변화량과 동일한 대칭성을 갖고 있으므로 대체성에 관한 일관된 해석이 가능하고 계산이 간편하여 비용함수를 이용한 분석에서 널리 사용되고 있다(Christensen and Greene [7]).

각 요소의 연도별 자기가격 탄력성을 측정하여 7개년간 평균을 나타낸 결과는 다음과 같다. 노동탄력성( $\sigma_{ll}$ )은 -1.059, 자본탄력성( $\sigma_{kk}$ )은 -0.000033으로 모두 음의 부호를 갖는 것으로 나타나 경제

이론이 사전적으로 요구하는 비용함수의 속성과 본 모형의 추정결과가 일치함을 알 수 있다. 위의 결과로부터 노동은 비교적 가격변화에 민감하나 자본은 가격변화에 거의 반응이 없는 비탄력적 성격을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이는 가스 산업이 장치산업이므로 자본의 투입이 고정화될 수 밖에 없는 특성을 비교적 잘 반영한 결과로 보여진다. 또한 자본과 노동의 대체탄력성( $\sigma_{lk}$ )은 7개년 평균 0.0196으로 상당히 작은 것으로 나타나 자본과 노동의 대체에 의한 생산관계 변화는 발생가능성이 적음을 나타내고 있다.

한국가스공사의 규모의 경제성은 제약 회귀하의 목표계획법을 이용하여 한국가스공사에 대한 초월대수 비용함수를 추정한 후에, 추정된 초월대수 비용함수로부터 규모의 경제성 지수(SCE)를 계산하여 얻을 수 있다. <그림 1>에는 초월대수 비용함수를 이용한 한국가스공사의 연도별 규모



<그림 1> 초월대수 비용함수를 이용한 규모경제성 분석결과



의 경제성 분석결과를 나타내었다.

〈그림 1〉을 보면 제약 회귀하의 목표계획법 및 초월대수 비용함수를 이용한 한국가스공사의 규모의 경제성 지수(SCE)는 1987년에 이론적 상한치인 1에서 시작하여 1993년에는 0.486에 이르기까지 계속 하락하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 시간의 흐름에 따라 한국가스공사의 평균비용이 계속 하락하고 있는 상황을 잘 반영하고 있으며, 모든 연도의 규모의 경제성 지수가 양수이므로 본 연구의 관점에서 본다면 한국가스공사는 비용의 측면에서 독점의 조건을 부분적으로 갖추고 있는 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 제약 회귀하의 목표계획법과 초월대수 비용함수를 이용하여 국내 천연가스 산업의 규모의 경제성을 평가하는 방법을 다루었다. 국내 천연가스 도매사업은 생산 및 공급을 시작한 시점이 짧고 독점적으로 운영되어 왔기 때문에 비용함수를 추정하기 위한 자료수가 매우 한정되어 있는 형편이다. 그런데 비용함수의 추정에 필요한 자료수가 부족한 경우에는 기존의 계량경제학적인 방법들을 사용하기가 어려우므로, 본 논문에서는 제약 회귀하의 목표계획법을 이용하여 국내 천연가스 산업의 규모의 경제성을 평가하였다.

제약 회귀하의 목표계획법을 이용한 한국가스공사의 비용함수에 대한 추정결과를 보면 초월대수 비용함수에 대한 결정계수( $R^2$ )는 0.989, 노동 점유율에 대한 결정계수는 0.999, 자본점유율에 대한 결정계수는 0.995로 모두 99% 이상이 되어 추정의 적합도가 상당히 양호한 것으로 나타났다.

제약 회귀하의 목표계획법 및 초월대수 비용함수를 이용한 한국가스공사의 규모의 경제성 지수

는 1987년의 1부터 시작하여 1993년에는 0.486에 이르기까지 계속 하락하는 경향을 보였으며, 이러한 결과는 시간의 흐름에 따라 한국가스공사의 평균비용이 계속 하락하고 있는 상황을 잘 반영하고 있다. 또한 모든 연도의 규모의 경제성 지수가 양수이므로 한국가스공사는 비용의 측면에서 볼 때 독점의 조건을 부분적으로 갖추고 있는 것으로 사료된다.

본 논문에서는 제약 회귀하의 목표계획법을 이용하여 국내 천연가스 산업의 규모의 경제성을 평가하였으며, 이러한 방법은 국내 통신산업, 제철산업, 철도산업 등 독과점 산업의 규모의 경제성 평가에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 한편 본 연구의 결과를 검증, 보완해 줄 연구로는 사전적 함수형태의 부과가 요구되지 않으면서 규모의 효율성에 대한 지표를 얻을 수 있는 비모수적 방법(nonparametric method)에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국가스공사, 「'93년도 경영실적 보고서」, 1994.
- [2] Aivazian, V. A., J. L. Callan, M. W. Chan and D. C. Mountain, "Economies of Scale versus Technological Change in the Natural Gas Transmission Industry," Review of Economics and Statistics, Vol. 69, No. 3(1987), pp. 556-561.
- [3] Berndt, E. R., The Practice of Econometrics, Addison-Wesley Publishing Company Inc., New York, 1991.
- [4] Callan, J. L., "Production, Efficiency and Welfare in the Natural Gas Transmission Industry," American Economic Review,

- Vol. 68, No. 3(1978), pp. 311-323.
- [5] Charnes, A., W. W. Cooper and T. Sueyoshi, "Least Squares/Ridge Regressions and Goal Programming/Constrained Regression Alternatives," *European J. Operational Research*, Vol. 27(1986), pp. 146-157.
- [6] Charnes, A., W. W. Cooper and T. Sueyoshi, "A Goal Programming/Constrained Regression Review of the Bell System Breakup," *Management Science*, Vol. 34, No. 1(1988), pp. 1-26.
- [7] Christensen, L. R. and W. H. Greene, "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation," *Journal of Political Economy*, Vol. 84, No. 4(1976), pp. 654-676.
- [8] Evans, D. S. and J. J. Heckman, "Natural Monopoly and the Bell System: Response to Charnes, Cooper and Sueyoshi," *Management Science*, Vol. 34, No. 1(1988), pp. 27-38.
- [9] Nemoto, M., Y. Nakanishi and S. Madono, "Scale Economies and Over-Capitalization in Japanese Electric Utilities," *International Economic Review*, Vol. 34(1993), pp. 431-440.
- [10] Robinson, S. T., "Powering of Natural Gas Pipelines," *Journal of Engineering for Power*, A. S. M. E. Transactions, Vol. 94(1972), pp. 181-186.
- [11] Seiford, L. M. and R. M. Thrall, "Recent Development in DEA: The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis," *Journal of Econometrics*, Vol. 46, No. 1(1990), pp. 7-38.
- [12] Wilson, P. W., "Detecting Influential Observation in DEA," *The Journal of Productivity Analysis*, Vol. 6, No.1(1995), pp. 27-45.