

# 중국 29개 성의 환경성과 평가 - 통합오염원 단위를 중심으로 -

김광욱<sup>1)</sup>·박혜란<sup>1)</sup>·강상목<sup>2)</sup>\*

Estimation of Environmental Performance in 29 Chinese Provinces  
- Focused on Integrated Pollution Intensity -

Kwang-Uk Kim, Huilan-Lan Piao, and Sang-Mok Kang

1) 부산대학교 경제학과 박사과정(Ph.D candidate, Dept. of Economics, Pusan National University)

2) 부산대학교 경제학과 교수(Professor, Dept. of Economics, Pusan National University)

제 출 : 2010년 8월 30일 수 정 : 2010년 10월 25일 승 인 : 2011년 3월 17일

## 국 문 요 약

본 논문의 목적은 1998~2007년 중국 29개 성(省)을 대상으로 통합오염원단위지수를 계측하고, 급격한 경제성장에 따른 환경성과의 변화를 파악하는 것이다. 각 성별 총생산, 자본·노동, 대기오염배출량(CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>)을 활용한 통합오염원단위지수의 계측 결과, 상대적으로 경제성장의 속도가 빠르고 소득수준이 높은 동부지역의 수치가 중·서부에 비해 매우 낮은 수준을 보였으며, 시계열적으로도 이러한 경향은 더욱 뚜렷함을 확인할 수 있었다.

본 논문은 통합오염원단위지수의 변화에 미치는 소득수준 및 기타변수의 영향을 분석하기 위해 추가적인 패널회귀분석을 시도하였다. 설명변수로는 소득수준을 나타내는 대표적 변수인 1인당 총생산과 함께 제조업 비중, 1인당 환경보호투자, 해외직접투자유입 등을 포함하였으며, 전반적으로 높은 통계적 유의성을 보였다. 소득수준의 증가에 따라 통합오염원단위의 지속적인 하락경향을 확인할 수 있었으며, 이는 중국의 경제성장과정에서 환경부담을 완화시키는 방향으로 작용하고 있음을 의미한다. 또한 해외직접투자유입변수의 계수가 모든 모형에서 통합오염원단위지수와 강한 음(-)의 관계를 보이는 것은 외국자본유입이 선진기술의 보급 및 환경수요의 증가를 유도하여 환경적으로 긍정적인 영향을 미치는 것을 의미한다. 마지막으로 1인당 환경보호투자변수는 대부분의 모형에서 통계적 유의성을 보여주지 못하였다.

■ 주제어 ■ 통합오염원단위지수, 환경성과, 환경쿠즈네츠가설, 오염피난처가설

## Abstract

The purpose of this paper is to estimate the environmental performance of 29 Chinese provinces by adopting the advanced measurements, integrated pollution intensity index, IPI, which can be computed using Data Envelopment Analysis(DEA) techniques. This index has the advantage of

\* 교신저자: smkang@pusan.ac.kr

\*\* 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-330-B00087).

accounting for multiple resources used, good outputs produced and pollutants emitted simultaneously. The result obtained using the methodology shows the obvious evidence that provinces located around eastern area of China take relatively low levels and these phenomenons have been clearly observed throughout the sample period 1998~2007. The estimated index can be interpreted that the environmental burden in China has been steadily decreased as economic growth.

This paper also tries to figure out the relationship among IPI, income levels, economic structures, the level of environmental regulations and FDI inflow. The estimated relationship between IPI and income per capita predicts improving environmental performance with increasing income levels. This explains the improvement in IPI which is simultaneously observed with income increases. According to the 'pollution haven hypothesis', many researches have been concerned the possibility that a large amount of foreign capital has been invested in China to avoid the strict environmental standards in advanced countries. However, the estimated coefficients in all model specifications take negative sign with IPI and highly statistical significant. This is a indication that there are positive impacts of foreign investments on IPI by adopting clean and high technologies from advanced countries.

■ **Keywords** ■ Integrated Pollution Intensity Index, Environmental Performance, Environmental Kuznets Hypothesis, Pollution Haven Hypothesis.

---

## I. 서론

중국은 지난 20년 동안 연평균 9%대의 급격한 경제성장을 이룩하였지만, 자원 과다 남용과 오염물 급증에 따른 환경파괴를 그 대가로 지불해야 했다. 최근 세계은행(2006)에서도 중국의 환경문제에 대한 우려를 제기한 바 있으며, 주로 에너지 과다 남용과 적절한 환경보호장치의 부재를 그 원인으로 언급하고 있다. 이 보고서에 의하면 80년대 중국의 환경가치손실액이 GDP의 약 25%를 차지할 정도로 심각하였으며, 이는 석유·석탄과 같은 화석연료의 무분별한 사용과 에너지 비효율성의 결과라고 지적하고 있다. 이처럼 성장과 환경의 딜레마에 직면했던 중국정부도 환경파괴문제가 지속가능발전을 저해하는 주요한 요인이란 것을 점차 인식하기 시작하였으며, 90년대에 China's Environmental Action Plan(National Environmental Protection Agency)을 통한 환경규제 적용을 시도하였다. 그러나 급격한 경제성장에 따른 수질·대기오염과 환경규제정책의 실질적 적용에 대한 문제는 여전히 심각한 수준이라 할 수 있다. 이러한 시각에서 본 연구는 1998~2007년 중국 29개 성(省)의 환경성과(environmental performance)를 추정하고, 급격한 경제규모 확대에 따른 환경성과 및 그 변화요인을 추정하고자 한다.

경제성장의 질을 측정함에 있어 Zaim et al.(2001), Färe et al.(2004), Zaim(2004), 강

상목 외(2005)는 자료포락분석(data envelopment analysis; DEA)을 활용한 통합오염원 단위지수(integrated pollution intensity index; IPI)의 활용을 제안하고 있다. 통합오염원 단위지수는 개별 오염물을 대상으로 측정하는 전통적 오염원단위의 한계를 극복하고, 다수의 오염물을 동시에 고려한 통합된 원단위지수로 추정되는 장점을 가진다. 또한 특정 생산단위의 산출량수준과 다수 오염물의 배출량수준을 비교함으로써 환경 친화적인 성장경로를 확인할 수 있는 척도로도 활용될 수 있다. 중국의 경우, 급속한 공업화로 인한 환경성과의 변화를 추정하고, 특히 지역별 특성을 보이는 상이한 성장경로가 통합오염원단위에 미치는 영향을 분석할 필요성이 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 중국의 각 성별 산업의 성장과 오염물 증가 사이의 관계 분석 및 그 변화요인에 대한 분석을 시도한다.

DEA접근법을 통한 환경성과지수의 측정방법은 Tyteca(1997)에서 최초로 제안되었고, Callens and Tyteca(1999)는 투입물, 산출물, 오염물을 동시에 고려한 지속가능성지표를 제시하였다. 또한 Färe and Grosskopf(2004)는 방향거리함수(directional distance function)을 활용하여 OECD국가의 환경성과지수를 측정하는 바 있다. 유사한 방법으로 Zaim(2004)는 미국 41개 주 제조업의 환경성과지수를 계측하였고, 강상목 외(2005)는 한국 중·경공업을 대상으로 환경성과지수의 시계열적 변화를 보여 주었다. 다음으로 OECD국가의 CO<sub>2</sub>배출량을 이용한 Zhou(2006)는 slacks-based 측정방법을 적용하여 환경성과지수를 추정하였고, 최근 Vaninsky(2009)는 DEA-ND접근법을 활용한 미국 에너지 분야의 환경성과지수를 계측하였다.

한편 Grossman and Krueger(1991, 1993)에 의해 처음 제시된 '환경쿠즈네츠가설(environmental Kuznets hypothesis)'은 경제성장의 발전단계에 따른 오염물의 배출량 변화를 설명하고 있다. 위 가설의 핵심은 소득수준의 증가에 따른 환경-수입 탄력성의 증가가 궁극적으로 오염물의 배출을 억제하게 되어, 경제성장과 오염배출량의 관계가 역-U형태를 보인다는 것이다. 중국은 개혁개방 이후 급격한 경제성장을 통해 소득수준이 크게 증가하고 있는 상황이며, 성장에 따른 규모효과(scale effect)와 환경수요증가에 따른 기술효과(technique effect)를 비교분석할 필요성이 크다고 할 수 있다.

본 연구는 Zaim et al.(2001), Färe et al.(2004), Zaim(2004), 강상목 외(2005)의 방향거리함수 접근법을 원용하여 오염물 수량지수(quantity index of bad output)에 대한 산출물 수량지수(quantity index of good output)의 비율을 통합오염원단위지수(integrated pollution intensity index)의 척도로 제시하고자 한다. 다음으로 중국 통계

청의 경제발전수준에 근거하여 전국을 동부와 중·서부로 구분하고 환경쿠즈네츠가설의 성립여부 및 성별 통합오염원단위의 결정요인을 추정하고자 한다.

이하 제2장에서는 산출물 수량지수, 오염물 수량지수 및 통합오염원단위지수에 관한 이론적 모형을 제시하고, 제3장에서는 실증에 사용될 통계자료와 이론에 기초한 실증결과 및 주요요인들을 분석한다. 마지막 제4장에서는 정책적 시사점과 함께 결론을 제시할 것이다.

## II. 모형

Färe et al.(2004)이 제시한 통합오염원단위지수는 산출물과 오염물의 수량지수(quantity index of good and bad outputs)를 각각 설정하고 그 비례를 구함으로써 계측할 수 있다. 여기서 각 수량지수는 개별 의사결정단위(decision making units)의 상대적 성과를 의미한다. 다시 말해, 특정 생산단위  $k$ 의 산출물 수량지수는 임의의 생산단위(reference observation)  $l$ 과 동일한 수준의 투입물 및 오염물을 기준으로 산출량 수준을 서로 비교하여 추정한다.<sup>1)</sup> 마찬가지로 오염물 수량지수는 임의의 생산단위  $l$ 과 동일한 수준으로 산출물과 투입물을 유지하면서 배출량이 다른 특정 관측치  $k$ 와의 상대적 성과로 계측할 수 있다. 마지막으로 통합오염원단위지수는 앞서 구한 두 지수의 비율로 계측할 수 있다.

먼저 주어진 투입물( $x$ )을 활용하여 바람직한 산출물( $y$ )과 오염물( $b$ )을 생산하는 생산기술수준( $T$ )은 다음과 같이 정의된다.

$$T = \{ (x, y, b) : x \text{ can produce } y \text{ and } b \}$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \in R_+^N, \quad y = (y_1, y_2, \dots, y_M) \in R_+^M, \quad b = (b_1, b_2, \dots, b_J) \in R_+^J \quad (1)$$

Färe and Grosskopf(2004)는 생산함수에 오염물의 약처분성(weak disposability of bad outputs)과 결합생산성(null-joint)을 가정하였으며 다음과 같이 표현하고 있다.

1) Färe et al.(2004)은 기준이 되는 임의의 생산단위를 최대 산출량과 최소 배출량을 사용하였으며, 본 연구에서 적용된 각 연도별 평균 산출량과 평균 배출량을 제안하고 있다.

$$\text{if } (x, y, b) \in T \text{ and } 0 < \theta < 1 \text{ then } (x, \theta y, \theta b) \in T \quad (2)$$

$$\text{if } (x, y, b) \in T \text{ and } b = 0 \text{ then } y = 0 \quad (3)$$

오염물의 약처분성을 나타낸 식(2)는 오염물의 감소는 산출물의 비례적 감소가 수반된다는 사실을 가정한 것이며, 결합생산성을 의미하는 식(3)은 산출물과 오염물이 필연적으로 동시에 발생한다는 가정을 표현한 것이다.

산출물 수량지수  $Q_y$ 를 정의하기 위해 Shephard의 산출거리함수(output distance function)를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D_y(x, y, b) = \inf [\theta : (x, y/\theta, b) \in F(x)] \quad (4)$$

식(4)에서  $\theta$ 는 산출거리함수의 구체적 값을 의미하고, 주어진 투입물 벡터와 오염물 벡터 하에서 달성 가능한 산출물 벡터의 역수를 의미한다. 즉, 산출물 거리함수의 값이 최소화되는 경우 산출물은 극대화된다. 일반적인 산출거리함수와 동일하게 생산단위가 생산프런티어의 내부에 위치할 경우  $\theta$ 의 값은 1보다 작게 된다. 이를 이용한 산출물 수량지수는 다음과 같이 정의된다.

$$Q_y(x^0, b^0, y^k, y^l) = \frac{D_y(x^0, y^k, b^0)}{D_y(x^0, y^l, b^0)} \quad (5)$$

식(5)는 주어진 투입물 벡터  $x^0$ 와 오염물 벡터  $b^0$ 을 가정한 상태에서 상이한 산출물 수준  $y^k$ 와  $y^l$ 의 비교를 표현한 수식이다. 다시 말해, 임의관측치의 실제 산출물 수량지수는 기준관측치의 산출거리함수 값에 대한 임의관측치의 산출거리함수 값의 비율로 계측된다.

한편으로 오염물 하위 벡터를 위한 Shephard의 투입거리함수(input distance function)는 다음과 같이 정의된다.

$$D_b(x, y, b) = \sup [\lambda : (x, y, b/\lambda) \in F(x)] \quad (6)$$

식(6)의  $\lambda$ 는 투입거리함수의 구체적 값이다. 산출거리함수와 반대로 투입거리함수는 현재의 투입물과 산출물 수준 하에서 오염배출량의 최소화를 의미하며, 오염물 수량지수  $Q_b$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$Q_b(x^0, y^0, b^k, b^l) = \frac{D_b(x^0, y^0, b^k)}{D_b(x^0, y^0, b^l)} \quad (7)$$

이는 현재의 투입물 벡터  $x^0$ 와 산출물 벡터  $y^0$  하에서 상이한 오염물  $b^l$ 과  $b^k$ 를 비교한다. 다시 말해, 임의관측치의 실제 오염물 수량지수는 기준관측치의 오염거리함수의 값에 대한 임의관측치의 오염거리함수의 값으로 계측이 된다. 마지막으로 통합오염원 단위지수는 앞서 구한 산출물 수량지수와 오염물 수량지수의 비율로 정의된다.

$$IPI^{k,l}(x^0, y^0, b^0, y^k, y^l, b^k, b^l) = \frac{Q_b(x^0, y^0, b^k, b^l)}{Q_y(x^0, b^0, y^k, y^l)} \quad (8)$$

식(8)은 통합오염원단위지수로서 다수의 오염물과 다수의 산출물을 각각의 수량지수로 계측하여 산출물수량지수에 대한 오염물 수량지수의 형태로 표현하였다.<sup>2)</sup> 따라서 통합오염원단위지수는 산출물 벡터 단위당 오염물 벡터의 배출수준을 의미하므로, 지수가 낮을수록 경제발전의 질이 높은 반면 지수가 높을수록 경제성장의 질은 낮다.

한편, 실제 생산성 측정에 필요한 거리함수는 선형계획모형을 이용하여 계측이 가능하다. 언급한 바와 같이, 거리함수는 투입물과 산출물의 관계에서 실제보다 축소 가능한 투입물 혹은 확대 가능한 산출물의 수준을 제시한다. 먼저 각 연도  $t = 1, \dots, T$ 에 생산단위  $k = 1, \dots, K$ 가 있다고 가정하면 이 생산단위들은 투입물  $x_{nkt}$ ,  $n = 1, \dots, N$ 을 사용하여, 산출물  $y_{mkt}$ ,  $m = 1, \dots, M$ 과 오염물  $b_{ikt}$ ,  $i = 1, \dots, J$ 를 생산한다. 산출물 수량

2) 각 수량지수 및 통합오염원단위지수는 Fisher(1922)가 제안한 homogeneity, time-reversal, transitivity, dimensionality 등의 수학적 특징을 가진다. 자세한 내용은 Färe et al.(2004)를 참고하기 바란다.

지수와 오염물 수량지수를 도출하기 위한 선형계획식은 식(9), (10)과 같다. 여기서  $z_k$ 는 일종의 가중치로서  $K \times 1$ 밀도벡터를 의미한다.

$$\begin{aligned}
 (D_y(x^0, y^{k'}, b^0))^{-1} &= \text{Max } \theta & (D_b(x^0, y^0, b^{k'}))^{-1} &= \text{Max } \lambda \\
 \text{s.t. } \sum_{k=1}^K z_k y_m^k &\geq \theta y_m^{k'}, \quad m = 1, \dots, M & \text{s.t. } \sum_{k=1}^K z_k y_m^k &\geq y_m^0, \quad m = 1, \dots, M \\
 \sum_{k=1}^K z_k b_j^k &= b^0, \quad j = 1, \dots, J & \sum_{k=1}^K z_k b_j^k &= \lambda b^{k'}, \quad j = 1, \dots, J & (9) & (10) \\
 \sum_{k=1}^K z_k x_n^k &\leq x_n^0, \quad n = 1, \dots, N & \sum_{k=1}^K z_k x_n^k &\leq x_n^0, \quad n = 1, \dots, N \\
 z_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K & z_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K
 \end{aligned}$$

식(9)는 산출물 수량지수  $Q_y$ 의 분자(numerator)이며, 기준 관측치  $y^0$ 로  $y^k$ 를 변화시킴으로써 분모(denominator)의 수치를 계측할 수 있다. 즉, 각 성별 산출물, 투입물, 오염물 벡터를 활용하여 임의의 시기와 지역에서 달성 가능한 산출물의 최대수준을 계측한다. 그리고 식(10)은 오염물 수량지수  $Q_b$ 의 분자이며, 제약식 우변의  $b^{k'}$ 을  $b^0$ 로 대체하여 오염물 수량지수의 분모를 계측하게 된다. 식(10)을 통해 감축이 가능한 최대한의 오염물 수준을 추정하게 된다.<sup>3)</sup>

### III. 자료 및 실증분석

본 연구에서는 중국 29개 성(省)을 대상으로 통합오염원단위지수를 추정한다. 사용한 통계자료는 지역총생산(GDP), 노동스톡(L), 자본스톡(K) 그리고 대기오염배출량(CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>)이며, 표본기간은 1998~2007년 10년이다.<sup>4)</sup> 통합오염원단위지수 계측에 사용된 통계자료의 출처 및 정의는 <표 1>과 같다. 먼저 오염물 CO<sub>2</sub>의 경우, 표본기간의 성별 연간 배출량 자료가 없기 때문에 에너지 총 소비량, 탄소전환지수 및 CO<sub>2</sub>배출계수를 이용하여 실제 배출량을 추정하였다.<sup>5)</sup> 다음으로 자본스톡은 중국 통계연감에서

3) 식(9), (10)의 선형계획모형은 what's best를 이용하여 추정하였다.

4) 현재 중국의 각 성별로 실증 가능한 오염물 데이터는 CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> 뿐이며, 본 연구에서는 이 두 오염물을 대상으로 실증분석한다.

제공하는 고정자산 신규투자를 이용하여 직접 추정하였으며, 그 외의 변수들은 중국 통계연감의 자료를 이용하였다.

표 1 통합오염원단위지수 계측을 위한 통계자료

변수	정의	비고	단위
GDP	지역 총생산	<중국 통계연감>	억(위안)
L	노동스톡	지역별 연간 노동투입량 <중국 통계연감>	만(명)
K	자본스톡	영구재고법(perpetual inventory method) <sup>6)</sup>	억(위안)
E	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> =에너지 소비총량×탄소전환지수×CO <sub>2</sub> 배출계수 <중국 에너지통계연감>	만(톤)
	SO <sub>x</sub>	<중국 에너지통계연감>	

<표 2>는 3개 지역 각 변수의 평균치를 제시한 것이다. 표본기간 동안 중국 평균 국내총생산량은 3073.46억 위안이며, 동부에 위치한 성의 평균 생산량이 중·서부 지역에 위치한 성들의 평균 생산량에 비해 2배 이상 높음을 확인할 수 있다. 특히 광둥, 강소, 산둥, 절강 등의 생산량이 매우 높은 수준을 보였다. 노동·자본스톡도 동부지역이 가장 높지만 산출량 비율만큼 중·서부지역과 뚜렷한 차이는 보이지 않는다. 본 연구의 핵심 변수라 할 수 있는 오염배출량 자료의 경우에도 동부지역의 평균 배출량이 가장 높은 데, 이는 상대적으로 높은 산출규모에 따른 결과라고 예상할 수 있다.

표 2 주요변수의 지역별 평균치

변수(단위) 지역	지역총생산 (억 위안)	자본스톡 (억 위안)	노동스톡 (만 명)	CO <sub>2</sub> (만 톤)	SO <sub>x</sub> (만 톤)
동부	5149.0	1273.1	2429.9	23416.6	84.3
중부	2547.1	1247.4	2347.8	17085.7	74.3
서부	1471.7	817.5	1656.9	10061.5	66.9
전체	3073.5	1108.0	2137.8	16846.6	75.2

5) 중국 에너지통계연감에서는 석유, 석탄, 천연가스, 전력 등의 에너지 소비총량을 석유환산단위(ton of oil equivalent; TOE)로 제공하고 있으며, 중국 에너지연구원은 탄소전환지수를 0.67, CO<sub>2</sub>배출계수를 3.67로 적용하여 탄소배출량을 추정한다.

6) 영구재고법에 의한 자본스톡추정에서 초기자본스톡은 초기 신규투자와 신규투자의 연간 평균성장률을 사용하여 추정한다.(Young, 1995). 즉, 초기 자본스톡  $K(1) = I(1) / (\delta + g)$ 로 가정하며, 여기서  $I(1)$ ,  $\delta$ ,  $g$ 는 각각 제 1기의 신규투자, 감가상각률, 초기 5년간 신규투자의 연간 평균성장률을 의미한다. 마지막으로 연속적인 자본스톡의 계산은 다음 식에 따른다.  $K(t) = (1 - \delta)K(t-1) + I(t)$ ,  $t = 2, \dots, T$



1998~2007년 지역별 통합오염원단위지수 결과는 <표 3>과 같다.<sup>7)</sup> 평균 통합오염원 단위지수를 3개 지역별로 구분하여 비교해보면, 동부지역의 전체평균이 0.97로 가장 낮은 수치로 나타났으며, 중부지역(1.34), 서부지역(4.03)의 순서로 계측되었다. 특히 경제적 조건이 가장 낙후된 서부지역의 통합오염원단위지수가 동부지역과 큰 격차를 보이고 있으며, 이러한 경향은 전 기간에 걸쳐 뚜렷하게 나타난다.<sup>8)</sup> 각 지역의 경제성장 및 소득수준을 감안한다면, 경제수준이 높은 지역에서 보다 환경 친화적인 생산체계를 유지하고 있다고 해석할 수 있다.

표 3 통합오염원단위지수 변화추이

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	평균
동부	1.07	1.02	0.93	1.02	1.02	0.95	0.93	0.95	0.92	0.93	0.97
중부	1.46	1.42	1.38	1.35	1.35	1.38	1.35	1.25	1.21	1.24	1.34
서부	3.98	4.18	4.26	4.10	4.34	4.07	3.90	3.74	3.83	3.88	4.03
전체	2.28	2.33	2.32	2.28	2.37	2.25	2.17	2.09	2.10	2.14	2.23

다음으로 <표 4>는 각 성의 통합오염원단위지수, 산출물 및 오염물 수량지수, 각 오염물의 산출단위당 배출량을 나타낸 것이다. 앞서 언급한 바와 같이, 통합오염원단위는 산출물 수량지수  $Q_y$ 와 오염물 수량지수  $Q_b$ 의 비율로 정의되며, 개별 오염물의 원단위지수는 각각의 오염 배출량을 실질GDP로 나누어 구한 값이다.<sup>9)</sup> 두 수량지수는 전반적으로 정비례적 관계를 보이며, 이는 생산과 오염배출의 물리적 관계에 기인한다고 볼 수 있다.

7) 29개 성의 연도별 통합오염원단위는 <부록 1>에 제시하였다.

8) 본 연구에서 적용한 분석방법은 기본적으로 횡단면을 기준으로 효율성 수치를 계측하게 된다. 따라서 시계열적으로 효율의 변화를 직접적으로 분석하는 것은 불가능하며, 본 연구에서는 지역별 특정시기의 효율비교에 집중한다.

9) 개별 오염원단위의 지역별 시계열적 변화는 <부록 2>과 <부록 3>에 제시하였다.

표 4 통합오염원단위와 개별 오염원단위의 비교(1998~2007년)

(단위: 톤/만 위안)

지역		<i>IPI</i>	<i>Q<sub>v</sub></i>	<i>Q<sub>b</sub></i>	CO <sub>2</sub> /GDP	SO <sub>x</sub> /GDP
동부	북경	1.32	0.76	1.04	5.47	0.11
	천진	1.85	0.51	0.98	5.76	0.19
	하북	1.36	1.53	1.95	7.74	0.33
	요녕	1.30	1.41	1.78	7.41	0.25
	절강	0.54	1.89	1.04	4.10	0.14
	복건	0.81	1.13	0.96	3.17	0.09
	산둥	0.94	2.79	2.02	4.37	0.25
	광둥	0.55	3.00	1.81	3.19	0.12
	상해	0.75	1.33	1.00	4.18	0.13
	강소	0.35	2.82	1.00	3.60	0.16
중부	안휘	0.99	0.99	0.99	5.08	0.17
	강서	0.80	0.65	0.50	4.03	0.23
	하남	1.14	1.45	1.69	6.35	0.28
	호북	1.00	1.24	1.21	5.31	0.18
	호남	1.01	1.00	1.05	5.24	0.29
	길림	1.48	0.58	0.80	7.06	0.19
	흑룡강	1.87	0.77	1.39	7.93	0.17
	산서	2.54	0.56	1.46	14.03	0.87
서부 평균	내몽골	2.04	0.47	1.04	11.25	0.76
	광서	1.47	0.73	1.19	4.26	0.40
	중경	3.44	0.44	1.80	5.80	0.66
	사천	0.95	1.60	1.49	4.77	0.27
	귀주	4.31	0.30	2.06	14.82	1.81
	운남	1.26	0.56	0.70	6.90	0.27
	섬서	1.68	0.53	0.89	6.48	0.51
	감숙	1.78	0.30	0.56	10.11	0.51
	칭해	12.36	0.08	0.89	12.87	0.26
	녕하	12.12	0.08	0.87	15.84	0.11
	신강	2.73	0.35	0.75	10.44	0.39
	동부	0.98	1.72	1.36	4.75	0.16
	중부	1.35	0.91	1.13	6.88	0.30
	서부	4.01	0.49	1.11	9.41	0.64
전체		2.23	1.03	1.20	7.03	0.37

통합오염원단위지수를 기준으로 가장 환경 효율적인 성은 강소(0.34), 절강(0.54), 광둥(0.55), 상해(0.75)이며, 모두 동부에 위치하고 매우 부유한 지역이라는 특징을 보인다. 먼저 강소성은 해외자본의 전략적 유치와 하이테크산업 육성을 중심으로 발전한 지역이며,  $Q_y(2.82)$ 는 높은 반면  $Q_b(1.00)$ 는 상대적으로 낮은 수치를 보인다. 유사한 경향을 보이는 지역으로는 절강성( $Q_y=1.89$ ,  $Q_b=1.04$ )이 있으며, 이는 상대적으로 오염배출이 적은 소자본 유통업과 경공업 중심의 산업구조에 기인한 것으로 예상된다. 반면 광둥( $Q_y=3.00$ ,  $Q_b=1.81$ )과 산둥( $Q_y=2.79$ ,  $Q_b=2.02$ )은  $Q_y$ ,  $Q_b$ 가 모두 높은 값을 보이는데,  $Q_y$ 값이 상대적으로 더 크기 때문에 통합오염원단위지수가 낮게 나타난 지역이라는 특징이 있다. 산둥성은 석유화학공업 및 생산기계공업 등 오염과다 배출산업의 비중이 높고, 광둥성은 노동 집약적 제조업 발달과 과도한 인구집중이 그 원인이라 판단된다. 다음으로 중부지역의 산서(2.54), 흑룡강(1.87)은 모두 높은  $Q_b$ 값으로 인해 환경성과가 부진한 지역으로 계측되었으며, 이는 광업, 화학제품생산과 같이 환경부담이 큰 산업 중심의 경제개발이 요인으로 예상할 수 있다. 마지막으로 서부지역은 전반적으로 낮은  $Q_y$ 가 통합오염원단위를 상승시키는 주요인이며, 대부분 경제적 인프라의 낙후와 과거 에너지산업중심 경제구조를 유지하고 있는 경향을 보인다. 특히 청해, 념하, 귀주의  $Q_y$ 가 각각 0.08, 0.08, 0.30으로 매우 낮게 계측되었으며, 현재까지도 산업화 진행이 더딘 지역이라는 특징이 있다. 한편, 2001년 이후 정부의 서부대개발정책으로 가장 많은 혜택을 받은 사천성은 다른 지역에 비해 높은  $Q_y(1.60)$ 를 보여주고 있으며, 그 결과 서부 내륙지역에서 가장 환경성과가 우수한 지역으로 나타났다.

본 연구에서는 급격한 경제성장에 따른 중국의 환경성과를 통합오염원단위지수를 통하여 추정하고, 그 변화요인을 분석하기 위해 다음의 균형패널(balanced panel) 회귀 분석을 추가적으로 실시한다. 다음의 아래첨자  $i$ 는 지역(성),  $t$ 는 연도를 나타내며,  $\mu$ 는 확률적 오차항을 의미한다. 회귀모형의 추정방식은 패널데이터에 나타나기 쉬운 패널 간 이분산 및 자기상관의 가능성을 고려하기 위해 유연한 일반화최소제곱법(feasible generalized least square: FGLS)을 적용한다. 이분산은 우도비 검정(LR Test)을 통해 이루어지며, 자기상관은 Wooldridge's test에 따른다.<sup>10)</sup>

$$IPI_{it} = \beta_0 + \beta_1 GDPper_{it} + \beta_2 GDPper_{it}^2 + \beta_3 ManSh_{it} + \beta_4 Envper_{it} + \beta_5 FDI_{it} + \mu_{it} \quad (11)$$

10) 실제 추정에서는 시계열별 고정효과(time-specific fixed effect)를 위한 시간더미변수를 추가하였다.

먼저 1인당 총생산(*GDPper*)은 환경성과에 미치는 소득수준의 영향을 보여주는 대표적인 변수이며, 본 연구에서는 통합오염원단위와의 비선형 관계를 추정하기 위해 제곱항( $GDPper^2$ )과 함께 포함하였다. 다음으로 제조업 비중(*ManSh*)은 산업 구조적 특성을 조절하기 위한 변수이며, 총 생산량 대비 제조업 생산량의 비율로 정의한다. 1인당 환경보호투자(*Envper*)는 오염배출량 억제를 위한 중국정부의 자본투자를 의미하며, 환경소득탄력성의 증가를 통한 환경규제강도의 대리변수로 사용한다. 마지막으로 해외직접투자의 최대 수혜국으로 평가받는 중국에서 외국인분유입에 따른 통합오염원단위변화를 추정하기 위해 해외직접투자유입(*FDI*)을 설명변수로 포함하였다. 실증분석과 관련된 1998~2007년 중국 29개 성별 통계자료의 정의 및 기초통계량은 <표 5>와 같다.

표 5 패널회귀변수의 정의 및 기초통계량

변수	정의	지역	평균	최대	최소	표준편차
<i>GDPper</i>	1인당 총생산(위안)	동부	12301.0	18969.8	7876.3	3581.76
		중부	5251.6	8368.0	3339.0	1607.83
		서부	4403.3	7011.1	2824.4	1350.38
<i>ManSh</i>	제조업 비중(%)	동부	0.43	0.47	0.40	0.03
		중부	0.40	0.46	0.36	0.03
		서부	0.35	0.41	0.31	0.03
<i>Envper</i>	1인당 환경보호투자	동부	10.03	21.82	2.59	6.02
		중부	4.50	9.79	1.00	2.96
		서부	4.94	12.19	1.22	3.60
<i>FDI</i>	해외직접투자유입 (억 위안)	동부	4634.9	6550.4	3201.8	1170.16
		중부	665.4	1034.8	412.0	211.87
		서부	334.2	499.4	238.8	86.50

<표 6>은 1998~2007년 통합오염원단위지수의 결정요인을 분석한 결과이다. 모형 1~2는 전체 29개 성을 대상으로 한 결과이며, 모형3~4와 모형5~6은 각각 동부와 중·서부 지역을 구분하여 분석한 결과이다.<sup>11)</sup> 각 지역별로 1인당 총생산과 통합오염원단위지수의 비선형 관계를 추정하고, 나아가 환경쿠즈네츠곡선의 형성 여부를 확인하기 위해 1인당 총생산의 제곱항을 포함하였다.

먼저 1인당 총생산과 통합오염원단위의 선형관계를 분석한 모형1의 결과, 변수

11) 전체 데이터를 기준으로 동부·중부·서부지역 더미변수를 추가하여 추정한 결과, 각 더미변수는 강한 통계적 유의성을 보인 반면, 1인당 소득수준변수는 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 이는 중국 각 지역별 경제성장경로의 상이함을 의미하는 것으로 판단할 수 있다.

*GDPper*는 계수 값이 음(-)으로 추정되었으며, 유의수준 1%에서 강한 통계적 유의성을 보인다. 이는 소득수준이 증가에 따라 중국의 환경성과가 개선되고 있으며, 보다 환경 친화적인 생산구조로 전환되어 간다는 것을 의미한다.<sup>12)</sup> 앞서 통합오염원단위 지수의 지역별 비교에서 상대적으로 경제성장이 빠르고 소득수준이 높은 동부지역의 환경성과가 중·서부지역에 비해 우수하게 나타난 결과를 반영한 것으로 예상할 수 있다. 다음으로 각 지역의 산업구조적 특성을 포함하기 위한 변수 *ManSh*는 통합오염원단위 지수와 음(-)의 관계를 보이며, 유의수준 1%에서 강한 통계적 유의성을 보인다. 일반적으로 제조업 비중의 증가는 오염 배출량의 증가로 이어지고 결과적으로 환경을 파괴하는 방향으로 작용한다. 그러나 <표 5>의 기초통계량에서 확인할 수 있듯이, 통합오염원단위 지수가 낮은 동부지역의 제조업 비중이 중·서부지역에 비해 더 높으며, 이는 적극적인 대외개방과 해외자본유입에 따른 기술진보가 과거 에너지 과다소비형태의 생산구조를 환경 친화적으로 개선시키는 효과를 작용한 것으로 예상할 수 있다. 또한 중국의 경우 급속한 공업화가 동부해안지역을 중심으로 진행되었으며, 경제성장의 원동력으로 작용하였다. 그 결과 동부지역에 나타난 급격한 산출물 수량지수의 성장에 비해 오염물 수량지수의 증가폭이 상대적으로 작게 나타난 현실을 반영한 측면이 있다.

표 6 추정결과

	전체		동부		중·서부	
	모형1	모형2	모형3	모형4	모형5	모형6
<i>GDPper</i>	-8.77E-05*** (-4.83)	-1.87E-04*** (-2.92)	-7.09E+06 (-1.35)	-2.93E-05** (-2.06)	-2.42E-04** (-2.25)	-7.14E-04 (-1.48)
<i>GDPper</i> <sup>2</sup>	-	4.54E-09*** (2.36)	-	5.45E-10* (1.68)	-	3.55E-08 (1.26)
<i>ManSh</i>	-1.18E+00*** (-2.76)	-1.41E+00 (-1.25)	-1.51E+00*** (-4.01)	-1.65E+00*** (-4.54)	-6.51E-01 (-0.62)	-1.27E+00 (-0.62)
<i>Envper</i>	3.35E-04 (0.17)	-5.96E-03 (-0.91)	2.11E-03 (0.89)	3.30E-03 (1.33)	-2.10E-03 (-0.31)	-3.36E-02** (-2.53)
<i>FDI</i>	-8.35E-05*** (-5.72)	-1.08E-04*** (-2.36)	-4.27E-05*** (-3.87)	-4.16E-05*** (-3.62)	-1.39E-03*** (-3.84)	-2.93E-03*** (-5.11)
<i>Cons.</i>	3.58E+00*** -11.89	4.19E+00*** -5.3	2.07E+00*** -12.66	2.28E+00*** -12.67	5.38E+00*** -5.84	9.19E-00*** -4.25
Wald Test	158.76***	36.19***	159.67***	232.89***	28.59***	52.22***
Turning Point	-	20,595	-	26,881	-	10,049
LR Test	946.84***	-935.67	102.46***	104.80***	580.09***	-585.94

12) 모형1의 경우, 패널 간 이분상관과 자기상관의 검정결과가 각각 유의수준 1%에서 강한 통계적 유의성을 보이고 있으며 이를 고려한 추정결과를 제시하였다. 이후의 추정결과들도 이분상 및 자기상관의 검정결과에 따른다.

표 6 추정결과 (계속)

	전체		동부		중·서부	
	모형1	모형2	모형3	모형4	모형5	모형6
Wooldridge Test	42.683***	43.106***	12.871***	12.112***	43.755***	43.937***
Number of Obs.	290		100		190	

주: \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 통계적으로 유의함.  
( )의 숫자는  $t$ -통계량을 의미함.

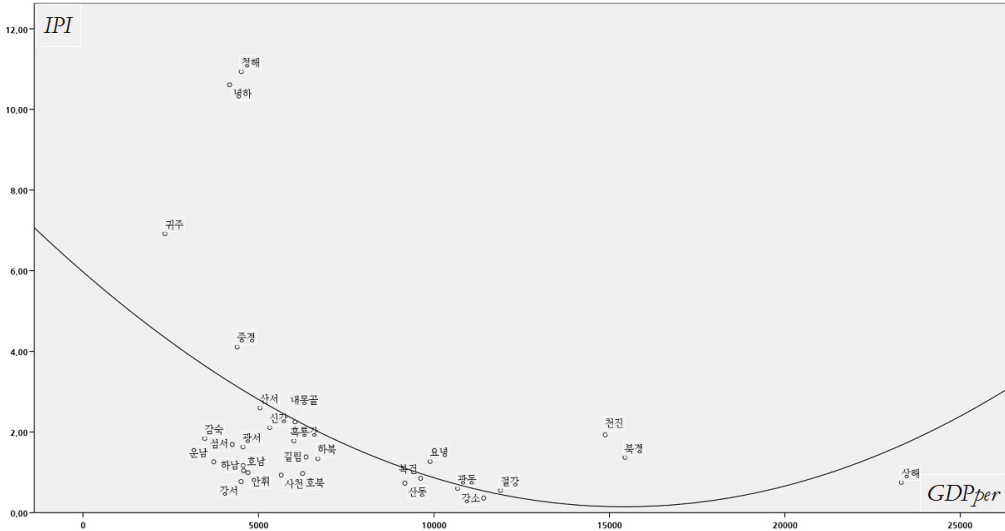
마지막으로 변수 *FDI*는 계수 값이 음(-)으로 추정되었으며, 유의수준 1%에서 강한 통계적 유의성을 나타냈다. 중국과 같은 개발도상국의 경우, 상대적으로 낮은 수준의 환경규제가 다국적 기업의 자본투자를 유도하고, 결과적으로 지속적인 환경파괴를 유발할 가능성에 대한 우려가 높았다. 그러나 본 연구의 실증결과는 해외자본의 유입이 통합오염원단위지수를 낮추는 방향으로 작용하고 있으며, 청정기술의 보급 및 적용, 경제수준의 증대에 따른 환경수요 증가 등을 그 원인으로 예상할 수 있다. 이러한 경향은 본 연구의 지역별 분석에서도 일관된 결과를 보인다. 한편 환경규제강도의 대리변수로 포함된 *Envper*는 통합오염원단위지수와 통계적으로 유의적이지 않았으며, 이러한 경향은 다른 모형의 분석결과에서도 유사하게 나타난다.

모형2는 통합오염원단위지수와 1인당 총생산의 비선형 관계를 추정한 분석결과이다. 가장 흥미로운 결과는 1인당 총생산이 통합오염원단위지수와 U-형태의 비선형관계를 보여주고 있으며, 1, 2차항이 각각 유의수준 1%에서 강한 통계적 유의성을 보인다. 즉 소득수준이 약 20,000위안에 이르기까지는 환경성고가 개선되지만 이를 넘어서면 통합오염원단위가 다시 상승하는 형태를 보인다. 이는 일반적으로 오염배출량과 소득수준의 관계가 역-U형태를 가진다는 환경쿠즈네츠곡선과는 상반되는 결과이다.<sup>13)</sup>

보다 엄밀한 분석을 위해 <그림 1>에서는 통합오염원단위지수와 1인당 총생산의 비선형 회귀 추정선과 각 성의 위치를 표현하였다. 전반적으로 소득수준의 상승에 따른 통합오염원단위지수의 하락추세가 뚜렷하고, 변곡점의 위치가 상당히 높은 수준임을 확인할 수 있다. 따라서 실증결과에서 나타난 U-형태의 비선형 곡선은 북경, 천진과 같은 소수 특정 대도시의 통합오염원단위가 다소 높게 계측되었기 때문에 나타난 합수적 현상으로 판단된다.<sup>14)</sup>

13) SO<sub>x</sub>의 단위오염원단위지수를 종속변수로 추정할 경우에도 변곡점이 20,594위안에 위치하는 U-형태의 곡선이 도출되었다.

그림 1 1인당 총생산과 통합오염원단위지수



다음으로 본 연구에서는 보다 유의적인 결과를 도출하기 위해 표본을 동부지역과 중·서부지역으로 구분하여 분석을 시도하였으며, 그 결과는 모형3~6에 제시하였다. 경제성장의 지역적 격차가 매우 큰 중국의 경우, 두 지역 사이에는 경제성장의 동력 및 산업 특성이 상이할 뿐 아니라 환경문제에 대한 문제인식도 근본적으로 차이를 보일 것으로 예상할 수 있다. 따라서 대상 표본을 나누어 관련변수들의 통계적 유의성과 관련성의 차이를 분석해 보았다.

먼저 동부지역을 대상으로 분석한 모형3~4에서, 1인당 총생산은 통합오염원단위지수와 U-형태의 비선형관계가 더욱 적합하며, 1, 2차항이 각각 유의수준 5%와 10%에서 통계적 유의성을 보인다. 이는 앞선 모형2의 결과와 매우 유사하며, 역시 천진과 북경과 같은 특정 대도시의 영향이 작용한 결과로 해석할 수 있다. 다음으로 제조업 비중 *Mansh*는 모형3~4에서 모두 음(-)의 계수 값을 가지며, 통계적으로도 강한 유의성을 보인다. 이러한 경향은 전체를 대상으로 한 분석결과보다 동부지역만을 고려한 모형3~4에서 더욱 뚜렷하게 나타나며, 제조업 중심의 성장전략을 통한 산출물 수량지수의 상대적 증가가 동부지역에서 더욱 강하게 나타난 결과로 예상할 수 있다.

14) <그림 1>에서 확인할 수 있듯이, 실제 변곡점 수준의 소득을 달성한 지역은 상해가 유일하다. 그리고 청해, 닝하와 같은 이상점 성향의 지역을 제외해도 본 논문의 추정결과와 유사한 U-형태의 비선형 관계를 도출하였다.

상대적으로 경제적 낙후지역인 중·서부지역을 대상으로 분석한 모형5~6에서는 1인당 총생산과 통합오염원단위지수가 음(-)의 선형관계가 더욱 적합하였으며, 계수 값은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하다. 중·서부지역에서도 소득수준의 증가에 따른 환경성과의 개선을 확인할 수 있었으며, 경제성장에 따른 산출물 수량지수의 개선이 필요하다는 것을 확인할 수 있다. 한 가지 흥미로운 점은 앞서 종속변수와 강한 음(-)의 관계를 보인 변수 *Mansh*가 모형5~6에서는 통계적으로 유의하지 않다는 것이다. 이는 중국 제조업의 성장이 대외개방 및 선진기술의 보급과 관련이 깊고 주로 동부지역으로 그 혜택이 우선되었기 때문이라고 해석할 수 있다.

#### IV. 결론

본 연구는 1998~2007년 동안 중국 29개 성의 산출물 수량지수와 오염물 수량지수를 활용한 통합오염원단위지수를 제시하고, 소득수준 및 기타변수와의 관계 분석을 시도하였다. 통합오염원단위지수는 개별 오염물질을 대상으로 하는 단위 오염원단위의 단점을 보완할 수 있으며, 다양한 환경지표를 통합한 종합적 환경지수로의 역할이 가능한 장점을 가진다.

지역별 총생산, 자본·노동스톡, 오염물(CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>)을 활용한 통합오염원단위지수의 계측결과, 상대적으로 급격한 경제성장을 경험하고 있는 동부지역의 수치가 중·서부지역에 비해 크게 낮은 수준을 보였고, 분석기간 전체에 걸쳐 이러한 경향은 뚜렷하게 나타났다. 전체 평균치를 기준으로 보았을 때, 동부지역의 통합오염원단위지수가 0.98, 중부와 서부는 각각 1.35와 4.01로 나타나 특히 서부지역 오염원단위의 개선 필요성이 커지는 특징을 보였다. 특히 국지적 오염물질의 특징을 가지는 SO<sub>x</sub>의 오염원단위 격차가 지역별로 상대적으로 크게 나타났고, 이는 생산기술의 개선 및 환경규제의 법적 실효성 등의 개선이 필요하다는 것을 의미한다.

본 연구는 소득수준 및 기타변수들이 통합오염원단위지수에 미치는 영향을 분석하기 위해 균형패널 회귀분석을 시도하였다. 설명변수로는 소득수준을 나타내는 대표적 변수인 1인당 총생산, 제조업 비중, 1인당 환경보호투자, 해외직접투자유입을 사용하였으며, 전반적으로 통계적 유의성이 높은 결과를 얻을 수 있었다. 중국 29개 성을 모두 포함한 전체 회귀분석결과, 소득수준의 증가에 따라 통합오염원단위의 하락경향이



뚜렷하게 나타났으며 이는 규모 확대에 의한 환경부담이 지속적으로 감소하고 있음을 의미한다. 다음으로 경제성장단계의 차이에 따른 변화를 추정하기 위해 지역별로 구분(동부와 중·서부)하여 회귀분석한 결과, 동부지역은 전체를 대상으로 분석한 결과와 매우 유사하였으며, 중국 전체의 추정결과를 결정하는 주요인으로 확인되었다.

한편 선진국의 엄격한 환경규제비용을 피하기 위한 목적으로 유입되는 해외자본의 가능성을 분석하기 위해 포함된 해외직접투자의 유입변수의 경우, 오염피난처가설의 우려와는 달리 해외자본의 유입과 통합오염원단위는 강한 음(-)의 관계를 보였으며, 이는 선진기술의 도입, 소득 상승에 따른 환경수요의 증가에 따른 결과로 예상할 수 있다. 마지막으로 환경보호 노력을 표현하기 위해 포함된 1인당 환경보호투자는 대부분의 분석결과에서 통계적 유의성을 보여주지 못하였으며, 중국정부의 비정기적인 환경보호투자로 인해 환경성과를 효율적으로 개선하지 못하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 본 연구는 통합오염원단위지수의 계측과 그 변화요인의 정량적 분석을 시도한 점에서 의의가 있으나, 수집 가능한 오염물 통계자료가 미흡하여 2가지 대기오염물질로 통합오염원단위지수를 추정한 한계가 있다. 또한 1998년부터의 비교적 짧은 시계열 데이터(10년)는 환경쿠즈네츠 및 오염피난처가설과 관련한 변수의 장기적 변화를 명확하게 규정하지 못할 가능성이 존재한다.

## 참고문헌

- 강상목, 정영근, 조주현. 2005. “통합오염원단위 지수를 이용한 환경성과 측정”. 『자원·환경경제연구』14(1): 135-166.
- 胡鞍钢·郑京海·高宇宁·张宁·许海萍. 2008. “考虑环境因素的省级技术效率排名(1999-2005)”. 『经济学』7(3): 934-958.
- Callens, I. and D. Tyteca. 1999. “Towards Indicators of Sustainable Development for Firms: A Productive Efficiency Perspective”. *Ecological Economics*, 28: 41-53.
- Färe, R., S. Grosskopf and F. Hernandez-Sancho. 2004. “Environmental Performance: an Index Number Approach”. *Resource and Energy Economics*, 26: 343-352.
- Fisher, I. 1922. “The Making of Index Numbers”. Houghton Mifflin. Boston.
- Grossman, G. and A. Krueger. 1991. *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. MIT press, Cambridge, MA.
- Grossman, G. and A. Krueger. 1993. “Economic Growth and Environment”. *Quarterly Journal of Economics*, 110: 353-377.
- Zhou, P., B. W. Ang, and K. L. Poh. 2006. “Slacks-Based Efficiency Measures for Modeling Environmental Performance”. *Ecological Economics*, 60: 111-118.
- Tyteca, D. 1997. “Linear Programming Models for the Measurement of Environmental Performance of Firms Concepts and Empirical Results”. *Journal of Productivity Analysis*, 8: 183-198.
- Vaninsky, Y. A. 2009. “Environmental Performance of the United States Energy Sector: A DEA Model with Non-Discretionary Factors and Perfect Object”. *Engineering and Technology*, 54: 139-144.
- Young, A. 1995. “The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience”. *Quarterly Journal of Economics*, 110: 641-680.
- Zaim, O. 2004. “Measuring Environmental Performance of State Manufacturing Through Changes in Pollution Intensities: a DEA Framework”. *Ecological Economics*, 48: 37-47.
- Zaim, O., R. Färe, and S. Grosskopf. 2001. “An Economic Approach to Achievement and Improvement Indexes”. *Social Indicator Research*, 56: 91-118.
- 중국국가통계국: <http://www.stats.gov.cn>
- World Bank. World Development Indicator. 2006. CD-ROM.

부록 1 통합오염원단위지수(1998~2007년)

지역	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	평균	
동부	북경	1.32	1.33	1.31	1.29	1.29	1.31	1.32	1.32	1.33	1.34	1.32
	천진	2.07	1.73	1.53	1.82	1.91	1.94	1.88	1.88	1.87	1.85	1.85
	허베이	1.30	1.32	1.34	1.32	1.32	1.31	1.69	1.71	1.66	1.29	1.36
	요녕	1.22	1.29	1.32	1.33	1.33	1.33	1.37	1.34	1.24	1.25	1.30
	절강	0.52	0.55	0.54	0.54	0.53	0.52	0.65	0.52	0.52	0.51	0.54
	북건	0.86	0.94	1.01	0.99	0.97	0.89	0.71	0.78	0.73	0.76	0.81
	산둥	0.91	1.16	0.97	0.81	0.82	0.88	0.82	0.93	0.91	0.9	0.94
	광둥	0.34	0.34	0.56	0.55	0.56	0.54	0.53	0.52	0.72	0.66	0.55
	상해	0.75	0.76	0.75	0.74	0.74	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	0.75
	강소	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.35
중부	안휘	0.89	1.30	1.28	1.14	0.97	1.00	1.06	0.77	0.76	0.76	0.99
	강서	0.66	0.71	0.73	0.73	0.74	0.86	0.82	0.92	0.90	0.92	0.80
	허난	0.97	1.08	1.10	1.10	1.12	1.09	1.26	1.25	1.20	1.22	1.14
	허북	0.85	0.99	0.95	0.86	0.99	0.93	1.03	1.18	1.11	1.10	1.00
	허남	0.94	0.90	0.88	0.96	0.97	1.08	1.15	1.11	1.07	1.03	1.01
	길림	1.36	1.27	1.18	1.20	1.44	1.56	1.46	1.54	1.46	1.49	1.48
	흑룡강	2.29	2.25	2.14	2.03	1.98	1.66	1.69	1.59	1.55	1.48	1.87
	산서	2.67	2.76	2.79	2.70	2.66	2.58	2.42	2.38	2.30	2.16	2.54
서부	내몽골	2.04	2.14	2.11	2.18	2.24	2.24	1.93	1.93	1.84	1.77	2.04
	광서	1.02	0.79	0.98	0.95	0.95	1.21	1.34	1.4	1.44	1.45	1.47
	중경	3.62	3.83	3.79	3.69	3.72	3.76	3.61	3.62	3.49	3.26	3.44
	사천	1.14	0.86	0.91	0.91	0.93	1.01	1.18	0.88	0.84	0.84	0.95
	귀주	3.87	3.45	3.54	3.62	3.71	4.50	4.16	3.82	3.82	3.78	4.31
	운남	1.21	1.18	1.11	1.16	1.22	1.19	1.37	1.40	1.37	1.39	1.26
	섬서	1.67	1.57	1.52	1.45	1.47	1.35	1.52	1.70	1.64	1.66	1.68
	감숙	1.82	1.98	1.97	1.95	1.89	1.83	1.86	1.62	1.52	1.39	1.78
	칭해	12.16	12.48	12.56	12.27	12.07	12.11	12.35	12.35	12.52	12.73	12.36
	닝하	11.82	12.07	12.05	11.98	12.02	11.97	12.48	12.48	11.60	12.78	12.12
	신강	2.59	2.68	2.72	2.75	2.81	2.84	2.96	2.96	1.93	3.09	2.73
평균	동부	0.97	0.98	0.97	0.97	0.98	0.98	1.01	1.01	1.01	0.97	0.98
	중부	1.33	1.41	1.38	1.34	1.36	1.35	1.36	1.34	1.29	1.27	1.35
	서부	3.91	3.91	3.93	3.90	3.91	4.00	4.07	4.01	3.82	4.01	4.01
	전체	2.18	2.21	2.21	2.19	2.20	2.23	2.27	2.24	2.15	2.21	2.23

부록 2 산출단위당 오염배출량(1998~2007)

(단위: 톤/위안, kg/위안)

지역	1998		1999		2000		2001		2002		
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	
동부	북경	7.02	22.90	6.53	15.89	6.24	13.74	5.73	11.08	5.44	9.59
	천진	7.25	27.11	6.72	25.98	6.64	31.92	6.19	23.15	5.70	18.03
	허베이	8.38	50.40	7.81	43.65	7.38	39.73	6.88	35.65	6.79	32.28
	요녕	8.44	38.42	8.25	33.55	8.69	30.64	7.89	25.29	7.12	21.69
	절강	4.32	20.08	4.14	17.99	4.10	15.09	4.11	13.64	4.17	12.78
	복건	3.11	8.10	3.04	8.50	2.95	9.18	2.91	7.49	3.01	6.54
	산둥	4.63	47.27	4.22	34.76	3.47	30.88	3.82	26.90	3.80	23.67
	광둥	3.12	13.12	2.97	12.27	3.12	14.41	2.92	14.14	2.90	12.71
	상해	4.84	20.88	4.67	15.63	4.49	16.27	4.27	15.02	4.06	12.80
	강소	4.12	25.95	3.77	18.40	3.59	20.40	3.36	17.69	3.26	15.46
중부	안휘	5.99	22.66	5.67	20.28	5.53	18.07	5.41	16.71	5.18	15.34
	강서	4.18	25.53	4.08	22.10	3.93	23.26	3.79	20.25	3.82	17.55
	허난	6.54	37.90	6.34	29.72	6.22	28.02	5.93	26.28	5.95	25.07
	허북	5.92	24.55	5.58	22.05	5.52	20.44	5.10	18.06	5.20	16.52
	호남	5.66	38.33	4.92	37.19	4.50	34.76	4.69	31.45	4.67	28.14
	길림	8.34	26.58	7.85	25.43	6.87	22.66	6.62	19.22	6.85	17.55
	흑룡강	11.28	20.58	10.02	18.77	8.21	17.50	7.73	15.76	7.46	14.05
	산서	15.63	136.63	15.24	113.48	14.63	102.07	13.41	93.96	13.96	84.12
	내몽골	11.13	95.90	10.92	84.46	10.78	74.00	11.13	65.74	11.57	66.36
서부	광서	4.32	50.98	4.10	39.40	4.13	52.27	4.14	40.54	3.86	35.95
	중경	6.36	83.11	6.35	106.82	5.99	87.82	5.81	69.30	5.48	60.92
	사천	5.54	47.03	4.95	25.71	4.65	35.50	4.45	30.17	4.43	26.84
	귀주	17.90	343.57	15.57	245.80	14.73	219.51	13.56	192.06	12.98	168.90
	윤남	7.46	32.51	6.80	28.34	6.19	30.33	6.33	26.35	6.60	24.83
	섬서	7.42	68.16	6.05	61.74	5.62	54.48	5.97	49.59	6.19	46.60
	감숙	11.61	67.45	11.64	50.72	11.05	55.04	10.29	50.53	9.25	53.29
	청해	12.55	21.65	14.74	19.84	12.93	18.78	12.09	18.33	11.67	14.92
	녕하	13.48	144.61	12.50	128.46	12.10	115.89	11.50	102.29	11.87	103.03
	신강	11.85	49.37	10.85	46.32	10.34	39.42	10.09	35.23	9.67	32.16
평균	동부	5.31	25.51	5.01	21.19	4.89	20.69	4.65	17.72	4.50	15.49
	중부	8.30	47.63	7.85	41.50	7.35	37.86	7.09	34.16	7.18	31.63
	서부	9.85	90.84	9.36	75.32	8.77	70.90	8.42	61.44	8.20	56.74
	전체	7.72	53.92	7.31	45.32	6.92	42.58	6.64	37.22	6.54	34.09

부록 2 산출단위당 오염배출량(1998~2007) (계속)

(단위: 톤/위안, kg/위안)

지역		2003		2004		2005		2006		2007		평균	
		CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>
동부	북경	5.14	8.22	4.98	7.53	4.79	6.74	4.54	5.50	4.26	4.19	5.47	10.54
	천진	5.28	17.34	5.24	13.16	5.09	13.34	4.89	11.21	4.63	9.34	5.76	19.06
	허베이	6.78	32.16	8.54	28.6	8.57	26.42	8.30	24.06	7.97	20.61	7.74	33.36
	요녕	6.78	20.19	6.99	18.08	6.99	23.19	6.61	21.43	6.35	18.34	7.41	25.08
	절강	4.18	13.11	4.15	12.70	4.09	11.89	3.94	10.43	3.78	8.44	4.10	13.61
	복건	3.03	9.23	3.02	8.86	3.68	11.23	3.55	9.95	3.43	8.21	3.17	8.73
	산둥	3.98	22.67	4.18	19.49	5.39	18.61	5.20	15.88	4.97	12.90	4.37	25.30
	광둥	2.92	12.22	2.92	11.37	3.80	11.26	3.69	9.62	3.56	7.96	3.19	11.91
	상해	3.91	11.48	3.79	10.56	4.10	10.31	3.95	9.11	3.77	7.81	4.18	12.99
	강소	3.30	15.07	3.55	13.12	3.84	12.69	3.70	10.49	3.54	8.53	3.60	15.78
중부	안휘	5.28	16.11	4.77	15.29	4.49	15.99	4.33	14.5	4.15	12.46	5.08	16.74
	강서	3.95	23.17	3.88	24.30	4.37	25.44	4.23	23.43	4.06	20.31	4.03	22.53
	허난	6.29	25.12	6.83	26.70	6.69	30.25	6.49	26.43	6.22	22.21	6.35	27.77
	허북	4.85	17.00	5.22	17.39	5.42	16.07	5.25	15.05	5.04	12.24	5.31	17.94
	허남	4.72	29.31	5.40	26.88	6.18	25.38	5.97	22.99	5.70	19.44	5.24	29.39
	길림	7.04	16.34	6.85	15.27	6.99	18.25	6.76	17.00	6.46	14.28	7.06	19.26
	흑룡강	6.89	15.81	7.34	14.83	7.03	18.10	6.81	16.46	6.54	14.63	7.93	16.65
	산서	13.56	83.24	12.43	75.00	14.24	71.36	13.96	62.23	13.22	51.04	14.03	87.31
서부	내몽골	11.19	99.45	10.28	75.28	12.22	75.09	11.92	67.48	11.37	52.98	11.25	75.67
	광서	4.01	41.72	4.52	40.33	4.62	38.61	4.50	33.02	4.35	28.11	4.26	40.09
	중경	5.25	59.81	5.41	55.30	5.95	52.22	5.78	47.82	5.65	39.74	5.80	66.29
	사천	4.88	26.05	5.04	24.22	4.72	22.10	4.63	19.24	4.42	15.50	4.77	27.24
	귀주	14.94	153.17	15.47	136.67	14.71	126.47	14.44	122.25	13.87	100.92	14.82	180.93
	운남	6.39	28.38	6.79	26.93	7.65	26.98	7.53	25.45	7.23	21.91	6.90	27.20
	섬서	6.29	50.04	7.16	47.33	6.85	47.38	6.79	44.69	6.48	36.86	6.48	50.69
	감숙	9.35	55.69	9.71	48.94	9.70	50.92	9.45	44.29	9.05	37.80	10.11	51.47
	칭해	11.49	25.11	12.43	27.45	13.57	41.00	13.78	38.31	13.48	35.08	12.87	26.05
	닝하	15.48	120.79	20.77	108.51	20.59	114.54	20.39	113.48	19.68	97.22	15.84	114.88
	신강	9.76	32.38	10.31	42.10	10.70	41.04	10.58	39.11	10.26	36.83	10.44	39.40
평균	동부	4.42	15.12	4.61	13.42	4.87	13.57	4.69	11.93	4.49	9.96	4.75	16.46
	중부	7.09	36.17	7.00	32.33	7.51	32.88	7.30	29.51	6.97	24.40	7.36	34.81
	서부	8.78	59.31	9.76	55.78	9.90	56.13	9.79	52.77	9.45	45.00	9.23	62.42
	전체	6.68	36.17	7.04	33.21	7.34	33.55	7.17	30.81	6.89	25.97	7.03	37.29