

# 제조업 전력 사용 효율성 제고를 통한 온실가스(CO<sub>2</sub>) 감축 잠재량 추정에 관한 연구

민동기

A Study on the CO<sub>2</sub> Reduction Potential by Means of Increased  
Efficiency of the Electricity

Dong-Ki Min

건국대학교 경제학과(Dept. of Economics, Konkuk University)

제 출 : 2010년 8월 6일

수 정 : 2010년 8월 27일

승 인 : 2010년 8월 30일

## 국 문 요 약

본 연구에서는 생산 기술적 측면에서 개별 사업체의 투입요소 효율성을 제고함에 따라 절약할 수 있는 전력 사용량 및 이에 따른 온실가스 감축 잠재량을 추정하였다. 이를 위하여 자료포락분석기법(DEA)을 이용하여 제조업체의 투입요소 기술적 효율성을 추정하고 이를 토대로 온실가스 저감량을 추정하였다. 2008년도 제조업체 평균 기술적 효율성은 규모에 대한 보수>Returns to Scale) 가정에 따라 0.467-0.643으로 추정되었다. 이를 토대로 제조업의 전력 사용 효율성을 개선함에 따른 온실가스 절감가능량은 전력 사용에 따라 발생하는 총 온실가스 발생량의 17.1-25.5%에 해당하는 양으로 추정되었다. 우리 정부가 2020년까지 온실가스를 BAU 대비 30% 가량 감축하기로 발표하였는데 본 연구에서처럼 제조업체 투입요소의 기술적 효율성을 제고함으로써 이러한 정부 정책 실현을 가시화할 수 있을 것이다.

주제어 온실가스 감축 잠재량, 자료포락분석, 기술적 효율성, 전력

## Abstract

This paper estimate the CO<sub>2</sub> reduction potential that can be achieved by improving the technical efficiency of input factors in the manufacturing sector. Technical efficiency in each manufacturing firm was estimated using the DEA technique. Depending on the returns-to-scale assumption selected, average technical efficiency was estimated to be between 0.467 and 0.643. These estimates suggest that, when the efficiency of electricity consumption in the manufacturing sector is improved, the overall CO<sub>2</sub> emissions can be reduced by 17.1-25.5%. Recently, the Korean government has adopted a low-carbon-green-growth policy with the goal of reducing greenhouse gas emissions by 30% below

the BAU level by year 2020. The analysis of the paper suggests that this goal can be achieved through improved efficiency of electricity consumption.

■ **Keywords** ■ CO<sub>2</sub> Reduction Potential, DEA, Technical Efficiency, Electricity

---

## I. 서 론

우리나라는 급격한 경제성장을 하면서 에너지 다소비형 산업구조를 가지게 되어 생산 단위당 에너지 소비량 비율이 다른 나라에 비하여 매우 높다. 에너지 다소비형 산업구조와 대부분의 에너지 자원을 수입에 의존하는 경제구조에서 국제유가의 급격한 상승은 생산원가의 상승으로 이어져 심각한 수준의 인플레이션에 직면하는 등 경제에 악영향을 주게 된다. 2008년도 상반기에 국제유가(두바이유 기준)가 전년 대비 약 50% 이상 상승한 경우와 같이 세계경제가 작금의 위기를 극복하게 되면 원활한 공급량 확대가 불가능한 상황 속에서 급격한 유가상승은 불가피해 보인다. 따라서 민간부문에서는 자원확보를 위한 투자에 적극적일 뿐 아니라 정부도 에너지 안보를 정책결정의 최우선 고려사항으로 채택하여 중장기 에너지 전략을 수립하고 있다.

이에 더하여 에너지 사용량 절감의 필요성은 지속적 성장에 대한 위협 요인으로 인식되는 기후변화 문제를 해결하기 위해서도 절실히 요구되고 있다. 기후변화 문제가 세계적으로 심각한 이슈로 제기되자 세계 각국은 기후변화를 세계 경제성장의 중요한 변수로 인식하여 기후변화 문제를 해결하기 위한 다양한 형태의 대응책을 적극적으로 마련하고 있다. 1997년에는 온실가스 의무 감축량을 규정한 교토의정서(Kyoto Protocol)에서 주요 선진국을 부속서 I(Annex I)국가로 선정하여 2008년부터 2012년까지 5년 동안 1990년 대비 온실가스 배출량을 연평균 5.2% 삭감하도록 의무화하였다. 이러한 온실가스 감축 논의는 UN 주도의 기후변화 대응체계 외에 미국의 주도로 전 세계 온실가스 배출량의 약 80%를 배출하고 있는 16개 주요 경제국들이 회동하여 온실가스의 효율적인 감축방안 논의가 제안되었다. 이러한 온실가스 배출량 저감의 주요 수단으로 각국은 에너지 사용량 감축에 초점을 두고 있다.

우리나라는 1997년 교토의정서의 온실가스 의무 감축국에는 포함되지 않지만 2012년 이후에는 우리나라 경제수준에 부합하는 수준의 온실가스 감축의무를 요구받고 있다. 에너지 다소비형 산업구조를 가진 우리나라의 에너지 소비량은 2006년도에 연간 226백만 TOE로

세계 10위 수준이며 전 세계 에너지 소비량의 약 2.1%를 차지하고 있다. 따라서 온실가스 감축의무는 지속적인 경제성장이 필요한 우리나라의 입장에서는 다양한 방안을 마련하여 해결해야 할 당면과제이다. 이를 위하여 우리나라는 저탄소 녹색성장을 국가발전 패러다임으로 천명하고 2020년까지 에너지 소비량을 BAU(Business As Usual) 대비 30% 가량 감축하기로 발표하였다.

본 연구에서는 제조업 사업체의 투입요소 기술적 효율성 제고를 통하여 전력 사용량 감축 가능량을 추정한 후 추정된 전력 사용량 감축에 따른 온실가스 감축 잠재량을 추정하고자 한다. 다음 장에서는 사업체의 기술적 효율성을 추정하는 기존 연구와 온실가스 감축량에 관한 기존 연구를 살펴본다. III장에서는 기술적 효율성 추정 방법과 전력 사용량 감축에 따른 온실가스 저감 잠재량 추정 방법에 대하여 분석한다. IV장에서는 온실가스 배출현황 및 전력 생산을 위하여 사용한 에너지원에 대하여 살펴본다. V장에서는 2008년도 사업체 자료를 이용하여 개별 사업체의 기술적 효율성 제고에 따른 2008년도 전력 감축량을 추정하고 이를 토대로 온실가스 감축 잠재량을 추정한다. VI장에서는 연구 결과를 토대로 연구의 결론을 도출한다.

## II. 기존 연구 동향

지금까지의 온실가스 감축정책과 관련한 연구현황을 보면 경제전망, 산업구조, 에너지 사용구조 변화 및 추세 전망을 토대로 온실가스 배출량을 전망하고 이를 토대로 수요 및 공급 관리정책에 따른 온실가스 절감가능량을 추정하였다. 온실가스 감축정책은 기술적 수단(technology measures)과 정책적 수단(policy instrument)을 포함하는 모든 정책방안을 의미한다. 기술적 수단에 대한 연구는 에너지 효율성 제고 및 기술개발 등을 통한 온실가스 절감 가능성을 연구하는 것으로 주로 기술적인 측면에서 논의되고 있다. 정책적 수단에 대한 연구는 기술적 수단을 통한 온실가스 절감이 가능하도록 유도하기 위한 가격정책, 규제정책 등 간접적인 정책방안에 대한 연구들이다.

온실가스 감축정책 수단에 따른 온실가스 감축량 변화 및 경제 파급효과를 분석하는 연구방법론 중 하나로 CGE(Computable General Equilibrium Model)가 사용된다. 이 모형은 가격을 신축적으로 조정하여 재화의 수요·공급이 균형에 도달하는 신고전학파 경제이론을 가정하고 있다. 이 방법론을 이용한 연구로 기후변화협약(Kyoto Protocol)이 국내산

업구조 및 국제경쟁력 파급 효과를 분석한 임재규, 강운영(2000)이 있고 노동운, 강운영(2004)에서는 온실가스 배출저감 정책수단이 제조업의 생산성에 끼치는 영향을 연구하였다. 김용진, 장기복(2008)에서는 OECD 환경국에서 개발한 ENV-Linkages를 이용하여 국제 온실가스 배출권 거래제도의 파급효과를 분석하였다. EFOM-ENV(Energy Flow Optimization Model-Environment) 모형은 외생적으로 주어진 기술 및 경제적 조건에서 최종 에너지 수요를 최소의 비용으로 충족시키기 위한 에너지 공급 및 이용기술 최적화를 도출하는 선형계획모형이다. 에너지경제연구원(1997)에서는 이 모형을 이용하여 아시아지역에 대하여 최소비용으로 온실가스를 저감하는 전략을 연구하였다. MARKAL(Market Allocation) 모형은 EFOM-ENV와 유사한 선형계획모형(Linear Programming Model)으로 탄소세와 같은 환경규제정책 및 온실가스 배출저감을 위한 정책의 비용효과성 분석 등에서 활용된다. 노동운(2005, 2006)에서는 시멘트산업 및 정유산업의 온실가스 감축 및 에너지절약 잠재량을 본 모형을 이용하여 추정하였다.

최근 우리 정부는 온실가스 저감잠재성 분석을 부문별로 연구하고 있다. 그 주요 내용은 경제·사회적 여건 변화를 고려한 온실가스 배출전망 및 감축 시나리오 구축, 부문별 온실가스 감축 가이드라인 마련, 부문별 온실가스 감축정책 마련 등이다.

이와 같이 온실가스 저감을 위한 정책연구들은 다양하게 이루어지고 있다. 그러나 온실가스 저감을 위한 정책대상인 에너지원을 주로 유류에 초점을 두고 분석하였으며 탄소세 부과나 에너지 가격인상 등 경제정책변수들의 변화에 따른 효과를 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 그동안 연구가 많이 이루어지지 않은 생산기술적 측면에서 개별 사업체의 기술적 효율성 제고에 따른 온실가스 감축잠재량을 추정하고자 한다.

투입요소의 기술적 효율성 및 총요소 생산성(Multifactor Productivity)에 대한 연구는 Solow의 성장회계기법(Growth Accounting Technique)으로부터 시작하여 여러 형태의 연구방법론이 제시되었다. Solow의 성장회계기법에서는 투입요소시장이 완전경쟁시장이고 규모에 대한 보수불변이라는 가정을 토대로 모든 사업체들의 현재 산출량을 최적산출량으로 보고 총요소 생산성 증가율을 추정하였다. 그러나 투입요소의 비이동성(immobility)과 외부성 등으로 인하여 완전경쟁시장 가정하에서 추정된 총요소 생산성의 증가율은 왜곡될 수 있다. 따라서 완전경쟁이라는 가정없이 일부 사업체에서는 비효율적으로 생산할 수 있다는 전제 아래 생산성 및 효율성을 분석하는 연구방법론들이 제시되기 시작하였다(Min, 1997 참고).

사업체의 생산성 향상은 생산변경(production frontier)의 상향이동으로 나타나는 기술

진보(innovation)와 선진 기술을 받아들이는 등 보다 효율적인 생산으로 생산수준이 생산변경에 접근(catch-up)하도록 하는 방법으로 이루어진다. 후자의 경우를 기술적 효율성(technical efficiency) 개선으로 나타내어 이를 분석하는 대표적인 두 방법은 모수적 방법(parametric analysis)인 확률적 변경함수(stochastic frontier function)를 추정하는 방법과 비모수적 방법(non-parametric analysis)인 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)이 있다. 확률적 변경함수를 추정하는 방법에서는 기술적 비효율성 정도를 오차항으로부터 추정하는 방법으로 설명변수로 포함하지 않은 변수들에 의한 오차항과 기술적 비효율성에 의해 야기되는 오차항 등 2가지 형태로 오차항을 구분하여 기술적 비효율성을 추정한다. 비모수적 방법인 자료포락분석에서는 사업체별로 실제 관측된 투입요소량과 산출량 자료를 토대로 선형계획법(Linear Programming Method)을 이용하여 생산변경을 추정하는 방법으로 생산함수의 볼록성(Convexity) 가정만으로 생산변경을 추정할 수 있기 때문에 모수적 방법에서 나타날 수 있는 함수설정의 오류(specification error)를 피할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이러한 비모수적 방법에서는 누락변수에 의한 통계적 오차(statistical error)를 기술적 비효율성과 구분하여 추정할 수 없기 때문에 자료의 이상점(outlier)에 의하여 기술적 효율성 추정치가 왜곡될 수 있다(한광호, 2005 참고).

본 연구에서 추정하려는 제조업체의 기술적 효율성을 분석한 연구를 보면 노택선, 민충기, 염건(2000)과 Hsiao and Park(2005)은 DEA 기법을 이용하여 국가 간 총요소·생산성을 비교 분석하였으며 한광호(2001)와 강상목, 윤영득, 이명현(2005)도 산업별 총요소생산성과 기술적 효율성을 추정하였다. 민동기(2009)에서는 DEA 기법을 이용하여 공업용수라는 특정 투입요소에 초점을 둔 공업용수의 기술적 효율성을 분석하였다. 한광호(2005)에서는 DEA와 확률적 변경함수 방법 모두를 사용하여 기술적 효율성을 비교 분석하였다. 이 연구 결과를 보면 DEA를 이용한 경우에는 기술적 효율성이 0.642, 확률적 변경함수를 이용한 경우에는 0.587로 추정되었다. 박헌수, 지우석(2004)에서는 확률적 변경함수를 이용하여 기술적 효율성을 추정하였는데 제조업종별로 0.7-0.85로 추정되었다.

### Ⅲ. 연구 모형

본 연구에서는 전력사용량에 초점을 두고 현재의 기술수준에서 개별 사업체가 투입요소의 기술적 효율성을 제고하는 경우 전력수요 감축량을 추정한다. 그리고 IPCC 탄소배출계수를 이용하여 온실가스 감축 잠재량을 추정함으로써 전력사용의 효율성을 개선함에 따라 절약되는 전력사용 감축량에 의한 온실가스 저감 잠재량을 보여주고자 한다. 투입요소의 기술적 효율성 추정을 위하여 DEA 방법을 이용한다. DEA 방법에서는 모든 사업체가 효율적으로 생산한다는 가정없이 단지 규모에 대한 보수 가정을 토대로 개별 사업체의 자료를 이용하여 산출량별로 필요한 최소 투입요소량을 추정하고 이를 근거로 개별 사업장의 기술적 효율성을 추정한다. 기술적 효율성을 추정하기 위하여 사용한 방법은 Farrell Input-Saving Measure of Efficiency이다. 이 방법은 개별 사업장 자료를 토대로 생산가능 집합과 가장 효율적으로 생산하는 생산가능곡선을 추정한다. 생산가능곡선상에서 생산하는 사업장은 주어진 생산량을 생산하기 위하여 투입하는 투입요소량이 최소투입량이 되어 기술적 효율성은 1로 최대가 된다. 그리고 생산가능집합 내부에서 생산활동이 이루어지는 사업체의 기술적 효율성은 실제 투입량 대비 생산가능곡선상의 투입량으로 추정하며 그 값은 1보다 작게 된다. 이와 같은 개별 사업장의 투입요소 기술적 효율성 추정식은 아래와 같이 나타낸다. (식 1)은 규모에 대한 보수가 불변(Constant Returns to Scale)을 가정한 경우의 기술적 효율성을 추정하는 식이다. 기술적 효율성은 규모의 효율성(Scale Efficiency)과 순수 효율성(Pure Efficiency)으로 구성된다. 따라서 규모에 대한 보수 가정에 따라 나타나는 규모의 효율성을 제외한 순수효율성을 추정하기 위해서는 규모에 대한 보수 불변(CRS) 가정 대신에 규모에 대한 보수가 가변(Variable Returns to Scale)이라고 가정하여 기술적 효율성을 추정한다. 이 경우에는 규모에 대한 보수 불변을 가정할 때의 intensity variable에 대한 가정인  $z_i \geq 0$  를  $\sum_{i=1}^I z_i = 1$  ( $i = 1, \dots, I$ )로 바꾸어 기술적 효율성을 추정하게 된다.<sup>1)</sup>

$$F^i(x^i, y^i | CRS) = \min \lambda^i \tag{식 1}$$

1) Färe et al.(2000) 참고.

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^I z_i y_{im} \geq y^{im}, m = 1, \dots, M$$

$$\sum_{i=1}^I z_i x_n \leq \lambda^i x_n^i, n = 1, \dots, N,$$

$$z_i \geq 0, i = 1, \dots, I$$

$F^i$  : Technical Efficiency of Decision Making Unit  $i$   
 $m$  : types of outputs  
 $n$  : types of inputs  
 $i$  : types of Decision Making Units  
 $z_i$  : intensity variable for DMU  $i$

다음 단계로 위 식으로부터 추정된 사업장별 기술적 효율성 추정치를 이용하여 투입요소의 기술적 효율성이 성취되었을 때 절감가능한 전력 사용량을 추정한다. 그리고 온실가스 감축 잠재량 추정은 절감가능한 전력량에 IPCC 탄소배출계수(Carbon Emission Factor, CEF)에 근거하여 전력생산을 위한 국내 발전연료 비중을 토대로 에너지관리공단에서 추정한 전력의 탄소배출계수를 곱하여 추정한다. 전력 사용량 잠재 감축량과 온실가스 잠재 감축량 계산식은 아래와 같다.

$$\text{전력잠재감축량} = \text{실제 전력사용량} \times (1 - \text{기술적 효율성 지수})$$

$$\text{온실가스잠재감축량(TCO}_2\text{)} = \text{전력잠재감축량(TOE)} \times \text{탄소배출계수(TC/TOE)} \times (44/12)$$

표 1 탄소배출계수

| 연료 종류 | 탄소배출계수(TC/TOE) | 연료 종류 | 탄소배출계수(TC/TOE) |
|-------|----------------|-------|----------------|
| 원유    | 0.829          | 중유    | 0.875          |
| 휘발유   | 0.783          | 무연탄   | 1.1            |
| 경유    | 0.837          | 전기    | 1.41           |

자료: IPCC 탄소배출계수(에너지관리공단, [www.kemco.or.kr](http://www.kemco.or.kr));  
 강만욱 외(2009)에서 재인용.

#### IV. 온실가스 배출 현황

온실가스 배출 추이를 정리한 <표 2>를 보면 2005년에 약 5억 9,000만 CO<sub>2</sub>톤(TCO<sub>2</sub>)의 이산화탄소를 배출하였다. 연평균 증가율을 보면 1990년 이후 2005년까지 온실가스 배출량은 연평균 4.7%씩 증가하여 2005년도의 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 99% 증가하였다. 같은 기간에 국내총생산 증가율은 연평균 5.6%로 온실가스 배출량 증가율에 비하여 국내총생산 증가율이 높은 수준이다. 이는 에너지효율개선 및 고부가가치 산업비중 증가에 기인한 것으로 분석되었다. 따라서 국내총생산당 온실가스 배출량의 비율은 1990년 0.93에서 2005년 0.82로 약 12% 정도 감소하였다. 그러나 급속한 경제성장에 따라 1인당 온실가스 배출량은 1990년 6.94TCO<sub>2</sub>에서 연평균 3.9%씩 증가하여 2005년도에는 12.24TCO<sub>2</sub>톤으로 OECD 국가 중 14위이다(유승직, 2008 참고).

표 2 온실가스 배출 추이

|                                      | 1990    | 1995    | 2000    | 2004    | 2005    | 연평균<br>증가율(%) |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| 총배출량<br>(백만 TCO <sub>2</sub> )       | 297.5   | 451.8   | 528.5   | 587.3   | 591.1   | 4.7           |
| GDP<br>('00기준, 십억)                   | 320,696 | 467,099 | 578,665 | 693,996 | 723,127 | 5.6           |
| 1인당 배출량<br>(ton/인)                   | 6.94    | 10.02   | 11.24   | 12.21   | 12.24   | 3.9           |
| 온실가스/GDP<br>(천 TCO <sub>2</sub> /십억) | 0.93    | 0.97    | 0.91    | 0.85    | 0.82    | -0.8          |

자료: 에너지경제연구원, 유승직(2008)에서 재인용.

전력생산을 위하여 사용된 에너지원별 발전전력량을 나타낸 <표 3>를 보면 2007년도에 유연탄 37.3%, 원자력 35.5%, LNG 19.5%, 중유 4.4%를 사용하였다. 이와 같이 전력생선의 약 60%를 석탄, 석유, LNG 등의 화석연료에 의존함으로써 발전부문에서 온실가스 배출 비중이 높으며 2007년 온실가스 배출량은 국가 총배출량의 약 28%(1억 7,000만 톤)를 차지하였다.<sup>2)</sup> 원자력은 전력생선의 35%를 차지하며 온실가스 배출이 거의 없는 에너지원으로 온실가스 감축을 위한 주요 대안이지만 원자력 발전소 건설에 대한 반대가 많아 원자력 발전량 증가에 애로가 있다. 그러나 온실가스 감축을 위해서는 화석연료 사용을 줄이고 원자력 발전비중 확대가 필요하다.

2) 지식경제부 전기위원회(2010).



표 3 에너지원별 발전 전력량

(단위: Gwh)

|      | 수력    | 유연탄     | 원자력     | LNG    | 중유     | 기타     | 합계      |
|------|-------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 2007 | 5,042 | 150,204 | 142,937 | 78,427 | 17,689 | 8,826  | 403,125 |
|      | 1.3%  | 37.3%   | 35.5%   | 19.5%  | 4.4%   | 2.0%   | 100.0%  |
| 2008 | 5,561 | 168,498 | 150,958 | 75,809 | 9,701  | 11,829 | 422,356 |
|      | 1.3%  | 39.9%   | 35.7%   | 17.9%  | 2.3%   | 2.9%   | 100.0%  |

자료: 한국전력(2009).

## V. 사례 연구

본 연구에서는 전력사용의 기술적 효율성을 제고함에 따른 온실가스 잠재 감축량을 추정한다. 이를 위하여 통계청에서 발행하는 2008년도 광공업총조사 자료를 이용하였다. 분석대상 총사업체 수는 45,505개로 개별 사업체의 투입요소는 고용량, 자본액, 전력 및 중간재 투입액이고 산출은 사업체별 산출액 자료를 이용한다. 산업별 변수특성을 <표 4>에 정리하였다. 개별 사업체의 평균 고용량은 45명이고 평균 전력 사용액은 242백만 원, 평균 중간재 투입액은 20,347백만 원, 평균 자본액은 8,023백만 원이고 평균산출액은 23,078백만 원으로 집계되었다.

표 4 기초 통계량

| 변수          | 평균        | 표준편차      | 최소값 | 최대값        |
|-------------|-----------|-----------|-----|------------|
| 고용량(명)      | 45.57     | 283.43    | 10  | 26,220     |
| 전력(백만원)     | 242.13    | 3,448.85  | 5   | 385,750    |
| 중간재 투입(백만원) | 20,347.05 | 331,766.1 | 60  | 35,224,041 |
| 자본액(백만원)    | 8,023.36  | 128,748.3 | 10  | 15,208,338 |
| 산출액(백만원)    | 23,078.97 | 388,112.9 | 102 | 40,883,341 |

45,505개 사업체의 투입요소 기술적 효율성 추정결과를 22개 제조업종별로 <표 5>에 정리하였다. 분석대상 개별 사업체를 22개 산업부문으로 분류하는 방법은 산업별 전력 사용량 자료를 집계하는 지식경제부에서 발간한 에너지총조사보고서 산업분류 기준을 따랐다. 이는 사업체별 기술적 효율성 추정결과를 전력 사용량에 적용하여 전력 감축량을 추정하게

되므로 일관성을 유지하기 위해서이다. 개별 사업체의 기술적 효율성은 규모에 대한 보수 불변(CRS)과 규모에 대한 보수 가변(VRS)을 가정하는 두 경우 각각에 대하여 추정하였다. 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우에는 가장 효율적으로 생산하는 업체의 생산규모를 무한대로 확장할 수도 있고 줄일 수도 있다는 가정을 하는 것인 반면에 규모에 대한 보수 가변 가정에서는 생산규모를 현재 개별 사업체가 생산하는 수준 이상으로 확대하는 것은 불가능하고 축소의 경우에도 가장 작은 투입요소를 투입하는 사업체의 투입수준 이하로는 축소할 수 없게 된다. 따라서 규모에 대한 보수 가변 가정하의 생산가능집합(PPS: Production Possibility Set)은 규모에 대한 보수 불변 가정하의 생산가능집합의 부분집합이 되고 개별 사업체의 기술적 효율성은 규모에 대한 보수 불변을 가정할 경우에 같거나 더 작은 값을 갖게 된다. 이는 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우의 가장 효율적인 생산수준이 규모에 대한 보수 가변을 가정하는 경우보다 더 효율적이거나 최소한 같기 때문이다. 규모에 대한 보수 가정 차이에 의하여 나타나는 효율성의 크기 차이를 규모의 효율성(scale efficiency)이라 하고 규모에 대한 보수 가변 가정하의 기술적 효율성을 순수효율성(pure efficiency)으로 설명한다. 즉 아래와 같이 설명될 수 있다.

$$TE(CRS) = \text{Scale Efficiency} \times TE(VRS)$$

TE(CRS): CRS 가정하의 기술적 효율성

TE(VRS): VRS 가정하의 기술적 효율성

개별 사업장의 기술적 효율성 추정치를 산업별로 평균한 결과를 보면 전 산업 평균은 규모에 대한 보수 불변을 가정한 경우 0.467이다. 산업별로 보면 코크스, 석유정제품 및 핵연료 산업이 0.997로 거의 모든 사업체가 효율적인 생산활동을 하는 것으로 추정되었다. 그리고 기술적 효율성이 그 다음으로 높은 산업은 종이제품 제조업이 0.653, 의류제품 제조업 0.640로서 기술적 효율성이 가장 좋은 산업과는 큰 차이를 보이고 있다. 기술적 효율성이 낮은 산업은 자동차 제조업 0.113, 비금속 광물제품 제조업 0.197로 다른 산업에 비하여 매우 저조한 기술적 효율성을 보이고 있다. 이와 같이 낮은 기술적 효율성의 원인은 규모에 대한 보수 가변을 가정한 경우의 기술적 효율성 추정치를 보면 알 수 있다. 이 두 산업의 경우 규모에 대한 보수 가변 가정하의 기술적 효율성 추정치가 자동차 제조업 0.536, 비금속 광물제품 제조업 0.442로 규모의 효율성을 제외하게 되면 기술적 효율성이 크게 증가함을 볼 수 있다. 따라서 이 두 산업에서 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우의 낮은 기술

적 효율성은 다른 사업체에 비하여 매우 효율적으로 생산하는 사업체가 존재하며 그리고 생산가능집합을 도출할 때 이 사업체의 생산규모를 확대 또는 축소할 수가 있으므로 이 사업체를 기준으로 다른 사업체의 기술적 효율성을 추정하게 되면 다른 사업체의 기술적 효율성이 낮게 나타나기 때문이다. 이러한 경우에는 규모의 효율성을 제외하는 규모에 대한 보수 가변을 가정하여 추정한 순수효율성의 크기는 증가하게 된다. 다른 산업들의 경우도 이러한 규모의 효율성을 제외한 순수효율성을 추정하게 되면 기술적 효율성은 개선하게 되어 전 산업 평균 기술적 효율성은 0.643으로 상승하였다. 규모의 효율성의 효과가 산업별로 다르므로 기술적 효율성의 향상은 산업별로 차이가 있다. 규모에 대한 보수 가변을 가정한 경우의 기술적 효율성은 코크스, 석유정제품 및 핵연료 산업 0.998, 운송장비 제조업 0.897, 나무제품 제조업 0.791 등으로 추정되었다.

표 5 산업별 기술적 효율성 및 투입요소 감축 가능 비율

|                  | TE(CRS) | TE(VRS) | RPM(CRS) | RPM(VRS) |
|------------------|---------|---------|----------|----------|
| 음식료품 제조업         | 0.370   | 0.490   | 0.630    | 0.510    |
| 담배 제조업           | 0.474   | 0.648   | 0.526    | 0.357    |
| 섬유제품 제조업         | 0.441   | 0.583   | 0.559    | 0.417    |
| 가죽제품 제조업         | 0.542   | 0.643   | 0.458    | 0.357    |
| 나무제품 제조업         | 0.551   | 0.791   | 0.449    | 0.209    |
| 종이제품 제조업         | 0.653   | 0.734   | 0.347    | 0.266    |
| 출판업              | 0.526   | 0.664   | 0.474    | 0.336    |
| 코크스, 석유정제품 및 핵연료 | 0.997   | 0.998   | 0.003    | 0.002    |
| 화학제품 제조업         | 0.520   | 0.638   | 0.480    | 0.362    |
| 의류제품 제조업         | 0.640   | 0.671   | 0.360    | 0.329    |
| 고무 및 플라스틱 제조업    | 0.327   | 0.564   | 0.673    | 0.436    |
| 비금속 광물제품 제조업     | 0.197   | 0.442   | 0.803    | 0.558    |
| 제1차 금속산업         | 0.469   | 0.780   | 0.531    | 0.220    |
| 조립금속제품 제조업       | 0.283   | 0.521   | 0.717    | 0.479    |
| 컴퓨터 및 사무용기기 제조업  | 0.306   | 0.423   | 0.694    | 0.577    |
| 의료, 정밀광학기기 제조업   | 0.486   | 0.620   | 0.514    | 0.380    |
| 전기기기, 변환장치 제조업   | 0.438   | 0.676   | 0.562    | 0.324    |
| 기타 전기기계 및 장비 제조업 | 0.291   | 0.480   | 0.709    | 0.520    |
| 자동차 제조업          | 0.113   | 0.536   | 0.887    | 0.464    |
| 운송장비 제조업         | 0.620   | 0.897   | 0.380    | 0.103    |
| 가구 및 기타 제조업      | 0.574   | 0.718   | 0.426    | 0.282    |
| 재생재료 가공처리업       | 0.467   | 0.643   | 0.533    | 0.357    |
| 전 산업 계           | 0.467   | 0.643   | 0.533    | 0.357    |

주: 자료가 없는 담배 산업과 재생재료 가공처리업은 전 산업의 평균값을 적용함.

투입요소의 기술적 효율성을 향상시킴으로써 절감할 수 있는 전력 사용량의 추정치는 가장 효율적으로 생산하는 경우의 기술적 효율성 값 1에서 개별 산업의 현재 기술적 효율성 차이인 투입요소 잠재 감축비율(rate of potential mitigation, RPM)에 산업별 전력 사용량을 곱하여 추정한다. 이는 가장 효율적으로 생산활동을 하고 있는 사업체 수준인 TE=1에서 생산하기 위해서는 개별 사업체의 투입요소 투입량을 어느 비율 만큼 줄일 수 있는지 계산한 값으로, 아래 식으로 계산한다.

$$RPM(CRS)=1 - TE(CRS),$$

$$RPM(VRS)=1 - TE(VRS)$$

RPM: rate of potential mitigation

<표 6>과 <표 7>은 2008년도 에너지 총조사보고서의 산업별 전력 사용량에 앞서서 추정한 전력의 잠재 감축비율을 곱하여 계산한 산업별 전력 감축량과 온실가스 감축 잠재량을 추정한 결과이다. 에너지 총조사보고서는 6인 이상의 종업원을 고용하는 전 사업체를 대상으로 조사하였으며 이들 사업체에서 사용한 총 전력량은 173,506,406.6Mwh이다. 전력 사용량이 가장 많은 산업은 제1차 금속산업으로 32,704,977.5Mwh를 사용하였고 그 다음으로 전기기기, 변환장치 제조업 29,654,961.6Mwh, 화학제품 제조업이 25,612,381.7Mwh를 사용하였다. <표 6>에서는 규모에 대한 보수 불변을 가정한 경우의 산업별 기술적 효율성 추정치를 근거로 하여 잠재 전력 감축량과 온실가스 감축량을 추정하였다. 전 산업 총전력 잠재 감축량은 92,432,556.1Mwh로 추정되었으며 산업별 전력 감축량은 각 산업 평균 기술적 효율성이 다르므로 산업별 감축 정도가 다르게 추정된다. 가장 많은 전력 잠재 감축량을 보인 산업은 제1차 금속산업으로 17,368,888.1Mwh의 전력이 감축 가능하고 그다음으로는 전기기기, 변환장치 제조업에서 16,654,406.3Mwh의 전력을 감축할 수 있는 것으로 추정되었다. 전력 사용량 감축을 통하여 줄일 수 있는 온실가스 감축량 추정은 다음 식으로 계산한다. 전력사용량 단위가 Mwh이므로 아래와 같이 변환하여 추정한다.

$$\begin{aligned} \text{온실가스 배출량(TCO}_2\text{)} &= \text{에너지사용량(TOE)} \times \text{탄소배출계수(TC/TOE)} \times (44/12) \\ &= 0.086\text{Mwh} \times 1.41 \times (44/12)^3 \end{aligned}$$

3) 에너지사용량(TOE)=0.086×Mwh이고 전력의 탄소배출계수는 전력생산을 위하여 투입되는 에너지원에 따라 다르므로 국가별로 전력생산을 위하여 투입되는 에너지원을 토대로 계산하게 되는데 한국은 1.41로 산정되었다.

규모에 대한 보수 불변 가정하에서 기술적 효율성을 높임으로써 감축할 수 있는 온실가스량은 총 41,097,363.1TCO<sub>2</sub>로 추정되었다. 온실가스를 가장 많이 감축할 수 있는 산업은 제1차 금속산업으로 7,722,555.0TCO<sub>2</sub>의 온실가스 감축이 가능하고 그 다음으로는 전기기기, 변환장치 제조업에서 7,404,882.1TCO<sub>2</sub>의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 추정되었다.

규모의 효율성 효과를 제거하고 순수효율성만을 추정한 규모에 대한 보수 가변 가정하의 전력 및 온실가스 감축량 추정결과는 <표 7>에 정리하였다. 잠재 전력 감축량은 <표 6>의 결과보다는 작아서 전 산업에서 61,864,499Mwh 감축 가능하다. 세부 산업별로는 전기기기, 변환장치 제조업 9,595,941.9Mwh, 화학제품 제조업 9,259,893.3Mwh의 전력을 감축할 수 있는 것으로 추정되었다. <표 6>에서 가장 많은 전력을 감축할 것으로 추정된 제1차 금속산업에서는 단지 7,200,214.1Mwh의 전력을 감축할 수 있는 것으로 추정되었다. 따라서 제1차 금속산업에서는 규모 효율성의 크기가 다른 산업에 비하여 큰 것을 알 수 있다. 규모에 대한 보수 가변 가정하에서 기술적 효율성을 높임으로써 감축할 수 있는 온실가스량은 총 27,506,193.6TCO<sub>2</sub>로 추정되었다. 가장 많은 온실가스를 감축할 수 있는 산업은 전기기기, 변환장치 제조업으로 4,266,547.7TCO<sub>2</sub>의 온실가스 감축이 가능하고 그 다음으로는 화학제품 제조업에서 4,117,133.8TCO<sub>2</sub>의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 추정되었다.

표 6 효율성 제고를 통한 전력 감축량 및 온실가스 감축량(CRS 가정)

|                  | 전력량<br>(Mwh) | 전력감축량<br>(Mwh) | 온실가스 감축량<br>(TCO <sub>2</sub> ) |
|------------------|--------------|----------------|---------------------------------|
| 음식료품 제조업         | 7,401,026.7  | 4,662,646.8    | 2,073,106.0                     |
| 담배 제조업           | 116,499.1    | 62,094.0       | 27,608.2                        |
| 섬유제품 제조업         | 8,002,715.0  | 4,473,399.0    | 1,988,962.7                     |
| 가죽제품 제조업         | 439,100.8    | 201,045.2      | 89,388.7                        |
| 나무제품 제조업         | 1,242,206.2  | 558,102.1      | 248,143.4                       |
| 종이제품 제조업         | 7,621,116.2  | 2,647,183.3    | 1,176,990.6                     |
| 출판업              | 1,306,470.1  | 619,054.7      | 275,244.1                       |
| 코크스, 석유정제품 및 핵연료 | 5,345,737.7  | 13,818.3       | 6,143.9                         |
| 화학제품 제조업         | 25,612,381.7 | 12,284,738.9   | 5,462,040.6                     |
| 의류제품 제조업         | 679,160.0    | 244,459.2      | 108,691.4                       |
| 고무 및 플라스틱 제조업    | 9,891,638.1  | 6,652,359.0    | 2,957,771.9                     |
| 비금속 광물제품 제조업     | 11,367,512.0 | 9,130,593.6    | 4,059,644.5                     |
| 제1차 금속산업         | 32,704,977.5 | 17,368,888.1   | 7,722,555.0                     |
| 조립금속제품 제조업       | 8,101,463.9  | 5,809,599.1    | 2,583,064.0                     |

민 동 기

|                  | 전력량<br>(Mwh)  | 전력감축량<br>(Mwh) | 온실가스 감축량<br>(TCO <sub>2</sub> ) |
|------------------|---------------|----------------|---------------------------------|
| 컴퓨터 및 사무용기기 제조업  | 424,604.5     | 294,534.3      | 130,955.8                       |
| 의료, 정밀광학기기 제조업   | 918,898.0     | 471,876.2      | 209,805.6                       |
| 전기기기, 변환장치 제조업   | 29,654,961.6  | 16,654,406.3   | 7,404,882.1                     |
| 기타 전기기계 및 장비 제조업 | 7,709,566.5   | 5,463,133.9    | 2,429,018.6                     |
| 자동차 제조업          | 10,414,096.5  | 9,241,641.5    | 4,109,018.6                     |
| 운송장비 제조업         | 2,982,899.0   | 1,133,161.6    | 503,826.3                       |
| 가구 및 기타 제조업      | 1,273,976.5   | 542,714.0      | 241,301.5                       |
| 재생재료 가공처리업       | 295,399.0     | 157,447.7      | 70,004.4                        |
| 전 산업 계           | 173,506,406.6 | 92,432,556.1   | 41,097,363.1                    |

표 7 효율성 제고를 통한 전력 감축량 및 온실가스 감축량(VRS 가정)

|                  | 전력량<br>(Mwh)  | 전력감축량<br>(Mwh) | 온실가스 감축량<br>(TCO <sub>2</sub> ) |
|------------------|---------------|----------------|---------------------------------|
| 음식료품 제조업         | 7,401,026.7   | 3,774,523.6    | 1,678,228.7                     |
| 담배 제조업           | 116,499.1     | 41,590.2       | 18,491.8                        |
| 섬유제품 제조업         | 8,002,715.0   | 3,337,200.4    | 1,483,786.0                     |
| 가죽제품 제조업         | 439,100.8     | 156,559.3      | 69,609.4                        |
| 나무제품 제조업         | 1,242,206.2   | 259,778.5      | 115,502.7                       |
| 종이제품 제조업         | 7,621,116.2   | 2,029,997.1    | 902,577.3                       |
| 출판업              | 1,306,470.1   | 438,403.8      | 194,923.1                       |
| 코크스, 석유정제품 및 핵연료 | 5,345,737.7   | 9,732.2        | 4,327.1                         |
| 화학제품 제조업         | 25,612,381.7  | 9,259,893.3    | 4,117,133.8                     |
| 의류제품 제조업         | 679,160.0     | 223,157.3      | 99,220.2                        |
| 고무 및 플라스틱 제조업    | 9,891,638.1   | 4,315,612.7    | 1,918,807.7                     |
| 비금속 광물제품 제조업     | 11,367,512.0  | 6,339,889.8    | 2,818,841.8                     |
| 제1차 금속산업         | 32,704,977.5  | 7,200,214.1    | 3,201,359.2                     |
| 조립금속제품 제조업       | 8,101,463.9   | 3,883,468.5    | 1,726,667.8                     |
| 컴퓨터 및 사무용기기 제조업  | 424,604.5     | 244,843.9      | 108,862.5                       |
| 의료, 정밀광학기기 제조업   | 918,898.0     | 349,224.9      | 155,272.4                       |
| 전기기기, 변환장치 제조업   | 29,654,961.6  | 9,595,941.9    | 4,266,547.7                     |
| 기타 전기기계 및 장비 제조업 | 7,709,566.5   | 4,011,568.2    | 1,783,623.5                     |
| 자동차 제조업          | 10,414,096.5  | 4,834,568.9    | 2,149,546.0                     |
| 운송장비 제조업         | 2,982,899.0   | 308,103.5      | 136,989.0                       |
| 가구 및 기타 제조업      | 1,273,976.5   | 359,261.4      | 159,734.8                       |
| 재생재료 가공처리업       | 295,399.0     | 105,457.4      | 46,888.5                        |
| 전 산업 계           | 173,506,406.6 | 61,864,499.0   | 27,506,193.6                    |

표 8 부문별 판매 전력량(2008년)

| 부문   | 전력 사용량(%)         | 부문  | 전력 사용량(%)         |
|------|-------------------|-----|-------------------|
| 가정용  | 56,227,938(14.6)  | 공공용 | 16,577,299(4.3)   |
| 서비스업 | 117,635,066(30.5) | 광업  | 1,446,109(0.4)    |
| 농림어업 | 8,388,827(2.2)    | 제조업 | 184,794,897(48.0) |
|      |                   | 계   | 385,070,137(100)  |

자료: 한국전력(2010).

제조업체의 투입요소 기술적 효율성을 제고함으로써 감축할 수 있는 전력량 및 온실가스 감축량이 총전력사용량 및 전력 부문에서 배출되는 온실가스량에서 차지하는 비중을 보기 위하여 <표 8>에서는 2008년도 전력사용 부문별 전력수요량을 정리하였다. 생산된 전력 중 손실량을 제외한 2008년도 전 부문 총전력사용량은 385,070,137Mwh로 이를 생산함에 따라 발생한 온실가스량은 총 171,209,884.3TCO<sub>2</sub>이다. 본 연구에서는 6인 이상을 고용한 사업체를 대상으로 온실가스 잠재 감축량을 추정하였다. 그러나 <표 8>은 고용량이 5인 이하인 사업체도 포함한 모든 제조업 부문에서 사용한 전력량은 나타낸 것으로 6인 이상의 사업체 전력사용량보다 6.5% 많은 184,794,897Mwh의 전력을 사용하였으며 이에 따른 온실가스 발생량은 82,163,507.1TCO<sub>2</sub>이다. 본 연구에서 추정한 기술적 효율성 추정치를 전체 제조업에 적용하는 경우 감축 가능한 온실가스량은 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우 43,771,196.3TCO<sub>2</sub>이다. 이는 모든 부문에서 전력을 사용함에 따라 발생하는 온실가스 배출량의 25.5%를 줄일 수 있는 양이다. 규모에 대한 보수 가변을 가정하는 경우에 감축 가능한 온실가스 배출량은 29,295,772.5TCO<sub>2</sub>으로 전력부문에서 발생하는 총 온실가스 배출량의 17.1%를 줄일 수 있는 것으로 추정된다.

## VI. 요약 및 결론

최근 들어 기후변화에 대응하기 위한 온실가스 감축정책이 세계적으로 추진되는 가운데 우리나라도 조만간 온실가스 의무 감축국에 포함될 것으로 예상된다. 따라서 정부에서는 저탄소 녹색성장을 국가발전의 핵심전략으로 천명하고 온실가스 감축계획을 발표하였다. 그리고 온실가스 저감정책 방안을 마련하기 위하여 많은 연구들이 추진되었다. 이 연구들은 경제전망, 에너지 사용구조 및 산업구조 전망을 토대로 온실가스 배출량을 전망하고 가

격 및 규제 정책 등 수요·공급 관리정책에 따른 온실가스 절감 가능량을 전망하였다. 따라서 본 연구에서는 상대적으로 연구가 많이 이루어지지 않은 생산 기술적 측면에서 개별 사업체의 투입요소 기술적 효율성을 제고함에 따라 절감될 수 있는 전력 사용량 및 이에 따른 온실가스 감축 잠재량을 추정하였다. 이를 위하여 DEA 기법을 이용하여 개별 사업체의 투입요소 기술적 효율성을 추정하였으며 이 추정치를 이용하여 투입요소를 효율적으로 사용할 경우에 사업체별 전력 감축 가능량과 이에 따른 온실가스 감축 잠재량을 추정하였다. 추정결과를 보면 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우 산업별 투입요소의 기술적 효율성은 큰 차이를 보였다. 산업 내 사업체별 투입요소의 효율성이 거의 비슷하여 산업의 평균 기술적 효율성이 0.997로 추정된 코크스, 석유정제품 및 핵연료 산업이 있는 반면에 자동차 제조업은 사업체별 기술적 효율성이 큰 차이를 보여 산업평균 기술적 효율성은 0.113으로 매우 낮게 추정되었다. 그러나 규모에 대한 보수 가정을 규모에 대한 보수 가변으로 가정하게 되면 기술적 효율성 추정치가 높아져 자동차 제조업에서는 높은 규모 효율성 효과가 있음을 보여주었다. 전 산업의 평균 기술적 효율성은 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우 0.467, 규모에 대한 보수 가변을 가정하는 경우 0.643으로 추정되어 기술적 효율성이 높아지게 되면 상당한 수준의 투입요소를 절감할 수 있는 것으로 추정되었다. 사업체의 기술적 효율성 추정치를 토대로 추정한 온실가스 감축 잠재량을 보면 규모에 대한 보수 불변을 가정하는 경우 전체 제조업에서 43,771,196.3TCO<sub>2</sub>의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 추정되었으며 이는 전력을 사용하는 전 부문 온실가스 배출량의 25.5%에 해당하는 양이다. 규모에 대한 보수 가변을 가정하는 경우에는 전체 제조업에서 29,295,772.5TCO<sub>2</sub>의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 추정되어 전력을 사용하는 전 부문 온실가스 배출량의 17.1%에 해당하는 양을 줄일 수 있는 것으로 추정되었다.

우리 정부는 2020년까지 온실가스를 BAU(Business as Usual) 대비 30% 가량 감축하기로 발표하였다. 이를 실현하기 위한 방안으로 본 연구에서 추정한 바와 같이 제조업체에서 투입요소의 기술적 효율성을 제고시킴으로써 상당한 수준의 온실가스를 절감할 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서 추정한 온실가스 감축 잠재량을 실현하기 위해서는 투입요소를 효율적으로 사용할 수 있도록 하는 에너지 효율개선 정책과 전력가격의 현실화 정책 그리고 전력생산을 위한 에너지원 중 35% 수준에 머무르는 원자력과 같은 저탄소 에너지원의 확대활용정책 등 다양한 형태의 수요 및 공급 관리방안에 대한 연구와 정책이 추진되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- 강만옥 외. 2009. 「온실가스 저감 잠재성 분석 및 감축정책연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 강상목, 운영득, 이명현. 2005. “산업의 생산성 성장, 기술효율, 환경성과”. 「경제학 연구」 53(2): 5-39.
- 김용건, 장기복. 2008. 「국제 온실가스 배출권 거래제도의 파급효과 분석」. 한국환경정책·평가연구원.
- 노동운. 2005. 「산업부문 온실가스 감축 및 에너지절약 잠재량 추정:시멘트산업」. 에너지경제연구원.
- \_\_\_\_\_. 2006. 「산업부문 온실가스 감축 및 에너지 절약 잠재량 추정 II(정유산업) - 상향식 최적화 모형(MARKAL) 이용」. 에너지경제연구원.
- 노동운, 강운영. 2004. 「온실가스 배출저감 정책수단이 제조업의 생산성에 미치는 영향」. 에너지경제연구원.
- 노택선, 민충기, 염건. 2000. “비모수계획법을 이용한 생산성의 추정과 요인분석:통신산업의 국가간 비교”. 「정보통신정책연구」 7(2): 1-35.
- 민동기. 2009. “An Analysis of the Technical Efficiency of Industrial Water Input in Manufacturing”. 「환경정책연구」 8(4): 37-49.
- 박헌수, 지우석. 2004. “우리나라 첨단기업의 기술적 효율성 추정에 관한 연구”. 「지역연구」 20(2): 1-20.
- 유승직. 2008. 「온실가스 배출현황, 전망 및 감축 잠재량」. 에너지경제연구원.
- 임재규, 강운영. 2000. 「기후변화협약의 국내 산업구조 및 국제경쟁력 파급효과」. 에너지경제연구원.
- 에너지경제연구원. 1997. 「아시아지역 온실가스 최소비용 저감전략(Asia Least-cost Greenhouse Gas Abatement Strategy: ALGAS Project)」.
- 지식경제부. 2008. 「에너지 총조사 보고서」.
- 지식경제부 전기위원회. 2010. 「전력산업」. Vol.66. (4월)
- 통계청. 2008. 「광공업총조사보고서」.
- 한광호. 2001. “한국 제조업의 생산성결정요인:비모수적 맨퀴스트 생산성 지수에 의한 분석”. 「경제학 연구」 49(4): 37-61.
- \_\_\_\_\_. 2005. “한국 제조업의 중요소생산성, 효율성 변화와 기술진보: SFA와 DEA에 의한 추정”. 「경제학 연구」 53(4): 119-146.

한국전력. 2009. 「전력통계속보」. (8월)

\_\_\_\_\_. 2010. 「전력통계속보」. (6월)

Min, D. K. 1997. "Estimating The Contribution of Disaggregated Public Capital to Productivity in Each industry". *The Korean Economic Review*, 13(2).

Hsiao, F. S. T. and Changsuh Park. 2005. "Korean and Taiwanese Productivity Performance: Comparisons at matched Manufacturing Levels". *Journal of Productivity Analysis*, 23(1): 85-107.

Färe, Rolf et. al. 2000. *Reference Guide on Front*.