

DEA 모형 기반의 에코효율성과 경제적 성과의 연관성*

김명종**

The Relationship Between DEA Model-based Eco-Efficiency and Economic Performance

Kim, Myoung-Jong **

부산대학교 경영대학(School of Business, Pusan National University)

제출: 2014년 8월 18일 수정: 2014년 10월 15일 승인: 2014년 11월 28일

국문 요약

기업의 환경책임에 대한 이해관계자의 관심이 높아지고, 정부의 환경규제가 강화되면서 환경경영의 중요성이 강조되고 있다. 그러나 아직까지 국내 기업들의 환경에 대한 인식수준은 낙후된 편이며, 환경 관련 연구들도 환경성과와 경제적 성과의 관련성에 대한 일관된 결론을 제시하지 못하고 있다. 이는 첫째, 경제적 성과는 평가범위가 상대적으로 협소하고 가격이라는 공통 단위로 측정될 수 있는 반면, 환경오염물질의 감소, 온실가스 및 탄소 배출의 감소, 에너지 효율 등과 같은 환경성과는 평가범위가 다양하고 측정단위가 상이하기 때문에 선정되는 성과지표에 따라 서로 다른 연구결과가 도출될 수 있기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 일반화되고 표준화된 성과지표의 개발이 모색되어야 하며, 특히 환경경영의 의미가 '지속성장'이란 개념으로 확장됨에 따라 이러한 정의에 부합하기 위해서는 개발된 성과지표는 환경성과와 경제적 성과의 의미를 동시에 포괄할 수 있어야 한다. 둘째, 현재 대부분의 연구는 환경경영의 실행주체인 기업의 환경투자 동기 및 환경성과에만 주목하고 있을 뿐, 환경경영의 효과적인 실천전략에 대한 명확한 기준을 제시하지 못하고 있다. 예를 들어, 경쟁업체들과의 상대적인 환경경쟁력을 비교함으로써 프로세스 개선전략 또는 시장차별화 전략을 도출하고 이를 경제적 성과와 연계하기 위한 환경전략의 선택적 대안을 제안함으로써 환경성과와 경제적 성과의 선순환적인 관계성을 확보할 수 있어야 한다.

본고에서는 첫째, 다수 투입과 다수 산출요인으로 구성된 에코효율성을 자료포획분석(Data Envelopment Analysis: DEA) 모형을 통하여 산출하고자 한다. 에코효율성을 기초로 국내 기업들의 환경경쟁력을 비교분석하고 에코효율성을 개선하기 위한 환경전략의 선택적 대안을 제시하고자 한다. 둘째, 패널분석을 이용하여 에코효율성과 경제적 성과의 인과관계를 분석하고, 합동 회귀모형을 이용하여 에코효율성과 경제적 성과의 관계성을 분석하고자 한다.

국내 237개 기업의 4개년 자료를 대상으로 DEA에서 산출된 에코효율성을 이용하여 표본기업들의 기간별 에코효율성을 산출하였다. 산출된 에코효율성을 기초로 23개 기업의 연도별 기술효율성, 순수기술효율성 및 규모효율성을 비교하였으며 비효율적인 기업들의 에코효율성 개선 대안을 제시하였다. 또한, 에코효율성과 경제적 성과로의 인과성이 존재하고 있으며, 수익성(ROA 및 ROS) 및 기업가치(토빈 Q, 주가 및 주가수익률)와 같은 경제적 성과와 에코효율성의 관련성을 분석한 결과 에코효율성이 기업의 수익성 및 기업가치와 매우 유의적인 양(+)의 관련성을 가지고 있음을 확인하였다.

본고의 결과는 다양한 환경변수와 경제적 성과변수를 통합한 에코효율성을 이용함으로써 환경 관련 연구들의

* 본 논문은 2013년 부산대학교 인문사회연구기금의 지원을 받아 연구되었습니다.

** 교신 저자 : mjongkim@pusan.ac.kr

일반성이나 보편성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 환경관리의 지속가능성에 대해 보다 깊은 통찰력을 제공해 줄 것으로 기대한다. 또한, DEA 모형에서 제공하는 연도별 기술효율성, 순수기술효율성 및 규모효율성의 분석결과를 이용하여 에코효율성에 대한 변화의 원인을 탐색하고 환경경영에 대한 선택적 전략을 제시함으로써 환경경영의 실행방향과 구체화된 실천목표를 지원할 수 있을 것으로 기대한다. 마지막으로 본고에서 분석된 일관된 연구 결과는 기업의 환경투자가 경제적 성과로 연계될 수 있다는 점에서 선순환적인 환경경영의 동기부여 요인으로 작용할 것으로 기대한다.

■ 주제어 ■ 환경경영, 자료포획분석, 에코효율성, 경제적 성과

Abstract

Growing interest of stakeholders on corporate responsibilities for environment and tightening environmental regulations are highlighting the importance of environmental management more than ever. However, companies' awareness of the importance of environment is still falling behind, and related academic works have not shown consistent conclusions on the relationship between environmental performance and economic performance. One of the reasons is different ways of measuring these two performances. The evaluation scope of economic performance is relatively narrow and the performance can be measured by a unified unit such as price, while the scope of environmental performance is diverse and a wide range of units are used for measuring environmental performances instead of using a single unified unit. Therefore, the results of works can be different depending on the performance indicators selected. In order to resolve this problem, generalized and standardized performance indicators should be developed. In particular, the performance indicators should be able to cover the concepts of both environmental and economic performances because the recent idea of environmental management has expanded to encompass the concept of sustainability. Another reason is that most of the current researches tend to focus on the motive of environmental investments and environmental performance, and do not offer a guideline for an effective implementation strategy for environmental management. For example, a process improvement strategy or a market discrimination strategy can be deployed through comparing the environment competitiveness among the companies in the same or similar industries, so that a virtuous cyclical relationship between environmental and economic performances can be secured.

A novel method for measuring eco-efficiency by utilizing Data Envelopment Analysis (DEA), which is able to combine multiple environmental and economic performances, is proposed in this report. Based on the eco-efficiencies, the environmental competitiveness is analyzed and the optimal combination of inputs and outputs are recommended for improving the eco-efficiencies of inefficient firms. Furthermore, the panel analysis is applied to the causal relationship between eco-efficiency and economic performance, and the pooled regression model is used to investigate the relationship between eco-efficiency and economic performance.

The four-year eco-efficiencies between 2010 and 2013 of 23 companies are obtained from the DEA analysis; a comparison of efficiencies among 23 companies is carried out in terms of technical efficiency(TE), pure technical efficiency(PTE) and scale efficiency(SE), and then a set of recommendations for optimal combination of inputs and outputs are suggested for the inefficient companies. Furthermore, the experimental results with the panel analysis have demonstrated the causality from eco-efficiency to economic performance.

nce. The results of the pooled regression have shown that eco-efficiency positively affect financial performances(ROA and ROS) of the companies, as well as firm values(Tobin Q, stock price, and stock returns).

This report proposes a novel approach for generating standardized performance indicators obtained from multiple environmental and economic performances, so that it is able to enhance the generality of relevant researches and provide a deep insight into the sustainability of environmental management. Furthermore, using efficiency indicators obtained from the DEA model, the cause of change in eco-efficiency can be investigated and an effective strategy for environmental management can be suggested. Finally, this report can be a motive for environmental management by providing empirical evidence that environmental investments can improve economic performance.

▣ **Keywords** ▣ Environmental Management, DEA, Eco-efficiency, Economic Performance

I. 서론

1980년대 이전까지 기업 경영의 목표는 기업가치 극대화에 초점을 맞춘 기업의 경제적 성장이었으며, 환경경영(environmental management)은 중요한 관심의 대상이 아니었다. 그러나 정부의 환경문제에 대한 법적/행정적 규제가 강화되고, 기업의 환경책임에 대한 이해관계자들의 요구가 증가하면서, 기업들은 성장 과정에서 필수적으로 대두되는 환경문제를 효과적으로 관리하기 위한 환경경영에 관심을 두었다. 환경경영에 대한 여러 학자의 견해는 세 가지 부류로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 견해는 기업의 환경성과 개선을 위한 구체적 기능이나 방법을 중심으로 한 좁은 의미의 환경경영이며, 또 다른 견해는 환경문제가 전반적 기업 활동과 연계된다는 관점에서 기업의 환경문제를 경영 전략적 차원에서 해석하고 접근하려는 보다 넓은 의미의 환경경영이다(이병욱, 정희성, 1998). 최근의 환경경영에 대한 새로운 견해는 환경보호, 경제적 성장 및 사회적 발전의 조화를 목표로 하는 '지속성장'이라는 개념으로 확장되고 있다(삼성지구환경연구소, 2002).

2007년 발표된 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 제4차 보고서에서 온실가스(GHG: greenhouse gas)와 화석연료 사용으로 인한 탄소배출을 지구온난화의 주요 원인으로 발표하면서 국가적 차원의 온실가스 및 탄소배출 감축정책과 정부의 환경규제에 대한 정당성을 부여하였다. 한국은 2008년 '저탄소녹색성장' 정책에 따라 2020년까지 온실가스 배출을 산업별 전망치 대비 30% 수준으로 감축하겠다는 목표를 세웠으며, 2010년 '온실가스목표관리제' 도입에 이어 2015년에는 '탄소배출거래제

‘를 실시할 예정이다. 이러한 정부의 강화된 환경규제와 더불어 화석연료의 사용에 따른 온실가스 및 탄소배출 문제는 원유가격 상승문제와 결합하여 장기적으로 기업의 비용부담 요인으로 작용하는 등 환경문제는 기업의 장기적 생존가능성에 지대한 영향을 미치는 위협요인으로 인식되고 있다.

반면, 기업의 친환경성에 대한 우호적인 평판은 신성장 동력 창출의 기회가 될 수 있다. ‘녹색 소비자주의’로 대변되는 환경을 고려한 구매 행위가 확산되고 기업의 친환경성이 소비자의 실질적 구매행태에 영향을 미치는 상황이 전개되면서 기업의 환경경쟁력은 수익성 제고와 같은 직접적인 혜택뿐만 아니라 종업원, 공급자 및 기타 이해관계자들의 기업에 대한 우호적인 인식개선(Simnett et al., 2009), 핵심역량의 창출(Branco, Rodrigues, 2006) 및 법적 소송 위협의 감소(Sharfman, Fernando, 2008) 등 잠재적인 경제적 혜택도 제공할 것으로 예상된다. 이러한 의미에서 최근 기업의 환경경영에 대한 투자자들의 관심이 18배나 증가하였으며, 효율적인 온실가스 및 탄소배출 통제시스템을 도입한 기업에 대한 투자가 급속히 증가하고 있음은 환경경영의 중요성이 시장참여자들에게 공유되고 있음을 의미한다(Eccles, Krzus, Serafeim, 2011; GS Sustain, 2009; PriceWaterhouseCoopers, 2012). 결과적으로 정부의 환경규제 강화, 환경문제에 대한 이해관계자의 인식 및 소비행태 변화 등 다양한 환경문제에 대응하기 위한 환경경영의 전략적 선택은 더 이상 관리 차원의 문제가 아니라 경쟁 환경의 변화에 따른 기업의 생존문제와 연결된다고 할 수 있다(삼성지구환경연구소, 2008).

그러나 환경경영의 중요성에도 불구하고 국내 기업들은 환경문제를 기업의 중요한 전략적 이슈로 고려하지 않고 있으며, 환경문제에 대한 인식은 세계적 기업과 비교하여 낙후된 편이라고 할 수 있다. 이는 경영자들이 기업의 환경경영활동이 기업의 경제적 성과로 연계되는지에 대한 의구심을 가지고 있기 때문이다(삼성지구환경연구소, 2008). 마찬가지로 학계 연구들도 환경성과와 경제적 성과의 연관성에 대한 일관된 연구 결과를 보여주지 못하고 있다. 이러한 결과는 경제적 성과는 수익성 및 기업가치와 같이 평가범위가 상대적으로 협소하고 가격이라는 공통 단위로 측정될 수 있지만, 환경오염 물질의 감소, 온실가스 및 탄소 배출의 감소, 에너지 효율 등과 같은 환경성과는 평가범위가 다양하고 측정단위가 상이하기 때문에 연구자가 선정하는 성과지표에 따라 서로 다른 연구결과가 도출될 수 있기 때문이다(육근효, 2010). 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 일반화되고 표준화된 성과지표의 개발이 모색되어야 하며, 특히 환경경영의 의미가 ‘지속성장’이란 개념으로 확장됨에 따라 이러한 정의에 부합하기 위해서는 개발

된 성과지표는 환경성과와 경제적 성과의 의미를 동시에 포괄할 수 있어야 한다.

둘째, 현재 대부분의 연구는 환경경영의 실행주체인 기업의 환경투자 동기 및 환경 성과에만 주목하고 있을 뿐, 환경경영의 효과적인 실천전략에 대한 명확한 기준을 제시하지 못하고 있다. 예를 들어, 경쟁업체들과의 상대적인 환경경쟁력을 비교함으로써 프로세스 개선전략 또는 시장차별화 전략을 도출하고 이를 경제적 성과와 연계하기 위한 환경전략의 선택적 대안을 제안함으로써 환경성과와 경제적 성과의 선순환적인 관계성을 확보할 수 있어야 한다(Schaltegger, Synnestvedt, 2002).

본고에서는 자료포획분석(Data Envelopment analysis: DEA) 모형 기반의 에코효율성(eco-efficiency)을 산출하고 에코효율성과 경제적 성과의 연관성을 실증분석하고자 한다. 구체적으로 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 다수 투입과 다수 산출요인으로 구성된 에코효율성을 DEA 모형을 통하여 산출하고자 한다. 에코효율성을 기초로 국내 기업들의 환경경쟁력을 비교분석하고 에코효율성을 개선하기 위한 환경전략의 선택적 대안을 제시하고자 한다. 둘째, 패널분석을 이용하여 에코효율성과 경제적 성과의 인과관계를 분석하고, 합동 회귀모형을 이용하여 에코효율성과 경제적 성과의 관계성을 분석하고자 한다.

이러한 분석을 위하여 23개 기업의 지속성장보고서에서 4개년(2010-2013년)의 환경 성과지표를 수집하였으며, FN-Guide에서 경제적 성과지표를 수집하였다. 종업원 수, 환경투자비용, 에너지 사용량, 용수 취수량의 환경성과지표를 DEA의 투입요인으로 경제적 부가가치(EVA), 온실가스 배출량 및 폐기물 배출량을 산출요인으로 활용하여 에코효율성을 산출하였다. 산출된 에코효율성을 기초로 23개 기업들의 연도별 기술효율성(Technical Efficiency: TE), 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency: PTE) 및 규모 효율성(Scale Efficiency: SE)을 비교하였으며 비효율적인 기업들의 에코효율성 개선 대안을 제시하였다. 또한, 에코효율성과 경제적 성과로의 인과성이 존재하고 있으며, 수익성(ROA 및 ROS) 및 기업가치(토빈 Q, 주가 및 주가수익률)와 같은 경제적 성과와 에코효율성의 관련성을 분석한 결과 에코효율성이 기업의 수익성 및 기업가치와 매우 유의적인 양(+의) 관련성을 가지고 있음을 확인하였다.

본고는 선행 연구들과 비교하여 다음과 같은 점에서 차별화된다. 첫째, 에코효율성과 경제적 성과의 연관성을 검증한 대부분의 선행 연구들에서는 환경투자비용/매출액, 탄소효율성(탄소배출량/매출액) 등과 같이 단일 투입지표와 단일 산출지표라는 단순한 형태의 에코효율성을 활용했다. 그러나 이러한 단편적인 에코효율성이 광범위한 기업

의 환경성과를 대변할 수 있는 일반적이고 표준화된 성과지표가 될 수 있는지에 대한 의문이 제기될 수 있다. 예를 들어 탄소효율성만을 활용하여 에코효율성을 평가하는 경우 다른 환경성과지표들의 열위에도 불구하고 탄소저감장치를 장착한 기업은 에코효율성 상위 기업으로 구분될 수 있다. 본고에서는 다양한 범위의 환경변수와 경제적 성과변수가 반영된 에코효율성을 이용하여 기업들의 환경경쟁력을 측정함으로써 연구 결과의 일반성 내지 보편성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 환경관리의 지속가능성에 대해 보다 깊은 통찰력을 제공해 줄 것이다.

둘째, 본 연구가 환경성과평가에만 주목한 선행 연구들과 차별화되는 점은 DEA 모형의 윈도우 분석(window analysis)에서 제공하는 연도별 기술효율성, 순수기술효율성 및 규모효율성의 분석결과를 이용하여 기업의 에코효율성에 대한 변화의 방향을 진단하고 환경경영에 대한 선택적 전략을 제시하고 있다는 점이다. 예를 들어, 에코효율성 저하의 원인이 기술효율성에 있다면 환경운영 관리방식의 개선으로 에코효율성을 향상시킬 수 있으며, 시장 상황의 변화와 같은 기술변화가 원인이라면 기술혁신으로 에코효율성을 향상시킬 수 있다. 이와 더불어 투입지향모형(input-oriented model)과 산출지향모형(output-oriented model)을 활용하여 투입과 산출의 재조정 및 프로세스 재설계와 같은 에코효율성 개선전략을 도출할 수 있다. 이러한 결과들을 기초로 환경경영의 실행주체인 기업은 환경경영의 실행방향과 구체적 실천목표를 계획할 수 있을 것으로 기대한다.

셋째, DEA 모형을 이용한 대부분의 환경 관련 연구들은 산업 및 국가별 환경효율성의 측정이라는 환경공학적 측면에 초점을 맞추어 진행되어 왔다. 반면, 본고의 에코효율성은 환경효율성 및 경제적 효율성이라는 개념이 반영된 '지속성장'의 개념을 내포하고 있으며, 에코효율성과 다양한 경제적 성과의 직접적인 관련성을 실증적으로 분석하고 있다는 의미에서 환경공학에 기초한 선행 연구들의 접근방식을 경제적 관점에서 확장한 연구라 할 수 있다. 현재 DEA 모형 기반의 에코효율성과 경제적 성과의 연관성을 분석한 연구가 매우 부족한 상태이고, 특히 국내의 경우는 거의 전무하다 할 수 있다. 본고의 연구 결과는 기업의 사회와 환경에 대한 투자가 기업이 성장의 밑거름이 되고 다시 기업의 환경투자가 강화되는 선순환적인 관계성을 분석함으로써 기업들의 적극적인 환경문제 개선에 대한 동기부여 요인으로 작용할 것으로 기대한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 환경경영, 환경성과지표, 환경성과와 경제적 성과의 관계성을 분석한 선행 연구들을 고찰하고자 한다. III장에서는 에코효율성

측정을 위한 DEA 모형의 설계과정과 에코효율성과 경제적 성과의 연관성 분석을 위한 연구모형들에 대하여 기술하고자 한다. IV장에서는 DEA 모형에서 산출된 에코효율성을 이용한 환경효율성 분석 결과와 비효율적 기업들의 환경효율성 개선을 위한 환경관리전략을 설명하고자 한다. V장에서는 에코효율성과 경제적 성과의 연관성에 대한 실증분석 결과를 제시하고자 한다. VI장에서는 본 연구의 분석결과에 대한 요약과 더불어 본 연구의 한계점 및 향후 연구방향을 제시하고자 한다.

II. 선행연구고찰

1. 환경경영

1984년 유니언 카바이드의 인도 보팔 사고, 89년 엑슨의 Alaskan Valdez bay 사고 등 환경사고가 사회적인 이슈로 부각되면서 기업의 환경책임이 강조되고 있다. 국내에서도 91년 두산전자의 낙동강 폐놀오염사고가 발생하면서 환경문제에 대한 관심이 고조되고 있다.

환경경영은 세 가지 의미로 나누어 정의되고 있다. 첫 번째 환경경영의 의미는 기업의 환경성과 개선을 위한 구체적 기능이나 방법을 중심으로 한 좁은 의미의 환경경영이다. 환경경영을 "환경에 관한 기업의 유해한 영향을 통제하고 감소시키는 것"이라고 설명한 Wolters et al.(1995)이나 "오염의 사후처리(clean-up of pollution) 방식에서 탈피하여 폐기물 및 오염의 예방과 청정생산(cleaner production)으로의 전환을 지원하는 일련의 기법과 실천수단"으로 해석한 Christie et al.(1995)의 견해는 이러한 범위의 환경경영에 대한 정의라 할 수 있다. 두 번째, 환경경영은 환경문제가 전반적 기업 활동과 연계되어 있다는 관점에서 기업의 환경 측면을 경쟁전략 차원에서 해석하고 접근하려는 보다 넓은 의미의 환경경영을 의미한다. 환경경영을 "기업의 환경적 입장을 검토하고 그것을 개선하기 위하여 방침이나 전략을 개발·시행함과 동시에, 지속적인 개선이나 효과적인 관리를 위하여 경영시스템을 개선하는 일련의 환경적 대응활동"이라고 설명한 Gray, Bebbington., Walters(1993)이나 "기업의 경제적·생태적 성과를 최적화하기 위하여 환경보호를 기업의 모든 경영활동에 통합하는 것"으로 해석한 North (1992)의 견해는 이러한 의미의 환경경영에 해당한다. 세 번째 환경경영의 의미는 1987

년 UN의 세계환경개발위원회(WCED: World Commission Environment and Development)에서 환경과 인간의 지속가능한 발전(sustainable development)이란 개념을 제시하면서 환경경영의 의미는 환경보호, 경제적 성장, 사회적 발전의 조화를 추구하는 '지속성장'이란 개념으로 확장되고 있다. '지속성장'이란 개념하에서 환경경영은 기업의 사업 전략의 일부로서 환경 전략을 통해 기업은 환경성과만이 아니라 궁극적으로는 경제적 성장도 실현할 수 있음을 의미한다(삼성지구환경연구소, 2002). 이렇듯 최근의 환경경영의 개념은 과거 전통적인 기업의 목표인 경제적 수익성과 함께 환경에 대한 세대적 공평성을 강조한 지속가능성의 개념으로 통합되었는데 이는 기업의 전반적인 경영활동을 환경적 지속가능성의 관점에서 판단하는 것으로 볼 수 있다.

2. 환경성과지표

1) 절대적 환경성과지표

선행 연구들에서 활용되었던 환경성과지표는 크게 절대적 환경성과지표와 상대적 환경성과지표로 구분될 수 있다. 절대적 환경성과지표를 활용한 연구에서 사용되는 환경성과지표는 국내외 전문평가기관의 정량·정성적 환경평가 항목을 배점화한 환경평가지표를 활용하는 방식과 기업의 환경보고서 또는 지속성장보고서에서 중요한 환경성과지표를 활용하는 방식으로 구분된다.

첫 번째 방법은 Russo and Fouts의 연구(1997)와 같이 DJSI, IVA, TMFTSE 4Good, CoreRating, EIRIS 등 전문평가기관의 평가결과를 환경성과지표로 사용하는 방식이다. 국내에서도 경실련(경제정의실천연합) 경제정의연구소의 경제정의지수(KEJI), 지속가능사회를 위한 경제연구소(ERISS)의 지속가능지수, 산업정책연구원의 윤리경영지표(KoBEX: Korean Business Ethics Index), 환경운동연합과 한국일보사가 공동 개발한 GEI(Green Energy Index) 및 한국기업지배구조원의 ESG(Environmental, Social, and Governance) 등급 등을 활용한 연구들이 진행되고 있다. 그러나 이러한 환경성과지표의 대부분은 기업의 경영성과 개선과 사회적 투자의 활성화 등 투자자 중심의 정보를 제공하기 위한 목적으로 컨설팅 및 투자 회사에서 개발된 지표로서 주요 항목의 대부분이 정성적 평가항목으로 구성되어 있으며, 중소기업 및 산업별로 특화된 조사방법론이 미약하여 주로 선진국 및 대기업에 한정되어 적용 가능하다는 단점이 있다.

두 번째 방법은 Hart and Ahuja의 연구(1996)와 같이 기업의 환경보고서 또는 지속

성장보고서에서 중요하다고 판단되는 온실가스 배출량, 자원 사용량 등의 환경성과지표를 활용하는 방식이다. 2013년 기준으로 국내외 3,000여 개 이상의 기업이 자발적으로 기업의 경제적, 환경적, 사회적 성과에 관한 보고서를 제공하고 있는 것으로 보고되고 있다. 하지만 기업별로 성과측정기준과 보고서 작성체계 등이 서로 다르므로 정보의 신뢰성 문제와 비교가능성 문제가 제기되어 왔다(Othman, Ameer, 2009; Williams, 1999; Niskala and Pretes, 1995; Holland and Foo, 2003; Beets & Souther, 1999). 최근에는 국제적인 기준으로 GRI(Global Reporting Initiative)의 G3보고서, UN 책임투자원칙(UN PRI: UN Principles for Responsible Investment), UN Global Compact, CERES(Coalition of Environmentally Responsible Economies) 등이 활용되어 보고서의 비교가능성이 개선되고 있다. 그러나 보고서의 표준화 문제 외에도 이해관계자에게 유용하고 기업의 장기적인 성과와 연계시킬 수 있는 중요성(materiality) 개념을 채택하여 보고서의 목적 적합성과 유용성을 높일 필요가 있다는 주장이 제기되고 있다(육근호, 2012).

2) 상대적 환경성과지표

절대적 환경성과지표의 비교가능성 문제를 개선하기 위하여 상대적 환경성과지표를 이용하여 기업들의 상대적 환경효율성을 측정하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 특히, 에코효율성은 경제적 성과지표 대비 환경성과지표로 구성된 상대적 환경성과지표로서 1987년 UN의 세계환경개발위원회에서 지속가능한 발전이란 개념을 제시하면서 지속가능경영의 주요 성과평가 방법으로 활용되어 왔으며, 세계지속가능발전기업위원회(World Business Council for Sustainable Development)는 에코효율성을 기업의 지속가능한 발전에 기여할 수 있는 중요한 평가방법 중의 하나라고 보고하고 있다.

에코효율성은 기업의 현재 경쟁력(또는 자원소비상태)을 줄이지 않으면서도 경쟁사와 비교하여 더 나은 에코효율성을 가진 기업이 환경적으로 지속가능하며 더 나은 환경성과를 가지고 있을 것이라는 논리에 기초하고 있다. 환경공학적 측면에서 분석된 초기의 에코효율성은 환경자원 투입량 대비 환경적 피해라는 환경효율성을 측정하기 위한 지표로 활용되어 왔으나, 세계지속가능발전기업위원회에 의해 제안된 최근의 에코효율성 개념은 더 적은 자원을 투입하여 더 많은 가치를 창출하고자 하는 것으로 더 적은 자원의 투입으로 환경적 오염과 부하를 줄이고, 더 많은 가치의 제공으로 전통

적인 제품생산의 증가만이 아니라 고객의 가치를 제고한다는 경제적 의미를 포괄하는 의미로 확장되었다. 에코효율성은 economic과 ecological의 공통부분인 'eco'와 자원의 최적화(optimize) 개념을 나타내는 'efficiency'가 결합한 표현으로 환경과 관련된 효율성에서 자원절감에 따른 기술효율성 개념과 오염이 환경에 미치는 영향을 최소화하고자 하는 환경효율성 개념을 포함하고 있을 뿐만 아니라 경제적 효율성의 개념까지 포함한 통합적 개념으로서 다음과 같이 정의된다(Kuosmanen, Ishikawa, 2005).

$$\text{에코효율성} = \frac{\text{경제적 가치(Economic Value Added)}}{\text{환경영향(Environmental Damages)}}$$

그러나 에코효율의 타당성을 확보하기 위해서는 다음과 같은 문제점이 해결되어야 한다. 첫째, 기업이 환경에 미치는 영향은 다양하고 복잡하므로 다수의 환경변수와 경제적 성과변수를 고려하여야 한다. 경제적 성과는 가격이라는 공통 단위로 표현될 수 있지만, 환경성과의 경우 온실가스 배출량은 톤 단위로 측정되며, 에너지 사용량은 TJ(Tera Joule), GJ(Giga Joule) 등 다양한 방식으로 측정되는 등 각 지표는 다차원적인 특성을 내포하고 있다. 이렇게 측정 단위가 상이한 다수의 환경변수와 다수의 경제적 성과를 통합하여 단일의 에코효율성을 산출한다는 것은 현실적으로 불가능한 작업이라 할 수 있다.

둘째, 다수의 환경변수와 경제적 성과변수들을 단일 성과지표로 통합하고자 할 경우에 각 요소들에 대한 가중치 배분 문제가 발생한다. 설문조사 혹은 개인적 선호에 의한 가중치 배분이 가능하지만, 이러한 방법들은 자의성 및 주관성이 개입되는 단점이 있다. 결과적으로, 에코효율성의 타당성을 확보하기 위해서는 변수들의 다차원적인 특성 문제와 결합 가중치 배분문제가 해결되어야 한다(Chen, 2011).

다차원적인 특성을 내포한 다수의 성과지표가 존재하고 지표들의 결합을 위한 최적 가중치가 알려지지 않은 상황에서 DEA는 다음과 같은 장점으로 인하여 에코효율성 산출을 위한 유용한 도구로 활용되고 있다. 첫째, DEA는 다수의 투입 및 산출요인을 동시에 고려할 수 있으며, 요인 간 측정단위의 통일성을 요구하지 않는다. 둘째, DEA의 가중치는 의사결정단위(DMU: Decision Making Unit)가 사용하는 투입요소나 배출하는 산출요소를 타 DMU와 비교하여 자동으로 결정하기 때문에 사전적인 가중치 배분을 요구하지 않는다.

DEA를 활용한 대부분의 선행 연구들은 산업 및 국가별 환경효율성을 측정하기 위한 환경공학적인 측면에 초점을 맞추어 진행되어 왔다(이제규, 김재희, 김승권, 2009; 정은재, 2001; 조양래, 이학연, 박용태, 2010; Ar, Baki, 2007; Chen, 2011, 2012; Yang, 2010; Zhang et al., 2008; Zhou, Ang, 2008). Ar and Baki(2007)는 총 노동시간, 기계작업시간, 원재료 사용량을 투입변수로, 제품 생산량을 산출변수로 유리제조 기업들의 생산효율성을 평가하였다. Zhang et al.(2008)은 물 사용량, 원자재 사용량, 에너지 사용량을 투입변수로, COD, 질소, SO₂, 매연량을 산출변수로 활용하여 산업별 환경효율성을 측정하였다. 국내 연구로서 이제규, 김재희, 김승권(2009)는 DEA의 투입변수로서 직원 수, 발전소 시설용량, 발전단가, 연간 총입유양을 투입변수로 연간 발전량, 홍수기 및 비 홍수기의 피크 발전량, 발전목표 달성도를 산출변수로 활용하여 수력발전소의 생산효율성을 평가하였다. 조양래, 이학연, 박용태(2010)는 연료 사용량, CO₂ 배출량을 투입변수로 고객효용, 기업효용을 산출변수로 활용하여 환경서비스 기업들의 운영효율성을 분석하였다.

이러한 환경공학적인 측면에서 진행된 연구들은 산업 및 국가의 환경효율성만을 측정하기 위한 목적으로 투입 및 산출요인을 환경지표 위주로 구성하기 때문에 환경보호와 경제적 성장의 균형적 발전을 목표로 하는 '지속성장'이란 최근의 환경경영 개념을 반영하기에는 부적합하다는 한계점이 있다. 또한, 이들 연구에서는 경제적 성과와의 연관성에 대한 후속적인 분석이 진행되지 않았던 관계로 에코효율성의 전략적 활용방안에 대한 제안이 부족하다는 비판이 제기되고 있다.

3. 환경성과와 경제적 성과의 연관성

환경성과와 경제적 성과의 연관성에 대하여 오염물질 감축, 에너지 효율성 개선 등 환경적 성과를 얻기 위한 기업의 투자 대비 효과에 대한 관점의 차이에 따라 상반된 관점의 의견이 존재하고 있다. 환경투자를 통하여 원자재 투입 감소, 폐기물 감소, 에너지 사용 감소 등의 낭비를 줄이고 생산효율성을 높이는 경우 환경성과만이 아니라 경제적 성과도 향상할 수 있을 것이라는 시각에서는 환경성과와 경제적 성과의 양(+)의 관련성을 예상할 수 있다. 반면, 환경성과를 높이기 위한 비용이 과도하게 발생한다면 오히려 경제적 성과가 감소할 수 있다는 관점에서는 음(-)의 관련성을 예상할 수 있다. 정은재(2001)의 90년대의 국외 연구 4편을 정리한 결과에서는 총 3편의 연구에서 유의

한 양(+)의 관계성이 도출되었으며, 1편의 연구에서는 일관적이지 못한 결과를 보여주었다고 분석하고 있다. 육근효(2010)의 환경성과와 경제적 성과에 관한 선행 연구 25편의 리뷰 결과에 따르면, 25편 중 14편이 양(+)의 관계성을 보이며, 25편 중 5편이 음(-)의 관계성, 4편은 중립 또는 영향이 없었고, 나머지 2편은 혼재된 관계성을 보여주었다.

먼저 환경성과가 경제적 성과와 양(+)의 관계성이 있다는 연구로서 Bragdon and Marlin(1972)은 1965년부터 1971년까지 17개 기업의 오염 정도와 수익성 지표의 관계성을 분석한 결과 오염 정도와 수익성 지표 사이에 음(-)의 관계성이 있음을 발견하였다. Erfle and Frantatuono(1992)는 49개 기업을 환경성과지수에 따라 고, 중, 저의 환경성과그룹으로 분류한 후 그룹별 환경성과와 수익성 지표 사이에 양(+)의 관계성이 있음을 보고하였다. Russo and Fouts(1997)는 243개 기업의 2개년 환경성과점수와 수익성 사이에 양(+)의 관계성이 있음을 확인하였다. Konar and Cohen(2001)은 S&P 500에 속한 321개 제조업체를 대상으로 환경성과와 기업가치 사이에 양(+)의 관계성이 있음을 보고하였다. 국내 연구로서 박헌준 외(2004)는 환경성과점수와 경제적 성과의 관련성을 분석한 결과 기업가치(토빈 Q, 시장조정주가수익률) 및 수익성 지표(ROA)와 환경성과점수의 양(+)의 관련성을 확인하였다. 김명서, 김요환, 김민철(2010)는 2004년부터 2007년까지 ISO 14001 인증을 획득한 기업을 대상으로 환경경영에 대한 투자와 환경활동이 기업가치에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 보고하였다.

반면 환경성과와 경제적 성과 사이에 아무런 상관관계가 나타나지 않은 선행연구로서 Chen and Metcalf(1980)은 Russo and Fouts(1997)의 연구 결과에서 기업규모를 통제할 경우 환경성과와 경제적 성과의 양(+)의 관계성이 사라짐을 보고하였다. Cohen, Scott, Jonathan(1997)은 환경투자의 경제적 성과에 대한 명시적인 효익이 보장되지 않기 때문에 환경투자비용과 경제적 성과 사이에 유의한 관계성이 나타나지 않는다고 보고하고 있다. Jones and Rubin(1999)은 투자자는 환경성과가 높은 기업에 주목하기 보다 경제적 성과가 높은 기업에 더 많은 관심을 가지고 있는 것으로 보고하였다. 박헌준과 이종진(2002)은 환경성과점수와 ROA, EVA, 매출액 증가율 등의 경제적 성과지표와의 관련성을 분석한 결과 유의한 상관관계를 보고하지 못하였다. 최종서(2010)는 우리나라 상장기업들의 자발적 환경공시 수단이 되고 있는 환경보고서 혹은 웹사이트를 통한 환경정보의 공시내용의 질적 수준을 평가하여 이러한 환경공시수준과 환경성과 및 경제적 성과의 동시적 관련성을 분석하였다. 공시수준의 평가를 위해 GRI 공시기

준에 기초를 둔 Clarkson et al.(2008)의 평가지수를 활용하였으며, 환경성과는 2010년 환경부에서 제공하는 TRI 데이터베이스에서 이용 가능한 기업 수준의 유해화학물질 생성자료를 기초로 측정하였으며, 경제성과는 동일기간의 시장조정 주식수익률로 측정하였다. 분석 결과 공시수준과 환경성과 사이에는 유의한 양의 관련성이 있는 것으로 나타났으나 환경성과와 경제적 성과 사이에는 유의한 관련성을 발견할 수 없었다.

환경성과와 경제적 성과가 음(-)의 관련성이 있다는 선행 연구로서 Walley and Whitehead(1994)는 환경투자와 기업가치는 상충되는 문제라고 언급하며 특히 환경성과에 대한 과도한 투자는 단기적으로 기업성과에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며 장기적으로도 이에 대한 효익이 가시적이지 않은 경우 이는 시장의 부정적인 반응을 이끌어 낼 수 있다고 보고하였다. 특히 Karpoff and Lott(1999)는 기업의 환경 관련 범칙금과 시장에서의 경제적 손실의 상관관계에 대한 실증분석 결과 범칙금의 사전 예측이 힘들기 때문에 시장은 기업의 환경관련법 위반을 부정적으로 평가하지 않는다고 보고하고 있다.

이렇게 일관되지 못한 연구 결과가 나타나는 원인의 하나라로서 기업의 환경성과 및 경제적 성과 사이에는 최적의 자원배분 수준이 존재하여 전체적으로 역 U자형의 상관관계가 성립한다고 주장하는 견해도 있다(Schaltegger, Synnestvedt, 2002; Wagner, 2001). Schaltegger and Synnestvedt(2002)는 환경성과와 경제적 성과 사이의 역 U자형 관계성으로 인하여 환경성과와 경제적 성과의 관계성에 대한 일관된 결과가 제시되지 않는 것으로 주장하였으며, 이를 해결하기 위한 대안으로 환경성과지표와 경제적 성과 지표의 연관성 분석 시에 두 지표 간의 직접적인 상관성을 분석하기보다는 환경성과와 경제적 성과가 결합한 형태의 에코효율성을 이용할 것을 권고하였다. 또한, 에코효율성 분석을 기초로 기업의 환경경영 전략을 결합하여 시장지향 환경관리 또는 프로세스 지향 환경관리 전략을 차별적으로 적용할 수 있음을 보고하였다.

DEA 모형 기반의 에코효율성을 활용하지는 않았지만, 에코효율성과 경제적 성과의 관계를 분석한 연구들이 최근 보고되고 있다. Guenster et al.(2011)은 Innovest Strategic Value Advisors사에서 제공된 1,830개 기업의 에코효율성을 이용하여 에코효율성과 ROA 및 토빈 Q 사이의 관계성을 실증분석하였다. 실증분석 결과 에코효율성이 ROA 및 토빈 Q와 1% 유의수준에서 유의한 양(+)의 관련성을 가지고 있음을 발견하였다. Sinkin, Wright, Burnett(2008)는 Fortune 500대 기업을 대상으로 에코효율성과 주가와의 관계성을 분석한 결과 두 변수 사이에 유의적인 양(+)의 관계성이 존재하

고 있음을 분석하였다. 이와는 반대로 육근효와 최미화의 연구(2013)에서는 환경투자(보전)비용/매출액으로 에코효율성을 측정하였으며, 에코효율성이 기업의 수익성과 음(-)의 상관관계를 가지고 있지만 탄소효율성과는 양(+)의 상관성을 가지고 있음을 보고하고 있다. 그러나 이러한 연구에서 활용된 에코효율성은 단일 환경지표와 단일 경제지표로 구성된 에코효율성을 측정하고 있는 관계로 이러한 단편적인 에코효율성이 다양한 범위의 환경성과를 대변할 수 있는지와 관련된 일반화 및 표준화 문제가 비판될 수 있다. DEA 모형 기반의 에코효율성을 활용한 연구로서 Burnett and Hansen(2008)의 연구에서는 전력공급업체를 대상으로 DEA 모형을 활용하여 에코효율성을 산출하였으며, 에코효율성에 영향을 주는 요인으로 정부의 환경규제 정도 및 시장점유율 등이 유의적임을 규명하였다. 이들의 연구에서 DEA 모형의 투입변수는 전력생산성을 나타내는 정격출력(nameplate generating capacity), 연료비(fuel costs), 운영비용(operating costs)을 투입요인으로, 킬로와트 시(Kilowatt-hours) 및 이산화황(SO₂)을 산출요인으로 활용하여 에코효율성을 산출하였지만, 에코효율성과 경제적 성과의 연관성에 대한 후속적인 분석이 제공하지는 않았다.

이처럼 현재 다수의 환경요인과 경제적 요인을 포괄한 DEA 모형 기반의 에코효율성과 경제적 성과의 연관성을 분석한 연구가 전 세계적으로 매우 부족한 상태이고, 특히 국내의 경우 이와 관련된 연구가 전무하다 할 수 있기 때문에 이러한 분야와 관련된 연구의 중요성이 크다 할 것이다.

III. 연구 설계

1. 에코효율성 평가 방법론: 자료포락분석(DEA) 모형

DEA는 복수의 투입물과 산출물을 가진 의사결정단위(DMU, Decision Making Unit)에 대한 상대적 효율성을 평가하기 위한 모형으로, 다차원 공간상의 여러 점을 일차원 직선상에 대응(mapping)하는 방법론이다. Farrell(1957)의 기술효율성을 측정하기 위해 개발된 방법론을 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 일반화된 DEA 모형으로 제안하면서 최근 효율성에 대한 측정 및 평가방법으로서 경영과학에서 널리 활용되고 있다.

DEA 분석의 기본적 논리는 각각의 DMU들의 자료를 이용하여 EES(Empirical Efficient Surface)를 도출하고 EES상에 위치하는 DMU를 효율적인 DMU로 그렇지 않은 DMU를 비효율적인 DMU로서 간주하여 비교 대상 그룹에서 벤치마킹(benchmarking) 사례를 기준으로 각 DMU의 상대적 효율성을 표현하는 것이다. 즉, DEA는 사전적으로 구체적인 함수형태를 가정하고 모수를 추정하는 것이 아니라 일반적으로 생산가능 자료를 이용하여 경험적 효율성 프런티어(empirical efficient frontier)를 도출하고 도출된 효율성 프런티어와 평가대상을 비교하여 효율성을 측정하는 비모수적 접근방법(non-parametric approach)이라 할 수 있다. DEA 모형을 이용한 연구에서 가장 널리 활용되고 있는 유형은 규모수익불변(CRS, Constant Return to Scale)을 가정한 CCR 모형(Charnes, Cooper, Rhodes, 1978)과 규모수익가변(VRS, Variable Return to Scale)을 가정한 BCC 모형(Banker, Charnes, Cooper, 1984)이다.¹⁾

DEA모형의 장점은 각 DMU에 대해 준거집단 및 효율성 향상을 위한 목표치를 계량적으로 제시하여 투입 및 산출요소별 비효율성의 정도를 파악할 수 있다는 점으로 비효율성의 원인을 파악하기 위해 기술효율성, 순수기술효율성 및 규모효율성 분석을 수행함으로써 현재의 조업규모 및 투입-산출의 조합이 적절한가에 대한 정보를 제공할 수 있다. CCR 모형에서 산출되는 기술효율성은 생산과정에서 투입물이 얼마나 효율적으로 산출물로 전환되는가를 나타내는 것으로 개별 DMU의 최적의 투입물 및 산출물의 크기를 측정할 수 있다. 또한, CCR 모형의 기술효율성을 BCC 모형을 이용하여 순수기술효율성과 규모효율성으로 분해할 수 있으며 이러한 효율성 분해를 통하여 DMU의 비효율성이 시장변화 및 기술변화와 같은 순수한 기술적 요인(비능률적인 업무요인 또는 기술적 열위)에 기인하고 있는지 아니면 투입-산출 조합의 비효율성과 같은 규모의 요인에 기인하고 있는지 분석할 수 있다. 순수기술효율성은 운영효율성(managerial efficiency)이라고도 하며 DMU의 업무효율성 측정지표이다. 규모효율성이란 DMU들의 규모의 경제성을 측정하는 지표로서 개별 DMU가 규모의 경제에서 이탈하여 발생하는 비효율성의 크기를 측정할 수 있다. 규모효율성이 1이라면 기술효율성과 순수기술효율성이 같게 되고 해당 DMU는 규모수익불변(Constant Return to Scale: CRS) 상태임을 의미한다. 반면 규모효율성이 1보다 작으면 현재의 투입과 산출 조합이 규모의 효율성을 최대한 달성하지 못하고 있음을 의미하며 해당 DMU는 규모

1) CCR 모형과 BCC 모형에 대한 이론적 배경은 부록 1을 참조하기 바람.

수익증가(Increasing Return to Scale: IRS) 또는 규모수익체감(Decreasing Return to Scale: DRS) 상태로 판정된다.

또한, DEA는 기본적으로 비모수적 방법에 대한 가정에 기초하고 있기 때문에 특정 생산함수를 추정하지 않고 거리함수에 기초하여 투입요소에 대한 산출물의 지수로서 정의할 수 있다. 거리함수를 추정하는 데 있어서는 DEA와 같이 투입지향 거리함수(input-based distance function)와 산출지향 거리함수(output-based distance function)로 구분하는데 전자의 경우는 일정수준의 산출량을 생산하는데 소요되는 투입량을 최소화하는 거리함수를 도출하는 것이고, 후자의 경우는 주어진 투입량으로 최대 생산이 가능한 거리 함수를 추정하는 것이다. 이러한 분석을 통하여 기업별 효율성을 개선하기 위한 최적의 투입-산출 조합을 탐색할 수 있다.

한편, DEA 모형은 시간에 따른 차이를 고려하지 않고 횡단면적 분석을 수행하므로 시간의 흐름에 따른 변화를 고려하지 못한다. 이러한 단점으로 인하여 개별 DMU의 특정 기간의 효율성 점수를 상이한 성과창출 기간의 효율성과 직접 비교하기에는 무리가 따른다. 따라서 단위 DMU의 효율성 상승과 하락과 같은 변화추이나 효율성 변동을 비교하는 방법으로 본고에서는 Klopp(1985)에 의해서 제안된 종단비교가 가능한 윈도우 분석(window analysis)을 활용하였다. 윈도우 분석은 분석기간을 윈도우로 설정하고 동일 DMU를 서로 다른 DMU로 간주하여 분석을 수행하는 것으로 분석기간의 길이를 설정하고 해당 윈도우에 속하는 자료를 패널화하여 분석하는 방법이다.²⁾ 이와 같은 분석결과가 주는 장점은 DEA윈도우 분석 시에는 기간별 테이블이 생성되는데, 이때 종단적인 행(column) 관점에서는 동일한 데이터 집합체에 대해서 윈도우별 추세와 행태를 파악하여 변화의 안정성과 불안정성을 판단할 수 있고, 횡단적인 열(row)관점에서는 이동과 대체에 따라 발생하는 서로 다른 데이터 집합에 대한 안정성을 검증하여 효율성이 안정적인지 또는 하락하고 있는지 또는 개선되고 있는지를 판단할 수 있다.

2. DEA 분석모형의 자료 수집 및 변수 정의

본고의 표본은 국내 상장제조기업 중 다음 요건을 만족하는 23개 기업을 대상으로 4개년(2010-2013년)의 총 92개의 기업-연도별 자료를 수집하였다.

2) 예를 들며, DMU가 23개이고 윈도우의 길이(기간)를 4로 설정한 경우라면, Q1, Q2, Q3, Q4 각각의 기간에 해당하는 결과에 대하여 23개 DMU를 서로 다른 것으로 간주하여 전체의 92(=4X26)개의 DMU를 비교한다는 것이다.

- (1) 2010년부터 2013까지 지속성장보고서에 본고에서 활용되는 환경지표를 공시한 기업
- (2) 2009년부터 2013년까지 FN-Guide에 연간 재무 자료가 공시된 기업
- (4) 2010년부터 2014년까지 FN-Guide에서 3월 말 주가자료가 공시된 기업

DEA 분석을 위하여 선행 연구를 기초로 지속성장보고서에 공시된 종업원 수(EMP), 환경투자비용(INV), 에너지 사용량(ENG) 및 용수 취수량(WAT)을 투입요인으로 설정하였고, EVA, 온실가스 배출량(GHG) 및 폐기물 배출량(WST)을 산출요인으로 설정하였다.³⁾⁴⁾ 일반적으로 DEA 모형을 활용한 연구모형의 타당성과 판별력을 향상시키기 위해서는 적절한 수의 지표와 DMU를 유지하여야 한다.⁵⁾ Banker, Chames, Cooper (1984)는 DMU가 투입 및 산출요소의 합보다 최소 3배 이상이 되어야 한다고 함을 주장하였다. 본 연구의 DEA 모형에 활용되는 최종 투입요소 및 산출요소는 7개이고 분석대상 DMU는 23개로 DEA 모형 구성에 필요한 최소 DMU 요건을 만족하고 있다. 또한, Korhonen and Luptacik(2004)은 에코효율성 측정과 관련된 DEA 모형에서는 온실가스 배출과 같이 바람직하지 못한 산출물은 투입 변수로 변형하거나 혹은 바람직하지 못한 산출변수로서 산출량을 감소시키는 방향으로 적용할 수 있음을 수학적 증명과 더불어 제시하였다. 본 연구에서는 온실가스 배출량 및 폐기물 배출량과 같은 바람직하지 못한 산출변수는 산출량을 감소시키는 부(-)의 산출변수로 정의하였다.⁶⁾

<표 1>의 패널 A는 DEA 모형 후보변수 간의 피어슨 상관관계를 제시한 것으로 산출요인(EVA, GHG, WST)과 투입요인(EMP, INV, ENG, WAT)이 유의한 양(+)의 상관

3) 투입변수 중 종업원 수는 인적자본스톡의 대리변수이며, 환경투자비용은 환경투자 및 운영비용의 합계로 환경시스템에 투자된 투자자본(Invested Capital)으로 자본스톡의 대리변수이며, 에너지 사용량은 전기 및 원유 등 직간접 사용량을 TJ로 환산하였으며, 용수 취수량은 수도 및 지하수 등의 용수 사용량이다. 산출변수 중 EVA(Economic Value Added: 경제적 부가가치)는 생산성 변수인 기업부가가치와는 다른 개념으로 기업의 영업이익에서 법인세, 금융, 자본비용 등을 제외하여 계산된 현금흐름 기준의 영업이익을 의미하며, 온실가스 배출량은 scope 1 및 2에 해당하는 직간접적 배출량을 포함하고 있음.

4) 참고로 경제적 성과지표로서 본고에서 활용하는 1) EVA 이외에도 2) 매출액, 3) 매출액 및 EVA를 산출변수에 포함하여 3개의 대체적 모형을 구성하여 에코효율성을 측정하였으며, 3개의 대체적 모형에서 산출된 에코효율성과 경제적 성과 사이에 유의적인 양(+)의 관계성이 존재함을 확인하였음.

5) 대체로 DEA 모형의 타당성과 판별력의 관계는 반비례하는 관계에 있다. 즉, DMU 수 대비 지표수가 많아지면 효율성이 높은 DMU의 수가 많아져 판별력이 저하된다. 반대로 모형의 타당도를 높이기 위해서 DMU 대비 적은 수의 지표를 선정하면 모형의 판별력은 향상되지만 DMU의 효율성을 포괄적으로 측정하는 모형의 타당도는 낮아진다.

6) 부(-)의 산출물에 대한 대체적 처리방법과 이에 대한 수학적 증명은 Korhonen and Luptacik(2004), "Eco- efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis", European Journal of Operational Research 154, pp.439-440에 제시되어 있으며 이러한 내용을 부록 1의 후반부에 수록하였음. 참고로 두 가지 대체적 처리방법을 이용하여 본 연구의 표본들의 에코효율성을 비교한 결과, 두 방법에서 산출된 에코효율성이 동일함을 확인하였음.

성이 있음을 확인할 수 있다.

<표 1>의 패널 B는 DEA 모형의 최종 투입변수와 산출변수에 대한 4개년의 기술통계량을 제시하고 있다. 먼저 투입변수의 특성을 살펴보면 지난 4개년 간(2010-2013년) 기업들의 종업원 수(EMP), 환경비용(INV), 에너지 사용량(ENG), 용수 사용량(WAT)는 증가하는 추세에 있다. 종업원 수는 2010년 평균 16,339명에서 2013년 17,535명으로 약 7.3% 정도 증가, 환경비용 역시 2010년 평균 76,778억 원에서 2013년 86,369억 원으로 12.5% 증가, 에너지 사용량은 2010년 평균 29,352TJ(TeraJoule)에서 2013년 평균 35,222TJ로 20.0% 증가, 용수 사용량은 2010년 평균 20,189천 톤에서 2013년 평균 23,196천 톤으로 14.9% 증가하였다. 한편 산출변수 중 온실가스 배출량(GHG)은 2010년 평균 2,988천 톤에서 2013년 평균 2,657천 톤으로 약 11.1% 감소하였지만, 폐기물 배출량(WST)은 2010년 평균 162,289톤에서 2013년 177,331톤으로 약 9.3% 증가하였다. 또한, 경제적 성과지표인 EVA는 2010년 평균 206,685억 원에서 2013년 219,579억 원으로 약 6.2% 증가하였다. 전체적으로 투입요인의 증가율과 비교하여 환경산출물 및 경제적 성과지표의 개선이 미약한 상태이며 이는 기업의 연도별 환경경쟁력이 지속적으로 약화하고 있음을 간접적으로 시사하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

본고의 에코효율성 평가절차는 다음과 같다. 에코효율성 평가방법으로는 DEA window 분석모형을 적용하였으며, 먼저 CCR 모형을 통해서 기술효율성을 측정하고, 둘째 BCC 모형으로부터 순수기술효율성과 규모효율성을 측정하였다. 이를 통해서 23개 표본기업의 연도별 규모수익체증(IRS), 규모수익불변(CRS), 규모수익체감(DRS)을 비교하였으며, 마지막으로 투입지향모형과 산출지향모형을 이용하여 최적의 투입-산출 조합을 분석하였다.

표 1 DEA 분석 변수들의 피어슨상관관계 및 기술통계량

패널 A. DEA 분석 후보변수들의 피어슨상관관계

		투입			
		EMP	INV	ENG	WAT
산 출	GHG	0.281 (0.006)	0.543 (<0.001)	0.928 (<0.001)	0.947 (<0.001)
	WST	0.543 (<0.001)	0.432 (<0.001)	0.366 (<0.001)	0.424 (<0.001)
	EVA	0.633 (<.001)	0.582 (<.0010)	0.478 (<0.001)	0.492 (<0.001)

패널 B. DEA 분석 최종변수들의 기술통계량

변수	2010		2011		2012		2013		증감 (%)
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	
EMP	16,339	23,311	16,652	23,140	16,926	21,612	17,535	22,716	7.3
INV	76,778	113,584	84,550	147,995	81,737	110,497	86,369	127,255	12.5
ENG	29,352	34,632	31,123	36,332	33,235	39,235	35,222	42,492	20.0
WAT	20,189	42,625	21,506	48,669	22,743	30,085	23,196	30,410	14.9
GHG	2,988	6,491	2,859	4,700	2,562	3,469	2,657	3,633	-11.1
WST	162,289	250,898	185,584	276,128	178,007	241,228	177,331	247,998	9.3
EVA	206,685	304,090	203,373	341,926	237,088	457,573	219,579	388,179	6.2

주: 1) 상관분석 각 셀의 상단의 수치는 상관계수, 하단의 수치는 p-value를 나타냄
 2) 변수: EMP: 종업원 수, INV: 환경투자비용, WAT: 용수 취수량, EVA: 경제적 부가가치
 WST: 폐기물 방출량, GHG: 온실가스 배출량, ENG: 에너지 사용량,

3. 에코효율성과 경제적 성과의 연관성 분석을 위한 가설 및 모형설계

1) 에코효율성과 경제적 성과의 인과관계 검증

에코효율성과 경제적 성과의 관련성을 정확히 파악하기 위해서는 이들 변수 간의 양방향 분석이 필수적인 바, 시계열 데이터와 횡단면 데이터를 통합한 표본을 이용해서 에코효율성과 경제적 성과 사이에 어떠한 방향의 통계적인 인과관계가 있는가를 식(1)과 식(2)를 통해 확인하고자 한다. 먼저 식(1)에서는 경제적 성과가 에코효율성의 변동을 설명하는가를 검증하기 위한 연구모형을 다음과 같이 설정하였다.

$$EE_t = \beta_1 EP_{t-1} + \beta_2 LEV_{t-1} + \beta_3 SIZE_{t-1} \quad (1)$$

EE: 에코효율성(TE, PTE), EP: 경제적 성과 (ROA, 토빈 Q), LEV: 부채비율, SIZE: LN(총자산)

에코효율성이 경제적 성과에 미치는 인과관계를 확인하기 위하여 식 (2)를 설정하였다.

$$EP_t = \beta_1 EE_{t-1} + \beta_2 LEV_{t-1} + \beta_3 SIZE_{t-1} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)의 에코효율성과 경제적 성과의 연관성에 대한 검증은 기본적으로 최소자승법(OLS)으로 추정할 수 있으나, 산업별 특수성이나 연도별 특수성 효과와 같이 관측되지 않는 변수들의 효과가 잔차에 포함될 수 있으며, 이 때문에 소위 내생성의 문제가 발생할 수 있다. 이런 경우 전형적 최소자승법 추정치에는 편의가 생기므로 시간의 흐름에 따라 불변하는 시간불변변수(time-invariant variable)의 영향을 추정할 수 있는 고정효과 모형 및 기업의 이질성(heterogeneity)을 통제할 수 있는 확률효과 모형 등의 패널분석을 대체로 이용하여 추정하고자 한다.⁷⁾

그런데 식(2)에서 종속변수인 경제적 성과의 과거 시차항을 누락시키면 현재의 경제적 성과에 대한 과거 경제적 성과의 영향으로 인해 오차항은 체계적 양상을 띠게 되고 볼 수 있다. 이런 점을 해결하기 위해 과거의 경제적 성과 변수를 모형에 포함하는데 이것은 시계열 추세를 통제하고, 에코효율성이 미래의 경제적 성과에 추가적인 정보를 제공하는지를 검토하기 위한 것이다(Ittner, Larker, 1998). 식(3)에서는 패널분석 모형의 동태적 효과를 분석하기 위하여 종속변수의 시차변수를 설명변수에 포함하였다.

$$EP_t = \beta_1 EP_{t-1} + \beta_2 EE_{t-1} + \beta_3 LEV_{t-1} + \beta_4 SIZE_{t-1} \quad (3)$$

2) 에코효율성과 경제적 성과사이의 연관성 분석

한완선(2004)은 환경성과와 경제적 성과의 연관성 분석의 가설 검증과 관련하여 수익성 가설과 기업가치 가설로 구분하여 검증하였다. 수익성 가설은 에코효율성과 경제적 성과(수익성 지표)의 단기적인 관계성을 검증하기 위한 가설로서 높은 환경성과를 추진하는 과정에서 기업의 경쟁력을 제고시키고 수익성도 증가함을 귀무가설로 하고 있다.

기존 연구에서 활용된 대표적인 수익성 지표는 총자산투자수익률(ROA), 매출액순이익률(ROS) 등이 있다. 본 연구에서도 기업의 수익성 지표(EP)로서 ROA와 ROS를 종속 변수로 선정하였으며 주요 관심변수인 에코효율성(TE, PTE)과 수익성 지표(ROA, ROS) 사이에는 양(+)의 관계성을 예상하였다. 통제변수는 선행 연구를 참조하여 부채비율(LEV), 매출액성장률(GR), 기업규모(SIZE)를 선정하였다. 부채비율은 레버리지 지

7) 패널분석을 위해서는 추정회귀계수의 수보다 시계열의 길이가 커야 한다. 본고에서 활용되는 환경성과지표의 시계열의 길이가 4기간인 관계로 패널분석에서 상수항 및 성장률, 시장베타 등과 같은 관련 통제변수를 분석에서 제외하였음.

표로서 부채비율이 높으면 수익성(또는 기업가치)에 일정 수준까지는 양(+의 영향을 미치지 않지만, 과도한 부채수준은 음(-)의 관계를 나타내는 등 비선형적 관계성이 예상되므로 부채수준과 수익성(기업가치)에 대한 방향성을 예측하지 않았다(전정주, 2012). 기업규모는 기업의 총자산을 자연로그로 변환한 값으로서 수익성(또는 기업가치)와 양(+의 관련성을 가질 것으로 예측하였다(박준우, 2011). 매출액성장률은 성장성 지표로서 수익성(또는 기업가치)와 양(+의 관계성을 가질 것으로 예측하였다(신현한, 이상철, 장진호, 2004; 오훈석, 최국현, 2011). 마지막으로 거시환경변화의 영향을 통제하기 위하여 년도더미변수(YR)를 추가하였다. 식(4)는 에코효율성이 당기($t = s$) 차기($t = s + 1$)의 수익성 지표의 변동을 설명하는가를 검증하기 위한 연구모형이다.

가설 1. 에코효율성과 기업의 수익성 사이에는 양(+의 관련성이 존재한다.

$$EP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,s} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \sum \beta_j YR_i \quad (4)$$

기업가치 가설은 에코효율성과 경제적 성과(기업가치)의 장기적인 관련성을 검증하기 위한 목적으로 환경성과 향상으로 인하여 종업원의 참여, 조직 부문 간의 연계성이 높아지는 등 대내적인 효과뿐만 아니라 대외적으로 환경성과를 외부에 공시함으로써 고객, 투자자, 금융기관 등에 긍정적 이미지를 주어 기업가치에 양(+의 영향을 미치게 됨을 귀무가설로 하고 있다. 이에 따른 기업가치 가설은 다음과 같다.

가설 2. 에코효율성과 기업가치 사이에는 양(+의 관련성이 존재한다.

선행 연구를 기초로 환경성과와 기업가치의 관련성 분석을 위하여 3개의 모형을 구성하였다. 선행 연구에서 환경성과와 기업가치의 관련성 분석을 위하여 활용하였던 시장변수로는 토빈 Q(TQ), 주가(P) 및 주가수익률(RET) 등이 있다. 토빈 Q를 종속 변수로 설정한 식 (5)에서 주요 관심변수인 에코효율성 지표와 토빈 Q(TQ) 사이에 양(+의 관계성을 예상한다. 수익성 가설검증에 사용된 3개의 통제변수 외에 시장베타(BETA)를 추가적 통제변수로 선정하였다. 시장베타는 기업의 위험수준을 나타내므로 기업가치와 음(-)의 관계를 예상하였다(전정주, 2012).

$$\text{토빈 Q: } TQ_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,t} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \beta_5 BT_{i,t} + \Sigma \beta_j YR \quad (5)$$

식 (6)은 Collins, Maydew, Weiss(1997)의 연구모형에 에코효율성 지표를 추가하여 에코효율성 지표와 주가(P)의 양(+)의 관련성을 가정한 가격모형(Price Model)으로 에코효율성의 가치관련성(value relevance)을 분석하고자 한다.

$$\text{Price Model: } P_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,t} + \beta_2 EPS_{i,t} + \beta_3 BPS_{i,t} + \Sigma \beta_j YR \quad (6)$$

식 (7)은 주가수익률을 종속 변수로 하여 에코효율성 지표와 수익률(RET) 사이의 양(+)의 관계성을 가정한 수익률모형>Returns Model)이다.

$$\text{Return Model: } Ret_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \frac{EE_{i,t}}{P_{i,t-1}} + \beta_2 \frac{EPS_{i,t}}{P_{i,t-1}} + \beta_3 \frac{BPS_{i,t}}{P_{i,t-1}} \quad (7)$$

에코효율성과 경제적 성과의 연관성에 대한 실증분석은 시계열데이터의 부족으로 인하여 합동 회귀모형(Pooled OLS)을 이용하여 추정하고자 한다.

IV. 에코효율성 분석결과

1. 에코효율성 분석결과

DEA 분석은 Efficiency Measure System(EMS) DEA 소프트웨어를 활용하였다. 2010년부터 2013년까지 표본기업에 대한 CCR 모형 및 BCC 모형의 window 분석에서 산출된 에코효율성은 <표 2>에 제시되어 있다.

첫째, <표 2>에서 2010년 DMU 1의 경우 기술효율성은 0.904로서 투입자원의 9.6%가 비효율적으로 사용되고 있음을 의미한다. 또한, 순수기술효율성은 0.996, 규모효율성은 0.907로 수익체감(DRS)로 평가되어 DMU 1의 비효율성이 주로 규모의 비효율성에 기인하고 있음을 보여준다. DMU 1의 경우 투입물을 증가시키면 투입물의 증가 대비 산출물의 증가가 1보다 작은 DRS로 판정되었기 때문에 환경투입물을 감축하는 전

략을 선택하여 에코효율성을 개선할 수 있다. 반면 2010년 DMU 22의 경우 투입물의 증가 대비 산출물의 증가가 1보다 큰 IRS로 판정되었기 때문에 DMU 22는 투입자원의 양을 증가시키므로써 에코효율성을 개선할 수 있다.

둘째, 4개 년도에 걸쳐 모든 기업의 주요 효율성 지표를 살펴보면 2010년부터 2013년까지 기술효율성의 평균은 87.2%에서 82.5%로, 순수기술효율성 평균은 93.5%에서 89.4%, 규모효율성 평균은 92.9%에서 92.3%로 감소하였다. 이는 전반적으로 국내 기업들의 에코효율성이 지속적으로 저하되고 있으며, 이러한 표본기업의 에코효율성 저하의 원인이 규모효율성보다는 순수기술효율성의 저하에 의해 영향을 받고 있는 것으로 볼 수 있다. 개별 DMU 관점에서 23개의 DMU 중 15개의 DMU가 에코효율성이 감소하였으며, 1개의 DMU만이 에코효율성이 개선된 것으로 분석되었다.

셋째, 기술효율성과 순수기술효율성 측면에서 볼 때, 2010년부터 2013까지 순수기술 효율성과 규모효율성이 모두 1인 4개의 DMU(10, 13, 19, 21)만이 4개년 모두에서 규모 수익불변(CRS)으로 판정되어 능률적인 업무와 최적의 규모에서 효율성을 달성하고 있으며, 타 DMU의 벤치마킹 대상기업으로 활용되고 있다. 한편 2010년에 규모수익불변으로 평가되면서 비교적 우수한 효율성을 유지하고 있는 4개의 DMU(7, 8, 14, 23)는 2013년에는 기술효율성이 상대적으로 저하되고 수익체증(IRS)으로 평가되어 관리운영의 개선 및 추가적인 환경투자가 필요한 것으로 판정되었다.

넷째, 2010년도와 2011년도에 12개의 DMU가 규모수익체감(DRS)으로 판정되었으며, 2012년도와 2013년도에는 10개의 DMU가 규모수익체감으로 판정되었다. 규모수익체감으로 판정된 DMU는 투입요소의 규모를 증가시키면 이에 비례하여 부(-)의 산출물이 증가하므로 투입요소의 규모를 줄이는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 즉 이처럼 판정된 DMU는 현재 투입변수인 종업원 수, 환경투자비용, 에너지 사용량, 용수사용량이 산출규모를 고려할 때, 적정 수준 이상일 수 있다는 것으로 이러한 투입요소를 효율적으로 관리하는 전략이 필요하다.

마지막으로, 2010년도에 1개의 DMU가 수익체증으로 판정되었고, 2011년도에는 4개, 2012년도와 2013년도에는 7개의 DMU가 수익체증으로 판정되었다. 이러한 DMU에서는 적정관리 기술의 도입을 통하여 프로세스를 개선하거나 추가적인 환경투자가 필요하다고 볼 수 있다.

표 2 에코효율성의 기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성 분석 결과

DMU	2010					2011					2012					2013				
	TE	PTE	SE	규모 수익	규모 수익	TE	PTE	SE	규모 수익	규모 수익	TE	PTE	SE	규모 수익	규모 수익	TE	PTE	SE	규모 수익	규모 수익
1	0.904	0.996	0.907	DRS	DRS	0.915	1	0.915	DRS	DRS	0.873	1	0.873	DRS	DRS	0.847	1	0.847	DRS	DRS
2	0.762	1	0.762	DRS	DRS	0.588	1	0.588	DRS	DRS	0.576	1	0.577	DRS	DRS	0.736	1	0.736	DRS	DRS
3	0.951	1	0.951	DRS	DRS	0.869	1	0.869	DRS	DRS	0.837	1	0.837	DRS	DRS	0.797	1	0.797	DRS	DRS
4	1	1	1	CRS	CRS	0.989	1	0.989	DRS	DRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS
5	0.651	0.659	0.988	DRS	DRS	0.624	0.637	0.979	DRS	DRS	0.621	0.63	0.987	DRS	DRS	0.539	0.562	0.959	DRS	DRS
6	0.593	0.861	0.688	DRS	DRS	0.587	0.678	0.866	DRS	DRS	0.611	0.694	0.88	DRS	DRS	0.58	0.653	0.888	DRS	DRS
7	1	1	1	CRS	CRS	0.971	1	0.971	IRS	IRS	0.925	1	0.925	IRS	IRS	0.957	1	0.957	IRS	IRS
8	1	1	1	CRS	CRS	0.974	1	0.974	IRS	IRS	0.698	1	0.698	IRS	IRS	0.866	1	0.866	IRS	IRS
9	0.724	0.825	0.878	DRS	DRS	0.747	0.853	0.876	DRS	DRS	0.719	0.844	0.852	DRS	DRS	0.699	0.823	0.849	DRS	DRS
10	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS
11	0.554	0.607	0.912	DRS	DRS	0.55	0.583	0.943	DRS	DRS	0.54	0.583	0.926	DRS	DRS	0.554	0.571	0.97	DRS	DRS
12	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	0.954	1	0.954	IRS	IRS	1	1	1	CRS	CRS
13	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS
14	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	0.873	1	0.873	IRS	IRS	0.675	0.765	0.882	IRS	IRS
15	0.994	0.994	0.999	DRS	DRS	0.773	0.814	0.95	DRS	DRS	0.955	0.974	0.981	DRS	DRS	0.928	0.951	0.976	DRS	DRS
16	0.538	0.797	0.676	DRS	DRS	0.618	0.716	0.864	DRS	DRS	0.615	0.684	0.899	DRS	DRS	0.588	0.67	0.879	DRS	DRS
17	0.731	0.814	0.899	DRS	DRS	0.75	0.831	0.902	DRS	DRS	0.699	0.797	0.877	DRS	DRS	0.684	0.793	0.862	DRS	DRS
18	0.943	0.948	0.994	DRS	DRS	0.944	0.947	0.997	IRS	IRS	0.941	1	0.941	IRS	IRS	0.922	1	0.922	IRS	IRS
19	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS
20	0.911	1	0.911	DRS	DRS	0.898	0.918	0.978	DRS	DRS	0.797	0.813	0.98	IRS	IRS	0.771	0.773	0.998	IRS	IRS
21	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS
22	0.798	1	0.798	IRS	IRS	0.708	1	0.708	IRS	IRS	0.701	1	0.701	IRS	IRS	0.675	1	0.675	IRS	IRS
23	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	1	1	1	CRS	CRS	0.95	1	0.95	IRS	IRS
평균	0.872	0.935	0.929			0.848	0.912	0.929			0.823	0.914	0.903			0.816	0.894	0.914		

표 3 최적 투입-산출 조합의 분석 결과

패널 A 투입물 지향모형의 최적 투입물 감축량

DMU	2010				2011				2012				2013			
	EMP	INV	ENG	WAT	EMP	INV	ENG	WAT	EMP	INV	ENG	WAT	EMP	INV	ENG	WAT
1	0.00	0.00	0.07	0.14	0.09	0.01	0.00	0.17	0.00	0.11	0.00	0.07	0.00	0.00	0.13	0.06
2	0.01	0.02	0.33	0.43	0.05	0.01	0.29	0.38	0.08	0.00	0.36	0.41	0.10	0.00	0.51	0.58
3	0.00	0.01	0.00	0.17	0.00	0.00	0.10	0.24	0.00	0.00	0.39	0.17	0.00	0.00	0.00	0.15
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.51	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.02	0.22	0.28	0.00	0.00	0.16	0.23	0.00	0.00	0.27	0.28
6	0.01	0.02	0.00	0.40	0.04	0.01	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.17
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.69	0.70	0.00	0.00	0.50	0.59	0.00	0.00	0.17	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.72	0.72	0.00	0.00	0.53	0.54	0.00	0.00	0.62	0.56
9	0.00	0.03	0.00	0.18	0.00	0.00	0.30	0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.04	0.14	0.01	0.00	0.04	0.10	0.15	0.28	0.00	0.21
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.28	0.00	0.21	0.04	0.14	0.00	0.09
15	0.03	0.01	0.43	0.00	0.00	0.02	0.30	0.08	0.00	0.00	0.31	0.03	0.00	0.00	0.29	0.07
16	0.01	0.02	0.05	0.12	0.00	0.02	0.09	0.13	0.00	0.00	0.03	0.10	0.00	0.00	0.00	0.09
17	0.00	0.02	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
18	0.00	0.00	0.24	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.18	0.00	0.23	0.00	0.22	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.24	0.49	0.00	0.00	0.60	0.61	0.00	0.00	0.39	0.51	0.00	0.00	0.15	0.25
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.06	0.01	0.12	0.00	0.00	0.01	0.06	0.07	0.15	0.25	0.00	0.23	0.20	0.31	0.00	0.27
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.36
평균	0.01	0.01	0.06	0.10	0.01	0.01	0.15	0.19	0.03	0.03	0.15	0.21	0.03	0.03	0.10	0.14

패널 B. 산출물 지향 CCR모형의 최적 투입물 감축량

DMU	2010			2011			2012			2013		
	GHG	WAT	EVA	GHG	WAT	EVA	GHG	WAT	EVA	GHG	WAT	EVA
1	-0.03	0.00	0.41	-0.12	0.00	0.37	-0.12	-0.17	0.40	-0.13	-0.18	0.42
2	-0.44	-0.33	0.00	-0.39	-0.31	0.00	-0.42	-0.36	0.00	-0.59	-0.51	0.00
3	-0.01	-0.31	0.00	-0.25	-0.42	0.00	-0.04	-0.36	0.00	-0.11	-0.42	0.00
4	0.00	0.00	0.00	-0.49	-0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	-0.03	-0.20	0.42	-0.28	-0.26	0.45	-0.18	-0.23	0.45	-0.33	-0.26	0.41
6	-0.36	-0.21	0.08	-0.24	-0.19	0.43	-0.18	-0.17	0.45	-0.16	-0.15	0.45
7	0.00	0.00	0.00	-0.69	-0.64	0.00	-0.36	-0.68	0.00	-0.15	-0.30	0.00
8	0.00	0.00	0.00	-0.73	-0.71	0.00	-0.53	-0.55	0.00	-0.68	-0.69	0.00
9	-0.13	-0.18	0.45	-0.12	-0.06	0.45	-0.14	-0.23	0.42	-0.14	-0.26	0.42
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	-0.08	-0.16	0.42	-0.11	-0.54	0.45	-0.09	-0.06	0.45	-0.04	-0.07	0.45
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.33	-0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.28	-0.38	0.45	-0.18	-0.21	0.45
15	-0.01	-0.56	0.37	-0.28	-0.64	0.40	0.00	-0.45	0.37	0.00	-0.48	0.35
16	-0.14	-0.08	0.12	-0.13	-0.10	0.45	-0.07	-0.09	0.45	-0.07	-0.07	0.45
17	-0.06	-0.25	0.12	-0.14	0.10	0.45	-0.11	-0.22	0.45	-0.16	-0.32	0.37
18	-0.13	-0.60	0.36	-0.18	-0.65	0.39	-0.28	-0.60	0.00	-0.32	-0.62	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	-0.28	-0.13	0.00	-0.61	-0.57	0.22	-0.34	-0.53	0.33	-0.22	-0.33	0.27
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	-0.14	-0.18	0.00	-0.11	-0.14	0.00	-0.02	-0.11	0.00	-0.08	-0.19	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.43	0.00
평균	-0.08	-0.14	0.12	-0.21	-0.24	0.18	-0.15	-0.26	0.18	-0.15	-0.24	0.18

<표 3>의 패널 A는 산출량을 고정한 뒤 투입물의 양을 감소시켜 효율성을 증대시키는 것을 가정한 투입물지향(input-oriented) CCR 모형의 분석 결과를 나타내고 있다. 패널 A는 비효율적인 DMU가 효율적인 DMU가 되기 위하여 감축해야 할 투입물의 크기를 보여주는 것으로, 예를 들어 비효율적인 DMU 1이 효율적 DMU가 되기 위해서 2013년 기준으로 에너지 사용량을 현재 사용량 대비 13%, 용수사용량을 현재 사용량 대비 6%만큼 감축하여야 함을 보여준다. 반면, 효율성 측정치가 1인 DMU 4 및 DMU 10의 경우에는 별도의 투입물 감축이 필요하지 않음을 보여주고 있다. 또한, 2013년 기준으로 전체 DMU의 환경투입물의 평균적인 감축량은 종업원 수 3% 감축, 환경투자비용 3% 감축, 에너지 사용량 10% 감축, 용수 취수량 14% 감축이 필요한 것으로 분석되어 에너지 효율성과 용수사용의 효율성이 크게 개선되어야 한다. 이처럼 패널 A의 결과는 환경투입물을 감축시키는 프로세스지향 환경관리 전략의 기초 자료로 활용할 수 있다.

반면, <표 3>의 패널 B는 투입량을 고정한 뒤 산출변수의 양을 증가시켜 효율성을 증대시키는 것을 가정하고 있는 산출물지향(output-oriented) CCR 모형의 분석 결과를 나타내고 있다. 비효율적인 DMU가 효율적인 DMU가 되기 위하여 증가시켜야 할 산출물의 크기를 보여주는 것으로, DMU 5의 경우 기존의 투입물은 그대로 유지하면서 효율적 DMU가 되기 위해서는 온실가스 배출량의 3% 감축, 폐기물 배출량의 20% 감축 및 EVA의 42%가 증가하여야 한다. DMU 5가 이러한 매출목표를 달성하는 것이 불가능하다면 패널 A의 투입물지향 CCR 모형의 해에서처럼 투입물을 축소시켜야 할 것이다. 반면, 효율성 측정치가 1인 DMU 4 및 DMU 10의 경우에는 추가적인 산출물 증가가 필요하지 않음을 보여주고 있다. 패널 B는 시장지향 환경관리 전략의 기초 자료로 활용할 수 있다.

2. 에코효율성의 강건성 검증 분석 결과

본 연구와 같이 기업이 공표하는 지속성장보고서를 분석 자료의 원천으로 활용하는 경우 기업별로 성과측정의 기준과 보고서 작성체계 등이 서로 달라서 정보의 신뢰성에 대한 검증 문제가 발생한다. 본 연구에서는 에코효율성이 국내 전문평가기관에서 공시하고 있는 환경성과지표와 일관성을 유지하는지에 대한 비교를 통하여 에코효율성의 강건성을 검증하고자 한다. 강건성 검증의 비교 대상으로 한국기업지배구조원의 환경

등급을 활용하고자 한다. 한국기업지배구조원에서는 2003년부터 환경전략 및 조직, 환경경영-관리, 환경경영-활동, 환경성과, 이해관계자 대응 등 5개 항목의 평가가 반영된 환경등급을 공표하고 있으며, 환경등급은 S, A+, A, B+, B, C, D의 6개 등급으로 구성되어 있다. 본 연구의 분석대상인 23개 기업의 연도별 환경등급은 <표 4>와 같이 구성되어 있다. 본 연구에서는 에코효율성과 환경등급의 비교를 위하여 에코효율성을 연도별로 순위 정렬 후 환경등급의 빈도수에 맞추어 에코효율성에 등급을 부여하였다. 즉 2010년의 경우 상위 5개 기업에는 A+등급, 중위 11개 기업에는 A등급, 하위 7개 기업에는 B+등급을 부여하였다.

에코효율성 등급과 환경등급과의 일관성 비교를 위한 부호검정 및 부호순위검정의 검정통계량(p-value) 결과는 <표 4>에 제시되어 있다. <표 4>의 에코효율성과 환경보호 만족도 평가점수의 비교결과 부호검정 및 부호순위검정 통계량의 p-value가 통계적 유의수준 5%를 초과하여 에코효율성 등급과 환경등급의 차이에 대한 검정 통계량 역시 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 결과적으로 에코효율성과 환경등급은 통계적으로 유의적인 차이가 없이 서로 일관성 있게 평가되고 있으며, 이는 본고에서 제안한 에코효율성은 강건한 환경효율성 측정치이며 전문평가기관의 절대적 성과지표와 상호 보완적으로 연계하여 활용할 수 있음을 의미한다.

표 4 에코효율성의 강건성 검정

패널 A. 한국기업지배구조원의 환경등급 분포

환경등급	2010	2011	2012	2013
S	0	0	0	0
A+(코딩값 1)	5	3	4	4
A(코딩값 2)	11	12	11	11
B+(코딩값 3)	7	8	8	8
Below than B+	0	0	0	0
합 계	23	23	23	23

패널 B. 에코효율성의 강건성 검정통계량(p-value)

검정통계	TE	PTE
sign test	2.45 (0.57)	4 (0.22)
signed rank test	44 (0.60)	135 (0.20)

V. 환경효율성과 경제적 성과의 연관성 분석결과

1. 기술통계 분석

에코효율성(TE 및 PTE)과 경제적 성과의 관련성 분석에 사용되는 주요 변수에 대한 기술통계량은 <표 5>의 패널 A에 제시되어 있다. 먼저 본 연구의 관심변수인 에코효율성 TE 및 PTE의 경우 평균(중위수)은 각각 0.55(0.48)와 0.75(0.64)이다. 수익성 변수인 ROA와 ROS의 평균(중위수)은 각각 7.18(6.05), 6.39(5.94)이며 기업가치 변수인 토빈 Q(TQ), 주가(P) 및 주가수익률(RET)의 평균(중위수)은 각각 0.93(0.69), 189,596(89,500)원, 1.11(0.96)이다.

<표 5>의 패널 B는 주요 변수에 대한 피어슨/스피어만 상관계수를 나타내고 있다. 패널 B에서 제시된 대각선 상단의 수치는 Pearson 상관계수이고, 대각선 하단의 수치는 Spearman 상관계수이다. 각 변수 사이의 Pearson 상관계수와 Spearman 상관계수는 기대부호와 일치하며, 관심변수인 에코효율성 TE 및 PTE와 종속변수인 ROA, ROS, 토빈 Q(TQ), 주가(P), 주가수익률(RET) 간에는 유의적인 양(+)의 상관관계가 존재하고 있음을 나타내고 있다.

표 5 에코효율성과 경제적 성과 지표의 기술통계량 및 상관관계 분석

패널 A. 에코효율성과 경제적 성과 지표의 기술통계량

변수	평균	표준편차	최소	1분위	중위수	3분위	최대
ROA	7.18	6.72	-17.72	2.92	6.05	11.62	25.08
ROS	6.39	5.96	-10.48	2.65	5.94	9.09	27.05
TQ	0.93	0.94	0.09	0.37	0.69	1.16	3.77
P	189,596	271,093	13,700	38,825	89,550	227,250	1,527,000
RET	1.11	0.53	0.47	0.80	0.96	1.17	3.41
TE	0.55	0.30	0.12	0.30	0.48	0.80	1.00
PTE	0.75	0.30	0.12	0.43	0.64	0.91	1.00
LEV	0.62	0.33	0.21	0.44	0.59	0.69	2.00
GR	1.16	0.41	0.42	1.00	1.09	1.22	2.50
SIZE	13.18	0.43	12.29	12.86	13.56	13.44	14.33
BT	1.17	0.33	0.31	0.98	1.15	1.38	1.93
EPS	13,567	26,670	-17,677	1,588	5,349	16,036	175,282
BPS	97,796	140,611	8,614	29,584	54,968	124,126	892,045

패널 B. 에코효율성과 경제적 성과 지표의 상관관계 분석

변수	ROA	ROS	TQ	P_t	RET	TE	PTE
ROA		0.83 ^c	0.68 ^c	0.52 ^c	0.32 ^c	0.50 ^c	0.35 ^c
ROS	0.83 ^c		0.41 ^c	0.41 ^c	0.28 ^c	0.33 ^c	0.30 ^c
TQ	0.68 ^c	0.41 ^c		0.46 ^c	0.19 ^a	0.54 ^c	0.31 ^c
P	0.52 ^c	0.41 ^c	0.46 ^c		0.15	0.35 ^c	0.36 ^c
RET	0.30 ^c	0.33 ^c	0.27 ^b	0.26 ^b		0.24 ^b	0.19 ^b
TE	0.50 ^c	0.33 ^c	0.54 ^c	0.35 ^c	0.34 ^c		0.71 ^c
PTE	0.35 ^c	0.30 ^c	0.31 ^c	0.36 ^c	0.19 ^a	0.71 ^c	

주: 1) c: $p < 0.01$ b: $p < 0.05$ a < 0.

2) 변수의 정의

ROA: 총자산투자수익률, ROS: 매출액순이익률 = 당기순이익/당기매출액
 TQ: 토빈 Q = (보통주시장가 + 우선주시장가 + 총부채 - 유동자산)/총자산
 RET: P_t / P_{t-1} , (P_t : t 기 다음해의 3월말 증가, P_{t-1} : t 기의 3월말 증가
 TE 기술효율성, PTE: 순수기술효율성, LEV: 부채비율, GR:당기매출액/전기매출액,
 SIZE: LN(총자산), BT: 시장베타, EPS: 주당순이익, BPS: 주당순자산

2. 에코효율성과 경제적 성과의 인과관계 검증

에코효율성과 경제적 성과의 인과관계에 대하여 패널의 개체특성 오차항을 고정된 것으로 간주한 고정효과 모형과 패널의 개체 특성 오차항을 확률변수로 간주한 확률효과 모형을 적용한 분석 결과는 <표 6>에 제시되어 있다. 먼저 패널 A에서 고정효과 모형을 활용한 패널의 개체특성 유무에 대한 F 검정 결과, 개체 특성 오차항이 0이라는 귀무가설이 기각되어, 패널의 개체특성을 고려해야 함을 알 수 있다. 한편, 고정효과모형과 확률효과 모형에 대한 하우스만 검정(Hausman Test) 결과, 패널의 개체특성과 설명변수 간의 상관관계가 0이라는 귀무가설을 기각하여 고정효과 모형을 선택하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 고정효과 모형에 따르면 기대부호와 달리 전기의 ROA는 당기의 에코효율성과 음(-)의 관계성을 가지고 있지만, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었으며, 전기의 토빈 Q는 당기의 에코효율성과 양(+)의 관계성을 가지지만 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되어 경제적 성과로부터 에코효율성로의 인과성은 존재하지 않는 것으로 나타났다.

반면에 패널 B는 에코효율성이 경제적 성과에 미치는 인과관계를 분석한 결과로서 고정효과 모형이 바람직한 것으로 분석되었다. 고정효과 모형에서 두 변수 간 인과관계가 에코효율성에서 경제적 성과의 방향으로 존재하며 통계적으로 유의적임을 알 수 있다.

표 6 에코효율성과 경제적 성과의 인과관계 분석 결과

패널 A. 경제적 성과 → 에코효율성: $EE_{i,t} = \beta_1 EP_{i,t-1} + \beta_2 LEV_{i,t-1} + \beta_3 SIZE_{i,t-1}$

<i>EE</i>		<i>TE_t</i>				<i>PTE_t</i>			
기대부호		고정효과		확률효과		고정효과		확률효과	
<i>ROA_{t-1}</i>	+	-0.145 (1.52)		-0.048 (-0.54)		-0.038 (-0.15)		-0.006 (-0.04)	
<i>TQ_{t-1}</i>	+		0.243 (1.13)		0.341 (1.78)a		0.188 (0.33)		-0.098 (-0.57)
<i>LEV_{t-1}</i>	+/-	-0.479 (-0.86)	-0.125 (-0.21)	-0.261 (-1.45)	-0.185 (-1.09)	-0.720 (-0.47)	-0.556 (-0.36)	-0.0488 (-0.30)	-0.025 (-0.16)
<i>SIZE_{t-1}</i>	+	0.621 (1.51)	0.108 (0.22)	0.191 (1.11)	0.009 (0.05)	1.034 (0.93)	1.310 (1.02)	0.141 (0.92)	0.178 (1.07)
F-검정		<0.0001	<0.0001			0.0494	0.0388		
Hausman				<0.0001	0.0466			<0.0001	<0.0001
<i>R</i> ²		0.8933	0.8872	0.0547	0.1293	0.4027	0.4039	0.0135	0.0184

패널 B. 에코효율성 → 경제적 성과: $EP_{i,t} = \beta_1 EE_{i,t-1} + \beta_2 LEV_{i,t-1} + \beta_3 SIZE_{i,t-1}$

<i>EP</i>		<i>ROA_t</i>				<i>TQ_t</i>			
기대부호		고정효과		확률효과		고정효과		확률효과	
<i>TE_{t-1}</i>	+	0.952 (4.09)c		0.598 (4.14)c		0.217 (2.57)b		0.260 (3.31)c	
<i>PTE_{t-1}</i>	+		0.684 (1.87)b		0.345 (2.44)b		0.179 (1.85)b		0.236 (2.41)b
<i>LEV_{t-1}</i>	+/-	-0.958 (-1.06)	-1.877 (-1.88)a	-0.104 (-0.65)	-0.302 (-2.03)b	-0.253 (-0.77)	-0.436 (-1.33)	-0.137 (-0.91)	-0.174 (-1.13)
<i>SIZE_{t-1}</i>	+	2.013 (3.21)c	2.330 (3.25)c	0.132 (0.84)	0.034 (0.23)	1.190 (5.22)c	1.251 (5.32)c	0.510 (3.68)	0.544 (3.86)c
F-검정		0.0007	0.0100			<0.0001	<0.0001		
Hausman				0.0002	0.0040			0.0008	0.0021
<i>R</i> ²		0.7201	0.6297	0.2320	0.1241	0.9546	0.9508	0.3165	0.2657

주: 1) ()의 값은 t-값을 의미함. c: p<0.01 b: p<0.05 a <0.1

2) 변수의 정의

ROA: 총자산투자수익률, TQ: 토빈 Q, TE: 기술효율성, PTE: 순수기술효율성

LEV: 부채비율, SIZE: LN(총자산)

동적(dynamic) 패널데이터 분석은 과거의 경제적 성과를 모형에 포함하여 시계열 추세를 통제하고, 에코효율성이 경제적 성과에 추가적인 정보를 제공하는지를 검토하기 위한 것이다. <표 7>에 제시된 것처럼 모형 적합성이 우수하다고 판정된 고정효과 모형

에 따르면 전기의 ROA와 당기의 ROA 사이에 약한 양(+의) 관계성을 보여주고 있다. 에코효율성의 경우, 시계열 추세를 통제하였음에도 불구하고 TE의 회귀계수는 0.997로서 1% 수준에서 통계적으로 유의한 양(+의) 관계성을 보여주었으며, PTE의 회귀계수는 0.697로서 5% 수준에서 유의적인 양(+의) 관계성이 존재하고 있음을 확인하였다.

토빈 Q를 시차변수로 활용한 고정효과 모형에서는 전기의 토빈 Q와 당기의 토빈 Q 사이에는 양(+의) 관련성이 존재하나 유의적이지 못한 것으로 분석되었다. 에코효율성의 경우 TE와 PTE 모두 5% 수준에서 유의적인 양(+의) 관련성을 보여주었다.

<표 6>의 분석 결과와 같이 전기의 에코효율성은 당기의 경제적 성과(ROA 및 토빈 Q)에 유의적인 영향을 미치고 있으며 이것은 현재의 에코효율성이 미래의 경제적 성과에 대해 의미 있는 추가적 정보를 제공해 준다는 증거로 해석된다. 또한 <표 7>과 같이 과거의 경제적 성과를 설명변수에 추가한 동적 패널 모형까지 고려해 보면 에코효율성이 경제적 성과에 일관되게 강한 영향력을 미치고 있다는 것으로 판단할 수 있다.

표 7 동적 패널데이터 분석 결과

패널 A. 에코효율성 → 경제적 성과: $EP_{i,t} = \beta_1 EE_{i,t-1} + \beta_2 LEV_{i,t-1} + \beta_3 SIZE_{i,t-1}$

종속 변수		ROA _t				TQ _t			
기대부호		고정효과		확률효과		고정효과		확률효과	
ROA _{t-1}	+	0.142 (0.93)	0.048 (0.27)	0.211 (1.59)	0.392 (3.06)c				
TQ _{t-1}	+					0.001 (0.01)	0.088 (0.58)	0.650 (10.31)c	0.659 (11.17)c
TE _{t-1}	+	0.997 (4.18)c		0.459 (3.04)c		0.217 (2.08)b		0.208 (2.12)b	
PTE _{t-1}	+		0.697 (1.98)b		0.202 (1.98)b		0.199 (2.01)b		0.203 (1.97)b
LEV _{t-1}	+/-	-1.05 (-1.16)	-1.922 (-1.88)a	-0.077 (-0.52)	-0.167 (-1.30)	-0.253 (-0.76)	-0.395 (-1.16)	-0.057 (-0.89)	-0.052 (-0.84)
SIZE _{t-1}	+	2.156 (3.33)c	2.382 (3.18)c	0.149 (1.04)	0.099 (0.83)	1.189 (4.26)c	1.1491 (3.88)c	0.008 (0.11)	0.015 (0.24)
F-검정		0.0065	0.0432			0.0008	0.0023		
Hausman				<0.0001	0.0006			<0.0001	<0.0001
R ²		0.7258	0.6303	0.2638	0.2642	0.9546	0.9511	0.7366	0.7541

주: ()의 값은 t-값을 의미함. c: p<0.01 b: p<0.05 a <0.1

3. 에코효율성과 수익성의 관련성 분석 결과

수익성 가설(에코효율성과 수익성 사이의 연관성)을 검증하기 위한 가설과 분석모형은 다음과 같다.

가설 1. 에코효율성과 기업의 수익성 사이에는 양(+)^a의 관련성이 존재한다.

$$EP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,s} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \Sigma \beta_j YR_i$$

<표 8>은 에코효율성이 당기($t = s$) 및 차기($t = s + 1$) 수익성에 미치는 영향을 분석하기 위한 합동 회귀모형(Pooled OLS)의 분석 결과로서 에코효율성과 ROA 및 ROS의 관계성을 패널 A와 B로 나누어 제시하고 있다.

표 8 에코효율성과 수익성의 연관성 분석 결과

패널 A. $ROA_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,s} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \Sigma \beta_j YR$

기대 부호		$EE = TE_t$		$EE = PTE_t$		$EE = TE_{t-1}$		$EE = PTE_t$	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
상수	?	0.278	1.73 ^a	0.327	1.75 ^a	-0.146	-0.84	-0.141	-0.80
EE	+	0.416	4.51 ^c	0.688	2.93 ^c	0.361	3.37 ^c	0.309	3.13 ^c
LEV_t	+/-	-0.238	-2.66 ^c	-0.396	-4.35 ^c	-0.233	-2.28 ^b	-0.369	-3.78 ^c
GR_t	+	0.162	1.80 ^a	0.209	2.18 ^b	0.461	2.81 ^c	0.544	3.32 ^c
$SIZE_t$	+	0.119	1.35	0.669	2.85 ^c	0.115	1.30	0.064	0.73
YR_{2011}	?	-0.152	-0.61	-0.188	-0.72	0.248	1.04	0.268	1.11
YR_{2012}	?	-0.377	-1.53	-0.474	-1.82 ^a	0.019	0.08	0.022	0.09
YR_{2013}	?	-0.567	-2.24 ^b	-0.646	-2.40 ^b				
수정 R^2		0.3418		0.2582		0.3273		0.3123	
n		92				69			

패널 B. ROS: $ROS_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,s} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \Sigma \beta_j YR$

기대 부호		$EE = TE_t$		$EE = PTE_t$		$EE = TE_{t-1}$		$EE = PTE_t$	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
상수	?	0.357	1.79 ^a	0.394	2.00 ^b	-0.102	-0.53	-0.093	-0.49
EE	+	0.280	2.68 ^c	0.765	3.09 ^c	0.248	2.13 ^b	0.269	2.56 ^b
LEV_t	+/-	-0.152	-1.50	-0.272	-2.83 ^c	-0.149	-1.33	-0.247	-2.37 ^b

기대 부호		$EE = TE_t$		$EE = PTE_t$		$EE = TE_{t-1}$		$EE = PTE_t$	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
GR_t	+	0.047	0.46	0.086	0.85	0.293	1.64	0.349	2.00 ^b
$SIZE_t$	+	0.192	1.92 ^a	0.839	3.40 ^c	0.190	1.96 ^a	0.159	1.72 ^a
YR_{2011}	?	-0.292	-1.04	-0.306	-1.11	0.160	0.61	0.160	0.62
YR_{2012}	?	-0.564	-2.02 ^b	-0.627	-2.29 ^b	-0.118	-0.45	-0.119	-0.46
YR_{2013}	?	-0.573	-2.00 ^b	-0.643	-2.27 ^b				
수정 R^2		0.1547		0.1760		0.1413		0.1667	
n		92				69			

주: 1) c: $p < 0.01$ b: $p < 0.05$ a: < 0.1

2) 변수의 정의

ROA: 총자산투자수익률, ROS: 매출액순이익률, TE: 기술효율성, PTE: 순수기술효율성

LEV: 부채비율, GR: 당기매출액/전기매출액, SIZE: LN(총자산), YR: 년도더미

먼저 패널 A에서 에코효율성 TE 및 PTE가 당기의 ROA에 미치는 영향을 살펴보면 두 에코효율성의 회귀계수는 각각 0.416과 0.688로서 1% 수준에서 유의적인 양(+)의 영향을 미치고 있으며 차기의 ROA에 대한 두 에코효율성의 회귀계수는 각각 0.361과 0.309로서 1% 수준 이하에서 유의적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 기타 통제변수로서 레버리지 비율은 음(-)의 유의적인 관련성을 가지고 있으며, 성장성(GR)은 양(+)의 유의적인 관계성을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 반면 기업규모(SIZE)는 양(+)의 영향을 미치고 있지만, 통계적으로 유의하지 못한 것으로 나타났다.

수익성 지표로서 ROS를 종속변수로 활용하고 있는 패널 B에서도 에코효율성 TE와 PTE는 당기의 ROS와 1% 수준에서 유의적인 양(+)의 관련성을 가지고 있으며 차기의 ROS와 5% 수준에서 유의적인 양(+)의 관련성을 가지고 있음을 확인하였다. 기타 통제변수로서 레버리지 비율은 음(-)의 관련성을 가지고 있으며, 성장성(GR)과 기업규모는 양(+)의 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

<표 8>의 결과는 에코효율성과 수익성 지표 사이에 유의한 양(+)의 연관성이 존재한다는 수익성 가설이 채택되었음을 의미하며 이는 환경시스템의 운영방식이 우수하고 혁신적인 환경기술을 도입함으로써 높은 에코효율성을 보유한 기업일수록 재무성과도 높게 나타나고 있는 것으로 기업의 환경경쟁력이 직접 기업의 재무성과와 연계되어 있음을 의미한다.

4. 에코효율성과 기업가치의 관련성 분석 결과

기업가치 가설(에코효율성과 기업가치의 관계성)을 검증하기 위한 가설과 분석모형은 다음과 같다.

가설 2. 에코효율성과 기업가치 사이에는 양(+의) 관련성이 존재한다.

토빈 Q: $TQ_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,t} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \beta_5 BT_{i,t} + \Sigma \beta_j YR$

Price Model: $P_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,t} + \beta_2 EPS_{i,t} + \beta_3 BPS_{i,t} + \Sigma \beta_j YR$

Return Model: $Ret_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \frac{EE_{i,t}}{P_{i,t-1}} + \beta_2 \frac{EPS_{i,t}}{P_{i,t-1}} + \beta_3 \frac{BPS_{i,t}}{P_{i,t-1}}$

표 9 에코효율성과 기업가치의 연관성 분석 결과

패널 A. 토빈 Q: $TQ_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,t} + \beta_2 LEV_{i,t} + \beta_3 GR_{i,t} + \beta_4 SIZE_{i,t} + \beta_5 BT_{i,t} + \Sigma \beta_j YR$

기대 부호		$EE = TE_t$		$EE = PTE_t$		$EE = TE_{t-1}$		$EE = PTE_t$	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
상수	?	1.314	3.90 ^c	1.468	3.87 ^c	1.031	3.18 ^c	0.929	2.66 ^b
EE	+	0.436	4.86 ^c	0.207	2.46 ^b	0.374	4.13 ^c	0.241	2.70 ^c
LEV_t	+/-	-0.261	-2.90 ^c	-0.395	-4.07 ^c	-0.252	-2.82 ^c	-0.380	-4.21 ^c
GR_t	+	0.082	0.94	0.106	1.07	0.275	1.98 ^a	0.362	2.47 ^b
$SIZE_t$	+	0.057	0.67	-0.179	-0.74	0.090	1.20	0.028	0.36
BT_t	-	-1.039	-3.82 ^c	-1.133	-3.70 ^c	-0.996	-3.96 ^c	-0.909	-3.34 ^c
YR_{2011}	?	0.041	0.17	-0.007	-0.03	0.226	1.10	0.254	1.16
YR_{2012}	?	-0.095	-0.39	-0.194	-0.72	0.100	0.49	0.104	0.48
YR_{2013}	?	-0.360	-1.46	-0.388	-1.39		-		-
수정 R^2		0.3828		0.2115		0.4067		0.3214	
n		92				69			

패널 B. Price Model: $P_t = \beta_0 + \beta_1 EE_t + \beta_2 EPS_t + \beta_3 BPS_t + \Sigma \beta_j YR$

기대 부호		$EE = TE_t$		$EE = PTE_t$		$EE = TE_{t-1}$		$EE = PTE_t$	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
상수	?	0.073	0.91	0.083	2.00 ^b	-0.123	-1.42	-0.118	-0.49
EE	+	0.169	4.12 ^c	0.123	2.93 ^c	0.114	2.24 ^b	0.112	2.83 ^b
EPS_t	+	0.287	2.32 ^b	0.407	3.09 ^c	0.243	1.78 ^a	0.253	4.59 ^c
BPS_t	+	0.611	1.98 ^b	0.526	3.98 ^c	0.696	4.92 ^c	0.652	4.59 ^c

기대 부호		EE= TE _t		EE= PTE _t		EE= TE _{t-1}		EE= PTE _t	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
YR ₂₀₁₁	?	-0.006	-0.06	-0.023	-0.19	0.168	1.39	0.165	1.34
YR ₂₀₁₂	?	-0.082	-0.73	-0.115	-0.94	0.092	0.77	0.087	0.71
YR ₂₀₁₃	?	-0.203	-1.75 ^a	-0.196	-1.54				
수정 R ²		0.8615		0.8343		0.8573		0.8530	
n		92				69			

패널 C. Return Model: $\frac{P_t}{P_{t-1}} = \beta_0 + \beta_1 \frac{EE_t}{P_{t-1}} + \beta_2 \frac{EPS_t}{P_{t-1}} + \beta_3 \frac{BPS_t}{P_{t-1}} + \sum \beta_j YR_j$

기대 부호		EE= TE _t		EE= PTE _t		EE= TE _{t-1}		EE= PTE _t	
		계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
상수	?	0.320	2.67 ^c	0.312	2.54 ^b	-0.199	0.91	-0.195	-1.93 ^a
EE/P	+	0.198	2.47 ^b	0.156	2.18 ^b	0.142	1.98 ^a	0.105	1.98 ^a
EPS/P	+	0.424	4.85 ^c	0.440	4.98 ^c	0.173	2.66 ^c	0.179	2.32 ^b
BPS/P	+	0.185	1.95 ^a	0.230	2.53 ^b	0.117	1.68 ^a	0.098	0.46
YR ₂₀₁₁	?	-0.198	-2.47 ^b	-0.156	-1.98 ^b	-0.070	-0.48	-0.076	-0.53
YR ₂₀₁₂	?	-0.623	-3.16 ^c	-0.615	-3.08 ^c	0.156	1.36	0.111	0.97
YR ₂₀₁₃	?	-0.459	-2.17 ^b	-0.478	-2.19 ^b		-		-
수정 R ²		0.4467		0.4332		0.2846		0.3079	
n		92				69			

주: 1) c: p<0.01 b: p<0.05 a <0.1

2) 변수의 정의

TQ: 토빈 Q, P: t기 다음해의 3월말 증가, RET: P_t / P_{t-1}

TE: 기술효율성, PTE: 순수기술효율성, LEV: 부채비율, GR: 당기매출액/전기매출액,

SIZE: LN(총자산), BT: 시장베타, YR: 년도더미, EPS: 주당순이익, BPS: 주당순자산

<표 9>는 기업가치 가설에 대한 검증결과로서 에코효율성과 기업가치 지표인 토빈 Q(TQ), 주가(P), 주가수익률(RET) 사이의 연관성을 패널 A, B, C로 나누어 제시하고 있다. 패널 A에서 TE와 PTE는 당기 및 차기의 토빈 Q와 유의한 양(+)의 관련성을 보여주고 있다. 모든 통제변수의 방향이 기대부호와 일치하고 있으며, 통계적으로 유의적이다.

패널 B는 에코효율성과 주가(P)의 연관성 검증결과를 보여주고 있다. 모형 적합성이 가장 에코효율성 TE는 1% 수준에서 당기의 주가와 유의적인 양(+)의 관련성을 가지고 있으며 PTE는 5% 수준에서 양(+)의 유의성을 가지고 있으며, 또한 차기의 주가에 대해서 에코효율성 TE와 PTE 모두 5% 수준에서 유의적인 양(+)의 관계성이 존재하고 있음을 확인하였다. Collins et al.(1997)의 모형 변수인 주당순이익(EPS) 및 주당순자산가치

(BPS)도 유의적인 양(+)의 관련성을 보여주었다.

패널 C에서 에코효율성 TE와 PTE는 5% 수준에서 추가수익률과 통계적으로 유의한 양(+)의 관련성을 가지고 있지만, 차기의 추가수익률과는 10% 수준에서 통계적으로 한계적인 유의성을 가지고 있음을 확인하였다. 또한, EPS와 BPS 역시 추가수익률과 양(+)의 관계성을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

<표 8>에서는 다양한 기업가치 변수를 이용하여 에코효율성과의 연관성을 검증하였으며, 에코효율성이 당기 및 차기의 기업가치 사이에 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 이는 기업의 환경책임에 대한 투자자들의 관심이 높아지고 있으며, 에코효율성이 우수하고 환경경쟁력을 확보한 기업에 대한 투자가 증가하고 있음을 보여주는 것으로 환경경영의 중요성이 시장참여자들에게 공유되고 있음을 의미한다.

VI. 결 론

환경문제에 대한 대중의 인식수준이 높아지고 정부의 환경규제가 강화되면서 새로운 경영 패러다임으로서 환경경영의 중요성이 강조되고 있다. 기업의 입장에서 정부의 규제강화 및 환경문제에 대한 대중의 인식 및 소비행태 변화에 대처하고, 환경경쟁력을 확보하기 위한 환경경영의 전략적 선택은 기업의 생존문제와 연결된다고 할 수 있다. 그러나 아직까지 국내 기업들은 환경성과가 경제적 성과로 연계될 수 있는지에 대한 강한 의구심을 가지고 있으며, 학계의 연구들 또한 환경성과와 경제적 성과의 관련성에 대한 일관된 결과를 보여주지 못하고 있다.

본고에서는 DEA 모형을 활용하여 ‘지속성장’ 개념이 반영된 에코효율성이라는 새로운 환경성과 평가방법을 제안하였고 에코효율성과 경제적 성과의 연관성을 실증분석하였다. 국내 23개 기업을 대상으로 4년간 환경성과 및 경제적 성과를 이용하여 에코효율성을 비교하였으며 비효율적 기업들의 효율성 개선을 위한 선택적 전략을 제시하였다. 또한, 고정효과 및 확률효과, 동적 패널 모형을 이용하여 에코효율성에서 경제적 성과로의 인과관계를 검증하였으며, 합동 회귀모형을 이용하여 에코효율성이 당기 및 차기의 수익성과 기업가치에 유의한 양(+)의 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

서론에서 논의된 바와 같이 본 연구의 결과는 첫째, 다양한 범위의 환경변수와 경제적 성과변수가 통합한 에코효율성을 이용함으로써 환경 관련 연구들의 일반성 또는

보편성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 환경관리의 지속가능성에 대해 보다 깊은 통찰력을 제공해 줄 것으로 기대한다.

둘째, DEA 모형에서 제공하는 연도별 기술효율성, 순수기술효율성 및 규모효율성의 분석결과를 이용하여 에코효율성에 대한 변화의 원인을 탐색하고 환경경영에 대한 선택적 전략을 제시함으로써 환경경영의 실행방향과 구체화한 실천목표를 지원할 수 있을 것으로 기대한다.

셋째, 본고에서 분석된 일관된 연구 결과는 기업의 환경투자가 경제적 성과로 연계될 수 있다는 점에서 선순환적인 환경경영의 동기부여 요인으로 작용할 것으로 기대한다.

그러나 본 연구의 한계점으로 첫째, DEA는 연구자의 투입요소와 산출요소의 선정에 따라 효율성 측정치가 다소 상이하게 산출될 수 있으며 투입물과 산출물의 상대적 가중치가 모형에 의해 계산되어지므로 연구자의 요소선정에 따라 모형의 측정오차가 발생한다. 본 연구에서는 선행 연구를 기초로 지속성장보고서와 FN-Guide 데이터베이스에서 주요 환경성과지표와 경제적 성과지표를 추출하여 에코효율성 측정치를 산출하였지만, 지속성장보고서에 포함되지 않았거나 연구자의 의도와는 달리 주요 성과지표를 분석대상에서 제외하는 경우 에코효율성의 측정오차 문제가 발생할 수 있다.

넷째, 본 연구를 진행함에 가장 큰 제약이 되었던 부분은 표본 부족 및 자료의 정합성 문제이다. 2013년 기준으로 국내 상장기업 중 45개 기업만이 지속성장보고서를 공표하고 있으며, 기업별로 공표되는 지속성장보고서의 형식과 내용이 다양하므로 자료의 일관성과 신뢰성에 대한 검증 문제가 발생한다. 본고에서는 전문 평가기관의 환경성과지표와의 비교검증을 통하여 에코효율성의 강건성을 검증하였지만, 표본 수의 제약으로 인한 강건성 검증 및 분석 결과에 오류가 발생할 수 있다. 결과적으로 본 연구의 결과를 해석함에 표본 수 제약에 의한 일반화 오류가능성을 고려하여야 한다. 하지만 기업의 환경문제 및 사회적 책임에 대한 중요성이 강조되고 있으며, GRI의 G3보고서와 같이 표준화된 기준의 사용이 일반화되고 있기 때문에 미래의 연구에서는 이러한 한계점을 개선할 수 있을 것으로 기대한다.

마지막으로, 고정효과, 확률효과 및 동태 패널 모형을 이용하여 에코효율성과 경제적 성과의 인과관계를 검증하였으며, 에코효율성에서 경제적 성과로의 인과적 방향성을 확인하였다. 그러나 시계열데이터의 제약으로 인하여 관련된 모든 설명변수를 고려하지 못하고 제한적으로 패널 모형을 활용하였다. 향후 시계열 표본의 확보에 따라 다양한 인과성 분석 및 패널분석 등을 적용한 연구가 진행될 수 있기를 기대한다.

참고 문헌

〈국내자료〉

- 김명서, 김요환, 김민철. 2010. “환경경영 활동에 대한 환경투자 및 비용이 기업가치에 미치는 영향”. 「회계학연구」 15: 119-141.
- 박헌준, 권인수, 신현환, 정지웅. 2004. “기업의 환경성과와 재무성과의 관계”. 「경영학연구」 33(5): 1461-1487.
- 박준우. 2011. “외국인투자자가 재무성과와 기업가치에 미치는 영향”. 「기업경영연구」 18: 203-215.
- 박헌준, 이종건. 2002. “기부와 환경보호: 기업의 사회공헌활동과 재무적 성과간의 관계에 관한 실증적 연구”. 「인사조직연구」 10: 95-133.
- 신현한, 이상철, 장진호. 2004. “외부감시주체와 기업 가치”. 「재무연구」 17: 41-72.
- 오훈석, 최국현. 2011. “기업지배구조가 재무적 경영성과와 기업가치에 미치는 영향-한국기업지배 구조원(CGS) 지배구조등급의 분석을 통한 실증검증”. 「기업경영연구」 18: 41-65.
- 삼성지구환경연구소. 2002. 「경영성과제고를 위한 환경성과지수 개발」. 삼성지구환경연구소.
- _____. 2008. 「기후변화가 비즈니스를 바꾼다」. 삼성지구환경연구소.
- 육근효. 2010. “탄소생산성과 경제적 성과의 인과성에 관한 실증연구”. 「환경정책연구」 9(3): 47-67.
- _____. 2012. “지속가능(환경)보고서에 있어서 중요성 분석의 의미과 과제: 사례연구를 중심으로”. 「환경정책연구」 11(1): 49-74.
- 육근효, 최미화. 2013. “기업의 사회적 책임, 소유구조, 재무성과 간의 관련성에 관한 연구”. 「회계와 감사연구」 53(1): 303-331.
- 이병욱, 정희성. 1998. 「종합적 환경관리체계의 개선방안 연구 - 기업의 환경성과 평가기법 개발 및 환경회계제도 도입방안」. 환경정책평가연구원.
- 이제규, 김재희, 김승권. 2009. “Super efficiency 순위산정 방법에 기반한 수력 발전소 운영성과 평가방법”. 「한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회」 1494-1497.
- 정은재. 2001. 「기업 환경 보고서에 기초한 환경성과 측정과 국내 기업의 환경경영사례연구」. 한국과학기술원 테크노경영대학원 경영공학전공 박사학위논문. 한국과학기술원.
- 전정주. 2012. “기업의 환경성과가 기업가치에 미치는 영향”. 「대한경영학회지」 25(7): 3041-3056.

- 조양래, 이학연, 박용태. 2010. “DEA를 이용한 환경친화적 서비스의 에코효율성 분석: 카쉐어링 서비스 기업 사례를 중심으로”. 「대한산업공학회/한국경영과학회」 862-869.
- 최중서. 2010. “환경보고서 혹은 웹사이트를 통한 자발적 환경공시의 내용분석: 환경성과 및 경제적 성과와의 동시적 상관관계를 중심으로”. 「환경정책연구」 9(3): 69-114.
- 한완선. 2004. “환경성과와 재무성과”. 「산업경제연구」 17(5): 1877-1891.

〈국외자료〉

- Ar, İ. M., B. Baki. 2007. “Measuring and Evaluating Efficiency of a Glass Company Through Data Envelopment Analysis”. *Problems and Perspectives in Management*, 5(1): 72-81.
- Banker, R. D., A. Chames., W. W. Cooper. 1984. “Models for the Estimation of Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis”. *Management Science*, 30: 1078-1092.
- Beets, S. D., C. C. Souther. 1999. “Corporate environmental reports: The needs for standards and an environmental assurance service”. *Accounting Horizons*, 13(2): 129-145.
- Bragdon, J. H., J. Marlin. 1972. “Is Pollution Profitable?”. *Risk Management*. 9-18.
- Branco, M. C., Rodrigues, L. L. 2006. “Corporate Social Responsibility and Resource-Based Perspectives”, *Journal of Business Ethics*, 69: 111-132.
- Burnett, R. D., D. R. Hansen. 2008. “Ecoefficiency: Defining a role for environmental cost management”, *Accounting, Organization and Society*, 33, 551-581.
- Charnes, A., W. W. Cooper., E. Rhodes. 1978. “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”. *European Journal of Operational Research*, 2(6): 429-444.
- Chen, C. M. 2011. “*Measuring Carbon Efficiency Environmet*”. UCLA Senior Practicum in Environmental Science. UCLA Institute of the Environment and Sustainability.
- _____. 2012. “*Measuring environmental efficiency: critical issues and solutions*”. working paper. Nanyang Business School, Singapore.
- Chen, K. H., R. W. Metcalf. 1980. “The Relationship between pollution control record and financial indicators revisited”. *The Accounting Review*, 55, 168-177.
- Christie, I., H. Rolfe., R. Legard. 1995. “*Cleaner Production in Industry*”. London: Policy

- Studies Institute.
- Clarkson, P., Li, Y., G. Richardson., F. Vasvari, F. 2008. "Revisiting the Relation between Environmental Performance and Environmental Disclosure: an Empirical Analysis". *Accounting, Organization and Society*, 33: 303-327.
- Cohen, A., F. Scott., N. Jonathan. 1997. "*Environmental and financial performance: Are they related?*". Investor Responsibility Center.
- Collins, D. W., E. L. Maydew. and I. S. Weiss. 1997. "Changes in the value-relevance of earnings and book values over the past forty years". *Journal of Accounting and Economics*, 24(1): 39-67.
- Eccles, R. G., M. P. Krzus, G. Serafeim. 2011. "Market interest in nonfinancial information. *Journal of Applied Corporate Finance*, 23(4): 113-127.
- Erfle, S., M. Frantantuono. 1992. "*Interrelations among corporate social performance, social disclosure and financial performance: An empirical investigation in alternative perspective on finance*". Working Paper, Bucknell University: 181-218.
- Farrell. M. J. 1957. "The Measurement of Productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, 120(3): 253-290.
- Gray, R., J. Bebbington., D. Walters. 1993. "Accounting for the Environment". London, Paul Chapman Publishing.
- GS Sustain. 2009. "*Change is Coming: A Framework for Climate Change—A Defining Issue of the 21st Century*". New York, NY: The Goldman Sachs Group, Inc.
- Guenster, N., R. Bauer, J. Derwall, K. Koedijk. 2011. "The Economic Value of Corporate Eco-Efficiency" *European Financial Management*, 17(4): 679-704.
- Hart S. L., G. Ahuja..1996. "Does it pay to be green? An empirical examination of the relationship between emission reduction and firm performance". *Business Strategy and The Environment*, 5: 30-37.
- Holland, L., Y. B. Foo. 2003. "Differences in environmental reporting practices in the UK and the USA: the legal and regulatory context". *The British Accounting Review* 35: 1-18.
- Ittner, C., D. F. Larcker. 1998. "Are Nonfinancial Measures Leading Indicators of Financial Performance?," *Journal of Accounting Research*, 36 (Supplement), 1-35.

- Jones, K., P. H. Rubin. 1999. "Effects of harmful environmental events on reputations of firms". Working Paper, Emory University.
- Karpoff, J., R. Lott. 1999. "On the determinants and importance of punitive damages awards". *Journal of Law and Economics*, 62: 527-573.
- Klopp, G. A. 1985. "The analysis of the efficiency of production system with multiple inputs and outputs". Ph. D. dissertation. University of Illinois at Chicago, Industrial and System Engineering College.
- Konar, S., M. Cohen. 2001. "Information as regulation: The effect of community right to know laws on toxic emissions". *Journal of Environmental Economics and Management*, 32: 109-124.
- Korhonen, P., M. Luptacik. 2004. "Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis". *European Journal of Operational Research*, 154: 437-446.
- Kuosmanen, G., M. Ishikawa. 2005. "Eco-efficiency and Its Terminology". *Journal of Industrial Ecology*, 9(4): 43-46.
- Niskala, M., M. Pretes. 1995. "Environmental reporting in Finland: A note on the use of annual reports". *Accounting, Organization and Society*, 20(6): 457-466.
- North, K. 1992. "Environmental Business Management, Geneva". International Labor Organization.
- Othman, R., R. Ameer. 2009. "Corporate social and environmental reporting: Where are we heading? A survey of the literature". *International Journal of Disclosure and Governance*, 6(4): 298-320.
- PricewaterhouseCoopers. 2012. "Do Investors Care About Sustainability?". Seven Trends Provide Clues. (March). New York, NY: PwC.
- Russo, M. V., P. A. Fouts. 1997. "A Resource-based perspective on Corporate Environmental Performance and Profitability". *AMJ*, 40(3): 534-559.
- Schaltegger, S., T. Synnestvedt. 2002. "The link between 'green' and economic success: environmental management as the crucial trigger between environmental and economic performance". *Journal of Environmental Management*. 65: 339-346.
- Sharfman, M. P., C. S. Fernando. 2008. "Environmental risk management and the cost of

- capital”. *Strategic Management Journal*, 29: 569–592.
- Simnett, R., M. Nugent, A. L. Huggins. 2009. “Developing an international assurance standard on greenhouse gas statements”. *Accounting Horizons*, 23(4): 347–363.
- Sinkin, C., C. J. Wright., R. D. Burnett. 2008. “Eco-efficiency and firm value”. *Journal of Accounting and Public Policy*, 27: 167–176.
- Wagner, M. 2001. “A Review of Empirical Studies Concerning the Relationship Between Environmental and Economic Performance. What Does the Evidence Tell Us?”. Lueneburg: Center for Sustainability Management(CSM).
- Walley, S., H. Whitehead. 1994. “It’s not easy being green”. *Harvard Business Review*, 46–52.
- Williams, S. M. 1999. “Voluntary environmental and social accounting disclosure practices in the Asia-Pacific region: An international empirical test of political economy theory”. *International Journal of Accounting*, 34(2): 209–238.
- Wolters, T., M. Bouman., M. Peeters. 1995. “Environmental Management and Employment: Pollution Prevention Requires Significant Employee Participation”. *Greener Management International*, 11: 63–72.
- Yang, H. 2010. “Carbon Efficiency, Carbon Reduction Potential, and Economic Development in the people’s Republic of China”. Asian Development Bank.
- Zhang, B., Bi, J., Fan, Z., Yuan, Z., Ge, J. 2008. “Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach”. *Ecological Economics*, 68: 306–316.
- Zhou, P., B. W. Ang. 2008. “Linear Programming Models for Measuring Economy-Wide Energy Efficiency Performance”. *Energy Policy*, 36(8): 2911–2916.

부록1. CCR 모형과 BCC 모형

Charnes, Cooper, Rhodes(1978)가 제시한 CCR 모형은 투입요소가 s 개, 산출요소를 m 개, 그리고 평가 대상인 DMU가 n 개 있다고 가정할 경우, 다음의 식 (1)의 선형계획 모형으로, 그리고 그 쌍대문제를 식 (2)에서와 같이 제시하였다. 여기서, u_r, v_i 는 각각 투입요소(x)와 산출요소(y)에 부과된 가중치로서 의사결정 변수이다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } h_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\
 \text{st } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j=1, \dots, n \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &= 1, \quad j=1, \dots, n \\
 u_r, v_i &\geq 0 \quad \text{for } r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } g_0 &= \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \text{st } \sum_{j=1}^n x_{j0} \lambda_j - \theta x_{j0} + s_i^- &= 0, \quad i=1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ &= y_{r0}, \quad r=1, \dots, s \\
 s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0 \quad \text{for } r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에서 s^- 는 투입요소의 초과분을, 그리고 s^+ 는 산출요소의 부족분을 나타내는 여유변수(slack)로서, 식 (2)의 최적해가 $\theta^* = 1$ 을 만족하면서 모든 여유변수가 0인 경우 해당 DMU는 CCR 효율성(기술효율성, TE : Technical Efficiency)이 있다고 판정한다. 기술 효율성(TE : technical efficiency)은 생산과정에서 투입물이 얼마나 효율적으로 산출물로 전환되는 가를 나타내는 것으로 개별 DMU의 과다 사용된 투입물의 크기를 측정할 수 있다. 한편, Banker, Charnes, Cooper(1984)는 기술효율성을 순수기술효

율성(PTE : Pure Technical Efficiency)과 규모효율성(SE : Scale Efficiency)으로 구분하기 위하여 $\sum_j \lambda_j = 1$ 의 제약조건을 추가하였으며, 이러한 모형을 BCC 모형이라 한다. 순수기술효율성은 운영효율성(managerial efficiency)라고도 하며, DMU가 효율적 프론티어에 얼마나 접근했는지를 측정하며, 규모효율성은 DMU가 얼마나 규모의 경제에 접근했나를 측정한다. 규모효율성을 이용하여 개별 DMU가 규모의 경제에서 이탈하여 영업활동을 함에 의하여 발생하는 비효율의 크기를 측정할 수 있다. DEA는 비율 분석과 같은 평가방법이 제시할 수 없는 각 DMU들의 비효율의 크기, 축소 가능한 투입물의 크기 혹은 달성해야 할 산출물의 크기 및 규모의 경제에 도달여부를 제시하기 때문에 경영개선에 이용할 수 있다.

다음의 식 (3)에는 BCC 모형을 나타내었으며, 앞에서와 마찬가지로 식 (3)의 최적해가 $\theta^*_B = 1$ 을 만족하면서 모든 여유변수가 0인 경우 DMU는 BCC 효율성이 있다고 판정한다. 식 (3)에서 θ^*_B 는 순수기술효율성(PTE)을 나타내며, 규모효율성(SE)은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Min } \theta_B - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

$$\text{st } \theta_B x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = 0, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$s_i^-, s_r^+, \lambda_j \geq 0 \quad \text{for } r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$SE = \frac{TE}{PTE} = \frac{\theta}{\theta_B} \quad (4)$$

만일, 환경시스템과 같이 부의 산출물이 존재하는 경우 이를 선형 모형화하는 방법으로 두 가지 방법이 대체적으로 활용되고 있다. 첫 번째 방법은 부의 산출물(y_s)에는 음(-)의 가중치를 부여하고, 정의 산출물(y_r)에는 양(+)의 가중치를 부여하여 산출요소의 가중결합형태로 식 (5)과 같이 구성할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \max \quad h_A &= \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{r0} - \sum_{s=k+1}^p \mu_s y_{s0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\
 s.t \quad &\frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{rj} - \sum_{s=k+1}^p \mu_s y_{sj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \\
 &j = 1, 2, \dots, n \text{ (DMU)}, \mu_r, v_i \geq 0, \epsilon > 0 \\
 &r = 1, 2, \dots, k \text{ (desirable outputs)} \\
 &s = k+1, \dots, p \text{ (undesirable outputs)} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (inputs)}
 \end{aligned} \tag{5}$$

위의 모형에 대한 쌍대모형(Primal-dual LP-model pair)을 CCR 모형과 동일하게 식 (6)과 같이 제시할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } g_A &= \theta - \epsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^k s_r^g + \sum_{s=k+1}^p s_s^b \right) \\
 \text{st } \quad &\sum_{j=1}^n x_{j0} \lambda_j - \theta x_{j0} + s_i = 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 &\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^g = y_{r0}, \quad s = k+1, \dots, p \\
 &\sum_{j=1}^n y_{sj} \lambda_j + s_s^b = y_{s0}, \quad r = 1, \dots, k \\
 &s_s^-, s_s^b, s_s^g, \lambda_j \geq 0, \quad \epsilon > 0,
 \end{aligned} \tag{6}$$

부의 산출물을 모형화하는 두 번째 방법은 부의 산출물을 입력요인으로 변형하는 방법으로 이는 다음과 같이 모형화할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \max \quad & h_B = \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + \sum_{s=k+1}^p \mu_s y_{s0}} \\
 s.t \quad & \frac{\sum_{r=1}^k \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{s=k+1}^p \mu_s y_{sj}} \leq 1 \\
 & j = 1, 2, \dots, n \text{ (DMU)}, \mu_r, v_i \geq 0, \epsilon > 0 \\
 & r = 1, 2, \dots, k \text{ (desirable outputs)}, \\
 & s = k+1, \dots, p \text{ (undesirable outputs)} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ (inputs)}
 \end{aligned} \tag{7}$$

위의 식(7) 쌍대모형으로 표시하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } g_B &= \theta - \epsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^k s_r^g + \sum_{s=k+1}^p s_s^b \right) \\
 \text{st } \quad & \sum_{j=1}^n x_{j0} \lambda_j - \theta x_{j0} + s_i = 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^g = y_{r0}, \quad s = k+1, \dots, p \\
 & \sum_{j=1}^n y_{sj} \lambda_j + s_s^b = y_{s0}, \quad r = 1, \dots, k \\
 & s_s^-, s_s^b, s_s^g, \lambda_j \geq 0, \quad \epsilon > 0
 \end{aligned} \tag{8}$$

위의 식(8)은 식(6)과 동일하며 결과적으로 부의 산출물은 부의 산출요소로 변형하거나 투입요소로 변형하는 경우 동일한 결과가 나타난다.