

DEA 모형을 활용한 광주 광산업체 효율성 평가에 관한 연구

조 건·정경호[†]

전남대학교 경영대학 경영학부

A Study on Evaluating the Efficiency of the Photonics Industry in Gwangju Using a DEA Model

Geon Cho·Kyungho Jung[†]

School of Business Administration, Chonnam National University

Key Words : DEA, CCR, BCC, Photonics Industry, Efficiency, Super-Efficiency

Abstract

In this study, we try to evaluate the efficiency of the photonics industry using a data envelopment analysis(DEA) model. We first develop four stage procedures for selecting proper input and output variables which consist of selecting the first candidate variables from literature survey, selecting the second candidate variables through experts' discussion, measuring the partial efficiency of the selected variables based on Tofallis' profiling, and clustering some variables through the rank correlation analysis of partial efficiency proposed by Min and Kim(1998). With this procedure, we select 4 input variables(capital, number of employee, R&D cost, operating cost) and 2 output variables(sales, growth of sales) and then utilize CCR and BCC model to measure efficiencies of 26 photonics companies in Gwangju. Moreover, we perform the reference group analysis to figure out what causes inefficiencies and to provide the desirable values for input and output variables at which inefficient photonics companies become efficient. Finally, we classify 26 photonics companies into three groups such as optical communications, optical applications, and optical sources, and perform the Kruskal-Wallis test to check if there exist some differences between efficiencies of three groups.

1. 서 론

광(光)산업은 빛을 만들고 제어하며 활용하는 것과 관련된 소재, 부품, 기기 및 시스템 산업을 총칭하며, 반도체, 자동차, 에너지 산업 등의 주요 산업과 연관효과가 높은 산업으로써 자동차산업, 전자부품산업, 디자인 산업과 더불어 광주지역의 4대 핵심 전략산업 중의 하나이다. 광주광역시는 1999년 광산업이 광주지역 핵심 전략 산업으로 선정된 이후 지금까지 광산업직접화단

지의 조성, 관련 연구기관 유치와 같은 광산업 관련 인프라의 확대와 광산업 지원사업 등 다양한 지원정책을 통해서 지역 광산업의 규모 확대와 경쟁력 강화를 위해 노력해 오고 있다. 실제로 1999년 47개사였던 광주지역 광 관련 업체 수는 2010년 기준으로 360개사로 1999년 비해 약 7.6배 증가하였으며, 매출액은 1999년 1.1 천억 원에서 2010년 2조 5천억 원으로 약 25배 성장하였다. 또한 국내 광산업 생산에서 광주지역이 차지하는 비중 또한 2005년 10%에서 2010년 16%, 2016년에는 24%까지 증가할 것으로 예상되고 있다(한국광산업진흥회). 이처럼 많은 광산업체가 광주지역에 밀집해 있음으로써 시너지효과 및 규모의 경제효과 등으로

[†] 교신저자 batbean@naver.com

※ 이 논문은 2009년도 전남대학교 연구년교수연구비 지원에 의하여 연구되었음

인하여 지역 광산업 발전에는 큰 도움이 되고 있지만, 각 업체 입장에서는 치열한 생존경쟁을 통해 자사의 경쟁력을 확보해야 하는 어려운 경영환경에 직면하고 있다.

이러한 상황에서 광주지역 광산업체들이 경쟁력을 확보하기 위해서는 우선적으로 경영효율성과 생산성 제고를 통해 저비용·고효율 구조를 갖추기 위한 경영전략을 수립하는 것이 시급하며, 또한 광산업체들 간의 성과평가를 실시하여 각 업체들의 성과를 비교·분석해 봄으로써 각 업체의 현황을 파악하고 향후 효율적인 대응방안을 마련하는 것이 매우 중요한 것으로 판단된다. 하지만 기존의 광산업체 성과평가는 매출액, 영업이익, 연구개발비, 종업원 수와 같은 재무지표만을 활용하여 수행되고 있음으로써 관련 기업의 효율성을 정확하게 측정하기 어렵다는 한계를 가지고 있다. 따라서 이러한 한계를 극복하고 광산업체들의 효율성 분석 및 비효율성 개선방안 등을 제시할 수 있는 성과평가 모형의 개발이 매우 시급한 것으로 생각된다.

최근 들어 Charnes et al.(1978)에 의해 제안된 자료포락분석(data envelopment analysis: DEA) 모형이 다수의 투입요소를 다수의 산출요소로 변환하는 조직의 상대적 효율성(relative efficiency)을 측정하는 방법으로 많이 활용되고 있다. DEA 모형은 전사적인 관점에서 투입 및 산출요소 간의 구조를 고려하여 효율성을 측정하기 때문에 장기적인 관점에서 실질적인 성과를 측정할 수 있고, 의사결정단위(decision making unit: DMU)의 상대적 효율성을 비모수적으로 평가하기 때문에 함수형태로 정의되지 않으며, 투입 및 산출변수가 단일적으로 구성되지 않아도 효율성을 평가할 수 있는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다(Donthu와 Yoo, 1998). 또한 DEA 모형은 상대적 효율성을 측정하여 비효율적으로 판명된 DMU의 비효율성에 대한 원인과 개선 방안을 제안해 주기 때문에 은행, 병원, 도서관, 공공기관뿐만 아니라 기업 등과 같은 다양한 분야의 성과평가에 널리 활용되고 있다. 다만, DMU의 효율성을 정확하게 평가하기 위해서는 적절한 투입 및 산출변수의 선정이 매우 중요함에도 불구하고 지금까지 대부분의 DEA 관련 연구에서는 투입 및 산출변수의 선정에 대한 일반적인 방법론의 부재로 인해 기존의 문헌 연구, 연구자의 주관적 판단, 관련 자료의 통계 분석 등을 통해 투입 및 산출변수를 선정하고 있다는 한계가 있다(임성목, 2009).

따라서 본 연구에서는 26개의 광주지역 광산업체들을 대상으로 다음과 같은 연구를 수행해 보고자 한다.

첫째, DEA 모형을 활용하여 이들 업체의 효율성을 객관적으로 비교·평가해 보고자 한다. 이를 위해 먼저 관련 선행 연구를 통한 투입 및 산출변수의 1차 후보군 선정, 전문가회의를 통한 2차 후보군 결정, Tofallis(1996)의 profiling 기법을 활용한 2차 후보군 변수들에 대한 부분효율성 측정, 민재형과 김진한(1998)이 제안한 부분효율성의 서열상관분석(rank correlation analysis) 등으로 구성된 4단계 투입 및 산출변수 선정 프로세스를 개발하여 최종 투입 및 산출변수 선정에 활용하고자 한다. 둘째, 초효율성 분석(super-efficiency analysis)을 수행함으로써 효율적인 DMU들에 대한 상대적 순위를 결정하고, 준거집단분석(reference group analysis)을 수행함으로써 비효율적인 광산업체의 투입 및 산출 구조에 대한 개선 방안을 제시해 보고자 한다. 셋째, 26개 광산업체들을 주요 생산품에 따라 광응용(optical applications), 광원(optical sources), 광통신(optical communications) 등과 같은 3개의 산업군으로 분류하여 각 그룹 간 효율성의 차이를 비교·분석해 보고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 DEA의 기본 모형인 Charnes et al.(1978)이 제시한 CCR 모형과 Banker et al.(1984)이 제시한 BCC 모형을 간략히 소개하고 DEA 모형의 투입 및 산출변수 선정과 관련된 연구들을 소개한다. 3절에서는 DMU 선정과정 및 특성을 소개하고 본 연구에서 제안한 투입 및 산출변수 선정 프로세스를 설명한다. 4절에서는 효율성 분석, 준거집단분석, 그룹 간 평균효율성 차이분석 결과 등을 제시하고 5절은 결론으로 구성된다.

2. 이론적 고찰

2.1 DEA 모형

DEA 모형은 Farrell(1957)의 상대적 효율성 개념을 토대로 하여 DMU의 효율성 평가를 위해 Charnes et al.(1978)이 개발하였으며, 다수의 투입변수와 산출변수를 동시에 고려함으로써 효율적인 DMU를 준거집단(reference set)으로 하여 비효율적인 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 방법이다. 또한 DEA 모형은 효율성 측정과정에서 투입 및 산출변수들의 가중치를 미리 결정할 필요가 없다는 특징을 가지고 있다.

일반적으로 DEA 모형 중에서 가장 많이 활용되는 모형은 Charnes et al.(1978)이 제시한 CCR 모형과 Banker et al.(1984)이 제시한 BCC 모형이다. CCR 모

형은 DEA 모형의 기본 모형이며, DMU들의 규모수의 불변(constant return to scale: CRS)을 가정한 모형이다. BCC 모형은 규모수익가변(variable return to scale: VRS)을 가정함으로써 CCR 모형의 기술효율성(technical efficiency: TE)에서 규모의 효과를 배제한 순수기술효율성(pure technical efficiency: PTE)만을 고려하는 모형이다.

CCR 모형은 형태에 따라서 CCR 비율모형(CCR ratio model), CCR 승수모형(CCR multiplier model), CCR 포락모형(CCR envelopment model)으로 구분된다. CCR 비율모형은 각 DMU들의 효율성이 1을 초과해서는 안되며 각 투입요소와 산출요소의 가중치는 0보다 크다는 제약 조건하에서 각 DMU의 효율성을 최대화 시키는 요소별 가중치를 결정하는 방법으로 아래의 식 (1)과 같은 모형으로 표현할 수 있다.

$$h_0 = \max \frac{\sum_{r=1}^s y_{r0} u_r}{\sum_{i=1}^m x_{i0} v_i} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \frac{\sum_{r=1}^s y_{rj} u_r}{\sum_{i=1}^m x_{ij} v_i} \leq 1, \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m$$

여기서, h_0 : 평가대상 DMU O의 효율성

u_r : r 번째 산출요소에 대한 가중치

v_i : i 번째 투입요소에 대한 가중치

y_{rj} : DMU j 의 r 번째 산출요소의 양

x_{ij} : DMU j 의 i 번째 투입요소의 양

식 (1)에서 첫 번째 제약식(constraint)은 목적함수(objective function)에서 사용된 가중치 u_r 과 v_i 를 이용하여 계산한 각 DMU의 효율성이 1이하여야 함을 의미하며, 나머지 두 제약식은 투입 및 산출요소의 가중치가 양수여야 함을 의미한다.

식 (1)은 목적함수가 비선형함수(nonlinear function)인 분수계획 모형(fractional programming model)인데, 간단한 변수변환(change of variable)을 통해 아래 식 (2)와 같은 선형계획(linear programming: LP) 모형으로 바꿀 수 있으며, 이를 CCR 승수모형이라고 한다.

$$h_0 = \max \sum_{r=1}^s y_{r0} u_r \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{r=1}^s y_{rj} u_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i \leq 0, \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m x_{i0} v_i = 1$$

$$u_r \geq 0, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m$$

또한, 식 (2)의 쌍대모형(dual model)을 CCR 포락모형이라고 하는데, 식 (2)의 첫 번째 제약식에 해당하는 쌍대변수(dual variable)를 $\lambda_j, j=1, 2, \dots, n$, 두 번째 제약식에 해당하는 쌍대변수를 θ 라고 하면, 식 (2)의 쌍대모형은 아래의 식 (3)과 같이 표현된다.

$$h_0 = \min \theta \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{r0}, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n$$

θ : unrestricted

식 (3)을 표준형(standard form)으로 변형하면 식 (4)와 같다.

$$h_0 = \min \theta \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i0}, \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$s_i^-, s_r^+, \lambda_j \geq 0, \quad \forall i, r, j$$

Banker et al.(1984)은 CRS 가정을 완화한 VRS 가정을 적용하고 볼록성 조건(convexity condition)을 추가하여 식 (5)와 같은 BCC 모형(포락 모형)을 개발하였다.

$$\theta_B = \min \theta \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \quad \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{r0}, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n$$

θ : unrestricted

위의 투입지향 BCC 모형은 투입지향 CCR 모형에 단지 볼록성 조건을 나타내는 제약식 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 만 추가된 것이기 때문에 $h_0 \leq \theta_B$ 임을 알 수 있다.

2.2 투입 및 산출변수 선정 관련 연구

DEA 모형에서 DMU의 효율성을 정확하게 평가하기 위해서는 적절한 투입 및 산출변수의 선정이 매우 중요하다. 특히 DEA 모형에서 투입 및 산출변수 수가 DMU의 수에 비해 너무 많으면 효율적인 DMU 수가 증가하게 되어 비효율적인 DMU의 판별이 어렵다는 문제점이 발생하는데, 지금까지 이를 해결하기 위한 많은 연구들

이 수행되어 왔다. 예컨대, DMU의 수(n), 투입요소의 수(m), 산출요소의 수(s)의 관계에 대해 Banker et al.(1984)은 $n \geq 3(m+s)$ 을 만족해야 한다는 연구결과를 제시하였으며, Boussofiane et al.(1991)은 $n \geq m \times s$ 를 만족해야 한다는 연구결과를 발표하였다. 또한 Cooper et al.(2000)은 $n \geq \max\{m \times s, 3(m+s)\}$ 의 조건을 충족해야 한다고 제안하였다.

DEA 모형은 그 동안 조직의 효율성 평가 방법론으로 매우 광범위하게 사용되어 왔다. 초기에는 주로 공공기관 등의 효율성 평가에 사용되어 왔지만, 최근에는 다양한 산업분야에서도 활용도가 높아지고 있는 추세이다. <표1>은 DEA 모형을 활용한 연구들을 요약한

<표 1> DEA 모형을 활용한 연구에서 사용된 투입 및 산출변수

년도	연구자	산업군	투입변수	산출변수
2002	박정현 외	자동차	종업원수, 인건비, 고정자산	매출액, 경상이익
2003	홍봉영	섬유	종업원, 자산	매출액
2004	Chen 외	컴퓨터제조	자산, 주식순가치, 종업원	이익
2004	김우식	전자	종업원, 자본총액, 부채총액	매출액
2004	이정동 외	부품소재	종업원, 자산	매출액증가율, 경상이익율
2005	황준구	바이오산업	총자산, 인건비, 연구개발비	매출액
2005	한동근 외	제조업	자본금, 종업원	매출액, 수출비중
2006	이경재	인터넷	자본금, 유형자산, 총급여, 광고선전비	매출액, 순방문자수
2006	윤문규	제조업	종업원, 총자산, 자본, 매출액, 당기순이익	시장가치, 총자산, 이익률, 주당순이익
2006	김건식	SI 업체	종업원, 경영자산, 투입비용	매출, 부가가치
2008	Chung 외	반도체	Layer cycle time, 재공품 수준	BN 활용도, 이익기여도
2008	Liu 외	반도체	자산, 자본금, 부채, 종업원	성장률, 세후이익, 이익률, 매출/종업원
2008	Hasimoto	계약	R&D	patents, pharmaceutical sales, operating profit
2008	김영태 외	자동차	종업원, 설문을 통한 각 파트별 지표	매출액, 매출액증가율, 평균매출원가
2008	조윤기 외	철강산업	자본비용, 노동비용, 재료비용	매출액, 출하량
2009	Saranga	자동차	원재료, 노동력, 자본, 비용	총수익
2009	Liu	IC 제조업	운영비용, R&D, 종업원수	매출액, 영업이익, 생산량
2009	박지영 외	IT 벤처	종업원, 총자산, 개발비, 판매비, 관리비	매출액

것이며, 또한 각 연구에서 사용된 투입 및 산출변수들을 정리한 것이다.

3. 표본 선정 및 변수 선정

3.1 표본 선정 및 통계적 특성

본 연구에서는 DEA 모형을 활용하여 광주 광산업체의 효율성을 평가하기 위해 광주첨단산업단지 내 광산업체 중 종업원 15인 이상, 연 매출액 2.5억 원 이상인 광산업체 26개를 분석 DMU로 선정하였으며, 광주전략산업분류기준에 따라서 광응용, 광통신, 광원으로 구성된 3개 산업군으로 분류하였다.²⁾ <표2>는 전체 DMU의 일반 현황을 나타내고 있다.

3.2 투입 및 산출변수 선정

DEA 모형에서 적절한 투입 및 산출변수의 선정은 DEA 모형의 신뢰성 및 정확성을 결정하는 매우 중요한 문제이기 때문에 본 연구에서는 다음과 같은 4단계 변수 선정 프로세스를 개발하여 적용하였다.

1) (1단계) 관련 선행 연구를 통한 1차 후보군 선정: 선행 연구를 검토하여 1차 후보군으로 자산, 자본금, R&D비용, 종업원 수, 운영비용, 부채규모, 재료비용,

유형고정자산 등의 8개 투입변수와 매출액, 이익, 생산액, 매출액증가율, 생산액증가율, 특허권 등의 6개 산출변수를 선정하였다.

2) (2단계) 전문가 회의를 통한 2차 후보군 결정: 광산업 관련 종사자 및 정책 실무자 등으로 구성된 전문가 회의를 통해서 자본금, 자산, R&D 비용, 종업원 수, 운영비용을 투입변수로 선정하였으며, 산출변수로는 매출액, 이익, 생산액, 매출액증가율, 생산액증가율을 선정하였다.

3) (3단계) 2차 후보군 변수들의 부분효율성 측정: 2단계에서 선정된 투입변수 및 산출변수는 각각 5개씩이며 본 연구의 분석 DMU수는 26개이기 때문에 Cooper et al.(2000)이 제안한 $n \geq \max \{m \times s, 3(m + s)\}$ 의 조건을 충족하지 못하고 있다. 따라서 투입변수 및 산출변수 수를 조정하기 위해 Tofallis(1996)의 profiling 기법을 활용하여 2차 후보군 투입 및 산출변수들에 대한 부분효율성을 측정하였다(<표3> 참조).

4) (4단계) 부분효율성의 서열상관분석을 통한 최종 변수 선정: 민재형과 김진한(1998)이 제안한 부분효율성의 서열상관분석을 통해 각 투입 및 산출변수들이 DMU의 효율성에 미치는 영향 정도를 파악함으로써 $n \geq \max \{m \times s, 3(m + s)\}$ 의 조건을 충족하는 투입변수 및 산출변수를 선정하였다(<표4>, <표5> 참조).

<표 2> DMU 일반 현황 (평균)

분류	DMU 수	자본금	자산	종업원 수	R&D 비용	운영 비용	매출액	생산액	이익	매출액 증가율 (%)	생산액 증가율 (%)
광응용	8	564.4	2714.3	39.0	254.7	3302.5	3700.8	4041.0	143.6	65.9	80.8
광통신	9	1096.8	8013.5	53.2	704.0	5339.0	6661.4	7618.2	618.4	67.6	88.5
광원	9	1443.2	4080.3	36.3	441.8	3935.7	4633.3	5177.3	255.8	108.7	68.8
전체평균	26	1052.9	5021.5	43.0	475.0	4226.6	5048.4	5672.6	346.8	81.3	79.3
표준편차		1178.7	5729.8	34.1	435.2	3945.0	4416.7	5332.2	521.4	110.4	86.1

2008년 기준, 단위: 백만 원, 년, 명

2) 광산업의 분류 기준은 광주전략산업 분류 기준을 사용하였으며, 광주전략산업기획단의 협조를 통해 26개 업체를 대표 생산품에 따라서 광응용, 광통신, 광원으로 분류하였다.

<표 3> 투입 및 산출변수의 부분효율성

DMU	투입변수					산출변수				
	자본금	자산	종업원 수	R&D 비용	운영비용	매출액	생산액	이익	매출액 증가율	생산액 증가율
a1	0.34	0.56	0.30	0.32	0.26	0.92	0.90	0.18	0.01	0.09
a2	0.30	0.28	0.41	0.38	0.32	0.91	0.88	0.35	0.01	0.04
a3	0.13	0.27	0.10	1.00	0.22	1.00	1.00	0.01	0.04	0.11
a4	0.32	0.17	0.20	0.12	0.27	0.86	0.84	0.09	0.07	0.18
a5	0.47	0.29	0.35	0.34	0.23	0.91	0.81	0.15	0.12	0.26
a6	0.74	1.00	0.58	0.65	0.59	1.00	1.00	1.00	0.28	0.72
a7	0.96	1.00	1.00	0.43	0.28	1.00	1.00	0.52	0.37	0.80
a8	0.05	0.22	0.43	0.26	1.00	1.00	1.00	0.12	1.00	1.00
b1	0.14	0.19	0.22	0.07	0.36	0.87	0.82	0.09	0.10	0.28
b2	0.82	0.49	0.38	0.47	0.39	0.91	0.97	0.44	0.38	1.00
b3	1.00	1.00	0.35	0.25	0.80	1.00	1.00	0.52	1.00	1.00
b4	1.00	0.67	0.40	0.68	0.46	1.00	1.00	1.00	0.09	0.22
b5	0.11	0.15	0.23	0.14	0.24	0.78	0.70	0.03	0.01	0.04
b6	0.22	0.23	0.48	0.86	0.35	0.98	1.00	0.56	0.01	0.04
b7	0.19	0.78	1.00	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.10
b8	0.17	0.29	0.27	0.12	0.61	1.00	1.00	0.40	0.06	0.25
b9	0.41	0.29	0.69	0.63	0.26	1.00	0.93	0.42	0.06	0.13
c1	0.06	0.37	0.29	0.27	0.33	0.86	0.84	0.25	0.03	0.10
c2	0.03	0.14	0.21	0.13	0.25	0.71	0.67	0.04	0.02	0.03
c3	0.15	0.51	0.56	0.24	0.30	0.94	0.85	0.30	0.06	0.12
c4	0.16	0.31	1.00	0.32	0.36	1.00	1.00	0.37	0.04	0.06
c5	0.22	0.24	0.29	0.32	0.29	0.84	0.83	0.17	0.09	0.54
c6	0.11	0.17	0.23	0.22	0.25	0.77	0.70	0.06	0.11	0.32
c7	0.79	1.00	1.00	1.00	0.31	1.00	1.00	0.72	0.70	1.00
c8	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.90	0.80	0.22	1.00	0.00
c9	0.20	0.70	0.26	1.00	0.73	1.00	0.90	1.00	0.03	0.08
평균	0.39	0.47	0.47	0.47	0.42	0.93	0.90	0.39	0.22	0.33
SD	0.34	0.31	0.29	0.32	0.23	0.08	0.11	0.32	0.33	0.35

<표 4> 투입변수의 부분효율성 서열상관관계

변수	자본금	자산	종업원 수	R&D비용	운영비용
자본금	1	.780**	.433*	.344	.019
자산		1	.609**	.522**	.315
종업원 수			1	.450*	.139
R&D비용				1	.159
운영비용					1

* 유의수준 0.05 ** 유의수준 0.01

<표 5> 산출변수의 부분효율성 서열상관관계

변수	매출액	생산액	이익	매출액증가율	생산액증가율
매출액	1	.929**	.634**	.255	.285
생산액		1	.609	.244	.419
이익			1	.037	.187
매출액증가율				1	.666**
생산액증가율					1

* 유의수준 0.05 ** 유의수준 0.01

실제로 서열상관분석 결과를 살펴보면, 투입변수는 자산과 자본금, 자산과 종업원 수, 산출변수는 매출액과 생산액과 이익, 그리고 매출액증가율과 생산액증가율이 각각 서로 0.6 이상의 높은 상관관계를 나타내고 있는 것으로 확인되었으며, 이는 이들 변수들이 효율성 평가에 유사한 영향을 미치는 것으로 간주할 수 있기 때문에 변수의 축소에서 우선적으로 고려되어진다.

따라서 본 연구에서는 높은 상관관계를 나타내고 있는 투입변수들 중에서 자산을 제외한 후 자본금과 종업원 수, R&D비용, 운영비용을, 산출변수들 중에서 생산액과 이익, 생산액증가율을 제외한 후 매출액과 매출액증가율을 각각 최종 투입변수 및 산출변수로 선정하였다.

94.8%, 광통신 95.3%, 광원 88.9% 등으로 나타났으며, 순수기술효율성을 나타내는 BCC 효율성의 평균값은 광응용 96.2%, 광통신 96.6%, 광원 92.1% 등으로 나타났다. 전체 DMU의 기술효율성은 92.9%, 순수기술효율성은 94.9%로 분석되었으며, 이중 기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성²⁾이 모두 100%인 DMU는 13개로 이들은 상대적으로 효율적인 경영상태에 있음을 시사한다.

또한 DEA 모형에서는 기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성 사이의 관계를 통해서 규모의 수익³⁾ 및 비효율성의 원인 추정 가능성이 가능하다. 예를 들어, DMU a1의 경우를 살펴보면, 기술효율성은 89.9%, 순수기술효율성은 100%, 규모효율성은 89.9%로써 순수기술효율성

4. 효율성 분석 결과

4.1 효율성 지수 추정

본 연구에서는 효율성 분석을 위해 CCR 모형 및 BCC 모형을 활용하였으며, 26개 DMU에 대한 CCR 효율성 및 BCC 효율성은 <표6>에 제시되어 있다. 기술 효율성을 의미하는 CCR 효율성의 평균값은 광응용

2) 규모의 효율성 = CCR 효율성/ BCC 효율성

3) DEA 모형에서 규모의 수익 추정은 CCR 모형의 λ 를 통해서 추정가능하며, 규모 수익은 $\sum \lambda_j$ 에 의해 추정할 수 있으며, $\sum \lambda_j = 1$ 인 경우 규모수익불변(CRS), $\sum \lambda_j < 1$ 이면 규모수익체중(IRS), $\sum \lambda_j > 1$ 이면 규모수익체감(DRS)인 것으로 판단할 수 있다

이 규모효율성보다 높으며, 이는 DMU a1의 비효율성 원인은 현재의 생산규모가 최적이지 아니기 때문에 발생하는 비효율성으로 설명할 수 있다. 반면에 DMU c2의 경우에는 기술효율성은 71.2%, 순수기술효율성은 71.7%, 규모효율성은 99.4%로써 규모효율성이 순수기술효율성보다 높다. 따라서 DMU c2의 비효율성 원인은 생산규모에 기인한 비효율성보다 생산과정에서 나타나는 투입변수의 비효율성이 더 큰 것으로 판단할 수 있다.

전체 DMU 중에서 순수기술효율성은 100%이지만 규모효율성이 100%미만인 DMU의 수는 총 2개(a1, b6)로 이들 DMU는 생산규모를 제외하고는 상대적으로 효율적인 DMU이기 때문에 적절한 생산 규모를 유지하는 것이 필요하며 이를 위해서는 규모의 수익을 살펴볼 필요가 있다. 일반적으로 규모수익체증(increasing return to scale: IRS) 상태에 있는 DMU는 투입요소를 늘려 생산규모의 확대에 효율성을 높일 수 있으며, 반대로 규모수익체감(decreasing return to scale: DRS)에 있는 DMU는 투입을 증가시키기 보다는 현재의 생산 프로세스 개선 방안을 고려할 필요가 있다.

효율적 DMU들의 서열을 파악하기 위한 초효율성⁴⁾ 분석에서는 DMU c8이 3.931로 가장 높게 분석되었다(<표6> 참조). 이는 DMU c8의 현재 투입변수의 크기보다 3.931배를 더 투입하여도 효율적 DMU로 유지할 수 있음을 의미하기 때문에 DMU c8은 다른 DMU에 비해서 상대적으로 높은 효율성을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

4.2 준거집단 분석을 통한 효율성 개선방안

DEA 모형은 준거집단 분석을 통해서 비효율적 DMU의 효율성 개선 방향에 대한 정보를 제공해 준다. 실제로 비효율적인 DMU는 DEA 효율성 분석결과에서 제시된 준거집단을 벤치마킹함으로써 효율적인 DMU가 되기 위한 투입 및 산출요소에 대한 정보를 파악할 수 있다(Simith와 Mayston, 1987). 예를 들어 DMU a1의 준거집단은 DMU b4, DMU c7, DMU c9이며 이들

가중치(λ)는 각각 0.413, 0.125, 0.270임을 알 수 있다(<표6> 참조). 따라서 DMU a1은 투입 및 산출요소를 준거집단의 투입 및 산출요소와 가중치의 선형결합(linear combination)으로 도출된 값을 달성할 수 있도록 노력함으로써 효율적인 DMU로 전환될 수 있다. 예컨대, DMU a1의 현재 자본금 수준은 200,000(천원)이고 준거집단 DMU b4, DMU c7, DMU c9의 현재 자본금 수준은 각각 100,000(천원), 460,000(천원), 300,000(천원)으로 파악되었다. 따라서 DMU a1이 효율적인 DMU가 되기 위해서는 DMU a1의 자본금 수준을 $0.413 * 100,000(\text{천원}) + 0.125 * 460,000(\text{천원}) + 0.270 * 300,000(\text{천원}) = 179,882(\text{천원})$ 을 달성할 수 있도록 노력해야 한다(<표7> 참조).

<표8>은 준거집단분석을 통해서 나타난 비효율적으로 판별된 DMU들의 투입 및 산출요소에 대한 비효율성의 개선 정도를 업종별로 제시하고 있다. 현재의 비효율적 DMU들이 효율적으로 개선되기 위해서는 현재의 수준보다 평균적으로 자본금 17.51%, 종업원 수 19.91%, R&D비용 14.61%, 운영비용 12.26%를 감소시켜야하며 매출액증가율은 현재보다 2.75배 늘려야함을 알 수 있다.

4.3 그룹간 평균효율성 차이 분석

본 절에서는 각 산업군 별로 평균효율성의 차이가 존재하는지의 여부를 확인하고자 한다. 일반적으로 집단간 평균 값의 차이 여부를 확인하기 위해서 많이 사용되는 T-test, ANOVA 같은 모수통계기법들은 데이터의 정규분포를 가정하고 있지만, DEA 모형을 통해 얻어진 효율성에 대한 확률분포는 알려진 바가 없기 때문에 비모수통계기법을 활용하는 것이 분석의 오류 가능성을 줄일 수 있다(이경재 2006).

일반적으로 두 그룹 간 평균효율성 비교 분석에는 Mann-Whitney 검정을 사용하며(Cooper et al., 2000), 세 집단 이상의 평균효율성 비교 분석에는 Kruskal-Wallis 검정을 활용한다(Sueyoshi와 Aoki, 2001). 따라서 본 연구에서는 각 그룹 간 평균효율성의 차이 여부를 확인하기 위해서 Kruskal-Wallis 검정을 수행한 결과, 유의수준이 0.445로 나타나 각 그룹 간 평균효율성에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(<표9> 참조). 이는 생산품이 특화되어 있는 일부 DMU를 제외하고는 대부분의 DMU들이 각각의 산업군에 특화되어 있는 것이 아니라 경영환경에 따라서 다양한 제품군을 생

4) 초효율성 기법은 Anderson과 Petersen(1993)에 의해서 효율적인 DMU들 간의 상대적 순위를 평가하기 위해서 제안되었다. 효율적 DMU가 현재의 효율성을 유지하면서 투입변수를 얼마나 더 투입할 수 있는지를 측정하여 효율적 DMU들의 초효율성을 추정하게 되며 CCR 비효율적 DMU들의 초효율성 값은 CCR 효율성 값과 같다는 특징이 있다.

<표6> 개별 DMU의 효율성

DMU	효율성			CCR 준거집단(λ)	RTS	초효율성 (순위)	
	CCR	BCC	SE				
광응용	a1	0.899	1	0.899	b4(0.413),c7(0.125),c9(0.270)	IRS	0.899(18)
	a2	0.913	0.918	0.995	a7(0.047),b4(0.584),b7(0.071),c7(0.039)	IRS	0.913(16)
	a3	1	1	1	a3(1)	CRS	1.907(3)
	a4	0.861	0.865	0.995	a6(0.609),b3(0.425),b4(0.079)	DRS	0.861(21)
	a5	0.911	0.913	0.998	b4(0.584),c7(0.315),c9(0.279)	DRS	0.911(17)
	a6	1	1	1	a6(1)	CRS	1.051(9)
	a7	1	1	1	a7(1)	CRS	1.441(7)
	a8	1	1	1	a8(1)	CRS	3.762(2)
	평균	0.948	0.962	0.986			
광통신	b1	0.873	0.96	0.91	b3(2.47),b7(0.511),b8(0.217)	DRS	0.873(19)
	b2	0.943	0.945	0.999	a6(0.123),b4(0.433),c8(0.329),c9(0.38)	DRS	0.943(15)
	b3	1	1	1	b3(1)	CRS	1.614(6)
	b4	1	1	1	b4(1)	CRS	1.826(4)
	b5	0.784	0.79	0.993	a6(1.058),b4(0.116),b7(0.259)	DRS	0.784(25)
	b6	0.976	1	0.976	a3(0.14),c7(2.759),c9(3.414)	DRS	0.976(14)
	b7	1	1	1	b7(1)	CRS	1.301(8)
	b8	1	1	1	b8(1)	CRS	1.044(11)
	b9	1	1	1	b9(1)	CRS	1.032(12)
	평균	0.953	0.966	0.986			
광원	c1	0.786	0.866	0.908	b7(0.66),c7(0.118),c8(0.005),c9(3.039)	DRS	0.786(24)
	c2	0.712	0.717	0.994	b7(0.606),c8(0.019),c9(0.104)	IRS	0.712(26)
	c3	0.873	0.889	0.982	a6(0.499),a7(0.15),b7(0.215)	IRS	0.873(19)
	c4	1	1	1	c4(1)	CRS	1.047(10)
	c5	0.841	0.873	0.964	a6(0.025),b4(0.004),b7(0.044),c7(0.096)c9(0.733)	IRS	0.841(22)
	c6	0.788	0.943	0.835	b7(0.054),c7(0.021),c8(0.058),c9(0.607)	IRS	0.788(23)
	c7	1	1	1	c7(1)	CRS	1.81(5)
	c8	1	1	1	c8(1)	CRS	3.931(1)
	c9	1	1	1	c9	CRS	1.028(13)
	평균	0.889	0.921	0.965			
전체평균	0.929	0.949	0.979				
효율적 DMU수		CCR		13	BCC		15

SE(scale efficiency), RTS(returns to scale)

<표7> DMU a1의 비효율성의 크기

변수	현재수준(천원)	목표수준(천원)	차이	차이(%)
자본금	200,000	179,882.612	-20,117.3878	-10.06%
종업원 수	27	21,0122868	-5.98771324	-22.18%
R&D 비용	173,110.307	155697.671	-17,412.6359	-10.06%
운영비용	2,494,686.69	2,243,753.79	-250,932.898	-10.06%
매출액	2,731,265	2,731,265	0	0.00%
매출액증가율	0.026	0.398	0.372	999.90%

<표8> 각 투입 변수의 평균 비효율성의 크기 (단위 %)

구분	자본금	종업원 수	R&D비용	운영비용	매출액	매출액증가율
광응용	-8.31	-15.65	-8.31	-8.31	0	462.29
광통신	-9.43	-16.25	-13.76	-21.74	0	325.02
광원	-34.79	-27.84	-21.74	-19.99	0	38.96
전체	-17.51	-19.91	-14.61	-12.26	0	275.42

<표9> Kruskal-Wallis 검정 결과(산업군 간 효율성 비교)

그룹	N	CCR			BCC		
		평균순위	검정통계량		평균순위	검정통계량	검정통계량
			카이제곱	sig			
광응용	8	14.50	1.554	0.460	14.13	1.618	0.445
광통신	9	15.00			15.22		
광원	9	11.11			11.22		

산하고 있기 때문인 것으로 추측되지만 정확한 원인 규명을 위해서는 추후 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 DEA 모형을 활용하여 광주지역 광산업체의 효율성을 평가하였다. 이를 위해 광주지역 26개 광산업체를 대상으로 CCR 모형과 BCC 모형을 활용하여 효율성을 분석하였으며, 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 관련 선행 연구를 통한 1차 후보군 선정 - 전문가 회의를 통한 2차 후보군 결정 - 2차 후보군 변수

들의 부분효율성 측정 - 부분효율성의 서열상관분석을 통한 최종변수 선정으로 이루어진 4단계 변수 선정 프로세스를 개발하여 이를 적용한 결과, 자본금, 종업원 수, R&D비용, 운영비용을 투입변수로 선정하였으며, 매출액, 매출액증가율을 산출변수로 각각 선정하였다.

둘째, 26개 DMU를 생산 품목에 따라서 광응용, 광원, 광통신 등 세 집단으로 분류하여 효율성을 분석하였다. 각 집단 별 평균 기술효율성을 살펴보면, 광응용 94.8%, 광통신 95.3%, 광원 88.9%로 나타났으며 평균 순수기술효율성은 광응용 96.2%, 광통신 96.6%, 광원 92.1%로 분석되었다. 또한 전체 DMU의 평균기술효율성은 92.9%, 평균 순수기술효율성은 94.9%로 분석되었으며 전체 DMU 중 효율적 DMU는 CCR 모형에서

13개, BCC 모형에서 15개로 나타났다. 이후 각 집단간 평균 효율성의 차이 여부를 확인하기 위해서 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였으며 검정 결과 각 집단 간 평균 효율성에는 유의한 차이가 없는 것으로 확인되었다.

셋째, 비효율적 DMU의 비효율성 원인을 파악하기 위해서 준거집단분석을 실시한 결과 비효율적 DMU들이 효율적으로 개선되기 위해서는 현재 수준에서 평균적으로 자본금 17.51%, 종업원 수 19.91%, R&D비용 14.61%, 운영비용 12.26%를 감소 시켜야하며 매출액 증가율은 현재보다 2.75배 증가시켜야 하는 것으로 나타났다.

본 연구는 광산업체에 대한 효율성 측면의 성과평가에 관한 연구가 거의 전무한 상태에서 DEA 모형을 활용한 종합적인 효율성 평가 프로세스를 개발하여 광주 지역 광산업 관련기업의 효율성을 평가하였다는데 큰 의의가 있다고 판단된다. 특히 향후 다양한 분야에서 DEA 모형을 활용한 연구를 수행할 경우 본 연구에서 제시된 4단계 변수 선정 프로세스를 활용함으로써 연구 결과에 대한 좀 더 높은 타당성과 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

아울러 본 연구의 한계는 다음과 같다.

첫째, 표본기업 선정 과정에서 광주전력산업기획단과 한국생산기술연구원의 도움으로 26개의 DMU를 선정하였다. 광산업 관련 기업의 정확한 효율성을 파악하기 위해서는 가능하면 많은 수의 DMU를 확보해야 하지만 현실적인 어려움으로 인해 표본의 크기가 제한되었으며, 또한 DMU들 간의 투입 및 산출 변수의 편차가 조금 크다는 한계가 있다. 따라서 추후 연구에서는 좀 더 정확한 연구결과를 도출하기 위해서 분석 DMU를 더욱 세분화시킬 필요가 있으며, 아울러 표본의 크기 또한 확대할 필요가 있는 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구에서는 당기의 투입 및 산출 데이터를 이용하여 효율성 평가를 수행했기 때문에 투입과 산출 간의 시차(time lag)를 반영하지 못하고 있다는 한계가 있다. 예를 들어 투입변수 중 R&D비용이 성과에 미치는 영향은 당해년도에 발생되기 보다는 추후에 지속적으로 발생되기 때문에 R&D비용의 영향력에 대한 보다 상세한 평가방안을 도출하는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

셋째, Kruskal-Wallis 검정을 실시하여 광응용, 광원, 광통신으로 분류된 세 그룹간의 평균효율성에 유의한 차이가 없음을 확인하였지만, 그 원인에 대한 연구는 부족한 것으로 판단된다. 따라서 추후에 추가적인

연구를 수행함으로써 이를 확인할 필요성이 있다.

넷째, 본 연구에서는 자료의 제약 상 횡단면 자료(cross-sectional data)를 이용한 정태적인 효율성 분석을 수행하였으나, 향후 연구에서는 시계열 자료를 활용하여 효율성의 추세를 살펴보는 동태적인 효율성 분석에 대한 연구도 수행해 볼 필요가 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김건식(2006), “자료포괄분석과 생산성지수분석을 이용한 국내 SI기업의 효율성 분석”, 「한국SI학회지」, 제5권, 제1호, pp.1-16.
- [2] 김영태, 유한주, 송광석(2008), “DEA를 활용한 ERP 시스템 도입 중소기업의 운영효율성 측정에 관한 연구”, 「한국생산관리학회지」, 제19권, 제4호, pp.155-179.
- [3] 김우식(2004), “국내 전자기업의 경영성과와 R&D 활동과의 관계에 관한 연구”, 「산업경제연구」, 제17권, 제4호, pp.1467-1484.
- [4] 민재형, 김진한(1998), “부분효율성 정보를 이용한 DEA 모형의 투입·산출 요소 선정에 관한 연구”, 「한국경영과학회지」, 제23권, 제3호, pp.75-90.
- [5] 박지영, 홍태호(2009), “다분류 SVM을 이용한 DEA 기반 벤처기업 효율성등급 예측모형”, 「한국경영정보학회」, 제19권, 제2호, pp 139-156.
- [6] 윤문규, 김재균(2006), “200대 상장제조기업의 효율성분석에 관한 연구”, 「기업경영연구」, 제23권, pp. 79-97.
- [7] 이경제(2006), “DEA 모형을 활용한 인터넷 기업의 효율성 평가에 관한 연구”, 박사학위논문, 전남대학교.
- [8] 이정동, 백철우, 이운규(2004), “RAM(Range Adjusted Measure)을 이용한 부품소재 기업들의 생산성 분석 및 R&D 현황에 관한 실증연구”, 「생산성논집」, 제18권, 제2호, pp.21-37.
- [9] 임성목(2009), “DEA에서 투입,산출 요소 선택 방법”, 「산업공학」, 제22권, 제1호, pp.44-55.
- [10] 조윤기, 배규한(2008), “동북아지역 국가들의 철강산업 효율성 및 경쟁력변화 분석”, 「동북아경제연구」, 제20권, 제2호, pp.1-24.
- [11] 한국광산업진흥회 (<http://www.kapid.org>)
- [12] 한동근, 김종용(2005), “대구지역 안경제조업체의 효율성분석”, 「경제연구」, 제23권, 제3호, pp.179-199.
- [13] 홍봉영(2003), “DEA를 이용한 국내섬유산업의 효율성 및 생산성변화 분석”, 「생산조직연구」, 제11권, 제3호, pp.61-96.

- [14] 황준구(2005), “한국 바이오산업의 기술적효율성에 관한 연구 :확률적 프론티어 모형을 중심으로”, 박사학위논문, 단국대학교.
- [15] Andersen, P.,N. Petersen(1993), “A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis,” *Management science*, Vol.39, No.10, pp. 1261-1264.
- [16] Banker, R., A. Charnes, W. Cooper(1984), “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis,” *Management science*, Vol.30, No.9, pp.1078-1092.
- [17] Boussofiane, A., R. Dyson,E. Thanassoulis(1991), “Applied data envelopment analysis,” *European Journal of Operational Research*, Vol.52, No.1, pp.1-15.
- [18] Charnes, A., W. Cooper, E. Rhodes(1978), “Measuring the efficiency of decision making units,” *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6, pp.429-444.
- [19] Chen, Y., L. Motiwalla, M. Khan(2004), “Using super-efficiency DEA to evaluate financial performance of e-business initiative in the retail industry,” *International Journal of Information Technology and Decision Making*, Vol.3, No.2, pp.337-351.
- [20] Chung, S., A. Lee, H. Kang,C. Lai(2008), “A DEA window analysis on the product family mix selection for a semiconductor fabricator,” *Expert Systems with Applications*, Vol.35, No.1-2, pp. 379-388.
- [21] Cooper, W., L. Seiford, K. Tone(2000), *Data envelopment analysis*, Springer.
- [22] Donthu, N.,B. Yoo(1998), “Retail productivity assessment using data envelopment analysis,” *Journal of Retailing*, Vol.74, No.1, pp.89-105.
- [23] Farrel, M(1957), “The measurement of productive efficiency,” *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol.120, No.3, pp.253-281.
- [24] Golany, B.,Y. Roll(1989), “An application procedure for DEA,” *Omega*, Vol.17, No.3, pp.237-250.
- [25] Hashimoto, A.,S. Haneda(2008), “Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry,” *Research Policy*, Vol.37, No.10, pp.1829-1836.
- [26] Liu, F.,P. Wang(2008), “DEA Malmquist productivity measure: Taiwanese semiconductor companies,” *International Journal of Production Economics*, Vol.112, No.1, pp.367-379.
- [27] Liu, S.,R. Wang(2009), “Efficiency measures of PCB manufacturing firms using relational two-stage data envelopment analysis,” *Expert Systems with Applications*, Vol.36, No.3P1, pp.4935-4939.
- [28] Saranga, H(2009), “The Indian auto component industry Estimation of operational efficiency and its determinants using DEA” *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No.2, pp.707-718.
- [29] Sengupta, J(2000), *Dynamic and stochastic efficiency analysis: economics of data envelopment analysis*, World Scientific.
- [30] Smith, P.,D. Mayston(1987), “Measuring efficiency in the public sector,” *Omega*, Vol.15, No.3, pp. 181-189.
- [31] Sueyoshi, T.,S. Aoki(2001), “A use of a nonparametric statistic for DEA frontier shift: the Kruskal and Wallis rank test,” *Omega*, Vol.29, No.1, pp. 1-18.
- [32] Tofallis, C.(1996), “Improving discernment in DEA using profiling,” *Omega*, Vol.24, No.3, pp.361-364.