

## DEA와 Tobit 모형을 이용한 철도산업 효율성 결정요인 분석

## Analyzing the Influence Factors on Efficiency of Railway Transport using DEA and Tobit Model

이윤미<sup>†</sup> · 유재균\*

Yoon-Mi Lee · Jae-Kyun Yoo

**Abstract** In 1990's, in Europe and some advanced nations, the structural reform of the railroad industry for improving the productive efficiency of the railroad industry and competitive power had been progressed. This paper empirically explores the relationship between railway restructuring and productive efficiency in the railway industry. We use Data Envelopment Analysis (DEA) to construct efficiency scores, and explain these scores, using Tobit regression analysis by using variables reflecting institutional factors and organizational type. Our results suggest that vertical separation, infrastructure and services are separated, and horizontal separation, passenger service and freight service are separated, improve productive efficiency. We also find that market competition has positive effect on the efficiency, but independent management from the government has negative effect, which is in line with economic intuition as well as with expectations on the railway restructuring. As a consequence, increased independence without sufficient competition and adequate regulation may deteriorate incentives for productive efficiency.

**Keywords** : Railway Efficiency, Railway Competition, DEA (Data Envelopment Analysis), Tobit regression

**요 지** 본 연구에서는 철도산업의 효율성을 측정하는데 있어 내부요인인 운영기관의 생산활동 뿐만 아니라 구조개혁으로 인한 조직유형, 사회경제적 관점에서 통제 불가능한 환경요인 등이 철도산업 효율성을 결정짓는데 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 우리나라를 비롯하여 1990년 이후 구조개혁이 활발히 진행된 유럽국가와 일본을 대상으로, 철도산업 효율성 측정에 적합한 DEA방법을 이용하여 1990년~2006년까지의 효율성 값을 구하였다. 그 결과 우리나라는 모든 연도에 걸쳐 상대적으로 효율적으로 추정되었고, 전반적으로 평가대상국들의 효율성이 시간이 지남에 따라 향상되었음을 나타내었다. 또한 효율성 결정요인을 분석하고자 DEA방법으로 추정된 효율성 값을 종속변수로 하고, 구조개혁으로 인한 조직유형, 사회경제적 환경요인을 독립변수로 한 Tobit 분석에서는 시설과 운영을 분리하는 수직적 분리와 화물과 여객을 분리하는 수평적 분리가 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 철도산업의 경쟁력 강화와 경영효율성을 제고하기 위한 구조개혁은 그 과정과 결과에 대한 신중한 검토 및 평가가 이루어져야 함을 시사하였다.

**주 요 어** : 효율성, 철도산업 구조개혁, 자료포락분석기법, 토빗회귀분석

## 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

철도는 대량수송의 장점과 환경친화적이고 안전한 교통

수단임에도 불구하고, 자동차산업의 발달과 경제 성장에 따른 자동차 대중화에 의해 그 역할이 점차 감소하였으며, 지속적인 투자부족과 관료적인 운영체제로 인하여 수요와 수입 감소가 진행되면서 경영상 문제점이 발생하게 되었다. 이러한 문제점을 극복하고자 유럽 및 일부 선진 국가에서는 철도산업 구조개혁을 통해 경영합리화와 효율성을 제고하는 노력이 진행되어 왔다. 유럽의 경우 1991년 철도구조개혁 지침을 만들어 철도부채 처리 및 철도자산 책임관리를 위한 시설과 운영의 회계분리, 철도운영부문의 경쟁

<sup>†</sup> 책임저자 : 정희원, 과학기술연합대학원대학교, 석사과정  
한국철도기술연구원 철도교통물류연구실  
E-mail : amy4137@ust.ac.kr

TEL : (031)460-5493 FAX : (031)460-5021

\* 정희원, 한국철도기술연구원 철도교통물류연구실, 책임연구원

도입 등을 통해 철도산업의 구조개혁을 이루었다. 우리나라 철도산업 역시 철도수송의 경쟁력 저하로 인한 국가소유체제로서의 운영 비효율화, 철도투자 저하 등의 문제점에 대응하고자 2004년 철도산업 구조개혁을 시행하고 운영과 건설을 분리하여 한국철도시설공단을 설립하였다. 여객·화물 수송 등 운영은 철도공사(구 철도청)가 맡고 건설 및 철도시설관리 부문은 철도시설공단이 전담하도록 하였다.

이러한 시점에서 철도 경영효율화 및 철도 경쟁력 확보를 위해 시행된 철도구조개혁의 특성 및 성과에 대한 실증적인 분석 및 논리적 평가가 필요하다. 그 평가 방법으로 제시되는 효율성 측정은 조직활동의 성과 및 존립목적에 대한 평가에 이용되고, 측정된 효율성 차이의 원인을 파악함으로써 성과개선을 위한 정책수립에 유용하다[1,7].

효율성을 평가하는데 있어 철도운영기관이 통제할 수 있는 물리적 내부요인인 생산활동 뿐만 아니라 통제할 수 없는 외부요인인 구조개혁을 통한 조직유형 및 사회경제여건 등 환경요인이 효율성에 미치는 영향을 반영하여, 철도산업의 효율성을 결정하는 요인을 분석하고 효율성을 제고하기 위한 운영방안을 제시하는 것이 필요하다.

철도산업의 효율성을 평가하는 연구는 활발하게 진행되어왔지만 효율성을 결정하는 요인에 대한 분석 연구는 많지 않은 편이다. 외국에서는 유럽의 철도산업 구조개혁에 대한 효율성 평가를 다루고 있는 연구가 다수 있지만 [9,13-15,17], 우리나라의 경우에는 전무한 상태이다. 본 연구는 DEA 모형과 Tobit 모형을 이용하여 철도산업 구조개혁과 효율성의 상관관계에 대해 분석하고, 우리나라 철도산업 구조개혁을 포함하여 2000년 이후 데이터를 이용하여 효율성을 평가한다는 점에서 선행연구와 차별성을 갖는다 할 수 있다. 또한 본 연구는 도로교통의 발달로 인한 철도의 경쟁력 저하와 한편으로는 녹색교통으로서 역할이 중요시 되고 있는 철도교통의 혁신이 중요한 시기에 철도산업에 대한 효율성 측정 및 구조개혁을 통한 효율성 결정요인을 분석한다는 데 의의가 있다.

기준에 우리나라 철도산업 효율성에 대해 분석한 연구로는 유재균 외(2000)가 방사동조함수(ray-homothetic function)를 이용하여 1980~1990년간 산출물 효율성을 분석하였고, 이재훈 외(2004)가 DEA(data envelopment analysis)방법을 이용하여 1981~2002년간 우리나라 철도산업의 경영효율성과 운영효율성 및 1990~1997년간 OECD국가를 대상으로 효율성을 측정하였다. 김성호(2004)는 거리함수를 이용하여 우리나라 철도산업의 효율성과 생산성을 분석하였고, 김현웅(2009)은 DEA방법을 이용하여 2000~2006년간 OECD국가의 철도수송 효율성을 측정하였다. 또한 김민정(2003)은 DEA와 Tobit 모형을 통해 우리나라 도시철도운

영기관의 효율성을 분석하였고, 김만경 외(2006) 역시 같은 방법으로 부산지역 버스운송업체와 부산교통공단을 대상으로 효율성과 효율성 향상을 위한 요인을 분석하였다 [1-4,6-7].

본 연구에서는 유럽국가와 일본, 우리나라를 대상으로 철도산업의 효율성을 측정하고, 철도산업 구조개혁에 따른 조직유형 및 외부 환경요인이 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석함으로써 철도산업 효율성을 결정하는 요인을 추정하고, 그 결과를 바탕으로 철도산업 구조개혁에 대한 평가와 운영효율성을 제고할 수 있는 방안에 대해 논하고자 한다.

## 2. 연구방법론

### 2.1 DEA를 이용한 효율성 측정

본 연구에서는 철도산업의 효율성을 결정하는 요인을 분석하는데 있어 먼저 효율성 값을 추정하고자 한다.

철도산업의 효율성 평가는 다수의 투입과 산출을 동시에 고려해야 함으로 절대적 기준에 의한 평가보다는 상대적으로 평가하는 것이 바람직하다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 투입요소와 산출물 자료를 이용하여 의사결정단위의 상대적 효율성을 측정하는 DEA 방법을 이용하고자 한다.

DEA 방법은 효율성을 측정하는데 여러 측면에서 기본적인 이점이 존재한다. 철도산업과 같이 공공적 성격이 강한 산업에서 생산을 위해 필요한 투입량이나 산출물의 가격에 대한 정보는 구하기 어렵고, 측정단위가 상이하거나 하나의 지수로 종합화하기 힘든 경우가 있을 때 DEA 방법은 물리적 단위만으로 성과측정이 가능하다. 또한 비효율성을 측정하고 비효율의 정도와 그 원인도 구체적으로 파악할 수 있다. 그리고 본 연구에서 요구되어지는 바와 같이 투입 자료를 통제 가능한 투입변수와 통제 불가능한 투입변수로 이분화 하여 인구밀도, 경제상황 등과 같이 환경에 관련된 변수도 적용할 수 있다. 이처럼 DEA 방법의 특성 및 유용성은 효율성 개선 방안에 대한 정보를 제공해주고, 비효율성 정도를 파악해 주는 등 그 유용성과 타당성이 여러 산업의 효율성 분석에 실제로 적용되어 인정받고 있다.

하지만 본 연구에서 DEA 방법은 다음과 같은 한계도 지니고 있다. DEA 방법은 상대적 평가모형이기 때문에 그 결과가 효율적인 것으로 평가되어도 개선의 여지가 없는 절대적인 효율성을 가졌다고 간주해어서는 안 된다[8]. 또한 변수 선정이나 투입 및 산출요소의 수에 따라 측정 결과가 민감하게 반응할 수 있음을 유의해야 한다.

DEA는 1978년 Charnes, Cooper, Rhodes에 의해 비영리적 의사결정단위의 상대적 효율성을 측정할 목적으로 개발된

방법이다. 비모수적 효율성 측정방법인 DEA는 사전적으로 구체적인 함수형태를 가정하여 모수를 측정하는 것이 아니고, 선형계획법에 근거하여 일반적인 생산가능집합의 성질에 따라 평가대상(DMU: Decision Making Unit)의 경험적인 투입요소와 산출물 간의 자료를 이용하여 실증적인 효율적 프론티어를 도출한 후 평가대상들이 효율적 프론티어로부터 얼마나 떨어져 있는가를 가지고 효율성을 측정한다[11].

먼저  $n$ 개의 DMU( $k=1,2,\dots,n$ ) 각각은  $S$ 종류의 산출물  $y_{rk}(r=1,2,\dots,s)$ 을 생산하는데  $m$ 종류의 투입요소  $x_{ik}(i=1,2,\dots,m)$ 을 사용한다고 가정하면, 각 DMU의 모든 산출과 투입의 비율, 즉 효율성은 식 (1)과 같다. 여기에서  $v_i$ 는 투입요소의 가중치,  $u_r$ 은 산출물의 가중치로 DEA 모형에 의해 그 값이 결정된다. 첫 번째 제약조건은 계산된 해가 1을 초과하지 않도록 보장해주며, 두 번째 제약조건에 포함된  $\epsilon$ 는 매우 작은 양의 상수로 계산된 해가 양수를 가지도록 보장해준다. 따라서 식 (1)에서 계산된 해는 0과 1 사이의 값을 가지게 된다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta_k^p &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}^p}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}^p} & (1) \\
 \text{s.t. } & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \\
 & u_r, v_i \geq \epsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

식 (1)에서 목적함수의 최대값은 특정 DMU의 효율성 값이 된다. 이모형은 Charnes, Cooper, Rhodes가 개발한 모형으로 그들의 이니셜을 따서 CCR모형이라고 하며, 주어진 산출물을 생산하기 위해 최소의 생산 투입요소를 사용한 DMU와 그 이외 DMU와의 상대적 비율로 DMU의 기술효율성을 측정하는 모형이다.

위 식은 비선형 수리모형으로 계산하기가 매우 복잡하기 때문에 투입물의 가중합을  $v_i x_{ij} = 1$ 로 놓으면 분자부분  $u_r y_{rj}$ 만 남게 된다. 이 산출물의 합이 최대가 되게 하는 변환된 선형계획을 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} & (2) \\
 \text{s.t. } & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \\
 & u, v \geq \epsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

위의 식 (2)을  $(s+m)$ 개의 변수와  $n$ 개의 제약식을 갖는 쌍대선형계획(dual linear program)으로 전환하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } \theta & & (3) \\
 \text{s.t. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0} \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \theta y_{r0} \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

여기서  $\theta$ 는 DMU가 일정한 양의 산출물을 생산하기 위해 다른 DMU에 비해 투입물의 상대적 사용량을 나타내는 기술효율성으로, 이는  $0 \leq \theta \leq 1$ 을 만족시킨다.  $\theta$ 가 1이면 기술효율적인 DMU임을 의미하며, 1보다 작으면  $1-\theta$ 만큼 투입요소를 다른 DMU에 비해 더 사용하고 있음을 의미한다[5].

BCC모형은 Banker, Charnes, Cooper(1984)가 제안한 방법으로 CCR모형의 가설인 볼록성, 비효율성, 무한확장가능성, 최소집합의 가정 중에서 규모수익불변을 나타내는 무한확장가능성의 가정을 배제시킨 것으로서 순수기술적 효율성을 추정하는 방법이다[8].

CCR모형에서 가설  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 을 추가하면, 규모수익증가 불변-감소상태를 모두 포함하는 것이 BCC모형이다. 규모수익변화의 가정 하에서 기술효율성을 계산할 때는 규모의 효율성을 배제하게 되므로 BCC모형은 순수기술효율성을 추정하는 방법이다. 이상에서 설명한바와 같이 기술효율성은 순수기술효율성×규모효율성이므로, CCR모형과 BCC모형을 이용하여 기술효율성과 순수기술효율성을 추정할 수 있으며, 따라서 규모효율성도 구할 수 있다.

본 연구에서는 철도산업은 사회경제적인 성격상 운영기관이 자율적으로 규모를 결정할 수 없고, 사회적효용 관점에서 산출량이 극대화 되는 것을 추구할 것이므로 산출지향의 BCC모형을 이용하여 효율성 측정하고자 한다[18].

### 2.2 Tobit모형을 이용한 결정요인 추정

DEA에서 도출한 기술적 효율성 값에는 각 철도운영주체가 통제할 수 있는 내부요인인 물리적 변수와 함께 통제할 수 없는 외부요인인 조직의 유형, 사회경제여건 등도 반영되어 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 요인들이 효율성에 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위해, DEA를 통해 산출된 효율성 점수를 종속변수로 하고, 이들 효율성 값에 영향을 미치는 것으로 판단되는 조직유형 등의 외부요인을 독립변수로 하는 회귀식을 추정한다.

본 연구에서는 효율성을 결정하는 요인을 분석하기 위해 다음 식 (4)과 같은 모형을 설정하였다.

$$DEA_i = F(SEP1, SEP2, DEPE, COMP, PSFR, GDP, AREA, PDEN) \quad (4)$$

위 식 (4)에서 사용된 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

Table 1. Description of regression variables

Variable	Symbol	Description
Accounting separation (Dummy)	SEP1	Indicating whether or not infrastructure and services are separated on an accounting basis
Complete separation (Dummy)	SEP2	Indicating whether or not infrastructure and services are institutionally separated
Independent management (Dummy)	DEPE	Indicating whether or not legislation is transposed that assures independent management from the government of railway company
Market competition (Dummy)	COMP	Indicating whether or not legislation is transposed that allows entry competition
Horizontal separation (Dummy)	PSFR	Indicating whether or not freight and passenger are separated
Total area	AREA	Measured in 1000 square miles
Gross Domestic Product	GDP	Measured in constant prices(2000) 1000 US dollars PPS
Population density	PDEN	Measured in population per square miles

식 (4)을 추정가능한 회귀함수로 변환한 것이 식 (5)이다.

$$DEA_i = CONSTANT + \beta_1 SEP1 + \beta_2 SEP2 + \beta_3 DEPE + \beta_4 COMP + \beta_5 PSFR + \beta_6 GDP + \beta_7 AREA + \beta_8 PDEN + \epsilon_i \quad (5)$$

본 연구에서는 식 (5)을 Tobit 모형을 이용하여 추정하였다. DEA를 통해 산출된 효율성 값은 제한된 범위의 값<sup>1)</sup>을 갖기 때문에 그 분포가 일반적인 회귀모형에서 가정하고 있는 정규분포와 달라 회귀계수가 불일치 추정치(inconsistent estimates)를 갖게 되므로 일반적인 최소자승법에 의한 회귀모형(OLS, Ordinary Least Squares)을 적용하는데 문제가 있다. 이러한 OLS의 문제점을 극복하기 위해 본 연구에서는 Tobin이 개발한 Tobit 모형<sup>2)</sup>을 이용하였다. Tobit 모

- 1) 분석대상인 DMU들의 효율성 값은 항상 0보다 큰 양(+)의 값을 갖거나 아니면 1의 값을 가지므로 그 분포는 항상 일정한 방향으로 한계값을 가지는 분포가 된다.
- 2) Tobin(1958)은 종속변수의 데이터가 일부는 단일값(single value)을, 일부는 연속적인 성질을 갖는 값을 가지는 경우 제한된 범위의

형은 종속변수가 일부는 단일 값, 일부는 연속적인 값을 가지면서 확률변수인 독립변수와 선형관계를 가지는 회귀모형으로 다음과 같다.

$$DEA_i^* = X_i' \beta + \epsilon_i \quad (6)$$

$$DEA_i = 1, \quad \text{if } DEA_i^* \leq 1$$

$$DEA_i = DEA_i^*, \quad \text{if } DEA_i^* > 1$$

위 식 (6)에서  $DEA_i^*$ 는  $i$ 번째 DMU의 효율성 지수의 역수이고,  $X_i$ 는 효율성 값에 영향을 미치는 특성변수이며, 오차항  $\epsilon_i$ 는 정규분포를 한다고 가정한다. 효율성의 역수 값이 1보다 작은  $DEA_i^*$  값은 정확히 관측될 수 없기 때문에 1의 값으로만 표현된다. 종속변수의 값이 단절된 경우 최소자승법에 의한 추정결과는 편의를 갖게 되므로 최우추정법(Maximum Likelihood Method)에 근거한 식 (7) 형태의 Tobit 모형을 통해 추정할 수 있다.

$$L = \prod_{DEA_i > 1} \phi(DEA_i) \prod_{DEA_i = 1} \Phi(DEA_i) \quad (7)$$

이 식은 효율성의 역수가 1보다 큰 표준정규밀도함수( $\phi$ )와 효율성의 역수가 1과 같은 효율적인 DMU를 나타내는 표준누적분포함수( $\Phi$ )를 나타낸다[16].

### 3. 실증연구

#### 3.1 분석 자료

##### 3.1.1 DEA분석에 이용되는 자료

효율성 측정을 위해 사용되는 자료는 우리나라를 비롯하여 철도구조개혁이 활발하게 진행되었던 유럽국가 중 자료 확보가 용이하였던 20개국(오스트리아, 벨기에, 불가리아, 체코, 덴마크, 독일, 핀란드, 프랑스, 그리스, 헝가리, 이탈리아, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이, 폴란드, 포르투갈, 슬로바키아, 스페인, 스웨덴, 스위스)과 철도구조개혁의 성공사례로 보여 지고 있는 일본을 대상국가로 선정하였다. 분석기간은 유럽 철도구조개혁이 진행되기 시작하였던 1990년부터 최근의 변화를 반영하기 위해 2006년까지로 설정하였다.

본 연구에서 사용되는 자료는 국제철도연맹(UIC)에서 발행하는 「세계철도통계연감(International Railway Statics)」 및 분석 대상국의 통계사이트, 철도운영기관 홈페이지 통계자료 등을 활용하여 파악하였으며, 사용하고자 하는 변수는 기존연구에서 적용되었거나 철도운영자가 생산활동

의 특성을 갖는 종속변수와 독립변수(확률변수)간 회귀분석방법을 개발하였으며, 이를 Tobit 분석이라고 한다[16].

에 사용하는 자원을 대상으로 결정하였다.

본 연구에서는 먼저 산출물로 수송인-km와 톤-km를 사용하였는데 이는 철도산업의 효율성 측정에서 산출물을 수요기준 또는 공급기준으로 보는 견해에 따라 달라질 수 있다[4].<sup>3)</sup> 또한 투입물로는 인력수, 영업거리, 기관차대수, 객차대수, 화차대수를 적용하였다.

**Table 2.** Descript statistics of the data

Variable		Europe			Japan	Korea
		Mean	Min.	Max		
Outputs	Passenger kilometers (billions)	15.6	0.2	66.4	244.7	29.8
	Freight kilometers (billions)	16.5	0.5	70.9	23.7	12.2
Inputs	Labour (×1000)	63.9	3.2	243.8	160.9	32.7
	Tracks (km, ×1000)	9.3	0.2	34.8	20.1	3.1
	Locomotives (×1000)	1.6	0.08	6.5	1.4	0.5
	Passenger car (×1000)	4.8	0.1	20.8	25.3	2.9
	Freight car (×1000)	41.1	204.7	2.7	19.9	13.8

### 3.1.2 Tobit 분석에 이용되는 자료

Tobit 회귀분석에 사용될 요소들은 DEA단계에서 투입 요소를 산출요소로 변환하는 과정에서 직접적으로 관여하는 요소는 고려대상에서 제외시켜야 한다[1].<sup>4)</sup>

분석에 사용된 종속변수로는 DEA를 통해 도출되는 기술효율성 값을, 독립변수로는 Table 1에서 설명된 철도산업 구조 유형에 따른 터미변수와 환경요인을 반영하기 위해 전체면적 및 GDP, 인구밀도를 사용하였다. 독립변수로 구조 유형 터미변수를 설정한 이유는 구조개혁으로 인한 효율성 영향 정도를 파악하고, 효율성을 결정짓는 요인으로 어떻게 작용하는지 분석하기 위해서이다. 또한 전체면적과 GDP, 인구밀도 변수는 철도운영자가 조정할 수 없는

- 3) 수요기준 접근방법은 철도운영자가 제공한 서비스에 대한 이용 수준을 나타내는 것으로 수송실적(수송인-km, 수송톤-km)을 산출물로 정의하고 있다. 반면 공급기준 접근방법은 철도운영자가 제공한 서비스의 공급수준을 나타내는 것으로 열차운행키로(여객열차운행키로, 화물열차운행키로)를 산출물로 정의한다[4].
- 4) DEA 분석에서 효율성에 직접적인 영향을 미치는 투입요소가 아닌 다른 요소들에 의해 영향을 미칠 수 있는지를 분석하여 직접 관여요소는 배제하는 것으로 한다[1].

환경요인인 사회경제여건 및 철도산업에 대한 정부의 규제로서 효율성 값에 반영되기 때문이다.

Table 3은 각국의 철도구조변화를 나타낸 것으로, ‘1’은 1990년 이전에 구조 변화가 완료되었음을 의미하고, ‘0’은 2006년까지 구조에 변화가 없음을 나타내고 있다. 표에 나타나있는 연도 이전에는 터미변수 값을 ‘0’으로 하고, 그 이후에는 ‘1’로 설정하였다.

**Table 3.** Outline of the onset of various reforms for each country

Country	Accounting separation	Complete separation	Independent management	Market opening	Horizontal separation
Austria	from 1992	0	from 1992	0	from 2005
Belgium	from 1993	0	from 1991	0	from 2005
Bulgaria	from 2003	from 2003	from 2002	0	0
Czech	from 1993	from 2003	from 1993	0	0
Denmark	from 1997	from 1997	from 1998	from 2001	from 2001
Finland	from 1995	from 1995	from 1994	0	0
France	from 1995	from 1997	from 1997	0	from 1997
Germany	from 1994	0	from 1993	from 1994	from 1999
Greece	1	0	1	0	0
Hungary	0	0	0	0	from 2006
Italy	from 1998	0	from 1992	0	0
Japan	0	0	from 1997	0	from 1997
Korea	from 2005	from 2005	from 2005	0	0
Luxemburg	1	0	0	0	from 2006
Netherlands	from 1995	from 1998	from 1995	from 1998	from 2000
Norway	from 1997	from 1999	from 1997	0	from 2002
Poland	from 1999	0	from 2001	0	from 2001
Portugal	from 1997	from 1997	from 1997	0	0
Slovakia	from 1997	from 2002	from 1993	0	from 2005
Spain	from 1997	from 1997	from 1994	from 1999	0
Sweden	1	1	1	from 1996	from 2002
Swiss	from 1999	0	1	from 1999	from 2003

주 : Asmild, M. et al.(2008), ‘Railway Reforms: Do They Influence Operating Efficiency?’ p.17 표를 참고하여 재구성함.

## 3.2 실증분석

### 3.2.1 효율성 추정 결과

유럽국가와 일본, 한국을 대상으로 하여 1990년부터 2006년까지 효율성을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 산출 기준으로 규모가변수익을 가정한 BCC모형을 이용하여 수익성을 분석하였으며, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이의 경우 몇 개년도의 자료를 확보하지 못하여 효율성 값을 추정하지 못하였고, 체코와 슬로바키아는 국가가 1993년 분리됨에 따라 그 이전은 분석에 포함하지 않았다.

분석 결과 우리나라는 독일, 일본, 스웨덴과 함께 모든 연도에 걸쳐 효율적으로 나타났고, 전반적으로 시간이 지남에 따라 효율성 값이 높아지고 있음을 보여주고 있다.

그러나 이 결과는 효율성 값이 1이라고 해서 절대적인 관점에서 100% 효율적으로 운영된다는 것을 의미하는 것이 아니라, 평가 대상국가들 사이에서 효율성 비교우위에 있기 때문에 상대적으로 효율적임을 의미한다[4].

본 연구에서 측정된 값을 기존의 연구결과와 비교하여 그 결과의 타당성을 살펴보면, 국내 선행 연구 역시 우리나라는 지속적으로 효율성 값이 1을 나타내고 있다[3,7]. 외국의 연구 결과는 분석대상에서 우리나라를 포함하지 않았지만, 일본의 경우 대부분의 연구에서도 효율성이 상대적으로 높게 나타나고 있다[15,17]. 하지만 연구들 대부분이 측정방법, 분석대상 및 기간, 투입 및 산출변수에 대한 정의가 다르기 때문에 직접적인 비교는 힘들다고 할 수 있다.

**Table 4.** DEA estimates of efficiency, 1990-2006(BCC efficiency)

Country	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Austria	0.492	0.568	1	1	1	1	1	1	1
Belgium	0.525	0.509	0.677	0.727	0.727	0.718	0.827	0.844	0.859
Bulgaria	0.657	0.534	0.523	0.464	0.485	0.545	0.683	0.574	0.582
Czech	n.a	0.681	0.663	0.656	0.6	0.581	0.519	0.527	0.558
Denmark	0.786	0.754	1	1	1	1	1	1	1
Finland	0.914	1	0.941	0.99	0.992	0.936	1	0.98	1
France	1	0.945	0.981	0.964	0.993	0.918	0.871	0.773	0.763
Germany	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Greece	0.393	0.358	0.762	0.8	0.74	0.888	1	1	1
Hungary	0.388	0.292	0.419	0.445	0.43	0.519	0.492	0.495	0.6
Italy	0.4	0.548	0.611	0.683	0.676	0.666	0.647	0.627	0.636
Japan	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Korea	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luxemburg	1	1	1	1	1	1	n.a	1	1
Netherlands	0.77	1	1	1	1	1	n.a	n.a	n.a
Norway	0.747	0.999	1	1	1	n.a	n.a	n.a	n.a
Poland	1	1	1	1	1	1	1	1	0.997
Portugal	0.796	0.858	0.73	0.88	0.851	0.834	1	1	1
Slovakia	n.a	0.841	1	1	0.94	0.9	0.98	1	0.869
Spain	0.465	0.528	0.706	0.759	0.769	0.74	0.574	0.535	0.65
Sweden	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Swiss	0.594	0.63	1	1	0.951	0.895	0.978	1	1

**3.2.2 효율성 결정요인 분석 결과**

기존 DEA에 의한 효율성 분석은 상대적 효율성 결정요인으로 투입과 산출변수만을 감안함으로써 기타 효율성에 영향을 미치는 외부요인을 반영하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 철도구조개혁에 따른 철도산업 조

직유형과 그 외의 환경요인을 독립변수로 하는 Tobit 분석을 통해 효율성 결정요인을 구체화하였다. Table 5는 DEA를 통해 추정된 효율성 값을 종속변수로 하는 Tobit 분석에 대한 결과를 보여주고 있다. 모형의 적합도를 평가하는 Adjust  $R^2$  값이 상당 수준 높고, 변수값의 신뢰성도 SEPI와 COMP 변수를 제외하고는 유의한 것으로 나타나, 모형의 신뢰성이 적합하다고 나타났다.

**Table 5.** Tobit regression results

	Coefficient estimate	z-value	marginal effect
CONSTANT	0.3864	19.077***	0.2733
SEPI	0.4272	0.638	0.3463
SEP2	0.0437	6.354***	-0.0078
DEPE	-0.1644	-2.583***	-0.0215
COMP	0.0904	1.078	-0.0648
PSFR	0.2838	3.507***	0.0966
GDP	-0.12×10 <sup>-6</sup>	-3.388***	-0.11×10 <sup>-6</sup>
AREA	0.15×10 <sup>-5</sup>	10.753***	0.14×10 <sup>-5</sup>
PDEN	0.0029	14.049***	0.0021
Log likelihood	188.7058		
Adjusted $R^2$	0.8913		

주 : \*, \*\*, \*\*\* indicate significance at the 10%, 5% and 1% levels, respectively.

Tobit 모형을 이용하여 분석한 결과 시설과 운영의 회계 분리(SEPI), 시설과 운영의 완전한 분리(SEP2), 철도산업의 자율경쟁(COMP), 화물과 여객의 분리 운영(PSFR)은 철도산업 효율성에 긍정적인 영향을 미치는데 비해, 정부로부터의 독립적 운영(DEPE)은 부정적 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 정부로부터의 독립적인 운영과 철도산업의 자율경쟁은 상반된 결과를 나타냈는데, 이는 경제적 직관과 경쟁 구도에 따른 기대를 반영한다고 볼 수 있다 [15]. 분석 대상 국가 대부분에서 철도운영기관은 국가소유이고, 경쟁에 대한 압력이 있지 않은 상태이다. 이러한 상황은 정부와 종속관계에 있는 철도운영기관의 자치권이 커져갈수록 정부와 운영기관간의 정보 불균형이 발생하여 효율성이 낮아 질 수 있다. 하지만 적당한 경쟁이나 알맞은 규제가 없으면 생산효율성을 악화시키는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 측면에서 철도산업의 구조개혁에 있어서 경제적 이해와 정책적 방안이 동시에 고려되어야 할 것이다.

철도구조개혁이 진행됨에 따라 시설과 회계의 수직적 분리뿐만 아니라 화물과 여객의 수평적 분리도 시행하였는데, 이는 앞서 추정된 효율성 값이 시간이 지남에 따라 점차 증가되는 것에 영향을 미치는 것으로 보인다.

또한 GDP가 높아질수록 효율성은 감소되는 것으로 나타났으며, 국가 전체면적이 증가하고 인구밀도가 높아질수록 효율성이 증가하는 것으로 분석되어지지만, 그 값이 '0'에 가까워 영향력이 무의미하다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

철도산업은 편리성과 문전성(door-to-door)이 강조되는 도로교통과의 경쟁으로 인해 점차 역할이 감소되고, 투자 부족과 관료적인 운영체제로 인하여 수요와 수입 감소가 진행되면서 경영상 문제점이 발생하게 되었다. 이러한 문제점을 극복하고자 철도구조개혁을 통해 경영합리화와 효율성을 제고하는 노력이 진행되어 왔다.

본 연구에서는 철도구조개혁에 따른 조직유형의 변화에 따라 효율성이 어떻게 결정되는지 그 요인을 분석하고자 하였다. 이를 위해 DEA 모형을 이용하여 철도산업의 효율성 값을 측정하고, 이러한 효율성에 영향을 미치는 조직유형 변수와 외부 환경요인을 반영하여 Tobit 모형을 통해 효율성을 결정짓는 요인을 분석하였다.

유럽 20개국과 일본, 한국을 대상으로 1990년부터 2006년까지의 자료를 활용하여 분석한 결과, 우리나라는 모든 연도에 걸쳐 상대적으로 효율적으로 평가되었으며, 전체 분석대상국의 효율성은 시간이 지남에 따라 점진적으로 상승하였음을 나타냈다. DEA 방법을 이용하여 구해진 효율성 값을 종속변수로 하는 Tobit 분석에서는 조직유형의 터미변수와 각국의 GDP, 전체 면적, 인구밀도를 독립변수로 반영하여 효율성에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과 시설과 운영을 분리하는 수직적 분리와 화물과 여객을 분리하는 수평적 분리가 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 국가소유 운영과 시장경쟁의 도입은 상이한 측면에서 효율성에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 이는 경제적인 측면과 정책적인 측면에서 구조개혁이 신중히 평가되고 연구되어야 함을 시사 하는 것으로 해석 할 수 있다.

본 연구에서는 DEA 방법을 이용하여 효율성을 측정하였으나 자료의 범위 및 측정 방법을 다양화하여 그 결과를 비교할 필요가 있으며, 또한 Tobit 분석에서 이용된 독립변수 외에 효율성에 영향을 미치는 외부요인들을 반영하여 좀 더 정확하고 구체적인 분석이 향후 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- 김만경, 이상용(2006), “대중교통 운송기관의 효율성 비교분석 및 운영개선방안 연구,” 부산발전연구원.
- 김성호(2006), “거리함수를 이용한 한국철도산업의 생산특성 및 효율성 분석,” 대한교통학회지, 제 24권, 제 5호, pp.45-56.
- 김현웅(2009), “자료포락분석기법을 이용한 우리나라 철도수송의 효율성 측정,” 한국철도학회논문집, 제 12권, 제 4호, pp.542-547.
- 박진경, 김성수(2004), “일반초월대수 비용함수 모형을 이용한 한국 철도산업의 규모 및 범위의 경제성 분석,” 대한교통학회지, 제 22권, 제 6호, pp.159-173.
- 손승태(1993), “국내은행의 경영효율성 비교연구,” 한국개발연구원.
- 유재균·최진석(2000), “우리나라 철도운영체의 효율성에 관한 연구,” 한국철도학회 2000년 추계학술대회 논문집, pp. 24-31.
- 이재훈·정경훈(2004), “우리나라 철도산업의 효율성 분석,” 한국교통연구원.
- 임재경(2007), “한국 화물자동차 운송산업의 효율성 분석,” 서울대학교 공학박사학위논문.
- R. D. Banker, A. Charnes, and W. W. Cooper(1984), “Some models for estimating technical and scale inefficiencies data envelopment analysis,” *Management Science*, Vol. 30. No. 9, pp.1078-1092.
- P. Cantos and J. Maudos(2001), “Regulation and efficiency: The case of European railways,” *Transportation Research Part A*, Vol. 35, pp.459-472.
- A. W. Charnes et al.(1978), “Measuring the efficiency of decision making unit,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp.429-444.
- M. J. Farrell(1957), “The measurement of productive efficiency,” *Journal of Royal Statistics Society, Series A, Part 3*, pp.253-290.
- G. Friebel, M. Ivaldi, and C. Vibes(2003), “Railway (de) regulation: A European efficiency comparison,” IDEI report, No. 3 on passenger rail transport, University of Toulouse.
- H.-J. Gathon and P. Pestieau(1995), “Decomposing Efficiency into its managerial and its regulatory components: The case of European railways,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, pp.500-507.
- D. Gertjan, L. Mark, and M. Machiel(2006), “The impact of competition on productive efficiency in European railways,” CPB(Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis).
- J. Tobin(1958), “Estimation of relationship for limited dependent variables,” *Econometrica*, Vol. 26, pp.24-36.
- Oum, T.H. and C. Yu(1994), “Economic efficiency of railways and implications for public policy: A comparative study of the OECD countries' railways,” *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 28, pp.121-138.
- H. Tulkens(1993), “On FDH efficiency analysis: some methodological issues and applications to retail banking, courts, and urban transit,” *Journal of Production*, Vol. 4, pp.183-210.

접수일(2009년 10월 6일), 수정일(2009년 11월 7일),  
게재확정일(2009년 11월 12일)

- 김만경, 이상용(2006), “대중교통 운송기관의 효율성 비교분석