

DEA 모형을 이용한 지역간 철도의 노선별 운송효율성 분석

Efficiency Analysis in Korean Railroad Lines using DEA Model

김현웅¹ · 이준¹ · 이진선[†]

Hyun-Woong Kim · Jun Lee · Jinsun Lee

Abstract The purpose of this paper is to provide basic information on how to make better policies that improves efficiencies and to derive policy directions using DEA (data envelopment analysis) model. Through this paper, we can identify whether or not the railroad service has an excellent performance, if there are any structural problems, in which sector it is experiencing a degree of inefficiency, and, therefore, how to set up a realistic target to improve efficiency of railroad transportation. According to the result, we need to introduce a better resource efficient economic strategy to reduce the rail line extension and the number of passenger cars for better efficiency from a public interest perspective, while to widen headways and/or reduce the rail line extension from an economic point of view.

Keywords : DEA (Data Envelopment Analysis), Efficiency, Inefficiency, Publicity, Profitability

초 록 본 논문은 자료포락분석 모형을 이용하여 지역간 철도의 노선별 효율성을 분석하여, 효율성을 보다 향상시킬 수 있는 정책을 수립하기 위한 기초자료를 제공하고 정책방향을 도출하고자 한다. 본 논문을 통해 철도 운송서비스가 우수한 성과를 지니는지, 구조적인 문제점이 있는지, 어느 부문에서 어느 정도의 비효율이 발생하고 있는지, 운송효율성을 높이기 위해서는 어느 부문에 어느 정도의 목표치를 설정하여야 하는지를 파악할 수 있다. 분석결과를 보면, 철도운송의 공공성을 중시하여 공공성 측면에서 효율성을 개선하기 위해서는 선로연장과 객차수의 절감을 통해, 그리고 수익창출을 중시하여 수익성 측면에서 효율성을 개선하기 위해서는 화차수와 선로연장의 절감을 통해 자원을 보다 효율적으로 사용하는 전략이 필요함을 알 수 있다.

주요어 : 자료포락분석, DEA, 효율성, 비효율, 공공성, 수익성

1. 서 론

철도운송의 실적을 분석하거나, 효율성을 진단하는 것은 교통정책의 성과를 다각적으로 규명하는데 있어 중요하다. 이를 통해 국내 철도운송이 어느 면에서 효율/비효율인지 파악하여, 자원의 효율적인 사용을 위한 철도노선별 전략적 관리체계 구축이 가능할 것으로 본다. 그동안 철도는 타 교통수단에 비해 효율성 및 성과 분석 연구가 상대적으로 부족하였는데, 이는 철도운송기관이 독점이거나 국영이어서 효율성 분석의 필요성을 느끼지 못할 수도 있고, 투입 및 산출요소에 대한 정확한 자료를 수집하는 데에 한계가 있기 때문으로 파악된다. 그동안 분석된 연구를 보면, 효율성 분석을 위한 분석 대상이 모두 철도운송기관만을 대상으로 하고 있다. 철도운송은 실제적으로 각 철도노선에서 이루어지고 있는데 반해, 철도노선을 대상으로 한 효율성 분석은 거의 전무한 상황이다. 이러한 왜곡된 분석은 철도운송의 실제적인 생산구조의 파악과 현실적인 정책수립에 한계를 지니게 한다.

철도운송은 생산과정이 복잡하고 산출물이 다양하므로, 한

부문만을 대상으로 효율성을 분석할 경우 성과를 왜곡시킬 가능성이 있다. 본 논문에서는 이를 방지하고 전체 생산과 정상에서 비효율의 원인을 규명하기 위해, 공공부문의 효율성 분석시 널리 사용되고 있는 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: 이하 DEA) 모형을 이용하였다. 분석 대상은 지역간 철도운송이 실제적으로 구현되는 우리나라의 18개 철도노선으로 하였고, 1990년부터 2007년의 시계열 자료를 수집하였다. 본 논문에서는 2005년의 철도구조개혁 이후의 한국철도의 효율성을 실증적으로 분석하였기에, 우리나라 철도의 운송효율성을 제고하고 경쟁력을 강화시킬 수 있는 정책 대안의 수립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 선행연구 고찰

철도의 효율성을 분석한 국내외의 주요 선행연구를 검토해보면, Table 1과 같이 철도의 효율성 분석 대상이 거의 대부분 운송기관만을 대상으로 하고 있다. 철도운송은 실제적으로 각 철도노선에서 이루어지고 있는데 반해, 철도노선을 대상으로 한 분석은 거의 전무한 상황이다. 이에 따라 국내 철도운송의 실제적인 생산구조의 파악과 현실적인 정책수립에 한계가 있다.

국내외의 선행연구들을 고찰하여 볼 때, 국내 철도운송의

[†]교신저자 : 우송대학교 철도경영학과
E-mail : jinsun@wsu.ac.kr

¹한국철도기술연구원

생산구조의 현황 파악과 개선방안 도출을 위해 철도노선별 운송효율성을 측정하는 연구를 수행할 필요가 있다고 판단된다. 이를 통해 복잡한 철도운송의 생산구조의 분석을 통해 국내 철도운송이 효율적인지, 비효율적이라면 비효율의 크기는 어느 수준이고 원인은 무엇인지, 어떠한 부분에 어느 정도 수준까지 자원을 효율적으로 사용하여야 철도노선의 효율성을 높일 수 있는지에 대한 정책적 방향을 제시할 수 있을 것으로 본다.

Table 1 Precedent study using DEA in railway

저자 (연도)	분석대상	투입 요소	산출 요소
김성호 등 (2000)[1]	23개국가 철도운영사	노선연장, 차량수, 직원수	여객km, 톤km
이재훈 등 (2004)[2]	철도청	직원수, 기관차수, 객차수화차수, 1인당GDP, 노선연장	여객km, 톤km, 수송수입, 영업계수
김민정 (2004)[3]	서울메트로, 철도청 도시철도 부문, 부산교통공단	인건비,동력비, 전동차비, 유지보수비, 궤도비	전동차km
김재윤 등 (2008)[4]	6개지하철 운영기관	직원수, 역수, 차량수, 노선연장	수송인원, 수입
Oum 등 (1994)[5]	OECD 국가철도	직원수, 에너지소비량, 토지및구조물비, 장비비, 차량수	여객km, 톤km, 여객열차km, 화물열차km
Cantos 등 (1999)[6]	유럽철도	직원수, 에너지 및 장비소비량, 기관차수, 객차수, 화차수, 노선연장	여객km, 톤km
Coelli 등 (1999)[7]	유럽철도	직원수, 화차용량, 객차좌석수, 노선연장	여객km, 톤km
Cowie 등 (1999)[8]	스위스철도	직원수, 자본, 토지경사도	열차km
Graham (2006)[9]	세계 도시철도	직원수, 차량용량, 노선연장	여객수, 여객km, 열차km

3. 자료포락분석 모형

철도운송은 공공부문으로서 생산구조가 매우 복잡하고 투입 및 산출 요소의 원가 측정이 어려우며, 다수의 서비스를 생산하는 특성이 있다. 공공부문의 이러한 특성으로 인해 효율성 분석시 자료포락분석(DEA) 모형이 널리 사용되고 있는데[10], 본 분석에서도 DEA 모형을 분석방법으로 선정하였다.

DEA 모형은 Charnes, Cooper, Rhodes[11]가 Farrell[12]의 상대적 효율성 개념을 기초로 개발한 효율성 분석 방법이다. 이 기법은 사전에 모수 추정 및 체계적인 함수의 형태를 설정하는 다른 기법과 달리, 선형계획법에 근거하여 효율성을 분석한다. 분석대상의 경험적 투입 요소와 산출 요소에 대한 자료를 이용하여 경험적 생산변경을 추정한 후, 분석대상이 효율적 생산변경으로부터 어느 정도 거리를 두고 있는지 그 비효율성을 측정한다. DEA 모형에서는 분석

대상이 되는 단위를 의사결정단위(DMU: Decision Making Unit)라 부른다. 각 DMU는 다수의 투입 요소를 사용하여 다양한 산출 요소를 생산하는 생산조직으로서, 기업, 학교, 행정조직, 병원 등이 해당될 수 있다. 일반적으로 DEA 기법 중에서 가장 많이 활용되는 모형은 Charnes 등[11]의 CCR 모형과 Banker, Charnes, Cooper[13]의 BCC 모형이다. DEA 모형은 투입 요소에 초점을 두는지, 산출 요소에 초점을 두는지에 따라 각각 투입지향(input oriented) 모형과 산출지향(Output Oriented) 모형으로 다시 구별된다. 투입지향 모형은 투입량의 최소화 목표를 두며, 산출지향 모형은 산출량의 최대화가 목표이다. 본 논문에서는 철도운송의 특성상 산출 요소는 운영자나 정책가가 조절할 수 있는 대상이 아니므로, 투입 요소에 초점을 둔 투입지향 BCC 모형을 분석기법으로 사용하였다.

DEA 모형의 가장 기본적인 모형은 CCR 모형이다. n개 (k=1,2,...,n)의 DMU_k가 m개의 투입 요소 x_i(i=1,2,...,m)를 사용하여 s개의 산출 요소 y_r(r=1,2,...,s)을 생산하는 경우, 특정 DMU₀의 효율성 값 h₀를 측정하기 위한 모형은 식 (1)과 같이 분수형 계획문제(Functional Programming Problem)로 표현할 수 있다.

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

subject to

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

$$u_r, v_i \geq \epsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

여기에서 u_r은 r번째 산출요소의 가중치, v_i는 i번째 투입요소의 투입요소의 가중치, y_{rj}는 DMU_j의 r번째 산출량, x_{ij}는 DMU_j의 i번째 투입량이다.

위의 식은 평가대상의 수가 많을수록 해의 계산이 어려우므로 다음과 같이 선형 계획문제(Linear Programming Problem)로 전환이 가능하다.

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

subject to

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

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

$$u_r, v_i \geq \epsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

CCR 모형은 준거기술(reference technology)을 규정하는데 있어 규모에 대한 규모수익불변(CRS: Constant Returns to Scale)이라는 가정을 지니고 있으므로 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못하는 단점이 있는 반면, BCC 모형은 규모의 수익효과를 파악하고 이를 기술적 효율성(TE)

에서 분리하여 규모의 효율성을 제외한 순기술적 효율성 (PTE: Pure Technical Efficiency)을 분석할 수 있도록 해준다. CCR 모형식에 부호의 제약을 받지 않는 규모지수(Scale Indicator)를 도입하면 BCC 모형이 된다.

$$\text{Min } h_0 = \theta \quad (3)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - \theta x_{i0} \geq 0, \quad \forall_i$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{rj} - y_{r0} \geq 0, \quad \forall_r$$

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

$$\lambda_j \geq 0, \quad \forall_j$$

최적해를 통해 도출된 효율성 지수는 1이하로 산출되는데, 그 값이 1로 산출되면 해당 DMU는 효율적으로, 1미만이면 비효율적으로 평가된다.

본 논문에서는 투입량의 규모의 변화에 대하여 생산변경이 변화한다는 가정을 고려하는 것이 철도수송의 현실에 적합하다고 판단되어, BCC 모형을 이용하여 우리나라 철도노선별 운송효율성을 분석하였다.

4. 효율성 분석

4.1 투입요소 및 산출요소

철도운송의 생산과정은 노동, 차량, 궤도, 운영비 등의 요소를 투입하여 열차 서비스를 제공하고 여객 및 화물을 운송하는 과정이라 할 수 있다.

본 논문에서 사용된 투입 요소 및 산출 요소는 기존의 연구 중 DEA기법을 활용하여 철도의 효율성을 분석한 선행 연구를 참조한 후, 철도운송의 특성과 신뢰성 있는 자료의 수집 가능성을 고려하여 최종적으로 노동, 차량, 선로연장, 운영비를 투입 요소로, 여객 및 화물 열차 운행거리, 여객 및 화물의 운송실적을 산출 요소로 각각 선정하였다.

투입 요소 중 노동은 철도운송 서비스를 제공하는 직원수를 이용하였다. 이에는 실제 운송과정에서 직접적으로 관여하는 기관사, 승무원, 역무원 뿐만 아니라, 유지관리를 위한 보선원, 그리고 간접적으로 관여하는 본사 직원이 포함되어 있다. 차량은 객차수와 화차수로 구분하였다. 운영비는 동력비, 역운영비, 열차통제비, 차량 유지비, 궤도 및 기타 설비 유지비 등이 포함되는데, 인건비를 제외한 후 GDP 디플레이터를 이용하여 2000년 기준가격으로 환산하여 적용하였다. 선로연장은 년도말 기준 철도선로연장을 적용하였다. 산출 요소는 여객열차 운행거리로서 여객열차-km, 화물열차 운행거리로서 화물열차-km, 여객운송실적으로서 인-km, 화물운송실적으로서 톤-km를 선정하였다.

4.2 분석대상과 data

한국철도의 노선별 운송효율성을 분석하기 위해, 18개 노

선을 대상으로 1990년부터 2007년까지 년도별 효율성을 측정하였다. 분석 대상 노선은 경부선, 호남선, 중앙선, 전라선, 경전선, 장항선, 영동선, 태백선, 경춘선, 충북선, 동해남부선, 경북선, 정선선, 대구선, 군산선, 진해선, 경부고속선, 호남고속선이며, 인입선 성격의 화물선은 본선에 포함시켰다. 한편, 경부고속선과 호남고속선은 2004년부터 운송을 시작하였기 때문에, 운송개시 이전에는 분석에서 제외되었다.

한국철도의 노선별 운송에 대한 통계자료는 철도청 또는 한국철도공사가 작성한 “철도통계연보”와 “경영성적 보고서”를 이용하였다. 한편, 직원수, 객차수, 화차수의 경우 한국철도의 1990년부터 2007년까지의 통계자료는 노선별 집계기 이루어지지 않았다. 그래서 노선별 직원수의 경우 김민정[3]이 적용한 방법을 준용하여, 전체 운영비 대비 노선별 운영비 비중을 산출한 후 이를 총직원수에 곱하여 노선별로 배분하였다. 노선별 객차수의 경우, KTX량수는 “경영성적 보고서”에서 수집한 다음, “경영성적보고서”에 제시된 노선별 열차운행회수와 평균 견인량수로부터 일반열차 객차수를 추정하여 산출하였다. 화차량수도 일반열차 객차수와 마찬가지로 방식을 적용하여 추정하였다.

이상과 같이 선정된 최종 노선수는 총 18개이며, 18년간 시계열자료 296개를 대상으로 분석을 시행하였다. 투입 요소 및 산출 요소별 통계적 특성을 살펴보면, Table 2와 같이 평균 직원수는 1,438인, 평균 객차수와 평균 화차수는 각각 163량과 218량, 평균 선로연장은 142km, 운영비용은 103,762백만원이다. 평균 여객열차 운행거리는 3,331천대-km, 평균 화물열차 운행거리 1,314천대-km, 평균 여객운송실적은 1,300백만인-km, 평균 화물운송실적은 577백만톤-km이다.

Table 2 Statistical characteristic of inputs and outputs

구분	최소	최대	평균	표준편차
직원수(인)	8	13,498	1,438	2,396
객차수(량)	1	1,090	163	222
화차수(량)	1	1,093	218	252
선로연장(km)	19	494	142	129
운영비용(백만원)	854	985,997	103,762	172,732
여객열차운행거리(천대-km)	3	37,565	3,331	6,887
화물열차운행거리(천대-km)	2	12,317	1,314	2,116
여객운송실적(백만인-km)	0.2	20,209	1,300	3,368
화물운송실적(백만톤-km)	0.2	5,292	577	1,022

우리나라에서 지역간 철도 운송을 제공하는 운영주체는 상업적 행위를 하는 공공 기업의 형태를 지니는데, 그 행위에 있어 전적으로 자율권을 지니고 있기 보다는 정부의 규제 및 관리 하에 놓여있기 때문에 공공성을 지닐 수 밖에 없다. 따라서 공공성의 확보가 기반이 되어 운송 서비스가 제공된다

고 하겠다. 또한 철도운송 과정을 통해 수익을 발생시켜야 한다. 이러한 관점에서 보면, 운송효율성은 공공성의 측면에서만 접근하는 것이 아니라, 수익적인 측면에서 동시에 접근할 필요가 있다. 이에 따라 철도운송의 전체 생산과정을 공공성 측면과 수익성 측면으로 나누어 볼 수 있다[14]. 공공성 측면은 노동, 차량, 궤도, 운영비 등을 투입하여 여객 열차 운행서비스 및 화물열차 운행서비스를 제공하는 생산 과정을, 수익성 측면은 투입요소를 통해 실제 여객 및 화물

을 운송하여 수입을 획득하는 생산과정을 의미하게 된다. 본 논문에서는 산출요소를 달리하여 각 노선별 운송효율성을 공공성 측면과 수익성 측면으로 구분하여 분석하였다.

4.3 효율성 분석 결과

한국철도의 노선별 공공성 측면의 운송효율성과 수익성 측면의 운송효율성을 년도별로 분석한 결과는 Table 3과 Table 4과 같다. 공공성 측면의 효율성 지수는 경부선, 중앙선, 경

Table 3 Transport efficiency of Korean railroad lines in the publicity aspect

구분	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2007	평균
경부선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
호남선	0.795	0.816	0.822	0.834	0.956	1.000	1.000	0.921	1.000	1.000	0.914
중앙선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
전라선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.953	1.000	0.995
경전선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
장항선	0.637	0.760	0.794	0.801	0.907	1.000	0.991	0.892	0.792	0.731	0.831
영동선	0.721	0.749	0.735	0.724	0.746	0.747	0.834	0.694	0.893	0.862	0.771
태백선	0.874	0.865	0.803	0.762	0.782	0.726	0.666	0.677	0.677	0.715	0.755
경춘선	0.704	0.741	0.591	0.545	0.624	0.977	0.815	0.723	1.000	1.000	0.772
충북선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
동해남부선	0.767	0.769	0.749	0.742	0.793	0.685	0.668	0.717	0.801	0.734	0.743
경북선	0.821	0.754	0.672	0.831	0.787	0.804	0.771	0.677	0.839	0.788	0.774
정선선	0.990	1.000	0.913	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.990
대구선	1.000	0.984	0.972	0.915	0.883	0.873	0.849	0.847	1.000	1.000	0.932
군산선	0.807	0.866	0.787	0.914	1.000	0.974	0.870	0.924	0.933	0.902	0.898
진해선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
경부고속선								1.000	1.000	1.000	1.000
호남고속선								0.678	0.879	0.707	0.755

Table 4 Transport efficiency of Korean railroad lines in the profit aspect

구분	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2007	평균
경부선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
호남선	0.674	0.675	0.653	0.674	0.705	0.713	0.659	0.583	0.751	0.408	0.650
중앙선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.532	0.953
전라선	0.626	0.597	0.613	0.603	0.640	0.742	0.640	0.549	0.708	0.472	0.619
경전선	0.722	0.706	0.644	0.680	0.734	0.754	0.489	1.000	0.791	1.000	0.752
장항선	0.493	0.447	0.525	0.588	0.602	0.698	0.609	0.499	0.467	0.352	0.528
영동선	0.379	0.412	0.397	0.546	0.563	0.567	0.629	0.455	0.700	0.791	0.544
태백선	1.000	1.000	0.929	0.704	0.735	0.736	0.682	0.711	0.633	1.000	0.813
경춘선	0.484	0.538	0.577	0.640	0.699	1.000	0.748	0.637	0.527	0.438	0.629
충북선	0.630	0.693	0.715	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.273	0.831
동해남부선	0.467	0.425	0.380	0.448	0.453	0.450	0.337	0.484	0.474	1.000	0.492
경북선	0.546	0.470	0.508	0.491	0.580	0.520	0.622	0.541	0.597	0.302	0.518
정선선	0.617	0.655	0.636	0.687	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.860
대구선	0.897	0.921	0.945	0.796	0.857	0.765	0.737	0.747	0.892	0.665	0.822
군산선	0.718	0.783	0.696	0.846	0.881	0.937	0.810	0.874	0.714	1.000	0.826
진해선	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
경부고속선								1.000	1.000	1.000	1.000
호남고속선								0.678	0.872	0.701	0.750

전선, 충북선, 진해선, 경부고속선 등 6개 노선이, 수익성 측면의 효율성 지수는 경부선, 진해선, 경부고속선 등 3개 노선이 년평균 1.00으로 측정되어 타 노선에 비해 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

이를 노선별로 살펴보면, 공공성 측면에서는 호남선, 전라선, 정선선, 대구선의 효율성 지수가 0.9~1 미만으로 측정되어 비효율적인 것으로 나타났다. 장항선, 영동선, 태백선, 경춘선, 동해남부선, 경북선, 군산선, 호남고속선의 철도운송은 0.7~0.9의 효율성 크기를, 이중 동해남부선의 철도운송은 가장 낮은 0.74의 효율성 크기를 갖는 것으로 측정되었다.

수익성 측면에서는 중앙선의 운송 효율성 지수가 0.95이고, 호남선, 전라선, 경전선, 장항선, 영동선, 태백선, 경춘선, 충북선, 경북선, 정선선, 대구선, 군산선, 호남고속선의 철도운송은 0.5~0.9 사이의 효율성 크기를, 동해남부선의 철도운송은 0.5 미만의 효율성 크기를 갖는 것으로 측정되었다.

공공성 측면에서 보면 한국철도 노선은 평균적으로 0.5%에서 26%의 비효율이 발생하고 있지만, 수익성 측면에서는 5%에서 51%의 비효율이 발생하고 있어, 전반적으로 공공성 측면 효율성 지수가 수익성 측면 효율성 지수 보다 높은 경향을 보이고 있다. 이는 한국철도는 운송실적에 비해 과다 투입이 발생하는 경향이 크다는 것을 시사한다.

4.3 비효율의 원인 및 크기 분석

2007년을 기준으로 각 노선별 비효율성의 원인 및 크기를 분석한 결과는 다음 Table 5와 Table 6과 같다. 비효율성이

발생하는 투입요소별 크기를 평균값을 통해 살펴보면, 전반적으로 비효율적 원인을 파악할 수 있다.

공공성 측면에서는 직원수가 71인, 객차수가 11량, 화차수가 20량, 선로연장이 28km, 운영비가 7,394 백만원이 각각 과다 투입된 것으로 분석되었다. 이는 공공성 측면에서는 평균적으로 직원수의 10.3%, 객차수의 13%, 화차수의 12.5%, 선로연장의 15.8%, 운영비의 10.3%가 효율적 노선에 비해 과다 투입되었으며, 이 과다 투입량 만큼 투입 요소의 규모를 절감하여야 효율적인 상태에 도달할 수 있음을 의미한다.

과다 투입이 가장 큰 요소는 선로연장과 객차수로 분석되었는데, 선로연장의 비효율이 다소 높게 나타나고 있다. 전체적으로 공공성 측면에서 운송 비효율 크기의 정도가 가장 높은 노선은 호남고속선으로 나타났는데, 직원수의 41.3%, 객차수의 29.3%, 선로연장의 88.9%, 운영비의 41.3%가 각각 과다 투입된 것으로 분석되었다.

수익성 측면의 운송 비효율성 분석 결과를 보면, 평균적으로 화차수, 선로연장, 운영비, 직원수, 객차수 순으로 비효율의 크기가 큰 것으로 나타나고 있다. 과다 투입의 규모는 평균적으로 각각 33.4%, 33.2%, 32.4%, 32.3%, 30.4%로 각각 분석되어, 전반적으로 공공성 측면의 비효율 크기보다 높게 발생하고 있다. 이 과다 투입된 규모만큼 절감이 이루어져야 경부선, 경전선 등의 철도운송과 같이 효율적인 상태에 도달할 수 있음을 알 수 있다.

수익성 측면에서 운송 비효율의 크기 및 원인을 2007년을 기준으로 각 노선별로 살펴보면 다음과 같다. 호남선의

Table 5 Transport Inefficiency of Korean railroad lines in the publicity aspect (2007year)

구분	직원수 (인)	객차수 (량)	화차수 (량)	선로 연장(km)	운영비 (백만원)	직원수 (%)	객차수 (%)	화차수 (%)	선로 연장(%)	운영비 (%)
경부선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
호남선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
중앙선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전라선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
경전선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
장항선	187	39	40	79	19,379	27.0	35.5	26.9	54.2	27.0
영동선	306	8	72	30	31,823	29.8	13.8	13.8	13.8	29.8
태백선	157	12	130	32	16,231	29.3	28.5	28.5	28.5	29.3
경춘선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
충북선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
동해남부선	253	22	88	49	26,313	26.5	26.5	26.6	26.6	26.5
경북선	23	4	25	86	2,393	21.2	21.2	78.0	62.3	21.4
정선선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
대구선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
군산선	5	42	1	4	512	10.5	79.3	10.1	9.9	10.5
진해선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
경부고속선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
호남고속선	350	72	0	225	36,440	41.3	29.3	0.0	88.9	41.3
평균	71	11	20	28	7,394	10.3	13	12.5	15.8	10.3

Table 6 Transport Inefficiency of Korean railroad lines in the profit aspect (2007 year)

구분	직원수 (인)	객차수 (량)	화차수 (량)	선로 연장(km)	운영비 (백만원)	직원수 (%)	객차수 (%)	화차수 (%)	선로 연장(%)	운영비 (%)
경부선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
호남선	976	75	119	200	101,476	65.0	59.2	80.3	71.0	65.0
중앙선	1,366	95	315	207	142,037	54.3	46.8	46.9	52.4	54.3
전라선	664	52	363	104	68,968	56.6	52.8	71.3	52.8	56.6
경전선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
장항선	447	72	95	95	46,490	64.7	64.7	64.8	64.8	64.7
영동선	437	12	109	78	45,484	42.5	20.9	20.9	35.5	42.6
태백선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
경춘선	244	70	2	49	25,361	62.2	56.2	56.3	56.2	62.2
충북선	573	31	1,053	87	59,593	89.4	72.7	96.3	72.7	89.4
동해남부선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
경북선	76	12	22	96	7,952	71.1	69.7	69.8	69.8	71.2
정선선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
대구선	53	132	332	10	5,540	33.5	74.2	93.9	33.6	33.7
군산선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
진해선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
경부고속선	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
호남고속선	364	73	0	227	37,916	42.9	29.9	0.0	89.6	42.9
평균	289	35	134	64	30,045	32.3	30.4	33.4	33.2	32.4

경우 직원수의 976인, 객차수의 75량, 화차수의 119량, 선로연장의 200km, 운영비의 101,476백만원이 각각 과다 투입된 것으로 분석되었다. 이는 수익성 측면에서는 평균적으로 직원수는 65.0%, 객차수는 59.2%, 화차수는 80.3%, 선로연장은 71.0%, 운영비는 65.0%가 과다 투입되었으며, 이 과다 투입량 만큼 투입규모를 절감하여야 효율적인 상태에 도달할 수 있음을 의미한다. 과다 투입이 가장 큰 요소는 화차수와 선로연장이며, 화차수의 비효율이 가장 크게 나타나고 있다. 운송 비효율 크기의 정도가 가장 높은 노선은 충북선으로 나타났는데, 직원수를 포함한 모든 투입 요소에 대해 70% 이상 과다 투입이 발생하였고, 비효율이 매우 큰 것으로 분석되었다. 그 다음은 경북선으로 70% 수준의 과다 투입이 발생하였다.

노선별로 운송 비효율 요인과 크기를 살펴보면, 경부선, 경전선, 정선선, 진해선, 경부고속선은 공공성 측면이나 수익성 측면 모두 자원이 효율적으로 투입된 것으로 나타났다. 호남선, 중앙선, 전라선, 경춘선, 충북선, 대구선은 공공성 측면에서는 효율적이지만, 수익성 측면에서는 전체 투입요소가 대구선을 제외하고는 50% 이상 과다 투입된 것으로 분석되었다. 반면 태백선, 동해남부선, 군산선은 수익성 측면에서는 효율적이지만, 공공성 측면에서는 전체 투입요소가 군산선의 객차 부문을 제외하고 10~30% 수준의 과다투입이 이루어진 것으로 분석되었다. 가장 우려되는 양상은 장항선, 영동선, 경북선, 호남고속선처럼 공공성 측면과 수익

성 측면 모두 비효율적인 성과를 보인 노선이다. 특히 경북선의 화차수와 호남고속선의 선로연장 부문이 70% 이상의 과다 투입 현상이 발생한 것으로 나타나, 두 노선에서는 이를 고려한 자원활용 대책이 요구된다 하겠다.

5. 결론 및 향후 연구과제

한국철도의 노선별 효율성을 측정 한 결과, 1990년부터 2007년까지 18년 동안의 공공성 측면 효율성 지수는 경부선, 중앙선, 경전선, 충북선, 진해선, 경부고속선의 6개 노선이, 수익성 측면 효율성 지수는 경부선, 진해선, 경부고속선의 3개 노선이 년평균 1.00으로 측정되어 타 노선에 비해 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

공공성 측면에서 호남선, 전라선, 장항선, 정선선, 대구선, 군산선은 0.8에서 0.99의 효율성 크기를 가지고 있고, 영동선, 태백선, 경춘선, 동해남부선, 경북선, 호남고속선은 0.7~0.8의 효율성 크기를 갖는 것으로 측정되었다. 수익성 측면에서는 중앙선, 태백선, 충북선, 정선선, 대구선, 군산선이 0.8에서 0.95의 효율성 크기를 가지고 있고, 호남선, 전라선, 경전선, 장항선, 영동선, 경춘선, 경북선, 호남고속선은 0.5에서 0.8의 효율성 크기를, 동해남부선은 0.5 미만의 효율성 크기를 갖는 것으로 각각 측정되었다. 2007년을 기준으로 공공성 측면에서 투입 요소에 대한 비효율 크기가 가장 높은 노선은 호남고속선으로 나타났는데, 효율성을 향상시키기 위해서는

직원수, 객차수, 선로연장, 운영비의 관리가 요구되는 것으로 분석되었다. 수익성 측면에서 투입 요소에 대한 비효율 크기가 가장 높은 노선은 충북선으로 모든 투입 요소에 대해 70% 이상이 과다 투입된 것으로 분석되어, 이에 대한 관리가 요구된다 하겠다.

결론적으로, 한국철도의 운송효율성 향상을 위해서는 장항선, 영동선, 경북선, 호남고속선에 대해 비효율적 요인들에 대한 제거가 선행되어야 한다. 이에 더하여 한국철도의 운송효율성을 강화하는 방향을 공공성에 맞춘다면, 태백선과 동해남부선, 그리고 군산선이, 수익성에 맞춘다면 호남선, 중앙선, 전라선, 경춘선, 충북선, 대구선이 정책 수립의 대상노선으로 설정되어야 한다.

그러나 본 논문에서 제시한 노선별 효율성 향상을 위한 직원수, 객차수, 화차수, 선로연장, 운영비의 비효율성 제거 목표수준은 전적으로 DEA 기법에 의한 목표치로, 고려해야 할 현실적 요인들이 있다. 해당 노선의 특수성이 그것인데, 영동선과 태백선과 같이 산악지형에 부설되어 있어 폭우시 지반 유실이 빈번하여 유지보수 인력과 운영비가 상대적으로 더 소요되는 경우가 대표적인 사례가 될 것이다. 이런 측면에서 보면, 인적 자원 및 차량의 효율적 활용, 운영비의 절감이 각 노선별 운송효율성 확보의 실현을 위해 현실적으로 접근할 수 있는 방안이 될 것이다.

본 논문에서는 효율성 지수에 직접적인 영향을 미친 투입 요소와 산출 요소만으로 비효율성의 크기와 효율성 향상 목표수준을 산출하였다. 그러나, 향후 추가적인 요소로서 효율성에 직간접적으로 영향을 미치는 PSO 지원금, 투자비, 차량 및 선로 용량 증대사업, 안전사고 등 다양한 변수를 사용하면, 효율성의 영향 요인을 보다 세밀하게 분석할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

[1] S.H. KIM, S.H. Hong, T.S. Choi (2000) Evaluating the relative operational efficiency of Korean national railroad, *Proceedings of the 2010 Korean Society for Railway Conference*, pp. 17-23.
 [2] J.H. Lee, K.H. Chung (2004) Efficiency analysis in Korean railway industry, The Korea Transport Institute.
 [3] M.J. Kim (2004) A study on the efficiency and productivity in Korean urban railways : Using DEA and SFA, PhD Thesis, Seoul National University.
 [4] J.Y. Kim, K.S. Sim (2008) Evaluating the efficiency of Korean

urban railways using DEA, *Journal of the Korean Industrial Economics Research*, 21(4), pp. 1697-1723.
 [5] T.H. Oum, C. Yu (1994) Economic efficiency of railways and implication for public policy, *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 121-138.
 [6] P. Cantos, J. Pastor, L. Serrano (1999) Productivity, efficiency and technical change in the European railways : A non-parametric approach, *Transportation*, Academic Research Library, pp. 337-357.
 [7] T. Coeli, S. Perelman (1999) A comparison of parametric and non-parametric distance functions : With application to European railways, *European Journal of Operational Research*, Vol. 117, pp. 326-339.
 [8] J. Cowie (1999) The technical efficiency of public and private ownership in the rail industry : The case of Swiss private railways, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 33, pp. 241-252.
 [9] D. J. Graham (2006) Productivity and efficiency in urban railways : Parametric and non-parametric estimates, *Transport Research*, Part E, 44, pp. 84-99.
 [10] S.H. Kim, T.S. Choi, D.W. Lee (2007), *Efficiency analysis : Theory and application*, Seoul Economy and Management, Seoul.
 [11] A. Charnes, W. Cooper, E. Rhodes (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp. 429-444.
 [12] M.J. Farrell (1957), The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120(3), pp. 253-281.
 [13] R.D. Banker, A. Charnes, W.W. Cooper (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), pp. 1078-1092.
 [14] H.W. Kim, K.H. Kook, D.S. Moon, J.S. Lee (2009), Measuring the Efficiency in Korean Railway Transport using Data Envelopment Analysis, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(4), pp. 542-547.
 [15] Korea National Railway (1990-2004), *Report on management performance*.
 [16] Korea Railroad (2005-2007), *Report on management performance*.

접수일(2010년 5월 13일), 수정일(2010년 6월 3일),
 게재확정일(2010년 6월 16일)