

DEA기법을 이용한 철도수송의 효율성 측정

Measuring the Technical Efficiency in Railway Transport using Data Envelopment Analysis

김현웅† 국광호*
Kim, Hyun-Woong Kook, Kwang-Ho

ABSTRACT

The objective of this paper is to measure the relative technical efficiency of Korean railway transport service. Previous studies on the efficiency in Korean railway service have carried out before the structural reform of Korean railway industry in 2004, whereas this study used the latest data which reflected the impact of reform. We analyzed the efficiency in Korean railway transport by means of measuring the technical efficiencies of other countries, these were estimated with data envelopment analysis. DEA has gained great popularity in measuring efficiency in transport industry, school, government, hospital and so on in recent years. This analysis could serve as peer to help improve performance of the railway management and operation.

1. 서 론

철도수송의 효율성은, 비용 대비 수입의 개념인 영업계수와, 총 열차운행거리 대비 고용자수의 개념인 노동생산성 등 단순한 지수로 측정하는 비율분석법 이외에, 유재균·최진석(2000)이 이용한 방사동조함수(ray-homothetic function)와 같은 함수분석법, 김성호·홍순흠·최태성(2000)과 이재훈(2004)이 이용한 자료포락분석(Data Envelopment Analysis; DEA)으로 대표되는 지수분석법을 통해 측정이 가능하다. 그러나 철도수송의 경우 산출물을 얻기 위한 생산과정이 매우 복잡하여, 생산에 투입되는 요소들을 명확하게 구분하고 가격을 파악하는 것에 한계가 있다. 또한 투입과 산출물이 단일의 형태를 보이는 것이 아니라, 여러 종류의 투입물과 여러 산출물이 존재한다. 이러한 한계를 극복하고 효과적으로 효율성을 평가하는데 용이하게 사용되는 기법이 DEA 기법인데, 본 연구에서는 이를 이용하여 철도우영회사가 제공하는 철도수송의 효율성을 측정하였다.

2. 방법론

2.1 효율성의 개념

효율성은 주어진 산출량을 최소의 투입량으로 생산할 수 있는 정도, 또는 주어진 투입량으로 최대의 산출량을 생산하는 정도를 의미한다.

$$\text{효율성} = \frac{\text{산출(output)}}{\text{투입(input)}}$$

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 철도교통물류연구실, 선임연구원
E-mail : hwkim@krti.re.kr
TEL : (031)460-5477 FAX : (031)460-5021
* 정회원, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, 교수

효율성은 경제학적 측면에서 기술적 효율성(technical efficiency)과 배분적 효율성(allocative efficiency)으로 크게 구분된다. Farrell(1957)은 이에 대해 이론적 기틀을 곡선식을 통해 마련하였는데, 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

기술적 효율성은 산출량과 이를 생산하는데 필요한 투입량간의 관계에서 측정하는데, 주어진 투입량으로 최대의 산출량을 생산하는 능력이다. 따라서 '기술적으로 효율적이다'라는 것은 투입량의 규모를 줄이게 되면 산출량의 규모도 반드시 줄어드는 상태에 있음을 의미하고, '기술적으로 비효율적이다'라는 것은 투입량 규모를 줄여도 기존의 산출량 규모를 유지할 수 있음을 의미한다. 이와 같은 기술적 비효율성은 투입물의 전부 또는 일부를 과다하게 사용하기 때문에 발생하게 된다.

배분적 효율성은 투입요소가 두개 이상인 경우 최적의 비율로 결합하는 정도를 나타낸다. 최적의 양보다 특정 투입요소를 과다하게 사용하는 경우 뿐만 아니라 과소 사용하는 경우에 배분적 비효율성이 발생하게 된다. 본 연구에서는 기술적 효율성을 중심으로 측정하고자 한다.

2.2 DEA 모형

DEA(Data Envelopment Analysis; 자료포락분석) 기법은 1978년 Charnes, Cooper, Rhodes가 Farrell(1957)의 상대적 효율성 개념을 기초로 개발한 효율성 분석 방법이다. 이 기법은 비모수적(non-parametric) 방법으로서, 분석시 생산함수와 모수(parameter)를 측정하지 않는다는 점에서 큰 장점을 가지고 있다. 이 기법은 다수의 투입물과 다수의 산출물을 통해 각각의 평가대상의 상대적인 효율성을 측정하는 기법으로서, 효율성을 측정할 뿐만 아니라 상대적 효율성 비교를 통해 비효율성의 원인 분석 및 효율성 개선의 목표설정에도 유용하게 활용되어, 학교, 기업, 공공기관, 행정조직, 병원 등의 효율성 평가시에 널리 사용되고 있다.

DEA 기법은 실제 관측된 투입물과 산출물의 자료로부터 도출된 효율성 프론티어(frontier)를 평가 대상과 비교하여 효율성을 측정하는데, n개(k=1,2,...,n)의 분석대상이 m개의 투입물 X_{ik} (i=1,2,...,m)을 사용하여 s개의 산출물 Y_{rk} (r=1,2,...,s)를 생산하는 경우, 특정 분석대상 K_0 ($K_0 \in \{1,2,\dots,n\}$)의 상대적 효율성 측정 모형은 다음과 같이 설정된다.

$$Max \theta_{k^0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk^0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik^0}} \quad (1)$$

$$s.t \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$u_r v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

여기에서 v_i 는 투입물의 가중치, u_r 는 산출물의 가중치로, DEA 모형에 의해 값이 결정된다. 제약조건으로는, 상대적 효율성을 거리에 의해 측정하기 때문에 효율성 지수는 1 이하이어야 하고, 가중치가 항상 양수가 되도록 매우 작은 ε 을 지정하는 것이다. 그러나 분석대상이 많을 경우 해의 계산이 어려워지므로, 매개변수를 이용하여 이를 변환하여 선형계획(Linear programming : LP) 문제로 제약조건을 다음 식과 같이 전환한다.

$$Max \theta_k^0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk^0} \quad (4)$$

$$s.t \quad \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, k = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\mu \geq \varepsilon > 0, v_i \geq \varepsilon > 0, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m \quad (6)$$

3. 자 료

3.1 투입물 및 산출물 설정

투입물(inputs)이란 생산활동에서 생산물을 얻기 위해 사용한 사람, 재료, 자본 등을, 산출물(outputs)이란 생산활동에서 생산된 최종 결과물을 각각 의미한다.

본 연구에서는 철도산업의 효율성 분석과 관련된 기존 연구에서 사용된 투입변수와 산출변수를 검토한 후, 현재 집계 가능한 항목을 투입물과 산출물로 설정하였다. 기존 연구에서 사용된 변수로는, 투입물은 크게 노동, 차량, 연료, 유지관리비 등으로 구분할 수 있고, 산출물은 인-km, 수송수입 등이 있는데, 이는 투입물은 노동, 재료, 운영비용 등으로, 산출물은 수량, 서비스 품질, 매출액 등으로 구분하는 경제학적 접근과도 상통한다.

철도 수송을 위해서는 기관사, 역무원, 상하역 종사자, 관리자가 필요하고, 철도 차량과, 선로, 운영비용 등을 투입하여야 한다. 이러한 생산활동은 정해진 노선에서 수송서비스를 제공함을 통해 일정 규모의 열차운행과 수송실적 등을 얻게 된다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 관점에서 직원수, 객차 및 화차수, 영업연장을 투입변수로 선정하였다.

또한 철도수송의 효율성은 주어진 자원을 효율적으로 사용하였는지를 공공성의 측면에서 분석한다면 열차운행실적을 산출변수로 둘 수 있고, 어느 정도의 수송실적을 보여주었는지를 수익성의 측면에서 분석한다면 수송실적을 산출변수로 둘 수 있다. 따라서 본 연구에서는 여객열차 운행거리, 화물열차 운행거리, 여객 수송실적(인-km), 화물 수송실적(톤-km)을 산출변수로 선정하였다.

3.2 분석대상 철도운영회사

철도수송의 효율성 측정을 위해 선정한 철도운영회사는 총 24개로, OECD 30개 국가중 Iceland와 같이 철도를 갖고 있지 않은 국가와, Denmark, Netherlands, Norway, UK, Mexico, US, New Zealand 등 통계자료에 결측치가 많아 불가피하게 제외된 7개 국가를 제외한 22개 국가의 철도운영회사와, 우리나라 주변의 중국 및 타이완의 철도운영회사이다.

3.3 자 료

본 연구에서는 24개 철도운영회사의 효율성을 2004년부터 2006년 3개년 동안 분석하여, 각 철도운영회사의 수송부문의 효율성이 최근 어떻게 나타나고 있는지를 파악하였다. 따라서 3년 동안의 효율성 측정과정에서는 동일 투입요소로 더 많은 산출을 얻을 수 있는 기술 변화가 없다고 전제하였다. 시간변화에 의한 효율성의 변화는 맘퀴스트 생산성지수(Malmquist Productivity Index, MPI)를 이용하여 산출하기도 하는데, 3년과 같이 짧은 기간의 경우 기술변화가 없다고 가정하여 분석하는 경우도 적지 않다.

투입자료와 산출자료는 세계철도연맹(International Union of Railway, UIC)의 통계연보와 한국철도공사의 철도통계연보로부터 수집하였다.

표 1. 투입자료 및 산출자료의 기초통계량

구 분	투입물				서비스측면 산출물		매출측면 산출물	
	직원수	객차	화차	영업연장 ¹⁾	여객열차 운행거리	화물열차 운행거리	여객 수송실적	화물 수송실적
	명	량	량	km	천 열차-km	천 열차-km	백만 인-km	백만 톤-km
최 소	3,039	196	1,171	275	5,884	1,448	279	289
최 대	1,662,301	40,346	540,136	62,209	710,663	1,006,637	589,948	1,945,867
평 균	118,573	6,440	52,796	13,778	159,128	82,378	49,121	111,913
표준편차	326,910	9,500	108,421	16,301	216,050	197,915	123,490	388,499

표 2. 운영회사별 평균 투입량 및 평균 산출량(2004-2006)

운영회사	국가	투입물				서비스측면 산출물		매출측면 산출물	
		직원수	객차	화차	영업연장 ¹⁾	여객열차 운행거리	화물열차 운행거리	여객수송 실적	화물수송 실적
		명	량	량	km	천 열차-km	천 열차-km	백만 인-km	백만 톤-km
ÖBB	Austria	45,791	3,061	20,459	5,689	87,251	48,098	8,458	18,636
SNCB/NMBS	Belgium	37,662	3,261	17,234	3,520	80,254	15,234	9,144	9,239
CD	Czech	65,960	4,882	44,037	9,507	113,770	33,442	6,684	16,184
VR	Finland	10,411	1,065	11,326	5,793	31,770	17,495	3,479	10,290
SNCF	France	166,742	15,833	95,475	29,040	396,322	109,333	76,682	42,577
DB AG	Germany	226,307	19,550	158,466	34,354	710,663	196,929	72,411	84,420
OSE	Greece	8,115	556	3,289	2,511	16,450	1,691	1,778	620
MÁV Rt.	Hungary	43,306	2,928	17,053	7,712	80,369	17,617	6,964	8,696
CIE	Ireland	5,457	571	1,171	1,919	14,015	3,307	1,745	289
FS SpA	Italy	99,254	9,951	48,853	16,145	268,438	65,565	46,050	22,792
CFL	Luxembourg	3,039	196	3,295	275	5,884	1,448	279	487
PKP	Poland	129,334	7,933	75,365	19,504	128,467	70,289	17,446	44,763
CP	Portugal	4,606	1,112	3,413	2,842	29,755	7,458	3,447	2,755
ZSR ²⁾	Slovak	17,092	1,777	23,459	3,637	31,236	15,335	2,196	9,568
RENFE	Spain	29,717	4,249	20,277	12,884	140,158	36,203	19,695	11,897
SJ AB ²⁾	Sweden	6,481	798	9,313	9,877	44,100	35,666	5,644	12,064
SBB CFF FFS	Switzerland	25,992	4,035	15,934	3,152	120,745	28,272	13,491	8,774
TCDD	Turkey	31,450	1,312	17,533	8,697	26,292	18,477	5,159	9,318
Total Canada	Canada	34,886	578	98,670	57,307	11,761	122,426	1,447	347,895
QR	Australia	13,494	664	10,758	9,564	13,524	23,405	1,313	44,833
JR	Japan	134,620	25,117	14,353	20,054	703,534	71,380	245,762	22,615
KORAIL	Korea	30,068	2,689	13,760	3,386	87,088	26,450	30,293	10,434
CR	China	1,662,301	40,346	540,136	62,209	631,387	1,006,637	589,948	1,945,867
TRA	Taiwan	13,657	2,082	3,462	1,096	45,839	4,919	9,399	908

주 : 1) 상하분리 국가의 경우, 인프라 관리회사의 총노선연장을 이용
 2) 화물운영회사인 ZSSK Cargo와 GREEN CARGO를 각각 포함

자료 : 1) International Union of Railways, International Railway Statistics, 2004-2006

2) www.uic.asso.fr/stst

3) 한국철도공사, 철도통계연보, 2004-2006

4. 효율성 분석

4.1 서비스 효율성과 매출 효율성

철도수송은 회사의 측면에서 볼 때 수익을 발생시키는 행위이지만, 공기업으로서 추구해야 하는 공적

서비스 제공측면도 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 서비스 효율성과 매출 효율성으로 구분하여 각각의 효율성을 분석하고자 한다.

서비스 효율성은, 철도수송을 노동·차량·궤도 등의 요소를 투입하고 열차를 최대한 많이 수송하는 생산과정으로 정의하여 수송활동 측면의 효율성을 분석한 것이다. 반면 매출 효율성은, 열차 운행과 수송을 통해 수익을 최대한 많이 획득하는 생산과정으로 정의하여 경영 측면의 효율성을 분석한 것이다.

4.2 효율성 측정 결과

한국철도 화물수송의 서비스 효율성과 매출 효율성을 분석한 결과, 다음 표에서 보는 바와 같이 서비스 효율성 지수는 독일의 DB AG, 아일랜드의 CFL, 스웨덴의 SJ AB, 캐나다의 Total Canada, 중국의 CR이, 매출 효율성 측면에서는 아일랜드의 CFL과 캐나다의 Total Canada가 지난 3년간 평균 1.0으로 나타나 타 운영회사에 비해 효율적인 것으로 나타났다.

연도별 서비스 효율성 분석 결과를 살펴보면, 2004년에는 ÖBB, DB AG, CFL, SJ AB, Total Canada, CR, TRA, 2005년에는 DB AG, CFL, RENFE, SJ AB, Total Canada, JR, CR, 2006년에는 ÖBB, DB AG, CIE, CFL, CP, SJ AB, SBB CFF FFS, Total Canada, JR, KORAIL, CR의 효율성 지수가 1.000으로 산출되어 상대적으로 효율적인 것으로 나타났다. 반면, 철도선진국으로 알려진 프랑스의 SNCF, 이탈리아의 FS SpA는 0.697~0.796으로 측정되어 비교적 낮은 효율성을 지닌 것으로 나타났다.

연도별 매출 효율성의 경우, 분석기간 동안 상대적으로 철도수송의 효율성이 낮은 운영회사는 체코의 CD, 폴란드의 PKP, 헝가리의 MÁV Rt., 벨기에의 SNCB/NMBS, 독일의 DB AG, 오스트리아의 ÖBB로 나타났다. 분석 대상 철도운영회사 가운데 철도수송의 효율성이 가장 높은 운영회사는, 2004년에는 CIE, CFL, Total Canada, 2005년에는 CFL, Total Canada, QR, CR, 2006년에는 CIE, CFL, CP, SJ AB, Total Canada, JR, KORAIL, CR, TRA로 나타났다.

표 3. 철도운영회사별 년도별 효율성 측정 결과

운영회사	국가	서비스측면 효율성				매출측면 효율성			
		2006년	2005년	2004년	평균	2006년	2005년	2004년	평균
ÖBB	Austria	1.000	0.946	1.000	0.982	0.410	0.335	0.351	0.365
SNCB/NMBS	Belgium	0.703	0.699	0.719	0.707	0.362	0.325	0.297	0.328
CD	Czech	0.630	0.601	0.602	0.611	0.206	0.188	0.173	0.189
VR	Finland	0.733	0.696	0.714	0.714	0.549	0.520	0.503	0.524
SNCF	France	0.701	0.697	0.765	0.721	0.455	0.439	0.428	0.440
DB AG	Germany	1.000	1.000	1.000	1.000	0.367	0.335	0.319	0.340
OSE	Greece	0.872	0.859	0.913	0.881	0.736	0.760	0.756	0.751
MÁV Rt.	Hungary	0.755	0.742	0.662	0.720	0.328	0.288	0.257	0.291
CIE	Ireland	1.000	0.970	1.000	0.990	1.000	0.922	1.000	0.974
FS SpA	Italy	0.796	0.791	0.761	0.783	0.417	0.419	0.406	0.414
CFL	Luxembourg	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
PKP	Poland	0.513	0.491	0.523	0.509	0.222	0.223	0.235	0.227
CP	Portugal	1.000	0.981	0.922	0.968	1.000	0.942	0.898	0.947
ZSR ²⁾	Slovak	0.682	0.673	0.665	0.673	0.389	0.374	0.365	0.376
RENFE	Spain	0.956	0.900	0.988	0.948	0.502	0.471	0.512	0.495
SJ AB ²⁾	Sweden	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.977	0.927	0.968
SBB CFF FFS	Switzerland	1.000	1.000	0.978	0.993	0.529	0.516	0.492	0.512
TCDD	Turkey	0.469	0.481	0.491	0.480	0.421	0.403	0.403	0.409
Total Canada	Canada	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
QR	Australia	0.748	0.816	0.767	0.777	0.987	1.000	0.938	0.975
JR	Japan	1.000	1.000	0.991	0.997	1.000	0.996	0.975	0.990
KORAIL	Korea	1.000	0.992	0.944	0.979	1.000	0.980	0.928	0.969
CR	China	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.973	0.991
TRA	Taiwan	0.949	0.940	1.000	0.963	1.000	0.994	0.973	0.989

우리나라의 경우, 3년간 평균 철도수송의 효율성 지수는 서비스 효율성이 0.979, 매출 효율성이 0.969로 측정되어 비교적 높게 나타났다. 이는 24개 회사중 공공적 측면에서 10번째의 수치로, 프랑스의 SNCF나 이탈리아의 FS SpA보다도 효율성이 높다. 매출 측면에서는 8번째의 수치로, 독일의 DB AG, 스웨덴의 SJ AB, 프랑스의 SNCF, 이탈리아의 FS SpA보다도 우수한 효율성을 지니고 있음을 보여준다. 특히 2006년에는 효율성 지수가 모두 1.000으로 측정되어 시간이 흐를수록 효율성이 개선되고 있음을 알 수 있다. 즉 우리나라 철도수송은 현재 주어진 자원을 효율적으로 활용하고 있음을 시사하고 있으며, 이는 철도산업 구조개혁이 이루어진 2004년부터 점점 개선되고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

우리나라 철도수송은 현재 공공성의 서비스 측면과 수익성의 매출 측면에서 모두 효율적인 것으로 보인다. DEA 기법을 통해 투입요소의 과다 투입분을 측정한 결과, 서비스 측면에서 객차의 경우 152량, 화차의 경우 791량이, 매출 측면에서는 객차가 198량, 화차는 3,045량이 2004년에 각각 과다 투입되어 철도수송의 효율적 운영에 부정적 영향을 미쳤지만, 2006년에는 이의 감축과 여객수송실적 및 화물열차운행거리의 증대를 통해 효율적 운영에 도달할 수 있었다. 이처럼 우리나라 철도수송의 효율성을 향상시키기 위해서는, 철도가 공공재로서 공공성을 기본적으로 충족시키면서 수익성을 도모하여야 하므로, 지속적인 원가 절감 및 수요 창출을 위한 적극적 마케팅과 같은 운영상에서의 대책 마련을 중심으로 정책을 추진하여야 할 것이다. 열차 고속화 등을 통해 인력 및 장비 운용을 효율화하여 운영 경비를 절감하거나, 유가보조금 제도와 같은 금전적 지원을 통해 수익을 개선시키는 방안도 철도수송의 효율성을 증대시키는 중요한 방안이 될 것이다. 특히 저탄소 녹색성장의 정부 정책기조의 방편으로, 도로의 여객과 화물

을 철도로 모달쉬프트(modal-shift)시키기 위한 지원 제도의 마련, 요금 체계의 개선, 터미널의 용량 증대 등과 같은 수요자의 요구를 파악하고, 이를 정책과 운영계획에 반영하려는 노력이 요구된다 하겠다.

참고문헌

1. 김수옥, 김승철, 김희탁, 성백서 (2007), “서비스운영관리”, 한경사
2. 김성호, 최태성, 이동원 (2007), “효율성 분석 이론과 활용”, 서울경제경영
3. 김성호, 홍순흠, 최태성 (2000), “한국철도의 상대적 운영효율성 평가”, 한국철도학회 2000년 추계 학술대회 논문집, pp.17-23
4. 유재균, 최진석 (2000), “우리나라 철도운영체의 효율성에 관한 연구”, 한국철도학회 2000년 추계 학술대회 논문집, pp.24-31
5. 이재훈, 정경훈 (2004), “우리나라 철도산업의 효율성 분석”, 한국교통연구원
6. Farrell, M. J. (1957), “The measurement of Productive Efficiency” Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General, Vol.120.No.3, pp.253-281.