

광역도시권 철도운영기관의 효율성 및 생산성 분석 연구

An Analysis of Efficiency and Productivity of Metropolitan Urban Railway Corporation

김해곤 · 이진선*

Haegon Kim · Jinsun Lee

Abstract This study analyzed the efficiency change and the factors affecting productivity change for the six railway operation corporations that are local public enterprises; study was performed with the DEA-CCR Model and Malmquist Productivity Index, using data collected from 2010 to 2014. Since it was not feasible to collect data on the operating expenses and the number of employees of each of the lines, the efficiencies of each operation corporation were analyzed by integrating the operation corporations, and the Malmquist Productivity Index was used to investigate the trend of the periodical productivity change. Average efficiency for urban railway operation corporations was found to be higher in the case of the bigger corporations. In 2014, the Seoul Metro and the Daejeon Metropolitan Express Transit Corporations were analyzed and found to be the most efficient operation corporations. The Malmquist Productivity Index was used to determine the periodical change; the average MPI was 1.06, with a continuous increase of productivity. The analysis showed that changes of technology were generally more obvious than change of technology efficiency for all six operation corporations.

Keywords : DEA, Malmquist, Efficiency, Productivity, Urban railway corporation

초 록 본 연구에서는 지방공기업으로 운영하고 있는 6개의 운영기관의 2010년부터 2014년도의 자료를 가지고 DEA-CCR모형과 Malmquist 생산성 지수를 이용하여 운영기관의 효율성 변화와 생산성 변화요인을 분석하였다. 운영기관을 전체적으로 통합하여 운영기관별 효율성을 분석하였으며, 생산성 변화의 추이를 살펴보고자 Malmquist 생산성 분석을 이용하여 기간별 변화를 살펴보았다. 효율성 분석결과 각 도시철도 운영기관별 평균효율성은 대체로 규모가 큰 기관이 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 2014년에는 서울메트로와 대전도시철도공사가 가장 효율적인 운영기관으로 분석되었다. Malmquist 생산성 분석을 이용하여 기간별 변화를 살펴본 결과, MPI는 평균 1.06으로 생산성이 계속해서 증가하는 것으로 분석되었다. 6개 운영기관 모두 기술효율성 변화보다는 기술변화가 대체로 높은 것으로 분석되었다.

주요어 : DEA, Malmquist, 효율성, 생산성, 도시철도운영기관

1. 서 론

우리나라는 1960년대 후반부터 급속한 도시교통수요가 폭발적으로 증가하자 1970년대 들어서면서 도시철도 건설을 시작하게 되었다[1]. 현재 우리나라에 설립된 도시철도는 6대 도시에서 7개의 운영기관으로 서울메트로, 서울도시철도공사, 인천교통공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사가 지방공기업 형태로 운영되고 있으며, 각 도시의 중심 교통수단으로 역할을 수행하고 있다. 하지만, 도시철도 건설 단계의 막대한 초기비용과 운영과정에서의 시설 유지보수비용에 대한 부담 및 무임수송제도의 문제 등으로 연간 운영적자가 7천억 원 이상에 달하고 있다. 매년 지방자치단체에서 일부 예산을 지원받고 있지만, 경영성고가 낮아 각 운영기관의 경영을 개선하기 위해서는 전략적인 경영혁신이 필요한 상황이다[2].

따라서 본 연구는 지방공기업형태로 운영되고 있는 우리나라 7개 도시철도 운영기관 중 인천교통공사를 제외한 6개 도시철도 운영기관을 대상으로 효율성과 생산성 변화추이를 분석하여, 각 운영기관들의 상대적인 효율성을 분석하고 비효율적인 기관

*Corresponding author. Tel.: +82-42-630-9192, E-mail: jinsun@wsu.ac.kr.

© 2016 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.3.397>

에 대해서 효율적인 기관으로 개선되기 위한 효율적 요소를 찾아 강점을 분석하여 더욱 발전시키고 비효율성 요소를 찾아 타 운영기관과 비교하여 원인을 찾고 효율적으로 운영될 수 있도록 방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 각 도시철도운영기관의 현황을 살펴보고 투입요소와 산출요소를 선정한 후 자료포락분석기법을 이용하여 운영기관의 효율성을 분석하고, 생산성 변화의 추이를 살펴보고자 Malmquist 생산성 분석을 이용하여 기간별 변화 추이를 살펴보았다.

2. 관련 연구의 이론적 고찰

철도는 공공부문으로서 생산구조가 복잡하고 다수의 서비스를 생산하는 특성 때문에 철도운영기관의 효율성과 생산성 분석에 관한 다양한 방법론을 이용하여 연구들이 진행되어 왔는데 Kim H. *et al.*(2010)은 DEA분석 방법중 BCC모형을 이용하여 18개의 철도노선을 가지고 2005년의 철도구조개혁 이후의 한국철도의 효율성을 실증 분석하였다. 투입요소는 노동, 차량, 선로 연장, 운영비로 선정하였고, 여객 및 화물의 열차 운행거리, 운송실적을 산출요소로 선정하였다. 분석결과 1990년부터 2007년까지의 공공성 측면 효율성 지수는 경부선, 중앙선, 경전선, 충북선, 진해선, 경부고속선의 6개 노선이, 수익성 측면 효율성 지수는 경부선, 진해선, 경부고속선의 3개 노선이 연평균 1.0으로 측정되어 타 노선에 비해 효율성을 가지고 있는 것으로 나타났다[3]. 또한 Kim *et al.*(2010)은 MPI 생산성 지수를 이용하여 지역간 철도의 노선별 생산성 변화를 분석하여, 생산성을 보다 향상시킬 수 있는 정책을 수립하기 위한 기초자료를 제공하였는데 이를 통해 철도운송서비스가 우수한 성과를 지니는지, 구조적인 문제점이 있는지, 어느 부문에서 생산성의 개선이 발생하고 있는지, 생산성을 높이기 위해서는 어느 부문에 어느 정도의 목표치를 설정하여야 하는 지를 제시하였다.

You *et al.*(2012)은 DEA분석 방법 중 의사결정단위 규모의 변화에 따른 효과의 정도가 일정한 비례 관계에 있다고 가정하는 CCR모형을 사용하였다. 분석대상으로는 국내 도시철도 16개의 노선을 선정하였으며 노선별 자료는 2009년~2010년 자료를 수집하여 기존 도시철도의 효율성과 신규 계획노선의 효율성을 비교 분석하였다. 투입요소로는 인건비, 보유차량수, 역수, 수도광열비 등 11개의 투입요소와 6가지 산출요소를 선정하였다. 결과적으로 수도권 도시철도의 경우 투입요소가 크에도 불구하고 수요확보가 가능한 지리적 특성으로 인하여 높은 운영효율성을 나타냈으며, 지방 도시철도의 경우 대부분 1호선의 경우 높은 운영효율성을 나타냈으나, 대부분의 노선이 투입요소 대비 낮은 수송실적으로 인하여 저조한 운영효율성을 나타내었다[4].

Kim (2014)은 DEA분석방법 중 BCC모형 기법으로 노선별 효율성, 규모별 효율성을 도시철도 17개의 노선을 대상으로 분석하였다. 독립변수는 차량수와 운행횟수, 종속변수는 연간 운수수익으로 선정하였다. 분석결과 노선별 효율성에서는 서울 2호선과 서울 7호선이 효율적인 노선이며, 부산 4호선과 광주 1호선이 비효율적인 노선으로 분석되었다. 규모의 경제성 검토결과 서울 5호선을 제외한 대부분 노선에서 규모수익증가상태(IRS)에 있는 것으로 분석되었다. 노선별 효율성 정도가 상이한 것은 인구, 지리적 위치 등의 기본적인 요소가 작용하기 때문이나, 정확한 효율성 분석을 위해서는 외부요인으로써의 효율성영향요인을 규명하여 이를 반영할 필요가 있다. 따라서 무임 손실비용과 운임 제도를 수송효율성 영향요인으로 제시하였고 그 결과, 무임손실비용에 대해 국비보전이 이루어질 경우 부산 1,2호선과 광주 1호선이 효율성 증가율이 가장 큰 것으로 분석되었다[5].

본 연구와 선행연구간의 차이점은 첫째, 기존 선행연구에서는 철도노선으로 효율성 분석을 하였으나 본 연구에서는 전체적인 운영기관의 효율성을 가장 최근 자료를 이용하여 국내 도시철도 운영기관의 효율성을 분석하고자 하였다. 둘째는 DEA분석을 위해 투입요소와 산출요소를 선정하기 전 평가요소들 간에 상관관계분석을 실시하였다. 선행연구에서는 대부분 기존의 선행연구를 토대로 투입요소와 산출요소를 선정하여 분석하였지만 본 연구에서는 선행연구를 통해 평가요소를 선정하여 투입요소와 산출요소를 결정하기 전 보다 정확한 효율성분석을 얻고자 평가요소들 간의 상관관계 분석을 실시하여 요소들 간의 관계가 유의한 요소들로 구성된 투입요소와 산출요소를 선정하고자 하였다. 셋째, DEA분석은 기본적으로 횡단면적 분석에 적용되는데 반면, Malmquist 분석은 다년간의 연도별 생산성 변화 추이와 생산성 변화 요인을 분석할 수 있기 때문에 시간 흐름에 따른 종합적인 분석을 시도하고자 하였다.

3. 효율성 및 생산성 분석 측정을 위한 방법론

3.1 효율성 및 생산성 개념

효율성(Efficiency)은 제한된 투입 자원내에서 최대 생산량을 얻는 생산 기술로 정의된다. 따라서 효율성은 투입된 노력이나 자원 대비 성과의 비율을 의미하며, 일반적으로 투입물에 대한 산출량의 비율을 의미한다[6].

$$\text{효율성(Efficiency)} = \frac{\text{산출물의 생산량(Output)}}{\text{투입요소의 사용량(Input)}}$$

생산성(Productivity)은 산출량을 투입량으로 나눈 값으로, 효율성과 유사한 개념이지만 효율성은 최대 효율성 대비 분석대상 관측치의 효율성, 즉 상대효율성으로 나타나고 생산성은 가장 생산성이 큰 값과 상대적인 비교로 나타내는 투입대비 산출의 값 자체로 정의되는 것이 일반적이다.

3.2 DEA모형

조직의 성과평가를 측정하는 효율성이란 조직의 목표를 달성한 정도를 나타내는 개념으로 사용되며, 효율성의 연구는 1950년대 후반 실증연구에서 시작되어 효율성 측정을 위한 비모수적 방법으로 발전하였고, Charnes *et al.* (1978)에 의하여 자료포락분석 기법인 DEA(Data Envelopment Analysis)가 개발되었다[6].

DEA모형이 많은 분야에서 적용되는 이유로는 첫 번째, 여러 투입요소와 산출요소를 다룰 수 있고, 두 번째, 투입과 산출에 대한 함수적 관계의 가정을 필요로 하지 않는다. 또한 세 번째, DMU(Decision Making Unit, 의사결정단위)들이 비슷한 그룹들과 직접적으로 비교되고 네 번째, 투입과 산출요소들이 각기 다른 측정 단위를 가질 수 있다. 다섯 번째, 비효율적 DMU의 효율성 점수와 함께 비효율적 부문이 자동으로 점검되며, 여섯 번째, 비효율적 DMU의 경제적 비효율성과 분배적 비효율성으로 분석할 수 있는 방법을 제공한다. 마지막으로 비효율적 부문의 개선가능성 정도를 자동으로 도출해 준다[6]. DEA 모형은 의사결정단위 집합으로부터 관측된 투입요소와 산출요소를 비교함으로써 효율성을 측정하고, 특정의 의사결정단위를 다른 의사결정단위들과 비교하여 상대적으로 효율적인가, 효율성의 크기는 어느 정도 되는가를 나타내준다. 의사결정단위의 효율성 값이 1 이라면, 의사결정단위는 상대적으로 효율적임을 의미하고, 효율성 값이 1 이하라면 상대적으로 비효율적임을 의미한다. 즉, 효율성 값이 1 이라면, 자체적 의미에서 비교 집합내의 다른 의사결정단위들 보다는 더 효율적이라는 사실을 나타내 주는 것이다.

DEA모형은 불변규모수익(Constant Returns to Scale: CRS)를 가정하는 CCR모형과 가변규모수익(Variable Returns to Scale: VRS)를 다루는 BCC모형이 대표적이다. CCR모형과 BCC모형을 구분하기 위한 대표적인 판단기준은 투입/산출의 생산관계가 불변규모수익기술인가 가변규모수익기술인가의 여부, 효율성을 측정할 때 효율개선의 방향이 방사형(radial)인가 비방사형(non-radial)인가의 여부, 물량자료 활용 또는 가격자료의 추가적인 활용여부 등이 있다. 본 논문에서는 도시철도 운영기관의 특성에 따라 산출지향 CCR모형을 적용하였으며, 산출지향 CCR모형은 식(1)과 같다[7]. CCR의 모형은 평가 대상인 m 개의 투입요소 $x_{ij}(i=1,2,3,\dots,m)$ 을 사용하여 s 개의 산출물 $y_{jr}(r=1,2,3,\dots,s)$ 을 생산하는 n 개의 $DMU_j(j=1,2,3,\dots,n)$ 가 있다고 가정할 때, 특정 의사결정단위(DMU_0)의 효율성은 산출물의 가중합을 투입요소의 가중합으로 나눈 비율값이다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \\ \text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} &\leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ u_r &\geq \epsilon > 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ v_i &\geq \epsilon > 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 h_0 : DMU_0 의 효율성, u_r : r 번째 산출물에 대한 가중치, v_i : i 번째 투입물에 대한 가중치, y_{rj} : DMU_j 의 r 번째 산출물의 양, x_{ij} : DMU_j 의 i 번째 산출물의 양, y_{r0} : 평가대상 DMU_0 의 r 번째 산출물의 양, x_{i0} : 평가대상 DMU_0 의 i 번째 산출물의 양, ϵ : non-imedian 상수, n : DMU의 수, m : 투입물의 수, s : 산출물의 수.

3.3 Malmquist모형

Malmquist 생산성 분석은 주어진 투입요소를 이용하여 최대 생산할 수 있는 산출물의 거리함수(Distance Function)를 추정

하여 서로 다른 시점의 투입 및 산출조합의 관찰치를 이용하여 생산성 지수를 계산하고, 시간변동에 따라 개발 DMU의 생산효율성(Productive Efficiency)이 어떻게 변화하는지 혹은 시간의 변화에 따른 DMU간 생산효율성 변동에 어떤 차이가 나타나는지를 분석하는 기법으로 의해 개발되었다. t 기와 $t+1$ 기의 대한 생산성 변화를 나타내는 MPI(Malmquist Production Index)는 식 (2)와 같다.

$$M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\left(\frac{D^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D^t(X^t, Y^t)} \cdot \frac{D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D^{t+1}(X^t, Y^t)} \right)^{1/2} \right] \quad (2)$$

$M > 1$ 이면 t 기로부터 $t+1$ 까지의 총생산성 증가가 발생한 것을 의미하며, $M < 1$ 이면, 생산성이 감소하였다는 것을 의미한다. $M = 1$ 이면 생산성 변화가 없음을 의미한다. 이러한 Malmquist 지수를 기술적 효율성 변화지수(TECI)와 기술변화지수(TCI)로 분해하면 다음과 같은 식으로 정의된다[8].

$$M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \cdot \left[\frac{D^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \cdot \frac{D^t(X^t, Y^t)}{D^{t+1}(X^t, Y^t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

기술적 효율성 변화지수(TECI)는 다시 순수효율성 변화지수(PECI: Pure Efficiency Change Index)와 규모효율성 변화지수(SECI: Scale Efficiency Change Index)로 구분할 수 있다[8].

$$M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{V^t(x^t, y^t)} \cdot \left[\frac{V^t(x^t, y^t)}{D^t(x^t, y^t)} \cdot \frac{V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \cdot \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \cdot \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} = PEGI \times SECI \times TCI \quad (4)$$

4. 실증분석

4.1 연구대상 선정 및 연구 방법

4.1.1 연구대상 선정

본 연구의 분석대상은 국내에서 지방공기업 형태로 운영되고 있는 서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사로 총 6개 기관을 선정하였으며, 각 운영기관별 2010년부터 2014년까지의 산출요소와 투입요소 데이터를 수집하였다. DEA모형은 투입요소와 산출요소간의 규모의 경제성에 대한 함수적 관계보다는 운영기관의 효율성 평가에 초점을 두고 분석하고자 하여 상대적 효율성을 측정할 때 많이 사용하는 CCR 모형을 적용하였고, 도시철도 특성상 공공재적 성격을 갖고 있어 산출지향모형을 사용하였다. 또한 생산성변화를 살펴보기 위해 Malmquist모형을 가지고 분석하였다. 투입요소와 산출요소간의 상관관계분석 및 기술통계를 실시하기 위해 통계패키지인 SPSS Statistics(21)을 사용하였으며, DEA CCR모형 분석과 Malmquist모형 분석은 자료포락분석 소프트웨어인 EnPAS를 활용하였다.

4.1.2 산출 및 투입요소 선정

투입요소와 산출요소에 대한 정확한 정의가 없기 때문에 평가요소를 가지고 어떠한 요소를 투입요소로 할지 산출요소로 선정할 지를 결정해야 하는 것은 매우 중요하다. 선행연구에서는 대부분 도시철도를 운영하는데 소요되는 비용이나, 직원, 운영기관의 보편적인 운영 현황을 주로 투입요소로 선정하였고, 산출요소는 성과를 나타낼 수 있는 수송인원 또는 영업수익으로 선정하였다. 도시철도 운영기관의 효율성을 평가하기 위한 투입요소와 산출요소를 다양하게 사용할 수 있으나 그 중에서 가장 보편적인 평가요소를 가지고 요소들 간의 상관관계분석을 실시한 결과, 본 연구에서는 직원수, 편성수, 운행거리, 노선연장, 운행횟수, 차량수, 역수, 영업비용을 투입요소로 선정하였고, 산출요소로는 수송인원과 영업수익으로 선정하였으며, 영업수익과 영업비용의 경우, 특정년도 동일한 기준으로 가치가 환산된 자료를 사용하였다.

Table 1. Input-output element.

Corp	Year	Station	Rolling stock	Classes (set)	Employee	Rail length (km)	Expenses (million)	Revenue (million)	Total train-km (train-km)	Frequency (frequency/day)	Passenger
Seoul metro	2010	120	1,954	200	6,958	137.9	1,138,631	916,943	21,579,104	1,764	1,475,349
	2011	120	1,954	200	6,814	137.9	1,105,005	949,300	21,502,890	1,754	1,509,529
	2012	120	1,954	200	6,615	137.9	1,205,023	1,076,137	21,770,468	1,754	1,513,665
	2013	120	1,954	200	6,680	137.9	1,157,781	1,067,495	21,577,444	1,676	1,523,693
	2014	120	1,954	200	6,685	137.9	1,268,955	1,114,767	21,577,444	1,738	1,544,025
Seoul metropolitan rapid transit corp.	2010	148	1,651	200	4,442	152	737,855	526,376	18,738,830	1,467	874,025
	2011	148	1,561	200	4,455	152	789,604	535,637	18,990,987	1,525	899,068
	2012	157	1,585	203	4,326	162.2	817,787	610,389	19,384,901	1,533	921,216
	2013	157	1,617	207	4,455	162.2	890,028	596,202	19,808,593	1,533	961,321
	2014	157	1,617	207	4,460	162.2	923,510	647,489	19,522,418	1435	976,568
Busan transit corp.	2010	94	776	121	2,389	95.8	433,269	317,511	11,277,063	1,004	274,818
	2011	108	878	138	2,445	107.8	478,518	348,700	12,679,181	1,330	300,479
	2012	108	878	138	2,324	107.8	491,224	377,663	13,048,959	1,339	308,938
	2013	108	878	138	2,499	107.8	516,151	267,486	12,998,982	1,339	316,771
	2014	108	896	138	2,533	107.8	553,066	292,938	13,016,942	1,339	324,889
Daegu metropolitan rapid transit corp.	2010	56	384	64	1,367	53.9	240,672	76,917	6,037,169	616	115,171
	2011	56	384	64	1,361	53.9	248,375	91,310	6,045,672	617	121,273
	2012	56	384	64	1,341	53.9	265,242	142,290	6,188,350	624	126,475
	2013	59	384	64	1,336	57.3	282,271	152,383	6,193,806	592	133,865
	2014	59	384	64	1,412	57.3	288,960	153,283	5,995,163	592	133,836
Gwangju metropolitan rapid transit corp.	2010	20	92	23	447	20.5	83,164	12,069	1,777,805	246	17,442
	2011	20	92	23	443	20.5	84,235	13,320	1,828,074	240	17,709
	2012	20	92	23	434	20.5	87,382	13,987	1,577,064	246	18,041
	2013	20	92	23	437	20.5	89,884	14,290	1,572,601	240	18,006
	2014	20	92	23	443	20.5	90,491	14,400	1,571,914	240	18,053
Daejeon metropolitan rapid transit corp.	2010	22	84	21	506	20.5	77,993	26,683	1,761,525	242	35,239
	2011	22	84	21	503	20.5	95,946	29,807	1,760,546	242	37,686
	2012	22	84	21	489	20.5	99,489	43,887	1,740,744	242	38,480
	2013	22	84	21	484	20.5	96,016	47,117	1,735,898	242	39,869
	2014	22	84	21	484	20.5	95,514	48,838	1,736,160	242	40,866

Table 2. Correlation analysis result.

	Employee	Rail length	Revenue	Train-km	Frequency	Passenger	Station	Rolling stock	Classes	Expenses
Employee	1									
Rail length	.892	1								
Revenue	.987**	.857**	1							
Train-km	.962**	.979**	.939**	1						
Frequency	.934**	.968**	.910**	.987**	1					
Passenger	.991**	.851**	.987**	.931**	.887**	1				
Station	.837**	.993**	.799**	.953**	.949**	.788**	1			
Rolling stock	.985**	.954	.965**	.992**	.966**	.967**	.915**	1		
Classes	.930**	.994**	.901**	.994**	.984**	.893**	.978**	.977**	1	
Expenses	.992**	.918**	.987**	.976**	.951**	.980**	.871**	.989**	.950**	1

4.2 DEA를 이용한 효율성 분석

본 논문에서는 산출기준 CCR모형을 이용하여 국내 도시철도 운영기관 6개의 기관을 2010년부터 2014년까지 5개 년을 분석한 DMU의 효율성은 Table 3과 같다. DEA모형은 효율성의 값이 1인 DMU를 가장 효율적이라 평가하고 1이 되지 않으면 상대적으로 비효율적으로 운영된다고 평가한다. 또한 DEA는 효율성뿐만 아니라 비효율적인 DMU가 효율적인 DMU가 되기 위한 투입요소와 산출요소의 목표값도 제공한다. 지방 공기업인 각 도시철도 운영기관의 운영 성과를 측정하기 위해 영업수익과 수송인원을 산출변수로 선정하여 효율성을 측정한 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 효율적인 DMU는 4개, 비효율적인 DMU는 26개로 분석되었다. 효율성이 1인 기관은 2011년 서울메트로(DMU7), 2013년 서울메트로(DMU19), 2014년 서울메트로(DMU25), 2014년 대전도시철도공사(DMU30)으로 분석되었다. 참조집단이 가장 많은 DMU는 2014년 서울메트로(DMU25)가 24회로서, 가장 효율적인 DMU로서 참조횟수가 가장 많은 것으로 분석되었다.

각 도시철도 운영기관별 효율성 변화 추이를 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 서울메트로의 경우 2011년에서 2012년에 약간 감소하다가 그 이후로부터는 직원수를 해마다 감축하고 있으며 산출요소인 수송인원과 영업수익이 계속해서 증가하였다. 특히 2012

Table 3. DEA(CCR) efficiency of national urban railway corporation.

Year	Subway	Efficiency	Reference group	Reference counting
2010	Seoul Metro	0.971	DMU7,19	0
	Seoul metropolitan rapid transit corp.	0.879	DMU7,19	0
	Busan transit corp.	0.814	DMU9,25	0
	Daegu metropolitan rapid transit corp.	0.381	DMU9,25	0
	Gwangju metropolitan rapid transit corp.	0.240	DMU25	0
	Daejeon metropolitan rapid transit corp.	0.556	DMU25,30	0
2011	Seoul metro	1	DMU7	2
	Seoul metropolitan rapid transit corp.	0.882	DMU9,25	0
	Busan transit corp.	0.855	DMU25	0
	Daegu metropolitan rapid transit corp.	0.418	DMU9,25	0
	Gwangju metropolitan rapid transit corp.	0.253	DMU25,30	0
	Daejeon metropolitan rapid transit corp.	0.619	DMU25,30	0
2012	Seoul metro	0.996	DMU9,25	0
	Seoul metropolitan rapid transit corp.	0.922	DMU9,25	0
	Busan transit corp.	0.974	DMU25,	0
	Daegu metropolitan rapid transit corp.	0.649	DMU25,30	0
	Gwangju metropolitan rapid transit corp.	0.265	DMU25,30	0
	Daejeon metropolitan rapid transit corp.	0.900	DMU25,30	0
2013	Seoul metro	1	DMU19	8
	Seoul metropolitan rapid transit corp.	0.934	DMU25	0
	Busan transit corp.	0.642	DMU25	0
	Daegu metropolitan rapid transit corp.	0.695	DMU25,30	0
	Gwangju metropolitan rapid transit corp.	0.271	DMU25,30	0
	Daejeon metropolitan rapid transit corp.	0.965	DMU25,30	0
2014	Seoul metro	1	DMU25	24
	Seoul metropolitan rapid transit corp.	0.948	DMU25	0
	Busan transit corp.	0.693	DMU25	0
	Daegu metropolitan rapid transit corp.	0.698	DMU25,30	0
	Gwangju metropolitan rapid transit corp.	0.273	DMU25,30	0
	Daejeon metropolitan rapid transit corp.	1	DMU30	11

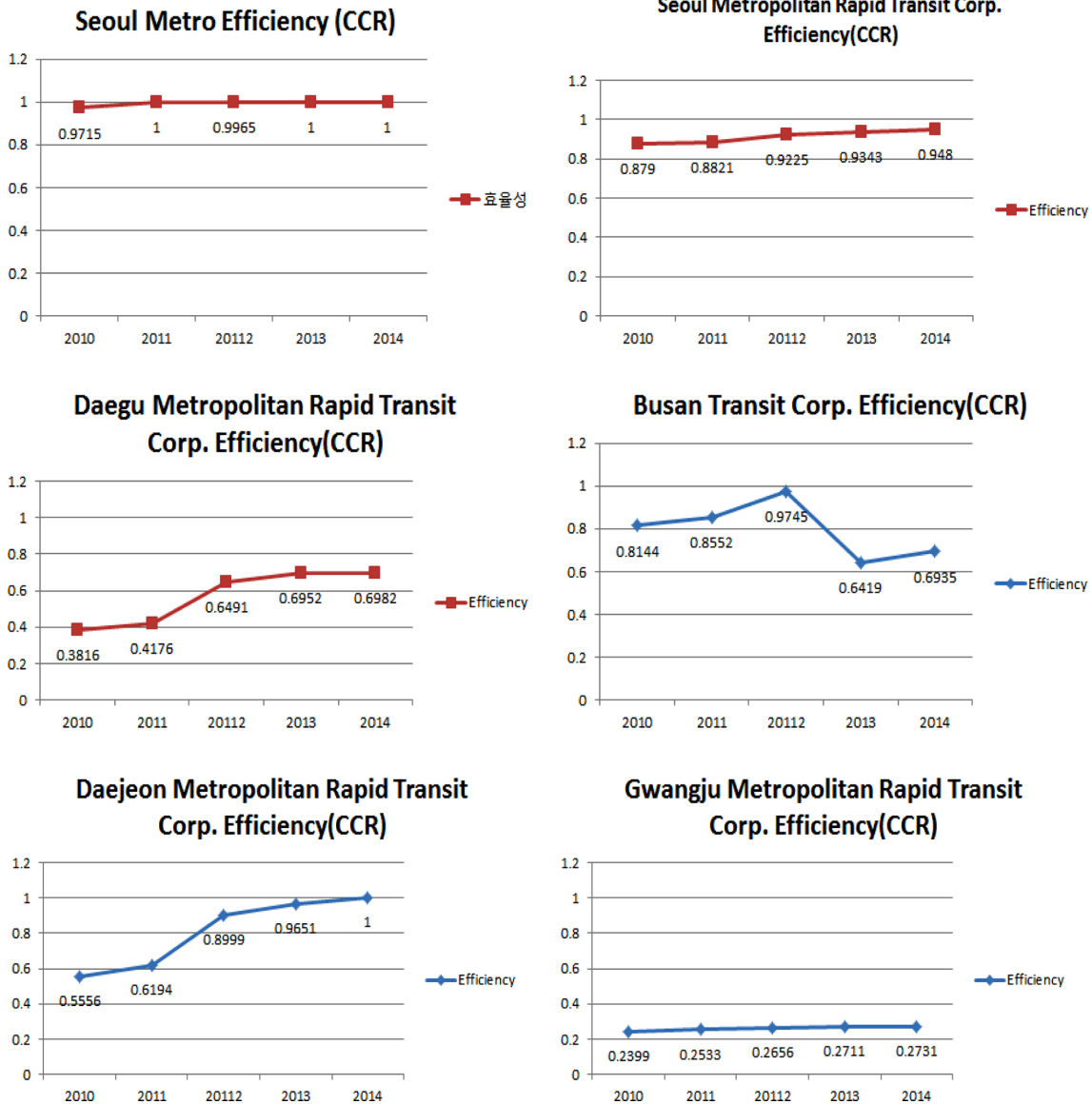


Fig. 1. Efficiency progress.

년 2월 지하철 요금이 증가하면서 영업수익이 큰 폭으로 증가하였다. 서울도시철도공사의 경우 효율성은 완만하게 상승한 것으로 분석되고 있다. 2012년 서울도시철도공사 7호선 연장구간이 10.2km 개통되었고, 요금 인상으로 인해 산출변수인 영업수익이 2011년도에는 535,637백만원, 2012년도에는 610,389백만원으로 약 14% 증가하였고, 수송인원은 2011년에는 899,068천명이 2012년에는 921,216천명으로 2.4% 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 부산교통공사는 2010년부터 2012년까지 계속해서 상승하였으나 2013년에는 급격히 하락하였다. 하락 원인은 2013년에 직원수가 약 7.5% 증가(2012년 직원수가 2,324명에서 2013년에는 2,499명으로 증가)로 인해 영업비용(영업비용도 491,224백만원에서 516,151백만원으로 증가)이 급격히 증가하였고, 영업수익과 수송인원은 그만큼 증가하지 못해 효율성이 급격히 떨어진 것으로 판단된다. 산출요소인 영업수익은 377,663백만원에서 2013년에는 367,486백만원으로 감소하여 2012년에서 2013년 시기에는 효율성이 급격히 떨어진 것으로 나타났다. 2010년부터 2012년까지 계속해서 상승하였으나, 2013년 직원수의 증가와 영업비용의 증가로 인해 효율성이 떨어진 것으로 분석된다. 대구도시철도공사의 효율성은 2010년에는 0.382, 2011년에는 0.418, 2012년에는 급격히 증가하여 0.649, 2013년에는 0.695, 2014년에는 0.698로 점차 상승한 것으로 분석되었다. 2011년도에서 2012년에도 급격히 상승한 이유는 2012년 9월 노선이 연장되면서 수송인원이 증가하였고, 성과관리체계 고도화로 부대사업수익이 증가하여 영업수익이 2011년에 비해 약 30% 증가하여 효율성 증가에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 실제로 2011년 영업수익은 91,310백만원에서 2012년에는 142,290백만원으로

증가하였으며, 수송인원은 2011년에는 121,273천명에서 2012년에는 126,475천명으로 큰 폭으로 증가하였다. 대전도시철도공사의 효율성은 2010년에는 0.556, 2011년에는 0.619, 2012년에는 0.899, 2013년에는 0.965, 2014년에는 1로 효율적인 운영기관으로 분석되었다. 2011년에서 2012년 효율성이 급격히 상승한 이유는 투입요소인 직원수의 감소와 산출요소인 영업수익과 수송인원이 증가하였다. 직원수는 2011년 503명에서 2012년에는 489명으로 감축하였고, 산출변수인 영업수익은 2011년에는 29,807백만원에서 2012년에는 47.2% 증가하여 43,887백만원 수익을 얻었다. 수송인원은 2011년 37,686천명이 2012년에는 38,480천명으로 2.1% 증가하였다. 광주도시철도공사의 경우 운영기관 중 가장 낮은 효율성으로 분석되었다. 광주도시철도공사의 효율성은 2010년에는 0.240, 2011년에는 0.253, 2012년에는 0.265, 2013년에는 0.271, 2014년에는 0.273으로 점진적으로 상승한 것으로 분석되었다. 그러나 아직 역세권 개발이 부족하고, 높은 비율의 고령화승객 및 무임승차 비율도 높기 때문에 수익성을 나타내는 산출요소가 낮은 것으로 분석된다. 각 도시철도 운영기관별 평균 효율성은 서울메트로 0.9934, 서울도시철도공사는 0.913, 대전도시철도공사는 0.808, 부산교통공사는 0.7956, 대구도시철도공사는 0.5682, 광주도시철도공사는 0.2598로 분석되었다.

각 운영기관의 효율성 추세를 살펴보면 전반적으로 상승하고 있는 것으로 나타났다. 이는 각 운영기관의 효율성 개선을 위해 끊임없이 노력한 결과이며, 대부분의 운영기관이 요금인상으로 인해 영업수익의 증가로 효율성이 향상된 것으로 판단된다. 또한 각 운영기관별 직원 감축으로 인해 인건비 대부분을 차지하고 있는 영업비 감소도 효율성 향상에 크게 기여한 것으로 본다.

4.3 Malmquist를 이용한 생산성 지수 분석

DEA분석은 생산성 변화의 추이를 파악하는데 한계가 있어 시간이 지남에 따라 서로 다른 시점에서 투입 대비 산출의 비율이 증가하였는지, 감소하였는지 알 수 없다. 따라서 생산성 변화 분석(Productivity Growth Analysis)을 하기 위해 DEA를 이용한 맘퀴스트 생산성 분석을 통해 생산성 변화를 시계열별로 전체 DMU의 효율성과 생산성의 흐름을 알아보았다. 생산성의 변화지수는 두 시점 간에 생산성이 얼마나 변화했는지를 나타내는 지수로서 통상적으로 이전 시점의 생산성 대비 현재 시점의 생산성 비율로서 표현된다. 생산성 증가에 대한 Malmquist 생산성지수는 MPI로 나타낸다. 또한, 투입요소를 얼마나 효율적으로 산출요소로 전환시켰는가를 평가하는 기술적 효율성변화지수(TECI)와 기술혁신으로 인한 효율적 프런티어의 변화를 측정하는 기술변화지수(TCI)가 있다. 우선 생산성 지수 MPI가 1보다 크면 이전 시계열보다 생산성이 증가한 것이고 1이면 생산성 변화가 없는 것이다. 또한 1보다 작으면 생산성이 떨어진 것으로 나타낸다. 이는 시간의 흐름에 따른 효율성을 보다 종합적으로 분석하여 효율성의 변화의 원인을 규명하고자 Malmquist 생산성지수를 이용하여 효율성 변화를 살펴보고자 하는 것이다. 변화를 살펴보기 위해 2010년부터 2014년까지 5개년을 조사하였으며, 산출지향 Malmquist 생산성 분석결과는 Fig. 2와 같다.

도시철도 운영기관의 전반적인 생산성 변화 양상을 살펴보면 전체적으로 생산성은 감소하다가 다시 증가하였다. 효율성변화(TECI)와 기술변화(TCI)도 생산성 변화도 비슷한 변화 양상을 보이고 있다. 2010년에서 2012년까지는 생산성이 증가하였으나, 2012년에서 2013년에는 생산성(MPI)이 감소하였으며, 기술적 효율성(TECI)도 감소하였으나, 기술변화(TCI)는 증가하였다. 대부분 기술효율적 효율성은 감소하였으나 기술변화는 증가추세를 나타내고 있음을 Fig. 2는 보여주고 있다. 기술적 효율성의 변화지수는 각 시점에 있어 경영조직체 내부의 구조조정이나 경영혁신을 통해 내부의 비효율을 얼마나 제거하였는가에 의한 효율성 정도이고, 기술변화 지수는 정부정책 등 경영조직체 외부의 환경변화에 의한 영향을 의미하는 것이라 할 수 있다

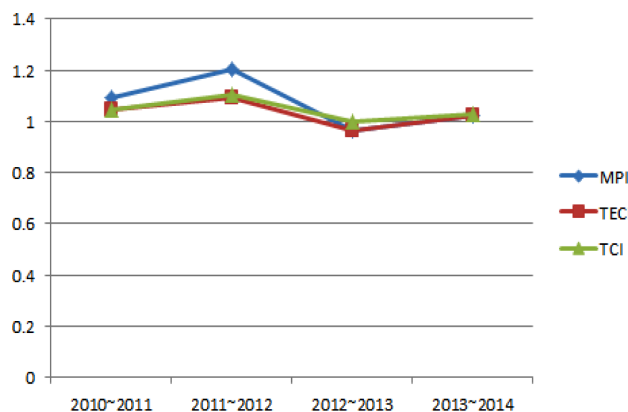


Fig. 2. Malmquist progress.

Table 4. Time series malmquist productivity index.

Time series	MPI	TECI	TCI
2010~2011	1.09	1.0439	1.0442
2011~2012	1.2032	1.0912	1.1027
2012~2013	0.9627	0.9619	1.0009
2013~2014	1.0205	0.9942	1.0264
Average	1.0654	1.0216	1.0429

Table 5. Malmquist average productivity index.

DMU	MPI	TECI	TCI
Seoul metro	1.0199	1	1.0119
Seoul metropolitan rapid transit corp.	1.0299	1.0053	1.0244
Busan transit corp.	0.9645	0.9126	1.0569
Daegu metropolitan rapid transit corp.	1.1881	1.1308	1.0507
Gwangju metropolitan rapid transit corp.	1.0448	0.9941	1.051
Daejeon metropolitan rapid transit corp.	1.163	1.1025	1.0548
Average	1.0654	1.0216	1.0428

2010년에서 2014년까지 5개년 간의 전체 생산성 변화를 보면, 생산성지수(MPI)는 2012년에서 2013년을 제외하고는 2010년~2011년 1.09, 2011년~2012년 1.2032, 2013년~2014년은 1.0205로 연도별로 생산성이 증가했음을 알 수 있다. 하지만 2012년~2013년은 0.9627로 생산성이 감소한 것으로 보인다. 이는 다른 년도에 비해 2012년에서 2013년에 직원수가 2.3% 증가하였고, 영업비용이 2.2% 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 투입요소가 증가하였지만 산출요소인 수송인원은 2.7% 증가하였고, 영업수익이 5.2% 감소하였기에 생산성 지수가 감소한 것으로 분석된다.

2011년 대비 2012년 생산성 지수가 가장 두드러지게 나타났고, 2012년과 2013년간의 평균 생산성 변화는 0.9627로 2012년에 비해 3.7% 감소하였다. 그 원인을 파악하기 위해 이 값을 기술효율성 변화(TECI)와 기술 변화(TCI)로 구분하여 살펴보면, 기술효율성변화(TECI)는 2012년에 비해 2013년에는 감소하였고 기술변화(TCI)는 상승하였다. 즉 기술진보에 기인한 것으로 분석된다. 2013년 대비 2014년에도 평균 생산성 변화는 1.0205로 증가하였지만 기술효율성변화(TECI)는 감소하였다. 이는 기술적 비효율성이 높아 잠재적인 생산기술을 활용하지 못하고 기술의 활용을 개선시킬 수 있는 정책을 통해 생산성 향상을 위해 정책적 노력과 실천이 필요함을 의미한다. 도시철도 운영기관에서는 기술 자체를 개발하고 효율성을 높임으로써 생산성을 높이고 있으나 기술을 효율적으로 사용하지 못하여 전체적인 생산성을 크게 향상시키고 있지 못하고 있는 것으로 분석된다.

Table 5의 Malmquist 생산성 분석 DMU별 평균 생산성 지수를 살펴보면 가장 높은 생산성 변화지수를 기록한 기관은 대구 도시철도공사로 연 평균 18.8%씩 생산성이 증가하고 있다. 대구도시철도공사는 기술효율성 변화지수와 기술변화지수도 높게 측정되었다. 대전도시철도공사가 1.163, 광주도시철도공사 1.0448, 서울도시철도 1.0299, 서울메트로 1.0199, 부산교통공사는 0.9645로 분석되었다.

서울메트로의 경우 생산성지수(MPI)는 1.0199로 증가하였다. 하지만 기술효율성변화(TECI)는 1로 변화가 없고, 기술변화(TCI)는 1.0119로 증가하였다. 이는 기술진보로 인해 생산성변화율이 증가한 것으로 판단된다. 6개 운영기관중 부산교통공사만 생산성지수가 0.9645로 생산성이 떨어진 것으로 제시되었고, 기술효율성 변화지수도 0.9126으로 감소하였으나, 기술변화는 1.0569로 증가하였다. 이는 새로운 기술 및 설비를 도입함으로써 생산성을 향상시키기 위한 노력을 하고 있는 것으로 분석되나, 기술의 효율적 이용측면에서 생산성 증가가 잘 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 광주도시철도공사의 경우 MPI는 1.0448로 생산성이 증가하였다. 하지만 부산교통공사와 마찬가지로 기술효율성변화는 0.9941로 감소하였고, 기술변화는 1.051로 증가하였다. 부산교통공사를 제외하고는 대부분의 운영기관에서 생산성지수는 1이상의 수치로 평균 1.0654로 분석되었으며, 기술변화지수는 6개 운영기관 모두 1이상의 수치로 분석되어 평균 1.0428로 분석되었다. 하지만 투입요소를 얼마나 효율적으로 산출요소로 전파시켰는가를 측정하는 기술효율성변화(TECI)는 기술변화(TCI)보다 낮게 분석되었다.

5. 결 론

5.1 연구결과의 요약

기존의 선행연구에서는 주로 노선별 효율성을 분석하였으나, 본 논문에서는 운영기관을 전체적으로 통합하여 운영기관별 효율성을 분석하였다. 또한 국내 도시철도 운영기관의 시계열에 따른 효율성을 보다 종합적으로 분석하여 생산성 변화의 추이를 살펴보고자 Malmquist 생산성 분석을 이용하여 기간별 변화를 살펴보았다.

효율성 분석결과 4개의 DMU가 가장 효율적인 운영기관으로 분석되었고, 26개의 DMU가 비효율적인 운영기관으로 분석되었다. 각 운영기관별 평균 효율성은 대체로 규모가 큰 도시철도 운영기관이 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 2014년에는 서울메트로와 대전도시철도공사가 가장 효율적인 운영기관으로 분석되었다. Malmquist 생산성 분석을 이용하여 기간별 변화를 살펴본 결과, MPI는 기하평균 1.06으로 생산성이 계속해서 증가하는 것으로 분석되었다. 6개 운영기관 모두 기술효율성 변화보다는 기술변화가 대체로 높은 것으로 분석된다. 효율성과 생산성은 투입물이 얼마나 효율적으로 산출물 전환되는 정도를 의미하기 때문에 혼동되어 쓰이는 경우가 많지만, 효율성은 주어진 산출량을 최소의 투입량으로 생산할 수 있는 정도를 나타내는 정적인 개념인 반면, 생산성은 생산성 증가율, 생산성 변화 등의 동적인 개념으로 많이 표현된다는 점에서 차이가 있다. 따라서 본 논문에서는 도시철도 운영기관의 효율성 뿐만 아니라 시간의 흐름에 따른 투입물을 산출물로 전환시키는 정도의 변화를 나타내는 동적인 개념의 생산성 변화율도 함께 분석하였다. 효율성 측면에서 살펴보면 2010년부터 2014년까지 운영기관의 평균 효율성이 0.72로서 효율성이 낮은 것으로 분석되었다. 대부분의 운영기관에서는 막대한 건설 및 시설유지보수 비용과 끊임없이 논란이 되고 있는 무임승차로 인해 효율성은 계속해서 낮은 수치를 제시하고 있는 것으로 판단된다.

생산성 변화율 측면에서는 1.0654로 도시철도 운영기관의 생산성 변화율이 6.5% 꾸준히 증가하고 있다. 대부분의 생산성 변화율이 증가한 이유는 기술변화의 증가 때문으로 분석되었다. 즉 기술진보로 인해 생산성 변화율이 꾸준히 증가한 것으로 분석된다. 또한 대부분의 운영기관은 기술 효율성 변화율이 기술변화에 비해 감소하였고, 효율성은 낮지만 생산성 변화율은 꾸준히 증가한 것으로 분석된다. 서울메트로는 효율성은 가장 높게 분석되었지만 생산성변화율에서는 다른 운영기관에 비해 낮게 분석되었고, 광주도시철도공사의 경우 효율성이 가장 낮은 운영기관으로 분석되었지만, 생산성변화율에서는 높게 나타났다. 부산교통공사의 경우 효율성도 낮고 생산성 변화율이 낮게 분석되었다. 부산교통공사는 꾸준한 직원 증가와 지방공기업 중 가장 많은 인건비를 차지하고 있어 수익의 증가와 함께 투입요소인 비용 또한 계속해서 증가하고 있다. 또한 부채의 비율도 서울도시철도공사보다 1.7% 높은 것으로 분석되었으며, 기술효율성 변화율이 다른 운영기관에 비해 현저히 낮게 분석되어 효율성과 생산성이 낮은 것으로 분석되었다. 국내 도시철도 운영기관의 경우, 기술변화율은 높고 기술효율성변화율은 낮아 이는 기존 잠재적인 생산기술을 잘 활용한다면 효율성과 생산성변화율도 크게 증가할 것으로 판단된다.

5.2 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 논문에서는 DEA와 Malmquist 분석모형을 이용해 국내 도시철도 운영기관의 효율성을 분석하였으며, 이러한 분석과정에서 다음과 같은 한계를 갖게 되었으며, 향후 진행연구로서의 방향성을 제시하고자 한다. DEA분석 모형에서는 어떠한 변수를 사용했느냐에 따라 효율성 결과가 크게 다르게 측정될 수 있다. 본 연구에서는 분석의 타당성을 높이기 위해 투입변수와 산출변수간의 상관관계 분석을 통해 평가요소를 선정하여 유의성이 높은 변수들로 측정을 하였지만 산출물에 대한 투입요소가 적절한 지에 대해서는 방법론상의 한계로 검증하지 못한 측면이 있다. 따라서 추후 도시철도 운영기관의 효율성을 분석하기 위해 최적의 투입요소와 산출요소를 선정하는 연구가 필요하고, 외부적인 변수를 포함하여 효율성 분석을 추가적으로 연구할 필요가 있다. 또한 도시철도운영기관의 효율성 변화요인을 제시하는 것이 연구의 목적임을 고려하여 효율성 분석 투입요소를 정함에 있어 운영기관이 직접 관리(조정)가능한 대상과 그렇지 못한 요인을 구분할 필요가 있다. 도시철도 운영기관 입장에서 직접 추진하기 어려운 요인인 노선연장과 무임에 따른 영업비용 등을 투입 요소에서 제외하고, 산출에 미친 결과를 통해 분석하는 것은 의미가 있을 수 있다고 판단된다. 또한 지방공기업으로 운영되는 도시철도운영기관 뿐만 아니라 민간투자사업으로 운영되는 기관을 포함하여 효율성을 분석할 필요가 있으며, 이를 통해 운영방식에 따른 효율성을 같이 분석하여 우수한 운영시스템을 벤치마킹한다면, 보다 합리적인 정책결정시 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Y.S. Lee (2013) History and development of the Korea Railroad BG, Book Gallery, pp. 215-241.

- [2] S.H. Roh, K.H. Kook (2011) A study on efficiency of safety in urban railway operating-organization using data envelopment analysis, *Proceedings of the Spring Conference of The Korean Society for Railway*, Hoengseong, Korea, pp. 1262-1274.
- [3] H.W. Kim, J. Lee, J.S. Lee (2010) Efficiency analysis in Korean railroad lines using DEA model, *Journal of The Korean Society for Railway*, 13(3), pp. 349-355.
- [4] G.S. Yoo, S.J. Kim (2012) A Study the operational efficiency of urban railway system based on data envelopment analysis, *The Seoul Institute*, 13(4), pp. 237-246.
- [5] S.H. Kim, J.H. Young, W.G. Lee (2014) Transport efficiency analysis of the lines of urban railway using data envelopment analysis, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(2), pp. 605-616.
- [6] J.D. Lee, D.H. Oh (2012) Theory of efficiency analysis, Jiphil Media, Seoul, pp. 1-6.
- [7] Charnes, Abraham William W. Cooper, and Edward Rhodes (1978) Measuring the efficiency of decision making units, 2(6), pp. 429-444.
- [8] Rolf Faere, Shawna Grosskopf, C. A. K. Lovell, Carl Pasurka (1989) Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach, *The Review of Economics and Statistics*, 71(1), pp. 90-98.

(Received 23 May 2016; Revised 19 June 2016; Accepted 22 June 2016)

Haegon Kim: goin112@naver.com

Department of Road Transport Research, Korea Transport Institute, 370, Sicheong-daero, Sejong, 339-007, Korea

Jinsun Lee: jinsun@wsu.ac.kr

Department of Railroad Management, Woosong University, 171, Dongdaejon-ro, Dong-Gu, Daejeon, 300-718, Korea