

DEA를 활용한 도시철도 노선별 수송효율성 분석

김수현* · 정헌영** · 이원규***

Kim, Soo Hyun*, Jung, Hun Young**, Lee, Won Gyu***

Transport Efficiency Analysis of the Lines of Urban Railway using Data Envelopment Analysis

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze transport efficiency of each of the 17 urban railway lines being operated by national public agencies using Data Envelopment Analysis (DEA) and to seek strategies for improving efficiency of the urban railway system. The study identified the economies of scale derived from these values of efficiency and examined the effects on cost for free ride loss and profit of transport by the fare system as the external factor. At the time, Transport profits are estimated by two production factors such as the number of vehicles and service frequency derived from multiple regression. Finally, the measures to improve the efficiency were presented in terms of profitability in the national urban railway line by applying the values of efficiency derived from DEA to multidimensional scaling (MDS).

Key words : Urban railway, Efficiency, Economies of scale, Data envelopment analysis (DEA), Fare system, Cost of free riding, Multidimensional scaling (MDS)

초 록

본 연구는 우리나라 도시철도들의 수송효율성을 분석하여, 수익성 측면에 있어서의 효율성을 향상시키기 위한 정책방향을 제공하고자 수행되었다. 본 연구를 통해 우리나라 도시철도들의 상대적 효율성을 측정하고, 효율성이 부족한 도시철도 노선에 대해 구조적인 문제가 존재하는지를 분석하였다. 분석대상은 전국 공공기관이 운영하는 17개 도시철도 노선이며, 자료포락분석기법(DEA)으로 노선별 효율성을 분석하였다. 분석된 결과로부터 규모의 경제성을 도출하고, 외부요인으로서 무임 손실비용과 운임제도에 따른 운수수입에의 영향정도를 파악하였다. 이 때 분석을 위한 변수로는 다중회귀분석을 통해 도출된 차량수, 운행횟수 두 생산요소를 투입하여 운수수익을 산출하는 형태로 설정하였다. 마지막으로 자료포락분석기법으로 도출된 효율성값을 다차원척도법(MDS)에 적용하여 전국 도시철도에 대한 수익성 측면의 효율성 향상방안을 제시하였다.

검색어 : 도시철도, 효율성, 규모의 경제성, 자료포락분석, 운임제도, 무임 손실비용, 다차원척도법

* 정희원 · 교신저자 · 부산발전연구원 연구원 (Corresponding Author · BDI(Busan Development Institute) · hyunny0930@nate.com)

** 정희원 · 부산대학교 도시공학과 정교수 (huyjung@pusan.ac.kr)

*** 정희원 · 부산발전연구원 연구위원 (leewg@bdi.re.kr)

Received September 25, 2013/ revised October 31, 2013/ accepted November 17, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2012년 말 기준, 전국의 도시철도망은 8개 지자체에서 21개의 노선이 운행 중에 있다. 그리고 현재 7개 노선이 건설 중이며, 관련 계획이 수립되어 건설 예정인 도시철도 사업도 다수 있다.¹⁾ 도시철도 노선망은 대도시의 수송서비스를 향상시키고 노선이 통과하는 지역의 개발을 촉진한다는 측면에서 많은 사람들의 관심을 집중시킨다. 그러나 노선 건설에 대한 높은 관심과는 달리 건설투자에 대한 효율은 낮고, 노선망에 대한 운영효율 개선 역시 어려워, 이용수요의 증대는 어려운 실정이다.

그 동안 전국 도시철도의 수송서비스는 주로 노선확충에 집중되어 왔다. 그 결과 과도한 건설비용 및 운영비용의 지출에 반해 운영수입의 대부분을 차지하고 있는 운수수익은 수송원가에 훨씬 못 미치는 운임수준과 무임/환승손실로 인하여 만성적인 적자를 벗어나지 못하고 있다. 또한, 이러한 근본적인 문제와 더불어, 적자 운영의 원인으로 많은 비판을 받는 것이 바로 대부분 공공기관이 운영주체인 도시철도 운영기관들의 낮은 효율성이다. 이에 안전행정부에서는 도시철도 운영기관들의 경영상태 또는 효율성을 제고하기 위하여 매년 「지방공기업 경영평가」를 실시하고, 각 운영기관에서는 인건비 및 운영경비 증가 최소화를 통한 비용(규모)절감을 위해 노력하고 있다. 그러나 실질적인 수익증대 방안에 대한 타당성 여부를 검증하기 위해서는 운수수익과 직접적으로 연관되어 있는 각 노선별 효율성과 함께 일괄적인 규모절감이 아닌 각 노선에 대한 규모의 경제가 존재하는지를 분석할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 도시철도 자체의 수송효율성 개선에 초점을 두고, 자료포락분석기법(DEA: Data Envelopment Analysis)을 활용한 노선별 효율성 및 규모의 경제성을 분석함으로써 각 노선별 잠재적인 효율성 개선정도와 운수수익 증대방안에 대한 시사점을 제시하고자 하였다.

또한, 외부요인으로써 공공서비스의무(PSO: Public Service Obligation)에 따른 무임 손실비용 및 운임제도별 효율성차이를 분석하여, 운영수입의 대부분을 차지하고 있는 운수수익에 대한 영향정도를 파악하고자 하였다.

마지막으로, 자료포락분석기법(DEA)으로 도출된 노선별 운영 효율성 및 규모효율성값을 다차원척도법(MDS: Multidimensional Scaling)에 적용하여 유사한 노선별로 그룹화 한 뒤 수익성을 향상시키기 위한 대책에 있어 기초자료로 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 범위

본 연구의 시간·공간적 범위는 2012년 말 기준으로 공공기관이 운영 중인 도시철도 17개 노선을 대상으로 분석을 실시하였다. 내용적 범위는 첫째, 전국 도시철도 현황 및 효율성의 개념을 정의하였으며, 둘째, 자료포락분석기법(DEA) 및 다차원척도법(MDS)의 분석방법을 제시하고, 셋째, 분석 자료를 구축하여 효율성 분석을 위한 투입·산출변수를 선정하였다. 넷째, 선정된 변수를 기초로 하여 자료포락분석기법에 의한 노선별 효율성과 규모의 효율성에 대한 추정결과를 제시한 뒤, 무임 손실비용 및 운임제도별 효율성의 차이를 분석하였다. 마지막으로 본 연구로부터 도출된 결과를 바탕으로 도시철도 노선의 잠재적인 효율성 개선정도와 다차원척도법(MDS)을 통한 수익성 측면의 효율성 증대방안에 대한 시사점을 제시하였다.

1.3 연구의 방법

본 연구는 문헌조사와 자료 분석을 수행하였다. 자료 분석을 위하여 각 지자체별 내부자료 및 관련 통계자료를 수집하였고, 다중회귀분석을 통하여 투입·산출변수를 선정하였다. 선정된 변수를 바탕으로 자료포락분석기법 중 산출기준 BCC모형(Banker, Charnes, and Cooper)을 통한 상대적 노선별 효율성, 규모의 효율성 분석을 실시하였으며, 외부요인으로서 무임 손실비용에 따른 효율성의 차이 및 Kruskal-Wallis Test와 Mann-Whitney 분석기법을 활용한 운임제도별 효율성의 차이를 분석하였다. 마지막으로, 다차원척도법(MDS) 중 ALSCAL모형을 적용하여 수익성노선과 비수익성노선 비교를 통한 도시철도 전반의 수익성 증대방안에 대한 시사점을 제시하였다.

1.4 선행연구 고찰 및 본 연구의 차별성

1.4.1 도시철도 운임 관련 선행연구

현재, 국내에서 운영 중인 도시철도 운임제도는 거리비례제와 이동구간제, 균일요금제가 있다. 지자체별로 운임제도는 차이가 있으나, 운임수준은 공공성을 강조하는 공기업 요금의 특성상 수송원가 차이를 감안하지 않은 운임책정으로, 기본운임 기준 1,050~1,100 원으로 거의 동일하다. 또한, 운송대상에 따른 할인/무료 운임제를 포함하여 시행 중에 있다.

도시철도 운임과 관련한 대부분의 선행연구는 운영기관의 재정 여건 해소를 위한 방법으로 지구 노력책 보다는 운영수입의 대부분을 차지하고 있는 운수수익의 증대를 유도할 무임 손실비용 국비보전, 운임상승 및 운임제도의 개선에 초점을 두고 있다.

Kim (2000)는 도시철도 운임이 물가에 미치는 영향을 분석하였으며, Lee (2004)은 부산도시철도를 대상으로 다구간제 적용에 따른 운수수익 증대효과를 분석하였다. Lee et al. (2006), Lee

1) 도시철도 건설현황은 공사중인 7개 노선, 설계중인 5개 노선, 기본계획 수립중인 2개 노선을 포함하여 총 14개 노선이 건설예정인 있음(국토교통통계누리, <http://stat.molit.go.kr/>).

Table 1. Comparison of Fare System in Domestic Urban Railway

Classification		Detailed contents
Distance Scale Rates System	Definition	· Fare is calculated based on distance of transport
	Strength	· Advantage in terms of efficiency/ equity · Advantage to increase the profit of transport
	Weakness	· Discomfort of passengers · Increase in workloads in the stations
Multi-zone System	Definition	· Fare is calculated based on the number of using zones
	Strength	· Increase in profit is expected when it is changed to multi- zone system
	Weakness	· In case of multi-zone, workloads are increased in stations. · Discomfort of passengers
Flat Rate System	Definition	· The same fare is applied regardless of distance of transport
	Strength	· Ease of work · Comfort of passengers
	Weakness	· Irrationality for distance of transport for passengers of long/short distance · Inappropriate to secure income of transport agencies

Data) Recreation using Lee, Han Seong et al. (2010)

et al. (2007), Na (2008)은 서울도시철도 운송기관을 대상으로 무임 손실비용 및 운임인상에 따른 운수수익의 영향정도와, 승차권 제도개선/다양화를 운수수익 증대를 위한 개선방안으로 제시하였다. 이 외에도 서울시정개발연구원(1999), 부산발전연구원(2010)에서는 도시철도를 포함한 대중교통 요금정책에 대한 전반적인 다양화 방안을 제시한 바 있다.

이와 같이, 선행연구의 주요 내용은 도시철도 운임제도의 이론적 배경을 토대로, 지자체별 경영분석 자료를 근거로 한 수익증대를 위한 제도적 시행방안이 주를 이루고 있으며, 효율성 분석을 통한 운임으로 인해 발생하는 실질적인 효율성 차이에 대한 분석은 이루어지지 않은 것으로 보인다.

1.4.2 자료포락분석(DEA) 관련 철도분야 선행연구

철도분야 중 DEA 기법을 이용한 효율성 평가 연구는 운송기관별 효율성과 생산성분석이 주를 이루고 있으며, 노선의 효율성 평가는 소수에 지나지 않는다.

국외에서는 1990년대부터 Oum and Yu (1994), Cantos et al. (1999), Coeli and Prerlman (1999), Cowie (1999), Graham (2006) 등에 의해 철도운송기관별 효율성분석이 꾸준히 진행되어

왔으며, 국내에서도 2000년 이후 Kim et al. (2000), Lee and Jeong (2004), Kim and Sim (2008) 등에 의해 활발히 이어져오고 있다. 또한, Kim and Kim (2003; 2004)는 운송기관별 효율성 분석에 그치지 않고 조직유형별 효율성 비교, 생산성 변화분석 등 기존 연구에서 나아가 세밀한 접근을 시도하였다. Lee and Yoo (2009)는 효율성 결정요인 추정, Kim et al. (2009)는 효율성과 생산성 변화를 공급자 측면의 공공성 측면과 수요자 측면의 수익성 측면으로 나누어 비교분석하였다.

한편, 노선별 효율성 및 생산성을 분석한 연구로는 지역간 철도를 대상으로 한 연구에서 Kim (2010)은 공공성과 수익성 측면으로 나누어 효율성 및 생산성을 분석하였으며, Mo et al. (2012)는 여객운송에 대한 정태적, 동태적 효율성과 생산성, 그리고 결정요소의 특성을 분석하였다. 도시철도 노선을 대상으로 한 Yoo and Kim (2012)는 노선별 효율성을 분석한 후, 경전철로 계획되고 있는 신규노선에 대해서도 이를 적용하여 비교분석하였다.

국내 철도운송기관별 효율성분석은 기존의 선행연구 뿐만이 아닌 매년 실시하는 지방공기업평가를 통해 경영상태 또는 효율성을 비교평가하고 있다. 반면, 실질적인 철도수송을 담당하는 노선을 대상으로 한 효율성 및 규모의 경제성을 함께 도출한 연구는 전무한 실정으로, 향후 운수수익 증대를 위한 정책의 타당성 여부를 검증하는데 근거자료로써 반드시 필요하다고 판단된다.

2. 전국 도시철도 현황과 효율성

우리나라 철도는 철도건설법에 따른 고속철도와 일반철도, 대도시권 광역교통관리에 관한 특별법에 따른 광역철도, 도시철도법에 따른 도시철도로 구분되며, 본 연구에서는 도시철도법에 근거한 도시철도를 분석대상으로 설정하였다.

2.1 전국 도시철도 현황

2012년 말 기준 전국 도시철도는 11개 운영기관에 총 21개 노선이 운행 중에 있으며, 서울 8개 노선, 부산 4개 노선, 대구 2개 노선, 인천, 광주, 대전 각각 1개 노선이 있고, 민자사업으로 건설된 서울 9호선과 부산-김해 경전철, 신분당선, 의정부경전철 노선이 있다. 본 연구에서는 관리운영의 성격을 달리하는 민자사업으로 건설된 4개 노선을 제외한 총 17개 노선을 분석대상 노선으로 선정하였고, 효율성을 추정하였다.

이들 노선특성 중 본 연구와 관련된 항목들을 살펴보면, 수도권 지역은 운임제도에 있어 거리비례제를, 부산과 대전은 이동구간제, 대구와 광주지역은 균일요금제를 채택하여 운영중이다. 또한, 차량 시스템 선정에 있어 승객수송능력에 따라 수요확보가 용이한 서울의 경우 차량규모가 큰 중(重量)전철(대형전철, HRT)을, 그 외

Table 2. National Urban Railway Being Operated by Public Agencies

Corporation	No.	Line	Date line opened	Route length (km)	Number of stations (number)	'12 Transport statistics (Million persons, Million won)		Fare system	Type of car	Line of analysis
						Number of transport passengers	Revenue			
Seoul Metro	1	Seoul line1	'74.08.15	7.8	10	167.8	83,200	Distance Scale Rates System	HRT	○
	2	Seoul line2	'80.10.31	60.2	50	752.9	479,304			
	3	Seoul line3	'85.07.12	38.2	34	286.0	166,747			
	4	Seoul line4	'85.04.20	31.7	26	306.9	185,299			
Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp.	5	Seoul line5	'95.11.15	52.3	51	307.0	183,704	Distance Scale Rates System		○
	6	Seoul line6	'00.08.07	35.1	38	188.6	99,850			
	7	Seoul line7	'96.10.11	57.1	51	338.1	207,091			
Busan Transportation Corp.	9	Busan line1	'85.07.19	32.5	34	157.7	115,690	Multi-zone System	MRT	○
	10	Busan line2	'99.06.30	45.2	43	109.2	85,066			
	11	Busan line3	'05.11.28	18.1	17	32.3	22,270		LRT	
	12	Busan line4	'11.03.30	12.0	14	9.7	5,727			
Daegu Metropolitan Transit Corp.	13	Daegu line1	'97.11.26	25.9	30	67.1	43,995	Flat Rate System		○
	14	Daegu line2	'05.10.18	31.4	29	59.4	42,544			
Incheon Transit Corp.	15	Incheon line1	'99.10.06	29.4	29	90.6	64,527	Distance Scale Rates System	MRT	○
Gwangju Metropolitan Transit Corp.	16	Gwangju line1	'04.04.28	20.5	20	17.2	10,763	Flat Rate System		○
Daejeon Express Transit Corp.	17	Daejeon line1	'06.03.16	20.5	22	38.5	28,152	Multi-zone System		○

지역은 중간성격의 중(中量)전철(중형전철, MRT)을 도입하여 운행중이며, 최근 건설완료된 부산4호선의 경우 운영비 절감 및 수요 확보 여부에 근거하여 경(輕量)전철(LRT)이 도입되어 운행 중에 있다.

2.2 효율성의 개념 및 정의

효율성(Efficiency)이란 제한된 자원 내에서 최대의 산출물을 창출해내는 생산기술로, 일반적으로 투입량에 대한 산출량의 비율로 정의될 수 있다. 즉, 일정한 투입수준에서 산출물을 최대화하는 능력 또는 일정한 산출수준에서 투입물을 최소화하는 능력을 의미한다.

도시철도에서 수송은 정해진 노선을 따라 차량의 운행을 통하여 이용객을 수송하고, 이로 인해 운수수익 등 매출액이 발생하는 일련의 과정 전체를 포함한다. 수송을 위해서는 차량, 노선연장, 운영비용 등이 투입되어야 하고, 이들 투입요소들은 열차운행 및 수송실적, 수송수입 등을 산출한다. 이러한 도시철도수송에서 효율

성을 향상시키기 위해서는 공공재로서 공공성을 기본적으로 충족시키면서 수익성을 도모하여야 하는데, 분석대상으로 제시한 17개 도시철도 노선의 경우 수송을 제공하는 운영주체가 공공기업의 형태를 지니므로 공공성의 확보가 기반이 되어 수송서비스가 제공되고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 운영수입의 대부분을 차지하고 있는 운수수익의 수익성 향상에 주안점을 두고, 효율성의 개념을 운수사업에서의 투입된 자원대비 운수수익을 최대화 할 수 있는 능력으로 재정의 하였다.

3. 분석방법 검토

3.1 자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis)

자료포락분석(DEA)은 Farrell (1957)의 상대적 효율성 개념을 기초로 개발한 비모수적(non-parametric) 효율성 측정방법으로, 가격에 대한 정보와 자료 집계를 필요로 하지 않고, 다수의 투입

요소와 다수의 산출 요소를 통해 효율성을 측정하는 기법이다. 이 기법은 선형계획법에 근거하여 평가대상의 경험적인 투입요소와 산출물간의 자료를 이용하여 경험적 효율 프론티어(frontier)²⁾를 도출한 후, 평가대상(decision making unit: DMU³⁾들이 효율적 프론티어로부터 어느 정도 떨어져있는지의 여부로써 상대적 효율성을 측정한다. 이 때문에 비효율적인 노선의 비효율성의 원인 분석 및 효율성 개선의 목표설정에 유용하게 활용될 수 있다.

일반적으로, DEA에서 주로 활용하는 모형은 Charnes, Cooper, and Rhodes (1978)의 CCR 모형과 Banker, Charnes, and Cooper (1984)의 BCC 모형이 있으며, 투입물에 초점을 두는가, 산출물에 초점을 두는가에 따라 투입지향(Input Oriented)과 산출지향(Output Oriented)으로 구별된다.

3.2 효율성 측정시 전제조건

3.2.1 CCR모형 vs. BCC모형

두 가지 분석모형으로 파악 가능한 대표적인 효율성으로는, 투입물을 얼마나 효율적으로 산출물로 전환시키는가를 측정하는 기술효율성(TE: Technical efficiency)이 있고, 이는 순수기술효율성(PTE: Pure Technical efficiency)과 규모효율성(SE: Scale efficiency)으로 분리된다.

$$TE_{CRS} = PTE_{VRS} \times SE$$

규모수익불변(CRS: Constant Returns to Scale)을 가정하는 CCR모형의 경우, 순수기술효율성과 규모효율성을 구분하지 못하며, 투입에 대한 산출 비율이 일정한 형태를 보인다. 반면 BCC모형은 규모수익가변(VRS: Variable Returns to Scale)을 가정한 모형으로, 순수기술효율성과 규모효율성의 구분이 가능하며, 규모의 경제성(IRS: Increasing Returns to Scale, 규모수익체증)과 규모수익불변(CRS), 규모의 불경제성(DRS: Decreasing Returns to Scale, 규모수익체감)의 3가지 수익상태를 모두 포괄한다. 이는 초반에는 투입에 따른 초기의 상승이 어느 일정 시점을 지남에 따라 상승이 둔화된다는 경제학적 논리에 의한 것으로써, 각각의 DMU의 효율성값이 규모의 경제 상태에 있다면 규모를 증가시킴으로써 투입대비 산출의 비율을 향상시킬 수 있고, 반대로 규모의 불경제가 있을 경우에는 투입규모를 감소시킴으로써 투입대비 산출의 비율을 개선할 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 도시철도 노선연건 및 운영특성에 따른 규모에

- 2) 효율적 DMU를 연결한 선으로 1 (100%)이라는 만점의 값을 갖게 된다.
- 3) DEA 모형에서 사용하는 의사결정단위로, 본 연구에서는 각각의 도시철도 노선을 의미한다.

서의 효율성 차이가 있을 것으로 판단하고, 가변규모수익을 가정하였다.

3.2.2 투입지향 vs. 산출지향

투입지향(산출지향) 측정기법은 산출물(투입물) 수준을 유지하면서 투입물(산출물)을 가장 최소화(최대화)하는 DMU와 그렇지 못한 DMU간의 투입물 사용정도(산출물 생산정도)를 비교하여 효율성을 측정하는 방법이다. 대부분의 선행연구에서는 투입물 조정의 용이성을 이유로 투입지향기법을 적용하였다. 그러나 도시철도의 경우 공공재적 성격을 띠고 있으며, 매년 증가하는 재정적자는 비용 증가율보다 수익 증가율이 적은데서 비롯되고 있음을 근거로 하여, 본 연구에서는 투입물을 유지한 상태에서 산출량을 극대화시킬 수 있는 산출지향기법을 적용하였다. Fig. 1은 산출지향 측정기법의 생산변경을 도식화한 것으로, 효율적인 프론티어 AD 상에 존재하는 Q2와 같은 산출물을 생산하기 위하여 Q1이 추가 산출해야하는 산출물 정도를 나타낸 것이다.

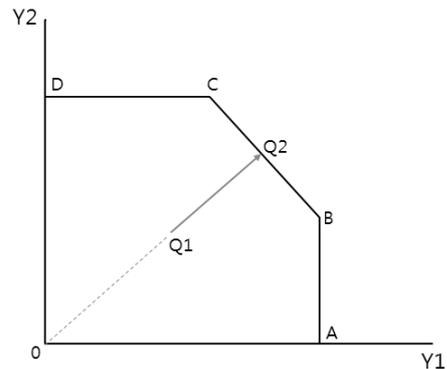


Fig. 1. Production Change of Output Oriented Measurement Method

3.2.3 산출기준의 BCC모형

본 연구에서는 산출기준의 BCC 모형을 적용하였으며, 모형의 기본식은 다음과 같다.

$$Min \theta_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}$$

$$s.t. \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

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

$$v_i \geq \epsilon \geq 0, \quad i = 1, \dots, s$$

- 여기서, θ_0 : DMU_0 의 효율성
 u_r : r 번째 산출물에 대한 가중치
 u_i : i 번째 투입물에 대한 가중치
 y_{rj} : DMU_j 의 r 번째 산출물의 양
 x_{ij} : DMU_j 의 i 번째 투입물의 양
 y_{r0} : 평가대상 DMU_0 의 r 번째 산출물의 양
 x_{i0} : 평가대상 DMU_0 의 i 번째 투입물의 양
 ϵ : non-아르키메디안 상수
 n : DMU 의 수
 m : 투입물의 수
 s : 산출물의 수

BCC 모형에서의 v_0 은 규모에 대한 경제를 파악하는 지표로서 사용되며, $v_0=1$ 일 경우 규모수익불변, $v_0 > 1$ 일 경우 규모수익증가, $v_0 < 1$ 일 경우 규모수익감소로 구분할 수 있다. 예를 들어 $v_0 > 1$ 이면 규모가 λ 배 확대될 때 산출량이 λ 배 이상으로 증대되는 경우로서 이는 규모를 더 증가시킴으로써 효율성을 증대할 수 있다는 의미이다. 반대로 $v_0 < 1$ 이면 규모가 λ 배 확대될 때 산출량이 λ 배보다 작게 증가하는 경우로 규모를 줄여 추가비용을 절감할 수 있는 경우이다.

3.3 다차원척도법(MDS: Multidimensional Scaling)

다차원척도법(MDS)은 대상들간의 관련된 속성들의 복잡한 관계를 적은 수의 차원(2,3차원)의 공간에서 단순한 구도로 시각화하여 주는 통계분석기법이다. 이 기법은 R-Square에 의한 신뢰성 및 타당성 검증이 가능하며 자료 축약의 결과가 다차원 공간에서 시각적으로 표현되므로 차원별로 구체적 대상에 대해 분석할 수 있는 장점이 있다.⁴⁾

따라서, 도시철도 효율성에 대한 노선별 현위치와 노선간 현위치를 시각적으로 확인할 수 있으며, 이를 근거로 향후 노선별 효율화 전략을 설정하는데 도움이 될 것이다. 본 연구는 DEA에 의해 분석된 효율성값이 노선별 상대거리에 따른 개선정도에 대한 서열을 나타내고 있기 때문에 다차원척도법 중 ALSCAL기법에 더 부합된다고 판단하여 이를 적용하였다.

4) 정태원, 광규석(2001), “동종 항만군 분류를 통한 컨테이너 항만의 운영효율화 방안”에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제19권 제1호, pp.7-16. 2001.2.

4. 노선 효율성 분석자료 검토 및 선정

4.1 분석자료 검토

본 연구에서는 노선과 관련된 변수를 중심으로 각 기관별 경영실적보고서, 업무통계편람, 수송계획 등을 참조하여 분석 자료를 구축하였다. 선행연구에서 제시한 직원수, 차량수, 선로연장, 영업거리, 운영비(인건비제외), 역수, 전력량, 운행횟수, 수송인원, 운수수입 등을 변수로 고려하였으며, 이를 활용하였다. 단, 대부분의 연구가 노선을 운영관리하는 업체의 관점에서 각 노선의 효율성을 상대적으로 평가했다면, 노선 효율성의 체감은 운영자와 수요자 모두에게 효율적이어야 하므로 이를 고려하여 자료를 구축하였다.

4.2 투입·산출변수 선정

노선별 효율성 분석에 앞서 산출물에 대한 투입물의 영향정도를 파악하기 위해 단계선택법을 적용한 다중회귀분석을 실시하였다.

Table 3. Technical Statistics

Variable		Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Input	Route length	31.5	15.3	7.8	60.2
	Number of stations	30.3	13.0	10.0	51.0
	Number of cars	309.2	217.9	80.0	834.0
	Train-km	3,915.2	2,269.8	1,339.00	9,418.0
	Cost of transport	1,878.9	1,197.3	503.0	5,213.0
	Frequency	394.9	174.8	240.0	998.0
Output	Number of transport passengers	177.4	184.3	9.7	752.9
	Revenue	110,218.1	114,925.8	5,727.0	479,304.0
N		17			

Note) Route length(km), Number of stations(number), Number of cars(number), Train-km(thousand km/year), Cost of transport(hundred million won/year), Frequency(time/date, Weekday), Number of transport passengers(Million persons/year), Revenue(Million won/year)

Table 4. Multiple Regression Analysis Result for Variable Selection

	Dependent Variable = Revenue			
	B	t value	Sig.	VIF
Constant	-110,711.979	-9.225	0.000	
Number of cars	275.038	7.760	0.000	2.645
Frequency	344.099	7.790	0.000	2.645
R Square (Adjusted R Square)	0.976(0.973)			

산출물인 종속변수를 노선별 연간운수수익과 연간수송인원 두 가지(안)로 설정하고 Table 3에서 제시한 6개 투입물을 독립변수로 하여 분석한 결과, 독립변수는 차량수와 운행횟수, 종속변수는 연간운수수익을 사용한 모형이 가장 적합한 모형으로 도출되었으며, 결과는 다음 Table 4와 같다.

산출물로 연간운수수익을 선정한 또 다른 이유는 도시철도 특성상 무임수송현황이 전국 평균 20.1%(2012년 말 기준)⁵⁾를 차지하는 것을 감안할 때, 수송인원보다는 운수수익이 효율성추정 측면에서 정확도가 높을 것으로 판단되기 때문이다.

한편, 투입변수들 간의 독립성 확보를 위해 분산팽창계수(VIF: Variance Inflation Factor)를 활용한 다중공선성(Multi-collinearity) 판단 결과, 선정된 변수값 모두 10미만으로 변수들간 독립성이 확보되는 것으로 분석되었다.

5. 노선별 수송효율성 평가

5.1 노선별 수송효율성 분석 결과

차량수, 운행횟수 투입물 대비 운수수익을 산출물로 선정한 산출지향 BCC모형 추정결과, 추정된 노선별 효율성 값은 0.0977~1.0000로 상당한 차이를 보이며, 세부결과는 Table 5와 같다.

규모수익불변상태에서의 효율성 분석결과, 서울2호선과 서울7호선은 효율적 DMU이며, 서울1호선은 비효율적 DMU 중에서 가장 높은 효율성인 0.9048을 보였다. 또한, 17개 노선 중 35.3%인 6개 노선의 효율성이 0.5에도 도달하지 못하고 있고, 부산4호선과 광주1호선은 효율성이 각각 0.0977, 0.2036으로 효율적 노선이 되기 위해서는 산출물을 각각 90.2%, 79.6%나 증가시켜야 하는 것으로 분석되었다. 이는 투입되는 차량수와 운행횟수 대비 충분한 수익을 창출하지 못하는 것으로, 수도권보다 지방이 수요확보에 있어 상대적으로 열악한 것으로 분석되었다. 적은 노선을 보유한 지방의 경우, 노선 선택의 폭이 적을 수 밖에 없다. 일정 노선을 운행하는 도시철도 특성상 제한적인 수요 그 이상을 확보하기 위해서는 효율성 향상이 시급하다.

비효율의 원인이 운영상의 문제인지 규모상의 문제인지 파악하기 위해 규모수익가변상태에서의 효율성을 분석하였다. 분석결과, 효율적 DMU인 서울2호선과 서울7호선을 제외한 15개의 DMU 중 11개의 DMU에서 규모상의 비효율보다 운영상의 비효율이 상대적으로 큰 것으로 분석되었고, 이는 전국 도시철도의 비효율은 규모의 문제보다는 운영상의 문제에서 비롯된 것임을 시사한다.

5) 2012년 말 기준 무임수송현황은 부산교통공사 24.6%, 서울메트로 13.0%, 서울도시철도 14.1%, 대구도시철도 22.3%, 인천교통공사 12.4%, 광주도시철도 32.5%, 대전도시철도 21.6%로 나타났다(2012년도 경영분석, 부산교통공사)

Table 5. Transport Efficiency Analysis Result by Line

	DMU	Efficiency analysis result				Reference
		TE	PTE	SE	Return to Scale	
1	Seoul line1	0.9048	1	0.9048	IRS	1
2	Seoul line2	1	1	1	CRS	2
3	Seoul line3	0.8334	0.8754	0.9520	IRS	2,7,17
4	Seoul line4	0.7710	0.8612	0.8953	IRS	2,7,17
5	Seoul line5	0.8157	0.8179	0.9973	DRS	2,7
6	Seoul line6	0.6114	0.7535	0.8114	IRS	7,17
7	Seoul line7	1	1	1	CRS	7
8	Seoul line8	0.7218	0.9686	0.7452	IRS	1,2,17
9	Busan line1	0.6573	0.8020	0.8196	IRS	2,7,17
10	Busan line2	0.5102	0.6621	0.7706	IRS	2,7,17
11	Busan line3	0.4844	1	0.4844	IRS	11
12	Busan line4	0.0977	0.1390	0.7029	IRS	1,17
13	Daegu line1	0.3753	0.5298	0.7084	IRS	2,7,17
14	Daegu line2	0.4113	0.5539	0.7426	IRS	2,7,17
15	Incheon line1	0.4299	0.6486	0.6628	IRS	7,17
16	Gwangju line1	0.2036	0.3157	0.6449	IRS	17
17	Daejeon line1	0.5832	1	0.5832	IRS	17
	Mean	0.6124	0.7605	0.7897		

Note) TE(CRS): Technical efficiency(Constant Returns to Scale)
 PTE(VRS): Pure Technical efficiency(Variable Returns to Scale)
 = Operational efficiency
 SE(TE/PTE): Scale efficiency
 IRS: Increasing Returns to Scale
 DRS: Decreasing Returns to Scale

특히, 부산4호선의 경우 운영효율성이 0.1390으로 규모효율성과의 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 즉, 대부분의 노선에서 적정 배차간격, 편성량수 산정, 운행횟수 등 단위당 선로와 차량의 운영극 대화가 이루어지지 못한 것으로 판단되며, 기존 열차운영시스템이 현재의 최적치를 도출하는 데 있어 탄력성이 떨어졌기 때문으로 분석되었다. 반면, 부산3호선과 대전1호선의 경우 운영효율성에 있어 효율적 DMU로 나타났으며, 상대적으로 규모의 비효율성이 큰 것으로 분석되었다.

상대적으로 효율성이 높아 벤치마킹해야 할 필요성이 있는 참조 횟수가 많은 준거집단으로는 대전1호선, 서울7호선, 서울2호선 순으로 나타났다. 참조횟수가 높다고 해서 가장 효율성이 높은 노선이라고 할 수는 없으나 이러한 노선이 많다는 것은 노선운영상의 효율성이 높다는 것으로 해석될 수 있다.

한편, 대부분의 DMU가 규모수익 증가상태(IRS)에 있다는 것은 추가 산출의 이득을 향유하고 있지 못함을 의미하며, 이는 일반적인

로 행해지고 있는 비용감소를 위한 규모 축소가 운수수익증대에 기여한다고 볼 수 없음을 나타낸다. 따라서 운수수익 증대를 위해서는 규모를 늘리는 것이 오히려 합리적인 접근법임을 보인다. 반면 서울5호선의 경우 추가 산출의 불이익이 발생하는 경우로 수익체감 상태(DRS)에 있는 것으로 분석되며, 규모축소가 효율성 향상을 위한 정확한 접근법임을 보인다.

이 같은 결과로 비추어볼 때, 현재 전국에서 추진중 또는 예정인 다수의 도시철도 건설 사업은 운수수익 증대측면에서는 오히려 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 단, 향후 도시철도 건설시 대부분의 운영기관에서 운행중인 중전철 시스템은 차량규모에 따른 비용절감을 위해 경전철이나 노면전차로 변경하여, 편성량수, 배차간격, 운행횟수 조정 등으로 열차운영을 효율적으로 하는 방향을 추진하는 것이 적합할 것이다.

5.2 외부요인에 따른 수송효율성 분석 결과

5.2.1 운임제도별 수송효율성 분석 결과

전국 도시철도노선의 수송효율성 측정을 통해 추정된 노선별 효율성값(Table 5참조)을 운임제도별로 분류한 결과는 다음 Table 6과 같다.

효율성값이 0.881인 거리비례제를 채택한 서울과 인천지역의 노선효율성이 가장 높은 것으로 분석되었으며, 이동구간제를 채택한 부산과 대전지역의 효율성값은 0.721로 수도권보다 낮은 값을 보였다. 반면, 균일요금제를 채택한 대구와 광주 노선의 효율성값은 0.466으로 상대적으로 낮게 나타나, 수익확보에 부적절한 균일요금제의 단점을 증명한 것으로 운임제도의 개선이 절실한 것으로 분석되었다.

Table 6과 같이 서로 다른 운임체계를 시행중인 DMU들의 효율성 차이가 우연에 의한 것인지 통계적으로 유의한 것인지 파악하기 위해, 본 연구에서는 집단간 차이에 대하여 독립된 세 집단 이상의 크기를 비교하는 비모수통계분석방법인 Kruskal-Wallis

Table 6. Transport Efficiency Analysis Result by Fare System

	Distance Scale Rates System			Multi-zone System			Flat Rate System		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
Mean	0.788	0.881	0.885	0.467	0.721	0.672	0.330	0.466	0.699
Std. Deviation	0.184	0.125	0.122	0.217	0.355	0.137	0.111	0.131	0.050
Minimum	0.430	0.649	0.663	0.098	0.139	0.484	0.204	0.316	0.645
Maximum	1.000	1.000	1.000	0.657	1.000	0.820	0.411	0.554	0.743
Number of efficient line	2	3	2	0	2	0	0	0	0

Test를 활용하였다. 분석결과, 통계적 유의성은 유의수준 0.05수준에서 0.043으로 나타나 세 가지 운임체계간의 효율성은 서로 같다는 귀무가설은 기각되어 집단간의 차이가 존재하는 것으로 나타났다. Mann-Whitney분석을 통한 세부분석결과, 균일요금제보다는 거리비례제와 이동구간제의 효율성이 높은 것으로 분석되었으며, 반면, 거리비례제와 이동구간제의 경우에는 집단간 차이가 없는 것으로 나타났다.

5.2.2 PSO에 따른 무임 손실비용을 고려한 노선별 수송효율성 분석 결과

낮은 운임과, 무임/환승 손실비용의 증가는 일괄적인 비용축소를 위한 인원감축, 안전운행을 위한 투자재원 미확보 등으로 이어지는 악순환으로 이어지고 있다. 대중교통요금의 특성상 낮은 운임과, 지자체 정책으로 이어지는 환승 손실비용에 대한 시 보전정책은 재하더라도, 도시철도 운영기관의 재정적자의 핵심원인으로 제기된 무임 손실비용에 대한 노선별 효율성 비교·분석은 이루어질 필요가 있을 것이다.

Table 7. Transport Efficiency Analysis Result considering Cost for Free Ride Loss

DMU	A		B		Rate of change(%)		
	TE	PTE	TE	PTE	TE	PTE	
1	Seoul line1	0.9048	1	0.9048	1	-	-
2	Seoul line2	1	1	1	1	-	-
3	Seoul line3	0.8334	0.8754	0.8267	0.8652	-0.67	-1.02
4	Seoul line4	0.771	0.8612	0.7691	0.8524	-0.19	-0.88
5	Seoul line5	0.8157	0.8179	0.8157	0.819	-	0.11
6	Seoul line6	0.6114	0.7535	0.6155	0.7698	0.41	1.63
7	Seoul line7	1	1	1	1	-	-
8	Seoul line8	0.7218	0.9686	0.7289	0.9186	0.71	-5
9	Busan line1	0.6573	0.802	0.7718	0.9467	11.45	14.47
10	Busan line2	0.5102	0.6621	0.5993	0.7625	8.91	10.04
11	Busan line3	0.4844	1	0.5708	1	8.64	-
12	Busan line4	0.0977	0.139	0.1151	0.1521	1.74	1.31
13	Daegu line1	0.3753	0.5298	0.4321	0.585	5.68	5.52
14	Daegu line2	0.4113	0.5539	0.4736	0.6087	6.23	5.48
15	Incheon line1	0.4299	0.6486	0.4122	0.6148	-1.77	-3.38
16	Gwangju line1	0.2036	0.3157	0.3252	0.4612	12.16	14.55
17	Daejeon line1	0.5832	1	0.6694	1	8.62	-
	Mean	0.6124	0.7605	0.6488	0.7856	3.64	2.52

Data) A: Out Variable = Revenue (hundred million won/year)

B: Out Variable = Revenue + The Cost for free ride loss (hundred million won/year)

(B-A)*100: Rate of change(%)

무임 손실비용 데이터는 노선별로 제공되고 있지 않으므로, 노선별 운수 수익 비율을 산정하여 무임 손실비용을 배분하였으며, 운수수익+무임 손실비용을 산출물로 선정하여 분석결과는 Table 7과 같다.

절대적 수치가 아닌 효율적 DMU에 대한 상대적 효율성을 측정하는 DEA 분석기법의 특성상 효율성이 대체적으로 높았던 수도권 노선들의 경우 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 반면, 운수수익대비 무임 손실비용의 비중이 큰 부산과 광주, 대전의 경우 효율성증가율이 큼을 알 수 있다. 특히, 부산 1,2호선과 광주 1호선의 경우 효율성증가율이 8.9~12.2%(TE), 10.0~14.5%(PTE)로 다른 노선 대비 상대적으로 높음을 알 수 있으며, 수송효율성에 있어 무임 손실비용이 미치는 영향이 가장 큼을 의미하는 것으로 보여 진다.

이는 Table 8에서 제시했듯이, 규모가 큰 수도권 지역 노선의 경우 무임 손실비용이 큰 영향을 주지 않고, 규모가 작은 지방 노선의 경우 무임 손실비용이 많은 영향을 미치는 것으로 각 노선이 위치한 도시의 인구와 거의 비례하는 것을 볼 수 있다.⁶⁾ 따라서, 고령화가 진행되고 있는 현 상황에서, 지방의 도시철도 무임 손실비용 증가는 운수수익과 관련하여 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다. 한편, 무임 손실비용에 대한 국비보전이 이루어질 경우, 평균적으로 3.6%(TE), 2.5%(PTE)의 효율성 향상이 이루어지는 것으로 분석되었다.

Table 8. Revenue Ross considering Free Ride of Urban Railway Corporation (At the end of 2012)

Corporation	Ross (million won/year)	By Total Revenue (%)
Seoul Metro	143,746	18.2
Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp.	87,834	19.1
Busan Transportation Corp.	82,656	39.0
Daegu Metropolitan Transit Corp.	27,448	35.8
Incheon Transit Corp.	6,882	12.7
Gwangju Metropolitan Transit Corp.	6,233	65.3
Daejeon Express Transit Corp.	9,012	35.4

Data) Yearbook of administration use Statistics, 2013, Busan Transportation Corp.

6) 2012년 말 기준 주민등록상 인구는 서울 10,195천명, 부산 3,538천명, 인천 2,844천명, 대구 2,506천명, 대전 1,525천명, 광주 1,469천명 순임(국가통계포털, www.kosis.kr).

5.3 유사 도시철도노선 그룹간 특성을 통한 도시철도 효율성 향상 방안

Table 5에서 제시된 노선별 운영효율성 및 규모효율성 값을 다차원 척도법(MDS)을 적용하여 유사한 노선별로 그룹화 하였다.⁷⁾

분석결과, 2차원 분석에 의해 Fig. 2와 같이 4개의 유사성을 가진 그룹으로 분류되었으며, 운영효율성과 규모효율성 값을 기준으로 그룹별 특성을 비교한 결과(Table 9), A그룹으로 분류된 부산4호선과, 광주1호선은 운영효율성 향상전략을, D그룹으로 분류된 대전1호선과, 부산3호선은 규모효율성 향상전략에 중점을 둘 필요가 있는 것으로 분석되었다.

세부분석결과, A그룹은 운영효율성이 상대적으로 현저하게 낮

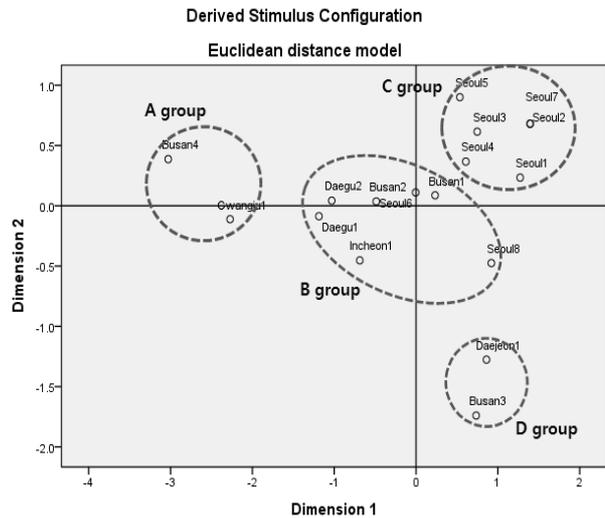


Fig. 2. Location on Space of Lines of Urban Railway In Two-Dimensional Analysis

Table 9. Efficiency Classification of the Lines of Urban Railway using Multidimensional Scaling (MDS)

Group	Line	Operational efficiencies	Scale efficiency
A	Busan line4, Gwangju line1	very low	average
B	Busan line1,2 Daegu line1,2 Seoul line6,8 Incheon line1	low	low
C	Seoul line1,2,3,4,5,7	high	high
D	Daejeon line1, Busan line3	average	very low

7) 일반적으로 앞서 수집한 속성별 입력자료(차량수, 운행횟수)를 그대로 사용하여 근접성자료를 계산하는 것이 보편적이지만, 수집된 입력자료는 속성별로 단위와 방향이 다르고 수집된 데이터를 그대로 단순 비교하는 데 변량의 차이가 크므로, 본 논문에서는 1범위 내로 정규화된 효율성값을 분석시 적용하였다.

은 그룹이다. 부산4호선은 전국 최초의 경전철 및 무인운전을 도입하여 운행 중 입에도 불구하고, 또한 광주1호선은 광주지역의 유일한 도시철도 노선입에도 불구하고 현저하게 수익성 측면에서 경쟁력이 낮아 전체적인 운영효율성이 낮은 그룹이다. B그룹은 운영효율성과 규모효율성 측면 모두 상대적으로 타노선 대비 중간에 위치해 있어 벤치마킹이 필요한 노선이다.

C그룹은 타 그룹군에 비해 전체적으로 수익성이 높은 그룹으로, 지리적 여건과 다수의 도시철도 노선이 운행됨에 따른 경쟁우위에 위치하고 있는 그룹군으로 파악된다. D그룹은 상대적으로 규모효율성이 현저히 떨어지는 그룹으로, 규모의 경제에 도달하기 위해서는 1편성당 차량수의 증가 및, 노선연장의 확대 등의 규모확대가 필요한 노선이다.

결과적으로, 도시철도노선의 수익성 증대방안은 다음과 같이 정리될 수 있다. 첫째, 적정규모의 도시철도의 노선연장 증대는 필요하며, 상대적으로 적은 노선을 보유한 지역노선의 경우 효율성 값이 상대적으로 낮음을 알 수 있었다. 적정규모의 증가는 수송수요를 유발시켜 안정적인 운수수익 확보에 기여할 수 있을 것이다.

둘째, 도시철도의 장점으로 제시되는 정시성, 쾌적성과 더불어 운영효율성 향상을 통한 이동성 개선에 초점을 맞출 필요가 있다. 앞의 자료포락분석을 통한 효율성 분석에서 도시철도의 비효율성은 규모의 문제보다 운영상의 문제가 더 큼을 알 수 있었다. 따라서, 수익성을 높이기 위한 적정 배치간격산정, 운행회수 조정 등 기존 열차운영시스템의 변경이 필요할 것이며, 향후 건설되는 노선의 경우 Skip-Stop방식의 홉노선 운행 또는 급행열차의 확대도입을 검토할 필요가 있다.

셋째, 대부분의 노선이 규모수익증가(IRS) 상태에 있음을 감안할 때, 노선연장은 확대하되, 노선당 소요되는 비용은 줄일 필요가 있다. 즉, 차량시스템 선정에 있어, 경전철 또는 노면전차의 도입으로 비용절감을 유도해야 할 것이다.

도시철도 이용수요의 증대가 한계에 직면해 있는 현 상황에서 교통수요를 창출하여 운수수익을 증대시킬 수 있는 방법은 도시철도의 경쟁력 제고를 위한 수송효율성 개선에 달려 있다. 즉, 도시철도의 수송효율성 향상은 근본적으로 교통시장에서 타 대중교통수단과의 구조적 경쟁성을 극복하고, 승용차와의 경쟁에서도 승용차 이용객의 도시철도로의 전환율을 높이는데 기여할 수 있을 것이다.

6. 결론 및 향후과제

6.1 결론 및 연구의 요약

도시철도의 경우, 막대한 건설비용과 운영비용이 소요되고 추진 중 또는 추진 예정인 사업이 많지만, 실질적인 수익을 담당하고 있는 노선에 대한 수송효율성과 규모의 경제성을 함께 규명한

분석 자료는 전무하다.

따라서, 본 연구에서는 자료포락분석(DEA)을 이용하여 2012년 기준 전국 17개 도시철도 노선별 효율성 및 규모경제성을 분석하였고, 운수수익에 직접적 영향을 미치는 무임 손실비용 및 운임체계별 효율성 영향정도를 검토하였다. 분석방법으로 채택한 DEA기법은 가격에 대한 정보와 자료 집계를 필요로 하지 않고, 다수의 투입 요소와 산출 요소를 통해 효율성을 측정하는 기법으로, 생산과정이 복잡한 도시철도수송 특성상 효율성 분석에 활용가치가 높다고 판단된다.

노선별 효율성 검토결과, 서울2호선과 서울7호선이 효율적 노선이며, 분석대상 17개 노선 중 35.3%인 6개 노선의 효율성이 0.5에도 도달하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 특히 부산4호선과 광주1호선은 효율성이 각각 0.0977, 0.2036으로, 전반적으로 투입되는 차량수 및 운행횟수 대비 충분한 수익을 창출하지 못하는 것으로 수도권보다 지방이 수요확보에 있어 상대적으로 열악한 것으로 분석되었다. 또한, 효율적 노선인 서울2호선과 7호선을 제외한 15개의 노선 중 11개의 노선에서 규모상의 비효율보다 운영상의 비효율이 상대적으로 커서 도시철도의 효율성 문제는 규모의 문제가 아니라 운영의 문제라는 것을 밝힐 수 있었다.

규모의 경제성 검토결과, 서울5호선을 제외한 대부분 노선에서 규모수익증가상태(IRS)에 있는 것으로 분석되었으며, 이는 일반적으로 행해지고 있는 비용감소를 위한 규모 축소가 운수수익증대에 기여한다고 볼 수 없으며, 운수수익증대를 위해서는 규모를 늘리는 것이 오히려 합리적인 접근법임을 밝혔다. 이 같은 결과는 현재 전국에서 추진중 또는 추진예정인 다수의 도시철도 건설 사업이 운수수익 증대측면에서는 오히려 부정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 단, 향후 도시철도 건설시 차량시스템을 경전철이나 노면전차로 변경하여 비용을 절감하고, 편성량수, 배차간격, 운행횟수 조정 등으로 열차운행을 효율적으로 하는 방향으로 추진하는 것이 필요할 것이다.

이와 같이 도시철도 노선별 효율성 정도가 상이한 것은 인구, 지리적 위치 등의 기본적인 요소가 작용하기 때문이나, 정확한 효율성분석을 위해서는 사회경제지표 외 외부요인으로써 효율성영향요인을 규명하여 이를 반영할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 PSO에 따른 무임 손실비용과 운임제도를 수송효율성 영향요인으로 제시하였고, 그에 따른 효과를 분석하였다.

검토결과, 무임 손실비용에 대한 국비보전이 이루어질 경우, 평균 3.6%(TE), 2.5%(PTE)의 효율성 향상이 이루어지는 것으로 분석되었으며, 특히, 부산 1,2호선과 광주1호선의 경우 효율성증가율이 8.9~12.2%(TE), 10.0~14.5%(PTE)로 수송효율성에 있어 무임 손실비용이 미치는 영향이 가장 큰 것으로 분석되었다. 또한, 운임체계별 운수수익의 영향정도를 검토한 결과, 균일요금제보다

거리비례제와 이동구간제의 효율성이 높은 것으로 분석되었으며, 특히, 균일요금제를 채택한 대구와 광주 노선의 경우 효율성값이 0.466으로 상대적으로 낮게 나타나, 수익확보에 부적절한 균일요금제의 단점을 증명한 것으로 구간에 따른 이용수요분석을 통한 운임체계의 개선이 절실한 것으로 분석되었다.

마지막으로, 자료포락분석기법(DEA)으로 도출된 효율성값을 다차원분석결과(MDS)를 통해 시각화한 결과, 적정수준의 노선연장 확대, 이동성개선을 위한 운영시스템의 변경, 차량시스템 변경을 통한 차량수 확보가 수익성증대를 위한 효율성 향상방안으로 제시되었다. 또한, 이를 상대적으로 효율성측면에서 열악했던 부산, 광주, 대전지역에 우선 적용하는 것이 바람직할 것으로 분석되었다.

이러한 결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 첫째, 본 연구에서 나타난 도시철도의 비효율성은 규모상의 문제가 아닌 운영상의 문제가 큰 것으로 분석되었으며, 일반적인 투입규모 감소는 도시철도 수송효율성을 향상시키는 접근법이 아님을 알 수 있었다. 따라서, 전국에서 시행중인 도시철도 건설사업은 도시철도 분담을 상승과 함께 운수수익에 긍정적인 영향을 미칠 것이다. 둘째, 구간 또는 거리에 따른 운임체계를 지향할 필요가 있다. 셋째, 무임 손실비용에 따른 운수수익의 손실에 대한 대비책으로, 국비보전요구와 동시에 이용횟수 제한제를 도입할 필요가 있다. 노인복지법 제26조에 의하면 도시철도에 대한 무임은 의무조항이 아니므로 사회적 공감대 형성이 이루어진다면 가능할 것으로 판단된다.

6.2 연구의 한계점 및 향후 연구과제

도시철도는 경기에 대해 비탄력적인 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 운임수준에 의한 수익증대 역시 한계에 도달했음을 보인다. 또한, 정부의 운영관련 재정지원은 전무하고, 지방자치단체가 지원하는 운영손실금 형태의 획일적인 보조금 지급 역시 수송효율성을 증대시키기에는 한계가 있다. 따라서, 운영에 대한 투자가 이루어지지 않은 현 상황에서 자구적 노력의 일환으로 도시철도 수송효율성을 높이기 위해서는 노선별 열차 운영에 초점을 둔 열차편성의 적정성 또는 열차운행패턴 관련 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 검토된 변수들은 도시철도 노선의 내부 속성으로 변수간 높은 상관관계로 인해 많은 변수가 고려되지 못한 한계가 있다. 도시철도 운수수익의 향상에는 지리적 위치, 인구, 도시 당 노선수 등의 다양한 변수가 영향을 미칠 것으로 예상됨에 따라 이를 고려한 효율성 분석연구가 필요할 것이다.

References

Cantos, P., Pastor, J. and Serrano, L. (1999). "Productivity, efficiency and technical change in the european railways; A non-parametric approach." *Transportation Academic Research Library*, pp. 337-357.

Chung, T. W. and Kwak, K. S. (2001). "A study on operation efficiency of container port by comparison of similar ports." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 19, No. 1, pp. 7-16 (in Korean).

Coeli, T. and Perelman, S. (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.

Cowie, J. (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.

Graham, D. J. (2006). "Productivity and efficiency in urban railways: Parametric and non-parametric estimates." *Transport Research, Part E*, 44, pp. 84-99.

Hwang, K. Y. (1999). *A study on the diversification of public transit fare system in Seoul*, Seoul Development Institute (in Korean).

Kim, H. W. (2010). *A study on the efficiency of Korean railway transport service using data envelopment analysis*, A Doctor's Thesis, Seoul National University of Technology (in Korean).

Kim, H. W., Kook, K. H., Moon, D. S. and Lee, J. S. (2009). "Measuring the efficiency in Korean railway transport using data envelopment analysis." *Journal of The Korean Society for Railway*, Vol. 12, No. 4, pp. 542-547 (in Korean).

Kim, J. Y. and Sim, G. S. (2008). "An efficiency evaluation on the metropolitan rapid transit using DEA." *Journal of Korean Industrial Economic Association*, Vol. 21, No. 4, pp. 1697-1723 (in Korean).

Kim, M. J. and Kim, S. S. (2003). "Analyzing the efficiency of Korean rail transit properties using data envelopment analysis." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 21 No. 4, pp. 113-132 (in Korean).

Kim, M. J. and Kim, S. S. (2004). "Analyzing the productivity of korean rail transit authorities : A nonparametric malmquist approach." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 22, No. 6, pp. 35-46 (in Korean).

Kim, S. H., Choi, T. S. and Lee, D. W. (2007). *Efficiency analysis : Theory and application*, Seoul Economic Management (in Korean).

Kim, S. H., Hong, S. H. and Choi, T. S. (2000). "Evaluating the relative operational efficiency of Korean national railroad." *Journal of The Korean Society for Railway*, Conferences, pp. 17-23 (in Korean).

Kim, S. P. (2000). "Price inducing effect of urban railway fare." *The Korean Economic Review*, Vol. 48, No. 4, pp. 139-162 (in Korean).

Lee, H. S., Kim, H. N., Shin, S. Y. and Park, J. S. (2010). "A plan to increase export by domestic and foreign urban railway fare system." *Journal of The Korean Society for Railway*, Conferences, No. 4, pp. 397-407 (in Korean).

Lee, H. Y. (2004). *A study on the improvement of subway fare system : Centered on Busan Subway*, Master's Thesis, Seoul National University (in Korean).

- Lee, J. D. and Ou, D. H. (2012). *Theory of efficiency analysis*, JIPHIL Inc (in Korean).
- Lee, J. H. and Jeong, K. H. (2004). *An analysis on the efficiency of Korean railways*, The Korea Transport Institute (in Korean).
- Lee, T. S., Lee, D. W., Jun, Y. J., Kwon, O. C. and Chung, J. K. (2006). "The improved device of Seoul subway fare system." *Journal of The Korean Society for Railway*, Vol. 9, No. 2, pp. 200-205 (in Korean).
- Lee, T. S., Lee, D. W., Ryu, J. W. and Chung, C. (2007). "The improvement plan on fare and ticketing system of seoul metropolitan subway considering construction and operational costs." *Journal of The Korean Society for Railway*, Vol. 10, No. 3, pp. 327-336 (in Korean).
- Lee, W. G., Kim, M. G. and Lee, S. K. (2010). *A study on the policy of Busan's public transportation fare*, Busan Development Institute (in Korean).
- Lee, Y. M. and Yoo, J. K. (2009). "Analyzing the influence factors on efficiency of railway transport using DEA and tobit model." *Journal of The Korean Society for Railway*, Vol. 12, No. 6, pp. 1030-1036 (in Korean).
- Mo, S. W., Lee, K. B. and Kim, S. Y. (2012). "An efficiency of rail passenger transport and its determinants." *Journal of Korean Industrial Economic Association*, Vol. 25, No. 4, pp. 2627-2644 (in Korean).
- Na, Y. (2008). *A study on marketing decision-making about subway fare and management improvement : Focusing on the Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation*, Master's Thesis, University of Seoul (in Korean).
- Oum, T. H. and Yu, C. (1994). "Economic efficiency of railways and implication for public policy." *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 121-138.
- Yoo, G. S. and Kim, S. J. (2012). *A study on the operational efficiency of urban railway system based on data envelopment analysis*, The Seoul Institute (in Korean).