

시내버스 운송업의 운영효율성 분석 : 준공영제와 민영제 비교를 중심으로

최승현^{1*} · 조규석² · 유연승³ · 도명식⁴

¹한국운수산업연구원 책임연구원, ²한국운수산업연구원 부원장,

³서울시립대학교 교통공학과/스마트시티학과 박사과정, ⁴한밭대학교 도시공학과 교수

Analysis of the Operation Efficiency of the City Bus Industry: Focusing on Comparison Between Semi-Public and Private Operating Systems

CHOI, Seunghyun^{1*} · CHO, Gyu Seok² · YU, Yeonseung³ · DO, Myung Sik⁴

¹Chief Researcher, Korea Research Institute of Transportation Industries, Seoul 02504, Korea

²Vice-President, Korea Research Institute of Transportation Industries, Seoul 02504, Korea

³Ph.D Course, Department of Transportation Engineering/Department of Smart Cities, University of Seoul, Seoul 06703, Korea

⁴Professor, Department of Urban Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

*Corresponding author: chois@kriti.re.kr

Abstract

Local governments on a private operating system basis are more difficult than those semi-public operating system, indicating that appropriate evaluation is needed on the impact of differences in the city bus operating system on the city bus transportation industry. Therefore, in this study, DEA (Data Envelopment Analysis) and Malmquist Productivity Index analysis were performed on 16 local governments in Korea to assess the impact of city bus operating system on the urban bus industry. First, for analysis, domestic local governments considering the urban bus operating system were divided into two groups: semi-public operating system and private operating system. Input variables for analysis include four variables: number of drivers, number of employees, operating costs, and subsidies, and two output factors including number of passengers and revenue were considered. Next, the operation efficiency of the urban bus industry was analyzed using the CCR/BCC model, which is the DEA's representative analysis methods, and the Malmquist productivity index model. The result showed that first, regardless of COVID-19, the operation efficiency of semi-public system was higher than that of private system. Also, regions with a large number of passengers, such as Ulsan and Gyeonggi, even though they have private operating systems, showed high operation efficiency. Second, in order to secure the operation efficiency of the urban bus industry, it was found that an additional 11.8% of drivers, 13.1% of employees, 11.3% of operating costs, and 14.0% of subsidies are needed per bus. Third, due to COVID-19, productivity was found to have decreased by 7% in the regions with semi-public operating system and 14% in the regions with private operating system. In particular, the rate of productivity decline in private operating systems was found to be about twice as large as that in the regions with semi-public systems. It is expected that the results of this study could be helpful in establishing efficient operation plans for the current urban bus industry by identifying the operation efficiency of the urban bus industry and establishing policies to ensure operation efficiency.

J. Korean Soc. Transp.
Vol.42, No.1, pp.94-106, February 2024
<https://doi.org/10.7470/jkst.2024.42.1.094>

plSSN : 1229-1366
elSSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY
Received: 7 December 2023
Revised: 4 January 2024
Accepted: 23 January 2024

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Keywords: bus operating system, city bus industry, DEA, malmquist productivity index, operation efficiency

초록

최근 코로나19를 겪으면서 시내버스 업계의 경영애로는 더욱 가중되었다. 특히 준공영제로 운영중인 지역 보다 민영제로 운영중인 지역의 어려움이 더욱 커진 것으로 나타나, 시내버스 운영체제가 시내버스 운송업에 미치는 영향력 등에 대한 적절한 평가가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 시내버스 운영체제가 시내버스 운송업에 미치는 영향력을 살펴보기 위해 국내 16개 지자체를 대상으로 자료포락분석과 맘퀴스트 생산성지수 분석을 수행하였다. 먼저, 분석을 위해 국내 지자체를 시내버스 운영체제를 고려하여 준공영제와 민영제 지역의 2개 그룹으로 구분하였다. 분석을 위한 투입변수로는 운전자수, 종사자수, 운영비용, 재정지원금 4개 변수를, 산출요소로는 승객수와 운송수의 2개 변수를 고려하였다. 다음으로 DEA의 대표적인 분석 방법인 CCR/BCC 모형과 맘퀴스트 생산성지수 모델을 활용하여 시내버스 운송업의 운영효율성을 분석하였다. 그 결과로는 첫째, 코로나19에 상관없이 민영제 지역 대비 준공영제 지역의 운영효율성이 높게 나타났으며, 민영제 지역임에도 울산, 경기 등 수송규모가 큰 지역은 운영효율성이 높게 나타났다. 둘째, 시내버스 운송업의 운영효율성을 확보하기 위해서는 버스 1대당 운전기사 11.8%, 종업원 13.1%, 운영비용 11.3%, 재정지원금 14.0%가 추가적으로 필요한 것으로 나타났다. 셋째, 코로나19로 인하여 준공영제 지역은 7%, 민영제 지역은 14% 생산성이 감소한 것으로 나타났으며 특히, 민영제 지역은 준공영제 지역 대비 생산성 감소율이 약 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 본 연구 결과를 바탕으로 시내버스 운송업의 운영효율성을 파악하고 운영효율성을 확보하기 위한 정책을 수립함으로써 현재 시내버스 운송업의 효율적인 운영 방안 수립에 본 연구가 도움을 줄 수 있을 것이라 기대된다.

주요어: 버스운영체제, 시내버스 운송업, 자료포락분석, 맘퀴스트 생산성지수, 운영효율성

서론

시내버스 운영체제는 자산의 소유, 관리운영방식에 따라 크게 민영제, 준공영제 그리고 공영제로 구분할 수 있다. 2021년 전국의 시내버스 총 업체수는 370개이며 운영체제별 점유율은 공영제 1.2%, 준공영제 60.0%, 민영제 38.8%로 대부분 준공영제와 민영제의 형태로 운영되고 있는 것으로 나타났다. 대표적인 준공영제 모델인 수입금공동관리형은 특정노선에 대한 수입금을 민관이 공동으로 관리, 즉 수입금을 회수하고, 운행실적에 따라 적정이윤을 포함한 운송비용을 배분하는 형태로 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 제주, 충북 청주 등에서 도입시행하고 있다. 공영제 모델은 세종시, 신안군, 정선군 등에서 도입시행하고 있으며, 이외의 지역에서는 민영제를 중심으로 운영되고 있다. 민영제의 경우 민간회사의 독립채산을 원칙으로 운영하고 있으나 최근에는 운영적자의 일부를 지자체의 재정지원으로 충당하고 있는 상황이다. 하지만 운송적자보전과 인센티브 지원까지 이루어지는 준공영제에서의 재정지원과 비교하면 민영제에서의 재정지원은 많이 부족한 상황이다. 또한 최근 코로나19로 인한 시내버스 운송업의 매출액은 코로나19 이전 대비 약 25% 정도 감소한 것으로 나타났으며, 이러한 적자규모는 요금수입으로만 운송비용을 충당하는 산업구조하에서 감내하기 힘든 규모이다. 그나마 준공영제 시행지역에서는 지자체의 지원으로 운행 서비스가 유지되고 있으나 민영제 중심의 지자체에서는 재정지원이 불충분해 감축 운행 등 교통불편 심화로 이어지는 악순환을 반복하고 있다. 이러한 측면에서 민영제를 기반으로 운영 중인 지자체에서도 준공영제 및 공영제 도입에 대한 논의가 활발히 진행되고 있어, 이와 관련된 정량적인 분석 또한 필요한 시점이다. 따라서 본 연구에서는 시내버스 운영체제가 시내버스 운송업에 미치는 영향력을 살펴보기 위해, 코로나19 전·후인 2017~2021년을 대상으로 분석을 수행하였다. 또한, 각 지역별 시내버스 운송업의 효율성 변화를 살펴보기 위해 국내 16개 광역자치단체 지역을 준공영제 지역과 민영제 지역으로 구분한 뒤, 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)을 활용하여 운영효율성 측정과 규모수익을 분석하였다. 또한 본 연구에서는 코로나19 발생 전·후의 시계열자료를 분석에 활용하기 위하여 추가적으로 맘퀴스트 분석을 수행하였다. 맘퀴스트 모델을 통한 생산성지수 분석을 통하여 시내버스 운영체제별 특성을 고려한 전략적 관리체계를 구축할 수 있을 것으로 보이며, 시내버스 운송업의 효율성을 제고하고 경쟁력을 확보할 수 있는 버스정책 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

이론적 고찰 및 선행연구

1. 버스 관련 선행연구 검토

선행연구 고찰 결과는 Table 1과 같다. 먼저 국내 관련 연구를 살펴본 결과, 버스업체(Jung et al., 2013; Oh et al., 2002; Oh and Kim, 2005) 또는 시내버스노선(Kim and Sim, 2021; Sung, 2019; Sung and Kang, 2019)을 대상으로 자료포락분석을 활용한 연구가 많이 수행된 것으로 나타났다. 또한 분석 대상 지역은 수도권 또는 광역지자체에 한정된 것으로 나타났다. 대표적으로 Jung et al.(2013)은 자료포락분석을 활용하여 버스업체에 대한 재정지원체계 변화가 버스노선의 효율성에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 재정지원체계 변화는 버스노선의 효율성 개선에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 버스노선의 운영효율성 결정에는 운행거리, 대당 운행횟수, 배차간격 요소 등이 유의미한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 또한 Kim and Sim(2021)은 수원시의 버스노선을 대상으로 운영효율성을 분석하였다. 분석결과, 규모수익적인 측면에서 일부 효율적으로 운영되고 있는 버스노선도 존재하지만, 기술적 효율성 측면에서는 규모로 인한 비효율성이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 국외 관련 연구들은 버스업체, 노선을 대상으로 하는 연구(Di et al., 2019; Sheth et al., 2007; Hahn et al., 2013) 이외에 버스의 운영체제(공영제, 민영제)를 고려한 연구(Chang and Kao, 1992)와 도시간의 버스운송업 효율성을 비교한 연구(Gadepalli and Rayaprolu, 2020) 등이 수행한 것으로 나타났다. 선행연구고찰 결과 자료포락분석을 적용한 연구들이 다수 존재하고, 연구의 목적에 따라 다양한 입력변수와 출력변수를 적용하고 있는 것으로 나타났다. 국내 선행연구의 경우 특정 지역 및 시기만을 고려하여, 버스업체 또는 버스노선의 운영효율성 분석을 중심으로 하는 연구가 이루어졌다. 국외 선행연구 또한 국내연구와 유사한 특성을 보이나, 시내버스 운영체제를 고려한 효율성 비교, 다수의 도시별 특성을 고려한 효율성 비교 분석 등에 대한 연구가 수행되었다. 하지만, 기존 연구들이 주로 사용한 CCR(BCC)기반의 분석은 데이터가 특정 시점에 한정된 횡단면(cross-sectional)자료를 이용한 자료포락분석으로 의사결정단위의 효율성이 시간의 흐름에 따른 변화 등을 제대로 파악하기 어렵다는 한계가 있다. 따라서 본 연구는 기존 연구와의 차별성을 위해 시계열자료의 효율성 분석에 강점이 있는 맘퀴스트 생산성지수 분석을 추가적으로 수행하였다. 또한 전국의 광역지자체를 대상으로 시내버스 운송업과 버스운영체제의 효율성을 분석함으로서, 시내버스 운송업의 운영 효율성 향상을 위해 필요한 요소들을 객관적인 관점에서 정량적으로 제시한 점이 기존 연구와 차별된다고 할 수 있다.

Table 1. Previous study on bus related efficiency analysis

Authors (year)	Analysis target	Analysis method	Input variable	Output variable
Chang and Kao (1992)	5 Bus company	DEA	Capital, Labor, Diesel fuel	Vehicle kilometers, Revenue, No. of bus traffic trips on routes
Kim and Kim (2002)	81 Bus company	DEA	Labor, Fuel ,Vehicles, Maintenance worker	City type bus, Seat type
Oh et al. (2002)	69 Bus company	DEA, Tobit regression worker	Labor, Fuel, Vehicles, Maintenance worker	No. of passengers, Travel distance
Oh and Kim (2005)	57 Bus company	DEA	Fuel, Drivers, Maintenance worker, Management, Vehicles	Travel distance, No.of passengers, Travel distance+No.of passengers
Sheth et al. (2007)	Bus routes	Network DEA	Headway, Operating cost, Intersection, etc	Vehicles-mile, Passengers-mile
Han et al. (2009)	Bus company	DEA	No.of Vehicles, Travel distance, No.of stops, Intervals	No. of passengers, Revenue
Lao and Liu (2009)	Bus routes	DEA	Operating time, No. of stops	No. of passengers
Jung et al. (2013)	95–97 Bus routes	DEA, Tobit regression	Route Length, Fleet Size, Frequency, Monthly Revenue, No. of Passenger Frequency per Vehicle, Headway, per day per vehicle Costs	

Table 1. Previous study on bus related efficiency analysis (continued)

Authors (year)	Analysis target	Analysis method	Input variable	Output variable
Hahn et al. (2013)	58 Bus company	Network DEA	Total costs, The ratio of stops of median bus lanes to all bus stops, The ratio of CNG vehicles to fleet of vehicles, Vehicle-km, Travel speed	Total riders, The error rate of average headway, Air pollution cost
Di et al. (2019)	Public transit systems	SE-NDEA model	Local authority, Bus operators, Passengers, Uncontrollable environmental factors and the externality	Public transit system's production efficiency, Service effectiveness, Operational effectiveness
Sung(2019)	45–57 Bus route	DEA	Travel distance, Travel time, No. of Vehicles, Headways, No. of Operation	Total riders, No.of transfer riders, Total revenue
Sung and Kang (2019)	134 Bus route	DEA, Tobit regression model	Travel distance, Travel time, No.of Vehicles, Headways, No. of Operation	Total riders, Total revenue, No.of transfer riders
Gadeppalli and Rayaprolu (2020)	8 City (Bus company)	DEA	Bus held, Total staff, Total cost	Effective kilometers, Passenger kilometers, Total revenue
Kim and Sim (2021)	87 Bus route	DEA	No.of vehicles, Bus stop, Facilities for elders and people with disabilities, Curvature	Intervals, No. of passengers, Railway station, Redundancy, Revenue
Kim and Hong (2021)	515–695 Bus route	DEA, Tobit random effect model	Frequency in operation, Operating distance, Whether the line is via highway, Highway toll, Whether the line is via capital region	-

2. 효율성 측정방법론 : DEA 및 맘퀴스트 생산성지수 분석

본 연구에서는 오픈소스 데이터분석 소프트웨어인 R을 기반으로 구축된 DEA 및 맘퀴스트 생산성지수 모델을 활용하여 분석을 수행하였다. 각 모형에 대한 설명은 아래와 같다.

1) CCR/BCC 모형 분석

DEA는 비모수적 통계방법론으로 Charnes et al.(1978)이 최초로 제안하였으며, 효율성 정의의 명확화, 다수의 투입과 산출요소 고려 가능 측면에서 큰 장점이 있다. 또한 개별 의사결정단위(Decision Making Unit, DMU)들의 상대적인 효율성을 비교하며, 어떤 투입 혹은 산출요소를 개선해야 효율성이 나아질 수 있는지에 대한 시사점 등을 도출할 수 있어 교통 이외에도 다양한 분야에서 활용되고 있다(Ko, 2017). 본 연구에서 의사결정단위는 개별 자자체를 의미한다. DEA는 규모의 수학에 대한 가정에 따라 규모에 대한 수학불변(Constant Returns to Scale, CRS) 가정인 CCR 모형과 규모에 대한 수학가변(Variable Returns to Scale, VRS)인 BCC모형으로 구분된다. 두 모형의 차이는 CRS인 경우에는 투입 한 단위 증가에 따라 증가하는 산출량이 일정하고, VRS의 경우에는 이 양이 일정하지 않다는 점에 있다(Ko, 2017). 규모의 경제성에 접근하였는지를 측정하기 위한 지표인 규모효율성(Scale Efficiency, SE)은 CCR모형의 기술효율성(θ)과 BCC모형의 순수기술효율성(ϕ)을 나눈 값으로서 측정($\theta \div \phi$)된다. 여기서, $SE < 1$ 이면 규모의 비효율이 있어 DMU는 규모에 대한 수익체감(Decreasing Returns to Scale, DRS) 또는 수익가변(Increasing Returns to Scales, IRS)상태로 표현될 수 있다. $SE = 1$ 이면 규모에 대한 비효율성이 존재하지 않는 수익불변(Constant Returns to Scales, CRS) 상태로 표현될 수 있다. 따라서 DMU의 현재 규모효율성 수준에 따라 규모의 축소 또는 확장을 통해 효율성을 개선할 수 있다(Jang and Yang, 2011).

2) 맘퀴스트 생산성지수 분석

맘퀴스트 분석은 패널자료에 DEA기법을 적용하여 기술 변화에 따른 효율성 변화를 생산성 개념을 이용하여 분

석하기 위해 개발되었다. 맘퀴스트 분석에서는 효율성 점수라는 용어가 아닌 맘퀴스트 생산성지수(Malmquist Productivity Index, MPI)라는 용어를 사용한다(Caves et al., 1982). 맘퀴스트 생산성지수는 패널자료 형태로 얻어지는 자료를 DEA 방법을 이용하여 분석할 때 주로 사용하고 있으며 국내외 많은 논문들이 맘퀴스트 생산성지수를 사용하고 있다. 맘퀴스트 생산성지수(M_I)를 산출하기 위한 공식은 Equation 1과 같다.

$$M_{I_K} = \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, K 는 의사결정단위(지자체), x 는 투입변수, y 는 산출변수, t 는 기준시점, $t+1$ 은 기준시점 대비 1년 뒤의 시점 을 의미하며, $D^t(x^t, y^t)$, $D^{t+1}(x^t, y^t)$, $D^t(x^{t+1}, y^{t+1})$, $D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 은 각 시점별 투입변수와 산출변수간의 거리함수를 의미한다. Equation 1에서 $M_{I_K} < 1$ 이면 $t+1$ 시점의 효율성이 t 시점에 비해 감소하여 생산성이 감소했다는 것을 의미한다. 반대로 $M_{I_K} > 1$ 이면 $t+1$ 시점의 효율성이 t 시점에 비해 증가하여 생산성이 증가했다는 것을 의미한다 (Jang and Yang, 2011). Equation 1은 DMU_K 의 기술변화(Technical Change, TC)와 효율성변화(Efficiency Change, EC)를 산출하기 위하여 Equation 2로 변형할 수 있다.

$$M_{I_K} = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^t(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} = EC \times TC \quad (2)$$

Equation 2의 첫 번째 항인 EC 는 두 시점($t, t+1$)간의 효율성 변화를 나타내며, $EC < 1$ 이면 효율성 감소, $EC > 1$ 이면 효율성 증가를 의미하게 된다. 두 번째 항 TC 는 두 시점 간 기술변화의 기하평균 값으로 프론티어의 변화를 나타내며 $TC < 1$ 이면 기술 퇴보, $TC > 1$ 이면 기술 진보를 의미한다. 본 연구에서는 Equation 2를 이용하여 M_{I_K} 를 산정하였으며, 투입변수와 산출변수의 거리함수는 CRS 기반의 DEA모형을 활용하여 산정하였다(Jang and Yang, 2011).

연구 설계

1. 분석대상(DMU) 선정 및 투입/산출변수 선정

1) 의사결정단위(DMU) 선정

2021년을 기준으로 준공영제 운영지역은 7개 지역(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 제주), 민영제 운영지역은 9개 지역(울산, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남)으로 구분된다. 민영제 운영지역 중 경기, 충북, 강원, 전남의 일부 지자체는 준공영제 또는 공영제를 도입하였지만, 해당 운영체제의 낮은 점유율 또는 도입 초기에 있다는 점을 고려하면 민영제 지역으로 분류해도 문제가 없다고 판단하였다. 또한, 세종특별자치시는 2017년부터 공영제가 도입됨에 따라 민영제와 공영제가 혼합되어 운영되고 있으며, 분석기간내에 공영제 도입에 따른 대중교통체계 개편이 활발히 이루어짐에 따라 공영제 운영체제의 운영효율성을 비교·분석하기에는 적합하지 않다고 판단되어 본 분석에서는 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 국내 16개의 광역자치단체를 DMU로 선정하여 분석을 진행하였다.

2) 투입 및 산출변수 선정

투입변수와 산출변수는 앞서 Table 1의 참고문헌 분석결과를 참조하여 선정하였다. 먼저, 투입변수는 시내버스 운송서비스를 제공하기 위해 투입된 운전자수, 종사자수, 운영비용, 재정지원금으로 선정하였다. 운전자수와 종사자수는 전국버스운송사업조합연합회(이하 버스연합회)의 버스통계편람을 활용하였다. 운영비용은 통계청의 운수

업조사보고서에서 영업비용(인건비, 정비비, 타이어비, 연료비, 기타 비용 등) 데이터를 취득하였으며 재정지원금은 버스연합회에서 보유하고 있는 각 시·도별 재정지원금 데이터를 활용하였다. 출력변수는 수송인원과 매출액으로 선정하였다. 수송인원은 버스연합회의 버스통계편람 보고서에서 시내버스 운송업의 수송인원 데이터, 매출액(운수업 영업활동으로 얻어진 연간 수입 총액)은 통계청의 운수업조사보고서에서 운수업 매출액 데이터를 취득하였다. 모든 투입변수와 산출변수는 버스 1대당 투입량과 산출량으로 변환하여 분석에 활용하였다. 각 변수에 대한 세부내용은 Table 2와 같으며, Table 3에는 각 변수의 5년 평균값을 나타냈다.

Table 2. Input and output variables

Type	Variables	Unit	Data source
Inputs	Number of drivers (x_1)	Drivers/Vehicles/Year	Handbook of bus statistics
	Number of employees (x_2)	Employees/Vehicles/Year	Handbook of bus statistics
	Operating costs (x_3)	One billion KRW/Vehicles/Year	Report on the transportation survey
	Subsidies (x_4)	One billion KRW/Vehicles/Year	Federation of bus business associations
Outputs	Number of passengers (y_1)	One million person/Vehicles/Year	Handbook of bus statistics
	Revenue (y_2)	One billion KRW/Vehicles/Year	Report on the transportation survey

Table 3. Average of input and output variables

Category	Input variable				Output variable	
	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
Semi-public operating system	Seoul	2.34	0.36	2.52	0.46	18.80
	Busan	2.25	0.37	2.49	0.68	21.62
	Daegu	2.49	0.26	1.68	0.91	14.01
	Incheon	2.41	0.29	2.09	0.75	13.35
	Gwangju	2.35	0.32	2.13	0.58	11.48
	Daejeon	2.38	0.27	1.97	0.71	13.63
	Jeju	1.91	0.21	1.67	1.05	9.10
Private operating system	Ulsan	2.17	0.26	2.17	0.81	10.65
	Gyeonggi	1.72	0.28	1.75	0.24	12.39
	Gangwon	1.52	0.50	1.15	0.59	7.13
	Chungbuk	1.94	0.34	1.87	0.59	7.58
	Chungnam	1.70	0.29	1.39	0.44	6.82
	Jeonbuk	2.09	0.26	1.60	0.99	8.31
	Jeonnam	1.73	0.29	1.29	0.49	6.05
	Gyeongbuk	1.58	0.29	2.20	0.41	6.55
	Gyeongnam	1.87	0.28	1.83	0.62	9.68
						1.52

앞서 선정된 투입변수와 산출변수에 대한 상관계수 분석결과는 Table 4와 같다. 먼저 각 입력변수간의 상관관계는 최소 -0.263에서 최대 0.542 수준으로 나타났다. 각 출력변수와 입력변수 간의 상관관계 분석결과에서는 버스 1대당 종사자수와 운영비용이 다소 높은 상관관계를 보였으며, 종사자수와 재정지원금은 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이를 통해 다수의 종사자를 확보하고 많은 운영비용을 투입하여 운행할수록, 이용자수와 매출액이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 변수 간의 다중공선성 분석결과 분산팽창인수(Variance Inflation Factor, VIF) 값이 1.264–8.047의 범위에서 나타나 다중공선성에 대한 문제는 없는 것으로 나타났다. 분석에 활용할 최종 변수를 선정하는 과정에 있어, DEA는 상관관계가 높은 변수가 분석결과에 미치는 영향에 대해서도 명확하지 않으며, 같은 변수 그룹에서 높은 상관관계(0.8 이상)가 있는 변수를 제거하는 경우에는 효율성 예측에 큰 영향을 줄 수 있다(Avkiran, 2006; Dyson et al., 2001). 따라서 앞서 제시한 변수들이 상관계수, 다중공선성 측면에서 문제가 없는 것으로 나타나 본 연구에서 선정된 변수들을 활용하여 분석을 진행하였다.

Table 4. Results of correlation analysis

Category	Number of drivers	Number of employees	Operating costs	Subsidies	Number of passengers	Revenue
Number of drivers	1					
Number of employees	-.232*	1				
Operating costs	.542**	-.058	1			
Subsidies	.409**	-.263*	.130	1		
Number of passengers	.612**	.204	.561**	-.057	1	
Revenue	.674**	.053	.879**	.053	.755**	1

note : **<0.01, *<0.05

또한, DEA에서 DMU의 수를 적절하게 선정하는 것은 분석결과의 정확성을 높이기 위해 고려해야 할 중요한 요소이다. DMU의 수를 결정하는 기준은 일반적으로 투입이나 산출변수의 수를 고려하여 투입변수와 산출변수를 더 한 값의 최소 2배 또는 3배 이상이 적절하다는 연구결과가 많이 인용되고 있다(Zhu, 2009; Banker et al., 1984; Boussofiane et al., 1991). 앞선 상관관계분석에 따라 선정된 투입변수 4개와 출력변수 2개를 기준으로 최적 DMU 수를 산출할 경우, 최소 12개 이상의 DMU가 필요하다. 따라서 본 연구에서 선정한 16개의 DMU와 투입 및 출력변수 개수는 DEA 모형의 타당성과 신뢰성에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

실증 분석

본 절에서는 국내 16개 지자체에 대해 CCR모형을 통해 기술 효율성(TE), BCC 모형을 통해 순수기술 효율성(PTE)을 분석하고, 규모효율성(SE) 및 규모수익(RTS)을 분석하였다. 또한 CCR모형을 통한 비효율성 분석을 수행하여 중감시켜야 할 투입·산출요소의 값을 분석하였다. 마지막으로 맘퀴스트 생산성지수를 분석하여 전년도 대비 생산성 변화를 분석하였다.

1. CCR, BCC 모형 분석

1) CCR, BCC 모형의 효율성 분석 결과

CCR 모형과 BCC 모형을 이용하여 2017년부터 2021년까지 5년간 16개 지자체를 버스운영체제로 구분하여 기술효율성(TE)과 순수기술효율성(PTE)을 분석하였으며, Table 5에서는 운영체제별 평균 효율성에 대한 분석결과를 살펴볼 수 있다. 2017년을 기준으로 준공영제 지역은 0.99, 민영제 지역은 0.82의 평균 기술효율성이 나타났다. 규모의 비효율을 제거한 평균 순수기술효율성(PTE)은 준공영제 지역 1.00, 민영제 지역 0.96으로 규모의 비효율을 제거 할 경우 민영제 지역의 효율성이 크게 높아졌음을 알 수 있다. 2018년 이후에도 2017년과 비슷한 양상을 보이는데 순수기술효율성(PTE)이 기술효율성(TE)보다 높게 나타난 이유는 기술효율성에 대한 비효율적인 원인이 지자체 내부의 수송서비스 기술차이 보다 규모의 차이에 더 있음을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 기술효율성(TE)이 상대적으로 낮은 지자체들은 내부의 기술적인 비효율에 그 원인이 있다고 판단된다.

Table 5. Results of efficiency analysis

Category	2017		2018		2019		2020		2021	
	TE	PTE								
Semi-public operating system	0.99	1.00	0.94	0.99	0.97	1.00	0.96	1.00	0.98	1.00
Private operating system	0.82	0.96	0.80	0.97	0.83	0.98	0.77	1.00	0.77	0.97

2) 규모효율성 및 규모수익 분석 결과

16개 지역에 대한 규모효율성 및 규모수익 분석 결과는 Table 6과 같다. 2017년~2019년에는 7~8개 지역에 대해서만 1 미만의 비효율적인 값이 나타났다. 코로나19가 창궐한 2020년에도 8개 지역만이 비효율적인 것으로 나타났으나, 2021년에는 11개로 비효율적인 지역이 확대된 것으로 나타났다. 지역별 특성을 살펴보면 준공영제를 기반으로 운영중인 지역에 대해서는 규모효율성이 확보된 것으로 나타났으나, 민영제를 중심으로 운영중인 지역에 대해서는 규모효율성 확보가 어려운 것으로 나타났다.

Table 6. Results of scale efficiency and returns to scale analysis

Category		2017		2018		2019		2020		2021	
		SE	RTS								
Semi-public operating system	Seoul	1.00	CRS								
	Busan	1.00	CRS								
	Daegu	0.98	IRS	1.00	CRS	0.99	IRS	1.00	CRS	0.99	IRS
	Incheon	1.00	IRS	1.00	IRS	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS
	Gwangju	1.00	IRS	0.99	IRS	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS
	Daejeon	0.99	IRS	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS
	Jeju	1.00	CRS	0.66	IRS	0.78	IRS	0.72	IRS	0.86	IRS
Private operating system	Ulsan	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS	0.93	IRS
	Gyeonggi	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS	0.87	IRS	0.87	IRS
	Gangwon	0.75	IRS	0.72	IRS	0.84	IRS	0.67	IRS	0.65	IRS
	Chungbuk	0.81	IRS	0.81	IRS	0.69	IRS	0.57	IRS	0.61	IRS
	Chungnam	0.80	IRS	0.71	IRS	0.80	IRS	0.75	IRS	0.81	IRS
	Jeonbuk	0.74	IRS	0.61	IRS	0.78	IRS	0.68	IRS	0.60	IRS
	Jeonnam	0.70	IRS	0.70	IRS	0.61	IRS	0.57	IRS	0.89	IRS
	Gyeongbuk	0.95	IRS	1.00	CRS	1.00	CRS	1.00	CRS	0.92	IRS
	Gyeongnam	0.93	IRS	0.82	IRS	0.83	IRS	0.78	IRS	0.82	IRS

이러한 경우, 투입 규모를 조정하여 투입대비 산출의 비율인 효율성을 변화시키는 것이 필요하다. Table 6을 살펴보면 최근 5년간 최적 규모상태인 수익불변(CRS)을 유지하고 있는 지역은 서울, 부산, 인천 3개로 나타났으며, 대구, 광주, 대전, 울산의 4개 지역도 특정시기를 제외하면 수익불변(CRS)상태에 있는 것으로 나타났다. 반면에 비효율적으로 운영되고 있는 지자체는 9개로 최적 규모로 다가가고 있는 규모에 대한 수익체증(IRS) 상태에 있는 것으로 나타났다. 규모에 대한 수익체증 상태에 있는 지자체는 규모를 늘림으로써 효율성을 제고시킬 수가 있다. 따라서 기술효율성은 규모효율성과 순수기술효율성에 각각 영향을 받고 있으며 이는 지역별로 최적 규모 하에서 운영되지 못한 부분과 주어진 산출물 하에서 투입요소를 최소화시키지 못한 부분으로 비효율성이 발생하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 각 지역의 효율성 개선을 위해서는 투입요소의 합리적 경영개선에 따른 기술수준의 향상과 아울러 규모의 비효율성을 제거하기 위하여 수익체증상태에 있는 지역은 서비스 규모를 확대하여 감으로써 효율성을 증대시킬 수가 있다. 규모수익이 IRS 상태인 지역들은 내부 효율성보다는 적정 규모 유지를 통해서 더욱 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

2. 지역간 CCR 모형을 적용한 비효율성 분석

본 절에서는 5년 동안 전국 시내버스 운송업의 평균 효율성을 기준으로 추가적으로 필요한 투입물과 산출물을 시내버스 운영체제로 구분하여 살펴보았으며 분석 결과는 Table 7과 같다. 먼저 전국 시내버스 운송업의 평균 효율성을 기준으로 살펴볼 경우, 버스 1대당 운전기사 11.8%, 종사자 13.1%, 운영비용 11.3%, 재정지원금 14.0%, 수송인원 8.5%, 매출액 8.7%가 추가적으로 필요한 것으로 나타났다. 버스 운영체제를 기준으로 살펴볼 경우, 준공영제 지역은 투입요소에 따라 2.9%~5.4%, 민영제 지역은 12.9%~15.6% 수준의 추가 투입이 필요한 것으로 나타났다. 재

정지원금 지표를 기준으로 살펴볼 경우, 준공영제 지역은 버스 1대당 0.04억 원, 민영제 지역은 0.09억 원만큼 추가적인 재정지원이 필요한 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 민영제 지역 대비 준공영제 운영지역의 버스 1대당 수송인원이 많아 준공영제 지역의 운영효율성이 상대적으로 높게 산정되었기 때문으로 판단된다.

Table 7. Results of inefficiency analysis

Category		x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
Total	Raw value	2.03	0.30	1.86	0.65	11.07	1.61
	Projected value	2.27	0.34	2.07	0.74	12.01	1.75
	%	11.8%	13.1%	11.3%	14.0%	8.5%	8.7%
Semi-public	Raw value	2.30	0.30	2.08	0.73	14.57	1.98
	Projected value	2.37	0.31	2.14	0.77	14.83	2.02
	%	3.0%	3.4%	2.9%	5.4%	1.8%	2.0%
Private	Raw value	1.81	0.31	1.69	0.58	8.35	1.32
	Projected value	2.08	0.35	1.93	0.67	9.23	1.47
	%	14.9%	12.9%	14.2%	15.6%	10.5%	11.4%

3. 맘퀴스트 생산성지수 분석

본 절에서는 지역별 버스운송서비스의 생산성변화를 분석하기 위하여 맘퀴스트 생산성지수를 측정하였다. 또한, 생산성 변화의 동인을 파악하기 위하여 맘퀴스트 생산성지수를 기술변화지수(TC)와 규모효율성변화지수(Scale Efficiency Change, SEC) 그리고 순수기술효율성변화지수(Pure Technical Efficiency Change, PTEC)로 분리하여 분석한 결과는 Table 8과 같다. 먼저, 연도별 맘퀴스트 생산성지수(MI)를 살펴보면, 2017년~2018년 준공영제 지역은 8%, 민영제 지역은 5% 생산성이 감소하였으며, 2018년~2019년에는 생산성이 각각 6%, 3% 증가한 것으로 나타났다. 하지만 2019년~2020년의 맘퀴스트 생산성지수는 1보다 작은 것으로 나타나, 버스 운영체제에 상관없이 모두 생산성이 감소한 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 2020년에 장궐한 코로나19에 기인한 것으로 판단되며, 특히 민영제 지역의 맘퀴스트 생산성지수 감소율은 14%로 준공영제지역의 감소율인 7%와 비교하여 더 크게 생산성이 감소한 것으로 나타났다. 또한 2020년~2021년의 생산성 또한 각각 2%, 5%씩 감소한 것으로 나타나 버스 운영체제에 상관없이 코로나바이러스9로 인한 생산성감소가 지속된 것으로 나타났다. 둘째, 맘퀴스트 생산성지수(MI)를 기술변화지수(TC)와 규모효율성변화지수(SEC)로 구분하여 살펴보았다.

Table 8. Results of mamquist productivity index analysis

Index	Operating system	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021
MI	Semi-public	0.92	1.06	0.93	0.98
	Private	0.95	1.03	0.86	0.95
TC	Semi-public	0.97	1.03	0.94	0.96
	Private	0.97	0.99	0.94	0.93
SEC	Semi-public	0.96	1.02	0.99	1.02
	Private	0.96	1.02	0.91	1.10
PTEC	Semi-public	0.99	1.01	1.00	1.00
	Private	1.02	1.03	1.00	0.95

코로나19 확산 초기시점인 2019년~2020년의 기술변화지수(TC)는 버스운영체제에 상관없이 6%씩 감소한 반면, 규모효율성변화지수(SEC)는 준공영제 지역은 1%, 민영제 지역은 9% 감소한 것으로 나타났다. 같은 시기 맘퀴스트 생산성지수(MI)의 감소폭이 민영제 지역이 더 크게 분석된 것을 고려하면, 민영제 지역은 코로나 시기의 버스 운영규모를 준공영제 지역 대비 효율적으로 개선하지 못한 것으로 해석할 수 있다. 이후 2020년~2021년의 분석결과에서는 규모효율성변화지수(SEC)가 전년도 대비 각각 2%, 10%씩 증가하여, 규모적인 측면에서는 효율성을 달

성한 것으로 나타났다. 특히 민영제 지역의 경우 코로나19 발병 첫해에 발생했던 규모효율적인 측면에서의 문제점을 코로나19 2년차에는 크게 개선한 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 분석결과는 2020년도에는 코로나19 팬데믹 이전의 운영규모가 지속됨으로 인하여 규모효율성이 감소하였으나, 2021년도에는 코로나19 팬데믹 상황을 타개하기 위하여 버스업계가 적정수준의 규모효율화를 수행하였다는 것으로 해석할 수 있다. 다만 기술변화지수(TC) 측면에서는 준공영제 지역이 4%, 민영제 지역이 7% 감소한 것으로 나타나, 코로나19로 인한 외부충격에 의한 생산성 하락은 지속되고 있는 것으로 나타났다. 마지막으로, 순수기술효율성변화지수(PTEC)는 2020년-2021년에 민영제 지역에서 5% 감소한 경우를 제외하면, 증가 또는 유지된 것으로 나타나 코로나로 인한 순수기술효율성변화지수(PTEC)의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 시내버스 운송업계 자체적으로 업무 비효율 개선 노력 등을 통해 경영 합리화 노력이 일정 수준에서 지속적으로 진행되고 있었기 때문으로 판단된다.

결론 및 향후 연구

1. 연구의 시사점

시내버스 운송업은 버스이용수요가 지속적으로 감소하는 등 어려운 환경에 처해 있다. 이를 해결하기 위해 정부 및 지자체에서는 준공영제 운영체제 도입, 시내버스 서비스 개선 등 다양한 대중교통 활성화 정책을 시도하고 있으며, 버스업계에서도 경영 효율화를 통한 수익성 증대를 위해 노력하고 있다. 이러한 여건 속에서 코로나19의 확산으로 인하여 국내 시내버스 운송업계의 어려움은 더욱 가중되었다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 시내버스 운영체제가 시내버스 운송업에 미친 영향력을 살펴보기 위해 국내 16개 지자체를 대상으로 자료포락분석 및 맘퀴스트 생산성지수 분석을 수행하여 준공영제와 민영제 도입 지역의 운영효율성 변화를 분석하였다. 주된 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 준공영제 지역이 민영제 지역에 비해 상대적으로 효율성이 높은 것으로 나타났다. 또한 기술효율성(TE) 대비 순수기술효율성(PTE)이 상대적으로 높게 나타났으며, 이러한 이유는 기술효율성에 대한 비효율적인 원인이 지자체 내부의 수송서비스 기술차이보다 규모의 차이에서 발생한 것으로 판단된다. 그럼에도 기술효율성(TE)이 상대적으로 낮은 지자체들은 지자체 내부 운송업체들의 기술적인 비효율에 그 원인이 있다고 판단된다. 따라서 기술효율성(TE)이 상대적으로 낮게 나타난 강원, 충북, 전북 등의 지자체들은 수송서비스 개선을 위한 추가적인 대중교통 정책이 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 최근 5년간 최적 규모상태인 수익불변(CRS)을 유지하고 있는 지역은 서울, 부산, 인천 3개이며, 대구, 광주, 대전, 울산의 4개 지역도 특정시기를 제외하면 수익불변(CRS)상태에 있는 것으로 나타났다. 비효율적으로 운영되고 있는 지자체는 9개로 최적 규모로 다가가고 있는 규모에 대한 수익체증(IRS) 상태에 있는 것으로 나타났다. 이론적인 관점에서 수익체증(IRS)상태에 있는 지역의 비효율성을 제거하기 위해서는 수송 서비스 규모를 확대하여 효율성을 증대시키는 것이 필요하다. 하지만 지역별 수송규모와 수송서비스 확대를 위한 재원 등을 고려하면 수송서비스를 확대하기만은 쉽지 않은 상황이다. 따라서 수송서비스 확대의 측면에서 지역 맞춤형 수요응답형 대중교통서비스의 도입과 이를 위한 재원마련정책 등이 필요할 것으로 보인다.

셋째, 지난 5년간 시내버스 운송업의 평균 효율성을 기준으로 추가적으로 필요한 투입물과 산출물을 분석한 결과, 준공영제 지역 대비 민영제 지역이 상대적으로 많은 자원의 투입이 요구되는 것으로 나타났다. 준공영제 지역은 수입금공동관리, 표준운송원가 방식의 총괄운송원가보전과 경영 및 서비스평가로 인한 업체의 자구노력 이외에 준공영제와 맞물려 시행된 노선체계 개편, 환승할인제도 등이 복합적으로 작용됨에 따라 상대적으로 적은 자원의 투입이 필요한 것으로 나타났다. 하지만 민영제 지역에서는 운송업체에 대한 일부 적자보전 이외에 노선체계 개편, 운송업체 운영 효율화를 위한 정책 등이 적절한 시기에 시행되지 못함에 따라 준공영제 지역 대비 상대적으로 많은 자원의 투입이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 정부 및 지자체에서는 민영제를 중심으로 운영되고 있는 중소도시와 농어촌 지역을 대상으로 운영 효율화를 위한 관련 정책을 마련·시행하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로, 맘퀴스트 생산성지수 분석결과, 코로나19 발병 첫해인 2020년의 생산성은 전년과 비교하여 준공영제 지역은 7%, 민영제 지역은 14% 감소한 것으로 나타났다. 이듬해인 2021년에도 전년 대비 각각 2%, 5%씩 생산성이 감소하였으며 특히, 민영제 지역은 준공영제 지역 대비 생산성 감소율이 약 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 규모 효율성 측면에서는 2021년을 기점으로 회복한 것으로 나타났으나, 기술변화 측면에서는 코로나19로 인한 외부충격에 의한 생산성 하락은 지속된 것으로 나타났다. 대중교통정책 측면에서 살펴보면 준공영제 지역의 경우 도시철도가 운행됨에 따라 각 교통수단이 갖는 장·단점에 대한 상호보완이 이루어져, 대중교통수단의 운영효율성 증대에 상대적으로 유리한 측면이 있다. 하지만 대다수의 민영제 지역은 시내버스만이 유일한 대중교통수단으로 자리 잡고 있어, 대중교통수단의 운영효율성 증대에 어려움이 있는 것으로 판단된다. 따라서 민영제 지역의 경우 운영체계 전환, 통합교통서비스, 수요응답형 교통수단 도입 등을 위한 정부, 자자체 그리고 운송업체의 적극적인 노력이 요구된다.

2. 향후 연구 방향 및 한계점

본 연구는 다음과 같은 한계를 가지고 있다.

첫째, 외부여건에 대해 충분히 고려하지 못했다는 점이다. 서울시를 포함한 대다수의 준공영제 운영체계를 도입한 자자체의 경우, 준공영제 도입과 함께 노선체계 개편, 환승할인 도입, 중앙버스전용차로 설치 등의 대중교통체계 개편이 동시에 이루어졌다. 따라서 운영체계뿐만 아니라 노선체계 개편, 환승할인 도입, 대중교통시설 개선 등과 관련된 요소의 변화를 고려할 수 있는 추가적인 연구가 이루어진다면 더욱 타당성 있는 연구 결과가 도출될 수 있을 것이다.

둘째, 시내버스 운영체계의 운영효율성을 평가함에 있어 지역적 특성을 고려하지 못하였다. 운영효율성은 운영체계의 차이만으로 결정되는 것이 아니라 인구밀도, 버스이용률, 운행범위(면적) 등 환경적인 요소에 기인한 측면도 있어 이들에 대한 영향정도가 고려된 분석이 필요하다고 판단된다.

셋째, 개별 운송업체 또는 노선 등 미시적인 관점에서의 운영효율성 변화를 분석하지 못하였다. 시내버스 서비스는 지역별로 다수의 운송업체가 다수의 노선을 대상으로 서비스가 이루어지고 있는데, 본 연구에서는 거시적 관점에서의 운영효율성 변화를 파악하기 위해 해당 부분을 고려하지 못하였다. 향후, 미시적인 관점에서 노선 또는 업체 등을 대상으로 하는 연구가 필요할 것이다.

마지막으로 공영제 운영체계와의 비교 또한 필요하다고 판단된다. 본 연구에서는 데이터의 한계로 인하여 공영제로 운영 중인 지역에 대한 분석은 이루어지지 못하였다. 민영제로 운영중인 자자체의 경우 준공영제 또는 공영제로의 전환을 검토하고 있어, 향후 공영제와의 비교·분석을 통한 분석이 이루어진다면 운영체계간의 효율성 비교측면에서 더욱 타당성 있는 연구 결과가 도출될 수 있을 것이다.

시내버스 서비스 제공 및 유지를 위하여 시내버스 서비스에 대한 투자와 정책에 대한 노력이 지속되고 있음에도 불구하고, 대내외적인 여건들로 인하여 시내버스 서비스의 운영효율성은 악화되고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 국내 시내버스 서비스에 대한 운영효율성을 분석하고, 시내버스 운영체계별로 나타나는 운영효율성 등에 대한 분석결과를 제공하였다. 이를 통하여 국내 시내버스 서비스의 개선방향 및 정책을 마련함에 있어 도움이 될 것으로 기대된다.

Funding

This work was supported by the Korea Research Institute of Transportation Industries grant funded.

ORCID

CHOI, Seunghyun  <http://orcid.org/0000-0002-3271-4601>
CHO, Gyu Seok  <http://orcid.org/0009-0004-6149-5163>
YU, Yeonseung  <http://orcid.org/0009-0005-4132-7362>
DO, Myung Sik  <http://orcid.org/0000-0002-8738-0442>

REFERENCES

- Avkiran N. K. (2006), Productivity analysis in the Service Sector with Data Envelopment Analysis, Available at SSRN 2627576.
- Banker R. D., Charnes A., Cooper W. W. (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Boussofiane A., Dyson R. G., Thanassoulis E. (1991), Applied Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 52(1), 1-15.
- Caves D.W., Christensen L.R., Diewert W.E. (1982), The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity, *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.
- Chang K. P., Kao P. H. (1992), The Relative Efficiency of Public Versus Private Municipal Bus Firms: An Application of Data Envelopment Analysis, *Journal of Productivity analysis*, 3(1-2), 67-84.
- Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Di Y., Liqun X., Jinpei L. (2019), Evaluating the Performance of Public Transit Systems: A Case Study of Eleven Cities in China, *Sustainability*, 11, 3555.
- Dyson R. G., Allen R., Camanho A. S., Podinovski V. V., Sarrico C. S., Shale E. A. (2001), Pitfalls and Protocols in DEA, *European Journal of Operational Research*, 132(2), 245-259.
- Gadepalli R., Rayaprolu S. (2020), Factors Affecting Performance of Urban Bus Transport Systems in India: A Data Envelopment Analysis (DEA) Based Approach, *Transportation Research Procedia*, 48, 1789-1804.
- Hahn J. S., Kim D. K., Kim H. C., Lee C. (2013), Efficiency Analysis on Bus Companies in Seoul City Using a Network DEA Model, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17, 1480-1488.
- Han J. S., Kim H. R., Ko S. Y. (2009), A DEA(Data Envelopment Analysis) Approach for Evaluating the Efficiency of Exclusive Bus Routes, *Journal of Korean Transportation Society*, 27(6), 45-53.
- Jang Y. J., Yang D. H. (2011), Analysis of Global Malmquist Productivity Index Changes in Public Hospitals, *The Korean Journal of Health Economics and Policy*, 17(4), 89-107.
- Jung B. D., Kim K. S., Kim K. H. (2013), An Investigation of the Effect of Government Subsidy Scheme to Bus Industry on the Efficiency of Inner-City Bus Route System, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(6), 2455-2464.
- Kim S. H., Sim T. I. (2021), The Analysis of Efficiency for the City Bus Route Operation using DEA: Focused on Suwon City, *J. Korean Soc. Transp.*, 39(3), Korean Society of Transportation, 264-279.

- Kim S. S., Kim M. J. (2002), Economies of Scale and Scope in Seoul's Urban Bus Industry, Journal of Korean Transportation Society, 19(6), 89-102.
- Kim W., Hong S. H. (2021), The Effect of COVID-19 on the Efficiency of Intercity Bus Operation: The Case of Chungnam, Sustainability, 13(11), 5958.
- Ko K. H. (2017), Theory of Efficiency Analysis, Moon Woo.
- Lao Y., Liu L. (2009), Performance Evaluation of Bus Lines with Data Envelopment Analysis and Geographic Information Systems, Computers, Environment and Urban Systems, 33, 247-255.
- Oh M. Y., Kim S. S. (2005), Productivity Changes by Public Transport Reforms in the Seoul's Urban Bus Industry, J. Korean Soc. Transp., 23(7), Korean Society of Transportation, 53-61.
- Oh M. Y., Kim S. S., Kim M. J. (2002), Analysis of the Efficiency of the City Bus Transportation Business in Seoul using the Data Envelope Analysis Technique (DEA), J. Korean Soc. Transp., 20(2), Korean Society of Transportation, 59-68.
- Sheth C., Triantis K., Teodorovic D. (2007), Performance Evaluation of Bus Routes: A Provider and Passenger Perspectives, Transportation Research Part E, 43, 453-478.
- Sung W.Y. (2019), A Comparative Study on the Efficiency of Semi-Public Bus System in Seoul and Busan, The Journal of Humanities and Social Sciences, 20(4), 291-327.
- Sung W.Y., Kang J.H. (2019), An Analysis on Efficiency and Influencing Factors of the Quasi-Public Bus Operating System in Busan Metropolitan City Using DEA, The Journal of the Korea Contents Association, 19(2), 349-367.
- Zhu J. (2009), Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, Springer(New York).