

버스노선 운영체계의 효율성 평가

김경식¹ · 정병두^{2*} · 김기혁²

¹ 울산광역시 대중교통과, ² 계명대학교 교통공학과

Evaluating Efficiency of the Bus Route Operation System

KIM, Kyoung Sik¹ · JUNG, Byung Doo^{2*} · KIM, Ki Hyuk²

¹ Public Transportation Division, Ulsan Metropolitan City, Ulsan 680-701, Korea

² Department of Transportation Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

The main objective of the research is to analyse the efficiency of bus route operation system which is comprised of Individual Operation System and Joint Operation System. While the reformation of bus route operation system has been usually considered as a service upgrade strategy for inner-city bus operation, it is comparatively difficult to have background information for policy establishment due to shortage of analytical research output. This study adopts Data Envelopment Analysis technique to estimate efficiency of 101 bus routes in Ulsan Metropolitan City which operates two types of operation systems at the same time as of 2009. The analysis results tells that the reason of inefficiency lies on pure technical factor for J.O.G., and scale factor for I.O.G.. It is also confirmed that there is bus route which inefficiently operated in I.O.G and city government needs to prepare the specific plan to upgrade pure technique efficiency before reformation of bus route operation system for successful installation.

본 연구는 개별노선제와 공동배차제로 구분되는 버스노선 운영체계의 효율성을 분석하였다. 최근 시내버스 서비스 개선을 위해 버스노선 운영체계의 개편이 자주 검토되지만 실제 정책검토의 기초자료가 부족하고 이에 대한 연구결과 또한 상대적으로 부족한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 두 가지 운영체계를 복합운영중인 울산시의 2009년 현재 101개 버스 노선을 대상으로 자료포락분석기법을 적용하여 버스노선별 효율성을 분석하였다. 분석결과 공동배차제는 규모면에서는 상대적으로 안정적이었으나, 효율성 측면에서는 개별노선제가 더 효율적인 것으로 나타났다. 특히 비효율의 원인은 공동배차제의 경우는 순수 기술적 요인, 개별노선제는 규모의 효율성에 있는 것으로 제시되어, 공동배차제의 책임성 부재로 인한 마케팅 및 노선관리의 등한시 현상과, 개별노선제의 노선운영 책임성 부여에 따른 현재 상태에서의 최적 노선운영을 확인할 수 있었다. 또한 개별노선제 운영노선이라도 순수 기술적 요인에 의한 비효율이 발생하는 것으로 분석되어 노선운영 체계개편 시에는 순수 기술적 효율성 제고방안 마련이 반드시 수반되어야 할 것이다.

Key Words

Data Envelopment Analysis, Efficiency, Individual Operation System, Joint Operation System, Tobit Analysis
자료포락분석, 효율성, 개별노선제, 공동배차제, 토빗분석

* : Corresponding Author
jungbd@kmu.ac.kr, Phone: +82-53-580-5345, Fax: +82-53-580-5259

Received 21 March 2013, Accepted 9 July 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지난 20여 년간 사회적 여건변화에 기인한 버스운송 업체의 수익성 악화와 이로 인한 서비스의 질적 저하는 대중교통수단으로서 시내버스의 안정적인 서비스 제공에 영향을 미치고 있다. 이러한 문제 해결을 위해 도입된 버스준공영제는 2004년 7월 서울시가 최초 시행한 이후 울산을 제외한 5대 광역시에서 확대 시행중에 있다. 그리고 버스준공영제는 대구, 광주, 대전과 같이 준공영제 도입과 동시에 버스노선 운영체계를 기존의 공동배차제에서 개별노선제로 전환한 도시와 서울, 부산, 인천과 같이 하지 않은 도시로 분류할 수 있다(Mo et al., 2007).

대도시에서 시행 중인 버스준공영제를 포함한 대중교통 체계개편의 긍정적 효과에 고무된 일부 지방 중소도시도 노선운영체계, 재정지원체계 등의 개편을 검토하였지만, 재정지원 규모의 증가와 서비스 개선에 대한 확신 부족 등으로 개편 추진이 중단된 사례가 있다.

특히 노선운영 체계개편은 효과분석에 대한 실증적 연구결과가 부족하고 기존 연구 역시 대도시를 중심으로 도시철도 준공에 따른 버스노선 체계개편을 위한 방편으로 수행되어 타 도시에서 정책 수립을 위한 자료로 활용하기에는 다소 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 공동배차제와 개별노선제로 대별되는 버스노선 운영체계의 유형별 효율성을 분석하여 지역 여건에 적합한 대중교통 서비스 제공을 위한 정책 수립 기초자료를 제시하고자 한다. 특히 인구의 감소, 도시철도의 지속적 건설 등으로 인해 시내버스 이용승객의 전반적 감소가 예상되는 시점에서 시내버스의 경쟁력 강화를 위하여 보다 안정적이고 지속적인 버스 서비스 제공방향을 모색하는데 연구목적이 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 시내버스 노선운영체계의 효율성을 검토하는데 있어서 분석의 주안점을 버스노선의 효율성에 두었는데, 이는 노선운영체계 개편의 목적이 버스노선의 운영 효율성 제고에 있기 때문이다.

효율성 분석 대상은 2009년 12월 현재 시내버스 노선 101개를 8개 업체가 운영 중인 울산광역시로 선정하였는데, 59개 노선은 5개 업체 중심의 공동배차제로,

42개 노선은 3개 업체가 개별노선제로 운영 중이어서 두 가지 운영체계의 효율성 비교가 가능하다.

노선운영체계 효율성 평가를 위해서는 먼저 자료포락 분석(Data Envelopment Analysis)기법을 활용하여 노선운영체계별 효율성 값의 평균을 구한 후, 비모수통계기법 중 하나인 맨-윌트니(Mann-Whitney) 분석방법을 적용하여 버스노선 운영체계 간 효율성 차이 여부를 분석하였다. 마지막으로 토빗분석을 통해 노선운영체계별 효율성 결정요인을 제시하였다.

II. 기존 문헌 고찰

1. 버스노선 운영체계관련 선행연구

본 연구에서 지칭하는 버스노선 운영체제는 특정노선을 운영하는 사업자 수에 따라 구분되는데 노선운영 사업자가 1개 업체일 경우 개별노선제로, 2개 업체 이상일 경우 공동배차제로 분류할 수 있다.

개별노선제는 버스업체가 고유의 노선을 운영함에 따라 책임성이 부여되고 자율적인 계획과 운영이 가능하며 업체 간 경쟁개념 도입으로 서비스 개선 측면에서 긍정적인 효과가 있는 반면 노선의 사유화, 적자노선에 대한 서비스 질 악화, 업체 간 수입금 불균등 및 마찰과 갈등의 소지가 있을 수 있다. 한편 공동배차제는 개별노선제에서 발생하는 업체간 수입금 불균형이나 노선간 수입금 경쟁을 어느 정도 해소하기 위해 모든 버스업체가 노선, 수입금, 차량 등을 공동운영하는 방식이다. 우리나라 실정에는 노선의 공동관리가 가장 적합한데 버스준공영제 도입이전 대구, 대전, 광주, 대전 등에서 시행하였으며, 단점으로는 노선운영의 책임성 부재로 인한 마케팅 및 운영관리 등한시 경향과 서비스 수준의 질적 저하 등이 있다(Ko and Hwang 1994, Kim 1998, Kwon 2002).

Kwon (2002)은 1990년 이후로 공동배차제를 시행하고 있는 대구시를 대상으로 공차운행으로 인한 운송원가 증가, 운전자 노선숙지 어려움, 운송업체 경영악화 문제 보완방안의 하나로 시내버스의 권역별 공동배차제를 검토하였다. Kim (1998)은 부산 지하철 2호선 1단계 완공(1998년 하반기) 이후 예상되는 시내버스의 운송수지 악화에 대비하여 대중교통수단의 공영화를 위한 기초 작업의 일환으로 공동배차제를 제시하였다. Ko and Hwang (1994)은 서울시 제2기 지하철의 단계적 완공과 공영차

고지 시범조성계획을 계기로 권역별 공동배차제 도입을 검토하였다.

이와 같이 버스노선 운영체계 관련 선행연구들은 대도시 지역을 대상으로 도시철도 건설 및 버스업체운송수지 개선, 서비스 개선 추진방안의 일환으로 공동배차제를 검토하였다. 또한 공동배차제의 이론에 기초한 시행방안이 주를 이루는 반면 운영효과 분석 등에 대한 실증적인 자료는 다소 미비하다고 할 수 있다.

2. 자료포락분석 관련 버스 분야 선행연구

DEA 기법 적용 선행연구 중 버스업체의 효율성을 분석한 연구로는 Kim et al. (2002), Oh et al. (2002)가 대표적이며, 버스업체의 생산성 변화를 분석한 연구는 Choi (2004), Oh and Kim (2005), Oh and Kim (2008), Oh and Kim (2010), Han (2011b)과 Jung and Kim (2012) 등이 있는데 이중 Choi (2004)와 Jung and Kim (2012)을 제외한 선행연구는 버스준공영제 도입 전·후 버스업체의 생산성 변화에 초점을 두었다고 할 수 있다.

한편 버스노선을 대상으로 DEA 모형을 적용한 선행연구로는 Han et al. (2009, 2010), Han (2011a) 등이 있는데, Han et al. (2009)는 서울시 간선버스노선의 효율성을 평가하였고, Han et al. (2010)은 유해산출물을 고려한 서울시 간선버스노선의 효율성을 평가하였으며, Han (2011a)은 인천시를 대상으로 버스준공영제 도입 전·후 시내버스 노선의 효율성 변화를 분석하였다.

국내연구 중 버스분야를 대상으로 한 DEA 모형의 적용은 지자체의 재정지원에 따른 버스업체의 생산성 및 효율성 분석, 그리고 노선의 효율성 분석이 주를 이루고 있는 반면 노선운영체계 효율성에 대한 분석 연구는 거의 수행되지 않은 것으로 보인다.

한편 DEA를 이용한 국외 버스분야관련 선행연구는 국내 연구 동향과 유사하게 주로 버스업체의 생산성과 효율성 그리고 노선의 효율성 분야가 주를 이루고 있다. Tsamboulas (2006)는 유럽 15개국 버스업체를 대상으로, Odeck (2008)은 업체간의 합병현상이 효율성에 미치는 영향을 노르웨이 버스업체를 대상으로, Sampaio et al. (2008)은 유럽 12개 도시와 브라질 7개 도시의 버스업체를, Yu and Fan (2009)은 대만의 대중교통체계를 대상으로 효율성을 분석하였다. Taddon (2006)과 Barnum et al. (2008)은 노선 효율성 추정시 외부적인 환경요인을 반영

하는 방안을 제시하였고, Sheth et al. (2007)은 업체, 승객, 그리고 사회적 관점을 동시에 고려하였으며, Lao and Liu (2009)는 버스노선의 운영측면 효율성과 승객에 의한 버스서비스의 소비를 의미하는 공간 측면 효과성을 추정한 바 있다.

III. 연구방법론

1. 자료포락분석

자료포락분석(Data Envelopment Analysis)은 비모수적 효율성 측정방법으로 선형계획법에 근거하여 평가대상의 경험적인 투입요소와 산출물 간의 자료를 비교하여 효율적인 프론티어(Efficient Frontier)를 만들어 낸 후 가장 효율적인 가상의 대상과 비교함으로써 상대적 기술효율성을 측정하는 방법이다.

효율성(Efficiency)이란 자원의 사용에 대한 그 사용결과 즉 산출량/투입량의 비율을 가지고 투입수준 고정시 가장 많은 산출물이 생산되는 능력 또는 동일한 산출량을 생산하기 위해 투입물을 최소화하는 능력으로 정의된다.

DEA에서 파악 가능한 대표적인 효율성으로 기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성이 있다. 기술효율성은 순수 기술효율성(Pure Technical Efficiency)과 규모효율성(Scale Efficiency)의 곱으로 표현된다. 규모효율성은 의사결정단위(Decision Making Unit: DMU, 여기서 노선)의 생산규모가 최적 규모 상태인가를 측정하는 것이다.

만일 생산규모가 최적규모에 미치지 못하여 규모에 대한 수익체증(Increasing Return to Scale)상태에 있다면, DMU는 추가 생산의 이득을 향유하고 있지 못하고 있음을 나타낸다. 한편 생산 규모가 최적규모를 초과하는, 즉 규모에 대한 수익 체감(Decreasing Return to Scale)을 보이고 있다면 DMU는 초과생산으로 인한 불이익을 감수하는 결과를 초래하게 된다. 따라서 최적 생산규모는 증가나 감소가 나타나지 않는 점에서 결정되는 즉 규모에 대한 수익불변(Constant Return to Scale)상태이며, 이 경우 규모의 효율성은 1의 값을 갖게 된다. 순수 기술효율성은 기술효율성에서 규모의 효율성의 효과를 제거한 것으로 규모의 효율성이 1일 때 기술효율성과 순수 기술효율성은 같은 값을 가지게 된다.

2. 본 연구의 DEA 모형 전제조건

이 연구에서는 분석을 수행하기 위해 BCC모형을 사용하고자 하며, 전제조건으로는 투입지향, 가변규모수익, 강처분성, 방사성을 가정한다. 버스와 같은 대중교통의 경우 산출물 조정보다 투입물의 조정이 더 용이하다고 할 수 있으므로 투입지향을 전제조건으로 하였다. 그리고 DEA의 DMU인 노선별 효율성은 노선여건 및 운영특성에 따라 규모수익불변에서 결정되지 않고 규모 크기(규모수익증가나 규모수익감소)에 따라 결정될 수 있음을 고려하여 가변규모수익을 가정하였다.

또한 공익을 추구하는 대중교통 서비스의 특성상 정부의 규제 또는 노조의 요구 등으로 인한 과다 사용 또는 부족산출이 용인될 수 있다고 가정하여 과다 사용 등에 대해 비용 없이 처분 가능한 강처분성을 가정하였으며, 강처분성과 약처분성의 구분이 가능한 방사적 측정기법을 적용하여 버스노선의 상대적 효율성을 추정한 후 운영체제별로 효율성의 평균값 등을 비교하고자 한다.

IV. 분석자료 구축 및 투입·산출변수 선정

1. 울산광역시 시내버스 현황

울산광역시의 버스노선 수는 2009년 12월 현재 122개, 업체 수는 15개 운행대수는 총 631대이다. 버스업체 중 7개 업체는 지역 내 근거리 운행을 담당하는 지선 버스를 운영하고 있으며 운행대수는 10대 미만인 아주 영세한 업체들이다. 버스노선 운영체제는 5개 회사가 공동배차제에 참여하고 있고 나머지 3개사는 개별노선제로 운영 중인데 본 연구에서는 지선버스를 제외한 총 8개사가 운영하는 101개 노선의 효율성을 추정하여 노선 운영체제별 효율성을 비교하고자 한다.

전국 특·광역시 중 버스준공영제를 시행하지 않고 있는 울산시는 민영제를 근간으로 한 재정지원체제를 운영하고 있으며 버스업체에 대해 무료환승 보전, 적자노

선 재정지원, 유류세 보전 등을 실시하고 있다. 무료환승 보전은 2004년 10월부터 시행 중으로 첫 번째 탑승차량의 하차시간을 기준으로 1시간 동안 회수 제한없이 환승이 가능하며 2009년 기준 예산액은 112억원이다. 노선 운행으로 발생하는 손실액에 대한 재정지원은 매년 실시하는 시내버스 운송원가조사 용역에서 도출된 노선별 운송원가와 실제 운송수입금을 토대로 실적자액을 산출한 후 책정된 예산범위 내에서 적자액 비율을 적용하여 지원하고 있으며 2009년 기준 예산액은 39.8억원이다.

울산시 버스노선 운영체제의 특성을 살펴보면 공동배차노선은 울산의 시가화 지역을 주로 연계하고, 개별노선제 운영노선은 시가화 지역과 도시외곽지역을 연결하며 업체별로 각기 다른 운행 특성을 보이고 있다.

먼저 공동배차제 운영업체들이 출자한 A업체는 공동배차 노선 중 적자노선을 인계받아 운영 중이고, B업체는 울산시 기초 지자체인 울주군 지역과 울산의 시가화 지역인 중구와 남구를 연계하는 노선을 운영하고 있으며, 인근 양산시에 본사를 둔 C업체는 고속도로를 경유하여 울주군의 언양지역과 울산의 시가화지역을 연계하는 3개 노선을 운영 중이다.

이와 같이 개별운영 노선들은 주로 도심외곽지역을 연계하므로 공동배차노선에 비해 운행거리가 상대적으로 길고 운송원가는 높게 산정되는 반면 공동배차 노선들에 비해 적은 운행횟수와 긴 배차간격을 유지하는 일종의 수요대응형 서비스를 제공하고 있으며 B업체가 가장 대표적인 예라고 할 수 있다.

울산시의 버스노선 운영체제별 특성을 요약하면 다음과 같다. 먼저 노선운행 손실액에 대한 재정지원방식은 노선운영체제와 관계없이 동일하며, 노선특성은 공동배차노선이 시가화 지역을 주로 연계하는 반면 개별운영노선은 도시외곽지역을 연계하고 있어 상대적으로 운송원가가 높게 형성되고 있다.

운송수입금 특성을 보면 선발주자인 공동노선 업체는 흑자노선을 일부 운영하고 있지만 개별노선 업체는 이용객 수가 상대적으로 적은 외곽지역을 운행하기 때문에 수입금 수준이 낮고 대부분 적자노선이다.

2. 분석자료 구축

본 연구는 각 노선별로 효율성을 추정 후 노선운영체제별로 효율성 값을 비교·평가하기 때문에 노선특성변수를 중심으로 분석 자료를 구축하였는데 여객자동차운

Table 1. Bus operation statistics of Ulsan

No. of Bus Route	No. of Bus Company	Fleet Size	No. of Company in Each Route Operation Group
122	15	631	JOG 5, IOG 3

Note) JOG : Joint Operation Group, IOG : Individual Operation Group

Table 2. Descriptive statistics of data

Variable		Mean	Max	Min	S.D.	
Input Variable	D1	JOG	25.4	55.0	9.5	8.5
		IOG	29.2	51.6	8.7	10.7
	D2	JOG	7.5	29.0	1.0	6.3
		IOG	3.7	10.0	1.0	2.9
	D3	JOG	40.5	137.0	5.5	30.2
		IOG	23.4	90.0	4.0	19.8
	D4	JOG	20.0	168.0	8.0	36.8
		IOG	41.0	257.0	11.0	60.7
	D5	JOG	103	147	45	29
		IOG	111	176	45	32
	D6	JOG	448	538	299	77
		IOG	471	575	299	63
Output Variable	D7	JOG	984	4,879	48	1,099
		IOG	584	3,714	41	674

Note) 1. D1 : Route Length(km), D2 : Fleet Size(number of vehicles), D3 : Service Frequency, D4 : Headway(min), D5 : Number of Bus Stop, D6 : Unit Operation Cost per Vehicle per day(Thousand Won), D7 : Annual Revenue(Million Won)
 2. JOG : Joint Operation Group(59 Routes), IOG : Individual Operation Group(42 Routes)
 3. Source : Unit Operation Cost Survey Report of Inner-city Bus for Ulsan Metropolitan City in 2010

수사업법에서 명시한 버스 노선 운행계통 5개 세부항목과 운행소요비용을 의미하는 운송원가, 그리고 노선별 연간 운송수입금의 총 7개 항목으로 선정하였다. 분석 자료를 공동배차제 운영노선 59개와 개별노선제 운영 42개 노선으로 구분한 기술통계량은 Table 2와 같다.

DEA 모델을 활용한 노선별 효율성 추정 선행연구에서는 노선의 굴곡도, 중복도, 서비스 만족도 등을 고려하였으나 효율성의 체감은 서비스 공급자와 수요자 모두에게 투입물인 운행대수와 관련이 있고 개선방안 역시 차량 증차 등과 직접적인 연관이 있기 때문이다.

3. 투입 · 산출변수 선정

버스노선 운영체계 효율성 분석을 위한 전 단계로서 산출물에 대한 투입물의 영향 및 설명력을 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였다.

산출물인 종속변수는 노선별 연간 운송수입금으로 선정하고 Table 2에 명기한 6개 투입물을 독립변수로 투입하여 분석한 결과 운행대수를 독립변수로 사용한 모형이 가장 적합한 모형으로 도출되었으며 그 결과는 Table 3과 같다. 산출물로 연간 총 승객 수 등 이용객

Table 3. Estimation result of regression analysis for selection of input variable

Variable	Coefficient	t-statistics
Constant	-206.450	-6.235
Fleet Size	169.309	41.037
R ²	.944	
Adjusted R ²	.944	
Observations	101	

관련 자료를 활용하지 않은 이유는 울산시 버스 노선별 운행실적은 승객 수가 아닌 운송수입금을 기준으로 작성하여 관리하고 있으며 승객 수로 전환할 경우 자료특성의 변화가 예상되기 때문이다.

V. 버스노선 운영체계의 효율성 평가

1. 효율성 분석결과

본 연구에서는 시내버스의 노선 효율성 측정을 통한 노선운영체계의 효율성 평가를 위하여 운행대수 투입물 대비 운송수입금의 최대 산출물 생산능력을 투입지향 BCC모형의 순수기술적 효율성 측면에서 분석하였으며 추정된 노선별 효율성 값을 노선운영체계별로 분류한 결과는 Table 4와 같다.

분석결과 효율성 값이 1인 노선 수는 CCR 모형의 경우 공동배차제는 1개이고 개별노선제는 전무하고, BCC 모형에서는 공동노선이 6개인 반면 개별노선은 12개로 나타났다. 이는 업체의 규모를 배제하고 순수기술적인 측면을 고려했을 때는 개별운영 노선의 효율성이 상대적

Table 4. Estimation result of bus route efficiency by operation group

Category	Joint Operation Group			Individual Operation Group		
	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE
No. of Routes (Efficiency = 1)	1	6	1	-	12	-
Mean	0.52	0.66	0.80	0.47	0.76	0.66
Maximum	1.00	1.00	1.00	0.68	1.00	0.95
Minimum	0.21	0.33	0.21	0.18	0.50	0.18
S.D.	0.16	0.15	0.19	0.15	0.17	0.25
No. of Route Frequently Referred	1 (No.401)			1 (No.317)		

Note) 1. CRS(Constant Return to Scale) : CCR Model
 2. VRS(Variable Return to Scale) : BCC Model
 3. SE(Scale Efficiency)

으로 높다는 것을 의미한다.

상대적으로 효율성이 높아 벤치마킹해야 할 필요성이 있는 참조집수가 많은 준거집단에 해당하는 노선 수는 공동배차노선과 개별노선 모두 1개로 분석되었다.

CCR 모형 점수로는 최적 규모 측면의 효율성을 분석할 수 있는데 공동배차제의 점수(0.52)가 개별노선제의 점수(0.47)보다 높아 규모 측면에서는 공동배차제가 다소 안정적인 상황임을 알 수 있다.

BCC모형의 점수 분석을 통해서도 비효율의 원인을 분석할 수 있는데 공동배차노선은 BCC모형 점수(0.66)가 규모의 효율성 점수(0.80)보다 낮아 비효율성의 원인은 순수 기술적 요인에 있음을 알 수 있다. 한편 가장 비효율적인 노선은 233번으로 분석되었는데 원인은 투입변수인 운행대수의 과다 투입으로 판단되며 이는 앞서 공동배차제의 단점인 책임성 결여가 증명된 결과라고 볼 수 있다. 따라서 기술적 비효율성 해소를 위해 버스업체에서는 승객 증가유도를 위해 다양한 방안을 마련할 필요가 있다고 하겠다.

한편 개별노선제는 BCC모형 점수(0.76)가 규모의 효율성 점수(0.66)보다 상대적으로 높아 전체적인 비효율성의 원인이 규모의 비효율성에 있어 해당 버스 노선들은 지금보다 운행대수를 더 증가시켜 효율성을 증대할 필요가 있다는 해석이 가능하다. 이러한 분석결과를 통해 공동배차 노선은 책임성 부재라는 단점때문에 비효율성의 원인이 순수 기술적 요인으로 파악된 반면 개별운영 노선은 독자적 노선운영에 따른 책임성 강화로 현재 여건에서 최적의 노선운영을 하고 있고 차량 증차를 통한 수익성 증대도 가능하다는 것을 알 수 있다.

공동배차제 노선의 운행여건은 상대적으로 균일한 반면 개별노선제 운영 3개 업체의 상이한 운행여건 비교를 위해 업체별 노선 효율성을 분석하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

규모 측면의 효율성 비교를 위한 CCR모형 점수는 C업체가 가장 높고 다음은 A업체, B업체 순으로 분석되었다. 기술적 효율성을 보여주는 BCC모형 점수는 B업체가 가장 높고 다음은 C업체, A업체 순으로 분석되었다. A업체와 C업체는 BCC모형 점수가 규모의 효율성 점수보다 낮아 업체별 비효율의 원인이 운행대수 과다 투입과 같은 순수 기술적 요인이라고 볼 수 있는 반면 B업체는 BCC모형 점수가 오히려 높아 규모의 비효율성 즉 운행대수 부족에 원인이 있는 것으로 나타났다.

이상의 분석결과를 종합하면 개별운영 노선에서도 공

동배차제와 마찬가지로 순수기술적인 요인에 의해 비효율이 발생할 수 있으며 이러한 경향은 업체별 운행여건의 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 버스노선 운영체계 개편을 준비할 경우에는 노선 효율성 제고를 위하여 운행대수 증가 이외에도 다양한 방안 마련이 전제되어야 한다고 할 수 있다.

한편 비효율적인 분석대상의 효율성을 개선하기 위해 투입요소인 운행대수의 절감비율을 운영체제별로 분류한 결과는 Table 6과 같다. 공동배차제 노선은 절감가능한 투입물의 비율이 34% 정도인 반면 개별운영 노선은 24.3%인 것으로 분석되었다. 특히 개별노선제 운영중인 A업체는 공동배차제 노선보다 약 4.7% 정도의 추가 절감이 가능해 개별노선제의 장점을 살리지 못하고 있는 것으로 분석되었고, B업체는 절감 가능규모가 17.1%로 나타나 개별노선제의 장점이 가장 극대화된 업체라는 것을 알 수 있다.

한편 버스업체 간 경쟁 해소를 통한 안정적 서비스 제공이 목적인 공동배차제는 차량증차 시에도 업체 간 공조가 전제되기 때문에 투입물인 운행대수의 절감가능비율이

Table 5. Efficiency estimation result by operator in IOG(Individual Operation Group)

Category	Operator A	Operator B	Operator C
Fleet Size	71	71	14
No. of Route	15	24	3
CRS	0.51	0.43	0.58
VRS	0.65	0.83	0.70
SE	0.77	0.57	0.83
No. of Routes Frequently Referred	0	12	0

Table 6. Reduction rate of input variable by operation group (Unit : %)

Category	J.O.G	I.O.G.			
		Average	A	B	C
Reduction Rate	34.0	24.3	34.7	17.1	29.7

Table 7. Test statistics of mann-whitney

Element	Efficiency
Mann-Whitney U	804.000
Wilcoxon W	2574.000
Z	-3.006
Asymp. Sig.(2-tailed)	0.003

높은 것으로 분석되었다. 그러나 이러한 현상은 이용승객에게는 오히려 편리성을 증대시키는 결과로 나타날 수 있어 서비스 공급자와 수요자 관점을 동시에 고려한 효율성 분석에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 하겠다.

두 가지 노선운영체계의 효율성 평가를 위해 서로 다른 체계에 속한 관측치들의 효율성이 속한 집단에 따라 다를 가능성이 크다고 판단될 경우 사용하는 대표적인 비모수통계분석방법인 맨-위트니(Mann-Whitney) 기법을 활용하였다(Lee and Oh, 2010). 두 가지 운영체계의 순수 기술적 효율성을 분석한 결과 W 값은 2525.0, 통계적 유의성은 약 0.9%로 나타나 "두 체계간의 효율성은 서로 같다"는 귀무가설은 기각되어 개별 노선제의 효율성이 더 높은 것으로 분석되었다.

2. 결정요인 분석(토빗회귀분석)

버스노선 운영체계의 효율성에 영향을 미치는 요인 분석을 위하여 BCC 모형을 통해 추정된 효율성 점수를 종속변수로, 모형의 투입요소인 운행거리, 운행대수, 배차간격을 독립변수로 구성한 토빗회귀식의 모수 추정 결과는 Table 8과 같다. 분석에 앞서 최종 모형의 변수별 분산팽창계수값(VIF)을 살펴 본 결과 모두 10이하의 값으로 도출되어 독립변수 간 다중공선성의 문제는 없는 것으로 분석되었다.

모수추정 결과 공동배차제 운영 노선 효율성 영향요인은 운행거리, 운행횟수, 배차간격으로서 운행거리가 짧고, 운행대수가 많으면서, 배차간격 역시 다소 긴 노선일수록 효율성이 높은 것으로 분석되었으며 개별 운영 노선의 효율성에 영향을 미치는 요소는 배차간격 한 가지 것으로 나타났다.

한편 배차간격과 운행대수 변수의 부호가 동일한 이유는 울산의 버스운영 특성에 기인하는데 운영 중인 버

스 노선 수는 많은 반면 차량대수는 상대적으로 적어 노선당 평균 버스대수가 6.1대에 불과한데 이로 인해 수요가 많은 특정 노선 이외에는 배차간격 단축을 위한 대량의 차량 증차가 곤란하기 때문이다. 이러한 현상이 개별 노선제 운영노선에도 나타나지만 오히려 노선운영방식의 장점을 살린 결과라고도 볼 수 있다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 버스노선 운영체계의 효율성 평가를 위해 BCC 모형을 기반으로 2009년 울산시 101개 버스노선에 대한 효율성을 추정하였다. 분석결과 공동배차제는 규모면에서는 상대적으로 안정적이었으나, 효율성 측면에서는 개별노선제 운영노선이 더 효율적인 것으로 나타났다.

특히 공동배차제 운영노선의 비효율 원인은 운행대수 과다투입과 같은 순수 기술적 요인이지만 개별노선제 운영노선은 운행대수 부족과 같은 규모의 효율성에 있는 것으로 제시되었다. 이러한 결과를 통해 공동배차제는 책임성 부재 라는 문제점이 존재함을 수치로 확인할 수 있었고 마케팅 및 노선관리 부재 등이 대표적인 예라고 할 수 있다. 반면 개별노선제 운영노선은 책임성이 부여됨에 따라 현 상태에서 최적 노선운영 중임을 확인할 수 있었다.

또한 같은 개별노선제 운영노선이라도 버스업체의 운영여건에 따라 공동배차제에서 발생하는 순수 기술적 요인에 의한 비효율이 발생하는 것으로 분석되었는데 이는 지자체의 버스노선 운영체계 개편시 버스업체의 순수 기술적 효율성 제고 방안 마련이 전제되어야 대중교통 체계 개편의 효과 달성이 가능함을 보여주는 결과라고 하겠다.

서로 다른 체계에 속한 관측치들의 효율성이 속한 집단에 따라 다를 가능성이 크다고 판단될 경우 사용하는 맨-위트니(Mann-Whitney)분석 결과 역시 개별노선제의 효율성이 더 높은 것으로 나타났다.

한편 공동배차제 운영노선의 투입물 절감율이 높게 나타난 것이 비효율 원인이라 단점이기에는 하나 이용객 입장에는 편리성이 증가되는 결과로 나타날 수 있어 이러한 현상을 고려한 추가적인 연구가 필요하다.

아울러 본 연구의 분석결과들은 노선운영체계의 시간적 동질성은 고려하였으나 노선환경의 동질성은 고려하지 않고 도출되었으므로 연구결과의 일반화에는 다소 신중을 기할 필요가 있다. 따라서 향후에는 노선환경의 동질

Table 8. Estimation result of tobit regression analysis

Variable	J.O.G.		I.O.G.	
	Coefficient	VIF	Coefficient	VIF
Constant	.514(9.407)	-	.579(19.562)	-
Route Length	-.006(-2.701)	1.584	-	-
Fleet Size	.021(5.487)	2.430	-	-
Headway	.003(5.825)	1.697	.002(7.441)	1.000
Adjusted R2	.386		.570	
Observation	59		42	

Note) Values in parenthesis are t-statistics.

성을 반영한 운영체계 효율성 평가 연구가 필요하다고 하겠다. 또한 버스노선 운영체계 개편을 검토하는 지자체가 정책수립 기초자료로 활용할 수 있는 개편 전·후 효율성 비교 연구도 향후 연구과제가 될 수 있다.

REFERENCES

- Banker R. D., Charnes A., Cooper W. W. (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, Vol.30, pp.1078-1092.
- Barnum D. T., Tandon S., McNeil S., M.ASCE P. E. (2008), Comparing the Performance of Bus Routes after Adjusting for the Environment Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Transportation Engineering*, Vol.134, No.2, pp.77-85.
- Charnes A., Cooper W. W., Lewin A. Y., Seiford L. M. (1997), *Data Envelopment Analysis : Theory, Methodology, and Application*, Kluwer Academic Publisher.
- Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, Vol.2, pp.429-444.
- Choi I. Y. (2004), A Study on Efficiency and Productivity Change (1996, 2002) in the Seoul's Urban Bus Industries, M.A. Thesis, Seoul National University, pp.41-45.
- Farrell M. J. (1957), The Measuring of Productivity Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A 120*, pp.253-281.
- Han J. H. (2011a), Analysis of the Efficiency of Incheon Urban Bus Routes due to Public-Private-Partnership Bus Service, *Transportation Technology and Policy*, Vol.8, No.3, Korean Society of Transportation, pp.41-50.
- Han J. H. (2011b), Analysis of a Productivity Change in Incheon's Urban Bus Industries With Public-Private-Partnership Bus Service, Incheon Development Institute, pp.36-72.
- Han J. S., Kim H. R., Ko S. Y. (2009), A DEA(Data Envelopment Analysis) Approach for Evaluating the Efficiency of Exclusive Bus Routes, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.27, No.6, Korean Society of Transportation, pp.45-53.
- Han J. S., Kim H. R., Ko S. Y. (2010), Evaluation of Efficiency in the Seoul's Arterial Bus Routes considering Undesirable Outputs, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.28, No.5, Korean Society of Transportation, pp.43-54.
- Jung B. D., Kim K. S. (2012), Efficient Government Subsidy Strategy to Improve the Productivity of Urban Bus Industry, *Journal of Transport Research*, Vol.19, No.2, Korea Transport Research, pp.61-74.
- Kim H. W., Kook K. H., Moon D. S., Lee J. S. (2009), Measuring the Efficiency in Korean Railway Transport Using Data Envelopment Analysis, *J. The Korea Soc. Railway*, Vol.12, No.4, The Korea Society for Railway, pp.542-547.
- Kim M. K. (1998), A Policy Direction and Implementation Program of the Pool-Allocation System for Urban Buses in Busan, *Busan Development Institute*, pp.20-37.
- Kim S. S., Oh M. Y., Kim M. J. (2002), Analyzing Efficiency and Economies of Scale in the Seoul's Urban Bus Industry: an Application of Data Envelopment Analysis, *Environmental Research*, Vol.40, Seoul National University, pp.101-113.
- Ko S. Y., Hwang K. Y. (1994), A Study on the Introduction of the Pool-Allocation System and Government Funded Pool-Garages for Urban Buses in Seoul, *Seoul Development Institute*, pp.45-136.
- Kwon T. B. (2002), A Study on the Pool-Allocation System for Urban Buses in Daegu, *Daegu Gyeongbuk Development Institute*, pp.29-33.
- Lao Y., Liu L. (2009), Performance Evaluation of Bus Lines With Data Envelopment Analysis and Geographic Information Systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.33, pp.247-255.
- Lee J. D., Oh D. H. (2010), Introduction to Efficiency Analysis : Data Envelopment Analysis, *IB Book*, pp.270-274.
- Mo C. H., Park J. Y., Kim D. J. (2007), Assessment

- and Improvement Strategy for Bus Quasi-Operating System, Korea Transport Institute, pp.66-71.
- Odeck J. (2008), The Effect of Mergers on Efficiency and Productivity of Public Transport Services, Transportation Research Part A, 42, pp.696-708.
- Oh M. Y., Kim S. S. (2005), Productivity Changes by Public Transport Reforms in the Seoul's Urban Bus Industry, J. Korean Soc. Transp., Vol.23, No.7, Korean Society of Transportation, pp.53-61.
- Oh M. Y., Kim S. S. (2008), Productivity Changes by Public Transport Reforms in the Seoul's Urban Bus Industry (Using Data Envelopment Analysis With Consideration of Accident Costs), J. Korean Soc. Transp., Vol.26, No.4, Korean Society of Transportation, pp.77-86.
- Oh M. Y., Kim S. S. (2010), Analysis of the Efficiency of Urban Bus Companies in Seoul considering Accident and Emission Costs (Using a Directional Distance Function), J. Korean Soc. Transp., Vol.28, No.4, Korean Society of Transportation, pp.157-166.
- Oh M. Y., Kim S. S., Kim M. J. (2002), Analyzing Efficiency in the Seoul's Urban Bus Industry Using Data Envelopment Analysis, J. Korean Soc. Transp., Vol.20, No.2, Korean Society of Transportation, pp.59-68.
- Sampaio B. R., Neto O. L., Sampaio Y. (2008), Efficiency Analysis of Public Transport Systems: Lessons for Institutional Planning, Transportation Research Part A, 42, pp.445-454.
- Sheth C., Triantis K., Teodorovic D. (2007), Performance Evaluation of Bus Routes: A Provider and Passenger Perspective, Transportation Research Part E, 43, pp.453-478.
- Tandon S. (2006), Performance of BUS Routes Using Data Envelopment Analysis, Thesis, Univ. of Illinois at Chicago, Chicago.
- Tsamboulas D. A. (2006), Assessing Performance Under Regulatory Evolution: A European Transit System Perspective, Journal of Urban Planning and Development, Vol.132, No.4, pp.226-234.
- Yu M. M., Fan C. K. (2009), Measuring the Performance of Multimode Bus Transit: A Mixed Structure Network DEA Model, Transportation Research Part E, 45, pp.501-515.
- 알림 : 본 논문은 대한교통학회 제67회 학술발표회 (2012.10.20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.
- ✎ 주 작성자 : 김경식
 ✎ 교신저자 : 정병두
 ✎ 논문투고일 : 2013. 3. 21
 ✎ 논문심사일 : 2013. 4. 24 (1차)
 2013. 6. 11 (2차)
 2013. 7. 9 (3차)
 ✎ 심사판정일 : 2013. 7. 9
 ✎ 반론접수기한 : 2013. 12. 31
 ✎ 3인 익명 심사필
 ✎ 1인 abstract 교정필