

■ 論 文 ■

DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 이용한 서울시 지선버스노선의 형평성 분석

Equity Analysis of Feeder Bus Routes in Seoul using
DEA(Data Envelopment Analysis) Model

한 진 석

(한국교통연구원 국가교통DB센터
Post-Doc)

김 혜 란

(국토연구원 책임연구원)

고 승 영

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 선행연구고찰</p> <p>1. 선행연구</p> <p>2. BCC 모형</p> <p>3. 수정 BCC 모형</p> <p>III. 분석모형 및 자료 구축</p> | <p>1. 분석모형 설정</p> <p>2. 분석자료 구축</p> <p>IV. 형평성 추정 및 해석</p> <p>1. 형평성 추정결과</p> <p>2. 결정요인 분석</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 형평성, 유익투입물, 수정 BCC 모형, 전이불변성, 토빗회귀분석.

Equity, Desirable Input, Modified BCC Model, Translation Invariance, Tobit Regression

요 약

본 연구에서는 현행 버스서비스 평가체계를 보완하기 위해 유익투입물을 고려한 수정 BCC 모형을 이용하여 2009년 서울시 179개 지선버스노선의 형평성을 분석하였다. 분석대상은 정류장 수와 운행횟수를 사용하여 형평성 지표와 접근성 지표를 산출하는 형태로 상정하였다.

투입지향 수정 BCC 모형으로 분석한 결과 전체 분석대상 중 약 9%의 노선만이 형평적인 것으로 나타났으며, 평균 형평성 추정치는 0.702인 것으로 분석되었다. 또한 서울시 지선버스노선은 형평성을 개선하기 위해 정류장 수와 운행횟수를 평균적으로 약 60% 이상 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

토빗회귀분석을 수행하여 분석대상의 형평성에 영향을 미치는 결정요인을 분석한 결과 정류장 수와 운행횟수는 모두 5% 유의수준에서 통계적인 유의미성을 확보하였으며, 정류장 수가 영향력이 가장 큰 결정요인으로 분석되었다.

This study discusses an equity analysis performed to supplement the existing bus service evaluation system. The equity of 179 feeder bus routes in the city of Seoul(Year 2009) is analyzed by employing the modified BCC model along with the desirable inputs such as a number of bus stops and a frequency of operations. In the analysis, each DMU (Decision Making Unit) is assumed to use the desirable inputs, and produces both the index of equity and the index of accessibility.

We apply an input-oriented modified BCC model to analyze the equity of the DMUs. The computational result indicates that only 9% of the feeder bus routes are equitable among the total DMUs and the average equity estimate is 0.702. It is also suggested that on average approximately 60% increases of desirable inputs (i.e., a number of bus stops and a frequency of operations) are needed in order to improve equity of DMU in the city of Seoul.

The result of the tobit regression analysis on the determinant factors affecting the equity of DMUs shows that all the independent variables (i.e., a number of bus stops and a frequency of operations) are statistically significant at 5% significance level, and the number of bus stops is found to be the most influential factor.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시는 2004년 버스체계 개편을 통해 혼재되어 있던 간선버스 및 지선버스의 기능을 구분하는 동시에, 노선체계 개편을 통한 버스의 간선기능 회복과 서비스 향상을 도모하였다. 그러나 이와 같은 노력에도 불구하고 주요 통행축 및 버스업체의 수익성 등에 따른 노선배정으로 인해 서비스 공급의 불균형이 발생하여, 버스이용에 어려움을 겪는 지역이 여전히 존재하고 있다. 또한 버스수단이 대중교통이라는 특성상 이용자에 대한 서비스의 형평성은 상당히 중요하게 다루어져야 할 요소임에도 불구하고, 현행 버스서비스 평가체계는 해당 요소를 고려하지 않고 있는 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 버스노선의 형평성을 판단할 수 있는 지표마련이 절실하며, 본 연구에서는 DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 통해 버스노선의 상대적인 형평성 추정치를 산출하고자 한다. 이를 위해 선행연구 결과를 기반으로 수정한 버스노선체계의 접근성 및 형평성 지표를 분석모형의 산출물로 설정하였으며, 현행 버스서비스 평가체계 결과와 더불어 본 연구의 분석결과를 함께 고려할 경우 보다 객관적이고 합리적인 정책수행이 가능할 것으로 판단된다.

2. 연구의 범위 및 방법

일반적으로 간선버스노선은 지역간 통행을 목적으로 지하철 수단을 대체할 수 있는 기능을 담당하기 때문에 효율성(집중형)이 강조되며, 지선버스노선은 지역 내를 운행·순환하여 지하철 또는 간선버스와의 연계기능을 담당하기 때문에 형평성(접근성)이 강조된다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 형평성의 의미를 보다 강조할 수 있는 서울시 지선버스노선을 대상으로 분석을 수행하였으며, 분석대상은 자료취득이 가능한 2009년 기준 179개 노선으로 설정하였다. 산출물로는 선행연구의 분석결과를 수정하여 산출한 지선버스노선의 접근성 지표와 형평성 지표를 사용하였으며, 전통적인 DEA 모형과 달리 유익투입물(desirable input)을 설정하여 투입물이 증가할수록 분석대상의 형평성이 향상되도록 분석모형을 설정하였다.

이는 버스노선을 운영·관리하는 시내버스업체의 경우

일반적으로 투입요소의 조절이 산출물의 조절에 비해 상대적으로 수월하기 때문이며, 분석대상의 형평성을 현황보다 향상시키기 위해 투입요소를 얼마나 증가시켜야 하는가를 판단하기 위함이다. 이와 같은 유익투입물의 반영은 기존 BCC 모형(Banker, Charnes & Cooper, 1984)의 전이불변성을 이용한 수정 BCC 모형(Seiford and Zhu, 2002)을 통해 반영이 가능하다. 또한 본 연구에서 설정한 산출물에 영향을 미치는 외부요인의 영향이 존재할 경우에는 역 2단계기법(Barnum et al., 2008)을 통해 분석자료에서 사전에 제거하며, 토빗회귀분석(tobit regression analysis)을 수행하여 지선버스노선의 형평성에 대한 결정요인을 검토하였다. 이와 같이 해당 결과에 영향을 미치는 결정요인을 분석함으로써 상대적으로 형평성이 열악한 노선에 대한 문제해결이 가능하며, 효율성 측면의 분석결과와 더불어 고려할 경우 보다 합리적인 노선체계를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

II. 선행연구고찰

1. 선행연구

현재까지 국내·외 모두 버스노선을 대상으로 형평성 지표를 검토한 연구는 많지 않기 때문에 대중교통을 대

〈표 1〉 국내·외 선행연구 검토 결과

선행 연구	분석 대상	사용 지표
윤혁렬 (2002)	버스노선	접근성 지표
이상용, 박경아 (2003)	버스노선	접근성 지표 형평성 지표
조대현 (2004)	공공서비스	형평성 지표
김찬성, 황상규 (2006)	교통계획	접근성 지표
정희돈, 김찬성 (2007)	대중교통	지니계수 엔트로피 지수
박지영 (2008)	버스교통	접근성 지표
양선규 (2009)	버스노선	접근성 지표 형평성 지표
오미영 외 (2009)	버스노선	정시성
한진석 외 (2009)	버스노선	효율성 지표
한진석 외 (2010)	버스노선	효율성 지표
Hay (1993)	대중교통 서비스	인구분포
Noh (1995)	서울지하철	비용/인-km
Sanchez (1998)	육상 교통시설	접근성에 따른 편익
Litman (2007)	대중교통 서비스	형평성 지표
Martinelli and Medellin (2007)	대중교통 서비스	통행시간 지불비용
Tribby (2009)	대중교통 서비스	접근성 지표

상으로 형평성 또는 접근성을 검토한 연구들을 포함하여 검토하였다. 한편 DEA 모형을 이용하여 대중교통 또는 버스노선의 형평성을 분석한 사례는 전무한 상태이며, 본 연구에서 검토한 국내·외 선행연구들을 정리하면 <표 1>과 같다.

국내의 경우 윤혁렬(2002)은 버스서비스 영향권의 고른 분포를 의미하는 형평성을 접근성의 개념을 이용하여 설명하였으며, 이상용 외(2003)는 시내버스 노선체계를 평가하기 위한 기준 및 정량적 지표를 설정하였으며, 평가지표로는 접근성 및 형평성을 포함한 7개 지표를 제시하였다. 김찬석 외(2006)는 장기교통계획에 대한 교통접근성의 형평성 평가를 위해 접근성을 접근도와 이동성으로 구분하고 각각의 형평성을 지니계수로 평가하였으며, 정희돈 외(2007)는 대중교통의 형평성 추정 방법으로 시스템 배분의 형평성을 측정하는 대표적인 기법인 지니계수와 로렌츠 곡선, 그리고 엔트로피 지수를 검토하였다. 박지영(2008)은 대중교통수단 중 버스수단을 대상으로 지리정보시스템의 공간분석을 활용하여 버스이용의 접근성 차이에 따른 교통 취약지를 분석하였으며, 양선규(2009)는 시내버스 노선체계를 평가하기 위한 접근성 및 형평성 지표를 개발하여 대전시 노선체계를 대상으로 평가를 수행하였다.

국외의 경우 Hay(1993)은 대중교통 서비스를 제공함에 있어 만족해야 하는 기준을 크게 4가지로 구분하여 제시하였으며, Noh(1995)는 지하철 이용에 따른 이용자 간 비용의 차이에 의해 발생할 수 있는 수평적 형평성의 문제를 비용/인-km 지표를 사용하여 노선과 구간, 지역에 따라 차이를 분석하였다. Litman(2007)은 대중교통 서비스의 형평성을 분석하기 위한 다양한 지표들을 정의하는 동시에 해당 지표들을 평가할 수 있는 방법을 제시하였으며, Martinelli and Medellin(2007)은 서로 다른 사회경제적 계층 간의 서비스 불균등의 차이를 통행시간과 서비스-마일 당 지불비용을 이용하여 분석하였다. Tribby(2009)는 특정그룹을 대상으로 새로운 급행버스노선이 도입되기 전과 후를 비교하여 대중교통 서비스의 형평성 변화를 분석하였으며, 분석지표로는 접근성 지표를 적용하였다.

한편 버스노선을 대상으로 DEA 모형을 적용한 선행 연구로는 오미영 외(2009)와 한진석 외(2009), 그리고 한진석 외(2010)가 있으며, 오미영 외(2009)는 서울시 간선버스노선의 배차간격 오차율과 운행시간 오차율을 고려하여 분석대상의 정시성을 평가하였다. 또한 한진석

외(2009)는 서울시 간선버스노선의 효율성을 평가하였으며, 한진석 외(2010)는 유해산출물을 고려한 서울시 간선버스노선의 효율성을 평가하였다.

이상의 연구들을 살펴본 결과 이상용 외(2003)와 양선규(2009)의 연구를 제외하고는 대중교통 또는 버스노선체계를 평가하기 위한 지표의 정량적인 측정방법을 제시한 연구는 없는 것으로 검토되었다. 또한 대부분의 연구에서 형평성을 평가하기 위한 지표로는 접근성 또는 형평성 지표가 가장 많이 사용된 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 분석대상의 형평성을 추정하기 위한 각 노선의 산출물로서 접근성 지표와 형평성 지표를 모두 사용하였으며, 해당 지표들의 정량적인 값은 이상용 외(2003)와 양선규(2009)의 기존 지표들을 수정하여 산출하였다.

2. BCC 모형

Farrell(1957)의 효율성 개념을 실증적으로 추정하기 위한 기본적인 DEA 모형에는 불변규모수익을 가정하는 CCR 모형(Charnes, Cooper and Rhodes, 1978)과 가변규모수익을 가정하여 순수기술성의 효율성을 알 수 있도록 CCR 모형을 확장시킨 BCC 모형이 있다. CCR 모형은 효율적으로 운영되는 분석대상을 규정함에 있어 불변규모수익 상태를 가정하기 때문에 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못한다는 단점이 있다.

따라서 Banker, Charnes & Cooper(1984)는 CCR 모형의 불변규모수익 상태를 완화하여 가변규모수익 상태를 가정을 적용하였으며, 이를 위해 볼록성(convexity) 필요조건을 모형에 추가하였다. BCC 모형은 CCR 모형과 마찬가지로 투입지향모형과 산출지향모형으로 구분되며(Banker et al., 1984), k번째 분석대상의 효율성을 나타내는 투입지향 BCC 모형은 식 (1)과 같다.

$$Min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (1)$$

제약조건

$$\sum_{j=1}^n x_{ji} \lambda_j + s_i^- = x_{ki} \theta, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{jr} \lambda_j - s_r^+ = y_{kr}, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad \forall j, i, r$$

여기서,

θ : 효율성 추정치

x_i : 투입요소

y_r : 산출요소

m : 투입요소 수

n : 산출요소 수

λ_j : 결정계수

s_i^-, s_r^+ : 여유변수(slack variable)

$$z_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$$

여기서,

h_o : 효율성 추정치

x_j : 투입요소

y_j^{good} : 유익산출물

$\overline{y_j^{bad}}$: 유해산출물(자료변환 후)

z_j : 결정계수

III. 분석모형 및 자료 구축

1. 분석모형 설정

1) 접근성 및 형평성 지표

접근성 지표의 경우 이상용 외(2003)와 양선규(2009)는 모두 버스정류장 밀도의 평균치로 정의하였으며, 이상용 외(2003)는 분석존의 대지면적과 인구수를, 양선규(2009)는 시가화면적만을 반영하였다. 또한 형평성 지표의 경우 이상용 외(2003)는 형평성의 상대적 개념을 고려하여 분석존 간 표준편차(standard deviation)로 정의하였으나, 양선규(2009)는 이와 같은 개념을 반영하지 않은 지표로 정의하였다. 본 연구에서는 해당 지표들을 기반으로 접근성 지표의 경우 선행연구와 동일하게 버스정류장 밀도로 정의하되, 각 노선이 경유하는 존별로 이용 가능한 버스정류장 밀도의 평균치를 대중교통 이용자 수를 이용하여 정의하였으며, 형평성 지표의 경우 상대적 개념을 고려한 이상용 외(2003)의 지표를 기반으로 사용하되, 각 노선이 경유하는 존의 운행횟수와 해당 존내 대중교통 이용자 수를 감안한 경우존 간 표준편차로 정의하였다.

본 연구에서 수정한 접근성 지표와 형평성 지표는 모두 선행연구와 달리 대중교통 이용자 수를 감안하여 산출하였는데, 이는 현황 자료를 기반으로 분석하는 DEA 모형의 특성상 잠재적인 버스이용수요는 분석에 포함하지 않는 것이 타당하기 때문이다. 또한 형평성 지표는 분석존을 경유하는 노선의 운행횟수를 고려하였는데, 이는 노선체계개편 결과 위계가 부여된 노선체계와 목적지까지 직행하는 노선이 줄어 환승률이 증가하였기 때문에 노선 수 보다는 운행횟수를 형평성 차원에서 더욱 의미 있는 요소로 판단하였기 때문이다. 한편 DEA 모형은 분석대

3. 수정 BCC 모형

효율성 측정시 분석대상의 유익투입물 또는 유해산출물(undesirable output)은 서로 다르게 다루어져야 하지만 전통적인 DEA 모형에서는 효율성 개선을 위한 투입물의 감소와 산출물의 증가만이 허용되기 때문에 해당 요소에 대한 반영이 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 수정 BCC 모형이 제안되었으며, 이는 기존 BCC 모형에서 자료변환을 수행하더라도 BCC 모형을 통해 측정되는 효율성이나 비효율성에는 영향을 주지 않는다는 특성을 이용하였다. 이러한 특성은 Ali and Seiford(1990)의 선행연구에서 증명한 BCC 모형의 전이불변성(translation invariance)으로 인해 가능하다.

이와 같은 BCC 모형의 특성을 이용하여 Seiford and Zhu(2002)는 유익투입물 또는 유해산출물을 고려해도 모형의 선형성과 볼록성이 유지되는 수정 BCC 모형을 제시하였으며, 유해산출물을 고려한 경우를 살펴보면 식(2)와 같다.

$$Max \ h_o \tag{2}$$

제약조건

$$\sum_{j=1}^n z_j y_j^{good} \geq h y_o^{good}$$

$$\sum_{j=1}^n z_j \overline{y_j^{bad}} \geq h \overline{y_o^{bad}}$$

$$\sum_{j=1}^n z_j x_j \leq x_o$$

$$\sum_{j=1}^n z_j = 1$$

상의 상대적 비효를 수행하기 때문에 본 연구에서 수정한 지표들의 분석준은 고정된 하나의 준이 아닌 각 노선이 경유하는 준들의 합이며 이는 각 노선마다 다른 크기를 가지게 된다. 본 연구에서 수정한 접근성 지표와 형평성 지표를 수식으로 표현하면 각각 식(3)과 식(4)와 같다.

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{BS_i}{P_i} \quad (3)$$

여기서,

- A : 지선버스노선에 대한 접근성 지표
- N : 노선의 전체 경유준 수
- BS_i : 경유준의 전체 지선버스 정류장 수
- P_i : 경유준의 전체 대중교통이용자 수

$$E = \sqrt{\frac{\sum_i^n (t_i - \bar{t})^2}{(n-1)}} \quad (4)$$

여기서,

- E : 지선버스노선에 대한 형평성 지표
- t_i : 경유준의 전체 대중교통이용자 수 대비 지선노선의 전체 운행횟수
- \bar{t} : 경유준의 대중교통이용자 수 대비 지선노선의 운행횟수 평균치

2) 분석모형

버스노선을 관리·운영하는 시내버스업체의 경우 일반적으로 총 승객수, 대-거리 등과 같은 산출물을 증가시키기 보다는 투입요소의 조정이 보다 수월하며, 전통적인 DEA 모형에서는 분석대상의 개선을 위해 산출물의 증가는 가능하지만 투입물의 증가는 허용되지 않는 한계가 있다. 본 연구의 목적은 분석대상의 형평성을 분석함과 동시에 해당 지표를 개선하기 위해 각 분석대상의 투입요소를 얼마나 증가시켜야 하는지를 판단하는데 있으며, 이를 위해 전통적인 DEA 모형과 달리 투입요소의 증가가 가능한 수정 BCC 모형을 통해 분석모형을 구축하였다. 본 연구의 분석모형은 식(5)와 같으며, 해당모형은 투입물과 산출물을 모두 확대하는 방향으로 분석대상의 생산과정이 이루어진다. 따라서 분석대상의 형평성은 현재 생산하는 산출물(형평성 지표, 접근성 지표) 수준에서 타 노선에 비해 유익투입물(정류장 수, 운행횟수)을 얼마나 증가시킬 수 있는가에 따라 결정된다.

$$Min \theta \quad (5)$$

제약조건

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n z_j x_i &\leq x_k \theta \\ \sum_{j=1}^n z_j y_r &\geq y_k \\ \sum_{j=1}^n z_j &= 1 \\ z_j &\geq 0, \quad j=1, \dots, n \end{aligned}$$

여기서,

- θ : 형평성 추정치 및 모형의 의사결정변수
- y_r : 산출물(형평성 지표, 접근성 지표)
- x_i : 유익투입물(정류장 수, 운행횟수)
- z_j : 결정계수
- n : 분석대상의 수

2. 분석자료 구축

본 연구에서 사용가능한 자료는 179개 지선버스노선에 대한 14개 항목이며, 이는 <표 2>와 같다.

모든 자료는 2009년을 기준으로 집계·구축하였으며, 해당 자료 중 통계청을 통해 구축한 외부요인(경유준 인

<표 2> 사용가능한 자료의 기술통계량

구분	자료	최대값	최소값	평균	표준편차
산출물	D1	0.339	0.004	0.027	0.033
	D2	0.012	0.002	0.006	0.002
투입물	D3	776	18	275	166
	D4	94	1	25	17
	D5	157	17	69	25
	D6	9	2	4	2
	D7	335	3	143	58
	D8	1,210	30	1,101	110
	D9	15,735	227	5,584	2,882
	D10	31	11	19	4
	D11	1.57	1.00	1.51	0.09
	D12	2.18	1.12	1.62	0.21
외부 요인	D13	334	30	143	56
	D14	95	12	41	18

주1: D1: 형평성 지표, D2: 접근성 지표, D3: 총 운송비(백만원), D4: 총 승객수(천명), D5: 정류장 수(개소), D6: 경유준 수(준), D7: 운행횟수(회), D8: 운영시간(분), D9: 대-거리(대-km), D10: 운행속도(km/h), D11: 중앙차로 정류장수 비율(%), D12: 배차시간 오차율(%), D13: 경유준 인구밀도(만명), D14: 경유준 승용차 등록대수(만대).

주2: 지선버스노선이라 함은 간선버스·지하철로 연계 또는 지역내 통행을 위한 노선을 의미함.

〈표 3〉 다중회귀분석 결과

종속변수	독립변수 및 추정계수
D1	0.0024154×D5+ 0.00093677×D7
D2	0.00004939×D5+ 0.00000779×D7

주: D1: 형평성 지표, D2: 접근성 지표, D5: 정류장 수(개소), D7: 운행횟수(회).

〈표 4〉 다중회귀분석 결과에 대한 통계적 검증

종속변수	독립변수	T-값	유의확률
D1	D5	13.79	0.000
	D7	11.63	0.000
D2	D5	14.40	0.000
	D7	4.94	0.000

주: D1: 형평성 지표, D2: 접근성 지표, D5: 정류장 수(개소), D7: 운행횟수(회).

구밀도, 경유준 승용차 등록대수)을 제외한 나머지 자료들은 모두 서울시 교통국과 한국스마트카드, TOPIS에서 수집하여 구축하였다. 한편 사용가능한 14개 항목의 자료들 중 본 연구에서 서울시 지선버스노선의 형평성을 분석하기 위해 산출물로 정의한 형평성 지표와 접근성 지표에 영향을 미치는 투입물 및 외부요인을 판단하기 위해 다중회귀분석을 수행하였으며, 그 결과는 〈표 3〉과 같다.

다중회귀분석 결과 본 연구의 산출물은 모두 정류장 수와 운행횟수에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 외부요인에 영향을 받는 산출물은 없는 것으로 분석되었다. 다중회귀분석 결과에 대한 통계적 검증은 〈표 4〉와 같다.

결과적으로 본 연구에서는 분석대상이 유익투입물인 노선별 정류장 수와 운행횟수를 사용하여 노선별 형평성 지표 및 접근성 지표를 산출하는 형태로 상정하였으며, 이를 기반으로 서울시 지선버스노선의 형평성 분석을 수행하였다.

IV. 형평성 추정 및 해석

1. 형평성 추정결과

본 연구에서는 2009년 서울시 지선버스 179개 노선을 대상으로 해당 노선의 형평성을 추정하였으며, 분석 결과는 〈표 5〉와 같다.

투입지향 수정 BCC 모형으로 분석한 결과 전체 분석 대상 중 약 9%의 노선만이 형평적인 것으로 나타났으며, 평균 형평성 추정치는 0.702인 것으로 분석되었다. 또한 8541번 노선의 형평성 추정치가 0.357로 분석대상 중 가장 낮은 것으로 나타나 해당 노선에 대한 개선이

〈표 5〉 형평성 추정결과 (총 179개 노선)

노선 번호	형평성 추정치	노선 번호	형평성 추정치	노선 번호	형평성 추정치
1014	0.520	3217	0.669	6611	1.000
1017	0.557	3219	0.686	6613	1.000
1020	0.631	3220	0.605	6614	0.560
1111	0.867	3316	0.578	6616	0.748
1113	0.555	3411	0.766	6620	0.642
1117	0.497	3412	1.000	6623	0.701
1119	1.000	3413	1.000	6625	0.715
1120	0.574	3414	0.735	6627	0.724
1127	0.559	3416	0.582	6628	0.765
1128	0.624	3416	0.577	6629	0.867
1129	0.535	3417	0.789	6630	0.915
1131	0.711	3418	0.794	6631	1.000
1132	0.855	3422	1.000	6632	0.843
1133	0.730	3423	0.594	6635	0.530
1135	0.732	3423	0.667	6637	1.000
1136	0.656	4212	0.765	6638	0.613
1137	1.000	4419	0.945	6640	1.000
1138	0.508	4425	0.955	6641	0.587
1139	0.831	4432	0.623	6657	0.630
1141	0.733	5012	0.640	6712	0.664
1142	0.937	5413	0.662	6714	0.475
1144	0.736	5511	0.583	6715	0.703
1146	0.592	5516	0.630	6716	0.732
1152	0.669	5517	0.648	7011	0.663
1154	0.625	5520	0.493	7016	0.879
1155	0.633	5520	0.511	7017	0.726
1156	0.536	5524	0.942	7018	0.685
1165	1.000	5525	0.492	7019	0.677
1165	0.892	5526	0.659	7021	0.656
1166	0.537	5528	0.638	7022	0.639
1212	1.000	5530	0.832	7025	0.605
1215	0.647	5531	1.000	7211	0.801
1218	0.764	5534	0.574	7611	0.594
1221	0.814	5535	0.731	7612	0.590
1222	0.670	5536	0.774	7613	0.615
1224	0.792	5612	0.543	7711	0.622
1224	0.812	5614	0.720	7715	0.660
1225	0.572	5615	0.662	7719	0.503
1226	0.501	5616	0.626	7720	0.750
1227	0.666	5617	0.750	7722	0.509
1711	0.678	5618	0.711	7723	0.528
2013	0.570	5619	0.794	7726	0.902
2014	0.598	5620	0.652	7727	0.810
2015	0.801	5621	1.000	7728	0.925
2112	0.714	5623	0.820	7730	0.751
2211	0.672	5624	0.625	7731	0.469
2221	0.663	5625	0.704	7733	0.701
2222	0.544	5626	0.746	8000	0.512

주: 노선번호 중 같은 번호는 운영하는 업체가 다름.

〈표 5 계속〉

노선 번호	형평성 추정치	노선 번호	형평성 추정치	노선 번호	형평성 추정치
2224	0.630	5627	0.613	8111	0.496
2227	0.863	5630	0.610	8111	0.505
2230	0.734	5633	0.773	8153	0.660
2233	0.791	5712	0.855	8442	0.419
2411	0.569	5713	0.668	8541	0.357
2412	0.614	5714	0.902	8771	0.526
2413	0.606	6211	0.728	8774	0.573
2415	0.695	6411	0.792	1125A	1.000
3212	0.605	6511	0.560	1125B	1.000
3214	0.561	6512	0.705	2012A	0.616
3215	0.717	6513	0.722	2012B	0.679
3216	0.710	6514	0.795	-	-
최대값				1.000	
최소값				0.357	
평균				0.702	
표준편차				0.146	
형평적 노선수				16	

주: 노선번호 중 같은 번호는 운영하는 업체가 다름.

〈표 6〉 상위 10% 노선의 생산요소 특성비교

구분	D1	D2	D5	D7
최대값	0.077	0.012	157	335
최소값	0.005	0.004	17	84
평균	0.023	0.007	71	205
표준편차	0.021	0.002	39	93

주: D1: 형평성 지표, D2: 접근성 지표, D5: 정류장 수(개소), D7: 운행횟수(회).

〈표 7〉 하위 10% 노선의 생산요소 특성비교

구분	D1	D2	D5	D7
최대값	0.047	0.008	79	147
최소값	0.010	0.005	23	13
평균	0.022	0.006	46	85
표준편차	0.009	0.001	18	44

주: D1: 형평성 지표, D2: 접근성 지표, D5: 정류장 수(개소), D7: 운행횟수(회).

시급한 것으로 판단된다.

한편 분석대상의 다양한 비교를 위해 형평성 추정치의 상위 10% 노선과 하위 10% 노선에 대한 투입요소 및 산출물의 특성을 살펴보면 〈표 6〉 및 〈표 7〉과 같다.

하위 10% 노선의 경우 노선별 산출물이 모두 상위 10% 노선에 비해 과소산출되는 것으로 나타났으며, 투입요소 또한 전반적으로 과소투입되는 것으로 나타났다. 특히 정류장 수와 운행횟수는 최대 약 100% 이상 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 투입요소에 대해 각각 경유존 수와 운영시간을 기준으로 생산요소의 특성을 비교하면 〈표 8〉과 〈표 9〉와 같다.

〈표 8〉 상위 10% 노선의 투입요소 특성비교

구분	D5	D7
최대값	44	0.30
최소값	9	0.08
평균	25	0.18
표준편차	12	0.08

주: D5: 정류장 수/경유존 수(개소/존수), D7: 운행횟수/운영시간(회/분).

〈표 9〉 하위 10% 노선의 투입요소 특성비교

구분	D5	D7
최대값	40	0.13
최소값	8	0.02
평균	19	0.08
표준편차	10	0.04

주: D5: 정류장 수/경유존 수(개소/존수), D7: 운행횟수/운영시간(회/분).

노선별 경유존 수와 운영시간을 기준으로 투입요소의 특성을 비교한 결과도 마찬가지로 하위 10% 노선은 경유존 수 당 정류장 수와 운영시간 당 운행횟수가 모두 열악한 것으로 나타났다. 따라서 서울시 지선버스노선의 형평성을 개선하기 위해서는 정류장 수와 운행횟수의 증가가 필요하며 이러한 개선과정은 타 권역 또는 타 노선과의 효율성, 형평성 등과 같은 다양한 측면에서 이루어져야 할 것으로 판단된다.

한편 형평성이 결여된 노선을 개선하기 위한 투입요소의 증감비율을 노선별로 살펴보면 〈표 10〉과 같다.

〈표 10〉 노선별 투입요소 증감비율(%)

노선 번호	D5	D7	노선 번호	D5	D7
1014	175	68	5530	10	16
1017	67	82	5531	0	0
1020	73	31	5534	80	71
1111	30	6	5535	26	30
1113	140	124	5536	36	11
1117	206	65	5612	102	93
1119	0	0	5614	30	29
1120	84	96	5615	55	27
1127	74	85	5616	17	107
1128	43	65	5617	195	29
1129	303	132	5618	39	33
1131	53	130	5619	43	26
1132	22	10	5620	57	18
1133	52	47	5621	0	0
1135	45	60	5623	9	10
1136	112	60	5624	31	87
1137	0	0	5625	27	34
1138	120	154	5626	13	34

〈표 10 계속〉

노선 번호	D5	D7	노선 번호	D5	D7
1139	24	19	5627	72	57
1141	54	136	5630	49	71
1142	29	2	5633	11	39
1144	24	41	5712	8	13
1146	217	155	5713	18	36
1152	36	74	5714	7	4
1154	66	55	6211	14	39
1155	32	102	6411	8	32
1156	72	94	6511	51	154
1165	0	0	6512	31	28
1165	12	5	6513	28	24
1166	100	169	6514	9	33
1212	0	0	6611	0	0
1215	61	64	6613	0	0
1218	23	28	6614	55	96
1221	38	53	6616	29	42
1222	63	56	6620	57	86
1224	18	26	6623	41	42
1224	17	23	6625	30	66
1225	55	105	6627	37	70
1226	344	208	6628	42	12
1227	58	46	6629	10	17
1711	54	16	6630	5	68
2013	44	80	6631	0	0
2014	77	44	6632	26	17
2015	18	12	6635	201	50
2112	14	58	6637	0	0
2211	63	11	6638	36	123
2221	63	14	6640	0	0
2222	93	54	6641	77	92
2224	69	52	6657	78	146
2227	7	17	6712	19	83
2230	33	35	6714	71	142
2233	7	40	6715	50	33
2411	136	63	6716	15	27
2412	28	60	7011	35	38
2413	58	90	7016	6	10
2415	62	20	7017	21	27
3212	48	88	7018	56	34
3214	76	92	7019	34	33
3215	21	40	7021	35	35
3216	34	34	7022	44	35
3217	56	23	7025	50	64
3219	24	52	7211	12	25
3220	42	83	7611	70	76
3316	120	93	7612	84	50
3411	25	18	7613	39	81
3412	0	0	7711	115	54
3413	0	0	7715	56	47

〈표 10 계속〉

노선 번호	D5	D7	노선 번호	D5	D7
3414	37	21	7719	204	247
3416	93	57	7720	28	32
3416	94	57	7722	112	118
3417	36	9	7723	139	63
3418	27	21	7726	14	184
3422	0	0	7727	10	31
3423	58	79	7728	1	16
3423	48	65	7730	35	21
4212	35	12	7731	312	218
4419	2	6	7733	15	95
4425	2	5	8000	405	145
4432	79	37	8111	50	1286
5012	22	56	8111	49	1263
5413	30	19	8153	7	1677
5511	93	41	842	248	295
5516	60	32	8541	120	7133
5517	26	73	8771	327	142
5520	120	106	8774	111	248
5520	115	103	1125A	0	0
5524	9	2	1125B	0	0
5525	140	132	2012A	29	76
5526	60	65	2012B	22	60
5528	48	37	-	-	-
투입요소		D5		D7	
최대값		405		7133	
최소값		0		0	
평균		58		119	
표준편차		67		558	

주: D5: 정류장 수(개소), D7: 운행횟수(회).

분석결과 서울시 지선버스노선의 운영에 사용되는 정류장 수는 약 60%, 운행횟수는 약 120%의 증감이 가능한 것으로 나타났다. 특히 운행횟수의 표준편차가 558%로 나타나 정류장 수에 비해 상대적인 격차가 큰 것으로 분석되었다. 이와 같이 각 요소의 필요증가율이 크게 나타난 이유는 노선별 현황 편차가 크기 때문이며 서울시 지선버스노선의 형평성에 대한 상대적 편차를 줄이기 위한 방안마련이 시급한 것으로 판단된다.

2. 결정요인 분석

1) 토빗회귀분석

유익투입물을 고려한 수정 BCC 모형을 통해 추정된 형평성 추정치를 종속변수로, 모형의 투입요소인 노선별 정류장 수와 운행횟수를 독립변수로 구성한 토빗회귀모

〈표 11〉 토빗회귀분석 결과

독립 변수	계수 추정	표준 오차	t-값	유의 확률	95% 신뢰구간	
					하한	상한
상수	0.301	0.324	9.30	0.000	0.238	0.365
D5	0.003	0.000	7.56	0.000	0.002	0.003
D7	0.002	0.000	10.86	0.000	0.001	0.002

주: D5: 정류장 수(개소), D7: 운행횟수(회).

형의 계수를 추정한 결과는 〈표 11〉과 같다.

계수추정결과 모든 독립변수들은 5% 유의수준에서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 서울시 지선버스노선의 형평성에 대한 결정요인으로는 노선별 정류장 수가 보다 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이와 같은 분석결과를 바탕으로 분석대상의 형평성을 현행보다 개선하기 위해서는 우선적으로 버스서비스를 제공하는 정류장 수의 증가를 통한 접근성 측면에서의 노선별 편차를 줄여야 하며, 정류장 수의 증가가 어려울 경우 현 노선상태에서 운행횟수를 증가시켜 형평성 측면에서의 노선별 편차를 줄여야 할 필요가 있다.

V. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 유익투입물을 고려한 수정 BCC 모형을 기반으로 2009년 서울시 179개 지선버스노선에 대한 형평성을 분석하였다. 분석대상은 유익산출물인 접근성 지표와 형평성 지표를 산출하기 위해 유익투입물은 정류장 수와 운행횟수를 사용하는 형태로 상정하였다. 투입지향 수정 BCC 모형으로 분석한 결과 전체 분석대상 중 약 9%의 노선만이 상대적인 형평성을 만족하는 것으로 나타났으며, 서울시 지선버스노선의 평균 형평성 추정치는 0.702인 것으로 분석되었다.

또한 분석대상의 형평성에 대한 결정요인을 분석하기 위해 추정된 형평성 점수를 종속변수로, 모형의 투입요소를 독립변수로 구성한 토빗회귀모형의 계수를 추정한 결과 본 연구의 유익투입물인 정류장 수와 운행횟수는 모두 5% 유의수준에서 통계적 유의미성을 확보하였으며, 해당 변수의 부호 또한 타당한 것으로 분석되었다. 이와 같은 분석결과를 바탕으로 분석대상의 형평성을 현 재보다 개선하기 위해서는 우선 노선별 정류장 수 편차를 줄일 필요가 있으며, 차선책으로는 현 노선상태에서 운행횟수를 증가시켜 버스서비스 제공에 대한 노선별 편차를 줄일 필요가 있다.

본 연구에서는 대중교통 서비스 제공에 필수적으로

요구되는 필요조건 중 형평성 측면만을 고려하여 분석을 수행하였기 때문에, 본 연구의 분석결과만을 통한 정책 방안 마련은 부족함이 따른다. 따라서 보다 합리적인 서비스 개선방안 및 노선체계 구축을 위해서는 노선의 효율성 또는 환경성 등과 같은 다양한 측면을 함께 고려해야 할 필요가 있다. 또한 분석모형의 한계로 인해 형평성에 영향을 미치는 요소로 노선별 정류장 수와 운행횟수만을 고려하였으나, 향후 노선의 다양한 요소들에 대한 비교검토가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 윤혁렬(2002), "서울시 지선버스 기능 활성화 방안 연구", 서울시정개발연구원.
2. 이상용·박경아(2003), "시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.29~44.
3. 조대현(2004), "공간적 형평성(spatial equity)의 평가 방법에 관한 연구: 도시 공공서비스에의 접근성을 중심으로", 지리교육논집, 제48집, pp.100~120.
4. 김찬성·황상규(2006), "국가균형발전을 위한 교통접근성 제고방안 연구: 형평성 분석을 중심으로", 한국교통연구원.
5. 정희돈·김찬성(2007), "대중교통 평가론", 한가람서원.
6. 박지영(2008), "버스이용의 접근성 차이에 따른 교통취약지 분석: 서울시 강동구 버스 이용자를 대상으로", 경희대학교 석사논문.
7. 양선규(2009), "시내버스 노선체계 평가를 위한 접근성 및 형평성지표의 개발: 대전광역시를 사례로", 목원대학교 석사논문.
8. 오미영·정창용·손의영(2009), "BMS 자료를 이용한 서울시 간선버스의 정시성 분석 (자료포락분석 기법을 적용하여)", 대한교통학회지, 제27권 제1호, 대한교통학회, pp.63~71.
9. 한진석·김혜란·고승영(2009), "자료포락분석을 이용한 서울시 간선버스노선 효율성 평가", 대한교통학회지, 제27권 제6호, 대한교통학회, pp.45~53.
10. 한진석·김혜란·고승영(2010), "유해산출물을 고려한 서울시 간선버스노선의 효율성 평가", 대한교통학회지, 제28권 제5호, 대한교통학회, pp.43~54.
11. Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes,

- E. L.(1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp.429~444.
12. Banker, R. D., A., Charnes and W. W., Cooper(1984), "Some Models for Estimation Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, 30, pp.1078~1092.
 13. Ali, A.I., L.M. Seiford(1990), "Translation Invariance in Data Envelopment Analysis", *Operational Research Letters* 9, pp.403~405.
 14. Alan Hay(1993), "Equity and welfare in the geography of public transport provision", *Journal of Transport Geography*, Volume 1, Number 2, pp.95~101.
 15. Shi-Hak Noh(1995), "Equity Implications of Subway Use in Seoul, Korea", *Journal of the Korea Geographical Society*, Vol. 30, No. 4, pp.352~363.
 16. Thomas W. Sanches(1998), "Equity Analysis of Personal Transportation System Benefits", *Journal of Urban Affairs*, Vol. 20, Number 1, pp.69~86.
 17. Seiford L. M. and Joe Zhu(2002), "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation", *European Journal of Operational Research*, 142, pp.16~20.
 18. David Martinelli and Leonel Medellin(2007), "Assessment of bus Transit Equity in Two Metropolitan Areas", West Virginia University.
 19. Todd Litman(2007), "Evaluating Transportation Equity: Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning", Victoria Transport Policy Institute 1250 Rudlin Steet, Victoria, BC, V8V 3R7, CANADA.
 20. Barum, D. T., Tandon, S., McNeil, S. and M.ASCE, P. E.(2008), "Comparing the Performance of bus Routes after Adjusting for the Environment Using Data Envelopment Analysis", *Journal of Transportation Engineering*, pp.77~85.
 21. Calvin P. Tribby(2009), "Assessing the Effects of New Public Transportation Routes: An Equity Analysis on the Changing Accessibility of Albuquerque", MS Thesis, The University of New Mexcio Albuquerque, New Mexico.

✉ 주 작 성 자 : 한진석

✉ 교 신 저 자 : 한진석

✉ 논문투고일 : 2010. 11. 26

✉ 논문심사일 : 2011. 1. 25 (1차)

2011. 4. 5 (2차)

✉ 심사판정일 : 2011. 4. 5

✉ 반론접수기한 : 2011. 8. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필