

시내버스 노선체계 평가를 위한 사회적 형평성 지표의 개발 및 적용성에 관한 연구

Development and Application of Social Equity Indicators for Evaluation of Bus Networks

양 선 규*
(Sun-Kyu Yang)
(Daejeon Metropolitan City)

장 현 봉**
(Hyun-Bong Chang)
(Mokwon University)

요 약

본 연구는 시내버스 노선체계 평가 시 평가지표로 활용될 수 있도록 사회적 형평성 지표를 개발하였다. 사회적 형평성을 수평적 관점과 수직적 관점에서 수평적 형평성, 수평적 접근성, 수직적 형평성, 수직적 접근성의 4개 지표로 나누어 개발하였으며, 통합 지표로서의 사회적 형평성을 정의하였다. 개발한 평가지표를 모의 네트워크에 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 사회적 형평성의 지표는 존별 상대 비교에서 유의한 것으로 나타났다. 아울러 사회적 관점을 포함한 평가와 포함하지 않은 평가 사례의 비교를 통해 노선체계에서 사회적 형평성을 고려하는 경우, 평가결과가 다르게 나타날 수 있음을 입증하였다. 사회적 형평성 지표를 포함하여 평가할 경우의 최적 대안은 이 지표를 포함하지 않은 경우의 최적 대안과는 달라질 수 있음을 보여준다. 이로써 공공서비스인 시내버스 노선체계를 평가할 때에, 경제적인 효율성뿐만 아니라 사회적 약자 등을 고려한 사회적 형평성 지표를 반영하여 평가하는 방식이 가능하게 되었다.

핵심어 : 형평성, 접근성, 사회적 형평성, 노선체계 평가, 교통약자

ABSTRACT

This paper developed social equity indicators for evaluation of bus networks. This paper divided the social equity into 4 categories such as horizontal equity, horizontal accessibility, vertical equity, and vertical accessibility and social equity was defined as integrated concept of these individual indicators. A simulation was performed by using the newly developed indicators to the toy network. On the basis of the simulation result, the social equity indicators are significant to the relative comparison for each zone. And, it was proved that optimal bus network alternative could be different depending on inclusion of the social equity indicators. Thus, it enabled to evaluate the bus network, as a public resource, considering not only the economic efficiency but also social equity. This paper suggested evaluation method for bus network considering social equity using indicators newly developed.

Key words : Equity, Accessibility, Social Equity, Evaluation of Bus Network, Transportation Vulnerable

† 본 논문은 목원대학교 연구년 지원을 받아 수행하였습니다.

* 주저자 : 대전광역시청 버스정책과 주무관

** 교신저자 : 목원대학교 도시공학과 교수

† Corresponding author : Sun-Kyu Yang(Daejeon Metropolitan City), E-mail skyang81@korea.kr

† Received 12 December 2016; reviewed 22 December 2016; Accepted 26 December 2016

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도시 내 대표적인 대중교통수단인 시내버스는 주로 승용차를 보유하지 못한 의존통행자(노인, 어린이, 장애인, 저소득층 등)의 이용 비율이 높으므로 노선체계 구축 시 사회적 관점을 고려할 필요가 있다. 아울러 지속가능한 측면에서 버스노선 계획 시 사회적 형평성도 고려해야 한다. 버스 노선체계에 대한 기존의 논문과 연구는 주로 비용의 효율성 측면을 다루었으며, 노선체계 평가 시에도 사회적 형평성이 중요하게 반영되지 못했다. 일부 형평성과 접근성을 고려한 연구가 있으나, 사회적 형평성을 계층적 관점(수직적 관점)으로 보지 않고 동등한 관점(수평적 관점)으로 접근하고 있다.

이러한 배경으로 본 논문은 시내버스 노선체계 평가 시 사회적 관점을 고려한 사회적 형평성 지표를 개발하고, 실증 사례를 통해 지표의 유의성을 검증하는 것을 목적으로 한다. 사회적 형평성을 수평적 형평성, 수평적 접근성, 수직적 형평성, 수직적 접근성으로 네 가지로 구분하여 노선체계 평가시 활용할 수 있는 평가지표를 개발하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

노선체계 평가의 개별평가지표로 사회적 형평성 지표를 개발하였다. 노선체계에서 고려할 수 없는 비용적, 인적, 수단적 측면은 배제하고, 네트워크 측면에서 정량화가 가능한 변수들을 반영하였다. 개발한 평가지표는 가상의 네트워크를 통해 유의성을 검증하고, 민감도 분석을 실시하였다.

실증적 분석을 위해 실제의 노선체계를 대상으로 사회적 형평성을 고려하였을 경우, 노선체계의 효율성이 어떻게 달라지는 지를 파악하기 위하여 대안별 종합 평가를 수행하였다. 여기에서 평가지표들의 상대적 중요도는 AHP분석을 통하여 지표별 가중치를 설정하였다.

II. 관련이론 및 선행연구 검토

1. 관련이론 검토

1) 사회적 형평성 이론

교통에서의 사회적 형평성의 유형은 다양하지만 일반적으로 수평적 형평성(horizontal equity)과 수직적 형평성(vertical equity)으로 분류된다. 수평적 형평성이란 능력과 요구 정도가 비슷한 개인과 집단 간에 영향이 고르게 미치도록 배분을 공정하게 하는 것을 의미하며, 이는 교통서비스가 필요한 개인이나 계층으로 하여금 동질의 서비스를 누리도록 하는 것을 뜻한다. 정책과 규제 측면에서 수평적 형평성은 어느 한쪽으로 치우침이 없이 모두에게 집행되어야 하며, 공적 차원의 지원이나 비용 부담도 계층 간 차별 없이 동등해야 한다고 할 수 있다.

반면, 수직적 형평성이란 동등하지 않은 자들에게는 동등하지 않은 것을 제공한다는 것을 기본 원칙으로 하여, 성·연령·건강·소득 등의 다양한 특성에 따라 자원배분 기준이 달라져야 하며, 차등적인 사람에게는 차등적인 대우를 하는 것을 의미한다[1].

2) 노선체계 평가 이론

버스노선체계 평가 시 관련된 다양한 주체들의 입장을 반영하여 평가하는 것이 바람직하다. 버스에 관련된 주체는 주로 버스 운영자, 이용자, 관리자 로 나눌 수 있으며, 혹자는 버스 관리자의 관점을 다시 사회적 관점과 관리자 관점으로 구분하기도 한다.

버스 운영자는 버스를 운영하는 회사로 볼 수 있고, 효율적인 운행으로 운행비용 절감과 최대의 이윤 창출을 그 목적으로 한다.

버스 이용자는 버스를 이용함에 있어서 다양한 가치의 편익을 버스 서비스로부터 제공받기를 원한다. 버스 이용자는 출발지에서 목적지까지의 통행 시간이 짧은 노선을 원하며, 이용자의 편의성은 접근시간, 차내통행시간, 대기시간, 환승률(환승횟수) 등으로 설명된다.

버스 관리자는 버스노선체계를 운영하고 관리하

는 지자체(정부)로 볼 수 있다. 관리자는 이용자가 버스노선을 빠르고, 편리하고, 안전하게 이용하도록 노선체계를 구축하고 운영하는 것이 그 목적이랄 수 있다. 여기에 사회적 관점을 포함할 경우, 형평성, 접근성차원에서 소외된 이용자가 방치되는 사회적인 불평등상태를 해소하여, 평등하게 버스 서비스를 제공하는 것이 버스 관리자의 목적이 될 수 있다. 이와 관련된 평가지표로는 노선의 중복도, 굴곡도, 형평성, 접근성 등의 정량적인 지표와 정류장 시설, 환승체계, BMS·BIS 등 관련시설과 정보체계 등을 들 수 있다.

2. 선행연구 고찰

1) 노선체계 평가 관련 연구

Lee(1998)는 노선굴곡도, 버스수요를 고려하여 노선대안을 수립하고 노선개편의 효과를 추정했고, 수요와 굴곡도를 적절히 조합한 노선체계가 최적의 노선체계임을 제시하였다[2].

Lee and Park(2003)은 버스노선체계를 평가함에 있어 버스이용의 편의성, 운행의 생산성, 사회적 비용의 최소화라는 3가지 목표에 입각하여 평가기준을 설정하였다. 이는 관련 주체인 버스이용자, 버스운영자, 사회적 입장을 반영한 것으로 볼 수 있다[3].

Yang and Chang(2012)은 시내버스 노선체계 평가를 위하여 접근성지표와 형평성지표를 개발하였다. 접근성을 준별 취락지역의 단위면적당 제공되는 버스정류장 수의 의미로 정의하여 집계형 모형을 이용하여 개발하였다. 접근성 평가지표는 각 존의 면적과 버스정류소 개수를 고려하며, 버스정류소수 대비 실제 버스이용이 가능한 면적(존 면적에서 개발제한구역면적을 제외한 면적)의 비율을 고려하여 산출하였다[4].

2) 교통부문 사회적 형평성 관련 연구

Jung et al.(2011)는 형평성에 대한 평가요소를 공간적, 사회적, 경제적 측면에서 정의하고, 소득계층별로 형평성의 격차가 유이하게 발생하는지, 이러한 격차들이 고착화되고 있는지에 대해 분석하였

다. 분석 결과 공간적, 사회적, 경제적 형평성은 상호간에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다[5].

Ahn(2008)은 경부고속도로 광역버스전용차선 시행이 사회적 형평성에 미친 영향을 평가하고, 개선방안을 제시하였다. 분석결과 선택적으로 버스를 이용하는 계층과 버스만을 필수적으로 이용해야 하는 계층의 경우에는 도로확장보다 버스전용차로를 선호하는 결과를 보였다[6].

Koopmans et al.(2012)는 철도 네트워크건설에 따른 접근성 변화를 분석하였다. 장기간 조사 자료를 활용하여 인구 변화와 접근성 변화간의 상관관계를 살펴보고, 접근성 변화에 영향을 주는 요인을 찾기 위하여 인구, GDP, 밀도 등의 변수를 이용하여 계량적 모형을 구축하였다[7].

Tiwari and Jane(2012)은 교통시스템 내에서 개발되는 특정사업이 서로 다른 유형의 이용자들에게 미치는 효과가 각각 다르게 나타난다고 보고, 이를 고려하기 위한 접근성 지표를 개발하였다[8].

Gutierrez et al.(2010)는 새로운 교통시설 투자로 인해 발생하는 공간적 스펠오버(Spillover) 효과에 대하여 연구하였으며, 접근성 개선의 편익을 산정함으로써 각 지역별로 시설투자에 필요한 비용과 재원을 배분하고자 하였다[9].

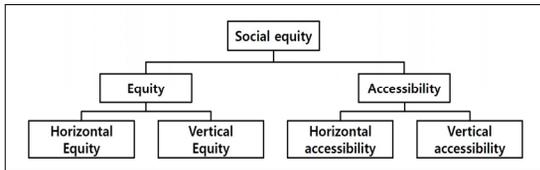
3) 선행연구와의 차별성

이상의 선행연구에서 시내버스 노선체계 및 노선망의 효율성에 관한 연구는 다소 있으나, 본 논문에서 중점적으로 다루려는 사회적 형평성이나 교통약자를 고려한 노선체계 평가에 대한 연구는 거의 없다. 또한 노선체계 측면의 선행연구를 보면 특정 지역의 일부 노선망이나 버스전용차로에 대해 연구를 수행한 것으로서, 현실의 모사 및 일반화에 한계가 있다. 이에 본 논문은 사회적 형평성 지표를 개발하여 노선체계 평가에 사용될 수 있도록 정량화하였으며, 실제 도시 노선체계에 대해 평가해 봄으로써 연구의 실효성을 높였다는 점에서 선행연구와 차별성이 있다.

III. 사회적 형평성 평가지표 개발

1. 사회적 형평성의 정의

일반적으로 접근성은 공간적 측면에서 이용자가 시설로의 접근이 얼마나 용이한가의 정도를 나타내므로, 모든 이용자가 평등하게 접근할 수 있어야 한다는 개념 하에 형평성과 혼합되어 사용되기도 한다[10]. 그러나 버스노선체계에서의 접근성과 형평성은 다르게 해석할 수도 있다. 접근성은 단위공간에서 정류소의 개수가 많을수록 개인의 접근도가 높아지며, 형평성은 개별 노선이 단위 공간을 통행할 때 어느 정도 빈도의 버스가 통행하는가의 평등의 측면에서 해석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사회적 형평성을 형평성과 접근성으로 나누고, 형평성을 다시 수평적 형평성과 수직적 형평성으로, 접근성도 수평적 접근성과 수직적 접근성으로 나누어 이를 사회적 형평성으로 정의하였다.



〈Fig. 1〉 Concept of social equity

2. 사회적 형평성 평가지표 개발

1) 수평적 관점의 평가지표

수평적 형평성은 누구나 동질의 서비스를 받아야 한다는 개념으로 각 존별로 운행되는 버스대수가 얼마나 고르게 분포되어 있는지를 통해 분석한다. 버스이용자가 많은 존은 그렇지 못한 존에 비해 많은 수의 버스 대수를 투입하여야 평등하다는 개념 하에, 존 간의 형평성을 비교할 수 있다. 수평적 형평성 지표는 존별 버스교통에 의존하는 통행자수를 산출한 값과 실제 운행되는 존별 1일 버스운행회수를 이용하여 산출한다. 각 존별 1일 버스운행회수는 각 존별 경유노선의 운행회수의 합으로 구할 수 있으며, 수식은 Yang and Chang(2012)의 수식을 적용하였다.

$$BCR_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (p_i - (c_i \cdot b)) \quad (1)$$

여기서,

BCR_i = i 존의 버스교통의존통행자(Bus captive rider, 인)

p_i = i 존의 인구수(인)

c_i = i 존의 자가용승용차 보유대수

b = 승용차 평균 재차인원(인/대)

N = 총 교통존 수

$$E_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{BCR_i} \quad (2)$$

여기서,

E_h = 수평적 형평성

x_i = i 존을 경유하는 버스운행회수(회/일)

N = 총 교통존 수

수평적 접근성이란, 출발지에서 승차정류소 또는 하차정류소에서 목적지로의 접근할 수 있는 정도를 보여주는 지표이며, 이용자들에게 버스의 서비스가 얼마나 접근되어 있는가를 판단하는 지표이다.

수평적 접근성 지표는 Yang and Chang(2012)의 시가화 면적과 버스교통의존통행자를 고려한 접근성 개념을 기반으로 Lee and Park(2003)의 공간적 밀도 측면에서 접근하는 공간적 접근성과 정류소 시설을 이용할 수 있는 접근 가능성 측면에서 인구 대비 밀도를 고려한 이용가능 접근성으로 구분하여 산출하였다. 여기서는 공간적 접근성과 이용가능 접근성을 동등한 위치로 설정하였고, 두 지표의 단위가 다르므로 각각 산출된 두 지표값은 선형변환법을 이용하여 표준화 한 후, 산술평균한 값을 수평적 접근성의 지표로 적용하였다.

먼저, 공간적 접근성은 각 존의 면적과 버스정류장 수를 고려하며, 버스정류장 대비 실제 버스가 용이 가능한 면적(존 면적에서 존 개발제한구역면적을 제외한 수치)을 통해 산출한다. 물론, 개발제한구역 내에도 잠재적 버스이용수요가 있겠지만 그 특성상 버스이용수요는 극히 드문 것으로 간주하였다.

이용가능 접근성은 존 내 거주하는 인구를 대상으로 버스교통의존도행자를 산출하여 정류소 수로 나누는 값으로 이용가능성에 입각한 밀도 지표이다. 수평적 접근성을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

[공간적 접근성]

$$a_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{(r_i - g_i)} \quad (3)$$

여기서,

r_i = i 존의 면적(km²)

g_i = i 존의 개발제한구역 면적(km²)

s_i = i 존의 버스정류소 수(개소)

[이용가능 접근성]

$$a_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{BCR_i} \quad (4)$$

[수평적 접근성]

$$A_f = \frac{a_s + a_p}{2} \quad (5)$$

여기서,

a_s = 공간적 접근성

a_p = 이용가능 접근성

2) 수직적 관점의 평가지표

수직적 형평성은 서로 다른 특성을 가진 여러 계층의 차이를 고려한 개념으로 각 존별 교통약자 대비 운행되는 버스대수가 얼마나 고르게 분포되어 있는지를 통해 분석한다. 이는 수평적 형평성의 버스이용자가 많은 존은 그렇지 못한 존에 비해 많은 수의 버스대수를 투입하여야 평등하다는 개념 보다는 사회적인 관점에서 교통약자에게는 좀 더 많은 수의 버스대수를 투입하여야 한다는 차등적인 개념으로 존간의 형평성을 비교할 수 있다. 본 연구에서의 교통약자는 통계적으로 취득 가능한 노인수, 미성년자수, 기초생활 수급자 수, 장애인 수로 한정하였다.

수평적 형평성 지표는 존별 인구수와 교통약자

수를 고려한 인구대비 교통약자의 비율과 실제 운행되는 존별 1일 버스운행회수를 이용하여 산출한다.

$$Tw_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{(o_i + m_i + sm_i + d_i)}{p_i} \quad (6)$$

여기서,

Tw_i = i 존의 인구대비 교통약자 비율(%)

p_i = i 존의 인구수(인)

o_i = i 존의 노인수(인)

m_i = i 존의 미성년자 수(인)

sm_i = i 존의 기초생활수급자 수(인)

d_i = i 존의 장애인 수(인)

$$E_v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{Tw_i} \quad (7)$$

여기서,

E_v = 수직적 형평성

x_i = i 존을 경유하는 버스운행회수(회/일)

수직적 접근성 지표는 수평적 접근성과 같이 공간적 밀도 측면에서 접근하는 공간적 접근성과 정류소 시설을 이용할 수 있는 이용가능 접근성으로 구분하여 산출하였다.

공간적 접근성은 면적을 통한 공간적 개념에서 접근하므로 수평적 접근성과 같은 산식을 적용하였으며, 이용가능 접근성은 존 내 거주하는 인구대비 교통약자의 비율을 적용하여 이용가능성에 입각한 밀도 지표이다. 수평적 접근성을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

[이용가능 접근성]

$$a_p^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{Tw_i} \quad (8)$$

여기서,

s_i = i 존의 버스정류소 수(개소)

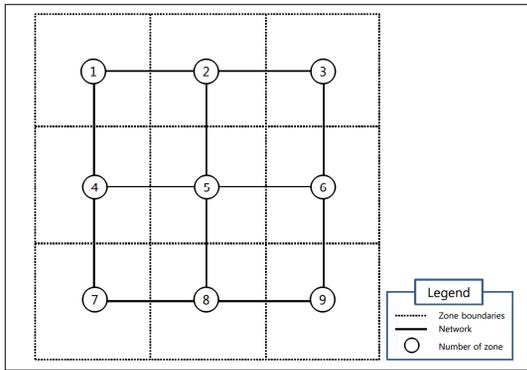
Tw_i = i 존의 인구대비 교통약자비율(%)

[수직적 접근성]

$$A_s = \frac{a_s + a_p}{2} \quad (9)$$

3. 사회적 형평성 평가지표의 유의성 검증

개발한 사회적 형평성 지표가 존별 상대비교에 유의한지 알아보기 위해 가상의 버스네트워크를 설계하여 분석하였다. 가상의 네트워크는 9개 존으로 설정하여, 버스 대수는 20대, 링크별 통행시간은 1시간으로 가정하여 10개의 노선을 산정하였다. 노선의 설계는 구축된 기종점 통행량을 토대로 상위 O/D부터 이어나가는 방식으로 구축하였다.



<Fig. 2> Toy network

구축한 가상 네트워크의 존별 수직적 형평성과 접근성을 분석한 결과는 <Table 1>과 같다. 인구대비 교통약자의 비율을 고려한 수직적 형평성은 5번 존이 가장 높게 나타났다. 이는 인구수에 비해 교통약자의 수가 20%로 적지만, 중심지 기능으로 통행량이 많아 버스운행횟수 또한 가장 많게 나타나 교통약자의 비율을 상쇄하는 것으로 해석된다.

반면, 교통약자의 절대수를 적용하면 8번 존이 가장 양호한 값을 보였다. 인구와 교통약자 수는, 4, 6번 존과 동일하지만, 수요에 따른 버스 운행횟수의 차이로 해석할 수 있다.

수직적 접근성 교통약자의 비율을 고려하였을 시, 외곽존인 1, 3, 7, 9번 존이 양호한 값으로 나타나지만, 교통약자의 수를 고려하였을 시 7, 9번 존의 값은 감소하였다.

<Table 1> Vertical perspective analysis considering the ratio and absolute number of traffic disadvantages relative to population

Zone No.	Vertical equity		Vertical accessibility	
	Transportation vulnerable rate	Absolute value	Transportation vulnerable rate	Absolute value
1	3.80	1.81	1.000	1.000
2	6.13	2.73	0.921	0.891
3	3.40	1.62	1.000	1.000
4	6.73	3.21	0.921	0.921
5	15.90	3.42	0.667	0.484
6	6.53	3.11	0.921	0.921
7	3.30	1.47	1.000	0.967
8	7.40	3.52	0.921	0.921
9	3.63	1.61	1.000	0.967

4. 민감도 분석

개발한 지표의 일반화를 위해 민감도 분석을 수행하였다. 수직적 형평성 민감도 분석에는 3개의 대안을 설정하였다. 수직적 형평성은 존별 교통약자 수와 버스운행회수에 따라 결과값이 변동하므로, 개별 노선의 노선망(노선 루트)을 변화시켜 대안을 설정하였다.

대안 설정에는 앞서 구축한 모의 네트워크를 대안1로 설정하였으며, 대안2는 분석값을 토대로 수직적 형평성이 높은 존의 버스대수를 줄여 상대적으로 낮은 존에 투입하였다. 대안3은 O/D에 기초한 노선망을 구축하되 간·지선의 위계를 도입하여 노선망을 구축하였다. 여기서 버스 운행대수와 링크통행시간은 동일하게 고정하였으므로, 노선망의 총 연장에 따라 대안별·존별 버스의 운행횟수가 변화한다.

<Table 2> Key indicators for alternative vertical equity sensitivity analysis

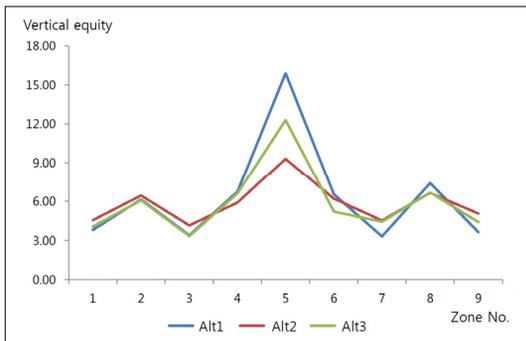
Index	Total length of routes	Interval of routes	Overlap ratio	Transfer ratio	Number of routes
Alt1	46km	18.1min	2.98	12.3%	10
Alt2	51km	20.0min	3.21	8.2%	11
Alt3	34km	13.6min	1.62	22.6%	11

수직적 접근성은 존별 교통약자 수와 정류소 수에 따라 결과값이 변동하므로, 교통약자 수를 고정시키고 대안별 정류소 수를 변화시켰다.

수직적 형평성의 민감도 분석 결과, 수직적 형평성이 높은 존의 버스대수를 줄여 상대적으로 수직적 형평성이 낮은 존에 투입한 대안2가 양호한 노선체계로 분석되었다. <Fig. 3>의 그래프를 보면 대안1과 대안3 보다 대안2가 존별 수직적 형평성이 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

<Table 3> Sensitivity analysis result of vertical equity

Zone No.	Alt1	Alt2	Alt3
1	3.80	4.55	4.05
2	6.13	6.43	6.07
3	3.40	4.15	3.33
4	6.73	5.90	6.60
5	15.90	9.30	12.30
6	6.53	6.20	5.20
7	3.30	4.53	4.43
8	7.40	6.63	6.67
9	3.63	5.05	4.40



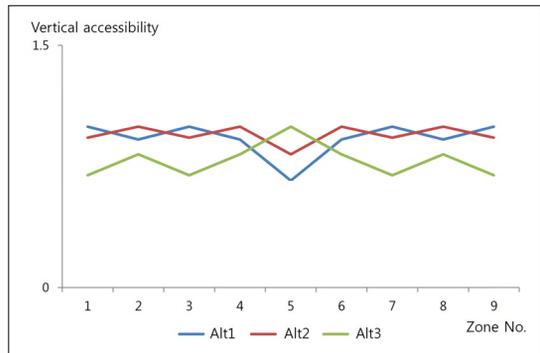
<Fig. 3> Sensitivity analysis result of vertical equity

수직적 접근성의 민감도 분석결과, 수직적 접근성이 낮은 5개존의 정류소 수를 1개 증가시킨 대안2가 양호한 노선체계로 분석되었다. <Fig. 4>의 그래프를 보면 대안1과 대안3 보다 대안2가 존별 수직적 접근성이 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 설정한 네트워크와 사회적 지표의 규모가 작아서

1~2개의 정류소만을 증가시켜도 결과 값이 상반되게 나타나, 각 대안별 노선체계는 정류소 수에 민감하게 반응하는 것으로 판단된다.

<Table 4> Sensitivity analysis result of vertical accessibility

Zone No.	Alt1	Alt2	Alt3
1	1.000	0.932	0.700
2	0.921	1.000	0.829
3	1.000	0.932	0.700
4	0.921	1.000	0.829
5	0.667	0.829	1.000
6	0.921	1.000	0.829
7	1.000	0.932	0.700
8	0.921	1.000	0.829
9	1.000	0.932	0.700



<Fig. 4> Sensitivity analysis result of vertical accessibility

사회적 형평성 평가지표의 유의성 검증 결과, 수직적 형평성과 수직적 접근성 모두 이용변수에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 또한 존별 인구 대비 교통약자의 비율과 존별 교통약자의 절대수로 나누어 분석하였을 때에도 교통약자 수에 따라 다르게 반응하는 것으로 나타났다.

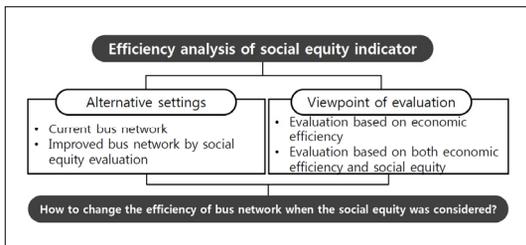
이상의 분석에 따르면 본 논문에서 개발한 사회적 형평성 지표는 버스노선체계에서 정상적으로 작동하고 있음을 보여주며, 이는 노선체계 구축 및 개편 시 효율성 지표들과 더불어 사회적 약자를 위한 평가 지표로 활용할 수 있다고 판단된다.

IV. 노선체계 효율성 실증 분석

효율성 실증 분석은 대전광역시를 대상으로 기존 노선체계 평가에서 활용되었던 정량적 평가지표에 사회적 형평성을 함께 고려하여 평가하였을 때, 노선체계의 효율성이 어떻게 달라지는지에 대해 분석한다.

평가에는 버스의 이용자, 운영자, 관리자 관점과 더불어 앞서 개발한 평가지표를 사회적 관점의 평가지표로 활용하였다. 평가지표 설정에는 기존 연구에서 자주 활용되었던 지표들 중에서 네트워크 차원의 정량화가 가능한 지표를 적용하였다.

대안은 현재 노선체계(대안1)와 사회적 형평성 평가에 의해 개선된 노선체계(대안2)로 2개의 대안을 설정하였다. 평가에는 기존 효율성 위주의 평가지표만을 적용한 평가와 사회적 관점을 포함한 평가로 나누어 수행하였으며, AHP 전문가 설문조사를 통해 지표별 가중치를 고려하였다.



〈Fig. 5〉 Evaluation of each alternative

1. 노선체계 평가지표의 설정

버스이용자의 편익은 같은 비용으로 버스서비스를 이용하더라도 더 빠르게 목적지에 도착하는 것 즉, 최초 정류장 대기시간 및 환승대기시간의 단축, 최소한의 환승이라고 볼 수 있다. 이는 차내통행시간, 대기시간, 환승횟수 등으로 표현된다. 따라서 본 논문에서는 버스이용자 관점의 평가지표로 총 차내통행시간과 총 대기시간, 환승률을 설정하였고 수치가 작을수록 버스이용자의 편익이 크다고 볼 수 있다. 계산은 EMME/3로 분석하였고 대기시간은 최초 버스탑승을 위한 대기시간과 중간에 하차하여

환승을 위해 대기하는 환승대기시간으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 최초 대기시간과 환승대기시간을 합한 값을 대기시간 지표로 설정하였다. 환승률은 EMME/3를 통하여 산출된 총 통행수와 환승 통행수를 이용하여 도출하였다.

운영자 관점의 평가지표로는 노선직결도(=굴곡도의 역수), 운행 생산성, 정시성, 비용 및 수입, 운행효율, 총 운행노선연장, 운행시간, 필요차량소요대수 등이 있다. 정시성, 운행효율 등은 네트워크 차원에서 산출할 수 없는 지표이며, 운행 생산성, 비용 및 수입 등은 준공영제의 관점에서 본 논문에서 제외하였다. 또한 필요차량소요대수는 본 연구의 대안별 평가에 있어 전체 버스대수는 고정시키고 노선별 소요대수만 조정하므로 이 지표도 제외하였다. 따라서 본 연구의 운영자 관점의 평가지표로 평균운행시간과 총 운행노선연장을 설정하였다.

관리자 관점의 평가지표로는 접근성, 중복도, 굴곡도, BMS, 운영비용, 형평성, 에너지 및 환경오염 절감 등이 있다. 접근성 및 형평성은 본 연구의 목적에 부합되게 사회적 관점에 포함하였으며, 네트워크 차원에서 산출할 수 없는 BMS, 운영비용, 에너지 및 환경오염 절감의 지표는 관리자 관점에서 제외하였다.

사회적 관점의 평가지표는 본 연구에서 개발한 사회적 형평성(수평적·수직적 형평성, 수평적·수직적 접근성)의 4가지 지표로 설정하였다.

〈Table 5〉 Evaluation indicators by perspective

Index	User	Operator	Manager	Social
Evaluation indicators	In-vehicle travel time	Operating time Total length of routes	Overlap ratio winding ratio	Horizontal equity
	Waiting travel time			Horizontal accessibility
	Number of transfers			Vertical equity
				Vertical accessibility

2. AHP 분석을 통한 가중치 산정

본 연구에서 개발한 사회적 형평성 지표가 시내

버스 노선체계 평가에서 유의미하게 활용되기 위해서는 기존의 평가지표들과 함께 평가해 보는 방법이 필요하다. 그러나 각 지표별 단위가 다르므로 정규화한 값을 이용하였고, 지표별 상대적 중요도가 다를 것으로 판단하여 AHP분석을 통해 상대적 가중치를 설정하였다.

〈Table 6〉 The result of AHP analysis

Perspective	Indicators	Weighting
User (0.213)	In-vehicle travel time	0.501
	Waiting travel time	0.203
	Number of transfers	0.295
Operator (0.119)	Operating time	0.576
	Total length of routes	0.424
Manager (0.178)	Overlap ratio	0.308
	winding ratio	0.692
Social (0.489)	Horizontal equity	0.166
	Horizontal accessibility	0.128
	Vertical equity	0.395
	Vertical accessibility	0.312

전문가 설문조사는 총 25부의 설문지를 배포하여 회수된 19부 중 오류검사를 통해 분석 가능한 17부의 표본을 수집하여 분석하였다. 분석결과 중요도의 신뢰도인 일관성 지수(Inconsistency)는 0.02로 나타나 각 중요도에 대한 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

3. 노선체계 대안 설계

본 논문에서 개발한 사회적 형평성 지표가 실제 시내버스 노선체계 평가에서 어떻게 작동하는 지를 알아보기 위해 2개의 대안을 설정하였다. 현 노선체계를 간선-지선의 위계구조를 가진 효율성 위주의 노선체계로 보고, 사회적 관점을 반영한 노선체계 대안과 비교함으로써 사회적 형평성 지표의 포함여부에 따라 평가 결과를 비교하였다.

대전광역시를 사례로 하여 현재 운행되는 노선체계를 [대안1]로 설정하였다. 이용수요에 따라 간선-지선의 위계를 부여하여 전면 개편한 노선체계

이며 골목노선을 직선화하고 중복노선을 최대한 줄였고 급행, 간선, 지선, 순환 노선의 4가지 위계로 구분하여 총 95개의 노선을 운행하고 있다.

[대안2]는 도시규모별 사회적 형평성 분석치가 평균치에 미달하는 존에 대하여 노선의 연장 및 조정, 운행횟수 증가, 정류소 신설 및 조정 등으로 교통약자를 고려한 노선체계를 구축하였다. 여기서 사회적 형평성 측면에서 노선의 공급이 많은 존의 버스를 줄여서 공급이 적은 존에 노선을 투입함으로써, 즉 상대적 배차간격의 조정을 통하여 가용 버스대수는 914대로 고정하였다. 단, 일부 지역의 노선신설로 전체 노선 수는 기존 95개 노선에서 101개 노선으로 증가하였다.

정류소의 경우 위계를 고려하여 가장 효율적으로 정류소 배치를 수행하여 접근성지표의 산정에 활용하였다. [대안1]은 위계를 갖춘 노선체계이므로 급행노선과 간선노선은 이동성이 중요하므로 정류소수가 적어야 하는 반면 지선노선은 접근성이 좋아야하므로 정류소수가 많아야 한다는 개념으로 배치하였다. [대안2]는 사회적 형평성을 고려한 노선체계로 [대안1]에서 상대적으로 교통약자들이 많은 존의 경우 중요 시설로의 접근성과 이용가능성 측면에서 정류소 수의 조정 및 신설을 통하여 재배치하였다.

〈Table 7〉 The principle of bus stop adjustment

Principle	Alt1	Alt2
1	Maintain current status	Zones with a lower social equity indicators than average will either create new bus stops or coordinate locations
2		Set the bus stop interval in the zone so that it does not exceed 100m maximum
3		Even though the demand for boarding and landing is low, the bus stop of the zone with low social equity remains in place
4		Bus stops in remote areas remain as current as possible

전체 통행량은 526,906통행으로 동일하며, 두 대안별 주요지표의 특징은 <Table 8>과 같다.

<Table 8> Comparison of indicators by alternatives

Index	Alt1	Alt2
Number of routes	95	101
Average length	15.3km	17.6km
Average Interval	14.8min	16.2min
Trip of transfer	123,586	98,256

4. 노선체계 효율성 분석

1) 사회적 관점을 제외한 평가

개발된 사회적 관점의 평가지표를 포함하지 않고, 기존의 효율성 위주의 평가지표에 따라 이용자, 운전자, 관리자 측면에서 평가한 결과는 <Table 9>와 같다. 대안1이 노선의 위계가 높은 관계로 환승률은 높지만 다른 지표들은 양호한 수치를 보인다. 반면, 대안2는 대안1에 비하여 환승률만 우수하며, 나머지 지표들은 저조한 수치를 보인다.

<Table 9> Evaluation results excluding social viewpoint

perspective	Indicators	Alt1	Alt2
User	In-vehicle travel time	90.767	97.368
	Waiting travel time	39.271	45.167
	Ratio of transfers	23.5	18.6
Operator	Operating time	61.2	65.0
	Total length of routes	3.122	3,525
Manager	Overlap ratio	4.26	4.96
	winding ratio	1.30	1.44

지표별 평가결과는 선형정규화법(Liner Normalization)을 적용하여 정규화한 후 AHP분석을 통한 가중치를 적용하여 종합평가하였다. 선형정규화법은 각 평가지표별로 가장 양호한 산출값을 1.0으로 하여 정규화하는 방법으로 그 내용은 다음과 같다.

- 음(-)의 평가지표 : $1 - \frac{r_{ij}}{r_{i*}}$
- 양(+)의 평가지표 : $\frac{r_{ij}}{r_{i*}}$

여기서, r_{ij} = 계량화된 j 대안의 i 속성의 평가치
 r_{i*} = i 속성의 최대치

<Table 10> Overall evaluation results excluding social viewpoint

Indicators	Weighting	Normalization		Evaluation Results		
		Alt1	Alt2	Alt1	Alt2	
User	In-vehicle travel time	0.224	1.000	0.932	0.224	0.209
	Waiting travel time	0.091	1.000	0.869	0.091	0.079
	Ratio of transfers	0.132	0.791	1.000	0.104	0.132
Operator	Operating time	0.120	1.000	0.942	0.120	0.113
	Total length of routes	0.088	1.000	0.886	0.088	0.078
Manager	Overlap ratio	0.107	1.000	0.859	0.107	0.092
	winding ratio	0.240	1.000	0.903	0.240	0.217
Sum		1.000	6.791	6.391	0.974	0.919

사회적 관점을 포함하지 않은 효율성 위주로 종합 평가한 결과는, 대안1이 대안2보다 우수한 노선 체계로 평가되었다.

2) 사회적 관점을 포함한 평가

본 논문에서 개발된 사회적 형평성 지표를 기존 효율성 위주의 평가에 도입하여 이용자, 운전자, 관리자, 사회적 관점에서 수행한 결과는 <Table 11>과 같다. 사회적 형평성 차원에서 노선을 투입한 대안2가 노선의 위계가 높은 대안1에 비해 사회적 관점의 4가지 지표와 환승률 부문에서 양호한 값을 보였다.

<Table 11> Evaluation results including social viewpoint

Indicators		Alt1	Alt2	
User	In-vehicle travel time	90,767	97,368	
	Waiting travel time	39,271	45,167	
	Ratio of transfers	23.5	18.6	
Operator	Operating time	61.2	65.0	
	Total length of routes	3,122	3,525	
Manager	Overlap ratio	4.26	4.96	
	winding ratio	1.30	1.44	
Social	Horizontal	Accessibility	0.211	0.264
		Equity	10.700	11.712
	Vertical	Accessibility	0.268	0.338
		Equity	16.890	18.911

〈Table 12〉 Overall evaluation results including social viewpoint

Indicators		Weighting	Normalization		Evaluation Results		
			Alt1	Alt2	Alt1	Alt2	
User	In-vehicle travel time	0.107	1.000	0.932	0.107	0.100	
	Waiting travel time	0.043	1.000	0.869	0.043	0.037	
	Ratio of transfers	0.063	0.791	1.000	0.050	0.063	
Operator	Operating time	0.069	1.000	0.942	0.069	0.065	
	Total length of routes	0.051	1.000	0.886	0.051	0.045	
Manager	Overlap ratio	0.055	1.000	0.859	0.055	0.047	
	winding ratio	0.123	1.000	0.903	0.123	0.111	
Social	Horizontal	Accessibility	0.081	0.799	1.000	0.065	0.081
		Equity	0.062	0.914	1.000	0.057	0.062
	Vertical	Accessibility	0.193	0.793	1.000	0.153	0.193
		Equity	0.153	0.893	1.000	0.137	0.153
Sum		1.000	10.190	10.391	0.909	0.958	

기존 효율성 위주의 평가지표에 사회적 관점을 포함한 종합 평가결과, 사회적 관점을 제외한 효율성 위주의 평가결과와는 상반되게 대안2가 대안1보다 우수한 노선체계로 평가되었다. 기존 효율성 위주의 평가지표에 본 연구에서 개발한 사회적 형평성 지표를 도입하였을 때, 대안2가 대안1보다 우수한 노선체계라고 단정할 수는 없다. 그러나 경제적 효율성을 지향하는 위계수준이 높은 노선체계라 할지라도 사회적 관점에서 접근 했을 때에는 노선체계의 효율성이 달라질 수 있음을 입증한 것에 의의가 있다.

V. 결 론

본 논문은 기존의 노선체계 평가 시 경제적 효율성 위주의 평가지표들에 의하여 평가해 오고 있는 상황에서, 최근 중요시되고 있는 사회적 형평성을 고려할 수 있는 평가지표를 개발하였다.

가상의 네트워크를 통한 교통약자 비율과 절대값을 분석한 결과, 존별 상대비교에 유의한 것으로 나타났다. 또한 3개의 대안을 설정하여 버스운행횟수, 정류소 수에 대해 민감도분석을 수행한 결과,

개발된 평가지표는 대안별로 민감하게 반응하는 것으로 분석되어 노선 체계에서 정상적으로 작동할 수 있음을 입증하였다..

사회적 관점을 포함한 평가와 포함하지 않은 평가의 비교를 통하여 노선체계에 사회적 형평성을 고려할 경우, 효율성이 달라질 수 있음을 입증하였다. 사회적 형평성 지표를 고려하지 않은 노선체계 보다는 이를 포함하여 평가할 경우, 더 우수한 노선체계로 평가되었다. 따라서 시내버스가 공공서비스라는 특성을 감안한다면 노선신설이나 개편 시, 경제적인 효율성 외에도 이용자, 특히 사회적 약자를 위한 복지 차원을 감안할 필요가 있다고 판단된다.

앞으로 다음과 같은 연구가 필요하다.

첫째, 사회적 형평성 지표의 개발 시 통행실태자료를 고려하지 못하였다. 동적인 개념에서 기점과 종점의 존별 교통약자 통행량을 파악한다면 좀 더 정확한 분석치가 산출될 것이다. 향후 사회적 관점을 고려한 노선개편 시 통행실태조사 항목에 교통약자 항목을 추가할 방안을 고려할 필요가 있다.

둘째, 효율성 위주의 평가지표를 선정할 때, 네트워크 차원에서 정량화가 가능한 지표만을 선정하여서 다양한 평가 지표를 포함하지 못했다. 향후 세밀한 모형을 구축하여 정성적인 개념의 평가지표를 정량화하는 방안과 다양한 요소를 고려하는 지표를 추가로 제시할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] Litman(2005), "Evaluating Transportation Equity," *World Transport Policy and Practice*, vol. 8, no. 2, pp.50-65.
- [2] Lee Y. W.(1998), *A Study Evaluation Criteria and Methods for Restructuring Urban-bus Routes*, The Graduate School of University of Seoul.
- [3] Lee S. Y. and Park K. A.(2003), "Quantitative Evaluation Indicators for the City Bus Route Network," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 21, no. 4, pp.29-44.
- [4] Yang S. K. and Chang H. B.(2012), "Evaluation of Bus Routes Network Considering

- Accessibility and Equity : The Case of the Metropolitan Daejeon,” *Journal of the Korea Planners Association*, vol. 47, no. 2, pp.133-143.
- [5] Jung I. H., Lee B. J. and Kim H. R.(2011), *The Strategies of Equity Improvement Toward Fair Society : Focusing on the Equity in Transportation Policy*, Korea Research Institute for Human Settlements.
- [6] Ahn K. J.(2008), *The Analysis on Social Equity of Inter-city Exclusive Bus Lane*, Seoul Development Institute.
- [7] Koopmans C., Rietveld P. and Huijg A.(2012), “An Accessibility Approach to Railways and Municipal Population Growth, 1840-1930,” *Journal of Transport Geography*, vol. 25, pp.98-104.
- [8] Tiwari G. and Jane D.(2012), “Accessibility and Safety Indicators for all Road Users : Case Study Delhi BRT,” *Journal of Transport Geography*, vol. 22, pp.87-95.
- [9] Gutierrez J., Condeco-Melhorado A. and Martin J. C.(2010), “Using Accessibility Indicators and GIS to Assess Spatial Spillovers of Transport Infrastructure Investment,” *Journal of Transport Geography*, vol. 18, pp.141-152.
- [10] Lee J. Y., Choi J. S., Park E. A. and Cheon J. Y.(2013), *A Study on Transportation Cost Expenditures and Social Equity*, The Korea Transport Institute, pp.10-21.

저자소개



양 선 규(Yang, Sun-Kyu)

2016년 9월~현 재 : 대전광역시청 버스정책과 주무관
 2015년 5월~2016년 8월 : 제주특별자치도청 교통정책과 주무관
 2008년 12월~2015년 4월 : 대전발전연구원 도시기반연구실 연구원
 2015년 8월 : 목원대학교 도시공학과 공학박사(교통공학)
 2009년 8월 : 목원대학교 도시공학과 공학석사(교통공학)
 2007년 2월 : 목원대학교 도시공학과 공학사
 e-mail : skyang81@korea.kr



장 현 봉 (Chang, Hyun-Bong)

1991년 3월~현 재 : 목원대학교 도시공학과 교수
 1989년 4월~1991년 2월 : 도로교통공단 교통과학연구원 교통운영연구실장(연구위원)
 1982년 11월~1985년 3월 : 국토연구원 교통연구실 연구원
 1988년 2월 : 서울대학교 토목공학과 공학박사(교통공학)
 1982년 2월 : 서울대학교 토목공학과 공학석사(교통공학)
 1980년 2월 : 서울대학교 토목공학과 공학사
 e-mail : hbchang@mu.ac.kr