

■ 論 文 ■

시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용

Quantitative Evaluation Indicators for the City Bus Route Network

이 상 용

(교통개발연구원 연구위원)

박 경 아

(교통개발연구원 연구원)

목 차

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 II. 기존 관련연구의 고찰 III. 버스노선망 평가 기준 및 지표의 수립 <ul style="list-style-type: none"> 1. 버스노선망 평가의 관점 2. 정량적 평가지표의 설정 IV. 평가모델의 적용 : 경기도 시흥시 사례 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 시흥시 버스노선체계 개요 및 노선체계 대안 2. 노선체계 대안의 평가결과 V. 결론 및 향후 연구과제 <ul style="list-style-type: none"> 1. 결론 2. 연구의 한계 및 후속 연구과제 <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 버스노선망, 평가지표, 접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결도, 운행생산성, 형평성, 최소차량소요

요 약

도시 내 버스노선체계 개선을 위한 선행작업인 전체노선체계에 대한 합리적이고 형평성 있는 평가를 위한 기준 및 정량적 지표의 설정, 그리고 이를 이용한 평가사례가 제시되었다. 평가기준은 버스이용의 편의성, 운행의 생산성, 그리고 사회적 비용의 최소화라는 3가지 목표에 입각하여 접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결도, 운행생산성, 형평성, 그리고 차량소요대수의 7개 기준으로 설정되었으며 평가지표는 각각의 기준을 나타내는 구체적 측정도구로서의 정량적 모델로 구성되었다. 평가사례는 경기도 시흥시를 대상으로 기존 노선망의 유지를 포함한 4개의 개선대안에 대하여 설정된 7개 평가지표를 산출, 결과를 비교 평가하는 방식을 취하였다. 또한 지표별 평가점수를 선형정규화법에 의하여 표준화함으로써 종합적 평가가 가능하도록 하였다. 평가결과에 따르면, 설정된 지표들은 부분적으로 한계가 있지만 전반적으로 버스노선체계의 구조와 특성을 잘 반영하고 있어 타당성이 충분함을 보여주고 있다. 후속 연구와 관련하여, 설정된 지표 중 접근성 지표와 환승률 지표에 대하여는 좀 더 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한, 종합적 평가를 위한 지표 값의 표준화와 지표별 가중치 설정에 관한 연구가 이어져야 할 것이며, 정책적 측면에서는 각 도시별로 나름대로의 특성과 정책목표에 입각하여 평가체계를 구성하는 노력이 있어야 할 것으로 보인다.

I. 서론

버스노선망(bus route network)은 다수의 운행 노선(bus routes), 정류장(stops), 터미널 및 기타 부수시설로 구성되며, 이와 같은 노선망이 어떻게 구성되는가는 운행의 효율성과 서비스의 질적 수준에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서, 신도시 개발의 경우와 같은 새로운 버스 노선망의 수립에 있어서는 물론 기존 버스노선망의 개선에 있어서도 먼저 개개의 노선과 함께 전체 노선망에 대한 평가가 필요하게 된다. 미 연방 대중교통청(Federal Transit Administration, USDOT)은 90년대 중반 다양한 규모의 버스를 운영하고 있는 111개의 미국내 대중교통운영 기구를 대상으로 조사한 결과, 안정적인 조직으로 구성되어 잘 운영되고 있는 경우에도 노선과 서비스 운영체제 전반과 심각한 부조화를 이루고 있는 경우가 흔히 있으며 비록 이러한 노선 및 서비스체제를 유지할 불가피한 이유가 인정된다고 하더라도 이는 시스템상의 손실을 가져올 수 밖에 없다고 보고 버스 노선망에 대한 전반적인 평가가 필요하다고 결론지은 바 있다.¹⁾

우리 나라의 경우 버스서비스 대부분을 민간부문에 의존하고 있으며 노선계획에 있어서도 운행을 희망하는 민간업체가 노선을 설정하여 면허권자인 지자체에 제출하여 운행에 대한 면허를 받거나 운행업체로 등록되는 형식으로 되어 있다.²⁾ 지자체가 전체적으로 합리적인 노선망을 구성하고 운행체제를 리드하는 체제로 되어 있지 않다는 점에서 버스노선체계가 많은 문제점을 갖고 있다는 것이 일반적으로 인정되고 있으며 따라서 이미 오래 전부터 노선체제개선의 필요성이 제기된 바 있다.

노선체제의 개선을 위해서는 먼저 기존노선에 대한 합리적이고 형평성 있는 평가가 이루어져야 한다. 합리적 평가가 의미하는 바는 가능한 한 객관적이고 정량적인 평가기준 및 지표표를 적용함으로써 평가자에 관계없이 동일한 평가결과를 산출할 수 있음을 의미한다. 또한, 형평성이란 버스노선을 둘러싼 관련주체들의 입장과 시각을 균형있게 반영할 수 있어야 함을

의미한다. 버스노선 관련주체는 크게 버스이용자, 민간기업으로서의 버스운송업체, 그리고 정부의 3자로 대별된다. 버스노선과 관련한 각 주체의 목적과 추구하는 바는 다양하며 주체간에 동일한 방향성을 갖는 목표가 있는가 하면 갈등이 있을 수도 있다. 각 관련 주체들의 서로 다른 다양한 목표를 어떻게 조화시켜 최선의 버스노선체계를 구성·운영할 것인가 하는 문제는 대중교통계획을 수립하는 계획가들의 중요한 연구과제라 할 수 있다.

본 연구는 이러한 배경 하에서 버스노선체제 개선의 1차 단계인 노선체계평가를 위한 평가기준(evaluation criteria) 및 지표(indicator)를 설정하기 위한 것이다. 대상이 되는 버스노선은 시내버스의 범주에 포함되는 시내일반버스(도시형버스), 시내좌석버스, 그리고 마을버스를 포함하였으며, 이들이 갖고 있는 제도적 측면이나 차량 등의 차이에 관계없이 본질적으로 특정도시를 지역단위로 하나의 노선망(route network)을 구성하는 것으로 간주하였다. 평가기준의 설정에 있어서는 크게 버스이용의 편의성, 운행의 생산성, 그리고 사회적 비용의 최소화라는 3가지 목표에 입각하였는데 이는 대체로 전술한 3개 관련주체인 이용자, 버스운송업체, 그리고 정부의 입장을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 평가지표는 평가기준을 대표할 수 있는 구체적 측정도구로서 객관성의 확보라는 측면에서 정량적 모델로 구성하였으며 실용성을 높이기 위하여 일반 통계자료 또는 조사자료를 활용할 수 있도록 하였다.

II. 기존 관련연구의 고찰

R. W. Koski는 대중교통분야의 교과서라 할 수 있는 *Public Transportation*(1992)에서 버스노선계획에 영향을 미치는 인자로서의 노선평가기준에 대하여 개념적으로 논하고 있다. 여기에서는 버스노선계획에 고려해야하는 주요 요인으로서 서비스수준을 포함한 노선계획의 목표, 인구 특성, 토지이용, 도로여건 및 안전문제, 보행자의 접근성, 재정적 제약, 주민의 통행패턴, 운행여건 등이 열거되고 있다.³⁾ G. A.

1) FTA(Federal Transit Administration), *Bus Route Evaluation Standards: A Synthesis of Transit Practice*, TCRP Synthesis 10, TRB, 1995.

2) 여객자동차운수사업법 제2장 참조.

3) R. W. Koski, "Bus Transit," in *Public Transportation*(G.E. Gray and L. A. Hoel ed.), 1992, pp.162~166

Giannopoulos는 보다 구체적으로 버스시스템의 효율성(efficiency)과 효과(effectiveness)를 평가하기 위한 실적지표(performance indicators)로서의 평가기준에 대하여 기존 연구결과 및 대중교통운영기관의 사례들을 통하여 일반적으로 적용 가능한 평가지표들을 제시하고 있다. 그는 그러나 이러한 평가지표의 예들을 인용·제시하였을 뿐 특정한 평가지표군(群)을 강조하지는 않았는데 그 이유는 평가지표의 선정은 평가의 주된 목적과 운영기관, 운행여건 등의 특성에 따라 달라질 수 있기 때문이라고 말한다.⁴⁾ 한편, 미 연방대중교통청(FTA)은 전술한 바와 같이 1984년과 1994년의 2단계 프로젝트를 거쳐 버스노선평가기준(Bus Route Evaluation Standards)을 제시한 바 있다. FTA는 다양한 규모를 가진 111개의 미국내 버스운영기관을 대상으로 조사한 결과에 따라 5개 카테고리로 나누어 모두 44개의 평가지표를 제시하고 있다. 평가기준의 5개 카테고리는 다음과 같다.⁵⁾

- ① 버스노선설계 관련 기준(Route Design Standards)
- ② 운행스케줄 설계 관련 기준(Schedule Design Standards)
- ③ 운행의 경제성 또는 생산성 관련 기준(Economic and Productivity Standards)
- ④ 버스서비스 제공의 신뢰성 관련 기준(Service Delivery Standards)
- ⑤ 승객의 안락성 및 안전도 관련 기준(Passenger Comfort and Safety Standards)

5개의 카테고리가 보여주듯 FTA의 노선평가기준은 여러 측면에서 다양한 평가지표를 구성함으로써 합리적이고 균형잡힌 평가가 가능하도록 하고 있으며, 다수의 지표에 대하여 정량적 평가가 가능하도록 정의되어 있다는 것도 장점이다. 그러나, 실제로 기술적

측정방식을 규정하고 있지는 않으며 평가의 표준척도(즉, 최소·최대·적정치 등)를 설정하고 있지도 않다. 또한, 특정 노선체계의 평가에 이들 44개의 평가지표가 모두 적용되어야 하는 것도 아니다. 조사결과에 따르면 운영기관의 평가지표 채택 여부는 지표에 따라 차이가 크다.⁶⁾ 이와 관련하여, FTA는 실제 평가를 위한 평가지표의 선정 및 기술적 측정방법, 구체적 평가척도의 구성 등은 각 운영기관이 결정하도록 하고 있는 것으로 보인다.

국내의 연구는 크게 학술적 연구논문과 정책연구프로젝트로 나누어 볼 수 있다.

학술적 연구논문은 주로 석·박사학위논문으로서, network optimization 관점에서 주어진 조건하에서 최적노선망을 구하는 해법에 관한 것들과 정책적인 평가에 의해 주어진 대안노선망 중에서 최적인을 구하는 접근방법으로 대별할 수 있다.

전자의 예로서, 유영근(1997)은 시내버스노선계획을 하나의 최적화문제로 보고 존별 통행수요를 바탕으로 실제 노선계획에 필요한 정류장 수요를 산출하는 방법을 제시하고 있다.⁷⁾ 여기에서는 시내버스노선을 오지주민을 위한 오지계통, 시내지역의 대량수요를 가장 효율적으로 충족시키기 위한 왕복계통, 왕복계통의 보안을 위한 순환계통의 3개 패턴으로 정형화하고 주어진 운행조건을 만족시키는 최적해(optimal solution)를 도출하는 방식으로 접근하고 있다. 백혜선(1999)도 가로망과 O/D통행수요가 주어진 상황에서 노선대안을 평가하여 최적노선망을 도출하는 방법을 제시하고 있다. 노선망 평가기준은 통행비용의 최소화이지만 유영근(1997)의 경우에서 발생할 수 있는 국지적 최적해(suboptimal solution)의 도출을 막기 위해 네트워크구조에 대한 가정을 배제하고 있는 점이 다르다.⁸⁾

후자의 정책적 평가에 의한 최적 노선망 도출의 예로서 신연식(1983)의 연구와 이유화(1998)의 연구를 들 수 있다.⁹⁾ 신연식(1983)은 버스노선이

4) 보다 상세한 내용은 다음을 참조.
G.A. Giannopoulos, *Bus Planning and Operation in Urban Areas: A Practical Guide*, Gower Publishing Co., 1989, pp.73~96.
5) 44개의 평가지표에 대한 세부적 내용은 전술한 FTA 보고서(*Bus Route Evaluation Standards: A Synthesis of Transit Practice*, TRB National Research Council, 1995)를 참조.
6) 예를 들어, 버스정류장간 이격거리 기준(bus stop spacing requirements)은 111개 기관중 98개 기관이 채택하고 있지만 환승횟수한도 기준(limitation on the number of transfers)은 8개 기관만이 채택하고 있을 뿐이다. *ibid.*, p.10.
7) 유영근, 「도시버스교통수요예측과 최적노선망 결정방법에 관한 연구」, 영남대학교 박사학위논문, 1997.
8) 백혜선, 「Set Covering 이론을 이용한 시내버스 최적노선망 구축에 관한 연구」, 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문, 1999. 2.
9) 신연식, 「Matrix Method에 의한 버스노선평가방법에 관한 연구」, 홍익대학교 대학원 석사학위 논문, 1983. 6.

여러 이익집단에 미치는 영향들을 계량적으로 평가한 영향분석행렬(impact tableau)과 이익집단별 상대적 가치를 부여한 가치정보행렬(value information matrix)을 작성하여 이들의 곱(product)으로 종합평가를 수행하는 matrix method를 적용하여 최적버스노선을 도출하였다. 이 방식은 화폐가치만을 평가척도로 하는 경제적 평가방법과는 달리 화폐가치화가 불가능한 항목들도 평가에 포함시킬 수 있다는 점과 노선에 관계되는 이익집단들의 입장을 반영할 수 있다는 점이 장점으로 인정되지만, 실제로 각 matrix 작성단계에서 이들을 어떻게 적절히 계량화하는가는 여전히 과제로 남는다. 이유화(1998)는 지구별 버스이용수요와 노선의 굴곡도를 고려하여 노선대안을 수립하고 이에 따른 수요, 이용자의 통행시간비용, 버스회사의 운행비용을 평가 지표로 하여 대안을 평가하였다. 그러나, 최적노선대안 선정을 위한 종합평가에서는 각 지표별 평가치를 하나의 기준으로 적절히 통합하지 못함으로써 자의적으로 최적대안에 대한 결론을 내리는데 그치고 있다.

정책적 접근의 다른 사례들로서 각 지방정부가 버스노선체계개선을 위하여 교통개발연구원이나 서울시정개발연구원 등에 위탁하여 수행한 정책연구보고서로서의 버스노선체계 평가 연구들이 있다.¹⁰⁾ 이러한 연구들은 연구목적상 정책목표, 즉 노선체계개선의 목표를 미리 설정하고 이에 상응하는 개선방안을 마련하는 일종의 목표지향적 접근방식을 취하고 있는 것이 보통이다. <표 1>은 대표적인 정책연구사례들로서 우리나라 도시들의 버스노선체계의 현실적 문제점과 개선방향, 그리고 이러한 개선체계를 마련하기 위한 노선체계 평가방식의 패턴을 잘 보여주고 있다.

III. 버스노선망 평가 기준 및 지표의 수립

1. 버스노선망 평가의 관점

버스노선망을 평가함에 있어서는 버스이용자, 버스운영자, 그리고 제3의 사회적 시각이라는 3개의 관점이 필요하며 따라서 균형있고 적절한 평가를 위해서는 이와 같은 3가지 관점에서 평가지표를 설정하는 것이 바람직하다.

1) 버스이용자 관점

버스이용자들은 버스운행서비스로부터 얻는 각자의 편익이 극대화되기를 원한다. 이러한 이용자편익 중 일반적으로 중요한 것은 짧은 통행시간(접근시간, 대기시간, 차내통행시간 포함), 탑승중의 높은 안락성, 기타 버스이용상의 편의성(관련 정보취득의 편의 등) 등이라고 할 수 있다.

2) 버스운영자 관점

일반적으로 버스운영자가 원하는 것은 운행의 효율성 향상과 이를 통한 운행비용의 절감이다. 그런데, 우리나라와 같이 버스운영자가 민간기업인 경우 운행의 효율성과 운행비용절감도 물론 중요하지만 운행수입(revenue) 극대화에 우선순위를 두는 경우가 많다. 이러한 연유로, 우리나라 시내버스노선의 일반적인 문제점으로 지적되고 있는 굴곡노선은 전체노선시스템 측면에서는 비효율성이 클 수 있음에도 더 큰 운행수입을 제공한다고 보기 때문에 용이하게 개선되지 않고 있다.¹¹⁾

3) 사회적 관점

사회적 관점이란 버스이용자나 운영자가 아닌 제3자

이유화, "버스노선개편을 위한 평가기준 및 방법 연구", 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문, 1998. 2.

10) 대표적인 연구보고서는 다음과 같다.

수원시 시내버스 노선체계 합리화 방안 연구(1992).

서울시 시내버스 개선방안(1990).

전주시 시내버스 노선체계 합리화 방안(1995).

목포시 시내버스 노선체계 합리화 방안(1998).

인천광역시 버스노선의 합리적 조정방안 수립(1999).

시흥시 버스의 합리적 노선체계 수립 연구(2002) (이상 교통개발연구원)

서울시 시내버스 노선조정방안 연구(1994).

시내버스노선의 합리적 개편방안(1995).

제2기 지하철 전면 개통에 따른 시내버스노선체계의 개편 구상(2000) (이상 서울시정개발연구원)

11) 물론 노선의 굴곡은 불규칙한 도시구조 및 가로망 패턴에 기인할 수도 있다. 그러므로, 실제적인 노선체계개선에 있어서는 노선의 굴곡이 어디에 연유하고 있는가를 면밀하게 분석할 필요가 있다.

또는 사회전체로서의 편익이라는 시각에서 버스노선 체계를 보는 것을 의미한다. 이는 또한 공익의 수호자로서의 정부의 시각이라고 할 수도 있다. 이러한 측면에서 2가지의 중요한 평가기준을 제시할 수 있다. 하나는 노선분포의 형평성(service equity)으로서 각 지역별로 버스노선이 얼마나 고르게 분포되어 있는가

를 평가하기 위한 것이다. 미 DOT의 버스노선평가기준에 의하면 service equity는 대중교통서비스의 고른 분포 정도(equitable distribution of transit resources)를 의미한다고 되어 있다. 그러나, 이러한 equity를 기술적으로 정의하지는 않았으며, 따라서 정량적인 평가방법도 제시되지 않았다. 두 번째는, 동

〈표 1〉 주요 버스노선체계 개선 연구의 정책목표와 노선체계 평가

연구보고서	정책목표 (노선체계 개선 방향)	노선체계 평가	
		평가지표	평가방법
수원시 시내버스노선체계 합리화 방안 연구(1992, 교통개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 중복노선 지양, 과밀·과소노선 해소 · 노선 도심집중 완화 · 장거리 노선 개편 · 신개발지 버스서비스투입 · 수단간 연계·환승 강화 	<ul style="list-style-type: none"> · 명확하게 설정되지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 연구자의 정성적·주관적 판단에 의거 평가 · 개별 노선단위 평가
전주시 시내버스노선체계 합리화방안(1995, 교통개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 중복노선 지양, 과밀·과소노선 해소 · 운행계통 단순화 · 노선 도심집중 완화 · 장거리 노선 분리 · 신개발지·철도역·터미널 연계 강화 · 수단간 연계·환승 강화 	<ul style="list-style-type: none"> · 노선 접근성·노선거리 · 환승정도·운행속도 · 노선의 중복도 · 침두시 재차율 · 도로의 버스운행용량 	<ul style="list-style-type: none"> · 최대 또는 최소기준을 설정하여 평가 · 일부지표는 '과다', '다수', 등 정성적 기준 사용 · 개별 노선단위로 평가
목포시 시내버스노선체계 합리화방안(1998, 교통개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 운행효율화 · 서비스수준의 노선간 균형 · 집중중복노선 완화, 골목노선 조정 · 이용자 접근성 및 편의성 제고 · 신수요유발지역 노선 개설 	<ul style="list-style-type: none"> · 노선거리 · 노선구간 운행애로성 · 노선의 골목도 · 노선의 중복도 · 순환노선의 합리성 	<ul style="list-style-type: none"> · 최대 또는 최소기준을 설정하여 평가 · 일부지표는 가장 열악한 경우 일부를 추출 · 개별 노선단위 평가
인천광역시 버스노선 합리적 조정방안(1999, 교통개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 형평성 제고, 지역간 Mobility 향상 · 승객대기시간 최소화 · 노선 도심집중 및 중복 조정 · 장거리·골목노선 조정 · 시내·마을버스간 노선조정 · 도시철도경합노선 조정 · 수단간 연계·환승체계 조정 	<ul style="list-style-type: none"> · 노선평균연장 · 노선골목도 · 노선평균주행시간 · 노선평균속도 · 총 승객수 · 평균배차간격 · 환승률 	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 노선체계와 개선대안에 대하여 각 지표별로 비교·평가 · 개별노선보다는 전체노선체계에 대한 평가
서울시 시내버스 노선조정 방안 연구(1994, 서울시정개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 지하철경합노선의 통폐합 또는 전환 · 장거리노선의 단축 또는 직행버스화 · 골목노선의 직선화 · 도심노선 우회화, 도심순환노선 개설 · 과소노선의 통폐합 · 지하철비영향권 노선 확대 	<ul style="list-style-type: none"> · 노선거리 및 운행시간 · 지하철경합 거리 및 비율 · 골목영향계수 · 과소노선지표 · 과밀노선지표 	<ul style="list-style-type: none"> · 일정기준 이상 또는 이하의 노선 추출(기준설정은 다른 연구 등을 참조, 자의적으로 설정) · 개별 노선 단위 평가
시내버스노선의 합리적 조정방안(1995, 서울시정개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 버스노선의 기능 이원화(간선,지선) · 다양한 버스서비스의 제공 · 공동배차제를 위한 권역별 노선체계 구성(지선버스) · 수단간 환승체계의 구축 	<ul style="list-style-type: none"> · 노선운행거리·운행시간 · 지하철경합 비율 · 지하철 연계역 수 · 배차간격·차내 혼잡도 	<ul style="list-style-type: none"> · 최대기준을 설정, 이를 초과하는 노선 추출 · 개별노선단위 평가
제2기 지하철 전면개동에 따른 시내버스노선체계 개편 구상(2000, 서울시정개발연구원)	<ul style="list-style-type: none"> · 지역간 노선공급 형평성 제고 · 노선별 최소서비스 유지 · 지역간 이동성 향상 및 통행시간 최소화 · 지하철과의 노선경합 최소화 · 버스노선거리의 전반적 단축 	<ul style="list-style-type: none"> · 신속성(인당 통행시간) · 쾌적성(승객수/좌석수) · 편리성(제공노선수 및 환승횟수) · 수익성(승객수) 	<ul style="list-style-type: none"> · 5개 노선체계대안에 대하여 각 지표별 평가 및 표준화에 의한 종합평가(개별노선에 대한 평가는 수행하지 않음) · 정량적 평가와 별도로 4개 척도(매우양호, 양호, 보통, 불량)에 따른 정성적 평가 수행

주 : 교통개발연구원 「시흥시 버스의 합리적 노선체계 수립연구」(2002)는 본 논문의 기반이 된 연구보고서로서 이 표에는 포함 시키지 않았다.

일한 서비스를 제공할 수 있다면 전체차량소요대수를 최소화할 수 있는 버스노선체계가 바람직하다는 것이다. 이는 차량소요의 감소에 따른 자원의 효율적 배분이라는 직접적 편익과 함께 운행의 감소를 통한 교통사고감소 및 오염물질배출감소라는 간접적 편익에도 기여한다.

2. 정량적 평가지표의 설정

전술한 3가지 시각 또는 관점에 입각하여 7개의 버스노선체계 평가기준 및 지표를 설정하였다. 7개 기준 및 지표는 버스이용자 관점에서 접근성, 승차안락성, 환승률, 버스운영자 관점에서 운행생산성, 노선직결성, 그리고 사회적 관점에서 지역적 형평성, 차량소요대수로 구성되었으며 각각의 개념, 정량적 정의 및 측정방법은 다음과 같다.

1) 접근성(accessibility)

○ 개념

버스서비스가 실제로 버스이용자들에게 얼마나 근접해 있는가를 평가하기 위한 것이다. 미 DOT의 평가기준에서는 주거시설에 대한 근접성(proximity to residences)이란 명칭으로 설정되었지만 정량적 기준 및 평가방법은 정의되지 않았다. 이론적으로는 각 주거단위(dwelling unit)로부터 가장 가까운 버스정류장까지의 도보거리를 기준으로 평가되어야 한다.

○ 정량적 정의

버스노선서비스가 제공되는 공간적 위치는 버스정류장으로 대표될 수 있으며, 이용자의 위치(location)와 크기(volume)는 원칙적으로 주거단위와 가구원수로 표시되어야 한다. 그러나, 현 수치지도(digital map)의 컨텐츠의 한계로 인하여 버스정류장과 각 주거단위, 그리고 주거단위별 가구원수가 정확히 좌표화되지 않으므로 접근성의 정도를 정밀하게 정량화하는 것은 현재로서는 어렵다. 따라서, 차선책으로 각 교통존(traffic zone)별로 이용 가능한 버스정류장 밀도의 평균치를 접근성의 정량적 지표로 간주하고자 한다.

정류장 밀도는 면적대비 밀도와 거주인구 대비 밀도로 구분하여 생각할 수 있다. 면적대비 밀도는 존별 정류장수를 해당 존별 주거용 대지(building land)

면적으로 나눈 값으로서 공간적 밀도 지표이다. 거주인구 대비 밀도는 존 내에 거주하는 인구를 잠재적인 버스이용수요로 간주하여 정류장수를 해당 존별 인구수로 나눈 값으로서 이용가능성에 입각한 밀도 지표이다. 또한, 2개 지표를 통합한 지표를 구성할 수도 있다. 선형정규화법(linear-scale normalization)을 이용하여 두 지표를 표준화 한 후, 산술평균한 값을 통합지표로 간주하기로 한다. 이상의 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

공간적 개념의 접근성 밀도 ds 는,

$$ds = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{a_i}$$

여기서,

s_i : 존 i 의 버스정류장 수

a_i : 존 i 의 대지면적(km^2)

N : 전체 교통존 수

이용가능성 측면의 접근성 밀도 dp 는,

$$dp = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{p_i}$$

여기서,

s_i : 존 i 의 버스정류장 수

p_i : 존 i 의 인구수(천인)

N : 전체 교통존 수로 정의될 수 있다.

통합지표 A 는 각각의 지표 중 가장 양호한 값을 1.0으로 설정하고 나머지 값을 정규화하는 방법으로 표준화한 후 이를 산술평균하여 도출하였다.

$$A = \frac{DS + DP}{2}$$

여기서,

DS : 대지면적당 정류장 수 표준화 값

DP : 인구천인당 정류장 수 표준화 값

2) 승차안락성(Riding Comfort)

○ 개념

승차의 안락성은 본질적으로 정성적인 개념으로서,

여러 가지 복합적 요소가 작용하며 주관적 가치기준과 느낌 등에 의해서도 영향을 받을 수 있다는 점에서 이를 직접적으로 평가할 수 있는 지표를 설정하기는 쉽지 않다. 미 DOT의 평가기준에서도 입석허용정도 (standees vs. no standees), 입석허용시간(duration of standee time), 차내환경(passenger environment conditions) 등의 간접지표를 설정하고 있을 뿐이다.

○ 정량적 정의 및 측정방법

버스의 승차안락성에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있지만 가장 중요한 요소는 차내혼잡도라고 할 수 있으며, 그 지표로서 승객용량 대비 승객수로 측정되는 평균재차율(average load factor)을 이용할 수 있다.

이 경우 안락성 지표 C는,

$$C = \frac{1}{N} \sum_i^n c_i$$

$$c_i = \frac{D_i}{(1 + \alpha)s_i v_i}$$

$$v_i = \frac{120}{h_i}$$

여기서,

- c_i : 노선 i의 아침 첨두시간대¹²⁾ 평균재차율
- N : 전체 노선수
- D_i : 노선 i의 아침 첨두시간대 수요(인)
- s_i : 노선 i의 버스대당 좌석수
- α : 좌석수의 일정비율로 표시되는 최대허용입석 비율(시흥시 사례의 경우 20%로 설정)
- v_i : 노선 i의 아침 첨두시간(2시간) 배차 대수(대)
- h_i : 노선 i의 아침 첨두시간 배차간격(분)

실제 측정에 있어서는 아침첨두 2시간에 대하여 승객용량 $(1 + \alpha)s_i$ 를 기준으로 노선별 평균재차율을 산정하고 전 노선의 산술평균치를 산출한다.¹³⁾

3) 환승률(Transfer Rate)

○ 개념

환승은 이용상의 불편과 추가적인 비용 때문에 이용자들에게 미치는 영향이 크며 따라서 노선체계를 평가하는 중요한 기준이 된다. 미 DOT의 평가기준에서도 평균 환승횟수를 노선망 평가지표의 하나로 설정하고 있다. 특히, 우리나라의 경우 다음과 같은 점에서 환승이 버스이용자들에게 미치는 영향 정도가 상대적으로 크다고 볼 수 있다.

- 각 노선이 서로 다른 민간업체에 의해 운영되고 있어 환승시 요금할인이 없거나 아주 적은 액수이다.
- 노선 및 운행스케줄에 대한 정보제공이 빈약하고 버스의 정시성이 낮아 환승시 대기시간이 불확실하다.
- 시흥시와 같은 도농복합형 도시의 경우 평균 배차 간격이 크기 때문에 평균 환승대기시간도 길다.

○ 정량적 정의 및 측정방법

Emme/2 시스템에서 환승률은 총 탑승(boarding)에 대한 환승통행의 탑승 비율로 산출된다. 즉, 총 수단통행에 대한 환승통행의 비(ratio)로 정의되는 것이다. 노선배정(assignment) 과정에서 시스템은 입력된 O-D와 네트워크데이터를 기초로 최단경로(minimum path)를 설정하고 각 O-D에 대하여 가장 가까운 버스노선을 따라 통행이 이루어진다는 전제하에서 각 링크에 통행량을 부과하게 된다. 본 연구에서는 이러한 로직에 의거하여 Emme/2 시스템을 이용하여 산출되는 환승횟수로 노선망 전체의 환승률을 산출하여 평가지표로 사용하기로 한다. 단, 여기에서의 환승은 평가의 취지상 '버스에서 버스'로의 환승만을 의미한다.¹⁴⁾

4) 노선의 직결도(Route Directness)

○ 개념

우회노선 또는 굴곡노선은 이용자들의 접근도를 높이는 장점도 있는 것이 사실이지만 일반적으로 다음과 같은 문제점 때문에 직결도를 높이는 방향으로의

12) 여기에서는 일반적으로 아침첨두시간대에 재차율이 가장 높다는 점을 반영한 것이다. 지역적으로 오후첨두시간대의 재차율이 더 높은 경우 이를 택하여도 무방할 것이다.
 13) 실제 평균재차율 산출작업은 Emme/2 시스템내에서 수요분석과정의 일부로 수행된다.
 14) 환승률은 이와 같이 통행행태를 모델링하는 방식으로 산출할 수 밖에 없는데 실제 분석에 있어서는 한계를 갖고 있는 것이 사실이다. 이러한 한계는 부분적으로 통행행태의 모델링 속성에 기인하며(통행행태는 개인적으로 다양하지만 모델에서는 모든 통행자가 가장 일반적인 한가지 기준, 즉 minimum path를 선택한다고 가정함) 또 한편으로는 분석시스템(컴퓨터모델)의 한계에 기인하는 것이다.

개선이 필요한 것으로 인정되고 있다.

- 이용자의 기종점간 통행시간을 늘이므로서 시간비용의 손실을 유발한다. 특히, 환승비용(대기시간 및 추가요금 포함)이 상대적으로 큰 우리나라의 경우 이를 피하기 위해 장시간의 차내통행시간을 감수하는 경향이 있다.
- 차내통행시간의 연장은 평균재차율을 높임으로서 차내혼잡도의 증가를 가져온다.
- 기종점간 노선거리를 늘임으로서 운행비용에 대한 손실이 크며 정시성의 준수 곤란 등 비효율적 운행과 서비스수준 저하의 원인이 된다.

특히, 우리 나라의 경우 민간부문에 의한 버스서비스제공체제에 기인하여 버스노선이 운행업체에 의해 설정되며 단일요금체제하에서 이들 업체는 무엇보다도 탑승수요(ridership)를 극대화할 수 있는 노선구조를 취하고자하기 때문에 굴곡도가 높은 노선이 형성된다.

이러한 견지에서 본 연구에서는 전체노선망의 굴곡도를 산출하고 이의 역수를 직결도 지표로 하여 노선체계를 평가하기로 한다. 참고로, FTA의 경우도 노선의 직결도(route directness)를 중요한 노선평가 기준으로 설정하고 있다.

○ 정량적 정의 및 측정방법

노선굴곡도는 기종점간을 주된 통행로를 따라 최단거리로 운행할 때를 1.00으로 하여 지표화하고 이의 역수를 직결도 지표로 한다.

직결도 D는,

$$D = \frac{1}{B}$$

$$B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n b_i$$

$$b_i = \frac{d_i}{r_i}$$

여기서,

- B : 전체 노선의 평균 굴곡도
- b_i : 노선 i의 굴곡도
- r_i : 주된 통행로를 따라 운행할 때의 노선 i의 거리(가능한 최단경로)
- d_i : 노선 i의 실제 거리

5) 운행생산성

○ 개념

운행의 생산성(productivity)은 운영자가 얼마나 생산적이고 효율적인 버스운행을 하고 있는가를 의미한다. 운행의 생산성은 원칙적으로 운행비용당 통행실적의 지표로 평가되어야 한다. 이 경우 요금구조가 거리비례제라면 통행실적은 통행인-Km(passenger-km)를 사용함이 타당하며 단일요금체제에서는 통행인(passengers)을 사용할 수 있다.

○ 정량적 정의 및 측정방법

그러나 현실적으로 우리 나라의 경우 운행비용에 관한 신뢰성 있는 지표를 산출하기가 용이하지 않으므로 운행비용당 실적지표를 이용하기 어렵다. 따라서, 차선의 생산성 지표로서 노선 거리당 통행자수(passengers)를 지표로 사용하기로 한다. 이 지표가 유효하기 위해서는 단위노선거리당 운행비용이 동일하다는 전제가 필요하므로 최적의 지표라고 할 수는 없지만 노선체계 대안의 상대적 우월성을 평가하는 것은 가능하다. 노선망 전체에 대한 노선거리당 통행실적은 총통행자 수/총 노선연장(Km)으로 정의된다. 여기에서 총통행자수는 버스O-D의 노선배정결과에 의해 산출된다. 즉,

$$\text{노선거리당 통행실적 } P = T / \sum_i^n l_i$$

여기서,

- T : 총 통행자수
- l_i : 노선 i의 노선거리

6) 형평성(Equity)

○ 개념

형평성은 각 지구별로 버스노선이 얼마나 고르게 분포되어 있는가를 평가하기 위한 것이다. 이 경우 각 지구의 잠재적 버스이용수요를 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우를 생각할 수 있는데 여기에서는 전자를 취하여 존별 인구대비 노선수를 기초로 형평성을 평가하기로 한다. 미 DOT의 버스노선평가기준에 의하면 Service Equity는 대중교통의 고른 분포(equitable distribution of transit resources) 정도를 의미한다고 되어 있다. 그러나, 이러한 equity

를 기술적으로 정의하지는 않았으며, 따라서 정량적인 평가방법도 제시되지 않았다. 미국의 경우 이러한 노선서비스의 지역별 형평성이 중요하게 제기되는 이유는 흑인구역이나 저소득층 지역 등 커뮤니티의 사회적 특성을 고려하기 위한 정치적 배려의 측면이 있지만, 우리 나라의 경우 주로 버스이용수요가 적어 민간업체들이 운영을 기피하는 신개발지역이나 취락이 분산된 비도시지역에 대한 버스서비스의 공급이라는 측면에서 노선의 형평성 문제가 거론되어야 할 것이다.

○ 정량적 정의 및 측정방법

본 연구에서는, 인구대비 버스노선 분포의 존별 편차(deviation)를 통하여 노선서비스의 지역별 형평성을 평가하기로 한다. 실제측정에 있어서는 각 교통존 내부를 경유하는 버스노선 수를 존내 인구를 감안한 지표로 산정하고 이들의 존 간 표준편차(standard deviation)를 형평성 지표로 사용한다.

통계적으로 분산치는,

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{(n-1)}$$

로 표현될 수 있으며,

표준편차(s)로 정의되는 형평성 지표 E는,

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{(n-1)}}$$

로 정의될 수 있다.

여기서,

x_i : 존 i의 경유노선수

p_i : 존 i의 인구수(천인)

t_i : 존 i의 인구 대비 경유노선수

$$t_i = \frac{x_i}{p_i}$$

\bar{t} : n개 존의 인구대비 경유노선수 평균치

7) 최소차량소요대수(Minimum Requirement of Vehicle Fleet)

○ 개념

이 지표는 일정한 서비스 수준과 수송실적을 유지할 수 있다면 차량소요는 적을수록 바람직하다는 논거에 기초한다. 노선체계의 합리화와 노선운영의 효율화를 통하여 차량소요를 최소화함은 버스업체로서도 큰 이익이지만 자원의 절약, 도로교통량의 감소, 배기가스의 저감 등 여러 가지 측면에서 사회적 편익(social benefit)에 기여하는 바가 크다. 또한 이 지표는 적정버스공급대수를 평가하기 위한 기준으로서도 의미를 갖는다.

○ 정량적 정의 및 측정방법

대중교통 서비스수준의 기본지표인 운행빈도(frequency)를 기준으로 일정한 최저서비스수준의 유지를 전제할 때 각 노선체계 대안별로 소요되는 전체 차량대수를 산출하여 노선체계를 비교·평가하고자 한다.

Giannopoulos에 의하면 최소배차간격은 수요의 규모에 관계없이 유지되어야 하는 최저서비스 수준을 의미하는 것으로서 해당지역에 대하여 버스서비스가 최소한도의 신뢰할만한 수준으로 제공되고 있다는 인식을 심어주는데 필요한 배차간격이라고 한다. 이 수준의 배차간격이 유지되지 않을 경우 주민들은 더 이상 대중교통서비스를 이용할 생각을 하지 않게 되고 이로 인해 수요가 더욱 감소되어 운행빈도를 더욱 줄이는 악순환이 발생한다는 것이다. Giannopoulos는 이러한 개념 하에서 도시규모와 버스서비스 유형별 최소배차간격을 제시하고 있는 바 그 내용은 <표 2>와 같다.¹⁵⁾

한편, 미 HCM 2000년 버전에서도 운행시격(headway)을 도시대중교통수단의 운행빈도 기준 LOS의 평가척도로 삼고 있으며 <표 3>과 같은 기준을 제시하고 있다.

우리나라의 경우 건설교통부의 도로교통용량편람(KHCM)은 운행시격(headway)을 기준으로 한 중소도시의 버스서비스수준(LOS)을 LOS C에서 40분 이하, LOS B에서 20분 이하로 설정하고 있다. 직접 비교하기에는 다소 무리가 있으나 Giannopoulos가 제시하는 수준 및 HCM2000의 기준과 비교할 때

15) A.Giannopoulos, op. cit. p.212

〈표 2〉 Suggested Minimum Bus Frequencies(by Giannopoulos)

(단위:분)

노선 유형	Peak Hours			Off-Peak Hours		
	인구규모(천인)			인구규모(천인)		
	5-20	20-60	60 <	5-20	20-60	60 <
Urban Feeder Line	20	20	15	(a)	(a)	(a)
Urban Local Line	30	20	15	60	50	30
Urban Long Distance Line	30	30	20	60	50	50
Suburban Line	40	40	30	120	90	60
Mixed(Urban + Suburban)	30	30	30	90	60	60

(a) Depends on that of the main bus line.

〈표 3〉 HCM2000의 대중교통 운행빈도 기준 LOS의 평가척도

LOS	Headway(min)	Veh/h	Comments
A	< 10	>6	이용객이 특별히 스케줄을 고려할 필요 없는 빈도
B	≥10-14	5-6	충분한 정도; 그러나 이용객은 스케줄을 고려함
C	>14-20	3-4	버스(열차)를 놓쳤더라도 기다릴 수 있는 한계의 빈도
D	>20-30	2	choice rider가 선택하기 어려운 빈도
E	>30-60	1	한시간에 한번 운행하는 정도의 빈도
F	>60	<1	어떤 이용자도 선택하기 어려운 빈도

자료 : TRB, Highway Capacity Manual 2000, 2000

〈표 4〉 운행시격에 따른 도시규모별 버스서비스 수준

LOS	대도시(특별시, 광역시)	중소도시(시, 군, 읍)
A	≤ 3분	≤ 10분
B	≤ 6분	≤ 20분
C	≤ 10분	≤ 40분
D	≤ 15분	≤ 60분
E	≤ 25분	≤ 100분
F	> 25분	> 100분

자료 : 건설교통부, 도로교통용량편람(KHCM)

KHCM의 중소도시 LOS별 최대 운행시격 기준치는 앞의 두 기준보다 상당히 높은 것으로 보인다(즉, 우리나라 버스의 LOS 수준이 낮은 것으로 보인다).

전술한 최소차량소요대수에 대한 정량적 지표를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

각 노선별 시간당 차량소요대수

$$r = \frac{60}{h}$$

대당 왕복시간

$$t = \frac{l}{v} + \alpha$$

전체 차량소요대수

$$R = \frac{60}{h} \left(\frac{l}{v} + \alpha \right)$$

전체 노선의 총 차량소요대수

$$V = \sum_i^n R_i = \sum_i^n \frac{60}{h_i} \left(\frac{l_i}{v_i} + \alpha_i \right)$$

여기서,

h_i : 노선 i의 배차간격(분)

l_i : 노선 i의 왕복노선거리(Km)

v : 노선 i의 평균운행속도(Km/h)

α : 기종점에서의 휴식·정비 등으로 인한 차량의 정차시간(시간)

이상의 평가기준 및 지표를 정리하면 〈표 5〉와 같다.

IV. 평가모델의 적용 : 경기도 시흥시 사례

1. 시흥시 버스노선체계 개요 및 노선체계 대안

위에서 설정한 평가지표를 시흥시의 버스노선개편의 평가과정에 적용하여 지표의 적정성 및 설명능력

〈표 5〉 버스노선망 평가기준 및 지표 요약

평가기준	의미	정량적 평가지표	지표의 해석
접근성(A)	버스서비스의 이용자그룹에의 근접 정도	각 존별 버스정류장수를 대지면적 또는 인구로 나눈 정류장밀도의 평균치	지표값이 클수록 접근성 양호
승차 안락성(C)	버스타승객의 차내 안락도	노선별 평균 재차율의 전 노선 평균치	지표값이 낮을수록 안락성 양호
환승률(T)	총탑승에 대한 환승탑승 수	환승통행/총수단통행	지표값이 낮을수록 양호
노선 직결도(D)	노선의 기종점간 직결 정도	전 노선 평균 굴곡도의 역수	지표값이 1.00에 가까울수록 양호
운행 생산성(P)	노선규모 대비 통행실적(통행자수)	총통행자수/총노선거리	지표값이 클수록 양호
형평성(E)	각 교통존별 버스노선수의 고른 분포 정도	각 존 경우 인구대비 버스노선수의 표준편차	지표값이 작을수록 형평성 양호
차량소요대수(V)	최저서비스수준하에서 노선체계가 필요로 하는 최저소요차량대수	일정 서비스수준(배차간격 및 운행속도)에서 각 노선별 소요차량의 합	지표값이 작을수록 양호

을 살펴보았다.

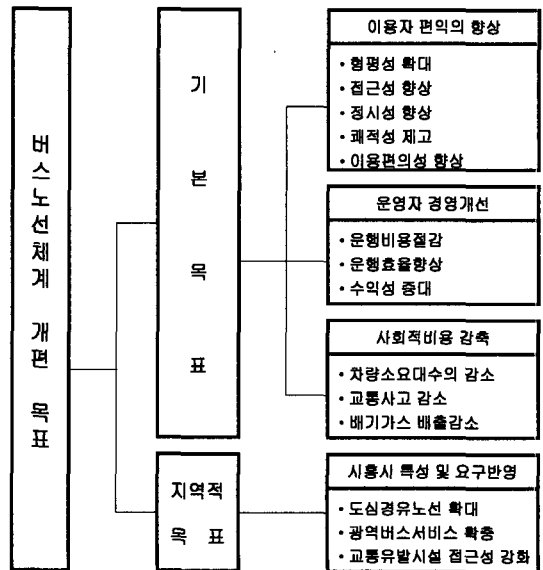
사례지역으로 선정된 시흥시는 경기도 서부에 위치한 인구 34만 규모의 도농복합형 도시로서, 시 북부의 구도읍(대야·신천지구), 남부의 계획신도시(정왕동 및 시화공단지구), 중부의 신개발지구(시창주변 및 월곶지구) 등 분산된 도시화 지역과 나머지의 산개된 농촌형 취락지역으로 구성되어 있어 도시의 중심성이 약한 실정이다. 버스노선도 이와 같은 도시구조의 특성상 지역내부를 구심점으로 하기보다는 분산된 각 도시구역과 부천, 안산 등 인근도시를 연결하는 노선들이 주를 이루고 있다.

시흥시 버스노선체계의 개편을 위하여 3개의 개선안과 기존 노선망 유지 방안을 포함하여 4개의 대안에 대한 비교·평가가 이루어졌다. 4개 대안의 구조적 특징은 다음과 같다.

- 대안 1(기존 노선 유지안) : 각 업체로부터의 운행신청 후 면허 인가되는 형식으로 장기간에 걸쳐 형성된 노선들의 집합체로서 인구밀집지역에의 집중과 심한 굴곡노선, 장거리 운행으로 인한 긴 운행시격(headway) 등이 특징
- 대안 2(도시교통정비계획 제시안) : 2001년 수행된 시흥시 도시교통정비 중기계획에서 제시된 간선버스 중심의 노선망으로 도시교통정비중기계획 수립시 노선체계에 대한 평가는 이루어지지 않음
- 대안 3(기존 노선 부분개선안) : 현실적 시행의 용이성을 위하여 기존 버스노선망의 틀을 유지하되 굴곡노선의 일부 직선화, 특정 지역 중복노선

의 정리, 도로망의 연계와 정비계획의 고려 등 부분적인 개선을 도모함.

- 대안 4(전면 개편안) : 버스노선체계의 기본적인 목표인 이용자 편의의 향상, 운영자 경영개선, 사회적 비용 감축 외에, 시흥시의 지역적 특성 및 요구를 반영하기 위한 3가지 지역적 목표에 따라 광범위하게 개편된 노선망 대안. 버스 노선을 간선·지선체계로 2원화하여 동서·남북간 간선축을 운행하는 간선노선과 인접시를 연결하거나 지역내를 단거리 또는 순환으로 연계하는 지선노선으로 구분하여 구성함¹⁶⁾.

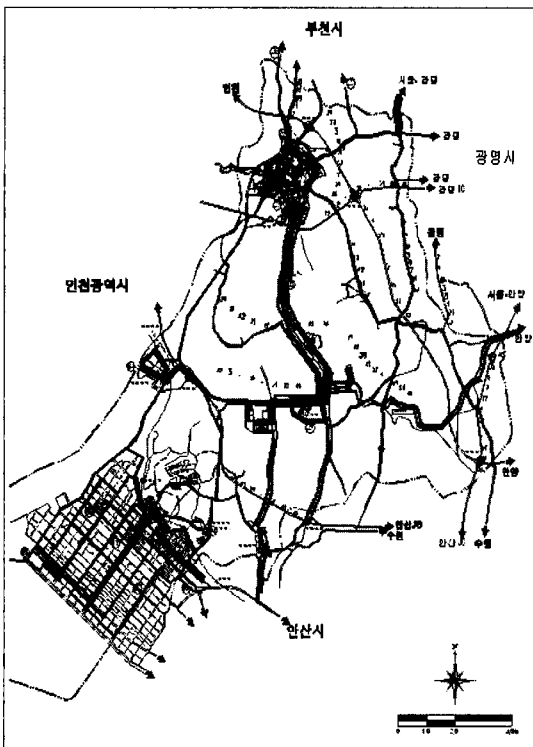


〈그림 1〉 시흥시 버스노선체계 개편의 목표

16) 보다 상세한 내용에 대하여는 「시흥시 버스의 합리적 노선체계 수립을 위한 연구」(교통개발연구원, 2002) 최종보고서를 참조.

〈표 6〉 버스노선개편 대안

구분	대안의 개요	노선수(개)			
		좌석/간선	일반/지선	마을/지선	합계
대안1	기존 노선 유지	6	30	9	45
대안2	도시교통정비 기본계획 안	15	11		26
대안3	기존노선 부분개선	7	22	8	37
대안4	전면개편	7	18	9	34



〈그림 2〉 시흥시 버스노선체계 개선대안 4(전면 개편안)

이상 4개 노선체계 대안의 구조와 특성은 〈표 6〉과 같다¹⁷⁾.

2. 노선체계 개편 대안의 평가결과

1) 평가지표별 대안평가 결과

○ 접근성 지표(A)

접근성 지표로서 정류장수를 대지면적으로 나눈 준별 정류장 밀도의 평균치와 인구 천인당 정류장 밀도의

〈표 7〉 대안별 접근성 지표 산출 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
대지면적 기준 정류장밀도	95.07	73.02	88.01	93.40
인구기준 정류장밀도	6.56	5.64	5.92	6.55
복합지표	1.00	0.81	0.91	0.99

평균치, 이 두 지표의 표준화를 거친 통합지표 등 3개 지표를 산출하여 그 적합 여부를 파악한 후 최적 지표를 선정하고자 하였다. 〈표 7〉의 지표산출결과에 의하면 3개 지표의 상대적 순위는 동일한 것으로 나타났다. 즉, 어떤 지표를 쓰더라도 일관성 있는 결과를 얻을 수 있는 것으로 보이며, 대안1이 접근성 측면에서 가장 양호하다고 할 수 있다. 그러나 복합지표 기준시 대안 4와는 지표값의 차이가 0.01로 아주 적으므로 사실상 두 대안간에 차이는 없다고 볼 수 있다.

○ 승차안락성 지표(C)

대안별 아침 첨두시간에 대한 노선별 평균 재차율의 전노선 평균치를 비교한 결과, 노선밀도가 높은 대안 1의 재차율이 가장 낮다. 그러나, 노선수가 적어 재차율이 지나치게 높은 것으로 나타난 대안2의 경우를 제외한다면 대안 1, 3, 4는 모두 양호한 수준이라고 할 수 있다.

〈표 8〉 대안별 아침 첨두시간 평균 재차율

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
평균재차율	0.74	1.22	0.89	0.82

○ 환승률(T)

전술한 환승률 산출 방법에 의거하여 Emme/2 시스템을 이용한 노선배정 과정을 통하여 산출된 대안별 환승률은 〈표 9〉와 같다. 이에 의하면 전반적으로 환승률이 높게 나타난 것으로 보이는데 그 주요원인은 분석시스템의 알고리즘(algorithm)에 있는 것으로 보인다. Emme/2의 대중교통배정은 최적 전략(optimal strategy)에 기반한 다중경로배정(multi-path assignment)을 적용하고 있다. 이 알고리즘은 각 정류장에서 대기시간을 고려하면서 가장 먼저 도착한 노선의

17) 대안 1, 2, 3의 도면은 지면을 고려하여 생략하였다. 관심있는 경우 전술한 보고서를 참조하기 바람.

〈표 9〉 대안별 환승률 산출 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
환승률(%)	10.7	23.2	19.3	21.6

차량을 선택함으로써 특정 노선의 차량이 먼저 도착할 확률에 따라 여러 대중교통 경로 대안에 확률적으로 노선이 배정되도록 하고 있다. 따라서, 존간 버스 이용수요는 대기시간이 짧은 노선 즉, 정류장에 먼저 도착하는 노선에 우선 배정되며 최종 목적지에 도달하기까지는 노선간 환승이 불가피한 알고리즘으로서 환승회수가 일반적인 배정모형보다 더 많이 발생하도록 작용하는 것으로 보인다¹⁸⁾

분석결과에서도 나타나듯, 대안 4와 같이 노선의 직결도가 높은 간선-지선패턴의 노선체계는 대안1과 같이 수요를 따라 형성된 굴곡도가 높은 노선체계에 비해 환승률이 높을 개연성이 크다. 그러나, 환승률은 높지만 통행자로 하여금 최단경로에 가깝도록 통행을 유도함으로써 불필요한 탑승시간을 줄여 통행시간을 절감시킨다는 것이 메리트이다. 후술하는 운행생산성 지표에 의하면 대안1에서는 통행당 평균 거리가 5.47Km인 반면 대안4에서는 4.45Km라는 것이 이러한 사실을 보여준다. 운영자 측면에서도 기종점간의 통행시간을 크게 줄일 수 있으므로 차량운행소요를 줄여 운행비용을 대폭 절감할 수 있는 한편 평균 재차율을 높여 수입증대에 기여할 수 있다.

○ 노선직결도 지표(D)

노선굴곡도의 역수를 지표로 한 직결도 산출 결과는 〈표 10〉과 같다. 단, 마을버스노선(대안4의 경우 단거리 연계노선 또는 순환노선)은 특성상 접근성에 비중을 두고 단거리 노선으로 구성된다는 점에서 직결성을 강조할 필요가 없다고 보아 평가대상에서 제외하였으며 노선구간도 시흥시 외의 구간은 정확한 경유지를 알 수 없다는 점에서 시흥시내 구간에 한정하였다.

평가결과에 따르면 대안 3, 4는 대안 1(기존 노선망)에 비하여 직결도가 매우 높은 것으로 나타났는데 이는 대안 3, 4의 설계지침으로 보아 당연하다고 하겠다.

〈표 10〉 대안별 노선직결도 산출 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
직결도(D)	0.75	0.74	0.88	0.92

○ 운행생산성 지표(P)

운영자의 생산성을 나타내는 노선거리당 통행량 지표를 산출한 결과에 따르면 노선거리당 통행량은 대안3이 48.3인/Km으로 가장 양호하며 대안1이 29.6인/Km로 가장 낮다. 버스이용자의 평균통행거리는 기존 노선체계에서 인당 5.47Km인 반면 대안4에서는 4.45Km로 줄어든다. 이는 대안1의 경우 환승이 적은 대신 비효율적으로 원거리를 통행하는 반면 대안4는 환승비율은 높으나 최단거리에 가깝게 통행이 이루어지고 있음을 암시한다고 볼 수 있다.

〈표 11〉 운행생산성 지표 산출 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
총통행실적 (passenger-Km's)	174,374	151,341	163,089	144,015
총통행량 (passengers)	31,866	31,902	34,792	32,383
노선거리당 통행량(pass/Km)	29.6	39.9	48.3	46.1
인당 평균통행거리 (Km/pass)	5.47	4.74	4.69	4.45

○ 형평성 지표(E)

형평성 지표는 인구 천인당 노선 수의 존간 표준편차로 정의되었으며 존은 시흥시내 30개 법정동으로 설정하였다. 지표 산출 결과, 대안3이 인구 천인당 가장 적은 2.25개의 노선을 갖고 있음에도 불구하고 형평성 측면에서는 가장 양호한 것으로 나타났다. 반면에 대안 2는 인구천인당 노선수 평균은 3.55로 가장 많은 노선수를 보유하고 있으나 표준편차 값은 5.29로

〈표 12〉 대안별 형평성 지표 산출 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
인구천인당 노선수 평균	2.66	3.55	2.25	3.26
형평성지표(E)	3.78	5.29	3.27	4.62

18) 현실적으로 비용을 고려하여 환승없이 먼 경로로 우회하거나 버스 외에 다른 수단으로 환승할 수도 있지만 분석시스템에서는 이러한 개별적인 행태를 반영하기 어렵기 때문이다. 따라서, 분석결과는 실제 환승률보다 높을 가능성이 있으며 이는 분석시스템의 한계라 할 수 있다. 그러나, 이러한 문제는 대안간의 상대적 비교에서는 문제가 되지 않는다.

가장 높아 특정지역에 노선이 집중되어 있다는 것을 암시하고 있다.

○ 최소차량소요대수(V)

차량소요대수규모를 산정하는데 입력되는 여러 변수 중 중요한 변수는 운행시격(headway)이다. 운행시격은 기존의 KHCM 등의 기준을 적용할 수도 있으나 지역적 특성을 감안하여 적절한 기준을 수립함이 바람직할 것이다. 현재 시흥시를 운행하고 있는 버스노선을 대상으로 한 조사결과에 의하면 좌석버스, 일반버스, 마을버스의 평균 운행시격은 각각 17분, 32분, 22분으로서 KHCM의 LOS B, C, C에 해당한다. 도시의 규모와 특성 등을 감안하여 적정 서비스수준을 설정하는 문제는 별도의 연구과제라고 하더라도 기존 KHCM의 중소도시 서비스수준의 기준이 되는 운행시격은 전반적으로 좀 높게 설정되어 있는 것으로 보인다.

본 연구에서는, 시흥시 조사결과, 미 HCM2000의 기준, 그리고 Giannopoulos가 제안하는 수준을 감안하여, 버스노선 유형별로 간선버스(장거리 직행노선)는 최대 배차간격 30분, 지선버스(중거리 시내노선)는 최대 20분, 마을버스(단거리 연계버스)는 최대 10분으로 배차간격 기준을 부여하고, 운행속도는 각각 30, 25, 15Km/h로 설정하여 이 최저서비스수준을 유지할 경우 소요되는 차량대수를 산정하여 노선체계를 비교·평가하였다.¹⁹⁾

〈표 13〉의 평균운행속도와 배차간격 수준을 유지할 경우의 대안별 최소차량소요대수를 산출한 결과는 〈표 14〉에서 보는 바와 같다. 여기에서 차량소요대수는 가동률, 차량 또는 운전자의 휴식으로 인한 운행중지, 교통정체 등으로 인한 지체 등 여건을 감안하지 않은 것으

〈표 13〉 차량소요대수 산정을 위한 최저서비스 수준

버스유형	평균운행속도 (km/h)	배차간격 (분)	시흥시 현황 평균치	
			속도 (km/h)	배차간격
간선버스	30	30	21.9	17
지선(시내)버스	25	20	20.9	32
마을버스	15	10	17.4	22

주 : 평균운행속도는 정차장 정차시간 및 신호대기시간 등을 포함

〈표 14〉 대안별 최소차량소요대수 평가결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
최소차량대수(대)	340	123	260	193

로서 대안간의 상대적 비교를 위한 것이다. 산출결과에 의하면 다른 조건이 동일하다고 할 때 대안4의 경우 대안1(기존 노선체계)의 60%에 해당하는 차량만으로도 동일한 서비스수준을 유지할 수 있는 것으로 평가된다. 대안3을 취하여 기존 노선체계를 부분적으로 개선하더라도 기존에 비해 76%의 차량만이 소요되는 것으로 나타나고 있다.

2) 종합적 평가

앞의 각 지표별 평가결과는 지표에 따라 기준과 단위가 다르므로 이것만으로는 종합적인 평가가 곤란하다. 따라서 종합적인 평가를 위하여 판단기준표준화(standardization of criteria) 방법을 사용하되 표준화방법으로는 선형정규화법(linear-scale normalization)을 적용하였다. 이는 각 지표별로 대안에 대한 평가치중 가장 양호한 값을 1.0으로 하여 정규화시킨 후 종합하여 비교하는 방법이다. 단, 환승률은 지표값 자체가 비율을 나타내는 퍼센티지값이므로, 1.0에서 산출된 환승률의 소수값을 뺀 값(즉, 비환승률)을 산출하여 이를 표준화하도록 한다.

한편, 종합점수의 산출을 통한 종합적 대안 평가를 위해서는 원칙적으로 각 지표에 대한 가중치가 필요하다. 그러나, 이 연구에서는 평가지표별 가중치 설정을 위한 작업이 이루어지지 못하였다. 이 작업은 후속 연구과제로 미루기로 한다.

〈표 15〉 노선체계 대안별 평가결과의 정리

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
접근성	1.00	0.81	0.91	0.99
승차안락성	0.74	1.22	0.89	0.82
환승률	10.7	23.2	19.3	21.6
노선직결도	0.75	0.74	0.88	0.92
운영생산성	29.6	39.9	48.3	46.1
형평성	3.78	5.29	3.27	4.62
차량소요	340	123	260	193

주 : 는 가장 양호한 경우

19) 버스의 평균운행속도에 큰 영향을 미치는 것은 정차장에서의 정차시간과 노선의 굴곡도이다. 따라서, 간선버스의 경우 정차장 수를 대폭 줄이고 굴곡도를 개선할 경우 평균운행속도 30Km/h는 충분히 가능하다.

〈표 16〉 노선체계 대안별 평가치의 표준화 결과

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
접근성	1.000	0.814	0.914	0.988
승차안락성	1.000	0.607	0.831	0.902
환승률	1.000	0.860	0.904	0.878
노선직결도	0.815	0.804	0.957	1.000
운행생산성	0.613	0.826	1.000	0.954
형평성	0.870	0.622	1.000	0.712
차량소요	0.362	1.000	0.473	0.637
종합점수 (가중치=1)	5.660	5.533	6.079	6.071

설정된 평가지표의 결과치에 의거하여 시흥시의 4개 대안별 버스노선체계를 종합적으로 평가한다면, 대안 1(기존노선체계)은 접근성, 환승률 등 이용자 편의 측면에서는 양호하나 운행생산성, 차량소요, 노선직결도, 노선의 지역적 형평성 등 사회경제적 측면에서는 문제가 많은 것으로 평가된다. 대안 2는 장거리 간선 노선 위주로 구성되어 차량 소요대수가 적은 장점이 있으나 전반적으로 효용이 적은 것으로 평가된다. 대안3은 대안1의 기본패턴을 유지하면서 노선을 부분적으로 조정한 것으로서 운행생산성 등 대안1의 사회경제적 문제점을 크게 개선할 수 있는 것으로 평가된다. 대안4는 환승률이 높아진다는 점을 제외하면 이용자 측면이나 사회경제적 측면에서 전반적으로 양호한 균형적 대안이라고 할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

특정 도시지역의 전체 버스노선망에 대한 합리적이고 형평성 있는 평가를 위한 7개의 기준 및 정량적 지표가 설정되었으며, 이의 적용사례로서 경기도 시흥시를 대상으로 기존노선망을 포함한 4개 노선체계 대안에 대한 평가작업이 시도되었다.

- 7개 평가기준은 접근성, 승차안락성, 환승율, 노선의 직결도, 운행생산성, 지역적 형평성, 최소차량소요대수이며 각각에 대하여 정량적 지표가 설정되었다.
- 접근성 지표의 경우 현 수치지도의 한계로 인하여 실제 접근도를 산출하기 어려우므로 차선의 지표로

서 주거면적 및 인구대비 대비 정류장수로 정의되는 정류장 밀도를 이용하였다. 한편, 환승률 지표의 경우 emme/2 시스템의 환승분석알고리즘의 특성으로 인하여 실제보다 좀 더 높게 산출될 개연성이 있는 것으로 나타났다. 이들 두 지표에 대하여는 좀 더 연구가 필요한 것으로 보이지만 대안간의 상대적 비교에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

- 정량화된 평가지표들의 부분적 한계에도 불구하고 사례분석결과로 볼 때 설정된 평가지표들은 각 대안별 노선체계의 구조와 특성을 잘 반영하고 있어 비교적 타당성이 높은 평가지표임을 말해주고 있다.

2. 연구의 한계 및 후속 연구과제

지금까지 버스노선체계 평가는 주로 정책연구프로젝트의 형태로 여러 차례 이루어졌으나 본 연구에서와 같은 정량적 평가지표에 의한 접근은 별로 없었던 것으로 보인다. 따라서, 아직도 몇 가지 문제와 한계점이 있으며 많은 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

첫째, 접근성(accessibility) 지표 및 환승률(transfer rate) 지표에서 보듯 정량화에 필요한 자료기반(database)의 미흡이나 분석시스템상의 알고리즘의 한계로 인한 기술적 문제들이 남아 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 GIS기반의 좀 더 정밀한 데이터베이스 구축 및 교통시스템분석알고리즘의 개선이 이루어져야 할 것으로 보인다. 또한, 더 타당도가 높은 지표를 구성하는 연구도 수행되어야 할 것이다.

두 번째로, 다수의 평가지표에 의한 결과를 종합적으로 평가하기 위해서는 단위가 다른 지표 값에 대한 표준화(standardization) 및 지표별 가중치(weight) 설정이 필요하다. 본 연구에서는 선형정규화법을 사용하였지만 여러 가지 표준화 방법이 있으므로 가장 적합한 방법이 강구되어야 할 것이다. 또한, 가중치 설정을 위한 연구도 필요할 것이다.

세 번째로, 본 연구에서 설정한 7개의 평가기준과 지표는 하나의 표준적 예시에 불과할 뿐이다. 도시별로 버스노선체계의 특성과 정책목표가 다를 수 있으며, 평가지표를 정량화 할 수 있는 자료기반(database)에도 차이가 있다. 그러므로, 각 시 정부 또는 버스업계는 자신들의 목적과 필요에 적합한 평가기준과 지표를 설정하는 노력이 필요할 것이다.

네 번째로, 본 연구에서와 같이 전체 노선망을 평

가하는 작업과 별도로 각각의 노선에 대한 평가도 필요할 것이다. 각 노선에 대한 평가는 원칙적으로 노선운영자의 관점에서 수행되어야 하며 평가기준과 지표에 있어서도 전체 노선망에 대한 기준 및 지표와 반드시 일치하지는 않는다는 점을 염두에 두어야 할 것이다.

마지막으로, 정책적인 관점에서, 오랜 기간에 걸쳐 무계획적으로 누적된 결과인 버스노선체계의 문제점과 개선에 대한 논의는 무성하나 합리적이고 객관적인 평가에 입각한 노선체계 개선 작업은 찾아보기 어려운 것이 사실이다. 또한 민간부문이 담당하고 있는 버스서비스의 기업적 측면을 고려할 때 버스업체의 입장을 무시한 채 시 정부의 의도대로 노선체계의 개선을 시도하는 것도 바람직하다고 할 수 없다. 따라서, 버스노선체계의 평가를 포함한 일련의 노선체계 개선작업은 해당 시 정부와 버스업체들의 공동작업으로 추진함이 바람직하다고 본다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), "도로교통용량편람".
2. 교통개발연구원 연구보고서(1992), "수원시 시내버스 노선체계 합리화 방안 연구".
3. 교통개발연구원 연구보고서(1990), "서울시 시내버스 개선방안".
4. 교통개발연구원 연구보고서(1995), "전주시 시내버스 노선체계 합리화 방안".
5. 교통개발연구원 연구보고서(1998), "목포시 시내버스 노선체계 합리화 방안".
6. 교통개발연구원 연구보고서(1999), "인천광역시 버스노선의 합리적 조정방안 수립".
7. 교통개발연구원 연구보고서(2002), "시흥시 버스의 합리적 노선체계 수립 연구".
8. 백혜선(1999), "Set Covering 이론을 이용한 시내버스 최적노선망 구축에 관한 연구", 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문.
9. 서울시정개발연구원 연구보고서(1994), "서울시 시내버스 노선조정방안 연구".
10. 서울시정개발연구원 연구보고서(1995), "시내버스노선의 합리적 개편방안".
11. 서울시정개발연구원 연구보고서(2000), "제2기 지하철 전면 개통에 따른 시내버스노선체계의 개편 구상".
12. 시흥시(2001), "도시교통정비중기계획".
13. 신연식(1983), "Matrix Method에 의한 버스노선평가방법에 관한 연구", 홍익대학교 대학원 석사학위 논문.
14. 원제무(1997), "도시교통론", 박영사.
15. 유영근(1997), "도시버스교통수요예측과 최적노선망 결정방법에 관한 연구", 영남대학교 대학원 박사학위 논문.
16. 이유희(1998), "버스노선개편을 위한 평가기준 및 방법 연구", 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문.
17. FTA(Federal Transit Administration US DOT, 1995), *Bus Route Evaluation Standards: A Synthesis of Transit Practice*, TCRP Synthesis 10, TRB.
18. Giannopoulos, G. A.(1989), *Bus Planning and Operation in Urban Areas: A Practical Guide*, Gower Publishing Co.
19. INRO Consultants Inc.(1999), *EMME/2 User's Manual Software Release 9*.
20. Koski, R. W.(1992), "Bus Transit", in *Public Transportation*(G.E. Gray and L. A. Hoel ed.), pp.162~166.
21. TRB(2000), *Highway Capacity Manual 2000*.

✉ 주 작 성 자 : 이상용

✉ 논문투고일 : 2003. 5. 30

논문심사일 : 2003. 7. 1 (1차)

2003. 8. 12 (2차)

심사판정일 : 2003. 8. 12

✉ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

A Study on Driver Behavior and Dilemma Zone during Yellow Interval at Signalized Intersections

LEE, Seung-Hwan · LEE, Sung-Ho · PARK, Ju-Nam

objective of this research is to analyze drivers' behaviors at signalized intersection during yellow interval. For this, deceleration rate of stopping, PRT(Perception-Response Time), and the relationship between dilemma zone and deceleration rate of stopping were surveyed at two signalized intersections located at urban area(Songtan and Suwon) and local area(Yongin). As a result, the deceleration rate of stopping at signalized intersections and a range of dilemma zone were estimated. It was found that the deceleration rate of stopping and PRT were $1.6\text{m}/\text{sec}^2$ and 1.27sec , respectively. These values are bigger than ITE's values which have been used in our country. Accordingly, it is considered that these values should be used as a new design criteria for the traffic signal control.

Analyzing Passenger Arrival Behavior Based on the Spent Time for Airport Access

OH, Sung-Yeol · KIM, Wonkyu · PARK, Yonghwa

In general, an airport access system has influenced on airport terminal operation. The congestion and delay in service facilities at an airport are definitely depended on the patterns of passenger arrival behavior and time spent in a terminal. Therefore, it is necessary to analyze the passenger arrival behavior at an airport to improve the operations at passenger terminal. Passenger arrival patterns to an airport are mainly depended on factors such as the length of access time, reliability of access time, and provision of transport modes, etc. The focus of this paper is to estimate the relationship between the length of access time and passenger's total time spent to board aeroplane. For this, passenger surveys were conducted at the Gimpo International Airport for a large airport and Sacheon

Airport for a small size airport. The mathematical relationship between arrival time at an airport prior to the scheduled time of departure(STD) and access time spent was then estimated. It is considered that the results of this study can be used to reduce congestion and delays, thereby to improve the efficiency of the passenger services at the airports.

Quantitative Evaluation Indicators for the City Bus Route Network

LEE, Sang-Yong · PARK, Kyoung-a

A balanced evaluation system for a bus route network was proposed for a mid-sized suburban city. The evaluation system consists of 7 criteria - accessibility, riding comfort, transfer rate, directness of route, productivity of operation, regional equity, and minimum requirement of bus fleet - and quantitative indicators representing each of the criteria. The proposed system was applied in Siheung, a suburban city in Seoul Metropolitan Area. Four alternative scenarios of bus route network including the existing one were evaluated. The results showed that the suggested criteria and indicators are acceptable for the evaluation of a bus route network. In order to enhance the proposed evaluation procedure, further studies on the normalization of produced values and weights for each of the indicators are needed.

Development of Design Criteria for Crosswalks at Signalized Intersections

HA, Tae Jun · PARK, Je Jin · LEE, Hyoung Mu

There are no specific criteria deciding what type of crosswalk installs although 4 typed crosswalks at signalized intersections classify according to number of stop line, spacing from the border of intersections and existence of traffic islands or not.