

정류소별 영향권 및 접근거리를 반영한 버스 통행배정 신뢰성 향상 방안 연구

이만호*·이종훈**·윤호선***·손의영****

A Study on the Improvement of Bus Traffic Assignment Considering Catchment Area and Access Distance by Bus-Stop

Man Ho Lee*·Jong Hoon Lee**·Ho Sun Woon***·Eui Young Shon****

요약 : 버스 노선조정의 적정성과 서비스를 평가하려면 버스 정류소별 수요가 추정되어야 한다. 버스 수요의 신뢰성 확보를 위해 버스 정류소 영향권의 지역적 여건과 접근거리, 접근시간 등 접근성 관련 특성이 반영되어야 한다. 4단계 모형은 행정동 O/D(시중점 간 통행 수)와 도로 네트워크를 바탕으로 통행배정하기 때문에 교통계획 등 거시적 분석에는 적합하지만 버스 정류소별 수요와 접근시간 등 미시적 분석에는 한계가 있다. 이 연구는 교통카드 자료를 이용하여 정류소별 O/D를 구축하고 BMS(버스 운행관리시스템) 자료를 활용하여 버스 네트워크를 구축하였다. 또한 정류소별 영향권 내 건축물 연상면적에 따라 이용자 가중치를 반영한 접근거리를 산정하여 네트워크 속성에 반영하였다. 이 방안을 서울시 노선조정 사례에 적용해 실제 수요와 추정된 수요의 오차율을 비교·분석하여 높은 신뢰성이 있다고 검증하였다. 이 방안은 정류소별 승하차 수요 추정, 정류소별 접근시간을 고려한 버스 노선별 서비스 수준 평가, 버스 노선조정안의 타당성 검증 등 버스 노선 관련 계획과 평가를 정량적 지표에 근거하여 판단하는 데 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : 영향권, 접근거리, 정류소별 OD, 버스 네트워크, 스마트카드, GIS, 연상면적, 통행배정

ABSTRACT : In order to assess the adequacy of bus route adjustment and service, the demand for each bus stop should be estimated. Accessibility-related characteristics, such as access distance and access time, should be reflected in the regional conditions of the bus stop impact zone to ensure reliability of bus demand. The four-stage model is suitable for macro-analysis, such as traffic planning, since it is based on the O/D of the administrative town and the road network, but there is a limit to micro-analysis, such as demand and access time for each bus stop. In this study, the traffic card data were used to establish O/D for each stop and the bus network was established using BMS data. In addition, access distances reflecting user weights were calculated and reflected in the network properties according to the building's associative area within the zone of influence by station. This measure was applied to the case of Seoul Metropolitan Government's route adjustment to verify the high reliability by comparing and analyzing the error rate between actual and estimated demand. It is expected that this measure will contribute to determining bus route-related plans and evaluations based on quantitative indicators, such as estimating demand for ride-off and service levels for each bus line considering access time for each bus stop, and verifying feasibility of bus route adjustment plans.

KeyWords : Improvement of Bus Traffic Assignment, Catchment Area

* 서울시립대학교 교통공학과 박사수료(Ph.D Candidate, Transportation Engineering, University of Seoul)

** 서울시립대학교 교통공학과 박사수료(Ph.D Candidate, Transportation Engineering, University of Seoul)

*** 서울시립대학교 교통공학과 석사(MSc, Transportation Engineering, University of Seoul)

**** 서울시립대학교 교통공학과 교수(Professor, Transportation Engineering, University of Seoul)

교신저자(E-mail: eyshon@uos.ac.kr Tel: 010-5475-2769)

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

서울특별시 2004년 7월에 준공영제를 도입한 이후 인천광역시, 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 제주특별자치도 등 6개 특별광역시가 준공영제를 도입하여 운영하고 있다. 준공영제를 도입한 특·광역시는 대중교통 취약지역의 서비스 제공, 버스 노선 간 대중교통망 구축 등 이용자이동편의 개선과 운영 효율화를 위해 노선 조정을 시행하고 있다.

노선조정은 노선조정으로 인한 노선별 이용 수요 변화와 이동시간, 접근시간 등 서비스 개선효과 여부를 정량적 지표에 근거하여 판단되어야 한다. 하지만 노선 조정에 따른 노선·정류소별 이용 수요와 서비스 지표 변화를 정량적으로 추정하기 어려워 노선조정 요구의 필요성, 노선조정 구간의 대체 노선 유·무 등 정성적 또는 정책적 판단에 따라 노선조정 여부를 결정하고 있다.

김원길(2012)은 정류소별 승하차 인원, 접근시간, 대기시간, 통행시간 등 서비스 항목별 편익 또는 불편사항을 비용함수로 정량화하여 평가하는 서비스 평가모형을 제시하였다. 그러나 현재 노선의 서비스 평가 항목 중 하나인 접근시간은 산정 어려워 적용하는 데 한계가 있다. 또한 노선 조정 후 영향권 내 노선 및 정류소별 승·하차인원과 접근시간 추정이 어려워 서비스 모형을 적용하기 어렵다.

노선조정 전·후의 서비스 개선여부를 정량적 지표에 근거하여 검증하기 위해서는 버스 정류소 단위의 신뢰성 있는 승·하차 인원과 접근시간 등 통행시간 변화가 추정되어야 한다.

버스 이용자는 정류소 단위에서 승·하차의 통

행이 이루어진다. 정류소별 이용자 규모는 정류소 영향권 내 건축물의 연상면적 규모 등 사회·경제 여건, 건축물과 정류소까지의 접근거리 등 접근성 등에 따라 상이하다. 이와 같은 버스 이용 특성을 반영한 통행배정 시 신뢰성 있는 노선·정류소별 이용 수요, 접근시간 등 서비스 지표를 추정할 수 있다.

그러나 기존 4단계 모형은 행정동 O/D와 도로망을 기반으로 통행배정하기 때문에 정류소별 승·하차인원과 접근시간 등 통행시간을 추정하기 어렵다. 4단계 모형은 동일한 행정동 단위의 존재 통행은 '0'으로 처리하고 있어 하나의 행정동에 있는 다수의 정류소에서 버스 통행이 발생, 도착하는 현실을 반영하지 못한다. 또한 행정동 단위로 센트로이드 존을 구축하고 센트로이드 연결링크 거리 값을 동일하게 적용하고 있어 정류소별 이용 수요를 추정할 수 없고 정류소별 영향권과 접근거리에 따른 이용 특성을 반영하기 어렵다.

이 연구에서는 버스 정류소별 영향권과 접근거리 특성을 반영하여 통행 배정하여 정류소별 승·하차 인원과 접근시간 등 서비스 지표를 추정할 수 있는 통행배정 신뢰성 향상 방안을 제시한다. 본 방안은 노선조정의 적정성, 노선 및 정류소별 서비스 평가 등을 정량적으로 판단하는데 기여할 것으로 기대된다.

2. 연구 방법 및 범위

이 연구는 교통카드의 승하차자료, BMS(Bus Management System)의 버스 운행자료, GIS(Geographic Information System)의 버스 정류소 위치 등 자료를 활용하여 버스 정류소 O/D와 버스 네트워크 등 기본 자료를 구축하였다. 특히 GIS의 버스 정류소 인근 건축물의 연면적 자료를 정류소별 이용자 가중치로 활용하여 접근거리를

산정하고 산정된 값을 센트로이드 연결링크의 거리 값으로 반영하였다. 구축된 버스 정류소 O/D와 버스 네트워크 자료를 활용하여 통행 배정하였다. 통행배정 후 추정된 노선·정류소별 승·하차인원, 접근시간 등 서비스 지표를 실제 노선 조정 사례에 적용하여 검증한 결과 신뢰성이 있음을 검증하였다.

이 연구의 범위는 다음과 같다.

첫째, 통행배정을 위한 버스 정류소별 O/D와 버스 네트워크 등 기본자료 구축 방안을 제시하였다. 둘째, 버스 정류소별 영향권에 따른 이용자 가중치를 적용한 접근거리 산정 방안을 제시하고, 산정된 접근거리를 센트로이드 연결링크의 속성자료로 활용하여 통행배정 하였다. 마지막으로 이 연구 방안을 실제 사례에 적용하여 통행배정의 신뢰성을 검증하였다.

II. 선행 연구 검토

1. 접근거리 등 영향권 관련 연구

접근시간 관련 연구는 접근시간을 반영한 버스 노선 및 정류소 서비스 평가모형에 대한 연구와 접근 거리에 따른 영향권 및 이용자수 변화에 대한 연구 등 두 유형으로 이루어지고 있다.

김원길(2012)은 접근시간을 반영한 대중교통 이용자 관점의 서비스 평가 모형을 제시하였다. 그러나 현재 상태에서의 산정 어려움과 노선 변화에 따른 추정 어려움으로 실제 모형에는 반영하지 못하여 향후 추진과제로 제시하고 있다.

Murray(2001)은 대중교통 접근성을 대중교통 시설로의 도달능력으로 정의하고 대중교통시설을 이용할 수 있는 공간적 범위로 대중교통 접근성을

평가하였다. 도보를 통한 임계거리나 한계시간 이내에 도달 가능한 공간적 범위 설정 혹은 이 공간적 범위로 접근성을 파악하였다. 국내에서는 윤종진, 우명제 외(2015)는 지하철의 경우 500m, 버스는 300~400m를 임계거리로 제시하고 있다.

김성희 외(2002)는 대중교통수단의 접근성과 대중교통 이용률과의 관계를 파악하여 보행접근 가능거리를 제시하였다. 분석 결과 400~500m의 접근거리 및 6분 내외의 접근시간 지점에서 대중교통 이용률의 변화가 나타난다고 제시하였다. 다만 대중교통을 수단별로 구분하지 않아 서로 성격이 다른 도시철도와 버스가 구분 없이 분석에 이용되었다.

Zhao et al. (2003)은 교통수단 접근거리별 이용자수 증가 규모를 분석하였는데 접근거리가 91m 이상에서 이용자가 빠르게 감소하며, 580m 이상에서는 이용자가 없어진다고 제시하였다. Dill (2003)은 대중교통 정류장으로부터 500m 멀어질 때마다 대중교통을 이용하는 승객이 50% 감소하고 접근거리가 10% 증가할 때마다 승객은 10% 감소한다고 분석하였다.

김재영 외(2009)는 지하철역별 역세권 형성 시기 등에 따른 연도별 지하철역별 이용 수요 추정방안을 구축하였다. 지하철역별 용도지구 및 건축물 연상면적 등에 따라 지하철역별 이용 수요 규모가 변화하는 특성을 제시하였다.

Foda and Osman(2010)은 버스 정류장의 접근성을 정류장으로부터의 직선거리와 실제 접근거리로 구분하여 정류장별 도보 접근성을 분석하였다. 버스정류장의 영향권은 반경 400m로 가정하고 GIS 공간 정보를 기반으로 정류장별 접근성을 분석하였다는 점에서 지금까지의 연구와는 차별성을 보였다. 하지만 토지 면적을 기준으로 분석하여 지역별 밀집도 및 개발정도 등 역세권 특성을 반영하지 못한 한계가 있다.

김경환 외(2010)는 부산시를 대상으로 설문조사를 실시하고 다중회귀분석 방안을 활용하여 지하철과 버스의 영향권을 분석하였다. 분석결과 서비스 권역이 지하철 672m, 버스 472m로 지하철의 서비스 권역이 버스에 비해 1.42배 큰 것으로 나타났다.

2. 노선조정 관련 연구

노선조정 관련 연구는 자료 수집 등의 어려움으로 사회적 편익 향상과 이용자 서비스 개선을 위해 시행하되 정량적 지표를 근거로 검토되어야 한다는 필요성을 제시하는 연구가 이루어졌다. 하지만 최근에는 버스의 스마트카드 자료, BMS 자료 등을 활용한 분석 방법론에 대한 연구가 이루어지고 있다.

원제무(2001)는 운행관련지표와 서비스 관련지표로 나누어 버스 노선조정의 기준을 제시하였다. 하지만 이는 설문을 통한 정성적인 효과추정으로 실제 노선 조정안의 정량적인 효과추정을 할 수 없다는 한계가 있다.

Bennet et al.(2003)과 민영제의 경우 노선 신설, 폐지, 단축 등은 운수업체의 수입과 직접적으로 연관되어 있어 운수업체가 수익극대화를 위하여 노선을 스스로 조정한다고 제시하고 있다. 이와 더불어 대다수의 도시들에서 운수업체들은 수요극대화 방향으로 스스로 버스 서비스 수준을 조정하고 있으며 운영비용을 모두 수익으로 충당하여 보조금을 받지 않는다고 하고 있다.

이성모 외(2005)는 노선조정을 업체가 주도적으로 하는 경우와 공공이 주도적으로 하는 경우로 구분한 효과분석 방안을 제시하였다. 여기서 업체 주도의 노선 결정은 수익최대화 노선으로 평가지표는 재무적 B/C로 제시하였으며 공공 주도로 노선결정을 하는 경우의 이용자 편익에 중점을 두며

이때 평가지표는 사회적 비용으로 제시하였다. 위의 시나리오를 바탕으로 운영비용과 이용비용의 합계인 총사회비용 합계가 최소화되는 방향을 제시하였지만 가상 네트워크를 통한 분석으로 실제 노선조정에서의 효과를 검증하지 못한 한계를 가지고 있다.

하성준 외(2011)는 실제 버스 노선조정안의 결과를 이용자 측면의 통행시간과 운영자 측면의 운영수익으로 나누어 적정성을 평가 하였다. 실제 노선조정안을 토대로 노선 조정전후의 이용자 측면은 통행시간 변화, 운영자 측면은 승객 수에 따른 운영수익변화를 평가지표로 제시하였다. 하지만 모형을 통한 노선 조정 전의 효과분석이 아닌 조정 후 결과를 토대로 한 효과분석으로 노선조정의 결과를 예측할 수 없다는 한계를 가지고 있다.

정창용(2012)은 스마트카드(SCD, Smart Card Data) 자료를 활용한 정류장별 수요 추정 방법을 제시하고 있다. 그러나 노선조정 전후의 실제수요를 통한 검증과 접근거리를 반영한 모형 구축에는 한계가 있다.

3. 통행배정을 위한 버스 네트워크 구축 관련 연구

통행배정 네트워크 관련 연구는 실제 통행패턴을 반영하기 위한 센트로이드 존과 연결링크 구축 개선 방안을 중심으로 기존 네트워크 구축방안의 한계를 제시하고 있으나 구체적 방안은 미흡한 수준이다.

Daganzo(1980)는 센트로이드 연결 링크의 특성상 존의 가장자리에서 통행패턴의 설명력이 약함을 지적하며 다수의 센트로이드와 연결 링크를 이용한 통행배정 알고리즘을 제시하였다. 실제 적용한 사례는 미미하였다.

박경아(2010)는 통행배정 오차를 감소하기 위해 센트로이드 연결 링크를 교차로 노드에 추가 구축이 필요하다고 제시하였다. 한국교통연구원(2012)도 기존 센트로이드 연결링크와 직접 연결된 링크에서 집중 배정되는 한계가 있으며 이에 대한 추가 연구가 필요하다고 제시하고 있으나 이후 구체적인 개선방안 연구는 미흡한 실정이다.

4. 선행연구의 시사점

버스 통행량은 정류소별 영향권 및 접근거리에 영향을 받는다. 따라서 버스 노선 조정의 타당성 검증 및 버스 서비스 평가를 위해 노선·정류소별 이용 수요와 접근시간 등 통행시간 자료가 통행배정을 통해 추정 가능해야 하며 신뢰성이 확보되어야 한다.

신뢰성 있는 버스 통행배정을 위해 버스 O/D, 버스 네트워크 등 기본 자료가 구축되어야 한다. 버스 O/D는 정류소별 O/D가 필요하다. 왜냐하면 실제 버스 통행량은 정류소 단위에서 통행이 이루어지기 때문이다. 버스 네트워크는 정류소별 승·하차인원과 접근시간을 추정하기 위해 정류소별 센트로이드 존이 구축되어야 한다. 또한 정류소별 영향권과 접근성에 따른 이용자 가중치를 반영한 접근거리를 산정하여 센트로이드 존의 연결링크의 거리 값으로 적용되어야 한다.

이 연구는 버스 통행이 정류소별 통행이 이루어지는 현실과 정류소별 영향권 및 접근거리에 따라 이용 수요가 변화하는 특성을 반영하도록 버스 정류소 O/D와 정류소 기반 버스 네트워크를 구축하여 버스 노선·정류소별 이용 수요와 접근시간 변화를 추정하는 버스 통행배정의 신뢰성 향상 방안을 제시한다.

Ⅲ. 정류소별 접근거리를 반영한 수요 추정 및 효과분석 평가방안

1. 모형의 전제

이 연구는 버스 노선조정으로 개인교통수단 및 지하철과 버스 간 수단전환은 없다고 가정하였다. 가정 이유는 다음과 같다.

첫째, 서울시는 2004년 버스 준공영제 및 통합환승제 도입 등 대규모 개편을 시행하였다. 개편 후 버스 수단 분담률은 약 1%만 증가하였고 개인교통수단에서 대중교통으로 수단전환은 미비하였다.

둘째, 이 연구는 소규모 노선조정을 대상으로 한다. 버스 노선 조정으로 버스 정류소별 승·하차 인원 및 접근시간 변화를 추정하는 통행배정의 신뢰성 향상 방안이 목적이기 때문에 타 수단으로 전환은 없다고 가정하였다.

2. 활용자료

이 연구는 버스통행량 추정을 위해 버스정류장 기반 O/D 및 네트워크를 구축하였다. 버스 정류소 O/D는 스마트카드 자료(SCD), 버스 네트워크는 버스관리시스템(BMS)자료와 지리정보시스템(GIS)을 활용하여 구축하였다. 모형 분석은 EMM4를 활용하였다.

스마트카드, 버스관리시스템, 지리정보시스템 등 자료는 연평균 일통행량(Annual Average Daily Traffic Volume, AADT)와 가구통행실태조사의 통행량과 가장 유사한 특성을 보이는 2015년 10월 자료를 이용하였으며, 동일 기간에 노선 조정이 이루

어진 6642번을 대상으로 적용하였다.

3. 기본자료 구축 방안

1) 버스 정류소별 O/D 구축

정류장 기반 O/D는 스마트카드 자료를 활용하여 구축하였다. 서울시 대중교통 체계 개편과 함께 도입된 스마트카드는 자료 수집이 용이하고 정확도가 매우 높다. 2015년 기준 약 98.4%의 승객이 스마트카드를 이용함으로써 거의 전수화에 가까운 정확한 정보를 확보할 수 있다. 또한 1년 365일에 대한 모든 정보가 자동으로 업데이트 되도록 시스템화 되어 지속적인 자료 관리가 가능하다는 장점이 있다.

스마트카드 자료의 주요 장점은 다음과 같다.

첫째, 실제 교통카드의 이용내역을 토대로 버스 정류소 중심의 O/D 생성이 가능하다. 버스 통행은 버스정류장에서 발생하는 현실을 잘 반영할 수 있다. 또한 교통카드는 승·하차 정류소별 이용자수의 자료가 포함되어 있어 신뢰성 있는 정류소별 O/D 구축이 가능하다.

둘째, 스마트카드 자료는 GPS(Geographical Position System)를 통한 차량별, 정류소별 이동 시간, 경로 등의 노선의 운행 관련 정보의 신뢰성을 확보할 수 있다.

스마트카드가 포함하는 구체적인 자료 내용은 <표 1>과 같다. 스마트카드 자료 중에서 승차정류장 ID, 하차정류장 ID, 이용객수 등 3가지 자료를 활용하여 정류장 기반 O/D를 구축하였다. 총 이용자의 약 1% 미만 이용자는 하차 시 카드 미태그를 하는데 이는 결측치로 간주하여 O/D구축 시 제외하였다.

<표 1> SCD 카드 정보

구분	수룩정보	자료상세
1	카드번호	각 카드의 고유번호
2	운행출발일시	해당버스 운행출발
3	트랜잭션ID	환승 관련 정보제공
4	교통수단코드	수단별 코드구분
5	환승횟수	환승횟수구분
6	노선ID	해당 노선 ID
7	교통사업자ID	해당 노선 사업자 ID
8	차량ID	해당 차량 ID
9	사용자구분코드	1-일반 2- 초등학교생 4- 청소년
10	승차일시	2015년 10월 15일 9시 46분 28초
11	승차정류장ID	정류장 코드
12	하차일시	2015년 10월 15일 10시 1분 55초
13	하차정류장ID	정류장 코드
14	통행거리	단위 : km
15	이용객수	총 이용객 수

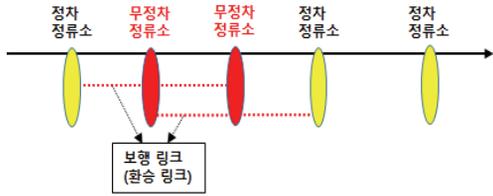
2) 접근거리를 반영한 버스 네트워크 구축

KTDB 자료를 활용하여 구축된 기존 네트워크는 <그림 3>와 같이 행정동별로 센트로이드 존을 구축하고 센트로이드 존의 연결링크 거리는 300m로 동일하게 적용하였다. 이로 인하여 센트로이드 존에서 가장 가까운 정류소에서 통행배정이 집중되고 정류소별 승·하차 인원과 정류소별 접근거리에 따른 접근시간 차이를 반영하는데 한계가 있다.

이 연구의 버스 네트워크는 버스 정류소를 노드로 정류소와 정류소간을 링크로 구축하였다. 링크거리는 버스 정류소 누적거리를 활용하여 반영하였다. 2015년 10월 총 정류소 수는 6,059개로 네트워크를 구축하였다.

또한 노선 운행 방향에 무정차하는 정류소는 가장 가까운 정류소과 보행링크를 설치하여 인접한 정류소에서 환승할 수 있도록 처리하였다. 구축 예시는 <그림 1>과 같다.

〈그림 1〉 인접한 정류소 환승처리 방안 예시



센트로이드 존은 〈그림 4〉와 같이 정류소마다 구축하였고 각 센트로이드 존의 보행링크는 정류소별 영향권 및 접근거리 특성을 반영하기 위하여 지리 정보시스템(GIS)의 연상면적 정보를 활용하여 정류소별 접근거리를 상이하게 반영하였다.

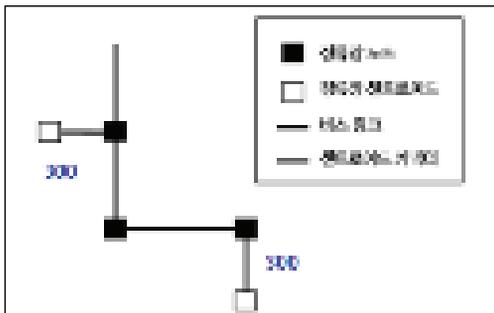
버스 네트워크의 속성 자료는 버스관리시스템(BMS)의 배차간격, 운행횟수, 표정속도 등 운행 정보를 반영하였다.

이와 같이 구축된 서울시 버스 네트워크는 〈그림 2〉와 같다.

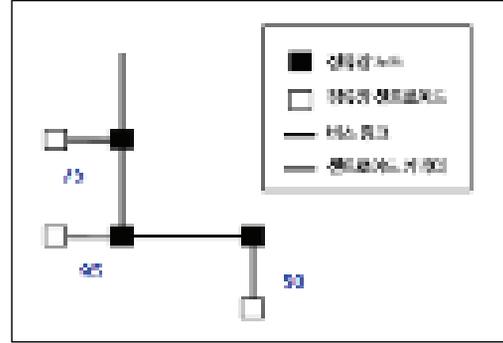
〈그림 2〉 서울시 버스 네트워크



〈그림 3〉 기존 센트로이드 구축방법 예시



〈그림 4〉 이 연구의 센트로이드 구축방안 예시



4. 영향권 및 접근거리 산정 방법

접근시간은 차내 이동시간, 대기시간 등 통행시간 관련 서비스 평가 및 효과 분석을 위한 중요한 항목이다. 기존 모형은 통행 배정 시 행정동별 센트로이드 존을 구축하고 연결링크 거리 값을 300m로 획일적으로 적용하여 센트로이드와 가장 가까운 정류장에 집중적으로 배정되고 또한 정류소별 접근거리를 반영한 접근시간을 추정할 수 없다.

이 연구에서는 버스 정류소별 센트로이드 연결링크의 거리를 정류소별 영향권내 연상면적을 가중치로 적용하여 접근거리를 산정·적용하였다.

영향권 설정은 Murray(2001), 김재영 외(2009년), 윤종진, 우명제 외(2015) 등 연구를 준용하였다. 영향권은 접근 임계거리와 현재 정류소간 평균거리를 고려하여 정류장 기준 반경 300m를 영향권으로 설정하였다. 다만, 영향권 내 건물군의 연상면적에 따라 이용자 규모가 가중되도록 하였다.

정류소별 접근거리는 지리정보시스템(GIS)을 활용하여 정류장별 영향권을 설정한 뒤에 정류장의 영향권 내에 위치하는 인접 건물들까지의 거리를 산술평균하여 산정할 수 있다. 하지만 정류장의 위치가 영향권 또는 비영향권에 따라 이용수요의 규모와 밀집 정도를 반영하는데 한계가 있다.

이 연구의 정류소별 접근거리 산정방법은 〈식 1〉과

같이 정류장 영향권 내 모든 건축물의 연상면적과 정류소까지의 거리의 합을 모든 건물의 연상면적의 합으로 나누어 산정하였다.

$$\sum_{i=1}^n (l \times a) / \sum_{i=1}^n a \text{ ----- } \langle \text{식 1} \rangle$$

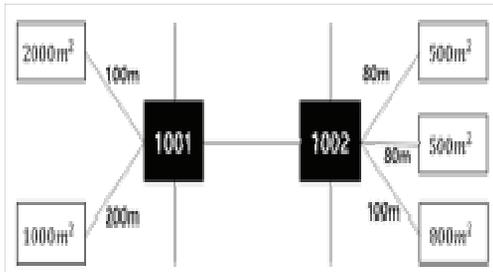
여기서, n=해당 정류장의 건물 수
 l=해당 건물부터 정류장 n까지의 거리
 a=해당 건물의 연상 면적

접근거리 산정 예시는 <표 2> 및 <그림 5>와 같다. 기존 이용자 가중치를 제외한 접근거리를 추정할 경우 정류장 1001의 접근거리는 150m, 정류장 1002의 접근거리는 86.7m이다. 여기에 이용자 가중치를 연상면적에 적용하면 정류장 1001의 접근거리는 133.3m, 정류장 1002의 접근거리는 88.9m가 된다.

<표 2> 접근거리 산정방안

정류장	연상면적 미고려 시 산정방법	연상면적 고려 시 산정방법
1001	$\frac{(100+200)}{2} = 150m$	$\frac{(100 \times 2000 + 200 \times 1000)}{(1000 + 2000)} = 133.3m$
1002	$\frac{(80+80+100)}{3} = 86.7m$	$\frac{(80 \times 500 + 80 \times 500 + 100 \times 800)}{(500 + 500 + 800)} = 88.9m$

<그림 5> 접근거리 추정 예시



5. 모형 평가

이 연구 방안이 현실 여건을 얼마나 유사하게 모사하고 있는지 검증하기 위해 실제 노선조정 사례에 적용하여 검증하였다. 평가방법은 노선 조정 전·후 노선·정류소별 실제 수요와 통행배정 후 추정된 수요의 오차범위를 비교·분석하여 신뢰성을 검증하였다. 또한 통행배분 후 추정된 노선·정류소별 접근시간 등 통행시간 변화의 타당성을 분석하였다.

IV. 네트워크 적용 및 검증

1. 적용 대상 노선

이 연구의 평가를 위해 적용한 노선은 2015년 10월 서울시가 노선 단축한 6642번 노선으로 노선조정 전·후 실제 승·하차인원 및 통행시간과 통행배정으로 추정된 승·하차 인원 및 통행시간의 오차를 비교·검증하였다.

노선 조정 전 실제 승·하차 인원은 2015년 10월 일평균 자료, 노선 조정 후 승·하차 인원은 노선 조정에 따른 노선 및 수요 안정화 기간을 고려하여 2016년 6월 일평균 자료를 활용하였다.

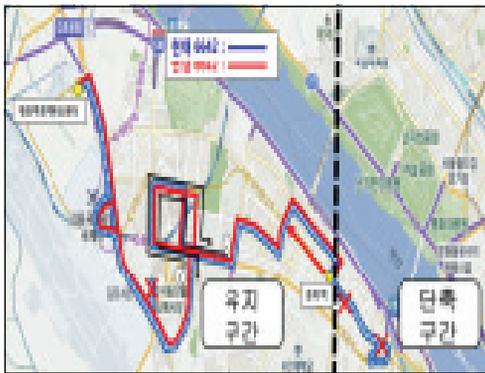
시내버스 6642번은 개화역환승센터에서 염창역까지 약 34km를 14대가 평균 13분 배차간격으로 운행하였다. 서울시는 배차간격을 단축하기 위해 구간별 수요, 중복 및 대체 노선 유·무를 고려하여 종점을 염창역에서 증미역으로 단축하였다. 노선 단축으로 운행거리는 34km에서 28km로 약 6km를 단축하였고, 배차간격은 13분에서 11분으로 2분 단축하였다. 노선 조정 전·후 운행계통은 <표 3>과 같고 노선도는 <그림 6>과 같다.

노선조정에 따른 이용여건 변화와 비교·분석의 용이성을 위해 기존 노선이 유지되는 유지구간과 단축되는 단축구간으로 구분하였다. 분석 대상 노선은 6642번과 중복되는 10개의 모든 노선을 대상으로 하였다.

〈표 3〉 6642번 노선조정 전·후 운행계통

구분	조정 전	조정 후
노선 연장(km)	34.0	28.0
1회 운행시간(분)	130	110
운행대수(대)	14	14
1일 총 운행횟수(회)	98	110
배차간격	13	11
1일 총 운행거리(km)	3,332	3,080

〈그림 6〉 6642번 노선조정 전·후 노선도



2. 실제 수요와 통행배정된 수요 변화 검증

1) 노선 조정전 수요 검증

시내버스 6642번과 중복되는 10개 노선을 대상으로 실제 승·하차 인원과 이 연구 방안에 의해 통행배정으로 추정된 승·하차 인원의 오차율을 비교·검증하였다. 노선별 추정된 승·하차 인원과 실제 승·하차 인원의 비교 값은 〈표 4〉와 같다.

승차인원 기준 노선별 오차율을 살펴보면, 672번의 실제 승차인원은 594명이고 추정된 승차인원은 689명으로 오차율 -16.0%로 가장 크게 나타났다

다. 이는 672번은 6642번과 중복구간이 많아 배차간격 단축 등 운행여건 변화에 민감한 것으로 판단된다. 반면 6645번은 실제 승차인원이 3,755명, 추정된 승차인원은 3,844명으로 오차율 -2.4%로 가장 적게 나타났다. 이는 6645번은 6642번과 중복 구간이 적고 또한 단독 구간이 많아 타 노선의 운행여건 변화에 영향이 미비한 것으로 판단된다. 하차인원 기준 노선별 오차율은 6631번의 실제 하차인원이 2,857명, 추정된 하차인원은 3,203명으로 오차율 -12.1%로 가장 크게 나타났다. 이는 타 노선과 중복구간이 많아 오차율이 큰 것으로 판단된다. 반면, 6627번은 실제 하차인원이 944명, 추정된 하차인원은 940명으로 오차율 0.4%로 가장 적게 나타났다. 이는 양천구에서 강서구 가양역으로 운행하는 유일 노선으로 오차율이 적은 것으로 판단된다. 6642번과 중복되는 10개 노선의 실제 총 승차인원은 21,782명이고 추정된 총 승차인원은 22,161명으로 -1.7%, 실제 총 하차인원은 21,309명, 추정된 총 하차인원은 22,028명으로 -3.4% 등 매우 낮은 오차율로 현실을 잘 반영하고 있다.

〈표 4〉 현재 영향권내 노선별 수요

노선 번호	승차			하차		
	분연구	실제	오차율	분연구	실제	오차율
6642	4,393	4,631	5.1%	4,341	4,155	-4.5%
6632	4,341	4,099	-5.9%	4,640	4,742	2.2%
6630	789	754	-4.6%	723	646	-11.9%
6645	3,844	3,755	-2.4%	3,802	3,725	-2.1%
6648	1,747	1,576	-10.9%	1,545	1,403	-10.1%
6631	3,087	3,182	3.0%	3,203	2,857	-12.1%
6627	1,133	1,058	-7.1%	940	944	0.4%
6712	1,106	1,145	3.4%	1,244	1,194	-4.2%
672	689	594	-16.0%	659	652	-1.1%
670	1,032	988	-4.5%	931	991	6.1%
합계	22,161	21,782	-1.7%	22,028	21,309	-3.4%

2) 노선 조정후 수요 검증

시내버스 6642번의 노선조정 후 영향권 내 10개 노선의 수요와 이 연구 방안으로 통행배정 된 추정 값은 <표 5>와 같다.

유지구간에서 6642번의 실제 수요는 노선조정 전 하루 7,454통행에서 노선조정 후 8,244통행으로 11.9%인 790통행이 증가하였다. 통행배정 된 수요는 하루 7,454통행에서 노선조정 후 8,244통행으로 10.6%인 790통행 증가한 것으로 나타났다. 단축구간에서 6642번은 하루 1,258통행에서 0통행으로 변화했고, 통행배정 값은 하루 1,280통행에서 0통행으로 나타났다.

유지구간에서 모든 노선의 수요 증·감 패턴은 실제와 동일하게 통행배정 되었다. 실제와 가장 유사한 증감을 보인 노선은 6642번으로 실제 수요 변화와 통행배정 된 수요 변화가 -2.6%로 동일하여 0.0%의 오차를 보이고 있다. 반면 6631번은 실제 14.8% 수요가 증가하였는데 통행배정에서는 5.7% 증가하여 9.1%의 오차를 보였다.

단축구간에서 모든 노선의 수요 증·감 패턴도 유사구간과 같이 동일하게 통행배정 되었다. 유지구간에서 가장 큰 오차를 보였던 6631번은 단축구간에서는 가장 적은 오차로 나타났다. 6631번의 수요 증감율은 실제 9.3%에서 통행배정에서는 7.5%로 1.8%의 오차를 보였다. 반면 672번은 실제 수요가 37.0% 증가하였는데 통행배정에서는 25.8% 증가하여 11.2% 오차를 보이고 있다.

유지구간에서 6631번을 제외한 모든 노선의 수요가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 6642번이 노선 단축으로 배차간격이 단축되어 영향권 내 노선 수요가 6642번으로 전환된 것으로 판단된다. 6642번이 폐지된 단축구간에서 모든 노선의 수요는 증가하였다. 이는 6631번이 유지구간에서도 수요가 증가한 것과 같이 유지구간과 단축구간 간 이동 수요가 증가한 것으로 추정된다.

모든 노선의 실제 총 수요는 0.9% 증가하였는데 통행배정 된 총 수요의 오차는 -0.5%로 감소하여 1.4%의 오차로 현실을 잘 반영하고 있다.

다만, 실제 총 수요는 증가하였는데 통행 배정 된 값은 감소하였다. 이는 노선 조정으로 파생된 잠재수요가 반영되지 못한 것으로 판단된다.

<표 5> 노선조정 전·후 영향권내 노선별 수요

구간	노선	실제			이 연구		
		전	후	증감율	전	후	증감율
유지구간	6642	7,528	8,425	11.9%	7,454	8,244	10.6%
	6632	8,841	8,587	-2.9%	8,981	8,587	-4.4%
	6630	1,300	1,250	-3.8%	1,660	1,604	-3.4%
	6645	7,480	7,285	-2.6%	7,646	7,445	-2.6%
	6648	2,979	2,521	-15.4%	3,292	3,022	-8.2%
	6631	1,644	1,887	14.8%	2,001	2,115	5.7%
	소계	29,772	29,955	0.6%	31,034	31,017	-0.1%
단축구간	6642	1,258	0	-100%	1,280	0	-100%
	6627	2,002	2,244	12.1%	2,073	2,268	9.4%
	6631	4,395	4,804	9.3%	4,369	4,698	7.5%
	6712	2,339	2,566	9.7%	2,250	2,427	7.9%
	672	1,246	1,707	37.0%	1,394	1,753	25.8%
	670	1,979	2,089	5.6%	1,963	1,993	1.5%
	소계	13,219	13,410	1.4%	13,329	13,139	-1.6%
총계	42,991	43,365	0.9%	44,363	44,156	-0.5%	

3. 접근시간 등 통행시간 변화

시내버스 6642번 노선 조정 전·후 영향권 내 모든 노선들의 통행시간 변화는 <표 6>과 같이 하루 기준 총 통행시간이 3시간 증가하였다. 차내 통행시간은 3시간 감소한 반면, 접근시간은 2시간, 대기시간은 4시간 증가하였다.

유지구간은 차내 통행시간 5시간, 접근시간 1시간, 대기시간 11시간 등 모두 감소하여 하루 총 17시간의 통행시간이 감소하였다. 차내 통행시간과 접근시간 감소는 6642번의 배차간격이 감소하여 기존에 우회노선을 이용하던 수요가 6642번으로 전환되었기 때문으로 분석된다. 특히 대기시간이 11시간으로 가장 크게 감소하였다. 이는 6642번의 배차간격이 단축되었기 때문으로 통행배정이

변화된 여건을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

단축구간은 차내 통행시간 2시간, 접근시간 3시간, 대기시간 15시간 등 모든 통행시간이 증가하여 총 20시간의 통행시간이 증가하였다. 특히 대기시간이 하루 15시간으로 가장 많이 증가하였다. 이는 6642번이 폐지된 단축구간으로 이동하던 기존 수요가 우회하는 대체노선으로 수요가 전환되었기 때문에 분석된다. 실제 6631번을 포함한 단축구간 내 모든 노선의 수요가 증가한 것으로 나타났다.

단축구간에서도 유지구간과 동일하게 대기시간이 15시간으로 크게 증가하였다. 이는 단축구간에서 6642번이 폐지되어 이용 가능한 노선이 감소하여 대기시간이 증가한 것으로 분석된다.

버스 노선이 유지되는 구간에서 배차간격이 단축되면 대기시간이 감소하고, 버스 노선이 단축·폐지되는 구간에서는 이용 가능한 노선이 감소되어 대기시간과 접근시간이 증가한다. 이 과정에서 유지구간 내 이용자는 배차간격이 단축된 노선으로 전환되고, 단축구간 이용자는 우회노선으로 전환되어 통행시간이 증가하는 현실을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

〈표 6〉 노선조정 전·후 하루 통행시간 변화

구분		조정 전	조정 후	증·감
유지 구간	차내 통행시간	7,590	7,585	-5
	접근시간	2,847	2,846	-1
	대기시간	1,889	1,878	-11
	총 통행시간	12,326	12,309	-17
단축 구간	차내 통행시간	3,875	3,877	2
	접근시간	1,207	1,210	3
	대기시간	656	671	15
	총 통행시간	5,738	5,758	20
전체	차내 통행시간	11,465	11,462	-3
	접근시간	4,054	4,056	2
	대기시간	2,545	2,549	4
	총 통행시간	18,064	18,067	3

V. 결론 및 향후 연구과제

이 연구는 버스 정류소의 영향권 및 접근거리를 반영한 버스 통행배정 신뢰성 향상 방안으로 정류소별 승·하차 인원을 추정할 수 있다. 버스 정류소별 승·하차 인원을 추정하기 위해 SCD 자료를 이용하여 버스 정류소별 O/D를 구축하고, BMS와 GIS 자료를 이용하여 버스 네트워크를 구축하였다. 정류소별 영향권 및 접근거리를 반영하기 위해 정류소별 영향권 내 건축물의 연상면적에 따라 이용자 가중치를 반영하여 정류소별 접근거리를 산정하였다. 산정된 접근거리는 버스 정류소별 센트로이드 존의 연결링크 거리 값으로 적용하였다.

이 연구 방안 검증을 위해 실제 노선 조정한 사례에 적용하여 비교·분석한 결과 신뢰성 있는 버스 정류소별 승·하차 인원이 추정되었다. 또한 정류소별 접근시간 등 통행시간 변화를 추정할 수 있어 노선 조정의 타당성을 정량적 서비스 지표에 근거하여 판단하는데 기여할 것으로 기대된다.

다만, 지하철을 고려한 대중교통 체계를 분석에는 한계가 있다. 지하철, 경전철 등 대중교통 수단을 고려한 대중교통체계의 종합적 분석을 위해서는 환승링크를 고려한 통합 네트워크 구축 방안과 대중교통 통합 O/D 구축 방안에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 이 연구에서는 정류소와 건축물 간 거리를 직선거리를 적용하였는데 실제 이동거리 등을 고려한 정류소별 접근거리 산정 방안에 대한 추가 연구도 의미가 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 이 연구 방안으로 추정된 수요와 접근시간 변화 등 정량적 평가지표를 활용하여 서비스 평가모형에 따른 비용효과 분석도 의미가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 권병우, 2004, “버스카드 자료를 이용한 버스 정류장 기반 O/D구축 방안에 관한 연구”, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
- 김원길·노창균·손봉부, 2012, “대중교통 이용자 관점의 서비스 평가 모형 개발”, 대한교통학회지, 30(1): 149~159.
- 김경환·이덕환·최종문·오일성, 2010, “지하철과 버스의 서비스권역 비교 및 이용자들의 도보거리 추정 : 부산시를 중심으로”, 대한토목학회지, 30(6D): 541~552.
- 김재영, 2001, “버스정류장간 승객수요 추정에 관한 연구”, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
- 박호남, 2008, “BMS 및 실시간 교통카드 자료를 이용한 GIS-T 모델의 구축 및 활용”, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
- 서울시정개발연구원, 2007, “교통카드 자료를 활용한 OD 추정 및 활용연구”, 서울특별시.
- 서울시정개발연구원, 2010, “교통카드 데이터를 활용한 대중교통통합 OD 구축 및 활용방안연구”, 서울특별시.
- 손의영·김재영·정창용·이종훈, 2009, “영향권을 반영한 도시철도 역별 수요추정 모형 개발”, 대한교통학회지, 27(2): 15~22.
- 천승훈, 2010, “교통카드 자료 기반 통합대중교통망의 확률적 통행배정모형 개발”, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 천승훈·신성일·이영인·이창주, 2008, “교통카드 기반자료를 활용한 복합대중교통망 구축 및 경로탐색 방안 연구”, 대한교통학회지, 26(3): 233~243
- 한국교통연구원, 2006, “대중교통정책 수립에 있어서 교통카드 자료 활용방안 연구”, 경기도 고양시.
- Foda, M. A., and Osman, A. O., 2010, “Using GIS for Measuring Transit Stop Accessibility Considering Actual Pedestrian Road Network”, 13(4): 23~40.
- Zhao, F., Chow, L. F., Li, M. T., Ubaka, I., and Gan, A., 2003, “Forecasting Transit Walk Accessibility -Regression Model Alternative to Buffer Method”, *Transportation Research Record*, 1835: 34~41.

원 고 접 수 일 : 2018년 10월 19일
 1 차 심 사 원 료 일 : 2019년 4월 23일
 2 차 심 사 원 료 일 : 2019년 7월 22일
 최 종 원 고 채 택 일 : 2019년 8월 10일