

비용효과분석을 통한 서울시 지하철 9호선 혼잡도 개선방안에 관한 연구

안재홍* · 강인성**

논 문 요 약

현재 지하철 9호선의 혼잡도는 230%에 달하고 이는 매우 심각한 수준으로 이 문제의 근본적인 원인은 서울시와 기획재정부 사이의 예산안 충돌과 잘못된 수요예측으로 인한 예비타당성 검사에서 문제가 발생했기 때문이다. 또한 지하철 9호선이 지나는 노선이 업무중심지구인 강남지역을 지나고 서울을 동쪽과 서쪽으로 나누는 지리적 이유 때문에 환승이용객 역시 많다는 것도 지하철 9호선의 혼잡도 문제에 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 이러한 지하철 9호선 혼잡도 문제의 해결을 위해 우선 지하철 9호선의 이용현황을 중심으로 혼잡도를 평가하고 지금까지 이 문제가 개선되지 않고 지속되고 있는 배경과 원인에 대해서 분석하였다. 아울러 기존 연구문헌들과 서울시와 정부자료 검토를 바탕으로 혼잡도 개선을 위한 대안을 탐색하여 배차간격 축소, 열차 칸 증설, 대체 교통수단의 신설의 세 가지 대안을 도출하였다. 그리고 이 대안들에 대한 비용효과분석을 실시하여 혼잡도 개선을 위한 바람직한 대안과 시사점을 도출하였다. 궁극적으로 이 연구는 사회적 비용의 절감을 꾀할 뿐만 아니라 시민들을 위한 교통서비스의 질을 향상시킬 수 있는 더욱 효율적이고 체계적인 교통시스템 구축의 방향을 제시하는데 의의가 있다.

주제어: 지하철, 혼잡도, 비용효과분석

* 주저자

** 교신저자

I. 서론

지하철 9호선은 일명 “지옥철”로 악명을 떨치고 있다. 서울 열린 데이터 광장의 지하철 혼잡도 조사(2015)에 따르면 서울 지하철 9호선 연장구간이 개통한 후 극심한 혼잡이 계속되는 가운데, 9호선 혼잡도는 나머지 8개 노선 평균보다도 80% 포인트나 높은 것으로 나타났다. KBS 데이터 저널리즘 팀이 2013년도의 수도권 전철 9개 노선의 혼잡도를 분석한 결과 지하철 9호선 혼잡도는 급행열차를 기준으로 238%로 조사돼 나머지 8개 노선의 평균 혼잡도 158%보다 80% 포인트나 높았다. 9호선에 이어 혼잡이 극심한 노선은 2호선으로 혼잡도가 202%로 조사되었고, 이어 7호선이 172%, 4호선 169%, 5호선 154% 순이었다. 2016년을 기준으로 살펴보면 2013년 9호선의 238%에서 234% 혼잡도로 4%정도 감소했을 뿐 여전히 심각한 상태이다(서울시, 2016).

지하철 9호선 이용객은 2016년 현재 일평균 42만 1,202명 수준으로 지난 2009년 개통 당시 25만 여명 수준이었는데 하루 평균 17만 명 이상 증가한 것이다(서울메트로, 2017). 이용객이 늘어 최초 96량이던 것을 2011년 144량으로 늘렸지만 여전히 9호선의 혼잡도는 서울시 전 지하철에서 최고 수준이다. 이렇게 혼잡도가 가중되고 있는 9호선에 대해 2005년 작성된 예비타당성보고서는 2016년(연장구간 미개통시 가정) 기준 15만 5,000여명이 이용할 것으로 전망했다(도시교통본부, 2015). 이 수치는 현재의 절반 수준으로 예측이 크게 빔나갔다. 서울시의 9호선 전동차 증차 계획이 당시 예비타당성 조사보고서의 잘못된 수요예측(필요예상차량 198량)을 기반으로 수립되어 추진되었던 결과로 혼잡도 문제가 발생했다고 볼 수 있다.

수요예측에 실패한 잘못된 증차 계획 때문에 연장개통 때 늘렸어야 할 전동차(34량)보다 많은 48량을 이미 2011년에 증차했음에도 불구하고 여전히 9호선의 혼잡도는 최고 수준을 기록하고 있다. 결국 서울시가 당초 계획에 맞춰 3단계 연장개통 때까지 총 198량의 전동차를 도입한다하더라도 실제 이용객을 감당하기는 어려운 셈이다. 따라서 현재 서울시는 급하게 비상수송대책등 다양한 수단을 강구해 나가는 가운데 기획재정부와의 줄다리기 신경전을 벌이고 있으나 그 피해는 고스란히 시민들에게 돌아가고 있는 상황이다.

이러한 상황을 비용적인 관점에서 살펴볼 때 실제로 도로의 교통 혼잡처럼 지하철 혼잡도가 막대한 사회적 비용을 야기 시키고 있으며, 지하철 혼잡의 사회적 비용은 연간 약 7,247억 원 수준에 이르는 것으로 나타나고 있다(김승준, 2016). 당장의 수치화 할 수 있는 것들만 계산한 추정치인 약 7,247억 원 외에도 계산할 수 없는 비용까지 고려한다면, 엄청난 비용이 지하철 혼잡문제로 인데 소모되고 있다고 추정해 볼 수 있을 것이다.

지금까지 언론을 통해 지하철 9호선 혼잡문제에 대한 사실적인 심각성은 많이 인식하고 있지만 지하철 9호선 혼잡도 개선을 위한 학술적 연구와 효과적인 대안의 제시를 통해 정책

적 시사점을 제공하는 연구가 이루어지지 않았다. 선행연구를 살펴보면 지하철운영 및 혼잡도 개선을 위한 해외사례분석연구(박정수, 2008; 조성근, 2013), 지하철 수송과 이동수요 및 점유율 분석(신형식, 2011; 배은경 외, 2011; 이원선·김도경, 2015), 빅데이터 및 스마트폰어플리케이션을 활용한 혼잡도 분석 및 측정(손주석, 2012; 김근원, 2015; 김세호, 2016), 그리고 지하철 역세권과 역사 내 및 승강장의 수요 및 혼잡관리에 관한 연구(손동욱, 2011; 정래혁, 2015; 민세홍, 2016) 등이 이루어져 왔다. 지하철 현황분석이나 수요예측 등을 통해 혼잡도의 원인과 개선방안에 대한 연구는 진행되어 왔지만 대안에 대한 비용효과분석은 미비하였다.

이러한 연구의 공백을 감안하여 이 연구는 지하철 9호선 혼잡도의 현황분석을 통한 원인과 대안을 모색하고 탐색된 대안들에 대한 비용효과분석을 통해서 좀 더 구체적이고 실현가능한 정책대안을 제시하고자 한다. 또한 비용효과분석을 통한 사회적비용의 절감을 꾀할 뿐만 아니라 시민들을 위한 교통서비스의 질 향상시킬 수 있는 교통시스템 구축의 방향을 제시하고자 한다. 궁극적으로 이 연구는 지하철 9호선이라는 하나의 교통수단만을 대상으로 연구를 진행하였지만, 다른 대중교통체계에서 혼잡도문제가 발생할 경우 연구사례로서 벤치마킹할 수 있도록 이론적, 정책적인 함의를 도출하는데 연구의 목적을 가지고 있다.

II. 이론적 고찰

1. 선행연구

기존의 지하철 노선의 효율적 운영과 혼잡문제의 해결을 위한 많은 연구들이 지속적이고 다양한 측면에서 연구를 진행해 왔으며 주요 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 박정수(2008)의 영업 및 운전 중심의 서울 지하철 9호선 개선 방안 연구에서는 해외 지하철과 국내지하철과의 비교를 통하여 서울지하철 9호선의 영업, 운영 분야에 대해 개선안을 제시하였다. 특히 완행열차와 급행열차의 운행 계획들을 해외사례(일본철도)와 더불어 분석하고 있다. 해당 연구는 “해외 우수사례 분석과 국내 지하철 운영의 문제점 분석을 통하여 9호선의 개선안을 제시하였다. 조금 더 자세히 살펴보면 철저한 완급결합 운전을 통하여, 지하철 운영 회사의 '상품'이라고 할 수 있는 운전계획의 혁신을 제안하였으며, 지하철 노선의 효과를 확장시켜 줄 수 있는 타 수단 연계체계의 개선과, 효율적인 공항철도 직결운행방안에 대해서도 제안하였다. 아울러 이 같은 내용들을 승객들에게 알기 쉽게 전해주기 위한 안내체계 분야의 개선방안도 제시하였다.”라고 밝히고 있다.

손동욱(2011)의 수도권의 역세권 도시공간특성과 지하철 이용수요간 상관관계 분석에서

는 수도권 내 역세권들의 지역 간 도시 공간 특성이 상당한 차이가 있음을 밝히고, 이 차이가 실제 지하철 이용수요에도 영향을 미치고 있다고 판단하였다. 지역 간 역세권의 도시 공간 특성이 지하철 수요에 미치는 영향이 다르게 나타나는 것은 지하철 네트워크의 연결 특성이 중요한 영향을 미친다고 밝혔고, 종합적으로 밀도나 토지이용의 혼잡, 각종 도시설계 요소들이 대중교통 이용을 유도하는 데 효과가 있다는 것을 연구하였다. 연구 방법으로는 건축물 과세대장으로 부터 확보한 자료를 바탕으로 ArcView 3.2, ArcGis 9.3의 GIS 공간분석을 수행, 진행하였다.

신형식(2011)의 9호선 1단계 수송수요를 고려한 2단계 열차운행방안에 대한 연구에서는 1단계 개통에 따른 수송수요 분석과 수송력 분석을 기반으로 최적의 운행계획을 도출하였다. 이 연구에서는 '9호선 1단계 수송실적과 2단계 기본계획에서 예측된 수송수요를 분석하여 전 구간 개통 시 원활한 승객수송을 위하여 완·급행 열차운행시격, 차량 소요편성수 등 열차 운행방안을 연구하였다.'라고 서술한 것처럼 기존문헌연구를 통해 얻은 수요수치를 분석하여 연구를 진행한 것을 알 수 있다.

손준석(2012)의 AP를 이용한 지하철 승객 분산 알고리즘 기법에서는 지하철 승객의 분산 유도를 위해 지하철 Wi-Fi환경에서 AP(Access Point)에 접속하는 무선신호들을 기초자료로 사람들의 위치나 공간 정보들을 얻고, 얻은 자료들을 바탕으로 전체 승객의 수를 측정하는 방법에 대하여 연구하였다. 궁극적인 연구 목적으로는 승객의 수를 측정한 결과를 바탕으로 승객들에게 편리한 서비스를 제공하며, 혼잡도를 줄일 수 있게 유도를 하고, 전체적 유동인구를 파악할 수 있게 해준다는 장점을 밝히고 있다.

이종혁(2013)의 지하철 9호선 개통 전과 후의 대중교통 통행패턴 변화연구에서는 개통시기 전후 1년을 기준으로 분석하였는데, 대중교통 통계자료를 이용하여 지하철 9호선의 이용현황과 점유율을 분석하였다. 연구 절차로 모형을 설정하고 통계를 분석, 모형변수를 설정해 각 모델별로 결과를 분석하였다.

김근원(2015)의 지하철 혼잡도 개선방안에 관한 빅데이터 융합 기반의 탐색적 연구에서는 문제 현상을 정의한 다음, 이를 해결할 대안 모색을 위해 필요한 정보, 데이터 및 활용 분석 기법 등을 기획하는 과정을 거쳤다. 기획 후 오픈소스 분석도구인 R을 활용하여 분석 및 시각화를 하였고 이를 해석하는 절차로 진행하였다. 이 연구에서 "서울시의 공공데이터 분석을 통해 서울시 지하철의 혼잡도를 개선할 수 있는 방안을 제안하고자 하였다.

이원선(2015)의 지하철 이용수요의 영향요인에 관한 연구(서울메트로 운영노선 중심으로)에서는 서울메트로가 운영하는 지하철 노선(1~4호선)의 2014년 기준으로 노선별, 역별 승하차 인원 정보를 수집, 분석해 지하철 수요의 특성을 도출해내었다. 또한 지하철 수요 특성에 대한 기초연구를 수행하고 변화여건을 검토하여 지하철 수요의 예측과 효율적인 지하철 운행방안을 수립하는 것, 대중교통관련 정책결정, 교통정책의 기초자료로 활용하는 것을

목적으로 삼았다. 해당 연구의 분석방법으로는 영향요인을 분석하기 위하여 회귀분석을 사용하였고, 산출된 결과를 바탕으로 각 요소별 수요 영향분석을 하였다.

김승준(2016)의 서울시 지하철의 혼잡비용 산정과 정책적 활용방안에서는 최근 지하철과 같은 대중교통의 혼잡으로 인해 발생하는 사회적 비용을 계량화하고, 관련 정책에 반영하려고 하는 의도로 연구를 시작하였고, 지하철 혼잡문제에 대한 사회적 비용의 발생에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 이 사회적 비용은 차내 혼잡과 열차 지연으로 발생하는 비용으로 구분되고, 각각 2,317억 원과 4,930억 원 정도로 추정하였다. 지하철 혼잡문제를 독립적인 문제로만 국한하지 않고 도로교통정책과 더불어 개선방안에 대해 도출해내었다.

민세홍(2016)의 지하철 승강장의 수용인원 산정 비교에 관한 연구에서는 현재 운영 중인 1~9호선의 노선의 혼잡도, 특히 아침 출근시간인 7~9시 사이의 혼잡도(9호선 최고 238%, 2호선 최고 202%)에 초점을 맞추어 사태의 심각성에 대해 위험요소에 따른 승강장의 수용인원 기준에 대해 연구하고 있다. 건축물에 따른 수용인원의 산정 기준 분석을 통하여 현재 1~9호선의 지하철 승강장 수용인원 산정에 대한 문제점을 분석하였고, 현실과 부합하는 수용인원의 산정기준을 제안하였다. 연구방법으로는 기존 문헌연구와 비교분석방법을 통하여 진행하였다.

2. 선행연구의 시사점

지금까지 선행연구의 시사점은 다음과 같다. 먼저, 지하철이용에 관한 다양한 연구방법들이 활용되어 왔다. 해외의 지하철 이용사례분석을 포함하여 빅데이터 분석, Wi-Fi 위치정보 분석, 공간분석 등 다양한 분석기법을 활용한 연구들이 진행되어 왔다. 지하철을 주제로 한 많은 연구들이 진행되어 오는 가운데 분석기법들이 계속적으로 발전되어 왔다. 둘째, 지하철 연구의 주제들이 초기의 지하철 이용현황과 특성에 관한 연구에서 점차적으로 지하철 혼잡도 개선에 관련된 연구로 발전해 오고 있다. 경제적이고 편리한 지하철의 이용인원이 늘어감에 따라 수요예측과 혼잡도 개선에 관한 연구들이 중점적으로 진행되고 있다. 셋째, 지하철 현황분석이나 수요예측 등을 통해 혼잡도의 원인과 개선방안에 대한 연구는 진행되어 왔지만 대안에 대한 비용효과분석은 미비하였다. 이러한 연구의 공백을 감안하여 이 연구는 지하철 9호선 혼잡도의 현황분석을 통한 원인과 대안을 모색하고 탐색된 대안들에 대한 비용효과분석을 통해서 좀 더 구체적이고 실현가능한 정책형성에 이바지하고자 한다.

Ⅲ. 지하철 9호선 현황분석

1. 현황

지하철 9호선은 서울특별시 강서구에서 강동구까지 건설한 서울 지하철의 한 노선이다. 2009년 7월 24일 오전 7시에 개화~신논현 구간이 1차로 개통되었고 2015년 3월 28일 오전 5시31분에 신논현~종합운동장 구간이 2차로 개통되었다. 차량은 한국형 표준 전동차를 개수한 서울시 메트로9호선 9000호대 전동차를 사용하고 있다.

노선색은 황금색을 사용하고, BTO(Build-Transfer-Operate;『사회기반시설에 대한 민간투자법』에 의한 민간투자사업 방식의 하나로써 사회기반시설의 준공(Build)과 동시에 당해 시설의 소유권이 국가 또는 지방자치단체에 귀속(Transfer)되며 사업시행자에게 일정기간의 시설관리운영권(Operate)을 인정하는 방식으로 시행되는 민간투자사업¹⁾방식으로 건설되어 운영은 9호선만을 담당하는 민자 회사가 30년 동안 운영한다. 건설은 현대자동차그룹 계열사로 현대로템이 대주주였던 서울시 메트로9호선이 하고 서울특별시에 기부채납, 운영은 베올리아트랜스포트코리아(80%)+현대로템(20%)로 된 합자회사인 서울9호선운영이 하고 있다. 그러나 2015년 3월 28일에 개통한 2단계 구간과, 2017년 개통 예정인 3단계 구간의 운영사업자는 서울메트로로 결정되었다. 1단계 구간과 달리 2, 3단계 구간은 순수 서울시 재정을 투입하였으며, 2단계 구간은 서울 강서 - 강남 - 강동(예정)을 직통으로 잇고, 2호선 및 7호선의 한강이남 구간 승객을 분산하기 위한 목적의 노선이다.

〈표 1〉 지하철 9호선 혼잡도 완화정책 추진 과정

- | |
|---|
| ① 2000.07 도시철도9호선 1단계구간 건설기본계획 수립
② 2001.10 지하철9호선 민간투자시설사업 기본계획 고시
③ 2005.05 도시철도9호선 1단계구간 민간투자사업 실시협약 체결
④ 2005.08 서울지하철9호선 2단계 건설사업 예비타당성조사
⑤ 2007.10 서울도시철도9호선 건설운영기본계획 변경
⑥ 2009.07 지하철9호선 1단계 민자사업구간 개통
⑦ 2010.04 서울도시철도9호선 도시철도기본계획 변경
⑧ 2013.10 9호선 변경실시협약 체결, 사업재구조화 완료
⑨ 2014.09 9호선 2·3단계 관리운영 위수탁협약 체결
⑩ 2014.12 32량 증차에 대한 국비 추가예산 확보
⑪ 2015.01 2단계 개통대비 시운전 시행(일반:급행 운행비율 2:1→1:1 변경) |
|---|

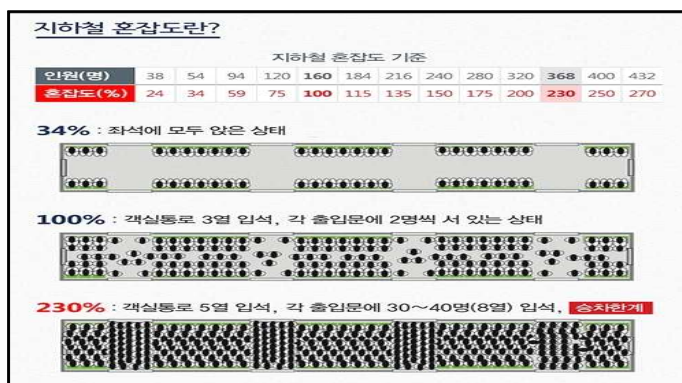
자료: 서울시 도시철도설비부(2015) 자료참고 작성

지하철 9호선의 혼잡도 현황은 아래 〈표 2〉, 〈그림 1~3〉과 같이 지하철 1~8호선의 평균

1) 서울특별시 도시계획국(2012). 서울특별시 알기 쉬운 도시계획 용어

혼잡도인 158%보다 훨씬 높은 238%로 나타났다. 일반적으로 지하철 혼잡도는 열차 1량 당 정원대비 승차 인원을 뜻한다. 열차에 탄 사람과 좌석수가 일치할 경우의 혼잡도는 34%로 산정되어 있다. 서울시정개발연구원이 2011년 낸 대중교통카드를 활용한 도시철도 혼잡도 지표개발연구 자료에 의하면, 혼잡도 100%는 객실 통로에 3열로 사람이 서 있고 각 출입문에 2명씩 서 있는 경우로, 일반적으로 말하는 전철의 정원이다. 혼잡도 230%는 객실 통로에 5열로 사람이 서 있고, 각 출입문에 30~40명이 몰려 있는 경우로 승차 한계 인원으로 알려져 있다. 따라서 지하철 9호선의 혼잡도 <표 2>의 234%와 <그림 2, 3>의 238%라는 혼잡도는 승차한계인원인 230%를 초과하고 있는 최악의 상황이라고 할 수 있다.

<그림 1> 지하철 혼잡도



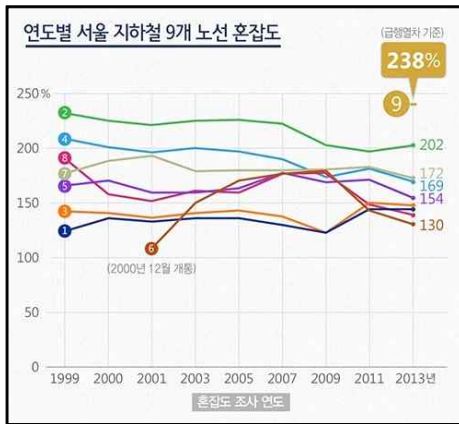
자료: 서울시정개발연구원(2011)

<표 2> 지하철 노선별 혼잡도 비교

구분	1호선	2호선			3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선	9호선
		순환	지선								
구간	서울역~청량리	성수~성수	신설동~성수	신도림~까치산	지축~오금	당고개~남태령	방화~상일동/마천	응암~봉화산	장암~부평구청	암사~모란	개화~종합운동장
운행거리(km)	7.8	48.8	5.4	6	38.2	31.7	52.3	35.1	57.1	17.7	31.5
역 수	10	43	4	3	34	26	51	38	51	17	30
소요시간(분)	16	87	9	11	67.5	53	83.5/87.5	69.3	104.5	31.5	65.1/39.3
평일운행회수	517	542	226	220	398	482	465	356	421/220	306	484
RH혼잡도(%)	144	202	65	156	147	169	154	129	172	139	234

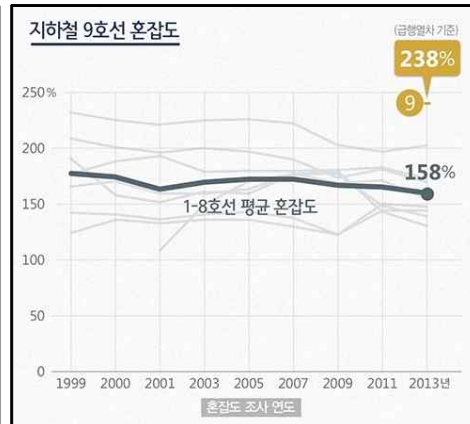
자료: 서울시 교통정책과 지하철 통계(2016)

〈그림 2〉 지하철 노선별 혼잡도



자료: 서울 열린 데이터 광장-지하철 혼잡도

〈그림 3〉 지하철 9호선 혼잡도



자료: 서울 열린 데이터 광장-지하철 혼잡도

또한 〈그림 4〉를 보면, 아침 7시에서 9시 사이의 출근시간대 승차인원이 가장 많은 역은 노량진역으로 137,530명이다. 이어 가양역 124,095명, 염창역 102,606명으로 집계 되었다. 같은 시간대에 하차 인원이 가장 많은 역은 여의도역으로 174,869명이었다. 이어 국회의사당역 155,514명, 신논현역 143,780명 순으로 나타났다.

서울시는 아침 출근시간대 이용객이 몰리는 가양역과 국회의사당역, 여의도역, 또 염창역과 국회의사당역, 여의도역을 이어주는 출근 전용 무료 급행버스를 2016년 10월 31일까지 운행하였다. 또한 서울시 관계자는 무료 급행버스 운영과 관련해 지하철 혼잡도와 운행 상황 등을 참고해서 출근 전용 급행버스를 다른 구간에도 도입할 것인지 고려할 것이라고 밝혔다.

〈그림 4〉 승차인원 최대 지하철역



자료: 서울 열린 데이터 광장, 지하철 호선별 역별 시간대별 승객 현황

〈그림 5〉 최대인원 이용구간



자료: 국가교통데이터베이스, 월별 지하철 역간 이용인원

한편 하루의 승하차 데이터를 놓고 보면 9호선 이용객들은 급행 정차역에서 급행 정차역으로 이동하는 경우가 잦은 것으로 나타났다. KBS 데이터 저널리즘 팀이 국가교통데이터베이스의 출발역, 도착역 최근 자료를 분석한 결과(위 <그림 5> 참조), 2013년 9월 한 달 9호선 전철을 이용한 승객들 가운데 신논현역에서 출발해 노량진역에 도착하는 승객이 101,952명으로 가장 많았다. 이어 노량진역에서 출발해 신논현역에서 내리는 승객이 86,745명이었다. 여의도역에서 출발해 신논현역에서 내리는 승객은 50,748명, 신논현역에서 출발해 여의도역에서 내리는 승객은 50,735명으로 조사되는 등 9호선 이용객 가운데 급행역에서 급행역으로 이동하는 승객이 많은 것으로 나타났다.

2. 문제배경 및 원인

이미 혼잡도 1위였던 9호선은 연장개통 일정에 맞춰 차량을 늘리지 못하면서 ‘지옥철’로 변했다. 증차 없이 운행구간이 늘고 이용객이 늘면 혼잡도는 높아질 수밖에 없기 때문이다. 이 문제는 표면적으로 연장개통에 맞춰 제 때 전동차를 늘리지 않은 서울시의 책임이라 볼 수 있다.

서울시는 지난 2013년 7월이 돼서야 기획재정부에 증차예산 요청 공문을 보냈고, 조정협상을 거쳐 전동차 32량 분(4량 1편성으로 총 8편성), 240억 원의 증차예산을 확보하였다. 하지만 지금 당장 전동차를 주문해도 2~3년은 걸리는 상황이기 때문에, 9호선 연장개통에 맞춰 차량을 늘리려면 미리 증차예산을 요청했어야 한다는 계산이 나온다. 이러한 원인은 9호선 2,3단계 구간 추가차량관련 국토교통부 관련자 간담회 결과보고에 의하면, 서울시와 기획재정부의 증차예산을 둔 줄다리기 때문으로 분쟁의 시발점은 9호선이 개통되기 4년 전인 2005년으로 거슬러 올라간다.

김상희·진성준(2015)에 따르면, 2005년 5월 서울시는 1단계 민자 협약을 체결하면서 초기에 민자 사업으로 96량의 전동차를 도입하고, 서울시가 120량을 추가 출자해 구입하기로 약속했다. 당시 9호선 전 구간에 필요하다고 예상된 전동차 수는 294량에 달했고, 여기에는 2단계와 3단계 구간이 연장될 때마다 늘릴 차량이 포함돼 있었다.

하지만 KBS(2015)의 「누가 9호선을 지옥철로 만들었나?」의 보도 자료에서는 불과 4달 뒤인 2005년 10월 기획재정부가 9호선 사업에 대해 예비타당성 조사보고서를 작성하면서 필요 예상차량은 198량으로 급감했다는 것을 알 수 있다. 따라서 소요 차량이 100량 가까이 줄어들어 초기 투입차량(96량)과 서울시가 늘리겠다고 약속한 120량만 더해도 전체 필요예상차량 198량을 넘어서는 상황이 되었다. 이에 기획재정부는 당시 연장개통에 필요한 차량을 늘릴 예산을 총사업비에 반영하지 않았다. 전체 필요예상 차량을 3분의1 가까이 줄이면서 기획재정부가 지원해야 할 돈을 대폭 깎은 것이다. 기획재정부와 총사업비조정 협상을 진행했던 서울시는 2005년 당시 예비타당성조사를 할 때 기획재정부가 2, 3단계 연장구간에

대한 차량 예산을 '운항 중 증차'로 보고 의도적으로 누락시켰다고 주장하며 "신규 건설구간에 대한 차량인 만큼 국비 지원이 있어야 하는데, 서울시가 약속한 120량이 있다는 이유로 신규차량 예산을 사업비에서 빼버린 것"이라고 주장하였다.

기획재정부 입장에서는 120량을 서울시가 늘리겠다고 했으니 굳이 기획재정부의 예산을 더 안줘도 되겠다고 생각해 연장구간 증차예산을 뺐 것이라는 것이다. 하지만 서울시 입장에서 120량과는 별개로 신규 건설구간에 대한 증차예산은 지원해줘야 하는데 120량을 핑계로 기획재정부가 꼼수를 부린 것이나 마찬가지라고 주장하였다.

기획재정부 관계자는 이와 관련해 "총사업비에서 2, 3단계 구간 증차 예산을 제외한 것은 이미 다 지나간 이야기"라면서 "작년 서울시와의 협의를 통해 32량 분의 추가 재정지원을 결정했다"고 답했다. 당시 있었던 줄다리기는 이미 지나간 이야기고, 다시 32량 분(240억 원)을 지원하기로 했으니 문제될 게 없다는 입장이라는 것이다.

한편 서울시라고 책임문제에서 자유로울 수 없다. 2005년 5월 1단계 민자 협약에서 약속한 120대의 증차만 서울시가 이행했어도 9호선이 지금 같지는 않을 것이기 때문이다. 하지만 애초에 민자 사업으로 시작한 9호선은 민자 사업자가 요금인상 시도, 서울시가 주주를 교체해 재구조화를 하는 등 우여곡절이 많았던 사업인데다, 10년 전 약속했던 120량 출자 역시 흐지부지해졌었다는 문제가 있었다. 즉 당시 120량을 서울시가 출자하기로 했던 만큼, 스스로가 약속을 지키지 않은 상태에서 기획재정부에 증차예산을 요청하기 쉽지 않다는 데 있었고 서울시 역시 이 같은 점을 지난해 기획재정부와 협상 전 알고 있었다는 것이다.

이러한 문제들을 서울시 내부 자료들을 통해서 분석한 결과, 수요예측 실패로 인한 차량공급 부족, 서울시와 기획재정부간의 이견으로 차량증차 지연, 민자 사업의 한계, 9호선 대체 교통수단의 부족 등이 지하철 혼잡문제의 주요 원인들로 파악되었다.

IV. 연구조사설계

1. 자료수집

이 연구를 위한 자료 수집은 기존의 지하철혼잡도 개선방안과 관련된 문헌연구를 바탕으로 비용효과분석에 필요한 자료를 수집하였다. 이를 위해 2015년 서울시 도시철도본부와 도시철도설계부의 9호선 설계 및 차량관련 사업예산자료를 수집하였고 아울러 혼잡도 및 혼잡비용 산정을 위해서 국가교통DB의 2016년 지하철 통계자료와 언론사 데이터분석 자료를 활용하였다.

2. 분석모형

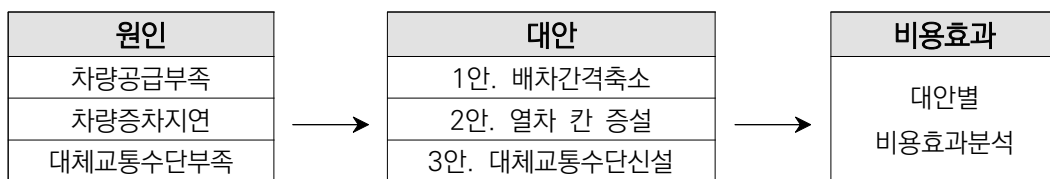
먼저 선행연구의 고찰을 통해서 수송수요와 수송력, 열차간 운행간격, 차량편성(신형식, 2011), 이용현황 및 점유율(이종혁, 2013), 역별 승하차인원(이원선, 2015), 타 교통수단과의 연계(박정수, 2008) 등이 지하철 혼잡도와 관련된 주요 요인들로 제시되었다. 또한 공신력이 있는 서울시 내부 결재 문서에서 제안되었거나 서울시에서 추진 중인 대안들을 분석한 결과, 수요예측 실패로 인한 차량공급 부족, 서울시와 기획재정부간의 이견으로 차량증차 지연, 민자 사업의 한계, 9호선 대체 교통수단의 부족으로 대표되는 4가지 원인을 발견할 수 있었다. 이러한 선행연구의 고찰과 서울의 현황분석을 바탕으로 배차간격 줄이기, 열차칸 수 늘리기, 대체교통수단(비상수송대책)을 혼잡도 개선을 위한 주요 대안으로 선정하여 아래 <그림 6>과 같은 분석모형을 구성하였다. 분석모형에서 제시된 각 대안의 비교를 위해서 비용효과분석을 실시하고자 하며, 비용효과 분석이 갖는 효과를 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 여러 정책대안 가운데 가장 효과적인 대안을 찾기 위해 각 대안이 초래할 비용과 산출효과를 비교, 분석하는 기법이다.

둘째, 특정 프로젝트에 투입되는 비용들은 금전적 가치로 환산하나, 그 프로젝트로부터 얻게 되는 편익 또는 산출물은 금전적 가치로 환산하지 않고 산출물 그대로 분석에 활용하는 특징을 지닌다.

셋째, 산출물을 금전적 가치로 환산하기 어렵거나, 산출물이 동일한 사업의 평가에 주로 이용된다.

<그림 6> 분석모형



3. 분석방법

지하철 혼잡도 개선에 대한 선행연구에서는 비교분석방법, 빅데이터를 이용한 전문분석 도구 활용방법, 문헌연구를 통한 유사사례분석방법 등을 활용하여 분석을 시행하였다. 이 연구에서는 우선 문헌연구를 통해 지하철 9호선 혼잡문제의 원인을 탐색하고 그 원인분석에 따른 대안분석을 위해 비용효과분석(cost-effectiveness analysis)을 통해 실시하고자 한다.

일반적으로 비용관련 대안분석을 위해서 비용효과분석과 더불어 비용편익분석(cost-benefit analysis)도 고려할 수 있다. 비용편익분석은 비용투자에 대해 성과에 대해 화폐적 가치를 부여하며 측정이 가능한 경우에 주로 사용하지만(Rodreck, 2013), 지하철 혼잡도의 개선을 통한 시민편익 증진 방안과 같이 금전적으로 환산하여 조작적 정의하기가 쉽지 않는 경우에는 비용효과분석에 비해 오차확률이 높을 수 있다(Bleichrodt, 1999). 비용효과분석 방법은 정책 결정, 기획과정에 있어서 정부 지출의 목적은 구체적으로 명확히 이해되고 있으나, 그 성과를 화폐가치로 측정하기 어려운 경우에 활용되기에 적합한 분석방법으로(Weimer and Vining, 2005; Dunn, 1981)) 이와 같은 맥락에서 이 연구에 적절한 연구 분석방법이라고 할 수 있다.

V. 분석결과

1. 비용

1) 배차간격 축소

기존의 배차간격에서 2분의 배차간격을 축소하면 5대의 열차 추가 효과를 가질 수 있다. 기존의 8~10분 간격으로 다니던 15대의 열차가 20대로 증차되는 효과를 지닌다. 현재 운영 중인 지하철 9호선 기준인 8분 배차간격으로 했을 때, 2시간 동안 다닐 수 있는 열차는 15대라서, 2분을 줄이면 같은 시간대에 5대를 추가로 운영할 수 있다.

배차간격 축소의 비용을 계산하기 위해서는 우선 열차운영비용을 알아야 한다. 기존 문헌 연구를 통해 열차운영비용을 알아보려 했지만, 서울도시철도 9호선의 영업기밀로 분류되어 자료를 구할 수 없었다. 따라서 이 연구에서는 불가피하게 1인 수송에 따른 비용을 기준을 삼아 수송정원으로 확대해 열차운영비로 계산하였다.

출근시간 7시부터 9시는 열차가 만석으로 유지가 되어서, 앞서 발표된 현재 지하철 9호선의 230% 혼잡도를 가정하고, 2시간동안 5대가 움직일 때 비용이 얼마가 들지 계산해보았다. 그러기 위해서는 먼저 혼잡도를 구하는 방법을 알아야 한다. 혼잡도를 구하는 방법을 살펴보면,

$$\text{지하철 9호선 혼잡도} = \frac{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 인원}}{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 정원}} \times 100(\%)$$

*(출근시간)동일 혼잡구간 내 수송정원은 혼잡도 100%를 기준으로 함.

이라는 수식을 통해 혼잡도 수치를 알 수 있다.

도시교통본부 교통정책과(2015)의 「도시철도 9호선 전동차 구매 4.제작규격서」에 따르면 1인당 수송비가 1,350원, 정원 606명의 230%로 가정인 약 1,393명을 기준으로, 연 단위로 비용을 계산하기 위해 *365를 하면, 한 대당 약 6억 9,000만원이 예상된다. 도시교통본부 교통정책과(2015)의 「지하철 9호선 혼잡도 개선 및 증차계획-결재문서본문」에 따르면 인건비, 유류비와 같은 부수적인 비용을 포괄하는 추가운영비를 약 18억 원이므로, 한 대당 1억 2,000만원이 추가 운영비가 더 들어가게 된다.

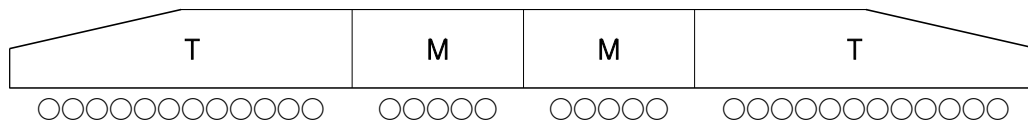
따라서 한 대당 총 비용은 8억 600만원이 되고, 5대가 추가 운영되는 효과가 있기 때문에 약 40.3억 원이라는 금액이 열차운영비용으로 들어가게 된다.

2) 열차 칸 증설

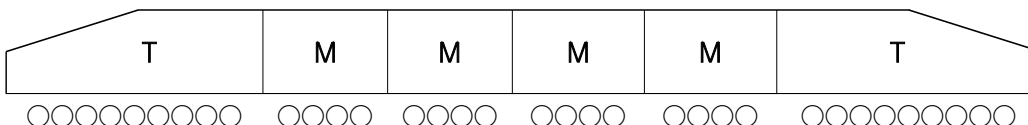
현재 7시부터 9시까지 총 15대의 차량이 운영되고 있다. 운영되고 있는 15대를 전부 기존 4칸(량) 편성에서 6칸(량) 편성으로 매년 출근시간 운행 열차의 1/3을 3년에 걸쳐 단계적으로 바꾸는 대안이다. 6칸 편성을 한다면 현재 4량 운행이기 때문에 각 열차 당 두 칸을 추가하면 되고, 승객 수송만을 담당하는 M유형 차량 두 칸을 추가하게 된다. 추가로 M유형과 다르게 T유형도 있는데, T유형은 열차의 양 끝인 기관차기능을 함께하는 수송 칸이므로, 추가할 수 있는 열차 칸은 순수 수송 칸인 M유형 칸 밖에 없다. 따라서 한 편성 당 가운데 M유형만 두 칸이 추가되므로, 15대 *2, 총 M유형 30칸이 추가된다. 들어가는 비용은 추가된 M유형에 대한 비용과 배차간격 줄이기에서 계산한 것과 같은 칸 추가에 따른 추가운영비 그리고 추가된 열차 칸에 대한 감가상각비를 고려하게 된다²⁾.

〈그림 7〉 전동차 모형

- 기존 4칸 운행체제 전동차 모형



- 6칸 운행체제 전동차 모형



2) 감가상각액=(열차칸 구입가격-법정잔존가치)/신고내용연수. 법인세법 제23조 2항 및 법인세법 시행규칙15조의 전동차량에 대한 내용연수 25년과 법정잔존가치 0의 규정을 준용하여 정액법으로 계산함.

3) 대체 교통수단 신설

정부는 9호선 승객의 대다수가 탑승하는 가양역~여의도역 구간을 운행하는 전용 버스(황금색 버스 8663번)를 15대 투입하여 운영했었다. 비록 해당 정책은 폐지되었지만, 대체 교통수단의 다른 전례가 없어 불가피하게 2016년 10월 31일에 폐지된 해당 정책을 분석하여 연구해보고자 한다. 대체 교통수단 신설에서는 정부가 예상한 수요인 2,100명을 바탕으로 연간 운송비용과 수입 그리고 대체교통수단 이용으로 인한 지하철운임 손실비용³⁾을 고려하여 계산을 하였다. 운행시간은 출근시간인 오전 7시부터 9시를 기준으로 했기 때문에, 다른 대안도 같은 시간, 같은 구간으로 맞춰서 계산하였다.

〈그림 8〉 9호선 혼잡구간 급행순환버스 운행지역



자료: 서울시(2015)

4) 비용결과

비용측면에서 제시된 배차간격 줄이기, 열차 칸 늘리기, 대체 교통수단 신설의 비용결과 는 아래 <표 3> 대안별 연간비용과 같다. 아울러 연간비용을 2016년부터 2018년 까지를 추정비용을 시장 이자율 1.25%(2016.09.21. 한국은행 기준금리 기준)을 적용하여 계산하며 아래 표 <표 4> 대안별 추정비용과 같은 결과가 나오게 된다. 배차간격 축소의 수송비와 운영비는 도시교통본부 교통정책과(2015)의 「지하철 9호선 혼잡도 개선 및 증차계획(최종)」, 열차 칸 증설의 추가비용은 도시교통본부 교통정책과(2015)의 「도시철도 9호선 전동차 구매

3) 가양역~여의도역구간의 지하철요금인 1250원으로 순환버스신설의 경우 운임을 850원으로 책정할 경우 1인당 400원의 지하철운임수입의 손실이 예상된다.

4.제작규격서」, 운영비는 도시교통본부 교통정책과(2015)의 「도시철도 9호선 전동차 구매 6.산출기초조사서」를 근거로 하였다. 또한 대체교통수단 신설의 운송비용과 운송수입은 도시교통본부 교통정책과(2015)의 「지하철 9호선 혼잡도 개선 및 증차계획-결재문서본문」을 근거로 하였다.

결과적으로 비용측면에서 배차간격축소가 가장 적은 비용이 나왔고 열차 칸 증설 대안이 가장 많은 비용이 예상되는 것으로 나왔다.

〈표 3〉 대안별 연간비용

대안	비용내역	세부비용	비고	연간비용
배차간격 축소	수송비	34억3,000만원	1인수송비(1,350원) *연간수송인원(508,445명)	40억3,000만원
	운영비	6억원	1대운영비(1억2,000만원) *5대추가	
열차 칸 증설	추가비용	143억원	1칸비용(14억3,000만원) *10칸	151억7,000만원
	운영비	3억원	1칸운영비(3,000만원) *10칸	
	감가상각비	5억7천만원	1칸 감가상각비(5천7백)*10칸	
대체교통수단신설	운송비용	21억6,000만원	연간버스운송비용(1억4,400만원) *15대	66억8,000만원
	지하철운임손실비용	46억원	1인손실비(400원) *연간수송인원(766,500명)*15대	
	운송수입	2억8,000만원	연간버스운송수입(1,854만원) *15대	

〈표 4〉 대안별 추정비용

	배차간격 축소	열차 칸 추가	대체교통수단 신설
2016년	40억3,000만원/(1+0.125) ¹	{148억7천+(3억원*1)}/(1+0.125) ¹	66억8,000만원/(1+0.125) ¹
2017년	40억3,000만원/(1+0.125) ²	{148억7천+(3억원*2)}/(1+0.125) ²	66억8,000만원/(1+0.125) ²
2018년	40억3,000만원/(1+0.125) ³	{148억7천+(3억원*3)}/(1+0.125) ³	66억8,000만원/(1+0.125) ³
총비용	95억9,681만7,558원	365억 7,277만9,767원	159억 737만9,973원

2. 효과

각 대안을 실행하였을 때 열차의 혼잡도를 얼마나 줄일 수 있는지 여부에 초점을 맞추어 효과를 계산한다. 효과가 가져오는 결과는 각기 달랐지만, 각 대안의 단위를 통일해야 대안 별로 정확한 비교가 가능하다. 그러므로 본 연구에서는 효과의 단위를 ‘비용/효과’ 단위로 통일하여 비교해보고자 한다.

1) 배차간격 축소

지하철 9호선의 혼잡도는 230%이다. 이 230%의 혼잡도를 구하기 위해서는 아래의 수식과 같다.

$$\frac{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 인원}}{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 정원}} \times 100(\%)$$

$$= \frac{20,907\text{명}}{9,090\text{명}(= 606\text{명} \times 15\text{대})} \times 100(\%) = 230\%$$

따라서 배차간격 축소의 효과는 앞서 비용부분에서 다룬 것처럼 5대의 열차를 추가하는 효과를 얻게 된다. 5대의 열차에 탈 수 있는 사람의 수는 606명의 5배, 즉 3,030명이라는 결과가 나온다. 이 3,030명을 분모인 (출근시간)동일 혼잡구간 내 수송정원에 더해주면 아래와 같다.

$$\frac{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 인원}}{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 정원}} \times 100(\%)$$

$$= \frac{20,907\text{명}}{9,090\text{명} + 3,030\text{명}} \times 100(\%) = 172.5\%$$

결과적으로 기존 230%의 혼잡도에서 배차간격 축소 정책 후 예상되는 혼잡도는 약 172.5%로 기존과 약 57.5%의 차이(혼잡도 감소 효과)가 발생한다.

2) 열차 칸 증설

매 년 10칸씩 추가 하므로 측정되는 효과가 매년 다르게 나타난다. 제시된 다른 대안들(배차간격 축소, 대체 교통수단 신설)은 열차 칸 증설 대안과는 다르게 2018년의 최종적인 효과만을 고려하기 때문에, 열차 칸 증설 대안 역시 2018년의 기준으로 분석하고자 한다.

열차 칸을 2칸씩 늘리면 M유형이 총 30칸 늘어난다. 따라서 출근시간의 동일 혼잡구간 내 수송정원 역시 M유형이 실어 나를 수 있는 양의 30배만큼이 증가되게 된다. 이를 수식화 하면 아래와 같다.

$$\frac{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 인원}}{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간 내 수송 정원}} \times 100(\%)$$

$$= \frac{20,907\text{명}}{9,090\text{명} + 4,740\text{명}(1158\text{명} \times 30)} \times 100(\%) = 151\%$$

본래의 혼잡도 230%에서 M유형 열차 칸을 2칸씩, 총 30칸 늘렸을 때의 혼잡도인 약 151%를 차감하면, 약 79%의 혼잡도 감소 효과가 발생한다.

3) 대체 교통수단 신설

비상수송 대책은 위의 두 대책과 다른 방식으로 혼잡도를 줄인다. 두 대책은 분모를 늘이는 방법 즉, 수송정원을 늘이는 방법(분모)인데 반하여, 비상수송 대책(대체교통수단 신설)은 수송인원을 감소시키는 방법(분자)이다.

비용부분에서 다룬 예상수요량인 2,100명은 정부의 계산이다. 하루 평균 출근시간인 7시에서 9시사이의 지하철 9호선의 혼잡문제를 비상수송대책 시행으로 인하여 2,100명의 수송인원을 줄일 수 있다는 것이다. 따라서 비용부분과 같이 효과부분에서도 정부의 판단 수치를 적용하여 측정하고자 한다. 대체 교통수단 개발로 인한 효과는 다음과 같다.

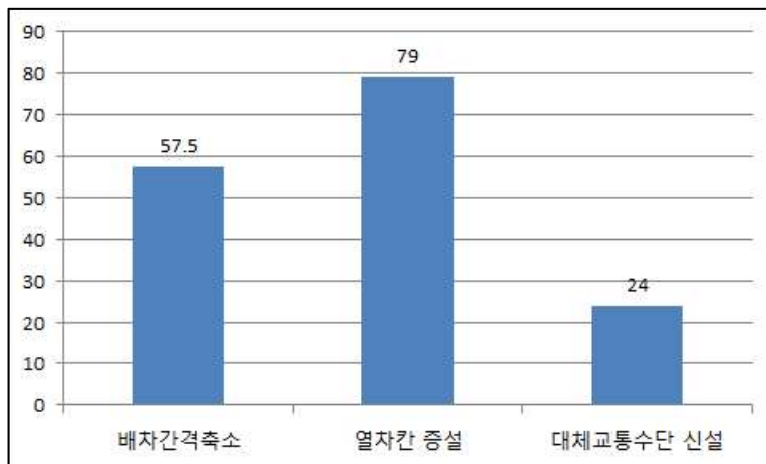
$$\frac{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간내 수송 인원}}{(\text{출근시간})\text{동일 혼잡구간내 수송 정원}} \times 100(\%)$$

$$= \frac{20,907\text{명} - 2,100\text{명}(\text{정부예상})}{9,090\text{명}(=606\text{명} \times 15\text{대})} \times 100(\%) = 206\%$$

계산 결과, 다른 대안들과는 다르게 분모가 줄어들어 기존 230%의 혼잡도에서 약206%로 줄어 약 24%의 혼잡도 감소효과가 있음을 알 수 있다.

따라서 종합해보면, 효과측면에서 제시된 배차간격 축소와 열차 칸 증설, 대체 교통수단 신설의 효과결과는 이렇하다.

〈그림 9〉 대안별 개선효과



본 연구에서 분석한 비용 데이터 값은 일백만원단위에서 반올림 하였고, 효과 데이터 값은 소수점 두 번째 자리에서 반올림 하였다. 따라서 미량의 오차는 발생할 수 있으나, 그것이 전체 연구 과정이나 결과를 뒤바꿀 만한 오차범위 밖의 큰 수치가 아니어서 편의상 위 방식으로 계산을 하였다. 다만, 이 부분에서 올 수 있는 오차는 본 연구의 한계점이고, 추후 진행될 연구들은 해당 부분에 대한 오차를 줄일 수 있는 방법을 강구해 이론을 발전시켜 나갈 수 있도록 해야 할 것이다.

효과분석결과 배차간격 축소 방법은 약 57.5%의 혼잡도 감소효과가 있었고, 열차 칸 증설 방법의 효과는 약 79%의 혼잡도 감소 효과가 있다는 결과가 나왔다. 마지막 대안이었던 대체 교통수단 신설방법(비상수송대책)의 효과는 약 24%의 혼잡도 감소효과가 있다는 분석결과가 나왔다.

3. 비용효과분석

앞 장에서 배차간격 축소, 열차 칸 증설, 대체 교통수단 신설의 세 가지 대안을 분석한 비용과 효과의 값을 종합하여 요약해보면, 아래 <표 5> 대안별 비용 및 효과와 같다.

<표 5> 대안별 비용 및 효과

대안 \ 비용효과	비용(원)	효과(%)
배차간격 축소	96억	57.5
열차 칸 증설	366억	79
대체 교통수단 신설	160억	24

배차간격 축소 대안은 96억 4,000만원의 비용이 들지만, 혼잡도 감소효과는 57.5%, 열차 칸 증설 대안은 336억 원의 비용이 들지만, 혼잡도 감소효과는 79%, 대체 교통수단 신설의 비용은 160억 원과 그로인한 혼잡도 감소 효과는 24%로 나타낼 수 있다. 비용은 열차 칸 증설, 대체 교통수단, 신설배차간격 축소 순으로 높게 나타났고, 효과는 열차 칸 증설, 배차간격 축소, 대체 교통수단 신설 순이다.

이 결과물들을 바탕으로 본연구의 핵심인 비용효과분석을 해보면 아래와 같다.

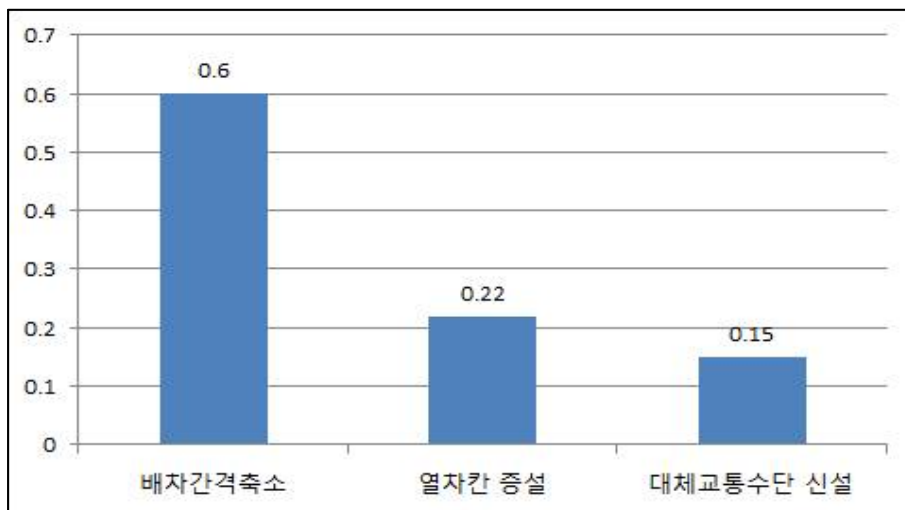
〈표 6〉 대안별 비용효과분석

대안	비용효과분석
배차간격 축소	$\frac{\text{효과}}{\text{비용}} = \frac{57.5\%}{96.4(\text{억 원})} = 0.60$
열차칸 증설	$\frac{\text{효과}}{\text{비용}} = \frac{79\%}{366(\text{억 원})} = 0.22$
대체 교통수단 신설	$\frac{\text{효과}}{\text{비용}} = \frac{24\%}{160(\text{억 원})} = 0.15$

비용효과분석 결과 배차간격 축소는 0.60, 열차 칸 증설은 0.22, 대체 교통수단 신설은 0.15이었고, 배차간격 축소 대안, 열차 칸 증설, 대체 교통수단 신설 순으로 비용대비 효과가 좋은 것을 알 수 있다.

따라서 비용효과분석에 따른 결과를 토대로 종합적 결론을 내보면, 배차간격 축소 대안이 가장 비용대비 효과가 좋아 세 개의 대안 중 가장 효과적인 방법임을 알 수 있다. 하지만 수치상 2위인 열차칸 증설과 대체 교통수단 신설 대안은 불과 0.07의 비용효과분석 수치밖에 차이가 없어 사실상 혼잡도 완화 대안 선택 시 차별화가 되지 않는 것으로 나타났다.

〈그림 10〉 대안별 비용효과분석



VI. 결 론

현재 지하철 9호선의 혼잡도는 230%에 달하고 이는 매우 심각한 수준이다. 9호선의 혼잡도가 이렇게까지 된 이유로는 크게 서울시와 기획재정부 사이의 예산안 충돌과 잘못된 수요 예측으로 인한 예비타당성 검사가 잘못되었기 때문이라 볼 수 있다. 또한 지하철 9호선이 지나는 노선이 업무중심지구인 강남지역을 지나고 서울을 동쪽과 서쪽으로 나누는 지리적 이유 때문에 환승이용객 역시 많다는 것도 지하철 9호선의 혼잡문제 심화에 일조를 하였다. 이러한 문제를 해결해보고자 이 연구가 시작되었고, 기존 문헌연구를 분석하고 서울시에서 과거 시행했거나, 시행중, 혹은 시행할 예정인 대안들과 대응하는 세 가지 대안을 도출해 내었다. 도출된 대안은 배차간격 축소, 열차 칸 증설, 대체 교통수단의 신설의 세 가지 방안이었다.

도출된 대안으로 본 연구에서는 비용효과분석이라는 분석기법을 통해 대안을 비교분석해보고자 하였다. 먼저 비용 측면에서의 배차간격 축소 대안은 96억 4,000만원이었고 두 번째 대안이었던 열차 칸 증설 대안은 366억 원이었다. 마지막 대체 교통수단의 신설은 새로운 대체 교통수단의 개발을 근거 없이 임의로 판단하여 만들어낼 수 없었기 때문에 기존 서울시가 해왔던 황금색 버스인 8663번 버스의 데이터 값으로 유추해낸 결과 160억 원의 비용이 산출되었다. 효과의 측면에서는 혼잡도를 얼마나 완화했는가에 초점을 맞추어 진행하여서 혼잡도 완화가 편익으로 계산이 될 수 없기에 혼잡도가 얼마나 감소하였는지에 대해 분석해 보았다. 먼저 배차간격 축소 대안에서는 기준이었던 230%의 혼잡도에서 57.5%의 감소효과가 있었고, 열차 칸 증설 대안에서는 기준 혼잡도 대비 79%의 감소효과가 있었다. 마지막 대체 교통수단의 신설에서는 24%의 감소효과가 있었다. 비용과 효과의 산출물로 본 연구의 핵심인 비용효과분석을 해본 결과 배차간격 축소는 효과/비용=0.60이 나왔고, 두 번째 열차 칸 증설 대안은 효과/비용=0.22, 마지막 대체 교통수단의 신설은 효과/비용=0.15의 값이 나왔다. 따라서 비용효과분석을 통해 나온 결과들을 종합해봤을 때, 배차간격 축소의 대안이 가장 효과적이었고, 열차 칸 증설, 대체교통수단의 신설방법이 뒤를 이었다. 아울러 이 분석결과의 대안들 가운데 특정 대안으로 혼잡도의 문제를 해결한다는 관점보다는 각 대안의 상대적인 효과를 고려하여 종합적이고 복합적인 접근으로 대안들을 집행할 때 혼잡도 개선의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

이와 같은 분석결과를 바탕으로 지하철 혼잡도 개선을 위한 제언을 다음과 같이 할 수 있을 것이다. 첫째, 혼잡이 지속적으로 발생하는 구간에 대해 확실한 개선 조치가 필요하다. 현재까지 가장 혼잡이 심한 여의도역부터 신논현역까지의 구간을 포함하여, 혼잡구간이 더욱 확장되는 것을 막기 위한 지속적인 모니터링이 필요하다. 이와 관련하여 세 번째 대안에 해당하는 가양역-여의도역까지의 급행순환버스의 대체교통수단의 신설을 고려해 볼 만하

다. 또한, 혼잡한 구간에 안전관리인력 등을 충분히 확충하여 혹여 발생할 수 있는 안전문제에 대한 대비가 필요하다. 혼잡구간뿐만 아니라 혼잡시간대 지하철 노선 전체를 통합·관리하는 컨트롤타워 역시 필요하다. 또한 후진국형 인사사고를 줄이기 위해 해당 기관과 정부의 관심, 책임감 있는 정책의 설계 및 도입과 함께 지하철 이용객들의 의견을 반영시킬 수 있는 지속적인 정책의 환류(Feedback)과정이 중요하다.

둘째, 정확한 수요예측과 조사연구를 위해서 정부 3.0 기조에 맞춰 해당 정부기관이나 운영을 담당하는 주체들의 자발적인 정보공개가 선행되어야 할 것이다. 그동안 기밀사항으로 분류했던 정보들에 대한 공개가 확실하게 이루어져 혼잡도의 원인에 대한 다각적인 분석을 실시하고 문제해결을 위한 지속적인 연구가 가능해야 할 것이다. 이를 바탕으로 첫 번째와 두 번째 대안인 배차간격축소와 열차 칸 증설에 대한 심도 깊은 분석으로 집행의 타당성을 높일 수 있을 것이다. 이 연구 역시 9호선 운행열차, 정비활동 등으로 인한 휴행열차에 대한 현황, 열차운영비용, 대체교통수단의 전례 등의 제한되거나 존재하지 않는 정보로 인해 연구의 한계가 지니고 있다고 할 수 있다.

셋째, 지하철혼잡도의 문제는 안전, 미세먼지와 같은 대기환경, 그리고 인구과밀화문제 등과 관련된 포괄적인 문제임을 인식할 필요가 있다. 즉 단순히 혼잡도 문제뿐만 아니라 인구과밀화에 의한 안전문제, 환경문제 또한 복합적으로 고려해야 한다. 이러한 문제의 심각성과 중요성을 인식한 가운데 서울시와 기획재정부의 갈등사례가 재발하지 않도록 건설, 예산, 행정절차 등에 관한 법적, 제도적 장치가 필요할 것이다. 따라서 혼잡한 지하철의 인구과밀화에 따른 안전문제와 오염되는 환경문제에 이르기까지 지속적인 모니터링과 개선이 이루어져야 할 것이다.

끝으로 이 연구는 출근시간 지하철9호선의 혼잡문제라는 사회현상에 대한 계량분석을 시도하였지만 제한된 정보로부터 수집한 자료들에 대해 비용과 효과분석을 실시하였다는 한계점을 가지고 있다. 하지만 이 연구는 기존 연구를 발전시켜 9호선 지하철 혼잡문제에 대한 직접적인 세 가지 대안들을 제시하였고, 접근가능한 모든 자료들을 수집하여 그 대안들의 비용효과분석을 통해 분석의 타당성을 높이려고 노력하였다. 한편 이 연구를 더욱 발전시키기 위해서 지하철혼잡도에 영향을 미치는 원인에 대한 분석이 필요할 것이다. 이 연구는 지하철혼잡도라는 현상에 대해서 사후적인 측면에서 기술적 대안과 개선방안을 연구하였으나 향후에는 지하철혼잡도 문제의 사전적이고 근본적인 측면에서 원인과 개선방안을 모색해 보고자 한다. 특히 수익성과 효율성에 중점을 둔 민간투자사업방식과 제도 등을 포함한 문제의 원인들을 분석하여 법적 지원과 규제를 통한 개선방안을 강구해 볼 수 있을 것이다.

≦참 고 문 헌≧

국가교통데이터베이스 월별 지하철 역간 이용인원

<https://www.ktdb.go.kr/www/selectTrnsportTreeView.do?key=32>. (2016.11.30.).

김근원 외. (2015). 지하철 혼잡도 개선방안에 관한 빅데이터융합 기반의 탐색적 연구. Journal of Digital Convergence, 13(2), 35-42.

김상희·진성준(2015). 지하철 9호선 출근대란, 원인과 해결방안은?. 「국회긴급현안토론회」

김세호 외(2016). 지하철 승객 밀집도 알리미 시스템. 「한국통신학회 학술대회 논문집」. 1202-1203.

김승준(2016). 서울시 지하철의 혼잡비용 산정과 정책적 활용방안. 「서울연구원 정책리포트」. (208), 1-23.

도시교통본부 교통정책과(2015). 「도시철도 9호선 전동차 구매 4.제작규격서」. 서울: 서울특별시.

도시교통본부 교통정책과(2015). 「도시철도 9호선 전동차 구매 6.산출기초조서」. 서울: 서울특별시.

도시교통본부 교통정책과(2015). 「지하철 9호선 혼잡도 개선 및 증차계획-결재문서본문」. 서울: 서울특별시.

도시교통본부 교통정책과(2015). 「지하철 9호선 혼잡도 개선 및 증차계획(최종)」. 서울: 서울특별시.

도시철도계획부(2015). 「9호선 차량비 국비확보 등 현안사항 관련 국토교통부 업무협의 결과 보고」. 서울: 서울특별시.

도시철도설계부(2013). 「9호선 2,3단계구간 추가차량관련 국토교통부 관련자 간담회 결과보고」. 서울: 서울특별시.

도시철도설비부(2015). 「9호선 혼잡도 개선을 위한 차량 증차 총사업비 예산 확보 요청」. 서울: 서울특별시.

민세홍 외(2016). 지하철 승강장의 수용인원 산정 비교에 관한 연구. 「한국화재소방학회 학술대회 논문집」. 95-96.

박정수·한우진(2008). 영업 및 운전 중심의 서울 지하철 9호선 개선 방안 연구. 「한국철도학회 논문집」. 11(5), 482-488.

박흥수(2012). 지하철 9호선에서 KTX까지. 「진보평론」. (52), 97-109.

서울대학교 교육연구소(1995). 「교육학용어사전」.

서울메트로 9호선 (2016). 2016년 도시철도 승하차 자료.

서울시 교통정책과 지하철 통계(2016).

서울시정개발연구원(2011). 「대중교통카드를 활용한 도시철도 혼잡도 지표개발연구」.

서울 열린 데이터 광장(2017). 지하철 호선별 역별 시간대별 승객 현황

<http://data.seoul.go.kr/openinf/sheetview.jsp?infId=OA-12252>. (2016.11.30.).

서울 열린 데이터 광장(2012). 지하철 혼잡도

<http://data.seoul.go.kr/openinf/linkview.jsp?infId=OA-699&tMenu=11>. (2016.11.30.).

서울특별시 도시계획국(2012). 「알기 쉬운 도시계획 용어」. 서울: 서울특별시.

손동욱·김진(2011). 수도권 역세권 도시공간특성과 지하철 이용수요간 상관관계 분석. 「대한건축학회 논문집」. 27(6), 177-184.

손준석 외(2012). AP를 이용한 지하철 승객 분산 알고리즘 기법. 「한국통신학회 학술대회 논문집」. 261-262.

신형식·정수영·김민수(2011). 9호선 1단계 수송수요를 고려한 2단계 열차운행방안에 대한 연구, 「한국철도학회 학술대회논문집」. 498-508.

이원선·김도경(2015). 지하철 이용수요의 영향요인에 관한 연구(서울메트로 운영노선 중심으로). 「대한교통학회 학술대회지」. (73), 551-556.

이종수(2009). 행정학사전. 「대영문화사」.

배윤경 외(2011). 지하철 9호선 개통 전과 후의 대중교통 통행패턴 변화연구. 「대한교통학회 학술대회지」. (65), 511-516

정래혁(2015). 지하철 역사 내 혼잡관리를 위한 통행행태 분석(경로선택모델을 중심으로). 「서울도시연구」. 16(2), 203-214.

조성근 외(2013). 서울지하철 2호선 혼잡도 완화 방안 기초연구. 「한국철도학회 학술발표대회 논문집」. 193-203.

홍광호(2011). 도시철도 9호선 2,3단계 교통수요 조사연구.

KBS News(2015). 한눈에 본 9호선 혼잡도...노량진-가양-염창 순 인파 몰린다.

<http://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=3050976>. (2016.11.30.).

KBS News (2015). 누가 9호선을 지옥철로 만들었나?.

<http://mn.kbs.co.kr/mobile/news/view.do?ncd=3019541>. (2016.11.30.).

Bleichrodt, H., & Quiggin, J. (1999). Life-cycle preferences over consumption and health: when is cost-effectiveness analysis equivalent to cost-benefit analysis?. *Journal of health economics*, 18(6), 681-708.

David, R., Dube, A., & Ngulube, P. (2013). A cost-benefit analysis of document management strategies used at a financial institution in Zimbabwe: a case study: original research. *South African Journal of Information Management*, 15(2), 1-10.

Dunn, W. N. (2009). *Public Policy Analysis: An Introduction*. New York.: Longman.

Weimer, D. L., & Vining, A. R. (2015). *Policy Analysis: Concepts and Practice*. Routledge.

* **안재홍(安宰弘)**: 송실대학교 행정학부에서 학사학위를 취득했으며 관심분야는 행정관리, 국제협력, 공기업 등이다(ajh430@naver.com).

* **강인성(姜仁成)**: 미국 플로리다주립대학교(Florida State University)에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 송실대학교 행정학과 부교수로 재직중이다. 관심분야는 지역 및 도시정책, 국제협력, 거버넌스, 정부간관계 등이다. 주요논문으로 서울시 기업체에 있어서 고학력 경력단절 여성의 재취업방안 및 지원정책에 관한 연구(2012, 국가정책연구), 지방공기업의 수익성에 영향을 미치는 요인에 관한 연구: 경기도 지방공기업을 중심으로 (2014, 국가정책연구), 위계선형모형을 이용한 Charter School 규모 결정요인에 관한 연구(2016, 지방행정연구) 등이 있다(iik3411@ssu.ac.kr).

논문투고일: 2017.5.15 / 심사일: 2017.5.18 / 게재확정일: 2017.6.14