

서울시 지하철 혼잡비용 산정과 정책 활용

김승준

Seoul Subway Congestion Costs and Policy Implications



서울연구원
The Seoul Institute

연구책임

김승준

교통시스템연구실 연구위원

연구진

전재현

교통시스템연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약

도로혼잡처럼 지하철혼잡도 사회적 손실 야기 서울시 지하철 혼잡비용은 연간 약 7,247억 원

지하철 이용자 20% 이상 출근시간대 집중 ‘첨두시 혼잡 심각’

서울시 지하철은 일일 이용자 수가 700만 명을 넘어서, 이용자가 집중되는 첨두시의 심각한 혼잡상황에 대한 보도가 연일 발표되고 있다. 운전자는 도로의 혼잡수준을 판단하여 통행시간을 예측하고 출발시각을 조정할 수 있으나, 지하철 이용자에게 열차 내 혼잡은 피동적으로 감내해야 하는 상황으로 받아들여지고 있다.

사회적 관심이 높은 도로부문의 혼잡비용은 매년 추정하여 발표되고 있는 반면, 지하철부문의 혼잡비용은 이러한 산출에서 제외되고 있다. 도로부문에서는 혼잡으로 인하여 추가적으로 발생하는 시간손실(time loss)을 바탕으로 혼잡비용을 산출하고 있다. 지하철에서도 차내 혼잡으로 인해 쾌적성손실(comfort loss)과 열차지연이 발생하므로, 도로 부문과 유사한 방식으로 혼잡이 유발하는 사회적 비용이 추정될 수 있다.

지하철 혼잡 심층 분석한 국내 연구는 해외와 달리 거의 없어

그럼에도 불구하고 지하철에서 발생하는 혼잡에 대한 심도 있는 국내 연구는 사실상 진행된 바가 없다. 해외에서는 오래전부터 열차 내 혼잡에 관심을 가지고, 혼잡가치를 차내 통행시간에 대한 가중치계수(penalty multiplier)로 환산하여 제시하는 다수의 연구가 진행되고 있다.

설문 결과, 이용자들은 열차 혼잡도를 25~75%까지 높게 체감

서울지하철 운영기관은 2년마다 지하철 혼잡도를 조사하여 발표하고 있다. 조사에서는 1량당 재차인원 160명을 혼잡도 100%로 정의하고 있다. 2013년 서울지하철의 차내 혼잡도는 평균 158%(1~8호선 평균) 수준으로 조사되었으나, 9호선 급행열차(238%)나 2호선(202%)과 같이 승객이 집중되는 노선에서는 극심한 혼잡이 발생하고 있다.

지하철 혼잡에 대한 설문조사 결과, 이용자들은 실제보다 더 높은 수준으로 차내 혼잡을 체감하고 있었다. 노선별·구간별 차이는 있으나, 열차의 혼잡도를 약 25~75%까지 더 높게 체감하는 것으로 나타났다. 현재 지하철 운행계획은 국토교통부의 권고에 따라 차내 혼잡도 150%를 기준으로 하고 있으나, 혼잡도가 100%를 초과하는 경우 이용자들은 이용여건이 크게 악화된다고 생각하고 있었다. 100% 이상의 혼잡도에서는 혼잡도가 증가함에 따라 체감하는 혼잡수준이 급격하게 악화되는 것으로 조사되었다.

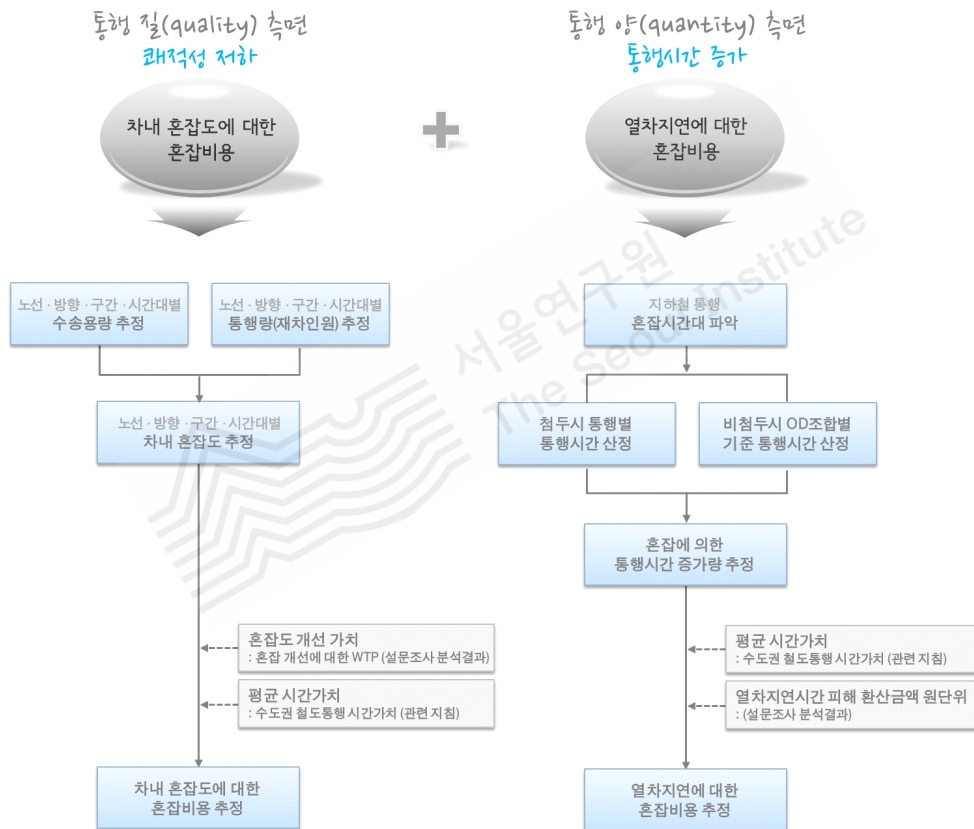
쾌적성 저하에 따른 혼잡비용은 이용자의 지불의사액으로 추정

혼잡으로 인하여 유발되는 사회적 비용은 차내 혼잡으로 인해 발생하는 비용과 열차지연으로 인한 비용으로 구분할 수 있다. 높은 차내 혼잡으로 인한 쾌적성 저하는 통행의 질(quality)적 측면에서, 열차지연에 의한 시간손실은 양(quantity)적 측면에서 발생하는 혼잡비용으로 정의될 수 있다.

쾌적성 저하로 인한 혼잡비용은 침두시 높은 차내 혼잡을 피하기 위하여 이용자가 기꺼이 감당하고자 하는 지불의사액(willingness to pay)을 바탕으로 추정하였다. 차내 혼잡도가 50% 개선될 경우 이용자들은 평균 2.2분의 통행시간을 추가적으로 수용하였으며, 이를 금전적 가치로 환산하면 228원에 해당하는 것으로 나타났다. 조사된 혼잡가치와 서울지하철의 노선별방향별 구간별시간대별 혼잡도를 바탕으로 서울시 지하철에서 발생하는 혼잡비용을 산정하였다.

열차지연 혼잡비용은 동일OD 침두·비침두 통행시간 차이로 추정

한편, 침두시에 집중되는 지하철 승하차인원으로 인하여 혼잡역사에서 열차운행이 지연되고, 비침두시 대비 통행시간이 증가하게 된다. 열차지연에 의한 혼잡비용 산정에는 교통카드 자료가 이용되었으며, 동일 통행기종점(OD : Origin-Destination, 출발자-도착지)에 대한 침두시와 비침두시의 통행시간 차이를 바탕으로 하였다.

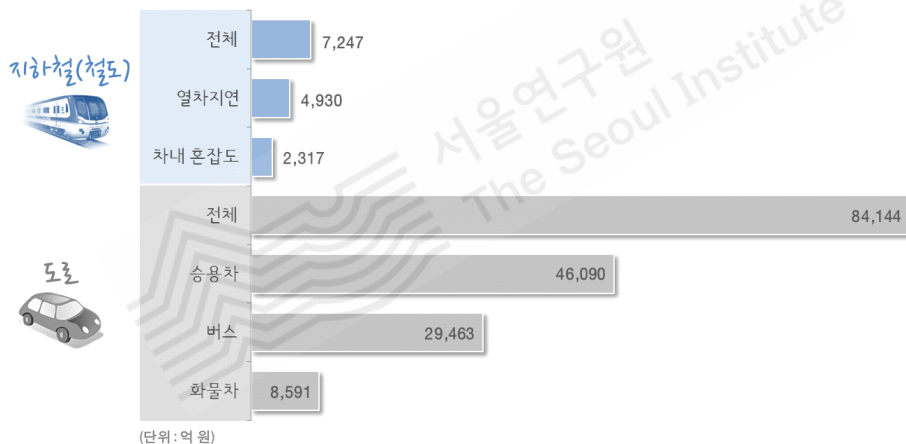


[그림 1] 지하철 혼잡비용 유형 및 산정방법

승용차 억제정책·대중교통 서비스 개선정책 병행이 바람직

서울지하철에서는 연간 약 7,247억 원의 혼잡비용이 발생하는 것으로 분석되었다. 세부적으로 살펴보면, 지하철 통행의 질적(quality) 측면인 쾌적성 저하로 인한 혼잡비용이 연간 약 2,317억 원, 양적(quantity) 측면인 열차지연에 의한 비용이 연간 약 4,930억 원으로 추정되었다.

서울지하철에서 발생하는 혼잡비용은 8조 원을 상회하는 도로 혼잡비용의 9%에 불과하다. 그러나 지하철에서는 혼잡비용이 발생하지 않는다는 기존의 인식과는 달리, 결코 무시할 수 없는 수준의 혼잡비용이 발생하고 있다. 특히 혼잡통행료 징수, 교통수요관리 등의 정책은 대중교통으로 수요를 전환시켜 대중교통의 혼잡을 가중시킬 수밖에 없으므로, 승용차 억제 정책과 대중교통의 서비스 개선 정책이 함께 추진될 필요가 있다.

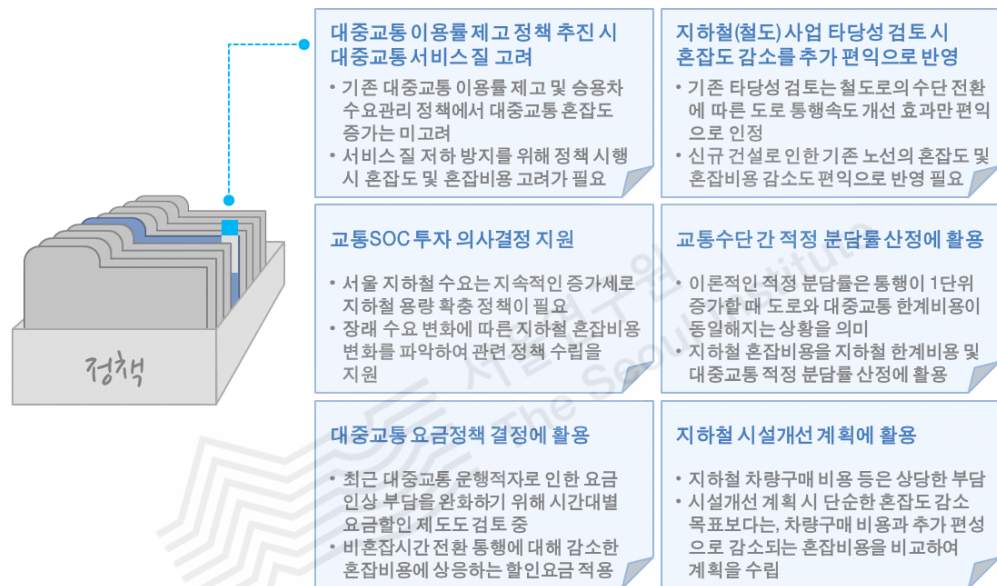


자료(도로 혼잡비용) : 한국교통연구원, 2014, 「2011~2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석」

[그림 2] 서울시 지하철 및 도로 부문 혼잡비용 (지하철은 2013년 기준, 도로는 2012년 기준)

지하철 혼잡비용 추정방법은 대중교통 관련 정책에 활용 기대

승용차 통행을 억제하고 대중교통 이용을 장려하기 위해서는 대중교통의 양적인 확대뿐만 아니라 서비스 질(quality)도 반드시 고려되어야 한다. 이 연구에서 제시한 지하철 혼잡비용 추정가치와 방법론은 대중교통과 관련된 다양한 정책 수립 및 결정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 3] 지하철 혼잡비용의 정책 활용 예

목차

01 연구의 개요	2
1_연구의 배경 및 목적	2
2_주요 연구내용	3
02 관련 문헌 고찰	6
1_국내 관련 지침	6
2_국내 관련 연구	10
3_해외 관련 연구	15
03 서울시 지하철 혼잡도 현황	26
1_지하철 운영 현황	26
2_지하철 혼잡도 현황	29
3_지하철 열차지연 현황	31
4_지하철 서비스 평가 만족도	33
04 지하철 혼잡가치 산정	38
1_개요	38
2_지하철 이용자 혼잡 인식 조사	39
3_지하철 혼잡도 체감	42
4_지하철 열차지연 체감	46
5_지하철 혼잡 개선의 가치 산정	49

05 서울시 지하철 혼잡비용 산정	58
1_개요	58
2_지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용 산정	59
3_지하철 열차지연에 대한 혼잡비용 산정	67
4_서울시 지하철 혼잡비용 종합	76
06 결론 및 정책제언	80
1_결론	80
2_정책제언	82
참고문헌	85
부록	87
Abstract	91



표

[표 2-1] 철도부문 편익 항목 - 「예비타당성조사 지침」	6
[표 2-2] 철도부문 편익 항목 - 「교통시설 투자평가지침」	7
[표 2-3] 재차인원에 따른 중량전철 혼잡도	9
[표 2-4] 전국 도시부도로 교통혼잡비용(2012년)	11
[표 2-5] 런던지하철 혼잡수준에 대한 가중치 계수(LT Marketing, 1989년)	17
[표 2-6] 런던광역철도 혼잡수준에 대한 가중치 계수(Accent, 2006년)	18
[표 2-7] 런던지하철 혼잡수준에 대한 가중치 계수(MVA Consultancy, 2008년)	18
[표 2-8] 일본 CBA Manual에 사용되는 혼잡도 함수	21
[표 3-1] 수도권 지하철 운영 현황	27
[표 3-2] 서울시 교통수단별 통행량 및 부담률	28
[표 3-3] 서울시 지하철 노선별 수송인원	28
[표 3-4] 서울시 지하철 노선별 혼잡도	29
[표 3-5] 서울시 지하철 노선별 최대 혼잡구간 혼잡도	30
[표 3-6] 지하철 2호선 오전첨두시 열차지연 운행 사례	31
[표 3-7] 지하철 2호선(외선 사당역) 열차운행 계획 및 실적	32
[표 3-8] 지하철 2호선(내선 신천역) 열차운행 계획 및 실적	32
[표 3-9] 지하철 운영사 경영 및 서비스 평가 결과	33
[표 3-10] 서울메트로 서비스 평가 결과	34
[표 3-11] 서울도시철도공사 서비스 평가 결과	35
[표 4-1] 지하철 차량내부 혼잡도 조건표 재구성	42

[표 4-2] 지하철 최대 혼잡 구간의 혼잡상태 관측률	43
[표 4-3] 지하철 1~4호선 최대 혼잡 구간 및 혼잡도(2013년)	43
[표 4-4] 지하철 차량내부 혼잡도 허용기준에 대한 의견	45
[표 4-5] 지하철 차량내부 혼잡 기피 이유	46
[표 4-6] 지하철 열차지연 경험	47
[표 4-7] 지하철 열차지연 횟수 및 시간	47
[표 4-8] 지하철 열차지연 시간에 대한 환산금액	48
[표 4-9] 지하철 이용 시 열차지연을 고려한 출발 여유시간	48
[표 4-10] 지하철 혼잡도 개선에 대한 지불의사액(시간) 응답분포	51
[표 4-11] 변수 정의 및 상관관계 분석	53
[표 4-12] 지하철 혼잡 개선 가치 분석 - 모형추정	53
[표 4-13] 지하철 혼잡 개선 가치 분석 - 한계효과	55
[표 5-1] 수도권 철도통행 평균 시간가치	64
[표 5-2] 서울시 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용	65
[표 5-3] 침두시 오류 데이터 파악 및 전체 대상 통행량	70
[표 5-4] 침두시 혼잡에 의한 평균 통행시간 증가량	74
[표 5-5] 서울시 지하철 열차지연에 대한 혼잡비용	74

그림

[그림 1-1] 연구절차 및 주요 연구내용	4
[그림 2-1] 중량전철 혼잡도 조건표(혼잡도 150% 기준)	9
[그림 2-2] 도로교통 혼잡비용 구성요소	10
[그림 2-3] 서울시 도시부도로 교통혼잡비용 추이	12
[그림 2-4] 차간거리 변화에 대한 설문조사 예	13
[그림 2-5] 혼잡도에 따른 인지통행시간 배수	15
[그림 2-6] 일본 CBA Manual의 혼잡수준별 가중치	21
[그림 2-7] 싱가포르 Tampines역에서의 지하철 대기시간 분포	23
[그림 3-1] 전국 대중교통 이용자 만족도 조사결과	35
[그림 4-1] 지하철 혼잡가치 산정 주요 연구내용	38
[그림 4-2] 지하철 차량내부 혼잡도 조건표 재구성(혼잡도 200% 예시)	41
[그림 4-3] 지하철 1~4호선 최대 혼잡 구간의 혼잡도와 관측치 비교	44
[그림 4-4] 지하철 혼잡가치 산정을 위한 지불의사액(시간) 설문	51
[그림 4-5] 혼잡도 개선 정도 - 추가 수용시간 관계도	54
[그림 4-6] 혼잡도 개선 정도 - 지불의사액 관계도	54
[그림 5-1] 지하철 혼잡비용 유형 구분	58
[그림 5-2] 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용 산정 진행도	59
[그림 5-3] 통행량 추정모형 개념도	62
[그림 5-4] 지하철 노선별 차내 혼잡비용	66
[그림 5-5] 시간대별 지하철 차내 혼잡비용	66

[그림 5-6] 지하철 열차지연에 대한 혼잡비용 산정 진행도	68
[그림 5-7] 지하철 통행 침투시간대 파악	69
[그림 5-8] 교통카드 자료상의 통행시간 구성요소	70
[그림 5-9] 지하철 노선별 열차지연 혼잡비용	75
[그림 5-10] 시간대별 지하철 열차지연 혼잡비용	75
[그림 5-11] 서울시 지하철 전체 혼잡비용	76
[그림 5-12] 서울시 도로 부문 혼잡비용과의 비교	77



01

연구의 개요

1_연구의 배경 및 목적

2_주요 연구내용

01 | 연구의 개요

1_연구의 배경 및 목적

1) 첨두시 지하철 차량 내 극심한 혼잡은 이용자가 감내해야 하는 상황으로 인식
신문의 헤드라인에서 ‘콩나물시루를 연상케 하는 전동차’나 ‘지하철 출근전쟁,’ ‘지옥철’ 등과
같이 지하철의 극심한 혼잡상황을 나타내는 표현들을 찾는 것은 어려운 일이 아니다.

도로 혼잡에 익숙해진 현대인들은 사전에 혼잡 정도를 판단하고 통행시간을 예측하여
출발시각을 조정한다. 그러나 지하철 차량 내의 극심한 혼잡은 피동적으로 감내해야 하는
것으로 받아들이고 있는 것이 현실이다.

2) 도로 혼잡처럼 지하철 혼잡도 사회적 손실을 야기

사실, 도로상에서 발생하는 혼잡과 그로 인한 사회적 비용 손실은 지하철의 혼잡 상황
에서도 유사하게 발생한다.

도로에 차량이 추가적으로 진입하게 되면 통행속도는 감소하고, 도로를 이용하는 모든
운전자는 혼잡과 시간손실(time loss)을 경험하게 된다. 마찬가지로, 지하철 전동차에
추가적으로 승객이 탑승하게 되면 차량 내부의 혼잡(또는 밀도)이 증가하게 되고, 모든
승객이 쾌적성손실(comfort loss)을 경험하게 되는 것이다.

교통수단에 따라 매우 상이하게 느껴지는 혼잡(congestion)의 전개과정(mechanism)은
사실상 유사하며, 차이는 도로상의 시간손실이 지하철 내의 쾌적성손실로 대체된다는 것
뿐이다.

3) 지하철 혼잡이 유발하는 사회적 비용에 대한 연구가 필요

지하철 혼잡도는 노선의 운행현황을 가장 잘 파악할 수 있는 핵심지표로, 운영기관들은
이를 바탕으로 서비스 개선을 추진하고 있다. 운영기관은 노선별 혼잡도를 측정하여 주기

적으로 결과를 발표하고, 혼잡도를 낮출 수 있는 열차 증량 또는 증편, 열차 운행시각 조정 등의 정책 수립에 활용하고 있다. 그러나 지하철 간 환승게이트가 설치되어 있지 않아 목적에 의존하거나 모형을 사용하여 구간별 통행량을 추정하고 있는 실정이다.

또한, 다양한 연구가 활발히 진행되고 있는 도로 혼잡 부문과 달리 지하철의 혼잡과 관련된 연구 및 분석은 매우 부족하고, 특히 공공의 입장에서 지하철 혼잡의 사회적·경제적 외부효과(externality)를 분석한 연구는 사실상 전무하다. 지하철 혼잡과 관련한 대부분의 연구는 지하철 혼잡을 회피하기 위하여 승용차 등 타 수단을 선택하는 개별이용자 행태 분석이나 지하철 혼잡으로 인한 이용자의 심리적·육체적인 피로 등에 초점을 맞추고만 있어, 지하철 혼잡에 대해서도 유발되는 사회적 손실 비용의 추정 연구가 필요한 상황이다.

이에 따라 이 연구에서는 노선별·구간별 지하철 혼잡수준을 파악하고, 나아가 혼잡이 유발하는 사회적·경제적 비용을 추정하여, 대규모 시설 확충 또는 요금제도 조정 등의 정책 결정에 활용될 수 있는 시사점을 도출하고자 한다.

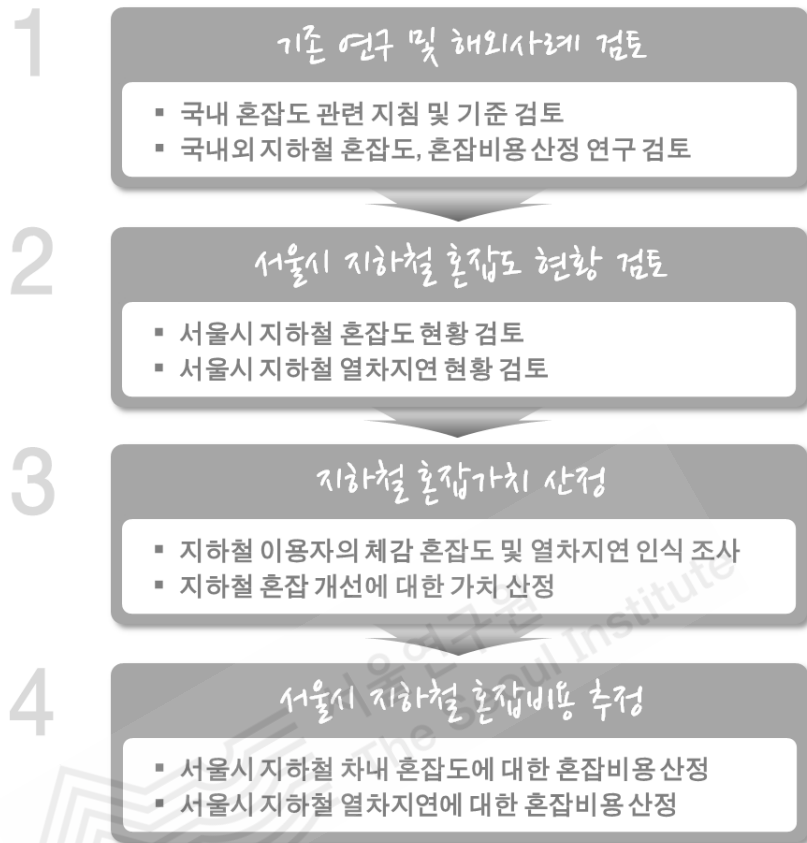
2_주요 연구내용

1) 관련 연구 사례 및 지하철 혼잡도 현황 검토

우선 국내 지하철 혼잡도 관련 지침과 차내 혼잡도 산정 기준을 살펴보고, 국내외 지하철 혼잡도(또는 쾌적성)와 혼잡비용 산정 연구 사례를 검토하였다. 그리고 서울시 지하철 운행 노선의 차내 혼잡도 현황과 침두시 특정 노선의 열차지연 현황 등을 검토하였다.

2) 지하철 혼잡가치 및 혼잡비용 추정

관련 문헌 및 서울시 지하철 혼잡 현황 검토 후에는, 지하철 혼잡가치 산정을 위한 이용자 설문조사를 실시하여 이용자들이 체감하는 혼잡도 및 열차지연 정도를 파악하고 지하철 혼잡 개선에 대한 가치를 산정하였다. 마지막으로, 서울시 지하철에서 발생하는 혼잡비용을 두 가지 측면(차내 쾌적성 저하와 열차지연에 대한 혼잡비용)에서 추정하였다.



[그림 1-1] 연구절차 및 주요 연구내용

02

관련 문헌 고찰

- 1_국내 관련 지침
- 2_국내 관련 연구
- 3_해외 관련 연구

02 | 관련 문헌 고찰

1_국내 관련 지침

- 1) 타당성 평가 지침에도 철도부문 쾌적성 편익이 제시되어 있으나, 계량화가 어려워 반영하지 못하는 실정

교통사업의 타당성을 평가할 때 적용되는 지침은 크게 「예비타당성조사 지침」과 「교통시설 투자평가지침」이 있다. 이들 지침에서는 교통사업 투자 시 소요되는 비용과 기대되는 편익을 산정하여 경제적 타당성을 평가하는데, 지하철 등 철도사업의 편익 항목으로 쾌적성(또는 혼잡도)이 고려되고 있는지 검토하였다.

「예비타당성조사 지침」¹⁾에 따르면 철도사업 부문의 편익을 크게 직접편익과 간접편익으로 구분하고 있다. 직접편익은 철도시설을 직접적으로 이용하는 이용자들에게 발생하는 편익이고, 간접편익은 시행되는 철도시설 이용과 관계없이 모든 사람에게 발생하는 파급효과를 의미한다.

[표 2-1] 철도부문 편익 항목 - 「예비타당성조사 지침」

구분		반영	미반영
직접편익	철도 이용자 편익	· 철도 이용자 및 화물의 통행시간 절감	· 쾌적성, 정시성, 안정성 향상
	타 수단 이용자 편익	· 차량운행비용 절감 · 도로/철도 간 전환수요에 의한 통행시간 절감 · 교통사고 감소	· 항공/해운의 전환수요에 의한 편익 · 건물목 개선에 따른 사고/지체 감소
간접편익 (비사용자 편익)		· 환경비용(대기오염/소음) 절감 · 주차수요 감소로 인한 주차공간 기회비용 절감 · 공사 중 교통혼잡으로 인한 부(-) 편익 · 철도부문 사업으로 인한 도로공간 축소에 따른 부(-) 편익	· 지역개발 효과 · 시장권의 확대 · 지역 산업구조 개편 · 고속도로 유지관리비 절감

1) 한국개발연구원, 2008, 「도로-철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제5판)」

직접편익의 철도 이용자 편익으로 일반적인 통행시간 절감 편익 외에도 쾌적성·정시성·안전성 향상 항목이 있다. 그러나 쾌적성·정시성·안전성 향상 등의 편익은 화폐가치로 계량화하는 데 어려움이 있어 편익 산정 시 반영하지 않고 있는 실정이다.

「교통시설 투자평가지침」²⁾에서도 「예비타당성조사 지침」과 마찬가지로 철도사업 부문의 편익을 크게 직접편익과 간접편익의 2가지 개념으로 구분하고 있으며, 쾌적성 향상 편익을 철도 이용자의 직접편익으로 구분하고 있다.

그런데 「교통시설 투자평가지침」에서는 「예비타당성조사 지침」과는 다르게 쾌적성 향상 편익을 편익산정 시 반영항목으로 지정하고 있다. 철도의 쾌적성 향상 편익은 도시철도 또는 광역철도의 기존 운행노선 개량사업을 위한 경제적 타당성 평가 시 반영해야 하는 특수 편익으로, 기존 노선 개량으로 철도 차량내부의 혼잡도가 낮아지면 쾌적성 개선 편익이 발생한다고 보고 있는 것이다.

[표 2-2] 철도부문 편익 항목 - 「교통시설 투자평가지침」

구분		반영	미반영
직접편익	철도 이용자 편익	<ul style="list-style-type: none"> · 철도 이용자 통행시간 절감 (기존 철도 이용자, 도로/철도 전환 이용자) · 철도 화물 통행시간 절감 · 통행시간 신뢰성 향상 · 선택가치 편익 · 쾌적성 향상 	<ul style="list-style-type: none"> · 형평성 향상 · 열차개량 편익
	타 수단 이용자 편익	<ul style="list-style-type: none"> · 차량운행비용 절감 · 도로/철도 간 전환수요에 의한 도로통행 시간 절감 · 교통사고 감소 	<ul style="list-style-type: none"> · 항공/해운의 전환수요에 의한 편익 · 건물목 개선에 따른 사고/지체 감소
간접편익 (비사용자 편익)		<ul style="list-style-type: none"> · 환경비용(대기오염/온실가스/소음) 절감 · 주차공간 설치비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> · 지역개발 효과 · 시장권의 확대 · 지역 산업구조 개편 · 고속도로 유지관리비 절감 · 공사 중 교통혼잡으로 인한 부(-) 편익 · 폐기물 처리비용 절감

2) 국토교통부, 2013, 「교통시설 투자평가지침(제5차 개정)」

철도부문 여객쾌적성 향상 편익의 산정방법을 다음과 같이 제시하고 있다.

- 혼잡도 완화에 대한 지불의사액(willingness to pay)을 추정하기 위해 기존 혼잡상황과 여러 혼잡상황을 고려하여 SP(Stated Preference, 진술선호) 조사를 실시함으로써, 통행자가 혼잡에 대해 느끼는 비효율을 측정한다.
- 철도 이용자의 쾌적성 향상 편익은 혼잡회피 행동이 발생하기 이전과 이후의 혼잡도 변화량에 혼잡회피를 위한 지불의사액 원단위를 곱함으로써 산출한다.
- 첨두시간을 제외한 시간의 도시부 철도 혼잡도는 매우 낮은 편으로, 혼잡도 완화에 따른 여객쾌적성 편익은 발생하지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 여객쾌적성 편익은 첨두시간에만 발생한다고 보고 첨두시간에 대해서만 산출한다.
- 혼잡도가 b에서 a로 변화하는 경우 여객쾌적성 편익의 원단위 산출식은 다음과 같다.

$$\langle \text{식 2-1} \rangle \quad \lambda_l^{ba} = \frac{7.862 \times (R_l^b - R_l^a)}{R_l^b}$$

여기서, λ_l^{ba} : 링크 l의 혼잡도 변화에 따른 편익 원단위 (원/인분)

$R_l^b = \max\{\text{링크 l의 사업 전 혼잡도}(\%), 50\%\}$

$R_l^a = \max\{\text{링크 l의 사업 후 혼잡도}(\%), 50\%\}$

- 여객쾌적성 개선 편익은 사업 전후의 혼잡도 변화에 대한 원단위와 사업 후의 통행량, 통행시간을 이용하여 산출한다.

$$\langle \text{식 2-2} \rangle \quad VPC = \left\{ \sum_l (\lambda_l^{ba} \times D_l^a \times T_l^a) \right\} \times 365$$

여기서, VPC: 연간 여객쾌적성 향상 편익 (원)

λ_l^{ba} : 링크 l의 혼잡도 변화에 따른 편익 원단위 (원/인분)

D_l^a : 링크 l의 사업 후 재차인원 (인)

T_l^a : 링크 l의 사업 후 통행시간 (분)

그러나 철도사업으로 인해 발생하는 도로 및 철도 여객의 통행시간 절감, 차량운행비 절감, 교통사고 감소, 주차비용 절감, 환경비용 감소 등 사회적으로 합의되고 현실적으로 계량화가 가능한 항목만을 편익으로 분석한다고 명시하고 있어, 실제 타당성 평가 시 쾌적성 향상 편익이 반영되지 못하고 있는 실정이다.

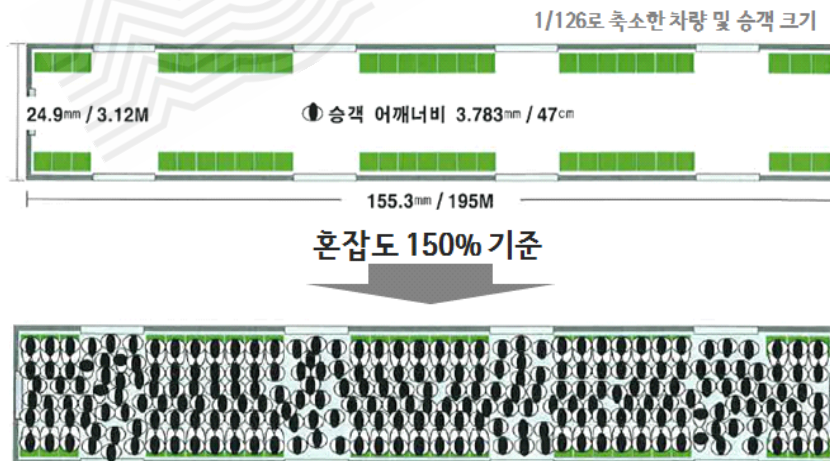
2) 국토교통부 권고에 따라 차내 혼잡도 150%를 기준으로 지하철 운행계획을 수립 중

국토교통부에서 발행한 「도시철도의 건설과 지원에 관한 기준」³⁾에 따르면, 중량전철 및 경량전철 건설기준에서 객차당 수송용량은 차내 혼잡도 150%를 기준으로 하고 있다. 이 차내 혼잡도는 차량 정원에 대한 재차인원의 비율이며 승객의 편의성 및 열차의 안전과 정시운행을 고려하여 설정한다.

서울시에서 운행되고 있는 지하철인 일반적인 중량전철의 차내 혼잡도 산정 기준은 [표 2-3]과 같다. 중량전철의 혼잡도 34%는 모든 승객(재차인원 54명)이 좌석에 착석한 상태이며, 객차당 수송용량 기준인 혼잡도 150%는 재차인원이 약 240명으로 좌석에 모두 앉고 객실통로에 4열 입석, 출입문에 5열 입석한 상태를 의미한다.

[표 2-3] 재차인원에 따른 중량전철 혼잡도

객차당 재차인원 (인)	54	94	120	160	184	216	240	280	320	368	400	432
혼잡도 (%)	34	59	75	100	115	135	150	175	200	230	250	270



[그림 2-1] 중량전철 혼잡도 조건표(혼잡도 150% 기준)

3) 국토교통부, 2013, 「도시철도의 건설과 지원에 관한 기준」

2_국내 관련 연구

1) 도로교통에 대해서는 매년 교통혼잡비용이 산정·발표되고 있어

교통혼잡비용은 차량들이 도로상에서 교통혼잡으로 인하여 정상속도 이하로 운행하게 됨으로써 추가적으로 발생하는 총체적인 비용을 말한다. 이 교통혼잡비용은 교통혼잡으로 인한 개인 및 사회적 손실의 규모를 파악함으로써 교통혼잡 완화를 위한 정책 수립 및 교통시설 투자재원의 효율적 배분 등을 위한 판단의 기초자료로서 중요하다고 할 수 있다.

도로교통 부문에 대해서는 교통혼잡비용 산정방법론이 개발 및 개선되고 있으며, 1992년 이후 매년 전국 지역간도로 및 도시부도로에 대한 교통혼잡비용을 산정하여 발표하고 있다. 「교통혼잡비용 추정방법 개선」⁴⁾에서는 도로교통 혼잡비용의 산정방법을 제시하고 있는데, 정상속도 이하로 운행하게 됨에 따라 추가적으로 발생하는 고정비(인건비 등), 변동비(연료소모비 등), 시간가치비용을 다음과 같이 산정하여 혼잡비용을 추정하게 된다.



주 : 음영 항목은 교통혼잡비용 계산 시 제외

[그림 2-2] 도로교통 혼잡비용 구성요소

4) 한국교통연구원, 2007, 「교통혼잡비용 추정방법 개선」

〈식 2-3〉 1일 혼잡비용
(도시부도로)

$$= \sum_i^T \sum_j^R \sum_k^H \text{교통량}_{ijk} \\ \times [\text{유류비}_i \times \text{구간거리} \times \max(\text{운행속도 연료소모량}/km_{ij} \\ - \text{기준속도 연료소모량}/km_{ij}, 0) \\ + (\text{시간당 운행비}_i + \text{평균시간가치 비용}_i) \times (\text{운행시간}_j - \text{기준운행시간}_j)]$$

여기서, i : 차종 (승용차, 버스, 화물차)

j : 도로구간 (1, ..., 분석 가로구간 수)

k : 시간대 (0, ..., 23)

「2011, 2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석」⁵⁾에서는 지역간도로(전국의 고속도로, 일반국도, 지방도)와 도시부도로(서울특별시를 비롯한 6대 광역시)에 대해 「교통혼잡비용 추정방법 개선」에서 제시된 교통혼잡비용 추정방법에 따라 도로교통 혼잡비용을 분석하였다.

[표 2-4] 전국 도시부도로 교통혼잡비용(2012년)

(단위 : 억 원)

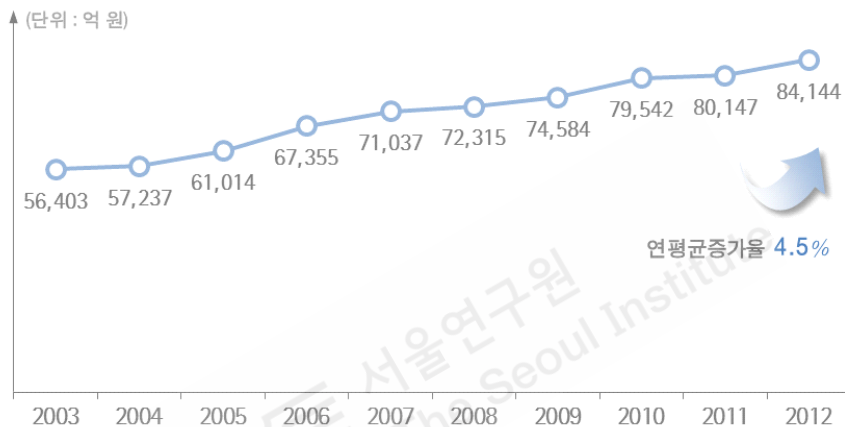
구분	승용차	버스	화물차	계	비율(%)
서울	46,090 (46,090)	29,463 (25,898)	8,591 (414)	84,144 (72,402)	43.9 (43.6)
부산	24,845 (24,845)	9,385 (8,251)	4,811 (314)	39,041 (33,410)	20.3 (20.1)
대구	10,626 (10,626)	3,792 (3,333)	1,137 (74)	15,555 (14,034)	8.1 (8.4)
인천	12,020 (12,020)	10,156 (8,928)	3,200 (183)	25,375 (21,131)	13.2 (12.7)
광주	5,444 (5,444)	3,345 (2,940)	866 (55)	9,655 (8,440)	5.0 (5.1)
대전	9,219 (9,219)	2,488 (2,187)	194 (13)	11,901 (11,419)	6.2 (6.9)
울산	3,865 (3,865)	1,596 (1,403)	717 (47)	6,178 (5,315)	3.2 (3.2)
계	112,109 (112,109)	60,224 (52,941)	19,516 (1,100)	191,850 (166,151)	100.0 (100.0)

주 : ()의 수치는 고정비를 제외한 금액임

⁵⁾ 한국교통연구원, 2014, 「2011, 2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석」

서울시의 도시부도로 교통혼잡비용은 8조 4,144억 원으로, 전국 7개 대도시 전체 교통 혼잡비용의 43.9%를 차지해 교통혼잡비용이 가장 큰 것으로 나타났다. 서울시 도시부도로 교통혼잡비용을 수단별로 살펴보면, 승용차 4조 6,090억 원, 버스 2조 9,463억 원, 화물차 8,591억 원으로 승용차의 비중이 가장 큰 것으로 분석되었다.

지난 10년간 서울시 도시부도로 교통혼잡비용의 추이를 살펴보면, 연평균 4.5%의 증가율로 매년 증가하는 것으로 나타났다.



[그림 2-3] 서울시 도시부도로 교통혼잡비용 추이

2) 도로사업 타당성 평가에 쾌적성을 편익으로 도입하는 것을 제안하기도

「교통시설 투자평가지침(도로부문) 개선방안 연구」⁶⁾에서는 도로부문 사업의 타당성 평가 시 운전쾌적성 편익을 도입할 것을 제안하고 있다. 도로의 서비스수준이 높아짐에 따라 운전자들이 느끼는 운전의 편리성 및 쾌적성은 분명히 향상될 것이고 운전의 피로도는 감소할 것이기 때문이다.

이에 도로의 운전쾌적성에 영향을 미치는 요인을 차간거리(밀도), 차로폭, 길어깨로 보고, 지역간도로와 도시부도로를 구분하여 운전쾌적성 가치 및 편익 산정 방법론을 제시하였다.

6) 국토연구원한국교통연구원, 2011, 「교통시설 투자평가지침(도로부문) 개선방안 연구」

차간거리 변화, 차로폭 변화, 길어깨 설치에 대한 지불의사액을 추정하기 위해 CVM(Contingent Valuation Method, 조건부가치추정법) 기법을 적용하여 설문조사를 실시하였고, 차간거리, 차로폭, 길어깨 개선에 대한 쾌적성 가치를 추정하였다. 대표적으로 차간거리(밀도) 변화에 대한 쾌적성 편익은 다음과 같이 산정한다.

$$\langle \text{식 2-4} \rangle \quad VOC_{gap} = \left\{ \sum_l (GW_l \times L_l \times V_l)_{\text{시행 전}} - (GW_l \times L_l \times V_l)_{\text{시행 후}} \right\} \times 365$$

$$GW_l^{\text{도시부도로}} = (-0.933418813 + 0.006600178 \times (gap_l)_{\text{시행 전}}) \times (161 - (gap_l)_{\text{시행 후}})$$

$$GW_l^{\text{지역간도로}} = (-0.1401846 + 0.00077344 \times (gap_l)_{\text{시행 전}}) \times (161 - (gap_l)_{\text{시행 후}})$$

여기서, VOC_{gap} : 차간거리 증가에 대한 연간 쾌적성 편익 (원)

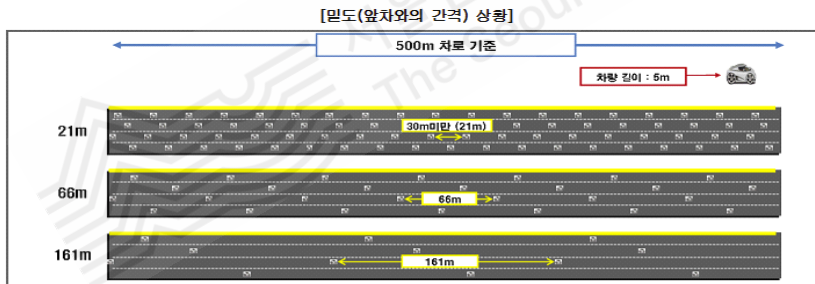
GW_l : 링크 l 의 차간거리에 대한 지불의사액 원단위 (원/km)

L_l : 링크 l 의 길이 (km)

V_l : 링크 l 의 교통량 (대/일)

gap_l : 링크 l 의 사업시행 전 또는 후의 차간거리

(161m 이상은 161m로 적용, 161m는 서비스수준 A의 차간거리)



[1차로인 경우] [서울-부산] 구간 ⇨ 승용차 동행비용: 65,000원 ⇨ 동행거리: 390km ⇨ 동행시간: 240분

[제시금액] ⇨ 제시금액은 수준2~수준6을 로테이션시켜 제시할 것

수준1	수준2	수준3	수준4	수준5	수준6	수준7
400	1,200	2,000	2,800	3,600	4,400	5,200

[상황1]

[편도 1차로도로]

앞차와의 간격이

21m → 66m

(45m넓어짐)

로 개선되면서

도로상황이

양호해짐

[문1] 편도 1차로에서 앞차와의 간격이 21m에서 66m로 개선하여 혼잡도를 완화시키려면 이에 따른 추가 요금이 지불되어야 합니다. 얼마의 요금을 지불하시겠습니까? _____원

[문1-1] 만약, 혼잡도를 완화시키고 운전의 쾌적성을 높이기 위한 방안으로 추가적인 요금 _____ 원 을 지불해야 한다면, 귀하께서는 지불할 의사가 있으십니까?

① 있다 ⇨ **문1-2로 이동** ② 없다 ⇨ **문1-3로 이동**

[문1-2] 만일 앞(문1-1)의 요금보다 높은 _____ 원이 인상된다면, 지불할 의사가 있습니까?

① 있다 ② 없다

[문1-3] 만일 앞(문1-1)의 요금보다 낮은 _____ 원이 인하된다면, 지불할 의사가 있습니까?

① 있다 ② 없다

[그림 2-4] 차간거리 변화에 대한 설문조사 예(LOS A, C, E 간 변화에 대한 가상시나리오 제시)

3) 철도부문도 차내 혼잡 개선을 편익으로 고려할 것을 제안

「교통복지를 고려한 철도사업의 타당성 평가방안 연구」⁷⁾에서는 철도사업의 타당성 평가 시 편익 항목으로 산정해왔던 통행시간, 운행비용, 사고비용, 환경비용 감소 편익 외에도 교통복지를 고려하여 철도 이용자가 편익으로 체감하는 항목들을 추가로 고려할 것을 제안하고 있다.

교통복지 측면에서 차내 혼잡 감소, 주차비용 절감, 접근성, 정시성, 교통약자시설 이용 편익 등을 고려해야 하며, 우선적으로는 차내 혼잡 감소 편익 추가 및 주차비용 절감 편익 개선을 통해 철도사업의 경제적 타당성을 제고할 것을 제안하였다. 이 중에서 지하철 차내 혼잡 감소 편익 산정 방안은 다음과 같으며, 차내 혼잡도에 따른 지하철 이용자의 추가 인지통행시간을 고려하여 산정한다.

$$\langle \text{식 2-5} \rangle \quad VOAS = VOA_{\text{미시행}} - VOA_{\text{시행}}$$

$$VOA = \sum_i (T_i \times A_i \times Trip_i \times VOT \times 365)$$

여기서, $VOAS$: 차내 혼잡 감소 편익

T_i : 링크 i 의 통행시간

A_i : 링크 i 의 혼잡도에 따른 인지통행시간 배수

$Trip_i$: 링크 i 의 첨두 통행량

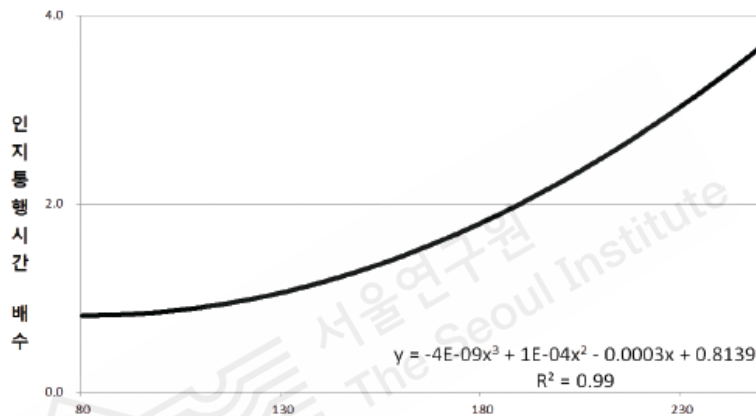
VOT : 철도이용자 시간가치(5,390원/시)

차내 혼잡도에 따른 지하철 이용자의 추가 인지통행시간 산출방법은 다음과 같다.

- 우선 인지통행시간 배수란 차량이 혼잡함에 따라 이용자는 실제통행시간보다 더 소요 되는 것으로 인지하고, 이 인지되는 시간이 실제 통행시간에 몇 배로 나타나는지를 산출하는 것이다. 이 연구에서 인지통행시간 배수는 Douglas(2006)가 제시한 기준에 근거하여 산출하였다.

⁷⁾ 경기개발연구원, 2012, 「교통복지를 고려한 철도사업의 타당성 평가방안 연구」

- 혼잡도 160% 이상에서는 인지통행시간 배수가 일정하다고 가정하였는데, 이 분석에서는 국내 수도권 철도 혼잡도 현황을 고려하여 혼잡도 250%까지 추정하여 적용하였다 (혼잡도 80%~160%를 추세 분석, 혼잡도 80% 이하에서는 혼잡에 따른 추가 통행 시간은 없는 것으로 설정).
- 예를 들어 차내 혼잡도에 따른 인지통행시간 배수기준에 따르면([그림 2-5]), 매우 혼잡한 (혼잡도 190% 수준) 지하철 차내에서 10분 탑승하여 이동했다면 통행자는 통행시간에 2배(배수)를 더 체감한다는 것이다.



[그림 2-5] 혼잡도에 따른 인지통행시간 배수

3_해외 관련 연구

1) 해외에서는 지하철 혼잡가치를 추정한 다수의 연구가 진행돼

「Twenty years of rail crowding valuation studies : evidence and lessons from British experience(영국)」⁸⁾는 영국에서 지난 20년 동안 수행된 지하철 혼잡가치 평가와 관련된 17개 연구를 집대성하여, 혼잡가치에 대한 시사점을 제시하고 있다.

⁸⁾ Mark Wardman and Gerard Whelan, 2010, Twenty years of rail crowding valuation studies : evidence and lessons from British experience

영국에서는 철도운영기관, DfT(Department for Transport, 교통국), 지자체 등이 SP(Stated Preference, 진술선호) 조사방법론을 사용하여 철도통행에 영향을 미치는 다양한 특성들을 조사하고 있다. 특히 차내 혼잡도 수준에 따른 입석·좌석 승객의 반응 및 가치 평가에 대한 다수의 연구가 진행되었다.

- 1970년대 SP 조사방법이 개발되어 특정시장, 선택대안, 대안별 특성 및 수준 등에 대한 손쉬운 조사가 가능하게 되었고, 영국의 철도산업은 SP 조사방법을 전략적 경영 계획 수립, 요금체계 결정, 투자평가, 수요추정 및 운영계획 수립 등에 사용하게 되었다.
- 대표적으로 British Rail은 수요, 고용, GDP, 요금, 서비스수준에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 RP(Revealed Preference, 현시선호) 조사방법을 이용하였다. 특히 서비스와 관련된 차량 개선, 서비스 신뢰도, 혼잡도 수준에 대한 검토도 진행되었다. 그러나 혼잡도는 실제 상황에서 항상 비슷한 수준을 유지하였기 때문에 RP 조사방법을 이용하여 분석하기에는 분명한 한계가 있었다. 따라서 마케팅 분야에서 많이 사용되던 SP 조사방법이 혼잡도 분석에 사용되었다.

혼잡상황에서 소비된 시간에 대한 가치는 개인적인 선호의 문제로, 교통계획에서 적용하고 있는 보행시간 또는 대기시간에 적용되는 가중치계수(penalty multiplier)와 유사한 개념을 정의하였다. 이와 관련된 의견이나 주장을 정리하면 다음과 같다.

- 일반적으로 보행시간은 차내시간의 2배에 상당한다고 알려져 있어, 혼잡한 차량에 탑승하여 경험하는 불편함이나 육체적인 피로를 고려할 때 보행시간과 동일한 계수를 사용하는 것은 적절하지 않다.
- TfL(Transport for London, 런던교통공사)은 계단을 올라가거나 에스컬레이터를 이용하는 수직이동에 대하여 차내시간의 4배에 해당하는 페널티를 적용하고 있다.
- 차내 입석의 경우 좌석에 착석한 경우보다 2배의 에너지를 소비하는 것으로 알려져 있다. 그러나 차내에 여유좌석이 있더라도 사생활 침해 등의 이유로 인하여 모든 승객이 착석하지는 않아 입석에 대한 개인의 선호에는 큰 차이가 있을 수 있다.

영국에서 지하철/철도 차내 혼잡도에 대하여 이용객이 그 가치를 어떻게 평가하는지를 1987년부터 2008년까지 조사한 연구의 주요결과는 다음과 같다.

- 1987년 런던과 리즈 사이를 운행하는 지역 간 철도에서 착석과 입석 가치에 대한 최초의 SP 조사가 수행되었으나, 구체적으로 가중치 계수를 제시하지는 못하였다.
- LT Marketing(1989)은 RP 자료를 이용하여 런던 지하철에서 이용자가 혼잡한 열차를 선택하는 경우와 비혼잡한 열차에 탑승하기 위해 대기하는 경우로 구분된 424개 샘플을 조사하여, 이용자가 체감하는 혼잡의 가치를 차내시간에 대한 가중치로 제시하였다.

[표 2-5] 런던지하철 혼잡수준에 대한 가중치 계수(LT Marketing, 1989년)

혼잡도	차내 입석의 경우	차내 착석의 경우
70% 미만	1.4	1.0
70% 이상 ~ 100% 미만	2.0	1.2
100% 이상	2.7	1.3

자료 : London Underground Limited, 1989, Research into crowding penalties for LUL and LRT

- TPA(1993)는 수단선택 연구의 일환으로 지하철 혼잡도에 대한 가치를 추정하였다. 기존에 승용차를 이용하던 승객의 경우 3.27, 반면 통상적으로 지하철만 이용하는 승객은 2.77을 가중치로 제시하였다. 첨두시 혼잡한 지하철 통행에 익숙하지 않은 승용차를 이용하던 승객의 경우 혼잡의 가치를 약 20% 이상 더 높게 체감하는 것으로 나타났다.
- Accent Marketing and Research and Hague Consulting Group(1997, 1999)은 혼잡가치의 측정에 있어서 부하요인(load factor)의 개념을 도입하였다. 부하요인은 탑승승객을 좌석 수로 나누어 혼잡 수준을 표현한다. 특히 지하철 통행의 질(quality)에 영향을 미치는 임계값으로 60%를 제시하였는데, 60%는 모든 승객이 좌석에 착석한 상황으로 매우 낮은 혼잡도에서도 대중교통을 이용하는 이용자는 타인의 존재로 인하여 불편을 체감한다고 해석될 수 있다.
- Accent(2006)는 런던의 광역철도에서, 통근·여가 목적통행의 혼잡 및 비혼잡 상황에 대한 가치를 측정하였다. 비혼잡 착석 시 1.00에서 혼잡 입석 상황의 2.14까지 다양한 차내 상황에 대한 가중치 계수를 제시하였다.

[표 2-6] 런던광역철도 혼잡수준에 대한 가중치 계수(Accent, 2006년)

상황	가중치 계수	상황	가중치 계수
비혼잡, 착석	1.00	비혼잡, 입석	1.55
혼잡, 간이착석	1.08	혼잡, 입석	2.14

자료 : Accent, 2006, Rail customer valuations of sitting, standing, and crowding

- MVA Consultancy(2008)의 연구에서는 단순히 부하요인을 제시하거나 혼잡상황에 대한 기술만으로는 정확한 이용자 조사가 어렵다는 단점을 극복하기 위하여 단위면적당 수송인원을 사용하였다. 혼잡수준을 좀 더 쉽게 이해하고 직관적으로 판단할 수 있도록 $0\sim 6\text{인}/\text{m}^2$ 로 구분하여, 업무/비업무, 여가, 광역통행에 대한 가중치 계수를 산정하였다.
- 혼잡도가 존재하지 않는 경우에도 차내 입석의 경우 1.5~1.9 수준의 가중치를, 착석하여 통행하는 경우에도 혼잡도에 영향을 받아 1.3~1.5 수준의 가중치를 보임
- $3\text{인}/\text{m}^2$ (혼잡도 100%)이 승차한 경우 착석 승객은 1.3, 입석 승객은 1.7~2.0의 가중치를 가지나, $6\text{인}/\text{m}^2$ (혼잡도 200%)의 경우에도 가중치 계수는 크게 증가하지 않음
- 업무통행의 가중치가 가장 높게 나타났으며, 비업무 통행보다는 여가통행의 가중치가 높음(여가통행자들이 쾌적하지 못한 여건에 더 민감하게 반응하기 때문)
- 긴 통행시간에도 불구하고 광역통행 가중치는 업무 및 비업무 통행과 큰 차이가 나지 않음

[표 2-7] 런던지하철 혼잡수준에 대한 가중치 계수(MVA Consultancy, 2008년)

단위면적당 재차인원 (인/ m^2)	비업무통행		업무통행		여가		광역통행	
	착석	입석	착석	입석	착석	입석	착석	입석
0	1.00	1.48	1.00	1.91	1.00	1.43	1.00	1.77
1	1.10	1.58	1.13	1.95	1.09	1.56	1.11	1.81
2	1.21	1.68	1.27	1.99	1.18	1.69	1.23	1.85
3	1.31	1.77	1.40	2.03	1.27	1.82	1.34	1.89
4	1.41	1.87	1.54	2.08	1.36	1.95	1.46	1.92
5	1.52	1.97	1.67	2.12	1.45	2.08	1.57	1.96
6	1.62	2.06	1.81	2.16	1.54	2.21	1.69	2.00

자료 : MVA Consultancy, 2008, Valuation of overcrowding on rail service

영국에서 진행된 대부분의 연구에서 실제 혼잡상황이 피조사자에게 정확히 전달될 수 있는지에 대한 의문은 항시 제기되어 왔다. “좁은 곳에 쭈서 넣어진 상태(crush condition)”와 같은 용어보다는 차량 내에 승차한 승객의 수 또는 단위면적당 통로에 위치한 승객 수와 같은 구체적이며 계량화된 상황을 제시하는 방향으로 조사방법이 변화되어 왔다.

또한 이 연구에서는 혼잡가치 평가에서 몇 가지 고려되어야 할 요소들을 제시하고 있다.

- 첫째, 혼잡수준과 무관하게 이용자는 입석 상황을 원하지 않기 때문에 조사결과에는 혼잡에 대한 평가뿐 아니라 착석과 입석에 대한 선호경향이 포함될 수 있다.
- 둘째, 주어진 혼잡상황하에서 통행시간이 길어지면 육체적인 부담이 늘어날 수밖에 없으므로 한계가치는 증가하는 경향을 가진다. 즉 한계가치는 일정하기보다는 총 통행시간에 따라 변화하는 비선형 관계를 가지게 된다.
- 셋째, 한계가치뿐 아니라 혼잡수준에 따른 가치도 비선형적 관계를 가질 수 있으나, 조사에서는 선형 및 비선형 관계의 격차가 크지 않은 것으로 나타났다.

「UK DfT rail passenger demand forecasting study(영국)」⁹⁾는 철도수요 예측에 있어 하나의 고려사항으로 차내 혼잡에 대한 페널티를 측정하고 이를 화폐 가치화하여 반영하는 방법을 기술하고 있다.

연구에서는 통행목적(여가, 업무, 통근)과 혼잡도 측정방식에 따라 가중치를 제시하고 있는데, 기존 연구들보다 혼잡에 대한 영향을 크게 평가하고 있다. 특히, 철도이용수요 예측에 있어서 불합리하게 높은 혼잡도를 가진 링크가 생기지 않도록 높은 혼잡 페널티를 제시하고 있다.

그 외 혼잡도 측정, 혼잡수준에 따른 행태 등과 관련하여 다음과 같은 사항을 제시하고 있다.

⁹⁾ Association for European Transport and Contributors, 2007, UK DfT rail passenger demand forecasting study

- PDFH(Passenger Demand Forecasting Handbook)에서 제시하고 있는 페널티는 부하요인을 기준으로 하고 있으나, 전동차의 규모 및 디자인에 따라 부하요소가 달라질 수 있음을 언급하고 있다.
- 영국에서는 $3\text{인}/m^2$ 이상의 혼잡수준에서는 도착열차에 탑승하지 않고 다음 열차를 기다리는 승객을 쉽게 발견할 수 있다. 특히 런던의 경우 영국의 다른 도시들보다 오전 첨두시간이 상대적으로 길게 나타나는데, 이는 런던 지하철의 높은 부하요인 때문일 수 있다.
- 일반열차와 급행열차를 선택할 수 있는 철도역을 대상으로, 완행/착석의 경우와 급행/입석에 대한 이용자 선택을 비교하였다. 대부분이 입석이 불가피한 급행을 선택하였으며, 급행과 완행의 통행시간 차이를 입석의 최대가치로 평가하였다.

「Valuation of urban rail service : experiences from Tokyo(일본)」¹⁰⁾는 일본정부가 철도부문의 경제적 타당성 평가를 위해 사용하고 있는 지침에 포함된 철도사업의 종류, 사업별 경제적 타당성의 평가 이론, 편익의 종류, 민감도 분석 등을 기술하고 있다.

철도서비스를 평가하는 주요항목으로는 차내시간과 환승저항뿐 아니라 전동차 내부 혼잡도를 사용하고 있으며, 열차의 혼잡도(대칭적 개념의 쾌적성)는 다음과 같은 식으로 표현되고 있다.

$$\langle \text{식 2-6} \rangle \quad w_{\in \text{vehicle}} \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} T_{\in \text{vehicle}, k, ij, pq} f(x_{pq}, CA_{pq})$$

여기서, $w_{\in \text{vehicle}}$: 차내시간 가치

$\delta_{k,ij,pq}$: 존 $i \rightarrow j$ 의 철도노선 k 에 링크 $p \rightarrow q$ 가 포함 시 0, 그렇지 않으면 1

$T_{\in \text{vehicle}, k, ij, pq}$: 차내시간

$f(x_{pq}, CA_{pq})$: 차내 혼잡도 함수

x_{pq} : 승객 수

CA_{pq} : 용량

¹⁰⁾ Hironori Kato, 2014, Valuation of urban rail service : experiences from Tokyo

여기서 차내 혼잡도 함수 $f(\cdot)$ 는 다음 [표 2-8]과 같이 표현되고 있다.

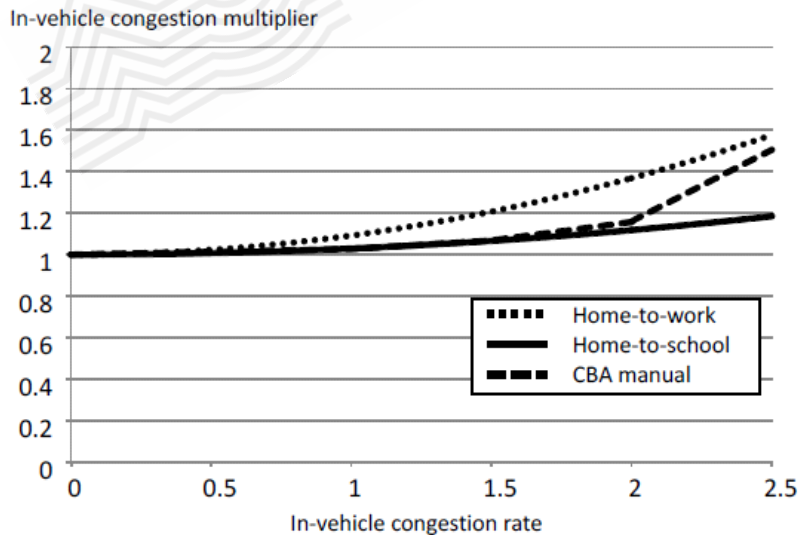
- 예를 들어 혼잡도 175%에서 $f(\cdot)$ 의 값은 0.11로, 가중치 계수(또는 페널티)는 통행 시간의 1.11배에 불과하다. 혼잡도가 250%로 증가할 경우 $f(\cdot)$ 는 0.50, 따라서 가중치 계수는 1.50이 된다. 앞에서 검토된 영국과 달리, 일본의 경우 매우 보수적으로 혼잡의 가치를 적용하고 있음을 알 수 있다.

[표 2-8] 일본 CBA Manual에 사용되는 혼잡도 함수

혼잡수준	차내 혼잡도 함수
100% 미만	$f=0.0270R$
100% 이상 ~ 150% 미만	$f=0.0828R-0.0558$
150% 이상 ~ 200% 미만	$f=0.179R-0.200$
200% 이상 ~ 250% 미만	$f=0.690R-1.22$
250% 이상	$f=1.15R-2.37$

주 : 1) CBA Manual : Cost Benefit Analysis Manual, 비용편익분석 매뉴얼

2) $R = x_{pg}/CA_{pq}$, 차내혼잡도



[그림 2-6] 일본 CBA Manual의 혼잡수준별 가중치

「Valuation of sitting and standing in metro trains using revealed preferences (싱가포르)」¹¹⁾에서는 싱가포르 메트로 이용객의 행태에 대한 RP(Revealed Preference, 현시선택) 자료를 활용하여 착석과 입석에 대한 가치를 평가하였다.

- 지하철 차량이나 역사의 혼잡도가 증가하면 비효용(disutility)이 발생하는 것으로 알려져 있고, 많은 연구에서 SP(Stated Preference, 진술선택) 자료를 이용하여 비효용을 추정하고 있다. 이는 시간대별, 혼잡수준별로 신뢰할 만한 이용객의 행태자료가 부족하기 때문이며 어쩔 수 없이 설문조사 자료에 의존하고 있는 것이다.
- 반면, 이 연구는 좌석을 확보하기 위하여 역방향(backward)으로 이동하는 이용객에 대해 추가적으로 소요되는 통행시간과 좌석을 확보함으로써 얻게 되는 편의성을 비교하였는데, 이 역방향으로 이동하는 행태를 싱가포르 메트로에서 수집된 카드자료를 이용하여 확인하였다.

이 카드자료를 통해 메트로 노선의 사·종점에 근접한 역에서는 여유좌석을 확보하기 위해 역방향으로 이동하는 것을 관찰할 수 있었다.

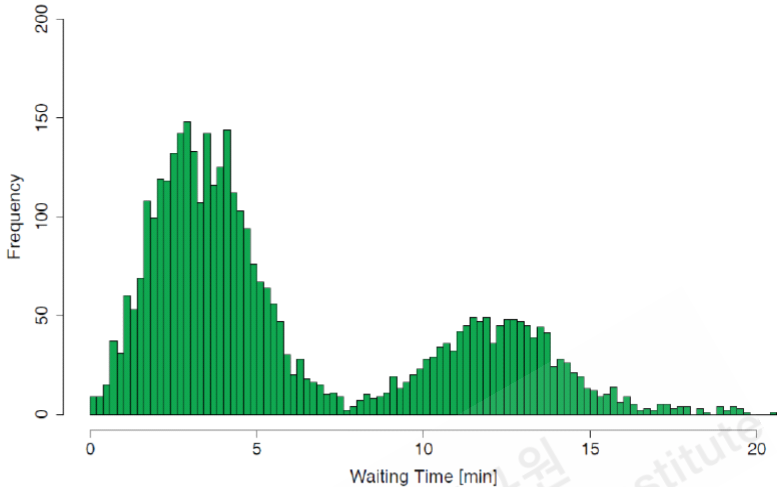
- 이는 [그림 2-7]과 같이 전동차를 기다리는 시간이 쌍봉형태(직접이동, 역방향 이동 후 좌석확보)를 가지는 것으로부터 확인할 수 있었고, 사·종점에 근접한 역에서 출발하는 통행의 29%가 역방향으로 이동하는 것으로 분석되었다.

그리고 이산선택모형(discrete choice model)을 이용하여 역방향으로 이동하여 좌석을 확보한 이용자와 혼잡한 열차에 직접 승차한 이용자의 행태를 분석하였다.

- 전동차 내부의 혼잡도를 고려하지 않은 선택모형은 1.18~1.24 사이의 입석 가중치를 보였다. 이는 영국보다 낮고 프랑스보다 높은 수준이다.
- 전동차의 내부 혼잡도를 고려한 선택모형은 $3\text{인}/m^2$ 의 혼잡도에서 입석 가중치가 1.55로, 영국과 유사하게 나타났다.

¹¹⁾ Alejandro Tirachini, Valuation of sitting and standing in metro trains using revealed preferences

이러한 연구 결과를 바탕으로 정책결정 과정에서 승객혼잡도가 고려되지 않는다면, 혼잡도를 낮추기 위한 용량증대 사업에 대한 과소투자나 집중되는 이용객 분산을 위한 정보 제공이나 요금정책에 대한 저평가가 이루어질 수 있음을 언급하였다.



[그림 2-7] 싱가포르 Tampines역에서의 지하철 대기시간 분포

2) 프랑스 파리에서는 지하철 혼잡비용을 추정한 연구사례도 있어

「Public transport congestion costs : the case of the Paris subway(프랑스)」¹²⁾에서는 파리 지하철을 대상으로 하여, 혼잡비용곡선(congestion cost curve)을 도출하고 이용객 증가에 따른 지하철 혼잡비용을 추정하였다. 단, 지하철 구간별 혼잡도를 사용하지 않고 전체 지하철 이용수요에 지불의사액을 곱하여 혼잡비용을 산출하고 있다.

파리 지하철은 1~14호선으로 구성된 연장 220km의 도시철도 시스템으로, 짧은 역간거리를 가지고 있어 파리지 내부의 접근성이 매우 우수하다. 파리 지하철은 연장의 81%, 역사의 86%가 파리지 내부에 위치해 파리지 대중교통 통행의 약 80%를 처리하고 있고 파리 지하철의 일일 이용객은 400만 명 수준이다.

¹²⁾ Prud'homme, Koning, Lenormand, and Fehr, 2012, Public transport congestion costs : the case of the Paris subway, Transport Policy 21

2002~2007년 기간 동안 파리 지하철의 이용객은 약 8% 증가하였으며, 이로 인하여 약 75M€(약 1,030억 원)의 혼잡비용이 추가적으로 발생한 것으로 추정하였다. 반면 매년 파리의 전체 지하철에서 발생하는 혼잡비용은 약 926M€ (약 1조 2,700억 원)으로 추정하고 있다.

파리 지하철 1호선을 대상으로 하여 오전 첨두시에 이용객 설문조사가 진행되었고, 혼잡을 회피하기 위한 지불의사액은 통행당 1.4€로 조사되었다. 2007년 RATP(파리교통공사)의 자료에 따르면, 각종 할인을 고려할 경우 파리 시민들이 지하철을 이용하면서 지불하는 요금은 통행당 0.5€에 불과하다. 따라서 파리 시민들이 체감하고 있는 지하철 혼잡가치는 실제로 지불하는 요금의 약 3배 수준으로 매우 높게 조사되었다.

연구에서는 혼잡도와 지불의사액의 관계를 $WTP(€/trip) = 0.68 \times density(person/m^2)$ 로 추정하고 있다.

- 즉, 단위면적($1m^2$)을 1인이 점유하는 경우 0.68€(약 940원), 2인이 점유하는 경우 1.36€(약 1,880원)로, 밀도가 증가함에 따라 혼잡의 가치가 더 높아진다고 제시하고 있다.
- 서울시 지하철에서 오전 첨두시에 일반적으로 경험하게 되는 혼잡도 수준인 150%를 가정할 경우(즉, 단위면적($1m^2$)에 4.5인이 존재하는 경우), 혼잡의 가치는 3.06€(약 4,220원)로, 체감수준이 우리나라의 상황과는 상당한 격차가 있음을 알 수 있다.

또한, 단순히 지하철 혼잡비용을 산정하는 데 그치지 않고 의사결정에 활용될 수 있는 사례를 제시하고 있다. 예를 들어 대규모 재원이 소요되는 지하철 사업을 평가함에 있어, 신규 사업으로 지하철의 용량이 6% 증가된다면 기존 지하철의 혼잡비용 감소만으로도 100M€(약 1조 3,800억 원) 수준의 사업이 추진될 수 있음을 제시하고 있다.

03

서울시 지하철 혼잡도 현황

- 1_지하철 운영 현황
- 2_지하철 혼잡도 현황
- 3_지하철 열차지연 현황
- 4_지하철 서비스 평가 만족도

03 | 서울시 지하철 혼잡도 현황

1_지하철 운영 현황

1) 서울시는 도시철도 9개 노선이 운영 중

현재 서울시에에는 도시철도 9개 노선(1~9호선, 연장 327.1km)과 광역철도 9개 노선(서울시계 내 9개 노선, 연장 111.1km)이 운영되고 있다.

- 1974년 지하철 1호선의 개통을 시작으로 1980년대에 서울시 1기 지하철인 1~4호선(2014년 현재 연장 137.9km)이 신설되었다. 그 후 1990년대에 서울시 2기 지하철인 5~8호선(2014년 현재 연장 162.2km)이 신설되어 서울시 도시철도망이 강화되었다. 2009년에는 서울시 3기 지하철 과거 계획 노선의 하나였던 9호선(2014년 현재 연장 27.0km)이 개통되어 현재의 서울시 도시철도망을 형성하고 있다.
- 서울시계 내에는 9개 노선(경부선, 경인선, 경원선, 중앙선, 분당선, 경의선, 경춘선, 공항철도, 신분당선)의 광역철도가 구축되어 운영 중이며, 수도권 전체로 볼 때 총 13개 노선(서울시계 내 9개 노선 외 안산과천선, 일산선, 수인선, 인천1호선)(총연장 628.0km)의 광역철도가 운영되고 있다.

운영기관별로 살펴보면, 서울메트로·서울도시철도공사·서울9호선운영(주)가 서울시내 통행을 서비스하는 도시철도 운영을 담당하고 있으며, 코레일·코레일공항철도(주)·네오트랜스(주)·인천교통공사가 수도권 내 광역 통행을 서비스하는 광역철도 운영을 담당하고 있다.

그리고 수도권 광역철도의 일부 노선 구간에서 급행 서비스(skip & stop 방식 적용)를 운영하고 있으며, 도시철도에서는 9호선이 급행 서비스를 도입하여 운영 중이다.

[표 3-1] 수도권 지하철 운영 현황

운영기관	노선	연장 (km)	역 수 (개소)	소요시간 (분)	편성당 차량 수	운행 횟수	배차간격(분)		표정속도 (km/h)
							RH (출근)	NH (평시)	
서울메트로	1호선	7.8	10	16	10	517	3.0	5.0	29.3
	2호선	60.2	50	87	10	998	2.5	6.0	33.7
	3호선	38.2	34	67.5	10	410	3.0	6.5	34.0
	4호선	31.7	26	53	10	498	2.5	5.5	35.9
서울도시철도 공사	5호선	52.3	51	86	8	465	2.5	6.0	32.6
	6호선	35.1	38	70	8	356	3.5~4.0	8.0	30.4
	7호선	57.1	51	104.5	8	421	2.5~3.0	6.0~12.0	33.6
	8호선	17.7	17	31.5	6	306	4.5	8.0	33.7
서울9호선 운영(주)	9호선	27.0	25	일반 54 급행 30	4	540	6.7	일반 6.5 급행 13.0	일반 30.0 급행 46.8
코레일	경부선 (장항선)	122.9	45	140	4~10	397	6.0	7.7	일반 49.7 급행 68.2
	경인선	27.0	20	46.5	10	471	2.9	5.8	일반 34.8 급행 51.9
	경원선	42.9	24	66	10	27	4.3	5.7	일반 39.0 급행 56.6
	중앙선	71.2	26	89	6~8	193	7.5	13.2	일반 48.0 급행 58.6
	과천안산선	40.4	21	58.5	10	275	6.3	8.9	일반 41.4 급행 61.6
	분당선	52.9	34	85.5	6	352	4.6	7.6	37.1
	일산선	19.2	10	27.5	10	268	5.5	8.9	41.9
	경의선	52.5	21	60	4~8	184	12.0	14.6	일반 46.3 급행 61.7
	수인선	13.0	8	21	6	163	10.0	15.0	37.1
	경춘선	전철 81.3 ITX 98.0	19 28	81 69	8 8	117 44	15.0 30.0	23.5 60.0	61.7 85.2
코레일 공항철도(주)	공항철도	58.0	10	일반 53 직통 43	6	214	일반 6.0 직통 30.0	일반 6.0 직통 30.0	80.0
네오트랜스(주)	신분당선	17.3	6	16	6	332	5.0	6.0~8.0	64.9
인천교통공사	인천1호선	29.4	29	54	8	312	4.5~6.0	8.5	32.6

주 : 2014년 2월 평일 기준

자료 : 서울도시철도공사, 2014, 「2014년 서울도시철도 수송계획」

2) 현재 지하철 수단분담률이 가장 높고, 이용량이 증가 추세

서울시 교통수단별 분담률을 살펴보면, 2012년 기준으로 지하철이 38.2%로 가장 높고, 버스 27.4%, 승용차 23.1% 순으로 높다. 승용차와 버스 통행량 및 분담률은 점차 감소하나, 지하철 통행량 및 분담률은 증가 추세인 것으로 나타났다.

[표 3-2] 서울시 교통수단별 통행량 및 분담률

(단위 : 천 통행/일, %)

구분		승용차	버스	지하철	택시	기타	계
2009년	통행량	8,262	8,884	11,238	1,981	1,583	31,948
	분담률	25.9	27.8	35.2	6.2	4.9	100.0
2010년	통행량	7,502	8,746	11,289	2,236	1,382	31,155
	분담률	24.1	28.1	36.2	7.2	4.4	100.0
2011년	통행량	7,509	8,913	11,840	2,232	1,391	31,885
	분담률	23.5	28.0	37.1	7.0	4.4	100.0
2012년	통행량	7,442	8,798	12,275	2,226	1,409	32,150
	분담률	23.1	27.4	38.2	6.9	4.4	100.0

주 : '기타'는 도보/자전거를 제외한 오토바이, 화물차, 특수차 등

자료 : 서울통계(stat.seoul.go.kr)

지난 5년간 서울시 지하철 수송인원은 지하철 통행량과 함께 매년 증가 추세이다(연평균 3.4% 증가). 노선별로 살펴보면, 모든 호선의 수송인원이 매년 증가하고 있으며, 특히 2009년 개통한 9호선의 수송인원 증가가 두드러진다.

[표 3-3] 서울시 지하철 노선별 수송인원

(단위 : 천 인/일, %)

구분	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선	9호선	계
2009년	449	2,006	705	814	801	452	829	226	-	6,282
2010년	450	2,005	755	832	812	487	864	231	266	6,703
2011년	466	2,048	775	846	826	501	901	236	300	6,899
2012년	458	2,057	782	839	839	515	908	239	341	6,978
2013년	461	2,080	794	840	848	527	1,018	240	369	7,177
연평균 증감률	0.7	0.9	3.0	0.8	1.4	3.9	5.3	1.6	11.5	3.4

자료 : 서울메트로, 서울도시철도공사 각 년도 수송계획서

서울통계(stat.seoul.go.kr)

2_지하철 혼잡도 현황

1) 서울시 지하철 평균 혼잡도는 국토교통부 권고 기준인 150%를 상회

지하철 혼잡도는 객차 1량당 정원 대비 재차인원의 비율이며, 재차인원이 모두 좌석에 앉을 경우를 혼잡도 34%, 1량당 재차인원 약 160명을 혼잡도 100% 기준으로 하여 차내 혼잡도를 산정한다(2장 [표 2-3] 참고).

서울시 지하철 평균(1~8호선 평균) 혼잡도는 2013년에 158%로 국토교통부 권고 기준인 150%를 상회하고 있다. 지하철 혼잡도는 운영기관별로 2년 주기로 조사(정기조사)하여 발표하고 있으며, 2005년 평균 혼잡도 171%에서 조금씩 감소하여 2013년에 158%로 나타났다.

2) 9호선 급행열차와 2호선의 차내 혼잡도가 가장 높아

노선별로 살펴보면, 2013년 기준으로 9호선 급행열차의 차내 혼잡도가 238%로 가장 높았고 2호선 혼잡도도 202%로 매우 혼잡한 것을 확인할 수 있다. 그다음으로 7호선(172%), 4호선(169%), 5호선(154%) 순으로 혼잡도가 높게 나타났다.

급완행서비스를 제공하고 있는 9호선은 일반열차 혼잡도가 195%, 급행열차 혼잡도는 238%로, 이용자들의 급행서비스 선호로 일반열차 대비 급행열차의 혼잡도가 매우 높다.

[표 3-4] 서울시 지하철 노선별 혼잡도

(단위 : %)

구분	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선	9호선	평균
2005년	135	225	142	196	162	169	178	158	-	171
2007년	129	221	137	189	176	175	179	176	-	171
2009년	122	202	122	172	168	177	179	176	-	165
2011년	144	196	149	180	170	143	182	147	-	164
2013년	144	202	147	169	154	130	172	139	238	158

주 : 1) 발표되는 혼잡도는 노선별로 최대 혼잡시간대(2011, 2013년은 30분 단위)의 평균 혼잡도임
 2) 9호선 혼잡도는 최대 혼잡시간대 급행열차에 대한 목측 결과로(일반열차 최대 혼잡도는 195%), 전체 노선의 평균 혼잡도 산출 시 제외

자료 : 서울통계(stat.seoul.go.kr)

이렇게 운영기관별로 발표되고 있는 지하철 혼잡도는 지하철 노선별로 최대 혼잡시간대(30분 단위)와 최대 혼잡구간의 평균 혼잡도인데, 모든 노선에서 오전 첨두시에 가장 혼잡한 것으로 나타났다.

혼잡도가 200%를 초과하는 9호선과 2호선의 최대 혼잡구간을 살펴보면, 9호선은 염창→당산 구간(시간대 07:45~08:15, 혼잡도 238%, 급행열차 기준)이, 2호선은 사당→방배 구간(시간대 08:10~08:40, 혼잡도 202%)이 가장 혼잡하다.

[표 3-5] 서울시 지하철 노선별 최대 혼잡구간 혼잡도

구분	연도	구간	시간대	혼잡도
1호선	2011	동대문→종로5가	08:10~08:40	144%
	2013	청량리→제기동	08:20~08:50	144%
2호선	2011	사당→방배	08:20~08:50	196%
	2013	사당→방배	08:10~08:40	202%
3호선	2011	경복궁→안국	08:10~08:40	149%
	2013	무악재→독립문	08:10~08:40	147%
4호선	2011	한성대→혜화	08:00~08:30	180%
	2013	한성대→혜화	08:00~08:30	169%
5호선	2011	양평→영등포구청	08:00~08:30	170%
	2013	오목교→양평	08:00~08:30	154%
6호선	2011	망원→합정	08:00~08:30	143%
	2013	마포구청→망원	08:00~08:30	130%
7호선	2011	군자→어린이	08:00~08:30	182%
	2013	군자→어린이	08:00~08:30	172%
8호선	2011	몽촌토성→잠실	08:00~08:30	147%
	2013	강동구청→몽촌토성	08:00~08:30	139%
9호선	2011	-	-	-
	2013	염창→당산	07:45~08:15	238%

주 : 9호선 혼잡도는 급행열차의 혼잡도임

자료 : 서울메트로, 2014, 「2014년 서울메트로 수송계획」
 서울도시철도공사, 2014, 「2014년 서울도시철도 수송계획」
 서울시청 홈페이지 - 교통통계(traffic.seoul.go.kr)

3_지하철 열차지연 현황

침두시 지하철 혼잡에 따른 열차지연도 발생 중

앞서 서울시 지하철의 높은 혼잡도를 살펴봤는데, 이렇게 침두시에 혼잡도가 높으면 승하차 인원이 많아짐에 따라 역별 정차시간이 계획보다 길어지고 혼잡구간에 열차들이 몰리면서 서행 운행이 불가피해져 도착시간도 지연되게 된다.

실제로 혼잡도가 높은 2호선의 주요 역(외선방향 사당역, 내선방향 신천역) 운행실적에 따르면, 침두시 열차지연이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

- 2호선의 최대 혼잡구간인 외선방향 사당역의 경우, 오전침두시(08~09시 기준)에 열차들이 몰려 열차 도착시간이 계획 대비 평균 5분 22초 지연되었다.
- 역별 계획 정차시간은 30초이나, 침두시 승객이 몰려 승하차가 지연됨에 따라 정차시간이 평균 46초 지연되었다.
- 이렇게 열차가 지연 운행됨에 따라 열차 운행횟수가 계획보다 시간당 3대가 운행되지 못했고 운전시각이 증가하였다. 즉, 수송용량이 감소하면서 단위 편성이 수송해야 하는 승객이 늘어나게 되어 차내 혼잡도는 더 심화되는 악순환이 발생하고 있다.

[표 3-6] 지하철 2호선 오전침두시 열차지연 운행 사례

구분	평균 지연시간		열차 운행횟수 (회/시)		운전시각 (분/차량)	
	도착	정차	계획	실적	계획	실적
2호선 외선 사당역	5분 22초	46초	23	20	2.6	3.0
2호선 내선 신천역	3분 21초	12초	18	16	3.3	3.8

주 : 2011년 평일 운행실적, 출근시간대 오전 08~09시 기준

[표 3-7] 지하철 2호선(외선 사당역) 열차운행 계획 및 실적

순번	계획			실적			지연시간	
	도착	정차	출발	도착	정차	출발	도착	정차
1	08:01:30	30	08:02:00	08:03:38	89	08:05:07	0:02:08	59
2	08:04:00	30	08:04:30	08:06:36	72	08:07:48	0:02:36	42
3	08:07:00	30	08:07:30	08:08:54	81	08:10:15	0:01:54	51
4	08:09:00	30	08:09:30	08:12:59	81	08:14:20	0:03:59	51
5	08:11:30	30	08:12:00	08:15:25	71	08:16:36	0:03:55	41
6	08:14:00	30	08:14:30	08:17:43	85	08:19:08	0:03:43	55
7	08:16:30	30	08:17:00	08:21:03	77	08:22:20	0:04:33	47
8	08:19:00	30	08:19:30	08:23:26	76	08:24:42	0:04:26	46
9	08:21:30	30	08:22:00	08:26:11	81	08:27:32	0:04:41	51
10	08:24:00	30	08:24:30	08:28:36	88	08:30:04	0:04:36	58
11	08:26:30	30	08:27:00	08:31:10	82	08:32:32	0:04:40	52
12	08:29:00	30	08:29:30	08:34:10	72	08:35:22	0:05:10	42
13	08:31:30	30	08:32:00	08:36:46	78	08:38:04	0:05:16	48
14	08:34:00	30	08:34:30	08:39:11	66	08:40:17	0:05:11	36
15	08:36:30	30	08:37:00	08:41:22	69	08:42:31	0:04:52	39
16	08:39:00	30	08:39:30	08:46:17	89	08:47:46	0:07:17	59
17	08:42:00	30	08:42:30	08:43:52	62	08:44:54	0:01:52	32
18	08:44:00	30	08:44:30	08:49:58	65	08:51:03	0:05:58	35
19	08:46:30	30	08:47:00	08:57:46	67	08:58:53	0:11:16	37
20	08:50:00	30	08:50:30	08:53:18	61	08:54:19	0:03:18	31
21	08:53:00	30	08:53:30	09:01:32	79	09:02:51	0:08:32	49
22	08:56:00	30	08:56:30	09:06:58	95	09:08:33	0:10:58	65
23	08:59:00	30	08:59:30	09:11:30	66	09:12:36	0:12:30	36
평균	-	30	-	-	76	-	0:05:22	46

주 : 2011년 평일 운행실적, 출근시간대 오전 08~09시 기준

[표 3-8] 지하철 2호선(내선 신천역) 열차운행 계획 및 실적

순번	계획			실적			지연시간	
	도착	정차	출발	도착	정차	출발	도착	정차
1	08:00:50	30	8:01:20	08:03:36	34	08:04:10	0:02:46	4
2	08:04:20	30	8:04:50	08:05:36	34	08:06:10	0:01:16	4
3	08:07:50	30	8:08:20	08:14:44	38	08:15:22	0:06:54	8
4	08:11:50	30	8:12:20	08:16:51	37	08:17:28	0:05:01	7
5	08:16:20	30	8:16:50	08:18:38	34	08:19:12	0:02:18	4
6	08:19:50	30	8:20:20	08:21:08	33	08:21:41	0:01:18	3
7	08:22:50	30	8:23:20	08:23:18	44	08:24:02	0:00:28	14
8	08:25:50	30	8:26:20	08:26:49	40	08:27:29	0:00:59	10
9	08:28:50	30	8:29:20	08:30:46	47	08:31:33	0:01:56	17
10	08:31:50	30	8:32:20	08:36:13	40	08:36:53	0:04:23	10
11	08:34:50	30	8:35:20	08:39:12	45	08:39:57	0:04:22	15
12	08:37:50	30	8:38:20	08:41:17	34	08:41:51	0:03:27	4
13	08:42:00	30	8:42:30	08:43:48	39	08:44:27	0:01:48	9
14	08:46:00	30	8:46:30	08:48:51	43	08:49:34	0:02:51	13
15	08:50:20	30	8:50:50	08:56:02	39	08:56:41	0:05:42	9
16	08:53:50	30	8:54:20	08:59:40	41	09:00:21	0:05:50	11
17	08:56:50	30	8:57:20	09:01:49	39	09:02:28	0:04:59	9
18	08:59:50	30	9:00:20	09:03:48	109	09:05:37	0:03:58	79
평균	-	30	-	-	43	-	0:03:21	13

주 : 2011년 평일 운행실적, 출근시간대 오전 08~09시 기준

이러한 현상은 2호선에서만 발생하는 것이 아니며, 첨두시간대에는 서울시 대부분의 지하철 역에서 발생하고 있는 현상이다. 첨두시 열차지연을 최소화하기 위해서는 운전시격을 축소해야 하지만 시스템상의 문제 등으로 운전시격 축소가 어려운 실정이다.

- 일반적으로 구형 시스템인 ATS는 2.5분 운전시격을 구현할 수 있고 ATP/ATO 시스템은 2.0분을 구현할 수 있으나, 시스템 개량에 많은 비용이 소요되어 단기간에 개량하는 것은 불가능하다.
- 또한 2호선 역시 ATS에서 ATO로 시스템을 개량하고 있지만, 신호시스템은 ATO로 개량이 된 반면 ATO 차량이 부족하여 ATS 차량과 병행하여 운영하고 있어 운전시격 축소에 어려움을 겪고 있다.

4_지하철 서비스 평가 만족도

서울 지하철 운영기관의 전체 서비스 평가는 좋으나 혼잡도에서는 낮은 평가를 받아 국토교통부는 대중교통 운영자를 체계적으로 지원하고 재무구조의 건전화와 자율경쟁 등을 통한 서비스 개선을 도모하고자 대중교통 운영자에 대해 경영 및 서비스 평가를 2년 주기로 실시하고 있다.

[표 3-9] 지하철 운영사 경영 및 서비스 평가 결과

운영사	종합평가			경영평가			서비스평가		
	점수	편차	순위	점수	순위	등급	점수	편차	순위
대전도시철도공사	94.15	0	1	비공개	비공개	양호	95.69	0	1
서울메트로	93.50	0.65	2	비공개	비공개	우수	93.81	1.88	2
광주도시철도공사	92.30	1.20	3	비공개	비공개	양호	93.31	0.50	3
서울도시철도공사	92.24	0.06	4	비공개	비공개	양호	93.21	0.10	4
대구도시철도공사	91.63	0.62	5	비공개	비공개	양호	92.17	0.03	6
부산교통공사	91.36	0.26	6	비공개	비공개	양호	92.20	1.01	5
서울시메트로9호선	91.00	0.36	7	비공개	비공개	양호	91.55	0.62	7
인천교통공사	86.31	4.69	8	비공개	비공개	양호	85.55	3.25	8
코레일공항철도	85.92	0.33	9	비공개	비공개	보통	88.80	2.75	9
한국철도공사	81.10	4.88	10	비공개	비공개	양호	79.41	6.14	10
평균	89.96	-	-	-	-	-	90.57	-	-

자료 : 국토교통부, 2012, 「2012년 대중교통운영자에 대한 경영 및 서비스 평가 최종보고서」

2012년에 실시한 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가(2011년 실적 자료로 평가)에 따른 전국 지하철 운영사의 평가 결과는 [표 3-9]와 같으며, 서울시 지하철 운영기관인 서울메트로(1~4호선 운영)와 서울도시철도공사(5~8호선 운영) 모두 종합평가 점수가 90점 이상으로 높은 점수를 받았다.

지하철 서비스평가 지표로는 공급성, 신뢰성, 안전성, 고객만족의 총 4가지 부문으로 나눠 서비스를 평가하고 있으며, 고객만족과 안전성 부문을 가장 높은 배점으로 하여 중점적으로 평가하고 있다. 서울메트로와 서울도시철도공사 모두 전체적으로는 높은 점수의 서비스 평가를 받고 있으나, 서비스 평가 세부기준별로 살펴보면 혼잡도 부문에서 다른 지하철 운영사보다 낮은 평가를 받고 있다.

- 서울메트로는 열차운행횟수, 정시성, 차량고장률, 안전시설 설치율, 서비스 개선 노력 부문에서 총 10개 지하철 운영사 중 상위권에 위치하였으나, 혼잡도, 운행취소율, 차량 및 시설 현장점검, 고객만족도 부문의 평가는 하위권에 위치하였다. 이 중 서울메트로(1~4호선)의 평균 혼잡도는 139.33%로 10개 지하철 운영사 평균인 107.38%보다 높게 나타났다.
- 서울도시철도공사는 운행취소율, 안전시설 설치율, 테러예방 노력 부문에서 총 10개 지하철 운영사 중 상위권에 위치하였으나, 혼잡도, 열차운행 관련 사상자 수 부문의 평가는 하위

[표 3-10] 서울메트로 서비스 평가 결과

구분	평가항목	배점	득점	평점	순위	기관 평균
공급성 (배점 : 10)	열차 운행횟수	3	3	100.00	1위	91.20
	평균 운행속도 증가율	3	2.92	97.33	5위	97.23
	혼잡도	4	3.37	84.27	8위	92.04
신뢰성 (배점 : 15)	정시성	5	4.97	99.45	2위	92.70
	운행취소율	5	4.78	95.68	8위	92.36
	차량고장률	5	5.00	100.00	1위	86.64
안전성 (배점 : 35)	열차운행 관련 사상자 수	10	9.99	99.93	6위	94.90
	차량 및 시설 현장점검	15	14.76	98.42	10위	99.16
	안전시설 설치율	7	7.00	100.00	1위	81.73
	테러예방 노력	3	2.47	82.40	5위	71.52
고객만족 (배점 : 40)	고객만족도	30	26.55	88.50	7위	89.14
	서비스 개선 노력	5	5.00	100.00	1위	88.80
	온실가스 저감 노력	5	4.00	80.00	5위	84.70
계		100	93.81	-	-	-

자료 : 국토교통부, 2012, 「2012년 대중교통운영자에 대한 경영 및 서비스 평가 최종보고서」

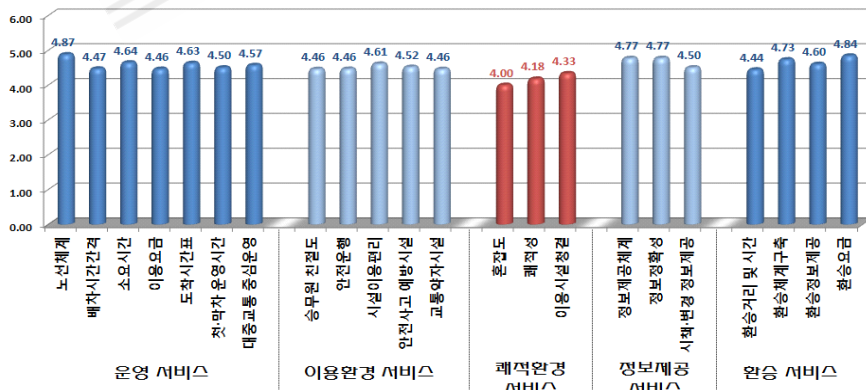
권에 위치하였다. 이 중 서울도시철도공사(5~8호선)의 평균 혼잡도는 149.75%로 10개 지하철 운영사 평균인 107.38%보다 높게 나타났다.

[표 3-11] 서울도시철도공사 서비스 평가 결과

구분	평가항목	배점	득점	평점	순위	기관 평균
공급성 (배점 : 10)	열차 운행횟수	3	2.85	95.16	4위	91.20
	평균 운행속도 증가율	3	2.87	95.67	8위	97.23
	혼잡도	4	3.20	80.10	10위	92.04
신뢰성 (배점 : 15)	정시성	5	4.95	99.03	4위	92.70
	운행취소율	5	5.00	100.00	1위	92.36
	차량고장률	5	4.58	91.62	6위	86.64
안전성 (배점 : 35)	열차운행 관련 사상자 수	10	9.99	99.86	8위	94.90
	차량 및 시설 현장점검	15	14.87	99.11	5위	99.16
	안전시설 설치율	7	7.00	100.00	1위	81.73
	테러예방 노력	3	2.58	86.00	1위	71.52
고객만족 (배점 : 40)	고객만족도	30	26.82	89.39	6위	89.14
	서비스 개선 노력	5	4.50	90.00	5위	88.80
	온실가스 저감 노력	5	4.00	80.00	5위	84.70
계		100	93.21	-	-	-

자료 : 국토교통부, 2012, 「2012년 대중교통운영자에 대한 경영 및 서비스 평가 최종보고서」

한편, 2013년 전국 대중교통에 대하여 이용자 만족도 조사를 실시한 결과, 평가 세부항목 중에서 혼잡도가 가장 낮은 만족도를 보였다. 서비스 요소 중에서 노선체계가 4.87점, 환승합인이 4.84점으로 가장 높은 만족도를 보인 반면, 혼잡도가 4.00점, 쾌적성이 4.18점으로 가장 낮은 만족도를 나타냈다(항목별 7점 만점).



자료 : 국토교통부 보도자료(2014.07.15) - 2013년도 대중교통 현황조사 결과

[그림 3-1] 전국 대중교통 이용자 만족도 조사결과

04

지하철 혼잡가치 산정

- 1_개요
- 2_지하철 이용자 혼잡 인식 조사
- 3_지하철 혼잡도 체감
- 4_지하철 열차지연 체감
- 5_지하철 혼잡 개선의 가치 산정

04 | 지하철 혼잡가치 산정

1_개요

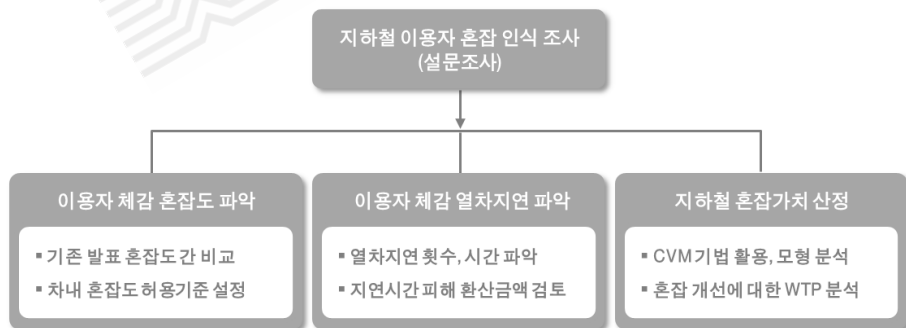
실제 지하철 이용자가 체감하는 혼잡가치를 산정

앞서 3장에서 출퇴근시간대에 서울시 지하철 이용자가 많아서 차량내부가 혼잡하고 열차 지연도 발생하는 것을 확인하였다.

지하철 운영기관(서울메트로, 서울도시철도공사)은 2년 주기로 혼잡도 조사를 자체적으로 실시하고 발표하고 있는데, 실제로 이용자가 체감하는 혼잡도와 유사한 수준인지 파악할 필요가 있다.

이에 따라 서울시 지하철 이용자를 대상으로 설문조사를 실시하여 체감하는 지하철 차량 내부의 혼잡도와 평소 이용 시 경험한 열차지연을 파악하고자 하였다.

또한 CVM(Contingent Valuation Method, 조건부가치측정법) 기법을 활용하여 지하철 혼잡 개선에 대한 지불의사액(willingness to pay)을 조사하고 지하철 혼잡가치를 산정 하였다.



[그림 4-1] 지하철 혼잡가치 산정 주요 연구내용

2_지하철 이용자 혼잡 인식 조사

1) 서울시 지하철 이용자를 대상으로 설문조사 실시

실제 서울시 지하철 이용자를 대상으로 지하철역 승강장에서 대면조사를 실시하였으며, 평일에 오전첨두시·오후첨두시·비첨두시로 시간대를 구분하여 조사하였다.

다양한 혼잡 수준별로 조사가 될 수 있도록 지하철 운영기관에서 발표된 시간대별·구간별 혼잡도 자료를 참고하여 조사지점을 선정하였다. 예비조사는 2014년 11월 4일~6일에 실시하였으며(총 30명), 예비조사 등을 통해 설문 내용의 논리적·구조적 부분을 수정·보완하였다.

- 시간적 범위 : 2014년 11월 10일(월)~14일(금)
 - 시간대 구분 : 오전첨두시(08~10시), 오후첨두시(17~19시), 비첨두시(12~15시)
- 공간적 범위 : 서울시 지하철 통행
 - 조사지점 : 10개 역사(석계역, 대방역, 동묘앞역, 합정역, 대림역, 안국역, 충무로역, 창동역, 마야사거리역, 명동역)
- 조사표본 수 : 총 505명

지하철 통행 시의 탑승 형태를 좌석과 입석으로 구분하였는데, 좌석 이용자 조사를 위해 출근시간대 기점 부근의 지하철역에서 조사하는 등 유형별로 조사 시간과 장소를 설정하였다.

응답자는 지하철역 승강장에서 무작위적(random)으로 선택되었으며, 첨두시에는 짧은 배차간격을 고려하여 충분한 응답시간을 확보하고자 열차가 출발한 직후 승강장에 들어오는 승객을 대상으로 조사를 진행하였다.

설문 내용은 크게 인구통계학적 배경, 당일 지하철 통행 특성, 혼잡 개선에 따른 가치 평가, 평상시 지하철 이용행태로 구성하였다(설문조사지는 부록 참고). 주요 조사 내용은 다음과 같다.

- 인구통계학적 배경 : 성별, 연령, 직업, 소득, 승용차 소유 여부 질의
- 당일 지하철 통행 특성 : 현재 통행의 출발역과 도착역, 통행시간, 통행목적, 탑승형태(입석/좌석), 차량내부 혼잡상태(6단계 구분 제시, [표 4-1] 참고) 질의
- 혼잡 개선에 따른 가치 평가 : 차량내부 혼잡도가 1단계씩 개선될 때의 수용 가능한 추가 소요시간, 비용 질의
- 평상시 지하철 이용형태 : 혼잡을 싫어하는 이유, 업무/비업무 통행 시 열차지연 경험(평균 경험횟수 및 지연시간, 열차지연 피해 환산금액 등) 질의

2) 편의(bias) 방지를 위해 대체지표를 사용하여 지불의사액을 조사

혼잡 개선에 대한 지불의사액 질문은 파리 지하철 혼잡비용 산정 연구를 참고하여 조사 결과의 편의(bias) 방지를 위해 직접적으로 비용을 묻지 않고 시간으로 대체하여 설문 조사를 설계하였다.

- 혼잡 개선에 대한 지불의사액을 비용으로 질의하면 응답자 대부분은 현재의 대중교통 요금 수준에 영향을 받을 수밖에 없게 된다.
- 따라서 요금이 아닌 다른 척도를 사용할 필요가 있으며, 추가 수용 가능한 시간 및 거리를 대체 척도로 고려하였다. 예비조사 결과, 추가 수용 가능한 시간이 거리보다 인식이 좀 더 쉬운 것으로 나타나 시간으로 최종 질의하였다.

혼잡 개선에 대한 수용 가능한 추가 소요시간을 질의할 때, 평균 통행시간(약 30분)을 기준으로 통행시간을 2가지로 구분하여 지불의사액(시간) 질의 간격을 다르게 설정하였다.

- 당일 지하철 통행의 통행시간이 30분 미만일 경우 혼잡 개선에 대한 지불의사액(시간)을 1분 간격으로, 30분 이상일 경우 2분 간격으로 질의하였으며, 이는 사전조사 등을 통해 설정하였다.

또한, 지하철 통행의 출발에서 도착까지 동일한 혼잡수준이 지속되는 것으로 가정하고 혼잡도 변화별로 지불의사액(시간)을 질문하였다.

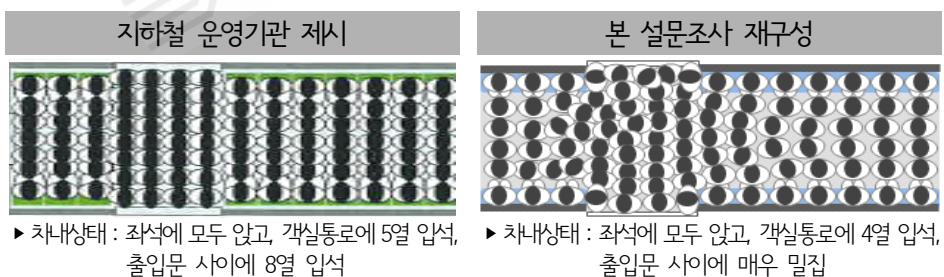
3) 혼잡 시 실제 차내 상황을 묘사할 수 있는 질의서를 설계

지하철 운영기관에서 제시하고 있는 혼잡도별 지하철 차량내부 상태도는 실제 이용 형태와 다른 부분이 있어서 본 설문조사 시 차량내부 상태도를 재구성하였다.

- 예를 들어, 혼잡도 200%는 재차인원이 약 320명(1량의 차내 용량을 약 160명을 기준으로 할 때)인데, 차량내부 입석 승객이 객실통로에 5열로 밀집해서 입석하는 것으로 제시하고 있다.
- 그러나 실제로 200%의 혼잡도일 때 출입문과 출입문 사이 위주로 승객이 몰려 있어 출입문과 출입문 사이의 밀도가 상당히 높으며, 상대적으로 객실통로에는 밀도가 낮고 최대 4열까지만 입석하는 것으로 조사되었다.
- 이러한 차량내부의 실제 입석 형태를 참고하여 혼잡도별 차량내부 상태도를 재구성하였다.

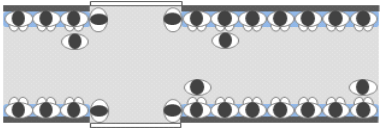
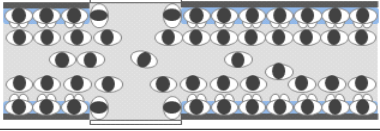
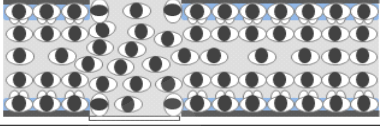
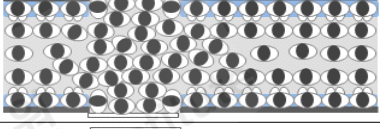
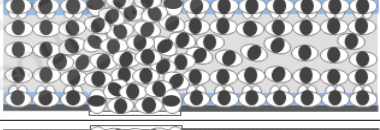
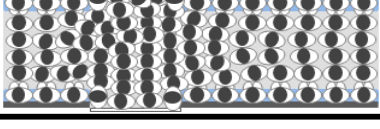
또한, 지하철 차량내부가 혼잡하더라도 기점 부근에서 탑승하여 앉아서 가는 승객은 혼잡도에 대한 민감도가 입석 승객과는 차이가 있을 수 있다.

따라서 입석/좌석별로 지하철 차량내부 혼잡 상태도에 대한 설명을 다르게 구성하였고, 설문 초반에 이용자가 응답하는 탑승형태(입석/좌석)에 따라 조사자가 별도로 준비된 혼잡 상태도를 제시하도록 하였다.



[그림 4-2] 지하철 차량내부 혼잡도 조건표 재구성(혼잡도 200% 예시)

[표 4-1] 지하철 차량내부 혼잡도 조건표 재구성

구분	혼잡도	재차인원	차내상태 설명	혼잡 상태도
			① 입석승객 대상, ② 좌석승객 대상	
A	50%	80명	① 좌석에 모두 착석하고 간간이 서 있음 ② 앞의 시야가 트임	
B	100%	160명	① 여유롭게 서 있음 ② 앞에 사람들이 서 있어서 시야가 다소 막힘	
C	125%	200명	① 지나갈 때 사람과 부딪치게 되는 다소 혼잡한 상태 ② 앞에 사람들이 많이 서 있어서 시야가 막힘	
D	150%	240명	① 출입문 주변이 혼잡하고 서로 어깨가 밀착됨 ② 앞에 서 있는 사람들이 밀치기도 하여 불편함을 느끼기도 함	
E	175%	280명	① 출입문 주변이 매우 혼잡하고 서로 몸이 밀착되어 팔을 들 수 없음 ② 앞에 서 있는 사람들과 무릎이 닿기도 하여 불편함	
F	200%	320명	① 출입문 주변이 매우 혼잡하고 서로 몸과 얼굴이 밀착되어 숨이 막힘 ② 서 있는 사람들이 심하게 밀려 발이 밟히기도 하고 '억' 소리가 나면서 소란스러움	

3_지하철 혼잡도 체감

1) 이용자들은 차내 혼잡도를 실제보다 더 높게 체감하고 있어

지하철 통행 구간 중에서 이용자가 체감하는 지하철 차량내부의 가장 혼잡한 구간과 그 구간의 혼잡상태를 조사하였다. 조사 결과, 전체적으로 혼잡도 150%(D상태)를 가장 많이 응답하였다.

노선별로 살펴보면 2호선, 4호선, 7호선, 9호선의 혼잡도가 다른 노선에 비해 높은 것으로 나타났으며, 이는 운영기관에서 발표하는 혼잡 노선과 동일한 것으로 확인되었다.

[표 4-2] 지하철 최대 혼잡 구간의 혼잡상태 관측률

(단위 : %)

구분	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	9호선	전체
혼잡도 50% (A)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
혼잡도 100% (B)	21.5	25.4	35.4	22.9	0.0	43.6	36.4	0.0	25.5
혼잡도 125% (C)	33.1	17.5	18.8	30.7	66.7	25.6	0.0	55.6	27.1
혼잡도 150% (D)	26.4	28.1	37.5	28.1	33.3	25.6	27.3	22.2	28.3
혼잡도 175% (E)	12.4	13.2	8.3	15.7	0.0	5.1	36.4	0.0	12.7
혼잡도 200% (F)	6.6	15.8	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	22.2	6.3
계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

주 : 유효표본 수 N=505

또한, 이용자가 체감하는 지하철 차량내부의 가장 혼잡한 구간과 그 구간의 혼잡상태를 지하철 운영기관이 발표하는 노선별 최대 혼잡한 구간 및 혼잡도와 비교하였다.

- 노선별 최대 혼잡 구간과 그에 인접하는 구간의 혼잡도 정보를 함께 제공하고 있는 서울메트로(1~4호선) 노선에 대해서 설문조사 결과와 비교하였다.

[표 4-3] 지하철 1~4호선 최대 혼잡 구간 및 혼잡도(2013년)

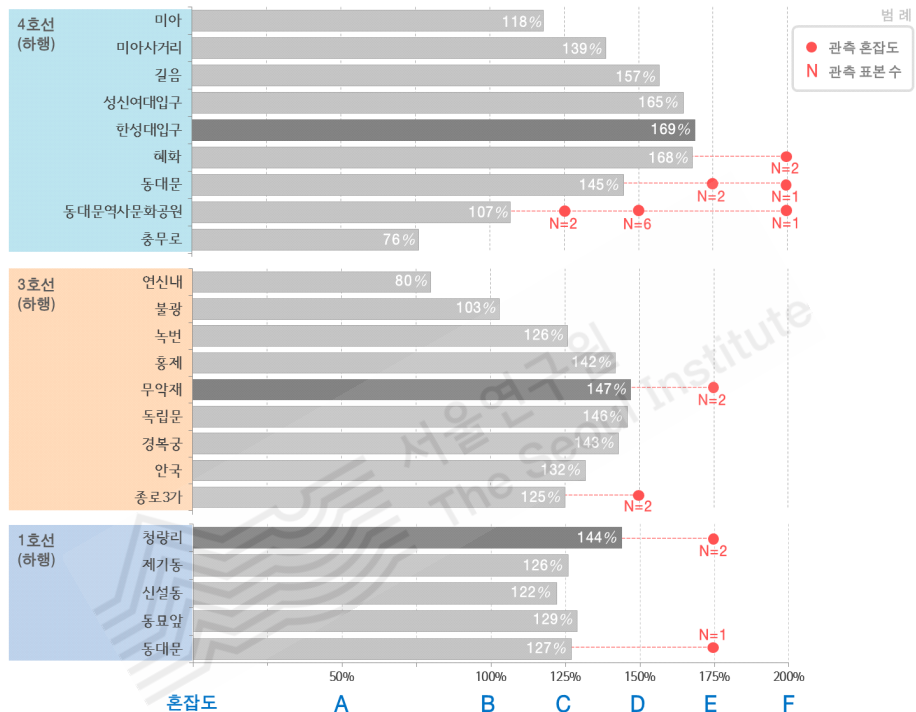
구분	최대 혼잡 구간	혼잡 시간대	혼잡도
1호선	청량리→제기동	08:20~08:50	144%
2호선	사당→방배	08:10~08:40	202%
3호선	무악재→독립문	08:10~08:40	147%
4호선	한성대→혜화	08:00~08:30	169%

자료 : 서울메트로, 2014, 「2014년 서울메트로 수송계획」

비교 결과, 실제 이용자가 체감하는 혼잡도는 발표되는 혼잡도보다 더 높은 수준인 것으로 나타났다.

- 동일 시간대(오전첨두시)에 노선별·구간별 최대 혼잡도보다 높게 체감하는 응답자를 살펴보면, 운영기관에서 발표하는 혼잡도보다 약 25%에서 크게는 75%까지 상회하는 것으로 나타났다(혼잡도가 202%(F상태)로 이미 최대 상태인 2호선은 제외).

이는 많은 승객들이 계속 탑승을 해도 객실 통로 쪽으로 승객들이 밀집되는 것보다 출입문 사이 통로에 집중적으로 더 밀집되는 이용행태 때문으로, 대다수의 승객들이 체감하는 혼잡도가 더 큰 것으로 판단된다. 이러한 특성을 반영하여 기존의 혼잡도별 차량내부 상태도 그림을 조정하여 설문조사를 하였으나, 여전히 이용자가 체감하는 혼잡도는 더 큰 것으로 나타났다.



※ N은 발표되는 최대 혼잡도보다 높게 체감하는 응답자만 표시한 것으로, 4호선은 전체 52명 중 N=14, 3호선은 전체 7명 중 N=4, 1호선은 전체 10명 중 N=3이 관측됨

[그림 4-3] 지하철 1~4호선 최대 혼잡 구간의 혼잡도와 관측치 비교

2) 이용자들은 차내 혼잡도 100%부터 혼잡이 발생한다고 인식

현재 지하철 차량운행 계획 시, 국토교통부의 차내 혼잡도 권고 기준인 150%(D상태)를 적용하고 있으며, 이는 차내 혼잡도를 150%(D상태)까지 허용한다는 의미이다.

- 국토교통부의 도시철도의 건설과 지원에 관한 기준(2013)에서 제시하고 있는 도시철도의 객차당 수송용량은 150%이다.

조사결과, 실제 지하철 이용자들이 허용할 수 있는 차내 혼잡도는 혼잡도 125%(C상태)가 56.2%로 가장 높게 나타났다.

한편, 차내 혼잡도 허용기준을 50%(A상태)로 응답한 이용자는 0.6%로 매우 낮지만 혼잡도 100%(B상태)로 응답한 이용자는 17.5%로 비교적 높게 나타났다. 즉, 실제 이용자들은 혼잡도 100%(B상태)를 초과하면 혼잡이 발생한다고 체감하고 있는 것이다.

[표 4-4] 지하철 차량내부 혼잡도 허용기준에 대한 의견

(단위 : %)

구분		현재 혼잡 상태						
		A	B	C	D	E	F	전체
유효표본 수 N (명)		0	125	137	140	64	31	497
허용기준	A	0.0	1.6	0.0	0.7	0.0	0.0	0.6
	B	0.0	16.0	19.0	15.7	29.7	0.0	17.5
	C	0.0	68.8	48.2	62.1	39.1	51.6	56.3
	D	0.0	13.6	27.0	18.6	28.1	35.5	21.9
	E	0.0	0.0	5.8	1.4	3.1	0.0	2.4
	F	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	12.9	1.2
	전체	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

주 : A상태 : 혼잡도 50%, B상태 : 혼잡도 100%, C상태 : 혼잡도 125%

D상태 : 혼잡도 150%, E상태 : 혼잡도 175%, F상태 : 혼잡도 200%

3) 차내 혼잡을 기피하는 이유로 '신체적 접촉이 싫다'가 가장 많아

지하철 차량내부의 혼잡을 싫어하는 이유는 '신체적 접촉이 싫다'가 67.2%로 가장 높으며, 다음으로 '공기가 좋지 않다'가 53.0%, '온도조절이 안 된다(답다)'가 40.0%, '소매치기/성추행 등 치안이 우려된다'가 20.2%로 나타났다.

'신체적 접촉이 싫다'와 '소매치기/성추행 등 치안이 우려된다' 등은 여자가 남자보다 높은 비율로 나타났으며, '온도조절이 안 된다(답다)'와 '시선 처리가 어렵다'는 항목은 남자가 여자에 비해 다소 높은 비율로 나타났다.

[표 4-5] 지하철 차량내부 혼잡 기피 이유

(단위 : %)

구분		유효표본 수 N (명)	신체적 접촉이 싫다	소매치기/ 성추행 등 치안이 우려된다	온도조절이 안 된다 (덥다)	공기가 좋지 않다	시선 처리가 어렵다	기타
성	남자	234	59.4	13.7	41.9	47.4	11.1	3.4
	여자	266	74.1	25.9	38.3	57.9	4.1	4.1
연령	20대	237	68.4	21.1	41.4	53.6	7.6	3.8
	30대	108	67.6	15.7	49.1	52.8	3.7	2.8
	40대	87	69.0	25.3	27.6	43.7	13.8	2.3
	50대 이상	68	60.3	17.6	36.8	63.2	4.4	7.4
	계	500	67.2	20.2	40.0	53.0	7.4	3.8
직업	직장인	257	65.8	17.9	40.1	57.6	6.2	2.7
	자영업	33	69.7	27.3	15.2	27.3	6.1	3.0
	학생	154	67.5	16.2	41.6	53.2	7.8	4.5
	무직/주부	56	71.4	37.5	50.0	46.4	12.5	7.1
계		500	67.2	20.2	40.0	53.0	7.4	3.8

4_지하철 열차지연 체감

1) 출근 통행이 집중되는 침두시에 열차지연을 더 많이 경험

평소 지하철 통행 시 경험했던 열차지연(도착역 지연)과 지연시간 등을 조사하였고, 이를 통해 업무/비업무 통행별로 열차지연시간 및 시간가치(피해금액으로 환산)를 파악하였다.

본 조사에서는 출근업무 목적을 업무 통행으로 분류하였고, 여가쇼핑 목적 등을 비업무 통행으로 분류하여 제시하였다.

- 「도로철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침」 및 「교통시설 투자평가지침」 등에서 평균 시간가치 산정 시 보통 출근 목적의 통행을 비업무 통행으로 분류한다.
- 그러나 본 조사에서는 지하철 열차지연이 출근시간대(침두시)에 주로 발생하며, 열차지연에 따른 지연시간 피해금액 산정은 여가쇼핑 등의 다른 비업무 통행과는 그 성격이 다르므로 출근 통행과 일반 업무 통행을 동일 분류로 구성하였다.

조사 결과, 업무 통행 시 약 33.5%의 이용자가 지하철 열차지연을 경험했고, 비업무 통행 시

에는 약 12.5%의 이용자가 열차지연을 경험한 것으로 나타났다. 이는 출근 등의 첨두시 통행에서 열차지연을 상대적으로 많이 경험한 것으로 판단된다.

[표 4-6] 지하철 열차지연 경험

구분		거의 없다 (%)	있다 (%)	계 (%)
업무 통행	통행시간 30분 미만	68.5	31.5	100.0
	통행시간 30분~1시간 미만	65.6	34.4	100.0
	통행시간 1시간 이상	59.2	40.8	100.0
	전체	66.5	33.5	100.0
비업무 통행	통행시간 30분 미만	87.7	12.3	100.0
	통행시간 30분~1시간 미만	87.0	13.0	100.0
	통행시간 1시간 이상	87.8	12.2	100.0
	전체	87.5	12.5	100.0

주 : 유효표본 수 : 업무 통행 N=505, 비업무 통행 N=502

2) 평균적으로 5분 정도 열차가 지연된다고 느껴

지하철 열차지연을 경험한 이용자들 중에서 열차지연 비중(1주일 평균 통행횟수 대비 열차 지연횟수의 비율)이 업무 통행은 약 28.4%, 비업무 통행은 약 30.8%로 유사하게 나타났다. 평균 지연시간은 업무 통행이 4.9분, 비업무 통행이 5.0분이며, 전체 통행시간이 길수록 경험한 열차지연시간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

[표 4-7] 지하철 열차지연 횟수 및 시간

구분		통행횟수 (A)(회/1주)	지연횟수 (B)(회/1주)	지연비중 (B/A)(%)	지연시간 (분)
업무 통행	통행시간 30분 미만	7.5	2.2	29.3	4.4
	통행시간 30분~1시간 미만	7.6	2.2	28.9	4.9
	통행시간 1시간 이상	6.2	1.8	29.0	7.2
	전체	7.4	2.1	28.4	4.9
비업무 통행	통행시간 30분 미만	3.7	1.2	32.4	4.4
	통행시간 30분~1시간 미만	4.4	1.3	29.5	5.0
	통행시간 1시간 이상	3.7	1.0	27.0	8.8
	전체	3.9	1.2	30.8	5.0

주 : 유효표본 수 : 업무 통행 N=169, 비업무 통행 N=63

열차지연 시간에 대해 이용자가 체감하고 있는 피해금액을 분당 시간가치로 환산하면 업무 통행은 약 735원, 비업무 통행은 약 604원으로, 업무 통행 시 열차지연에 대해 더 민감하게 체감하는 것으로 나타났다. 한편, 통행시간이 길수록 열차지연시간은 길어졌으나 지연시간 피해금액 원단위는 통행시간이 짧을수록 더 큰 것으로 나타났다. 이는 전체 통행시간이 짧을수록 열차지연에 대해 더 민감하게 체감하기 때문이다.

[표 4-8] 지하철 열차지연 시간에 대한 환산금액

구분		지연시간 환산금액 (원)	지연시간 환산금액 원단위 (원/인/분)
업무 통행	통행시간 30분 미만	5,138	1,168
	통행시간 30분~1시간 미만	2,067	422
	통행시간 1시간 이상	1,920	267
	전체	3,603	735
비업무 통행	통행시간 30분 미만	3,968	902
	통행시간 30분~1시간 미만	1,706	341
	통행시간 1시간 이상	1,620	184
	전체	3,022	604

주 : 유효표본 수 : 업무 통행 N=174, 비업무 통행 N=65

이러한 지하철 열차지연 등을 감안하여 지하철 이용 전에 여유시간을 어느 정도 확보하는지 조사한 결과, 업무 통행은 약 14.1분, 비업무 통행은 약 12.8분의 여유시간을 갖고 출발하는 것으로 나타났다. 업무 통행이 비업무 통행보다 열차지연 등을 감안한 여유시간이 좀 더 크며, 통행시간이 길수록 여유시간이 커지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 업무 통행 일수록, 장시간 통행일수록 여유시간을 더 가지고 열차지연에 대처하는 것이다.

[표 4-9] 지하철 이용 시 열차지연을 고려한 출발 여유시간

구분		출발 여유시간 (분)
업무 통행	통행시간 30분 미만	13.8
	통행시간 30분~1시간 미만	13.9
	통행시간 1시간 이상	16.1
	전체	14.1
비업무 통행	통행시간 30분 미만	12.5
	통행시간 30분~1시간 미만	13.0
	통행시간 1시간 이상	14.2
	전체	12.8

주 : 유효표본 수 : 업무 통행 N=503, 비업무 통행 N=488

5_지하철 혼잡 개선의 가치 산정

1) 지하철 혼잡 개선에 대한 지불의사액을 추정하기 위해 CVM 기법 적용

지하철 차량내부 혼잡도 개선의 가치를 산정하기 위해서 CVM(Contingent Valuation Method, 조건부가치추정법) 기법을 활용하여 설문조사를 실시하고 분석하였다.

CVM 기법은 연구자가 설계한 가상적 시장이라는 조건에서 소비자에게 직접 그 대상 재화와 공급 수준에 대한 지불의사액을 물어 그 가치를 화폐가치로 응답하도록 유도하는 직접적인 가치측정 방법이다. 후생 경제학에 이론적 기반을 두고 있으며 지금까지 수많은 실증적 연구를 통해 그 타당성과 신뢰성이 검증되어 왔다.

설문을 통한 비시장재의 가치평가를 행하는 CVM 기법은 진실된 가치에서 벗어날 가능성이 높은데, 이와 같은 응답과 진실된 가치의 차이를 편의(bias)라고 한다. 편이 발생 가능성은 CVM 기법을 적용한 실제 조사에서 가장 중점적으로 점검되어야 할 문제이며, 다음의 사항을 고려해야 한다.

- CVM 질문들은 조심스럽게 설명하고 시각적 보조물을 사용하거나 질문 순서를 조절하여 복잡한 사나리오를 응답자에게 쉽게 이해시키는 것이 필요하다.
- 지불액을 유도하기 위해서는 응답자들에게 일반적인 설문조사보다 더 큰 노력을 요구하게 되므로 응답자들에게 충분한 동기를 유발할 수 있어야 한다.
- 표본으로부터 모집단을 대변하는 값을 추정해야 하므로 결측 자료를 최소화할 필요가 있다.

이러한 편이 발생 가능성을 최소화하고 응답의 신뢰도를 높이기 위해서 일대일 개별면접법(대면조사)을 적용하였고, 사전조사를 실시하여 설문조사지를 보완하고 조사자에 대한 세심한 교육을 실시하였다. 또한 지하철 혼잡 개선에 대한 지불의사액 질문에서 비용보다 통행시간 개념을 도입한 것도 편이 발생 가능성을 최소화하기 위함이다.

지하철 차내 혼잡도 개선의 가치, 즉 지불의사액을 추정하기 위해서 종속변수를 지불의사액으로 하고 혼잡도 개선 정도 등을 독립변수로 하여 그 관계를 분석하고자 한다.

$$\langle \text{식 4-1} \rangle \quad W = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

여기서, W : 종속변수(지불의사액)

X_n : 독립변수

이 연구에서처럼 통행자의 지불의사액(시간)은 음(-)의 값을 가질 수 없으므로, 종속변수가 단절되어 있을 때 이용할 수 있는 적절한 회귀모형인 토빗모형(tobit model)을 적용하였다.

- 종속변수가 일정 범위 안에서는 관측될 수 없는 제한된 값인, 즉 중도 절단되는 특성을 갖는 회귀모형에는 중도절단회귀모형(censored regression model)과 절단회귀모형(truncated regression model)이 있다. 이 중 Tobin(1958)의 연구에서 최초로 분석된 중도절단회귀모형을 토빗모형이라고 한다.
- 종속변수가 단절되어 있을 경우 편이된(biased) 추정값이 분석될 우려가 있는데, 토빗모형은 종속변수가 단절되어 있을 때 적용하기에 적합한 것으로 알려져 있다.

$$\begin{aligned} \langle \text{식 4-2} \rangle \quad & W_i^* = \beta X_i + \epsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & W_i = 0 \quad (\text{if } W_i^* \leq 0) \\ & W_i = W_i^* \quad (\text{if } W_i^* > 0) \end{aligned}$$

여기서, W_i^* : 통행자 i 의 잠재 종속변수(지불의사액)

W_i : 통행자 i 의 관측된 종속변수(지불의사액)

ϵ_i : 오차항

2) 혼잡상황별 수용할 수 있는 추가 통행시간을 조사

지하철 차량내부 혼잡도 개선의 가치 산정을 위해서 CVM 기법을 활용하여 혼잡도 개선에 대한 가상상황과 통행시간 증가 수준을 설정하였고, 이에 따라 혼잡도 개선 상황별 수용 가능한 통행시간 증가분을 조사하였다.

- 혼잡도 개선에 대한 가상상황은 응답자가 통행하는 구간의 최대 혼잡도를 기준으로 혼잡도가 한 단계 수준(25%)씩 개선되는 것으로 설정하였다(혼잡도 수준은 [표 4-1] 참고).

문6] 만약 지하철 내부 혼잡을 완화시킬 경우 지하철 통행시간이 증가하게 된다면, 귀하의 현재 통행 목적과 구간을 기준으로 어느 정도의 통행시간 증가를 수용하시겠습니까? 단, 지하철 내부 혼잡은 지하철 탑승부터 하차까지 앞에서 답변하신 가장 혼잡한 구간의 상태가 계속되는 것으로 가정해 주시고 응답해 주십시오.

*** ()분 동안 ()상태로 계속 간다고 가정 (← 설문시 조사자가 체크)

(※ 각각의 경우에 대하여 네모 칸 안에 수용 가능한 추가 소요 시간을 체크해 주시면 됩니다.)

문6-1	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가
	B→A	()분												
문6-2	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가
	C→B	()분												
		C→A	()분											
	문6-3	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가
		D→C	()분											
		D→B	()분											
		D→A	()분											
	문6-4	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가
		E→D	()분											
		E→C	()분											
		E→B	()분											
		E→A	()분											
	문6-5	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가
		F→E	()분											
		F→D	()분											
		F→C	()분											
		F→B	()분											
		F→A	()분											

[그림 4-4] 지하철 혼잡가치 산정을 위한 지불의사액(시간) 설문(통행시간 30분 미만)

[표 4-10] 지하철 혼잡도 개선에 대한 지불의사액(시간) 응답분포

	추가시간 혼잡변화	0분 증가	1분 증가	2분 증가	3분 증가	4분 증가	5분 증가	6분 증가	7분 증가	8분 증가	9분 증가	10분 증가	10분 초과
통행시간 30분 미만	B→A	11	3	8	5	3	19	2	4	1	1	3	-
	C→B	14	4	11	9	7	15	1	1	-	-	2	-
	C→A	5	2	1	5	8	16	7	4	2	3	11	-
	D→C	16	3	7	9	4	4	2	-	-	-	1	-
	D→B	8	3	3	5	4	9	1	5	2	-	5	1
	D→A	3	1	5	1	1	3	1	3	4	-	19	5
	E→D	17	2	3	1	-	3	-	-	-	-	2	-
	E→C	13	2	-	1	2	2	-	2	1	-	2	3
	E→B	3	1	2	2	-	6	5	-	-	-	3	6
	E→A	2	-	1	2	1	1	-	-	4	3	5	9
	F→E	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	F→D	8	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	F→C	4	2	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	F→B	1	-	4	2	1	2	1	-	1	-	-	-
	F→A	-	-	4	3	-	3	-	1	1	-	-	-
	계	113	26	52	53	31	83	20	20	16	7	53	24

[표 4-10 계속] 지하철 혼잡도 개선에 대한 지불의사액(시간) 응답분포

	추가시간 혼잡변화	0분 증가	2분 증가	4분 증가	6분 증가	8분 증가	10분 증가	12분 증가	14분 증가	16분 증가	18분 증가	20분 증가	20분 초과
통행시간 30분 이상	B→A	11	5	11	20	8	9	-	-	3	-	-	1
	C→B	25	12	15	9	3	4	1	1	1	-	-	-
	C→A	10	1	18	10	5	17	2	3	3	-	2	-
	D→C	37	22	20	12	2	2	-	-	-	-	-	-
	D→B	15	11	20	24	10	13	-	-	1	-	-	1
	D→A	8	3	14	11	13	33	2	3	4	-	1	3
	E→D	17	11	4	2	1	1	-	-	-	-	1	-
	E→C	12	9	3	6	4	2	-	-	-	-	1	-
	E→B	5	4	7	5	4	5	1	1	3	-	2	-
	E→A	2	1	7	8	2	7	-	-	3	-	6	1
	F→E	10	5	2	2	1	1	-	-	-	-	-	-
	F→D	7	4	5	1	2	2	-	-	-	-	-	-
	F→C	5	2	3	3	1	7	-	-	-	-	-	-
	F→B	3	-	3	5	2	5	-	1	2	-	-	-
	F→A	3	-	-	-	-	12	-	-	-	-	3	3
	계	170	90	132	118	58	120	6	9	20	0	16	9

3) 혼잡도가 많이 개선될수록 지불의사가 커

지하철 혼잡도 개선에 대한 지불의사액 변화를 파악하기 위해 토빗모형을 이용하여 다음과 같은 모형을 설정할 수 있다. 종속변수는 지불의사액(WTP)으로 차내 혼잡도 개선에 대한 수용 가능한 통행시간 증가량이다.

$$\langle \text{식 4-3} \rangle \quad W = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

여기서, W : 종속변수(지불의사액)

X_n : 독립변수

β : 각 변수의 계수

설문조사 자료로부터 통행자의 지불의사액에 영향을 줄 수 있는 10개의 독립변수를 선정하였고, 독립변수와 종속변수 간의 상관관계를 분석하여 상관관계가 높은 변수를 파악하였다.

- 지불의사액과 상관관계가 높은 변수는 혼잡도 개선 정도(CHGAP), 개선 혼잡도(CH2), 기존 통행시간(TIME) 순이며, 이 변수들을 독립변수로 선정하였다.
- 이 변수들의 상관관계 부호(양+ 또는 음-)를 살펴보면, 혼잡도 개선 정도가 클수록, 개선

후의 혼잡도가 작을수록, 통행시간이 길수록 지불의사액이 큰 것으로 나타났다.

[표 4-11] 변수 정의 및 상관관계 분석

구분	변수	변수 설명	WTP 간 상관관계
종속변수	WTP	지불의사액 (추가 수용시간)	1.0000
독립변수	TIME	기존 통행시간	0.1512
	CH1	기존 혼잡도	0.0180
	CH2	개선 혼잡도	-0.3880
	CHGAP	혼잡도 개선 정도	0.4523
	AGE	나이	-0.0964
	INCOME	소득	-0.0873
	GENDER	성별 (남자 1, 여자 0)	-0.0181
	WORK	통행 목적 (업무 1, 비업무 0)	0.0389
	CAR	승용차 소유 여부 (유 1, 무 0)	-0.1255
	SEAT	승차형태 (좌석 1, 입석 0)	0.0700

토빗모형을 적용하여 혼잡 개선에 대한 지불의사액 모형을 분석한 결과(LIMDEP 8.0 프로그램 사용)는 [표 4-12]와 같다. 분석 결과, 통행시간과 혼잡도 개선 정도가 클수록 지불의사액이 크고, 개선 후의 혼잡도가 작을수록 지불의사액이 큰 것으로 나타났다.

[표 4-12] 지하철 혼잡 개선 가치 분석 - 모형추정

변수	Coefficient	Standard Error	t-ratio	p-value
Constant	2.2141	0.8145	2.7180	0.0066
TIME	0.0458	0.0085	5.3820	0.0000
CH2	-0.0305	0.0053	-5.7320	0.0000
CHGAP	0.0541	0.0059	9.2010	0.0000

주 : Constant : 상수, TIME : 기존 통행시간, CH2 : 개선 혼잡도, CHGAP : 혼잡도 개선 정도

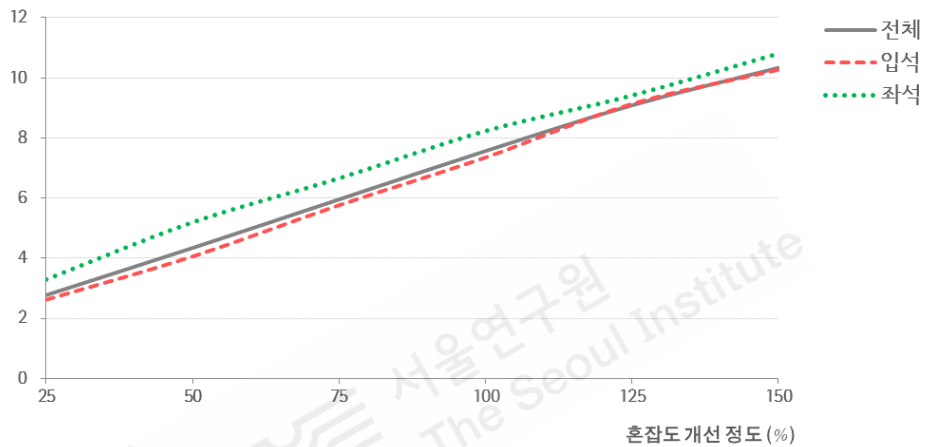
지하철 차내 혼잡도 개선 정도에 따른 추가 수용시간 관계는 [그림 4-5]와 같이 나타나며, 추가 수용시간을 수도권 철도의 평균 시간가치¹³⁾를 적용하여 비용으로 환산하면 [그림 4-6]과 같다. 지하철 차내 혼잡도 개선 정도가 클수록 지불의사액이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

13) 「교통시설 투자평가지침」에서 제시된 수도권 철도 평균 시간가치인 약 104(원/인/분)를 적용(2013년 기준)

한편, 지하철 통행 시 좌석자와 입석자별로 차내 혼잡에 대한 민감도가 다를 수 있으므로 설문조사 자료를 승차형태(좌석/입석)별로 분석하여 혼잡도 개선에 따른 지불의사액 관계도를 나타냈다.

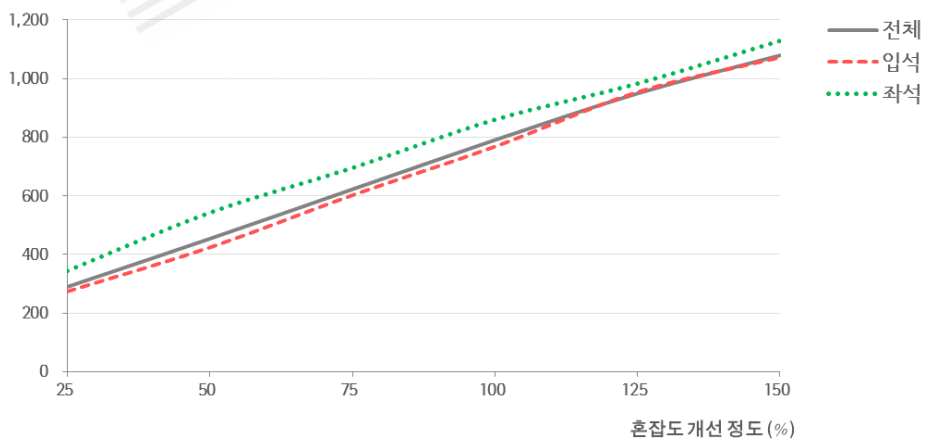
- 분석 결과, 좌석자가 입석자보다 차내 혼잡 개선에 대한 지불의사액이 좀 더 큰 것으로 나타났다.

추가 수용시간 (분)



[그림 4-5] 혼잡도 개선 정도 - 추가 수용시간 관계도

지불의사액 (원)



[그림 4-6] 혼잡도 개선 정도 - 지불의사액 관계도

지하철 차내 혼잡도 개선에 대한 수용 가능한 통행시간 증가량은 다음의 모형식과 같으며, 5장에서 서울시계 내 운행 중인 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용을 이 모형식을 적용하여 산정하고자 한다.

$$\langle \text{식 4-4} \rangle \quad W = 2.2141 - 0.0305 CH2 + 0.0541 CHGAP + 0.0458 TIME$$

여기서, W : 지불의사액(추가 수용시간) (분)

$CH2$: 개선 혼잡도 (%)

$CHGAP$: 혼잡도 개선 정도 (%)

$TIME$: 기존 통행시간 (분)

앞서 추정된 각 독립변수 계수 값의 크기나 계수가 갖는 부호는 독립변수가 종속변수에 미치는 영향력을 나타내므로 중요하지만, 각 독립변수의 한 단위 변화가 종속변수(지불 의사액)에 끼치는 영향력의 크기인 한계효과를 살펴보는 것도 중요하다.

토빗모형에서는 회귀분석을 통해 추정된 계수 값이 한계효과를 나타내는 것은 아니며, 각 독립변수별 한계효과를 분석한 결과는 [표 4-13]과 같다.

혼잡도 개선 정도가 평균에서 추가로 한 단위 증가하면 0.0437분 만큼 통행시간 증가를 수용하는 것으로 분석되었다. 이는 혼잡도 개선 정도를 50%로 환산해보면, 즉 차내 혼잡도가 50% 개선될 경우 이용자들이 2.2분의 추가 통행시간 증가를 수용하겠다는 의미이며, 수도권 철도의 평균 시간가치를 적용하면 혼잡 개선 가치는 약 228원이다.

[표 4-13] 지하철 혼잡 개선 가치 분석 - 한계효과

변수	Coefficient	Standard Error	t-ratio	p-value
Constant	1.7895	0.6620	2.7030	0.0069
TIME	0.0370	0.0069	5.3730	0.0000
CH2	-0.0247	0.0043	-5.7390	0.0000
CHGAP	0.0437	0.0048	9.1630	0.0000

주: Constant: 상수, TIME: 기존 통행시간, CH2: 개선 혼잡도, CHGAP: 혼잡도 개선 정도

05

서울시 지하철 혼잡비용 산정

- 1_ 개요
- 2_ 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용 산정
- 3_ 지하철 열차지연에 대한 혼잡비용 산정
- 4_ 서울시 지하철 혼잡비용 종합

05 | 서울시 지하철 혼잡비용 산정

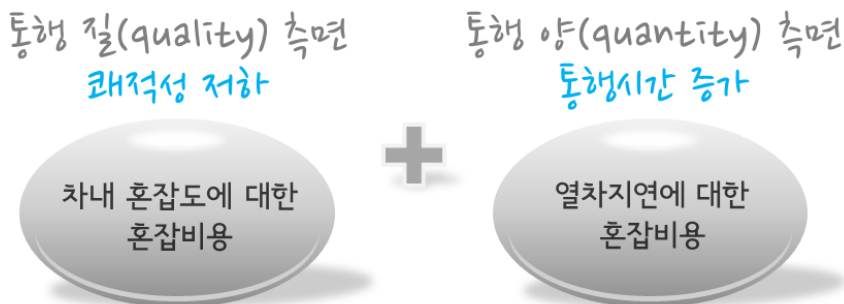
1_개요

차내 혼잡과 열차지연에 대한 지하철 혼잡비용을 산정

도로상에 교통량이 많으면 도로혼잡이 발생하는데, 이 혼잡으로 인해 정상속도보다 낮게 주행하는 차량에 대해 통행시간과 유류비용 증가량 등을 산정하여 교통혼잡비용으로 매년 발표하고 있다. 그러나 이는 도로상을 주행하는 승용차, 버스, 화물차 등에만 국한된 것으로, 지하철(철도) 이용자가 겪는 혼잡비용은 배제되고 있다.

서울시와 같은 대도시에서는 출퇴근 시간대에 지하철이 매우 혼잡하여 지하철에서도 혼잡비용이 발생하고 있으며, 본 장에서는 서울시 지하철 혼잡비용을 크게 두 가지 부문으로 나눠서 산정하고자 한다.

- 첨두시 높은 차내 혼잡도로 인해 이용자의 피로도가 증가하고 경제활동에 악영향을 끼치게 된다. 이 차량내부 혼잡을 피하기 위한 지불의사액이 존재할 것이며 지불의사액을 파악하여 지하철 통행 질(quality) 측면의 혼잡비용으로 산정하고자 한다.
- 첨두시 많은 승하차인원으로 인해 혼잡역사에서 열차운행 지연이 발생하여 비첨두시 대비 통행시간이 증가하게 된다. 이렇게 혼잡으로 인해 증가되는 통행시간을 파악하여 지하철 통행 양(quantity) 측면의 혼잡비용을 산정하고자 한다.



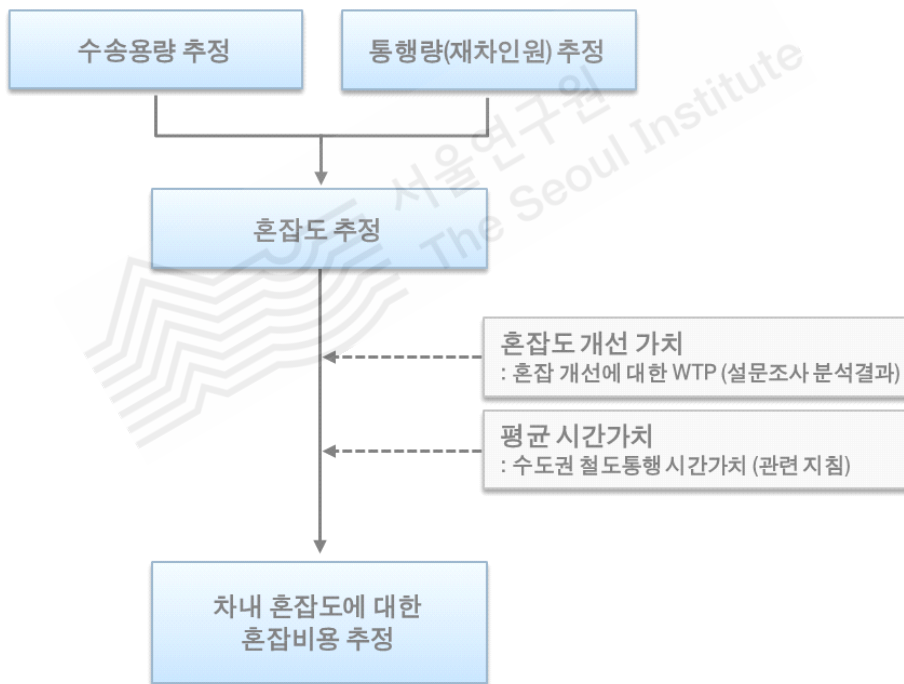
[그림 5-1] 지하철 혼잡비용 유형 구분

2_지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용 산정

1) 차내 혼잡도와 이용자 지불의사액을 바탕으로 차내 혼잡에 대한 혼잡비용을 산정

서울시에서 운행 중인 지하철(광역철도 포함)에 대해서 노선별·방향별·구간별·시간대별로 구분하여 차내 혼잡도를 추정하고, 혼잡도 개선에 대한 지불의사액을 산정하여 서울시 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용을 분석하였다.

- 시간적 범위 : 2013년 10월 16일(수)
- 공간적 범위 : 서울시계 내 운행 중인 지하철, 수도권 광역철도 노선 및 구간



[그림 5-2] 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용 산정 진행도

2) 노선별·방향별·구간별·시간대별 수송용량과 재차인원을 추정

노선별·방향별·구간별·시간대별 수송용량은 노선별·방향별·구간별·시간대별 운행횟수와 노선별 차량편성, 차량정원 자료를 구축하여 <식 5-1>과 같이 산정하였다.

$$\langle \text{식 5-1} \rangle \quad (\text{수송용량})_{l,d,s,t} = (\text{운행횟수})_{l,d,s,t} \times (\text{차량편성})_l \times (\text{차량정원})_l$$

여기서, 수송용량 : 명/시

운행횟수 : 회/시

차량편성 : 량

차량정원 : 명/량

l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

시간대별 운행횟수를 산정하기 위해서는 배차간격 정보가 필요한데, 혼잡도는 배차간격에 따라 상당히 민감하여 지하철 운영기관별로 발표하는 노선별 첨두(RH)·비첨두(NH) 평균 배차간격 자료를 활용하면 오차 발생률이 높은 것으로 나타났다. 실제 첨두시 운행횟수는 같은 노선과 시간대일지라도 역별로, 방향별로 차이가 있기 때문이다. 따라서 열차별 운행 계획 시간표를 활용하여 노선별·방향별·구간별(역별)·시간대별 운행횟수를 산정하였다.

또한 시간대를 너무 작게 설정하여도 단 1회의 운행횟수가 해당 시간대 또는 직후 시간대에 포함되느냐에 따라 혼잡도 오차가 크게 발생하므로 시간단위를 1시간으로 설정하였다. 차량편성은 노선별로 4~10량으로 운행 중이며 객차 1량당 차량정원은 노선별로 151.5~158명으로, 노선별로 이를 적용하여 수송용량을 산정하였다.

구간 통행량(재차인원)은 지하철 차내 혼잡도 추정 시 필수적인 사항이다. 서울메트로와 서울도시철도공사는 운영 중인 1~8호선에 대해서 자체적으로 모형을 구축하여 시간대별 구간별 혼잡도 자료를 제공하고 있다. 그러나 9호선 및 서울시계 내 운행 중인 광역철도 등의 경우 목적조사를 실시하거나 혼잡도 조사자료를 공개하지 않고 있어 별도로 구간 통행량 추정이 필요하다. 구간 통행량은 교통카드 자료를 이용하여 통합 환승이 가능한 수도권 전체 지하철 노선에 대하여 추정하였으며, 기존에 제공 중인 1~8호선에 대해서는 혼잡도 값을 상호 비교하여 검증하였다.

교통카드 자료를 통한 지하철의 구간 통행량을 추정하는 것은 단일 노선만을 이용하는 단독 통행일 경우에는 버스와 다르지 않게 큰 어려움이 없다. 그러나 환승게이트가 설치되어 있는 민자 노선을 제외하고는 지하철 내 환승이 제대로 파악되지 않아(출발역과 도착역 게이트의 교통카드 태그 자료만 존재), 환승통행의 경로 추정이 어렵다. 이러한 지하철 내 환승은 환승 시 발생하는 환승 소요시간과 환승노선의 운행 시간표까지 고려하여 최적경로를 추적해야 한다.

이 연구에서는 통행기반의 최소비용 경로탐색 알고리즘을 이용하여 구간 통행량을 추정하였으며, 이는 <식 5-2>와 같이 지하철 통행 시 발생하는 통행비용을 최소화하는 목적함수를 갖도록 설정하였다.

- 교통카드 자료에서 지하철 통행시간은 출발역 게이트(개찰구)에서 승강장까지의 이동시간, 열차 대기시간, 차내 통행시간, 환승시간, 승강장에서 도착역 게이트까지의 이동시간이 모두 포함된 시간으로 이러한 관련 통행시간 및 비용을 일반화 비용으로 환산할 필요가 있다.
- 따라서 목적함수를 지하철 통행의 일반화 비용을 최소화하는 것으로 설정하였다.

<식 5-2>

목적함수

$$\xi^{rb}(t) = \min[\xi^{ra}(t) + D_{ab}(t + \pi^{ra}(t)) + C_b(t + \pi^{ra}(t) + d_{ab}(t + \pi^{ra}(t)))]$$

제약조건

$$\pi^{rb}(t) = t + \pi^{ra}(t) + \alpha d_{ab}(t + \pi^{ra}(t)) + \beta c_b(t + \pi^{ra}(t) + d_{ab}(t + \pi^{ra}(t)))$$

여기서, $\xi^{rb}(t)$: 출발지 r 에서 t 시간에 출발하여 링크 b 의 도착노드까지의 최소 통행비용

$\pi^{ra}(t)$: 출발지 r 에서 t 시간에 출발하여 링크 a 까지 최소 통행비용인 $\xi^{rb}(t)$ 와 동일한 궤적을 통과한 통행시간

D_{ab} : t 시점에서 링크 a 에서 b 로의 환승 시 발생하는 통행비용

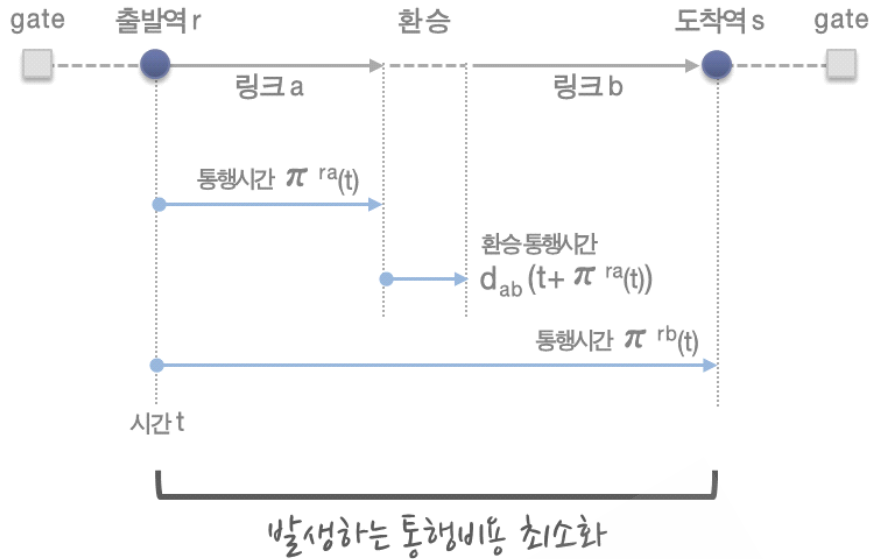
d_{ab} : t 시점에서 링크 a 에서 b 로의 환승 통행시간(대기시간 포함)

C_b : t 시점에서 링크 b 의 통행비용

c_b : t 시점에서 링크 b 의 통행시간

α : 환승혼잡 파라미터

β : 열차지연 파라미터 (1로 가정, $\beta > 1.00$ 이면 열차지연이 발생하는 것임)



[그림 5-3] 통행량 추정모형 개념도

3) 차내 혼잡도는 수송용량 대비 재차인원의 비율로 정의

차내 혼잡도는 용량 대비 수요의 비율로, 앞서 산정한 노선별·방향별·구간별·시간대별 통행량(재차인원)을 수송용량으로 나눠서 노선별·방향별·구간별·시간대별 차내 혼잡도를 산정하였다.

$$\langle \text{식 5-3} \rangle \quad (\text{차내 혼잡도})_{l,d,s,t} = 100 \times \frac{(\text{재차인원})_{l,d,s,t}}{(\text{수송용량})_{l,d,s,t}}$$

여기서, 차내 혼잡도 : %

재차인원 : 명/시

수송용량 : 명/시

l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

4) 차내 혼잡 개선에 대한 지불의사액을 추정하여 혼잡비용 산정

차내 혼잡도에 대한 혼잡비용을 산정하려면 차내 혼잡도가 어느 정도 수준일 때 혼잡이 발생한다고 볼 것인지 그 허용기준을 설정해야 한다. 이 연구에서는 차내 혼잡도 허용기준을 100%로 설정하였고, 노선별방향별구간별시간대별로 추정한 차내 혼잡도와 허용기준 100%의 차이를 <식 5-4>와 같이 산정하였다.

- 4장에서 지하철 이용자 설문조사 결과에 따르면, 이용자들은 차내 혼잡도 허용기준을 100%부터 생각하는 것으로 나타났다. 이에 따라 차내 혼잡도 허용기준을 100%로 설정, 즉 혼잡도 100%부터 지하철 차량내부에 혼잡이 발생한다고 판단하고 이를 적용하였다.

$$\begin{aligned} \text{〈식 5-4〉} \quad & \text{if (차내 혼잡도)}_{l,d,s,t} - (\text{차내 혼잡도 허용기준}) > 0 \text{ then} \\ & (\text{차내 혼잡도 차이})_{l,d,s,t} = (\text{차내 혼잡도})_{l,d,s,t} - (\text{차내 혼잡도 허용기준}) \\ & \text{if (차내 혼잡도)}_{l,d,s,t} - (\text{차내 혼잡도 허용기준}) \leq 0 \text{ then} \\ & (\text{차내 혼잡도 차이})_{l,d,s,t} = 0 \end{aligned}$$

여기서, 차내혼잡도, 차내혼잡도 차이, 차내혼잡도 허용기준 : %

l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

앞서 산정된 차내 혼잡도 차이를 4장에서 분석한 지하철 혼잡가치 모형식에 적용하여, 차내 혼잡도가 허용기준 100%까지 개선될 경우의 수용 가능한 지불의사액(통행시간 증가)을 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{〈식 5-5〉} \quad WTP_{l,d,s,t} = & 2.2141 - (0.0305 \times \text{차내 혼잡도 허용기준}) \\ & + (0.0541 \times \text{허용기준에 대한 혼잡도 차이})_{l,d,s,t} \\ & + (0.0458 \times \text{구간 통행시간}) \end{aligned}$$

여기서, WTP : 지불의사액(통행시간 증가) (분)

구간 통행시간 : 평균 지하철역 간 통행시간인 2분 적용

l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

산출된 혼잡 개선에 대한 지불의사액(통행시간 증가)에 수도권 철도 통행의 평균 시간 가치와 해당 구간의 재차인원을 곱하여 노선별·방향별·구간별·시간대별 차내 혼잡도 혼잡 비용을 산정하고(<식 5-6>), 서울시 전체 지하철의 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용을 산정 하였다(<식 5-7>).

$$\begin{aligned} \text{〈식 5-6〉} \quad & (\text{차내 혼잡도 혼잡비용})_{l,d,s,t} \\ & = WTP_{l,d,s,t} \times (\text{평균 시간가치}) \times (\text{재차인원})_{l,d,s,t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{〈식 5-7〉} \quad & (\text{서울시 차내 혼잡도 혼잡비용}) \\ & = \sum_l \sum_d \sum_s \sum_t (\text{차내 혼잡도 혼잡비용})_{l,d,s,t} \end{aligned}$$

여기서, l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

철도통행의 평균 시간가치는 [표 5-1]의 「교통시설 투자평가지침」에서 제시된 수도권 철도 통행 평균 시간가치를 적용하였고, 소비자물가지수를 반영하여 분석 기준시점인 2013년의 평균 시간가치로 적용하였다(2013년 기준 약 6,267원/인/시, 약 104원/인/분).

[표 5-1] 수도권 철도통행 평균 시간가치

구분	예비타당성지침(2007)		교통시설 투자평가지침(2011)	
	업무	비업무	업무	비업무
통행비율(%)	8	92	7.64	92.36
시간가치(원)	17,626	3,729	20,718	4,839
시간가치(원/대시)	1,423	3,444	1,583	4,470
평균 시간가치(원/인/시)	4,867		6,053	

5) 서울시 지하철은 차내 혼잡에 의해 연간 약 2,317억 원의 혼잡비용이 발생
서울시 지하철 전체의 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용은 1일 6.35억 원으로 분석되었다.
이를 1년 기준으로 환산하면, 지하철 차내 혼잡으로 인해 연간 약 2,317억 원의 혼잡비용이
발생하는 것으로 나타났다.

- 이는 차내 혼잡도 허용기준을 100%로 설정(설문조사 결과에 따라 혼잡도 100%부터 지하철
열차 내 혼잡이 발생한다고 설정)하고 분석한 값으로, 국토교통부의 차내 혼잡도 권고기준인
150%로 설정할 경우 혼잡비용은 낮아질 것이다.

[표 5-2] 서울시 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용

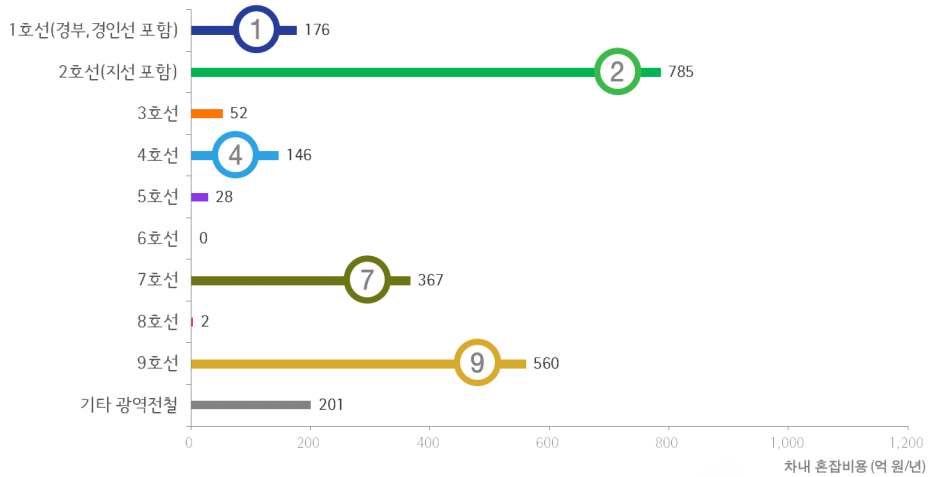
구분	전체
1일 혼잡비용 (억 원/일)	6.35
연간 혼잡비용 (억 원/년)	2,317

주 : 1) 서울시계 내 운행 중인 도시철도, 광역철도 포함

2) 연간 혼잡비용은 자료의 한계상 1일 혼잡비용에 365일을 곱한 것으로, 분석 데이터가 수요일임을 감안
할 때 주말통행량 등을 고려하면 실제 혼잡비용은 더 작을 것임

차내 혼잡도에 대한 혼잡비용을 지하철 노선별로 살펴보면, 2호선의 차내 혼잡비용이
가장 높은 것으로 나타났고 그 외에도 9호선, 7호선의 차내 혼잡비용이 높은 수준인 것으로
나타났다.

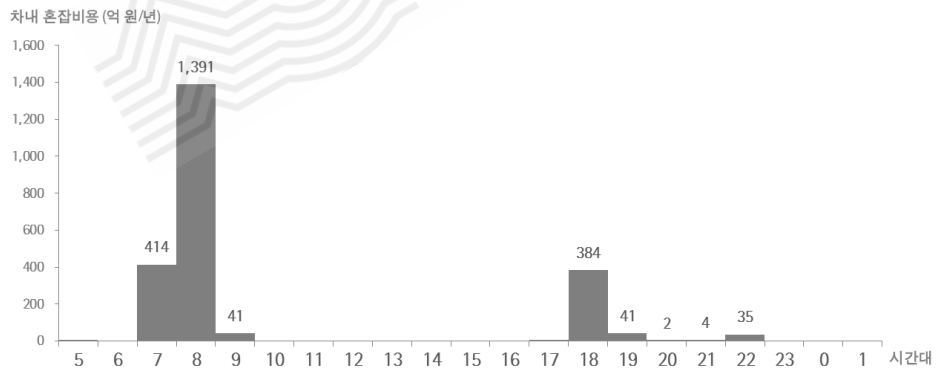
- 이들 노선은 평소 실제 차내 혼잡도가 높은 노선으로 평가되고 있는 노선이다.



[그림 5-4] 지하철 노선별 차내 혼잡비용

차내 혼잡도에 대한 혼잡비용을 시간대별로 살펴보면, 혼잡비용이 발생하는 시간은 7~10시와 18~23시로 오전첨두와 오후첨두의 특성이 나타나고 있다.

- 특히 8~9시에 차내 혼잡비용이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.



[그림 5-5] 시간대별 지하철 차내 혼잡비용

3_지하철 열차지연에 대한 혼잡비용 산정

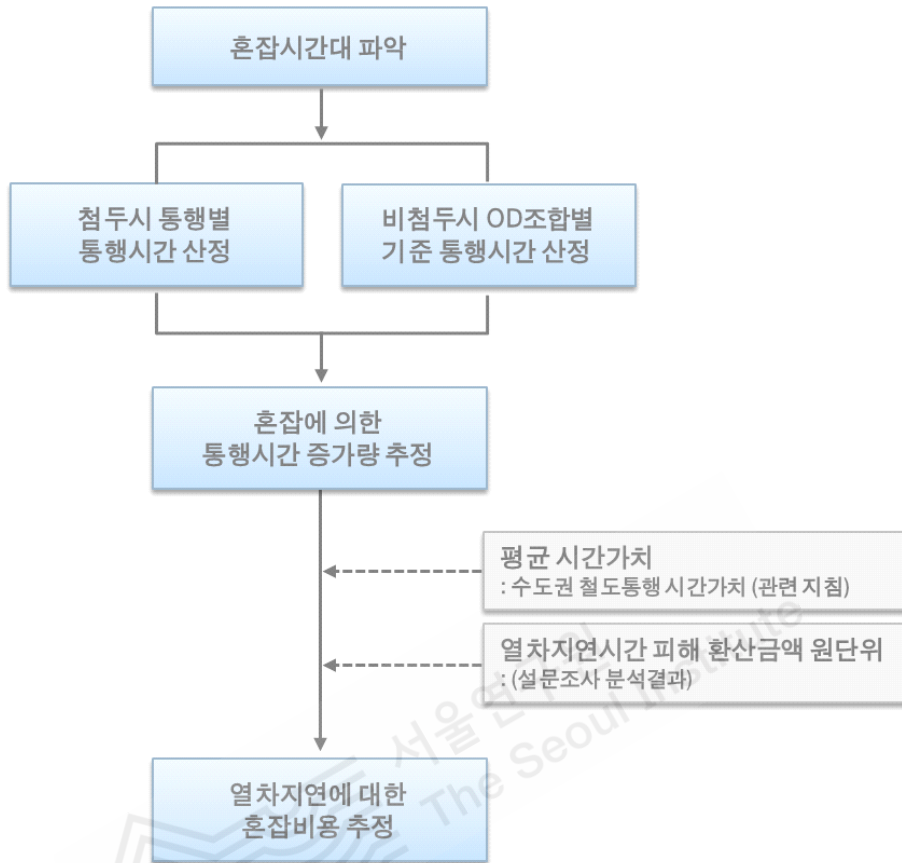
1) 혼잡이 야기하는 통행시간 증가량을 바탕으로 열차지연에 대한 혼잡비용을 산정

교통카드 실제 통행 자료를 이용하여 서울시 관련 통행에 대해서 통행별 혼잡으로 인해 발생하는 통행지연 시간을 추정함으로써 지하철 통행 양(quantity) 측면의 혼잡비용을 산정하였다.

이때, 첨두시간대에만 혼잡에 의한 열차지연이 발생한다고 가정하였고, 첨두시 통행별로 발생하는 통행지연 시간을 측정하기 위해서 비첨두시 통행시간과 비교하여 분석하였다.

- 비첨두시간대에 발생하는 열차지연은 혼잡에 의해 발생한 것이 아니라 열차사고 및 주변 특정 행사 등으로 발생하는 것이라고 가정하였다.
- 시간적 범위 : 2013년 10월 16일(수)
 - 첨두시 통행과 비교할 때 사용된 비첨두시 통행 자료는 2013년 10월 14일(월) ~ 18일(금)의 평일 5일 자료를 사용
 - 첨두시 통행과 비교하기 위한 비첨두시 통행의 충분한 데이터 수 확보를 위해서 동일한 주의 평일 5일 자료를 구축
- 공간적 범위 : 서울시 관련 지하철 통행
 - 지하철 환승 통행 시에는 교통카드 자료로는 정확한 경로 추정이 어려워, 출발지와 도착지를 기준으로 서울시 관련 지하철 통행에 대해서 전체 열차지연 혼잡비용을 산정

혼잡으로 인한 통행시간 증가량은 OD조합별로 비첨두시 기준 통행시간 대비 첨두시 통행 시간의 증가분을 계산하였으며, 교통카드 태그 자료를 통해 통행시간 유형을 분류하고 시간대별역별 대기시간 등을 추정하여 반영하였다.



[그림 5-6] 지하철 열차지연에 대한 혼잡비용 산정 진행도

2) 교통카드 자료를 통해 이용자들이 집중되는 혼잡시간대 파악

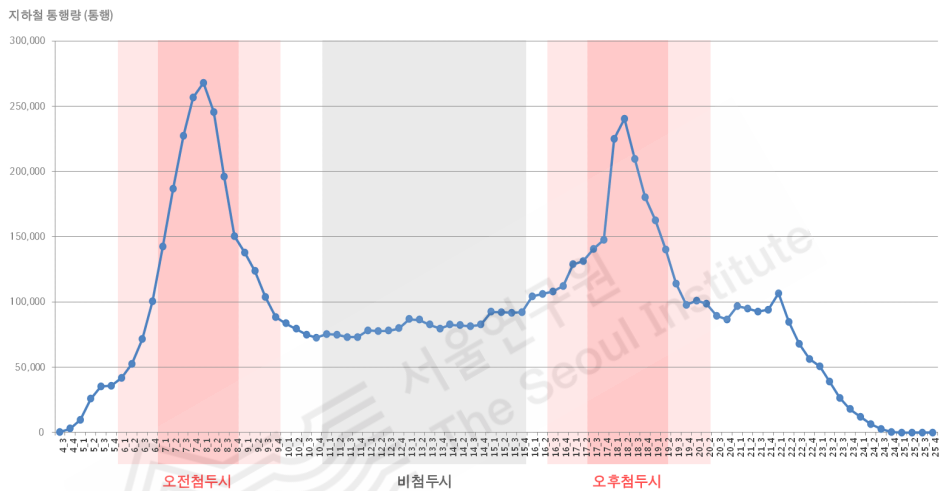
혼잡으로 인한 통행시간 증가량을 산정하기 위해서 지하철 통행량이 많은 시간대를 혼잡 시간대로 설정하였다.

우선, 교통카드 자료의 승차시간을 기준으로 15분 시간단위의 통행량 추이로 최대 첨두 2시간을 파악하였다.

- 최대 오전첨두시 : 07:00~09:00
- 최대 오후첨두시 : 17:30~19:30

파악된 최대 침두 2시간의 앞뒤로 추가 1시간씩 더 포함하여 최종적으로 오전침두시와 오후침두시를 설정하였고, 오전침두시와 오후침두시 사이의 시간으로 실제 배차간격(배차 간격의 변동이 거의 없는 시간대를 그룹화)을 고려하여 비침두시를 설정하였다.

- 오전침두시 : 06:00~10:00 (4시간)
- 오후침두시 : 16:30~20:30 (4시간)
- 비침두시 : 11:00~16:00 (5시간)



[그림 5-7] 지하철 통행 침두시간대 파악

3) 침두시 통행별 통행시간 산정

비침두시 OD조합별 기준 통행시간과 비교하여 통행시간 지연량을 측정하기 위해 비교 가능한 침두시(오전/오후) 통행별 통행시간 자료를 구축하였다.

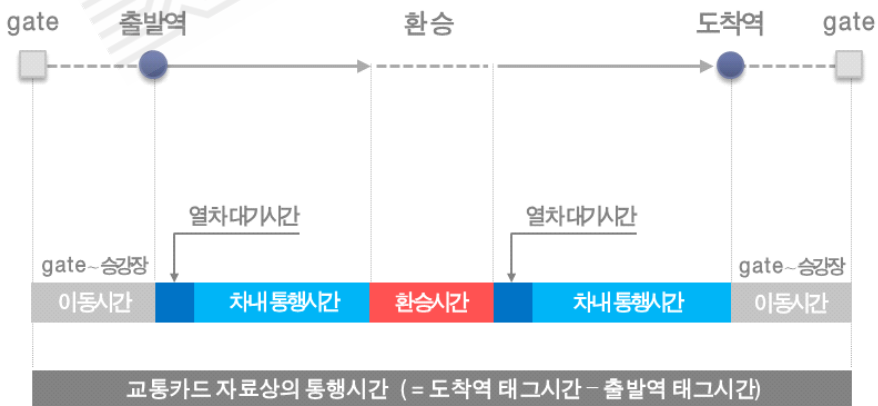
우선 침두시 지하철 통행 자료 중에서 오류 데이터를 파악하고, 오류 유형별로 추후 총량 보정할 사항을 결정하였다. 또한 서울시 관련 통행을 분류하기 위해 지하철역별 지역 정보를 입력하여 분류하였다.

[표 5-3] 침두시 오류 데이터 파악 및 전체 대상 통행량

(단위 : 통행)

구분		오전침두	오후침두	비고
총 통행량		2,393,354	2,338,387	
미오류		2,361,207	2,293,852	
오류	하차 미태그	23,308	30,239	총량 보정
	동일역 승하차	8,795	14,268	열차지연 미발생
	통행시간 (-)값 오류	7	10	총량 보정
	통행시간 이상치 오류	37	18	총량 보정
현금승차		143,601	140,303	6% 적용, 총량 보정
서울시 관련 통행량		2,046,771	1,988,894	
서울시 관련 총량 보정 통행량		144,720	147,893	

교통카드 자료의 지하철 통행 승하차 태그 자료를 통해 통행시간을 산정하게 되는데 이 통행시간은 게이트~승강장 간 이동시간, 열차 대기시간, 차내 통행시간이 모두 포함된 자료이다. 만약 환승통행이 발생하였을 경우에는 환승횟수만큼 환승노선의 열차 대기 시간과 환승통로 이동시간이 추가된다. 이러한 교통카드 자료 특성 때문에 통행시간 지연량을 정확히 파악하기가 쉽지 않다.



[그림 5-8] 교통카드 자료상의 통행시간 구성요소

이러한 특성을 최대한 고려하여 혼잡에 의한 통행시간 지연량을 산정하기 위한 첨두시 통행시간 자료를 다음과 같이 설정하여 구축하였다.

- 교통카드 통행시간에 대기시간만 감(-)하며, 대기시간은 평균 대기시간의 개념으로서 배차 간격의 1/2배의 시간을 적용하였다.

$$\begin{aligned} \langle \text{식 5-8} \rangle \quad (\text{첨두시 통행시간})_i &= (\text{교통카드 통행시간})_i - (\text{대기시간})_{l,d,s,t} \\ &= (\text{교통카드 통행시간})_i - \frac{1}{2}(\text{배차간격})_{l,d,s,t} \end{aligned}$$

여기서, 교통카드 통행시간 : (도착역 태그시간) - (출발역 태그시간)

i : 통행별

l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

추후 혼잡으로 인한 지연시간 산정 시 OD조합별로 첨두시 통행시간에서 비첨두시 기준 통행시간을 감(-)하면, 게이트~승강장 간 이동시간은 서로 상쇄되고, 순수 통행시간(차내 통행시간 + 환승시간)에서의 혼잡 지연시간이 산출되게 된다.

출발역과 도착역에 대한 역별 정보를 입력하여(환승역 여부, 환승노선 수, 환승노선 정보 등) 통행 유형을 구분하고, 대기시간을 노선별방향별-구간별시간대별로 처리하였다.

- 동일노선 이용 시(무환승)에는 출발역을 기준으로 실제 이용한 노선을 추정하여 해당 노선의 방향별구간별시간대별 배차간격을 적용하였다.
- 환승 통행의 경우에는 환승횟수를 추정하여 환승횟수만큼 대기시간을 추가로 산정하여 적용하였다.

4) 비첨두시 OD조합별 기준 통행시간 산정

비첨두시는 첨두시 통행시간과의 비교를 위한 목적이므로, 오류 데이터 및 이상치 데이터는 파악하여 보정하지 않고 삭제하였다. 또한 첨두시는 통행별로 통행시간을 산정하지만,

비첨두시는 첨두시 통행시간과 비교할 수 있도록 OD조합별로 하나의 기준 통행시간을 구축하였다.

첨두시 통행시간과 비교할 충분한 데이터 수를 확보하기 위해 동일 주의 5일(월~금) 교통 카드 데이터를 모두 사용하였으나, 오류 및 이상치 데이터 제거 후 OD조합별로 데이터 수가 적거나 없는 경우도 발생하였다. 이러한 OD조합의 경우에는 OD조합별 구간거리 및 환승거리에 대한 순수 통행시간(차내 통행시간 + 환승시간) 자료를 활용하여 비첨두시 기준 통행시간을 구축하였다. 이에 따라 비첨두시 OD조합별 기준 통행시간은 다음과 같이 설정하였다.

〈식 5-9〉 if $Num \geq 8$ then

(비첨두시 기준 통행시간) $_k$

$$\begin{aligned} &= (\text{교통카드 통행시간의 } Q_1)_k - (\text{대기시간})_{l,d,s,t} \\ &= (\text{교통카드 통행시간의 } Q_1)_k - \frac{1}{2}(\text{배차간격})_{l,d,s,t} \end{aligned}$$

〈식 5-10〉 if $Num < 8$ then

(비첨두시 기준 통행시간) $_k$

$$= (\text{순수 통행시간})_k + (\text{gate} \sim \text{승강장 간 이동시간})$$

여기서, Num : OD조합별 비첨두시 데이터 수

교통카드 통행시간 : (도착역 태그시간) - (출발역 태그시간)

순수 통행시간 : OD조합별 (지하철 구간거리에 대한 차내 통행시간) +
(환승거리에 대한 환승시간)

Q_1 : 제1사분위수

gate ~ 승강장 간 이동시간 : 임의 값인 3.0초 적용

(출발역과 도착역에서 모두 발생하므로, $1.5초 \times 2 = 3.0초$)

k : OD조합별

l : 지하철 노선

d : 방향 (상행/하행 또는 내선/외선)

s : 구간 (지하철역 간 구간)

t : 시간대 (지하철 운행시간을 1시간 단위로 구분 : 05~25시(익일 1시))

5) 동일OD 침두·비침두 통행시간 차이를 추정하여 열차지연에 대한 혼잡비용 산정

앞서 산정한 침두시 통행별 통행시간에서 해당하는 비침두시 OD조합별 기준 통행시간을 매칭하여 감(-)함으로써, 침두시 혼잡에 의한 통행시간 증가량을 산정하였다.

$$\begin{aligned} \langle \text{식 5-11} \rangle \quad & (\text{침두시 혼잡에 의한 통행시간 증가량})_i \\ & = (\text{침두시 통행시간})_i - (\text{비침두시 기준 통행시간})_k \end{aligned}$$

여기서, i : 통행별
 k : OD조합별

침두시 통행별 통행시간 증가량을 산정한 후, 평균 시간가치를 적용하여 열차지연 혼잡비용을 산정하였다.

- 평균 시간가치는 앞서 지하철 차내 혼잡도에 대한 혼잡비용 산정 시 적용했던 「교통시설 투자 평가지침상」에 제시된 수도권 철도 통행 평균 시간가치를 적용하였다.
- 또한, 4장에서 지하철 이용자 설문조사 분석 결과 중에 지하철 열차지연 시간에 대한 피해 환산금액 원단위도 적용하여 비교하였다.

$$\begin{aligned} \langle \text{식 5-12} \rangle \quad & (\text{열차지연 혼잡비용})_i \\ & = (\text{침두시 혼잡에 의한 통행시간 증가량})_i \times (\text{평균 시간가치}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle \text{식 5-13} \rangle \quad & (\text{서울시 지하철 열차지연 혼잡비용}) \\ & = \sum_i (\text{열차지연 혼잡비용})_i \end{aligned}$$

여기서, i : 통행별

6) 서울시 지하철은 열차지연에 의해 연간 약 4,930억 원의 혼잡비용이 발생
 침두시 혼잡에 의한 통행당 평균 통행시간 증가량을 살펴보면, 오전침두시에 평균 2.65분, 오후침두시에 평균 3.33분의 통행시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 앞서 지하철 이용자

설문조사에서 나타난 출근업무통행 시 경험했던 지하철 평균 열차지연 시간인 4.9분보다 낮게 나타났는데, 이는 이용자가 실제 지연시간보다 좀 더 크게 체감하는 것으로 판단된다.

[표 5-4] 첨두시 혼잡에 의한 평균 통행시간 증가량

구분	오전첨두시	오후첨두시
평균 열차지연 (분/통행)	2.65	3.33

첨두시 통행시간 증가량에 평균 시간가치를 적용하여 서울시 지하철 전체의 열차지연 혼잡 비용을 산정한 결과, 연간 4,930억 원의 열차지연 혼잡비용이 발생하는 것으로 나타났다.

- 이는 「교통시설 투자평가지침」에 제시된 수도권 철도 통행 평균 시간가치(104원/인/분)를 적용한 결과이다.

4장에서 지하철 이용자 설문조사 분석 결과 중에 지하철 열차지연 시간에 대한 피해 환산 금액 원단위를 적용하여 열차지연 혼잡비용을 산정한 결과, 연간 3조 3,025억 원의 혼잡 비용이 발생하는 것으로 나타났다.

- 지침상의 평균 시간가치를 적용하여 산정한 결과보다 상당히 큰 혼잡비용이 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 실제 지하철 이용자가 혼잡에 의한 통행시간 지연에 대해서 피해 환산금액을 통상적으로 사용되는 평균 시간가치보다 크게 생각하기 때문이다.

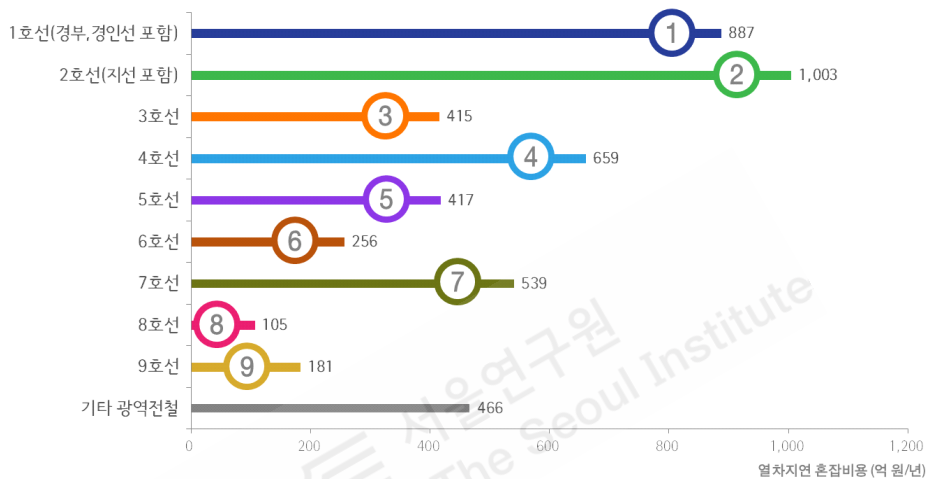
[표 5-5] 서울시 지하철 열차지연에 대한 혼잡비용

구분		오전첨두시	오후첨두시	전체
평균 시간가치 Case 1 (104원/인/분)	1일 혼잡비용 (억 원/일)	6.07	7.43	13.51
	연간 혼잡비용 (억 원/년)	2,217	2,712	4,930
평균 시간가치 Case 2 (700원/인/분)	1일 혼잡비용 (억 원/일)	40.70	49.78	90.48
	연간 혼잡비용 (억 원/년)	14,854	18,171	33,025

주 : 1) 평균 시간가치 Case 1 : 「교통시설 투자평가지침」의 시간가치 적용
 평균 시간가치 Case 2 : 이 연구 설문조사에서 분석된 지하철 열차지연 시간에 대한 피해 환산금액 원단위 적용
 2) 연간 혼잡비용은 자료의 한계상 1일 혼잡비용에 365일을 곱한 것으로, 분석 데이터가 수요일임을 감안 할 때 주말통행량 등을 고려하면 실제 혼잡비용은 더 작을 것임

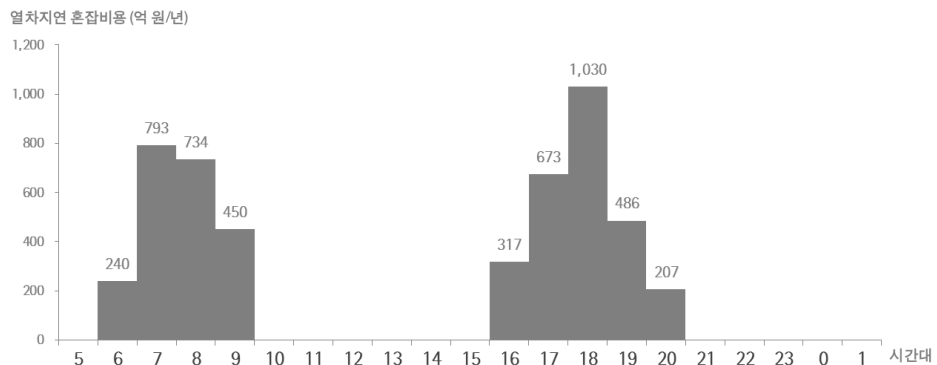
열차지연에 대한 혼잡비용을 지하철 노선별로 살펴보면, 2호선의 혼잡비용이 가장 높은 것으로 나타났고 그 외에도 1호선, 4호선, 7호선의 열차지연 혼잡비용이 높은 수준인 것으로 나타났다.

- 이들 노선은 평소 실제 통행량이 높고 그에 따라 혼잡도도 높은 노선으로 평가되고 있는 노선이다.



[그림 5-9] 지하철 노선별 열차지연 혼잡비용

열차지연에 대한 혼잡비용을 시간대별로 살펴보면, 7~9시와 18~19시에 열차지연 혼잡비용이 가장 큰 것으로 나타났다.



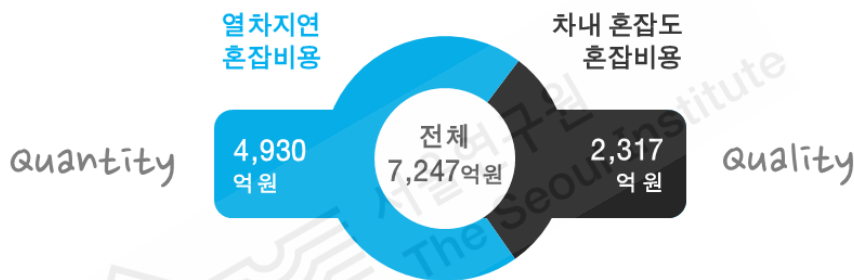
[그림 5-10] 시간대별 지하철 열차지연 혼잡비용

4_서울시 지하철 혼잡비용 종합

1) 서울시 지하철 혼잡비용은 연간 약 7,247억 원으로 분석

서울시 지하철(광역철도 포함)의 혼잡비용을 두 가지 측면으로 나눠서 산정하였고, 전체 지하철 혼잡비용은 연간 약 7,247억 원으로 분석되었다.

- 지하철 통행 질(quality)적 측면에서의 차량내부 혼잡도에 대한 혼잡비용은 연간 약 2,317억 원으로 분석되었다.
- 지하철 통행 양(quantity)적 측면에서의 열차지연 혼잡비용은 연간 약 4,930억 원으로 차내 혼잡비용보다 더 큰 것으로 나타났다.

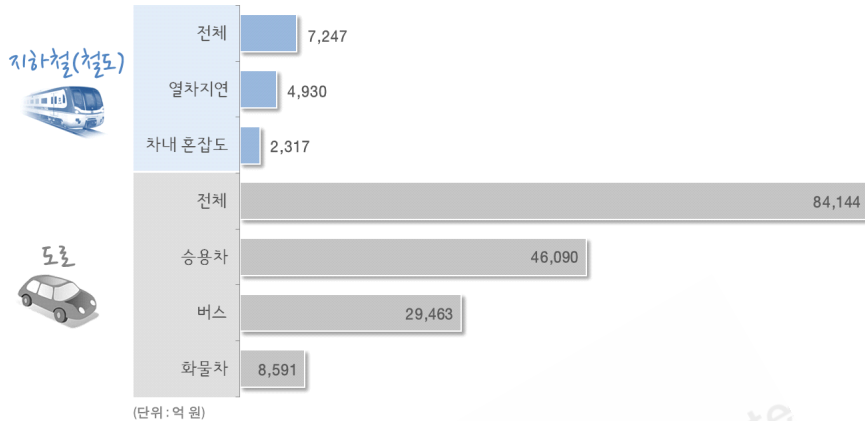


[그림 5-11] 서울시 지하철 전체 혼잡비용

2) 도로 혼잡비용의 9%에 불과하나, 지하철 혼잡비용도 무시할 수 없는 수준
산정된 지하철 혼잡비용을 매년 발표되고 있는 도로 혼잡비용과 비교해보면, 도로 전체 혼잡비용의 약 9% 수준이고 같은 대중교통 수단인 버스 혼잡비용의 약 25% 수준인 것으로 나타났다.

- 지하철 혼잡비용은 도로 혼잡비용에 비해 상당히 낮은 수준이나, 연간 7,200억 원 규모로 상당히 큰 비용으로 판단된다.
- 한편, 도로 혼잡비용은 통행시간 증가 등에 따른 유류비 증가, 인건비 증가 등 여러 항목들이 고려되고 있으나 지하철 혼잡비용은 이러한 항목들이 고려되지 않은 값이다.

그리고 지하철 차내 혼잡비용은 이용자에게 혼잡 개선에 대한 지불의사액(통행시간 증가)을 설문하여 산정한 값으로, 도로 부문과 비교하면 혼잡비용 산정 접근 방법 등에 차이가 있어 지하철은 상대적으로 저평가된 것으로 판단된다.



자료(도로 혼잡비용) : 한국교통연구원, 2014, 「2011·2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석」

[그림 5-12] 서울시 도로 부문 혼잡비용과의 비교(지하철은 2013년 기준, 도로는 2012년 기준)

06

결론 및 정책제언

1_결론

2_정책제언

06 결론 및 정책제언

1_결론

1) 도로 혼잡처럼 사회적 비용손실이 발생하는 지하철에 대해 혼잡비용을 추정

서울시 지하철의 일일 이용자 수가 약 700만 명을 넘어서고, 첨두시 차량 내의 심각한 혼잡상황이 연일 보도되고 있음에도 불구하고, 지하철(철도) 부문의 혼잡가치 및 혼잡비용 산정에 대한 연구는 미미한 상황이다.

이에 따라 이 연구에서는, 이미 학술적으로 인정된 도로 혼잡과 그로인한 사회적 비용 손실 산정에 대한 개념적 접근 방식을 토대로 서울시 지하철에서 발생하는 혼잡비용을 추정하였다.

- 도로 부문의 혼잡비용 산출에는, 혼잡으로 인해 저속 주행하는 차량의 유류비 증가액이나 지체된 운행시간에 대한 시간가치 비용 등이 반영된다. 이와 마찬가지로 지하철 부문의 혼잡비용 산출에, 첨두시 혼잡으로 인한 통행시간 증가(열차지연)와 차내 쾌적성 저하 등에 따른 비용손실을 추정하여 반영하였다.

우선, 지하철 이용자를 대상으로 설문조사를 실시하여 이용자의 지하철 혼잡 인식을 파악하고 차내 혼잡도 개선에 대한 지불의사액 등을 분석하였다.

- 조사 결과, 이용자들은 지하철 차량 내 혼잡도가 100% 수준일 때부터 혼잡이 발생한다고 느끼는 것으로 나타나, 권고기준 150%보다 더 낮은 수준에서도 혼잡도를 체감하고 있는 것으로 드러났다. 또한, 응답자 중 12.5%(비업무 통행)~33.5%(출근업무 통행)가 열차 지연을 경험했으며 지연운행으로 인해 평균 5분의 통행시간 증가를 체감한 것으로 나타났다.

- 지하철 혼잡 개선에 대한 지불의사액을 분석한 결과, 통행시간과 혼잡도 개선 정도가 클수록, 개선 후의 혼잡도가 작을수록 지불의사액이 큰 것으로 나타났다.

- 지하철 혼잡가치 분석 결과, 혼잡도 개선 정도가 평균에서 추가로 한 단위 증가하면

0.0437분만큼 통행시간 증가를 수용하는 것으로 나타났다. 즉 차내 혼잡도가 50% 개선될 경우, 수도권 철도 통행의 평균 시간가치를 적용하면 혼잡 개선 가치는 약 228원에 달할 것으로 추정되었다.

2) 서울시 지하철 혼잡비용은 연간 약 7,247억 원으로, 상당히 큰 규모의 혼잡비용이 지하철에서도 발생

서울시 지하철의 혼잡비용 산출은 차량내부 혼잡에 대한 혼잡비용과 열차지연에 대한 혼잡비용의 두 가지 부문으로 나누어 이루어졌다.

- 지하철 통행 질(quality)적 측면의 혼잡비용은 차내 혼잡도에 의한 것으로, 연간 약 2,317억 원으로 산출되었다.
- 지하철 통행 양(quantity)적 측면의 혼잡비용은 열차지연에서 발생하는 것으로, 연간 약 4,930억 원으로 산출되었는데 이는 차내 혼잡비용의 두 배 이상에 달하는 것이다.
- 서울시 지하철 통행의 질적, 양적 혼잡비용을 합한 전체 혼잡비용은 연간 약 7,247억 원으로 나타나, 상당히 큰 규모의 혼잡비용이 지하철 혼잡에 의해서 발생하고 있는 것으로 분석되었다.
- 지하철 혼잡비용은 도로교통 혼잡비용에 비하면 상대적으로 작은 규모(약 9% 수준)이고, 지하철 혼잡은 대중교통의 특성상 피동적으로 감내해야 하는 상황으로 인식되어 온 것이 사실이다. 그러나 이 연구를 통해 지하철 혼잡비용이 결코 무시할 수 없는 수준인 것으로 확인되었다. 그러므로 향후 이에 대한 심화된 연구와 정책 적용의 필요성이 시사된다.

2_정책제언

1) 지하철 분담률 제고 정책 추진 시 서비스 질 저하 방지를 위해 혼잡도에 대한 고려가 필수

일반적인 비용편익 분석은 도로 통행속도 개선에 초점이 맞춰져 있으므로, 도로 통행료 부과로 인해 승용차 이용을 포기하고 대중교통을 선택하는 수요와 그로 인하여 증가되는 대중교통 혼잡도는 고려되지 않고 있다. 예를 들어, 혼잡통행료를 부과하고 있는 런던과 스톡홀름에서도 대중교통으로 전환된 수요가 미치는 또 다른 영향에 대해서는 고려하지 않고 있다.

지하철 혼잡비용과 지하철 분담률은 선형의 관계를 가지고 있지 않다. 혼잡도가 일정 수준 이상으로 증가하게 되면 이용승객이 체감하는 혼잡에 대한 페널티는 크게 증가하게 되며, 더불어 지하철 운행속도와 정시성이 저하되어 상당한 사회적 비용이 수반된다. 이 연구 결과는 승용차 통행을 억제하여 지하철 등의 대중교통 이용을 장려하는 정책과 함께 대중교통 서비스 질(quality)도 함께 고려될 필요성을 시사한다.

2) 교통SOC 투자와 관련된 의사결정을 지원

서울의 지하철 이용수요는 2030년까지 지속적인 증가세를 보일 것으로 전망되고 있다. 이러한 예상 증가 수요를 만족시키기 위해 지하철 서비스 용량을 확충할 수 있는 정책 마련이 필요한 상황이다. 그러나 새로운 지하철 노선을 건설하거나 시스템 개선을 통해 서비스 용량을 확충하는 일은 단기간에 이루어지기 어려운 사업이며 상당한 비용을 요한다.

이 연구에서 제시한 지하철 혼잡비용 산정 방법론은 장래 교통수요 변화에 따른 지하철 혼잡비용 추정치를 제시함으로써 관련 정책 수립을 지원할 수 있다.

3) 지하철(철도) 사업 타당성 검토 시 혼잡도 감소를 추가 편익으로 반영

지하철 신규 건설에 대한 기존의 타당성 검토에서는 도로의 통행속도 개선 효과만이 편익 항목으로 인정되고 있다. 즉 새로운 지하철 노선의 개통으로 기존의 도로 이용자가 승용차를 이용하지 않고 지하철 이용을 선택함으로써 얻어지는 도로의 혼잡 감소 효과를 철도 신규 건설에서 발생하는 이익으로 고려한다는 것이다.

지하철 통행의 양적·질적 혼잡비용을 산출한 이 연구의 결과는 새로운 지하철 건설로 인해 얻어지는 편익 항목에 지하철 혼잡도 감소를 추가적으로 반영할 것을 제안한다. 신규 노선 건설로 인해 전체 시스템의 용량이 증가하고 기존 노선의 혼잡 비용이 감소한다면 이는 충분히 추가 편익으로 인정될 수 있다는 것이다.

4) 서울시 교통수단 간 적정 분담률 산정에 활용

대중교통 우선 정책 추진배경에는 대중교통에는 용량의 제한이 없고 내부적인 혼잡비용이 발생하지 않는다는 비현실적인 가정이 있다. 그러나 이 연구의 결과는 침두시 지하철 서비스 용량의 공급 부족에 의해 혼잡이 발생하고 있으며 그로 인해 상당한 규모의 혼잡비용이 소요되고 있음을 보여준다.

현재의 도시교통 문제를 해결하기 위한 가장 현실적이고 효과적인 방법은 이러한 비현실적인 가정에서 벗어나 대중교통의 적정 분담률을 제고하는 것이다. 적정 분담률이란 통행이 1단위 증가할 때 도로 부문의 한계비용과 대중교통 부문의 한계비용이 동일해지는 상황을 의미한다. 이 연구에서 산출된 지하철의 혼잡비용은 지하철 한계비용 산정에 활용되고 궁극적으로는 대중교통 적정분담률 산정에 의미 있는 자료가 될 수 있을 것이다.

5) 대중교통 요금정책 결정에 활용

최근 지속된 대중교통 운행 적자는 수천억 원대에 달하고 있어 불가피한 요금인상이 예상되고 있는 실정이다. 그러나 대중교통 요금인상은 서민층에게 큰 부담으로 작용하기 때문에 시간대별 할인제도 등의 요금정책이 검토되고 있다. 이미 도로 부문에서는 혼잡통행료 징수와 같은 정책이 시행되고 있는데 이는 지하철 부문에서도 적용될 수 있다.

예를 들어, 혼잡시간을 피하여 이른 아침과 늦은 밤에 이루어지는 지하철 통행에 대한 할인 요금을 결정할 때, 이 연구에서 산출한 지하철 혼잡비용이 할인을 산정의 근거로 활용될 수 있다.

6) 지하철 시설개선 계획에 구체적으로 활용

지하철 서비스 용량 확충을 위한 시설개선은 상당한 비용과 기간을 요구하는 사업으로 운영기관 입장에서는 큰 부담이 될 수 있다. 예를 들어, 지하철 1편성을 구매하기 위해서는 1,000억 원 이상의 상당한 비용이 소요된다.

그러므로 지하철 서비스 질 향상을 위한 보다 효율적인 방안은, 신규 노선 건설이나 차량 편성 구매에 투입되는 비용과 추가적인 편성 투입을 통해 얻을 수 있는 혼잡비용 감소분을 비교·검토하고 이를 토대로 현실적인 시설확충 계획을 수립하는 것이다. 이 연구에서 제시한 지하철 혼잡비용 산정 방법은 이러한 비용 비교분석에 구체적으로 활용될 수 있다.

참고문헌

- 경기개발연구원, 2012, 「교통복지를 고려한 철도사업의 타당성 평가방안 연구」.
- 국토교통부, 2012, 「2012년 대중교통운영자에 대한 경영 및 서비스 평가 최종보고서」.
- _____, 2013, 「교통시설 투자평가지침(제5차 개정)」.
- _____, 2013, 「도시철도의 건설과 지원에 관한 기준」.
- 국토연구원한국교통연구원, 2011, 「교통시설 투자평가지침(도로부문) 개선방안 연구」.
- 서울도시철도공사, 2014, 「2014년 서울도시철도 수송계획」.
- 서울메트로, 2014, 「2014년 서울메트로 수송계획」.
- 서울특별시, 2013, 「서울특별시 10개년 도시철도망 구축계획 변경(안)」.
- 전성문, 2009, “철도 가치평가방법의 개선방안에 관한 연구”, 서울산업대학교 철도전문대학원 석사학위논문.
- 한국개발연구원, 2008, 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구(제5판)」.
- 한국교통연구원, 2007, 「교통혼잡비용 추정방법 개선」.
- _____, 2014, 「2011·2012년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석」.
- Accent, 2006, *Rail customer valuations of sitting, standing, and crowding*.
- Alejandro Tirachini, *Valuation of sitting and standing in metro trains using revealed preferences*.
- Association for European Transport and Contributors, 2007, *UK DfT rail passenger demand forecasting study*.
- Hironori Kato, 2014, *Valuation of urban rail service : experiences from Tokyo*.
- London Underground Limited, 1989, *Research into crowding penalties for LUL and LRT*.
- Luke Haywood and Martin Koning, 2013, *Estimating crowding costs in public transport*.
- Mark Wardman and Gerard Whelan, 2010, *Twenty years of rail crowding valuation studies : evidence and lessons from british experience*.
- MVA Consultancy, 2008, *Valuation of overcrowding on rail service*.
- Prud'homme, Koning, Lenormand, and Fehr, 2012, “Public transport congestion costs : the case of the Paris subway”, *Transport Policy* 21.

<http://stat.seoul.go.kr/>(서울통계)

<http://traffic.seoul.go.kr/>(서울시청 - 교통통계)



부록

설문조사지

통계법 13조(비밀의 보호)에 의거 본 조사에서
개인의 비밀에 속하는 사항은 엄격히 보호됩니다.

A 타입 ID


『지하철 차량 내부 혼잡에 관한 설문조사』


안녕하십니까?

서울시 산하 연구기관인 저희 (재)서울연구원에서는 『서울시 지하철 혼잡비용 산정 연구』와 관련하여 '지하철 이용자가 체감하는 지하철 차량 내부 혼잡에 대한 인식조사'를 실시하고 있습니다.

조사를 통하여 얻어진 자료는 어떠한 경우에도 외부에 공개하지 않으며, 귀하께서 응답해 주신 자료는 서울시 대중교통 정책 수립에 큰 도움이 될 것입니다. 잠깐 시간을 내주시어 설문에 응답해 주시면 대단히 감사하겠습니다.

2014년 11월

주관기관 :

 서울연구원
The Seoul Institute

조사기관 :

 (주) GRI 리서치
GRI Research Co., Ltd.
http://www.gri-research.co.kr

조사원 성명	감독관 성명
조 사 일 시	2014년 월 일 시부터 2014년 월 일 시까지 ① 오전 청두(08시 ~ 10시) ② 오후 청두(17시 ~ 19시) ③ 비청두

인구통계적 질문 (선정 질문)

【선문1】 귀하의 성별은 어떻게 되십니까?
 ① 남자 ② 여자

【선문2】 귀하의 연령은 만으로 어떻게 되십니까? 만 _____ 세 ⇒ 만 20세 미만과 만 65세 이상은 면접 중단
 ① 20대 ② 30대 ③ 40대 ④ 50대 이상

【선문3】 귀하의 직업은 무엇입니까?
 ① 직장인 ② 자영업 ③ 학생 ④ 주부 ⑤ 미취업 ⑥ 기타(적어주세요 : _____)

【선문4】 귀하의 월평균 소득은 얼마 정도입니까?(세금공제 후 소득)
 ① 100만원 미만 ② 100-199만원 ③ 200-299만원 ④ 300-399만원
 ⑤ 400-499만원 ⑥ 500-599만원 ⑦ 600만원 이상

【선문5】 귀택의 자가용 승용차 중에서 귀하께서 언제든 이용 가능한 승용차는 몇 대입니까?
 ① 없다 ② 있다 (_____대 보유)

- 1 -

[부록 그림 1] 설문조사지

현재 지하철 통행 질문

【문1】 현재 귀하의 출발역과 도착역은 어디입니까?

1-1 출발역 ()역

1-2 도착역 ()역

【문2】 현재 통행 중인 지하철의 출발역에서 도착역까지의 통행 시간은 어느 정도입니까?

동행시간 약 ()분 정도 ⇒ 30분 미만이면 A타입, 30분 이상이면 B타입으로 질문

【문3】 귀하께서 현재 통행하시는 목적은 무엇입니까?

① 통근/통학 ② 업무 ③ 여가/관광 ④ 친구/친지 만남 ⑤ 쇼핑 ⑥ 기타 ()

【문4】 귀하께서 평소 현재와 같은 지하철 통행 시 좌석과 입석 중 탑승 형태는 어떤 것입니까?

① 좌석(앞아서 통행) ② 입석(서서 통행)

【문5】 귀하가 평소 현재와 같은 지하철 통행 시 가장 혼잡한 구간은 어디입니까?

가장 혼잡한 구간

() (호)선 ()역 → ()역

【문5-1】 그림, 그 가장 혼잡한 구간의 지하철 내부 혼잡상태는 어떤 경우에 해당합니까?

- ① A : 좌석에 모두 착석하고 간간히 서있는 상태 (⇒설문 중단)
 ② B : 여유롭게 서있는 상태 (⇒문6-1, 문7-1로 이동)
 ③ C : 지나갈 때 치게 되는 다소 혼잡한 상태 (⇒문6-2, 문7-2로 이동)
 ④ D : 출입문 주변이 혼잡하고 서로 어깨가 밀착되는 상태 (⇒문6-3, 문7-3으로 이동)
 ⑤ E : 출입문 주변이 매우 혼잡하고 서로 등이 밀착되어 팔을 둘 수 없는 상태 (⇒문6-4, 문7-4로 이동)
 ⑥ F : 출입문 주변이 매우 혼잡하고 서로 등과 얼굴이 밀착되어 숨이 막히는 상태 (⇒문6-5, 문7-5로 이동)

【문6】 만약 지하철 내부 혼잡을 완화시킬 경우 지하철 통행시간이 증가하게 된다면, 귀하의 현재 통행 목적과 구간을 기준으로 어느 정도의 통행시간 증가를 수용하시겠습니까? 단, 지하철 내부 혼잡은 지하철 탑승부터 하차까지 앞에서 답변하신 가장 혼잡한 구간의 상태가 계속되는 것으로 가정해 주시고 응답해 주십시오.

★★★ () (문2)분 동안 () (문5-1) 상태로 계속 간다고 가정 (← 설문시 조사자가 체크)

(* 각각의 경우에 대하여 네모 칸 안에 수용 가능한 추가 소요 시간을 체크해 주시면 됩니다.)

문6-1	혼잡변화 B→A	추가시간 10분 초과 증가 ()분	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가
문6-2	혼잡변화 C→B C→A	추가시간 10분 초과 증가 ()분	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가

문6-3	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가
	D→C	()분												
	D→B	()분												
	D→A	()분												
문6-4	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가
	E→D	()분												
	E→C	()분												
	E→B	()분												
문6-5	혼잡변화	추가시간	10분 초과 증가	10분 증가	9분 증가	8분 증가	7분 증가	6분 증가	5분 증가	4분 증가	3분 증가	2분 증가	1분 증가	0분 증가
	F→E	()분												
	F→D	()분												
	F→C	()분												
	F→B	()분												
	F→A	()분												

【문7】 만약 지하철 내부 혼잡을 완화시킬 경우 지하철 요금이 증가하게 된다면, 귀하의 현재 통행 목적과 구간을 기준으로 추가로 얼마의 요금을 더 지불할 의사가 있으십니까? 단, 지하철 내부 혼잡은 지하철 탑승부터 하차까지 앞에서 답변하신 가장 혼잡한 구간의 상태가 계속되는 것으로 가정해 주시고 응답해 주십시오.

★★★ ()원(문2)분 동안 ()원(문5-1) 상태로 계속 간다고 가정 (← 설문시 조사자가 체크)

문7-1	혼잡변화	추가지불요금
	B→A	()원
문7-2	혼잡변화	추가지불요금
	C→B	()원
문7-3	혼잡변화	추가지불요금
	D→C	()원
	D→B	()원
문7-4	혼잡변화	추가지불요금
	E→D	()원
	E→C	()원
	E→B	()원
	E→A	()원

문7-5	혼잡변화	추가지불요금
	F→E	()원
	F→D	()원
	F→C	()원
	F→B	()원
	F→A	()원

【문8】 현재 지하철 차량운행 계획 시, 국토교통부의 차내 혼잡도 권고 기준은 D상대(혼잡도 150%)입니다. 혼잡도를 D상대까지 허용한다는 기준입니다. 귀하께서는 최소한 어느 정도의 차내 혼잡도를 허용했으면 할까요? (혼잡도 그림 제시)

- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E ⑥ F

지하철 이용 행태

【문9】 귀하께서는 평소 지하철을 이용하시면서 차량 내부의 혼잡을 싫어하시는 이유는 무엇입니까? (복수응답 가능)

- ① 신체적 접촉이 심다 ② 소매치기, 성추행 등 치안이 우려된다 ③ 온도 조절이 안된다(덥다)
④ 공기가 좋지 않다 ⑤ 시선 처리가 어렵다 ⑥ 기타()

【문10】 귀하께서는 평소 출근 등 업무 목적으로 현재 통행과 비슷한 거리구간의 지하철을 이용하시면서 도착역에 지연 도착하는 경우를 얼마나 경험하십니까?

- ① 거의 없다 ⇒ 문10-2로 이동
② 있다(1주일 평균 회 통행 중에서 회 지연 경험 / 평균 분 지연)

【문10-1】 그림, 그런 상황에서(출근 또는 바쁜 때) 경험하신 지하철 지연 도착시간을 금액(피해 금액)으로 환산한다면 어느 정도로 평가하십니까?

약 원 정도

【문10-2】 그림, 업무 목적으로 지하철 이용 시 여유 시간은 어느 정도 가지고 출발하십니까?

약 분 정도

【문11】 귀하께서는 평소 여가, 쇼핑, 친구 만남 등 비업무 목적으로 현재 통행과 비슷한 거리구간의 지하철을 이용하시면서 도착역에 지연 도착하는 경우를 얼마나 경험하십니까?

- ① 거의 없다 ⇒ 문11-2로 이동
② 있다(1주일 평균 회 통행 중에서 회 지연 경험 / 평균 분 지연)

【문11-1】 그림, 그런 상황에서 경험하신 지하철 지연 도착시간을 금액(피해 금액)으로 환산한다면 어느 정도로 평가하십니까?

약 원 정도

【문11-2】 그림, 비업무 목적으로 지하철 이용 시 여유 시간은 어느 정도 가지고 출발하십니까?

약 분 정도

응답자 성명		전화번호	
--------	--	------	--

- 끝까지 응답해 주셔서 대단히 감사합니다. -

주 : 설문조사지 A타입은 통행시간이 30분 미만 : 문6에서 추가 소요시간을 1분 간격으로 제시
설문조사지 B타입은 통행시간이 30분 이상 : 문6에서 추가 소요시간을 2분 간격으로 제시

[부록 그림 1 계속] 설문조사지

Abstract

Seoul Subway Congestion Costs and Policy Implications

Seungjun Kim · Jaehyeon Jeon

Currently, reports on roadway congestion costs have been published annually but the Seoul subway(hereafter, subway) congestion costs were excluded in the reports. Yet, the subway also causes social costs, such as increased travel time during the peak hours, like roadway congestions, and also because of train delays and uncomfortable overcrowding on the trains. Thus, this research assessed the crowding valuation and congestion costs of the Seoul subway.

Subway user surveys were conducted to find out what the actual users thought about the overcrowding on the trains and how willing they were to pay for improving the level of crowding. It was revealed that the users experience a higher level of crowding inside the car than the reported level. Subway users also start to perceive discomfort and inconvenience as the crowding level approaches the passenger capacity(i.e. 100% crowding level). According to the research on the subway crowding valuation, subway users will accept 2.2 minutes of an increase in travel time with a 50% reduction of the crowding level. In other words if one converts that finding into a monetary unit, then this implies that subway users are willing to pay an extra 228 won for a 50% reduction of crowding improvement.

In this research, the subway congestion cost was assessed on two bases: 1) cost because of overcrowding on the trains, and 2) cost because of operational delay. For the qualitative aspect of overcrowding, the annual congestion cost was about 232 billion won

while for the quantitative aspect of train delay, the annual congestion cost was about 493 billion won. Therefore, the total congestion cost of the Seoul subway system is about 725 billion won per year. Although this is a small amount(about 9%) of the congestion cost compared with that of roadways, it is reasonable to hypothesize that a large amount of social cost is also being caused also by the subway system.

This research has endeavoured to clarify the thesis that the subway congestion cost should not be overlooked and therefor, the cost ought to be taken into consideration when making various transportation policies.

- The change of social cost needs to be reviewed while taking the subway congestion cost into consideration when the subway share increases because of demand management.
- When assessing the feasibility of railway projects, additional benefits (decrease of crowding level in the other subway lines) should also be factored in.
- Dynamic transit fare schemes for the subway can be set by taking into account to what extent they trigger the shift and change in the crowding level.

Contents

01 Introduction

- 1_Background and Purpose
- 2_Main Contents

02 Review of Related Literature

- 1_Domestic Related Guidelines
- 2_Domestic Related Researches
- 3_Overseas Related Researches

03 Current State of the Seoul Subway Congestion

- 1_Operation of the Seoul Subway
- 2_Congestion of the Seoul Subway
- 3_Train Delays of the Seoul Subway
- 4_Service Satisfaction of the Seoul Subway

04 Analysis of the Subway Congestion Value

- 1_Introduction
- 2_Subway User Survey
- 3_Cognitive Effects of Overcrowding on the Train
- 4_Cognitive Effects of Train Delays
- 5_Value of the Improvement of the Subway Congestion

05 Analysis of the Seoul Subway Congestion Costs

1_Introduction

2_Congestion Costs because of Overcrowding on Trains

3_Congestion Costs because of Train Delays

4_Congestion Costs of the Seoul Subway

06 Conclusion and Policy Proposal

1_Conclusion

2_Policy Proposal

References

Appendices



서울연 2014-BR-09

서울시 지하철
혼잡비용 산정과
정책 활용

발행인 _ 김수현

발행일 _ 2014년 12월 15일

발행처 _ 서울연구원

ISBN 979-11-5700-077-7 93530 8,000원

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

본 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.