

2017년도 정책연구 보고서

신교통수단(노면전차) 타당성 평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구

2017년도 정책연구 보고서

신교통수단(노면전차) 타당성 평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구

2017. 12

< 연구진 >

▣ 「신교통수단(노면전차) 타당성 평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구」

KDI 연구진 : 김재영 전문위원(연구총괄)
정우현 전문위원
최영은 전문연구원
이명환 전문연구원

자문위원 : 김상기 지방행정연구원 수석연구원
김주영 서울시립대학교 연구교수
안정화 한국교통연구원 부연구위원
육동형 국토연구원 책임연구원
이 신 서울시립대학교 교수

목 차

제 I 장 연구의 개요	1
제1절 연구의 배경 및 목적	1
제2절 연구방향 및 주요 연구 내용	2
제 II 장 신교통수단의 정의 및 특성	3
제1절 법적 정의 및 관련 법령 체계	3
제2절 신교통 수단별 주요 시스템 특성	8
1. 신교통수단별 주요 특성 비교	8
2. 노면전차(트램)의 주요 특성 비교	13
제3절 국내외 노면전차(트램) 현황 및 추세	15
1. 노면전차의 국내 도입 및 전개	15
2. 국외 트램(노면전차) 및 경전철(LRT) 현황	23
3. 프랑스, 영국의 트램(노면전차) 도입 사례	27
제 III 장 신교통수단의 평가방법론 검토	56
제1절 국내 평가방법론 검토	56
1. 타당성 평가 관련 지침	56
2. 신교통수단 관련 국내 연구 및 조사 사례	65
3. 소결 및 시사점	67
제2절 국외의 평가 방법론 검토	68
1. 유럽의 대중교통 평가 방법	69
2. 미국의 대중교통 평가 방법	76
3. 호주의 대중교통 평가 방법	82

4. 기타 대중교통 투자평가 관련 연구	87
5. 소결 및 시사점	90
제3절 신교통수단(트램)의 수요추정 관련 연구	91
1. 국내의 신교통수단(트램) 수요추정 연구	91
2. 국외의 신교통수단(트램) 수요추정 연구	91
제4절 신교통수단(트램)의 경제적 효과 관련 연구	96
1. 부동산 가격변화	96
2. 도시재생효과	98
3. 관광효과	101
4. 대중교통 이용의 파급효과(Reducing Car Ownership)	101
5. 통행시간 신뢰성 향상효과	102
6. 대중교통 차량 내 혼잡도 완화효과	114
7. 건강 증진 효과	122
8. 소결 및 제언	122
제Ⅳ장 노면전차(트램) 평가방법론 개선방안	124
제1절 노면전차(트램)의 교통수요분석 개선방안	124
1. 수단선택 모형의 적정성 검토	124
2. 통행거리대별 수단선택 모형의 구축	126
제2절 신교통수단의 편익추정 관련 개선 방안	149
1. 버스공급체계 개편에 따른 공급비용 변화편익 반영	149
2. 쾌적성(혼잡도) 반영을 위한 모형 구축	152
제Ⅴ장 결론 및 정책제언	168
참고문헌	172

표 목차

<표 II -1> 사업비 산출을 위한 철도유형 분류(예비타당성조사 표준지침)	7
<표 II -2> 광역 및 도시철도 시스템별 특성	10
<표 II -3> 적용 가능한 신교통 시스템별 특성 비교	11
<표 II -4> 신교통수단의 구분	13
<표 II -5> 국내 노면전차 도입 초기의 주요 현황	16
<표 II -6> 국내 노면전차 도입 초기와 광복 이후 주요 지표 비교	17
<표 II -7> 국내 도시철도 운영 현황	20
<표 II -8> 국내 경량전철 운영 현황	21
<표 II -9> 국내에서 추진 중인 트램(노면전차) 사업 현황('17년 말 현재)	22
<표 II -10> 유럽내 Metro와 LRT 및 Tram System 현황	23
<표 II -11> 유럽내 Metro와 LRT 및 트램의 수요 비교	23
<표 II -12> 유럽내 Metro와 LRT 및 트램의 건설현황 및 계획 비교	24
<표 II -13> 아시아 지역 국가별 LRT와 Tram 현황 및 최초 개통시기	24
<표 II -14> 북, 중미 지역 국가별 LRT 및 Tram 현황 및 최초 개통시기	24
<표 II -15> 유럽 지역 국가별 LRT와 Tram 현황 및 최초 개통시기	25
<표 II -16> 호주 및 남미 지역 국가별 LRT와 Tram 현황 및 최초 개통시기	25
<표 II -17> 유럽 주요도시 도시철도 및 트램 현황	27
<표 II -18> 프랑스 주요 도시의 트램 현황(2014년 말 기준)	30
<표 II -19> 영국 노면전차(경전철) 통행량(1991년~2001년 개통)	43
<표 II -20> 맨체스터 Metrolink Phase1 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화	47
<표 II -21> 맨체스터 Metrolink Phase2 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화	48
<표 II -22> 셰필드 Supertram 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화	49
<표 II -23> Midland Metro 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화	50

<표 II-24> 크로이든 Tramlink 개통 후 통근 수송 부담률과 자동차 소유율 변화	51
<표 II-25> 영국 노면전차(경전철) 사업별 자본비용(1999-2004) 비교	53
<표 III-1> 예비타당성조사 표준지침의 전국 지역간 수단선택 모형	58
<표 III-2> 수도권 및 광역권 여객 수단선택 모형	59
<표 III-3> 예비타당성조사 표준지침의 도로 및 철도부문 편익 항목	60
<표 III-4> 교통시설 투자평가지침의 전국 지역간 수단선택 모형	61
<표 III-5> 교통시설 투자평가지침의 철도부문 편익 항목	62
<표 III-6> BRT를 고려한 수단선택 모형의 파라미터	64
<표 III-7> 국내의 노면전차(트램) 수요분석 사례(사전타당성조사, 예비타당성조사)	66
<표 III-8> EU 지침의 교통부문 편익항목	70
<표 III-9> 영국, 독일, 프랑스의 트램(노면전차) 투자 방향 비교	76
<표 III-10> FTA의 단계별 이용자 비용 산정(Summary of user cost analysis)	80
<표 III-11> FTA의 대중교통수단 선택가치 산정 사례	81
<표 III-12> 호주 교통시설 투자 평가지침의 비용 및 편익 항목	84
<표 III-13> 호주 대중교통 사업의 타당성 평가시 적용되는 통행시간 가중치	86
<표 III-14> 주요 국가별 대중교통시설 투자를 위한 평가체계 비교	88
<표 III-15> 지역간 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위	108
<표 III-16> 도시부 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위	108
<표 III-17> 지역간 통행의 통행시간 신뢰성 원단위	111
<표 III-18> 도시부 통행의 통행시간 신뢰성 원단위	111
<표 III-19> 혼잡도 가치측정을 위한 SP 설문조사지 구성 사례	115
<표 III-20> 혼잡에 대한 반응별 타입 구분	117
<표 III-21> SP조사의 대안 구성	118
<표 III-22> 게이오테이토 정두선 노선의 혼잡 상황 구분	120
<표 III-23> 노선별 파라미터	120
<표 III-24> 일본의 열차 내 혼잡 불효용 함수	121

<표 III-25> 영국의 열차 내 혼잡도에 따른 시간가치 할증률	121
<표 III-26> 트램(노면전차) 도입에 따른 추가 효과 검토 결과	123
<표 IV-1> 수도권 수단선택 모형의 파라미터(가정기반 통근통행)	125
<표 IV-2> 가구통행실태조사의 가구원 데이터 자료 구성	128
<표 IV-3> 가구통행실태조사의 통행 데이터 자료 구성	128
<표 IV-4> 비선택 교통수단의 통행시간 산정을 위한 수단별 평균속도	129
<표 IV-5> 교통 중간 도로 이용 통행 거리(승용차 기준, 예시)	130
<표 IV-6> 교통 중간 철도 및 버스 이용 통행 거리(예시)	130
<표 IV-7> 교통 중간 통행비용 구성 항목 및 산출방법	131
<표 IV-8> 승용차 유형별 평균 연비	132
<표 IV-9> 승용차 유종별 평균 단가	132
<표 IV-10> 지역별 주차비용(1시간 기준)	133
<표 IV-11> 택시요금 반영 기준	133
<표 IV-12> 버스요금 반영기준	134
<표 IV-13> 통합 거리비례 요금 반영기준	134
<표 IV-14> 전철 요금 반영기준	135
<표 IV-15> 수단선택모형 적용식	135
<표 IV-16> 수단선택 모형의 효용함수(수도권)	136
<표 IV-17> 가정기반 통근통행 모형의 계수값(수도권)	138
<표 IV-18> 가정기반 통학통행 모형의 계수값(수도권)	138
<표 IV-19> 가정기반 기타통행 모형의 계수값(수도권)	139
<표 IV-20> 비가정기반 통행 모형의 계수값(수도권)	139
<표 IV-21> 통행 목적별 교통수단의 시간가치 산정결과(수도권)	140
<표 IV-22> 보행교통을 포함한 수단분담률	141
<표 IV-23> 보행교통을 포함한 통행 거리대별 수단분담률	142
<표 IV-24> 보행교통을 제외한 수단분담률	142

<표 IV-25> 보행교통을 제외한 거리대별 수단분담률	143
<표 IV-26> 통행거리대별 수단선택모형 구축	144
<표 IV-27> 편익산정을 위한 수단별 평균 통행시간가치(수도권)	145
<표 IV-28> 단거리(2km 미만) 구간의 수단선택 모형 계수값(수도권)	146
<표 IV-29> 단거리(2km 미만) 구간의 시간가치(VOT) 산출 결과(수도권)	146
<표 IV-30> 홍콩의 친환경 버스 도입에 따른 버스공급비용 절감편의 사례	151
<표 IV-31> 버스공급체계 변화에 따른 효과반영(안)	152
<표 IV-32> 혼잡의 가치화에 관한 국외 연구 및 주요 추정 결과	154
<표 IV-33> Kocur, et al(1982)의 실험계획표(부분)	157
<표 IV-34> 설문지 질문 구성(예시)	158
<표 IV-35> 혼잡도에 따른 혼잡 상태도 표현	159
<표 IV-36> 대중교통 요금 및 통행시간 수준 설정	160
<표 IV-37> 실험계획법에 의한 25개 설문 대안 구축 결과	160
<표 IV-38> 응답자 피로도 저감을 위해 삭제된 질문(예시)	161
<표 IV-39> 최종 설문 문항 구성(사전조사)	161
<표 IV-40> Lexicographic 의사 결정의 사례	162
<표 IV-41> 통행 목적별 분석결과(사전조사)	163
<표 IV-42> 혼잡 수준별 분석결과(사전조사)	164
<표 IV-43> 최종 설문 문항 구성(본 조사)	165
<표 IV-44> 통행 목적별 분석결과(본 조사)	166
<표 IV-45> 혼잡도 수준별 분석결과(본 조사)	166
<표 IV-46> 혼잡도에 따른 시간가치 할증 비율 비교	167

그림 목차

[그림 II -1] 신교통수단의 현행 법령 체계 구성	4
[그림 II -2] 신교통수단의 범위	6
[그림 II -3] 경전철 종류	6
[그림 II -4] 유럽내 LRT 및 Tram의 정류장 간격(전체 노선)	26
[그림 II -5] 유럽내 LRT 및 Tram의 정류장 간격(연장 50km 이하 노선)	26
[그림 II -6] 프랑스의 지역별 트램 도입 분포	29
[그림 II -7] 프랑스 낭트의 신형 트램(Urbos 3)	31
[그림 II -8] 프랑스 스트라스부르 트램(노면전차)	32
[그림 II -9] 맨체스터 광역시의 Metrolink	35
[그림 II -10] 셰필드 Supertram	36
[그림 II -11] 버밍햄-올버햄튼 Midland Metro	37
[그림 II -12] 크로이든 Tramlink	38
[그림 II -13] 영국 노면전차(경전철) 수단내 시스템별 연간 승객 분담률	44
[그림 III -1] EU 지침의 도시 대중교통수단 프로젝트 분석 예제	71
[그림 III -2] EIB의 트램 건설 프로젝트 사례 분석 예제	73
[그림 III -3] 미국의 관련 기구별 계획 수립 의무	77
[그림 III -4] MAP-21 프로젝트의 평가 체계 및 기준	79
[그림 III -5] 호주의 교통시설 투자를 위한 평가 과정	83
[그림 III -6] 트램 도입으로 인한 지역내 임대료 변화 추정사례(수원시)	99
[그림 III -7] 트램 도입으로 인한 지역내 인구 변화 추정사례(수원시)	99
[그림 III -8] 교통량 수준별 통행시간 신뢰성 변화 개념도	109
[그림 III -9] 도로의 통행시간 신뢰성 지표 개념도	110

[그림 III-10] 혼잡도 구분 및 표현	117
[그림 III-11] 혼잡도에 수단별 추가 체감시간	119
[그림 IV-1] 가구통행 실태조사의 가구원 데이터(예시)	128
[그림 IV-2] 가구통행 실태조사의 통행 데이터(예시)	128
[그림 IV-3] 보행교통을 포함한 거리대별 수단분담률	141
[그림 IV-4] 보행교통을 제외한 거리대별 수단분담률	143
[그림 IV-5] 유럽투자은행 트램사업 편익 산정 사례(버스 공급비용 절감)	150
[그림 IV-6] 혼잡의 가치화를 위한 조사설계 및 조사 흐름도	156
[그림 IV-7] Kocur, et al(1982)의 실험계획표 중 Master Plan No.7	158

신교통수단(노면전차) 타당성평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구

제 I 장 연구의 개요

제 II 장 신교통수단의 정의 및 특성

제 III 장 신교통수단의 평가방법론 검토

제 IV 장 노면전차(트램) 평가방법론 개선방안

제 V 장 결론 및 정책제언

제 I 장

연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

우리나라 도시대중교통(mass transit)의 발전 연혁을 살펴보면, 과거 버스 중심에서 서울 등 대도시를 중심으로 지하철을 도입한 바 있다. 그러나 고비용 대량수송 위주의 지하철은 경제성과 재무적 타당성 확보가 쉽지 않아 비용절감, 수요대응형으로 경전철 도입을 시도하였으며, 용인, 김해, 의정부 등의 중소 도시에서 경전철을 도입하였다. 하지만 교량 구조물 방식의 경전철은 처음 기대와는 달리 비용이 높고, 접근성이 불리하여 비용 절감과 수요 창출 효과가 미흡한 문제가 발생해 왔다. 이에 대한 대안으로 비용이 저렴하고, 버스에 비해 수송용량이 큰 신교통수단인 노면전차(트램)의 도입이 활발하게 논의·검토되고 있으며, 현재 수원, 대전, 판교, 동탄, 위례 등에서 트램(노면전차)의 도입이 검토되고 있다.

경전철, BRT, 트램(노면전차) 등 다양한 신교통수단의 타당성 평가는 그동안 현재 도시철도부문 사업의 표준적인 분석방법론을 준용하여 수요 및 편익을 추정해왔다. 그러나 이들 신교통수단에 대한 효과 측정에 한계가 있다는 문제가 지적되고 있다. 교통수요 측면에서는 각 대중교통 수단별 특성이 고려되지 않고, 철도수단으로 동일시하여 수단선택모형을 적용한다는 비판이 있으며, 편익 측면에서는 차내 혼잡도, 노선 정시성 등이 고려된 대중교통 서비스 품질이 종합적으로 고려되지 못하고 있다는 지적이 있다. 비용 측면에서는 노면시스템 자체의 공사뿐만 아니라 보도 및 자전거도로 등 관련 도로 및 도시환경 정비가 수반되는바, 이와 관련한 비용산정 범위 등을 명확히 설정할 필요가 있다. 또한, 트램의 경우 국내에서 아직까지 운영사례가 없어 실적공사비와 운영비 등 실적자료가 없는 실정이다.

2. 신교통수단(노면전차) 타당성 평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구

이에 따라 신교통 수단의 특성을 보다 잘 반영할 수 있는 분석 방법론 및 평가기준 등을 살펴볼 필요가 있는 바, 본 연구에서는 주로 최근 들어 많이 논의가 되고 있는 노면전차(트램)¹⁾의 수요예측과 편익산정 측면에서 기존 분석방법론을 보완할 수 있는 개선점을 찾고자 한다.

제2절 연구방향 및 주요 연구 내용

본 연구에서는 앞서 논의된 바와 같이 신교통수단의 특성을 보다 잘 반영할 수 있는 분석방법론 및 평가기준 등에 대해 검토하며, 특히 수요예측과 편익산정 측면에서 기존 분석방법론을 보완할 수 있는 개선점 마련에 중점을 두고자 한다. 이를 위해 신교통수단의 주요 특성, 현황, 평가방법론 등을 살펴보고 개선방향을 제시하고자 한다. 주요 연구 내용은 다음과 같다.

- 신교통수단의 정의 및 특성
 - 법적 정의 및 관련 법령 체계
 - 신교통 수단별 주요 시스템 특성
 - 국내외 트램(노면전차) 및 대중교통 추세
- 신교통수단의 평가방법론 검토
 - 국내 평가방법론 및 사례 검토
 - 국외 평가방법론 및 사례
 - 신교통수단의 수요추정 관련 문헌 고찰
 - 신교통수단의 효과 관련 문헌 고찰
- 신교통수단 평가방법론 개선방안 도출
 - 교통수요 분석에 있어서의 개선방안
 - 편익추정에 있어서의 개선방안

1) 일반적으로는 트램이라는 용어를 많이 사용하고 있으나, 현행 법령에서는 노면전차라는 용어를 공식적으로 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 가급적 노면전차라는 용어를 우선적으로 사용하고자 한다.

제 II 장

신교통수단의 정의 및 특성

제1절 법적 정의 및 관련 법령 체계

신교통 시스템이라는 용어는 일본에서 시작된 용어로 알려져 있다. 기존의 철도 및 지하철이 대중교통체계의 핵심적인 역할을 하고 있을 때, 이보다 수송량은 적으나 효율성을 높인 새로운 궤도시스템이 개발되면서 이를 도입하기 위한 목적으로 민간에서 지칭하기 시작한 것으로 추정된다. 하지만, 일본에서도 신교통이라는 법적인 용어 정의는 없다. 다만, 지자체가 이를 도입하기 위해서 여러 보고서에서 용어를 사용하고 있으며, 고유명사의 개념보다는 새롭다는 의미가 더 강조된 ‘기존의 궤도 대중교통수단보다 진보한 새로운 궤도 대중교통수단’ 정도로 인식하여 도시대중교통체계를 개선하고자 하는 목적으로 사용하고 있다고 보아야 할 것이다.

□ 법적 정의 및 관련 법령체계

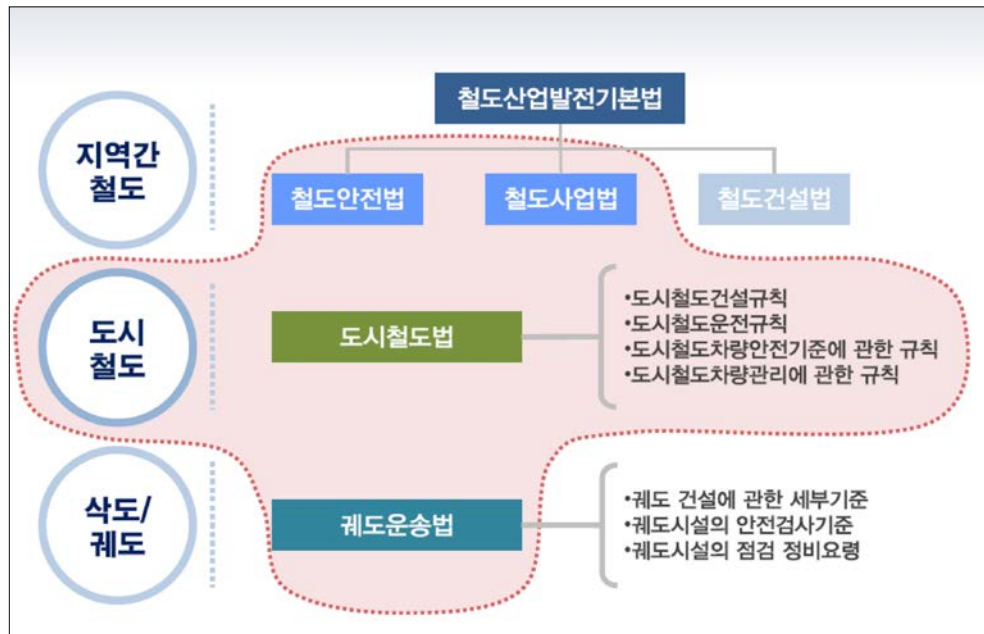
도시철도법 제3조에서는 “도시철도란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통 권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도에 의한 교통시설 및 교통수단을 의미한다”로 정의하고 있다. 따라서 법적으로 트램은 도시철도의 하위 개념이다. 또한, 「도시철도건설규칙」 제2조(정의)에서는 “경량전철이란 모노레일형식, 노면전차형식, 철제차륜형식, 고무차륜형식, 선형유도전동기형식, 자기부상추진형식 등으로 운행되고, 차량 최대 설계축중 13.5톤 이하(분포하중(分布荷重)의 경우 단위 미터 당 2.8톤 이하)를 말한다.” 면서 건설에 관련된 기본 사항도 제시하고 있다. 도시철도 운전규칙에서는 노면전차의 정의, 노면전차의 퇴행 운전, 시계운전, 선로전환기 작동, 운전속도, 신호기의 설계 등 노면전차의 운전과 관련한 사항들도 규정하고 있다. 한편 도시철도 건설규칙에서는 경량전철에 대한 특례,

4 신교통수단(노면전차) 타당성 평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구

노면전차형식에 관한 특례 등 예외규정도 구비하고 있다.

그러나 노면전차는 도로상을 운행하는 특성을 고려할 때, 도로교통법에서 그 운행에 관한 규정을 마련해야 함에도 불구하고, 과거 1962년 최초로 도로교통법이 제정될 당시에는 해당 규정이 있었으나 노면전차가 모두 폐기된 이후인 1981년 4월부터는 관련한 규정이 모두 삭제되어 현재로서는 노면 운행에 대한 법체계가 미비한 실정이다.

[그림 11-1] 신교통수단의 현행 법령 체계 구성



자료: 명묘희, 트램 도입 및 이용 활성화를 위한 관련 법제 개선 방안, 2013.5.

□ 국토교통부, 신교통시스템 투자평가 방법론 개발연구(2010.6)

이 연구에서는 신교통시스템을 “기존 대중교통시스템에 비하여 수송효율성과 운영 효율성이 높고, 교통 및 통행환경에 맞는 양질의 대중교통 서비스를 최첨단 기술을 이용하여 제공하는 새로운 시스템”으로 정의하고 있다.

□ (사)한국도시철도협회

‘기존의 철도, 지하철, 버스와 시스템적으로 구분되는 최첨단 신호제어, 정보통신, 무인운전 등 신교통기술을 도입하여 재래식 궤도 또는 도로를 개량하거나 또는 새로운 독립된 노선을 건설하여 운영함으로써, 교통의 정시성을 확보하고 나아가 교통의 친환경성, 안전성, 효율성 등을 혁신적으로 개선한 대중교통시스템’으로 정의하고 있으며, 광의의 신교통시스템 종류에는 AGT, 모노레일, 노면전차, 자기부상열차, PRT, BRT 등이 존재하는 것으로 제시하고 있다.

□ 국토교통부, 신교통수단 선정 가이드라인(2012. 07)

“신교통수단”이란 차량 및 운영시스템에 첨단기술을 적용한 대중교통수단으로서 본 가이드라인의 적용대상은 BRT, 바이모달트램, 노면전차(무가선티램 등) 및 경량전철(고무/철제 차량 AGT 등)로 정의하고 있다. 신교통수단이란 차량 및 운영시스템에 있어서 지금까지 우리나라에 도입·운영되지 않은 최첨단 기술을 적용한 교통수단이라 정의하고, 어느 시점을 기준으로 고정되는 것이 아니라 새로운 수단의 개발과 도입, 또 다른 수단의 개발에 따라 범위가 달라지는 것으로 보고 있다.

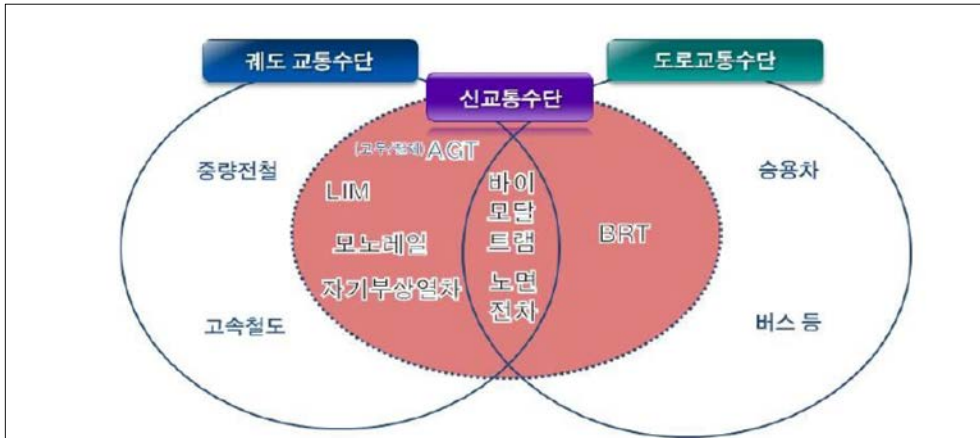
일반적으로 신교통수단은 지하철, 버스 등 기존 대중교통수단에 비해 고효율·저비용의 새로운 대중교통수단을 의미하며, 기존 철도의 지선, 대도시 및 중소도시의 간선, 위성도시를 연결하는 교통수요 처리에 적합하다고 평가된다. 우리나라에서도 경량전철을 지칭하는 용어로 사용되기 시작하였으나, 바이모달트램, 온라인 전기자동차 등이 개발되면서 비 궤도형의 새로운 교통수단을 지칭하는 용어로 확장되어 사용하고 있다.

□ 국무총리실, 지자체 경전철 사업 분석·평가 결과, (2011. 3)

신교통 수단을 철도와 도로의 특징을 통합, 전용주행로를 운행하는 교통시스템(한국신교통협회)으로 정의하며, 경전철은 중전철(기존 지하철)과 버스의 중간정도의 수송능력을 가진 전기철도로, 독립되거나 공유된 전용노선을 갖는 도시철도 시스템으로 제시하고 있다. 일반적으로 철도는 「철도건설법」에 의한 고속철도와 일반철도, 「도시철도법」에 의한 도시철도(중전철, 경전철 포함)로 구분되며, 차량 구동원리 및 운행방법에 따라 고무차륜 AGT, 철제차륜 AGT, 선형유도방식(LIM), 모노레일, 노면전차, 자기부상식 등으로 분류할 수 있다.

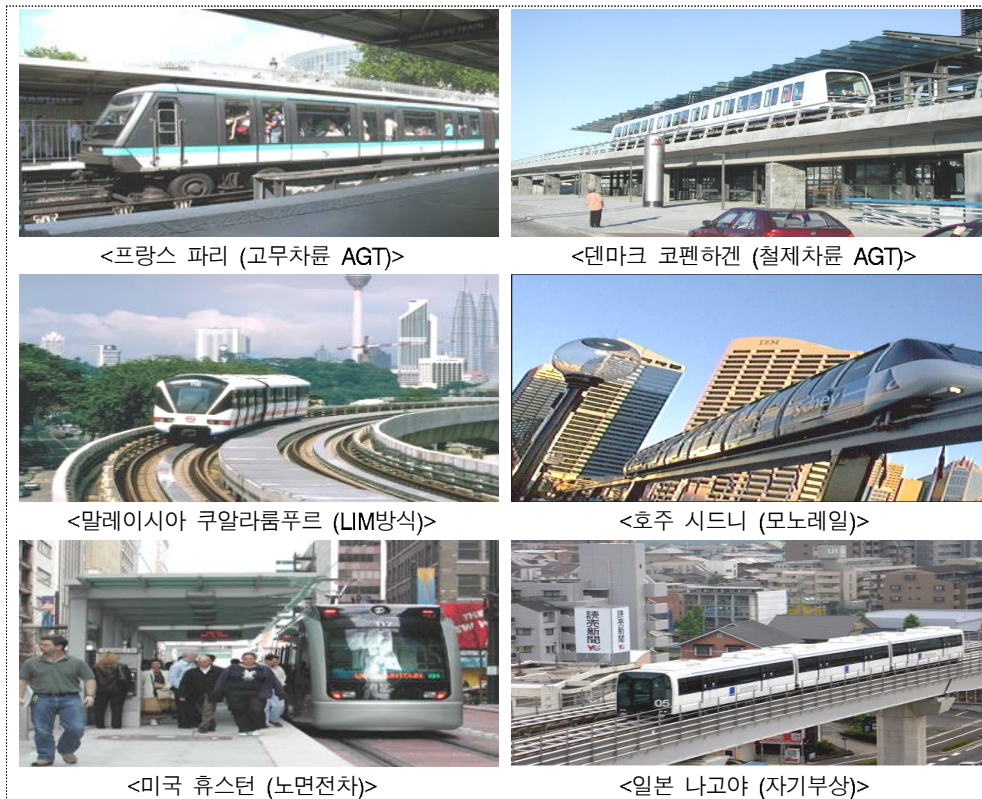
6 신교통수단(노면전차) 타당성 평가를 위한 수요 및 편익추정 방법론 개선방안 연구

[그림 11-2] 신교통수단의 범위



자료 :국토교통부, 신교통수단 선정 가이드라인, 2012. 07

[그림 11-3] 경전철 종류



<프랑스 파리 (고무차륜 AGT)>

<덴마크 코펜하겐 (철제차륜 AGT)>

<말레이시아 쿠알라룸푸르 (LIM방식)>

<호주 시드니 (모노레일)>

<미국 휴스턴 (노면전차)>

<일본 나고야 (자기부상)>

□ 예비타당성조사 표준지침

예비타당성조사 표준지침에서는 사업비 산출을 위한 철도유형을 분류하였으며, 경량전철은 도시철도의 하위에, 노면전차는 경량전철의 하위 유형으로 구분하고 있다.

<표 II-1> 사업비 산출을 위한 철도유형 분류(예비타당성조사 표준지침)

구 분	내 용		비 고	
광역철도	전동차 전용선		중량전철 차량적용을 원칙으로함	
도시철도	전 철	중(重)전철 (중량전철)		
		중(中)전철 (중형전철)		
	경량전철	AGT	철제차륜	
			고무차륜	
		선형 유도모터(LIM) 시스템		
		모노레일		
노면전차				

□ 국외 사례

국외 사례를 살펴보면 신교통수단이라는 용어보다는 Metro(중전철), LRT(경전철), Tram(노면전차) 등 시설의 유형과 성격에 따라 달리 구분하여 정의하고 있으며, LRT와 Tram은 함께 분류하는 경우가 많다.

ERRAC(European Rail Research Advisory Council)는 UITP²⁾의 정의에 따라 Metro를 다양한 차량의 크기와 수송용량(시간당 방향별 3만명 이상)을 갖고 있으며, 새로운 시스템의 경우 역간 간격은 1km 이상으로 경량전철(LRT) 보다 높은 운영속도를 갖는 시스템으로 정의하고 있다. LRT는 최소 1개 차량 이상으로 고정식 유도장치에 의해 도시, 교외, 지역간 환경을 일반 차량 및 보행자와 분리된 또는 분리되지 않은 상태로 운영되는 대중교통 시스템으로 정의된다.

트램과 같이 도로 상을 주행하는 시스템들은 전 세계 여러 도시에서 노면전차

2) 대도시권 철도(metropolitan railway)로서, 도시지역의 전철시스템으로 대용량과 낮은 서비스횟수를 갖는다. Metro는 다른 교통류, 도로 또는 보행자와 완전히 독립적이며, 터널, 육교 또는 노면에 계획되나 물리적으로 분리된다. 대용량 서비스가 필요한 지역에 대해 최적의 대중교통수단이며, 몇몇 시시스템은 철제차륜 시스템과 동일한 제어체계 하에서 고무차륜으로 운영되기도 하며, 언더그라운드, 지하철, 튜브 등으로 칭해지기도 한다.

(Streetcar)와 트램(Tram), 경전철(Light Rail) 등으로 다양하게 불리고 있다. 북미 도시의 트램이나 과거 단량 편성으로 마차 시스템에서 발전한 형태를 그대로 가지고 있는 경우, 역사적인 관광 시설 부활 이벤트로 운행하는 경우에는 Streetcar라는 표현을 주로 사용한다.³⁾ Streetcar의 궤도를 과거로부터 그대로 사용하면서 현대식의 다량 연결된 편성을 구성하고 바닥면을 낮게 개선한 차량을 도입, 정거장 시설이나 선로 시설을 개선한 형태를 유럽을 중심으로 현대 트램(modern tram)이라 부른다. 경전철(light rail)은 과거에 폐지되었던 스트리트카나 트램을 현대적인 시스템으로 다시 도입하거나, 도심 도로와 혼용을 하고 외곽 전용선로로 연결하는 노선과 같이 트램 보다 더 고속의 서비스를 제공하는 경우에 사용하는 경향이 있다.

제2절 신교통 수단별 주요 시스템 특성

1. 신교통수단별 주요 특성 비교

□ BRT(Bus Rapid Transit; 간선급행버스체계)

BRT는 전용차로, 편리한 환승시설, 교차로에서의 버스우선통행 등 관련 지침에서 규정하고 있는 사양을 갖추어 급행으로 버스를 운행하는 교통시스템이다. 버스운행에 철도시스템의 개념을 도입하여 통행속도, 정시성, 수송능력 등 버스서비스를 도시철도 수준으로 향상시킨 대중교통시스템이다. 버스우선신호체계, 도착정보시스템, 환승터미널 등을 통해 높은 수송능력 확보가 가능한 시스템으로 평가받고 있다.

□ 바이모달트램(Bimodal Tram)

자기유도로 자동 조향이 되는 CNG 하이브리드 굴절버스로 일반도로에서는 버스처럼 주행이 가능하며 전용궤도에서는 전철과 같은 자동운전이 가능한 시스템이다. 자동운전, 정밀정차 및 교통약자를 위한 수평승하차가 가능하며, 버스와 경전철 사이의 수송용량을 처리하기에 적합하다. 1~2년 이내에 시스템 구축이 가능하고 일반도로를 이용할 수 있으므로 유연한 노선선정이 가능하다.

3) 미국 포틀랜드에서는 도심내 전용 Streetcar와 외곽을 연결하는 Lightrail를 별도로 운영하고 있다.

□ 노면전차(트램)

도로에 매립형 궤도를 부설하고 그 위를 주행하는 시스템이다. 도로여건에 따른 제약과 타 도로교통수단과 노면 공용, 교차로의 신호등으로 인해 상대적으로 낮은 표정 속도를 나타내며, 다양한 도로 상황에 대응하기 위해 반드시 운전자 탑승이 필요하다. 중량전철과 비교했을 때 수송력, 속도 등은 낮지만 도로부지 등 지상을 이용하기 때문에 역 설비, 인프라 구조물, 신호보안 시스템을 간단히 설치할 수 있으며, 바닥높이가 낮아 노면에서 바로 승차가 가능하고 노약자가 무리 없이 이용할 수 있다.

□ AGT

○ 고무차륜 AGT(Automated Guideway Transit)

고무타이어를 부착한 경량차량이 전용주행로(고가 혹은 지하)의 가이드웨이를 따라 주행하는 시스템이다. 철제차륜과 비교할 때 주행면의 마찰력이 우수하며 가감속 능력이 뛰어나 역간거리 단축이 가능하므로 정거장간 거리가 짧은 시내구간에 적당하며, 세계적으로 도시내부 연결, 위락시설 연결, 공항셔틀 등에 널리 운행되고 있다.

○ 철제차륜 AGT(Automated Guideway Transit)

철제차륜을 부착한 경량차량이 전용주행로(고가 혹은 지하)의 가이드웨이를 따라 주행하는 시스템이다. 고무차륜 AGT에 비하여 강우, 강설 등 기후 환경적인 측면에서 안정적인 운행이 가능하나, 소음 및 진동이 심한 단점을 갖고 있으며 비교적 중·장거리(20~30km) 노선에 적합하다. 철제레일과 장대레일을 이용하여 차량을 지지하고 안내하는 방식으로 기존 철도의 하부 구조물 및 시스템 사용이 가능하며, 급구배 주행 가능, Self Steering 기능 채택으로 급곡선 주행성이 우수하다.

○ LIM(Linear Induction Motor; 선형유도모터)

LIM 시스템은 궤도와 차륜의 접촉 없이 차량과 가이드웨이간의 전자력을 이용하여 주행하는 시스템으로 일반 철제차륜과 동일한 형태이나 구동대차가 없고 차륜은 단지 상부하중을 레일에 전달하는 역할을 한다. 중량전철과 유사한 차량제원과 수송력을 갖고 있으며, 차륜직경의 축소로 급곡선 주행성이 우수하므로 노선 계획 시 유연성이 높다. 차체가 낮아 차량높이를 차량과 동일하게 계획할 경우 높은 실내공간을 얻을 수 있으며 차륜이 직접 구동하지 않으므로 소음이 적다.

철도유형별 특성은 시스템 혹은 제작사별로 각기 다르겠으나 일반적인 기준에 따라 시스템별 주요 특성을 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

<표 II-2> 광역 및 도시철도 시스템별 특성




구 분	重量전철	중형전철	경량전철				
			AGT		LIM	모노레일	노면전차
			고무차륜	철제차륜			
승객정원/량	150 ~ 160	110 ~ 130	60 ~ 90	75 ~ 100	60 ~ 130	40 ~ 80	100
차량수/편성	6 ~ 10	6 ~ 10	2 ~ 6	2 ~ 6	2 ~ 6	2 ~ 6	2 ~ 6
수송능력/ 시간방향	평균 40,000 이상	20,000 ~ 40,000	7,000 ~ 25,000	17,000 ~ 20,000	25,000 ~ 30,000	5,000 ~ 20,000	1,100 ~ 1,400
차륜형태	철제	철제	고무	철제	소형철제	고무/철제	철제
최고속도 (km/h)	80 ~ 130	80 ~ 130	60 ~ 90	70 ~ 80	80 ~ 90	70 ~ 80	60 ~ 88
최급구배 (%)	35	35	50 ~ 75	40 ~ 60	50 ~ 60	80 ~ 100	25
최소회전 반경(m)	200	200	30 ~ 35	25 ~ 40	70 ~ 100	50 ~ 55	35
차량중량 (톤/량)	64	64	18 ~ 19	18 ~ 27	14 ~ 22	10 ~ 22	29 ~ 42
운영 사례	국내	서울	부산,대구, 인천,광주				
	해외	동경, 파리, 런던, 뉴욕, 워싱턴 DC, 몬트리올 등	파리, 런던	릴르, 잭슨빌, 시카고, 타이페이, 히로시마 등	도크랜드, 밴쿠버, 토론토 등	오사카, 쿠알라 룸푸르 등	오사카, 지바, 쇼낭, 시드니 등

자료 : 건설교통부, 외국의 경량전철 및 미국의 PRT 시스템 현황조사, 1999, 참고

<표 II-3> 적용 가능한 신교통 시스템별 특성 비교

구 분		적 용 조 건	시 스템 특 성
AGT	철제차륜 AGT	<p>철제차륜 -AGT</p>  <ul style="list-style-type: none"> •장거리이고 수요가 pphpd 5,000 ~ 25,000에 적당 •전구간 장대레일이 전제 되어져야 함 	<ul style="list-style-type: none"> •에너지가 가장 적게 소요됨. •소음, 진동을 최소화 하기위한 대책이 필요함. •지하화 구간에 가장 유리함.
	VAL208	<p>VAL208</p>  <ul style="list-style-type: none"> •10km 내외인 중거리 •수요가 pphpd 4,000 ~ 24,000에 적당 •정거장간 거리가 짧은 경우에 적당 	<ul style="list-style-type: none"> •고무타이어 시스템으로 급구배 및 급곡선 주행성 우수 •지하와 고가화 모두 적용가능 •에너지가 많이 소요됨.
	고무 AGT	<p>K-AGT</p>  <ul style="list-style-type: none"> •10km 내외인 중거리 •수요가 pphpd 5,000 ~ 20,000에 적당 •정거장간 거리가 짧은 경우 적당 	<ul style="list-style-type: none"> •고무타이어 시스템으로 급곡선 주행성 우수 •지하와 고가화 모두 적용가능 •에너지가 많이 소요됨
LIM	 <ul style="list-style-type: none"> •비교적 장거리이고 급곡선, 급구배가 많고 수요가 pphpd 5,000 ~ 30,000에 적당 •전 구간 장대레일이 전제 되어져야 함 	<ul style="list-style-type: none"> •에너지가 철제차륜과 고무차륜의 중간정도 소요됨. 	
모노레일	 <ul style="list-style-type: none"> •10km 내외 정거장간 거리가 짧고 승객에게 외부 조경이 강조되는 지역에 적당 •수요가 pphpd 4,000 ~ 13,000에 적당 	<ul style="list-style-type: none"> •고무타이어 시스템으로 급구배 및 급곡선 주행성 우수 •전구간 고가화 전제 •차광막, 방음벽설치 불가(Mist 기능이 적용되어져야 함) •승객 대피에 대한 특별한 대책이 강구 되어져야 함. 	

<표 11-3>의 계속

구 분		적 용 조 건	시 스템 특 성
노면전차 (TRAM)	노면전차 	<ul style="list-style-type: none"> •도로가 충분한 폭을 확보되고 도심지 외곽은 전용 선로공간을 확보 할 수 있는 지역에 적당 	<ul style="list-style-type: none"> •표정속도를 높이기 위하여 교차로의 입체화가 요망됨. •분기기 등 모든 궤도시설이 레일면 하부에 위치해야 함
기타	중앙안내식 CX-100 	<ul style="list-style-type: none"> •5km내외 단거리이고 수요가 pphpd 5,000 ~ 7,500(2량)에 적당 •중앙안내식으로 안정주행가능 •소형으로 수요 유발처인 건물 내부로 직접 진입 또는 건물에 캔틸레버식으로 노반구조물 설치가 가능함. •지하철 보조수단으로 지하철 정거장과 대규모 교통집산지와의 연계에 적절함. 	<ul style="list-style-type: none"> •고무타이어 시스템으로 급구배 및 급곡선 주행성 우수 •에너지가 가장 많이 소요됨
	HSST 	<ul style="list-style-type: none"> •수요가 pphpd 4,000 ~ 25,000에 적당 •소음과 진동을 엄격히 규제해야 하는 주거 밀집지역 등에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> •상시열차를 부상시켜야 하므로 에너지가 많이 소요됨. •차광막 설치 불가 (Mist 기능이 적용되어야 함) •4량/열차이상 편성시에는 화재발생시 신속한 대피를 위하여 상하선간에 대피로가 설치되어야 함.

2. 노면전차(트램)의 주요 특성 비교

국토교통부⁴⁾에 따르면, 신교통 수단은 운행방식, 운행구간, 타 교통수단과의 분리 정도에 따라 다음과 같이 유형화 할 수 있다. 이 중 노면전차(트램)는 운행방식에 있어서는 복합형, 운영구간에 있어서는 지상, 타 교통수단과의 분리에 있어서는 공용 형태를 갖는다 할 수 있다.

- 운행 방식에 따라 궤도형, 복합형, 도로형으로 구분함.
- 운행 구간에 따라 고가 및 지하, 지상으로 분류함.
- 타 교통기관과의 분리 정도에 따라 전용, 부분공용, 공용타입으로 분류함.
- 궤도 방식에 따라 유궤도, 무궤도 방식, 특수궤도 방식으로 분류함.

<표 II-4> 신교통수단의 구분

구분		적용시스템
운행방식	궤도형	AGT, LIM, 자기부상열차, 모노레일
	복합형	바이모달트램, 노면전차
	도로형	BRT
운영구간	고가 및 지하	AGT, LIM, 자기부상열차, 모노레일
	지상	노면전차, 바이모달트램, BRT
타 교통수단과의 분리	전용	AGT, LIM, 자기부상열차, 모노레일
	부분공용	BRT, 바이모달 트램
	완전공용	노면전차

자료 : 국토교통부, 신교통수단 차량시스템 선정가이드라인 연구(요약보고서)

노면전차(트램)는 철도 수단의 취약한 접근성과 버스 수단의 취약한 정시성, 승차감 등을 상호 보완 할 수 있으며, 기존 버스시스템의 고용량화, 운영 효율화에서 기인하여 등장하기도 하였다. 따라서 철도 보다는 버스와의 비교가 더 많이 이루어지고 있으며, 다음과 같은 장점이 존재하는 것으로 알려져 있다.

4) 국토교통부, 신교통수단 차량시스템 선정가이드라인 연구(요약보고서)

- ① 현재까지의 버스 및 BRT에 사용될 바이모달 버스 등은 화석연료가 필요한 내연기관을 사용하는 것이 대부분이다.
- ② 노면전차(트램)는 버스보다 많은 출입문을 설치할 수 있어 승하차 승객으로 인한 정차시간의 길어짐을 방지할 수 있다.
- ③ 노면전차(트램)는 노선변경이 쉽지 않다는 단점이 있지만 장래 수송수요 증가시 차량을 연장하여 운영하는 것이 가능하다는 점에서 추가적인 운전승무원을 필요로 하지 않는다. 버스도 굴절버스로 대체가능하지만 운행 궤적이 커서 노선 선정에는 제약이 따른다.
- ④ 버스보다 조향 및 가감속 승차감이 좋고, 운전 실수에 의한 사고도 줄일 수 있다.
- ⑤ 근본적으로 정해진 노선을 따라가기에 버스보다 좁은 도로로 주행이 가능하며, 노선 주변에서는 일반차량들이 더 조심해서 운전하거나 좁아진 차로 수에 불법 주정차가 줄어드는 효과가 있다.

단점인 도로 공간 점유에 대해서는 좀 더 여유를 갖고 바라 볼 필요가 있다. 친환경, 고령화 사회로 옮겨가는 추세에서 자가용이라는 수단이 언제까지 편리할 것인가에 대해서는 생각해볼 여지가 있다. 미국과 일본 등은 자동차에서 대중교통으로의 전환을 꾀하고 있다.

한편으로 이와 같은 비교는 기존의 버스 시스템과의 비교로서 최근 들어 BRT 시스템도 다양화 되고 고급화 되고 있어 노면전차(트램)와 BRT와의 경계가 모호해지거나 허물어지고 있어 노면전차(트램)와 버스 특히 고급형 BRT와의 구분에 대해서는 좀 더 신중을 기할 필요가 있다.

제3절 국내외 노면전차(트램) 현황 및 추세

1. 노면전차의 국내 도입 및 전개⁵⁾

가. 전차의 도입 및 성장

1885년 말 경복궁 내에 전기가 최초로 도입된 이후 고종의 홍릉 행차로 인한 불편과 비용을 줄이고, 일반 시민의 교통기관으로 이용하고자 1898년 2월 17일 공사를 착공하여 같은해 12월 25일에 서대문에서 종로, 동대문, 청량리에 이르는 5마일의 단선 궤도 및 가선공사를 준공하였다. 이후 발전소 및 차량조립 작업을 거쳐 1899년 5월 17일 최초의 전차 개통식을 가졌다.

최초 고종의 홍릉 행차에 편의를 제공하고자 하였던 전차는 빠르고 편리함으로 인해 승객이 끊이지 않아 바로 이듬해인 1900년 구 용산까지 노선을 연장한데 이어 지속적으로 노선이 연장되었다. 반면, 1901년 남대문에서 서소문을 거쳐 서대문에 이르는 의주로에 부설된 전차노선은 당초 예상만큼 승객이 없자 2~3년 후에 철폐된 것으로 알려졌다.

초기에 한국과 미국의 자본과 미국의 기술진에 운영되던 전차는 일제의 한반도 강점과 더불어 일제 자본에 기반한 일한가스전기(주)로 인수된(1909년) 이후 신식민지 개척의 일환으로 대대적인 노선이 신규로 개설되었다. 1905년 9월 당시의 노선 연장은 단선 18.9km, 복선 13.2km 총 32.2km로 당시 사료들에 제시되어 있다.

전차가 도입되기 이전에는 보행에 의존하던 통행이 새로운 교통수단인 전차에 적응하는데 시간이 어느 정도 걸리긴 하였으나, 전차에 익숙해진 통행은 지속적으로 증가하여 1928년의 경우 경성부내 인구 약 31만 5천명 대비 일평균 승차인원은 약 10만 7천명에 달하였고, 1930년대와 40년대 들어서는 노선의 혼잡문제가 거론될 정도였다.

5) 서울시에서 편찬한 서울교통사(2000)에 기술된 노면전차의 역사를 요약하여 정리하였다.

<표 II-5> 국내 노면전차 도입 초기의 주요 현황

연도	부내인구	차량수			일평균승차 인원 (인)	일평균 객차수입 (원)
		객차	화차	살수차		
1909	265,249	37	11	-	7,060	353
1910	278,958	52	11	-	9,811	471
1915	241,085	5	12	2	39,410	1,101
1920	250,208	91	12	2	61,405	3,006
1925	302,711	123	11	4	91,637	4,382
1928	315,006	126	11	4	107,865	5,099

일제강점기의 전차 운영은 크게 3기로 나누어서 살펴볼 수 있는데, 각 시기별로 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 제1기 : 최초 도입(1898) ~ 1928년 부영버스 영업개시 시기
 - 무경쟁, 독점의 시기로서, 도시화의 진전과 교통량 증가에 따라 노선 및 차량을 서서히 증가, 확장, 개량
- 제2기 : 1928년 ~ 1933년
 - 서울 전차가 경성부영 버스 및 경인버스(주)와 치열한 경쟁
 - 대형 보기차량 운행, 러시아워 동안 직행전차 운행 등
- 제3기 : 1934년 이후
 - 청량리~인천간을 운행하던 경인버스(주)를 매수
 - 부역의 확장 및 경제계 호황, 중일전쟁 등의 원인에 기인한 수요의 비약적인 증가
 - 승객 급증에 따른 혼잡문제 심각성 대두, 중일 전쟁 교착상태 등으로 인해 새로운 노선 및 차량 도입은 거의 불가능

전차 도입 초기인 1909년과 광복 이후인 1945년을 비교해보면 전차노선은 약 1.8

배 증가하였으나, 승차인원에서는 일평균 기준 약 68배, 수입 기준으로는 약 107배라는 엄청난 신장세를 보였음을 알 수 있다.

<표 II-6> 국내 노면전차 도입 초기와 광복 전후 주요 지표 비교

	1909년 하반기	1945년 상반기	1945년 하반기
서울 인구(인)	265,249	1,100,000	1,100,000
궤도 영업선(km)	22.160	39.906	39.906
보유차대수(대)	37	257	257
운행일수(일)	184	183	182
1일 평균 운행대수(대)	21	137	68
1일 평균 승차인원(인)	7,060	382,636	539,485
1일 평균 수입(원)	353	38,056	68,632

나. 전차 운영상 문제와 부영론(공영화) 대두

일제 강점기 동안 전차의 승객은 급증하고 호황의 모습을 보였으나, 별다른 문제가 없었다고 볼 수는 없다. 당시 제기된 주요 문제점들을 살펴보면 다음과 같다.

□ 탈선, 고장, 정전

당시 전차가 지녔던 첫 번째 문제는 차량 자체의 고장, 잦은 탈선사고, 발전소의 고장에 따른 정전 등으로 전차가 정지하는 것이었다. 짧게는 5분간, 길게는 3~4시간에서 1~2일 동안 정차 및 운행정지가 되풀이되었다.

□ 교통사고

당시 전차는 지하철이나 고가철도와 달리 다른 교통수단과 함께 동일한 노면을 이용한다는 점과, 운전자의 부주의, 주행 중인 전차에 뛰어오르고 뛰어내리는 승객들의 부주의 및 과실이 겹쳐 사고가 빈발한 것으로 알려졌다. 1920년대 전반기까지만 하더라도 충돌사고가 별로 없었으나, 1920년대 말 이후부터는 자동차 대수가 늘어감에 따

라 전차와의 충돌로 인한 교통사고가 점점 더 증가하였다. 서울의 경우 신문지상에 보도된 것만 매월 평균 15건 정도이며, 적은 달이라도 10건을 밀도는 달은 없을 정도인 것으로 알려졌다.

□ 요금과 구역제 시비

전차요금은 최초 도입 당시 한차례 조정을 통해 5전의 요금을 받았으나, 1919년 이후 구역을 구분하여 시내선과 시외선을 각각 1구역, 5전씩 부과하였다. 시내, 시외의 구분은 동대문, 서대문, 남대문을 경계로 하였다. 거리에 따른 추가요금 부과는 일견 타당한 정책이었다 할 수 있으나, 1921년 신용산, 구룡산 방면에 한해 구역제를 폐지함에 따라 청량리, 왕십리, 마포 등 나머지 교외 3개선 이용 시민의 강한 반발을 가져왔다. 용산 지역은 일본인이 많이 거주하는 지역으로서 이들 지역에 편파적인 편익을 제공하였다는 데에 대한 저항운동으로 볼 수 있다.

□ 전차, 전기 부영론

일제 강점기 동안 서울의 전차를 운영하던 경전의 주주는 대부분 동경 거주 일본인으로서, 조선인이 소유한 주식은 200분의 1밖에 되지 않았다. 따라서 당시 전력공급을 비롯한 전차 운영에 있어서 지나친 폭리를 취하고 있다는 비판이 지속적으로 제기되었다. 한편, 평양의 경우 1927년 강력한 시민운동으로 인해 평양부가 120만원으로 전차 운영권을 매수한 바 있다. 서울의 경우에도 경성부와 부의회에서 부영화안이 통과하였으며, 약 1,200만원으로 인수 가격까지 평가하였으나, 총독부 당국의 통제방침에 따라 실제로 진행되지는 못하였다.

다. 광복 이후의 전차 운영 및 폐지

1945년 8월 광복을 맞이하여 전차도 한국인의 손으로 운영하게 되었다. 당시에는 해방에 따른 민족적 환희와 흥분으로 8월 15일 이후 약 1주일 동안은 전차 운임도 징수하지 못하였을 뿐만 아니라, 흥분한 시민들이 전차 지붕까지 올라가 만세를 부르는 바람에 여러 대의 전차가 파괴되어 수송능력이 저하되고 무리한 운행으로 인한 고장차 속출 및 빈번한 사고가 발생하였다.

광복 이후 초기에는 정치적인 혼란으로 인한 유지보수 미흡, 노조의 파업, 저물가 정책에 따른 만성 적자운영 등이 문제로 대두되었으며, 6.25 전쟁을 거치며 차량과

궤도의 파손 등으로 인해 1950년대는 힘든 시기를 보냈다.

1960년대 들어서도 전차요금 인상을 불허하는 정부당국의 제재로 인해 적자는 누적되었으며, 시설 또한 도입된 이후 약 60년이 넘었으나 수리할 경비가 없어 1966년 5월말을 기준으로 서울의 전차보유차량 213대 중 92%에 해당하는 196대가 내용연한 20년을 초과하여 평균 사용연수 34년에 달하였으며, 레일 또한 내용연수 20년을 초과하여 평균 사용연수 38년에 달한 것으로 알려졌다. 그 밖에 요금은 고정되었으나 인건비와 도로 점용료를 비롯한 각종 공과금은 증가함에 따라 재정 문제는 더욱 심각해졌다.

전차를 도입한 초기에는 다른 노면 교통수단이 존재하지 않았다. 하지만 자동차가 등장하면서 도로는 전차 외에도 승용차, 화물차, 버스 등의 다른 노면 교통수단이 함께 이용하기 시작하였고, 평균시속 7km/h의 느린 속도로 운행하던 전차는 다른 노면 교통수단에 방해가 되는 장애물로 인식되었다.

한전은 적자문제인 전차사업을 해결하고자 하는 목적이 있었고, 서울시는 육교와 지하차도 등의 공사를 위해 시내에서 전차를 철거하려는 입장이 서로 일치하였으나, 양도, 양수조건, 전차운영 관련 노동조합, 이용승객 등의 문제로 인해 전차의 철거는 쉽지 않았다. 결국 1966년 5월 18일 국무총리훈령 제32호에 의해 전차궤도사업은 한전에서 서울시로 같은 해 6월 1일자로 이관되었다.

서울시는 전차운영권을 인수한 다음날인 6월 2일부터 남대문~효자동, 서대문~종로네거리간 전차 운영을 중지하고, 세종로 지하도와 명동 지하도를 건설하였다. 나머지 노선들은 요금인상 이후 비교적 안정적인 경영상태를 보였으나, 결국 서울시 정책에 따라 1968년 11월 30일 자정을 기해 운영을 중단하였다. 처음 전차개통식을 거행한 1899년 이후 약 69년간 전차가 운행된 것이다.

라. 전차 폐지 이후 대중교통 정책 변화

전차를 폐지한 이후 서울시는 1970년대에 도시화, 산업화 과정에서 인구집중으로 발생한 승차난 해소를 위해 버스노선의 증설 및 연장 등과 같은 버스 공급의 확대를 통해 교통문제를 대응하였다. 하지만, 1980년대 들어 자동차의 급격한 증가에 따라 소통난 해소에 한계가 있어 지하철망 확충을 시도하였다. 1900년대 초반의 노면전차 중심 대중교통 체계는 결국 버스를 거쳐 버스와 지하철 중심의 체계로 변화되었다

할 수 있다. 1990년대 들어서는 기존 중량전철 위주의 지하철 건설에 따른 비용과다 문제를 해결하기 위해 시범적으로 경량전철을 도입하기 시작하였다. 경량전철을 포함한 전체 도시철도는 2014년 말 기준, 서울·부산 등 9개 도시에서 21개 노선(615 km) 운행 중에 있으며, 총괄 현황은 다음 표와 같다.

<표 11-7> 국내 도시철도 운영 현황

(‘14년 말 기준)

구분	노 선	연 장 (km)	역수	구 간	사업비 (억원)	개통일 (최초)
합계	21개	615.0	591		369,640	
서울 (9)	1호선1)	7.8	10	서울역~청량리	984	'74.08.15
	2호선	60.2	50	성수~성수	11,171	'80.10.31
	3호선2)	38.2	34	지축~오금	13,798	'85.07.12
	4호선3)	31.7	26	당고개~남태령	8,315	'85.04.20
	5호선	52.3	51	방화~상일, 마천	30,215	'95.11.15
	6호선	35.1	38	응암~봉화산	25,496	'00.08.07
	7호선	57.1	51	장암~부평구청	39,676	'96.10.11
	8호선	17.7	17	암사~모란	8,502	'96.11.23
	9호선	27.0	25	개화~신논현	34,640	'09.07.24
부산 (4)	1호선	32.5	34	노포~신평	9,751	'85.07.19
	2호선	45.2	43	장산~양산	28,552	'99.06.30
	3호선	18.1	17	대저~수영	17,395	'05.11.28
	4호선	12.0	14	안평~미남	12,616	'11.03.30
대구 (2)	1호선	25.9	30	대곡~안심	15,187	'97.11.26
	2호선	31.4	29	문양~영남대	26,147	'05.10.18
인천	1호선	29.4	29	계양~국제업무지구	24,320	'99.10.06
광주	1호선	20.5	20	녹동~평동	16,658	'04.04.28
대전	1호선	20.5	22	판암~반석	18,931	'06.03.16
부산-김해	부산-김해	23.2	21	사상~가야대	13,241	'11.09.17
의정부	의정부	11.1	15	발곡~탑석	6,767	'12.07.01
용인	용인	18.1	15	기흥~전대	7,278	'13.04.26

주: 1) 1호선 중 철도공사 관리 구간(서울~천안~신창, 구로~인천, 청량리~소요산)은 제외
 2) 3호선 중 철도공사 관리 구간(지축~대화)은 제외
 3) 4호선 중 철도공사 관리 구간(남태령~오이도)은 제외
 자료 : 국토교통부, 철도업무편람, 2015

<표 II-8> 국내 경량전철 운영 현황

('14년 말 기준)

구 분		서울 1호선	부산 4호선	부산-김해 경전철(주)	의정부 경전철(주)	용인 경량전철(주)
구 간		서울역 ~ 청량리	안 평 ~ 미 남	사 상 ~ 가야대	발 곡 ~ 탑 석	기 흥 ~ 전대-에버랜드
거 리 (km)		7.8	12.0	23.2	11.1	18.1
정거장(개)		10	14	21	15	15
소요시간(분)		16	25	40	20	30
차량수(량)		160	102	50	30	30
열차편성수 (편성당 량수)		16 (10)	17 (6)	25 (2)	15 (2)	30 (1)
1일 운행횟수		517	302	394	414	평일 370 휴일 330
운행 시격 (분)	출근 (R/H)	3.0	5.0	4.39	3.5	4
	평시 (NH)	5.0	8.0	5.5 ~ 11	6 ~ 10	6 ~ 10
표정속도 (km/h)		29.3	28.8	33.1	32.2	36.28
역간거리 (km)	평균	0.8	0.9	1.1	0.75	1.29
	최소	0.6	0.7	0.6	0.45	0.75
'14년 일일 수송인원 (천명)	수송	468	29	43	21.2	13.9
	승차	308	29	43	20.9	12.3
	유입	160	-	-	0.3	1.6
'14년 연간 수송인원 (천명)	수송	170,807	10,693	15,778	7,742	5,068
	승차	112,538	10,693	15,778	7,643	4,494
	유입	58,270	-	-	99	574
건설비(억원)		984	12,616	13,241	6,767	7,278
건설기간		1971 ~ 1974	2003 ~ 2011	2002 ~ 2011	2007 ~ 2012	2005 ~ 2013
착 공 일		'71.4.12	'03.12.3	'06.04.21	'07.08.28	'05.11.17
개통일(최초)		'74.8.15	'11.3.30	'11.09.17	'12.07.01	'13.04.26

자료 : 국토교통부, 철도업무편람, 2015

마. 노면전차(트램)의 부활 시도

그동안 건설 및 운영된 경량전철은 특유의 장점을 살리지 못하고 고량 또는 지하 구간에 건설됨에 따라 비용절감 효과가 크지 않았다. 따라서 새로운 대안으로 노면전차(트램)를 도입하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 1990년대 말 노면전차를 부활하고자 하는 움직임이 먼저 전주에서 시작한 이후 울산, 성남, 창원 등에서 시도가 있었다. 최근에는 수원, 서울 위례신도시, 화성 동탄신도시, 성남 판교 등에서 검토를 추진 중에 있으나 아직 사업이 착수된 곳은 존재하지 않는다.

<표 II-9> 국내에서 추진 중인 트램(노면전차) 사업 현황('17년 말 현재)

권역	사업명	연장(km)	관련 계획	추진현황
서울	위례선	5.44	민간제안서 검토 중	③ 예타, 적격성조사
인천	인천 남항 석탄부두 공원 트램	8.5	-	① 구상 단계
	경인고속도로 일반화 구간 노면전차	-	-	① 구상 단계
	인천경전철 송도-주안	15.4	2025 인천 도시기본계획('10)	② 상위 계획 반영
경기	동탄 1호선	16.44	경기도 10개년 도시철도 기본계획('13)	② 상위 계획 반영
	동탄 2호선	17.44		
	수원 1호선	6.048	경기도 10개년 도시철도 기본계획('13)	③ 예타, 적격성조사
	성남 1호선	10.38	경기도 10개년 도시철도 기본계획('13)	③ 예타, 적격성조사
	판교 랜드마크 트램	1.57(1차)	경기도 10개년 도시철도 기본계획('13)	② 상위 계획 반영
	오이도 연결선	6.55	대도시권 광역교통기본계획('07)	② 상위 계획 반영
	송내-부천선	9.09	대도시권 광역교통기본계획('07)	② 상위 계획 반영
대전	대전도시철도 2호선	37.4	대전시 '트램 시범노선 건설계획 및 노선(안)'('16)	③ 예타, 적격성조사
충청	청주 트램(노면전차)	49.43		① 구상 단계
전북	전주-익산-새만금 트램	110~130		① 구상 단계
대구	대구도시철도 순환선	37.6	대구시 제2차 대중교통기본계획('12)	② 상위 계획 반영
부산	부산도시철도 강서선	21.3	부산시 도시철도망구축계획('17)	② 상위 계획 반영
	부산도시철도 정관선	12.8	부산시 도시철도망구축계획('17)	② 상위 계획 반영
	부산도시철도 C-Bay-Park선	9.1	부산시 도시철도망구축계획('17)	② 상위 계획 반영
	부산도시철도 우암선	7.05	-	① 구상 단계

2. 국외 트램(노면전차) 및 경전철(LRT) 현황

전 세계적으로 약 430여개 이상의 도시에서 관광용을 제외한 도시교통용으로 트램(노면전차)나 경전철(LRT)을 운영하고 있다. 꾸준히 여러 신규 노선이 개통, 공사, 계획 중에 있어 트램과 LRT는 도시교통 철도시스템 중 가장 많이 운영중인 시스템이라 할 수 있다. 유럽의 중전철(Metro)과 LRT 및 Tram의 도입 현황을 살펴보면 다음과 같다.

□ 유럽의 중전철(Metro)과 경전철(LRT) 및 트램(노면전차)⁶⁾

유럽내 Metro와 LRT 및 Tram을 나누어 살펴보면 Metro보다는 LRT 및 트램의 총 연장이 약 2.8배 높으며, 노선수로는 약 6.8배에 달한다. 하지만, 노선의 평균 연장은 Metro가 더 길어 LRT 및 Tram은 Metro 보다는 단거리 노선 위주로 운영되고 있음을 알 수 있다. 노선 당 평균 연장은 총 길이와 노선수로 산출된 것과는 다른데, 이는 노선들 간에 일부 구간을 공유하기 때문으로 보인다. 수요 또한 Metro가 LRT 및 Tram 보다는 더 높게 나타나 Tram은 비교적 단거리이며 수송밀도가 낮은 경우에 운영되고 있음을 알 수 있다.

<표 II-10> 유럽내 Metro와 LRT 및 Tram System 현황

	총 연장(km)	노선수	노선별 평균연장(km)
Metro	2,675	169	17.2
LRT 및 Tram	7,303	1,149	12.8

자료 : ERRAC, Metro, light rail and tram systems in Europe, 2012.10

<표 II-11> 유럽내 Metro와 LRT 및 트램의 수요 비교

(단위: 백만인/km)

	Metro	Light Rail and Tram
Total	3.44	1.43

자료 : ERRAC, Metro, light rail and tram systems in Europe, 2012.10

6) ERRAC(2012)의 “Metro, light rail and tram systems in Europe”에 제시된 내용을 정리, 요약 하였다.

<표 II-12> 유럽내 Metro와 LRT 및 트램의 건설현황 및 계획 비교

(단위: km)

	Metro		Light Rail and Tram	
	공사 중	계획	공사 중	계획
Total	391	397	488	1,086

자료 : ERRAC, Metro, light rail and tram systems in Europe, 2012.10

□ 전 세계의 경전철(LRT) 및 트램(노면전차) 시스템 비교⁷⁾

아시아 9개국, 유럽 29개국, 북미 3개국, 기타 대륙 5개국의 총 46개국에서 운영 중인 LRT 및 Tram의 시스템 현황과 최초 개통시기를 살펴보면 다음과 같다.

<표 II-13> 아시아 지역 국가별 LRT와 Tram 현황 및 최초 개통시기

	합계	1980 이전	1981~ 1900	1901~ 1920	1921~ 1940	1941~ 1960	1961~ 1980	1981~ 2000	2001 이후
일본	21	0	1	13	3	3	0	0	1
중국	11	0	0	2	0	1	0	5	13
터키	10								
카자흐스탄	4	1	0	1	1	2	1	2	2
북한	2								
인도	1								
이스라엘	1								
아랍에미리트	1								
우즈베키스탄	1								
합계	52								

자료: Wikipedia, List of tram and light rail transit systems, 2015년 9월 현재

<표 II-14> 북, 중미 지역 국가별 LRT 및 Tram 현황 및 최초 개통시기

	합계	1980 이전	1981~ 1900	1901~ 1920	1921~ 1940	1941~ 1960	1961~ 1980	1981~ 2000	2001 이후
미국	47	5	1	2	2	0	3	19	21
캐나다	4								
멕시코	2								
합계	53	5	1	2	2	0	3	19	21

자료: Wikipedia, List of tram and light rail transit systems, 2015년 9월 현재

7) 2015년 9월 현재 Wikipedia의 “List of tram and light rail transit systems” 내용을 요약, 정리하였다.

<표 II-15> 유럽 지역 국가별 LRT와 Tram 현황 및 최초 개통시기

	합계	1980 이전	1981~ 1900	1901~ 1920	1921~ 1940	1941~ 1960	1961~ 1980	1981~ 2000	2001 이후
러시아	62	1	6	10	16	20	6	3	0
독일	50	12	20	4	0	0	5	8	1
프랑스	28	0	1	1	0	0	0	8	18
우크라이나	23	3	12	6	10	3	2	2	1
폴란드	16								
이탈리아	12	20	30	16	0	2	3	15	21
루마니아	12								
스페인	11								
영국	8								
체코	7								
기타(19개국)	57								
합계	286	36	69	37	26	25	16	36	41

자료: Wikipedia, List of tram and light rail transit systems, 2015년 9월 현재

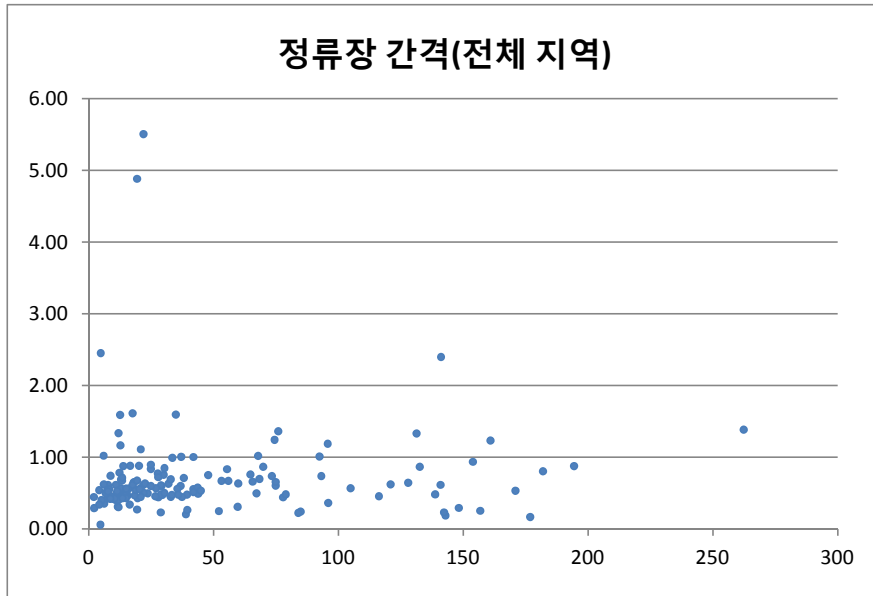
<표 II-16> 호주 및 남미 지역 국가별 LRT와 Tram 현황 및 최초 개통시기

	합계	1980 이전	1981~ 1900	1901~ 1920	1921~ 1940	1941~ 1960	1961~ 1980	1981~ 2000	2001 이후
호주	4	1	1	1	0	1	0	4	4
아르헨티나	3								
브라질	3								
칠레	1								
콜롬비아	1								
합계	12	1	1	1	0	1	0	4	4

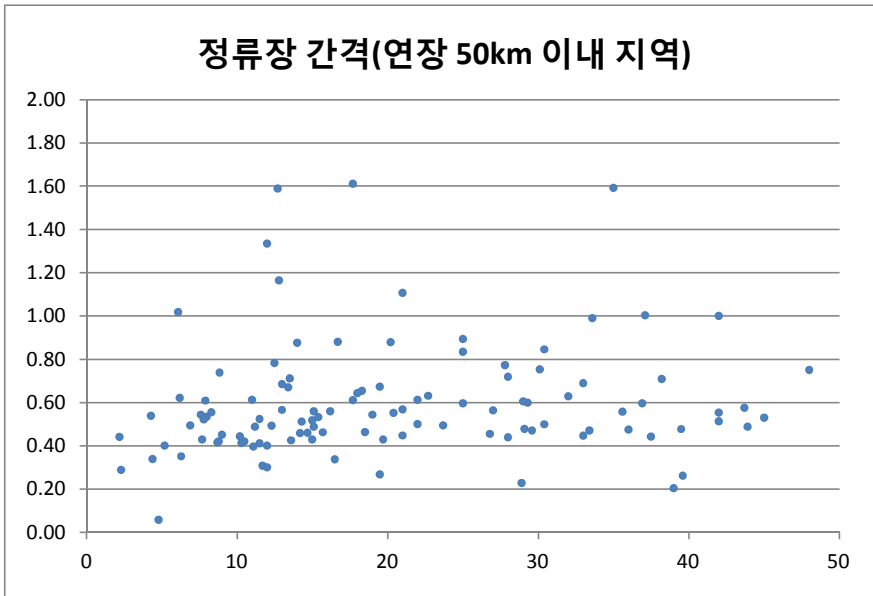
자료: Wikipedia, List of tram and light rail transit systems, 2015년 9월 현재

연장과 정거장수가 제시된 유럽 지역의 159개 노선을 대상으로 하여 정류장 간격을 살펴보면 대부분 정류장 간격이 약 0.4km~0.8km 이내인 것으로 나타났다.

[그림 II-4] 유럽내 LRT 및 Tram의 정류장 간격(전체 노선)



[그림 II-5] 유럽내 LRT 및 Tram의 정류장 간격(연장 50km 이하 노선)



3. 프랑스, 영국의 트램(노면전차) 도입 사례

가. 프랑스의 트램(노면전차) 추진 현황 및 동향

유럽에서 트램(노면전차)은 독일과 동구권 국가들을 제외하고는 대부분 자가용 교통수단의 발달과 더불어 버스와 지하철이 도입되면서 쇠퇴하였다. 하지만 두차례의 오일 쇼크를 겪은 후 1980년대부터 트램이 본격적으로 재조명되기 시작하였다. 현재 유럽에서 트램(노면전차)는 지속가능한 교통수단으로 인식되어 도시 교통의 중심축으로 그 역할을 하고 있다. 특히 프랑스에서는 1982년 교통법(LOTI)을 제정하여 대중교통 우선 정책을 법적으로 명확히 제시하면서부터 트램이 도시 교통의 중심수단으로 자리 매김하기 시작하였다. 프랑스에서는 트램 사업을 단순한 교통 프로젝트가 아니라 도시 발전을 위한 도시 프로젝트의 일환으로 간주하여 다양한 도시에서 활발하게 활용하고 있고 최근에도 지속적으로 사업을 추진되고 있다. 지난 30년간 유럽, 아시아, 미국 등 전 세계적으로 수많은 트램 노선이 건설 및 운영 중에 있으며, 신규 노선이 추가로 건설되고 있다. 대도시들은 대부분 도시철도(메트로)와 트램을 모두 활용하고 있으나 상대적으로 중간 규모에 해당하는 도시들은 트램 위주로 서비스를 공급하고 있다.

<표 II-17> 유럽 주요도시 도시철도 및 트램 현황

구분	인구 (만명)	도시철도 연장 (km)	트램 연장 (km)	인구 당 트램 연장 (km/천 인)
파리	224.4	216.3	105.5	4.7
리옹	48.4	31.8	63.0	13.0
그르노블	15.6	-	43.0	27.6
보르도	23.9	-	57.0	23.8
낭트	28.5	-	44.0	15.4
니스	34.3	-	8.7	2.5
클레르-몽페랑	14.0	-	15.7	11.2
카셀	19.3	-	53.0	27.5
암스테르담	78.0	42.5	94.0	12.1
로테르담	61.0	79.3	75.0	12.3
헤이그	49.5	10.0	105.0	21.2
리스본	53.1	53.6	48.0	9.0
포르토	23.0	-	78.0	33.9
브뤼셀	112.6	49.9	138.0	12.3
취리히	37.9	380.0	82.0	21.6

자료: Urbanrail.net, <http://www.urbanrail.net>(2015. 10. 20.)

1) 프랑스의 트램(노면전차) 도입 및 확장

20세기 초반만 하더라도 프랑스는 현재의 버스 노선과 맞먹는 수준으로 잘 조직된 트램 교통망을 가지고 있었지만, 2차 세계대전과 도로 교통수단의 발전으로 인해 트램을 등한시 하게 되었고, 1966년에는 릴(Lille), 마르세이유(Marseille), 생테티엔(Saint-Etienne) 등 단지 세 도시에서만 트램 시스템을 보유하고 있었다. 하지만, 1973년 오일 쇼크 이후 자동차에 기반한 도로 교통의 한계에 대해 인식하게 되었고 이를 바탕으로 공공교통에 대한 투자를 늘리기 시작하였다.

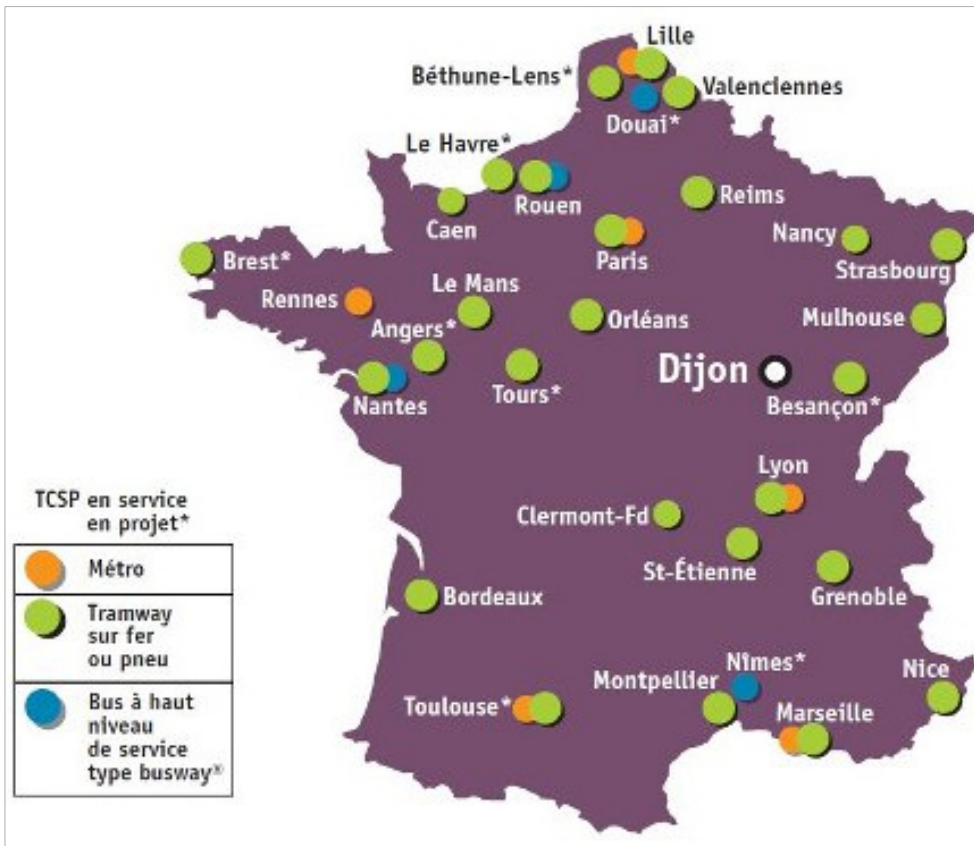
1975년에 당시 교통담당 비서였던 마르셀 카바이에(Marcel Cavaillé)가 현대적인 트램을 도입하고자 프랑스의 8개 도시⁸⁾를 사전 선정하여 각 도시에 트램 건설 의사를 타진했고, 의사 타진 6개월 후 트램 도입을 위한 본격적인 국제 경쟁이 시작되었다.

하지만 초기 선정된 8개 도시가 아닌 프랑스 서부에 위치한 낭트(Nantes)에서 독일의 하노버 트램을 벤치마킹하여 1985년 현대적인 트램을 가장 먼저 도입하였다. 낭트에서의 성공을 발판으로 하여 1987년 그르노블(Grenoble), 1992년 파리, 1994년 루앙(Rouen)과 스트라스부르(Strasbourg)에 각각 트램이 건설되었다. 특히 1994년 스트라스부르에 건설된 현대적인 트램은 보행 및 대중교통 공간 확대를 통한 도심 공간 재구조화라는 프랑스식 트램 도입의 전형을 보여주며 이후 건설된 프랑스 도시들의 트램에 큰 영향을 끼치게 되었다. 현재 프랑스에는 20여 개가 넘는 도시에 트램 노선이 운영되고 있으며, 지금도 지속적으로 확대되고 있는 추세이다.

프랑스는 중앙 정부에서도 트램과 관련한 지원을 적극적으로 하고 있다. 프랑스의 미래를 위해 2010년에 제정한 Grenelle I 법의 경우 대중교통에 대한 투자가 주된 내용인데, 그 중에서 트램은 대중교통계획 총 연장 424km 중 205km(국가 지원을 약 13%)의 비중을 차지하고 있어 트램 건설 사업이 계획 연장을 기준으로는 절반가량을 차지하고 있다.





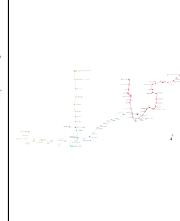





8) 보르도, 그르노블, 낭시, 니스, 루앙, 스트라스부르, 툴롱, 툴루즈(Bordeaux, Grenoble, Nancy, Nice, Rouen, Strasbourg, Toulon, Toulouse)

[그림 11-6] 프랑스의 지역별 트램 도입 분포



자료: Le Tram-Grand Dijon, <http://www.letram-dijon.fr>
 한국교통연구원(2013)에서 재인용

<표 II-18> 프랑스 주요 도시의 트램 현황(2014년 말 기준)

구분	파리	스트라스부르	낭트	보르도	니스
노선도					
열차 종류					
면적	105km ²	78.26km ²	65.19km ²	49.36km ²	71.92km ²
인구	224.4만 명	27만 명	28.5만 명	23.9만 명	34.3만 명
노선수	9개	6개	3개	3개	1개
노선연장	105.5km	57.5km	44.0km	57.0km	8.7km
이용객수	90만 명/일	31만7천 명/일	28만5천 명/일	28만2천 명/일	9만 명/일
정거장수	181개	72개	83개	111개	22개
개통일	T1(1992년)	1994년	1985년	2003년	2007년
운영기관	RATP / SNCF	CTS	Semitan	Keolis	Ligne d'Azur
특징	<ul style="list-style-type: none"> 파리 메트로를 연결하는 지선 개념 파리 내부에 위치한 T3 노선은 기존의 버스 노선을 대체 	<ul style="list-style-type: none"> 도심 내 보행 공간 확보(지하 주차공간) 트램을 통한 도시 공간 구조 개편(트램의 도시 정책 수단화) 	<ul style="list-style-type: none"> 프랑스 최초로 현대적인 트램 도입 도시 트램이 도시 교통의 중심 	<ul style="list-style-type: none"> 지면을 통한 전력공급 시스템인 APS방식 최초 도입 3개 노선 모두 연장 계획있어 향후 총 60km가 될 것임 	<ul style="list-style-type: none"> 배터리를 활용한 부분무가선 방식 사용

자료: Urbanrail.net, (<http://www.urbanrail.net>)

Wikipedia, (<http://fr.wikipedia.org>, <http://de.wikipedia.org>)

한국교통연구원(2013)에서 재인용

2) 낭트

1970년대 낭트의 대중교통은 오로지 버스로만 구성되어 있었다. 하지만, 당시 시장이었던 알랑 쉐나(Alain Chenard)는 다양한 교통수단 간에 발생하는 문제를 해결하기 위해서는 도로를 완전히 탈바꿈시켜야 한다고 믿었고, 이를 위해 가장 적절한 수단은 독일에서 기술적으로 증명되어 활발히 활용되고 있었던 트램이라 생각했다. 그는 정치적으로 모험을 감수하며 트램 프로젝트를 추진하였다. 1983년 새로운 시장인 미셸 쇼티(Michel Chauty)는 트램이 도시를 분리시킨다 생각하여 전 시장이 추진하던 트램 프로젝트에 반대하였으나, 이미 프로젝트가 상당히 진행되어 있던 상황이라 되돌리기는 어려웠다.

1985년 마침내 낭트에서 프랑스 최초로 현대적인 트램이 성공적으로 서비스를 시작하게 되었고, 이후 1992년 트램 2노선, 2000년 트램 3노선까지 확장되어 현재에 이르고 있다. 낭트의 트램은 현재 3개 노선 44.0km의 연장에 하루 평균 이용객이 28.5만 명에 이를 정도로 성공적으로 운영되고 있다.

[그림 11-7] 프랑스 낭트의 신형 트램(Urbos 3)



자료: <https://en.wikimedia.org>

3) 스트라스부르

1980년대 스트라스부르는 버스와 승용차의 증가로 인해 도로의 혼잡이 극심해졌다. 이를 해결하고자 스트라스부르는 경전철 프로젝트를 추진하게 되었고, 대부분의 사람들은 고가 경전철과 트램 중에서 고가경전철인 VAL 시스템(의정부 경전철과 동일한 시스템)에 찬성하는 입장이었다. 찬성의 이유는 트램을 도로 상에 건설하게 되면 도로의 상황이 나빠지고 주차장 공간도 부족해지며 이는 상가들의 고객 감소로 이어진다는 것이다. 하지만 1989년에 좌파 성향의 까테린 트로프만(Catherine Trautmann)이 시장에 당선되며 상황이 역전되어 스트라스부르는 건설비가 VAL의 1/4에 불과한 트램을 건설하기로 확정하였다.

[그림 11-8] 프랑스 스트라스부르 트램(노면전차)



자료: <https://en.wikimedia.org>

스트라스부르는 낭트의 트램보다 더 과감하게 트램 프로젝트를 추진하였는데 이는 단순히 트램을 교통수단으로만 생각하지 않고 도시의 구조를 개선할 수 있는 수단으로 생각하였다는 것이다. 스트라스부르는 트램 건설과 도심 가로 정비를 동시에 추진하여 스트라스부르를 대중교통 및 비동력수단(보행, 자전거)이 중심이 되는 도시로 탈바꿈시켰다. 도심에서의 이동은 트램을 통해 충분히 이루어지도록 하였고, 개인 승용차의 도심 통행을 줄이기 위해 외곽에 있는 트램 노선에 P+R을 설치하였다.

스트라스부르 시민들이 트램이 건설되면 도로 교통과 주차장 감소로 인해 상가 고객이 감소하리라 생각했던 우려는 오히려 보행자 증가를 통해 상가 고객 및 매출 증가로 이어지게 되었다. 자동차로 늘 막히던 도심은 트램과 보행자가 어우러진 사람이 중심이 되는 활기찬 공간으로 탈바꿈하게 되었다. 트램 1노선의 성공을 바탕으로 2015년 현재 스트라스부르는 6노선까지 트램을 확장하였다. 총연장은 57.5km로 하루 평균 이용객이 31.7만 명에 이를 정도로 성공적으로 운영되고 있다.

현재도 스트라스부르 시민들은 지속적으로 트램 운행의 연장을 바라고 있는 상황 이어서 오히려 시 재정을 걱정하는 시 당국이 이를 말리는 입장이다.

4) 주요 시사점

앞서 예로 든 프랑스 도시들을 포함하여 현재 지속적으로 추진되고 있는 프랑스 트램 사업은 대부분 성공적이라는 평을 듣고 있다. 프랑스에서 트램이 성공적으로 도입되고 평가받을 수 있는 이유 중 가장 중요한 것은 첫째, 트램 프로젝트를 단순히 교통 프로젝트가 아닌 도시 프로젝트로 여겨 도심 재정비사업과 함께 하였기 때문이다. 물론 낭트의 첫 번째 트램 라인은 순수 교통 프로젝트라고 할 수 있으나 이후 건설된 스트라스부르 등은 트램 프로젝트를 도시 프로젝트로 확장하여 사업을 추진하였다.

그리고 트램 프로젝트와 동시에 대중교통 우선 및 자가용 사용 억제라는 중앙정부 및 지방정부의 확고한 정책방향 설정과 이를 지속적으로 추진하고자 하는 의지를 성공 사유로 제시하고 있다. 성공적으로 트램을 도입한 대부분의 도시들에서는 시장이 자신의 정치적인 위험을 감수하고 트램 도입을 강력히 추진하였다. 이러한 정책적 결단성과 추진력을 통해 새로운 형태의 대중교통 활용법이 등장하게 되었고 이는 다시 시민들을 대중교통으로 끌어들이는 유인책이 되어 대중교통이 중심이 되는 도시로 만들 수 있는 기반이 되었던 것이다.

나. 영국의 트램(노면전차) 추진 현황 및 동향

1) 영국의 트램(노면전차) 및 경전철 도입 및 확장

영국에서 도시철도 건설이 시작된 것은 1968년에 교통법(The 1968 Transport Act)의 발효와 함께 중앙정부 차원의 재정적 지원이 시작되면서 부터였다. 초기에는 주로 중전철(heavy rail)에 대한 투자가 이루어져 영국에서 두 번째로 큰 전철시스템인 리버풀의 ‘Link and Loop’, 글라스고우의 ‘Argyle Line’, 그리고 런던 ‘Underground’의 현대화 사업이 이때 이루어졌다. 이 세 개의 사업이 규모 면에서 현재 영국의 3대 도시철도로 꼽힌다. 이어 1980년대 들어서는 경전철이 선호되었고 경전철 제1세대를 맞는다. 이때 도입된 것이 뉴캐슬의 ‘Tyne and Wear’와 ‘런던도크랜드 경전철’이며 이들은 도로와 완전히 분리된 노상 경전철의 형태를 띤다.

그러나 지속적인 재정감축 정책으로 일관되었던 1980년대를 지나면서 노상경전철보다 더욱 저렴하고 경량인 경전철 기술에 대한 관심과 수요가 생겨났고 그 결과 1990년대에는 노면전차와 노상경전철을 겸용하는 형태의 ‘수퍼트램’이 소개되면서 경전철 제2세대의 막을 열었다. 즉, 영국 도시철도는 1970년~2000년에 이르는 기간 동안 점진적으로 ‘경전철화’ 되어가는 양상을 보였다. 뒤에서도 논의되었지만 이러한 국제적인 경량화 추세는 2000년 이후에도 점증적으로 진행된다.

이러한 추세 속에서 처음으로 도입된 노면전차 및 경전철은 1992년에 오픈한 맨체스터광역도시의 ‘Metrolink Phase 1’이며, 1994년~1995년에는 셰필드의 ‘South Yorkshire Supertram’이 개통되었다. 1999년에는 버밍햄과 울버햄튼을 잇는 ‘Midland Metro’가, 1999년~2000년에는 맨체스터광역시의 ‘Metrolink Phase 2’가 각각 운영을 시작했다. 그 뒤를 바로 이어 2000년 5월에는 런던의 교외지역에 위치한 크로이든의 ‘Croydon Tramlink’가 그리고 2004년에는 노팅험의 ‘Nottingham Express Transit’이 개통되었다.

□ 맨체스터 광역시의 Metrolink

영국에서 1992년에 경전철 제2세대의 막을 연 맨체스터 광역시의 Metrolink는 영국 최초의 트램(노면전차)으로서 그 중 Phase1은 노선의 상당 부분을 기존트랙을 활용하여 건설하였다. 바로 다음 해인 2000년에 Phase2를 개통한 후 10년 이상의 공백을 거

쳐 2011년부터 Phase3 건설이 시작되었고, 2013년에 와서야 3a와 3b 구간이 우여곡절 끝에 개통되었다. 현재 Phase2 확장공사를 포함한 몇몇 확장공사가 진행 중이며, 전체 노선의 길이는 92km이고 7개 노선에 걸쳐 93개 전철역이 있다.

[그림 II-9] 맨체스터 광역시의 Metrolink



출처: 영국 Department for Transport, 2011

□ 셰필드의 Supertram

다음으로 1994년에 개통한 셰필드의 Supertram은 상대적으로 소규모 시스템인데 전체 길이는 29km에 달하며 총 48개 역을 운행하는 3개의 노선으로 구성되어 있다. 노선의 대부분은 노면전차 형태로 운행되고 있다.

[그림 II-10] 셰필드 Supertram



출처: 영국 Department for Transport, 2011

□ 버밍햄-올버햄튼 Midland Metro

버밍햄과 올버햄튼을 연결하는 Midland Metro는 1999년에 1호선이 개통한 후 현재도 한 개의 노선으로 단일 코리도어를 운행 중이며 전체 길이 21km에 총 26개 역을 통과한다. 주로 기존의 철도트랙을 활용하여 건설되었고 예외적으로 올버햄튼의 한 구간만 노면에서 노면전차 형태로 운행된다. 기존에는 버밍햄 외곽에 있는 Snow Hill 역을 사용하는 관계로 경전철 서비스가 버밍햄 도심으로 연결되지 못하고 있었는데, 이를 노면에서 연장하여 버밍햄 도심부까지 연결하는 안이 2012년에 승인된 후 현재 운행 중이다. 아울러 몇 개의 연장공사와 노선 확장이 현재 추진 중이다.

[그림 II-11] 버밍햄-올버햄튼 Midland Metro



출처: Railway Gazette(2016. 12 16 확인)

□ 크로이든 Tramway

2000년에 런던 남부의 크로이든에 도입된 Tramway는 4개의 노선으로 구성되어 있고 도심부를 환형으로 에워싸며 북서, 북동, 남동의 세 방향으로 뻗어 있다. 총 28km에 달하며 39개 역을 운행한다. 일부 구간은 기존트랙을 사용하고 일부는 노면전차로 운행하며 경전철이 기존의 중전철을 대체한 경우이다.

[그림 11-12] 크로이든 Tramlink



출처: Wikiwand <http://www.wikiwand.com/en/Tramlink> (2016.12.16. 확인)

2) 영국정부의 트램(노면전차) 및 경전철 지원 논란

그러나 2004년 Nottingham Express Transit 개통 후 중앙정부의 노면전차 및 경전철 사업 지원이 중단되면서 영국에서의 제2세대 경전철 진행은 사실상 그 맥이 끊기게 된다. 이는 2000년에 출판된 10개년 교통계획(The Ten Year Transport Plan)에 크게 반하는 상황으로서 관련 업계 및 학계에 적잖은 반향을 불러 일으켰는데, 그도 그럴 것이 이 2000년의 10개년 계획에서 영국정부는 노면전차(경전철) 통행량의 100% 증가와 25개에 달하는 노면전차(경전철) 사업에 대한 지원을 목표로 설정한 바 있기 때문이다. 하지만 계획 발표 2년 만에 이 두 가지 관련 목표가 전면 취소된 것이다. 맨체스터광역시, 노팅험, 버밍햄 시에서 확장이 승인된 것을 제외하고는 1990년대에 보였던 것과 같은 새로운 노면전차(경전철) 서비스에 대한 일련의 투자는 막을 내린 것

이다. 대신 대중교통 지원은 좀 더 저렴한 BRT(Bus Rapid Transit) 위주로 목표를 전환하게 된다.

이러한 소위 정책상의 ‘U-턴(U-turn)’의 배후에는 여러 가지 정황이 있는데 먼저 ‘Railtrack’이 재정난을 겪고 관리에 들어간 일, 노팅험 노면전차(경전철)의 하도급체가 손실을 본 일, 크로이든 노면전차(Croydon Tramlink)가 재정 재구조화에 들어간 일, 일부 철도 회사들이 수익목표 달성에 실패한 일 등 일련의 사건을 겪으면서 마켓 컨피던스가 상실되고 그것이 2003년 10월에 이르러서는 정부 추진 사업의 비용인플레이션으로 연결된 것과 무관하지 않다(Knowles 2007). 또 2004년에 정부의 전격적인 정책 전환을 뒷받침한 보고서가 있는데 National Audit Office Report(NAO, 2004)가 바로 그것이다. ‘value for money’를 주요기준으로 영국의 노면전차(경전철) 사업을 평가한 이 보고서의 골자는 다음과 같다.

- 노면전차(경전철)는 너무 비싸고 투자에 비해 이용률이 낮음.
- 비용이 날로 증가하고 있으며, 신규로 제안된 사업들이 완공된 사업들보다 1킬로미터 당 평균 300만 파운드 씩 건설비용이 증가함.
- 1980년대에 영국에 건설된 7개의 노면전차(경전철)의 비용은 23억 파운드이며 이 중 정부 부담은 10억 파운드임.
- 7개 모두 정부 소유이나 이 중 5개는 DBOM(Design, Build, Operate and Maintain)의 계약형태에 의한 PPP 사업이고 Sheffield Supertram과 Tyne & Wear Metro의 2개는 Passenger Transport Executive에 의해 건설됨(Sheffield Supertram은 건설 후 민간기업이 운영).
- Sheffield Supertram은 실제 승객수가 예상 승객수를 상당부분 하회하여 예상수익 800만 파운드 대신 100만 파운드의 수익 수준에 그쳤고, 교통부가 연간 600만 파운드의 이자 지불 중 일부를 떠맡음.
- 도크랜드 노면전차(경전철)와 Manchester Metrolink를 제외하고는 승객수가 예상승객수를 많이 밑둬(Croydon Tramlink의 경우 24% 미달, Sheffield Supertram의 경우 45% 미달).

한편, 이 보고서는 일반적으로 노면전차(경전철)가 해당도시에 미친 긍정적인 효과도 인정했다. 즉, 해당 도시에서 대중교통 선택의 폭과 질을 향상시킨 것, 자동차에서

경전철로의 수단전환을 12.5%~20% 유발한 것, 도시의 이미지를 향상시킨 것 등이 그것이다. 이 보고서는 영국에서의 노면전차(경전철) 사업에 대한 장애요소를 다음의 다섯 가지로 요약했다.

- 비용이 높음. 규격화된 기준(standardization)의 부재로 인해 가령 안전기준에 있어 중전철의 안전기준을 적용해야 하고, 순조로운 노선 건설을 위해 유틸리티 네트워크의 파이프, 케이블 등을 이전하는 비용(utilities diversion)의 92.5%를 사업자가 부담하도록 되어있음.
- 수익성이 낮아 민간기업의 투자를 촉진하지 못함. 위험배분, 조달방법, 승객수 예측 등의 개선이 필요
- 재원조달과 관련해서 혼잡비용의 수익, 상승된 지가 등을 활용하는 방안이 필요
- 계획과 자금지원 승인의 절차가 장기간임.
- 지방정부가 노면전차(경전철)에 관한 전문성이 부족함.

앞서 언급했듯이 2000년 10개년 교통계획에서는 ‘노면전차(경전철) 통행량 100% 증가’와 ‘시내버스 통행량 10% 증가’가 두 개의 서로 다른 목표로 설정되어 있었는데 정부는 2년 후에 이를 수정하여 발표한다. 결국 두 개의 별도 타겟은 ‘2010년 까지 노면전차(경전철)와 버스를 합한 통행량을 2000년 대비 12% 증가’시키는 것으로 대체되었다.

결국 정부의 정책이 2002년~2004년에 이르는 동안 노면전차(경전철) 지원을 극소화하는 방향으로 대폭 전환 했는데 상기 보고서가 이를 뒷받침할 수 있는 실증적인 자료를 제공한 것이다. 당시 교통장관 Alistair Darling은 NAO(2004)를 근거로 ‘2002년에 맨체스터 Metrolink 확장공사 비용이 2억 8,200만 파운드에서 5억 2,000만 파운드로 증가했고, 주민들이 부담해야 할 비용이 Leeds와 Portsmouth에서도 1억 파운드 이상 씩 늘어났음을 지적하였다. 정부로서는 이런 정도의 비용 증가 사업들을 받아들일 수 없고 따라서 승인할 수 없다’라고 설명하며 2000년 10개년 교통계획에 발표되었던 사업들을 일일이 부결했다(New Civil Engineer 2012).

이러한 정부의 노면전차(경전철)에 대한 냉담한 입장은 당연히 많은 반향을 일으켰고 사업자들의 법적 대응 등을 거치면서 어느 정도 절충이 된 사례도 있었는데 결국 영국하원의 교통위원회(House of Commons Transport Committee)에서 전통에 따라 정

점이 되고 있는 안전인 노면전차(경전철)의 실상에 관해 구두진술과 서면진술 형식으로 다양한 증거진술을 수집하여 이를 종합한 보고서를 발표하게 된다(House of Commons 2005). 280쪽에 달하는 하원교통위원회의 보고서는 학계, 업계, 정계의 경전철 전문가 및 전문가 그룹이 제출한 99개의 개별보고서와 구두진술 10여개를 포함하고 있는데 경전철의 비용과 편익, 비용문제를 해결하기 위한 방안, 교통통합에 노면전차(경전철)이 기여할 수 있는 잠재력 등이 다양한 연구조사를 바탕으로 수록되어 있다.

이 보고서에는 노면전차(경전철)가 비록 투자비용은 높지만 혼잡한 지역에 고품질의 접근성 높은 도시교통 서비스를 제공할 수 있는 능력이 있으며 승객수를 충분히 확보하면 버스보다 저렴할 수 있다는 점, 영국에서 노면전차(경전철) 건설비용이 다른 유럽국가에 비해 60% 높다는 점, 또 영국의 느린 계획 및 승인 절차로 인해 셰필드 노면전차(경전철)의 경우 개통까지 15년이 걸린 반면 프랑스 리옹(Lyon) 같은 경우 사전조사에서 개통까지 3년 반 밖에 걸리지 않았다는 점 등이 강조되었다.

즉, 노면전차(경전철)의 중요한 단점들 중에는 일반적이기 보다는 영국의 특수상황으로 인한 것들이 다수 있어 이를 극복할 수 있는 방안들이 존재한다는 점과 특히 영국에서 노면전차(경전철)의 고비용성을 극복할 수 있는 방안들이 다양하게 제시되었다. 이후 이 보고서는 영국정부가 노면전차(경전철)의 다양한 가능성과 전망에도 불구하고 이의 활용을 위한 노력을 중단한 점에 대한 전면적인 비판의 역할을 하게 되었다.

영국정부는 이 보고서에 대해서 몇 가지 노면전차(경전철)의 장점, 특히 노면전차(경전철)가 버스와 달리 자동차에 대한 대체수단으로서의 역할을 할 수 있다는 점, 약 20%의 수단간 전이가 일어날 수 있다는 점에 대해서는 동의했지만, 노면전차(경전철)는 여전히 비교적 값비싼 옵션이며 다른 옵션에 비해 그 높은 비용을 정당화할 만큼 도심에서의 교통혼잡 완화의 효과가 크다는 등의 뚜렷한 비교 우위의 근거가 있어야 한다는 입장을 강조했다.

영국정부 즉, 교통부는 여전히 시설 투자 보다 교통통합, 교통혼잡 완화, 교통관리 등을 강조하고 있어 실제로 혼잡비용이나 주차요금 관리 등에 더 초점을 두고 있는 추세였다. 또한 런던을 제외한 모든 도시에서 버스산업이 민간화 및 자율화 되어 있는 상황에서 버스와 노면전차(경전철)와의 요금통합은 근본적으로 어려운 상황인데 노면전차(경전철) 사업이 지원을 받기 위해서는 어떤 수준의 교통통합을 이루어야 하

는 건지, 어떤 조건을 충족 시켜야 하는 건지에 대해 교통부가 명확히 밝히고 있지 않아서 일부에서는 이를 노면전차(경전철)에 대한 무관심으로 해석하기도 하였다.

그러나 그 후 6년이 지난 2011년에 발표된 의회 교통장관(Parliamentary Under-Secretary of State for Transport) Norman Baker의 보고서 ‘Green light for light rail’은 2010년대 초에 영국에서 노면전차(경전철)에 대한 관심과 지원이 서서히 재개되고 있음을 보여준다. 실제로 같은 시기에 Network Rail이라는 영국의 대표적인 철도회사가 신기술인 Tram-Train(노면전차와 기차의 하이브리드)의 첫 시범 사업을 발표했고, 글라스고우에서도 Tram-Train에 많은 관심을 보였으며 당시 새로 출범한 합동정부(coalition government)는 Tyne & Wear Metro의 업그레이드, Manchester Metrolink의 2개 연장사업, Midland Metro, Nottingham Express Transit Phase 2 (£371,000,000)에 대한 지원을 추진하기 시작했다. 아울러 노면전차(경전철)에 관해서는 지방정부의 대응자금 비율을 더 높게 요구했던 것을 다른 교통수단과 같은 수준으로 조정했으며, 교통부 사업 평가 시 비용-편익 분석에서 탄소절감에 더 큰 값을 적용하고, 간접세 계산방법을 변경해서 탄소절감형의 노면전차(경전철) 사업이 다른 사업에 비해 비용편익 비율(B/C)이 향상될 수 있도록 했다.

이렇게 2010년 출범한 합동정부 하에서 영국의 노면전차(경전철)에 대한 지원 의지는 어느 정도 회복된 것으로 보이나, 노면전차(경전철)가 영국에서 지원대상 사업으로 자리매김 하기 위해서는 투자의 이유로 명시되어 있는 교통혼잡 완화에의 기여도가 확인되어야 하는 측면은 여전히 과제로 남는다고 할 수 있겠다. 투자의 가치를 논함에 있어 비용 또한 동시에 고려가 되어야 하고 그런 면에서 비용증가의 원인으로 부각된 요소들이 과연 어떻게 그리고 얼마나 극복될 수 있는 지가 결정적이라 할 수 있겠다. 먼저 노면전차(경전철)가 교통혼잡 완화에 기여하기 위해서는 많은 이용을 통해 교통수단 분담률 변화를 가져와야 하므로 그 이용현황을 살펴보고 이어서 수단 분담률 변화를 분석해 보기로 한다.

3) 영국의 노면전차(경전철) 이용률 현황

승객의 통행 수(passenger journeys)를 기준으로 이용률을 살펴보면, 맨체스터의 Metrolink와 크로이든의 Tramlink는 상당히 성공적이다. Metrolink Phase1은 개통한 지 2년 만에 연간 1,200만 통행에 도달했고, 2단계 개통 1년만인 2001년에 Metrolink 1단계와 2단계 구간의 통행량 합산은 2001/2년 Metrolink 합산 통행량 목표를 이미

초과하였다. Croydon Tramlink는 6년 만에 목표치인 2,500만 통행을 달성하고 계속해서 예상 통행량을 초과하고 있으며 6개 노면전차(경전철) 중 가장 이용률이 높다.

한편, 버밍햄과 울버햄튼을 연결하는 중부의 Midland Metro와 셰필드의 Supertram은 위의 예와 대조적으로 저조한 통행률을 보이고 있다. Supertram은 1994/5년 개통 이후 2010/11년에 연간 1,500만 통행 수를 기록 한 바가 있기는 하나, 20년 이상이 지난 2015/6년 현재 연간 통행 수가 예측치인 2,200만 통행의 절반을 조금 넘는 1,160만 통행에 그치고 있다. 버밍햄의 Midland Metro도 목표치인 800만 통행에 비해 40% 부족한 480만의 통행 수를 기록하고 있다. 다음의 표는 1991-2001년 사이에 개통된 영국 노면전차의 수송실적을 보여주며 그림은 영국의 노면전차(경전철) 전체의 수송률과 시스템별 기여도를 보여준다.

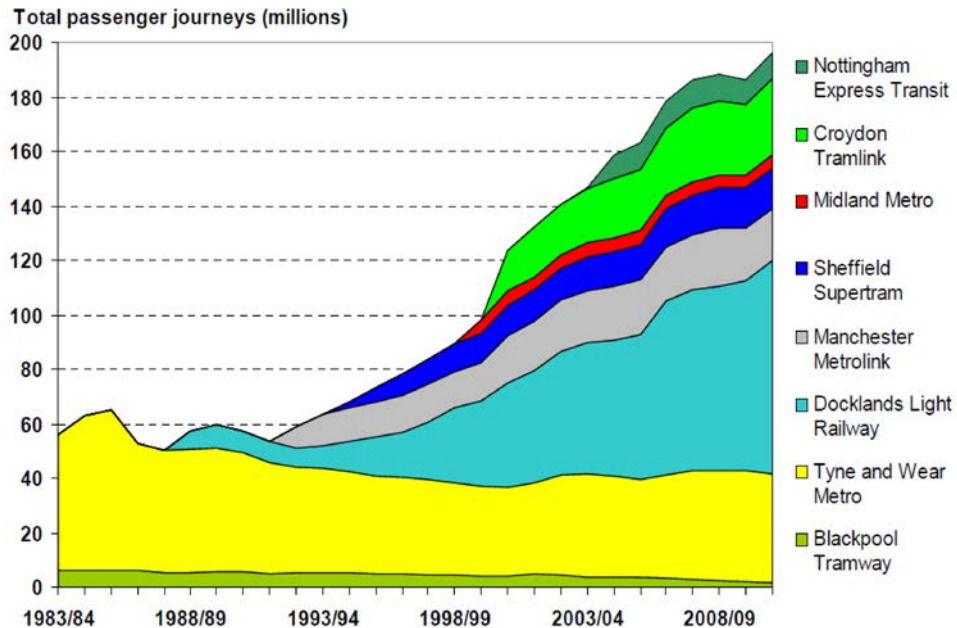
<표 II-19> 영국 노면전차(경전철) 통행량(1991년~2001년 개통)

(단위: 백만)

지역	1993/ 4	1994/ 5	1998/ 9	1999/ 2000	2000/ 1	2006/ 7	2007/ 8	2008/ 9	2010/ 11	2015/ 16
맨체스터 Metrolink	11.3	12.3	13.2	14.2	17.2	19.8	20.0	21.1	19.2	34.3
셰필드 Supertram	na	2.2	10.4	10.9	11.1	14.0	14.8	15.0	15	11.6
Midland Metro	na	na	na	4.8	5.4	4.9	4.8	4.7	4.8	4.8
크로이든 Tramlink	na	na	na	na	15.0	24.6	27.2	27.2	27.9	27

자료: 영국 Department for Transport 2005, 2007, 2008, 2009, 2011, 2016

[그림 11-13] 영국 노면전차(경전철) 수단내 시스템별 연간 승객 분담률



자료: 영국 Department for Transport, 2011

주: 그래프 상 하단부에 표기된 Blackpool Tramway, Tyne & Wear Metro, Docklands Light Railway의 3개 시스템은 1990년 이전에 도입된 제1세대 노면전차(경전철)로 제2세대 노면전차보다 중형이며, 전 구간이 도로에서 완전히 분리된 트렉을 사용함.

4) 영국 4개 도시 노면전차(경전철)의 효과에 대한 사례분석

역사적으로 영국에서 도시전철에 대한 투자는 두 가지 명분을 가지고 출발했다. 그 중 하나는 대중교통 이용률 증가를 통한 도심 침투시간 내 교통혼잡 완화이며, 다른 하나는 개발 효과였다⁹⁾. 2000년 이후에 출판된 영국 노면전차(경전철) 관련 주요 문헌을 살펴보면, 투자의 정당한 이유로서 이 중 첫 번째인 교통혼잡 완화 효과가 보다 부각되어 있다. 두 번째의 ‘개발효과’를 동시대적 언어로 번역한 ‘재생효과’는 노면전차(경전철)의 장단점 혹은 비용-편익을 논함에 있어 편익 아이템의 하나로 논의되는 양상을 띤다.¹⁰⁾

9) Walmsley, D and Perrett, K, 1992. The effects of rapid transit on public transport and urban development, The Stationery Office, London.

10) Department for Transport 2011; Knowles 2007; House of Commons 2005; National Audit Office 2004

또한 이들 영국 노면전차(경전철) 주요 문헌들에서 거의 공통적으로 받아들이고 있는 노면전차(경전철)의 효과는 약 20% 가량의 성공적인 수단전환, 즉 자동차에서 노면전차(경전철)로의 수단이동이다. 이들은 거의 공통적으로 노면전차(경전철)의 수단전환 효과는 상당히 긍정적이나 이것이 교통혼잡 완화로는 이어지지 못했다라는 논조로 영국의 노면전차(경전철)를 평가한다.

Lee and Senior(2013)는 노면전차(경전철)의 교통혼잡 완화효과가 발생하기 위해서 반드시 선결되어야 하는 교통수단전환 부분에 대해 센서스 데이터를 사용하여 재검증을 시도하였다. 영국에서 제2세대 노면전차(경전철)가 도입된 1991년에서 2001년 사이를 연구의 시간적 범위로 삼고 이 기간에 도입된 5개의 노면전차(경전철) 서비스(4개 시스템) 지역을 대상으로 하여 도입 전과 도입 후의 수단분담률을 비교했는데 노면전차(경전철) 도입이라는 변수 외에 수단분담률에 영향을 미칠 가능성이 높다고 판단되는 세 가지 변수를 사전에 통제하는 방식으로 조사했다. 즉, 노면전차(경전철)에 근접한 단위구역(Ward)으로 구성된 ‘경전철 코리도어(Light Rail Corridor)’와 자동차 소유율, 도심에서의 거리, 노면전차(경전철) 도입 이전 까지 기존전 철의 역할이라는 세 가지 면에서 가장 유사한 특징을 갖는 ‘비교대상지역(Control Area)’에서의 수단분담률 변화를 조사한 것이다.

그 결과, 맨체스터 Metrolink Phase1의 경우 전철의 통근 수송 분담률이 4.14%에서 6%로 증가했고 Phase2의 경우 1% 이하에서 4%로 증가했으며, 셰필드 Supertram의 경우 0%에서 5.53%로 증가했고, Midland Metro의 경우 0%에서 2.32%로 증가하는 등 노면전차(경전철) 분담률의 증가를 확인할 수 있었다. 이는 특히 비교대상지역에서 기존 전철의 분담률이 줄어든 것과 비교되는 결과다. 그러나 중요한 점은 이와 동시에 노면전차(경전철) 코리도어에서 또 다른 대중교통 수단인 버스의 수송분담률이 감소했다. 맨체스터 Metrolink Phase1의 경우 버스 수송 분담률이 4.26% 저하된 한편 해당 비교대상지역에서는 그 감소율이 2.14%로 더 적은 폭이 감소했다. 이러한 패턴은 다른 노면전차(경전철) 코리도어에서도 일관적으로 나타났다. 즉, 전반적으로 버스의 수송분담률은 감소했지만, 노면전차(경전철)가 도입된 지역에서는 버스분담률이 더 많이 감소한 것이다.

한편, 과연 자동차 분담률이 노면전차(경전철) 코리도어에서 감소했는지, 특히 노면전차(경전철)가 자동차 분담률 감소에 기여했는지에 대한 답은 전혀 명백하지 않았다. 자동차 운전자의 비율이 감소한 유일한 지역은 크로이든인데 노면전차(경전철)

코리도어에서 자동차 운전자가 30.43%에서 27.10% 줄어들었으나 노면전차(경전철) 도입의 영향이 없었을 크로이든의 비교대상지역에서 역시 비슷한 폭으로 감소가 있었다(30.77%에서 26.46%로 오히려 소량이나마 더 감소했다). 나머지 조사대상 지역에서는 자동차 운전자의 비율이 모두 증가했다.

한 가지 특이사항으로 영국 센서스에서는 자동차운전자(car driver)와 자동차승객(car passenger)을 구분하고 있는데, 모든 조사대상 지역에서 자동차 승객의 비율이 감소했다. 이는 영국 전역에서 자동차를 다수 보유한 가구가 증가하는 추세와 직접적으로 연관된 결과로 보인다. 이 사례 연구에서 노면전차(경전철) 코리도어와 비교대상 지역에서의 자동차 소유율 변화도 조사되었는데, 연구결과는 자동차를 다수 보유한 가구수의 증가와 자동차를 미보유한 가구수의 감소라는 영국의 현재진행 중인 추세가 노면전차(경전철)의 도입으로 인해 전복되지 않았음을 보여준다. 다음의 표는 노면전차를 도입한 지역별로 도입전과 도입후의 수송분담률을 보여준다. 각각에서 노면전차(경전철) 코리도어와 비교대상지역을 비교하였다.

<표 II-20> 맨체스터 Metrolink Phase1 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화

(단위: %)

교통수단	ALL DESTINATIONS				MANCHESTER CITY CENTRE DESTINATIONS			
	Metrolink Phase 1 corridors		비교대상지역 Control areas		Metrolink Phase 1 corridors		비교대상지역 Control areas	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
수단분담률								
노면전차(경전철)	na	5.61	na	0.22	na	28.92	na	0.72
전철	4.14	0.71	3.46	3.01	20.37	1.35	23.33	21.46
버스	12.08	7.82	12.43	10.29	23.69	16.61	23.40	28.29
자동차운전자	56.97	58.92	56.82	58.89	45.04	42.85	43.74	40.73
자동차승객	7.06	6.13	7.51	6.70	7.64	6.10	5.33	5.28
도보	10.16	8.52	10.76	9.05	0.78	1.46	1.05	1.35
자전거	2.35	2.10	1.95	1.86	0.98	1.17	1.50	1.04
모터사이클	0.76	0.73	1.05	0.83	0.59	0.70	1.05	0.74
재택근무	4.07	8.29	3.88	8.14	na	na	na	na
기타	2.41	1.17	2.14	1.01	0.91	0.84	0.60	0.39
자동차소유율								
미보유	17.23	13.48	17.08	14.45				
1대	48.45	46.10	48.56	46.58				
2대 이상	34.32	40.42	34.35	38.97				

자료: 1991 Census: Small Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (Great Britain)
 2001 Census: Standard Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (England, Wales & Northern Ireland)
 Lee and Senior(2013)에서 재인용

<표 II-21> 맨체스터 Metrolink Phase2 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화

(단위: %)

교통수단	ALL DESTINATIONS				MANCHESTER CITY CENTRE DESTINATIONS			
	Metrolink Phase 2 corridors		비교대상지역 Control areas		Metrolink Phase 2 corridors		비교대상지역 Control areas	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
수단분담률								
노면전차(경전철)	na	3.37	na	0.84	na	13.89	na	2.36
전철	0.90	0.89	0.96	1.06	3.69	2.33	2.94	3.30
버스	19.06	12.13	21.37	15.65	41.94	32.91	50.00	45.41
자동차운전자	45.33	48.71	44.46	48.89	36.40	32.91	31.99	31.76
자동차승객	8.50	7.43	9.75	9.16	10.14	6.85	7.72	8.47
도보	15.93	14.01	13.80	12.10	3.23	6.49	1.47	4.91
자전거	2.96	3.22	2.37	2.44	1.84	2.08	3.31	1.20
모터사이클	0.95	0.86	1.14	0.83	0.00	0.71	1.47	0.89
재택근무	3.35	7.05	3.37	6.69	na	na	na	na
기타	3.02	2.33	2.78	2.34	2.76	1.83	1.10	1.70
자동차소유율								
미보유	29.35	26.30	29.40	24.76				
1대	51.27	50.34	50.62	51.64				
2대 이상	19.38	23.36	19.98	23.60				

자료: 1991 Census: Small Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (Great Britain)
 2001 Census: Standard Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (England, Wales & Northern Ireland)
 Lee and Senior(2013)에서 재인용

<표 II-22> 셰필드 Supertram 개통 후 통근 수송 부담률과 자동차 소유율 변화

(단위: %)

교통수단	ALL DESTINATIONS				SHEFFIELD CITY CENTRE DESTINATIONS			
	Supertram corridors		비교대상지역 Control areas		Supertram corridors		비교대상지역 Control areas	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
수단분담률								
노면전차(경전철)	na	5.53	na	0.86	na	17.03	na	2.02
전철	0.39	0.61	0.88	0.84	0.0	0.03	0.21	0.27
버스	28.21	17.60	26.16	19.63	48.16	31.00	45.29	40.27
자동차운전자	46.82	50.26	46.98	50.92	35.56	32.34	36.58	38.68
자동차승객	7.93	6.79	7.04	6.81	8.43	5.75	6.86	6.01
도보	10.23	10.56	12.31	11.48	5.43	11.32	8.50	9.68
자전거	0.89	0.93	0.72	1.23	0.83	1.32	0.92	1.99
모터사이클	0.79	0.70	0.81	0.79	0.67	0.51	0.82	0.57
재택근무	2.63	6.29	3.15	6.67	na	na	na	na
기타	2.11	0.73	1.95	0.77	0.92	0.70	0.82	0.51
자동차소유율								
미보유	24.28	20.35	24.57	20.04				
1대	53.84	51.29	52.82	49.97				
2대 이상	21.88	28.36	22.61	29.99				

자료: 1991 Census: Small Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (Great Britain)
 2001 Census: Standard Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (England, Wales & Northern Ireland)
 Lee and Senior(2013)에서 재인용

<표 II-23> Midland Metro 개통 후 통근 수송 분담률과 자동차 소유율 변화

(단위: %)

교통수단	ALL DESTINATIONS				BIRMINGHAM CITY CENTRE DESTINATIONS				WOLVERHAMPTON CITY CENTRE DESTINATIONS			
	Metro corridor		비교대상지역		Metro corridor		비교대상지역		Metro corridor		비교대상지역	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
수단분담률												
노면전차(경전철)	na	2.32	na	0.38	na	14.91	na	1.40	na	8.27	na	0.21
전철	0.96	1.03	2.41	2.18	11.24	6.74	10.54	10.06	0.37	0.89	1.28	1.27
버스	18.49	15.43	22.93	19.27	43.03	32.46	47.07	44.61	33.94	28.15	31.51	29.62
자동차운전자	44.66	48.97	42.31	48.74	28.68	33.58	29.28	32.73	36.13	41.66	37.30	41.47
자동차승객	8.32	8.15	7.92	7.24	2.71	5.68	5.15	5.41	9.12	8.49	12.86	8.41
도보	18.29	13.07	15.02	11.34	10.85	4.31	4.33	3.35	14.60	8.00	13.83	14.01
자전거	2.44	2.65	1.82	1.73	0.00	0.92	1.52	0.71	2.55	2.76	1.29	2.54
모터사이클	1.14	0.69	0.82	0.76	0.78	0.41	0.47	0.74	0.37	0.71	0.64	0.75
재택근무	2.40	6.81	2.94	7.34	na	na	na	na	na	na	na	na
기타	3.30	0.88	3.82	1.02	2.71	0.99	1.64	0.99	2.92	1.06	1.29	1.72
자동차소유율												
미보유	29.12	23.21	28.81	23.45								
1대	53.49	52.06	53.09	52.33								
2대 이상	17.39	24.73	18.10	24.22								

자료: 1991 Census: Small Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (Great Britain)
 2001 Census: Standard Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (England, Wales & Northern Ireland)
 Lee and Senior(2013)에서 재인용

<표 II-24> 크로이든 Tramlink 개통 후 통근 수송 부담률과 자동차 소유율 변화

(단위: %)

교통수단	CROYDON TOWN CENTRE DESTINATIONS			
	Tramlink corridors		비교대상지역	
	1991	2001	1991	2001
수단분담률				
노면전차(경전철)	na	23.48	na	3.45
전철	3.02	4.26	3.75	6.42
버스	39.73	21.53	36.21	38.94
자동차운전자	30.43	27.10	30.77	26.46
자동차승객	7.01	4.44	6.38	3.76
도보	17.03	15.70	16.89	17.92
자전거	1.33	1.33	1.50	1.40
모터사이클	0.60	0.69	0.75	1.15
기타	0.85	1.47	3.75	0.50
자동차소유율				
미보유	29.12	23.21	28.81	23.45
1대	53.49	52.06	53.09	52.33
2대 이상	17.39	24.73	18.10	24.22

자료: 1991 Census: Small Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (Great Britain)
 2001 Census: Standard Area Statistics (England & Wales) and Special Workplace Statistics (England,
 Wales & Northern Ireland)
 Lee and Senior(2013)에서 재인용

5) 영국 노면전차(경전철) 비용 현황과 비용 상승 요인

앞서 영국정부의 노면전차(경전철) 지원에 대한 태도가 어떻게 변화되어 왔는지를 살펴보았는데, 가령 2000년 10개년 교통계획에서 전폭적인 신규 노면전차(경전철) 사업 지원계획이 발표된 이후 갑자기 2년 만에 이를 전복했던 가장 큰 이유는 노면전차(경전철)의 비용이 대대적으로 증가되어 다른 교통수단 대비 value for money가 훨씬 낮다는 것이었다. 이를 분석적으로 밝혀 정량적인 증거를 제공해준 문서가 National Audit Office의 2004년 보고서였고, 이에 대한 반향으로 2005년 House of Commons가 노면전차(경전철)의 여러 편익과 가능성을 망라하며 교통부의 노면전차(경전철)에 대한 외면을 비판하자 정부는 노면전차(경전철)의 편익 부분은 인정하는 한편 버스나 교통관리, 주차 관리와 같은 다른 방안 대비 막대하게 높은 노면전차(경전철)의 비용을 고려할 때 노면전차(경전철)이 우위의 옵션이 아닌 점을 지적했다. 이와 같이 영국에서는 노면전차(경전철)의 비용이 확장의 가장 큰 장애요인으로 인식되고 있다.

노면전차(경전철)의 건설비용은 중전철에 비해 물론 훨씬 저렴하고 또 1990년대 도입된 제2세대 영국노면전차(경전철) 시스템들이 그랬던 것처럼 기존 트랙을 재활용함으로써 더 저감시킬 수 있는 가능성도 있다. 또한 사업 기간 동안의 비용 증가 문제는 다른 여러 인프라 시설의 건설 사업에서도 공히 관찰되는 일반적인 현상이다. 그러나 영국에서 노면전차(경전철)의 비용과 관련해서 특별히 지적되어온 문제들이 있어 그 해소가 중요한 과제로 여겨진다. 일반적인 인프라 사업의 비용 증가 요인들은 따로 논의하지 않고, 노면전차(경전철)와 관련한 주된 비용 증가 요인들은: 1)시스템 디자인을 위한 표준규격의 부재, 2)규격의 부재로 인해 중전철 기준이 노면전차(경전철)에 적용되는 현실, 3)유틸리티 이전에 드는 비용 등으로 간추릴 수 있다.

National Audit Office(2004)에 따르면 영국 노면전차(경전철)의 마일 당 자본비용은 2011/12년 파운드 가치로 환산했을 때 약 2,030만 파운드로 1992년 개통된 맨체스터 Metrolink Phase1의 마일 당 1,170만 파운드에서 2000년 개통의 Metrolink Phase2의 4,160만 파운드에 이르기 까지 시스템의 특성과 디자인에 따라 큰 차이를 보이며 시기별로 시간에 지남에 따라 큰 상승폭을 보인다.

<표 II-25> 영국 노면전차(경전철) 사업별 자본비용(1999-2004) 비교

노면전차(경전철) 시스템(도입연도)	노선 총 길이 (마일)	실제 건설비용 (£백만)	보정된 건설비용 2010/11년 가격 (£백만)	마일당 건설비용 2010/11년 가격 (£백만)
맨체스터 Metrolink Phase 1 (1999)	19.4	145	227	11.7
세필드 Supertram (1994/5)	18.1	241	361	19.9
Midland Metro (1999)	13.1	145	191	14.6
크로이든 Tramlink (2000)	17.5	200	260	14.9
맨체스터 Metrolink Phase 2 (2000)	5	160	208	41.6
노팅엄 Express Transit (2004)	8.9	180	210	23.6

자료: 영국 Department for Transport 2011(National Audit Office 2004에서 재인용, 2010/11 가격으로 조정)

다른 유럽 국가들에 비해 영국에서의 노면전차(경전철) 건설비용이 60% 이상 높은 것으로 보고한 House of Commons(2005)와 대조적으로 National Audit Office(2004)는 유럽의 몇몇 노면전차(경전철) 시스템과 비교해 영국의 시스템이 오히려 단위 가격이 소폭 저렴한 것으로 보고하였다. 이는 전 구간이 노면전차가 아니고 기존 트랙을 재활용한 점, 또 유럽의 샘플이 후자의 경우 적은 수였던 점 등으로 설명된 바 있다(Department for Transport 2011). 한편, 프랑스는 영국과는 상이한 세원(corporate tax)을 통해 교통 인프라의 재원조달을 충당하고 있어 인프라 비용의 부담이 영국에서처럼 문제되지 않는 재정구조를 갖고 있고 이는 프랑스에서 노면전차(경전철)가 광범위하게 공급되고 큰 역할을 하는 것과 유관한 것으로 잘 알려져 있다.

영국에서는 노면전차(경전철)에 대한 대폭적인 지원을 예고한 2000년의 10개년 교통계획 이후 2년 만의 U-턴, 그 결과 8여 년간의 휴식기를 지내고 나서 노면전차(경전철)가 2010년 경을 전후하여 다시 한번 전환점을 맞은 것으로 보인다. 2011년 교통장관 Norman Baker의 보고서 “Green light for light rail”은 이 두 번째 전환이 노면전차(경전철)의 역할과 그 지원에 관해 지극히 긍정적임을 확인시키면서 비용 문제의 극복 방안 몇 가지를 제시했는데 요약하면 다음과 같다(Department for Transport 2011).

- 노면전차(경전철) 시스템 디자인을 규격화 할 것
- 오버디자인, 오버스펙을 피하고 경량형, 로우텍을 지향할 것
- 노면전차(경전철) 구간 내에서 기술, 경험, 유지 및 관리시설, 부품 등을 풀링하여 규모의 경제를 기할 것
- 중앙정부 지원에 대한 의존에서 탈피하기 위해 펀딩과 의사 결정권의 지방분화를 추구할 것. 미국에서 널리 사용되는 TIF(Tax Increment Financing) 등의 재원 조달 기법을 활용하여 인프라 개발을 위한 지방재원 확충을 기할 것
- 도시 내 노면전차(경전철) 건설에 예외 없이 동반되는 유틸리티 이전 비용을 줄이기 위해 선결되어야 하는 문제들, 즉 유틸리티 네트워크에 대한 정확한 데이터 부재의 문제, 유틸리티 이전 범위에 관한 제도적 문제, 누가 유틸리티 이전비용을 어떤 비율로 감당할까에 관한 문제를 해소할 것(고속도로, 교량 등 다른 공사에서도 노면전차(경전철) 사업자의 비용부담률이 더 높게 책정되어 있는 것을 수정할 필요가 있음)

6) 주요 시사점

노면전차(경전철)가 자동차 사용을 감소시킴으로써 도시의 교통혼잡 완화에 기여할 수 있다는 전망과 함께 영국에서는 1980년대부터 그 투자가 시작되었다. 1990년부터 2000년 초에 걸치는 기간 동안에는 비용 및 디자인 면에서 더 효율적이라 할 수 있는 노면전차의 전성기를 다소 짧게나마 경험했으나 결국은 고비용 문제가 주 원인이 되어 2004년 노팅험의 Expresss Transit을 마지막으로 노면전차(경전철) 휴지기를 가지게 된 정책적 배경을 몇 개의 주요 문헌을 중심으로 살펴보았다. 이어, 이들 문서에서 공통적으로 인정하고 있는 노면전차(경전철)의 수단전환 효과에 대해 좀 더 깊이 있게 조명해보기 위해 영국에 노면전차가 도입되었던 1991년~2001년 사이의 센서스 자료를 활용한 연구분석 사례를 살펴보았으며, 영국에서 비용상승을 야기시키는 몇가지 주요 원인들과 이의 극복을 위해 제시된 접근방안을 간단히 나열해보았다.

먼저 노면전차(경전철)의 수단전환 효과, 즉 통근시간에 자동차 이용자를 노면전차(경전철) 이용자로 전환할 수 있는 힘에 대한 연구 분석 결과는 기존의 문헌들에서 제시된 바와는 상당부분 차이가 있었다. 노면전차(경전철)의 도입으로 전철이라는 수단의 수송분담률은 증가했으나 이 대부분의 증가는 같은 지역에서의 버스 수송분담

를의 감소와 연관되어 있었고, 노면전차(경전철)가 도입되지 않은 비교대상지역에 비해 버스 수송분담률 감소의 폭이 상대적으로 컸으며, 동시에 자동차 운전자의 수송분담률은 전반적으로 증가했다. 자동차 소유율도 노면전차(경전철) 도입 지역에서 비교대상지역에 비해 덜 늘었다는 증거를 볼 수 없었으며 자동차를 다수 보유한 세대는 전반적으로 늘어났고 자동차 미보유 세대는 감소하는 등 노면전차(경전철)가 도입되지 않은 지역과 상이하지 않았다.

자동차 이용자를 대중교통으로 유인하는 데는 영국 사회에서 버스가 가지고 있는 이미지의 문제를 다소 해소할 수 있는 노면전차(경전철)가 상대적으로 유리하다는 널리 공인된 가설은 부인할 이유가 없다. 그러나 연구결과 노면전차(경전철)가 자동차 이용자 보다는 버스 이용자에 대해 더 유인력이 있음을 시사한다. 따라서 자동차 분담률을 줄이고 대중교통 전체의 수송분담률을 확장함으로써 첨두시간의 교통혼잡 완화에 기여할 수 있는 노면전차(경전철)의 능력에 관해서는 기존 문헌에서 주장된 것보다 상당히 미약할 수 있다는 연구결과이다.

영국에 합동정부(Coalition Government)가 출범하면서 오랜 동안의 침묵을 깨고 그야말로 노면전차(경전철)에 대한 “청색 신호”가 커진 것은 2011년 Baker의 보고서에서 명백히 볼 수 있다. 그러나 그동안 노면전차(경전철)의 발목을 잡아 온 비용과 비용 증가 문제에 대해 그가 제시하는 해결 방안들은 정부의 근본적인 태도변화로 해석될 수 있는 전체적인 메시지만큼 명백하지 못하다. 물론 다른 여러 비용 증가 원인들이 인프라 일반에 해당되는 문제임을 고려할 필요가 있고, 노면전차(경전철) 특유의 문제들을 해결하기 위한 정부의 결의도 구체적이고 단호해 보인다. 가령 표준규격화, 새로운 테크놀로지에 대한 개방적 수용, 탄소절감의 효과에 더 큰 가치를 부여하는 등의 방안은 적극적인 추진의 징표도 보이고 많은 경우 실현성도 예상 가능하다.

그러나 전체 건설비용의 10% 까지 차지할 수 있는 유틸리티 이전(utilities diversion)에 관한 문제의 해결 방안은 그만큼 실현성을 예상하기 어렵다. 그럼에도 불구하고, 유틸리티 이전의 문제가 노면전차(경전철)의 노선도 훨씬 발달하고 크게 활용되고 있는 독일과 같은 다른 유럽 국가들에도 존재하는 문제임을 감안하면 좀더 면밀한 연구와 조사가 그 답을 열어 줄 수도 있을 거라 여겨진다.

제Ⅲ장

신교통수단의 평가방법론 검토

제1절 국내 평가방법론 검토

1. 타당성 평가 관련 지침

가. 예비타당성조사 표준지침(KDI)¹¹⁾

예비타당성조사는 국가재정법에 의해 500억원 이상의 대규모 신규 사업에 대한 예산편성 및 기금운용계획을 수립하기 위하여 기획재정부장관 주관으로 실시하는 사전적인 타당성 검증·평가이다. 예비타당성조사 수행을 위한 표준지침은 1999년 최초 발간된 이래, 2008년 12월 5번째 개정에 이르기까지 수차례의 개정연구를 통해 내용이 보완되어 왔다. 표준지침은 총론 성격의 일반지침과 도로·철도, 수자원, 항만, 정보화 등 사업 유형별 지침으로 구분된다. 도로·철도 부문 표준지침(이하 표준지침)은 도로 및 철도 부문 사업에 대한 예비타당성조사를 수행하는 기본적인 절차와 방법론을 규정하여 예비타당성조사의 객관성과 사업 간 평가의 일관성을 제고하는 것을 그 목적¹²⁾으로 하고 있다.

제4판까지의 도로·철도 부문 표준지침에서는 주로 도로부문 사업 위주의 방법론을 제시하고 있으며, 철도부문 사업에 대한 내용은 비중 있게 다루고 있지 않다. 반면 제5판 표준지침은 교통수요 추정과 편익 산정 등 교통수단의 경제성 평가를 위한 핵심 과정에서 철도부문에 대한 논의가 추가된 것이 특징이다. 그러나 고속철도와 일반

11) KDI, 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판), 2008

12) 표준지침은 기초자료 분석 및 조사의 쟁점, 비용 추정, 교통수요 추정, 편익 산정, 경제성 분석, 정책적 분석, 종합평가 등 예비타당성조사의 수행 단계별 세부 절차와 방법론을 제시하고 있다.

철도, 광역 및 도시철도 등으로 구분된 비용 산정 부문의 과정과는 달리, 수요예측과 편익 산정 과정에서는 철도사업의 유형별 평가체계가 구체적으로 제시되고 있지는 않다.

고속철도와 일반철도는 그 연장이 길고, 영향권이 하나의 대도시권 혹은 광역권의 범주를 넘어서는 사업이 대부분이므로 전국 지역간 자료를 기초자료로 설정한다. 하지만 광역철도와 도시철도는 그 영향이 하나의 대도시권 내로 국한되므로 광역권 자료를 기초자료로 설정하게 되는데, 이와 같이 개별 연구진이 설정하는 기초자료에 따라 그 모형과 분석의 상세도가 결정된다는 한계를 갖고 있다. 이는 예비타당성조사 뿐만 아니라, 여타의 수요예측 과정을 수반하는 거의 모든 계획과 평가 과정에서 직면하게 되는 한계이다. 즉 국가의 주도로 마련되는 기초자료(KTDB) 구축 과정에서 생성되는 모형과 자료의 범주 밖에 놓인 사업의 경우 마땅히 활용할 기초연구와 조사가 아직까지는 충분하지 않다는 뜻이다.¹³⁾

1) 철도부문 수요예측 주요 내용

예비타당성조사에서 철도부문 사업의 수요예측은 별도의 수단분담 과정을 거치지 않고 통행배정 과정을 중심으로 수행하는 도로부문과는 달리 철도시설의 공급으로 인한 수단분담률의 변화를 추정하는 다음, 이를 토대로 대중교통 통행배정(transit assignment)을 거쳐 장래의 수송수요를 예측한다.

수단선택 과정에서는 기본적으로 개별형태모형의 하나인 로짓모형을 적용토록 하고 있다. 로짓모형의 효용함수는 수송수단별 통행 및 접근시간, 수송수단별 요금, 수단특성 더미를 고려하며, 사용변수와 원단위는 모형 구축 시 적용했던 가정들과 일관성 있게 적용토록 하고 있다. 통행시간은 도로의 경우 연도별 통행배정 결과를, 철도의 경우 노선별 운행자료를 기반으로 산출한다. 기본적으로 예비타당성조사 표준지침은 KTDB의 수단선택모형 등을 차용하고 있으며, 지역간 모형과 수도권 등 대도시권별 자료에 따라 해당하는 모형을 선택하여 사용토록 하고 있다. 전국 지역간 모형의 경우 승용차와 버스, 철도 등 주요 육상교통수단 내의 수단선택이 가능한 수단 구분과 모형을 제공하고 있으며, 일반철도와 고속철도를 구분하는 것이 특징적이다.

13) 예컨대 별도의 KTDB가 제공되는 수도권 및 대도시권에 속하지 않는 도시(천안, 전주, 원주, 익산, 진주 등)에서 경전철 등 도시철도 프로젝트가 계획될 경우, 마땅히 사용할 만한 도시권 내의 수단분담 모형이 존재하지 않으며, 이들 도시 가운데 실제로 이러한 프로젝트가 추진된 적도 있다.

<표 III-1> 예비타당성조사 표준지침의 전국 지역간 수단선택 모형

(단위: 분, 원)

수단	T_{TIME}	T_{COST}	상수항
승용차	-0.0063974	-0.0000644	0.161149
버스	-0.0063974	-0.0000644	-0.647159
일반철도	-0.0063974	-0.0000644	-0.314539
고속철도	-0.0063974	-0.0000644	-

자료: 건설교통부, 호남고속철도 기본계획 조사연구 보완용역, 2006.

수도권 등 대도시권은 승용차와 택시, 버스, 철도 등 4개 수단을 고려하는 효용함수를 제시하고 있다. 즉 여기에서의 철도수단은 모든 종류의 도시철도 수단을 의미하며, 경전철, BRT와 같은 신교통수단은 별도의 수단으로 제공하고 있지 않다. 표준지침에서 제공하고 있는 수단선택 모형의 구축연도가 수도권은 경우 2002년, 지방광역권의 경우 2008년으로, 2011년부터 개통되기 시작한 경전철(부산김해, 의정부, 용인)과 본격적인 의미의 BRT라 할 수 있는 천호~하남간(2011년), 세종시(2012년), 청라~화곡(2013년) 등의 개통시기를 고려할 때, 신교통수단을 별도의 수단으로 고려할 수 없었다.

수단선택 모형의 보정은 점진적 로짓모형(Incremental logit model)을 근간으로 하며, 신규 수단 도입시 발생하는 zero cell 문제의 해결을 위해, 제한적으로 가법적 로짓모형(addictive logit model)을 적용할 수 있도록 하고 있다.

한편, 철도부문의 통행배정은 기본적으로 Spiess and Florian(1988)이 제안한 최적전략법(optimal strategy)을 적용토록 하고 있다. 최적전략법은 대중교통의 운행횟수(frequency)와 운영속도를 기반으로 한 통행배정모형으로 도시대중교통의 수요분석에 가장 널리 사용되고 있는 모형이다. 지침에서는 통행배정 시 고려해야 하는 대기시간, 접근시간 등 차외시간의 경우 차내시간 대비 1.0~2.0 사이의 값을 적용토록 하고 있으며, 대기시간의 경우 배차간격의 1/2을 적용하나 배차간격이 상당히 큰 경우 1/2보다 작은 값을 적용토록 하고 있다.

<표 III-2> 수도권 및 광역권 여객 수단선택 모형

(단위: 수도권(10분, 100원), 광역권(분, 원))

구분		T_{TIME}	t-ratio	T_{COST}	t-ratio	상수항	t-ratio
수도권	승용차	-0.39896	-234.029	-0.01704	-37.078	-	
	택시					-2.558381	-201.265
	버스					0.0776925	14.827
	지하철					-0.0579425	-10.264
부산·울산권	승용차	-0.02073	-16.37	-0.00013	-25.95	-	
	택시					-1.15996	-36.98
	버스					-0.05076	-2.33
	철도					-2.43748	-77.75
대구광역권	승용차	-0.02028	-6.91	-0.00012	-21.72	-	
	택시					-1.98126	-48.52
	버스					-1.27070	-60.74
	철도					-2.95229	-38.96
광주광역권	승용차	-0.04616	-17.39	-0.00029	-18.03	-	
	택시					-1.47038	-22.00
	버스					-0.42657	-10.48
	철도					-2.22487	-20.08
대전광역권	승용차	-0.05069	-7.18	-0.00033	-11.55	-	
	택시					-1.05534	-12.35
	버스					-0.65488	-9.62
	철도					-3.25795	-21.42
전주대도시권	승용차	-0.05134	-16.44	-0.00033	-17.35	-	
	택시					-0.92070	-9.33
	버스					-0.61237	-7.93
	철도					-2.07486	-7.22

주: 『수도권 종합교통체계조사 과업: 광역교통계획평가 전산모형의 개발(2단계)』(건설교통부, 2002. 8) 보고서에 의하면, '2.55838'로 되어 있으나, '-2.558383'의 오기임.
 자료: 건설교통부, 『수도권 종합교통체계조사 과업: 광역교통계획평가 전산모형의 개발(2단계)』, 2002. 8.
 한국교통연구원, 『2007년 국가교통DB구축사업 제9권 광역권 여객 기종점통행량 전수화』, 2008. 4.

2) 철도부문 편익산정 주요 내용

예비타당성조사 표준지침에서는 도로와 철도 사업 모두 공통적으로 적용하는 4개의 편익항목(차량운행비 절감, 통행시간 절감, 교통사고 감소, 환경비용(공해 및 소음) 절감)을 제시하고 있으며, 철도사업의 경우 주차비용 절감편익과 공사 중 교통 혼잡

으로 인한 부(-)의 편익, 도로 공간 축소에 따른 부(-)의 편익을 고려토록 하고 있다.

공사 중 교통 혼잡으로 인한 부(-)의 편익과 도로 공간 축소에 따른 부(-)의 편익은 기본적인 4개 편익항목 외에 사업 특수편익으로 반영하도록 하고 있으며, 도로공간 축소에 따른 부(-)의 편익의 경우 사업의 시행을 위해 도로 공간을 일부 점유하면서 건설하는 경전철(교각, 기둥 등)을 대표적으로 제시하고 있다.

<표 III-3> 예비타당성조사 표준지침의 도로 및 철도부문 편익 항목

구분	편익항목
공통 편익	<ul style="list-style-type: none"> • 차량운행비용 절감편익 • 통행시간 절감편익 • 교통사고 감소편익 • 환경비용(공해 및 소음) 절감편익
사업특수 편익	<ul style="list-style-type: none"> • 주차비용 절감편익 • 공사 중 교통혼잡으로 인한 부(-)의 편익 • 철도부문 사업으로 인한 도로공간 축소에 따른 부(-)의 편익

3) 신교통수단 관련 내용

예비타당성조사 표준지침에서는 본 연구의 대상 수단인 신교통수단, 특히 노면신교통수단에 대한 특수한 고려는 거의 제시되지 않고 있다. 특히 수단선택 모형과 통행배정 모형 등 수요예측 기법은 기존의 철도수단(지역간 철도, 지하철 등)의 수요예측에 주목하여 기술하고 있으며, 편익 항목에서도 신교통 수단만의 특수한 편익항목은 제시하고 있지 않다. 다만, 부(-)의 편익 측면에서 노면신교통 수단이 도입됨에 따라 기존 도로공간이 축소되는 것은 반영토록 하고 있는 점이 특징적이라 할 수 있다.

나. 교통시설 투자평가지침(국토교통부)¹⁴⁾

교통시설 투자평가지침은 「국가통합교통체계효율화법」 제18조 규정에 의해, 공공교통시설개발사업 중 총사업비가 300억원 이상인 개별사업의 타당성평가에 적용되는 지침으로, 2001년 최초 발표된 이후 현재까지 5차례에 걸쳐 개정되었다. 이 지침

14) 국토교통부, 교통시설 투자평가지침, 2013

은 도로와 철도, 공항, 항만, 물류시설 등 교통시설을 크게 5가지 대분류로 구분하고 각 사업유형별로 교통수요예측방법, 편익항목 및 산정방법, 비용추정방법, 경제성분석 원칙 등을 제시하고 있다.

1) 철도부문 수요예측 주요 내용

교통시설 투자평가지침의 수요예측 과정은 기본적으로 예비타당성조사 표준지침에서 제시하고 있는 내용과 크게 다르지 않다. 다만 도로사업의 경우 수단선택 과정을 거치지 않는 예비타당성조사와는 달리, 경쟁수단이 있는 경우 도로사업에 대해서도 별도의 수단선택 과정을 거치도록 하는 것이 특징적이다. 철도사업의 수단선택모형은 2010년 전국 가구통행실태조사에 기초하여 마련된 KTDB의 전국 지역간 및 대도시권별 수단선택 모형을 제시하고 있다.

<표 III-4> 교통시설 투자평가지침의 전국 지역간 수단선택 모형

수단	T_{TIME}	T_{COST}	행정구역 더미	버스 더미	일반철도 더미	역 더미	고철 더미
승용차	-0.00629	-0.00087	-0.18396	-	-	-	-
버스	-0.00629	-0.00812	-	-0.53495	-	-	-
일반철도	-0.00629	-0.00812	-	-	-0.89054	-	-
고속철도	-0.00629	-0.00812	-	-	-	0.22332	-
Rho-Squared	관측수: 46,761, $\rho^2(0)=0.51169$, $\rho^2(C)=0.51164$						

자료: 한국교통연구원, 교통수요분석 기초자료 배포 설명자료, 2012. 11

수단선택모형의 적용과정에서 가법적 로짓모형을 적용토록 하고 있으며, 유사지역 분석, 역세권 분석 등을 추가적으로 수행토록 하고 있다. 통행배정의 경우 역시 최적 전략법을 적용하여 수행토록 하고 있으나, 지역적 특성이나 분석조건에 따라 다른 기법(pathfinder, stochastic user equilibrium)의 적용도 가능하도록 하고 있다.

2) 철도부문 편익산정 주요 내용

교통시설 투자평가지침에서는 철도사업으로 인한 편익 산정시 이용자 편익과 비이

용자 편익으로 나누어 산정토록 하고 있으며, 주요 편익항목의 산정방법 등 내용적으로는 예비타당성조사 지침에서 제시하고 있는 내용과 크게 상이하지는 않다. 다만 예비타당성조사 표준지침에서 반영하고 있지 않은 몇 가지 항목들이 추가되어 있는 것이 특징인데, 통행시간 신뢰성 향상, 선택 가치, 교통 쾌적성 등이 그것이다. 또한 대기오염감소 편익에 더하여 CO2에 대한 온실가스 저감 편익을 별도로 산정토록 하고 있다. 그러나 공사 중 교통혼잡에 따른 부(-)편익은 별도로 고려하고 있지 않다.

<표 III-5> 교통시설 투자평가지침의 철도부문 편익 항목

구 분		투자평가지침 반영		투자평가지침 미반영
직접 편익	철도 이용자 편익	철도이용자 통행시간 절감	기존 철도 이용자	형평성향상 편익
			도로-철도 전환 이용자	
		철도화물 통행시간 절감		열차개량 편익
		통행시간 신뢰성 향상		
		선택 가치 편익		
	교통쾌적성			
	타수단 이용자 편익	차량운행비 절감		건널목 개선에 따른 사고/지체 감소
		교통사고감소		항공/해운의 전환수요에 의한 편익
		도로-철도간의 전환수요에 의한 도로통행시간 절감		
	간접편익 (비사용자 편익)	환경비용(대기오염/온실가스/소음)감소		지역개발효과
주차공간 설치비 절감		시장권의 확대		
		지역산업 구조개편 등		
		공사중 교통혼잡 부(-)편익		
		고속도로 유지관리비 절감		
		폐기물처리비용 절감		

자료 : 국토교통부, 교통시설 투자평가지침, 2013

통행시간 신뢰성 향상 편익은 대중교통수단 및 개인교통수단의 통행시간 정시성과 신뢰성을 모두 포함하는 개념으로, 신뢰성 지표와 신뢰성 가치를 산정토록 하고 있으

며, 업무와 비업무 통행을 구분한다. 신뢰성 지표는 통행시간의 불확실성을 의미하며, 이용자의 계획 통행시간과 실제 통행시간 간의 차이로 산정된다. 지역간 철도의 경우 고속철도는 km당 평균 0.268초, 일반철도는 km당 평균 0.384초로 제시하고 있다. 도시철도의 경우 침두시 km당 2.45초, 비침두시 2.155초의 평균인 2.303초/km를 제시하고 있다. 신뢰성 가치는 고속철도의 경우 인·시간당 5,115원, 일반철도는 3,913원, 광역/도시철도는 9,167원을 제시하고 있다. 이러한 기준 하에 신뢰성 비용은 신뢰성 지표(R), 신뢰성 가치(P), 수요(Q)의 곱으로 산정된다.

$$TRC = R \times P \times Q$$

여기서, TRC = 철도의 통행시간 신뢰성 비용
 R = 통행시간의 신뢰성 지표
 P = 통행시간의 신뢰성 가치
 Q = 통행수요

선택/비사용 가치 편익은 선택가치와 비사용 가치로 분류되나, 이 중 지침에서는 선택가치만을 편익항목으로 포함하고 있다. 천재지변, 차량문제, 주차제약, 기타 등의 상황을 선택가치가 발생하는 조건으로 제시하고 있으며, 선택가치는 다음의 식으로 산정된다.

$$\sum_o \sum_d \sum_k P^k \times D_{od} \times F_{od} \times \phi^k \times Q_{od}^k \times 365$$

P^k 교통수단 k 이용자의 선택가치 원단위(원/인·km-회/시)

D_{od} $\{o, d\}$ 간 역간거리(km)

F_{od} $\{o, d\}$ 간 시간당 운행회수(회/시)

ϕ^k 교통수단 k 이용자의 선택사용자 비율

Q_{od}^k $\{o, d\}$ 간 k 를 이용하는 교통수요(인/일)

o, d 해당 철도사업의 정거장이 위치하는 KTDB의 존

k 교통수단(1: 승용차, 2: 택시, 3: 버스, 4: 고속철도, 5: 일반철도, 6: 도시 및 광역철도). 단, 해당철도사업 이용자는 제외(즉, 고속철도 사업의 경우 '4'를 제외한 나머지 교통수단만을 고려).

여객 쾌적성 향상 편익은 침두시간 동안 사업의 시행으로 인해 차내 혼잡도가 감소하여 발생하는 것으로 가정하고 있다. 혼잡도가 b에서 a로 변화하는 경우, 여객 쾌

적성 편익의 원단위 산출식은 다음과 같이 산정된다.

$$\lambda_i^{ba} (\text{원/인·분}) = \frac{7.862 \times (R_i^b - R_i^a)}{R_i^b}$$

여기서, $R_i^b = \max\{\text{링크}l\text{의 사업 전 혼잡도}(\%), 50\%\}$

$R_i^a = \max\{\text{링크}l\text{의 사업 후 혼잡도}(\%), 50\%\}$

3) 신교통수단 관련 내용

교통시설 투자평가지침은 BRT, PRT, 바이모달트램, GRT, AGT, 모노레일 등을 친환경 및 신교통 시스템으로 분류하였다. 해당 교통수단의 수요예측 시에 일반적인 도로, 철도부문의 4단계 수요예측 방법을 적용하되, 참고적으로 BRT의 경우 수단선택 모형 연구결과를 인용하여 제시하고 있다. 아래와 같이 BRT를 버스, 지하철과는 다른 별도의 모형으로 구분하고 있으며, 수단특성 상수값은 버스보다 낮고, 지하철보다는 높은 값을 갖는다. 그러나 이 모형은 승용차를 기준으로 하는 수단특성 상수값이 택시를 포함하여 모두 양의 값을 갖고 있고 택시의 효용이 가장 높은 값을 갖는 등 통상적인 수단특성 상수의 부호 및 순위와 다소 다른 결과를 제시하고 있다.

<표 III-6> BRT를 고려한 수단선택 모형의 파라미터

수단	Time (p-value)	Tcost (p-value)	Dummy
승용차	-0.1281 (0.0000)	-0.0007 (0.0264)	-
택시			4.395290
버스			3.028456
지하철			1.463980
BRT			1.890418
ρ^2	0.26130		

자료: 신교통시스템 투자평가 방법론 개발연구, 한국철도기술연구원, 2010년

한편 이 지침은 BRT 사업에 환승시설이 포함된 경우 환승시간 감소에 따른 절감 편익을 고려할 것을 제시하고 있는 것이 특징적이다. 또한 수질오염 절감편익도 분석가가 선택적으로 포함시킬 수 있도록 하고 있다.

2. 신교통수단 관련 국내 연구 및 조사 사례

가. 신교통 시스템 투자평가 방법론 개발연구¹⁵⁾

국토교통부와 한국철도기술연구원(2010)은 바이모달트램, BRT, PRT 등 현행 법률에서 고려하고 있지 않은 신교통 시스템의 평가방법론 마련을 위한 연구보고서를 발간한 바 있다. 특히 이 연구는 BRT에 중점을 두고 수요예측 및 편익산정 방안을 제시하고 있으며, 대부분의 연구결과는 앞서 살펴 본 국토교통부의 교통시설 투자평가지침(2013)에 반영된 바 있다. 즉, 이 연구에서 제시하고 있는 수단분담모형은 앞의 <표 III-6>과 동일하며, 환승시간 절감편익 역시 국토부 투자평가지침의 내용과 동일하다. 한편, 이 연구는 대기오염비용 원단위를 적용함에 있어, 환경부(2001)의 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용 결과를 사용하는 것이 타당함을 주장하고 있다.

나. 트램 활성화를 위한 투자평가체계 개선방안 연구¹⁶⁾

한국교통연구원(2013)은 트램의 특성을 반영한 투자평가체계의 개선사항 도출을 위해 관련 연구보고서를 출간한 바 있다. 이 보고서는 수요추정, 편익산정, 비용산정의 각 과정별로 개선방안을 제시하고 있다.

수요추정과 관련하여 교통존 설정시 읍면동 단위보다 상세화된 존체계로 분석할 필요성, 회전별점을 고려한 네트워크 구축, 버스와 유사한 접근성, 환승시간 고려, 수단 선택시 비동력 교통수단 이용자(보행자, 자전거 이용자) 고려, 복합수단 이용자의 고려와 복합수단 통행배정, 버스와 차별성(트램 보너스) 고려 등을 개선방안으로 제시하고 있으나, 구체적인 내용보다는 방향성에 무게를 두고 있다.

편익 산정시에는 대중교통 차내혼잡 개선(쾌적성) 효과와 신뢰성 개선 효과 등 교통시설 투자평가지침에서 제시하고 있는 내용들이 포함되어 있으며, 참고대안(reference alternative)의 도입을 강조하고 있는 것이 특징적이다. 이는 트램의 특성상 기존 도로를 점유할 수밖에 없어 기존 평가체계 만으로는 구조적으로 충분한 편익이

15) 국토교통부(한국철도기술연구원), 신교통시스템 투자평가 방법론 개발연구, 2010. 6

16) 한국교통연구원, 트램 활성화를 위한 투자평가체계 개선방안 연구, 2013

산출되기 어렵기 때문에 버스전용차로 등 고려 가능한 다른 대안과의 비교를 통해 평가할 필요가 있다는 것이 주요 내용이다. 즉 대중교통 활성화라는 정책적 목표를 고려하기 위해서는 평가체계의 변화가 필요하다는 것이다.

다. 국내의 노면전차(트램) 수요분석 사례

기준에 검토된 목동선, 위례선, 동탄 신교통수단 등의 수요분석 사례를 살펴보면, 수단선택시 철도수단의 수단분담 모형을 적용하였으며 표정속도, 배차간격 등의 내용을 해당 노선의 제원을 고려하여 분석하였다. 노면에 건설되는 경우에는 점유하는 구간에 대하여 도로의 용량을 제약하였으며, 트램(노면전차) 노선과 교차되는 교차로에서는 g/C를 고려하여 용량을 제약하였다. 다만 대부분 1~2량으로 건설되는 트램(노면전차)임을 고려할 때 수송가능 용량에 대한 고려가 필요하지만, 이에 대한 명확한 기준이 없어 정확한 기준 없이 수요가 추정된 것으로 판단된다.

<표 III-7> 국내의 노면전차(트램) 수요분석 사례(사전타당성조사, 예비타당성조사)

구분	목동선	위례선	동탄 신교통수단	창원도시철도	수원 도시철도1호선
노선길이	10.9km	14.83km	39.7km (1호선-22.6km, 2호선-17.1km)	33.6km	6.049km
정거장	12개소	11개소	1호선-17개소, 2호선-17개소	38개소	9개소
사용 DB	MTA2차 DB(2010)	MTA2차 DB(2010)	MTA2차 DB(2010)	KTDB 부산울산권 (2008)	MTA2차 DB(2010)
건설방법	노면+고가	노면	노면	노면	노면
2036년 기준 수요(괄호 안은 순승차수요)	105,512 (61,288)	40,076 (21,180)	1호선: 155,032 (81,140), 2호선: 81,664 (45,264)	(98,829)	예타중 철회

3. 소결 및 시사점

이상으로 국내의 관련 지침과 연구, 조사사례 등을 살펴보았다. 국내의 경우 예비타당성조사 표준지침에서는 수요예측과 편익산정에 있어 신교통수단을 위한 별도의 방법론은 제시되고 있지 않다. 국토교통부의 교통시설 투자평가지침에서는 제한적으로 관련 내용을 기술하고 있으며, BRT를 고려한 별도의 수단선택 모형을 제시하고 있다. 하지만 모형내 수단특성 상수의 부호 및 순위 등은 기존의 사례와 차이가 나며, 이것이 트램 등 다른 신교통수단에 적용될 수 있는지도 명확치 않다. 편익 측면에서는 정시성, 쾌적성, 선택가치 등 예비타당성조사 표준지침에서는 포함하고 있지 않은 항목들을 일부 제시하고 있는 것이 특징적이나, 신교통 수단에만 특정된 편익항목은 역시 제시되어 있지 않다.

트램(노면전차)은 중전철 보다는 버스, BRT와 주로 경쟁할 것으로 판단되지만, 기존 분석들에선 철도수단으로 적용함에 따라 수요의 적정성에 대한 고민이 필요하다. 특히 트램(노면전차)의 경우 우선신호를 적용하더라도, 철도에 비해서는 정시성 확보가 부족할 것으로 판단된다. 즉 BRT 수준의 정시성을 갖는다고 한다면 수단 특성도 오히려 버스와 비슷할 것으로 보인다. 또한 철도 수단으로 분석하면서 주변 버스노선 및 BRT를 제대로 고려하지 않을 경우, 경쟁수단의 반영이 미흡하여 실제보다 과다하게 수요가 추정될 우려가 있다. 이러한 상황을 고려할 때, 철도와 버스의 수단분담 모형 검토 및 새로운 수단으로써의 모형 검토도 필요할 것으로 판단된다.

한편 트램(노면전차)은 1편성 당 수송 가능한 인원이 기존 철도에 비해 매우 작기 때문에, 통행배정시 용량 제약 방법이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 현재 지침 등에서 제시되고 있는 최적전략법 등은 모형상에서 용량의 제약이 없으며, 계획시 대부분 배차간격을 짧게 하므로, 실제 수요보다 과다하게 추정될 우려가 있다. 트램(노면전차)인 경우에는 도로용량 제약이 필요한데, 독립적으로 운영되는 경우와 공유되는 경우의 용량 제약에 대한 기준이 필요하다. 또한 수단분담 단계에서 별도의 수단으로 구분할 경우에는, 트램(노면전차) 이용객이 도시철도 및 버스로 환승시 어떠한 방법으로 통행배정이 되어야 하는가에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

제2절 국외의 평가 방법론 검토

서구의 주요 국가들은 도시 대중교통(mass transit or urban transit) 수단의 도입, 설치, 건설 등에 대해 보통 중앙정부 차원의 세부지침을 제공하지는 않는다. 도시철도 사업비 중 상당 부분을 국고로 지원함에 따라 재정당국이 개별 사업단위의 예비타당성조사를 거쳐 사업의 타당성을 사전에 검토하는 우리나라의 평가체계와는 달리, 이들 국가에서는 대중교통 수단 도입의 실수요자인 지자체에서 관련 계획을 수립하고, 이를 위한 재원조달 계획을 마련하는 체계가 보편화되어 있기 때문이다.

미국의 경우 주 정부가 장기 교통계획(LRTP: Long-Range Transportation Plans)을 수립하면, 개별 광역계획기구(Metropolitan Planning Organization)들은 이를 바탕으로 TIP(Transportation Improvement Program)를 수립하고, 주 정부는 다시 이들을 취합하여 STIP(Statewide TIP)라는 실행계획을 수립한다. 연방정부는 4년 주기의 STIP와 TIP, 20년 주기의 LRTP를 평가하여 예산을 지원하는 식이다.

유럽의 경우 국가별, 도시별로 상이한 체계를 갖고 있으나, EU에서는 낙후된 국가와 지역의 균형 있는 개발을 위한 기금인 ERDF(European Regional Development Fund)와 EU 회원국들의 결속력 향상을 위한 기금인 Cohesion Fund를 통해 낙후된 지역과 도시의 교통 프로젝트에 재원을 지원하고 있다. 총 1억6천만 유로가 투입되어 1992년에 개통된 영국 맨체스터의 노면대중교통수단인 Manchester Metrolink는 대표적인 ERDF 지원 사례이다.¹⁷⁾

호주의 경우는 유럽, 미국과는 다소 상이하다. 연방정부 산하의 교통 및 인프라 위원회(Transport and Infrastructure Council)에서는 국가의 교통시설과 인프라 건설 등에 대한 주요한 의사결정을 수행하며, 이 위원회에서는 교통시설의 계획과 투자에 대한 연방정부 차원의 지침을 마련하여 제공하고 있다. 특히 도시 대중교통수단의 평가 지침을 별도의 장으로 제공하고 있으며, 이는 국가 표준으로 연방정부의 지원을 받는 교통사업에 대한 평가지침으로 활용되고 있다.

본 절에서는 이와 같은 각국의 투자평가 체계 및 방법론 등을 도시 대중교통수단, 특히 신교통수단에 초점을 두고 살펴보고자 한다.

17) 약 1500만 유로가 ERDF에 의해 지원되었으며, 5500만 유로는 중앙정부의 재원으로, 나머지 9000만 유로는 지방의 재원으로 이루어졌다.

1. 유럽의 대중교통 평가 방법

가. EU의 평가체계와 지침

1) Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects(EU)¹⁸⁾

EU는 도시교통 프로젝트를 위한 여러 개발기금을 운영하고 있으며, 기금의 지원을 위해 일반론적인 가이드라인을 별도로 갖고 있다. 특히 결속기금(cohesion fund)은 EU 28개 회원국 간의 경제적, 사회적 불균형을 줄이기 위해 1인당 GNI(Gross National Income)가 EU 평균 대비 90%이하인 회원국에게만 지원되는 기금으로, 주로 통신, 환경, 교통 인프라 구축 등에 투입된다. 이러한 결속정책의 일환으로 추진되는 주요 사업들은 경제성 평가(economic appraisal)를 수행토록 하고 있으며, 이에 대한 지침이 제공되고 있는 것이다.

수요예측에 대해서는 구체적인 방법론을 지정하고 있지는 않으나, 인구 변화(demographic changes), 사회·경제적 변화(socio-economic changes), 산업 및 물류구조와 개발(industrial and logistics structure and developments), 품질·시간·요금에 대한 탄력성(elasticity with respect to quality, time, and price), 용량 제약(capacity constraint), 공간 변화(spatial changes), 교통관리 정책의 변화(change of traffic management policies), 기술의 진보(technological changes) 등을 심도 있게 고려해야 한다고 명시하고 있다. 위와 같은 사항들은 모두 불확실성(uncertainty)과 관련된 변수라 할 수 있다.

경제성 분석에서 다루고 있는 편익 항목은 아래와 같다. 이는 통상적인 교통사업의 시행으로 인해 계량화할 수 있는 편익항목들이다.

18) EU, Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, 2014. 12

<표 III-8> EU 지침의 교통부문 편익항목(Typical economic Benefit(Costs) of transport project)

항목	반영방법
Travel time savings	- Stated preferences - Revealed preferences(multi-purpose household/business surveys) - Cost savings approach
Vehicle Operating Costs savings	- Market value
Operating costs of carriers	- Market value
Accidents savings	- Stated preferences - Revealed preferences(hedonic wage method) - Human capital approach
Variation in noise emissions	- WTP/WTA compensation - Hedonic price method
Variation in air pollution	- Shadow price of air pollutants
Variation in GHG emissions	- Shadow price of GHG emissions

통행시간 절감편익은 여객과 화물로 나뉘어 산정되는데, 주목할 점은 화물의 경우 국내 지침에서 포함하고 있는 운전자의 시간절감 편익 외에 화물 운송시간의 정시성(신뢰성, reliability for timely delivery of transported goods)을 고려한다는 점이다. 그 밖에 소음 개선 편익은 진술선호(Stated Preference) 조사나 헤도닉 가격모형에 의해 산출하거나, 대기환경과 온실가스 배출 개선 편익을 잠재가격(Shadow price)에 의해 도출하는 것이 특이할 만한 점이다.

이 지침에서는 이전 버전(2008)에 없었던 도시교통수단(urban transport) 프로젝트에 대한 분석예제를 제시하고 있다.

[그림 III-1] EU 지침의 도시 대중교통수단 프로젝트 분석 예제

Costs (-)		Benefits (+)	
Investment costs		Consumer surplus:	
Replacements (paid by the City)		-	Travel time savings
Producer surplus (-):		-	Vehicle operating costs savings (road users)
-	O&M (paid by the Transport Operator)	-	Fares
-	Fares	Externalities	
-	Operating costs (tram)	-	Accidents savings
		-	Air pollution reduction
		-	Reduction of impact on climate change
		-	Noise impacts reduction

ERR		1 2 3 4 5 10 15 20 25										
		Construction					Operation					
Socio-economic costs		NPV	5.0%									
C1. Project investment cost	MEUR	-110.3	-43.4	-43.4	-43.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.1
C2. Replacements (City)	MEUR	-27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-17.0	0.0	0.0	0.0	
C3. Producer surplus (Transport Operator)	MEUR	-3.2	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	
C3a. Fares	MEUR	8.4	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	
C3b. O&M costs	MEUR	-11.6	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	
Total economic costs (C1+C2+C3)	M EUR	-141.1	-43.4	-43.4	-43.4	-0.4	-0.3	-17.3	-0.2	-0.2	26.8	
Socio-economic benefits		NPV	5.0%									
Consumer surplus												
B1. Value of time	MEUR	115.2	0.0	0.0	0.0	8.3	8.5	9.8	10.9	11.4	12.1	
B2. Vehicle Operating Costs (individual transport)	MEUR	40.7	0.0	0.0	0.0	3.2	3.3	3.6	3.8	3.8	3.8	
B3. Fares	MEUR	-8.4	0.0	0.0	0.0	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	
B4. Benefits to generated traffic	MEUR	23.0	0.0	0.0	0.0	1.7	1.7	2.0	2.2	2.3	2.4	
Externalities												
B5. Accidents	MEUR	2.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	
B6. Environment	MEUR	12.9	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	
B6a. Air pollution	MEUR	11.2	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	
B6b. Climate change	MEUR	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
B7. Noise	MEUR	3.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	
Total economic benefits (B1+B2+B3+B4+B5+B6+B7)	M EUR	189.8	0.0	0.0	0.0	13.9	14.3	16.2	17.8	18.6	19.4	
Net benefits (ENPV)	M EUR	48.7	-43.4	-43.4	-43.4	13.5	14.0	-1.0	17.5	18.3	46.3	
ERR											8.3%	
B/C RATIO												1.35

2) RAILPAG(Railway Project Appraisal Guidelines, EIB)¹⁹⁾

앞선 EU 지침이 효율적 자금운용을 목적으로 한다면, 일반적인 철도사업에 한해 적용되는 다른 지침이 있는데, 바로 RAILPAG(Railway Project Appraisal Guidelines)이다. 이 지침은 EU내에서 초국가적 재원조달이 요구되는 철도 프로젝트의 사회경제적, 재무적 평가를 목적으로 하고 있으며, 특히 유럽중앙은행(EIB)으로부터 재원이 조달되는 철도사업에 주로 적용된다.

RAILPAG은 사업의 선정과정(screen process), 평가기준의 설정(establishing the appraisal context), 교통수요예측(traffic forecasting), 대안의 정의(definition of alternatives), 환경적, 사회적, 결속적 측면의 고려(environmental, social and cohesion

19) EIB, RAILPAG(Railway Project Appraisal Guidelines)

aspects), 체계적 관점(the systemic view)을 철도 프로젝트의 주요 이슈로 논의하고 있다. 교통수요예측에 대해서는 별도의 기준이나 방법론을 제시하고 있지는 않으며, 해당 국가 또는 지자체가 갖고 있는 기준을 적용하되 철도 또는 경쟁수단으로부터 전환되는 통행량의 영향과 사업의 시행으로 인해 유발되는 통행량이 명확히 확인되어야 한다는 점을 강조하고 있다. 이용자 편익 중 통행시간과 통행비용은 일반화비용으로 계산토록 하고 있으며, 일반화비용에는 기종점 간을 통행하면서 겪는 모든 비효용적 요소(통행시간, 통행료 지출, 불편함 등)가 포함되며, 이용자의 지불의사비용과 모든 비효용의 합인 일반화비용과의 차이를 소비자 잉여로 간주한다. 이 밖에 안전편익(사고비용 절감), 차량운행비 절감, 대기환경 개선 등 외생효과를 포함하고 있다.

3) EIB 경제성 평가 사례집

유럽중앙은행(EIB)의 이코노미스트 30인이 실제 프로젝트 평가 경험을 통해 주요 쟁점과 사례를 제시한 보고서로, 교통부문의 경우 통행시간가치, 교통안전의 가치, 도로의 차량운행비용, 통행의 분류(기존 통행, 전환 통행, 유발 통행)에 대한 기초적 내용을 정의하고 있다. 분석 사례집에서는 도시 대중교통(urban public transport) 사업의 사례로 버스 서비만 제공되는 인구 25만명의 도시에 트램을 건설하는 프로젝트의 예를 제시하고 있다. 편익항목으로는 통행시간 절감, 차량운행비용 절감, 도로안전편익(교통사고 절감), 환경편익(대기 및 편익)이 고려되며, 이는 국내 지침과 앞서 살펴본 EU의 지침 및 RAILPAG에서 다루는 편익의 범주를 벗어나지 않는다. 다만 이 사례에서 주목할 만한 점이 있는데, 바로 버스구입비 절감(bus savings)이다. 대중교통 수단으로 버스만 제공되던 도시에 트램이 건설되면, 그만큼 미래의 버스구입비가 절감된다는 의미로 해석된다.

[그림 III-2] EIB의 트램 건설 프로젝트 사례 분석 예제

		NPV	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2043
Traffic									
(1)	Total traffic (m journeys/year)		0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	21.3	30.7
Existing users									
(2)=%(1)	Tramway		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(3)=(2)*Time_Saving*VoT	Time savings compared to tramway	M EUR 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diverted users									
(4)=%(1)	Bus		0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	14.9	21.5
(5)=%(1)	Car		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.5
(6)=%(1)	Heavy car		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.5
(7)=(4)+(5)+(6)	Total diverted users		0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	17.0	24.6
(8)=(5)/Car_load_factor*Car_VOC	Car savings	M EUR 31.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	2.2	3.0
(9)=(5)/Car_load_factor/Heavy_Car_VOC	Heavy car savings	M EUR 9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.9
(10)=((5)+(6))*Time_Saving*VoT	Time savings compared to car	M EUR 39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.1	5.2
(11)=(4)*Time_Saving*Vot	Time savings compared to bus	M EUR 261.9	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4	14.0	35.1
Generated users									
(12)=%(1)	Generated traffic		0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	4.3	6.2
(13)=(12)*Time_Saving*VoT/2	Benefits	M EUR 36.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	4.9
Environmental benefits									
(14)	Nox	M EUR 0.2	0	0	0	0	18,717	19,473	13,179
(15)	PM	M EUR 2.7	0	0	0	0	582,292	605,817	69,220
(16)	VOC	M EUR 0.0	0	0	0	0	2,316	2,410	6,057
(17)	SO2	M EUR 0.1	0	0	0	0	5,653	5,881	14,783
(18)	CO2	M EUR 1.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.13
(19)	Noise	M EUR 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other benefits									
(20)	Reduction in fatalities	M EUR 3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.19	0.47
(21)	Bus Savings	M EUR 107.6	0.00	0.00	0.00	0.00	8.53	8.53	8.49
(22)	Time savings for users remaining on roads	M EUR 101.6	0.00	0.00	0.00	0.00	5.99	6.14	12.32
Costs									
(23)	Investment cost	M EUR 329.9	87.50	137.39	120.01	64.03	0.00	0.00	-180.75
(24)	Electricity generation social cost	M EUR 2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.22
(25)	Additional operating cost	M EUR 195.1	0.00	0.00	0.00	0.00	15.42	15.42	15.42
(26)	Upgrades	M EUR 64.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(27)=(3)+(8)+(9)+(10)+(11)+(13)+(14)+(15)+(16)+(17)+(18)+(19)+(20)+(21)+(22)	Benefits	M EUR 596.0	0.00	0.00	0.00	0.00	35.53	36.45	70.60
(28)=(23)+(24)+(25)+(26)	Costs	M EUR 591.4	87.50	137.39	120.01	64.03	15.55	15.55	-165.10
(29)	EIRR	5.1%							
(30)=(27)-(28)	NPV	M EUR 4.7							
(31)=(27)/(28)	B/C	1.01							

자료: EIB

4) 영국의 평가체계 및 지침(TAG)

Transport Analysis Guidance(TAG)는 영국의 Department for Transport에서 제공하는 교통수요 분석을 위한 가이드라인으로, 사용자의 유형 및 분석 내용에 따라 세분화되어 제공된다. TAG에서 교통수요 분석과 관련된 부분은 TAG UNIT2 M2 Variable Demand Modelling로 교통수요를 분석하는 실무자(Modelling Practitioner)를 위해 제공된다. TAG에서는 수단선택모형은 하위 수준에서 승용차와 개별 대중교통간의 선택에 따른 IIA(Independence of Irrelative Alternatives) 문제인 "red bus vs blue bus problem"을 해결하기 위해 Nesting 된 sub-levels을 적용할 것을 제안하고 있다. 세부적으로 살펴보면 수단선택 모형을 구축함에 있어 상위 수준(higher level)에서 승용차(private)와 대중교통(public)간 수단선택이 수행되어야 하며(transport modal split), 사용가능한 대중교통 수단간의 선택을 별도의 하위 레벨에서 수행함으로써 체계화된(hierarchy) 구조로 수단선택을 하도록 제시하고 있다.

수단선택모형의 계수(lambda)는 하위 레벨에서의 값이 상위 레벨에서의 값보다 반드시 커야하며, 통행배정에 있어서는 대중교통을 별도로 구분하여 수행하도록 제안하고 있다. 한편 수단선택 모형을 구축함에 있어서 이용자의 수단선택은 해당 교통수단 자체의 특성에 의해서만 결정되는 것이 아니라 이용자가 기존에 어떠한 수단을 선택하고 있는지에 따라 행태변화가 달라지므로 이에 대한 고려도 필요하다고 제시하고 있다. 계층(hierarchy)에 의한 Sub-mode Choice는 버스, 경전철, 중전철 등 대중교통 내에서 다양한 수단선택이 가능할 때, 대중교통을 위한 접근수단이 다양할 때(예를 들면 도보, 자전거, 택시, park and ride 등) 필요하다고 제시하고 있다.

한편 교통수요를 예측함에 있어 수단별 통행량의 배분은 앞서 제시한 것과 같이 수단선택 단계에서 수행할 수도 있으며, 통행배정 단계에서 수행할 수도 있게 하고 있다. 다만 로짓 모형을 기초로 하고 있는 수단선택 모형을 통한 수단간 구분이 통행배정 단계에서 나누는 것 보다 안정적이고 분석 과정이 투명하며, 실증적 자료로 검증이 가능하므로 적절하다고 제안하고 있다. 하지만 수단이 매우 많아 복잡하거나 복합수단이 많은 경우에는 실직적인 적용이 어려운 한계가 있음을 밝히고 있으며, 모형에서 구축된 파라미터의 민감도가 낮을 경우 현실적인 수단분담을 표현하지 못할 수 있으므로 수단선택 최종단계에서 수단 전환의 유의도 테스트(Modal Shift Significance Test)를 통해 적절성을 검증하도록 하고 있다.²⁰⁾

TAG가 수단선택모형에 있어 우리나라의 예비타당성조사 표준지침과 가장 크게 다른 점은 수단선택모형의 효용함수에 적용되는 수단별 파라미터를 기본적으로 해당지역의 자료를 사용하도록 제시하고 있다는 점이다. 해당지역의 자료를 이용하지 못할 경우 적용하기 위한 개략적인 Rail Model의 파라미터만을 제공하고 있으며, 이를 적용할 경우 관련 조사를 통해 지역적 특성을 잘 반영하고 있는지 현실적인 비교 검토가 필요하다고 제시하고 있다. 그러므로 구축된 자료를 이용하여 모형을 정산(Demand Model Calibration)하는 과정을 비교적 자세히 제시하고 있다.

나. 유럽 주요국의 트램(노면전차)에 대한 투자 방향 비교

EU의 지역개발기금인 ERDF(European Regional Development Fund)는 회원국들 간의 초국가적 협력(transnational cooperation)을 위한 프로그램의 일환으로 서북유럽 5개국(영국, 프랑스, 독일, 네덜란드, 벨기에)의 7개 지역을 Tram-Train인 시스템으로 연결하여 유럽 연합의 메가시티로 육성하겠다는 목표를 갖고, 5개국 공동연구 프로젝트인 SINTROPER(Sustainable Integrated Transport Options for Peripheral European Regions)를 지원하였다. 이 프로젝트는 EU의 주요국인 영국, 프랑스, 독일 등 3개국의 트램 관련 투자체계를 비교하였는데 주요 골자는 다음과 같다.

영국의 경우 경제성 분석에 기반한 투자평가 체계를 갖고 있어, 경제적 합리성을 우선하며, 수익성을 중시한다. 트램 사업을 수행할 경우, 수익 창출로 지역에 기여할 수 있어야 하며, 환승시설을 중시한다. 독일의 경우 성능과 효율을 강조하며, 승차차 기능의 단순 정류장을 많이 배치하는 특징을 가지며, 기존의 교통체계 및 도시재개발 사업과 시너지를 창출할 수 있어야 한다. 프랑스의 경우 정치적, 정책적 합리성을 추구하며, 심미적 아름다움을 중시한다. 즉 도시경관과 조화로워야 하며, 현대적인 인상을 부여할 수 있어야 하는 것이 특징적이다.

20) 예를 들면 승용차의 분담률이 75% 이상이고 각 수단간 통행시간 변화가 1분 이상인 존 쌍(O/D Pair), 승용차 분담률이 75~85% 이고 각 수단간 통행시간 변화가 2분 이상인 존 등에 대해서 살펴볼 필요가 있다고 제시하고 있다.

<표 III-9> 영국, 독일, 프랑스의 트램(노면전차) 투자 방향 비교

구분	트램 교통망 확장	주요 의사결정	추구하는 “스타일”	트램 개발의 전제
영국	·트램 노선들은 대부분 체계적이고 예견된 역제를 겪음 ·신규노선도 비교적 적음	경제적 합리성	수익성	·수익창출로 신개발지역에 기여할 수 있어야 함. ·환경을 위해 승용차에서 철도수단으로 전환시킬 수 있는 환승시설(P&R)을 개발함.
독일	·오래된 노선을 보존하거나 현대화하는 것에 집중하며, 신규노선도 비교적 적음	기술적 합리성	성능/효율성	·수요측면에서 기존 교통체계 및 도시재개발과 시너지효과를 낼 수 있어야 함. ·많은 정류장을 설치
프랑스	·2차세계대전 이후 체계적으로 철거됨 ·최근 많은 신규노선이 도입됨	정책적(정치적) 합리성	이미지 효과와 아름다운 디자인	·도시경관의 ‘잘 꾸며짐’에 기여할 수 있어야 하며, 현대적인 인상을 부여할 수 있어야 함. ·공공 정책 및 도시 마케팅과 조화를 이루어야 함.

자료: Cyprien Richer. Appraising territorial effects of tram- based systems: 1 st PHASE – State of the art. [Research Report] CEREMA, Cité des Mobilités, 25 avenue François Mitterrand, CS 92 803, 69674 Bron Cedex. 2012.

이러한 국가적 특징은 트램 수단의 고유적 특성과 함께 국가별로 다양한 형태를 보이는 결과를 낳았는데, 영국과 독일은 신규노선이 거의 개발되지 않았으나, 프랑스의 경우 많은 신규 노선이 도입된 것이다. 즉, 프랑스의 의사결정 체계는 정치적(정책적) 합리성에 기반하고 있으며, 도시경관의 심미적 특성을 매우 중시함으로써 트램이 도시재생 또는 도시마케팅에 유의미한 효과를 가져왔고, 또 이러한 효과가 전국적으로 확대된 사례라 할 수 있다.

2. 미국의 대중교통 평가 방법

가. 대중교통 계획 수립 및 사업 평가체계

미국은 각 주 정부와 산하 지자체, 광역계획기구(MPO) 등이 교통계획을 각각 수립하고, 프로젝트를 추진하는 구조이다. 개별 프로젝트는 다중적 위계로 구분된 계획에

기반하여 추진되며, 미 연방정부(Federal Highway Administration, Federal Transit Administration)는 매 4년마다 각 주별로 요청된 모든 교통사업의 재정지원 여부를 승인한다. 즉 교통계획 수립의 의무가 있는 광역계획기구와 주 정부는 4년 단위 계획인 교통개선계획(TIP, STIP)과 20년 단위 계획인 장기교통계획(LRTP)에 재원조달에 관한 사항을 명확히 할 의무가 있으며, 이를 연방정부가 평가하는 구조다.

그림과 같이 주(State) 정부, 광역계획기구, 대중교통 운영기관(Transit Agencies)은 모두 비전계획, 장기계획, 교통개선계획을 수립하나, 이를 평가하기 위한 기초자료는 대부분 광역계획기구에서 구축되는 자료를 활용하며, 해당 모형과 자료를 통해 각종 계획을 수립하는 것이 일반적이다.

[그림 III-3] 미국의 관련 기구별 계획 수립 의무

Plan Use by Organization				
Organization	Vision Planning	Long-Range Plans	TIPs	Project Planning
State DOTs	✓	✓	✓	✓
MPOs	✓	✓	✓	
Transit Agencies	✓	✓	✓	✓
City/Local Trans. Dept.			✓	✓

*Plan development is the collective responsibility of the MPO, transit operator and State DOT. Project planning may be done by these and other organizations.

특히 2012년 7월에 인준된 MAP-21(Moving Ahead for Progress in the 21st Century)은 우리나라의 교통시설 특별회계와 같은 한시적인 연방 교통예산법이다. 이 법안에 근거하여 FTA가 승인하는 대중교통 부문의 재정투자 계획은 ‘New Starts’, ‘Small Starts’, ‘Core Capacity Improvements’로 구분된다. ‘New Starts’는 총사업비가 \$250M 이상이면서 정부지원금이 \$75M 이상인 대규모 사업들을 통칭하며, ‘Small Starts’는 총사업비가 \$250M 미만이고, 정부지원금이 \$75M 미만인 소규모 사업을 통칭한다.

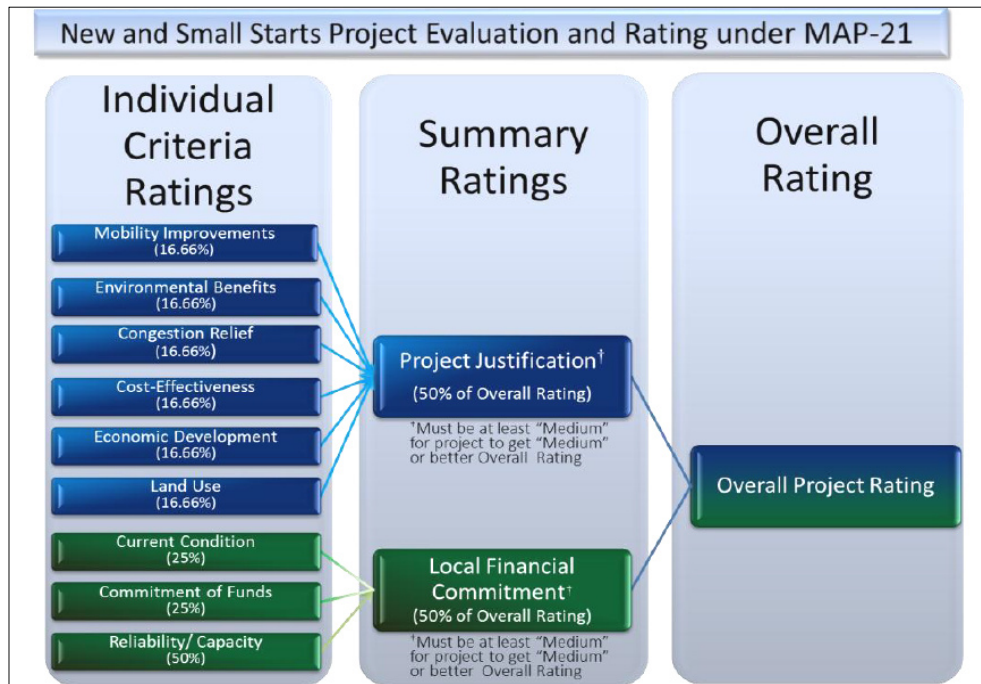
‘Core Capacity Improvements’는 기존의 고정궤도 시스템의 용량을 증대시키는 사업들이 속한다.

각 프로젝트의 교통수요의 예측은 해당 지역의 광역 모형을 사용하거나, 점진적 추계 기법 또는 FTA가 제공하는 간략화된 수요모형인 STOPS(Simplified Trips-on-Project Software)를 활용할 수 있다. 예측된 수요는 다음의 5가지 기준에 의해 평가된다.

- ① 수요예측 방법론의 특징
- ② 현재 이용자 데이터의 적정성
- ③ 수요예측 방법론이 현재 이용자 수를 모사하는 정도
- ④ 예측에 활용된 인구, 서비스 변화 등 입력 자료의 합리성
- ⑤ 제안된 프로젝트에 대한 예측치의 합리성

예측된 수요에 기반한 프로젝트의 총체적 평가는 우리나라와 유럽에서 널리 사용되고 있는 비용편익 분석과는 다소 상이한 기준을 갖는다. 평가는 크게 6가지의 지표로 구성된 프로젝트 타당성 평가(project justification)와 3가지 지표로 구성된 지방재정 기여도(local financial commitment) 평가에 따라 이루어진다. 이동성 개선(mobility improvement), 환경 편익(environmental benefits), 혼잡 개선(congestion relief), 비용효과성(cost-effectiveness), 경제개발(economic development), 토지이용(land use) 등으로 구성되는 프로젝트 타당성은 전체 평가의 절반을 차지하며, 각 평가요소별 가중치는 모두 동일하다. 정성적 평가가 수행되는 지방재정 기여도 평가는 현재의 재무상태(current condition), 기금의 기여정도(commitment for funds), 신뢰성과 추진역량(reliability and capacity) 등 3개의 세부요소로 구성되며, 각각의 가중치는 순서대로 25%, 25%, 50%로 구성된다.

[그림 III-4] MAP-21 프로젝트의 평가 체계 및 기준



나. FTA의 대중교통 비용편익 분석 가이드(TCRP Report 78)²¹⁾

FTA는 광역권 및 지역 대중교통 운영기구의 투자 평가를 돕기 위해 편익비용분석을 위한 보고서 형태(TCRP Report)의 지침을 제공하고 있다. 이 보고서에서는 대중교통 수단의 도입 영향을 크게 통행 효과(travel impacts)와 2차적 효과(secondary impacts)로 구분하고 있다. 통행 효과는 대중교통 이용자와 기존 도로(승용차, 화물차) 이용자, 보행자 및 자전거 이용자로 구분하여 산정토록 하고 있으며, 대중교통 이용자 효과는 통행시간(보행접근, 대기, 환승, 차내시간), 요금, 사고 및 범죄 관련 비용을 포함한다. 기존 도로 이용자 관련 효과는 통행시간과 차량 운행 및 소유비용, 사고 및 범죄 관련 비용을 포함한다. 보행자 및 자전거 이용자에 대해서는 대중교통 개선에 따라 필연적으로 증가하는 보행과 자전거 통행비용을 고려하도록 하고 있다. 아래의 표는 FTA 지침의 통행 효과를 단계별로 요약한 것이다.

21) TRB, Estimating the Benefits and Cost of Public Transit Project: A guidebook for Practitioners, 2002

<표 III-10> FTA의 단계별 이용자 비용 산정(Summary of user cost analysis)

Data Assembly Steps	Parameters to Measure
Step 1: Determine time values	· Value of walk, wait, in-vehicle and transfer time
Step 2: Determine units of travel measurement	· Corridor vs. link Pass.-mile vs. veh.-mile
Step 3: Measure transit user costs before and after the improvement	· Travel time · Accident costs(if changed from status quo) · Fares and other out-of-pocket costs
Step 4: Measure auto/truck user costs, before and after the improvement	· Travel time · Accident costs(if changed from status quo) · Vehicle ownership costs · Vehicle ownership costs · Vehicle operating costs and tolls
Step 5: Measure bicycle and walk user costs, before and after the improvement	· Travel time · Vehicle ownership costs · Vehicle operating costs

Source : Econorthwest

2차 효과는 대중교통의 가용성 자체를 의미하는 선택가치(option value of transit), 대기질, 소음, 수질 개선 등 환경적 외생효과, 기타 효과를 의미한다. 선택가치는 대중교통을 거의 이용하지 않는 이용자에게도 기상악화, 승용차의 고장, 유가 급등 등 운영비 증가, 차량유지 능력의 상실과 같이 필요한 경우 대중교통 서비스의 존재 자체가 편익이 될 수 있다는 것을 의미한다. 선택가치는 다음과 같이 산정한다.

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

- 여기서, C = 대중교통 서비스의 선택 가치
- S = 승용차 통행의 기대(expected) 비용
- σ = S의 표준편차
- X = 대중교통 통행의 총 한계비용
- T = 대중교통 선택대안의 만료 시한 (대중교통 통행기회의 역수)
- r = 무위험 수익율(risk-free return)

<표 III-11> FTA의 대중교통수단 선택가치 산정 사례

TABLE 4-1 Transit option value, by exercise price, time, and volatility (per option)

	<i>Marginal Full Cost of Transit Trip (X)</i>						
	\$ 5.00	\$ 5.50	\$ 6.00	\$ 6.50	\$ 7.00	\$ 7.50	\$ 8.00
σ	<i>Time = 0.1</i>						
\$ 0.25	\$ 0.17	\$ 0.03	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
\$ 0.50	\$ 0.32	\$ 0.14	\$ 0.06	\$ 0.02	\$ 0.01	\$ 0.00	\$ 0.00
\$ 0.75	\$ 0.48	\$ 0.29	\$ 0.17	\$ 0.09	\$ 0.05	\$ 0.03	\$ 0.01
\$ 1.00	\$ 0.64	\$ 0.45	\$ 0.31	\$ 0.21	\$ 0.14	\$ 0.09	\$ 0.06
\$ 1.25	\$ 0.79	\$ 0.60	\$ 0.46	\$ 0.34	\$ 0.26	\$ 0.19	\$ 0.14
\$ 1.50	\$ 0.95	\$ 0.76	\$ 0.61	\$ 0.49	\$ 0.39	\$ 0.32	\$ 0.25
\$ 1.75	\$ 1.10	\$ 0.92	\$ 0.77	\$ 0.64	\$ 0.54	\$ 0.45	\$ 0.38
\$ 2.00	\$ 1.25	\$ 1.07	\$ 0.93	\$ 0.80	\$ 0.69	\$ 0.60	\$ 0.52
\$ 2.25	\$ 1.40	\$ 1.23	\$ 1.08	\$ 0.96	\$ 0.85	\$ 0.75	\$ 0.67
\$ 2.50	\$ 1.54	\$ 1.38	\$ 1.24	\$ 1.11	\$ 1.00	\$ 0.91	\$ 0.82
	<i>Time = 0.5</i>						
\$ 0.25	\$ 0.40	\$ 0.20	\$ 0.09	\$ 0.04	\$ 0.02	\$ 0.01	\$ 0.00
\$ 0.50	\$ 0.75	\$ 0.55	\$ 0.40	\$ 0.29	\$ 0.21	\$ 0.15	\$ 0.11
\$ 0.75	\$ 1.09	\$ 0.90	\$ 0.75	\$ 0.62	\$ 0.52	\$ 0.43	\$ 0.36
\$ 1.00	\$ 1.42	\$ 1.25	\$ 1.10	\$ 0.97	\$ 0.86	\$ 0.76	\$ 0.68
\$ 1.25	\$ 1.74	\$ 1.58	\$ 1.45	\$ 1.32	\$ 1.21	\$ 1.12	\$ 1.03
\$ 1.50	\$ 2.05	\$ 1.91	\$ 1.78	\$ 1.67	\$ 1.56	\$ 1.47	\$ 1.38
\$ 1.75	\$ 2.35	\$ 2.22	\$ 2.10	\$ 2.00	\$ 1.90	\$ 1.81	\$ 1.73
\$ 2.00	\$ 2.63	\$ 2.51	\$ 2.41	\$ 2.31	\$ 2.22	\$ 2.14	\$ 2.06
\$ 2.25	\$ 2.89	\$ 2.79	\$ 2.69	\$ 2.61	\$ 2.53	\$ 2.45	\$ 2.38
\$ 2.50	\$ 3.14	\$ 3.04	\$ 2.96	\$ 2.88	\$ 2.81	\$ 2.74	\$ 2.68

Notes:

1. S = \$ 5.00
2. r = 4%

자료 : TRB, Estimating the Benefits and Cost of Public Transit Project: A guidebook for Practicioners, 2002

환경적 외생효과는 국내의 타당성평가에서도 중요하게 고려하고 있는 편익항목 중 하나이다. FTA가 대기오염 개선 효과를 위해 고려하고 있는 대기오염물질은 일산화탄소(CO), 10마이크론 미만의 미세먼지(PM10), 질소산화물(NOx), 휘발성 유기화합물(VOCs), 오존(O3), 황산화물(SOx) 등이다. 주목할 점은 전기를 동력원으로 사용하는 철도사업의 경우 전기의 발전을 위해 소모하는 연료원에 따라 발생하는 오염물질도 함께 고려한다는 점이다.

소음의 경우 차종별, 도로유형별로 소음비용 원단위를 제공하고 있으며, 수질오염의 경우 정유탱크의 누유로 인한 건강과 환경적 영향, 대형선박으로부터의 해양오염, 차량누유로 인한 오염 등을 범위값으로 제공하고 있는 것이 매우 특징적이다. 이 밖에 교통사고로 인한 간접적인 사회적 비용을 추가적으로 고려하도록 하고 있다.

3. 호주의 대중교통 평가 방법

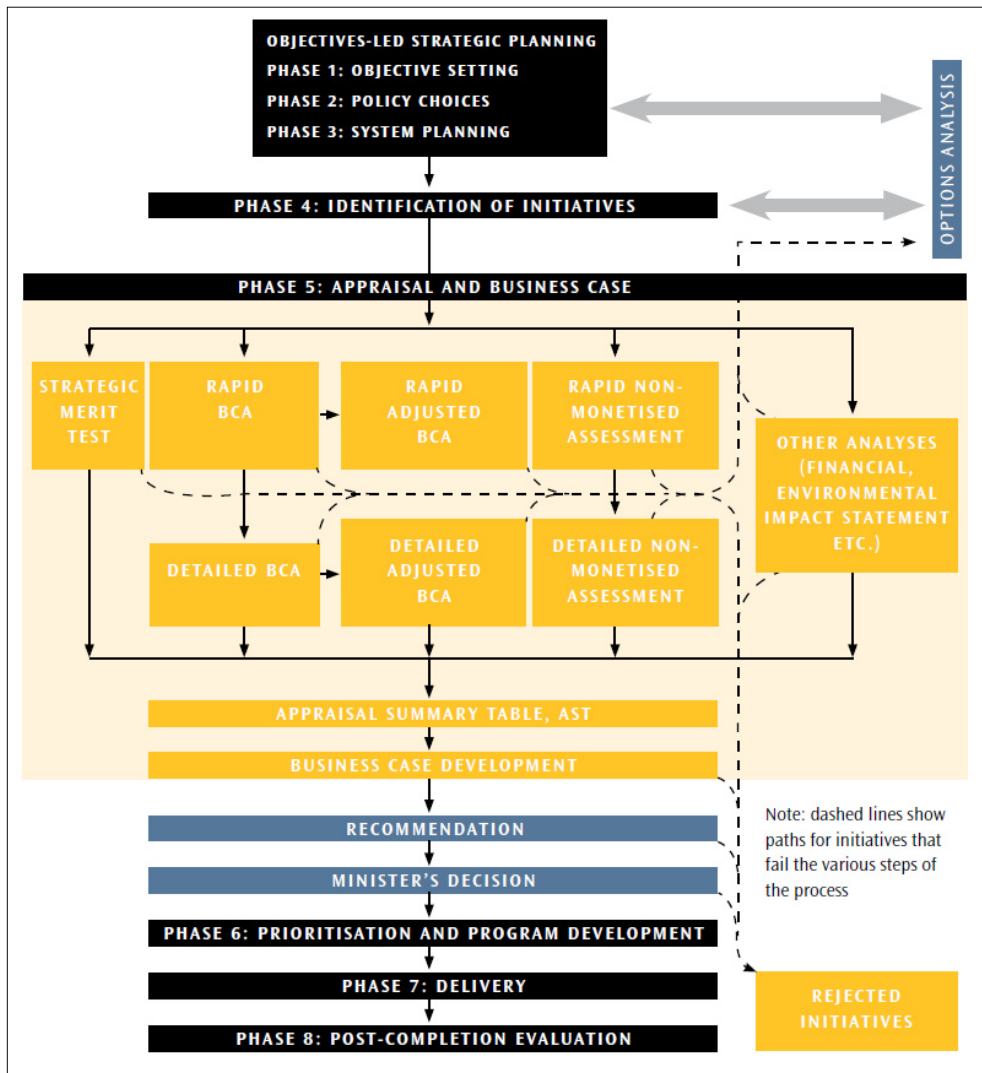
호주의 연방교통위원회에서 정하고 있는 교통시설 투자에 대한 계획은 크게 8단계로 이루어지며²²⁾, 이 중 계획에 대한 평가는 3단계로 이루어진다. 우선 제안된 프로젝트가 정책적 목표에 부합하는 것인지를 판단하며, 이를 SMT(Strategic Merit Test)라 한다. 이 단계를 통과한 프로젝트는 간이 평가(Rapid Appraisal, e.g. rapid benefit-cost analysis)를 거쳐 최종적으로는 세부 평가(Detailed Appraisal)를 수행한다. 세부평가는 구체화된 B/C분석, 재무성 평가, 환경, 고용 등 기타 영향평가 등을 포함한다. 전반적인 과정은 다음의 그림에 나타난 것과 같다.

경제성 분석에서 고려하고 있는 편익항목 중 화폐가치화가 가능한 항목들은 일반적으로 육상 교통수단 평가의 BC분석에 포함된다. 화폐가치화가 불가능한 편익과 비용은 간략히 화폐가치화 할 수 있는 경우 포함하도록 하고 있으나 화폐가치화 편익과의 중복성을 고려하도록 하고 있다. 또한 2차 효과에 의한 편익과 비용은 생략하거나 재분배시킨다.

다음의 표는 지침에서 명시하고 있는 비용과 편익 항목을 보여주고 있다. 화폐가치화된 편익항목 가운데 서비스 신뢰성 개선(improvements in service reliability) 항목이 주목할 만하다. 여기에는 이용자 편의의 개선, 정시성의 개선과 같은 서비스 품질 개선이 포함된다.

22) 1. 목표 설정(objective setting), 2. 정책 선택(policy choice), 3. 시스템 계획(system planning), 4. 대안의 탐색(identification of initiatives), 5. 평가 및 실행계획(appraisal and business case), 6. 순위화 및 프로그램 개발(prioritisation and program development), 7. 사업시행(delivery), 8. 사후평가(post-completion evaluation)

[그림 III-5] 호주의 교통시설 투자를 위한 평가 과정



<표 III-12> 호주 교통시설 투자 평가지침의 비용 및 편익 항목

MONETISED	NON-MONETISED**	SECONDARY IMPACTS
<i>Investment costs</i>	Amenity value	Employment (construction and operation phases)
Planning and design	Barrier effects on humans and on biodiversity	Tourism
Site surveying	Biodiversity and ecosystems	Land values
Site preparation	Heritage	Industry development
Investigation, data collection and analysis	Aesthetic value	Community spirit/pride
Legal costs	Culture	Communication
Administrative costs	Increased comfort, cleanliness and security for passengers	Connectivity
Land acquisition	Reduced damage to freight and reduced pilferage	Information sharing
Construction costs	** In most cases, the reason these benefits and costs are 'non-monetised' is because it is too expensive to undertake the surveys necessary to produce reasonable estimates of the values people place on them. See Volume 5, Section 2.9.2 for a brief discussion of the techniques available for estimating externality costs. For damage and pilferage to freight, consigners and transport operators are often unwilling to divulge the extent of the problem.	Social cohesion
Consequential works		Increased incomes
<i>Benefits and disbenefits*</i>		Access to services
Savings in vehicle/train operating costs		Production levels
Savings in time costs for passengers and/or freight		Productivity for industries
Improvements in service reliability		
Savings in crash/accident costs		
Reduced environmental externalities (noise, pollution)		
Savings in infrastructure operating costs including maintenance and administration		
Benefits associated with diverted and generated traffic		
Scrap or residual values of assets		
* Some of these benefits could have a negative sign because they are disbenefits, e.g. increases in environmental externalities.		

도시 대중교통 수단의 편익은 크게 대중교통 이용자²³⁾ 편익과 도로 이용자 편익, 기타 편익으로 구분하고 있다. 이용자 편익은 각 이용자의 일반화비용 변화분을 의미하며, 도로 이용자 편익은 통상적인 도로사업의 편익과 동일하다. 주목할 점은 일반화 비용 산정시 이용자의 인지비용을 기준으로 한다는 점이다. 일반화 비용에는 차내 통행시간을 비롯하여, 접근시간, 예상된 대기시간, 예상치 못한 대기시간, 환승 횟수, 환승 시간, 환승 대기시간 등 대중교통을 이용하기 위해 소비한 모든 시간을 고려하며, 각 시간 변수에 가중치가 고려된다. 특히 대기시간을 예상된 시간과 예상치 못한 시간으로 구분하며, 차내시간의 경우 수단별로 버스를 기준으로 고급수단일수록 1분~3분의 차내시간을 감해주고, 차내시간에 적용되는 가중치 역시 차내혼잡을 고려하되 수단별로 각기 다른 기본 가중치를 갖는 등, 서비스 품질을 고려하는 점이 특징적이다.

일반화비용을 산정하는 산식은 다음과 같다.

$$GC = F + V[T_A W_A + T_W W_W + T_R W_R + T_I W_I + N_T(T_P + T_{AT} W_{AT} + T_{WT} W_{WT})]$$

여기서, GC = 총 일반화비용 (=인지비용)

F = 요금(\$)

V = 표준통행시간가치(\$/분)

T_A = 접근시간(분)

T_W = 예상된 대기시간(분)

T_R = 예상치 못한 대기시간(분)

T_I = 차내시간(분)

T_P = 환승페널티(분)

T_{AT} = 환승접근시간(분)

T_{WT} = 환승대기시간(분)

N_T = 환승횟수

W_A, W_W, W_R, W_I, W_{AT}, W_{WT} = 각 시간항목에 대한 가중치

다음의 표는 각 시간 항목에 적용되는 가중치의 산정 기준을 보여주고 있다.

23) 기존 대중교통 이용자, 타 수단으로부터 전환된 이용자, 신규 이용자(유발통행)를 모두 포함한다.

<표 III-13> 호주 대중교통 사업의 타당성 평가시 적용되는 통행시간 가중치

Table 1.6.1: User perceived cost unit values		
ITEM ⁽¹⁾	DEFAULT VALUES (GT MINUTES)	VARIATIONS, NOTES
Access GT		
Access time (T_a)	Actual access/egress time	
★ Access weighting (W_a)	1.4 (normal)	1.2 for short walks (<5 mins). 1.8 for long walks (>20 mins).
Expected wait GT		
Expected wait time (T_w)	$0.72 * H^{0.75}$	H = average headway.
★ Wait weighting (W_w)	1.4 (normal)	Up to 2.0 in highly congested conditions.
Unexpected wait/journey GT		
Unexpected wait/journey time (T_u)	Actual average lateness	} Could apply weighting 6.0 to unexpected wait time at stop, 1.5 to unexpected in-vehicle time.
★ Unexpected Wait/Journey Weighting (W_u)	3.0	
In-vehicle GT		
In-vehicle time (T_i)	$T_i = \text{Actual IVT} - \text{MSC}^{(2)}$	MSC = 0 (on-street bus), 1.0 (on-street tram, old urban rail), 2.0 (busway, refurbished urban rail, LRT), 3.0 (new urban rail). IVF = 1.0 (on-street bus), 0.90 (busway, on-street tram, old urban rail), 0.85 (guided busway, LRT), 0.80 (refurbished urban rail), 0.75 (new urban rail). VLF (crowding factor): 1.0 (LF <70%); 1.1 seated, 1.4 standing (LF=100%); 1.3 seated, 2.0 standing (crush load).
★ In-vehicle weighting (W_i)	$W_i = \text{IVF}^{(2)} * \text{VLF}$	
Transfer GT		
No of transfers (N_t)	Actual number of transfers	
★ [[Transfer penalty (T_p)	5–10 GT mins	Within mode: 5 for same facility, 7 for different facility. Between mode: 7 for same facility, 10 for different facility.
+ [Transfer walk time (T_{At})	Actual walk time	
★ Transfer walk weighting (W_{At})	2.0	Higher where gradients exist or congested conditions.
+ [Transfer wait time (T_{wt})	$0.72 * H^{0.75}$	H = average headway of second service.
★ Transfer wait weighting (W_{wt})	1.2	Higher in congested conditions.

Notes: (1) GT = generalised time.
(2) MSC, IVF terms may be replaced by adjustments for specific vehicle or infrastructure features (see section 6.2.3).

4. 대중교통 투자평가 관련 기타 연구

부퍼탈 기후·환경·에너지 연구소(Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy) 등에 의하면, 영국의 ‘WebTAG Tool’과 네덜란드의 ‘OEI-guide’와 같은 유럽의 일부 국가들은 전국 단위의 투자평가 지침을 갖고 있으며, 비용편익 분석이 이들 평가지침의 근간임을 밝히고 있다.²⁴⁾ 이 보고서에서 적시하고 있는 비용편익 분석 결과의 특징에 대한 몇 가지 시사점을 요약하면 다음과 같다.

- 비용편익분석 결과 간의 비교가 용이하지 않다.
- 통행시간이 비용편익 분석 결과를 결정한다.
- 비용편익 분석은 모든 외생효과를 담보할 수 없다.
- 사업시행에 대한 의사결정은 비용편익 분석의 결과에 독립적이다.
- 정확한 비용편익 분석을 위해서는 많은 데이터와 설계 정보가 필요하다.

이 보고서는 또한 교통정책의 지속가능성 측면에서 편익을 측정하기 위한 몇 가지 논거들을 제시하고 있으며, 이는 다음과 같다.

- 지속가능성 편익은 외생효과와 더 자주 관계된다.
- 소규모의 지속가능한 교통정책 대안에 대해서는, 비용편익 분석을 거의 적용하지 않는다.
- 지속가능한 교통정책의 편익비용비가 재원을 확보하는데 영향을 준다는 근거는 거의 없다.
- 지속가능한 교통정책의 평가는 자료의 부족과 방법론적 지침의 부재를 직면하고 있다.

한편, 영국 리즈대학교의 교통학 연구소는 영국과 독일, 네덜란드, 스웨덴, 미국, 호주, 뉴질랜드의 6개국 간에 투자평가 과정을 비교하는 연구²⁵⁾를 수행한 바 있으며, 이 연구의 주요 결과는 다음의 표와 같이 요약된다.

24) Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, How urban transport projects are appraised: current practice in the EU, 2014.

25) ITS University of Leeds, International Comparisons of Transport Appraisal Practice, 2013

<표 III-14> 주요 국가별 대중교통시설 투자를 위한 평가체계 비교

구 분	영국	독일	네덜란드	스웨덴
평가 기간	운영기간 60년	특정연도 기준 (잔존가치 반영)	다양함	40~60년
사회적 할인율	초기30년간 3.5% 나머지 3%	3%	2.5% + 3% risk premium	4%
시나리오 정의	Do something vs. Do minimum	with vs. without	multiple standard scenarios	Do something vs. Do minimum
평가 지표	NPV, BCR	BCR	NPV, BCR, IRR	B/investment cost
비화폐가치화 항목	포함	포함	표준평가표 제공	표준평가표 제공
위험과 불확실성	정량적 위험분석 낙관적 편익	불포함 민감도분석으로 대체	할인율에 리스크 프리미엄 고려	할인율에 포함
대상 지역	영국	독일 및 인접국가(편익)	네덜란드	스웨덴, 해외통행 편익의 절반
신뢰성 향상 효과	지연도착가치 고려	-	정시도착+25% 추가	대중교통은 통행시간가치의 3.5배 계상
쾌적성	입석은 차내시간의 1.65~2.11배	-	추가고려	도로혼잡은 1.5배 대중교통은 1~3배 사이
도시재생효과	고용효과분석	지역별 고용효과 분석	-	-
환경보전 (경관, 종다양성, 문화유산 등)	정성적 분석	정성적 분석, 점수화 등	정성적 분석 문화유산은 경제성에 포함	정성적 분석
기타 주요 고려사항		공간영향 상호영향성	유독가스	

자료 : ITS University of Leeds, International Comparisons of Transport Appraisal Practice, 2013

<표 III-14>의 계속

구 분	미국	호주 NSW주	뉴질랜드
평가 기간	일반적으로 25~30년	도로철도 30년 버스 15년	공사 개시로부터 30년
사회적 할인율	연방 7% 주 3~7%	7%	교통부문 8%
시나리오 정의	Do minimum vs. Alternative options	Do minimum vs. Alternative options	Do minimum vs. All realistic options
평가 지표	NPV, BCR	NPV, BCR, NPVI, FYRR	BCR
비화폐가치화 항목	정성적 평가	사고비용, 환경비용, 편익집중 등 화폐가치화	사고비용, 환경비용, 편익집중 등 화폐가치화
위험과 불확실성	불확실성 반드시 적시	특정수준 이상의 위험도가 있는 사업에 한해 적용	세부적인 위험분석절차를 제공
대상 지역	미국 또는 주 또는 광역 (자원조달에 따라 상이)	국내	특정하지 않음
신뢰성 향상 효과	80~50백분위수를 기반으로 계상	철도의 경우 차내시간가치에 3.5배 계상	도로혼잡효과를 반영
쾌적성	-	철도는 사전 산정된 원단위 적용	통근시 입석의 경우 좌석 이용객의 1.4배
도시재생효과	다기준분석	TOD인 경우 대중교통 노선축의 인구증가, 고용증가 효과	-
환경보전 (경관, 종다양성, 문화유산 등)	다기준분석에 의한 정성적 분석	-	대부분 서술적/정성적 분석
기타 주요 고려사항		수질오염 도시분리	국가전략계수 투자의 선택가치 수요의 불확실성 등

자료 : ITS University of Leeds, International Comparisons of Transport Appraisal Practice, 2013

5. 소결 및 시사점

우리나라와 해외 여러 국가들은 서로 투자체계가 상이하어 직접적인 비교가 어려우나 대부분 신뢰성 가치, 선택가치, 쾌적성 등 현재 국내의 예비타당성조사 표준지침에서는 고려하지 않는 편익을 기본적으로 고려하고 있다. 하지만, 수요예측 시 트램 등 신교통수단을 별도로 특정하고 있는 지침은 확인하지 못하였다. 즉, 평가 대상 사업의 종류와는 상관없이 대중교통 사업의 경우 일반적인 분석방법과 원칙을 위주로 제시하고 있는 편이다.

다만, 이용자의 체감화된 일반화비용(user's perceived generalized cost)을 산정하고 이를 편익산정 기준으로 삼고 있는 호주의 경우 총 차내시간에 대해서 일반버스를 기준으로 트램을 1분 감하고(신설철도의 경우 3분을 감함), 차내 혼잡도에 곱해지는 가중치 역시 일반버스를 기준으로 트램의 경우 0.9배(신설철도의 경우 0.75배)를 적용하는 등 수단별 차등화를 적용하고 있는 점이 참고할 만한 특징이라 할 수 있다. 이 밖에 영국의 TAG이 대중교통 수단선택 모형 적용 시에 네스티드 구조를 권장하며, EIB의 평가사례집에서 트램 사업 시행시 감축되는 버스대수 등을 감안한 사례 등은 우리나라에서도 앞으로 참고할 만한 사례로 평가할 수 있다.

한편 2차적인 효과에 대해서는 대부분 정성적으로 평가하거나 별도의 고용효과분석 등을 거치도록 하고 있어 국내와 유사한 평가체계를 갖고 있음이 확인되었다.

제3절 신교통수단(트램)의 수요추정 관련 연구

기존의 예비타당성조사 표준지침에 따르면 일정한 운행시격과 정류장이 있는 철도 건설사업에 대해서는 도로사업과 달리 수단선택 과정을 거친 후 장래 교통수요를 추정하고 있다. 신교통수단(트램)은 기존에 운영되는 지하철, 철도, 버스와는 달리 궤도를 이용해 노면 위를 운행하는 수단으로 지하철의 정시성과 안락함, 버스의 접근성 등을 복합적으로 기대할 수 있는 수단이다. 이에 따라 신교통수단(트램)의 장래 교통수요 추정 방법론 개선방안 마련을 위해 관련 문헌을 먼저 살펴보았다.

1. 국내의 신교통수단(트램) 수요추정 연구

국내에서는 현재 운행 중인 신교통수단(트램)이 없고, 관련 법규 상의 문제 등으로 인해서 트램과 관련된 연구는 많지 않은 실정이다. 대부분의 관련 연구는 신교통수단(트램) 도입을 위한 특성 분석, 시스템 등의 분야에 한정되어 있다.

신교통수단(트램)의 수요추정과 관련된 국내 연구로는 『트램 활성화를 위한 투자평가체계 개선방안 연구』(한국교통연구원, 2013)가 있다. 해당 연구에서는 신교통수단(트램)의 특성 검토 및 해외 관련문헌 고찰을 통해 신교통수단(트램)의 수요추정 방법을 제안하였다. 수단선택 단계에서는 수단특성 상수를 버스에 비해서는 높게 반영하되, 그 차이는 개인교통 수단과 대중교통 수단의 수단 특성 상수 차이에 비해서는 작게 반영하도록(버스보다 조금 높은 수준의 값을 적용) 제안하였다. 통행배정 단계에서는 트램의 표정속도가 낮은 점을 감안하여 통행배정을 수행할 것으로 제안하였다.

현재의 평가체계 하에서는 트램의 경제적 타당성이 매우 낮게 분석될 가능성이 높으므로 대중교통 활성화라는 정책적 목표를 달성할 수 있도록 평가 방법의 변화를 모색해야 한다고 제안하고 있다.

2. 국외의 신교통수단(트램) 수요추정 연구

국외 연구는 국내에 비해서 상대적으로 활발한 편인 것으로 확인되었다. 대부분의 연구는 SP 설문조사를 바탕으로 하고 있으며, 신교통수단(트램)이 버스 대비 가지는 부가적인 효용(tram bonus, rail factor)과 대중교통 수단으로서 트램을 선택하게 되는

심리적인 요인들에 대해 살펴보는 방향으로 진행되었다.

트램과 관련된 연구의 주된 주제는 트램이 궤도를 이용함에 따라 기대되는 버스 대비 수단의 우월성(tram bonus, rail factor)에 대한 검토가 주를 이루고 있다. 이용자 측면에서 대중교통수단을 선택할 때 중요하게 여기는 요소는 안전(safety, security, CCTV), 통행시간의 신뢰성, 접근에 대한 용이성, 대기장소(정류장)의 환경 등으로 나타났다. 그동안 존재한다고 여겨지던 tram bonus, rail factor 등은 일부 논문에서 있는 것으로 나타났다. 연구에 따라 트램 보너스의 가치는 3.32분~10.6분 수준으로 나타났으며, 선택 대안인 버스의 서비스 수준이 높아지는 경우 트램 보너스가 크게 감소하는 것으로 나타났다.(10.6분=>3.8분) 또한 지역별로 큰 편차(3.32분~23.4분)가 있는 것으로 나타났으며, 트램 수단에 대한 이해정도 및 기존에 이용하는 교통수단 등에 따라서도 상이하게 나타났다.

트램 보너스를 구성하는 항목을 세부요소로 나눠서 살펴본 결과(unpack the constant) 안전(safety)과 보안(security)이 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 반면 트램 보너스가 유의한 수준에서 발견되지 않았다는 연구도 다수 있는 것으로 확인되었다. 영국 리즈(Leeds)의 신교통수단 도입을 위한 SP조사에서는 이용자들은 차량 자체의 특성(버스, 트롤리 버스, 트램 등) 보다는 서비스와 관련된 다른 특성에 의해서 수단 선택이 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 스위스의 연구에서는 교통수단을 선택함에 있어 트램 보너스가 유의하지 않은 것으로 나타났는데, 이용자들이 수단을 선택할 때에는 수단 고유의 특성보다는 해당 수단이 제공하는 서비스의 속성 및 수준에 영향을 받는 것으로 나타났다. 스위스에서 이러한 결과가 도출된 사유는 수단에 관계없이 스위스의 대중교통 서비스 수준이 매우 훌륭하기 때문으로 해석하고 있으며, 이와 같은 사례는 대중교통 통합요금체계를 적용하고 있고 대중교통의 질적인 요소가 우수한 우리나라에서 눈여겨 볼만한 것으로 판단된다.

호주(시드니)의 트램 수요분석과 영국(Loughborough University, 2006)의 관련 연구에서는 트램의 각종 속성을 버스와 동일하다고 가정하여 분석을 수행한 바가 있다.

관련 문헌을 검토한 결과 트램이 궤도를 이용함으로써 버스 대비 갖는 우월성인 트램 보너스의 존재 여부는 연구에 따라 다르게 나타났으며, 실제 트램을 분석한 해외 사례에서는 철도가 아닌 버스와 유사한 수단으로 분류하여 분석을 수행하고 있다는 점을 확인할 수 있었다. 각각을 좀 더 상세히 살펴보면 다음과 같다.

□ Analysis of Quantitative Research on Quality Attributes for Tram²⁶⁾

이 연구에서는 타 수단(버스 등 기타) 대비 트램이 가지는 질적인 속성들을 기존의 SP조사 사례들을 통해 종합적으로 검토하고 메타 분석을 수행하였다. 이용자들이 대중교통 수단 선택시 고려하는 주요 항목으로는 안전(safety)과 보안(security)로 나타났으며, 그 외에 신뢰성(reliability), 접근의 용이도, 정류장의 환경 등으로 나타났다. 트램이 버스 대비 수단적인 특성으로 갖는 우위적 가치(트램 보너스)는 약 10.6분, Quality Bus 대비는 약 3.8분의 가치가 있는 것으로 나타났으며 이러한 트램 보너스는 지역별로 큰 편차가 있는 것으로 나타났다.

서비스의 질과 각 수단의 고유특성은 이용자가 수단을 선택함에 있어 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 트램의 수단고유특성(MSC)을 세부요소로 나누어 분석한 연구에서 이러한 수단고유특성은 대부분 시스템의 퍼포먼스 측면과 관계가 있는 것으로 나타났다.

□ To tram or not to tram²⁷⁾

이 연구에서는 트램이 버스 대비 추가적으로 가지고 있는 가치인 트램 보너스를 알아보기 위해 SP 조사를 수행하였다. 트램을 선호하는 주요 이유는 차량 내의 우수한 대기질, 안락함, 통행정보 제공 등으로 나타났다. 수단간 선호에 대한 설문 결과 전체의 39.1%가 트램, 26.5%가 버스를 각각 선호하는 것으로 나타났으며, 두 수단간 선호의 차이가 없다고 응답한 응답자가 34.4%로 가장 높게 나타났다. Logit 모형을 통해 추정된 각 모형별 계수를 토대로 Tram bonus를 산출한 결과 약 3.22분의 가치가 있는 것으로 나타났다.

□ New Generation Transport in Leeds - State Preference Study²⁸⁾

이 연구는 Leeds에 새로운 교통수단을 도입하기 위해 수행된 SP조사와 관련된 연구이다. SP조사 결과를 바탕으로 수단분담모형을 구축하였으며, 상위 evel에서의 승용차와 대중교통의 분담률 보정을 위해 RP자료를 활용하였다. 이용자들은 차량 자체의 특성(버스, 트롤리 버스, 트램 등) 보다는 서비스와 관련된 다른 특성에 의해서 수단 선택이 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 이는 대중교통에 있어 수단선택 모

26) ITS University of Leeds, Analysis of Quantitative Research on Quality Attributes for Tram, 2009

27) Tim Bunschoten, To tram or not to tram, 2012

28) Steer davies gleave, New Generation Transport in Leeds - State Preference Study 2008

형이 수단특정상수(mode-specific constants) 값에 의존하지 않아도 되는 것을 의미한다.

□ Differences in cognition of public transport system²⁹⁾

이 연구는 궤도 교통수단이 동일한 수준의 서비스를 제공하는 버스에 비해 교통수요 측면에서 더 많은 유인력을 가지고 있다는 그 동안의 가정, 즉 Rail factor라는 항목에 대해 살펴보기 위해 스위스에서 진행된 연구이다. 이용자들이 트램을 선호하는 이유로는 궤도가 가장 높게 나타났으며, 궤도를 선택한 세부적인 이유는 신뢰성, 안락성, 안전성 등으로 나타났다. 연구 결과 교통수요 창출 측면에서 Rail factor는 유의하지 않은 것으로 나타났는데, 이는 스위스 내의 대중교통은 수단에 관계없이 일정수준 이상의 높은 서비스 수준을 제공하고 있기 때문으로 판단된다. 다만 이러한 Rail factor는 친환경적인 측면, 도시의 이미지 측면 등에 있어서는 영향을 미칠 수 있을 것이라고 제시되어 있다.

□ Modelling the Return of Sydney's Trams(Veitch Lister Consulting³⁰⁾

이 연구는 시드니에 트램 수단을 도입하기 위해 수행한 조사로, 실제 트램 도입에 따른 수요예측 과정을 제시하고 있다. 4단계 기법을 이용하여 장래 트램의 수요를 예측했으며, 기준연도 정산과정을 통해 경로간 전환을 고려하였고, 장기적으로는 수단 전환 효과를 고려하였다. 트램 네트워크의 주요 가정은 버스와 동일한 것으로 가정하였으며, 민감도 분석을 추가적으로 수행하였다.

□ Croydon Tramlink Impact Study³¹⁾

이 연구는 2000년에 도입된 L=28.2km의 Street running light rail인 Tramlink에 대한 사후 효과를 분석하였다. 동일한 응답자를 상대로 약 3,000개의 Panel 자료를 구축하여 Tramlink 도입 이전 SP자료와 도입 이후 실제 응답자의 행태변화를 살펴보았다. 트램을 이용함에 있어 가장 중요하게 판단되는 요소는 개인의 안전(Personal safety)이 가장 높게 나타났으며, 그 외 통행시간의 신뢰성(Reliability) 등으로 나타났다.

29) Milena Scherer Ohnmacht, Differences in cognition of public transport system:Image and behavior towards urban public transport, 2012

30) Veitch Lister Consulting, 0Modelling the Return of Sydney's Trams, 2014

31) UK TfL, Croydon Tramlink Impact Study, 2002

□ 기타 사례

Neil Chadwick(2014)는 트롤리 버스와 트램의 수단선택 시 수단특성 상수를 살펴본 결과 수단 특성 수단은 양(+)의 값을 갖는 것으로 나타났으나 통계적 유의성은 확보하지 못하였다. Loughborough University(2006)에서는 런던 지역의 고령자와 장애인에 대한 쇼핑 통행의 수단선택 모형을 연구하였으며 트램은 버스와 동일한 수단으로 분류하여 모형을 구축하여 분석한 바 있다.

제4절 신교통수단(트램)의 경제적 효과 관련 연구

1. 부동산 가격변화

교통시설의 건설효과 중 부동산 가격변화와 관련한 해외 연구의 주된 논의는 대중교통 중심의 개발(TOD: Transit-Oriented Development) 관점에서의 교통접근성 향상 및 고밀도의 복합적 토지이용(mixed use of land)에 따른 주택가격과 지가의 변화를 고려한 연구가 다수를 이루고 있다.

TOD는 자가용 승용차 위주의 토지이용 패턴으로 인한 교통문제 해결을 위하여 1980년대 초반에 등장하기 시작하였다. 이 당시의 TOD는 1980년대 도시철도 건설 경기 활성화로 인하여 도시철도역 중심의 도보로 접근 가능한 거리 내에서 고밀도의 복합적 도시개발로 인식되었다. 이러한 TOD는 무분별한 도시의 외연적 확산을 억제하고 승용차 중심의 통행패턴을 대중교통 및 녹색교통 위주의 통행패턴으로 변화시킴으로써 자동차 배출가스로 인한 환경오염을 감소시킨다는 목적을 지니고 있다. 또한 도시계획적인 측면에서 TOD는 도시의 성장을 효율적으로 관리하고 교통계획적인 측면에서는 토지이용을 통하여 교통 수요를 적절히 관리할 수 있는 기법으로 인식된 것이다.

TOD형 도시개발 및 교통 체계를 유도함으로써 일반적으로 지역사회에는 대중교통 이용의 제고, 교통 혼잡 완화, 대기환경 개선 등 환경적 편익을 기대할 수 있고, 지방 정부에는 무분별한 도시의 외연적 확산과 난개발을 억제하면서 기반시설 구축비용의 절감, 역세권 활성화를 통한 지방 세입의 증대 등의 편익을 가져올 수 있다. 이와 관련하여 철도 등의 경제적 가치를 추정하기 위한 방법으로는 특성가격함수(헤도닉; Hedonic)를 이용한 주택가격 및 지가 등의 부동산 가치의 변화를 고려한 추정 연구가 다수를 이루고 있다.

여러 연구자들에 따르면 도시철도의 접근성 향상은 부동산 가격을 상승시킨다고 보고되고 있다. Cervero(1996)³²⁾은 San Francisco Bay Area의 BART(Bay Area Rapid Transit)가 주택임대료에 미치는 효과를 분석하였는데, 콘트라 코스타 카운티 교외의

32) Cervero, R., Transit-Based Housing in the San Francisco Bay Area: Market Profiles and Rent Premiums, 1996

Plea Hill BART 역의 반경 0.25마일 내에 위치한 One Bedroom 아파트의 m²당 가격이 영향권 밖에 위치한 동일 유형 아파트의 임대 가격보다 약 10% 높은 것으로 분석하였다. 그러나 이러한 효과가 BART 전 지역에 분포한다고 볼 수는 없는데, Alameda County 북부 지역, Albany, Elcerrito, Richmond에서는 BART와의 거리가 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 분석되었다.

한편, 철도 시설의 건설과 주택가격 및 지가 등의 부동산 가격 사이에는 양의 상관관계뿐만 아니라 건설기간 중에 발생하는 소음, 교통체증 유발, 안전성, 미학적인 측면에서의 부정적인 효과를 유발할 것이라는 연구 등도 진행되었다.

Al-Mosaind et al(1993)³³⁾은 Oregon주 포틀랜드의 MAX line 500m 이내에 위치한 주택의 가격이 외부 지역보다 10.6% 높은 것으로 나타난 반면에, 역과 바로 인접한 지역의 주택은 철도 소음과 교통 체증 등이 부동산 가격을 하락시키는 성가신 (nuisance effect) 존재로 인식되는 것으로 평가하였다.

또한 Nelson(1992)³⁴⁾은 철도 이용 접근성이 소득 계층에 따라 인식의 차이가 있는 것으로 제시하였다. 저소득 계층이 있는 지역에서는 철도의 접근성 향상에 따른 가치가 철도로 인한 부정적 효과를 상쇄하는 것으로 나타난 반면, 고소득계층에서는 자가 차량 구입 능력이 크기 때문에 직장 및 학교와의 접근성 보다는 소음 및 교통 체증 등의 부정적인 요인에 대한 상대 가치가 더 크기 때문에 거리 접근성은 오히려 부정적인 요인으로 작용하는 것으로 평가하였다.

한편, Diaz(1999)³⁵⁾는 철도와 같은 교통 체계의 개선이 지가와 주택가격 등의 부동산 가격에 미치는 효과는 접근성 향상으로 인해 고용 가능성, 보행 접근성, 시장 개척, 개발효과에 영향을 주기 때문에 이들 요인 등에 의해서 부동산 가격에 변화를 가져오는 것으로 분석하였다. 따라서 철도의 접근성이 고용 가능성, 보행 접근성, 시장 개척, 개발 효과를 유발시키는 상대적인 가치 등이 다르게 영향을 줄 수 있음을 의미하며 이에 따라 지역별·영향권 범위별로 그 효과가 차이를 보인다고 해석할 수 있다.

이와 관련하여 국내에서도 도시철도의 접근성 효과를 확인해 볼 필요가 있다. 외국의 선행 연구와 유사한 방식으로 지하철 접근성과 아파트 가격 사이에 양의 효과를 보이는 것으로 추정된 연구 결과가 다수 있는 것으로 조사되었으며, 최성호·성현곤

33) Al-Mosaind et al, Light Rail Transit Stations and Property Values: A Hedonic Price Approach, 1993

34) Nelson, Effect of elevated heavy-rail transit station on house price with respect to neighborhood income, 1992

35) Diaz, Impacts of Rail Transit on Property Values, 1999

(2011)³⁶⁾에서는 단순한 지하철 접근성뿐만 아니라 지하철이 건설되는 단계별로 접근성이 보다 민감하게 반응하는 것을 제시하였다.

그러나 한편으로는 이러한 헤도닉 함수에 의한 접근을 시도할 경우 다음의 사항들이 우려될 수 있다. 우선, 지하철역이 건설된 이후에 해당 지역 인근의 상권이 상당히 밀집되는 우리나라의 특성상 역세권 개발의 가속으로 인해 지가 및 주택 가격 등의 상승을 가져올 수도 있는데, 이러한 부분을 분리하여 추정하는 것이 용이하지 않다는 점이다. 또한 철도 및 트램 건설 사업에 대한 경제적 편익 추정 시 해당 교통수단 이용 시 통행시간 절감 부분이 이미 편익에 반영되었기 때문에 접근성 향상에 따른 지가 및 주택 가격 변화 요인을 추가로 반영하는 것은 편익 중복 계산에 우려가 존재한다고 평가할 수 있다.

마지막으로 누락변수(Omitted Variable) 문제로 인해 완전한 모형을 구현이 힘들뿐만 아니라 내생성 문제인 일반철도와 도시철도의 이질적 속성, 각 지역별 특성, 시기별 차이 등 다양한 문제가 해결되어야 하므로 철도 건설의 경제적 효과의 유무를 분석하는 것과 다르게 그 편익의 정도를 추정하는 것은 매우 어려운 작업이 될 수 있다.

2. 도시재생효과

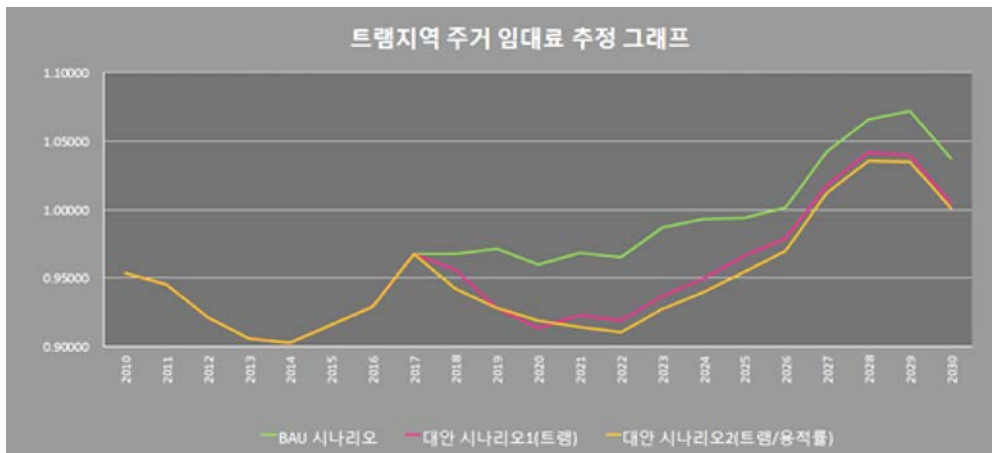
트램 도입시 많이 논의되는 효과 중 하나는 도시재생 효과이며 실제로 프랑스와 같은 경우는 도시계획과 더불어 트램을 도입한 것이 주된 성공요인으로 언급되고 있다. 하지만 트램의 도시재생 효과를 다룬 논문이나 보고서는 많지 않으며, 대부분의 연구 또는 지침에서는 고용증가와 지역경제 활성화 효과를 다루고 있다. SOC 사업의 시행으로 인한 고용증가 및 지역경제 과급효과는 현행 예비타당성조사 분석의 틀 내에서 다루어지고 있는 바, 별도의 추가적인 효과를 현 시점에서 반영하는 것은 관련 연구가 부족하다고 보인다.

또한, 현재의 국내 방법론 및 모델을 이용한 분석결과 또한 부정적인 것으로 나타나 향후 도시재생효과의 반영을 위해서는 많은 관련 연구가 선행된 이후 이에 대한 사회적 논의가 충분해진 시점에서 반영 여부를 판단하여야 할 것으로 보인다. 국토교통부(2016)³⁷⁾의 연구에 따르면 현재까지 구축된 토지이용-교통계획 통합모형을 적용

36) 최성호 외, 지하철 9호선 건설이 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 관한 연구, 2011

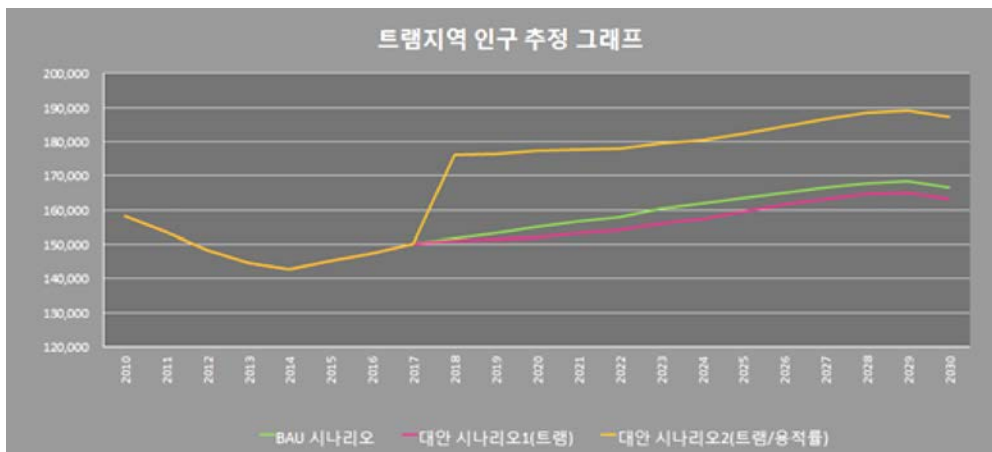
하여 수원시를 사례로 트램 도입에 대한 효과를 분석한 결과 트램이 지나가는 지역의 임대료, 인구수 모두 감소하는 것으로 나타나고 있다.

[그림 III-6] 트램 도입으로 인한 지역내 임대료 변화 추정사례(수원시)



자료: 국토교통부(한국건설기술연구원), 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발, 2016. 7

[그림 III-7] 트램 도입으로 인한 지역내 인구 변화 추정사례(수원시)



자료: 국토교통부(한국건설기술연구원), 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발, 2016. 7

37) 국토교통부(한국건설기술연구원), 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발, 2016

EU의 SINTROPER³⁸⁾ 연구 프로젝트는 유럽의 여러 트램 프로젝트의 사후평가를 통해, 트램이라는 교통수단이 도시개발 효과를 발생시키기 위해서는 통합적인 계획 지표를 제시하는 것이 필수적이라는 결론을 제시하였다. 즉 교통-토지이용계획 통합의 중요성을 강조한 것이다. 특히 도시재생 등 도시계획적 효과를 도모하기 위해서 트램이라는 수단을 도입하는 것은 교통수요 관리, 주차제한, 매력적인 요금부과 전략, 환승시설의 좋은 입지와 환승체계, 잦은 배차간격과 신뢰성 있는 서비스, 통행정보시스템 등 총체적인 패키지 전략이 수반되어야 하며, 우선 개발지역의 선정, 주택 개발, 도시재생 전략, 향상된 고용 접근성에 대한 교육 역시 중요한 요소임을 강조한 바 있다.

Chen(2014)³⁹⁾은 도시재생 측면에서 런던 도클랜드 재개발과 경전철 통합 추진사례, 런던 Jubilee선 연장사업이 노선축을 따라 개발을 활성화하여 주변 지역의 고용과 인구를 증대시킨 점, 크로이든 지역의 트램이 지역 중심에 위치함으로써, 많은 계획과 개발 투자를 불러온 점 등 런던에서만 3개의 도시재생 사례가 있으며, 최초의 현대적 트램으로 유명한 낭트의 경우 낙후된 공업용지가 업무와 공공건물로 바뀌었고 주택사업 인가 요청이 40% 증가하였으며, 시 전체의 약 25%에 달하는 신축 건물이 트램 노선을 따라 형성되어, 트램의 건설이 도시재생을 촉진한다는 사례를 제시하였다. 그는 이와 같은 사례에 근거하여 도시재생 등 지역개발의 측면에서 중요한 것은 전반의 맥락(내부적 사전조건과 외부적 경제 동향), 정부와 관련 조직(조직의 능력, 정치적 리더십, 거버넌스, 협력과 컨설팅), 계획과 운영(노선 구상, 통합 교통망, 서비스 운영)임을 언급하였다.

결국 도시재생 효과는 트램과 같은 교통수단의 도입만으로 이루어지는 것이 아니며, 트램의 도입과 함께 도시가로를 자동차 중심에서 보행자 중심으로 완전히 전환시키고, 이에 따라 개별 경제주체의 활동이 증대되고 장기적으로는 지역의 토지이용이 변화하고 투자를 촉진시켜 고용과 세수, 부동산 가치 등이 증대된다는 일련의 시나리오로 이해된다. 따라서 트램 등 교통수단이 도시재생 측면에서 하나의 활성화 전략으로 사용될 수 있는 전략과 통합적 계획이 무엇보다 중요하다는 것이다.

38) Sustainable Integrated Transport Options for Peripheral European Regions

39) Chen, Spatial Impact of New Public Transport System on Station Neighbourhoods: The cases of Jubilee Line Extension in London, 2014

3. 관광효과

좋은 대중교통시스템(트램, Trolley bus, 경전철)은 거주민뿐만 아니라 관광객에게도 매력적이며 도시의 상징으로 작용한다고 볼 수 있다. 버스 노선은 국내 및 국외 방문객에게 복잡하고 어려운 이미지인 반면, 경전철과 트램 네트워크는 종종 간단하고 보다 신뢰받는 수단으로 인식되기 때문이다. 따라서 여행자들에게 있어서 효율적이고 신뢰할 만한 교통수단의 공급은 도시의 명성을 강화하는 작용을 할 수 있게 된다. 이러한 역할로 인해 멜버른에서는 도시 관광 시그니처 중 하나로 인식되고 있으며 많은 도시에서 경전철 브랜드를 관광 마케팅 전략과 융합하는 시도 등이 진행되고 있다. 관광의 직접효과로 볼 수는 없으나 미국 및 영국의 경전철 시스템에 대한 평가 결과를 보면, 여행 목적의 차량 이용자 중 20%가 경전철을 이용한다는 평가 결과(40)를 감안하였을 때 한 지역의 관광을 위해서도 트램이 유용한 인프라 시스템으로 작용할 수 있다고 보인다.

4. 대중교통 이용의 파급효과(Reducing Car Ownership)

철도 및 트램과 같은 대중교통 수단의 공급으로 인해 유발되는 효과로서 추가로 고려할 만한 편익항목으로는 자가 차량(private car or car ownership) 이용에 대한 저감효과이다. 이와 관련하여 Baum-Snow & Kahn(2000)⁴¹⁾은 철도와 같은 시설의 성능 향상 및 철도 접근성 향상 등이 철도의 이용률을 제고한다는 결과를 제시하였다. 또 하나 주목해야 할 점은 거리와 이용률이 이차함수형(quadratic function form)으로 구성됨에 따라 접근성이 악화될수록 이용률이 저감되지만 상당히 먼 거리에서는 오히려 철도와 같은 대중교통을 더 이용하는 특성이 실증적으로 제시되었다.

또한 Baum-Snow & Kahn(2000)은 도시별 대중교통 이용률에 관한 집계화된(aggregated) 자료 분석뿐만 아니라 마이크로 센서스 자료를 이용하여 인구사회학적인(demographic) 측면에서 대중교통 이용 패턴을 분석하였는데, 여성 및 흑인 그리고 유색 인종의 대중교통 이용률이 더 높다는 것을 제시하였다. 이들의 연구는 미국의 Atlanta, Boston, Chicago, Portland, Washington D.C의 철도와 같은 대중교통 공급이

40) Parsons Brinckerhoff, Gold Coast Light Rail Feasibility Study: Report - Stage A - Needs and Justification Assessment Report, 2004 pES-13.

41) Baum-Snow et al., The effects of new public project to expand urban rail transit, 2000

대중교통수단 이용률에 미치는 연구였다면, Hass-Klau et al(2007)⁴²⁾은 트램과 같은 교통수단 공급을 통해서 Corridor 내(inside)·외(outside)의 가구당 차량 소유의 변화를 제시하였다. Hass-Klau et al(2007)는 프랑스, 영국, 독일의 11개 주요 도시를 대상으로 하였다. Corridor의 600m 이상의 외부지역(Outside)의 경우 차량 보유가 없는 가계(Households with No Car)의 비중이 감소하고 차량을 2대 이상 보유한 가계의 비중(Household with 2+Cars)은 점차 증가하는 추세를 보이고 있는 것으로 나타났다. 그러나 Corridor 반경 600m내의 가구에서는 자가 차량 보유가 600m 외부 지역 보다는 현저히 적지만 프랑스의 Montpellier 지역을 제외하고는 모두 증가하는 추세를 갖고 있어 트램이 공급되더라도 자가 차량에 증가 추세를 지속적으로 억지하지는 못할 것으로 보인다⁴³⁾.

5. 통행시간 신뢰성 향상효과

가. 논의 배경

교통시설 이용자의 통행시간은 동일한 기종점을 갖는 유사통행이라 할지라도 이용자의 통행특성, 차량특성, 교통망 내 운전자의 상호작용, 교통규제, 교통관리시스템, 교통사고, 기상조건 등에 따라 일정한 분포를 가질 수밖에 없으며, 이러한 분포 즉 통행시간의 변동성은 교통망의 공급조건에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 즉 통행시간 신뢰성은 이러한 통행시간 변동성의 크기를 의미하는 것으로 변동성이 적어지면 교통망의 통행시간 신뢰성은 높아진다고 할 수 있다.

미국 TRB의 교통경제위원회(Transportation Economics Committee)는 ‘통행시간 신뢰성’을 ‘통행시간 분포의 분산정도’로 정의하고 있다. 기존의 연구는 3가지 방법으로 통행시간 신뢰성을 측정하여 왔는데, 평균 통행시간과 통행시간 분산(mean-variance)의 관계, 통행일정의 지체(scheduling delays), 평균 연착(mean-lateness) 개념이다.

평균 통행시간과 분산의 관계는 통행자의 기대 통행시간(expected travel time)과 통

42) Hass-Klau et al, The Effect of Public Transport Investment on Car Ownership - The results for 17 Urban Areas in France, Germany, UK 및 North America, 2007

43) 트램의 건설은 트램 접근성이 가능한 지역에서는 자가차량 보다는 트램 등의 대중 교통 이용이 더 선호될 수 있으며 차량 소유를 억제하는 효과로 판단된다. 다만, Hass-Klau et al(2007)에서 제시하지는 않았으나 Baum-Snow & Kahn(2000)의 연구에서 유추할 수 있는 것은 소득 향상 등으로 인해 자가 차량 획득이 보다 용이하다는 점이다. 즉, 전반적으로 소득 향상으로 인해 자가 차량 소유가 높아지는 추세이므로 트램 건설이 자가 차량 보유율을 억지하는 역할을 하나 상쇄하지는 못한다고 평가할 수 있다.

행시간 변동성(travel time variability) 모두를 고려한 최소 통행비용을 고려한다는 개념으로 Jackson and Jucker(1982)⁴⁴⁾에 의해 교통수요 모형에 도입된 개념이다. 이 개념은 비용편익분석에 적용하기에 가장 적합한 방법으로 평가되고 있으며, 한계대체율법 등의 방법으로 통상적인 통행시간 절감편익의 특정 비율로 통행시간 신뢰성 가치를 추정함으로써 얻어질 수 있다. 통행일정의 지체 개념은 통행자의 통행일정 작성 행태에 기초한 것으로 Vickrey(1969)⁴⁵⁾, Gaver(1968)⁴⁶⁾ 등에 의해 소개되었으며, Small(1982)⁴⁷⁾에 의해 체계화된 이론이다. 최근까지 많은 연구가 수행되었으나, 스케줄보다 일찍 도착할 경우의 불편익과 늦게 도착할 경우 불편익을 구분한다는 측면에서 가치화가 어렵다는 단점이 있다.

앞의 두 개념이 승용차 운전자의 통행행태를 고려하였다면 평균연착의 개념은 주로 철도와 같은 대중교통 수단의 신뢰성을 측정하기 위해 고려된 개념이다. 통상 대중교통 운영자는 고정된 스케줄 시간(schedule time)을 갖고 있으나, 실제 여려 현장 상황에 따라 연착되는 경우가 많다. 이렇듯 사전에 정의된 시간표상의 통행시간과 실제 통행시간과 차이의 평균을 신뢰성 지표로 간주하는 개념이 바로 평균 연착의 개념이다. 이 연구는 최근에 이루어진 것으로 Batley and Ibanez(2009)⁴⁸⁾에 의해 소개되었다. 최근의 연구들은 통행시간 분포의 이론적 형상과 주어진 기중점 쌍에 대한 경로들의 통행시간 분포를 결합하는 것에 초점을 두고 있다. 통상 정규분포로 가정된 개별 링크의 통행시간 분포들을 경로로 결합하면 결국 정규분포의 형태로 나타나게 되며, 비대칭적인 log-normal 분포 역시 적용될 수 있다.

최근에는 VDR(Volume-Delay-Reliability) 함수를 추정하여 수요분석에 직접 적용하기도 하는데, 통행시간의 표준편차를 VDF의 한 변수로 추가하여 분석하는 식이다. Vovsha(2009)⁴⁹⁾는 여러 가지 형태의 회귀분석을 통해 통행시간의 표준편차를 변수화하는 모형을 추정하기도 하였다. 이 연구와 유사한 방법론은 현재 뉴질랜드에서 시도된 바 있다(Taylor, 2009). 한편 Franklin(2009)⁵⁰⁾은 기대연착시간(자유통행시간에 대한 비율로 정의)을 표준편차 대신에 사용하기도 하였다.

44) Jackson et al, An Empirical Study of Travel Time Variability and Travel Choice Behavior, 1982

45) Vickrey, Congestion Theory and Transport Investment, 1969

46) Gaver, Headstart Strategies for Combating Congestion, 1968

47) Small, The scheduling of consumer activities: work trips, 1982

48) Batley et al, Randomness in preferences, outcomes and tastes; an application to journey time risk, 2009

49) Vovsha et al, Reliability in Policy-Sensitive Transportation Models: Insights from SHRP 2, 2009

50) Franklin, Modeling Variability as "Expected Lateness", 2009

한편 국내 교통학계에서는 통행시간의 정시성(punctuality)과 신뢰성(reliability)에 대한 개념이 명확하게 정립되어 있지 않은데, 장수는 외(2008)에 따르면 개인교통수단은 정시성이란 개념이 성립되기 어렵고 통행시간의 불확실성 및 가변성 등으로 설명할 수 있는 것으로 밝히고 있다. 또한 만성적인 지체는 통행자가 사전에 인지하고 있는 비용인 반면에 신뢰성과 관련된 지체는 돌발상황 등의 예기치 못한 상황에 의해 초래되는 교통시설의 용량 감소로 나타나는 우연적 지체를 제시하고 있다.

이렇듯 통행시간 신뢰성 가치(편익)는 교통시설 투자사업(신설 및 개량 포함)에서 도로 및 철도 이용자에게 발생한다는 것이 국내·외 연구와 지침 등의 사례에서 확인된다. 도로 확충사업에서는 도로의 신설 및 개량에 따라 사업 미시행시 통행자들이 경험하던 비신뢰성이 개선되며, 철도 이용자 중 도로로의 전환 수요가 발생할 경우 신뢰성 개선 편익 또는 부(-)의 편익이 발생한다. 철도 확충사업에서는 철도의 신설 및 개량으로 도로 이용자에게는 철도로의 수단 전환에 따른 도로 이용 수요의 감소로 신뢰성이 개선된다. 또한 도로에서 철도로 전환하는 철도이용자에게는 사업 미시행시 경험하고 있던 도로의 통행시간 신뢰성과 수단 전환 시 기대할 수 있는 철도의 통행시간 신뢰성의 차이로 편익이 발생한다.

나. 각국의 적용 현황⁵¹⁾

1) 호주와 뉴질랜드

호주와 뉴질랜드 양국은 통행시간의 표준편차를 신뢰성의 평가척도로 정하고 있으며 비용편익 분석에 포함하고 있다. 호주의 국가지침은 통행시간가치에 표준편차를 곱하여 통행시간 신뢰성 가치를 산정토록 하고 있으며, 이는 뉴질랜드의 교통평가지침을 인용하고 있다. 승용차의 경우 약 1.3배의 신뢰성 비율을 적용하고 있으며, 대중교통의 경우 “기대치 못한 대기시간”을 계량화하고 있다. 이 가치는 차내통행시간 대비 3배의 가중치를 갖는다. 뉴질랜드의 경제성분석 지침은 통행시간의 표준편차를 추정하는 산정식을 제시하고 있으며, V/C 수준별로 추정된다. 이 추정곡선의 중심점은 V/C가 1.0일 경우에 맞춰 산정된다. 수단별로 살펴보면, 승용차의 경우 0.8, 화물차는 1.2를 적용하며 도시내 교통에 대해서는 0.9를 적용한다.

51) <http://bca.transportationeconomics.org/> 사이트의 Reliability and BCA 부분을 정리 발췌하였다.

2) 프랑스

2007년에 발간된 비용편익분석 지침에서는 통행시간 신뢰성 가치를 편익항목으로 특정하지는 않고 있으나, 그 필요성은 증대되고 있다. 2004년 중앙 도로 및 교량 위원회는 교통관리전략 사업에 대해 비용편익분석을 시행할 것을 권고하였으며, 이후 관련 연구들이 제시되고 있다. Delache(2009)는 기대하지 않은 지체에 대한 통행시간 가치를 측정하여 버퍼시간(여유시간)으로 정의하였다. 그 버퍼는 통행시간 가치의 2배~20배로 보고된 바 있으며, STIF(2000)는 대중교통의 지체시간에 통행시간 가치의 6배에 달하는 가중치를 부여하고 있다.

3) 일본

일본에서는 고속도로 사업의 비용편익분석에 적용할 수 있는 통행시간 신뢰성 측정 방법론에 대한 연구를 수행하였으며, “safety margin” 기법을 적용하고 있다. 이 개념은 운전자의 정시도착을 위해 안전한 여유시간을 95백분위수로 정하고 있다. 즉, $Safety\ Margin = Travel\ Time \times Coefficient\ of\ Variation \times Z_{95th}$ 로 정의된다(Fukuda, 2009). 그러나 Fukuda(2009)는 이 방법론이 모든 통행자의 행태를 대변하기 어렵고, 신뢰성 가치가 추정된 safety margin에 따라 결정된다는 한계가 있음을 지적하였고, 이후 Fogerau-Karlström(2009) 모형을 적용하여 지역간 고속도로 데이터를 토대로 통행시간 신뢰성 가치 대비 0.966배의 신뢰성 가치를 추정한 바 있다.

4) 네덜란드

Van der Waard(2009)는 신뢰성은 통행시간 또는 통행시간 기대값의 변화에 의해 개선될 수 있으며, 스케줄 함수나 통행시간 분포의 표준편차에 의해 측정될 수 있다고 제시한 바 있다. 2020년 전략적 모빌리티 정책 문서(The 2020 Dutch Strategic Mobility Policy Document)는 신뢰성에 대한 계량적 목표수준을 제시하고 있다. 예를 들어 통행자가 침두시간에 자신의 기대통행시간의 95백분위수 이내에 통행을 할 수 있어야 하며, 비침두시간에는 1.5배를 넘지 않아야 한다는 등이다. 최근 네덜란드는 2005년 전문가 회의를 통해 통행시간의 표준편차를 비용편익 분석의 한 지표로 포함시킬 것을 결정하는 등 통행시간 신뢰성 가치를 비용편익 분석에 적용하기 시작했다.

5) 스웨덴

Eliasson(2009)은 지체를 겪음으로써 나타나는 불확실한 통행시간은 통행비용에 추가되는 비용이며, 이용자가 출발시간을 선택할 때에 완충시간을 필요로 하기 때문에 통행시간 신뢰성 항목을 비용편익 분석에 반드시 포함시켜야 한다고 주장하였다. 실제로 2006년 스톡홀름에 적용된 혼잡통행료는 대기행렬에서 지체되는 통행시간의 30~50퍼센트를 감축시켰으며, 통행시간의 변동성도 저감시켰다는 실증적 논거가 존재한다. Eliasson(2009)은 통행배정 결과는 혼잡도가 높은 경우 통행배정 결과로 얻어진 통행시간의 표준편차는 낮게 추정됨을 지적한 바 있다. 한편 장거리 철도에 대해서는 실제 통행시간과 계획된(스케줄 상의) 통행시간과의 차이를 신뢰성으로 분석토록 하고 있다. 실무적으로 이러한 지체는 차내 통행시간의 2배의 가치를 부여하고 있으나, Börjesson and Eliasson(2009)은 이보다 높은 값인 3배~4배를 적용해야 한다고 주장하기도 하였다.

6) 영국

영국은 통행시간 신뢰성가치를 평가가 가능한 실증항목으로 분류하고는 있으나, 화폐가치화 하고 있지는 않다. 영국의 분석지침(WebTAG)은 도로의 경우 통행시간의 표준편차를, 대중교통의 경우 계획된 도착시간 대비 평균 지연시간으로 정의하고 있다. 도로의 경우 통행시간의 표준편차에 대한 가치를 통행시간 가치 대비 0.8로 제시하고 있으며, 대중교통의 신뢰성가치는 통행시간가치의 3배를 제시하고 있다. 특히 철도사업에 대해서는 비용편익 분석에 포함시키고 있으나, 도로사업에 대해서는 적용하고 있지 않다.

다. 국내 지침 및 연구

1) 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구⁵²⁾

장수은 외(2008)는 통행시간 신뢰성(travel time reliability)은 정시성(punctuality) 등의 명칭으로 철도교통의 대표적인 편익으로 인식되어 왔으나 계량화 방법론이 정립되어 있지 않아 (예비)타당성조사에서 고려하고 있지 못하던 항목임을 강조하면서,

52) 장수은 외, 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제26권 제5호, 2008

통행시간의 신뢰성을 통행시간의 불확실성이나 가변성과 관련하여 정의하고 통행시간 절감과 관련된 지체(delay)와 신뢰성과 관련된 지체를 구분할 필요가 있음을 제시하였다. 즉, 통행시간 절감과 관련된 지체는 혼잡 등에 의한 만성적 지체(recurrent delay)로서 일상생활에서 비교적 안정적으로 나타나므로(day-to-day delay) 통행자가 사전에 인지하고 있는 비용인 반면, 신뢰성과 관련된 지체는 돌발상황(incident) 등의 예기치 못한 상황에 의해 초래되는 교통시설의 용량 감소로 나타나는 우연적 지체(non-recurrent delay)로서 통행자가 사전에 인지하지 못하는 비용(Bremmer et al., 2004; Cambridge Systematics Inc. et al., 2003)이라는 것이다. 여기서 우연적 지체의 원인으로는 돌발상황(incidents), 작업구간(work zones), 날씨(weather), 수요변동(fluctuation in demand), 이벤트(special events), 교통운영시설(traffic control devices), 기본용량 부족(inadequate base capacity) 등의 7가지를 제시하고 있다.

통행시간 신뢰성 지표를 검토함에 있어, 선행 연구를 통계적 영역(이른바 표준편차 등)과 완충시간(buffer time), 지각통행(tardy trip)의 세 가지로 분류하여 고찰하였으며, 다음과 같은 쟁점을 제시하였다. 첫째, 평균 통행시간 보다 먼저 도착한 영역을 고려할 것인지에 대한 여부, 둘째, 불확실성 판단의 객관적 임계점 설정 부분, 셋째, 실제 통행시간 분포에 대한 검토 부분이다. 첫 번째 쟁점인 평균 통행시간 보다 먼저 도착할 경우의 통행시간은 신뢰성 편익의 보수적 계량화와 중복추정 배제를 위해 신뢰성 가치 영역에 포함하지 않았고, 두 번째 쟁점인 불확실성 판단의 기준은 계획 통행시간과 실제 통행시간과의 차이로 규정하였다. 세 번째 쟁점에 대해서는 로그정규분포(log-normal distribution)로 설정하였다.

철도부문의 신뢰성 지표는 ‘편성 시간표 대비 지연된 시간과 동일한 개념으로 설정하였다. 특히 대부분의 이용자들이 운행스케줄 전체 정보를 인지하는 지역간 철도의 경우는 통행시간의 차이로, 그렇지 못한 도시부 철도는 운전시격(headway)을 신뢰성 지표 산정의 척도로 구분하여 설정한 것이 특징적이다. 또한 철도의 지연시간은 이용 수요와는 독립적인 관계로 설정하여 상수로 가정한 점 역시 특징적이며, 지역간 철도는 고속철도와 일반철도로, 도시부 철도는 침두시와 비침두시로 분류하여, km당 지연시간과 km당 운전시격 지연시간을 제시하였다.

<표 III-15> 지역간 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위

(단위: 초/km)

구분		원단위	조사대상 시종착역
고속철도	경부선	0.375	서울, 대전, 동대구, 부산
	호남선	0.160	용산, 광주, 목포
	평균	0.268	-
일반철도	경부선	0.301	서울, 대전, 동대구, 부산
	호남선	0.202	용산, 서대전, 익산, 광주, 목포
	중앙선	0.650	청량리, 제천, 안동
	평균	0.384	-

자료: 장수은 외, 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제26권 제5호, 2008

<표 III-16> 도시부 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위

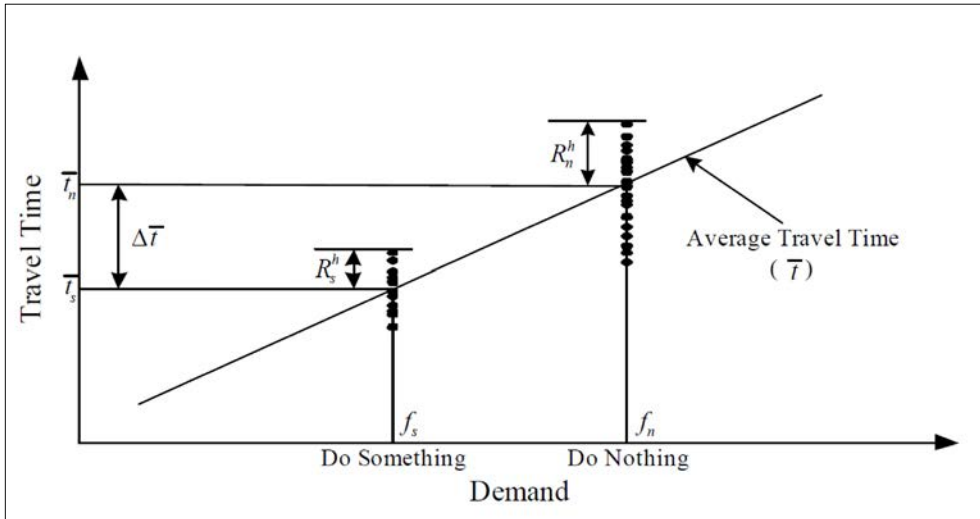
(단위: 초/km)

구분		원단위
첨두	부산3호선	3.115
	대구2호선	1.784
	평균	2.450
비첨두	부산3호선	2.749
	대구2호선	1.560
	평균	2.155
평균		2.303

자료: 장수은 외, 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제26권 제5호, 2008

한편 도로부문의 경우 개별차량 데이터를 이용하여 지역간 연속류, 도시부 연속류 및 단속류의 3가지 유형에 대해 통행시간 분포를 추정하고 추정된 통행시간 분포에 따라 신뢰성 지표를 구축하였다. 도로의 경우 계획 통행시간을 정의하기 어려우므로, 실제 통행시간은 각 통행시간분포의 평균값으로 정의하며, 계획 통행시간은 각 통행시간 분포들의 평균분포에서의 평균값으로 정의하였다. 통행시간의 신뢰성 지표는 교통량 수준별로 추정되는데, 개념도는 다음과 같다.

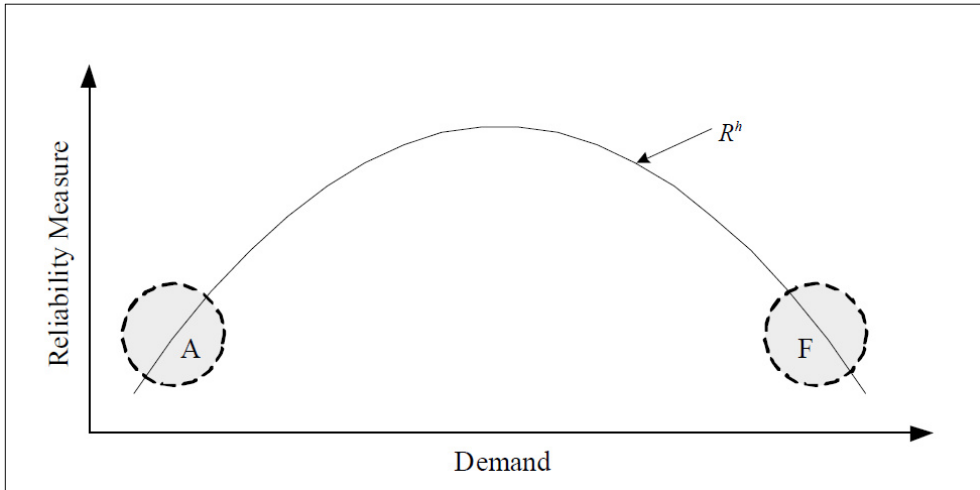
[그림 III-8] 교통량 수준별 통행시간 신뢰성 변화 개념도



자료: 장수은 외, 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제26권 제5호, 2008

도로의 신뢰성 지표 추정에서 주목할 점은 교통량 규모와 신뢰성 지표 간의 관계가 단순비례하지 않는다는 점이다. 개별 차량의 통행시간 분포는 도로의 서비스 수준과 깊은 연관이 있어 LOS가 매우 높거나 낮아(예컨대 A 또는 F) 교통류의 차두간격(headway)이 상대적으로 균일하게 나타날 경우, 우연적 지체의 원인에 대한 개별 차량의 대응 편차는 크지 않을 것이므로 통행시간 분포는 좁게 형성되고, 반대로 LOS가 중간 수준일 경우 교통류의 차두간격이 비균일적으로 나타난다는 것이다. 이를 종합하면 교통량과 신뢰성 지표간의 관계는 음의 포물선 형태가 된다. 즉 교통량 수준에 따라 일정 수준까지는 교통량이 증가할수록 신뢰성 지표값(불확실성)이 증가하나 일정 수준 이상으로 증가할 경우 혼잡에 따른 차두간격의 균일화로 신뢰성 지표값은 하락한다는 개념이다. 이를 도식화한 개념도는 다음과 같다.

[그림 III-9] 도로의 통행시간 신뢰성 지표 개념도



자료: 장수은 외, 통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제26권 제5호, 2008

2) 국토교통부 교통시설 투자평가지침

국토교통부(2014)는 철도투자에 따른 편익항목으로 통행시간 신뢰성 편익을 제시하고 있다. 대부분의 내용들은 앞서 고찰한 장수은 외(2008)의 연구결과를 차용하고 있다. 하지만, 도로부문의 경우 개념만 정립하고 있고, 세부적인 분석방법론은 제시되어 있지 않음에 따라 국토부의 지침은 철도사업 중에서도 수단전환 이용자의 신뢰성 개선은 구체화 하고 있지 못한 셈이다. 통행시간 신뢰성은 대중교통수단 및 개인교통수단의 통행시간 정시성과 신뢰성을 모두 포함하는 개념으로 정의하며, 통행시간 신뢰성 편익 구분을 다음과 같이 규정하고 있다.

- ① 통행시간 신뢰성 편익을 계량화하기 위해서는 통행시간 신뢰성을 측정할 수 있는 ‘신뢰성 지표’와 이를 화폐가치화 하는 ‘신뢰성 가치’를 산정해야 한다.
- ② 신뢰성 지표는 도로와 철도로, 신뢰성 가치는 통행시간 가치와의 일관성을 확보 한다는 측면에서 업무와 비업무로 구분한다.

보수적 계량화와 중복산정 배제를 위해 계획 통행시간 보다 더 늦게 도착한 통행 규모로 통행시간의 불확실성을 측정하며, 통행시간 불확실성은 계획 통행시간과 실

제 통행시간의 차이로 산정한다. 철도 이용자의 계획 통행시간은 기종점 간 편성시간 표로, 실제 통행시간은 기종점 간 실제 도착시간으로 정의한다. 신뢰성 가치는 한계 대체율법을 통해 산정된 소비자 지불용의액으로, 철도투자평가편람 전면개정 연구(철도시설공단 등, 2010)에서 조사된 값을 제시하고 있다. 결론적으로, 통행시간 신뢰성 편익은 사업시행시와 미시행시의 도로와 철도 이용자의 통행시간 신뢰성 비용을 계산하고, 총신뢰성 비용의 절감분을 편익으로 계상하며 아래 식과 같이 산정된다.

$$TRCS = TRC_{\text{미시행}} - TRC_{\text{시행}}$$

$$s.t. TRCS = TRC_h - TRC_r$$

여기서, $TRCS$: 통행시간 신뢰성 편익(travel time reliability cost savings)

TRC : 통행시간 신뢰성 비용(travel time reliability costs)

h, r : 도로, 철도

국토교통부의 지침에서 제시하고 있는 신뢰성 가치는 다음과 같이, 지역간 통행의 업무통행은 통행시간가치의 0.77배, 비업무통행은 0.82배이며, 도시부의 경우 각각 1.03배와 0.84배를 제시하고 있다.

<표 III-17> 지역간 통행의 통행시간 신뢰성 원단위

구분	업무통행(원/인-시)	비업무통행(원/인-시)
$VOT(A)$	11,173	3,555
$VOR(B)$	8,659	2,906
B/A	0.77	0.82

주: 소비자물가지수를 이용하여 2011년 가치로 환산함
자료: 철도투자평가편람 전면개정 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, 2010

<표 III-18> 도시부 통행의 통행시간 신뢰성 원단위

구분	업무통행(원/인-시)	비업무통행(원/인-시)
$VOT(A)$	18,846	11,153
$VOR(B)$	19,476	9,319
B/A	1.03	0.84

주: 소비자물가지수를 이용하여 2011년 가치로 환산함
자료: 철도투자평가편람 전면개정 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, 2010

철도수단의 통행시간 신뢰성 비용은 다음과 같이 계산된다. 이 식을 바탕으로 침두 및 비침두의 지속시간 및 비중을 고려하여 1일 편익을 산정하고, 여기에 365를 곱하여 연간 통행시간 신뢰성 편익을 산정한다.

$$VOR_r = \sum_l \sum_{k=1}^3 \left\{ \left(\frac{1}{3,600} \cdot R_l^k \right) \times P^k \times D_l \cdot Q_l^k \right\}$$

R_l^k = 링크 l 의 열차등급 k 의 통행시간 신뢰성 지표(초/km)
 P^k = 열차등급 k 의 통행시간 신뢰성 가치(원/인 · 시)
 D_l = 링크 l 의 길이(km)
 Q_l^k = 링크 l 의 열차등급 k 의 교통량(인/시)
 k = 차종(1: 고속철도, 2: 일반철도, 3: 광역/도시철도)

그러나 국토교통부의 지침은 철도수단에 대해서만 산정 방법론이 구체적으로 제시되었을 뿐, 도로수단 이용자의 신뢰성 가치 산정방법론은 구체적으로 제시하고 있지 않다. 결론적으로 철도사업이 시행될 경우 이용자의 수단 전환으로 인해 도로이용자는 감소하고 철도이용자는 증가하게 되는 바, 교통시스템 전체에 대한 신뢰성 편익의 변화 분을 측정하기에는 미흡한 내용으로 판단된다.

라. 시사점

국내외의 지침과 연구들을 살펴보았을 때 통행시간의 신뢰성 또는 교통망의 신뢰성을 교통시설의 투자평가과정, 즉 비용편익분석에 적용되기 위한 관점에서 보면, 통상적인 통행시간 절감편익이 담보하지 못하는 우연적 상황, 즉 사고와 같이 예기치 못한 돌발상황, 작업, 기상변화, 예기치 못한 수요의 집중 등으로 인한 지체의 감소를 편익으로 계량화하기 위한 것이다. 투자평가를 위한 교통수요 분석 과정이 정적 통행배정(static traffic assignment)에 의한 거시적인 교통수요 모형을 통해 이루어진다는 점을 감안했을 때, 이용자가 예기치 못한 상황에 따른 기대 통행시간(계획 통행시간)의 초과분이 발생할 확률을 교통시설의 투자를 통해 감소시킬 수 있다는 점과 여러 사례에서 편익으로 간주하고 있는 점 등을 감안할 때 편익 항목으로의 반영하기 위한 검토 필요성이 존재한다.

다만 기존의 방법론은 여러 가지 한계점을 내포하고 있다. 우선 신뢰성 지표(불확실성 지표) 측면에서 보면, 투자평가를 위해서는 이용수요의 규모와 신뢰성 지표와의

관계가 모호한 측면이 있다. 교통시설의 투자를 통한 시설용량의 확충이 통행의 불확실성을 감소시킨다는 논거는 인정되나, 혼잡도 수준에 따른 불확실성의 변동이 어떻게 나타나는지에 대한 실증적 논거와 연구가 불충분하다. 장수는 외(2008)의 연구는 도로이용자의 미시적 추종이론(car following theory)에 의해 혼잡도가 일정 수준 이상이 되면 불확실성이 오히려 감소함을 지적하고 있으나, 사고발생 확률, 기본용량의 부족이나 특정구간, 특정시간대의 교통수요 과집중 등에 따른 교통류 왜해, 통행시간의 급증 현상 등은 교통수요의 규모와 분명한 관계가 있을 것이다.

이러한 불확실성을 유발하는 요인들의 경중이 어떠한지에 대한 통계적인 분석의 선결이 요구되는 지점이다. 전술한 바와 같이 거시적인 교통수요모형은 미시적인 교통류 현상을 모형화하지 못하므로 교통량(traffic volume)과 교통수요(travel demand)의 차이를 분명히 하고 이를 구체화하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

철도의 경우 차내 혼잡도와 연착 및 지연 간에 관계성이 높지 않으나, 노선의 용량은 연착에 영향을 줄 수 있는 요소로 판단되는 바, 연착의 주요 요인에 대한 분석의 선결이 필요할 것으로 판단된다. 즉 투자평가를 위해서는 교통망의 수준, 용량의 변화와 불확실성의 관계 정립이 필요하다는 점이다. 현재까지의 국내 연구는 철도수단의 종별, 시간대별(침두와 비침두) 평균 지연시간 정도를 제시하고 있어, 이용자의 경로선택에 따라 신뢰성 가치는 사업의 시행과 무관하게 증가할 수도, 오히려 감소할 수도 있는 구조로 되어 있다.

한편 본 연구의 대상인 신교통수단(트램)에 대한 신뢰성 가치의 적용을 위해서는 보다 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다. 트램의 경우 독립된 통행로(right-of-way)를 확보하는 경우라 하더라도, 신호교차로의 영향이 있으므로 도로교통량, 보행횡단 교통량, 우선신호체계 등에 영향을 받을 것이 분명하나, 공로를 공유하는 시내버스보다는 정시성 측면에서 유리한 점도 있다. 이러한 점을 감안하면 트램과 BRT 등은 별도의 신뢰성 평가 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

종합하면 신뢰성 가치편익은 그 필요성은 인정되나 비용편익 분석에 적용되기 위해서는 보다 심도 있는 연구들이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

6. 대중교통 차량 내 혼잡도 완화효과

우리나라 대도시권의 지하철과 광역버스 등 대중교통의 혼잡도는 매우 높은 수준이다. 서울지하철 9호선의 경우 염창~당산 구간의 출근시간 혼잡도는 234%로, 열차 한 칸에 약 360명이 타는 수준이며, 이는 정원의 2배가 넘는 것이다. 한편 이러한 차량 내 혼잡도는 도심뿐만 아니라 경기도 등 수도권 외곽에서 서울로 진입하는 광역버스에서도 발생하고 있다. 승객들은 이러한 차량의 혼잡도 증가에 따라 불쾌감, 불안감 등의 비효율을 겪게 된다.

예비타당성조사의 교통수요 추정 과정을 살펴보면 공급의 증가 혹은 수요의 감소에 따른 이용자의 편익증가는 개인교통과 대중교통에서 서로 다르게 나타난다. 도로에서는 용량 대비 교통량 비율(V/C)이 감소함에 따라 차량의 속도가 증가하게 되고 감소된 통행시간에 의해 편익이 발생하게 된다. 하지만 운행시격과 통행시간이 거의 일정한 대중교통의 경우 공급의 증가나 수요의 감소가 통행시간보다는 차량 내 승객수의 변화에 영향을 미친다고 볼 수 있으며, 이러한 부분에 대한 편익은 반영하지 못하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 대중교통 차량 내 혼잡도 완화에 따른 국내의 연구를 살펴보고 이에 대한 적용방안을 검토한다.

대중교통이 차량 내 혼잡도 완화에 따른 편익을 추정하기 위한 연구는 해외에서 다양하게 진행되고 있다. Zheng Li, David A. Hensher(2011)⁵³⁾은 혼잡도 완화와 관련해 영국, 미국, 호주, 이스라엘 등에서 수행된 대중교통의 차내 혼잡 가치에 관한 연구 사례를 정리하였다. 대부분의 연구에서는 SP자료와 Logit model을 적용하였으며, RP 자료를 활용한 연구는 거의 없는 것으로 나타났다. 수단별로 살펴보면 열차 이외에 버스, 경전철, 지하철 등 다양한 수단에 대한 연구가 있었으며, 차량 내부 외에도 역사, 플랫폼, 접근경로 등 다양한 분야에서 연구가 진행된 바가 있다. Zheng Li, David A. Hensher(2011)에 따르면 VOC(Value of crowding)는 크게 3가지 방법을 이용하여 추정되고 있다. 첫 번째는 ‘Time multiplier’로, 혼잡도에 따라 통행시간에 추가적인 비율을 적용하는 방법이며, 두 번째는 ‘Monetary value per minute’로 혼잡도에 따른 단위 통행시간 당 비용을 적용하는 방법이다. 마지막으로 세 번째는 ‘Monetary value per trip’으로 통근통행 등 반복적인 통행에서 발생하는 개념으로, 착



53) Crowding and public transport: A review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal(Zheng Li, David A. Hensher, 2011)

석할 수 있는 확률 등으로 표현된다.

대부분의 연구에서 SP조사를 수행하였으므로 혼잡도를 설문 응답자에게 표현하는 방법 또한 다양한 것으로 나타났다. Wardman and Whelan(2011)⁵⁴⁾는 SP 설문지 작성 시 혼잡의 정도를 제시하는 방법으로는 밀도(인/m²)가 혼잡도(%)보다 적합한 것으로 제시하였는데, 이는 혼잡도(%)가 같더라도 차량의 타입 등에 따라 좌석과 입석의 면적 등이 변경될 수 있기 때문이라고 하였다. 또한 설문지의 대안을 표현하는 방법은 일정면적에 사람 수(밀도)를 그림으로 표현하는 방법, 차량의 전체적인 혼잡정도를 평면도로 나타내는 방법, 문장으로 나타내는 방법, 사진으로 나타내는 방법 등이 있는 것으로 나타났다.







대부분의 연구에서 통행시간, 통행비용, 혼잡도 등의 속성을 조합하여 제시된 대안 중 하나를 선택하는 CE방법으로 조사가 수행되었으며, 이러한 변수 외에도 열차의 유형(train type), 차두시간(headway), 정시성(punctuality) 등을 추가로 제시한 경우도 있었다.

<표 III-19> 혼잡도 가치측정을 위한 SP 설문조사지 구성 사례

연구	설문지 형태	
VTI(2015)	Alternative A	Alternative B
	The travel time within your main mode is 5 minutes	The travel time within your main mode is 9 minutes
	The price of the one-way trip is 44 kronor	The price of the one-way trip is 44 kronor
	You are standing during the whole trip within your main mode	You are seating during the whole trip within your main mode
	The picture illustrate the view around you in the vehicle 	The picture illustrate the view around you in the vehicle 
<input type="checkbox"/> I choose alternative A <input type="checkbox"/> I choose alternative B <input type="checkbox"/> I choose neither of the alternatives <input type="checkbox"/> I am indifferent between the alternatives		

54) Wardman et al, Twenty years of rail crowding valuation studies: Evidence and lessons from British experience, 2011

<표 III-19>의 계속

연구	설문지 형태																								
Whelan and Crockett(2009) ⁵⁵⁾	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Train A</p> <p>The journey time is 43 minutes The fare is £3.10 (one-way) Sit in the following conditions</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Train B</p> <p>The journey time is 29 minutes The fare is £3.75 (one-way) Sit in the following conditions</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">Which train do you prefer? (Please tick one box only)</p> <p style="text-align: center;">Strongly prefer A Prefer A Prefer B Strongly prefer B</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </p>																								
Lu et al.(2008) ⁵⁶⁾	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">CHOICE 7</th> <th style="text-align: left;">Option A</th> <th style="text-align: left;">Option B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Train type</td> <td>Super sprinters</td> <td>Pacers</td> </tr> <tr> <td>Journey time (min)</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Single fare (£)</td> <td>2</td> <td>1.80</td> </tr> <tr> <td>Frequency</td> <td>Every 20 min</td> <td>Every 10 min</td> </tr> <tr> <td>Punctuality</td> <td>2 out of 5 times delay for 10 min</td> <td>Always on time</td> </tr> <tr> <td>Crowding</td> <td>Enough seats</td> <td>2 out of 5 times stand for whole journey</td> </tr> <tr> <td>Preference</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	CHOICE 7	Option A	Option B	Train type	Super sprinters	Pacers	Journey time (min)	20	30	Single fare (£)	2	1.80	Frequency	Every 20 min	Every 10 min	Punctuality	2 out of 5 times delay for 10 min	Always on time	Crowding	Enough seats	2 out of 5 times stand for whole journey	Preference	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHOICE 7	Option A	Option B																							
Train type	Super sprinters	Pacers																							
Journey time (min)	20	30																							
Single fare (£)	2	1.80																							
Frequency	Every 20 min	Every 10 min																							
Punctuality	2 out of 5 times delay for 10 min	Always on time																							
Crowding	Enough seats	2 out of 5 times stand for whole journey																							
Preference	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
Douglas and Karpouzis(2006) ⁵⁷⁾	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>A</p> <p>on train for 26 mins Stand for 10 mins</p>  <p>then get a crowded seat</p> <hr/> <p>Wait 8 mins for train</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>B</p> <p>on train for 34 mins Get an Uncrowded Seat</p>  <hr/> <p>Wait 6 mins for train</p>  </div> </div>																								

가. 프랑스의 혼잡도 반영기준⁵⁸⁾

혼잡도 항목을 편익으로 적용하기 위해 프랑스에서 진행된 연구로, 인터넷을 통한 3,000개의 SP 응답자료를 바탕으로 혼잡도 완화에 따른 가치를 추정하였다. 설문은 이용자의 특성에 따라 혼잡에 대한 반응이 다를 수 있는 점을 감안하여 4가지 그룹으

55) Whelan et al, An Investigation of the Willingness to pay to Reduce Rail Overcrowding, 2009

56) Lu et al, Amending the incentive for strategic bias in Stated Preference Studies: Case Study in Users' Valuation of Rolling Stock, 2008

57) Douglas et al, Estimating the Passenger Cost of Tran Overcrowding, 2006

58) OECD, On the value of crowding in public transport for Ile-de- France, 2013

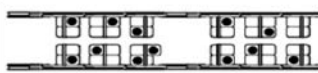
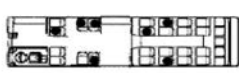
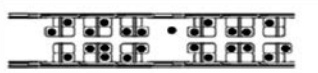
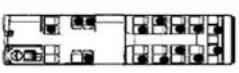
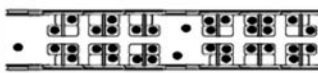

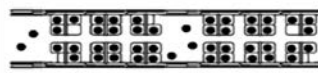
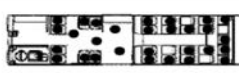


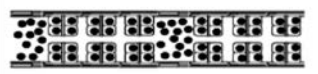

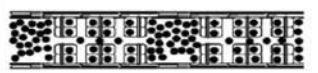

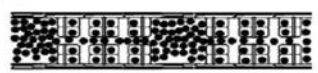

로 구분하였으며, 혼잡도는 총 8가지로 구분하였다.

<표 III-20> 혼잡에 대한 반응별 타입 구분

구분	내용	비율
Type1	Fearing closeness of other passengers	34%
Type2	Enjoying a time of their own	23%
Type3	Wanting to save time	18%
Type4	Acting as individualists	25%

자료 : OECD, On the value of crowding in public transport for Ile-de- France, 2013

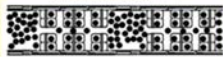
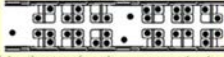
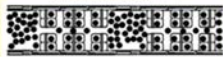
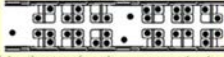
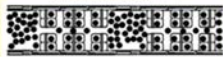
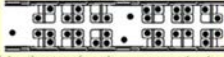
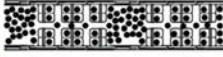

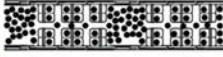

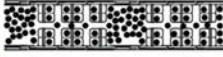

[그림 III-10] 혼잡도 구분 및 표현

Level	Number of passengers (% of total number of seats)	Metro, train, RER, tram	Bus
1	25%		
2	50%		
3	75%		
4	100%		
5	125%		
6	150%		
7	200%		
8	250%		

자료 : OECD, On the value of crowding in public transport for Ile-de- France, 2013

SP 설문조사 과정에서 발생할 수 있는 bias를 제거하기 위해 설문은 2단계에 걸쳐 수행하였다. 첫 번째 설문조사는 혼잡한 이번 차량과 덜 혼잡한 다음 차량 중 어떠한 차량을 선택할지, 두 번째 설문조사는 혼잡도와 비용, 통행시간이 서로 다른 두 차량 중 어떠한 차량을 선택할지에 대한 설문조사이다.

<표 III-21> SP 설문조사의 대안 구성

구분	내용												
SP1	혼잡한 이번 차량	덜 혼잡한 다음 차량 선택											
	<p>Pensez à votre déplacement de Tolbiac à Châtelet. Si vous étiez sur le quai et que vous avez le choix entre un métro qui part tout de suite ou un métro qui est prévu dans 2 minutes, lequel choisiriez-vous ?</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tout de suite</th> <th>Prévu dans 2 minutes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <p>Affluence dans le véhicule</p>  <p>100 % des sièges occupés, des voyageurs debout autour des portes et partout dans le véhicule</p> </td> <td> <p>Affluence dans le véhicule</p>  <p>75 % des sièges occupés, quelques voyageurs autour des portes</p> </td> </tr> </tbody> </table>		Tout de suite	Prévu dans 2 minutes	<p>Affluence dans le véhicule</p>  <p>100 % des sièges occupés, des voyageurs debout autour des portes et partout dans le véhicule</p>	<p>Affluence dans le véhicule</p>  <p>75 % des sièges occupés, quelques voyageurs autour des portes</p>							
Tout de suite	Prévu dans 2 minutes												
<p>Affluence dans le véhicule</p>  <p>100 % des sièges occupés, des voyageurs debout autour des portes et partout dans le véhicule</p>	<p>Affluence dans le véhicule</p>  <p>75 % des sièges occupés, quelques voyageurs autour des portes</p>												
SP2	혼잡하고 시간이 짧으나 앉을 가능성이 낮은 차량	덜 혼잡하고 시간이 오래 걸리나 앉을 가능성이 높은 차량											
	<p>Pensez à votre déplacement de Tolbiac à Châtelet. Imaginez que vous ayez le choix entre les deux conditions de déplacement décrites ci-dessous. Dans laquelle de ces deux conditions de durée, d'affluence et de position préférez-vous effectuer votre déplacement ? On suppose que la durée totale du trajet, le niveau d'affluence et votre position ne changeront pas pendant tout le trajet.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Métro voie 1</th> <th>Métro voie 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Durée du trajet</td> <td>14 minutes</td> <td>15 minutes</td> </tr> <tr> <td>Affluence dans le véhicule</td> <td>  <p>100 % des sièges occupés, des voyageurs debout autour des portes et partout dans le véhicule</p> </td> <td>  <p>25 % des sièges occupés, et personne debout</p> </td> </tr> <tr> <td>Position</td> <td>Vous pouvez vous asseoir pendant tout le déplacement</td> <td>C'est à vous de décider de voyager assise ou debout</td> </tr> </tbody> </table>			Métro voie 1	Métro voie 2	Durée du trajet	14 minutes	15 minutes	Affluence dans le véhicule	 <p>100 % des sièges occupés, des voyageurs debout autour des portes et partout dans le véhicule</p>	 <p>25 % des sièges occupés, et personne debout</p>	Position	Vous pouvez vous asseoir pendant tout le déplacement
	Métro voie 1	Métro voie 2											
Durée du trajet	14 minutes	15 minutes											
Affluence dans le véhicule	 <p>100 % des sièges occupés, des voyageurs debout autour des portes et partout dans le véhicule</p>	 <p>25 % des sièges occupés, et personne debout</p>											
Position	Vous pouvez vous asseoir pendant tout le déplacement	C'est à vous de décider de voyager assise ou debout											

자료 : OECD, On the value of crowding in public transport for Ile-de- France, 2013

SP 설문조사를 통하여 추정된 혼잡 수준별 수단별 추가 통행시간은 모든 수단을 기준으로 좌석은 1.000~1.413, 입석은 1.289~1.604 수준으로 나타났다. 수단별로 살펴 보면 메트로, 열차와 RER 대비 버스와 트램에서 발생하는 추가 통행시간이 큰 것으로 나타났다.

[그림 III-11] 혼잡도에 수단별 추가 체감시간

Crowding level	All modes		Metro		Train+RER		Bus+Tramway	
	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing	Seated	Standing
1	1.000		1.000		1.000		1.000	
2	1.000		1.000		1.000		1.000	
3	1.000		1.000		1.000		1.000	
4	1.083		1.077		1.073		1.102	
5	1.165	1.289	1.155	1.270	1.145	1.261	1.204	1.342
6	1.248	1.394	1.232	1.362	1.218	1.358	1.307	1.467
7	1.330	1.499	1.309	1.453	1.290	1.456	1.409	1.593
8	1.413	1.604	1.386	1.545	1.363	1.553	1.511	1.718

자료 : OECD, On the value of crowding in public transport for Ile-de- France, 2013

RER 노선의 연장사업에 대하여 추정된 time multipliers를 이용하여 이용자의 통행 시간을 실제 통행시간(real travel time)이 아닌 인지된 통행시간(perceived travel time)으로 환산하여 통행시간 절감편익을 산정한 결과 편익이 약 6% 가량 증가하는 효과가 있는 것으로 분석되었다.

나. 일본의 혼잡도 반영기준

美谷邦章·家山 岳中秀人(1987)는 승객의 플랫폼 승차 위치 선택행동을 이용하여 혼잡 비효용함수를 추정하였다. 입구가 하나뿐인 역을 대상으로 선택 가능한 플랫폼 안에서 승객이 열차의 혼잡도를 예측하여 어떠한 플랫폼을 선택하는지 관찰한 후 입구에서 각 플랫폼까지의 시간과 각 플랫폼의 열차 예상혼잡도를 이용하여 혼잡회피를 위한 승객의 행태를 파악한 뒤 이를 이용하여 혼잡비효용 환산계수를 추정하였다.

$$Uc(r, t_L) = 0.4225 \times t_L \times (r - 7.4)$$

여기서, Uc: 혼잡비효용 환산계수

t_L : 통행시간(분)

r: 입석밀도(인/m²)

<표 III-22> 게이오테이토 정두선 노선의 혼잡 상황 구분

입석밀도 (인/m ²)	승차효율 (%)	차내의 혼잡 상황
0	0~30	착석 가능
1.0	50	착석 불가능하지만 서 있는 사람은 드문드문함
2.5	80	문이나 손잡이 부근에 어느 정도의 승객이 서 있음
4.0	110	손잡이 부근에 서 있는 승객 무리의 어깨와 부딪힘
6.0	140	몸이 부딪혀 답답하다고 느낌
8.0	180	몸을 움직일 수 없을 정도로 비좁아 답답함

家山·嶋中秀人·高木(1988)는 통근열차에 대한 혼잡 비효용함수의 이전성에 대한 연구를 수행하였다. 혼잡 비효용함수를 2차 함수 형태로 가정하였으며 각 노선에 대한 추정 결과 계수값이 유사한 것으로 나타나 상호 간에 이전성이 존재한다고 판단하였다.

$$t_a(X_a) = a_{frc} \times T \times [X_a / (\beta_{frc} \times C - X_a)]$$

여기서, X_a : 링크 a의 교통량,
 t_a : 비용 함수
 T : 소요 시간
 C : 열차 정원

<표 III-23> 노선별 파라미터

구분	α	β
세이부이께부구로선	0.007	5.81
도큐도요코선	0.019	4.52
도큐전오선	0.103	3.49
난카이혼선	0.030	4.49
난카이코야선	0.011	5.50

철도사업의 비용·효과 분석 매뉴얼(일본, 1999)에서는 여객 쾌적성 개선 편익을 이용자 편익의 항목으로 설정하고 있으며, 혼잡 비효용을 포함하는 일반화 비용의 차이를 이용하여 이용자 편익을 산출하였다. 열차 내 혼잡 불효용을 산출하기 위한 혼잡률별 함수와 일반화 비용을 산출하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{일반화비용(엔)} = & \text{운임(엔)} + w(\text{시간가치, 엔/분}) \times (\text{access egress시간(분)} + \text{승차시간(분)}) \\ & + w(\text{시간가치, 엔/분}) \times \text{혼잡비용(F)} \times \text{혼잡시간(분)} \\ & + 2 \times w(\text{엔/분}) \times \text{환승시간(분)} + w(\text{시간가치, 엔/분}) \times 10(\text{분/회}) \times \text{환승회수(회)} \end{aligned}$$

<표 III-24> 일본의 열차 내 혼잡 불효용 함수

혼잡률(%)	혼잡 불효용 함수(F)
0-100	F=0.027R
100-150	F=0.0828R-0.0558
150-200	F=0.179R-0.200
200-250	F=0.690R-1.22
250-	F=1.15R-2.38

주: F는 혼잡 불효용 평가치의 시간환산계수, R은 혼잡도 = $\frac{\text{수요}}{\text{용량}}$
 자료: 박정욱, 일본의 철도투자사업 평가 편람, 교통개발연구원, 2003.

다. 영국의 혼잡도 반영 기준

영국의 교통부에서 통행시간가치 재산정을 위해 2015년에 수행한 관련 연구에서는 열차 내 혼잡 정도에 따른 시간가치의 할증률을 좌석과 입석으로 구분하여 제시하였으며, 좌석 100% 이하에서는 시간가치를 할인하도록 하고 있다.

<표 III-25> 영국의 열차 내 혼잡도에 따른 시간가치 할증률

구분		출퇴근	업무	기타 비업무
좌석 승객	좌석 50% 점유	0.73	0.75	0.72
	좌석 75% 점유	0.79	0.76	0.72
	좌석 100% 점유	1.00	1.00	1.00
	입석 1인/m ²	1.09	1.13	1.14
	입석 3인/m ²	1.31	1.36	1.39
입석 승객	0.5인/m ²	1.16	1.29	1.21
	1.0인/m ²	1.19	1.38	1.27
	2.0인/m ²	1.32	1.56	1.57
	3.0인/m ²	1.57	1.61	1.79
	4.0인/m ²	1.86	2.03	2.17

자료: ARUP, Provision of market research for value of travel time savings and reliability, 2015

7. 건강 증진 효과

대중교통 서비스의 개선은 노동자, 거주민들에게 상당한 매력으로 작용하는데, 도시철도 노선을 따라 투자가 이루어질 경우 거주성 및 거주여건을 개선하는 효과를 지닌다고 볼 수 있다. 미국 Utah주 Salt Lake City의 경전철의 효과를 연구한 결과에 따르면 걷는 습관, 차 이용율 및 비만 발생률을 저감시키고, 지역 및 이웃에 대한 만족도를 상승시킨다는 결과가 제시된 바 있다.⁵⁹⁾

반면, 철도 및 트램 건설에 따라 자가 차량 이용자가 대중교통을 이용하는 경우에 건강이 향상될 수 있으며, 도보(pedestrians) 및 자전거(bicycle) 이용자의 경우에는 오히려 물리적인 활동(physical activity)이 감소하게 되므로 건강상의 불편익(disbenefits)이 발생할 수 있을 것이다. 하지만, 현실에서는 이와 관련한 부의 편익 추정치에 용이하지 않을 것으로 보인다. 우선, 도보 및 자전거 이용자가 대중교통의 개선으로 대중교통 수단을 이용하는 경우 건강이 약화될 수 있으나 이에 대응하여 일정 거리를 걷거나 체육시설(fitness) 이용, 대중 교통 이용 시 발생하는 운동량 등이 존재하기 때문에 건강 악화에 관한 불편익을 규명하는 것은 쉽지 않다.

또한 우리나라에서 트램 도입이 시도된 지역이 비교적 대도시 지역이므로 자전거 이용자가 트램 건설로 인해 해당 교통 수단을 이용하는 비중은 낮을 것이다. 따라서 대도시지역에서 공급되는 트램이 자가 차량 이용자 등의 건강 향상을 고려하는 것이 보다 적합할 것으로 보인다. 단, 이는 트램만의 고유효과는 아니며, 철도 및 버스 등의 다른 대중교통 수단을 공급하는 경우에도 자가 차량 이용자가 대중교통수단으로 전환될 경우 이들 이용자들에게도 건강 향상 편익은 발생할 가능성이 있다.

8. 소결 및 제언

트램 도입 시 추가적으로 고려할 수 있는 편익으로는 신뢰성, 차량 내 혼잡완화, 버스노선 개편에 따른 버스 운영 및 유지(O&M) 비용 절감 효과 등이 있을 것으로 보인다. 다만, 이는 트램만의 고유효과라기 보다는 대중교통 시스템 모두에서 동등하게 고려가 필요한 효과이다. 신뢰성, 혼잡개선 효과는 대중교통수단 내에서의 반영에 대한 검토가 우선적으로 필요하며, 개인교통수단인 승용차와의 비교는 승용차 수단

59) Barbara Brown and Carol Werner, Before and After a New Light Rail Stop, Journal of the American Planning Association, Winter 2009, Vol.75, No.1, p9.

의 독립성, 쾌적성 등과 같이 수단별 특성이 다르기 때문에 신중을 기할 필요가 있다.

나머지 항목의 경우 분명 효과가 존재하나 타 편익과의 중복문제 또는 이를 계량화하고 화폐가치화 하는 것이 쉽지 않은 문제가 존재한다. 도시재생 측면에서 지가상승 효과는 접근성 개선효과와 중복의 문제가 있으며, 현재 고용효과와 지역내 증가효과로 일부 반영되고 있기 때문이다. 관광 효과의 경우 일부 지역에서 존재할 수 있으나 이를 일반화하기는 어려울 것으로 보인다. 건강증진 효과는 어떤 수단으로부터 전환되는가에 따라 긍정적 또는 부정적 효과가 존재하며, 이를 계량화하고 화폐가치화 하는 것은 쉽지 않을 것으로 보인다.

<표 III-26> 트램(노면전차) 도입에 따른 추가 효과 검토 결과

효과 항목		검토 결과	트램 고유효과
도시재생	지가상승	교통편익과 중복	X
	고용증가, 경제성장	고용유발효과, 지역경제파급효과로 반영 중	X
	관광효과	일부지역에서 존재 가능	△
대중교통이용률 증가		수요분석을 통해 반영 중	X
신뢰성(정시성)		적용가능(추가 연구 필요)	X
혼잡개선(Crowd)		적용가능(추가 연구 필요)	X
건강증진		적용가능(계량화, 화폐가치화 쉽지 않음)	X
버스공급체계개선		적용가능(지자체 계획수립시)	O

제IV장

노면전차(트램) 평가방법론 개선방안

제1절 노면전차(트램)의 교통수요분석 개선방안

1. 수단선택 모형의 적정성 검토

앞서 현행 평가체계 및 방법론에서 살펴본 바와 같이 기존의 수단분담 모형은 일부 연구를 제외하고는 신교통 수단을 별도의 대중교통 수단으로 구분하고 있지는 않다. 국내에서는 트램 등 노면전차에 대한 수요분석시 대부분 도시철도 수단에 준하여 분석을 수행하였다. 이와 같이 국내의 관련 지침 및 사례조사 결과 트램을 별도의 시스템으로 간주하고 있지는 않으나, 해외 사례를 살펴보았을 때 트램은 버스와 동일하거나 버스 대비 약 3분~10분 내외의 수단 경쟁력을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 아울러 이와 같은 차이는 트램 자체의 수단별 특성이라기보다는 정시성, 운행횟수 등 노선별 특성에 따른 차이로 해석하는 것이 타당할 것으로 보인다.

만약, 트램을 별도의 수단으로 간주하기 위해서는 해당 수단이 다른 경쟁수단과 비교하여 통행시간이나 통행비용과 같은 일반변수 외에 수단 자체가 갖고 있는 두드러진 특징이 있어야 하나(이들테면 트램 보너스), 이를 확인하기 위해서는 이용자의 선호도조사가 필수적이다. 트램에 대한 수요분석시 버스 또는 지하철 수단 중 어느 수단에 가까운 특성을 갖는지를 판단하여 유사한 기존의 수단을 준용하거나 이용자의 선호도 조사를 별도로 수행하여 모형을 구축하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 단, 이 경우 트램 보너스 수준을 산정하여 적절한 수준에서 모형이 구축되도록 관리가 필요하다.

현재 서울시 수단선택 모형의 특성을 살펴보면, 통행목적은 가정기반 통근, 통학,

기타, 비가정기반의 4가지로 분류하고 있으며, 수단은 승용차, 택시, 버스, 전철, 버스+전철의 5가지로 분류하고 있다.

<표 IV-1> 수도권 수단선택 모형의 파라미터(가정기반 통근통행)

수단	효용함수의 속성별 파라미터					
	시간계수	비용계수	수단특성상수	행정구역더미	환승횟수	지하철역더미
승용차	-0.0305128	-0.0142173	2.158460	-0.93667	-	-
택시	-0.0305128	-0.0142173	-2.086760	-	-	-
버스	-0.0305128	-0.0305275	0.892104	-	-0.20831	-
전철	-0.0305128	-0.0305275	2.344240	-	-0.20831	0.26306
버스+전철	-0.0305128	-0.0305275	-	-	-0.20831	-

수도권 모형의 수단특성 상수를 토대로 버스 수단 대비 전철 수단의 경쟁력을 비교해보면 전철 수단의 경쟁력이 더 높음을 알 수 있다. 통행거리에 따라 다르겠지만, 서울 홍릉~종각까지 약 6km의 단거리 통행에 대해 각각의 통행목적별 버스 대비 전철의 수단보너스를 산출해보면 가정기반 통근통행의 경우 약 35분, 비가정기반 통행의 경우 약 26분 정도의 버스대비 전철의 수단 보너스가 존재하는 것으로 나타난다.

버스 대비 지하철의 경쟁력이 매우 높게 나타나는 특성은 장거리 통행에 있어서 지하철의 정시성 등에 일부 기인하며, 최근 이기택(2016)⁶⁰의 연구 결과에 따르면 통행거리대별로 수단선택 모형을 구분하여 살펴보았을 때, 10km 이내에서는 버스 대비 지하철의 수단경쟁력이 약 10분 내외로 존재하는 것으로 분석된 바 있다.

따라서 트램 노선의 표정속도, 운행횟수, 정시성 등을 복합적으로 검토하여 버스 또는 지하철 수단 중 유사하다고 판단되는 수단의 속성을 반영하되, 모형의 버스 대비 지하철 보너스가 10분 이상인 경우에는 별도의 조사를 통해 모형을 구축하거나, 기존 지하철 수단의 특성상수를 조정하여 적용하는 것을 고려할 필요가 있다.

60) 이기택, 통행거리별 행태변화를 반영한 교통수단 선택모형의 정산, 2016.

2. 통행거리대별 수단선택 모형의 구축

가. 통행거리대별 구분 필요성 및 주요 연구 내용

교통분석 시 수단선택은 각 출발지와 목적지 간의 통행량을 대상으로 하여 각 교통수단별 분담비율을 예측하는 것이다. 수단선택 행위는 전통적인 교통수요분석 4단계 모형 중 통상 세 번째 단계인 수단선택 모형에서 고려된다. 여러 모형들 중에서 수단선택에 큰 영향을 미치는 통행시간과 비용을 고려할 수 있고 일반적인 수단선택 행태가 목적지 선택 후 수단을 선택하므로 대부분의 연구에서는 통행교차모형을 적용하고 있으며, 통행교차모형 중 통행자의 현실적 통행행태를 설명할 수 있는 효용이론에 근거한 확률선택 모형 기반 로짓모형을 일반적으로 적용한다.

수단선택 모형은 적용 범위와 추정 방법에 따라 비집계 모형(Disaggregate model)과 집계 모형(Aggregate model)으로 구분된다. 비집계 모형은 개인의 수단선택을 개별로 추정하여 분석하는 것이며, 이는 개인의 통행행태를 반영한다. 현재는 비집계 모형 구축에 필요한 선택 가능한 수단의 통행시간과 통행비용 등의 자료 확보가 곤란하므로 출발지와 도착지를 행정구역별로 집계하여 가장 평균적인 사람들의 수단선택 행태를 적용하여 추정하는 집계모형을 적용하고 있다.

사람들은 일반적으로 이동거리에 따라 다른 통행 행태를 가질 수 있다. 예를 들어, 장거리통행은 단거리통행에 비해 대중교통수단의 선택확률이 높고(윤대식, 2005), 버스보다는 지하철을 이용하는 경향이 있다. 하지만, 현재 사용중인 수단선택 모형은 이동거리를 고려하지 않고 있어, 현실적으로는 통행거리에 따른 수단 분담률의 변화가 예상됨에도 불구하고 이를 고려하지 못하는 실정이다. 트램(노면전차)의 경우 기존의 지하철보다 역 간 거리가 짧음에 따라 이러한 특성을 고려한 수단선택 행위를 고려할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 가구통행실태조사의 원시자료를 기반으로 하여 통행거리에 따른 수단분담 모형을 구축하고자 한다. 이를 위해 2010 수도권 가구통행실태조사 원시 자료를 이용한 수단분담률을 산출하고, 수단별 분담 특성이 구분되는 거리대를 살펴 보았다. 다음으로는 통행거리를 고려한 수단선택 모형을 산정하여 수단선택 모형의 현실성을 높이고, 통행자의 통행행태를 정확하게 반영하고자 한다.

주요 연구내용은 다음과 같다.

- 가구통행실태조사 원시자료 기초 분석
 - 2010 수도권 가구통행 실태조사 기반 수단선택 분석 데이터 가공
 - 2010 가구통행 실태조사 가구원, 통행 데이터 중 수단선택과 관련이 있는 데이터를 가진 통행 데이터 분석
 - 통행 목적, 수단, 출발·도착 시간, 출발·도착 존 등의 데이터를 수단선택 분석을 위한 형태로 가공
- 가구통행 실태조사 기반 수단분담률 분석 및 거리 구분
 - 기종점간 통행거리 및 수단분담률 산정
 - 수단분담 특성이 구분되는 통행거리대 분류
- 가구통행 실태조사 기반 통행거리별 수단선택 모형 추정 및 분석
 - 수단선택 분석 데이터를 이용한 수단선택 모형 추정
 - 다항로짓 모형을 적용한 결과 추정
 - 제시된 모형에 관한 분석 및 검증

나. 분석 기초자료 및 데이터 구축

본 연구에서 사용한 기초자료는 2010년 기준 가구통행 실태조사 자료로, 공간적 범위는 서울, 인천, 경기지역을 포함하는 수도권이다. 기초자료의 내용적 범위로는 가구원 특성 자료와 통행특성 자료로 구분된다. 가구원 특성 자료는 가구원 분류에 따라 가구원의 개인특성에 관해 항목별로 정리되어있다. 통행데이터는 가구원 분류에 따라 표로 정리하여 가구원 개개인의 통행을 상세히 기록하였고, 이에 관해 숫자로 알아보기 쉽게 정리되어 있다. 가구통행실태조사의 가구원 특성 및 통행데이터는 다음의 표 및 그림과 같은데, 가구통행 실태조사의 특성상 조사된 항목 중에서 일반적으로 응답자의 응답한계성, 조사비용 및 시간의 한계 등으로 인해 모든 자료를 조사하지는 못한다.

<표 IV-2> 가구통행실태조사의 가구원 데이터 자료 구성

Sr.	Name	Description	Sr.	Name	Description
1	sheet_code	가구원 분류번호	7	drive_license	운전면허증
2	sheet_type	통행 타입	8	job_type	직업종류
3	seq	가구원 일련번호	9	employee_type	고용형태
4	relation	가구원 관계	10	ju5_il	근무형태
5	birth	출생연도	11	th_yesno	통행여부
6	sex	성별	12	th_nosayou	통행없음의 사유

[그림 IV-1] 가구통행 실태조사의 가구원 데이터(예시)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	sheet_code	sheet_type	seq	relation	birth	sex	drive_licen	job_type	employee_ju5_il	th_yesno	th_nosayou	
2	10060710101	1	1	1	1940	2	2	2	#NULL!	#NULL!	#NULL!	1
3	10060710101	1	1	1	1940	2	2	2	#NULL!	#NULL!	#NULL!	1
4	10060710101	1	2	3	1972	1	1	4	#NULL!	2	2	1
5	10060710101	1	2	3	1972	1	1	4	#NULL!	2	2	1

<표 IV-3> 가구통행실태조사의 통행 데이터 자료 구성

Sr.	Name	Description	Sr.	Name	Description
1	sheet_code	가구원의 분류번호	8	start_zcode	출발동코드
2	sheet_type	조사구분	9	start_time	출발시간
3	seq	가구원 번호	10	end_type	도착종류
4	tr_seq	통행번호	11	end_zcode	도착동코드
5	tr_mokjek	통행 목적	12	end_time	도착시간
6	tr_sudan	통행 수단	13	person	동행 인수
7	start_type	출발 종류	14	highway	고속도로 이용 유무

[그림 IV-2] 가구통행 실태조사의 통행 데이터(예시)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	sheet_code	sheet_type	seq	tr_seq	tr_mokjek	tr_sudan	start_type	start_zcode	start_time	end_type	end_zcode	end_time	person	highway
2	10060710101	1	1	2	2	3	5	01-006-082	1500	1	01-006-07	1530	0	2
3	10060710101	1	1	1	5	3	1	01-006-071	1320	5	01-006-08	1350	0	2
4	10060710101	1	2	1	3	10	1	01-006-071	1110	2	01-006-07	1140	0	2
5	10060710101	1	2	2	2	10	2	01-006-071	2000	1	01-006-07	2030	0	2

가구원 데이터는 수단선택 모형 추정에 있어 영향을 주는 사회·경제적 변수를 포함하지만, 현재 모형에서 반영하고 있지 않기 때문에 본 연구에서는 가구원 특성을 고려하지 않았다. 따라서 가구통행 실태조사 데이터 중 수단선택과 관련된 속성을 가진 통행 데이터의 자료만을 사용하였다.

통행 수단(tr_sudan)은 교통 수단으로, 도착시간(end_time)과 출발시간(start_time)은 통행시간 산출을 위해, 출발 동 코드(start_zcode)와 도착 동 코드(end_zcode)는 통행거리를 산출하기 위해 사용한다. 수단선택 모형 구축을 위해 필요한 데이터를 얻기 위해 일부 자료의 변경 혹은 추정이 필요하며, 자료의 검증이 필요하다. 본 연구에서는 응답자의 자료 입력과정에서의 오류, 데이터 입력 작업에서의 오류 및 논리적 검증을 통해 불합리한 값 등에 대한 수정 및 제거 작업을 수행하였다.

한편, 비선택 교통수단의 통행비용 산정이 필요한데 수단선택 모형 구축을 위해서는 선택된 통행수단뿐만 아니라 비선택 교통수단의 개별 자료가 있어야 한다. 본 연구에서는 선택수단 외의 대안수단의 통행시간을 추정하기 위해 다음의 표와 같이 수단별 평균 속도와 EMME/4에서 산출된 통행 거리를 사용하여 자료를 구축하였다.

<표 IV-4> 비선택 교통수단의 통행시간 산정을 위한 수단별 평균속도

(단위 : km/h)				
구분	승용차 ¹⁾	버스 ¹⁾	지하철 ²⁾	택시 ²⁾
속도	25.2	19.5	30	24

자료: 1. 서울특별시 교통정보센터(<http://topis.soel.go.kr>)

2. 김주영 외, 분석대상 규모에 따른 수단분담모형의 추정과 적용에 관한 연구, 2011

수단선택 모형 구축 및 추정을 위해서는 기종점간 통행거리와 통행시간 등을 추정해야 하는데, 본 연구에서의 추정방법을 살펴보면 다음과 같다.

□ 수단별 교통존 간 통행거리

수단별 교통존 간 통행거리 산출을 위해 KTDB에서 배포한 수도권교통본부(MTA)의 6-2차 기초자료(O/D 및 Network)를 사용하였다. 기존 가구통행실태조사의 통행데이터와 매칭한 다음 통행거리를 고려한 신규 수단선택 모형 구축을 위한 기초 데이터를 생성하였다.

2014년 전국여객 O/D 보완갱신 연구에서는 통행시간의 경우 EMME/4 기반 수도권

교통본부의 자료를 사용했지만, 본 연구에서는 가구통행실태조사 자료의 통행시간을 준용하였다. 교통 수단은 승용차, 버스, 지하철, 택시를 고려하였으며, 통행거리는 기준연도인 2014년의 기초자료(O/D 및 Network)를 이용하여 산출하였다. 2014년 기준 연도에 대해 EMME/4 프로그램을 이용하여 집계된 승용차의 기·종점 간 최단 통행거리는 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 내부존 통행일 경우 통행거리를 0으로 처리하였다.

<표 IV-5> 교통 존간 도로 이용 통행 거리(승용차 기준, 예시)

출발존	도착존	통행거리(km)
46112	46112	0
46112	46113	1.55
46112	46114	1.2
46112	46115	0.46
⋮	⋮	⋮

대중교통의 경우, 일반적으로는 차내 통행거리와 차외 통행거리(Access length, Egress length)로 구분되지만, 집계모형의 한계상 차외 통행거리는 대부분 평균적으로 적용하는 경향이 있다. 본 연구에서는 버스와 철도의 경우 각각의 Line data를 이용한 차내 통행거리를 적용하였으며, 내부존 통행일 경우 통행거리를 0으로 처리하였다. 차외 통행거리의 경우 평균적인 거리(1km)를 적용하였다.

<표 IV-6> 교통 존간 철도 및 버스 이용 통행 거리(예시)

출발존	도착존	통행거리(km)
46112	46112	0
46112	46113	2.12
46112	46114	1.5
46112	46115	0.70
⋮	⋮	⋮

□ 수단별 교통 존 간 통행 비용

수단별 교통 존 간 통행비용은 2014년 전국여객 OD 보완갱신 연구의 내용과 방법론을 준용하여 산출하였다. 본 연구에서는 해당 보고서의 방법론을 준용하되, 기준연도를 2014년도로 갱신하여 요금과 수치를 산정하였다. 통행비용은 수단별 통행거리를 기반으로 하여 각 변수별로 자료를 구축하였으며, 각 변수별 산출방법은 다음 표에 제시된 바와 같다.

<표 IV-7> 교통 존간 통행비용 구성 항목 및 산출방법

	개인교통	대중교통		
	승용차	버스	일반철도	고속철도
Ttcost	Acost	Bcost	Rcost	ERcost
Acost(자동차비용)	유류비+PCost+Tollcost	-		
PCost(주차비용)	주차비용	-		
Tollcost(유료도로비용)	유료도로비용	버스비용		
Bcost(버스비용)		-		
Rcost(일반철도비용)	-	-	일반철도비용	
ERcost(고속철도비용)	-	-		고속철도비용

① 승용차

개인교통인 승용차의 경우 통행비용으로 유류비, 유료도로 통행료, 주차비용을 고려한다. 승용차의 유료도로 통행료는 지역간 이동시 크게 고려되는 바 본 연구에서는 고려하지 않으며, 유류비는 존 간 통행거리와 평균연비를 이용하여 비용을 산출하였다. 평균 연비는 지식경제부에서 발간하는 2014년도 에너지 총 조사 보고서 중 승용차 및 승합차(15인승 이하)의 평균 연비와 통계청의 차종별 자동차 등록대수를 이용하여 가중평균한 평균 연비를 산출하였다.

리터당 연료비는 한국석유공사에서 제공하는 리터당 단가와 통계청의 연료별 자동차 등록대수를 이용하여 가중 평균한 단가를 산출하였으며, 최종 산출된 km당 연료비 단가는 $1,345.73(\text{원}/l)/9.26(\text{km}/h) = 145.33(\text{원}/\text{km})$ 이다.

<표 IV-8> 승용차 유형별 평균 연비

구분	차종		연료경제(km/l)	등록대수
휘발유/경유	승용차	1500cc 미만	12.28	2,356,356
		1500~1999cc	10.03	5,908,656
		2000cc 이상	7.13	1,868,156
	승용 다목적형		8.91	2,215,655
	승합(15인 이하)		8.46	638,907
LPG	승용차	1500cc 미만	9.10	647,722
		1500~1999cc	7.24	1,624,190
		2000cc 이상	6.42	513,525
	승용 다목적형		7.18	609,046
	승합(15인 이하)		7.15	175,625
가중평균			9.26	

자료 : 2014년도 에너지 총 조사 보고서, 산업통상자원부

<표 IV-9> 승용차 유종별 평균 단가

구분		2014년 리터당 단가(원/l)	자동차 등록대수
휘발유	승용차	1,510.4	9,808,633
	승합차		
경유	승용차	1,299.6	8,622,179
	승합차		
LPG	승용차	806.4	2,257,447
	승합차		
가중평균		1,345.73	

자료 : 석유정보센터 유가정보서비스 오피넷, 한국석유공사

주차비용은 지역별로 도착지의 급지를 구분하여 평균 주차요금을 산출하였으며, 수도권에 해당하는 인천의 급지별 주차비용 평균값을 적용하였다.

<표 IV-10> 지역별 주차비용(1시간 기준)

(단위 : 원)

지역	급지					평균
	1급지	2급지	3급지	4급지	5급지	
서울	6,000	3,000	1,800	1,200	600	2,520
인천	2,000	1,200	800	600	0	1,150
부산	3,000	1,800	1,200	600	0	1,650
대구	2,500	1,500	1,000	0	0	1,667
대전	1,300	900	500	0	0	900
울산	1,000	600	0	0	0	800
광주	1,400	800	600	0	0	933

② 택시

택시의 경우 2km 이하일 때 기본요금 3,000원, 이후로부터는 0.142km마다 100원, 혹은 35초당 100원을 부과하는 거리비례요금제를 반영하여 비용을 산출하였다.

<표 IV-11> 택시요금 반영 기준

수단	구분	기본요금 ($\leq 2km$)	이후 요금	시간거리 동시 병산요금 (14.75km/h이하 운행 시)
택시	일반	3,000원	100원/142m	100원/35초

③ 버스

버스요금은 환승하지 않을 경우 거리에 상관없이 동일요금제를 적용하였으며, 환승 시에는 통합거리비례 요금제를 적용하였다(10km 이내 기본요금, 이후 5km당 100원). 본 연구에서는 지역별, 연령별, 결제수단별 요금 변화는 고려하지 않고, 광역버스, 시내버스, 마을버스, 순환버스 등 수단별 요금 변화만을 고려하여 버스요금을 산정하였다.

<표 IV-12> 버스요금 반영기준

수단	구분	교통카드(원)	현금(원)
지선/간선버스	일반	1,200	1,300
	청소년	720	1,000
	어린이	450	450
마을버스	일반	900	1,000
	청소년	480	550
	어린이	300	300
순환버스	일반	1,100	1,200
	청소년	560	800
	어린이	350	350
광역버스	일반	2,300	2,400
	청소년	1,360	1,800
	어린이	1,200	1,200

<표 IV-13> 통합 거리비례 요금 반영기준

구분	시간거리 동시 병산요금 (14.75km/h이하 운행 시)
서울시 간선/지선, 마을버스	10km 기본요금 이후 100원/5km
경기도 일반형 시내버스, 마을버스	
인천시 간선/지선/급행 간선버스/시내좌석 /시외좌석/공항좌석	
수도권 전철	
서울시 광역버스	30km 기본요금 이후 100원/5km
경기도 좌석형/직행 좌석형	
인천시 광역버스	

④ 전철

지하철 요금은 통합거리비례 요금제를 적용하였으며(10km 이내 기본요금, 이후 5km당 100원), 연령별, 결제수단별 요금 변화는 고려하지 않고 모든 통행요금을 일반 지하철 요금으로 간주하여 분석하였다.

<표 IV-14> 전철 요금 반영기준

수단	구분	교통카드	현금
지하철	일반	1,250	1,350
	청소년	720	1,350
	어린이	450	500
	노인, 장애인, 국가유공자	무료	무료

다. 현재 적용 중인 수단선택 모형 검토

현재 사용하고 있는 수단선택 모형은 가구통행실태조사를 기반으로 집계된 가구, 개인 및 통행 특성 데이터를 기반으로 추정된 집계 다항 로짓 모형(Aggregate multinomial logit model)을 적용하고 있다. 수단선택 모형은 기준연도의 수단분담률 패턴을 기반으로 기준연도와 장래목표연도별 효용의 차이를 고려하여 수단분담률을 산출하는 점진적 로짓(Incremental Logit)모형을 적용하여 장래 수단분담률을 예측한다. 단, 장래 신교통수단이 건설되거나(예 : 지하철) 장래 개발계획 등으로 기준연도 수단분담비가 없는 경우 해당 지역의 수단분담률의 추정을 위해 다항 로짓(Multinomial Logit) 모형을 적용하기도 한다. 점진적 로짓(Incremental Logit) 모형 및 다항 로짓(Multinomial Logit) 모형의 적용식은 다음과 같다.

<표 IV-15> 수단선택모형 적용식

점진적 로짓(Incremental Logit) 모형	다항로짓(Multinomial Logit) 모형
$P_2(i) = \frac{P_1(i)e^{\Delta V_i}}{\sum_{\forall j} P_1(i)e^{\Delta V_j}}$ <p>여기서 $P_2(i)$: 장래수단 i의 수단분담률 $P_1(i)$: 기준연도 i의 수단분담률 ΔV_i: 수단 i의 장래효용의 변화</p>	$P_n(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_j}}$ <p>여기서 $P_n(i)$: 장래수단 i의 수단분담률 V_i: 수단 i의 결정적 효용</p>

수도권 수단선택모형의 효용함수는 모든 목적에 동일하게 적용하고 있으며, 효용 함수 식과 주요 특징을 살펴보면 다음과 같다.

<표 IV-16> 수단선택 모형의 효용함수(수도권)

승용차 효용 = $\alpha_A + \beta_{1,pr} * Ttime + \beta_{2,pr} * Acost + \gamma_1 * AdminD$	
택시 효용 = $\alpha_T + \beta_{1,pr} * Ttime + \beta_{2,pr} * Tcost$	
버스 효용 = $\alpha_B + \beta_{1,pb} * Ttime + \beta_{2,pb} * Bcost + \gamma_2 * TRno$	
전철 효용 = $\alpha_S + \beta_{1,pb} * Ttime + \beta_{2,pb} * Scost + \gamma_2 * TRno + \gamma_3 * DumSta$	
버스-전철 효용 = $\beta_{1,pb} * Ttime + \beta_{2,pb} * BScost + \gamma_2 * TRno$	
여기서, $Ttime$: 기·종점간 총 통행시간	$Acost$: 승용차 통행비용(유류비+주차비)
$Tcost$: 택시 통행비용	$Bcost$: 버스 통행비용
$Scost$: 지하철 통행비용	$BScost$: 버스 + 지하철 통행비용
$AdminD$: 행정구역더미	$TRno$: 환승횟수
$DumSta$: 지하철역 더미	α_m : m 수단의 상수항
β_{pr} : 개인교통수단 시간·비용변수의 계수	β_{pb} : 대중교통수단 시간·비용변수의 계수
γ : 더미변수의 계수	

자료: 「2013년 국가교통조사 및 DB구축사업」 중 '전국여객 O/D 현행화'

우선, 가정기반 통근통행 모형의 계수값을 살펴보면 다음과 같은 사항을 살펴볼 수 있다. 첫째, 수단별 파라미터 산출 결과, 통행시간, 통행비용 모두 음(-)의 부호를 보이고 있으며, 이는 통행시간과 비용이 작을수록 효용이 증가한다는 상식과 일치한다. 둘째, 개인교통수단과 대중교통수단으로 구분하여 통행시간 통행비용 파라미터를 이용하여 통행시간가치(VOT)를 산출한 결과 개인교통수단(12,877원/시), 대중교통수단(5,997원/시)으로 산정되었다. 셋째, 추정된 파라미터를 살펴보면 수단선택 모형의 더미변수 중 전철수단의 값이 가장 크므로 전철을 선택할 확률이 높다. 또한, 택시 수단의 값이 음(-)으로 나타나 선택확률이 상당히 낮음을 의미한다. 그 밖에 기차역 더미 변수를 사용하여 모형의 적합도를 높인 것으로 판단되며, ρ_0^2 와 ρ_c^2 모두 0.4 이상으로 적합도는 높다고 판단된다.

다음으로 가정기반 통학통행 모형의 계수값을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 수단별 파라미터 산출 결과, 통행시간, 통행비용 모두 음(-)의 부호를 보이고 있으며, 이는 통행시간과 비용이 작을수록 효용이 증가한다는 상식과 일치한다. 둘째, 가정기반 통학통행은 개인교통수단과 대중교통수단을 구분하지 않고 추정하였고, 통행시간 통행비

용 파라미터를 이용한 VOT 산출 결과, 3,679원/시로 산정되었다. 셋째, 추정된 파라미터를 살펴보면 수단선택 모형의 더미변수 중 전철 수단의 값이 가장 크므로 전철을 선택할 확률이 높다. 또한, 택시와 승용차 수단의 값이 음(-)으로 나타나 선택확률이 상당히 낮음을 의미한다. 그리고 기차역 더미 변수를 사용하여 모형의 적합도를 높였다. 넷째, ρ_0^2 와 ρ_c^2 모두 0.4 이상으로 적합도는 높다고 판단된다.

가정기반 기타통행 모형의 계수값을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 수단별 파라미터 산출 결과, 통행시간, 통행비용 모두 음(-)의 부호를 보이고 있으며, 이는 통행시간과 비용이 작을수록 효용이 증가한다는 상식과 일치한다. 둘째, 개인교통수단과 대중교통수단으로 구분하여 통행시간 통행비용 파라미터를 이용한 VOT 산출 결과, 개인교통수단(10,379원/시), 대중교통수단(5,830원/시)으로 산정되었다. 셋째, 추정된 파라미터를 살펴보면 수단선택 모형의 더미변수 중 전철 수단의 값이 가장 크므로 전철을 선택할 확률이 높다. 또한, 택시 수단의 값이 음(-)으로 나타나 선택확률이 상당히 낮음을 의미한다. 그리고 기차역 더미 변수를 사용하여 모형의 적합도를 높였다. 넷째, ρ_0^2 와 ρ_c^2 모두 0.4 이상으로 적합도는 높다고 판단된다.

마지막으로 비가정기반 통행 모형의 계수값을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 수단별 파라미터 산출 결과, 통행시간, 통행비용 모두 음(-)의 부호를 보이고 있으며, 이는 통행시간과 비용이 작을수록 효용이 증가한다는 상식과 일치한다. 둘째, 개인교통수단과 대중교통수단으로 구분하여 통행시간과 통행비용 파라미터를 이용한 VOT 산출 결과, 개인교통수단(8,929원/시), 대중교통수단(2,688원/시)으로 산정되었다. 셋째, 추정된 파라미터를 살펴보면 수단선택 모형의 더미변수 중 승용차 수단의 값이 가장 크므로 승용차를 선택할 확률이 높다. 또한, 기차역 더미 변수를 사용하여 모형의 적합도를 높였다. 넷째, ρ_0^2 와 ρ_c^2 모두 0.4 이상으로 적합도는 높다고 판단된다.

<표 IV-17> 가정기반 통근통행 모형의 계수값(수도권)

변수(Variable)	계수(Coefficient)	t통계치(t-ratio)	적용수단
Dcar(승용차 상수)	2.15846	33.1765	승용차
Time(Ttime)	-0.0305128	-106.064	승용차, 택시, 버스, 전철, 버스-전철
PrCost(Acost, Tcost)	-0.0142173	-31.8506	승용차, 택시
Eadmin(AdminD)	-0.936666	-21.8836	승용차
Dtaxi(택시 상수)	-2.08676	-31.8484	택시
Dbus(버스 상수)	0.892104	20.6634	버스
PuCost(Bcost, Scost, BScost)	-0.0305275	-15.327	버스, 전철, 버스-전철
Etran(TRno)	-0.208306	-27.7326	버스, 전철, 버스-전철
Dsub(전철 상수)	2.34424	52.818	전철
Esta(DumSta)	0.263057	16.5233	전철
관측자료수	166,552		
ρ_0^2	0.4874		
ρ_c^2	0.48739		

<표 IV-18> 가정기반 통학통행 모형의 계수값(수도권)

변수(Variable)	계수(Coefficient)	t통계치(t-ratio)	적용수단
Dcar(승용차 상수)	-0.144464	-1.73451	승용차
Time(Ttime)	-0.0228961	-54.8338	승용차, 택시, 버스, 전철, 버스-전철
Cost	-0.0373396	-33.3943	승용차, 택시, 버스, 전철, 버스-전철
Eadmin(AdminD)	0.116355	1.93901	승용차
Dtaxi(택시 상수)	-2.85768	-25.6492	택시
Dbus(버스 상수)	1.07873	19.9244	버스
Etran(TRno)	-0.186928	-18.1209	버스, 전철, 버스-전철
Dsub(전철 상수)	1.78042	31.3539	전철
Esta(DumSta)	0.23104	8.85754	전철
관측자료수	51,356		
ρ_0^2	0.44367		
ρ_c^2	0.44363		

<표 IV-19> 가정기반 기타통행 모형의 계수값(수도권)

변수(Variable)	계수(Coefficient)	t통계치(t-ratio)	적용수단
Dcar(승용차 상수)	1.76249	15.4828	승용차
Time(Time)	-0.023624	-51.1325	승용차,택시,버스,전철,버스-전철
PrCost(Acost, Tcost)	-0.0136568	-23.631	승용차, 택시
Eadmin(AdminD)	-0.761515	-14.6543	승용차
Dtaxi(택시 상수)	-1.11887	-10.5308	택시
Dbus(버스 상수)	1.35917	14.1972	버스
PuCost(Bcost, Scost, BScost)	-0.0243123	-8.74114	버스, 전철, 버스-전철
Etran(TRno)	-0.192793	-16.5937	버스, 전철, 버스-전철
Dsub(전철 상수)	2.01646	20.7672	전철
Esta(DumSta)	0.272007	10.9893	전철
관측자료수	61,701		
ρ_0^2	0.37812		
ρ_c^2	0.37808		

<표 IV-20> 비가정기반 통행 모형의 계수값(수도권)

변수(Variable)	계수(Coefficient)	t통계치(t-ratio)	적용수단
Dcar(승용차 상수)	4.08113	11.6358	승용차
Time(Time)	-0.0242571	-31.8792	승용차,택시,버스,전철,버스-전철
PrCost(Acost, Tcost)	-0.0163007	-18.1601	승용차, 택시
Eadmin(AdminD)	-0.720112	-7.9713	승용차
Dtaxi(택시 상수)	0.576959	1.68873	택시
Dbus(버스 상수)	2.67084	7.96997	버스
PuCost(Bcost, Scost, BScost)	-0.0541463	-11.7571	버스, 전철, 버스-전철
Etran(TRno)	-0.11403	-6.10253	버스, 전철, 버스-전철
Dsub(전철 상수)	3.56826	10.617	전철
Esta(DumSta)	0.22667	6.49509	전철
관측자료수	38,634		
ρ_0^2	0.53855		
ρ_c^2	0.53851		

<표 IV-21> 통행 목적별 교통수단의 시간가치 산정결과(수도권)

(단위 : 원/시)

구 분	가정기반 통근통행	가정기반 통학통행	가정기반 기타통행	비 가정기반 통행
개인교통수단	12,877	3,679	10,379	8,929
대중교통수단	5,997		5,830	2,688

자료: 「2013년 국가교통조사 및 DB구축사업」 중 '전국여객 O/D 현행화'

종합적으로 살펴본 결과 기존 「2014년 전국여객 O/D보완갱신 및 연구」의 수도권 통행에 대한 수단선택 모형은 통계적 유의성은 확보하였으나, 다음과 같은 측면에서 몇가지 실무상 쟁점이 존재한다. 첫째, P/A별 수단선택 계수의 사용으로 실제 타당성분석 단계에서 사용하기 어렵다. 둘째, 효용함수를 구성하는 변수의 개수가 통행 시간, 통행비용 외에도 많이 추가되어 있으며, 특히 더미변수를 사용하여 신규 대중교통 서비스 도입으로 인한 이용환경 개선 효과가 과소평가될 소지가 존재한다. 셋째, 거리에 따른 통행자의 수단선택 행위 및 선호도를 반영할 수 없다. 넷째, 수단선택 파라미터의 경우 대안일반변수를 사용하여 수단 간 특성을 반영할 수 없다.

이에 본 연구에서는 기존 모형이 갖는 한계점을 극복하고자 다음과 같은 연구방향을 설정하였다. 첫째, P/A 기반이 아닌 O/D 기반의 수단선택 모형을 구축하여 실제 타당성분석 단계에서 쉽게 사용할 수 있는 모형을 구축한다. 둘째, 효용함수를 구성하는 변수를 통행시간, 통행비용 등 필요변수만을 포함하여 직접적인 효용변화에 따른 효과를 추정하고자 한다. 셋째, 거리에 따른 통행자의 수단선택 행위 및 선호도를 반영하기 위해 거리별 수단선택 모형을 구축한다. 넷째, 수단선택 파라미터의 경우 대안특성 변수를 사용하여 수단 간 특성을 반영한다.

라. 통행거리를 고려한 수단선택 모형 구축

1) 통행거리대별 특성 분석

통행거리를 기준으로 수단선택 모형을 추정하기 위해서는 먼저 거리에 대한 구분 기준을 확립하여야 하며, 이를 위해 거리대별로 수단분담률의 추이를 살펴보았다. 수단선택 모형의 거리별 구분 기준은 수단분담률이 가장 높은 수단이 변화하는 지점을

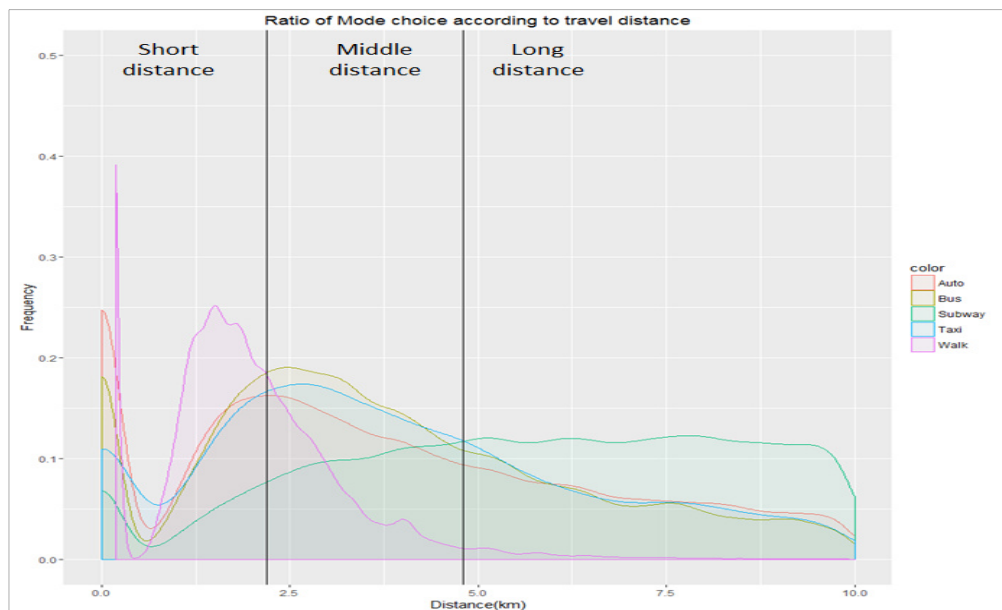
구분 범위로 지정하였다. 보행의 수단분담률보다 버스의 수단분담률이 더 높은 곳을 중거리로 선택하고, 반대의 경우는 단거리로 선정하였다. 버스의 수단분담률보다 지하철의 수단분담률이 더 높은 곳을 장거리로 선택하고, 반대의 경우는 중거리로 선정하였다. 보행교을 포함한 수단분담률은 다음의 표와 같이 지하철 27.19%, 택시 21.56%, 자동차 20.84%, 버스 20.42%, 보행 9.99%로 나타났다.

<표 IV-22> 보행교통을 포함한 수단분담률

구 분	자동차	버스	지하철	택시	보행
수단분담률	20.84%	20.42%	27.19%	21.56%	9.99%

통행거리별로 수단분담률을 도식화 해보면 다음의 그림과 같으며, 수단별 분담패턴이 크게 변화하는 거리대별 기준을 확인할 수 있다. 보행교통의 수단분담률이 버스의 수단분담률보다 큰 구간은 단거리로 구분하고, 버스의 수단분담률이 지하철의 수단분담률보다 큰 두 번째 구간은 중거리로 구분하고, 지하철의 수단분담률이 가장 큰 구간은 장거리로 구분하였다.

[그림 IV-3] 보행교통을 포함한 거리대별 수단분담률



<표 IV-23> 보행교통을 포함한 통행 거리대별 수단분담률

보행 포함 수단분담률		자동차	버스	지하철	택시	보행
2km미만	단거리	21.40%	17.70%	8.07%	21.86%	30.97%
2~5km	중거리	21.26%	26.05%	17.41%	25.09%	10.19%
5km 이상	장거리	20.40%	18.76%	40.20%	19.68%	0.97%

위의 표와 그림을 살펴보면, 거리 구분 기준에 따라 거리별 수단분담률의 변화가 큰 것을 알 수 있다. 단거리에서는 내부준 통행을 제외하고도 보행의 수단분담률이 30.97%로 가장 높다. 중거리에서는 버스의 수단분담률이 26.05%로 가장 높으며, 장거리에서는 지하철의 수단분담률이 40.20%로 가장 높게 나타났다. 버스와 지하철을 대중교통으로 합쳐 비교하면, 거리가 증가할수록 대중교통의 비중이 높아진다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 연구의 배경에서 제시했던 바와 같이 장거리일수록 대중교통 비율이 높아지는 것을 보여주고 있다(윤대식, 2005).

한편, 보행을 제외한 수단분담률을 살펴보면 다음의 표와 같이 지하철 35.74%, 택시 21.05%, 자동차 23.67%, 버스 19.53%로 나타났다.

<표 IV-24> 보행교통을 제외한 수단분담률

구 분	자동차	버스	지하철	택시
수단분담률	23.67%	19.53%	35.74%	21.05%

보행을 제외한 수단통행에 대해서 앞서와 같이 통행 거리별로 수단분담 패턴을 살펴보면 다음의 그림 및 표와 같다. 단거리에서는 승용차의 수단분담률이 32.67%로 가장 높다. 중거리에서는 버스의 수단분담률이 32.74%로 가장 높고, 장거리에서는 지하철의 수단분담률이 44.01%로 가장 높다. 이는 단거리 통행에서 접근시간이 없는 승용차 수단이 선호된다는 것을 의미하며, 중거리 통행의 경우 상대적으로 접근성이 좋은 버스 수단이 선호되고, 장거리의 경우 평균 통행속도가 높고 정시성이 좋은 지하철 수단이 선호된다고 판단할 수 있다.

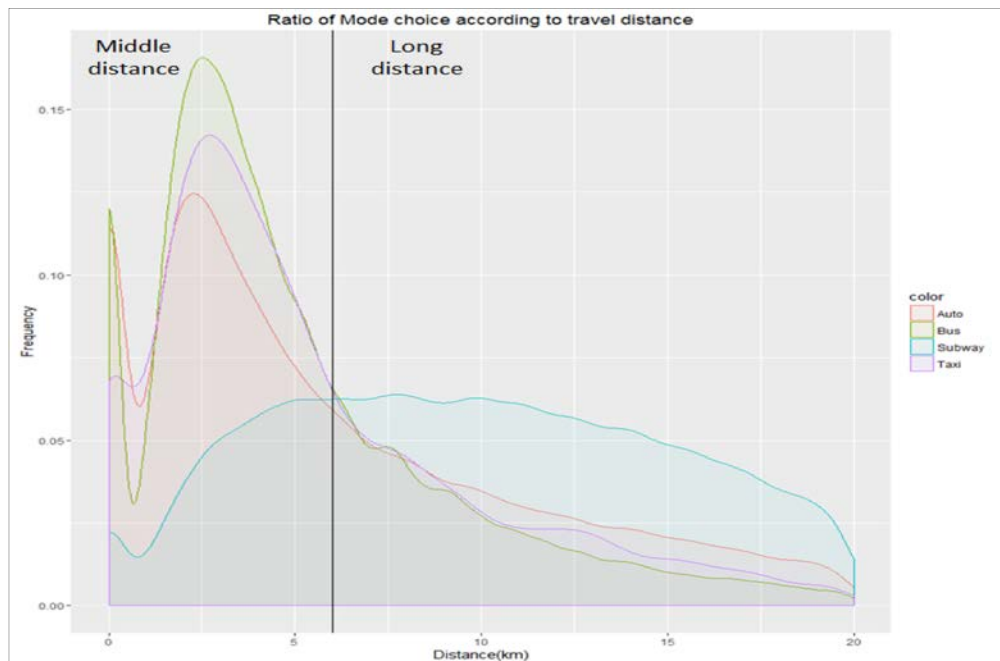
이는 결국 통행자들의 수단선택 행위에 있어 통행 거리대별로 수단을 선택하는 행

태에 변화가 있는 것으로 해석된다. 따라서 본 연구에서는 타당성 분석 과정에서 비동력수단인 보행을 제외한 경우 수단분담 모형을 구축하는 것을 기본 전제로 하고, 2km 미만의 단거리 수단분담 모형과, 2~6km의 중거리 수단분담 모형, 6km 이상의 장거리 수단분담 모형을 구축하였다.

<표 IV-25> 보행교통을 제외한 거리대별 수단분담률

구 분		자동차	버스	지하철	택시
2km미만	단거리	32.67%	28.90%	7.85%	30.58%
2~6km	중거리	24.19%	32.74%	13.06%	30.01%
6km 이상	장거리	22.35%	15.65%	44.01%	18.00%

[그림 IV-4] 보행교통을 제외한 거리대별 수단분담률



2) 통행거리를 고려한 수단선택 모형 구축

본 연구에서는 보행 수단을 제외했을 때의 거리별 통행자료를 활용하여 2km 미만의 단거리, 2km~6km의 중거리, 6km 이상의 장거리로 통행거리를 구분한 수단선택 모형을 구축하였다.

<표 IV-26> 통행거리대별 수단선택모형 구축

보행 포함 수단분담률		자동차	버스	지하철	택시	보행
2km미만	단거리	단거리 수단선택모형(다항 로짓모형)				제외
2~6km	중거리	중거리 수단선택모형(다항 로짓모형)				
6km 이상	장거리	장거리 수단선택모형(다항 로짓모형)				

수단선택 모형 추정을 위한 입력 자료는 가구통행 실태조사 원시자료 중 수단선택과 관련 있는 통행시간, 선택수단, 존 간 통행 데이터를 가공하여 입력 자료를 구축하였다. 가구통행실태조사의 가구원 데이터는 현재 모형에서 함께 고려하고 있지 않아 제외하였고, 가구통행실태조사에 없는 수단별 통행거리와 통행비용은 EMME/4를 이용하여 도출하였다.

통행거리별로 새롭게 구축된 수단선택 모형은 적정성을 판단하기 위해 다음과 같은 네 가지 사항을 살펴보았다. 첫째, 추정된 파라미터의 부호를 바탕으로 선택대안의 적정성을 판단한다. 예를 들어 통행시간 변수의 경우 작게 추정될수록 수단선택 선호도가 높아지기 때문에 음(-)의 부호를 갖는 것이 상식적으로 타당하기 때문이다. 둘째, 통행시간, 통행비용 파라미터를 토대로 각 수단별 시간가치(Value of Time)를 계산하여 일반적인 통행시간 가치와 절대적인 크기 및 수단별 상대 크기를 비교하여 추정된 파라미터의 적정성을 판단할 수 있다. 이때 비교할 수 있는 수단별 통행시간 가치는 다음의 표와 같이 현재 적용하고 있는 수단별 통행시간가치와 같다. 셋째, 추정된 파라미터의 t-통계량을 토대로 통계적 적정성을 판단할 수 있다. 추정된 파라미터의 계수가 0과 다르다는 가설검증을 통해 통계적으로 판단할 수 있는 파라미터가 도출되었는지 검증이 가능한데, 이것은 모든 설명변수가 모형에 포함되어 통행자의 교통수단 선택행태를 설명하는 데 통계적으로 중요한 변수라는 것을 의미한다. 넷째

모형의 전반적인 설명력을 판단하기 위해 ρ^2 값을 살펴본다. 상수를 포함한 계수 값이 0일 때의 우도함수(Log-likelihood function) 값을 기준으로 계산한 $\rho^2(C)$ 값이 0.2~0.4 사이의 값만 가져도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다(김강수, 2006).

<표 IV-27> 편익산정을 위한 수단별 평균 통행시간가치(수도권)

구분	승용차		버스		화물차		철도(1인당)	
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무
재차인원(인)	0.22	1.02	1.23	13.26	1.00	-	0.05	0.95
시간가치(원)	22,775	9,748	17,260(1인) 22,775(0.23인)	5,011	16,374	-	22,775	5,033
시간가치(원/대시)	5,011	9,943	22,498	66,446	16,374	-	1,139	4,781
평균 시간가치(원/대)	14,954		88,944		16,374		5,920	
2015년 기준 평균 시간가치(원/대)	15,253		90,723		16,701		6,038	

주: 1) 재차인원은 국가교통DB센터 제공자료 기준

2) 2015년 기준 가치는 2013년 가치에 편익보정지수(소비자물가지수) 102.0%를 적용한 값임.

□ 단거리(2km 미만) 구간 수단선택 모형 추정 결과

단거리에서의 수단선택 모형 추정 결과는 아래 표에 제시된 바와 같으며, 다음의 세 가지 사항을 토대로 적합하다고 판단된다. 첫째, 수단별 파라미터 산출 결과 통행 시간, 통행비용 모두 음(-)의 부호를 보이고 있으며, 이는 통행시간과 비용이 작을수록 효용이 증가한다는 상식과 일치한다. 둘째, 교통수단별 통행시간과 통행비용 파라미터를 이용한 VOT 산출 결과, 승용차(11,142원/시) > 택시(8,087원/시) > 버스(6,050원/시) > 지하철(5,796원/시) 순으로 도출되었는데, 택시의 VOT가 승용차의 VOT보다 작게 나온 것을 제외하고는 상식과 일치한다. 셋째, 추정된 파라미터를 살펴보면 단거리(2km 미만) 구간에서의 수단분담 모형의 더미변수를 기준으로 자동차의 선택확률이 가장 높은 것으로 판단되며, 지하철의 선호도가 가장 낮은 것으로 도출되어 앞서 원시자료를 분석한 결과와 같은 맥락에서 이해할 수 있다.

즉 2km 미만의 단거리 구간에서는 같은 시간과 비용이 소모된다고 가정하였을 때 승용차를 이용하려는 경향이 가장 높은 것으로 판단되며, 지하철의 경우 접근성이 상

대적으로 낮기 때문에 가장 낮은 선호도를 보이는 것으로 판단된다. 지하철의 시간과 비용에 대한 계수값의 t 통계량이 2보다 크지 않아 통계적 유의성이 낮는데, 이는 다른 구간(중거리, 장거리)보다 지하철 통행을 선택한 관측치(4,714개)의 개수가 상대적으로 적기 때문으로 해석된다. 마지막으로 단거리 모형에 대한 적합도의 경우 ρ_c^2 값이 0.13114로 전반적인 적합도는 낮게 추정되었으며, 여러 유의미한 변수들을 반영하여 모형의 적합도와 설명력을 높일 수 있는 노력이 요구된다.

<표 IV-28> 단거리(2km 미만) 구간의 수단선택 모형 계수값(수도권)

변수(Variable)	계수(Coefficient)		표준오차	t통계치(t-ratio)
Dbus	-8.4269		0.40070	-21.0302
Dsub	-9.3179		0.33626	-27.7105
Dtaxi	-2.4834		0.07941	-31.2748
Time	auto	-0.0052	0.0015	-3.4813
	bus	-0.0062	0.0025	-2.4816
	sub	-0.0042	0.0010	-4.1644
	taxi	-0.0024	0.0002	-11.4819
Cost	auto	-0.0028	0.0003	-8.1474
	bus	-0.0046	0.0009	-5.1842
	sub	-0.0043	0.0030	-1.4715
	taxi	-0.0024	0.0004	-6.1487
관측자료수	59,710			
ρ_0^2	0.152			
ρ_c^2	0.131			

<표 IV-29> 단거리(2km 미만) 구간의 시간가치(VOT) 산출 결과(수도권)

구분	자동차	택시	지하철	버스
단거리	11,142원/시	8,087원/시	5,796원/시	6,050원/시

□ 중거리(2km~6km) 구간 수단선택 모형

중거리에서의 수단선택 모형 추정 수단별 파라미터 산출 결과 통행시간과 통행비용 계수 모두 음(-)의 부호로 산출되었으나, 지하철 통행시간 계수는 양(+)의 부호로 산출되어 논리성에서 부합하지 않았다. 추정된 수단특성 상수를 살펴보면 2km~6km의 중거리 구간에서의 수단분담모형의 더미변수를 기준으로 버스의 선택확률이 가장

높은 것으로 나타났으며, 지하철의 선호도가 가장 낮은 것으로 도출되었다. 즉, 2km~6km의 중거리 구간에서는 같은 시간과 비용이 소모된다고 가정하였을 때 버스를 이용하려는 경향이 가장 높은 것으로 판단되며, 지하철의 경우 접근성이 상대적으로 낮기 때문에 가장 낮은 선호도를 보이는 것으로 판단된다.

□ 장거리(6km 이상) 구간 수단선택 모형

중거리에서의 수단선택 모형 추정 수단별 파라미터 산출 결과 통행시간과 통행비용 계수 모두 음(-)의 부호로 산출되었으나, 지하철 통행시간과 버스 통행비용 계수는 양(+)의 부호로 산출되어 논리성에서 부합하지 않았다. 추정된 수단특성 상수값을 살펴보면 6km 이상의 장거리 구간에서의 수단분담 모형의 더미변수를 기준으로 지하철의 선택확률이 가장 높은 것으로 판단되며, 택시의 선호도가 가장 낮은 것으로 도출되었다. 즉, 6km 이상의 장거리 구간에서는 같은 시간과 비용이 소모된다고 가정하였을 때 장거리통행에 강점을 지니는 지하철을 이용하려는 경향이 가장 높은 것으로 판단되며, 택시는 장거리 통행에 있어 보조 교통수단으로 인식되기 때문에 가장 낮은 선호도를 보이는 것으로 판단된다.

3) 소결 및 향후 과제

본 연구에서는 2010 수도권 가구통행실태조사 원시자료를 이용하여, 통행거리대별 수단분담률의 특성을 고려하기 위해 단거리(2km 미만), 중거리(2km~6km), 장거리(6km 이상)로 구분하여 수단선택 모형을 구축하고자 하였다.

모형의 추정 결과 수단별 특성상수값은 처음 가정하였던 것과 같이 중거리 통행에서는 버스가, 장거리 통행에서는 지하철의 선호도가 높게 도출되어 의미 있는 결과를 도출할 수 있었다. 하지만, 통행시간과 부호의 적정성, 모형의 적합도, 수단특성 상수값의 크기 등을 살펴보았을 때 본 연구에서 검토된 결과를 그대로 적용하기에는 무리가 있는 것으로 보인다.

이는 본 연구에서 교통존 단위의 집계모형을 사용하여 분석을 수행하였기에 다음과 같은 한계를 갖기 때문이다. 우선 집계모형은 개인별 특성을 무시하고 가장 평균적인 사람(Average individual)의 통행을 전체 통행자의 통행이라고 가정한다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 상세한 존 세분화를 통해 평균적인 사람의 특성을 개인의 특성별로 분류하여 적용하거나, 비집계모형을 사용해야 할 필요가 있다. 또한

약 5~6km 이내는 비교적 짧은 구간이므로, 선택대안과 비선택대안의 접근시간을 어떻게 가정하는가와 비선택 대안의 통행시간과 통행비용을 어떻게 가정하는가에 따라서 모형의 결과가 크게 달라질 수 있다.

통행거리대별로 수단별 선호도는 달라질 수 있으며, 주로 장거리 통행에 크게 영향을 받아 추정된 수단선택 모형을 모든 통행거리대별로 동일하게 적용할 경우 단거리 통행에 있어서는 지하철 수단의 수요가 과다하게 예측될 수 있다. 특히 단거리 위주의 트램에서 지하철 수단을 이용한 수단분담 모형 적용 시 이러한 문제는 더욱 심각할 것으로 예상되며, 단거리 통행에서는 보행도 함께 고려될 필요가 있을 것이다.

따라서 향후 통행거리대별로 모형을 보다 세밀하게 구축하는 작업이 요구되며, 각 수단의 특성상수 값에 의해 분담률이 좌우되지 않도록 모형의 변수 및 설명력을 높이는 작업이 요구된다.

제2절 신교통수단의 편익추정 관련 개선 방안

1. 버스공급체계 개편에 따른 공급비용 변화편익 반영

가. 논의 배경

철도 및 트램의 경제적 편익에 관한 연구는 부동산 가격을 이용한 헤도닉 모형에 집중된 반면에 트램이라는 교통 수단의 특성을 고려한 경제적 편익을 따로 논의한 자료는 찾아볼 수 없었다. 또한, 트램이 친환경 측면에서만 강조될 뿐 다른 교통수단과의 대체가능성에는 크게 주목하지 않았는데, 도로 및 철도 인프라 투자에 의해 발생하는 현상을 완전히 고려하지 않았다는 점이다. 예를 들어 도로 및 철도 등의 투자가 진행될 때, 도로 및 철도의 사용자가 얻게 되는 시간 절감 및 차량 운행비용의 절감이 발생하고 사업미시행 시의 비사용자가 사업 시행 시 해당 교통시설을 이용함에 따라 기존 교통수단(노선) 이용자 감소로 인해 비사용자들도 그 혜택을 얻을 수 있다. 이러한 면에서 현재의 편익 산정 체계는 완전한 것으로 보일 수 있으나 시행 시 교통량 변화에 주목하는 반면 대중교통체계의 변화에 대해서는 크게 주목하지 않고 있다.

나. 사례 검토

1) EIB의 대중교통 프로젝트 경제성 평가 지침

트램(Tram)과 같은 교통인프라 투자에서의 대체 교통수단의 변화를 논의할 필요가 있다. 트램 도입 시 승용차 등의 자가차량 이용 변화는 크지 않을 것이나 분명 도심 지역에서는 승용차 이용 감소에 따른 주차공급 시설의 변화분을 고려할 수 있도록 하고 있다. 이와 유사하게 트램 도입을 통해 대중교통 수단 내에서의 수요변화가 발생한다면, 다른 교통수단의 공급을 조정하는 것 또한 충분히 발생할 수 있다. 즉, 트램은 도시 내 철도 및 버스 등의 대중 교통 수단을 대체하는 성격을 갖고 있는데, 현재의 지침에서 제시하는 편익 이외에 기존 대중교통 체계를 유지하는데 소요되는 비용 감소를 편익의 주요 항목으로 고려할 수 있을 것이다.

이와 관련하여 유럽투자은행(EIB)은 Tram 투자에 대한 경제적 편익으로 기존 버스 노선 운행 서비스 비용 절감을 기타 편익(Other benefit)으로 반영하고 있는 사례를 제시하고 있으며, 다음과 같다.

[그림 IV-5] 유럽투자은행 트램사업 편익 산정 사례(버스 공급비용 절감)

Other benefits								
(20)	Reduction in fatalities	MEUR 3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.19
(21)	Bus Savings	MEUR 107.6	0.00	0.00	0.00	0.00	8.53	8.53
(22)	Time savings for users remaining on roads	MEUR 101.6	0.00	0.00	0.00	0.00	5.99	6.14

위의 투자평가서에 Tram의 특성에 대한 특별한 언급은 없으나, 트램이 버스의 수송능력을 단순히 부담하는 수준이 아니라 버스의 공급 및 운영 자체를 대체하는 대중교통수단의 변화로서 인식하고 있는 것으로 판단되며, 이 경우 기존 대중교통수단인 버스의 공급비용 변화분은 사회적 편익으로 충분히 고려할 수 있을 것이다.

2) 파리의 Streetcar 도입 경제성 평가

Prud'homme et al.(2009)⁶¹⁾은 파리의 8km에 이르는 버스 노선에서 스트리트 카(street car)로 대체하는 사업에 대한 비용·편익 분석시 비용부문에서 사업 전·후의 버스 운영 비용과 트램 도입 이후의 운영비용의 차이를 고려하였다. 환경 편익에서는 해당 노선에서 화석 연료를 사용하는 버스의 운행이 중단됨에 따라 사업 시행 전에 운행되던 버스의 이산화탄소(CO₂) 배출량이 저감되는 효과를 추가적인 편익으로 고려한 바 있다.

3) 홍콩 친환경 버스 도입의 타당성평가 사례⁶²⁾

홍콩의 경우 대기오염이 매우 심각한 도시 중 하나로 기존의 버스보다 더 친환경적인 버스를 공급하려는 프로젝트를 진행함에 따라 이에 대한 경제성 분석을 시행하였는데 버스 운영비용 절감효과는 이 사례에서도 찾아볼 수 있다. 친환경버스 도입의

61) Prud'homme et al, Paris: a desire named streetcar, 2009

62) Weiwen Leung, Benefit-cost analysis of accelerated replacement of Hong Kong's pre-Euro IV buses, 2013

주요 편익은 환경저감을 고려하였는데, 주목할 부분은 신규로 공급될 버스 구입비용 149억⁶³⁾ 홍콩달러(HK\$) 중 기존 버스 운영 시 소요될 비용을 고려해야 한다는 점이다. 다음의 표에서 제시된 것처럼 EURO 각 type별로 신규버스를 도입할 경우 각 버스의 잔존가치는 홍콩 내에서 사용되기 어렵기 때문에 그 잔존가치는 소멸되게 된다. 특히 통행 시간 등은 동일한 것으로 가정하였기 때문에 장래 신규버스 대체를 위해 소요되는 버스 구입 비용은 경제성 분석에서 제외한 것으로 유추할 수 있다⁶⁴⁾.

<표 IV-30> 홍콩의 친환경 버스 도입에 따른 버스공급비용 절감편익 사례

	Years before retirement	Opportunity cost of replacing each bus early (millions of HK\$)	Total number of buses	Total cost of replacing buses in this category
Euro I bus	3	\$0.483	1255	\$606 million
Euro II bus	7	\$1.13	2652	\$2.987 billion
Euro III bus	14	\$2.25	1267	\$2.854 billion
Grand total				HK\$6.446 billion

다. 편익 반영을 위한 검토 사항

트램의 건설에 따른 버스 운영비용 절감을 편익으로 반영하기 위해서는 버스 이용객수 감소가 아닌 버스 운행이 실제로 감소해야 한다. 따라서 통상적으로 해당 교통수단의 운행을 조정할 수 있는지 여부가 편익 반영에 있어 중요한 요소이다. 즉, 트램이 운행되더라도 선거 및 다양한 지역민의 요구에 의해서 트램이 버스 등의 대체사업으로 활용되지 않고 추가적인 교통수단으로서의 역할을 하게 된다면 버스 운행비용 절감을 편익으로 고려하는 것은 적절하지 않기 때문이다.

우리나라의 경우에도 여러 도시들에서 트램(노면전차) 도입 시 기존 대중교통체계에 대한 개선을 함께 고려하는 경우가 있다. 하지만, 방대한 버스노선체계를 어떻게

63) 버스 1대당 289만 홍콩달러(HK\$)*필요 버스(5174)로 계산한 수치이다.

64) 물론 엄밀한 경제성 분석 관점에서 본다면 기존 버스와 신규버스의 가치를 동일한 것으로 가정한 것은 잘못된 것으로 판단된다. 그러나 사업 미시행 시의 버스 운영 비용을 고려하였다는 점에서 참고할 만한 가치가 있다.

개편할지에 대한 밑그림이 충분치 않은 경우가 많은데, 공급비용 변화의 반영을 위해서는 노선체계 개편이 사전적으로 충분히 검토되고 확정된 이후 단계에서 반영이 가능할 것이다. 특히나 버스 준공영제를 시행하고 있는 광역지자체에서 버스 노선을 축소할 경우 버스 운송 사업자의 수입금 감소 문제가 제기될 것이므로, 사전에 이를 원활하게 협상하고 조율하여 노선체계 개편(안)이 확정되어야 한다.

아울러 노선체계 개편 시 공급자 측면에서는 비용변화가 존재하나, 이용자 측면에서도 접근성과 이동성 변화를 함께 고려할 필요가 있다. 이는 버스 노선 체계를 과도하게 개편함으로써 사업의 타당성을 왜곡하는 것을 사전에 예방⁶⁵⁾할 수 있는데, 과도한 노선 감축은 버스 공급비용이 절감되는 효과를 가져오지만, 반대로 이용자의 접근성과 이동성은 오히려 증가할 수 있기 때문이다.

<표 IV-31> 버스공급체계 변화에 따른 효과반영(안)

주체	효과 반영
공급자	<ul style="list-style-type: none"> - 대중교통(버스) 서비스 제공 비용의 감소 - 버스기사 인건비, 버스 운행비용 절감 등 (표준운송원가가 산정된 지자체는 표준운송원가로 대체 가능)
이용자	<ul style="list-style-type: none"> - 노선체계변화에 따른 접근성 및 이동성 변화 - 접근시간 및 통행시간 증감

2. 혼잡도(쾌적성) 반영을 위한 모형 구축

가. 연구의 개요

수단선택 모형에서 그동안 통행시간과 통행비용 위주로 하여 수단별로 통행의 비효용(disutility)을 반영하고 있으나, 실제로 계량화 되지 못한 그 외의 비효용적 요소가 존재한다. 특히, 대중교통 이용시 느끼는 통행의 비효용 중 하나는 도로에서 경험하는 차량의 혼잡과 유사한 차내 이용객들 간의 혼잡이다. 하지만 과거에는 기술적 한계 혹은 사회적 성숙도에 따라 고려되지 못했던 이러한 비효용적 요소들이 최근 들어 조사 및 분석 기법의 발달로 활발히 연구되고 있다.

65) 사업 시행을 위해 과도하게 절감 계획을 발표할 경우 부편익이 발생할 가능성이 있으며 이는 수혜자와 비수혜간의 갈등을 유발하고 타당성 분석 결과의 신뢰성을 훼손할 가능성이 높다.

차량 내 혼잡도를 계량화하기 위한 기본적인 접근은 혼잡을 회피하려는 이용자의 태도와 지불의사 간의 절충(trade-off)에 바탕을 두고 있다. 예를 들어, 차량 내 혼잡도가 높아지면 이용객이 혼잡이 적은 차량으로 옮겨 타기 위해 돈을 더 지불할 의사를 묻는 방식으로 혼잡에 대한 화폐적 가치를 산정하는 것이다. 일반적으로 이러한 절충 관계는 선호의식 조사를 통해 다항 로짓모형을 구축하고 화폐가치화를 하게 된다. 그동안 이러한 혼잡의 시간가치화가 어떻게 연구되어 왔는가에 대해 살펴보면 다음과 같다.

김승준(2014)⁶⁶은 서울시 지하철을 대상으로 하여 조건부 가치측정법(Contingent Valuation Method)에 의해 혼잡에 대한 가치를 산정 하였다. 연구 결과 차내 혼잡도가 50% 개선될 경우, 이용자들은 평균 2.2분의 통행시간을 더 감수하는 것으로 나타났으며, 이의 금전적 가치는 228원에 해당하는 것으로 나타났다. 이를 시간으로 환산하면 약 6,218원/시간으로 산정된다. 조사된 혼잡의 시간가치를 바탕으로 서울시 지하철에서 발생하는 연간 혼잡비용은 약 7,247억 원으로 추정되었다.

빈미영 외(2012)⁶⁷는 차내 혼잡도에 따른 지하철 이용자의 추가된 인지 통행시간에 시간가치를 적용하여 신분당선(용산-강남) 구간의 개통으로 인한 수도권 전체 지하철에서 혼잡감소로 인한 편익을 산정하였다. 대중교통이용자의 시간가치(5,390원/시)를 적용하여 편익을 산정한 결과 연간 약 21~38억 원으로 추정하였다.

대중교통수단 내 혼잡의 가치화에 대해 국외 연구를 살펴보면 다음의 표와 같다. 해외 연구에서 눈여겨보아야 할 점은 혼잡의 시간가치가 여러 가지 형태로 표현된다는 것이다. 단위 면적(m^2) 당 인원수(명)로 표현되는 혼잡의 정도에 따라 증가하는 형태(\$/혼잡도), 차량 내 통행시간에 비례하여 증가하는 형태(시간·단위시간(분, 시간)), 통행당 시간가치(\$/통행), 그리고 통행시간을 증가시키는 시간승수(time multiplier)의 형태이다. 네 가지 모두 통행배정 모형에 일반화비용으로 적용될 수 있으나 약간의 차이가 존재한다. 시간·단위시간(분, 시간)의 경우, 시간승수와 더불어 대중교통 수단의 실제 통행시간에 extra time(추가시간)의 페널티를 부여하는 방법으로 혼잡을 반영하지만, 통행당 시간가치의 경우, 대중교통 이용객의 시간가치가 조사되어야 시간단위로 변환이 가능하다. 기존 통행수요예측모형에서 대중교통 통행배정의 일반화비용이 시간으로 통일되는 것을 감안하면 통행당 시간가치의 적용은 추가적인 조사 및 계산

66) 김승준, 서울시 지하철 혼잡비용 산정과 정책활용, 2014

67) 빈미영, 교통복지를 고려한 철도사업의 타당성 평가방안 연구, 2012

과정이 필요할 것으로 판단된다.

<표 IV-32> 혼잡의 가치화에 관한 국외 연구 및 주요 추정 결과

연구자(연도)	단위	상황	혼잡도 가치 추정
Whelan and Crockett (2009) ⁶⁸⁾	시간승수	· 좌석점유율: 25-100 · 혼잡도: 80-200% · 서있는 사람의 수/ m ² : 0-6	\$1~1.83 \$1.5~2.37 \$1.53~2.04
Tirachini et al. (2013) ⁶⁹⁾	\$ / 혼잡도	· 서있는 승객만 고려할 경우 · 서있는 승객과 앉아있는 승객을 동시에 고려할 경우 · 혼잡도가 60% 이상일 경우 · 혼잡도가 90% 이상일 경우	Linear relationship
Douglas and Karpouzis (2006) ⁷⁰⁾	시간승수	· 매우 혼잡할 경우 · 10분이상 서 있는 경우 · 15분이상 서 있는 경우 · 20분이상 서 있는 경우 · 매우 혼잡한 상황에서 10분이상 서있는 경우	0.17 minutes / min. 0.34 minutes / min. 0.57 minutes / min. 0.81 minutes / min. 1.04 minutes / min.
Polydoropoulou and Ben-Akiva (2001) ⁷¹⁾	\$ / 통행	· 항상 좌석에 앉을 수 있는 경우 · 좌석에 앉을 확률이 50%일 경우	0.87 ~ 1.11 / trip 0.43 ~ 0.53 / trip
Hensher et al.	\$ / 통행 \$ / 분	· 좌석에 앉을 확률이 45%일 경우 · 좌석에 앉을 확률이 50%일 경우	1.5 \$ / trip 5.5 Australian cents / min.
Douglas and Karpouzis (2005) ⁷²⁾	시간승수 \$/인시간	· 매우 혼잡한 상황에서 기다리는 경우 · 매우 혼잡한 상황에서 걷는 경우 · 첨두시에 혼잡한 플랫폼에서 기다리는 경우 · 첨두시에 혼잡한 접근로를 걷는 경우 · 비첨두시에 혼잡한 플랫폼에서 기다리는 경우 · 비첨두시에 혼잡한 플랫폼에서 걷는 경우	0.7 ~ 1.5 min / min. 0.5 ~ 0.8 min / min. \$ 10.65 / hour \$ 7.63 / hour \$ 8.82 / hour \$ 6.37 / hour

68) Whelan et al, An Investigation of the Willingness to Pay to Reduce Rail Overcrowding, 2009

69) Tirachini et al, Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand, 2013

70) Douglas et al, Estimating the Passenger Cost of Train Crowding, 2006

71) Polydoropoulou, Combined Revealed and Stated Preference Nested Logit Access and Mode Choice Model for Multiple Mass Transit Technologies, 2001

72) Douglas et al, Estimating the cost to passengers of station crowding, 2005

나. 혼잡도 가치추정을 위한 모형 구축

일반적으로 대중교통 수단에 대한 혼잡의 가치추정은 한계 대체율법에 바탕을 두고 있으며, 다음과 같이 구성되는 효용함수에서 혼잡의 계수(β_3)를 비용계수(β_2)로 나누어 그 가치를 산정한다.

$$U_i = \beta_1 time_i + \beta_2 cost_i + \beta_3 cngtn_i + \varepsilon_i$$

여기서,

U_i : 대안 i 의 효용

β_1 : 통행시간에 대한 효용계수

β_2 : 통행요금에 대한 효용계수

β_3 : 혼잡도에 대한 효용계수

$time_i, cost_i, cngtn_i$: 대안 i 의 통행시간, 통행요금, 혼잡도

ε_i : 관측되지 않는 확률변수

일반적인 형태의 효용함수 이외에도 혼잡의 수준에 따른 영향을 파악하기 위해 기준이 되는 혼잡수준을 선정하고, 그 이외의 수준에 대해서는 더미변수를 적용하는 방식을 고려해 볼 수 있다.

$$U_i^d = \beta_1 time_i + \beta_2 cost_i + \beta_3^k dm_i^k + \varepsilon_i$$

여기서,

U_i^d : 더미변수를 고려한 대안 i 의 효용

β_3^k : 혼잡수준 k 의 더미변수에 대한 효용계수

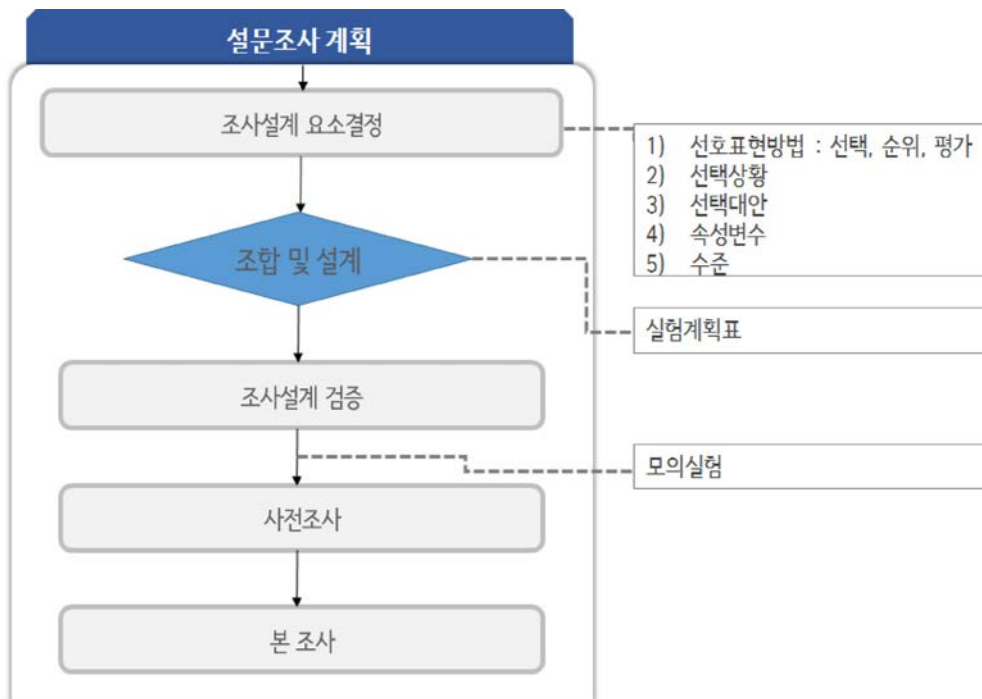
dm_i^k : 혼잡수준 k 의 더미변수

혼잡수준을 더미변수로 처리할 경우 혼잡이 효용함수에 미치는 영향을 시간과 비용 효과의 간섭을 최소화한 상태에서 혼잡의 효과만을 추출하는 데 유용하게 적용될 수 있다. 두 효용함수에 대해 관측되지 않는 확률변수 ε_i 의 분포를 로짓 모형의 기반이 되는 extreme value 분포로 가정하면 로짓 형태의 확률함수로 PDF(Probability Density Function)가 구축되고, 구축된 PDF의 파라미터는 설문조사의 자료를 바탕으로 최우추정법을 통해(maximum likelihood function) 산정하게 된다.

1) 조사설계

혼잡의 가치화를 위한 조사설계는 일반적으로 선택대안을 선정하고, 대안을 설명하는 속성, 속성의 수준을 결정하여 수준별로 다른 속성변수의 조합을 통해 설문지의 설계가 이루어진다.

[그림 IV-6] 혼잡의 가치화를 위한 조사설계 및 조사 흐름도



조사설계를 위해서는 선택대안을 설명하는 속성변수와 속성변수의 변화값을 나타내는 수준을 결정하여야 한다. 본 연구에서는 속성변수로 대중교통수단의 이용으로 인해 야기되는 비효율을 통행시간, 통행요금, 그리고 혼잡으로 결정하였으며, 각 속성변수를 4수준으로 구분하였다.

다음으로 선택대안과 속성변수 및 속성변수의 수준이 결정되고 나면 이를 조합하여 응답자에게 제시하는데, 이러한 조합은 ‘실험계획법’에 의해 이루어진다. 각 속성변수별로 4개의 수준이 존재하므로 모든 속성수준을 고려한 설문지를 설계하면 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 개의 질문 생성이 가능하지만 이는 응답자의 피로도를 증가시키므로 요인

설계방법(factorial design)을 이용하여 필요한 질문만을 추출한 설문을 설계한다. 요인 설계방법은 속성변수와 수준에 대해 모든 경우의 조합을 고려하는 경우(완전배치요인 설계: full factorial design)와 그 중에서 부분적인 조합(부분배치요인 설계: fractional factorial design)을 고려하는 경우로 구분할 수가 있다. 본 연구에서는 조사 설계에 있어 교호작용의 일부분만을 고려하여 질문 수를 줄이는 가장 일반적인 방법인 부분배치요인 설계방법을 이용한다. 부분배치요인 설계에서는 각 속성변수 간의 주효과는 측정하지만, 속성변수 간에 교호(상호)작용의 일부 또는 전부가 없다는 가정에서 출발하는 설계방법이다.

본 연구에서는 각 속성변수의 주 효과만을 측정하여 시간가치를 산정하므로 부분배치요인 설계법을 적용하였다. 통계학적으로 검증된 실험계획표(직교표)를 바탕으로 질문의 조합을 구축하기 위해 일반적으로 교통분야에서는 자주 이용되는 Kocur et al.(1982)이 정리한 직교배열표를 이용하였다.

<표 IV-33> Kocur, et al(1982)의 실험계획표(부분)

구분	단위
Department plan code no.	28
Total No. of variables	6
No. of variables at 2 level	0
No. of variables at 3 level	0
No. of variables at 4 level	6
No. of variables at 5 level	0
No. of test required	25
Are all main effects are independent of 2-factor interactions?	No
No. of Independent 2 factor interactions under assumed model	0
Master plan no.	7
Using columns no.	7,8,9,10,11,12
Columns from which 2-Factor Interactions can be Estimated	none

자료: Kocur G. et al, Guide to Forecasting Travel Demand with Direct Utility Measurement, 1982

본 연구에서는 통행의 비효율을 통행시간, 통행요금, 그리고 혼잡의 3변수로 나타내고, 2개의 대안 중 하나를 선택하는 설문을 구성하였다. 따라서 총 고려할 변수는 2개의 대안에 3변수를 곱하면 6개이다. 여기에, 각 변수별로 4수준을 고려해 Kocur et

al.(1982)의 실험계획에서 제시하는 조합을 다음의 그림과 같이 인용하였고, 본 연구에서의 적용 방법은 다음과 같다. 7, 8, 9번 칼럼은 각각 대안 1의 통행시간, 요금, 혼잡도와 매칭되며, 10, 11, 12번 칼럼은 각각 대안 2의 통행시간, 요금, 혼잡도와 매칭된다. 또한 0은 해당 변수의 1수준, 1은 해당 변수의 2수준과 같이 매칭되므로 두 번째 줄(화살표)의 조합을 바탕으로 질문지를 구성하면 다음의 표와 같다.

[그림 IV-7] Kocur, et al(1982)의 실험계획표 중 Master Plan No.7

MASTER PLAN 7:						25 trials									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
123456	789012	345678	901234												
000000	000000	000000	000000			000000	000000	000000	000000			000000	000000	000000	000000
011234	011230	011220	011110			011230	011220	011110	011110			011110	011110	011110	011110
022413	022013	022012	011011			022013	022012	011011	011011			011011	011011	011011	011011
033142	033102	022102	011101			033102	022102	011101	011101			011101	011101	011101	011101
044321	000321	000221	000111			000321	000221	000111	000111			000111	000111	000111	000111
101111	101111	101111	101111			101111	101111	101111	101111			101111	101111	101111	101111
112340	112300	112200	111100			112300	112200	111100	111100			111100	111100	111100	111100
123024	123020	122020	111010			123020	122020	111010	111010			111010	111010	111010	111010
134203	130203	120202	110101			130203	120202	110101	110101			110101	110101	110101	110101
140432	100032	100022	100011			100032	100022	100011	100011			100011	100011	100011	100011
202222	202222	202222	101111			202222	202222	101111	101111			101111	101111	101111	101111
213401	213001	212001	111001			213001	212001	111001	111001			111001	111001	111001	111001
224130	220130	220120	110110			220130	220120	110110	110110			110110	110110	110110	110110
230314	230310	220210	110110			230310	220210	110110	110110			110110	110110	110110	110110
241043	201003	201002	101001			201003	201002	101001	101001			101001	101001	101001	101001
303333	303333	202222	101111			303333	202222	101111	101111			101111	101111	101111	101111
314012	310012	210012	110011			310012	210012	110011	110011			110011	110011	110011	110011
320241	320201	220201	110101			320201	220201	110101	110101			110101	110101	110101	110101
331420	331020	221020	111010			331020	221020	111010	111010			111010	111010	111010	111010
342104	302100	202100	101100			302100	202100	101100	101100			101100	101100	101100	101100
404444	000000	000000	000000			000000	000000	000000	000000			000000	000000	000000	000000
410123	010123	010122	010111			010123	010122	010111	010111			010111	010111	010111	010111
421302	021302	021202	011101			021302	021202	011101	011101			011101	011101	011101	011101
432031	032031	022021	011011			032031	022021	011011	011011			011011	011011	011011	011011
443210	003210	002210	001110			003210	002210	001110	001110			001110	001110	001110	001110

자료: Kocur G. et al, Guide to Forecasting Travel Demand with Direct Utility Measurement, 1982

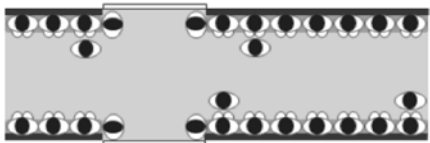
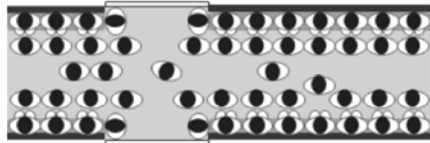
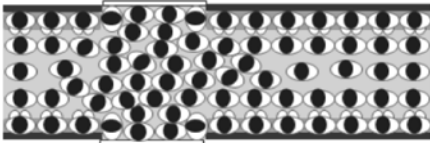
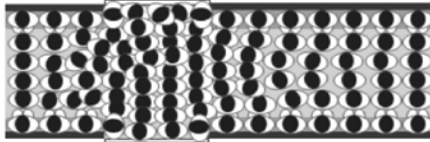
<표 IV-34> 설문지 질문 구성(예시)

구분	대안1			대안2		
	통행시간	요금	혼잡도	통행시간	요금	혼잡도
계획표수준	0	1	1	2	3	0

2) 설문지 설계(사전조사)

사전조사를 위해 결정된 속성변수의 수준은 다음과 같다. 혼잡도의 경우, 아래 그림과 같이 50% 이하의 경우를 0 수준으로 하고, 50%씩 증가시키며 혼잡수준을 결정하였으며, 가장 높은 수준의 혼잡률은 200%로 채택하였다. 각 혼잡수준별로 혼잡상태에 대한 이해를 돕기 위해 혼잡 상태도를 다음의 표와 같이 삽입하였다.

<표 IV-35> 혼잡도에 따른 혼잡 상태도 표현

수준	혼잡도	재차인원	혼잡 상태도
0	50% 이하	80명 혹은 이하/량	
1	100%	160명/량	
2	150%	240명/량	
3	200%	320명 혹은 이상/량	

통행시간의 경우, 20분을 0수준으로 하고 10분 간격으로 증가시켰으며, 가장 높은 수준의 통행시간은 50분이다. 대중교통 요금은 1,300원에서 시작하여 100원씩 증가시켜가며 수준을 설정하였으며, 가장 높은 수준의 요금은 1,700원으로 설정하였다.

<표 IV-36> 대중교통 요금 및 통행시간 수준 설정

수준	시간	요금
0	20분	1300원
1	30분	1400원
2	40분	1500원
3	50분	1700원

이를 바탕으로 실험계획법에 의한 25개의 설문문항을 구성하면 다음과 같다.

<표 IV-37> 실험계획법에 의한 25개 설문 대안 구축 결과

번호	대안1			대안2		
	통행시간	요금	혼잡도	통행시간	요금	혼잡도
1	20분	1300원	50% 이하	20분	1300원	50%이하
2	30분	1400원	50% 이하	50분	1300원	150%
3	40분	1500원	50% 이하	30분	1700원	50%이하
4	50분	1700원	50% 이하	20분	1500원	100%
5	20분	1300원	50% 이하	40분	1400원	200%
6	20분	1400원	100%	30분	1400원	100%
7	30분	1500원	100%	20분	1300원	200%
8	40분	1700원	100%	40분	1300원	50%이하
9	50분	1300원	100%	20분	1700원	150%
10	20분	1300원	100%	50분	1500원	50%이하
11	20분	1500원	150%	40분	1500원	150%
12	30분	1700원	150%	20분	1400원	50%이하
13	40분	1300원	150%	50분	1300원	100%
14	50분	1300원	150%	30분	1300원	200%
15	20분	1400원	150%	20분	1700원	50%이하
16	20분	1700원	200%이상	50분	1700원	200%
17	30분	1300원	200%이상	30분	1500원	50%이하
18	40분	1300원	200%이상	20분	1400원	150%
19	50분	1400원	200%이상	40분	1300원	50%이하
20	20분	1500원	200%이상	20분	1300원	100%
21	20분	1300원	50% 이하	20분	1300원	50%이하
22	30분	1300원	50% 이하	40분	1700원	100%
23	40분	1400원	50% 이하	20분	1500원	200%
24	50분	1500원	50% 이하	50분	1400원	50%이하
25	20분	1700원	50% 이하	30분	1300원	150%

25개 문항을 모두 설문 응시자에게 제시하는 것은 설문 피로도가 높을 것으로 판단되어 설문 문항 수를 줄였는데, 위 25개 질문 중 다음과 같이 질문에 대한 응답이 명확한 경우에 대해서는 삭제하였다. 삭제된 질문의 예는 다음과 같다.

<표 IV-38> 응답자 피로도 저감을 위해 삭제된 질문(예시)

번호	통행시간	요금	혼잡	선택
①	30분	1300원	50%이하	
②	40분	1700원	100%	

위 질문은 앞선 표의 22번에 해당하는 질문으로 두 번째 대안은 모든 면(통행시간, 요금, 혼잡)에서 첫 번째 대안보다 열등하므로 합리적인 의사결정을 내리는 응답자라면 1번을 선택할 것이다. 이렇게 설문 문항이 어떤 개인에게 설문하여도 같은 대답을 선택할 경우가 예상되는 경우에는 설문문항에서 제외하고 설문지를 구성하였다. 응답자의 피로도를 줄이기 위해 질문 문항 수를 줄여 최종적으로 구성한 사전조사 대안은 다음과 같다.

<표 IV-39> 최종 설문 문항 구성(사전조사)

번호	대안1			대안2		
	통행시간	요금	혼잡도	통행시간	요금	혼잡도
1	30분	1400원	50%이하	50분	1300원	150%
2	40분	1500원	50%이하	30분	1700원	50%이하
3	50분	1700원	50%이하	20분	1500원	100%
4	30분	1500원	100%	20분	1300원	200%이상
5	50분	1300원	100%	20분	1700원	150%
6	20분	1300원	100%	50분	1500원	50%이하
7	40분	1300원	150%	50분	1300원	100%
8	50분	1300원	150%	30분	1300원	200%이상
9	20분	1400원	150%	20분	1700원	50%이하
10	30분	1300원	200%이상	30분	1500원	50%이하
11	40분	1300원	200%이상	20분	1400원	150%
12	40분	1400원	50%이하	20분	1500원	200%이상
13	20분	1700원	50%이하	30분	1300원	150%

3) 사전조사 결과

사전조사 결과에 대한 분석에 앞서 분석 결과의 신뢰성을 향상시키기 위해 비합리적이거나 성실하지 못한 설문응답을 제외하는 자료의 검수를 실시하였다. SP 분석 모형은 효용극대화 이론에 바탕을 둔 통행자의 의사 결정을 가정하므로 한 가지 속성변수뿐만 아니라, 종합적으로 속성변수를 고려하는 의사결정을 가정하고 있다. 하지만 Lexicographic 의사결정이란 대안의 여러 가지 속성변수 중 설문자가 생각하기에 가장 중요한 속성변수를 택하여 그 속성변수를 기준으로만 응답을 하는 경우이다. 따라서 Lexicographic 의사결정은 속성변수 간의 trade off가 고려되지 않아 합리적인 의사결정이 아닌 것으로 판단되어 분석 대상에서 제외하였다.

Lexicographic 의사결정의 예는 다음과 같다. 다음의 표는 통행시간만을 기준으로 자신의 응답을 결정한 Lexicographic 설문 응답의 예이다. 요금과 혼잡률은 고려하지 않은 채 모든 문항에 대해 통행시간이 절감되는 경우만 선택한 것이다. 요금과 혼잡률에 대해서도 같은 검수기준을 적용하여 최종 분석을 위한 자료 구축에서는 제외하였다. 모든 질문에 한 가지 대안으로만 응답한 경우에도 설문대상자가 설문에 성실히 응답하지 않았다고 판단되어 분석에서 제외하였다.

<표 IV-40> Lexicographic 의사 결정의 사례

구분	통행시간		요금		혼잡률	
	①	②	①	②	①	②
①	30분	50분	1700원	1200원	50%	150%
②	40분	30분	2500원	3500원	50%	50%
②	50분	20분	3500원	2500원	50%	100%
②	30분	20분	2500원	1200원	100%	200%
②	50분	20분	1200원	3500원	100%	150%
①	20분	50분	1200원	2500원	100%	50%
①	40분	50분	1200원	1200원	150%	100%
②	50분	30분	1200원	1200원	150%	200%
① 혹은 ②	20분	20분	1700원	3500원	150%	50%
① 혹은 ②	30분	30분	1200원	2500원	200%	50%
②	40분	20분	1200원	1700원	200%	150%
②	40분	20분	1700원	2500원	50%	200%
①	20분	30분	3500원	1200원	50%	150%

□ 통행목적별 분석 결과(사전조사)

자료검수를 통해 유의한 선택자료를 대상으로 분석한 결과 대중교통 이용자의 시간가치와 혼잡에 대한 가치는 각각 1,075원, 436원으로 분석되었으며, 두 가치의 비율은 약 40.5%로 나타났다. 통행목적별 시간가치와 혼잡의 가치를 분석한 결과, 통근, 통학, 업무, 쇼핑의 목적에서 거의 비슷한 수준의 시간가치와 혼잡에 대한 가치를 부여하는 것으로 나타났다. 이들 목적에 대한 시간가치는 약 1,000원 수준이었으며, 그에 따른 혼잡의 가치는 약 400원 수준인 것으로 분석되었다. 반면, 여행·레저 목적의 경우, 다른 목적대비 가장 높은 시간가치와 혼잡에 대한 가치를 보였다. 여행/레저 목적의 경우, 시간가치는 1,513원, 혼잡의 가치는 806원으로 다른 목적의 시간가치보다 약 50%, 혼잡의 가치는 2배 정도의 높은 수준을 보였다. 이는 여행과 레저를 위한 통행에서 혼잡을 피하고 싶은 통행자의 의도가 큰 것으로 판단된다.

<표 IV-41> 통행 목적별 분석결과(사전조사)

구분	가치추정결과		파라미터 추정결과			통계유의성검증			obs.	
	시간가치	혼잡도가치	시간	비용	혼잡도	t-value				
전체(검수후)	1,075	436	-0.064	-0.004	-1.548	-41.2	-29.1	-44.6	11,947	
통행 목적별	통근	1,063	406	-0.063	-0.004	-1.441	-32.2	-23.1	-33.6	7,384
	통학	1,170	434	-0.069	-0.004	-1.528	-11.4	-7.6	-11.8	858
	업무	1,082	486	-0.064	-0.004	-1.715	-15.7	-10.9	-18	1,729
	쇼핑	1,000	473	-0.067	-0.004	-1.890	-12.6	-9.5	-14.9	1,092
	여행레저	1,513	806	-0.054	-0.002	-1.737	-6.7	-3.2	-8.1	351
	친지방문	852	416	-0.059	-0.004	-1.713	-6.4	-5.5	-7.8	325

□ 혼잡도 수준별 분석결과(사전조사)

혼잡률이 50%인 경우를 기준으로 100%, 150%, 200%의 혼잡률에 대해 더미변수를 적용하여 분석한 결과는 다음과 같다. 혼잡률 100%의 경우, 추정된 더미변수의 계수가 통계적으로 유의하지 않아(t-value: 1.4) 100%의 혼잡에 대한 더미변수는 0으로 해석된다. 이는 기준 혼잡률인 50%와 같은 것으로 해석할 수 있으며, 50%의 혼잡률과 100% 혼잡률 간에 설문에 응한 이용자들은 큰 의미를 부여하지 않는 것을 알 수 있다. 반면, 혼잡률이 150% 이상인 경우, 설문에 응한 응답자들은 혼잡의 가치에 대해

차이를 보이는 것으로 분석되었다. 혼잡률이 150%인 경우, 혼잡의 가치에 약 359원을 부여하였으며, 혼잡률이 200% 이상인 경우 2배 이상인 858원을 부여하였다.

<표 IV-42> 혼잡 수준별 분석결과(사전조사)

시간가치	추정가치			계수				
	혼잡도 100%	혼잡도 150%	혼잡도 200%	시간	비용	혼잡도 100%	혼잡도 150%	혼잡도 200%
1,473	-33	359	858	-0.061	-0.002	0.082	-0.895	-2.140
유의성검증	t-value			-35.8	-17.5	1.4	-19.6	-36.4

4) 설문지 재설계(본 조사)

사전 조사에서 조사된 대중교통 이용자의 시간가치는 약 1,000원~1,200원 대로 나타났다. 그 원인을 분석한 결과 설문 문항 작성시 충분한 시간가치 범위를 포함하지 못한 것으로 보인다. 예를 들어, 최종적으로 구성된 질문에서 혼잡률을 제외하고, 통행시간과 통행비용만을 고려하여 질문에 내재된 시간가치를 산정하면 다음과 같다.

1번 문항의 경우, 대안 1을 선택하면 20분 시간 절감에 100원을 더 지불할 의사를 보이는 것이므로 이는 약 300원/시간(20분 : 100원 = 60분 : x) 혹은 그 이상의 가치를 의미한다. 이러한 방식으로 사전조사에서 설계된 시간가치는 약 300원 ~ 2,400원의 범위를 제시하는 것으로 나타났다. 본 조사에서는 위 시간가치의 범위가 매우 낮아 설문지 설계로 인해 시간가치가 제한된다고 판단되어, 시간가치의 범위를 충분히 넓게 제시하여 조사하기로 하였다. 또한, 혼잡률의 가치가 일반적으로 시간가치의 일정 %로 결정되는 경향이 있는바, 시간가치 수준의 설정이 중요하다고 판단하였다.

다른 속성변수의 수준은 변함없이 요금 수준의 변화를 통해 시간가치의 범위를 넓힌 본 조사의 조사 설계 문항은 다음의 표와 같다. 본 조사에서 설문지에 간접적으로 반영된 시간가치의 범위는 1,500원~13,800원 수준으로 충분한 범위를 제시하여 시간가치가 제한받지 않도록 수정하였다.

<표 IV-43> 최종 설문 문항 구성(본 조사)

번호	대안1			대안2		
	통행시간	요금	혼잡도	통행시간	요금	혼잡도
1	30분	1700원	50%이하	50분	1200원	150%
2	40분	2500원	50%이하	30분	3500원	50%이하
3	50분	3500원	50%이하	20분	2500원	100%
4	30분	2500원	100%	20분	1200원	200%이상
5	50분	1200원	100%	20분	3500원	150%
6	20분	1200원	100%	50분	2500원	50%이하
7	40분	1200원	150%	50분	1200원	100%
8	50분	1200원	150%	30분	1200원	200%이상
9	20분	1700원	150%	20분	3500원	50%이하
10	30분	1200원	200%이상	30분	2500원	50%이하
11	40분	1200원	200%이상	20분	1700원	150%
12	40분	1700원	50%이하	20분	2500원	200%이상
13	20분	3500원	50%이하	30분	1200원	150%

5) 본 조사 결과

사전 조사와 같은 방식으로 Lexicographic 의사 결정과 성실히 응답하지 않은 설문 응답은 제외하였다.

통행목적별 분석 결과(본 조사)

본 조사 결과 대중교통 이용자의 시간가치의 범위가 높게 형성되었다. 사전조사에서 나타났던 1,000원~1,200원의 시간가치는 약 2,900원~4,500원으로 증가하였다. 전체 자료를 대상으로 분석하였을 시, 시간가치는 2,923원, 혼잡의 가치는 시간가치의 약 42.7%인 1,249원으로 분석되었다. 통행 목적별로는 비업무적이며 규칙적이지 않은(쇼핑, 여행 및 레저, 친지방문) 통행의 목적에서 혼잡의 가치를 높게 부여하는 것으로 나타났다.

통근, 통학, 업무 통행의 경우 시간가치는 약 2,700원~2,900원대, 혼잡의 가치는 약 1,100원~1,440원대로 분석되었다. 쇼핑, 여행/레저, 친지방문의 경우 시간가치는 2,478원~3,794원대, 혼잡의 가치는 1,500원~1,968원대로 상대적으로 높게 분석되었다. 이는, 앞서 분석된 사전 조사결과에서 여행 및 레저의 시간가치와 혼잡의 가치가 다른

통행목적보다 높게 형성되는 것과 그 궤를 같이한다. 본 조사에서도 여행/레저의 시간가치와 혼잡의 가치가 높게 측정되었다.

<표 IV-44> 통행 목적별 분석결과(본 조사)

구분	가치추정결과		파라미터 추정결과			통계유의성검증			obs.	
	시간 가치	혼잡도 가치	시간	비용	혼잡도	t-value				
전체(검수후)	2,923	1,249	-0.044	-0.001	-1.136	-31.8	-43	-35.9	11,895	
통행 목적별	통근	2,984	1,090	-0.045	-0.001	-0.991	-25.4	-34.1	-25.5	7,384
	통학	2,991	1,352	-0.056	-0.001	-1.526	-9.9	-13.2	-11.8	910
	업무	2,787	1,441	-0.038	-0.001	-1.175	-11.3	-15.5	-14.5	1,820
	쇼핑	2,478	1,600	-0.043	-0.001	-1.659	-8	-11.6	-11.7	819
	여행레저	3,794	1,499	-0.053	-0.001	-1.252	-6.2	-6.9	-6.7	351
	친지방문	2,801	1,968	-0.043	-0.001	-1.793	-6.1	-7.9	-9.3	468

□ 혼잡도 수준별 분석 결과(본 조사)

혼잡도 수준별로 가치를 측정하기 위해 더미변수를 적용하여 분석을 실시하였다. 더미변수의 기준은 혼잡률이 50%일 때를 기준으로 하였으며, 다른 속성수준에 대한 더미변수의 계수는 다음과 같이 추정되었다. 분석 결과, 사전조사와 마찬가지로 혼잡이 100%일 경우, 유의하지 않은 통계 결과를 얻었다. 이는 혼잡률이 50%일 때와 차이가 없다는 것으로 해석될 수 있으므로 설문에 응한 응답자들은 100% 이하에 대한 혼잡에 대해서는 무차별적임을 알 수 있다. 반면, 혼잡이 150%, 200% 이상으로 증가할 경우에는 821원에서 2,025원으로 급격히 상승하는 것으로 분석되었다. 2,025원의 혼잡의 가치는 추정된 시간가치(3,315원)의 약 61%에 해당하는 값으로 매우 높은 것을 알 수 있다.

<표 IV-45> 혼잡도 수준별 분석결과(본 조사)

시간가치	추정가치			계수				
	혼잡도 100%	혼잡도 150%	혼잡도 200%	시간	비용	혼잡도 100%	혼잡도 150%	혼잡도 200%
3,315	-49	821	2,025	-0.044	-0.00079	0.039	-0.649	-1.602
유의성 검증	t-value			-29.4	-34.5	0.8	-15.5	-31.1

6) 일본 및 영국과의 결과 비교 및 소결

본 연구에서 추정된 결과를 일본 및 영국의 사례와 비교해 살펴보면 다음과 같다. 각 나라별로 혼잡도의 정의가 상이하므로 엄밀한 의미에서의 동등비교는 곤란하나 일본은 상당히 보수적으로 평가하고 있으며, 영국의 경우는 혼잡도 증가에 따른 이용자의 불편 정도가 상대적으로 높게 반영되고 있다. 혼잡도 100% 이하의 경우에는 혼잡도에 대해 유의미한 가치가 없는 것으로 분석되었으며, 영국과 일본 또한 크지 않게 나타나 비침두시와 같이 혼잡도가 높지 않은 경우에는 별도로 분석할 실익이 없을 것으로 보이며, 침두시에 대한 고려는 어느 정도 필요성이 존재하는 것으로 나타났다.

<표 IV-46> 혼잡도에 따른 시간가치 할증 비율 비교

혼잡도	혼잡도에 따른 시간가치 할증 비율		
	본 분석결과	일본	영국
100%	유의하지 않음(1.0)	1.027	1.16(0.5인/m ²)
150%	1.24	1.069	1.86(4.0인/m ²)
200%	1.61	1.160	-
250%	-	1.505	-

주: 일본은 일본의 지침에서 제시하는 혼잡도를 그대로 적용하였으며, 영국의 경우는 혼잡도가 아닌 m²당 인원
으로 제시되어 있어 유사한 수준의 값을 적용함에 따라 엄밀한 의미에서 동등한 비교는 곤란함.

본 연구 결과 더미변수를 통한 분석 결과가 혼잡도에 대한 가치를 어느 정도 논리적으로 반영하는 것으로 나타났다. 하지만, 조사 비용과 기간에 대한 한계로 인해 충분한 조사가 이루어졌다고 보기 어려우며, 혼잡도에 대한 가치를 추정하는 방법론은 다양하므로 향후 추가적인 연구와 모형 개발을 통해 보다 안정적이고 설명력이 높은 결과를 도출하는 것이 필요하다.

제 V 장

결론 및 정책제언

우리나라 도시대중교통(mass transit)의 발전 연혁을 살펴보면, 과거 노면전차에서 버스로, 그리고 서울 등 대도시를 중심으로 지하철, 경량전철을 거쳐 다시 최근에는 트램(노면전차)에 대한 도입이 활발하게 논의되고 있다. 우리나라의 노면전차는 1899년 대한제국 때 처음 도입된 이후 일제 강점기 때에는 혼잡문제가 거론될 정도로 활발히 이용되었으나, 6.25 전쟁 이후 적자문제와 교통사고, 느린 속도 등으로 인해 1968년 11월 30일 모든 노선의 운행이 중단된 바 있다.

이후 도시교통은 버스, 중량전철을 거쳐 비용절감, 수요 대응형으로 몇몇 도시에서 경전철을 도입하였으나, 교량 구조물 방식의 경전철은 처음 기대와는 달리 비용이 높고, 접근성이 불리하여 비용 절감과 수요 창출 효과가 미흡한 문제가 발생해 왔다. 이에 대한 대안으로 비용이 저렴하고, 버스에 비해 수송용량이 큰 신교통수단인 트램(노면전차)의 도입이 활발하게 논의·검토되고 있으며, 현재 수원, 대전, 판교, 동탄, 위례 등에서 트램(노면전차)의 도입이 검토되고 있다.

트램에 대한 재조명은 국내뿐만 아니라 해외에서도 활발히 이루어지고 있으나, 국가별 특성에 따라 차이는 존재함에 따라 무분별한 신봉보다는 성공적으로 도입, 운영될 수 있도록 하는 노력이 요구된다. 전 세계적으로 약 430여 개 이상의 도시에서 관광용을 제외한 도시교통용으로 트램이나 LRT를 운영하고 있으며, 새로운 노선이 건설 및 계획 중에 있다.

특히, 프랑스와 미국은 1980년대 이후 많은 노선들을 새롭게 건설 중에 있는데, 프랑스에서 트램(노면전차)이 각광을 받는 이유는 다음과 같다. 트램 사업을 단순히 교통 사업가 아닌 도시 사업의 일환으로 보고 도심 재정비 사업과 함께 시행하였으며, 트램 건설과 동시에 대중교통 우선 및 자가용 사용 억제라는 중앙정부 및 지방정부의 확고한 정책 방향을 설정하고 이를 지속적으로 추진하였다.

반면, 영국의 경우에는 1990년~2000년 초 기간 동안 짧은 트램 및 경전철 전성기

가 존재하였으나, 비용증가와 수요미달로 인한 적자, 오랜 준비기간 등의 여러 문제로 인해 한동안 트램 및 경전철에 대한 휴지기를 갖게 되었다는 점은 명심하여야 할 것이다.

트램(노면전차)과 같은 신교통수단의 타당성 평가는 현재 도시철도부문 사업의 표준적인 분석방법론을 준용하여 수요 및 편익을 추정함에 따라 효과를 제대로 반영하지 못한다는 문제가 지적되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 신교통 수단의 특성을 보다 잘 반영할 수 있는 분석 방법론 및 평가기준 등이 존재하는지를 살펴보고자 하였으며, 트램을 포함한 도시교통 특성을 고려할 수 있는 개선방안에 대한 연구를 수행하였다.

해외 사례를 검토한 결과 트램은 해외에서도 도심지 대중교통수단으로 활발히 추진되고 있는 것으로 나타났으나, 평가와 관련해서는 트램만의 독립적인 평가시스템과 방법론을 적용한 사례를 찾아보기 어려웠다. 다만, 우리나라의 평가방법론은 주로 지역 간 교통시설을 위주로 시작되어 발전되어 왔기 때문에, 도시 내 교통특성을 반영하는 데에는 한계가 있어 트램만을 위한 것은 아니나 도시 교통 특성을 반영한 방법론의 적용 필요성은 존재한다.

교통수요 측면에서의 문제점 및 개선방안을 살펴보면 다음과 같다. 그동안 진행된 트램(노면전차)의 사전조사 또는 예비타당성조사의 분석방법론을 살펴보면 대부분 도시철도(지하철)에 준하여 수단선택 및 통행배정을 수행하였다. 여러 해외 문헌에서 트램은 버스와 동일하거나 또는 버스 대비 약 3분~10분 내외의 수단 경쟁력을 갖고 있는 것으로 조사되었으나, 현행 수도권외의 수단선택 모형에서는 버스 대비 지하철의 수단보너스가 훨씬 높게 나타나고 있다. 따라서 트램 노선의 표정속도, 운행횟수, 정시성 등을 복합적으로 검토하여 버스 또는 지하철 수단 중 유사하다고 판단되는 수단의 속성을 반영하되, 수단간 경쟁력이 적정한지 살펴보고 문제가 있다고 판단될 경우 별도의 조사를 통해 모형을 구축하거나, 기존 모형의 수단특성 상수를 조정 적용하는 것이 필요하다.

다음으로, 통행거리대별로 수단별 선호도는 달라질 수 있는데, 주로 장거리 통행에 크게 영향을 받아 추정된 수단선택 모형을 모든 통행거리대별로 동일하게 적용할 경우 단거리 통행에 있어서는 수요가 과다하게 예측될 수 있다. 특히 단거리 위주의 트램을 고려하기 위해서는 통행거리 5~6km 이내의 단거리 통행을 별도로 검토한 모형의 개발이 필요하다. 또한, 현재는 도보 통행을 별도로 고려하고 있지 않으나 단거리

통행에서는 보행이 차지하는 값도 상당하므로 약 2km 이내의 단거리에서는 보행도 함께 고려할 수 있는 모형을 구축할 필요가 있을 것이다. 마지막으로 현재 적용 중인 수단선택 모형은 수단특성 상수값이 매우 커서 통행시간과 비용 외에 수단특성 상수값에 의한 영향도 크게 작용할 수 있다. 결국 이는 통행시간과 비용으로는 비효율을 모두 설명하지 못하고, 그 외에 설명되지 않는 다른 요인이 크게 존재한다는 것이므로 모형의 변수 및 설명력을 높이는 작업이 요구된다.

편익측면에서의 개선방안을 살펴보면 다음과 같다. 수많은 해외 문헌들을 살펴보았으나, 트램만의 특성을 고려한 별도 효과를 찾아보기는 어려웠다. 하지만 트램을 포함한 도시교통수단의 편익으로 추가적으로 고려할 수 있는 항목에는 신뢰성, 차량 내 혼잡완화, 트램 공급에 대응하여 버스 노선을 개편하여 버스 운영 및 유지(O&M) 비용을 절감하는 효과 등을 반영할 수 있을 것으로 보인다.

선행 연구에서 제시된 여러 기타 효과는 분명 존재하지만, 타 편익과의 중복 또는 이를 계량화하고 화폐가치화하는 것이 쉽지 않은 문제가 존재한다. 도시재생 측면에서 지가상승 효과는 접근성 개선효과와 중복의 문제가 있으며, 현재 고용효과와 지역 내 부가가치 증대 효과로 일부 반영되고 있다.

버스 노선체계 개편에 따른 공급비용 변화효과에 대한 반영은 사전에 노선체계 개편(안)이 충분히 조율되고 확정된 이후 반영되어야 할 것이며, 공급자뿐만이 아닌 이용자 측면에서의 접근성과 이동성 변화도 함께 고려할 필요가 있다. 신뢰성, 혼잡도 변화 효과는 도로에서 신교통 수단을 포함한 대중교통 수단으로의 수단전환자가 아닌 대중교통수단 이용자의 변화분 위주로 우선 반영을 검토할 필요가 있어 보인다.

본 연구에서는 트램만의 고유효과는 아니나 단거리 위주의 교통 특성과 도시지역 교통특성을 고려할 수 있는 개선방안에 중점을 두고 연구를 수행하였다. 이를 위해 짧은 정류장 간 거리를 고려하기 위해 통행거리대별로 수단선택 모형을 구분하여 추정하였고, 대중교통 수단의 교통혼잡도에 따른 이용자의 지불의사를 추정하였다. 연구 결과 관련 기초자료 및 조사의 한계로 인해 현 시점에서 바로 사용할 만큼 충분히 신뢰성 있는 모형의 결과를 도출하지는 못하였다는 한계가 있다. 하지만 본 연구에서 제시된 방법론 및 결과를 토대로 향후 추가적인 연구를 수행한다면 실제 적용 가능하며 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상된다.

트램은 현재 많은 국내 대도시에서 새로운 교통수단으로 각광받고 있으나, 과거 경량전철의 문제점을 다시 반복하지 않기 위해서는 교통수요분석 및 편익추정에 있어

서 신중을 기할 필요가 있을 것이다.

유럽의 사례를 살펴보면 프랑스에서는 트램이 도심지 내 새로운 교통수단으로 크게 각광을 받고 있으나, 영국의 경우에는 2000년대 초반 이후부터는 트램보다는 BRT라는 교통수단으로의 대체를 검토해온 바 있다. 영국의 경우 트램을 교통수단으로 인식하여 재무적 타당성, 비용절감, 수요의 적정성 등에 많은 신경을 쓴 반면, 프랑스의 경우에는 도시재생 및 도시계획의 일환으로서 트램을 함께 추진한 점은 트램이 우리나라에서 앞으로 어떠한 방향으로 자리매김하여야 할지를 결정함에 있어서 중요한 시사점이 될 것이다.

참고문헌

- 건설교통부, 『외국의 경량전철 및 미국의 PRT 시스템 현황조사』, 1999.
- 국무총리실, 『지자체 경전철 사업 분석·평가 결과』, 2011.
- 국토교통부, 『신교통수단 선정 가이드라인』, 2012.
- _____, 『철도업무편람』, 2015
- _____, 『교통시설 투자평가지침』, 2013
- 김강수 외, 『SP 조사설계 및 분석방법론』, 보성각, 2006.
- 김승준, 『서울시 지하철 혼잡비용 산정과 정책활용』, 2014
- 김주영 외, 「분석대상 규모에 따른 수단분담모형의 추정과 적용에 관한 연구」, 2011.
- 명묘희, 『트램 도입 및 이용 활성화를 위한 관련 법제 개선 방안』, 2013.
- 박정욱, 『일본의 철도투자사업 평가 편람』, 교통개발연구원, 2003.
- 빈미영, 『교통복지를 고려한 철도사업의 타당성 평가방안 연구』, 2012
- 산업통상자원부, 『2014년도 에너지 총 조사 보고서』, 2014
- 서울시, 『서울교통사』, 2000.
- 안정화 외, 『수원시 친환경 교통수단(노면전차) 도입에 관한 연구』, 한국교통연구원, 2015
- 윤대식, 『교통수요분석.이론과 모형』, 백영사, 2005.
- 이기택, 「통행거리별 행태변화를 반영한 교통수단 선택모형의 정산」, 한양대학교 석사학위 논문, 2016.
- 장수은 외, 「통행시간 신뢰성 지표 개발 및 산정에 관한 연구」, 2008
- 최성호 외, 「지하철 9호선 건설이 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 관한 연구」, 2011
- 한국건설기술연구원, 『탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발』, 2016.
- 한국철도기술연구원, 『신교통시스템 투자평가 방법론 개발연구』, 2010.
- 한국철도시설공단, 『철도투자평가편람 전면개정 연구』, 2010
- 한국교통연구원, 『트램 활성화를 위한 투자평가체계 개선방안 연구』, 2013.
- 한국개발연구원, 『도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』, 2008.
- _____, 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완연구(제5판)』, 2008.
- _____, 『2014년 전국여행 OD 보완갱신 연구』, 2014.
- Al-Mosaind et al, “Light Rail Transit Stations and Property Values: A Hedonic Price Approach”, 1993
- ARUP, “Provision of market research for value of travel time savings and reliability”, 2015

- Barbara et al, *“Before and After a New Light Rail Stop”*, 2009
- Batley et al, *“Randomness in preferences, outcomes and tastes; an application to journey time risk”*, 2009
- Baum-Snow et al, *“The effects of new public project to expand urban rail transit”*, 2000
- Ben-Akiva et al, *“Discrete choice analysis: theory and application to travel demand”*, 1985
- Cavero, R., *“Transit-Based Housing in the San Francisco Bay Area: Market Profiles and Rent Premiums”*, 1996
- Chen, *“Spatial Impact of New Public Transport System on Station Neighbourhoods: The cases of Jubilee Line Extension in London”*, 2014
- UK DfT, *“Light Rail and Tram Statistics: England 2015/16”*, 2016
- _____, *“Green light for light rail”*, 2011
- Diaz, *“Impacts of Rail Transit on Property Values”*, 1999
- Douglas et al, *“Estimating the cost to passengers of station crowding”*, 2005
- _____, *“Estimating the Passenger Cost of Train Crowding”*, 2006
- ERRAC, *Metro, “light rail and tram systems in Europe”*, 2012
- EU, *“Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects”*, 2014
- Gaver, *“Headstart Strategies for Combating Congestion”*, 1968
- Hass-Klau et al, *“The Effect of Public Transport Investment on Car Ownership - The results for 17 Urban Areas in France, Germany, UK and North America”*, 2007
- House of Commons Transport Committee, *“Integrated Transport: The Future of Light Rail and Modern Trams in the United Kingdom”*, 2005
- ITS University of Leeds, *“Analysis of Quantitative Research on Quality Attributes for Tram”*, 2009
- _____, *“International Comparisons of Transport Appraisal Practice”*, 2013
- Jackson et al, *“An Empirical Study of Travel Time Variability and Travel Choice Behavior”*, 1982
- Knowles, RD, *“What future for light rail in the UK after Ten Year Transport Plan targets are scrapped?”*, 2007
- Lee, S and Senior, ML, *Do light rail services discourage car ownership and use? Evidence from Census data for four English cities*, 2013
- Liu et al, *“Development of a Simplified Version of MOVES and Application to Iterative Case Studies”*, 2013
- Lu et al, *“Amending the incentive for strategic bias in Stated Preference Studies: Case Study in Users’ Valuation of Rolling Stock”*, 2008
- Milena Scherer Ohnmacht, *“Differences in cognition of public transport system: Image and behavior towards urban public transport”*, 2012

- National Audit Office, “*Improving public transport in England through light rail*”, 2004
- Nelson, “*Effect of elevated heavy-rail transit station on house price with respect to neighborhood income*”, 1992
- New Civil Engineer, “*Old problems threaten to derail new era of light rail*”, 2012
- OECD, “*On the value of crowding in public transport for Ile-de-France*”, 2013
- Parons Brinckerhoff, “*Gold Coast Light Rail Feasibility Study: Report - Stage A - Needs and Justification Assessment Report*”, 2004
- Polydoropoulou, “*Combined Revealed and Stated Preference Nested Logit Access and Mode Choice Model for Multiple Mass Transit Technologies*”, 2001
- Prud’homme et al, “*Paris: a desire named streetcar*”, 2009
- Railway Gazette, “*Midland Metro trams to be converted for catenary-free operation*”, 2016
- Steer davis gleave, “*New Generation Transport in Leeds, State Preference Study*”, 2008
- Tim Bunschoten, “*To tram or not to tram*”, 2012
- Tirachini et al, “*Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand*”, 2013
- TRB, “*Estimating the Benefits and Cost of Public Transit Project: A guidebook for Practicioners*”, 2002
- UK TfL, “*Croydon Tramlink Impact Study*”, 2002
- Veitch Lister Consulting, “*Modelling the Return of Sydney's Trams*”, 2014
- Vickrey, “*Congestion Theory and Transport Investment*”, 1969
- Walmsley et al, “*The effects of rapid transit on public transport and urban development*”, 1992
- Wardman et al, “*Twenty years of rail crowding valuation studies: Evidence and lessons from British experience*”, 2011
- Whelan et al, “*An Investigation of the Willingness to pay to Reduce Rail Overcrowding*”, 2009
- Xuesong et al, “*DTALite: A queue-based mesoscopic traffic simulator for fast model evaluation and calibration*”, 2014
- Zheng et al, “*Crowding and public transport: A review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal*”. 2011

<http://bca.transportationeconomics.org/>

<http://www.urbanrail.net>

<http://www.railwaygazette.com>

<https://www.newcivilengineer.com>

<http://www.wikiwand.com/en/Tramlink>