

승강장 혼잡도를 고려한 인천도시철도 환승역 대피시간 분석

Study on Evacuation Time of Subway Transfer Stations
Considering Platform Congestion in Incheon

손지언



승강장 혼잡도를 고려한 인천도시철도 환승역 대피시간 분석

Study on Evacuation Time of Subway Transfer Stations
Considering Platform Congestion in Incheon



연구책임

손지언

교통물류연구실 연구위원

연구참여

강원모

교통물류연구실 초빙연구원

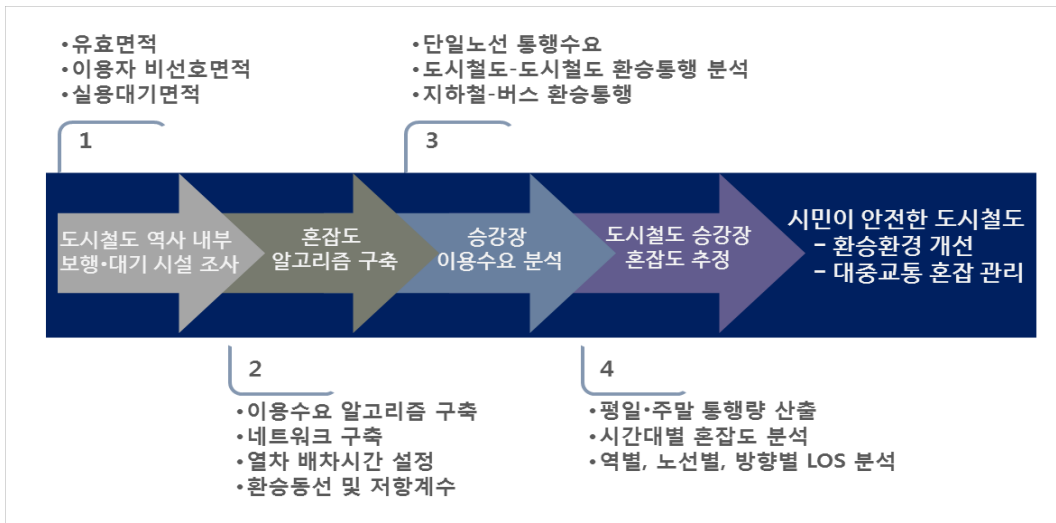
본 연구결과는 연구진의 견해로서
인천광역시의 정책과는 다를 수 있습니다.

요약 및 정책건의

I. 연구목적

○ 연구목적

- 환승역 승강장의 혼잡 발생 원인이 되는 철도노선 간 용량 및 시설 불균형, 이용 패턴의 차이 등을 파악하고, 빅데이터를 이용해 정량적으로 승강장 혼잡도를 분석하며, 혼잡시간대에 화재 발생에 따른 대피시간을 분석하여 안전하고, 효율적인 철도운행을 위한 기초자료를 제공함



<그림 1> 연구개요

II. 연구결과 요약

○ 기존 연구와의 차별성

- 철도 운영사들은 승강장 혼잡을 관리하기 위해서 1~2년 주기로 침두시에 일부 역사에 한정하여 목측조사를 하거나, 또는 계단, 보행통로, 대합실, 에스컬레이터 등 보행시설에 대한 이용자 설문을 비정기적으로 실시함

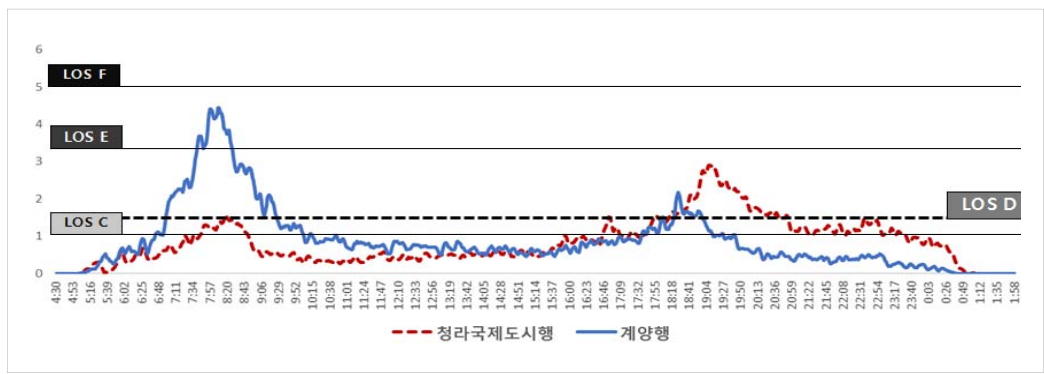
- 이에 반해 본 연구는 대규모 데이터인 카드자료를 기반으로 미태그 노선환승통행을 반영한 역사별 승강장 서비스 수준을 분석함. 전일 통행자의 승강장 이용 패턴을 정량적으로 판단하고, 시간대별 승객 집중현상을 기반으로 재난 발생에 따른 안전 문제를 제언함

○ 연구결과 1

- 결과 : 철도역사의 내·외부 구조는 통행자 동선과 이용밀도에 영향을 크게 미치고 있으며, 광역 또는 중장거리 통행패턴에 따라서 이용시간대의 집중도가 달라지는 것으로 분석됨
- 환승역사의 위치와 접근성은 통행자 이용패턴 및 환승동선에 영향을 미치며, 역사 구조에 따라 침수·폭우 등의 자연재해로 인한 혼잡이 발생할 수 있음
- 환승역을 이용하는 통행자의 통행거리 및 통행시간은 인천 평균보다 30~50% 길고, 광역통행 비율이 약 60%로 중장거리 이동에 중심축이 됨
- 역사별로 인근의 토지이용특성에 따라 평일과 주말의 환승통행 패턴에 차이가 발생함
- 철도 내부에서 환승하는 통행자들은 일반적으로 돌발변수가 많은 버스·철도보다 철도 내부환승을 선호하며, 철도 단일수단만을 이용하는 비율이 철도·버스보다 2.8배 많음

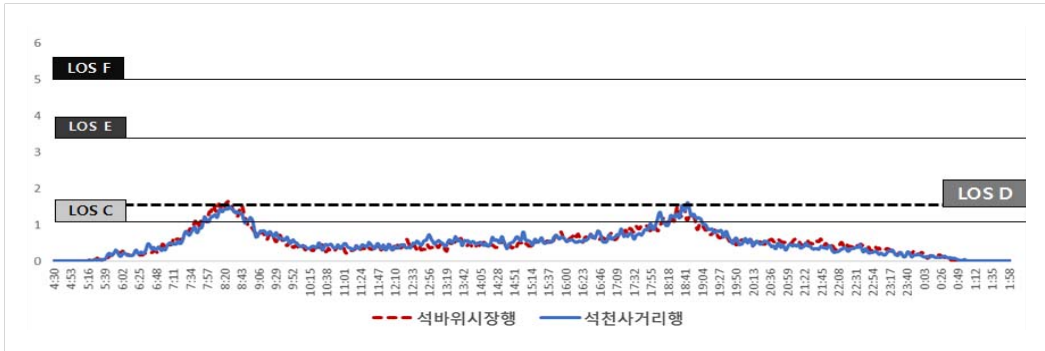
○ 연구결과 2

- 결과 : 환승역 승강장의 시간대별 서비스 수준(LOS)을 분석한 결과 광역통행거점역사는 첨두시 집중도가 높아 혼잡도가 높아지며, 내부환승거점역사는 교통 허브(Hub)역할을 수행.
- 환승역 승강장 통행특성은 역사별로 다양하며, 서비스 수준은 공항철도 검암역이 첨두시 LOS E, 그 외 역사는 설계서비스 수준인 LOS D로 양호함
- 검암역 공항철도의 오전첨두 혼잡도가 타인과 접촉없이 대기가 불가능한 수준으로 분석되어 가장 심각한 것으로 나타남



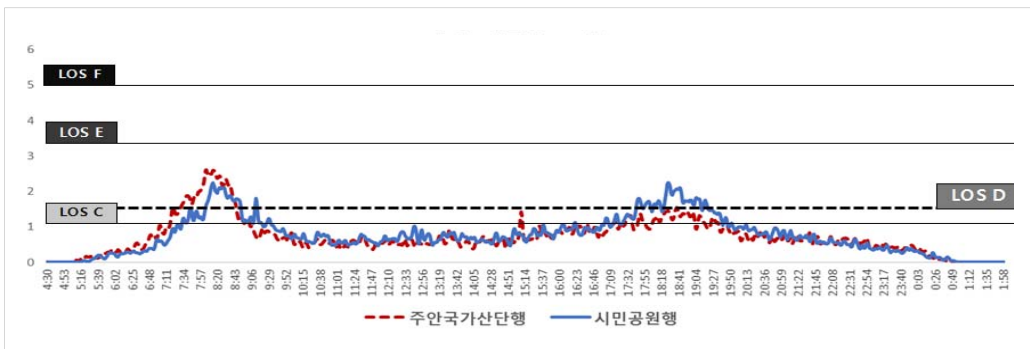
<그림 2> 공항철도 검암역 승강장 서비스 수준

- 인천도시철도 2호선 인천시청역은 오전·오후 첨두 모두가 관찰되는 쌍봉형태의 통행분포를 보여 인천내부의 교통 허브(Hub) 역할을 수행함



〈그림 3〉 인천2호선 인천시청역 승강장 서비스 수준

- 주안역은 부평역과 함께 인천시의 중심거점이며, 경량전철인 도시철도 2호선의 승강장은 비첨두시에도 통행량이 많음



〈그림 4〉 인천2호선 주안역 승강장 서비스 수준

○ 연구결과 3

- 결과 : 승강장 혼잡도가 가장 높은 시점에 화재로 인한 승차대피시간 분석결과, 일부 역사에서는 혼잡도, 대기인원, 대피시설물의 폭원 등에 의해 대피시간이 4분 이상 소요되는 것으로 파악됨
- 첨두시 승강장에서 화재 발생 시에 공항철도 검암역, 계양역, 인천도시철도 1호선 계양역, 경인선 주안역이 4분 이내 승강장을 벗어나지 못하는 것으로 분석되었음. 차량 내부에서 화재가 발생하면 인천도시철도 1호선 부평역을 제외하고 장애인 이 아닌 비장애인도 대피에 어려움이 있는 것으로 분석됨

III. 결론 및 정책제언

- 승강장 혼잡도가 적절히 유지되지 못하면 효율성이 떨어지는 것은 물론 안전이 위협받게 되므로 서비스 수준 분석을 통해 보행류 상태를 정확하게 파악하고, 시설물 용량에 기반을 두는 운영 필요.
- 열차와 승강장 혼잡은 복합적으로 관리해야 할 필요가 있으며, 기건설된 역사에서 화재와 같은 돌발상황시 역사 운영자의 신속한 파악이 중요함. 또한, 승강시설 및 대피시설을 활용하여 각 역사에 맞는 맞춤형 메뉴얼 작성 및 훈련 필요.
- 정책제언
 - 도시 및 광역교통 철도중심 교통정책에 대비한 환승역사 안전성 확보.
 - 도시철도 역사별 보행·환승 서비스 수준의 새로운 기준설정 필요.
 - 인구구조 변화에 따른 실질적인 보행서비스 수준 적용 필요.
 - 이용자 안전 및 편의를 위한 실용대기공간의 확보.
 - 대심도 철도역사 및 지하공간 확대 대비 방재 프로그램 필요.

차 례

I 서론

제1절 연구개요	3
1. 연구 배경	3
2. 연구 목적	4
제2절 연구 범위 및 내용	5
1. 연구 범위	5
2. 연구 내용	6
3. 용어 정의	7

II 이론적 배경 및 문헌고찰

제1절 환승역사 이용수요 모형	11
1. 철도역사 기하구조	11
2. 승강장 수요추정 모형 구축	16
제2절 관련 제도 및 기준	20
1. 혼잡도 기준	20
2. 대피기준	24
제3절 기존문헌고찰	26
1. Irina Ceapa et al.(2012)	26
2. 한국교통안전공단(2017)	26
3. 이호, 최진경(2015)	27
제4절 시사점	28

III 도시철도 환승역사 현황 분석

제1절 구조 및 환승 체계	33
1. 철도용량	33
2. 역사 위치	35
3. 승강장 형태	36
4. 역사별 접근 및 환승여건	39

차 례

제2절 환승역 통행수요 분석	44
1. 환승역사 통행특성	44
2. 통행 거리 및 시간	46
3. O/D 통행특성	50
4. 철도간 환승통행 분석	53
제3절 소결	56

IV 승강장 혼잡 및 대피시간 분석

제1절 승강장 서비스 수준 분석	61
1. 분석개요	61
2. 시간대별 승강장 통행패턴	63
3. 승강장 서비스 수준 분석	68
제2절 대피시간 분석	84
1. 분석 시나리오	84
2. 대피시설물 현황 및 대피인원 산정	86
3. 승강장 대피시간 분석	89
제3절 소결	94

V 결론 및 정책제언

제1절 결론	99
제2절 정책 제언	104
1. 철도중심 교통정책에 대비한 환승역사의 안전성 확보 필요	104
2. 도시철도 역사별 보행·환승 서비스 수준의 새로운 기준설정 필요	104
3. 인구구조 변화에 따른 실질적인 보행서비스 수준 적용 필요	105
4. 실용대기공간의 확보 및 동선개선 필요	106
5. 대심도 철도역사 및 지하공간 확대 대비 방재 프로그램 필요	107

참고문헌	108
------------	-----

표 차례

<표 2-1> 승강장 공간이용 구분	12
<표 2-2> 승강장 용량산정	14
<표 2-3> 도시철도 내부 환승 보행이동 소요시간	15
<표 2-4> 승강장 보행 시설물 현황	16
<표 2-5> 승강장 이용수요	17
<표 2-6> 대기공간 서비스 수준 1	20
<표 2-7> 서비스 수준에 따른 특징	21
<표 2-8> 대기공간 서비스 수준 2	22
<표 2-9> Fruin의 서비스 수준(LOS)	23
<표 2-10> Fruin의 서비스 수준(LOS) 특성	23
<표 2-11> 피난시설의 설계 기본원칙	24
<표 2-12> 대피요소별 단위폭 당 대피 수용량	25
<표 2-13> 대피요소별 승객 이동속도	25
<표 3-1> 철도유형별 용량	34
<표 3-2> 환승역사 철도용량 현황	34
<표 3-3> 철도역사 구분	35
<표 3-4> 환승역사 위치에 따른 유형	36
<표 3-5> 환승역사 승강장 구조	39
<표 3-6> 역사별 접근 및 환승 여건	40
<표 3-7> 인천시 환승역 통행수요	44
<표 3-8> 내부 환승수를 고려한 통행수 변화	45
<표 3-9> 내부환승 유형별 통행량	46
<표 3-10> 통행유형에 따른 거리분석	46
<표 3-11> 통행거리별 분포	47
<표 3-12> 통행유형에 따른 소요시간 분석	48
<표 3-13> 통행소요시간 분포	49
<표 3-14> 통행유형에 따른 O/D 통행 분석	50

표 차례

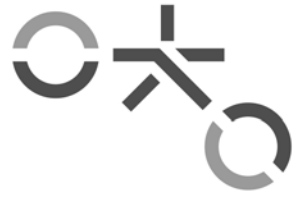
<표 3-15> 환승역사에 따른 평일 O/D 통행 분석	51
<표 3-16> 환승역사에 따른 주말 O/D 통행 분석	51
<표 3-17> 평일기준 역사별 환승통행	53
<표 3-18> 주말기준 역사별 환승통행	54
<표 3-19> 환승역사별 종방향 출입구 분석	55
<표 4-1> 승강장 서비스 수준	62
<표 4-2> 환승역사 승강장 실용대기공간면적	62
<표 4-3> 시간대별 승강장 통행량	63
<표 4-4> 환승역사 시간대별 통행량 및 통행비율	67
<표 4-5> 승강장 대피 시나리오	86
<표 4-6> 대피시설물 개수 측정 예시	86
<표 4-7> 환승역사별 대피시설물 현황	87
<표 4-8> 대피가능통로 너비	88
<표 4-9> 환승역사별 대피인원 산정	89
<표 4-10> 대피요소별 승객 이동속도	90
<표 4-11> 승강장 대피시간 분석	92
<표 4-12> 환승역사 통행패턴 및 서비스 수준 분석	93
<표 5-1> 승강장 통행유형	100

그림 차례

<그림 1-1> 공간적 범위	5
<그림 1-2> 연구 개념도	7
<그림 1-3> 승강장 이용수요 구분	8
<그림 2-1> 승강장 공간이용 구분	13
<그림 2-2> 도시철도 내부 환승 보행이동 현황(수도권)	15
<그림 2-3> 총통행시간 유형	18
<그림 3-1> 도시철도 검암역 유형	35
<그림 3-2> 상대식 승강장	37
<그림 3-3> 섬식 승강장	37
<그림 3-4> 쌍섬식 승강장	38
<그림 3-5> 터미널식 승강장	38
<그림 3-6> 검암역 환승통로	41
<그림 3-7> 부평역 환승통로	42
<그림 3-8> 원인재역 환승통로	43
<그림 3-9> 통행거리 분포	48
<그림 3-10> 통행소요시간 분포	49
<그림 3-11> 통행유형에 따른 O/D 분포	50
<그림 4-1> 혼잡분석 흐름도	61
<그림 4-2> 시간대별 승강장 통행량	63
<그림 4-3> 광역통행거점 시간대별 통행량 분포(공항철도, 7호선)	64
<그림 4-4> 인천역 시간대별 통행량 분포(경인선, 수인선)	65
<그림 4-5> 주안역·부평역 시간대별 통행량 분포(경인선)	65
<그림 4-6> 인천시청역 시간대별 통행량 분포(인천 1·2호선)	66
<그림 4-7> 공항철도 검암역 승강장 서비스 수준	68
<그림 4-8> 공항철도 검암역 계양행(오전첨두)	69
<그림 4-9> 인천2호선 검암역 승강장 서비스 수준	69
<그림 4-10> 공항철도 계양역(오전첨두)	70

그림 차례

<그림 4-11> 공항철도 계양역 승강장 서비스 수준	70
<그림 4-12> 인천1호선 계양역 승강장 서비스 수준	71
<그림 4-13> 7호선 부평구청역 승강장 서비스 수준	72
<그림 4-14> 부평구청역 승강장	72
<그림 4-15> 인천1호선 부평구청역 승강장 서비스 수준	73
<그림 4-16> 인천1호선 인천시청역(오전첨두)	74
<그림 4-17> 인천1호선 인천시청역 승강장 서비스 수준	74
<그림 4-18> 인천2호선 인천시청역 승강장 서비스 수준	75
<그림 4-19> 수인선 원인재역 승강장 서비스 수준	75
<그림 4-20> 원인재역 승강장	76
<그림 4-21> 인천1호선 원인재역 승강장 서비스 수준	76
<그림 4-22> 경인선 인천역 승강장 서비스 수준	77
<그림 4-23> 수인선 인천역 승강장 서비스 수준	77
<그림 4-24> 인천역 승강장	78
<그림 4-25> 경인선 부평역 승강장 서비스 수준	79
<그림 4-26> 경인선 부평역(오전첨두)	79
<그림 4-27> 인천1호선 부평역 승강장 서비스 수준	80
<그림 4-28> 경인선 주안역 승강장 서비스 수준	80
<그림 4-29> 인천2호선 주안역 승강장 서비스 수준	81
<그림 4-30> 승강장 서비스 수준(7시~9시)	82
<그림 4-31> 승강장 서비스 수준(18시~20시)	83
<그림 4-32> 부평역 선로 크레인 사고	84
<그림 4-33> 경인선 인천역 출입구	91
<그림 5-1> 환승역사 시간대별 통행량 분포비율	100
<그림 5-2> 공항철도 환승 병목구간	102
<그림 5-3> 행정안전부 포스터	106
<그림 5-4> 검암역 환승동선 개선현황	107



I

서론

제1절 연구개요

제2절 연구 범위 및 내용

I. 서론

제1절 연구개요

1. 연구 배경

최근 빈번하게 발생하는 화재 및 지진과 같은 재난·재해는 인구밀도가 높고 대규모 교통 시설이 많은 도시에 위협이 되고 있다. 특히 특정한 시간대에 이용자가 몰리는 집객시설 중 하나인 지하철은 폐쇄된 지하 공간에서 통행자의 이동이 끊임없이 발생하기 때문에 대중교통 이용자들이 잠재적 위협에 노출되어 있어 방재 차원의 관리가 필요하다.

인천시는 도시철도 2호선 개통으로 인해 철도 수단분담비율도 증가하고, 철도 및 철도간 환승 수요도 2017년 10월 현재 약 28만 통행 이상으로 나타났다. 그뿐만 아니라 7호선 석남역 연장개통 및 서울지하철 2호선 인천 연장, 제2경인선 등 다양한 철도공급계획을 준비하고 있어 장래 철도 수요에 변화가 발생함은 물론, 역사별로 승객집중시간대에 혼잡으로 인한 시민 불편사항이 늘어날 것으로 판단된다.

도시철도의 혼잡은 일상적인 도시교통패턴과 같이 출·퇴근 시간대에 환승역사를 중심으로 이용자가 몰려 혼잡이 발생하는 것이 대부분이다. 특히 도시철도 통행자의 이동 동선은 환승통로, 계단, 에스컬레이터, 승강장 등 특정 지점에 집중되고, 승강장에서는 열차가 도착하기 전까지 이용자가 적체되어 포화상태가 되는 경우가 많다. 이러한 양상은 승강장이 좁고, 통행량이 많은 환승역의 경우 평일 비첨두 시간에도 나타난다.

최근 급격한 노령화로 인해 고령의 철도이용객이 지속적으로 늘어나는 상황에서 혼잡도가 높은 시간대에 교통약자들이 느끼는 불편은 상당할 뿐만 아니라, 재난 발생시 대피시간이 길어져 돌이킬 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 고령 교통약자에 대한 안전대책을 요구하는 목소리가 커지고 있다.

현재 인천시에는 6개 철도 노선에 89개 역사가 운영중이다. 이들 중 2개 이상의 노선을 이용할 수 있는 환승역사는 8개 지점, 16개 역사이며, 총 31개 승강장이 있다. 중량철도(HRT)인 광역철도와 도시철도(MRT, LRT)가 혼재되어 있고, 노선에 따라 용량의 차이를 보인다. 즉, 용량과 역사 위치, 동선과 이용시간, 연령대 등에 따라 통행자가 느끼는 혼잡 정도와 불편 수준은 다양하다. 그러나 폐쇄 공간에서 화재 및 비상사태 발생시 승객이 집중되는 역사는 방재 차원에서 대응방안을 마련할 필요성이 있다.

교통부문에서는 일정 수준 이상의 자연재해가 발생했을 때 공항을 폐쇄하고 비행기 결항 시키거나, 때에 따라서는 차량과 철도를 포함한 대중교통까지 운영을 금지하기도 한다. 국가별로 도시별로 차이가 있기는 하지만 자연재해 또는 재난이 발생하게 되면 재난관리를 위해 예방시스템을 가동하는 것이다. 방재라는 개념은 시민, 관청, 제도 등 한 분야만 노력해서는 이루어지지 않는다는 것. 다만 안전성 확보를 위한 시설물 진단과 예방시스템 구축이 우선순위에 있다는 것은 불문가지다.

인천시는 신도시 확대와 인구 증가로 다양한 도시문제에 직면하고 있고, 그중에서 도시안전 을 위협하는 방재시스템에 대한 필요성을 시정부 차원에서도 주목하고 있다. 특히 대규모 인원이 집중하고 이동하는 철도는 도시전역에 미치는 영향이 크기 때문에 지속적으로 안전대책에 대한 필요성이 제기되었던 분야이기도 하다. 따라서 분야별 특수성에 기반하여 교통부문에서도 대량의 인원을 수송할 수 있는 철도부문에 우선적으로 도심형 재난에 대한 위기관리체계가 갖추어질 필요가 있다.

도시철도는 수단 자체가 재난의 원인이 될 수도 있으며, 자연재해 등에 대한 대체수단이 될 수도 있다. 따라서 안전한 대중교통 이용과 방재 측면의 선제적 대응을 위한 기초연구가 필요하다. 특히 역사와 차량의 접점인 승강장과 관련된 문제를 정확하게 진단하는 것은 혼잡, 승객대피 및 승하차, 차량운영 등 전반에 관해 문제점 파악하고 개선방안을 마련할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구 목적

본 연구는 철도노선 간 용량 및 시설 불균형으로 인해 발생하는 승강장 혼잡관리를 위해 빅데이터에 기반을 둔 정량적인 근거를 제시하고, 혼잡시간대에 환승역사의 대피시간을 분석하는 데 최종목적이 있다.

인천시는 경량전철, 중량전철 등 노선별로 차량 규모에 따른 승승 인원 차이가 발생하는 6개 철도노선이 운행되고 있다. 따라서 노선간 환승이 이루어지는 8개 지점 16개 환승역사의 환승통로 및 승강장에서 이용 규모에 따른 시설 불균형이 발생할 수 있다. 시설 불균형은 기대용량의 차이로 발생하는데 이러한 차이는 결국 혼잡과 안전 문제를 초래한다. 이에 본 연구에서는 승·하차 대기공간인 승강장에서 발생하는 다양한 수요패턴을 교통카드 기반으로 분석하고, 가장 혼잡한 시간대에 대해 소요시간을 분석하여 안전한 철도운영을 위한 기초자료를 제공한다.

제2절 연구 범위 및 내용

1. 연구 범위

- 공간적 범위: 철도간 환승이 가능한 8개 지점 검암역, 계양역, 주안역, 인천시청역, 부평구청역, 부평역, 원인재역, 인천역의 총 16개 역사와 31개 승강장
- 시간적 범위: 2017년 10월 중 평일과 주말 하루

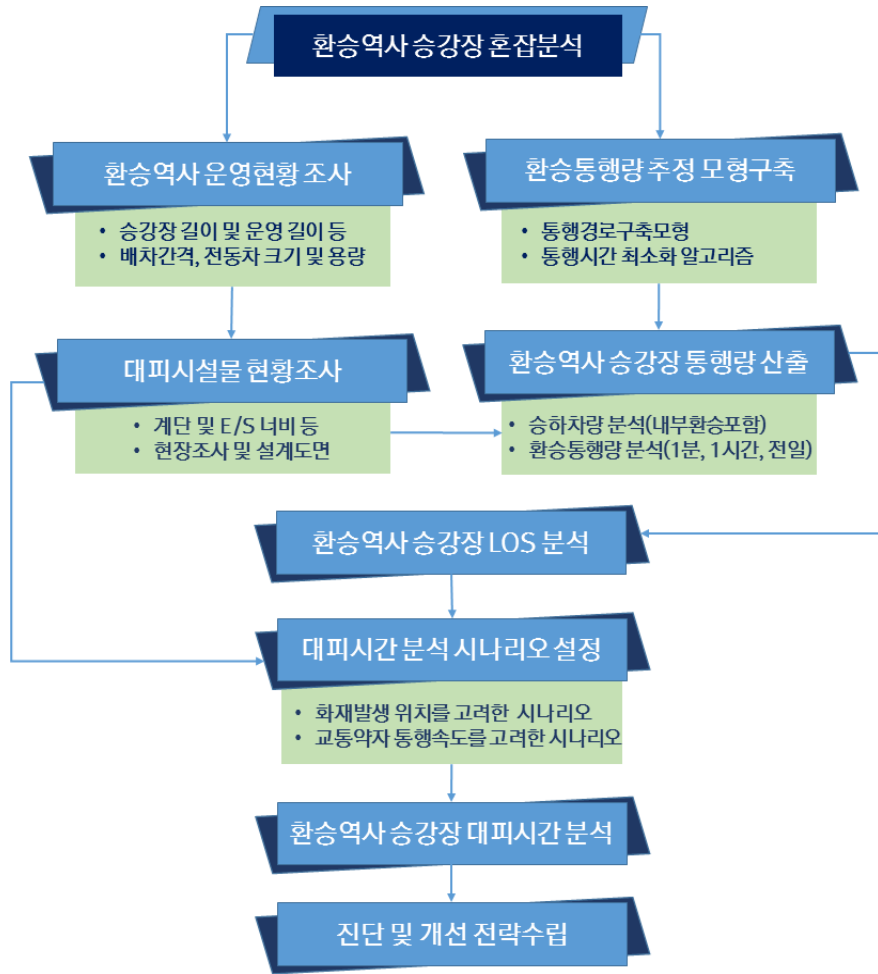


<그림 1-1> 공간적 범위

2. 연구 내용

본 연구는 철도 환승역사의 통행수요 및 기하구조 분석을 통해 역사별 이용특성 및 승강장 혼잡을 파악하여 방재 측면에서 대피시간을 분석하고, 철도역사의 혼잡관리방안을 제언하는 것이 주요 내용이다.

- 첫째, 교통카드 데이터를 활용하여 역사별 승하차, 철도·버스 환승, 철도·철도 환승수요를 분석한다. 또한, 역사에 따라서 평일 이용과 주말 이용에 대한 구분을 통해 특성을 파악한다.
- 둘째, 이동 동선 및 환승여건을 파악하고자 현장조사를 통해 철도역사 기하구조를 조사하고, 개찰구에서 승강장까지 역사 내부 이동거리를 파악한다. 또한, 승강장의 실용대기공간면적, 승객비선호면적, 점유불가면적을 산출한다.
- 셋째, 승강장 이용수요는 최적경로선택 모형을 통해 16개 환승역사의 시간대별 통행량을 산출하고, 승강장의 유효대기면적에 대해 도로용량편람 기준 적용하여 역사별, 시간대별 혼잡도를 분석한다.
- 넷째, 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에 따라 승강장 별로 혼잡도가 가장 높은 시점에서 화재 발생시에 소요되는 대피시간에 대해 분석한다.
- 다섯째, 방재적 차원에서의 혼잡 완화방안을 제언하고, 장래 인천시의 철도 환승역 승강장 설치를 위한 정책을 제언한다.



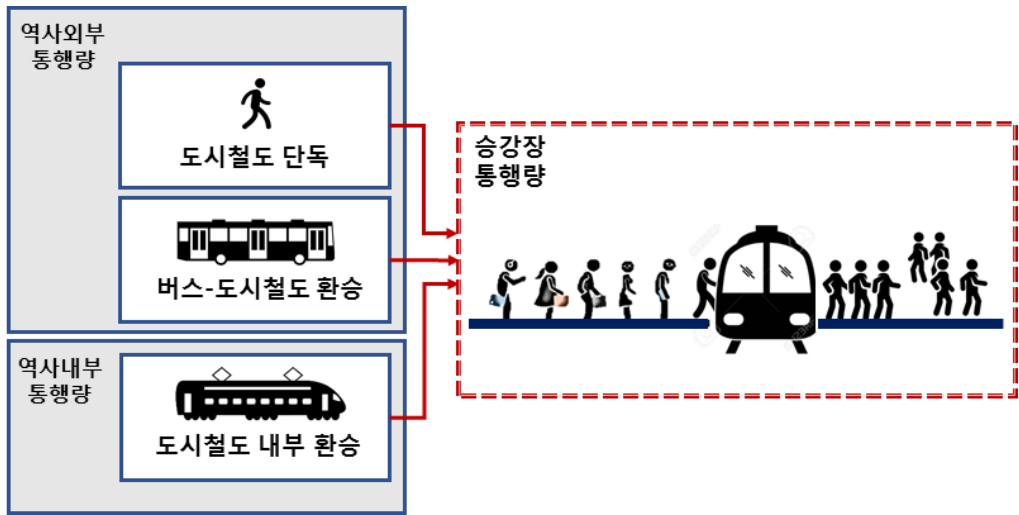
<그림 1-2> 연구 개념도

3. 용어 정의

본 연구에서 사용하는 용어와 개념에 대해 다음과 같이 정의한다.

■ 승강장 이용수요

16개 환승역사에서 발생하는 통행은 수단간 환승 여부에 따라서 단독통행과 버스·철도 환승으로 분류할 수 있다. 또한 승강장 이용수요는 대중교통 카드를 태그(Tag)하는 승하차 통행량과 이용정보가 없는 노선환승 통행량으로 구성된다.



〈그림 1-3〉 승강장 이용수요 구분

통행유형

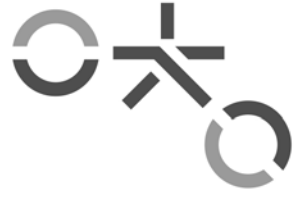
본 연구에서 ‘인천관련통행’은 인천 출발통행, 인천 도착통행, 인천 통과통행을 고려한 총통행을 의미하며, 인천 전역에서 발생하는 통행특성을 대표한다.

‘환승역사총통행’은 2개 이상의 철도노선을 이용할 수 있는 8지점, 16개 환승역사를 통행하는 총통행을 의미한다. 환승역사통행은 개찰구 진·출입 이력이 남는 ‘태그통행’과 이력이 남지 않는 철도 내부 ‘노선환승통행’을 포함한다.

‘노선환승통행’은 철도 내부에서 환승을 할 때 발생하는 통행량이다. 대다수 역사에는 환승 게이트가 설치되어 있지 않아 환승관련 정보를 알 수 없고, 일부 민자노선은 영업기밀 등의 이유로 데이터가 제공되지 않는 한계가 있다.

철도 내부환승유형

철도 내부환승은 ‘출발환승’, ‘노선환승’, ‘도착환승’으로 구분할 수 있다. ‘출발환승’과 ‘도착환승’은 출발지, 목적지 또는 버스정류장과의 접근성 등의 이유로 역개찰구와 이용노선이 일치하지 않는 경우다. 이 경우에 이용자는 역사 내부(Paid area)에서 타 노선으로 이동을 통해 철도를 이용한다. ‘노선환승’은 출발지에서 목적지까지 2개 이상의 철도 노선을 이용한 통행을 의미한다.



Ⅱ

이론적 배경 및 문헌고찰

제1절 환승역사 이용수요 모형

제2절 관련 제도 및 기준

제3절 기존문헌고찰

제4절 시사점

Ⅱ. 이론적 배경 및 문헌고찰

제1절 환승역사 이용수요 모형

1. 철도역사 기하구조

승강장은 열차의 출발, 대기, 도착과 통행자의 환승, 하차, 배회 등이 발생하는 장소다. 따라서 승강장의 통행수요와 서비스 수준을 시간대별로 산정하기 위해서는 승강장 면적에 대한 기능적인 구분과 환승거리 및 시간에 대한 반영이 필요하며, 본 연구에서는 승강장의 다양한 공간이용에 대한 기준 및 환승보행시설물을 다음과 같이 설정하였다.

1) 승강장 유효대기면적

철도역사는 매표소, 맞이방, 진·출입 게이트 등과 같은 여객·업무 시설물과 엘리베이터, 에스컬레이터, 점자블록 같은 이동시설, 그리고 철도이용자의 승하차 및 대기가 이루어지는 대기시설과 각종 편의시설이 혼재되어 있다. 이중 승강장은 철도를 이용하는 모든 통행자가 필수적으로 경유하는 공간이다.

2개 이상의 철도노선 이용이 가능한 역사는 환승수요로 인해 다소 혼잡한 특성을 보이는데, 특히 승강장에서는 열차의 발착 시점에 따라 밀도 증가와 저하가 반복적으로 발생한다. 따라서 혼잡을 분석하기 위해서는 승강장에 설치된 다양한 구조물과 시설물을 조사하고, 이용 가능한 공간을 파악하는 것이 우선이다.

이호(2016)는 승강장을 ‘승객비선호면적’, ‘점유불가면적’, ‘실용대기공간면적’으로 구성하고, 승강장 내 구조물 및 시설물에 대한 이용 패턴과 승객의 대기 형태를 분석하였다.

‘승객비선호면적’은 사용할 수 있지만 다양한 이유로 이용이 되지 않는 공간을 의미한다.

해당 공간은 승차와 하차 시에 통행자 행태에 따라 차이를 보인다. 승차승객의 비선호공간은 하차승객을 위해 비워놓는 출입구 중앙부와 2줄 또는 4줄 대기열에서 벗어난 출입문과 출입문 사이의 공간이 이에 해당한다. 또한, 통행자의 이동을 위한 공간 역시 비선호면적에 포함된다.

‘점유불가면적’이란 승객이 이용하지 못하는 면적이다. 승강장 내부에는 자판기 등 판매 시설이나 기둥, 의자, 스크린도어 같은 시설물이 있는데 해당 공간은 실제로 승강장 본연의 기능¹⁾을 하지 못하기 때문에 이용면적에서 제외된다.

‘실용대기공간면적’은 승차와 하차, 환승, 대기, 배회 활동이 발생하는 장소를 말한다. 해당 면적은 이용자들이 선호하지 않거나, 시설물로 인해 이용이 불가능한 ‘점유불가면적’과 ‘승객비선호면적’을 제외한 면적이며, 연구의 목적에 따라서 다양하게 정의할 수 있다.

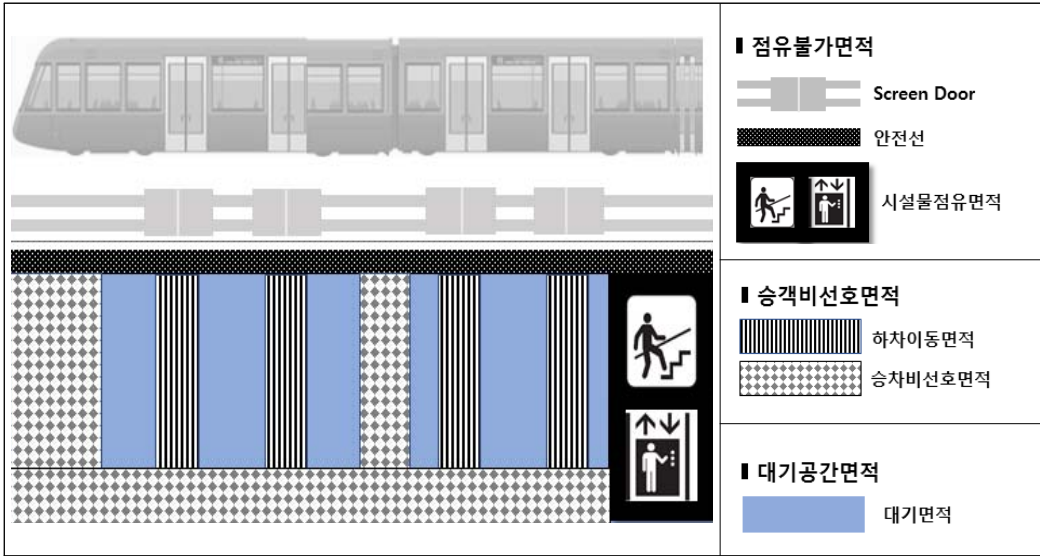
〈표 2-1〉 승강장 공간이용 구분

구 분	특 성
승객비선호 면적	<ul style="list-style-type: none"> • 공간의 이용특성에 따라 하차이동면적과 승차비선호면적으로 구분 • 하차이동면적은 하차승객을 배려하여 승차승객이 승강장 대기 시 비점유하는 면적이고, 승차비선호면적은 출입문과 출입문 사이 등 승객이 주로 대기하지 않는 면적임
점유불가면적	<ul style="list-style-type: none"> • 승강장내 점유공간에 위치에 따라 시설물 점유면적과 스크린도어 점유면적으로 구분 • 시설점유면적은 고정시설물과 설치시설물로 구분하며, 고정시설물은 엘리베이터, 기둥, 기계실 등이 포함되며, 설치시설물에는 편의시설과 소방안전시설 등이 포함됨
실용대기공간 면적	<ul style="list-style-type: none"> • 승강장 내에서 승객이 열차에 탑승하기 위해 대기하는 공간으로 승강장 가용면적에서 승객 비선호면적을 제외하여 산정 • 승강장 가용면적은 승강장 전체면적에서 점유 불가면적을 제외한 면적

본 연구에서 사용하는 ‘실용대기공간면적’은 승강장 전체면적에서 엘리베이터, 에스컬레이터, 계단, 기둥 등에 해당하는 ‘점유불가면적’을 제외하고, 가용면적을 구하였다. 이때, ‘승객비선호면적’은 시간대별로 열차 출입구에 따라 대기하는 승객의 길이에 영향을 받게 된다. 즉, 이용자의 성향이나, 역사의 특성, 이용시간대 등에 따라서 달라진다.

$$\text{실용대기공간면적} = (\text{승강장 전체면적} - \text{점유불가면적}) - \text{승객비선호면적}$$

1) 철도설계기준(국토교통부, 2015)에 의하면 “승강장”은 이용객의 승·하차, 환승이 직접 이루어지는 장소를 말한다.



〈그림 2-1〉 승강장 공간이용 구분

‘승객비선호면적’에 대한 기준은 이호(2016)의 연구에서 평일 오후 첨두시간에 수도권 4개 역사를 대상으로 승강장내 승객 대기형태를 영상촬영하여 결과를 제시하였다. 그 결과 하차공간폭은 평균 0.7m, 승강장 전체면적에서 점유불가면적은 25%, 비선호면적은 41%로 나타났다. 승강장 전체면적을 기준으로 승객비선호면적이 없다고 가정하면 전체의 67%까지 실용대기공간면적으로 산정할 수 있으며, 최소치는 34%로 분석되었다. 승차비선호공간의 승객이용빈도가 균등하다고 가정하면 승강장 전체 면적 대비 승강장 실용대기공간은 평균 54%로 제시하였다.

실용대기공간면적에 대해서는 연구자에 따라서 기준을 달리하고 있다. 본 연구에서는 신성일(2017)의 연구와 같이 승강장 이용자는 비선호면적을 이용하지 않는다고 가정하고, 승강장 전체면적의 34%를 ‘실용대기공간면적’으로 설정하였다.

이는 인천시의 환승역사에 대해 현장조사 결과를 기반으로 한다. 통행자의 행태상 이용자들은 출입문을 중심으로 최대 4줄 서기로 열차를 대기하는데, 대기열을 벗어나면 차량에 탑승하지 못하게 된다. 따라서 첨두시에도 출입구 중앙의 하차 이동면적과 출입문 사이 공간, 이동 통로, 열차의 앞부분 등은 이용하지 않는다. 또한, 승강장이 8량으로 설계되어 있어도 차량은 6량만 운행하거나 혹은 4량으로 설계되어 있음에도 차량은 2량만 운행하는 환승역사가 존재하여 승강장 전체면적을 보수적인 기준에서 선정하였다.

〈표 2-2〉 승강장 용량산정

(단위 : m)

역사		승강장 전체면적	점유불가면적	가용면적	실용대기 공간면적
검암	공항철도	610	211	399	207
	인천2호선	446	77	369	152
계양	공항철도	1,086	275	811	369
	인천1호선	1,192	112	1,080	405
주안	경인선	1,318	273	1,045	448
	인천2호선	413	130	283	140
인천시청	인천1호선	1,625	218	1,407	553
	인천2호선	477	117	360	162
부평구청	7호선	862	245	617	293
	인천1호선	1,580	260	1,320	537
부평	경인선	2,066	214	1,852	702
	인천1호선	2,218	397	1,821	754
원인재역	수인선	705	104	601	240
	인천1호선	1,322	218	1,104	449
인천	경인선	2,742	112	2,630	932
	수인선	1,296	267	1,029	441

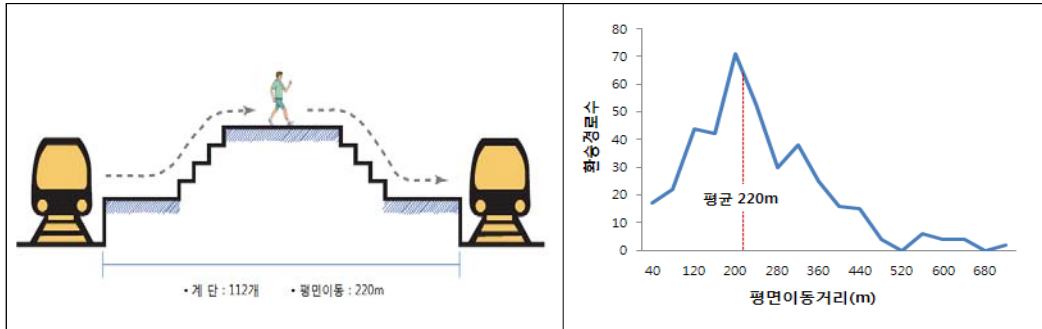
2) 환승 보행 시설물

통행자는 개찰구에서 승강장까지 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터, 무빙워크 등 다양한 시설물을 이용한다. 본 연구의 공간적 범위의 도시철도 역사 8개 지점, 총 16개소는 서로 다른 노선과 환승을 할 수 있는 역사이므로 대중교통 카드자료에 기록되지 않은 통행이 발생한다. 따라서 승강장 이용수요를 추정하기 위해서는 도시철도 내부에서 이동하는 노선 간 환승소요시간에 대한 파악이 필요하며, 계단, 엘리베이터, 에스컬레이터 등의 환승 보행 시설물에 대해 자료를 구축해야 한다.

역사 내에서 다른 노선을 갈아탈 때는 역사 위치에 따라서 지상역에서 지하역으로, 고가역에서 지상역으로 이동하게 된다. 다만 급행철도가 정차하는 경인선 주안역은 완행과 급행간에 쌍섬식 형태로 평면 환승이 가능하지만, 일반적으로 수직이동과 수평이동이 동시에 발생하게 된다.

「수도권 여객 기종점 통행량(O/D) 현행화 공동사업」에서는 환승거리를 평면거리로 환산하였으며, 2014년을 기준으로 수도권에서 철도간 환승 시에는 평균 112개의 계단을 이용하고, 220m를 평면이동하는 것으로 나타났다.²⁾

수도권에서 철도·철도 환승은 버스·철도 환승보다 평면이동거리가 1.2배인 것으로 나타났다, 계단은 1.1배로 분석되었다.



<그림 2-2> 도시철도 내부 환승 보행이동 현황(수도권)

자료 : 수도권교통본부(2016), 수도권 여객 기종점 통행량(O/D)현행화 공동사업

본 연구에서는 역사별로 환승여건이 다르므로 물리적 거리 외에도 비침두 환승통행시 소요시간을 측정하여 시간대별 승강장 통행량을 산정하는데 반영하였다. 철도 환승통행은 성인 남녀의 보행속도로 계단, 통로, 에스컬레이터와 무빙워크 등을 이용한 실제 소요시간을 적용하였다.

<표 2-3> 도시철도 내부 환승 보행이동 소요시간

역사명	환승통행시간	역사명	환승통행시간
검 암	4~5분	부평구청	3~4분
계 양	2~3분	부 평	3~4분
주 안	2~3분	원인재역	3~4분
인천시청	3~4분	인 천	2~3분

주 : 환승통행시간은 비침두시 성인 남녀의 보행속도로 실측한 수치임.

2) 황보현(2011)은 계단 또는 에스컬레이터의 1단을 경사거리 0.43m로 산정하였다.

승강장의 보행시설물은 '점유불가면적'에 포함이 되는 시설이다. 계단과 에스컬레이터, 엘리베이터가 있으며 역사별 개소 수는 <표 2-4>와 같다.

<표 2-4> 승강장 보행 시설물 현황

(단위 : m)

역사		계단		에스컬레이터		엘리베이터	
		개수	평균너비	개수 (상행,하행)	평균너비	개수	평균너비
검암	공항철도	-	-	4	1.0	1	0.9
	인천2호선	1	2.6	2	1.0	1	0.9
계양	공항철도	1	3.4	4	1.0	1	0.9
	인천1호선	2	1.8	2	1.0	1	0.9
주안	경인선	3	3.3	3	1.0	2	1.1
	인천2호선	1	2.7	2	1.1	1	1.0
인천시청	인천1호선	2	3.2	3	1.2	2	1.2
	인천2호선	1	3.8	2	1.0	1	1.0
부평구청	7호선	3	3.3	3	1.0	2	1.1
	인천1호선	2	1.6	4	0.9	1	0.9
부평	인천1호선	3	5.1	4	1.6	1	0.8
	경인선	5	4.2	1	0.9	1	1.0
원인재	수인선	1	4.0	2	1.0	1	1.0
	인천1호선	2	4.0	-	-	1	1.0
인천	경인선	지상역					
	수인선	2	2.9	2	1.2	1	1.0

2. 승강장 수요추정 모형 구축

도시철도 승강장의 혼잡도를 산정하기 위해서는 각 플랫폼을 이용하는 통행수요를 추정하는 과정이 필수적이다. 즉, 역사별로 도시철도 단독통행, 철도·버스 환승통행, 철도·철도 통행수요가 시간대별로 산출되어야 한다.

도시철도를 단독으로 이용하는 통행자라 해도 노선을 환승하는 경우에 대중교통 카드자료에서 파악되지 않는 통행수요가 발생한다. 따라서 승강장의 혼잡도를 분석하기 위해서는 별도의 수요모형을 통해 환승역사에 대한 통행량을 추정해야 한다.

〈표 2-5〉 승강장 이용수요

수단분류	구 분		철도 내부환승
	단독수단	철도	
철도·철도		2개 이상 철도노선 이용	○
복합수단	버스·철도	버스와 철도간 수단간 환승	×
	버스·(철도·철도)	버스와 철도간 수단간 환승	○

본 연구에서는 손지언(2016), 김종형·손지언(2014)에서 제시된 출발정보와 도착역사를 기반으로 하는 통행경로구축모형³⁾을 활용하여 승강장을 이용하는 수요를 추정하였다. 모형에서 개별승객은 일반화 비용을 최소화하는 경로를 선택함을 가정하기 때문에 통행경로 모형은 통행시간을 최소화(Time Dependent Least Cost Path Finding Algorithm)하는 통행배분모형이다.

교통카드를 이용한 통행배분모형의 목적함수식은 통행자가 통행시간을 최소화하는 경로를 선택하는 것을 의미한다. 제약조건에서는 최소 비용 경로가 다수 발생할 경우 통행자가 선택 가능한 경로에 균등확률을 적용하였다.⁴⁾

$$\min \int_0^T \sum_r \sum_s \sum_p \xi_p^{rs}(t) \cdot f_p^{rs}(t) dt$$

s.t.

$$\sum_p f_p^{rs}(t) = 1 \quad \forall p$$

$$f_p^{rs}(t) \geq 0 \quad \forall r, s, p$$

여기서,

$\xi_p^{rs}(t)$: t 시점에 r 을 출발한 승객이 경로 p 를 이용해 s 에 도달하는 일반화 통행비용 (통행시간, 분)

$f_p^{rs}(t)$: t 시점에서 r 을 출발한 승객이 s 까지 가는데 경로 p 를 선택할 확률

3) 모형의 적합도는 도출된 통행시간과 교통카드의 도착통행시간의 분포를 비교하고, 선형회귀식을 통해 모형의 추정력을 검증($R^2=0.94$)하였다.

4) 수도권도시철도운영기관(2012)에서는 최적경로의 일반화 비용 110% 이내에 포함된 최대 3개 경로까지 유사경로로 판정하고, 수요배정 확률을 0.7, 0.2, 0.1로 합의한 바 있다.

이와 같은 목적함수를 토대로 특정 시간대에 링크를 통과하는 수요 모형식은 다음과 같다.

$$x_a(tt) = \int_0^T \sum_r \sum_s \sum_p f_p^{rs}(t) \cdot \delta_{p,a}^{rs}(tt) dt$$

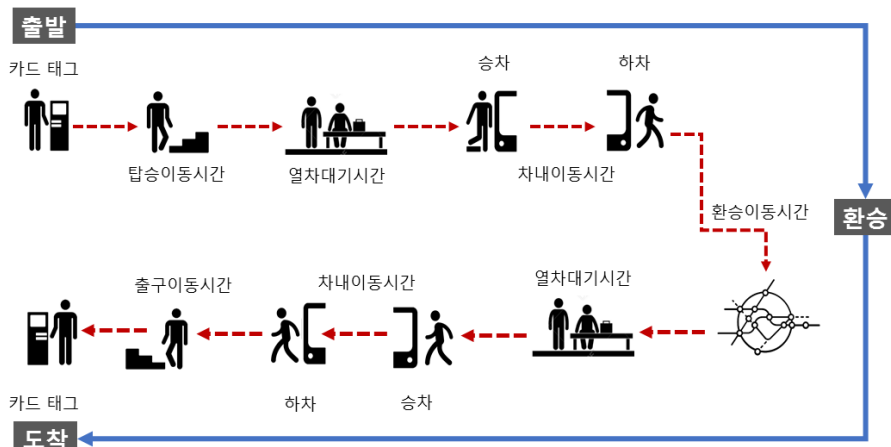
여기서,

$x_a(tt)$: tt 시점에서 a 링크를 통과하는 통행수요(인)

$\delta_{p,a}^{rs}(tt)$: $r-s$ 간 경로 p 에 a 링크가 포함되고 tt 시점에 경유하면 1, 그렇지 않으면 0

본 연구의 통행배분모형은 통행자가 통행시간을 최소화하는데 기반을 두고 있는데, 철도를 이용하는 통행자의 시간은 총 5가지 유형으로 구분할 수 있다.

탑승이동시간 ①은 개찰구에서 카드를 태그한 후에 플랫폼으로 이동하는 시간이며, 승강장에서 열차 탑승 이전까지 열차대기시간 ②가 발생한다. 열차에 탑승한 후에는 차내이동시간 ③이 발생한다. 만약 이용자가 환승을 하게 되면 환승이동시간 ④이 추가되는데, 일반적으로 역사의 위치나 동선에 따라서 저항이 크게 발생하기도 한다. 환승역사에 도착해서는 다시 열차대기시간 ②가 발생하며, 차내이동을 거쳐 최종 목적지에 와서는 출구이동시간 ⑤이 소요된다.



<그림 2-3> 총통행시간 유형

본 연구의 일반화 비용은 환승하는 횟수에 비례하여 인지비용이 증가하는 형태로 환승이 동시간과 환승대기시간이 더 많으면 통행비용이 계단식(Step-wise)으로 증가한다. 즉, 환승소요시간이 동일하다 해도 환승 빈도가 높으면 통행비용이 증가하여 모형 내에 통행자의 환승저항에 대한 행태를 반영하였다.

$$\xi_p^{rs}(t) = Iott_p^{rs}(t) + \sum_{n=0}^N \alpha_p^n (M_p^{rs}(t) + W_p^{rs}(t)) + \beta_1 + \beta_2$$

여기서,

$\xi_p^{rs}(t)$: r 을 출발하여 s 까지 t 시점에서 경로 p 를 통해 통행하는 일반화 비용(통행시간, 分)

$Iott_p^{rs}(t)$: r 을 출발하여 s 까지 t 시점에서 경로 p 의 차내시간 (③)

$M_p^{rs}(t)$: r 을 출발하여 s 까지 t 시점에서 경로 p 의 환승이동시간 (①, ④)

$W_p^{rs}(t)$: r 에서 s 까지 t 시점에서 경로 p 의 열차대기시간 (②)

α_p^n : 환승횟수(n)에 따른 파라메타

β_1, β_2 : 승하차 이동시간 (⑤)

제2절 관련 제도 및 기준

1. 혼잡도 기준

1) 도로용량편람(국토교통부, 2013)

대중교통의 혼잡도(LOS, Level of service)는 도로용량편람(2013)에서 제시하고 있으며, 승강장은 대기공간으로 분류된다. 승강장은 대합실, 매표소, 엘리베이터 내부 등과 같이 일시적인 대기 행위가 발생하는 곳인데, 해당 자료에서는 이용자가 차지하는 점유공간의 평균면적⁵⁾을 기준으로 여유 공간을 고려하여 서비스 수준을 제시하고 있다.

〈표 2-6〉 대기공간 서비스 수준 1

구 분		도로용량편람	
		점유공간(㎡/인)	밀도(인/㎡)
A	자유 교통류	≥ 1.0	≤ 1.1
B	안정된 교통류	≥ 0.8	≤ 1.6
C	안정된 교통류	≥ 0.6	≤ 2.0
D	안정된 교통류-높은 밀도	≥ 0.4	≤ 2.5
E	용량상태-불안정 교통류	≥ 0.2	≤ 5.0
F	강제류 또는 와해상태	< 0.2	> 5.0

자료 : 국토교통부(2013), 도로용량편람

도로용량편람에서는 승강장을 포함한 대기공간에 대해 기준을 정하고 있지 않다. 따라서 시설물의 용량대비 교통류 특징을 통해 적정수준에 대한 이해가 필요하다.

교통류의 서비스 수준은 A~F까지 6단계로 구분할 수 있으며, LOS E~F 단계는 시설물의 용량이 한계에 달했거나 부족한 상태로 판단이 된다. 일반적으로 설계서비스 수준은 LOS C와 D가 기준이 된다.

5) 도로용량편람(2013)에서 제시하는 점유공간은 한국표준과학연구원의 표준체형을 근거로 한다. 평균 어깨폭 39.0cm, 가슴폭 32.7cm를 기준으로 95-percentile은 각각 39.9cm, 37.2cm이다.

<표 2-7> 서비스 수준에 따른 특징

수 준	구 분	특 징
A	자유 교통류	사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않는다. 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수하다.
B	안정된 교통류	교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주의를 기울이게 된다. 원하는 속도 선택의 자유도는 비교적 높으나 통행 자유도는 서비스 수준 A보다 어느 정도 떨어진다. 이는 교통류 내의 다른 사용자의 출현으로 각 개인의 행동이 다소 영향을 받기 때문이다.
C	안정된 교통류	교통류 내의 다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당한 영향을 받기 시작한다. 속도의 선택도 다른 차량의 출현에 영향을 받으며, 교통류 내의 운전자가 주의를 기울여야 한다. 이 수준에서 안락감은 상당히 떨어진다.
D	안정된 교통류 높은 밀도	속도 및 방향 조작 자유도 모두 상당히 제한되며, 운전자가 느끼는 안락감은 일반적으로 나쁜 수준으로 떨어진다. 이 수준에서는 교통량이 조금만 증가하여도 운행 상태에 문제가 발생한다.
E	용량상태 불안정 교통류	교통류 내의 방향 조작 자유도는 매우 제한되며, 방향을 바꾸기 위해서는 차량이 길을 양보하는 강제적인 방법이 필요하다. 교통량이 조금 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 와해상태가 발생한다.
F	강제류 또는 와해상태	도착 교통량이 그 지점 또는 구간 용량을 넘어선 상태이다. 이러한 상태에서 차량은 자주 멈추며 도로의 기능은 거의 상실된 상태이다.

자료 : 국토교통부(2013), 도로용량편람

대기공간에서의 서비스 수준을 분석하기 위해서는 다음 과정을 거친다.

- 1 단계 : 분석 대상 지역에서 대기공간을 설정한다.
- 2 단계 : 설정된 대기공간의 면적을 계산한다.
- 3 단계 : 분석시간을 10초에서 30초 간격으로 하여 대기공간 안의 최대 사람 수를 침투 5분 동안 측정한다.
- 4 단계 : 설정된 대기공간의 면적을 최대 관측 사람 수로 나누어 서비스 수준을 판정한다.

2) 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침(국토교통부, 2018)

한편 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에서는 대기공간과 보행로 및 계단에 서의 이용객 편의성에 대한 정도를 침두시간에 LOS D 수준 이상, 환승통로에서는 E 수준 이상으로 규정하고 있다.

승강장은 대기공간에 포함됨으로 타인과의 접촉 없이 대기할 수 있는 LOS D가 설계기준이 되며, 점유공간 0.3㎡/인 이상 ~ 0.7㎡/인 미만에 해당하며, 평균간격은 60cm 이상 ~ 90cm 미만, 밀도는 1.4인/㎡ 초과 ~ 3.3인/㎡ 이하이다.

〈표 2-8〉 대기공간 서비스 수준 2

구 분		도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침		
		공간모듈(㎡/인)	평균간격(cm)	밀도(인/㎡)
A	자유흐름의 영역	≥ 1.3	≥ 120	≤ 0.8
B	타인을 무리 없이 통과 가능	≥ 1.0	≥ 105	≤ 1.0
C	타인 통과 시 불편을 끼침	≥ 0.7	≥ 90	≤ 1.4
D	타인과의 접촉없이 대기 가능	≥ 0.3	≥ 60	≤ 3.3
E	타인과의 접촉없이 대기 불가능	≥ 0.2	< 60	≤ 5.0
F	타인과 밀착, 심리적 불쾌상태	< 0.2	포화상태	> 5.0

주 : 공간모듈이란 1인당 점유하는 공간의 단위 면적으로 도로용량편람의 점유공간을 의미한다.

자료 : 국토교통부(2018), 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」







3) Fruin 서비스 수준(1987)

John J. Fruin(1987)에 의해 제안된 대중교통 서비스 수준은 보행공간을 로비, 대기장소, 계단, 통로로 구분하고 개개인이 점유하는 공간을 기준으로 A~F까지 단계를 구분하여 LOS를 측정하였다. 도로용량편람(2013)에서 제시된 기준은 이에 기반을 둔다.

〈표 2-9〉 Fruin의 서비스 수준(LOS)

수 준	정 의	공간모듈(m ² /인)		
		대기장소	계단	무빙워크
A	Free circulation area	≥ 1.21	≥ 1.9	≥ 3.3
B	Restricted circulation area	≥ 0.93	≥ 1.4	≥ 2.3
C	Personal comfort area	≥ 0.65	≥ 0.9	≥ 1.4
D	No touch area	≥ 0.28	≥ 0.7	≥ 0.9
E	Touch area	≥ 0.19	≥ 0.4	≥ 0.5
F	The body ellipse	< 0.19	< 0.4	< 0.5

〈표 2-10〉 Fruin의 서비스 수준(LOS) 특성

수 준	비 고	
A		다른 보행자의 상충이 없는 상태로 보행속도를 자유롭게 결정할 수 있는 수준
B		다른 보행자의 상태에 맞추어 자유롭게 통행할 수 있는 수준
C		비교적 자유롭게 보행할 수 있음. 진행 방향의 보행자 추월 시에 문제는 없으나, 역방향의 보행자와 약간의 제약이 있는 수준
D		진행 방향의 보행자 추월 시에 제약이 있으며, 역방향의 보행자와 충돌 가능성이 큰 수준
E		보행속도를 임의로 결정할 수 없고, 추월이 상당한 제약을 받으며, 용량상태에 접근한 수준
F		보행속도가 심각하게 제약을 받고, 다른 보행자와의 접촉을 피할 수 없으며, 방향전환이 불가능하여 보행공간이 마비 상태인 수준

자료 : KONE(2009), *Planning guide for People Flow in transit stations* 재구성

2. 대피기준

피난시설에 대한 기준은 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에서 제시하고 있으며, 피난시설 설계 기본원칙은 <표 2-11>과 같다.

<표 2-11> 피난시설의 설계 기본원칙

구분	내 용
1	각 승강장마다 독립적인 탈출경로가 두 가지 이상 있어야 한다
2	대피 수용량은 일 통행시간 중 가장 혼잡할 때를 기준으로 한다
3	비상 대피의 경우에는 승객들이 가능한 모든 공간을 사용하려 할 것이기 때문에 스킴여유를 무시하여 경로의 폭을 적용한다.
4	정거장 내 열차 화재 및 정거장 화재에 대비해야 한다.
5	방화구역이 설정되어 있지 아니한 경우는 제연시설을 두도록 한다.
6	비상대피시설 및 대피방법에 대한 외국인의 인지성을 높이기 위하여 관련시설 및 사용법 등에 영어 등 다국어 표기를 병행할 수 있다.
7	화재 등 비상사태 발생 시 이용하는 장애인의 대피 시설은 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」을 준용하여 설치한다.
8	지상정거장에서는 외부로 피난할 수 있는 직통계단을 「건축법」을 준용하여 설치한다.
9	지상정거장의 경우 화재 등 비상사태에 대비하여 소방차의 접근이 용이한 위치에 설치되도록 한다.

「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에는 ‘정거장 내 열차 화재’, ‘정거장의 화재’와 같이 2가지 시나리오에 따른 대피인원 및 대피시간 산정 기준을 기술하고 있다.

정거장 내 열차에 화재 발생 시에 승강장의 대피인원은 다음 열차가 연착될 경우의 열차 승객 수까지 고려하여 산정한다. 따라서 피크시 승강장 대기인원에 열차의 만차를 가정하여 수용인원의 2배를 승객수로 산정한다.

$$\text{정거장 내 열차 화재시 대피인원} = \text{첨두시 승강장 대기인원} + (\text{열차수용인원} \times 2)$$

정거장에 화재가 발생 시 승강장의 대피인원은 피크시 기준으로 승강장에서 열차를 기다리는 대기인원과 열차에서 하차하는 승객수로 산정한다.

$$\text{정거장 화재시 대피인원} = \text{첨두시 승강장 대기인원} + \text{열차하차인원}$$

대피시간은 대기시간 + 이동시간의 합으로 산정하며 대피요소별로 인원과 수용량에 따라 대기시간 및 이동시간을 구한다. 대기시간은 <표 2-12>의 대피요소별 단위 폭 당 대피수용량을 적용하여 산정하고 이동시간은 <표 2-13>의 대피요소별 승객 이동속도를 적용하여 산정한다.

$$\text{대피시간} = \text{대기시간} + \text{이동시간}$$

대피시간의 기준은 모든 승객이 4분 이내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독 가스로부터 안전한 외부 출입구를 벗어나도록 한다.

<표 2-12> 대피요소별 단위폭 당 대피 수용량

대피요소		대피 수용량
수평이동요소	승강장, 대합실, 통로	80인/m분
수직이동요소	계단, 정지된 에스컬레이터	60인/m분
작동 중인 에스컬레이터		120인/m분
잠개표구		잠개표구당 60인/분

자료 : 국토교통부((2018), 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」

<표 2-13> 대피요소별 승객 이동속도

대피요소		대피 속도
수평이동요소	승강장, 대합실, 통로	60m/분
수직이동요소	계단, 정지된 에스컬레이터	15m/분
작동 중인 에스컬레이터		36m/분

자료 : 국토교통부((2018), 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」

제3절 기존문헌고찰

1. Irina Ceapa et al.(2012)⁶⁾

영국 런던의 철도이용 데이터(AFC data) 분석을 통해 역사의 이용에 대한 시공간 분석을 시행하였으며, 그 결과 혼잡에 있어서 주간 통행패턴과 주말 통행패턴에 차이가 있음을 밝히고 있다.

주거지와 상업지역, 그리고 교통중심지역은 서로 다른 통행패턴을 보였는데, 주거지는 승차를 기준으로 오전 첨두율이 높고, 일별 표준편차가 작은 것을 볼 때, 시간적 제약을 받는 정기적인 통행이 잦은 것으로 나타났고, 하차 시에는 오후 첨두율이 승차에 비해 완만하며, 표준편차가 큰 것으로 분석되었다.

상업지역은 주거지역과는 반대로 하차의 오전첨두율이 매우 눈에 띄는 것으로 나타났다. 그러나 승차의 경우에는 야근이나 탄력퇴근시간제로 30분 간격으로 통행패턴이 뚜렷하게 발생하는 것으로 분석되었다.

대중교통의 허브가 되는 지역은 주거지나 상업지역의 승하차 패턴과는 다르게 나타났고, 승차와 하차 패턴에 큰 차이가 없이 첨두가 관찰되는 것으로 분석되었음을 밝히고 있다.

2. 한국교통안전공단(2017)⁷⁾

대중교통 현황조사는 「대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법률」 제16조(대중교통현황 조사), 동일법 시행규칙 제4조(대중교통현황의 조사 등) 및 시행규칙 제5조(대중교통현황 조사의 의뢰)에 근거를 두고 매년 전국적으로 실시되고 있다.

연구 내용으로는 ‘대중교통 운행 및 이용실태 조사’, ‘대중교통 환승실태 및 이용자만족도 조사’, ‘환승시설 실태 및 LOS 조사 연구’, ‘대중교통 최소서비스 수준 조사’, ‘대중교통

6) Irina Ceapa, Chris Smith, Licia Capra(2012), *Avoiding the crowds : understanding Tube station congestion patterns from trip data*, Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, pp.134-141

7) 한국교통안전공단(2017), 2015 대중교통 현황조사

운영자에 대한 현황조사' 및 '대중교통 관련 통계조사'를 수행한다.

조사방법은 환승시설 실태와 서비스 수준에 대해 전문조사원의 현장방문 및 온라인을 통한 계측으로 거리를 측정하며, 설문조사 및 통계문헌조사를 통해 대중교통 서비스 사각·취약지역에 대한 개선방안을 도출한다.

3. 이호, 최진경(2015)⁸⁾

서울의 도시철도 역사 6개소에 대해 대중교통 카드자료를 활용하여 도시철도 승강장 혼잡도를 추정하는 알고리즘을 개발하는데 목적을 두고 있고, 승강장 구조의 역사정보, 개별 승·하차 데이터를 통해 방향별 누적 승강장 유입 인원을 계산하고, 역별 역차 출발정보를 토대로 승강장의 대기인원을 산정하였다.

해당 연구에서는 개찰구가 승강장에 따라 분리되어 있으면 비교적 용이하게 승강장 이용자를 파악할 수 있으나, 방향별로 개찰구가 분리되어 있지 못한 경우에는 개별식별번호를 통행 O/D 자료와 최단경로탐색 알고리즘에 의한 환승통행을 적용하였다. 또한 승차를 위해 승강장에 대기하는 사람만을 연구범위로 제한하고, 총 통행거리가 최소화되는 경로에 통행을 배정하였다.

8) 이호, 최진경(2015), 대중교통카드 자료를 활용한 도시철도 승강장 혼잡도 추정 알고리즘 개발, 한국철도학회논문집 제18권 제3호, pp.270-277

제4절 시사점

철도를 이용하는 사람 중에 일부는 매일 극심한 혼잡을 반복적으로 경험한다. 되풀이되는 교통혼잡에도 불구하고 매번 불편을 감수하는 이유는 무엇일까? 도로에서 혼잡이 발생하면 우회도로에 교통량이 분산될 수 있다. 그러나 철도는 선택 대안이 없으므로 승용차 통행자보다 혼잡에 대해 탄력적으로 대처하기가 어렵다. 따라서 통행자의 편의를 돕고 잠재적인 위험에 대비하기 위해서는 승강장 내에 혼잡을 진단하고, 관리할 필요가 있다.

이를 위해 제2장에서는 연구의 이론적 배경이 되는 환승 역사의 시간대별 승강장 통행량 추정을 위한 이론과 모형을 설명하고, 승강장의 유효대기면적과 환승보행 시설물에 대한 기준을 제시하였다. 또한, 대기공간에서의 서비스 수준과 도심형 재난 사고 및 위험 발생에 따른 대피기준에 관한 법·제도적인 기준을 조사하였다.

철도는 개찰구에서 정보가 수집된 이후에 승강장에서 이용자가 대기하며, 열차가 역사에 도착하기 전까지 사람의 유입은 계속되고, 열차가 승강장에 도착하면 하차승객까지 더해진다. 이렇듯 출·퇴근 시에는 많은 이용자가 승강장에서 이미 혼잡을 경험하게 되는데, 이에 대한 정확한 분석을 위해서는 철도내부환승에 대한 수요를 파악하는 것도 매우 중요하다. 본 연구는 철도내부환승 통행수요를 추정하기 위해 통행시간을 최소화하는 통행경로모형을 적용하여 인천관련통행사슬 168만건에 대해 철도통행 96만건의 O-D pair를 추출하여 내부환승지점과 경유시간을 산출한다. 이를 통해 환승통행은 물론 열차의 승·하차에 기반하여 승강장 수요를 산정한다.

이용수요를 기반으로 승강장의 시간대별 서비스 수준을 산정하기 위해서는 우선 승강장 면적에 대한 기능적인 구분과 환승거리 및 시간에 대한 반영이 필요하다. 승강장 내에서 이루어지는 승차, 하차, 이동, 환승, 대기 활동은 고정시설물과 편의시설, 소방안전시설과 같이 공간에 대해 이용자가 선호하는 또는 비선호하는 공간이용 패턴으로 구분할 수 있다.

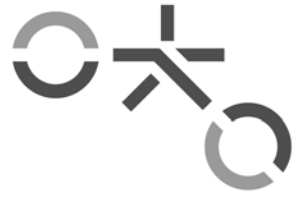
기존 연구사례를 볼 때, 혼잡시간에도 ‘승객비선호면적’에 대한 이용이 없고 승강장 면적의 1/3 또는 약 30%만을 ‘실용대기공간면적’으로 적용한 바가 있다. 본 연구에서는 현장조사를 통해 혼잡발생시에도 4줄서기를 벗어나는 대기열은 발생하지 않음을 확인하였다. 따라서 ‘실용대기공간면적’은 이호(2016)에서 연구된 승강장 전체면적에서 ‘점유불가면적’과 ‘승객비선호면적’을 제외한 전체면적의 평균 34%를 기준으로 하였다.

혼잡기준은 도로용량편람(2013)에서는 한국인에 맞는 표준 체형을 적용하여 대기 공간

의 서비스 기준을 제시하고 있고, 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」도 유사한 서비스 수준을 제시하고 있다. 본 연구도 해당지침을 따라 역사별 서비스 수준 D를 평가지표로 활용한다. 또한, 이용자 안전과 관련해서는 침두시 승강장 또는 열차 내부에서 화재 발생을 가정하여 대피시간을 분석하였다.

철도 운영사들은 승강장 혼잡을 관리하기 위해서 1~2년을 주기로 목측조사를 시행하거나, 계단, 보행통로, 대합실, 에스컬레이터 등 보행시설에 대해서는 보조조사나 설문을 통해 이용자 만족도 조사를 시행해왔다. 이와 같은 방법은 대중교통 서비스 이용에 대한 체감 정도를 직접적으로 판단할 수 있다는 장점이 있으나, 본 연구에서와같이 대용량 데이터인 카드자료 분석을 통해 역사별 승강장 서비스 수준을 정량적으로 판단할 필요가 있으며, 승객의 집중현상에 대한 패턴을 기반으로 혼잡완화를 위한 대응방안을 제시하는 것도 중요한 의미가 있다.

따라서 본 연구에서는 열차의 도착과 동시에 하차하는 통행자와 플랫폼의 대기 승객이 혼재되어 혼잡이 극대화되는 승강장의 특성상 하차인원에 대해서도 고려하여 최대한 혼잡 상황을 반영하고, 재난 발생시에 소요되는 대피시간에 대해 분석함으로써 이를 기반으로 인천시의 철도 혼잡관리를 위한 현황과 개선안에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.



Ⅲ

도시철도 환승역사 현황 분석

제1절 구조 및 환승 체계

제2절 환승역 통행수요 분석

제3절 소결

Ⅲ. 도시철도 환승역사 현황 분석

통행자의 이동 동선과 통행패턴을 결정하는 것은 역사의 기하구조에 따라 다르기 때문에 환승역사별로 차이가 나는 것은 당연하다. 이러한 차이는 역사 접근성과 승강장 이용여건에 영향을 미치는 요인이기 때문에 문제점과 해결방안을 제시하기 위해서는 현황파악이 중요하다. 따라서 본 장은 철도역사 구조와 환승체계를 파악하고, 교통카드 자료를 활용한 거리, 시간, O/D 패턴, 평일-주말 특성 등 역사별 이용형태를 분석한다.

제1절 구조 및 환승 체계

1. 철도용량

현재 인천시에서 운행되고 있는 6개 노선은 운영기관이 인천교통공사, KORAIL, AREX, 서울교통공사 등 운영기관별로 다양하고, 건설 시기, 기능 및 용량도 노선별로 차이가 있다.

최근 의정부, 용인, 우이 등 서울 및 경기지역에서 경전철이 건설·운영·계획되고 있으나, 과거에 수도권 도시 및 광역철도는 용량이 큰 중량 및 중형전철 중심으로 건설되었다. 때문에 인천 지역에서 운행되고 있는 경인선, 수인선, 공항철도, 서울지하철 7호선도 1량당 정원이 약 160명에 달하는 중량전철로 운행 중이다.

중형전철인 인천도시철도 1호선은 1량당 113~124명이 탑승할 수 있으며, 1편성당 차량 수는 8량이 운행되고 있다. 2016년에 개통한 인천도시철도 2호선은 경량전철로 1편성당 차량수는 2량이며, 104명이 탑승할 수 있다. 경량전철은 중전철과 비교하면 용량은 크지 않으나, 버스보다 수송능력이 좋다. 현재 인천시 내에서 대중교통 간선교통수요를 처리하고 있다.

〈표 3-1〉 철도유형별 용량

유형		최대인원 (1량)	차량수 (1편성)	비고
重量	HRT(Heavy Rail Transit)	150~160	8~10	경인선, 수인선, 공항철도, 수도권 지하철 등
中型	MRT(Medium Rail Transit)	120~130 (113~1241))	6~8	인천도시철도1호선
輕量	LRT(Light Rail Transit)	40~80 (1042), 953))	2	인천도시철도2호선

주 : 1. 인천도시철도 1호선 기준, 2. 인천도시철도 2호선 기준, 3. 자동운전궤도시스템(AGT) 기준
 자료 : 국토교통부, 도로철도부분사업의 예비타당성조사 표준지침수정보완연구(제5판)

역사별로 철도용량과 승강장 용량, 그리고 1편성당 차량수는 〈표 3-2〉와 같다. 8개 환승역에서 중량철도와 중형철도, 중형철도와 경량전철이 교차하고, 차량 편성수도 차이가 있다. 따라서 구조적으로 철도용량과 시설물 불균형으로 인한 문제가 내재해있다.

〈표 3-2〉 환승역사 철도용량 현황

구분	역사명	노선 1				노선 2			
		노선명	용량	승강장	차량	노선명	용량	승강장	차량
1	검암	공항철도	重量	8량	6량	인천2호선	輕量	4량	2량
2	계양	공항철도	重量	8량	6량	인천1호선	中型	8량	6량
3	주안	경인선	重量	10량	10량	인천2호선	輕量	4량	2량
4	인천시청	인천1호선	中型	8량	6량	인천2호선	輕量	4량	2량
5	부평구청	7호선	重量	8량	8량	인천1호선	中型	8량	6량
6	부평	경인선	重量	10량	10량	인천1호선	中型	8량	6량
7	원인재	수인선	重量	8량	6량	인천1호선	中型	8량	6량
8	인천	수인선	重量	8량	6량	경인선	重量	10량	10량
예정	석남	7호선	重量	-	8량	인천2호선	輕量	-	2량

2. 역사 위치

인천은 총 6개 철도 노선과 89개 역사가 운영되고 있으며, 중량(HRT), 중형(MRT), 경량(LRT) 등 다양한 차량유형이 혼재되어 운행되는 지역이다. 또한 역사 위치도 지상과 지하, 고가역이 있다.

철도역사는 위치에 따라 세부적인 분류가 가능하지만, 본 연구에서는 지하철에 상응하는 개념인 지하역, 지상역, 고가역으로 분류하였다. 역사 위치에 따라서는 출입구가 단일 방향으로만 진·출입이 가능한 경우와 4방향으로 접근이 가능한 출입구 형태가 있다.

〈표 3-3〉 철도역사 구분

위 치	형 태	특 징	
지상역	고가역	고가 위에 선로와 맞이방 설치	가변형 4방향 출입구
	지상역	지상에 선로와 맞이방 설치	단일 방향 출입구 가능
지하역	지하역	지하에 선로와 맞이방 설치	가변형 4방향 출입구

주 : 이 외에도 선상, 선하, 반지하역 등으로 분류

지하역과 고가역의 경우는 역사를 중심으로 모든 방향에서 진·출입이 가능하므로 방향별 접근 및 환승 관리가 필요하며, 검암역, 계양역, 인천역과 같이 역사 전면부에서만 진·출입이 가능한 경우는 한곳으로 이용객이 집중하기 때문에 혼잡에 대한 적절한 관리가 필요하다.



〈그림 3-1〉 도시철도 검암역 유형

자료 : 우측사진 <https://cafe.naver.com/metropolitansubway/20421>

환승시에는 역사 위치에 따라서 수직이동과 수평이동이 발생한다. 두 개 노선이 모두 지상 1층에 있는 계양역도 노선간 평면환승은 불가능하다. 고가역간 환승이 이루어지는 검암역은 비교적 환승거리가 길고, 원인재역은 지하역에서 지상역으로 4개 층을 환승해야 함으로 수직이동거리가 길다.

〈표 3-4〉 환승역사 위치에 따른 유형

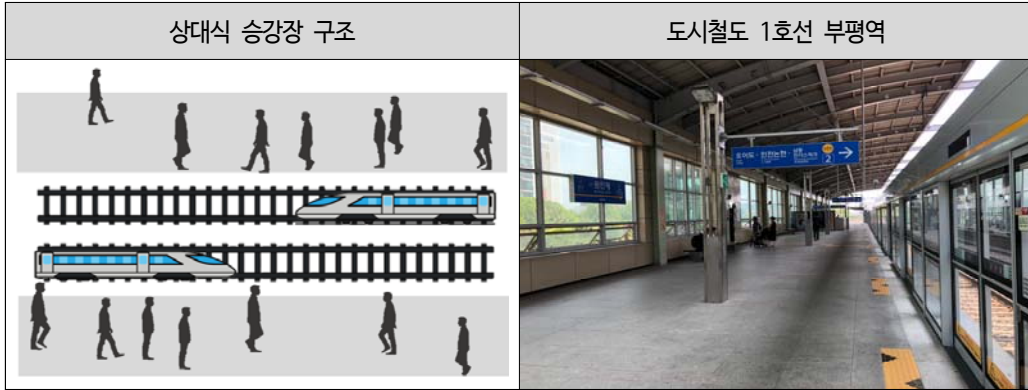
구분	역사명	노선	위치	
1	검 암	공항철도	고가역	지상 2층
		인천2호선		지상 4층
2	계 양	공항철도	지상역	지상 1층
		인천1호선		지상 1층
3	주 안	경인선	지상역	지상 1층
		인천2호선	지하역	지하 3층
4	인천시청	인천1호선	지하역	지하 4층
		인천2호선		지하 2층
5	부평구청	7호선	지하역	지하 3층
		인천1호선		지하 2층
6	부 평	경인선	지상역	지상 1층
		인천1호선	지하역	지하 4층
7	원인재	수인선	고가역	지상 2층
		인천1호선	지하역	지하 2층
8	인 천	경인선	지상역	지상 1층
		수인선	지하역	지하 3층

3. 승강장 형태

승강장 형태는 역사별로 경유 노선 수, 운행 편수, 급행 또는 완행 여부 등 입지특성에 따라 차이를 보인다. 선로와 승강장 배치에 따라서 단선, 상대식, 섬식, 두단식, 2섬+상대식, 4쌍대+단선, 터미널형 등으로 다양하고, 인천시에 설치된 승강장 형태는 상대식, 섬식, 쌍섬식, 터미널식 등 4개 종류이다.

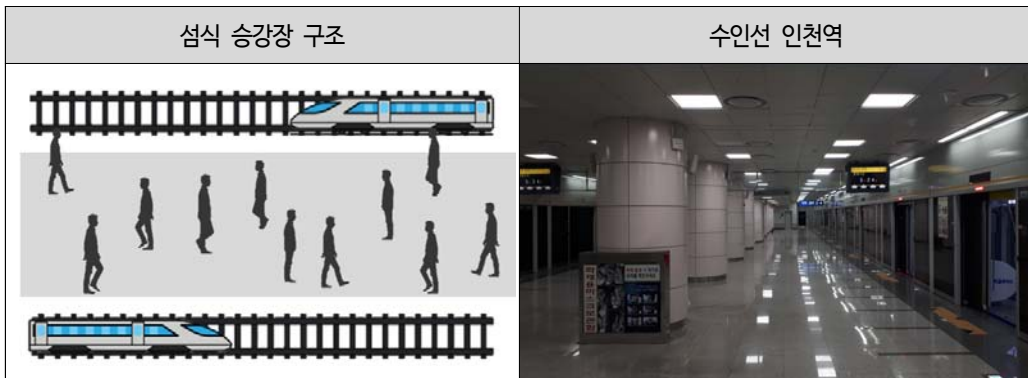
상대식 승강장은 상·하행 승객이 각각 다른 플랫폼을 이용하는 형태이다. 2면 2선 형태로 중앙에 2개 선로가 운영되고 승강장은 선로 바깥쪽에 설치되어 있다. 개찰구에서 승강장까지 상·하행 이용자에 따라 동선이 분리되는 특징이 있다.

환승역사 중 검암역(인천2호선), 계양역(공항철도, 인천1호선), 주안역(인천2호선), 부평구청역(인천1호선, 7호선), 원인재역(인천1호선, 수인선)이 상대식으로 운영되고 있다.



〈그림 3-2〉 상대식 승강장

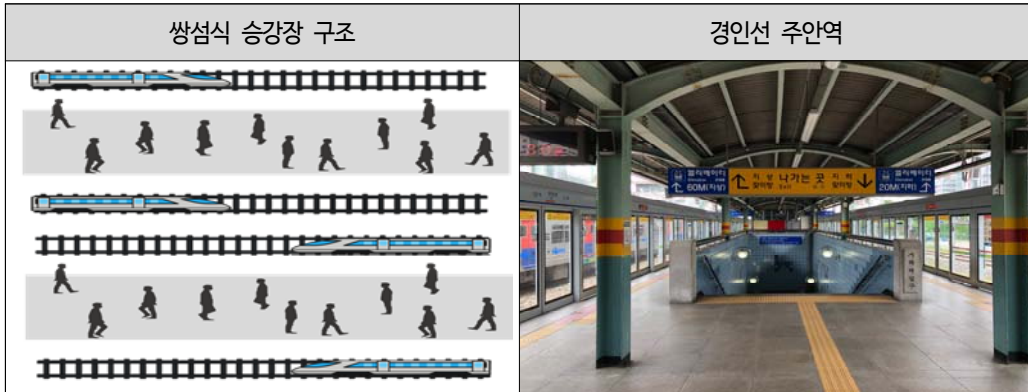
섬식 승강장은 상·하행 승객이 같은 플랫폼을 이용하는 형태이다. 1면 2선의 중앙부 섬 형태이기 때문에 개찰구에서 승강장까지 모든 이용자가 계단, 통로, 의자, 에스컬레이터, 엘리베이터 등을 포함한 플랫폼 시설을 공유한다. 인천역(수인선)이 섬식으로 운영되고 있다.



〈그림 3-3〉 섬식 승강장

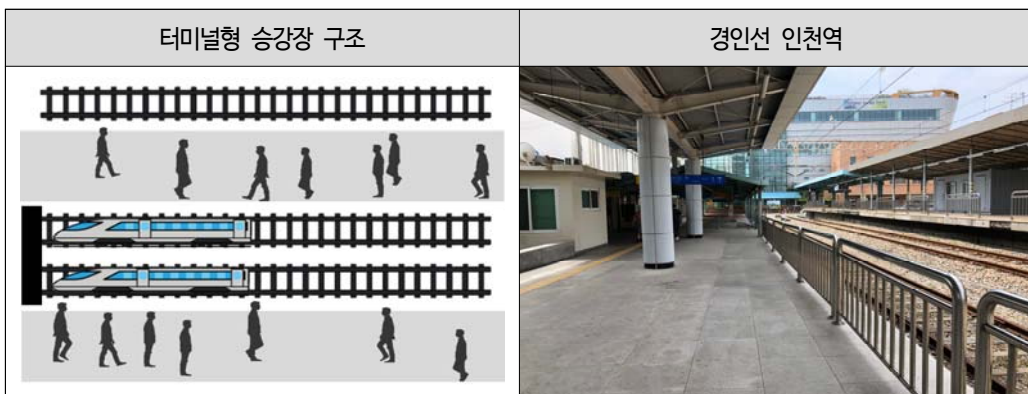
자료 : 우측사진 <https://blog.naver.com/blackreaper2791/221222586463>

쌍섬식 승강장은 2개의 섬식 승강장이 있는 형태이며, 주로 급행열차를 운행하는 노선에서 볼 수 있다. 해당 승강장 형태는 완행 승객이 급행 차량으로 환승할 때 동일 승강장을 이용하기 때문에 매우 편리한 장점이 있다. 환승역사 중 경인선 주안역, 부평역과 공항철도 검암역이 이와 같은 형태로 운행되고 있다.



〈그림 3-4〉 쌍섬식 승강장

터미널형 승강장 또는 두단식 승강장은 진행 방향의 선로가 막혀있는 형태다. 경인선 인천역은 한국 최초의 두단식 승강장으로 2면 3선의 구조이다. 해당 역사는 되돌아 나갈 수 있는 회차선이 없어 열차가 도착한 플랫폼에서 그대로 다시 되돌아 나가야 한다. 경인선 인천역은 승강장과 개찰구가 평면 연결되어 있어 역사 이용이 편리하다.



〈그림 3-5〉 터미널식 승강장

수도권 지하철역 전체에서 상대식 승강장이 68%를 차지하고 있으며, 섬식승강장은 약 30%로 구성되어 있다.⁹⁾ 주로 시간대별 방향별로 승객 수요가 크게 차이 나는 곳은 섬식을 설치하는 것이 일반적이다.

인천시 환승역사 중에 상대식 승강장은 11개소, 섬식은 수인선 인천역 1개소, 쌍섬식은 급행철도가 운행되는 경인선 주안역, 부평역과 공항철도 검암역 이상 3개소, 터미널형은 경인선의 시종착역인 인천역에서 운영되고 있다.

〈표 3-5〉 환승역사 승강장 구조

구 분	노 선
상대식	인천2호선 검암역, 계양역(인천1호선, 공항철도), 인천2호선 주안역, 인천시청역(인천1호선, 인천2호선), 부평구청역(인천1호선, 7호선), 인천1호선 부평역, 원인재역(인천1호선, 수인선)
섬 식	수인선 인천역
쌍섬식	공항철도 검암역, 경인선 주안역, 경인선 부평역
터미널형	경인선 인천역

4. 역사별 접근 및 환승여건

일반적으로 철도역사는 건설 시기 및 입지여건, 운영형태 등 다양한 요소에 의해 물리적 위치가 결정되고, 내부환승동선은 수직이동과 수평이동이 필수적으로 발생하며 환승 체계에 따라 이용자 동선도 결정된다.

인천시에 8지점 16개 환승역사는 고가역, 지상역, 지하역 등으로 다양하고, 철도 용량이 나, 승강장 구조, 환승위치 등이 서로 다르다. 또한, 계양역과 같이 공항철도와 인천1호선의 역사가 지상에 나란히 있다 해도 평면환승이 구조적으로 불가능하므로 역사간 환승 여건과 수단간 환승 및 도보를 통해 접근하는 동선에 영향을 미치는 요인들을 역사별로 파악해야 한다.

9) 이호(2016)에 의하면 2014년 기준 총 794개소의 역사 중에 섬식은 240개소, 상대식은 541개소, 복합식은 13개소이다.

〈표 3-6〉역사별 접근 및 환승 여건

구분	역사명	노선	용량	위치	승강장 형태	환승시간(분)		접근 및 환승여건
						내부1)	외부2)	
1	검암	공항철도	중량	지상2층	쌍섬식	4~5	4:22	환승 동선은 양호하나 고가역 간 환승으로 길이가 길다. 공항철도의 승강장 형태는 쌍섬식이며, 환승 게이트 이용이 필수적이다.
		인천2호선	경량	지상4층	상대식		3:11	
2	계양	공항철도	중량	지상1층	상대식	2~3	2:07	지상 1층에 역사가 위치해 평면환승에 대한 요충이 끊임없이 있으며, 환승거리가 비교적 짧은 특징이 있다. 그러나 환승거리가 짧아 철두시 집중도가 높고, 환승 게이트를 이용할 때 대항방향 통행류와 미철이 발생할 가능성이 크다.
		인천1호선	중형	지상1층			2:45	
3	주안	경인선	중량	지상1층	쌍섬식	2~3	3:45	환승 동선은 양호하나, 지상 1층에 있는 경인선 주안역은 폭우로 인해 선로가 침수되고 지하상가 및 인근지역까지 피해가 발생하는 등의 문제가 있다.
		인천2호선	경량	지하3층	상대식		3:57	
4	인천시청	인천1호선	중형	지하4층	상대식	3~4	8:00	내부환승은 지하역 간 이동이며, 동선은 비교적 양호하다. 그러나 역사가 언덕에 위치하며, 규모가 크고 깊어 외부 환승소요시간은 긴 것으로 나타났다.
		인천2호선	경량	지하2층			11:03	
5	부평구청	7호선	중량	지하3층	상대식	3~4	3:43	인천1호선 승강장 끝단을 통해 통로와 계단을 지나면 7호선을 이용할 수 있고, 환승 여건은 용이하다.
		인천1호선	중형	지하2층			5:19	
6	부평	경인선	중량	지상1층	쌍섬식	3~4	6:28	내부환승은 비교적 쉬우나, 철도·버스, 버스·버스 환승 시에 정류장 이동거리가 길다. 주안역과 마찬가지로 폭설과 폭우로 철도운행이 정지되는 사례가 있다.
		인천1호선	중형	지하4층	상대식		7:24	
7	원인재	수인선	중량	지상2층	상대식	3~4	4:00	내부환승은 지하 2층에서 지상 2층까지 4개 층을 이동해야 하므로 경사가 있고 환승 거리도 길다. 따라서 이동편의를 위해 무빙워크를 설치하여 운영 중이다.
		인천1호선	중형	지하2층			2:31	
8	인천	경인선	중량	지상1층	터미널형	2~3	2:37	경인선 인천역은 개찰구와 승강장이 바로 연결된 구조로 편리하고, 내부환승여건도 용이하다. 경인선 인천역은 시종착 역사로 터미널형 구조가 특징적이다.
		수인선	중량	지하3층	섬식		3:30	

주1 : 철도 간 환승에 걸리는 시간으로 비철두시 성인 남녀의 환승 소요시간 실측

주2 : 철도와 버스 환승에 걸리는 시간으로 철도역사의 개찰구에서 버스정류장까지 이동하는 환승접근 이동시간을 평균하여 산출(대중교통 카드자료 2017년 5월 평일 기준)

검암역은 고가역으로 지상 4층과 지상 2층에 각각 위치한다. 환승 동선은 양호하나 거리가 멀고 환승 게이트를 통과해야 한다. 환승 시간은 비첨두 성인남녀의 통행시간으로 약 4~5분이 소요되는 것으로 나타났다. 교통카드자료에서 산출된 철도·버스 환승접근 이동시간은 평균 4.22분이 소요되는 것으로 나타났다.



〈그림 3-6〉 검암역 환승통로

계양역은 2개 노선 모두가 지상역이며, 검암역과 마찬가지로 환승 게이트를 통과해야 한다. 그러나 환승거리가 짧아 첨두시에는 환승 게이트 앞에서 통행이 집중되고, 대항방향 통행류와 마찰이 발생할 수 있다. 또한, 철도·버스 수단간 환승통행량이 주안역 다음으로 많은 역사이기 때문에 개찰구를 진입하기 전(Unpaid area)에 첨두시 혼잡도 높다. 환승 시간은 비첨두 성인남녀의 보행속도로 약 2~3분이 소요된다.

주안역은 지상 1층과 지하 3층에 역사가 있는 구조이다. 환승 동선은 에스컬레이터와 환승통로를 이용하여 비교적 양호한 구조이며, 환승 소요시간은 비첨두 성인남녀의 통행으로 약 2~3분이 소요된다. 철도·버스 환승접근 이동시간은 두 개 역사 모두 유사하게 약 4분이 소요되는 것으로 나타났다. 주안역 승강장 형태는 경인선 주안역이 쌍섬식으로(2복선) 완행과 급행열차가 동일한 플랫폼을 이용하기 때문에 이용자 필요에 따라서 하차 후, 바로 열차를 바꿔탈 수 있다. 다만, 저지대라는 지형적인 특징으로 폭우가 쏟아지면 선로와 지하상가, 인근지역까지 침수되어 열차 이용이 불가능하거나 혼잡이 발생할 수 있다.¹⁰⁾

10) 주안역은 시간당 30mm 호우에도 침수가 자주 발생하는 곳이다. 저지대에 있으므로 하수 역류로 침수가 많으며, 2017년 7월에도 호우로 인한 침수 사례가 있다.

인천시청역은 인천교통공사에서 운영하는 도시철도 1·2호선 역사가 지하 2층과 지하 4층에 있다. 도시철도 2호선이 도시철도 1호선보다 위에 있으며, 환승 동선은 비교적 양호한 구조다. 환승 소요시간은 비침두 성인남녀의 통행시간으로 약 3분이 소요된다. 그러나 철도·버스 수단간 환승 통행자는 역사가 언덕에 위치하고, 규모가 크고 깊어 불편을 느낄 수 있다. 실제로 교통카드자료에서 산출된 철도·버스 환승접근 이동시간은 인천1호선이 평균 8분, 인천2호선이 평균 11분으로 인천 평균 5.4분과 비교해 매우 높았으며, 환승역임에도 불구하고 철도·버스간 환승수요는 일일 약 800건으로 적은 것으로 분석되었다.

부평역은 경인선이 지상 1층에 있고, 인천도시철도 1호선은 지하 4층에 역사가 있어 수직이동거리가 길다. 도시철도와 버스 간 환승여건은 복잡하고 접근 이동시간도 평균 6.28초, 7.24초로 나타났다. 반면 도시철도 간 내부환승은 유료구간인 개찰구 내부에서 이루어지기 때문에 어렵지 않다. 내부환승에 걸리는 시간은 비침두 성인남녀의 통행시간으로 약 3~4분이 소요된다. 경인선 부평역의 승강장 형태는 경인선 주안역과 마찬가지로 쌍섬식으로(2복선) 운행되고 있으며, 완행과 급행, 특급열차가 같은 플랫폼을 이용하기 때문에 승강장 유효대기공간면적이 넓어 인천시에서 가장 많은 통행량을 처리할 수 있다.



〈그림 3-7〉 부평역 환승통로

부평구청역은 인천도시철도 1호선과 7호선 모두 지하역사이며, 출입구가 가변형 4방향 접근이 가능하다. 다만 역사로 진입하는 에스컬레이터가 상·하행 1열로 침두시 대기열이 길어진다. 역사 내부에서는 인천도시철도 1호선 끝부분의 통로를 이용해 환승할 수 있으므로 환승동선은 좋다. 다만, 노선 간 배차시간이 맞지 않아 승강장 대기시간이 발생하며, 환승 시간은 비침두 성인남녀의 통행속도로 약 2~3분이 소요된다.



원인재역은 지상 2층 고가역에서 지하역 간 환승이 필요하다. 총 4개 층을 환승 이동해야 하므로 계단이나 에스컬레이터를 이용한 수직 이동 시에 경사도가 있고 수평이동도 길이가 긴 편이다. 따라서 통로에 무빙워크를 설치하여 환승시 소요시간이 단축되어 비첨두 성인남녀의 통행시간으로 약 3~4분이 소요된다.

〈그림 3-8〉 원인재역 환승통로

인천역은 경인선이 지상 1층에 있고, 수인선은 지하 3층에 역사가 있다. 환승 시간은 비첨두 성인남녀의 통행시간으로 약 2~3분이 소요되며, 환승이 어렵지 않다. 다만 과거 난간형 안전문(Screen door)의 시범사업이 있었던 곳이나, 현재는 환승역 중 유일하게 스크린 도어가 없는 곳이다.

인천시는 도시철도 2호선 개통 이후 철도 내부환승 비율이 증가하고 있다. 따라서 검토한 바와 같이 통행수요가 많은 환승역사를 중심으로 철도역의 외부접근환경은 물론 내부환승 체계에 대해 종합적으로 파악하여 이용자의 불편이나 안전에 영향을 미치는 요인 등에 대해 개선할 필요가 있다.

제2절 환승역 통행수요 분석

1. 환승역사 통행특성

분석 기준 시점은 2017년 10월 중 평일과 주말 하루를 선정하였다. 해당일은 통행량에 영향을 줄 수 있는 공휴일 또는 이벤트가 없는 날이며, 분석의 일관성을 위하여 1회권 및 정기권, 현금승차는 제외하였다. 분석 단위는 통행(Trip)과 통행 사슬(Trip chain)¹¹⁾이다.

연구 범위는 환승 8개 지점의 16개 역사이며, 승강장 수는 총 31개이다. 해당 역사를 이용하는 총통행수요는 일일 551,610건이다. 그중 약 50%에 해당하는 269,740건이 철도 간 내부환승으로 분석되었는데, 철도를 단독으로 이용하는 통행의 54.3%, 철도·버스 통행의 경우에 38.4%로 나타났다.

〈표 3-7〉 인천시 환승역 통행수요

(단위 : trip-chain, 평일)

유형	환승역사총통행	노선환승통행	비율(%)
철도 단독	365,145	198,166	54.3
철도·버스복합	186,462	71,574	38.4
기타	3	-	0.0
Total	551,610	269,740	48.9

주1 : 기타는 8개 지점을 이용하였으나, 데이터 정보가 불완전한 경우임

주2 : 환승역사총통행은 개찰구 진·출입 이력이 남는 ‘태그통행’과 이력이 남지 않는 철도 내부 ‘노선환승통행’을 포함

철도·버스 통행자의 노선환승통행비율이 낮은 것은 환승에 대한 저항으로 인해 통행시간의 추가손실을 줄이려는 행태로 볼 수 있다. 반면 철도 한 수단만을 단독으로 이용하는 경우에는 철도·버스 환승여건에 비해 저항이 비교적 덜하다. 철도는 배차시간이 일정하며, 또한 역사 내부에서의 이동은 날씨 등에 비교적 영향을 받지 않기 때문이다.

대중교통 이용자들의 환승 횟수는 대중교통 경쟁력과 연관이 있는데, 수도권 통합요금제는 총 4회까지 가능하다. 그러나 철도 내부의 노선환승통행을 포함하면 최대 7회 환승하는

11) 통행자가 대중교통 이용시 교통카드를 사용하면 4회 환승이 가능하며, 거래내역에 환승정보가 기록된다. 통행사슬(Trip chain)은 최초 출발지에서 최종 도착지까지의 통행을 연결하여 하나의 분석단위로 만든 것이며, 이는 환승이 많은 대중교통 이용자의 이동패턴에 대해 정확한 파악이 가능하다.

것으로 분석되었다.

〈표 3-8〉에서와 같이 철도 내부환승을 고려하지 않으면 직결이 365,148통행, 66.2%로 가장 많고, 철도·버스 또는 버스·버스 환승 비율이 28.2%로 나타났다. 그러나 철도 내부환승을 고려하면 환승없이 순수하게 1회 철도통행만으로 출발지에서 목적지에 도달할 수 있는 통행은 166,811통행, 30.2%로 감소했고, 1회 환승은 277,650통행, 50.3%로 가장 많다.

〈표 3-8〉 내부 환승수를 고려한 통행수 변화

(단위 : trip-chain, 평일)

통행수		노선환승 미포함		노선환승 포함	
총통행 건수	환승수	건 수	비율(%)	건 수	비율(%)
1회	0회	365,148	66.2	166,811	30.2
2회	1회	155,605	28.2	277,650	50.3
3회	2회	27,297	4.9	90,701	16.4
4회	3회	2,731	0.5	14,243	2.6
5회	4회	829	0.2	1,811	0.3
6회	5회	-	-	370	0.1
7회	6회	-	-	16	0.0
8회	7회	-	-	1	0.0
기타		-	-	3	0.0
total		551,610	100.0	551,610	100.0

주 : 내부환승 중, 출입구 환승을 제외한 노선간 환승만 포함

환승역사에서 발생하는 환승통행 유형은 총 3가지로 구분한다. 출발할 때에 개찰구와 탑승노선이 다르면 출발환승, 역사 내부에서 노선 간에 환승을 하면 노선환승, 도착지에서 개찰구를 바꿔서 역사를 빠져나오는 경우는 도착환승이다.

통행특성에 따라서 1회 통행(trip)에 출발·노선·도착환승이 동시에 발생하기도 하며, 때에 따라서 노선환승만 수차례 할 수도 있다. 환승역 이용자의 통행분석 결과 〈표 3-9〉에서와 같이 1회 노선환승이 78.0%로 가장 많았고, 도착환승은 6.6%, 2회 노선환승을 하는 비율은 5.9%로 나타났다.

〈표 3-9〉 내부환승 유형별 통행량

(단위 : trip-chain, 평일)

구 분	유 형	건 수	비율(%)
1	노선환승	239,773	78.0
2	도착환승	20,209	6.6
3	노선환승-노선환승	18,136	5.9
4	출발환승	16,924	5.5
5	노선환승-도착환승	5,798	1.9
6	출발환승-노선환승	5,317	1.7
7	출발환승-도착환승	376	0.1
8	출발환승-노선환승-노선환승	290	0.1
9	노선환승-노선환승-노선환승	198	0.1
10	출발환승-노선환승-도착환승	112	0.0
11	노선환승-노선환승-도착환승	110	0.0
12	노선환승-도착환승	3	0.0
13	출발환승-노선환승	3	0.0
total		307,249	100.0

주 : 12유형과 13유형은 2회 수단환승하는 철도-버스-철도 통행자에게 발생했으며, 첫 통행과 마지막 통행에서 내부환승이 발생

2. 통행 거리 및 시간

환승역사를 이용하는 통행자들은 평균 19.7km를 이동하는 것으로 나타났으며, 노선환승을 하는 통행자들은 21.6km를 이동하는 것으로 분석되었다. 인천시 평균통행거리 14.7km에 비해 환승역사총통행은 5km, 노선환승통행은 6.9km 더 긴 것으로 나타나 환승역사가 대중교통을 이용한 중장거리 이동에 중심축이 되고 있음을 알 수 있다.

〈표 3-10〉 통행유형에 따른 거리분석

(단위 : km, trip-chain)

유 형		평균거리	Std.Dev	최소거리	최대거리
환승 역사	총통행	19.7	13.6	0.3	227.6
	노선환승통행	21.6	13.0	1.7	227.6
인천관련통행		14.7	14.3	0.1	227.6

인천시에서 대중교통을 이용한 통행거리를 구간별로 비교하면 도시철도 2호선 개통 전·후와 유사하게 10km 미만 구간에서 총 통행의 50%가 분포하고, 15km 이후부터 완만하게 감소하는 패턴을 유지하고 있다.

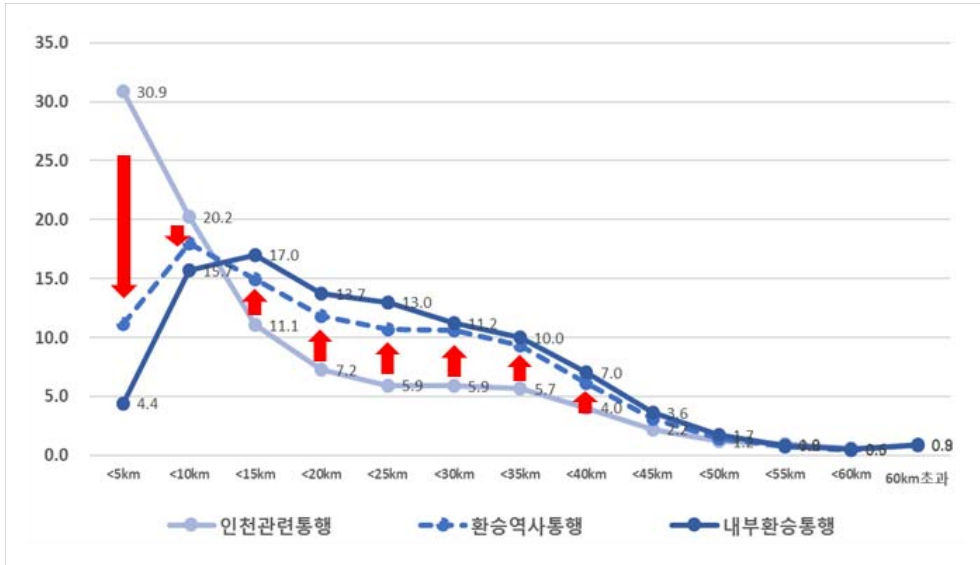
그러나 환승역사 16개소를 이용하는 통행에 대한 분포는 다른 패턴을 보인다. 단거리에서는 환승역사통행 비중이 상대적으로 낮고, 15km 이후 중장거리 구간에서는 통행비중이 높다.

5km 미만의 단거리 비율을 보면 인천관련통행에서는 30.9%가 분포하여 단거리 통행에 대한 비중이 높지만, 환승역사를 이용하는 경우는 11.1%, 노선환승통행은 4.4%로 낮다. 그러나 중장거리 10km~45km 구간에서는 인천관련통행에 비해 높은 분포비율을 보인다. 이러한 현상은 인천도시철도 2호선 개통 이후에 철도가 간선기능이 강화되었는데, 특히 중장거리 구간에서 철도 단독통행 비중이 높아진 것과 같은 패턴으로 이해할 수 있다.

〈표 3-11〉 통행거리별 분포

(단위 : trip-chain, 평일)

구 분	인천관련통행		환승역사총통행		노선환승통행	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
< 5km	520,006	30.9	61,459	11.1	11,929	4.4
< 10km	340,958	20.2	99,248	18.0	42,296	15.7
< 15km	186,219	11.1	82,490	15.0	45,878	17.0
< 20km	122,126	7.2	65,164	11.8	37,021	13.7
< 25km	100,128	5.9	59,025	10.7	35,000	13.0
< 30km	99,528	5.9	58,450	10.6	30,170	11.2
< 35km	95,309	5.7	51,596	9.4	26,975	10.0
< 40km	67,910	4.0	33,901	6.1	18,946	7.0
< 45km	37,169	2.2	16,943	3.1	9,779	3.6
< 50km	20,221	1.2	7,955	1.4	4,603	1.7
< 55km	16,366	1.0	4,150	0.8	2,283	0.8
< 60km	9,836	0.6	2,403	0.4	1,295	0.5
60km초과	14,276	0.8	4,982	0.9	2,513	0.9
기 타	54,941	3.3	3,844	0.7	1,052	0.4
total	1,684,993	100.0	551,610	100.0	269,740	100.0



〈그림 3-9〉 통행거리 분포

인천시에서 대중교통을 이용한 통행소요시간 역시 도시철도 2호선 개통 전·후와 유사하게 39.0분으로 나타났다. 그러나 환승역을 이용하는 통행자들은 평균 50.8분을 통행하는 것으로 나타났으며, 그중에 노선환승을 하는 통행자들은 평균 56.7분이 소요되는 것으로 나타났다.

〈표 3-12〉 통행유형에 따른 소요시간 분석

(단위 : 분, trip-chain)

유형		평균시간	Std.Dev	최소시간	최대시간
환승역사	총통행	50.8	30.6	1.0	2,195.0
	노선환승통행	56.7	28.7	6.0	935.0
인천관련통행		39.0	31.3	1.0	3,007.0

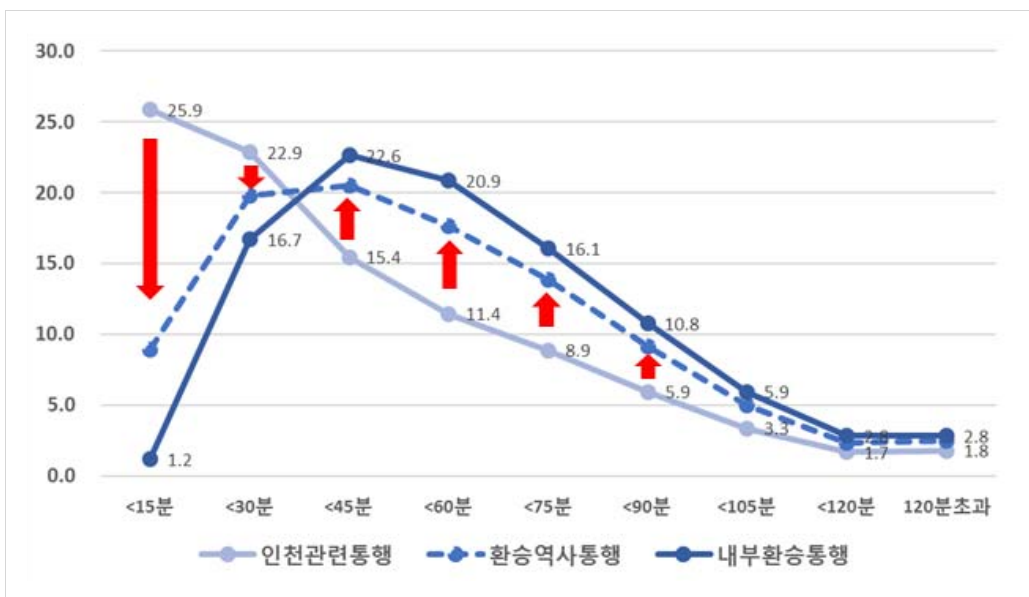
인천관련통행은 15분 미만이 25.9%, 30분 미만이 22.9%가 분포하고 있으며, 45분 이내 전체통행의 64.2%인 1,084,753건이 발생하는 것으로 분석되었다.

그러나 환승역을 이용하는 통행은 이와는 다른 패턴을 보인다. 인천관련통행은 비교적 통행소요시간이 짧은 데 반해, 환승역사의 통행은 30분에서 45분 사이에 통행량이 가장 많고, 1시간 이하의 누적통행이 66.9%, 63.8%로 나타났다. 또한, 노선환승통행은 60분 이상의 비율이 높은 것으로 나타났는데 이는 광역통행 비중이 높아 장거리 통행이 많이 분포하기 때문이다.

〈표 3-13〉 통행소요시간 분포

(단위 : trip-chain, 평일)

구 분	인천관련통행		환승역사총통행		노선환승통행	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
< 15분	435,842	25.9	49,322	8.9	3,165	1.2
< 30분	385,401	22.9	109,070	19.8	45,041	16.7
< 45분	260,199	15.4	113,251	20.5	61,071	22.6
< 60분	192,710	11.4	97,191	17.6	56,278	20.9
< 75분	149,353	8.9	76,233	13.8	43,333	16.1
< 90분	99,828	5.9	50,302	9.1	29,052	10.8
< 105분	56,388	3.3	27,314	5.0	16,001	5.9
< 120분	28,046	1.7	13,075	2.4	7,659	2.8
120분 초과	30,009	1.8	13,730	2.5	7,636	2.8
기 타	47,217	2.8	2,122	0.4	504	0.2
Total	1,684,993	100.0	551,610	100.0	269,740	100.0



〈그림 3-10〉 통행소요시간 분포

평균 소요시간과 통행거리에 대해 분석한 결과, 환승역사총통행과 노선환승통행이 인천시 전역에서 발생하는 대중교통 평균보다 약 1.3~1.5배가량 긴 것으로 나타났다. 이는 환승역을 이용하는 통행자의 중장거리 이동패턴을 가지고 있으며, 환승역사가 가진 영향권의 범위가 넓은 것으로 판단할 수 있다.

3. O/D 통행특성

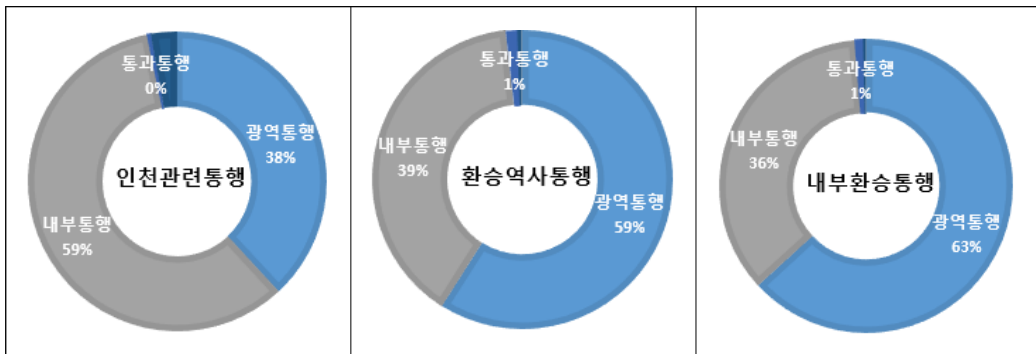
통행유형별로 최초출발지와 최종도착지 간에 O/D 분포를 분석한 결과, 기준이 되는 인천관련통행에서 내부통행 비중이 988,808건, 58.7%로 가장 높았고, 인천·서울, 경기, 외곽으로 오고 가는 광역통행은 642,228건, 38.1%로 나타나 내부통행이 광역통행에 비교해 많은 것으로 나타났다.

그러나 환승역사를 이용하는 통행은 광역통행 59.0%, 내부통행 39.2%로 광역통행 비중이 높다. 광역통행 비중은 환승역에서 노선환승을 하는 통행에서 63.2%로 더욱 높아졌으며, 인천 출·도착이 차지하는 비율은 35.5%로 낮아졌다.

<표 3-14> 통행유형에 따른 O/D 통행 분석

(단위 : trip-chain, 평일)

구 분	인천관련통행		환승역사총통행		노선환승통행	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
광역통행	642,228	38.1	325,444	59.0	170,448	63.2
내부통행	988,808	58.7	216,376	39.2	95,753	35.5
통과통행	8,436	0.5	7,389	1.3	2,769	1.0
기 타	45,521	2.7	2,396	0.4	770	0.3
합 계	1,684,993	100.0	551,605	100.0	269,740	100.0



<그림 3-11> 통행유형에 따른 O/D 분포

환승역사에 따라 철도 내부환승을 포함한 O/D 분포는 각각 다른 패턴을 보이는데, 김안역, 계양역, 부평구청역 등은 광역통행이 차지하는 비율이 70% 이상으로 나타났고, 인천내

부통행은 인천시청역이 88.1%로 가장 높았다. 원인재역과 인천역의 이용자 역시 인천 내부 통행 비율이 63.1%, 62.3%로 높았다. 인천지역을 통과하는 통행은 계양역에서 5,284통행, 6.9%로 가장 많은 것으로 분석되었다.

<표 3-15> 환승역사에 따른 평일 O/D 통행 분석

(단위 : trip, 평일)

구분	광역통행		내부통행		통과통행		기 타		총 계	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
검 암	40,622	72.9	14,333	25.7	536	1.0	225	0.4	55,716	100.0
계 양	58,818	77.4	11,533	15.2	5,284	6.9	395	0.5	76,030	100.0
주 안	54,338	51.4	50,759	48.0	196	0.2	514	0.5	105,807	100.0
인천시청	6,334	11.6	48,264	88.1	45	0.1	130	0.2	54,773	100.0
부평구청	63,344	74.1	20,503	24.0	1,280	1.5	303	0.4	85,430	100.0
부 평	104,017	61.6	63,261	37.4	992	0.6	670	0.4	168,940	100.0
원인재	19,784	34.8	35,913	63.1	1,014	1.8	212	0.4	56,923	100.0
인 천	7,460	36.7	12,638	62.3	8	0.0	195	1.0	20,301	100.0

주중통행과 주말통행의 역사별 출·도착을 비교하면 통과통행 비율이 높은 계양역의 주말 통행은 평일 5,284통행, 6.9%에서 3,356통행 5.4%로 낮아지는 것으로 파악되었고, 인천역의 광역통행비율은 36.7%에서 41.5%로 증가하였다. 부평역은 내부통행이 37.4%에서 39.7%로 증가하였고, 광역통행은 61.6%에서 59.2%로 감소하였다.

<표 3-16> 환승역사에 따른 주말 O/D 통행 분석

(단위 : trip, 주말)

구분	광역통행		내부통행		통과통행		기 타		총 계	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
검 암	32,655	72.3	11,781	26.1	487	1.1	224	0.5	45,147	100.0
계 양	48,621	77.6	10,299	16.4	3,356	5.4	361	0.6	62,637	100.0
주 안	45,419	50.9	43,179	48.4	146	0.2	517	0.6	89,261	100.0
인천시청	5,344	12.1	38,534	87.4	67	0.2	138	0.3	44,083	100.0
부평구청	47,773	74.5	15,117	23.6	976	1.5	252	0.4	64,118	100.0
부 평	95,495	59.2	64,056	39.7	977	0.6	750	0.5	161,278	100.0
원인재	17,126	35.8	29,642	61.9	956	2.0	154	0.3	47,878	100.0
인 천	7,529	41.5	10,462	57.7	5	0.0	134	0.7	18,130	100.0

분석 결과에 따라서 환승역사는 광역통행거점과 내부통행거점으로 구분할 수 있고, 광역 통행은 환승가능한 광역철도에 따라서 서울 북부와 남부로 대중교통 축을 구분할 수 있다.

광역통행 비중이 높은 역사는 검암, 계양, 부평구청, 부평역 이상 4개소가 있다.

부평역은 평일 기준으로 일일 광역통행이 104,017통행 발생하여 8개 환승지점 중 통행량이 가장 많다. 부평역은 1999년 인천도시철도 1호선 개통 이후 오랜 기간 인천시 내에 유일한 환승역이었으며, 현재까지 인천 남부권역 통행자들의 광역이동에 주된 역할을 담당하고 있다.

검암역과 계양역은 인천도시철도 1·2호선과 공항철도가 연계되어 인천 북부와 김포 인근에서 서울까지 통행이 빈번하다. 해당지역의 광역권 통행자들은 김포공항, 디지털미디어 시티, 공덕, 서울역을 경유하며 강북지역의 조밀한 철도네트워크를 이용할 수 있다.

부평구청역은 인천도시철도 1호선과 7호선 환승이 가능한 곳으로 인천지역의 중북부 지역에서 가까운 부천과 광명, 가산디지털단지, 대림, 이수, 고속터미널을 지나며 서울의 강남지역까지 이동할 수 있다.

반면, 인천 내부통행이 많은 역사는 인천시청, 원인재, 인천역 이상 3개소이다. 인천시청역은 48,264통행/일, 총통행의 88.1%가 인천 출·도착 통행인 내부통행 비중이 매우 높은 역사다. 원인재역과 인천역은 내부통행 비중이 60% 이상으로 나타났다.

주안역은 광역통행과 시내통행량이 유사한 것으로 분석되었다. 주안역은 노선간환승을 포함하여 평일 105,807통행이 발생하는데, 인천시 89개 역사 중 부평역 다음으로 많다. 부평역과 주안역은 인천시의 주요 환승역사지만 이용패턴이 서로 다르다. 주안역은 철도·버스간 환승통행이 일일 약 2만7천통행으로 인천시에서 수단간 환승이 가장 많이 발생하는 역사지만, 부평역은 철도역사와 버스정류장 간 환승거리와 소요시간이 길어 철도 내부에서 환승하는 노선간환승 통행량이 약 1만5천통행이 발생하는 것으로 나타났다.

4. 철도간 환승통행 분석

환승역사는 2개 이상의 노선을 이용할 수 있으므로 개찰구를 중심으로 출발환승, 도착환승, 노선환승이 발생하게 된다. 출발환승과 도착환승은 역사의 접근성, 인근의 토지이용 형태에 영향을 받고, 노선환승은 승강장의 혼잡도와 서비스 수준에 큰 영향을 준다.

평일 기준으로 출발환승량과 도착환승량이 가장 많은 역사는 부평역이며, 가장 비율이 높은 역사는 인천역으로 나타났다. 경인선 인천역은 승강장과 개찰구가 평면 연결되어 있어 역사 이용이 편리하므로 경인선 인천역 개찰구를 이용해서 수인선으로 이동하는 통행 비율이 높다. 노선환승비율이 가장 높은 역사는 계양역 97.2%이며, 다음은 인천시청역 95.5%로 나타났다.

〈표 3-17〉 평일기준 역사별 환승통행

(단위 : trip, 평일)

구 분	출발환승		노선환승		도착환승		총계	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
검 암	2,506	7.5	29,298	87.8	1,554	4.7	33,358	100.0
계 양	474	1.1	43,630	97.2	776	1.7	44,880	100.0
주 안	3,651	9.4	31,166	80.0	4,138	10.6	38,955	100.0
인천시청	697	2.0	33,883	95.5	888	2.5	35,468	100.0
부평구청	1,757	3.7	43,289	91.4	2,298	4.9	47,344	100.0
부 평	7,647	9.0	65,993	77.7	11,347	13.4	84,987	100.0
원인재	3,842	8.4	38,249	83.5	3,739	8.2	45,830	100.0
인 천	2,448	32.7	3,164	42.3	1,868	25.0	7,480	100.0

출발환승과 도착환승은 평일과 주말이 다른 행태를 보인다. 역사별로 주안역은 평일에도 출발 및 도착환승 비율이 인천 평균보다 높지만, 주말에는 더 높아진다. 부평역 이용자들은 노선환승이 77.7%에서 71.2%로 가장 많이 줄고, 출발환승과 도착환승 비율은 28.8%로 높아진다.

〈표 3-18〉 주말기준 역사별 환승통행

(단위 : trip, 주말)

구 분	출발환승		노선환승		도착환승		총계	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
검 암	2,119	7.7	24,127	87.3	1,389	5.0	27,635	100.0
계 양	431	1.1	37,475	96.8	795	2.1	38,701	100.0
주 안	3,586	11.0	24,948	76.6	4,050	12.4	32,584	100.0
인천시청	586	2.0	28,364	95.6	712	2.4	29,662	100.0
부평구청	1,676	4.6	32,991	89.9	2,044	5.6	36,711	100.0
부 평	9,202	12.0	54,742	71.2	12,957	16.8	76,901	100.0
원인재	3,654	9.3	32,098	81.5	3,621	9.2	39,373	100.0
인 천	2,053	32.4	2,588	40.8	1,699	26.8	6,340	100.0

출발 및 도착환승은 출입구 위치와 역사 주변 토지이용에 등에 따라서 역사별 접근성에 영향을 받는다. 특히 2개 노선 이상 이용 가능한 곳에서는 노선에 따라 중방향(重方向) 역사가 존재한다.

검암역과 계양역은 광역통행이 많고 지상부 주 출입구 접근이 쉬운 역사구조로 70% 이상의 통행자가 공항철도 역사를 이용하고 있다.

주안역은 도시철도 2호선 개통으로 인해 경인선의 태그 이용비율이 감소하기는 했으나, 여전히 57,464통행/일이 경인선으로 유출입 한다. 내부통행과 광역통행 비중이 유사한데도 경인선 개찰구 이용이 많은 것은 경인선이 인천 동서축을 연결하는 주요 교통인프라이기 때문이며, 구조적으로는 인천 2호선 출입구가 2개로 적은 데다가 경인선 역사 전면부가 대중교통 접근성이 좋고, 상권이 발달하여 통행자가 많은 주 출입구가 되기 때문이다. 따라서 주안역은 개찰구에서 이루어지는 출발환승과 도착환승 비율이 높다.

인천시청역은 도시철도 1호선과 2호선의 환승역사이나 역사를 이용하는 승하차 통행량 보다 노선환승통행이 많은 역사이다. 인천1호선의 태그통행량이 14,491통행으로 약 63.3%가 인천1호선의 개찰구를 이용한다.

부평구청역은 2012년 10월 7호선이 부평구청까지 연장개통이 되면서 광역버스 수요가 철도로 전환되었다. 다만 공항철도와는 달리 7호선 부평구청역의 승하차 태그통행비율이 24,542건, 58.2%만이 광역철도 개찰구를 이용하는 것으로 파악되었다. 이는 7호선의 종착역이기 때문에 발생하는 현상으로 파악되며, 2020년 석남역이 개통된 이후에는 부평구청역

의 통행패턴은 변화가 예상된다.

부평역은 일일 승하차 통행량이 10만 이상이 발생하고, 미태그 노선환승수요를 포함하면 인천시뿐만 아니라 수도권에서도 통행량이 많은 역사이다. 경인선 개찰구 수요는 총 태그통행의 84.5%인 87,070통행이다. 인천1호선 개찰구 위치는 광장에 있으며, 인근에는 광역버스 등이 주정차하고 있어 이용률이 떨어질 수밖에 없다. 부평역도 주안역과 마찬가지로 출·도착 환승 비율이 높다.

<표 3-19> 환승역사별 증방향 출입구 분석

(단위 : trip, 평일)

구 분	소 계	승하차 태그통행					
		인천1호선	인천2호선	경인선	공항철도	7호선	수인선
검 암	26,490	-	6,225	-	20,265	-	-
계 양	32,406	6,483	-	-	25,923	-	-
주 안	74,675	-	17,211	57,464	-	-	-
인천시청	20,896	14,491	6,405	-	-	-	-
부평구청	42,159	17,617	-	-	-	24,542	-
부 평	102,996	15,926	-	87,070	-	-	-
원인재	18,696	6,972	-	-	-	-	11,724
인 천	17,166	-	-	12,461	-	-	4,705

제3절 소결

철도역사의 내·외부 구조는 통행자의 동선에 영향을 주는 요인이기 때문에 역사별로 접근교통환경과 연계교통여건에 직·간접적으로 작용하며, 고정된 역사 시설물의 동선을 따라 이동하는 통행자의 통행패턴은 혼잡 원인이 되기도 한다. 따라서 본 장에서는 교통카드를 이용한 통행패턴과 환승역사 16개소에 대한 접근 및 환승여건을 분석하였으며 결과, 철도역사의 접근 및 환승여건에 따른 이용자 패턴은 다음과 같이 나타났다.

첫째, 역사 위치는 역사 내부의 환승 동선에 영향을 준다. 검암역과 같이 고가역과 고가역 간 환승은 수직 이동거리는 물론 환승통로를 이용한 수평 이동거리도 타 역사와 비교해 멀다. 반면에 계양역은 2개 노선 모두가 지상 1층에 있고, 2~3분 정도의 짧은 이동으로 물리적인 환승여건이 좋다. 다만 계양역은 철도·버스간 수단간 환승통행이 주안역 다음으로 많고, 철도간 내부환승통행비율도 일일 43,630통행으로 승·하차 태그통행의 1.3배가 많은 환승거점 역사이다. 따라서 역사 내부 환승 이동성이 매우 좋음에도 불구하고 출·퇴근 시간에 역사 내부와 외부가 매우 혼잡한 특징을 보인다.

둘째, 역사 접근성은 통행자의 이용패턴에 영향을 준다. 부평역은 인천도시철도 1호선의 출입구와 버스정류장 간의 접근성이 떨어지는 문제가 있다. 부평역의 개찰구 이용 현황을 파악하면 이용자의 약 85%가 경인선에서 태그하고, 인천도시철도 1호선은 약 15% 정도만 이용할 정도로 심한 편차를 보인다. 또한, 인천시청역은 역사가 경사지 언덕에 있어 접근성이 좋지 못하기 때문에 이용을 기피하는 경향이 있다. 따라서 관공서 역세권에도 불구하고 인근 석바위시장역, 석천사거리역 등으로 통행량이 분산되고 있다. 그러나 역사 내부의 노선환승은 접근성에 영향을 받지 않기 때문에 승·하차 통행보다 1.6배 많은 것으로 파악되어 노선환승 관리가 필요한 역사다.

셋째, 역사의 구조에 따라 자연재해로 인한 혼잡이 발생한다. 경인선 부평역과 주안역은 환승역이자 주변 토지이용에 따른 유동인구가 많고, 철도이용자가 많은 곳이다. 그러나 역사의 구조상 지상 1층에 위치하여 자연재해로 인한 폭설과 폭우로 인해 철도운행에 차질이 생겨 혼잡이 유발된다. 또한, 인천도시철도 1호선 부평역은 대심도 역사이기 때문에 화재 등에 취약한 특성이 있어 인천교통공사에서는 화재, 정전, 역사 침수에 대비해 정기적인 훈련을 하고 있다.

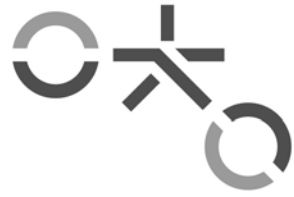
넷째, 환승역사의 통행거리 및 통행시간은 인천 평균보다 긴 것으로 분석되었다. 환승역

사의 통행패턴은 인천시 대중교통 평균 거리와 소요시간보다 30~50% 길고, 광역통행 비율도 약 60%에 달해 서울, 경기 등을 오고 가는 중장거리 통행이 잦다. 철도간 환승통행의 통행거리분포를 보면 인천 총통행과 비교하여 10km~50km 구간에서 발생비율이 상대적으로 높았다. 이는 환승역사를 이용하는 통행자의 이동범위가 일반역사보다 더 넓어 환승역사가 광역권 간선통행에 대중교통 허브(Hub) 기능을 담당하고 있음을 알 수 있다.

다섯째, 역사별로 평일과 주말의 통행패턴에 차이가 있는 것으로 파악되었다. 주안역과 부평역은 평일에도 출발 및 도착환승 비율이 높는데 주말에는 이 비율이 더 높아졌다. 이는 여가 및 쇼핑 등의 목적으로 주안역과 부평역 인근 상권을 이용하는 등 주말 통행자의 이동 동선이 평일과 다른데 원인이 있다.

여섯째, 철도 내부에서 환승하는 통행자들의 이용수단을 분석하면 철도 단일통행이 철도·버스와 비교해 2.8배 많았다. 통행자는 일반적으로 환경적인 변수가 많은 버스·철도보다 철도 내부환승을 선호하는 경향이 있기 때문이다. 또한, 수단간 환승을 하는 통행자들은 대부분 철도망을 간선축으로 이용하고, 버스를 지선으로 활용하는 경우가 많다. 이들은 불필요한 환승을 줄이고, 추가 환승을 하지 않기 위해 동선을 계획하기 때문에 이러한 통행패턴이 나타나는 것으로 파악된다.

이상과 같이 이상과 같이 철도역사의 내·외부 구조는 통행자의 동선과 통행패턴에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 이를 기반으로 제4장에서는 구체적으로 역사별 승강장 이용패턴을 파악하고, 시간대별로 혼잡도를 분석하여 안전한 도시철도이용을 위한 근거를 제시하고자 한다.



IV

승강장 혼잡 및 대피시간 분석

제1절 승강장 서비스 수준 분석

제2절 대피시간 분석

제3절 소결

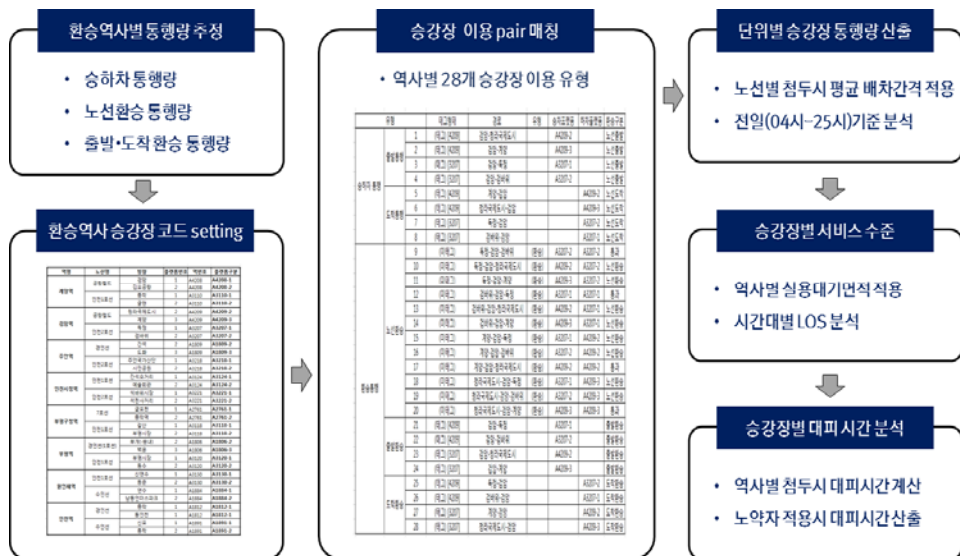
IV. 승강장 혼잡 및 대피시간 분석

제1절 승강장 서비스 수준 분석

1. 분석개요

철도역사는 노선별로 이용시간, 이용패턴의 차이가 있으며, 동일 노선이라도 상·하행 승강장에 따라서 통행량의 차이가 있다. 서비스 수준은 통행량의 특성에 따라 달라지므로 대중교통 카드자료를 기반으로 철도역사에 대한 수요추정모형을 통해 총 31개 승강장의 평일 통행량을 시간대별로 분석한다.

분석 시점은 2017년 10월 평일 하루이며, 모형을 통해 산출된 승강장 통행량과 서비스 수준은 열차 운행시간 04시부터 25시(다음날 1시)까지 1분 단위로 분석하고, 통행량이 가장 몰리는 첨두시와 비첨두시 승강장의 혼잡 특성을 파악한다.



〈그림 4-1〉 혼잡분석 흐름도

역사별 통행량은 태그한 개찰구가 동일해도 이용하는 플랫폼이 다를 수 있고, 태그정보가 남지 않는 노선 간 환승이 있어 승강장 pair를 구분하여 이용량을 집계해야 한다. 이를 위해 본 연구는 통행자의 O/D에 따라 31개 승강장 코드를 연결하는 매칭작업을 실시하였으며, 한 역사별로 승강장 pair는 24가지 유형이 있다.

인천시에 운행 중인 6개 노선은 노선별로 배차간격에 차이가 있으며, 동일 노선이라도 특급, 급행, 완행에 따라 열차의 출발 역사가 다르다. 따라서 본 연구에서는 7시~9시 오전첨두 평균배차간격을 적용하였으며, 승차 이용량은 태그시점 또는 환승시점부터 역사별로 배차간격을 고려하여 승강장에 대기하도록 프로그램을 설계하였다.

승강장 서비스 수준은 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」을 기준으로 한다. 설계서비스 수준은 LOS D이며, 본 연구에서 1분 단위로 서비스 수준을 분석하였다.

〈표 4-1〉 승강장 서비스 수준

구분	내용	밀도(인/㎡)
A	자유흐름의 영역	≤ 0.8
B	타인을 무리 없이 통과 가능	≤ 1.0
C	타인 통과 시 불편을 끼침	≤ 1.4
D	타인과의 접촉없이 대기 가능	≤ 3.3
E	타인과의 접촉없이 대기 불가능	≤ 5.0
F	타인과 밀착, 심리적 불쾌상태	> 5.0

승강장의 공간이용은 승차비선호공간의 승객이용이 균등하게 분포한다고 가정한다. 승객비선호면적의 이용과 관련해서는 현장조사결과와 출입문을 중심으로 4줄 서기를 벗어나는 대기열은 침두시에도 발생하지 않아 실용대기공간면적은 이호(2016)의 연구에서 제시한 전체면적의 34%로 설정하였다. 역사별로 산정된 승강장 면적은 〈표 4-2〉과 같다.

〈표 4-2〉 환승역사 승강장 실용대기공간면적

(단위: ㎡)

역사		면적	역사		면적
검암	공항철도	207	부평구청	7호선	293
	인천2	152		인천1	537
계양	공항철도	369	부평	경인선	702
	인천1	405		인천1	754
주안	경인선	448	원인재	수인선	240
	인천2	140		인천1	449
인천시청	인천1	553	인천	경인선	932
	인천2	162		수인선	441

2. 시간대별 승강장 통행패턴

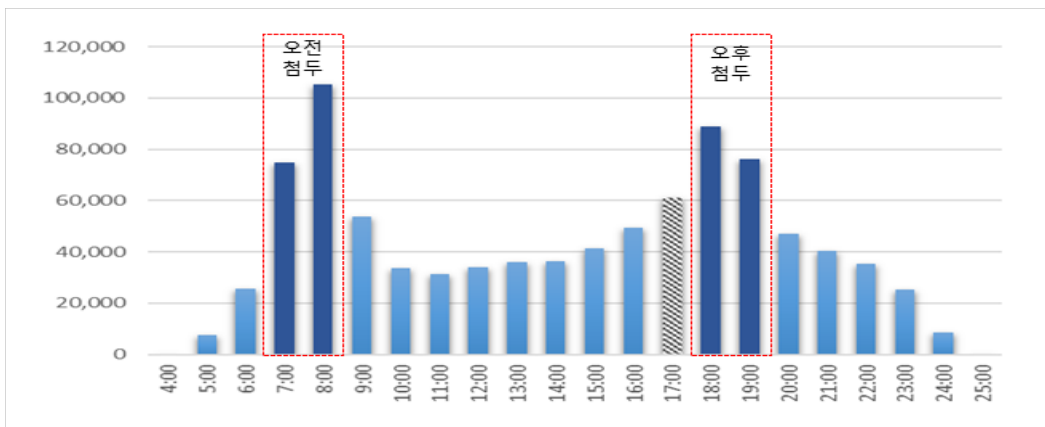
1) 시간대별 이용 패턴

총 16개 역사 31개 승강장 통행량을 1시간 단위로 누적한 결과, 오전 및 오후 첨두 집중도가 매우 높은 것으로 나타났다. 오전첨두 7시~9시에 180,126통행(19.7%), 오후첨두인 18시~20시에도 164,957통행(18.1%)이 분포하고 있다. 또한, 17시~18시부터 환승역사의 이용량이 많아지는 것으로 분석되었는데 이는 환승역사의 광역통행이 일반역사와 비교해 많고, 중장거리 통행비율도 높아 일반적인 오후첨두 시간보다 이른 시간대부터 이동이 많아지거나, 시차출근 등이 반영된 결과로 판단된다.

〈표 4-3〉 시간대별 승강장 통행량

(단위 : trip, %)

시간	통행량	비율	시간	통행량	비율	시간	통행량	비율
4:00	233	0.0	12:00	34,315	3.7	20:00	47,008	5.1
5:00	7,641	0.8	13:00	36,334	4.0	21:00	40,279	4.4
6:00	25,649	2.8	14:00	36,812	4.0	22:00	35,403	3.9
7:00	74,736	8.2	15:00	41,710	4.6	23:00	25,346	2.8
8:00	105,390	11.5	16:00	49,640	5.4	24:00	8,494	0.9
9:00	54,005	5.9	17:00	61,070	6.7	25:00	63	0.0
10:00	33,827	3.7	18:00	88,952	9.7	합계	914,394	100.0
11:00	31,439	3.4	19:00	76,050	8.3			



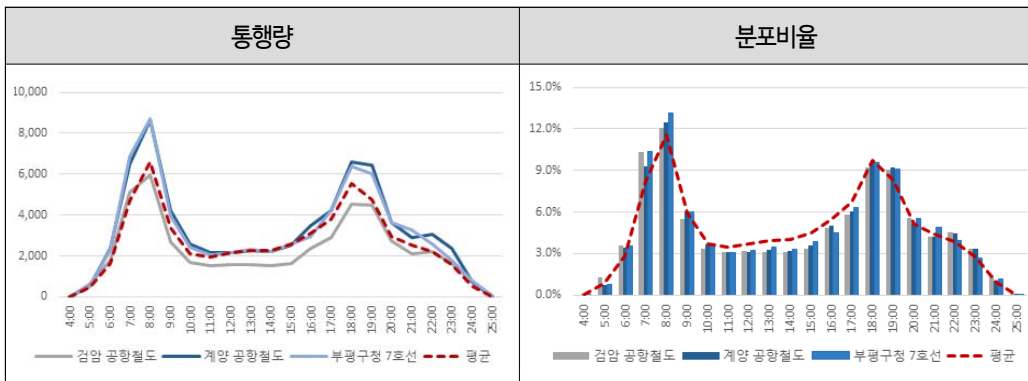
〈그림 4-2〉 시간대별 승강장 통행량

2) 역사별 이용 패턴

환승역사는 연계 철도망의 경유지에 따라서 광역통행거점이 되기도 하고 인천시 내부통행거점이 되기도 하는데, 동일 지점이라도 각각의 철도노선은 서비스 범위가 다르므로 통행패턴은 다르게 나타날 수 있다.

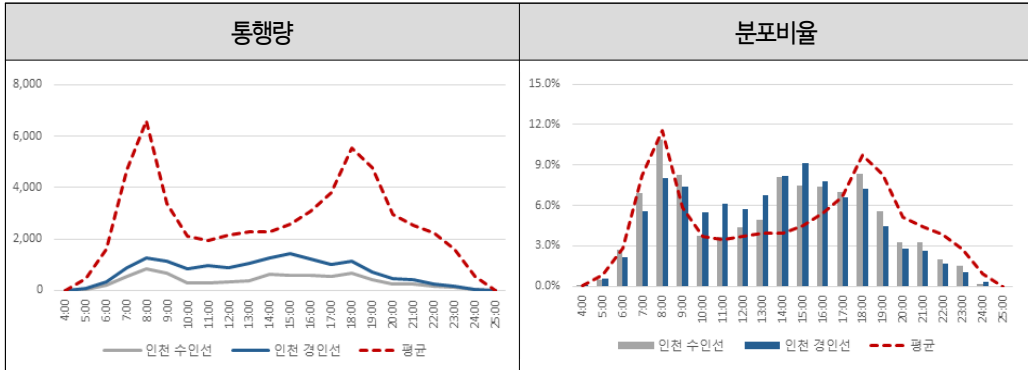
검암역과 계양역은 광역통행이 잦은데, 인천 ↔ 서울, 경기 통행자들은 이른 오전첨두 7시~8시에 이용량이 많은 것으로 나타났다. 인천1호선과 7호선 부평구청역은 8시~9시에 전일 통행의 12.8%가 이용하고 있어 동일시간대에서 인천시청역 다음으로 높은 이용비율을 보인다.

검암역, 계양역, 부평구청역의 공항철도와 7호선은 통행자의 이동 거리와 소요시간이 길어 오전 7시대 분포비율이 높고, 오후 늦은 퇴근·귀가로 인한 기타시간대 비율이 평균보다 높다. 그러나 비첨두 시간대에는 발생비율이 평균보다 낮은 것으로 분석되었다.



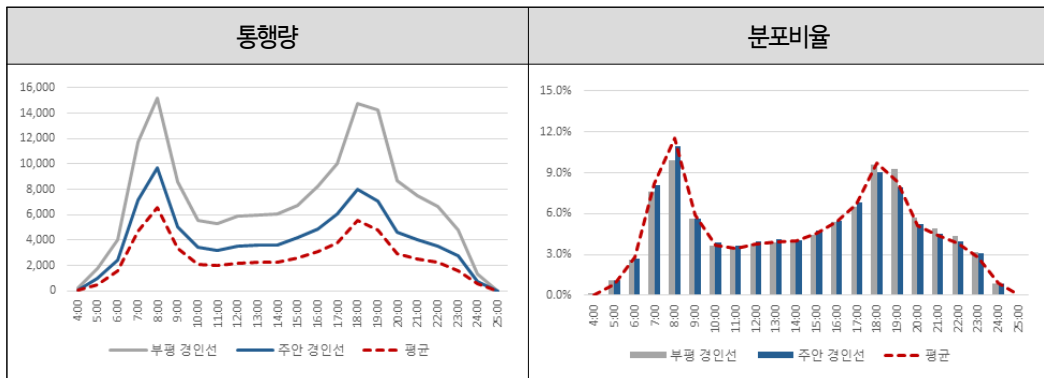
〈그림 4-3〉 광역통행거점 시간대별 통행량 분포(공항철도, 7호선)

인천역 수인선과 경인선은 시종착 역사로 배차간격도 길고 불규칙하다. 따라서 통행패턴과 승강장 이용량 분포가 타 환승역사와는 다른 패턴을 보인다. 인천역은 오전첨두 7시~9시 사이에 통행분포가 8개 환승역사 중에서 가장 낮은 것으로 파악되었다. 이는 원도심 쇠퇴로 상주인구가 줄고, 역사 주변에도 주거밀도가 낮아 출퇴근 및 통학목적 통행량이 없기 때문이다. 반면에 비첨두시간에는 관광, 여가 등의 통행으로 분포비율이 높다.



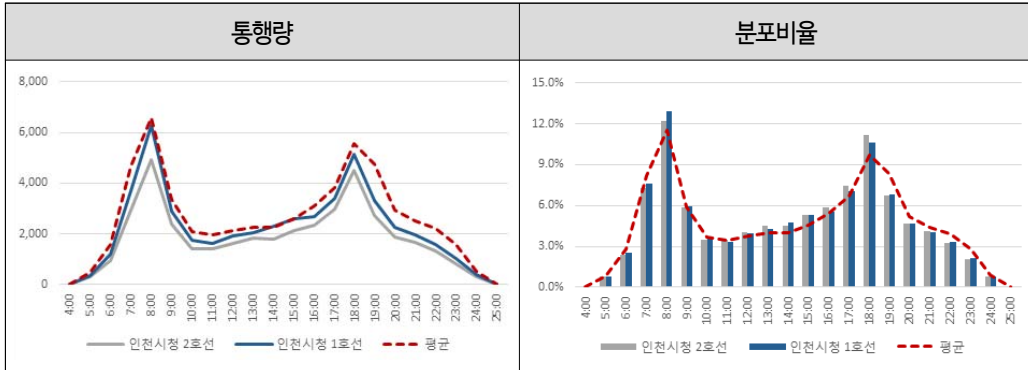
〈그림 4-4〉 인천역 시간대별 통행량 분포(경인선, 수인선)

인천역은 9시~16시에 이용비율이 높은 것으로 분석되었으나, 주안역과 부평역은 비침두 시 통행량 분포가 평균을 웃돈다. 이 지역은 인천시의 중심상권이거나 혹은 환승통행 규모가 매우 크다. 따라서 비침두시에도 쇼핑, 여가, 친교 등 다양한 활동을 수행하는 통행수요가 많은 것으로 추정할 수 있다.



〈그림 4-5〉 주안역·부평역 시간대별 통행량 분포(경인선)

인천시청역은 인천도시철도 1호선과 2호선의 환승역사로 인천↔인천 내부통행비율이 88.1%로 내부거점역사다. 8시~9시에 침두비율은 같은 시간대 평균보다 높은 12.9%, 12.2%로 분석되었고, 이른 오후침두 18시~19시에 집중도가 높다.



〈그림 4-6〉 인천시청역 시간대별 통행량 분포(인천 1·2호선)

역사별 이용패턴 분석결과, 철도서비스 권역에 따라 단거리를 이동하는 통행거점은 8시대와 18시대 첨두 비율이 평균보다 높았다. 반면 중장거리를 이동해야 하는 광역철도 환승역사는 7시대와 19시대가 평균보다 높은 분포를 보였다. 또한, 상권의 이용, 관광, 여가 등 비통근 통행이 잦은 지역은 상대적으로 비첨두비율이 높은 것으로 분석되었다.

〈표 4-4〉 환승역사 시간대별 통행량 및 통행비율

(단위 : trip, %)

시간	검암		계양		주안		인척시청		부평구청		부평		원인재		인척		통행합계
	공행철도 2호선	공행철도 1호선	공행철도 1호선	경인선 2호선	경인선 2호선	경인선 1호선	1호선	2호선	7호선	1호선	경인선	1호선	수인선	1호선	경인선	수인선	
통행량	34,806	50,064	49,459	70,170	45,685	90,947	48,983	39,632	61,641	66,944	97,529	136,966	50,782	44,352	15,786	10,647	914,394
합계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	233
5:00	0.7	1.3	0.4	0.7	0.8	1.1	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.1	0.5	0.4	0.7	0.6	7,641
6:00	3.0	3.6	3.2	3.4	2.4	2.7	2.5	2.4	2.9	3.4	2.4	2.6	2.6	2.5	2.1	2.7	25,649
7:00	9.2	10.4	8.2	9.3	8.0	8.1	7.6	7.3	8.6	10.2	6.9	7.6	7.8	7.5	5.2	6.6	74,736
8:00	12.7	12.1	12.7	12.5	11.9	10.9	12.9	12.2	12.8	12.8	10.3	9.9	11.6	11.4	7.3	10.5	105,390
9:00	5.7	5.5	6.1	6.1	5.8	5.7	6.0	5.9	6.1	5.9	6.0	5.6	5.8	6.0	7.5	8.7	54,005
10:00	3.6	3.4	3.8	3.7	3.8	3.9	3.7	3.5	3.7	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	5.7	3.6	33,827
11:00	3.3	3.1	3.4	3.1	3.5	3.6	3.3	3.5	3.3	3.0	3.4	3.4	3.6	3.8	6.5	3.5	31,439
12:00	3.4	3.2	3.5	3.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.4	3.2	4.0	3.8	4.0	4.1	6.0	4.4	34,315
13:00	3.3	3.1	3.6	3.2	4.1	4.1	4.2	4.5	3.9	3.4	4.2	3.9	4.5	4.6	7.1	4.9	36,334
14:00	3.5	3.1	3.6	3.2	3.8	4.1	4.7	4.5	3.5	3.3	4.1	4.0	4.5	4.6	8.9	9.1	36,812
15:00	3.7	3.3	3.8	3.6	5.0	4.7	5.3	5.3	4.2	3.8	4.4	4.4	5.3	5.6	9.9	8.0	41,710
16:00	5.1	4.8	5.3	5.0	5.8	5.5	5.6	5.8	5.0	4.4	5.7	5.4	6.0	6.2	7.6	6.9	49,640
17:00	6.3	5.8	6.3	6.1	7.7	6.9	7.0	7.4	6.7	6.2	7.0	6.5	7.2	7.1	6.3	6.8	61,070
18:00	9.3	9.2	10.1	9.5	9.8	9.0	10.6	11.2	9.8	9.4	10.3	9.6	10.1	10.2	6.7	8.0	88,952
19:00	9.0	9.1	9.1	9.2	7.6	7.9	6.8	6.7	8.5	8.9	8.9	9.3	7.2	7.1	4.2	5.4	76,050
20:00	5.5	5.5	4.9	5.2	5.0	5.2	4.7	4.7	4.9	5.4	5.4	5.7	4.8	4.8	2.8	3.3	47,008
21:00	4.1	4.2	3.9	4.2	4.2	4.5	4.1	4.1	4.6	4.8	4.7	4.9	4.4	4.3	2.4	3.2	40,279
22:00	4.2	4.5	4.0	4.4	3.5	4.0	3.3	3.3	3.7	3.8	4.1	4.3	3.4	3.4	1.6	1.9	35,403
23:00	3.2	3.3	3.2	3.4	2.4	3.1	2.1	2.0	2.5	2.6	2.8	3.1	2.4	2.3	1.1	1.6	25,346
24:00	1.2	1.5	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.5	0.4	0.3	8,494
25:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63
침투	40.2	40.7	40.1	40.5	37.2	36.0	38.0	37.4	39.9	41.3	36.4	36.5	36.7	36.2	23.4	30.5	37.7
비침투	37.9	35.3	39.2	37.1	43.5	42.4	43.8	44.5	39.7	36.7	42.3	40.7	44.5	45.7	65.5	55.9	41.5
기타	21.9	24.0	20.7	22.4	19.3	21.5	18.2	18.0	20.4	22.1	21.2	22.8	18.9	18.1	11.1	13.6	20.8

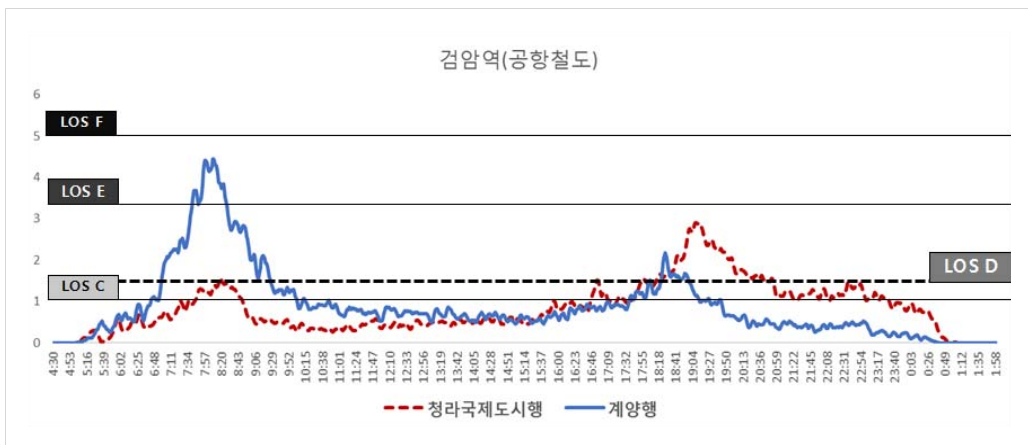
3. 승강장 서비스 수준 분석

1) 광역통행거점 역사

검암역, 계양역, 부평구청역은 간선철도망인 공항철도와 7호선이 지선철도망인 인천도시철도 1·2호선으로 환승이 가능한 곳으로 광역통행 비중이 70% 이상인 광역통행거점이다.

■ 검암역

검암역은 공항철도와 인천2호선 환승이 가능하며, 공항철도 계양행 승강장은 오전첨두가 시작되는 7시 전·후로 통행량이 많아져 설계수준인 LOS D로 분석되었고, 7시 40분부터 8시 30분 사이는 다른 사람과 접촉없이 대기가 불가능한 LOS E로 나타났다.



<그림 4-7> 공항철도 검암역 승강장 서비스 수준

검암역 통행의 73%가 광역통행으로 승강장이 비교적 이른 시간부터 붐비기 시작하며, 오전첨두에는 통행량이 집중되어 혼잡수준이 높다. 그러나 2014년부터 KTX 노선과 승강장을 공유하게 되면서 실용대기면적이 작아져 혼잡은 가속화되었다. 반대 방향인 청라국제도시행 승강장은 오전첨두시에 LOS C 이하로 혼잡없이 승강장 이용이 가능하지만, 오후첨두에 서비스 수준이 LOS D로 높아진다.



〈그림 4-8〉 공항철도 검암역 계양행(오전첨두)

지선 철도인 인천도시철도 2호선 승강장 서비스 수준은 오전 8시를 전후로 LOS D가 분석되었다. 실용대기면적이 공항철도에 비해 넓어 승강장 혼잡은 크지 않으나, 다만 2호선은 2량 1편성으로 용량이 작기 때문에 열차 내부의 혼잡으로 인해 이용자가 불편을 느낄 수 있다.



〈그림 4-9〉 인천2호선 검암역 승강장 서비스 수준

공항철도와 도시철도 2호선의 노선환승은 거리가 멀고, 고가역간 환승이다. 따라서 승강기 앞에 대기혼잡이 발생한다. 그러나 환승거리가 길어 통행량이 분산되기 때문에 환승게이트는 계양역보다 혼잡하지 않다.

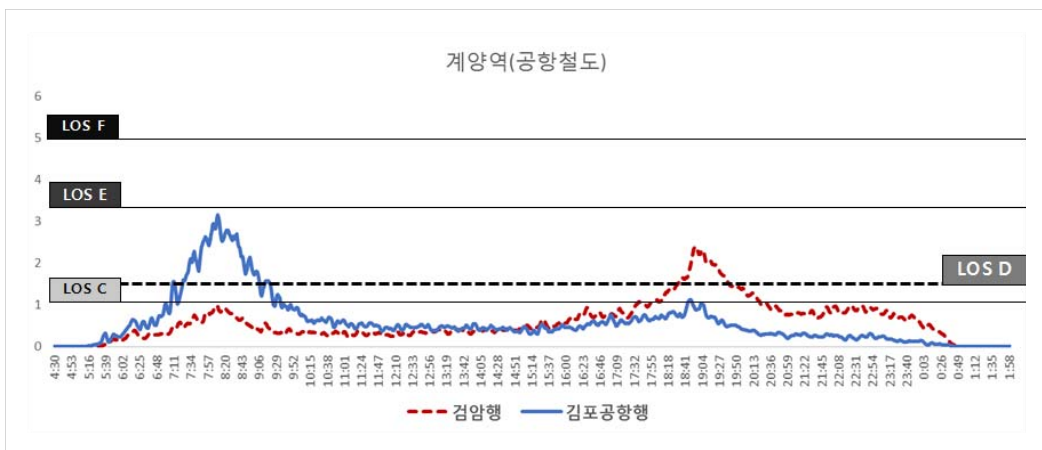
계양역

계양역은 광역통행량이 검암역보다 많고 노선환승이 차지하는 비율도 높지만, 시간대별 이용패턴은 유사하다. 김포공항행 승강장 서비스 수준은 약 7시 20분부터 9시까지 LOS D로 분석되었다. 반대 방향인 검암행 승강장은 오전첨두시에 LOS C 이하로 나타났으며, 오후첨두에는 통행량이 많아져 서비스 수준이 LOS D로 높아진다.

공항철도 계양역은 통행량이 많음에도 불구하고 첨두시에도 승강장 설계서비스 수준을 넘지 않으나, 열차 내부 혼잡도가 높아 <그림 4-10>과 같이 차량에 타지 못하는 대기자들이 있다. 따라서 7시부터 9시까지 4줄서기를 시행하고 있으며, 안전요원들이 대기하며 사고가 발생하지 않도록 관리하고 있다.

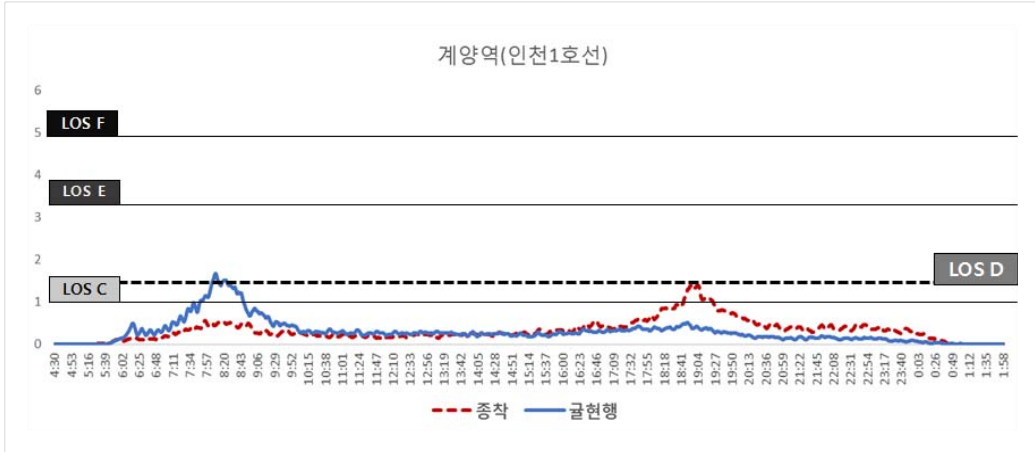


<그림 4-10> 공항철도 계양역(오전첨두)



<그림 4-11> 공항철도 계양역 승강장 서비스 수준

인천도시철도 1호선 굴현행 승강장은 8시 5분~25분 사이에 LOS D로 분석되었다. 계양역은 도시철도 1호선의 시종착역이며, 실용대기면적이 넓어 혼잡은 크지 않다. 그러나 공항철도와 인천도시철도 1호선의 환승거리가 짧아 환승게이트 앞에서 지체와 마찰이 발생한다.



〈그림 4-12〉 인천1호선 계양역 승강장 서비스 수준

계양역 주말통행량은 주중 통행에 비해 17.6% 감소한 것으로 분석되었다. 통행패턴이 유사한 검암역은 19.0% 감소한 것으로 나타나 계양역의 감소폭이 작았으나, 환승역사 주말 통행은 평균 15.0% 감소하는 것과 비교하면 높은 수치다. 인천도시철도 1호선이 계양에서 검단까지 연장되면 검암역과 유사하게 내부노선환승량이 증가하며, 이용 패턴에도 변화가 나타날 것이다.

■ 부평구청역

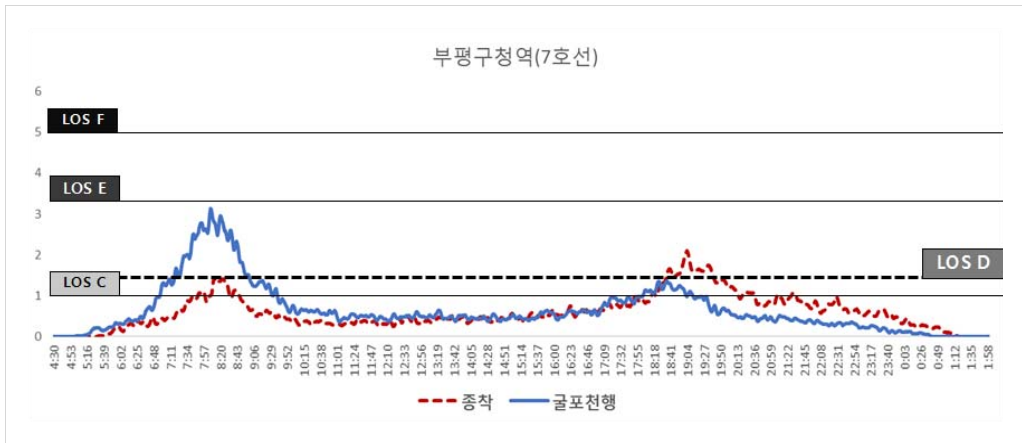
부평구청역은 2012년 7호선 온수-부평구청 구간이 개통된 이후로 광역버스 통행이 철도 수요로 전환되어 총 통행의 74%가 광역통행을 한다. 부평구청역은 7호선과 인천도시철도 1호선 환승가능하며, 7호선의 시종착역이다.

7호선 굴포천행 승강장은 7시 15분부터 9시까지 LOS D로 분석되었다. 7호선은 온수행과 부평구청행 노선이 있어 평일 출근시간대에 평균 5분 배차간격으로 열차가 운행되고 있다.

부평구청역은 시종착 역사지만 통행량이 많다. 버스·철도 환승과 승용차·철도 환승이

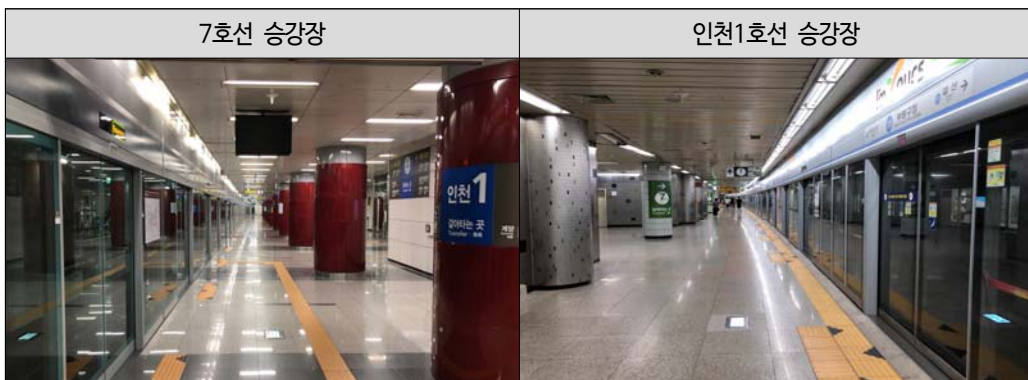
많고, 나아가기 위해 열차에 탑승하지 않는 이용자도 많다. 이 때문에 시종착역에서 입석이 발생하고 일부 시간대에는 출발하기 전에 차량 내부혼잡이 시작된다.

7호선 종착 승강장의 서비스 수준은 첨두시 LOS D가 나타났는데, 7호선에서 인천 1호선으로 환승하는 통행과 장거리 통행자가 착석이동을 위해 역방향에서 회차하는 수요가 영향을 주는 것으로 판단된다.

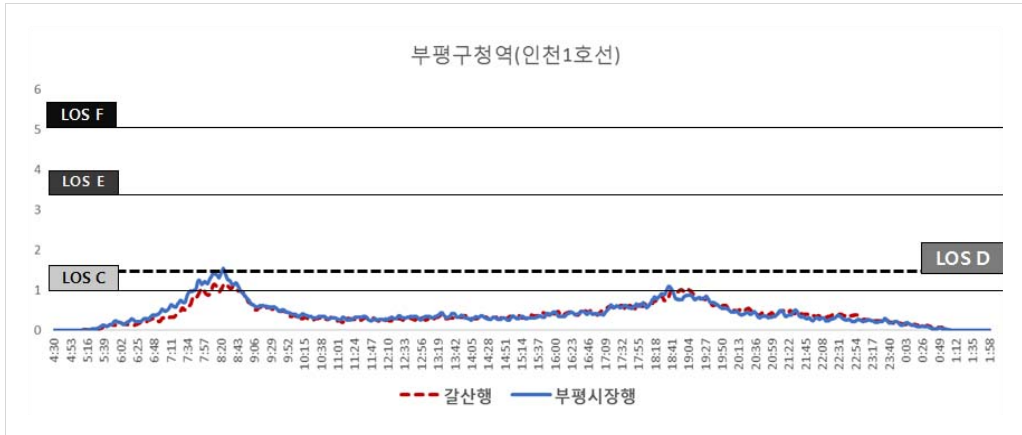


〈그림 4-13〉 7호선 부평구청역 승강장 서비스 수준

지선 철도인 인천도시철도 1호선 승강장 서비스 수준은 부평시장 방향으로 8시 20분대에 LOS D가 분석되었으나, 실용대기면적이 7호선에 비해 넓어 승강장 혼잡은 크지 않은 것으로 나타났다.



〈그림 4-14〉 부평구청역 승강장



〈그림 4-15〉 인천1호선 부평구청역 승강장 서비스 수준

부평구청역은 8개 환승지점 중에 통근·통학통행에 가장 크게 영향을 받는 곳으로 주말 통행량은 주중 통행보다 25% 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 7호선이 2020년에 석남역 까지 개통되면 도시철도 2호선과 환승이 가능해 수단간 환승이 감소하고 노선환승이 증가 하게 될 것으로 판단된다.

2) 내부통행거점 역사

인천내부통행 비율이 높은 역사는 인천시청역, 원인재역, 인천역이 있다. 인천시청역은 인천도시철도 1호선과 2호선 환승이 가능하며, 원인재역은 수인선과 인천도시철도 1호선 이 연계된다. 인천역은 간선철도인 경인선과 수인선의 시종착역이다.

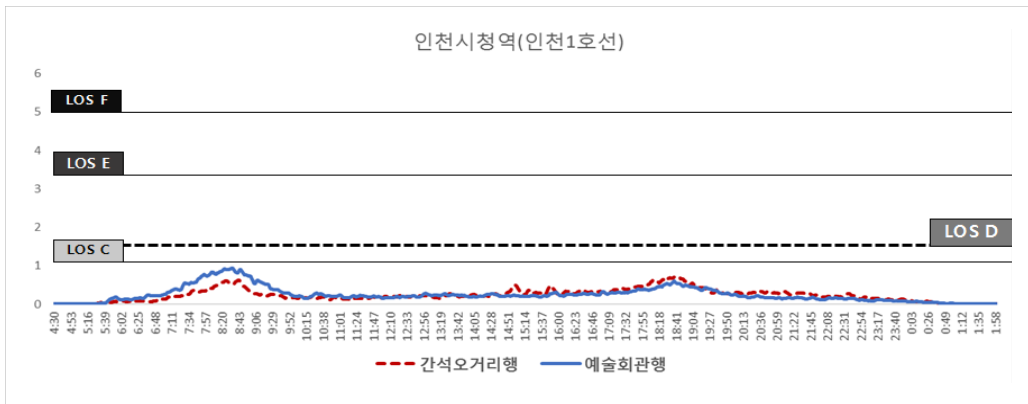
■ 인천시청역

인천시청역은 인천 내부통행이 총 통행의 88.1%이며, 인천도시철도 1호선과 2호선간 노선환승은 33,833통행, 62%로 높은 비율이다.

인천도시철도 1호선 예술회관행 승강장 서비스 수준은 전일 LOS C 이하로 분석되었다. 그러나 환승통로 위치에 따라 이용자 선호도가 달라지므로 부분적인 혼잡은 있다. 예술회관 방향 승강장은 앞부분에 인천도시철도 2호선 환승통로가 있어 〈그림 4-16〉과 같이 차량의 선두는 혼잡하나 후미 부분은 여유롭다. 또한, 인천도시철도 1호선 역사가 깊고 광장 등이 넓어 역사 내 에스컬레이터 등 이동편의시설을 이용하고자 하는 대기열이 발생한다.

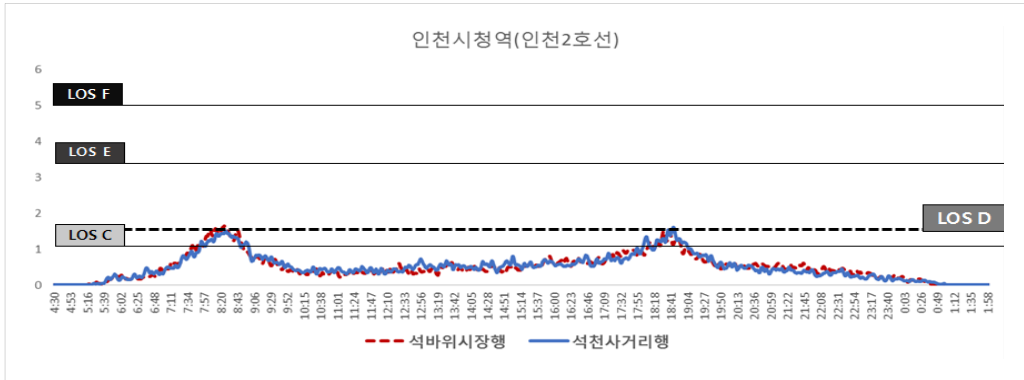


〈그림 4-16〉 인천1호선 인천시청역(오전첨두)



〈그림 4-17〉 인천1호선 인천시청역 승강장 서비스 수준

인천도시철도 2호선은 양방향 승강장 이용패턴이 유사하고, 8시 5분에서 8시 40분까지 LOS C~D로 양호하다. 그러나 2호선은 경량전철로 용량이 크지 않아 이용자가 조금만 증가를 해도 열차 내부혼잡도에 영향을 준다. 따라서 첨두시에는 2호선 열차 내 혼잡으로 인해 차량을 이용하지 못하는 때도 있다.

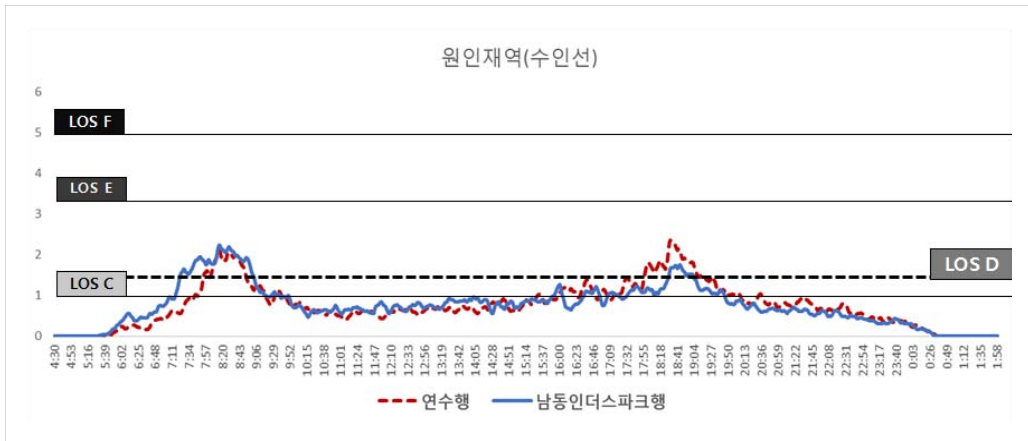


〈그림 4-18〉 인천2호선 인천시청역 승강장 서비스 수준

■ 원인재역

원인재역은 수인선과 인천1호선이 환승가능하며, 총 통행의 63%가 인천·인천 내부통행을 한다. 원인재역은 첨두분포보다 비첨두비율이 높은 특징이 있으며, 노선환승비율은 67%로 8개 환승지점 중에 가장 높다.

수인선 승강장은 남동인더스파크행이 7시 20분부터 9시까지, 연수행은 이보다는 늦은 7시 50분부터 약 1시간가량 LOS D로 분석되었다. 비첨두에도 LOS B~C로 양호하다.



〈그림 4-19〉 수인선 원인재역 승강장 서비스 수준

승강장 형태는 상대식으로 운영되고 있으며, 실용대기공간면적은 인천도시철도 1호선과 비교해 좁다. 수인선 승강장은 폭원에 비해 시설물점유면적이 상대적으로 넓고, 열차의 배차간격도 평일 오전첨두에 평균 8.5분으로 길다. 즉, 실용대기면적이 타 역사와 비교해

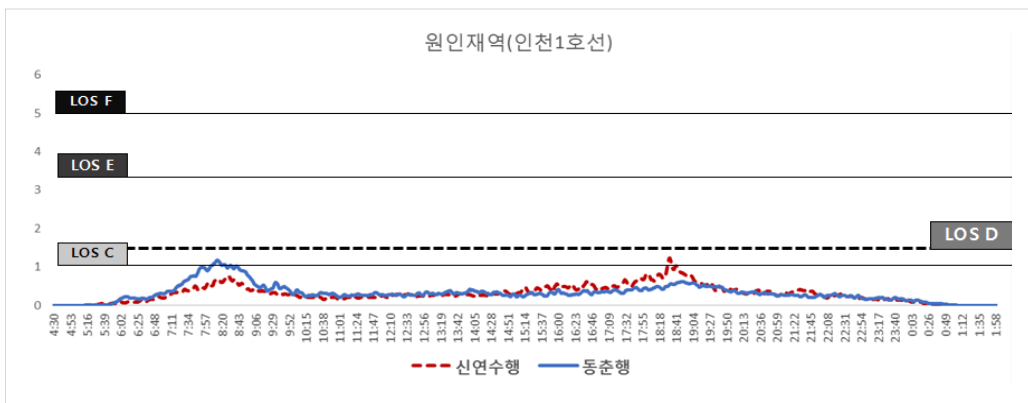
좁고 대기시간이 길어 불편이 있었으나, 최근에는 모바일의 실시간 대중교통 배차정보를 따라 이동함으로 차량 배차시간 전·후에 승강장 유동인구가 집중하는 것으로 나타났다.



<그림 4-20> 원인재역 승강장

수인선과 인천도시철도 1호선의 내부환승 여건은 지상 2층에서 지하 2층으로 4개 층을 이동하기 때문에 경사도가 높고, 환승거리도 길다. 이 때문에 내부 환승통행이 물리는 오전 첨두시간에는 에스컬레이터를 이용하기 위해 대기하는 이용객이 몰려 혼잡하다.

인천도시철도 1호선 승강장 서비스 수준은 첨두시에도 LOS C 이하로 분석되었으며, 실용대기면적이 넓어 이용에 불편함이 없다.

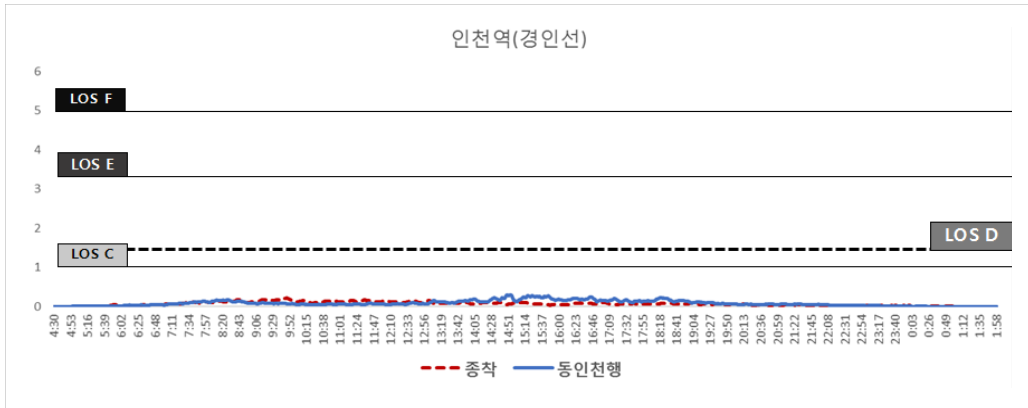


<그림 4-21> 인천1호선 원인재역 승강장 서비스 수준

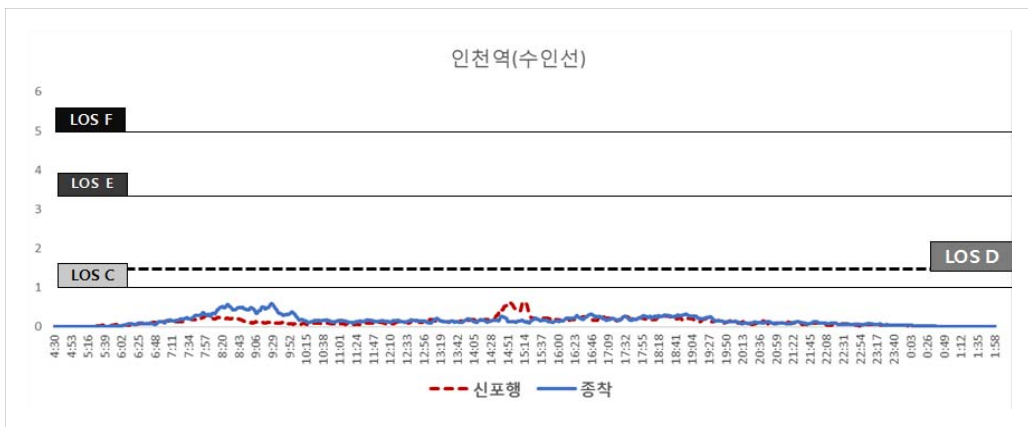
■ 인천역

인천역은 간선철도인 경인선과 수인선 이용이 가능하고, 총 통행의 62%가 인천·인천 내부통행을 한다. 평일 첨두통행을 유발하는 주거, 상업, 업무 시설물이 없고, 중구 일대의 차이나타운, 자유공원, 월미도, 인천항 등 관광목적의 통행으로 인한 비첨두 통행이 발생한다.

경인선과 수인선 인천역은 실용대기면적은 넓고, 통행량이 적어 평일 승강장 서비스 수준이 좋다. 주말에도 통행량에는 큰 변화가 없어 혼잡은 크지 않다.



〈그림 4-22〉 경인선 인천역 승강장 서비스 수준



〈그림 4-23〉 수인선 인천역 승강장 서비스 수준

승강장 형태는 경인선은 두단식 승강장으로 1상대식 1섬식이며, 실용대기면적이 16개 역사 중 가장 넓다. 수인선은 섬식 승강장으로 10량으로 설계되어 승강장 길이가 200m가 넘는다.



〈그림 4-24〉 인천역 승강장

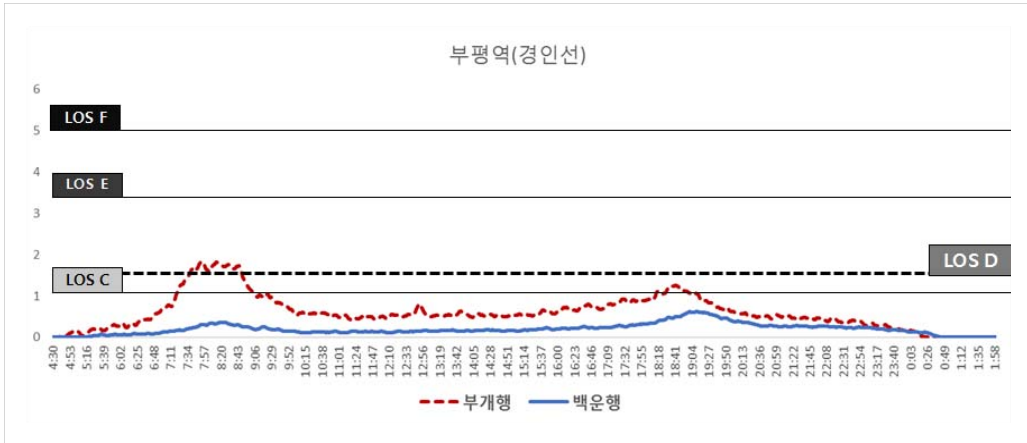
인천역은 노선환승 비율은 총 통행의 16%에 불과해 환승기능이 활발하지 않다. 그러나 장래 인천개항창조도시 사업의 일부로 역세권 개발이 계획되어 있어 역사이용에 변화가 있을 것으로 예상된다.

3) 통행량 상위역사

부평역과 주안역은 인천시에서 통행량이 1, 2위인 환승역사다. 간선 철도망인 경인선과 지선 철도망인 인천도시철도 1호선과 2호선 환승이 가능하다. 이 역사들은 오전첨두 이용 비율이 16개 역사 평균보다는 낮고, 비첨두시에 분포비율이 높은 곳이다.

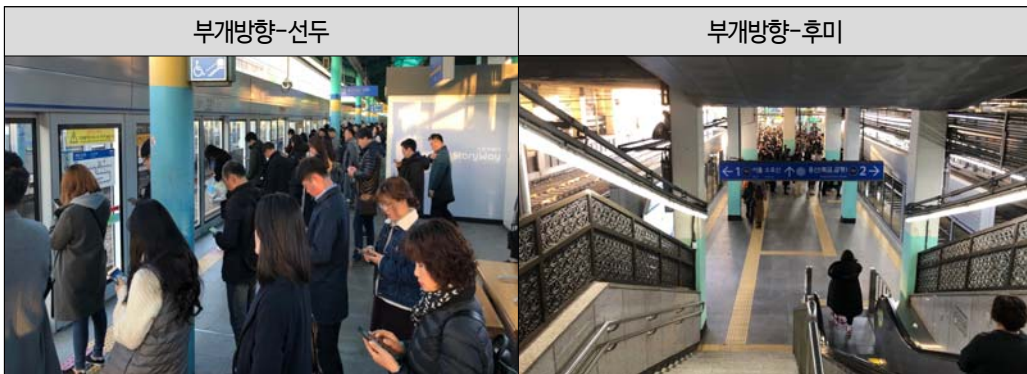
■ 부평역

부평역은 경인선과 인천도시철도 1호선이 연계되어 있으며, 총 통행의 61.6%가 인천에서 서울, 경기 광역통행을 한다. 부평역은 첨두통행비율보다 비첨두분포비율이 높는데, 광역방향인 부개행 승강장이 7시 30분부터 8시 50분까지 LOS D 수준을 보인다. 동일한 시간대에 백운역 승강장은 혼잡하지 않은 것으로 나타났다.



〈그림 4-25〉 경인선 부평역 승강장 서비스 수준

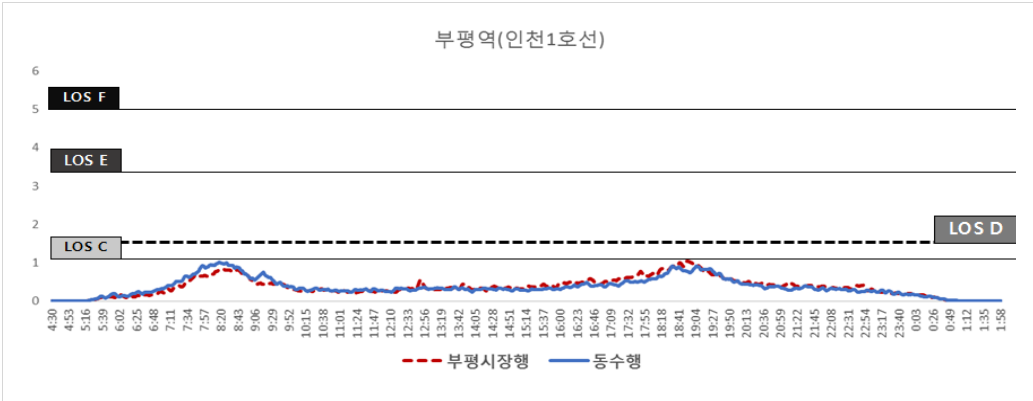
일일 통행량이 15만 이상인 부평역은 통행량에 비해 승강장 서비스 수준이 좋은 것으로 분석되었다. 이는 통행이 몰리는 첨두시에 특급, 급행, 완행열차가 시간당 22대가 운영되고 있어 배차간격이 짧고, 섬식 승강장에 실용대기공간면적이 넓기 때문이다. 〈그림 4-26〉은 오전첨두시 부평역 부개방향승강장에서 통행자들이 2줄서기로 대기하고 있는 모습이며, 열차 후미는 대기공간에 여유가 있다.



〈그림 4-26〉 경인선 부평역(오전첨두)

내부환승 여건은 인천도시철도 1호선이 대심도 역사로 수직이동거리가 길지만, 동선은 용이하다. 그러나 외부출입구는 버스·철도 환승거리가 길고, 불편해 접근성은 좋지 못하다.

지선 철도인 인천도시철도 1호선 승강장 서비스 수준은 첨두시에 최대 LOS C로 나타났으며, 실용대기면적이 넓어 승강장을 혼잡없이 이용할 수 있다.

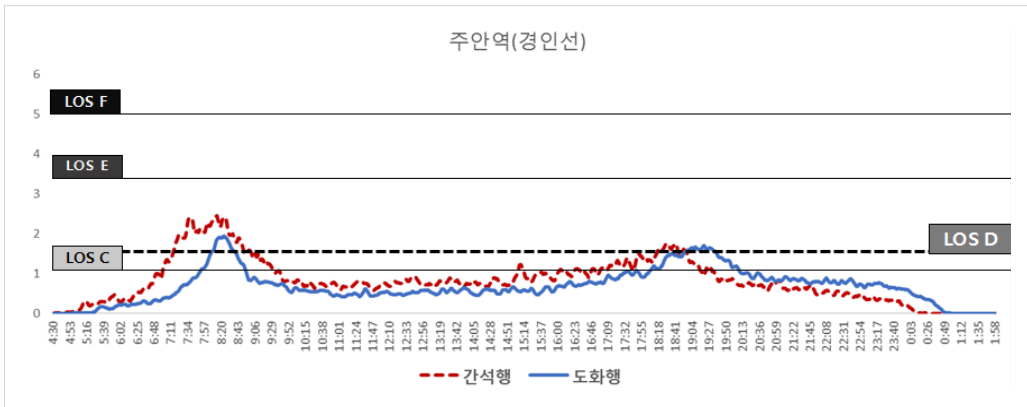


<그림 4-27> 인천1호선 부평역 승강장 서비스 수준

■ 주안역

주안역은 경인선과 인천도시철도 2호선이 환승가능하고, 총 통행의 48.0%가 인천내부통행을 한다. 경인선은 광역간선철도지만 인천시 동, 서를 연결하는 중심축으로 내부 이동에도 주요한 역할을 한다. 부평역과 마찬가지로 통행량이 많고, 비침투 발생비율이 높아 승강장은 타 역사에 비해 분주하게 느껴진다.

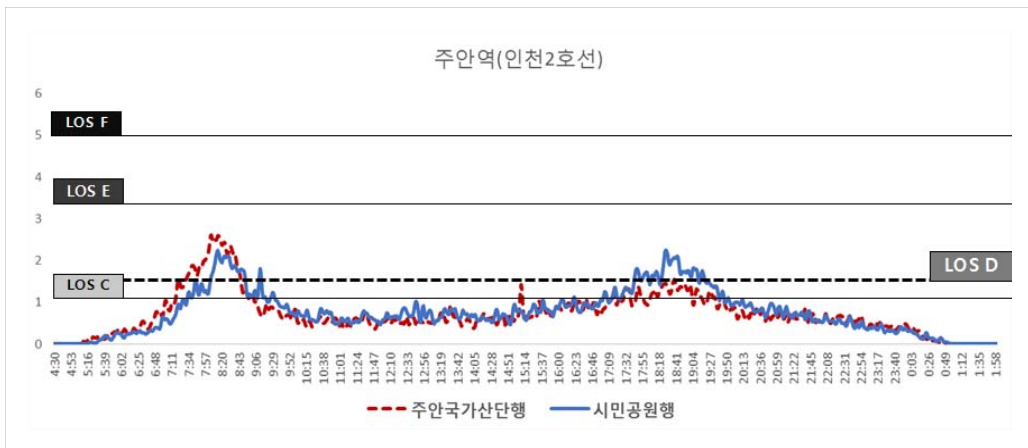
경인선 간석행 승강장 서비스 수준은 7시 15분부터 2시간 동안 LOS D로 분석되었다. 반대 방향인 도화행 승강장은 8시대와 18시대에 서비스 수준이 LOS D로 나타났다.



<그림 4-28> 경인선 주안역 승강장 서비스 수준

지선 철도인 인천도시철도 2호선 승강장 서비스 수준은 주안국가산단과 시민공원 양방향 모두 오전, 오후첨두에 LOS D가 분석되었다.

인천지하철 2호선에서는 열차 내에 혼잡으로 인해 승강장의 대기인원이 모두 탑승하지 못하는 경우가 발생한다. 특히 주안에서 인천시청역까지 차량의 혼잡도가 높는데, 도시철도 2호선의 개통으로 통행행태가 변화했기 때문이다. 과거 보행이용자가 도시철도 운영 이후에 철도로 수단전환이 되었거나, 철도로 석바위 상권을 이용하게 되어 해당 구간의 통행량은 첨두와 비첨두 모두 높다.



〈그림 4-29〉 인천2호선 주안역 승강장 서비스 수준

환승역 31개 승강장별 서비스 수준 분석결과는 통행량과 실용대기면적에 따라 LOS A~E 까지 다양하게 나타났다. 중장거리 통행이 많은 광역거점역사는 이른 시간부터 통행량이 증가하고, 내부통행거점역사는 중단거리 통행이 주를 이루기 때문에 8시부터 혼잡도가 높아진다. 다만 승강장 혼잡도가 양호하더라도 열차 내부의 혼잡정도에 따라 대기자가 열차에 탑승하지 못해 이용자가 느끼는 혼잡은 매우 클 수 있다.

환승역사의 승강장 혼잡은 반복적으로 발생하는 도시문제 중에 하나로 대중교통 파업, 폭우나 폭설, 화재와 같은 예기치 못한 일이 발생하면 승강장 혼잡이 심각한 문제를 유발할 수 있다. 따라서 혼잡한 승강장에서 이용자의 대피시간이 얼마나 소요되는가는 중요한 문제가 된다.

제2절 대피시간 분석

1. 분석 시나리오

역사의 혼잡은 자연재해뿐만이 아니라 광역버스와 택시, 철도 파업, 열차 고장, 선로작업 사고, 시설무단 침입 등으로 인한 안전사고에 빈번하게 노출되어 있다. 이러한 도심형 재난이 평상시 혼잡도가 높은 출퇴근 시간에 미치는 영향은 치명적이다. 뿐만이 아니라 평상시에도 혼잡한 환승역 승강장에 화재가 발생하게 되면 대형사고가 발생하게 될 것이다.



〈그림 4-32〉 부평역 선로 크레인 사고

자료 : 연합뉴스, 2015.09.16

철도역사의 문제 발생에 대한 최선의 대비는 혼잡시간과 혼잡지점을 파악하고, 역사의 기하구조를 정확히 인지하는 것이다. 철도역사는 「철도안전법 제7조」에 따라 매년 비상대응훈련을 시행하며, 화재, 정전, 역사침수, 테러 등에 대비하여 시나리오를 설정하여 각 단계에 따라 대응시스템을 가동하게 된다.

인천교통공사도 재난에 대비하여 대심도 역사 5곳(경인교대, 부평, 부평삼거리, 간석오거리, 동수)과 환승역사 5곳(계양, 부평구청, 부평, 인천시청, 원인재)에 대해 소방훈련과 테러대비 합동훈련 및 정전과 침수대비 훈련을 시행하고 있다. 정기적인 훈련은 재난이

발생한 이후에 효과가 있으나, 재난 발생 이전에는 역사별로 혼잡한 시간대에 재난이 발생하면 어떤 문제가 발생하게 되는지에 대한 정량적인 판단이 필요하다. 이를 통해 도시철도 역사의 현황과 실태를 정확하게 판단할 수 있기 때문이다.

「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에는 정거장 내 시설 중 피난시설에 대한 설계기준이 있으며, 승강장 내 열차 화재 및 승강장 화재에 대비가 필요하다고 기술되어 있다. 화재 등으로 인한 대피가 필요한 경우 승강장에 2개 이상의 독립적인 탈출경로가 필요하고, 에스컬레이터 1개소를 고장으로 사용하지 못하는 경우로 가정하여 대피시간을 측정한다.

대피인원은 첨두 1시간 대기인원의 30%를 첨두 15분 대기인원으로 하여 분당인원을 산정하게 되어 있으나, 이는 지침 설계 당시에 첨두시 1분의 통행량을 산정하는데 한계가 있었기 때문이다. 최근에는 대중교통 카드자료를 이용하여 데이터에 기반한 분석이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 각 승강장의 첨두시 1분 단위의 통행량을 산출한 후, 각 노선별로 평균 배차시간까지 승강장의 대기인원을 누적하여 모든 승객이 4분 이내에 승강장에서 벗어날 수 있는지 분석한다.

분석 시나리오는 총 2가지로 승강장 내에 화재가 발생한 경우(Case1)와 승강장에 대기 중인 차량 내부에서 화재가 발생한 경우(Case2)이다. 대피하는 승객유형은 일반인과 교통약자로 유형을 구분하였다.

두 시나리오 모두 엘리베이터와 선로, 에스컬레이터 1기는 사용하지 않는 것으로 가정하고, 대피 인원은 노선별 평균배차간격을 기준으로 한다. 다만, 본 연구에서는 승강장에 화재가 발생한 경우(Case1)는 열차가 들어오지 않은 상황을 가정하였고, 승강장에 진입한 열차의 내부에서 화재가 발생(Case2)하면 피크시 승강장 대기인원에 열차를 만차로 가정하여 대피하는 것을 가정한다.

〈표 4-5〉 승강장 대피 시나리오

시나리오		승객유형	화재 위치	대피 인원	대피시설	
					이용가능	이용불가능
Case1	A	일반인 100%	승강장 내부	피크시 승차대기인원	- 계단 - E/S	- E/V - 선로 - E/S 1기
	B	교통약자 50%				
Case2	A	일반인 100%	승강장에 진입한 열차 내부	피크시 승차대기인원 + 만차인원		
	B	교통약자 50%				

2. 대피시설물 현황 및 대피인원 산정

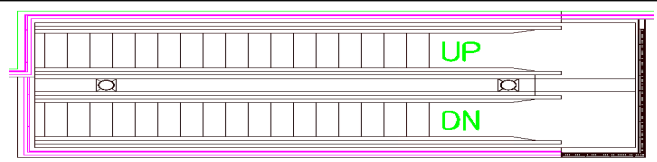

1) 대피시설물 현황

대피시간을 분석하기 위해서는 16개 환승역사에 대해 승강장별로 탈출이 가능한 대피시설과 계단 폭, 에스컬레이터 등의 역사별 대피시설물 현황이 필요하다. 현장조사와 도면자료를 통해 대피가능시설, 대피불가능시설을 선정하였다.

본 연구에서는 승강장의 계단과 에스컬레이터 외에 열차 선로와 엘리베이터를 이용한 대피는 배제하였다. 엘리베이터는 화재발생시에 불이 번지는 통로와 굴뚝이 될 수 있으며, 필요시에 응급환자 이송을 위한 구급대가 우선 사용하게 되어 있기 때문이다. 또한, 선로 대피는 역무원 또는 소방관의 지시가 없으면 위험성이 높아 차선 대피경로가 되기 때문에 본 연구에서는 대피시설물로 고려하지 않았다.

에스컬레이터는 상행 또는 하행을 각각 1개로 계수한다. 상행, 하행이 한 지점에 나란히 있어도 2기가 된다.

〈표 4-6〉 대피시설물 개수 측정 예시

	E/S 2열 = E/S 2기
	E/S 1열, 계단 1열 = E/S 1기, 계단 1개

계단은 인천지하철 1호선 부평역의 계단이 너비가 가장 넓은 평균 5.1m이고, 가장 좁은 곳은 인천지하철 1호선 부평구청역의 1.6m이다. 부평구청역의 경우 계단과 상·하행 에스컬레이터가 한 공간에 있어 계단이 좁은 형태이다. 검암역의 경우 2곳에 에스컬레이터가 설치되어 있으나 계단이 없어 대피 가능한 너비가 4m에 불과하다. 에스컬레이터는 평균너비는 1.0m이며 경인선 부평역, 인천1호선 원인재역을 제외한 대부분의 역사에 플랫폼당 2개 이상이 설치되어 있다. 인천역의 경우 지상역으로 계단과 에스컬레이터가 별도로 설치되어 있지 않다.

〈표 4-7〉 환승역사별 대피시설물 현황

역사명	노 선	계단		에스컬레이터	
		개수	평균너비(m)	개수	평균너비(m)
검 암	공항철도	-	-	4	1.0
	인천2호선	1	2.6	2	1.0
계 양	공항철도	1	3.4	4	1.0
	인천1호선	2	1.8	2	1.0
주 안	경인선	3	3.3	3	1.0
	인천2호선	1	2.7	2	1.1
인천시청	인천1호선	2	3.2	3	1.2
	인천2호선	1	3.8	2	1.0
부평구청	7호선	3	3.3	3	1.0
	인천1호선	2	1.6	4	0.9
부 평	경인선	5	4.2	1	0.9
	인천1호선	3	5.1	4	1.6
원인재	수인선	1	4.0	2	1.0
	인천1호선	2	4.0	-	-
인 천	경인선	지상역			
	수인선	2	2.9	2	1.2

2) 대피 가능시설 및 대피 불가능시설 선정

- 본 연구에서는 대피시간에 대한 분석을 위해 대피가능 및 불가능 시설을 선정하였으며, 현장조사 및 설계도면 검토를 통해 용량이 가장 큰 시설을 대피불가능 시설로 선정하였다.

〈표 4-8〉 대피가능통로 너비

(단위 : m)

역사명	노 선	대피시설 전체너비	대피가능 통로너비	역사명	노 선	대피시설 전체너비	대피가능 통로너비
검 암	공항철도	4.0	3.0	부평구청	7호선	12.9	11.9
	인천2호선	4.6	3.6		인천1호선	6.8	5.8
계 양	공항철도	7.4	6.4	부 평	경인선	21.9	20.9
	인천1호선	5.6	4.6		인천1호선	21.7	20.7
주 안	경인선	12.9	11.9	원인재	수인선	6.0	5.0
	인천2호선	4.9	3.9		인천1호선	8.0	8.0
인천시청	인천1호선	9.9	8.9	인 천	경인선	4.0	4.0
	인천2호선	5.9	4.9		수인선	8.2	7.2

주1 : 대피시설 전체너비 = (계단수 x 평균너비) + (E/S수 x 평균너비)

2 : 경인선 인천역의 경우 출구 너비로 계산

3 : E/S 1기를 사용하지 못할 경우로 계산(E/S 평균폭 1m 적용)

3) 대피인원 산정

대피인원은 정거장 내 열차 화재가 발생했을 때 한 대의 열차가 연착될 경우의 추가 승객 수까지 고려해야 한다. 그러나 본 연구에서는 오전 침두시를 기준으로 하므로 과대추정될 가능성을 염두에 두어 피크시의 승강장 대기인원과 화재가 발생한 열차 내에 최대인원이 있다고 가정하여 대피인원을 산정하였다.

승강장 대기인원 계산은 침두시 노선별 열차의 평균 배차간격을 최소단위로 하였으며, 열차 내 최대인원은 열차 1량당 만차 인원으로 가정하였다.

승강장 화재시 대피인원 = 피크시 승강장 승차대기인원

승강장 내 열차 화재시 대피인원 = 피크시 승강장 승차대기인원 + 열차수용인원

〈표 4-9〉 환승역사별 대피인원 산정

역사명	노 선	승차대기인원	최대인원(명/량)	편성(량)	대피인원
검 암	공항철도	583	160	6	1,543
	인천2호선	114	104	4	530
계 양	공항철도	839	160	6	1,799
	인천1호선	523	124	6	1,267
주 안	경인선	762	160	10	2,362
	인천2호선	137	104	4	553
인천시청	인천1호선	309	124	6	1,053
	인천2호선	137	104	4	553
부평구청	7호선	657	160	6	1,617
	인천1호선	295	124	6	1,039
부 평	경인선	1,047	160	10	2,647
	인천1호선	288	124	6	1,032
원인재	수인선	315	160	6	1,275
	인천1호선	378	124	6	1,122
인 천	경인선	267	160	10	1,867
	수인선	228	160	6	1,188

주1 : 승차대기인원 단위 : 명/평균배차간격(분)

2 : 대피인원 단위 : 명/평균배차간격(분)

3. 승강장 대피시간 분석

승강장 대피시간은 돌발상황이 발생했을 때 승강장과 정차된 열차 내부 승객들이 안전하게 승강장에서 벗어나는 시간을 나타낸다. 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에 따르면 화재 등 비상사태가 발생했을 때 모든 승객이 4분 이내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독 가스로부터 안전한 외부 출입구를 벗어날 수 있어야 한다고 기술하고 있다.

본 연구에서는 비상사태가 발생했을 때 일차적으로 사고위험이 큰 승강장을 벗어나는데 걸리는 시간을 분석하였으며, 침두시 승객수와 대피시설의 너비 등은 다음과 같다.

$$\text{대피시간} = \text{시나리오별 대피인원} / \text{대피가능 통로 너비} \times \text{통행소요시간(1m)}$$

$$\text{대피가능 시설 너비} = \text{승강장 대피시설물 전체 너비} - \text{작동 불능 E/S 1개 너비}$$

본 연구에서는 계단이나 에스컬레이터를 이용해 승강장에서 대피하는 시간을 분석하기 위해 수평이동요소 및 수직이동요소 이용에 따른 승객 대피속도인 60m/분, 15m/분을 적용한다. 또한, 고령화 추세에 따라 교통약자가 대피행렬에 포함되어 있을 경우를 가정하여 대피시간을 분석하였다. 고령자의 피난안전설계를 위한 군집보행속도에 관한 연구¹²⁾에 따르면 군집보행시 일반인과 고령자의 비율이 50%인 경우 군집보행속도가 약 20% 감소하는 것으로 나타났다. 이를 통해 교통약자의 수평이동 대피속도와 수직이동 대피속도는 일반인의 대피속도의 80%로 가정하여 분석하였다.¹³⁾

「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에 따르면 작동 중인 에스컬레이터를 이용하여 대피할 때 대피속도로 기술되어 있지만, 현재 운영되고 있는 대부분의 에스컬레이터는 화재가 발생하여 화재감지가 되거나 방화셔터가 작동되면 안전을 위해 에스컬레이터가 자동적으로 정지되기 때문에 본 연구에서는 화재발생시 작동중인 에스컬레이터는 없다고 가정하였다.

대피자가 점유하는 공간모듈은 계단 서비스 수준 D인 1.0m²/s를 적용하였고, 이는 보행속도가 제약이 있고 대항시 큰 혼란을 줄 수 있는 보행상태이다.

〈표 4-10〉 대피요소별 승객 이동속도

대피요소	대피속도
수평이동요소(승강장,대합실,통로)	60m/분
수직이동요소(계단, 정지된 에스컬레이터)	15m/분
작동중인 에스컬레이터	36m/분

자료 : 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」

12) 홍해리 외(2011), 한국화재소방학회 논문지, 제25권 제1호

13) Fruin(1987)의 기준에 따르면 성별, 연령대(30대 미만, 30세~50세, 50세 이상)별로 계단 이용의 속도로 구분하고 있으며, 실제로 대피속도에 영향을 주는 요인은 통행자의 행태적인 특성과 경험, 그리고 재난의 유형 등에 따라서 크게 달라질 수 있다.

인천역은 지상역으로 화재발생시 대피를 위한 수직이동 승강시설이 필요하지 않다. 따라서 수평이동에 따른 대피속도를 적용하였으며, <그림 4-33>과 같이 승강장과 개찰구 사이에 폭 2m의 출입구 2개소가 설치되어 있어 대피가능 폭을 4m로 제한하였다.



<그림 4-33> 경인선 인천역 출입구

승강장 내부에서 화재가 발생했을 경우를 가정한 Case1의 경우 공항철도 검암역, 공항철도 계양역, 인천도시철도 1호선의 일반인 대피시간이 모두 4분을 초과하는 것으로 분석되었다.

공항철도 검암역은 대피 시 이용할 수 있는 승강시설은 에스컬레이터 4기가 있고 첨두시 승차대기인원이 583명/평균배차시간(분)으로 많다. 따라서 승객이 동시에 승강장을 벗어나기에 어려움이 있는 것으로 분석되었다.

공항철도 계양역은 대피 시 이용할 수 있는 승강시설은 적정하나 피크시 승차대기인원이 많아 대피시간이 길어진다. 인천도시철도 1호선 계양역은 상행 에스컬레이터 1기와 폭 1.8m 계단이 나란히 설치되어 있어 대피 폭이 좁아 신속한 대피가 어려운 것으로 판단된다.

경인선 주안역, 경인선 부평역, 원인재역, 부평구청역은 대피행렬에 교통약자가 혼재되어 이동할 경우 4분 이내에 승강장에서 벗어나지는 못하는 것으로 분석되었다.

역사로 진입한 열차 내에서 화재가 발생했을 경우를 가정한 Case2의 경우 인천도시철도 1호선 부평역을 제외한 모든 역사에서 6분 안에 승강장을 벗어날 수 없는 것으로 분석되었다.

특히 공항철도 검암역은 일반인 기준으로 피크시 승차대기인원과 열차 내부의 재차인원이 일시에 대피할 경우, 모든 인원이 승강장을 벗어나는데 30분 이상 소요되는 것으로 분석되었다. 운영되고 있는 차량은 중량전철(HRT)로 용량이 크기 때문에 대피시간이 더욱 길어지는 것으로 판단된다.

〈표 4-11〉 승강장 대피시간 분석

(단위 : 분, 공간모듈 1㎡/인)

역사명	노 선	승강장 화재시 대피시간(Case1)		열차내 화재시 대피시간(Case2)	
		일반	교통약자	일반	교통약자
검 암	공항철도	13.0	16.2	34.3	42.9
	인천2호선	2.1	2.6	9.8	12.3
계 양	공항철도	8.7	10.9	18.7	23.4
	인천1호선	7.6	9.5	18.4	23.0
주 안	경인선	4.3	5.3	13.2	16.5
	인천2호선	2.3	2.9	9.5	11.8
인천시청	인천1호선	1.9	2.3	7.5	9.4
	인천2호선	2.3	2.9	7.9	9.9
부평구청	7호선	3.7	4.6	9.1	11.3
	인천1호선	3.4	4.2	11.9	14.9
부 평	경인선	3.3	4.2	8.4	10.6
	인천1호선	0.9	1.2	3.3	4.2
원인재	수인선	4.2	5.3	17.0	21.3
	인천1호선	3.6	4.5	10.7	13.4
인 천	경인선	1.1	1.3	7.8	9.3
	수인선	2.1	2.6	11.0	13.8

주 : 본 분석은 대피시 선로이용이 불가한 것으로 가정하였으며, 선로이용 시에는 대피시간이 감소할 수 있음.

〈표 4-12〉 환승역사 통행패턴 및 서비스 수준 분석

(단위 : %, m, 량, 분)

구분	역시명	노 선	시간분포		O/D		노선환승 비율	주말/주중 비율	실용대기 면적	차량수	서비스 수준		대피시간(Case1)		대피시간(Case2)	
			침투	비침투	광역	내부					피크시점	LOS	일반	약자고려	일반	약자고려
1	검 암	공항철도	40.7	35.3	72.9	25.7	53.6	81.0	207	6	8:09	E	13.0	16.2	34.3	42.9
		인천2호선	40.2	37.9					152	2	8:10	D	2.1	2.6	9.8	12.3
2	계 양	공항철도	40.5	37.1	77.4	15.2	57.4	82.4	369	6	8:10	D	8.7	10.9	18.7	23.4
		인천1호선	40.1	39.2					405	6	8:09	D	7.6	9.5	18.4	23.0
3	주 안	경인선	36.0	42.4	51.4	48.0	29.5	84.3	448	10	8:14	D	4.3	5.3	13.2	16.5
		인천2호선	37.2	43.5					140	2	18:27	D	2.3	2.9	9.5	11.8
4	인천시청	인천1호선	38.0	43.8	11.6	88.1	61.9	80.4	553	6	8:34	B	1.9	2.3	7.5	9.4
		인천2호선	37.4	44.5					162	2	8:24	D	2.3	2.9	7.9	9.9
5	부평구청	7호선	42.2	37.5	74.1	24.0	50.6	75.0	293	8	8:06	D	3.7	4.6	9.1	11.3
		인천1호선	38.7	38.6					537	6	8:23	D	3.4	4.2	11.9	14.9
6	부 평	경인선	36.5	40.7	61.6	37.4	39.1	95.4	702	10	8:13	D	3.3	4.2	8.4	10.6
		인천1호선	36.4	42.3					754	6	18:53	C	0.9	1.2	3.3	4.2
7	원인재	수인선	36.2	45.7	34.8	63.1	67.2	84.1	449	6	18:32	D	4.2	5.3	17.0	21.3
		인천1호선	36.7	44.5					240	6	18:32	C	3.6	4.5	10.7	13.4
8	인 천	경인선	25.3	63.2	36.7	62.3	15.6	89.3	932	10	14:49	A	1.1	1.3	7.8	9.3
		수인선	31.6	54.9					441	6	15:13	A	2.1	2.6	11.0	13.8

주 : Case1은 승강장 내부에서 화재가 발생한 경우이며, Case2는 승강장에 진입한 열차 내부에서 화재가 발생한 경우를 가정

제3절 소결

승강장은 대기, 통과, 환승, 승·하차와 같은 다양한 보행류가 혼재되어 있다. 승강장은 열차가 발착할 때 가장 혼잡한 특징을 보이며, 출·퇴근 시간에는 일부 승강장이 포화상태로 최대용량에 도달해 안전에 심각한 문제를 가져오기도 한다. 따라서 역사별 승강장의 서비스 수준을 파악하고, 위험요소에 대비할 필요가 있다. 이를 위해 제4장에서는 개별 승강장에 대해 시간대별 통행량을 분석하고, 이용패턴과 승강장 혼잡 특성을 분석한 후에 화재발생시에 소요되는 대피시간에 대해 분석하였다.

분석결과, 역사별로 승강장에 따라 특성이 파악되었는데 공항철도 검암역과 계양역은 중·장거리 통행이 많은 광역거점역사로 이른 시간부터 통행량이 증가하고, 침두시 광역방향 승강장에 통행량이 눈에 띄게 증가한다.

검암역은 공항철도 계양행 승강장에서 7시 40분부터 8시 30분 사이에 이용자에 따라서 불쾌감을 느낄 수 있는 LOS E가 분석되었다. 해당 시간대에 승강장에서 화재 발생시 대피시간은 지침상의 4분을 크게 넘어가는 것으로 나타났다.

계양역은 공항철도 검암역과 통행패턴은 유사하나, 중량전철인 인천도시철도 1호선과 환승으로 노선환승이 1.5배 많다. 김포공항 방향의 승강장에서 7시 20분부터 9시까지 설계수준인 LOS D로 분석되었다. 그러나 해당 시간대에 승강장에서 화재 발생시 대피시간은 4분을 초과하고 있으며, 인천도시철도 1호선 계양역도 기준을 만족하지 못한다.

부평구청역은 간선 광역철도 7호선 시종착 역사로 통행량이 많아 승강장에 대기하는 차량 내부에서 이미 혼잡이 발생하기도 한다. 굴포천 방향에서 침두시 LOS D가 분석되었으며, 지선철도인 인천도시철도 1호선 승강장은 실용대기면적이 넓어 혼잡이 없다. 두 노선 모두 승강장에서 화재가 발생했을 때 일반인의 대피시간이 4분 이하로 나타났으나, 교통약자가 50% 포함된 경우 4분을 초과하는 것으로 나타났다.

인천시청역은 내부거점역사이면서 노선환승비율이 62%로 높다. 역사 외부의 접근성이 좋지 않고, 근거리 철도역사들이 있어 인천도시철도 1호선과 2호선이 만나는 상징적인 환승역사임에도 불구하고 태그통행 이용률이 낮기 때문이다. 승강장 서비스 수준은 LOS C~D로 양호하지만, 환승통로의 위치에 따라 승강장의 대기밀도가 다르고, 도시철도 2호선은 열차의 내부혼잡으로 인해 차량을 탑승하지 못하는 경우가 있다. 대피시간은 1호선, 2호선 모두 교통약자가 4분 이내에 승강장에서 빠져나갈 수 있는 것으로 나타났다.

원인재역은 인천도시철도 1호선과 수인선간 노선환승이 태그통행의 2배가 넘는다. 수인선의 배차간격이 길어 배차시간 전후로만 승강장에 유동인구가 많은 것이 특징이다. 침두시에 LOS D가 분석되었으며, 인천도시철도 1호선은 LOS C 이하로 혼잡하지 않다. 승강장은 수직이동거리가 길고, 경사도가 있어 에스컬레이터 등에 대기열이 늘어서 있다.

인천역은 경인선과 수인선의 시종착 역사로 통행량이 많지 않고, 침두 통행패턴도 발생하지 않는다. 대피시간은 경인선의 승강장과 개찰구 사이에 2m 폭의 좁은 출입구에도 불구하고 4분 이내 대피가 가능하다. 이는 승강시설이 필요하지 않은 지상역이기 때문에 수평이동을 통해 대피할 수 있어 타 역사에 비해 대피속도가 빠르기 때문이다.

부평역은 일일 승하차 통행량이 인천에서 가장 많은 역사다. 광역방향인 경인선은 최대 LOS D, 인천도시철도 1호선은 LOS C로 분석되었다. 부평역은 침두시 배차간격이 짧고, 실용대기공간면적이 넓어 큰 혼잡이 발생하지 않는다. 대피시간은 승강장에서 화재가 발생했을 경우(Case1) 일반인은 3.3분이 소요되고 교통약자의 대피시간은 4.2분이 걸리는 것으로 분석되었다. 인천지하철 1호선은 차량에서 화재가 발생한 경우(Case2)에도 일반인은 3.3분, 교통약자는 4.2분 이내에 승강장에서 빠져나갈 수 있는 것으로 나타났다.

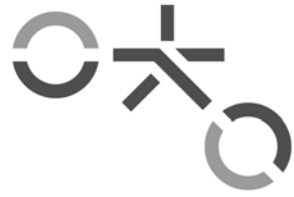
주안역은 하루 승하차량이 부평역 다음으로 많고, 인천 동서축을 연결하는 주요 교통인프라이며, 지선철도 기능을 상당부분 담당하고 있다. 경인선은 침두시 양방향에서 LOS D로 분석되었으며, 인천도시철도 2호선도 LOS D로 나타났다. 인천지하철 2호선에서는 열차 내에 혼잡으로 인해 승강장의 대기인원이 모두 탑승하지 못하는 경우가 발생한다. 통행량이 많고, 비침두 발생비율이 높다. 승강장에서 화재 발생시 인천 1호선은 4분 이내에 대피가 가능하나, 경인선에서는 4분을 초과하는 것으로 나타났다.

이상과 같이 환승역사의 승강장 통행특성은 역사별로 다양하며, 서비스 수준은 공항철도 검암역이 침두시 LOS E로 가장 나빴으며, 다른 역사는 설계서비스 수준인 LOS D로 양호하다. 재난 발생 시에 승차대피시간 분석결과, 침두시 승강장에서 화재 발생 시에 공항철도 검암역, 계양역, 인천도시철도 1호선 계양역이 4분 이내 승강장을 벗어나지 못했으며, 차량 내부에서 화재가 발생하면 인천도시철도 1호선 부평역을 제외하고 일반인도 대피에 어려움이 있는 것으로 분석되었다.

승강장에서 혹은 열차 내에서 통행량이 많은 침두시에 화재가 발생하면 승강장에서 대피할 곳이 없기 때문에 매우 위험하다. 즉, 승강장 포화상태에서 대피시간은 대피시설 및 승강시설 폭에 많은 영향을 받는다. 본 연구에서 분석한 화재발생에 대한 시나리오는 「도시

철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에 규정된 내용이다. 현실에서는 인천역과 같이 역사의 특징에 따라서 대피시간이 단축될 수도 있다. 그러나 훈련되지 않은 일반인이나 대응능력이 떨어지는 교통약자는 승강장에서 미처 대피하지 못하거나, 분석된 대피시간보다 더 많은 시간이 소요될 수도 있다.

따라서 화재와 같은 돌발상황이 발생했을 경우 역사 운영자가 빠르게 파악할 수 있어야 하며, 승강시설 뿐만 아니라 별도의 대피시설 및 선로 등으로 빠르게 역사를 벗어날 수 있도록 각각의 환승 역사에 맞는 메뉴얼 작성 및 훈련이 필요하다.



V

결론 및 정책제언

제1절 결론

제2절 정책제언

V. 결론 및 정책제언

제1절 결론

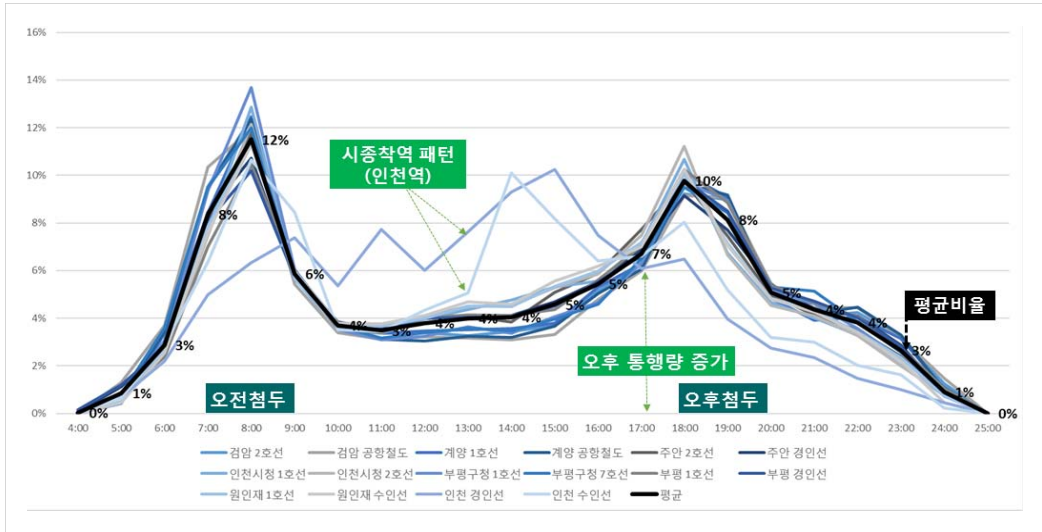
막히는 도로, 혼잡한 철도, 붐비는 버스는 이유를 막론하고 도시운영에 저해요인이기 되기 때문에 혼잡관리가 중요하다는 데는 이견이 없을 것이다. 이와 더불어 대중교통 경쟁력을 위해 열차 내부의 혼잡을 관리하는 것만큼이나 중요한 것이 승강장 서비스 수준을 적정하게 유지하는 것이다.

철도운영기관이나 한국교통안전공단은 승강장 혼잡을 관리하기 위해서 1~2년마다 목측 조사를 하고, 계단, 보행통로, 대합실, 에스컬레이터 등 보행시설에 대해서는 보조조사를 간헐적으로 시행한다. 그러나 이런 방법은 조사지점이나 시간대가 제한되어 있고, 혼잡 정도를 파악할 수 있다 해도 역사별로 다른 혼잡 원인을 파악하기가 어렵다. 따라서 승강장 혼잡관리를 위해서는 빅데이터 분석을 통한 정량적인 근거를 기반으로 해야 한다.

승강장의 대기승객 밀도는 열차의 배차에 따라 증가와 저하가 반복적으로 발생하며, 이용 시간대 혹은 역사의 특징에 따라서 위험도가 증가했다가 낮아진다. 또한, 플랫폼 이용자 중에는 대중교통 카드자료에 이력이 남지 않는 노선환승통행이 있다. 일반적으로 2개 이상의 철도가 교차하는 환승역사는 유동인구가 많아 승강장이 혼잡한데, 역사에 따라서 환승통행패턴이 다르므로 혼잡상황을 파악하기가 쉽지 않다.

따라서 본 연구는 대중교통 카드자료를 기반으로 철도역사에 대한 내부통행수요추정모형을 통해 인천시의 환승역사를 중심으로 총 31개 승강장의 평일과 주말 통행량을 시간대별로 분석하였다. 또한, 역사별로 승강장 유효대기면적을 분석하여 환승역사의 혼잡도를 추정하고, 화재 발생시에 대피시간을 분석하여 안전한 도시철도 이용을 위한 환경 개선 및 대중교통 혼잡관리에 기초자료를 제시하였다.

분석결과, 첫째, 역사별 승강장별 통행특성, 주말·주중 패턴, 노선환승비율, O/D 패턴에 차이가 있지만 시종착 역사인 인천역을 제외하면 공통적으로 오전첨두와 오후첨두에 집중도가 높은 것을 볼 수 있다.



〈그림 5-1〉 환승역사 시간대별 통행량 분포비율

여기서 주목해야 할 것은 승강장별로 혼합한 시간대와 통행분포패턴이 다르다는 것이다. <표 5-1>의 1, 2번과 같이 1일 오전 또는 오후 1회 피크만 발생하는 유형이 있고, 3번과 같이 1일 2회 피크가 발생하는 유형이 분석되었다.

〈표 5-1〉 승강장 통행유형

	유형	비고
1		오전첨두 집중통행 - 공항철도 검암역 계양방향 - 공항철도 계양역 김포공항방향 - 7호선 부평구청역 골포천방향
2		오후첨두 집중통행 - 공항철도 검암역 청라국제도시방향 - 공항철도 계양역 검암방향 - 7호선 부평구청역 종착역방향
3		오전, 오후첨두 집중통행 - 경인선 주안역 양방향 - 수인선 원인재역 양방향 - 인천1호선 부평구청역, 부평역 양방향 - 인천2호선 검암역 양방향, 주안역 양방향 - 인천1, 2호선 인천시청역 양방향

오전첨두에 통행량이 집중하는 승강장은 공항철도와 7호선 광역방향이며, 오후첨두에 통행량이 많은 승강장은 동일노선 인천방향이다. 1, 2번 패턴은 주거지 역의 철도이용 패턴에서 많이 관찰되고 있으나, 인천시는 광역환승역사를 중심으로 전형적인 출·퇴근 집중패턴이 나타났다. 즉, 수도권 전체에서 볼 때 검암, 계양, 부평구청은 중·장거리 통근통행자가 이용하는 주요역사가 된다. 반면에 인천 내부통행 거점역사는 3번 패턴과 같이 오전·오후 첨두 모두가 관찰되는 쌍봉형태의 통행분포를 보여 인천내부의 교통 허브(Hub) 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

둘째, 도시철도 노선별로 승강장의 실용대기면적에 따른 서비스 수준에 차이가 있다. 인천도시철도 1호선은 계양역, 인천시청역, 부평구청, 부평역에서 환승이 가능하다. 8량 승강장 공간에 6량이 중량철도로 운행되고 있고, 승강장의 유효대기면적도 넓어 계양, 부평구청, 부평역과 같은 통행량이 많은 광역철도와 환승을 함에도 LOS 수준은 좋다. 재난 발생 시 대피에 걸리는 시간도 계양역을 제외하면 일반인은 4분 이내에 승강장을 빠져나갈 수 있다. 교통약자의 소요시간은 5분 이내에는 모두 대피가 가능하다.

인천도시철도 2호선은 검암역, 주안역, 인천시청역이 환승역사다. 도시철도 1호선과는 달리 2호선은 경량전철로 2량 1편성이며, 승강장은 4량으로 구성되어 있다. 이 때문에 승강장 총면적은 넓고, 대기여건은 나쁘지 않으나, 작은 용량의 경전철로 인한 내부혼잡이 발생해 열차에 탑승하지 못하고 대기하는 사람들이 있다.

광역간선노선인 경인선, 공항철도, 7호선, 수인선은 대용량 철도로 통행량이 많은 역사다. 경인선과 수인선의 시종착 역사인 인천역은 통행량이 많지 않고, 비첨두 통행분포가 높다. 반면에 부평구청역은 시종착 역사임에도 통행량이 많다. 공항철도 검암역과 계양역은 환승개찰구에서 추가태그가 발생하여 첨두시에 대향 통행자와 마찰이 발생한다.

셋째, 역사의 구조상 승강장 혼잡이 발생할 수밖에 없는 곳이 있으며, 대심도 역사는 승강시설 앞에서, 공항철도는 환승게이트 전후로 부분적인 병목지점(Pinch point)이 발생한다. 또한, 환승통로와 가까운 곳, 출입구 계단과 가까운 곳에 통행자가 몰리는데 이는 승강장의 효율성을 떨어지는 원인이 된다.



〈그림 5-2〉 공항철도 환승 병목구간

넷째, 승강장에서 예기치 않은 재난이 발생했을 경우를 가정하여 승강장 별로 최대용량인 첨두시점을 기준으로 분석한 결과, 승강장에서 화재가 발생(Case1)하면 공항철도 검암역, 계양역과 인천도시철도 1호선 계양역이 4분 이내 승강장을 벗어나지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 교통약자는 동일한 상황에서 보행속도와 인지속도가 떨어지기 때문에 대피시간이 4분을 초과하는 것으로 나타났다. 다만, 검암역 인천 2호선, 주안역 인천 1호선, 인천시청역 1·2호선, 부평역 인천 1호선, 인천역은 피크시에도 일반인은 물론, 교통약자가 모두 4분 이내에 대피가 가능한 것으로 분석되어 방재측면에서 안전성이 높은 역사로 나타났다. 인천도시철도 1호선 부평역은 차량 내부에서 화재가 발생(Case2)할 때도 일반인의 대피에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

철도역사는 화재가 발생하면 폐쇄된 공간에서 대피해야 하는 제약이 있다. 본 연구에서 분석한 화재발생에 대한 분석결과는 역사의 여건에 따라서 혹은 선로의 이용 여부에 따라서 대피시간이 단축될 수도 있다. 그러나 훈련되지 않은 일반인이나 대응능력이 떨어지는 교통약자는 분석된 대피시간보다 더 많은 시간이 소요될 것이다.

대피상황에서 보행자의 통행속도는 매우 빨라지게 되어 있다. 일반적으로 교통약자가 보행군에 섞여 있으면 전체 보행류의 속도가 저하되는데, 위급한 상황에서는 후미의 보행자가 교통약자를 추월하게 되므로 선행하는 교통약자는 안전에 심각한 위협을 받게 된다. 도시철도는 65세 이상 무료이용이 가능하므로 이용비율이 높다. 그뿐만 아니라 고령 인구가 증가가 가속화되는 현시점에서 본 연구의 분석결과를 기반으로 한 다양한 대안이 필요하다.

이와 같은 측면에서 역사의 혼잡은 사전에 대비해야 하며, 지속적으로 관리되어야 한다. 철도 통행자는 승용차와는 달리 혼잡이 있다 해도 우회 가능한 대안 노선이 많지 않다. 시간대별, 지역적, 개인적인 차이가 있겠으나, 급행철도를 이용하거나 혹은 버스·철도 환승

를 이용하여 통행시간을 최소화하는 범위에서 약간의 변화가 있을 뿐이다. 통행자가 느끼는 환승 저항으로 인해 선택할 수 있는 대안 경로가 없기 때문이다. 따라서 평상시에 재난발생에 익숙하게 관리 되어 있지 않는다면 신속하게 대처하기가 어렵다.

또한, 열차와 승강장 혼잡은 복합적으로 관리해야 할 필요가 있다. 이는 열차 내부의 혼잡과 승강장 대기수요가 상호 영향을 미치기 때문이다. 즉, 차량 내에 혼잡수준이 높으면 승강장에서 대기하고 있는 이용자의 일부가 열차를 이용하지 못한다. 그러면 승강장에서 다음번 열차를 기다리게 되는데, 첨두시에 이용자가 추가로 유입될 경우 적체되어 혼잡도가 높아지게 되는 것이다.

결국, 혼잡도가 적절하게 유지되지 못하면 승강장의 기능이 저하되어 효율성은 물론 안전을 위협하게 된다. 따라서 서비스 수준의 진단을 통해 보행류의 상태를 정확히 판단하고, 시설물의 용량에 기반한 효율적인 운영이 될 수 있도록 해야 할 것이다.

제2절 정책 제언

1. 철도중심 교통정책에 대비한 환승역사의 안전성 확보 필요

수도권 광역교통을 철도중심으로 전환한다는 구상은 10여년 전부터 지속적으로 제기되어왔다. 인천시를 중심으로 보더라도 고속급행열차인 GTX-B를 비롯하여 9호선과 같은 급행열차를 수인선, 분당선 등으로 확대한다는 계획이 발표되고 있다. 이러한 광역철도망 공급망 계획뿐만 아니라 도시내 철도망인 도시철도 1호선 검단 및 김포연장, 도시철도 2호선 광명연장, 서울지하철 2호선 연장, 제2경인선 사업 등 다양한 시내외 도시철도사업 연장사업도 추진되고 있다.

이러한 사업은 다양한 철도수요를 창출하고 도시 발전을 가속화 할 수 있으나 검암역과 계양역처럼 수요집중에 따른 예상치 못한 문제가 발생할 수 있다. 즉 장래 신설노선이나 환승역은 정확히 알 수 없으며 완공 이후에도 관련토지이용도 급격히 변화할 수 있다. 이 경우 예상했던 수요와 크게 다를 수 있으며, 도시철도 역사특성상 시설확장이나 개선이 힘들거나 큰 비용이 필요할 수 있다. 따라서 지하공간이나 입체공간 설계시 확장 가능성을 고려하고, 재난 등 비상상황에 대비할 필요가 있다.

2. 도시철도 역사별 보행·환승 서비스 수준의 새로운 기준설정 필요

모든 교통 시설물은 그에 적합한 용량이 있는데, 도로나 철도의 공급용량보다 초과수요가 발생하면 혼잡이 발생하게 된다. 혼잡은 교통 시설물의 운영상태를 나타내는 척도이므로 설계교통량에 대해 주어진 서비스 수준으로 운영할 수 없으면 기존의 도로나 철도 시설물은 확장하거나 혹은 새롭게 건설해야 한다. 서비스 수준은 도로, 철도 등의 개통 후에 허용되는 혼잡도를 결정할 때 기본이 되는 척도이며, 도로의 운영상태를 설명하는 개념이다.

그러나 일반적인 지상에서 이루어지는 보행에 대한 서비스 수준이나 관련 시설기준을 이용해서 철도역사의 보행서비스 수준에 대한 기준을 제시하기는 쉽지 않다. 한정된 공간에서 시간대에 따라 혼잡수준이 다르고, 비장애인과 교통약자 등이 혼재되는 상황이 많기 때문이다. 특히 환승역사의 경우 노선별 승객집중도나 열차규모에 따라 다양한 형태의

혼잡이 발생할 수 있다.

예측수요를 기반으로 철도역사의 통로, 계단, 승강장(대기공간)에 대한 기준을 제시하고는 있으나 서비스 수준의 기준을 새롭게 손을 볼 필요가 있다. 대부분의 보행시설들이 보행속도기준 서비스 수준을 기본으로 하고 있지만 지하공간, 특히 환승을 위한 통로나 대기공간인 승강장에서는 이러한 기준이 합리적인가를 재고할 필요가 있다. 또한, 현재 기준이 실질적으로 이용자의 체감만족도와 얼마나 큰 차이가 있는가를 확인하고 현실과 차이가 있다면 설계서비스 수준을 바꿔야 한다. 특히 연구에서 주장하는 바와 같이 승강장이나 차량에서 화재가 발생시나 재난시에 4분 이내에 대피하는 것이 골든타임이라는 것이 정설이며 이러한 시간 안에 노약자나 교통약자 대피가 가능한가를 고려할 필요가 있다.

3. 인구구조 변화에 따른 실질적인 보행서비스 수준 적용 필요

도로교통공단 교통사고분석시스템(TASS)에 의하면 교통사고 사망자는 한국이 OECD 국가 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 노인사고는 2013년 대비 2017년에는 24.0%가 증가한 것으로 나타났다. 도로교통 사고에서 노인이 차지하는 비율은 노령층 인구의 증가로 인해 점차 증가할 것에 대비해 정비하고 있다. 이러한 현상은 철도 무료정책으로 인해 노인이용자가 많은 철도시설에서도 동일하게 적용될 수 있다.

교통약자 및 노약자는 통행속도가 일반적인 설치기준보다 느리기 때문에 체감보행거리가 상대적으로 길다. 교통 시설물의 보행시간은 성인이 1.0m/sec를 기준으로 하며, 어린이, 노인 보호구역에서는 0.8m/sec의 보행속도를 적용한다.¹⁴⁾ 최근 도로 운영상에도 이러한 최소기준을 넘어서 교통약자를 배려하기 위해 횡단보행 신호시간을 추가로 연장하는 등 적극적으로 반영하기 시작했다.

그러나 철도시설 이용시에는 도로에 비해 교통약자가 느끼는 제약이 많고 이용이 까다롭다. 지하와 지상부를 오가는 역사에 어린이보호구역 및 노인보호구역과 같은 교통약자 편의시설 및 대피시설을 설치하는 것은 불가능하다. 많은 역사에 엘리베이터 등 다양한 시설이 교통약자를 위해서 설치되어 있지만 대부분의 시설이 비교통약자들이 사용하는 경우가 많다. 또한, 이러한 시설들은 재난 및 화재 발생시 이용하기에는 어려움이 있다.

14) 횡단보도 보행시간은 「교통신호기 설치관리 매뉴얼」기준에 따라 성인기준 1.0m/sec, 어린이·노인보호구역 0.8m/sec의 보행속도 적용한다. 신호는 신호제어방법, 교차로 형태 및 용량, 교통량 등 해당지역 교통환경을 복합적으로 고려하여 결정되고 있다.

폐쇄된 공간에서 대규모의 승·하차, 환승, 이동, 대기 등 이동 및 대기 행위가 동시다발적으로 발생하기 때문에 다양한 계층의 요구나 편의를 감안하기 어렵다. 즉, 차량시간을 기준으로 밀집되어 있는 이용자들이 특정 시간대에 몰리게 되면 노약자, 임산부 등 교통약자가 느끼는 불안감이나 피로도는 커질 수 있다. 따라서 지속적으로 증가하는 고령층이나 교통약자에 대한 교통복지 차원을 넘어서는 선제적인 방재를 위해 지방정부 차원에서의 기준을 스스로 점검하고 보완할 필요가 있다.



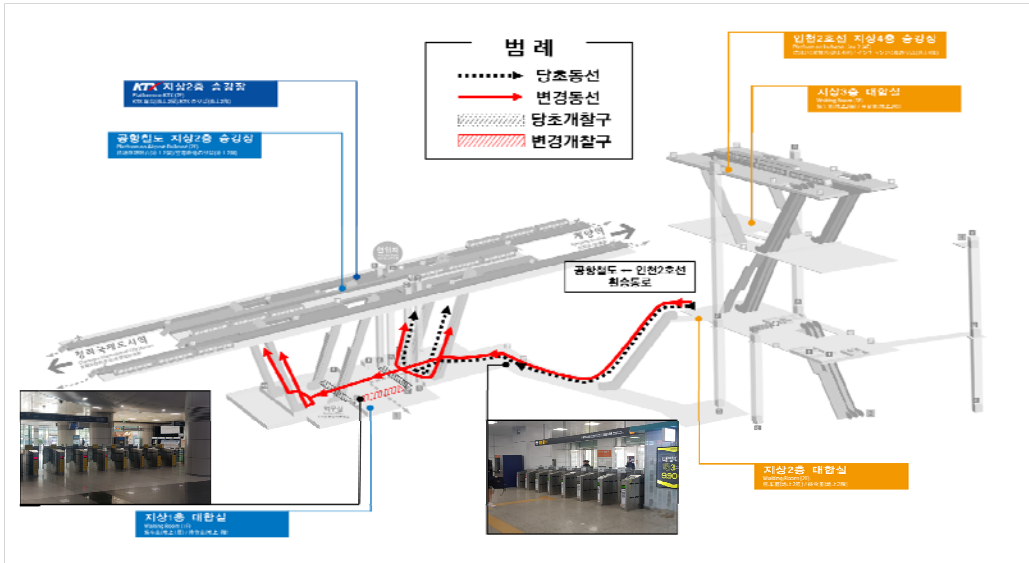
<그림 5-3> 행정안전부 포스터

4. 실용대기공간의 확보 및 동선개선 필요

여객업무와 이동, 편의 그리고 대기시설이 복합적으로 이루어지는 폐쇄된 공간에서 실용 대기공간을 확보하는 문제는 중요하다. 본 연구에서 16개의 환승역사에 대한 혼잡도를 분석한 결과, 이용량에 비해 혼잡도가 높은 곳은 검암역과 같이 실용대기면적이 크지 않은 곳이었다. 특히 공항철도가 6량 1편성으로 운영이 됨에 따라 이를 1량당 공간면적으로 환산하면 16개 역사 중에 가장 낮은 수치를 보였다.

최근 서울시는 매점과 자판기 등 승강장 설치시설을 단계적으로 철거하기로 하였다. 혼잡 유발 시설물을 사전인지하고 제거함으로써 이용자 동선과 공간 효율성을 높이는 정책이다. 반면에 비선호공간을 편의시설, 문화시설 등 다양한 시설을 제공하여 시민들을 위한 공간 활용도를 높이려는 계획을 세우고 있다. 인천시도 인천시청역 등에 시민들의 문화활동 공간을 마련하고 있지만 보다 적극적인 시설이용을 위한 역사 공간 활용방안을 마련할 필요가 있다.

한편 승강장 서비스 수준이 첨두시 LOS E로 분석된 공항철도 검암역에서는 최근 2층 플랫폼을 이용하지 않고, 1층에서 환승·이동할 수 있도록 동선을 개선하였다. 개선 전에는 <그림 5-4>에서와 같이 환승을 하게 되면 한쪽의 에스컬레이터만 이용할 수 있었으나 게이트를 이동하여 1층 개찰구 내부(Paid area)를 자유롭게 이동하도록 하고, 혼잡한 승강장 내에서의 마찰을 최소화시키고 승강장의 효율적인 이용이 가능하도록 개선사업을 시행하였다. 이와 같이 동선이 좋지 못한 역사의 경우 모니터링을 통해 공간의 효율적인 활용이 가능하도록 유도해야 한다.



〈그림 5-4〉 검암역 환승동선 개선현황

5. 도심도 철도역사 및 지하공간 확대 대비 방재 프로그램 필요

도시기반시설이나 산업시설 등이 지하에 건설되는 사업이 전 세계적으로 이루어지고 있으며 핀란드는 집회장, 회의장, 극장 등 수많은 공공시설이 지하에 설치되고 있다. 우리나라도 지하도로, 지하주차장, 지하상가 및 보도, 지하공동구 등 지하공간이 지속적으로 개발 되어왔고 지하철 규모는 세계적인 규모이다. 최근에는 지하 40~50m의 도심도 터널을 뚫어 수도권 광역급행철도(GTX)를 계획하고 있다. 인천시도 GTX-B노선뿐만 아니라 다양한 철도사업을 구상하고 계획하고 있다.

이와 같이 지하공간에 대한 개발수요가 꾸준히 늘고 있지만 지하공간에 대한 계획들은 진행되면서 화재, 침수, 사고 등 다양한 재난에 대한 대피 등 선제적인 안전대책은 제대로 구축되지 않고 있다. 본 연구에서도 언급한 바와 같이 지하철 내의 지하공간은 지상과는 다른 여건 때문에 안전 관련 요소들이 매우 복잡하다. 따라서 시설별 요소에 대한 개별 기준과 동시에 전체적으로 통괄하는 종합 기준이 마련될 필요가 있다. 또한, 인천시도 국가적인 대책과 법률제정 등 다양한 제도적 법률적 요소 마련을 요구함과 동시에 인천시도 현재 설치되어 있는 지하철을 포함한 지하공간 시설과 안전대책 점검을 위한 프로그램을 가동할 필요가 있다.

참고문헌

■ 문헌자료

- 국도교통부, 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」, 2018
- 국도교통부, 「도로용량편람」, 2013
- 국도교통부, 「철도설계기준」, 2015
- 김중형 외 1인(2014), 교통복지시대를 대비한 인천도시철도 혼잡도 연구, 인천연구원
- 수도권교통본부(2016), 수도권 여객 기·종점 통행량(O/D)현행화 공동사업
- 신성일(2017), 도시철도 승강장 동적 혼잡도 추정, 서울연구원
- 유소영, 보행류 기반 도시철도역사 평가 시뮬레이터를 활용한 대피 시나리오 분석, 한국철도학회
2015년 정기총회 및 추계학술대회, 2015.10, 28-38 (11 pages)
- 이재훈 외 2인(2014), 철도서비스 수준 기준 정립 및 개선 연구, 한국교통연구원
- 이호 외 2인(2016), “도시철도 역사 승강장 실용대기공간면적 산정 연구”, 교통연구 제23권
제4호 pp.61~71
- 이호, 최진경(2015), 대중교통카드 자료를 활용한 도시철도 승강장 혼잡도 추정 알고리즘 개발,
한국철도학회논문집 제18권 제3호, pp.270-277
- 한국개발연구원(2008), 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구」
- 한국교통안전공단, 「2015 대중교통현황조사」, 2017
- 홍해리 외 3인(2011), “고령자의 피난안전설계를 위한 군집보행속도에 관한 연구,
한국화재소방학회, 제25권 제1호 pp.19~26
- 황보현(2011), 도시철도역사의 환승시설에서 일반인과 교통약자의 환승저항에 관한 비교분석,
부산대학교
- Fruin, John J., Pedestrian Planning and Design, Revised Edition, Elevator World, Inc., Mobile,
Al. 1987
- Irina Ceapa, Chris Smith, Licia Capra(2012), Avoiding the crowds : understanding Tube
station congestion patterns from trip data, Proceedings of the ACM SIGKDD
International Workshop on Urban Computing, pp.134-141
- Jack Reilly and Herbert Levinson, Public Transport Capacity Analysis Procedures for
Developing Cities, World Bank, 2011
- KONE Corporation, Planning guide for People Flow in transit stations, 2009

2018년도 기초연구과제

**승강장 혼잡도를 고려한
인천도시철도 환승역 대피시간 분석**

발행인 이용식

발행일 2018년 12월 31일

발행처 인천연구원

인쇄처 032디자인(주)

ISBN 978-89-5678-797-8 93320

주 소 22711 인천광역시 서구 삼곡로 98(삼곡동 307)

© 인천연구원 2018

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 인천연구원의 공식적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.



Study on Evacuation Time of Subway Transfer Stations
Considering Platform Congestion in Incheon



인천광역시 서구 심곡로 98(심곡동 307)
T. 032-260-2600 F. 032-260-2629 www.ii.re.kr



9 788956 787978
ISBN 978-89-5678-797-8