

복합환승역사 통행자 기반 통합 모빌리티 평가 기법 개발

Methodology for Assessing an Integrated Mobility of the Passenger Passing through Intermodal Transit Center

유 소 영* · 김 경 태** · 정 은 비*** · 이 준**

* 주저자/교신저자 : 한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀 선임연구원
 ** 공저자 : 한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀 책임연구원
 *** 공저자 : 한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀 선임연구원

So-young You* · Kyongtae Kim** · Eunbi Jeong*** · Jun Lee**

* Transport Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute
 ** Transport Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute
 *** Transport Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute

† Corresponding author : So-young You, syyou@krii.re.kr

Vol.16 No.5(2017)

October, 2017

pp.12~28

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.5.12>

2017.16.5.12

Received 24 July 2017

Revised 22 August 2017

Accepted 29 August 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

Mobility 4.0으로 일컬어지는 교통서비스의 핵심은 유연성 있는 모빌리티 구현이며, 이를 위해 수요-공급을 실시간, 유기적으로 이어줄 수 있는 플랫폼 구축이 요구되고 있다. 즉, 교통 정보 혹은 통합 모빌리티를 빅데이터 기반의 표준화 및 상시 업데이트가 가능한 DB로 구축하고 이를 분석할 수 있는 객관적이고 과학적인 분석 체계를 제시하는 것이다. 이러한 측면에서, 보행 통행을 포함하는 복합환승역사와 이를 기반으로 통행 전주기로 확장하여 분석하는 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 복합환승역사를 이용하는 통행자 중심의 통합 모빌리티 분석 체계를 3단계로 구성하여, Data Repository 생성 모듈, 통합 모빌리티 분석 모듈, 공간 정보를 융합한 결과해석 모듈로 정의하였다. 철도 및 광역버스 환승역사(사당, 신도림, 교대, 광화문, 삼성, 강남, 잠실) 7개 역사를 분석 대상 역사로 지정하여 사례 분석을 수행하였다. 분석 대상 역사는 통계적 유의성에 근거하여 3개 그룹으로 구분되었으며, 자료 기반으로 한 통행 전주기 분석과 해석을 통해 보다 다양하고 체계적인 복합환승역사 분석이 가능함을 제시하였다.

핵심어 : 스마트카드, 통합 모빌리티 지표, 복합환승센터, 대중교통지향형개발, 토지이용

ABSTRACT

The core of the transportation service, so-called Mobility 4.0 is the flexibility of the entire mobility and its implementation. By doing so, the most essential element is to build a platform to link a supply and a demand simultaneously. In other word, a comprehensive analytical framework is to be set with a data repository which can be periodically updated. With such circumstances, the entire trip chain including pedestrian movements is required to be thoroughly investigated and constructed at the viewpoint of the intermodal transit station. A few studies, however, have been attempted. In this study, the comprehensive analytical framework with the integrated mobility at intermodal transit station was proposed, which consisted of the three modules; 1) Data Repository Extracting from Smart Card DB, 2) Framework of Analyzing Integrated Mobility, and 3) Interpretation of the Integrated Mobility with GIS information and the other factors. A case study

with the seven railway stations (Sadang, Sindorom, Samseong, Gwanghwanon, Gangnam, Jamsil, Seoul Nat'l Univ. of Education) was conducted. The stations of the case study were clustered by the three groups with the statistical ground, and it is most likely to understand the effect of a variety of factors and a comprehensive data-driven analyses with the entire trip stages.

Key words : Smart Card, Integrated Mobility, Intermodal Transit Center, TOD, Land Use

I. 서 론

최근 10년 사이 스마트폰 등 IT 기기의 보급과 확산을 통해 국제 사회는 빠르게 소프트웨어의 시대, 초연결사회로 진화하였으며, 이러한 경향은 O2O (Online to Offline) 방식의 교통 서비스를 출현시켰다. 이로 인해, 기존 개인교통, 대중교통, 준대중교통으로 구분되던 교통수단의 경계가 모호해짐에 따라, 다양한 수단의 조합을 통해 유연성 있는 통합 모빌리티 구현 및 효율적 인프라 활용이 주요 가치로 대두되고 있다. 이러한 측면에서 기존 집약적이고 단일화된 정책 평가가 아닌, “**이용자 중심**”의 다양한 사회적 현상 분석과 문제점 도출, 이용자 맞춤형 솔루션 제공 및 평가에 대한 패러다임 전환이 요구된다(Korea Railroad Research Institute, 2016a). 이를 복합환승역사 기반 통합 모빌리티 분석 영역에서 살펴보면, 다음의 두 가지 측면에서 설명이 가능하며, 1) 현상을 명확하게 설명할 수 있는 지표 분석과 2) 종합적 해석이 가능한 분석 영역 설정으로 요약된다.

첫째, 현재 정책 수립 및 교통 계획의 근거로, 거시적으로 정의되고 활용되어 왔던 교통지표는 교통서비스 이용자 측면의 편의성 및 본질적 문제 파악이 어렵다. 예를 들어, 도시철도 역사 혼잡도와 관련하여, 연상 면적과 이용객수의 관계를 통해 추정되는 단일 지표는 어느 지점 혹은 어떤 계단이 서비스 수준이 현저히 낮은지 파악할 수 없다. 이는 복합환승센터 혹은 도시철도 역사 설계와 관련한 지침을 살펴보면, 보행자 중심의 원활한 이동 흐름 보다는 환승 거리 혹은 공간 점유율 등 비교적 정적인 기준을 제시하고 있다는 점에서 근본적 한계를 찾을 수 있다. 실제로 신도림 역사의 리모델링은 연상 면적을 확대하여 역사 내 혼잡이 개선될 것으로 예상되었으나, 대부분의 승객이 이용하는 보행동선 및 구간에 대한 분석과 평가 부재로 인해 사용되지 않는 공간이 늘어나고 주변 지역 생활권만 단절시키는 결과를 초래하였다.

둘째, 교통서비스 이용자 측면에서는, 도시·광역 철도 수단 내 환승과 이동·접근·대기 등 비교통수단(보행) 통행에 대한 연구는 미비한 실정이다. 비교통수단(보행) 통행이 전체 통행 사슬에 있어서, 통행거리 및 시간 등 정량적인 측면에서 차지하는 비중이 낮다는 이유로, 보행 통행을 분석에서 제외하거나 일회성 조사를 통해 독립적인 분석 영역으로 평가절하 하는 경향이 있다. 복합환승역사는 보행 환승 통행을 주로 담당하는 주요 교통 시설로, 교통서비스 이용자 측면에서 개별 여정을 계획하는데 있어 중요한 의사결정 요인이 된다. 다시 말해서, 복합환승역사의 이동·환승의 편의성에 의해, 개별 통행자는 버스-철도의 환승이 아닌 버스-버스의 환승이나 다른 도시철도 역사를 경유하는 통행으로 전혀 다른 통행 사슬을 선택할 수 있다는 점이다. 또한, 해당 결정점이 도시 구조에 미치는 사회·경제적 파급효과 등을 고려할 때, 복합환승역사와 연관되어 시시각각 변하는 통행에 대한 면밀한 분석이 필요하다.

앞서 언급된 지표 분석과 유의미한 분석 영역의 설정을 위해서는 체계적으로 디지털화된 자료 구축이 선행되어야 한다. 우리나라는 전국호환 교통카드 등 스마트카드를 활용한 요금지불 및 환승할인 등 대중교통 친화적인 요금체계를 보유하고 있으며, 특히 서울을 포함한 수도권의 대중교통 시스템은 국제적으로 손꼽히는 체계적인 스마트 교통시스템 중 하나로 인정받고 있다. 또한 첨단 교통서비스 지원을 위한 ITS (Intelligent Transport System), UTS (Urban Transport System), C-ITS (Cooperative Intelligent Transport System), A-ITS

(Advanced Intelligent Transport System) 등 적용 분야와 기능에 따른 다양한 사업이 추진되고 있으며, 이러한 디지털 인프라 구축 현황은 Mobility 4.0 구현에 있어 최소한의 기초 환경을 제공할 수 있는 상태이다. 이러한 디지털 인프라 기반의 자료 및 정보 수집·활용 체계는 투명한 사회시스템 구축은 물론 과학적이고 객관적인 현황분석 및 문제해결 방안 제시, 평가 기준 정립 등 합리적인 정책 수립으로 이어질 수 있다는 점에서 큰 의미를 가진다. 실제로 이러한 빅데이터에 근거한 교통시스템의 구축 및 서비스 운영·분석·평가 환경은 점차 확대·도입되고 있다.

따라서 본 연구에서는 스마트카드 자료를 이용하여, 교통 결절점에 해당하는 수도권 주요 복합환승역사를 기종점으로 하거나 경유하는 통행 사슬에 대해 상세히 분석함으로써 복합환승역사의 특성 및 부여되는 기능을 분석·파악하고자 한다. 본 연구는 2장에서 관련 선행연구를 검토하고, 3장에서 주요 개념 및 용어 정리와 지표분석 방법을 구체화하였다. 4장에서는 분석 대상 역사에 대한 기본현황, 자료수집 및 분석절차를 설명하고 역사별 환승 형태 및 통합 모빌리티 분석 결과를 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 연구의 시사점 및 향후 연구 주제를 제시하며 결론을 맺었다.

II. 관련 연구 동향

1. 디지털 자료 및 수집 기술 연계 이동·환승에 관한 연구

디지털 인프라 기반의 자료 및 수집기술 중심의 통행분석에 관한 연구를 살펴보고 현재 연구의 수준을 우선 정립하고자 한다. 우리나라는 스마트카드 기반의 대중교통 결제방식과 이후 전국호환교통카드 보급을 통해, 대중교통 통행 사슬이 디지털 자료로 수집되고 있으며, 다양한 연구 분야에서 활용되고 있다.

여기서는 본 연구와 밀접한 관련이 있는 이동·환승 및 통합 모빌리티 관련 연구를 보다 상세히 살펴보고자 한다. 다양한 연구에서 교통카드 자료로 분석 가능한 버스-버스, 버스-지하철 간의 환승통행에 대해 집중적으로 분석하였으며(Lim et al., 2016), 이를 토지이용 특성과 환승통행량이 유의미한 상관관계를 지닌다는 것을 규명하였다(Lim et al., 2013). 그러나 도시철도 노선 간 환승이 대중교통 환승통행에서 높은 비중을 차지함에도 불구하고, 교통카드 자료에서 직접 계측이 불가능한 도시철도 노선 간 환승통행에 대한 분석은 제외되었다. Lee et al.(2016)의 연구에서는 이러한 도시철도 환승역에서 노선 간 이동하는 환승통행량을 추정하기 위한 모형을 구축하여 보다 논리적인 방식으로 통행을 파악하였으나, 해당 통행이 전체 통행구성 측면에서 어떠한 비중을 갖는지에 대한 분석은 별도로 수행되지 않았다(Lee and Son, 2016). 교통카드를 활용하여, 강남역을 중심으로 심야버스 이용 수요에 대한 특성 분석 연구 등 상세 연구가 수행되었으며(Kim and Lee, 2017), 대중교통 노선계획에 활용하기 위한 정류장 단위의 통행형태 분석이 가능한 S/W인 TRIPS를 개발하여, 지방자치단체 대중교통계획 수립 등에 널리 활용되고 있다(Korea Railroad Research Institute, 2016b). Joeng et al. (2017)은 공간정보와 통합 스마트카드 자료 (스마트카드 실적 자료 + AFC별 태그 정보)를 DB화하고 이를 활용하여 도시철도 역사 내 보행 기종점 분석 프로그램을 개발하였으나, 분석 대상이 도시철도 역사 혹은 복합환승역사 내부의 이동 행태에 국한되었다. 이러한 연구는 현황분석 및 집계적 결과 도출에는 용이하지만, 이용자 관점에서는 통행 사슬 전주기 중 어느 이동 단계, 어떤 교통시설의 이동·환승 편의성에 대한 문제점이 있는지 그리고 어떤 방식으로 해결책이 제시되어야 하는지에 대한 규명이 쉽지 않다는 문제점이 여전히 존재하고 있다.

이러한 현실적인 한계를 극복하기 위해, 해외에서는 다양한 수집기술 적용에 대한 연구가 수행되었다. 가

장 손쉬운 방식은 조사원을 활용한 통행량 조사이며, 이후 영상 촬영을 통한 이미지 프로세싱, RGB 또는 HSI 카메라를 사용한 영상자료 분석, 적외선, LIDAR, GPS 센서를 활용한 방식, 응하중 센서, 초음파, 레이더 등 다양한 기술 진보가 있었다(Caramuta et al., 2017). 실제 일부 기술은 통행자 수 측정에 사용되고 있으나, 이동동선 추적 등 궤적 조사에 있어서는 주변 여건 등에 따라 다소 한계를 보이기도 한다. 이러한 경향은 복합환승역사에서 더 빈번히 발생하는데, 그 원인은 열차 스케줄에 따라 이용객이 한꺼번에 군집 이동하는 양상을 보이고, 정해진 차선이 없는 다방향 보행 이동 특성 때문으로 분석된다. 현재, 센서를 이용하여 취득한 동선 수집 자료를 활용한 복합환승역사 이동·환승 등 접근성에 대한 연구는 다소 미비한 실정이다. 다만 싱가포르에서 수행된 도시철도 역사 접근성에 대한 연구는 인터뷰 조사를 바탕으로 하며, 계단, E/S, E/V 등 이동 시설에 따른 물리적 거리가 아닌 체감형 거리가 다르다는 사실을 논증하였다(Olszewki et al., 2005). 방콕 도심지의 보행경로에 대해 속도에 영향을 미치는 다양한 요인에 대한 조사 등을 포함하는 다양한 연구도 수행되었다(Tipakornkiat et al., 2012).

다양한 연구와 신뢰성 있는 자료조사 방식이 활용되었음에도 불구하고, 일회성 조사 결과를 바탕으로 하여 종합적인 분석 체계를 구현하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 완벽한 관측치를 제시할 수 없지만, 지속적으로 자료 구득이 가능한 스마트카드 자료를 활용하여, 향후 지속적인 수집 기술을 접목할 수 있는 시점에서 확장 가능한 분석 체계를 구성하는 것이 합리적인 연구의 출발선으로 판단된다.

2. 이용자 중심의 통합 모빌리티 연구

본 연구에서는 이용자 중심의 통합 모빌리티 연구에 있어, 기존의 수단 중심 통행 사슬 해석으로부터 탈피하여, 통행 전주기에 보행·환승에 대한 개념을 추가하고자 한다. 이로 인한 불편성을 연구 체계상에 포함하여, 평가 지표를 객관적인 연구의 틀 안에서 논의하는 것이 본 연구의 목적이다.

교통카드를 활용하여, 수도권 도시철도 환승자료를 통행 사슬로 구성하여 설명하고자 하는 연구들이 시도되었으나, 도시철도 노선 간 환승에 대한 부분은 제외되어, 전체 통행에서 큰 비중을 차지하는 도시철도 역사 내 환승통행에 대한 Data Gap이 발생하고 있다. 이러한 측면에서, 철도 역사 내 환승통행은 이동성 분석의 대상이 이용자인지, 교통수단인지를 구분 하는 것은 분석에 중요한 출발선이다.

영국의 MaaS (Mobility as a Service) 시스템인 Trademark 도입 여부를 평가하기 위해서, UCL (University College London) Energy Institute, 2015)는 이용자의 실제 통행사슬에 근거한 교통서비스 체계를 분석하였으며, Flexible Transportation System (비고정 노선 기반 교통서비스)이 효율적 운영이 가능한 상태 여부를 포함한 다수의 평가기준에 근거하여 검증을 수행하였다. 특히, 목적통행 (Purpose Trip)과 이동 단계(Stage)의 개념을 도입하여, 단일 목적통행이 몇 구간의 이동 단계로 구성되는지 조사하였다(UCL(University College London) Energy Institute, 2015). 이동수단은 도보, 자전거, 승용차 운전자, 승용차 동승자, 버스, 지하철, 경전철, 트램을 포함한 궤도형 대중교통으로 구분하고 있다. 분석 결과, 영국 시민의 48%는 무환승통행으로 1구간의 이동 단계가 곧 목적통행이며, 52%가 1회 이상의 환승을 하여 평균 2.1 이동 단계를 가지는 것으로 나타났다. 실제 환승을 포함하는 목적통행 중에는 3구간의 이동 단계로 구성된 비중이 23%로, 2구간의 이동 단계를 가지는 목적통행 19%보다 높은 것으로 나타났다. 영국의 이동 단계 개념은 목적통행을 통행 사슬로 표현하는 방식이며, 일부 장거리 도보는 이동 단계로 인정하고 비교적 짧은 도보는 이동 단계에서 배제하는 방식을 채택했으며, 국내 교통카드 자료를 활용하여 대중교통 통행체계 구축을 시도했던 Lee et al.(2016) 연구에서도 유사한 방식의 통행수단 구분을 하였다.

본 연구에서는 보행 통행의 중요성을 인지하여, 도보거리와 상관없이 개별 이동 단계를 부여하였다. 추후

다양한 수집기술이 적용 가능한 단계가 되었을 때, 이동 단계 속성은 Data Repository에 구축되고, 분석 영역으로 확장될 수 있도록 보장할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Ⅲ. 통합 모빌리티 분석 방법론

1. 주요 개념 및 용어

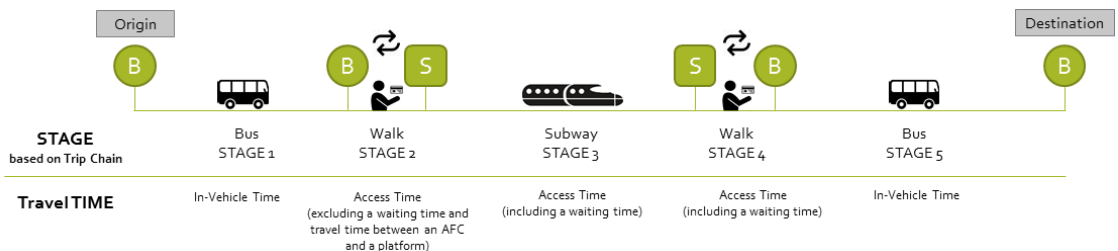
복합환승역사 기반 통합 모빌리티 분석은 역사를 이용하는 통행자 관점에서 통행 사슬 유형을 구분하고, 해당 역사를 거치는 통행을 대상으로 지역 간 이동 특성을 살펴보고자 한다. 이를 위해 본 연구에서 이용되는 주요 개념과 용어는 다음과 같다.

- 주요거점: 분석대상 역사를 거치는 통행의 최초 출발/최종 도착지로 구분 (광역버스 노선번호 지역구분)
- 철도 역사 기반 4대 통행 유형 <Fig. 1 참조> :
 - 1) 분석 대상 역사가 최초 출발지인 통행, 2) 분석 대상 역사가 최종 도착지인 통행, 3) 분석 대상 역사에서 철도-버스 간 환승 발생하는 통행, 4) 분석 대상 역사에서 철도-철도 간 환승이 발생하는 통행



<Fig. 1> Definition of the Travel Types at Intermodal Transit Center (or Railway Station)

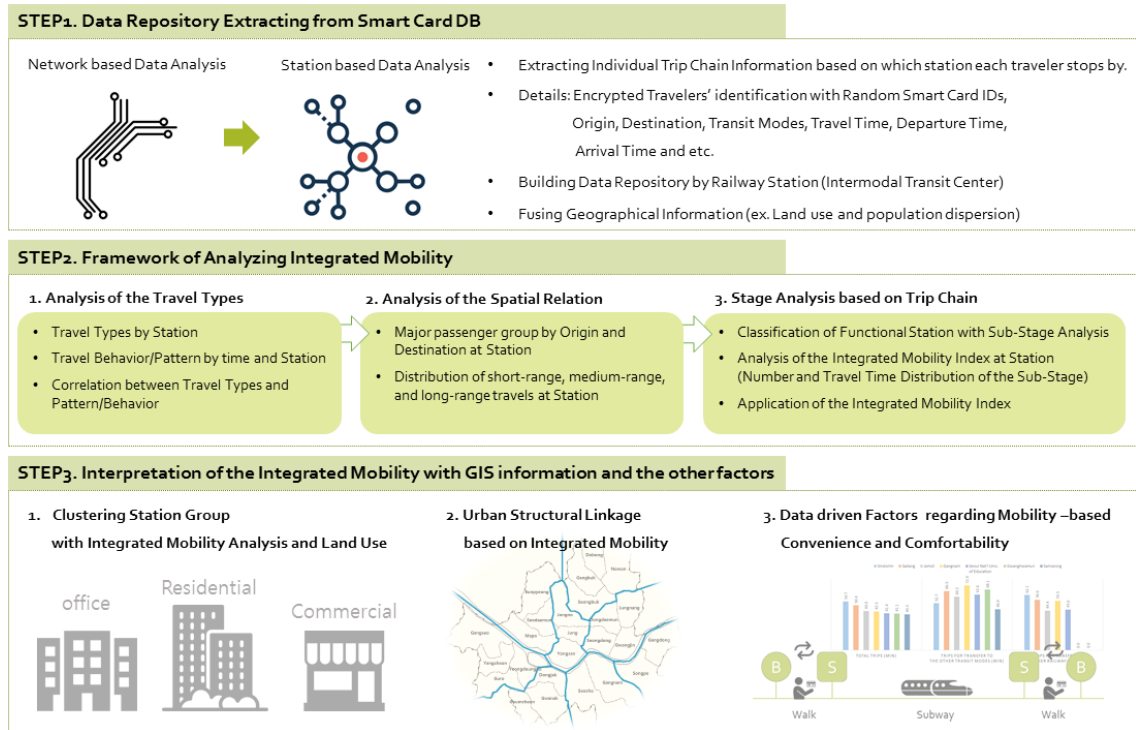
- 이동 단계 (Stage): 스마트카드 통행 자료의 통행 사슬에서 도보를 포함한 교통수단 전환 단계별로 구분하고, 단계별로 통행시간으로 세분화하여 구성한 이동 프로파일임 (간단한 예: 도보-철도-도보이며, 이동 단계 3임) <Fig. 2 참조>
- 이동 단계와 기존 통행 사슬과 차이점: Stage 기반의 통행은 접근 통행을 포함하여 분석하기 때문에, 철도 역사 내 환승 보행시간, 철도 역사와 주변 대중교통 환승지점까지 이동시간, 배차간격과 연계된 대기시간 등 영향을 파악할 수 있는 분석 기틀 마련



<Fig. 2> Definition of the Stage in Trip Chain

2. 통합 모빌리티 분석 개념 및 모듈 구성

통합 모빌리티 분석 과정은 <Fig. 3>과 같이 1단계: 자료기반 Data Repository 생성 모듈, 2단계: 통합 모빌리티 분석 모듈, 3단계: 공간 정보를 융합한 결과 해석 모듈로 구성된다. 철도 역사의 토지이용계획 등 입지, 타 수단과의 환승 등 위상 관계, 해당 역사를 통과하는 철도 및 광역버스노선 등으로 인한 지리적 거리보다 체감하는 거리는 훨씬 가깝게 느껴지는 거점지역 효과 등이 함께 고려되어야 한다는 점을 근간으로 한 분석 체계이다.



<Fig. 3> Framework of Analyzing an Integrated Mobility at Station

1) 1단계: 자료 기반 Data Repository 생성 모듈

본 연구에서는 도시철도 역사를 중심으로 1) 분석 대상 역사가 최초 출발지인 통행, 2) 분석 대상 역사가 최종 도착지인 통행, 3) 분석 대상 역사에서 철도-버스 간 환승이 발생하는 통행, 4) 분석 대상 역사에서 철도-철도 간 환승이 발생하는 통행으로 정의한다. 본 단계에서는 안정적인 데이터 구축을 위해서 정형화되고 지속적으로 자료 수집이 가능한 교통카드자료를 활용하는 것을 기본으로 하였다. 일반적으로 제공되는 교통카드 자료는 개인 식별 자료를 암호화하여, 요금정산에 적합한 형태로 제시되고 있으나, 본 연구에서는 불필요한 자료는 제거하고 카드ID, 통행ID, 이용자유형, 승·하차 시간, 승·하차 정류장ID, 수단유형, 환승관련 정보 등 본 연구에서 Data Repository 구축에 필요한 정보만을 축약적으로 정리하였다 (<Fig. 4> 참조).

User Information		Trip Chain Information													Transfer Information												
CARDID	TSID	USERTYPE	TRIPCNT	RAILTRIP	BTIME1	BSTN1	ATIME1	ASTN1	MODETYPE	BTIME2	BSTN2	ATIME2	ASTN2	...	BSTNS	ATIMES	ASTNS	MODETYPE	BUSS1	PRES	MAINS1	MAINS2	POST5	BUSS2	FTIME		
HAABAEQJ	1	1	1	1	180940	2534	182851	2687	208													2534	2535	2536			
HAZVNVIC	2	6	1	1	51791	2539	54087	2534	208													2539	2534				
HAFTTQPHH	3	1	3	1	210442	2534	211270	2533	208	212415	8501282	214250	8501286									2534	2533	8501282			
HAQZQZS90	4	1	1	1	142110	2534	145017	2532	208													2534	2533	2532			
HAHMLV-FH	5	1	1	1	73801	2537	82119	2534	208												2536	2535	2534		81841		
HAJHBRHSH	6	1	1	1	209159	2534	21541	2515	208													2534	2533	2532			
HAJHOM42X	7	1	2	1	185849	2534	195645	1854	208	195892	4100610	200512	4100589									2534	2535	2536	4100610		
HAJH4EPO8	8	1	1	1	80944	2625	89006	2534	208												2532	2533	2534		82607		
HAJH4EPO9	9	1	1	1	232404	2534	234128	2625	208													2534	2533	2532			
HAJH2EFTVIC	10	1	1	1	172111	329	175415	2534	201												219	2535	2534		175053		
HAJH6ERR45Q	11	1	1	1	143105	2626	146618	2534	208													2532	2533	2534		144247	
HAJH5N1VRC	12	1	1	1	140701	1809	172025	2534	202													2532	2533	2534		170888	
HAJH5N1VRC	13	1	1	1	172052	2534	182501	1809	208														2534	2533	2532		
HAJH19D2H	14	1	2	1	182238	2539	173610	2534	208	171453	9011469	173259	9007405								2536	2535	2534		9011469		
HAJH20M41H	15	1	2	1	182108	2534	195458	414	208	200058	7749	201438	79591									2534	2535	2536	7749		
HAJH20M41H	16	6	2	1	134314	2534	140945	2521	208	141345	9003522	142428	7593									2534	2533	2532	9003522		
HAJHGL9578	17	1	1	1	184239	2534	191828	2703	208														2534	2535	2536		
HAJH8FCATN1	18	1	1	1	72203	2542	74140	2534	208													2536	2535	2534		78826	
HAJHVKM1VU9	19	1	5	5	94701	2534	103417	2534	208	104543	8002327	105211	9000418	-	2534	123612	2554	208	9036637			2534	2535	2536			
HAJHWO4D112	20	1	5	5	101652	410960	110906	4103285	500	112716	493	115729	152	-	2534	140944	1456	208	8729			2534	2535	2536			
HAJHUR4KN1B3	21	1	5	5	152817	4113454	153222	4113452	500	159733	2549	161008	2534	-	2534	175453	2550	208	8000365			2534	2535	2536			

(Fig. 4) Structure of Data Repository

4대 통행 유형 중 1~3 유형은 교통카드 자료에서 직접 추출된 관측 자료이며, 유형 4 (분석 대상 역사에서 철도-철도 간 환승 발생 통행)는 철도를 이용한 통행의 최적 경로를 추정하여 구축한 자료이다. 최적 경로의 추정은 두 철도역 간의 여러 경로에 대해서 이동거리가 최소가 되는 경로를 선택하였으며, 이동거리에는 실제 철도탑승거리와 환승에 따른 평균 접근(대기) 시간이 고려되었다.)

2) 2단계: 통합 모빌리티 분석 모듈

① 통행 유형 기반 분석

차량 중심의 도로 시설물과 달리, 도시철도 역사는 통행자가 탑승하는 대중교통 운행 스케줄에 따라 침두 시간 내에서도 혼잡과 간헐적 소강상태가 반복되는 특성을 가지며, 도시철도 역사별로 침두시간대 (5~10분 단위 기준), 혼잡 수준, 혼잡 지속시간 등이 매우 다양하게 나타난다.

해당 모듈은 기본적인 철도 역사의 유형 및 차이점을 분석하는 데 그 목적이 있으며, 철도 역사별 4대 통행 유형을 기반으로 이용객수, 통행 유형 구성 (분포), 각 철도 역사에서 환승으로 연결되는 버스노선 유형 구성, 시간대별 통행량 분석 및 패턴 분석 등이 포함된다.

② 주요거점 기반 분석

분석 대상 역사와 지리적 거리와 상관없이, 철도 및 광역버스노선 등 정시성을 가진 급행 대중교통 노선으로 연결된 지역 간의 상관관계가 높다는 사실은 도시 및 교통학에 근거하여 널리 알려진 사실이다. 주요거점 분석은 분석 대상 역사를 경유하는 통행의 최초 출발지, 최종 도착지 분석, 대상 역사를 최초 출발지, 최종 도착지로 하는 통행에 대한 관련지역 분석을 포함한다.

이러한 분석을 통해서, 복합환승센터의 입지 선정에 있어 수도권 전체 혹은 전국적으로 효율적인 교통시설 재원 활용이 가능한 최적의 입지를 선정할 수 있으며, 관련 노선 등의 조정으로 영향을 미칠 수 있는 지역과의 긴밀한 협조체계 구상이 가능하다는 점이 본 모듈의 핵심적 활용 목적이다.

③ 이동 단계 기반 분석

이동 단계 분석은 통행 전체를 프로파일링 한다는 점에서 통행 사슬과 차별화되며, 역사별로 이동 단계

- 1) 철도 내 최적경로 추정은 하나의 연구주제로서 다양한 방법론이 있을 수 있겠지만 본 연구에서는 추정방법을 단순화하였으며, 4장의 사례분석에 활용된 자료는 서울교통공사의 역사별 평균 환승통행량을 활용하여 통계적 유의성 검토하고 통계적으로 유의미함이 도출되어 1~3유형의 관측치와 함께 분석에 활용

분석, 해당 역사의 이동 단계별 통행시간 분석, 이동 단계 기반 역사유형 분류, 공간 정보와 서브 이동 단계 간 교차분석 등으로 구성된다. 또한, 이동 단계 분석 결과를 대상 역사별로 종합하여 단일화된 수치를 도출하고 이를 바탕으로, 도시철도 역사 시설 투자, 정비 및 관련 노선 조정 등 의사결정을 위한 지표 제시가 본 분석 모듈의 궁극적인 목표이다. 본 모듈은 이동 전주기에 있어 가장 문제가 될 만한 요소를 객관적이고 과학적인 방법으로 추출하고, 이에 따른 문제해결 방법을 도출하는데 핵심적인 역할을 할 것으로 예상된다.

3) 3단계: 공간 정보를 융합한 결과해석 모듈

공간 정보를 융합한 결과해석 모듈은 ① 철도 역사 유형화, ② 도시의 구조적 연관성 해석, 그리고 ③ 이동·환승 편의성 연계요인 해석으로 구성이 된다. 각각은 2단계에서 분석된 통행 유형, 주요거점, 이동 단계 기반 분석 결과를 기초로 하였으며, 이를 토지이용 특성 및 지역적 특성을 포함하는 공간 정보를 활용하여 도시 및 대중교통계획, 운영 효율화 측면에서 결과를 해석하는 모듈이다.

IV. 환승역사 통합 모빌리티 사례 분석

1. 분석 대상 역사 및 자료

본 연구에서 선정한 분석 대상 역사는 대표적인 철도 환승역이면서 광역버스 거점역사로 5개역 (강남, 잠실, 교대, 사당, 신도림)을 선정하였으며, 철도 환승역은 아니지만 주요 광역버스 거점역사인 광화문역, 개발계획이 활발히 진행 중인 강남권 광역복합센터에 물리적으로 직접 연결되는 삼성역을 포함한 총 7개 역을 분석대상으로 선정하였다. 분석 대상 역사의 일반 현황은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Description of the Target Stations

Name	Gangnam	Jamsil	Seoul Nat'l Univ. of Education	Sadang	Sindorim	Samseong	Gwanghwamoon	
Rail Route	line 2, <u>Shinbundang line</u>	line 2, line 8	line 2, line 3	line 2, line 4	line 1, line 2	line 2	line 5	
Bus Type	(No. of lines) Red Bus(78) Airport Bus(7) Blue Bus(41) Green Bus(20) Maeul Bus(16)	Red Bus(44) Airport Bus(5) Blue Bus(12) Green Bus(43) Maeul Bus(3)	Red Bus(80) Airport Bus(7) Blue Bus(39) Green Bus(16) Maeul Bus(14)	Red Bus(17) Airport Bus(3) Blue Bus(12) Green Bus(17) Maeul Bus(18)	Red Bus(8) Airport Bus(3) Blue Bus(23) Green Bus(52) Maeul Bus(17)	Red Bus(13) Airport Bus(6) Blue Bus(23) Green Bus(25) Maeul Bus(6)	Red Bus(59) Airport Bus(8) Blue Bus(71) Green Bus(17) Maeul Bus(8) Yellow Bus(4)	
	Total lines	162	107	156	67	103	73	167
	Rank #1 by Trips	Red Bus	Green Bus	Maeul Bus	Red Bus	Maeul Bus	Maeul Bus	Blue Bus
Trips* per day	280,677	259,736	237,021	299,468	402,085	120,921	83,849	

* including a throughput

2016년 11월 1일 화요일 수도권 전체 통행을 포함하는 교통카드 자료를 활용하여, 본 연구의 목적에 맞도록 표준화된 Data Repository를 구축하였다 (<Fig. 4> 참조). 또한, 공간적 분석을 포함하기 위해 대상 역사 주변의 토지이용 공간 정보 자료를 구축하였다. Data Repository에 구축된 이용자 자료는 서울교통공사의 공식 통계자료와 비교·분석하여 통계적 차이가 없음을 검증하였다.

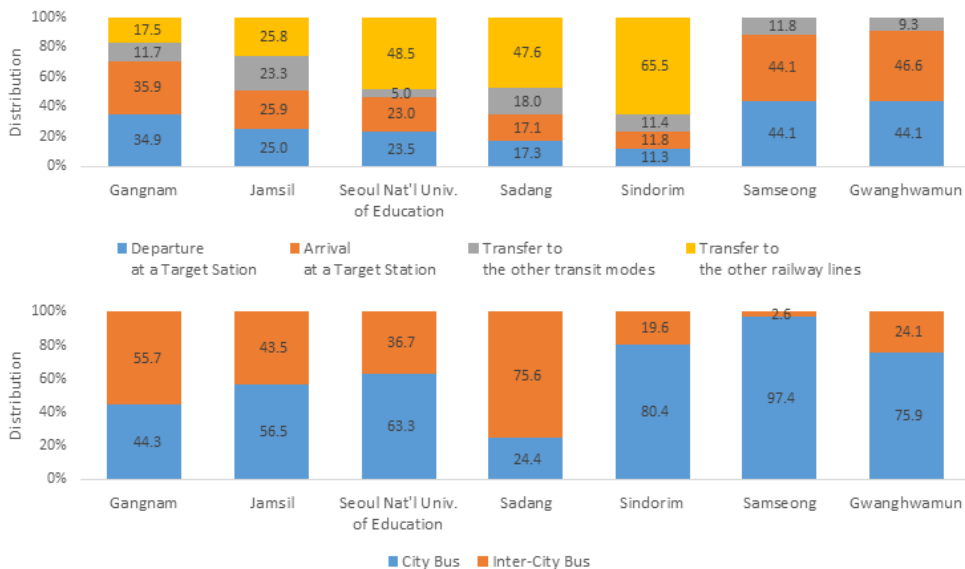
<Table 1>에서 보는 바와 같이, 수도권 도시철도 노선 중 가장 오랜 운영기간을 가진 1, 2호선이 환승하는 신도림역의 이용객수가 가장 많고, 2호선과 판교·분당지역을 잇는 신분당선과 대부분의 광역버스노선이 통과하는 강남역, 다양한 광역버스 노선 및 2, 4호선이 환승하는 사당역 순으로 이용객 수가 높게 나타났다.

2. 모듈별 분석

1) 통행 유형 기반 분석

<Fig. 5>의 분석 결과를 보면, 철도노선 환승이 없는 삼성역과 광화문역의 경우, 수단간 (버스-철도) 환승 통행은 각각 11.8%와 9.3%으로 10% 내외로 나타났으며, 도시철도를 이용한 출발 및 도착 통행은 유사한 수준으로 나타났다. 삼성역과 광화문역의 버스 환승통행을 상세하게 살펴보면, 삼성역은 광역버스(2.6%)에 비해 지·간선 버스(97.4%)가 상대적으로 높게 나타나며, 광화문역의 경우는 광역버스 비중이 삼성역에 비해 높은 24.1% 수준으로 분석되었다. 이러한 수치적인 차이는 주요거점 기반 분석 모듈 및 공간 정보 등 융합을 통해, 어떠한 지역적 특성과 높은 상관관계가 있는지 원인 해석이 가능하며, 환승역사 통합 모빌리티 분석 연구 체계가 가지는 가장 큰 장점이자 특징이다.

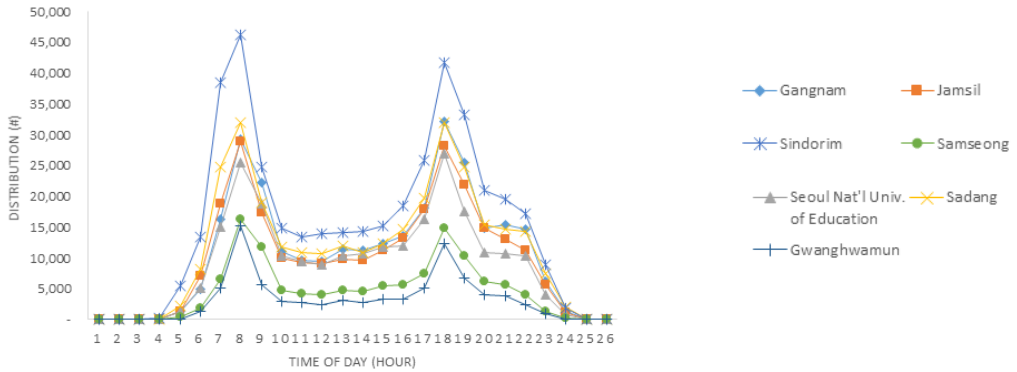
철도노선 환승이 가능한 나머지 5개 철도 역사를 살펴보면, 신도림역은 철도간 환승통행이 전체 65.5%로 가장 높은 비중을 차지하며, 강남역은 환승통행 비율보다 출발 및 도착통행 비율이 약 70% 수준으로 타 환승역사에 비해 높은 비율을 차지한다. 수단간 (철도-버스) 환승통행에 대한 상세 분석에 따르면, 신도림역은 대략 20%가 광역버스와 철도간 환승이며, 지·간선 버스와 환승은 80% 수준으로 나타난다. 광역버스와 철도 노선간 환승 비중이 사당역 (75.6%), 강남역 (55.7%), 잠실역 (43.4%), 교대역 (36.7%) 순으로 나타났으며, 이러한 결과는 상기 제시되었던 철도노선간 환승이 없는 경우와는 확연히 차이가 나는 결과이다. 철도 역사별 전체 이용자 수를 기준으로 할 때, 강남역, 신도림역, 사당역, 잠실역, 교대역 등 철도노선간 환승이 가능한 역사의 이용자 수가 현저히 높기 때문에 수치적 차이는 훨씬 크다.



(a) Travel Type Distribution (Up) (b) Bus Type Distribution within Transfer Trips (Bottom)

<Fig. 5> Travel Types, Patterns and Statistics at Station

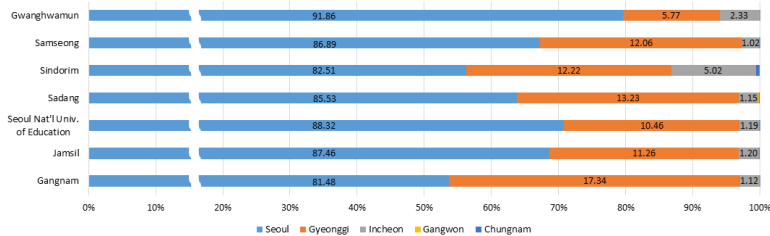
분석 대상 역사에 대한 시간대별 통행량 분석을 그래프로 살펴보면 (<Fig. 6> 참조), 대부분의 철도 역사는 오전, 오후 2번의 첨두시간이 있으며, 기본적인 1일 통행 패턴이 나타난다. 보다 상세하게 살펴보면, 강남역, 사당역의 경우, 오후 첨두시간 이후 2차 첨두시간이 존재하며, 삼성역과 광화문역은 해당 역사를 최초 출발지 혹은 최종 도착지로 하는 패턴이 두드러지게 나타난다. 이는 삼성역과 광화문역의 토지이용 특성이 업무 지역 기반이며, 환승통행 비중과 절대적인 환승통행량이 현저히 낮기 때문에 나타나는 특징으로 보인다.



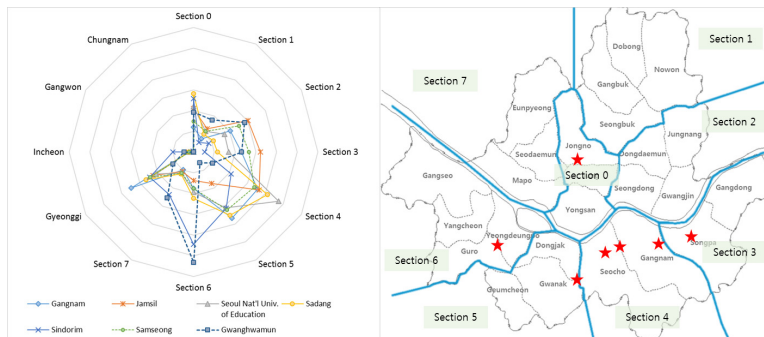
<Fig. 6> Temporal Distribution of the Travel Patterns at Stations

2) 주요거점 기반 분석

주요거점 분석은 각 대상 역사에서 지리적 거리와 상관없이 체감하는 거리가 현저히 가까운 경우, 도시구조 및 대중교통 노선 체계 등 유기적인 연관관계가 발생하며, 이로 인한 합리적인 계획, 정책이 요구된다. 본 연구에서 제시하고 있는 2가지 환승유형을 포함하고 있는 통행 유형을 중심으로 이러한 분석의 근간을 마련하고 있다.



(a) Distribution of the Spatial Relationship by Departure- and Arrival- Trips at Station



(b) Comparison of the Spatial Relationship by District (Section)

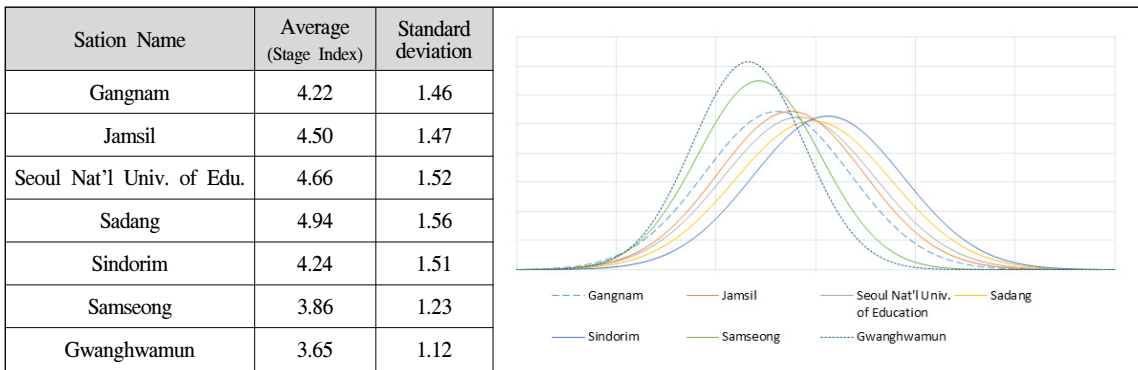
<Fig. 7> Spatial Relationship between Station and its attractive district

분석 대상 역사 모두 서울시에 위치하고 있기 때문에, 전체 80~90% 통행의 최초 및 최종 출발지는 서울시 내부에 존재하며, 거점지역 특성을 그림으로 도식화하기 위해서 수도권 광역버스의 권역별 노선번호체계를 기준으로 정리하였다. 강남, 신도림, 사당, 삼성역은 경기도 지역으로의 통행비율이 타 철도 역사에 비해 높게 나타났으며, 특히 신도림은 인천 출·도착 통행의 관문으로 분석되었다. 광화문은 인천 통행이 타 역사에 비해 높지만, 대부분 통행이 서울 내에서 발생하는 것으로 분석된다. 분석 대상 역사의 지리적 위치에 따라 서울의 권역별 통행 및 경기 남·북부 지역 등 주로 담당하는 통행이 세분화된다. (<Fig. 7> 참조).

3) 이동 단계 기반 분석

분석대상철도 역사별로 이동 단계 분석을 수행하였으며, 이를 기반으로 역사별 평균 이동 단계를 <Table 2>와 같이 수치화 하였다. Stage Index는 해당 역사를 이용하는 통행자의 통행사슬 자료를 분석하여, 도보를 포함한 총 이동 단계를 수치화한 결과이다. 예를 들어, 단일 수단(도보-철도-도보) 으로 이동하였을 경우, Stage Index는 3으로 산정되며, 환승 통행이 포함되면, 환승 수단과 도보를 추가하여 Stage Index는 5이다. 철도노선간 환승이 가능한 역사의 경우, 평균 4 이상으로 나타나고 있으며, 신도림역이 5.24, 사당역이 4.94, 교대역이 4.66, 잠실역이 4.50, 강남역이 4.22 순으로 분석되었다. 반면, 철도노선간 환승 없이 업무지역과 직접 연결되는 삼성역과 광화문역은 각각 3.86와 3.65로 상대적으로 낮은 이동 단계 수치가 도출되었다. 간단히 설명하자면, 신도림역 (5.24)은 최초 출발지 혹은 최종 도착지가 아닌 환승 역사의 기능이 특화되어 있어, 통행자가 평균 1회 이상 환승하는 것으로 나타났다.

<Table 2> Stage Statistics by Stations

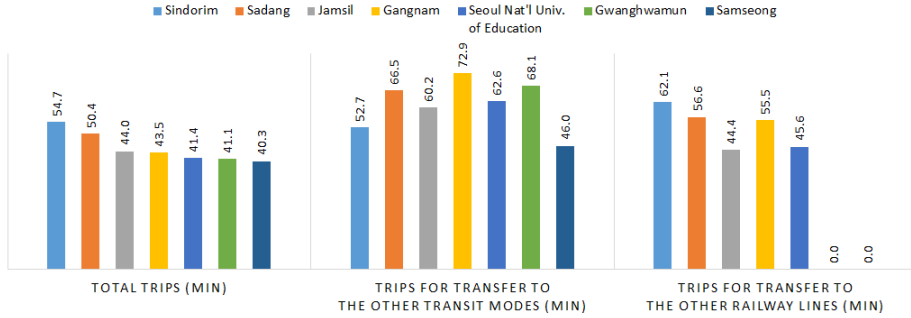


분석 대상 철도 역사를 이용하는 통행자의 총 통행시간, 환승통행시간을 평균치로 도출하였다 (<Fig. 8>). 삼성역과 광화문역을 거치는 통행자의 총 통행시간은 철도노선간 환승이 가능한 환승역에 비해 짧게 나타났으며, 수단간 (버스-철도) 환승을 포함하는 환승통행시간이 상대적으로 높게 나타났으나 이러한 통행자의 비중이 크지 않아 전체 평균통행시간에 미치는 영향은 미미했다.

또한, 삼성역과 광화문역의 수단간 환승통행시간을 비교하면, 수단간 환승시 지·간선버스 환승 비중이 높은 삼성역의 통행시간이 광역버스 환승 비중이 높은 광화문에 비해 현저히 낮은 것으로 나타났다. 이러한 경향성은 광역버스와 환승 비중이 높은 환승역사에서도 동일하게 나타났으며, 강남역, 사당역, 교대역이 그 특징을 뚜렷하게 보인다. 반면, 철도노선간 환승비율이 높은 신도림역의 경우, 철도간 환승통행을 포함하는 평균통행시간이 현저히 높은 것으로 나타났다.

이러한 분석 결과는 도시의 구조적 연관성 측면의 해석에 논리성을 부여하는 것으로, 실제 체감 거리 측

면에서, 강남역, 광화문역, 사당역의 수단간 환승통행 유형이 지리적으로 가장 먼 거점까지를 커버할 수 있는 경향을 가지는 것으로 유추할 수 있으며, 주요거점 분석의 <Fig. 7>을 통해 논리적 설명이 가능하다. 이는 공간 정보를 융합한 결과 해석 모듈에서 보다 구체화 하여 제시하고자 한다.



<Fig. 8> Statistics of the average travel time

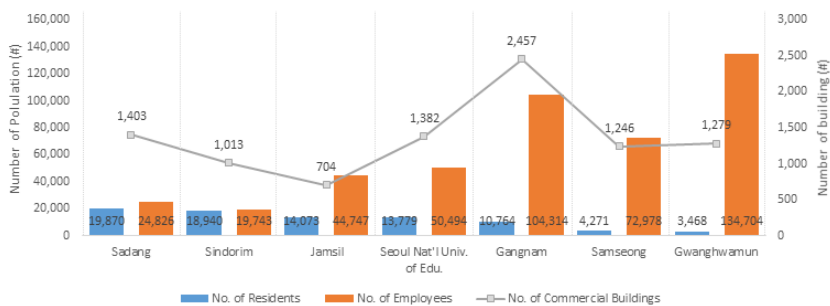
3. 공간 정보를 융합한 결과 해석 모듈

1) 철도 역사 유형화

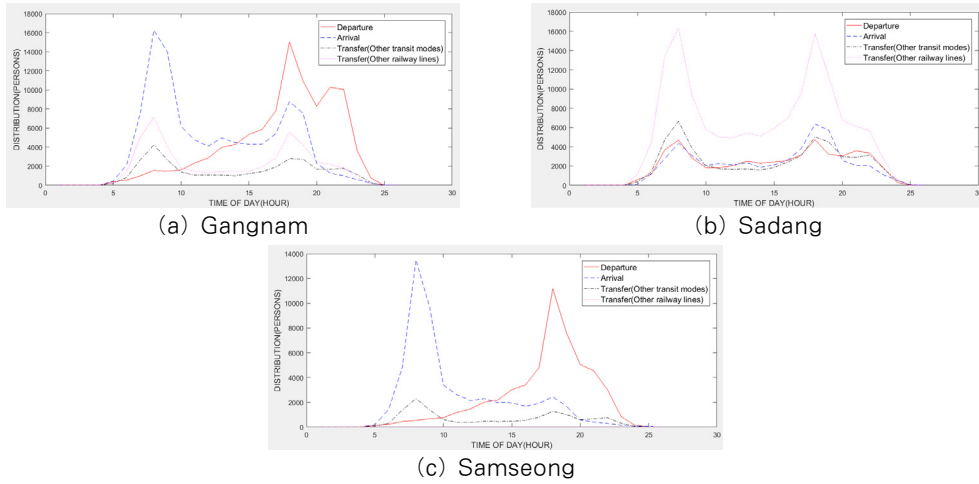
분석 대상 역사의 공간 유형을 구분하기 위해, 소상공인시장진흥공단 상권정보시스템을 활용하였으며, 주요 역사 기준 반경 500m를 조사 대상으로 하였다. 토지이용 특성은 주거지, 상업지, 업무지역 등을 반영할 수 있는 가구수, 주거인구수, 직장인구수, 상가/업소수 등 통계치를 분석하여 도출하였다.

주거인구 기준은 사당역, 신도림역이 다른 분석 대상 역사에 비해 현저히 높으며, 직장인구수 기준으로 광화문역, 강남역, 삼성역 순으로 나타났다. 상가 및 업소수 기준으로는 강남역이 압도적으로 높게 나타났으며, 사당역, 교대역, 삼성역, 광화문역이 강남역의 절반 수준으로 도출되었다 (<Fig. 9> 참조).

주요 역사에 대한 통행 유형별 시간대별 통행 프로파일을 살펴보면, 강남역, 교대역, 잠실역은 4대 통행 유형에 따라 오전, 오후 침두 시간이 뚜렷하게 나타나며, 출발통행 기준으로 1차 오후 침두시간 보다 낮은 수준의 2차 오후 침두시간이 나타난다. 사당역과 신도림역은 출발, 도착, 환승통행 등 4대 통행에 있어 오전, 오후 침두 패턴이 뚜렷하게 나타나며, 삼성역과 광화문역은 출발, 도착 통행에 있어 오전, 오후 침두 패턴이 뚜렷하게 나타나며, 전체 통행량에 비해 환승통행의 영향은 미미한 수준으로 나타나고 있다 (<Fig. 10> 참조).



<Fig. 9> Characteristics of the Land Use at Station Area (r=500m)



<Fig. 10> Examples of Travel Distribution by Time of Day

앞서 언급된 자료 기반 1차 분석 결과를 바탕으로, 사후분석 (Post-hoc test)을 통해 제시된 3개의 그룹에 대한 집단 간 평균이 유의한 차이 있는 것으로 분석되었다 (<Table 3> 참조). 분석 결과, 1그룹은 강남역, 교대역, 잠실역; 2그룹은 사당역, 신도림역, 3그룹은 삼성역, 광화문역으로 구분된다. 토지이용 특성 및 시간대별 통행 등에 따른 특성을 자료기반으로 구분 및 유형화하는 것이 가능하며, 논리적인 수준에서 현상 설명력이 높다. <Table 3>를 보다 자세히 보면, 토지이용 특성에 있어 복합기능이 포함되는 사당역과 삼성역이 2그룹에 속할 수 있는 가능성도 있는 것으로 나타났다. 이는 우리나라, 특히 수도권의 토지이용 특성이 단일 특성으로 나타나지 않고, 복합특성으로 나타나는 경향이 높기 때문에 생길 수 있는 부분이며, 수도권 전체 철도 역사의 통합 모빌리티 분석이 수행되면 복합적 기능을 포함하는 다양한 유형 구분이 가능할 것으로 판단된다.

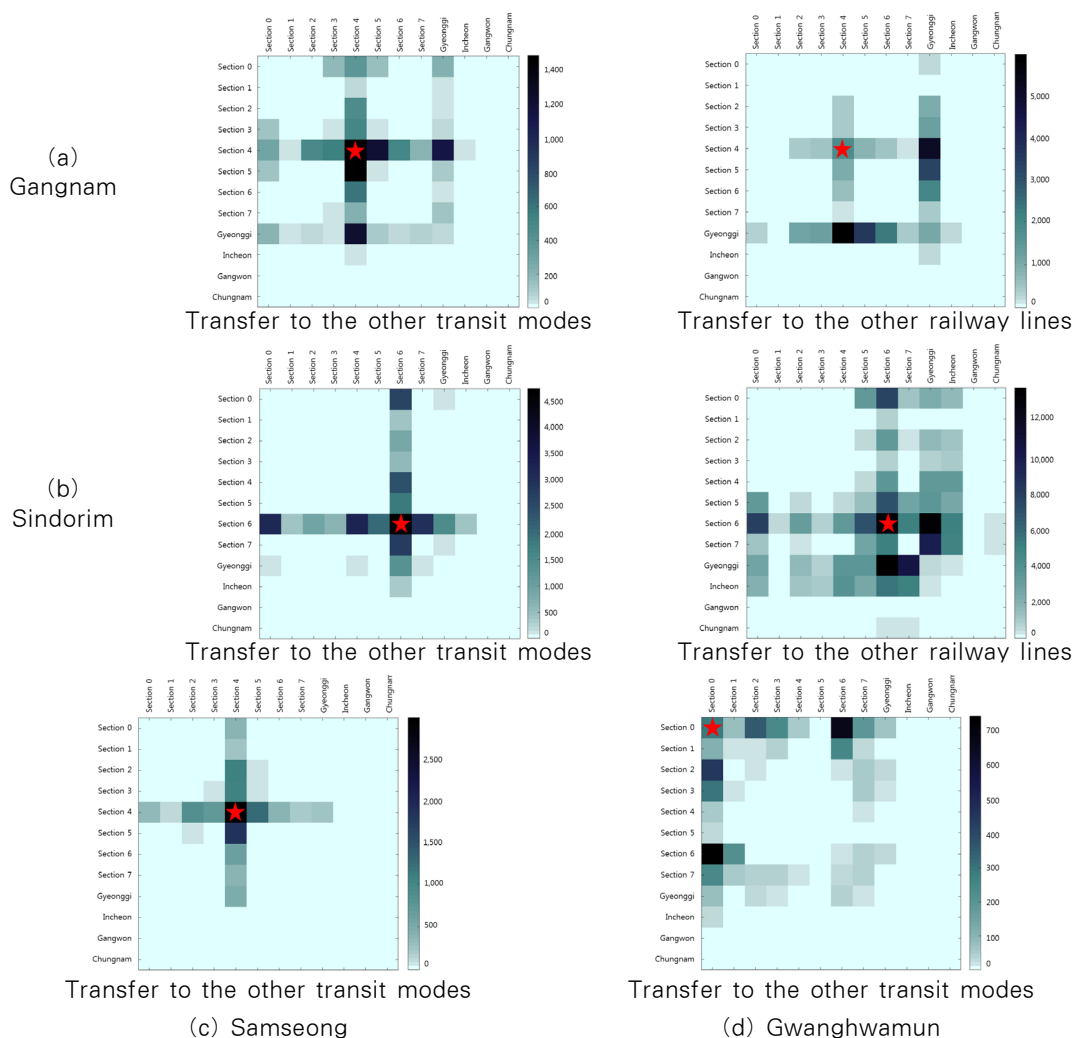
<Table 3> Analysis of ANOVA Test

ANOVA test						
Types of Trip	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Sig.	
Departure trip	44.899	6	7.483	3.098	.007	
Arrival trip	48.448	6	8.075	2.298	.038	
Post-hoc test ²⁾						
Name	Departure trip at a target station			Arrival trip at a target station		
	1	2	3	1	2	3
Sindorim	0.5356			0.5356		
Sadang	0.7778	0.7778		0.7778	0.7778	
Seoul Nat'l Univ. of Edu.	1.0481	1.0481	1.0481	1.0481	1.0481	1.0481
Jamsil	1.1769	1.1769	1.1769	1.1769	1.1769	1.1769
Gangnam	1.6315	1.6315	1.6315	1.6315	1.6315	1.6315
Samseong		2.0040	2.0040		2.0040	2.0040
Gwanghwamun			2.1164			2.1164
F-value	0.086	0.053	0.094	0.086	0.053	0.094

2) 사후분석 (Post-hoc Test): 세 개 이상의 집단 간 차이를 검정하기 위한 ANOVA test (F-test) 결과가 집단 간 유의한 차이를 보이는 것으로 나타난 경우, 어느 집단 간 평균이 유의한 차이가 있는지 검정하는 추가 분석 과정

2) 도시의 구조적 연관성 해석

2단계 거점분석 결과와 지역 구조적 측면의 상관관계를 중심으로 보면 (<Fig. 11> 참조), 강남역에서 수단 간 환승은 비교적 고른 분포를 보이는데, 강남역 주변은 상업·업무지역으로 복합적 토지이용 특성을 지니고 있기 때문에, 이를 연결해 줄 수 있는 다양한 광역버스노선 등의 유인요인으로 인해 나타나는 것으로 분석된다. 이에 반해, 강남역의 철도간 환승은 신분당선 환승으로 국한되어 있으며, 경기도 분당 일대와 명확한 연관성을 보인다. 신도림역의 경우, 수단간 환승보다는 철도간 환승 측면에서 보다 뚜렷한 특징을 가지며, 이는 신도림역 환승을 노선으로 구분하자면 1호선과 2호선 간의 환승이지만, 실제 1호선이 크게는 인천 방향, 천안 방향, 그리고 세부 지선들을 포함하며, 완·급행 노선이 공존하는 역사로, 지역간 연관성은 보다 넓게 나타난다는 특징이 있다. 실질적으로 동일 체감을 기준으로 지리적 커버리지가 가장 큰 사례로 판단된다.



<Fig. 11> Urban Structural Linkage based on Sub-Integrated Mobility

앞서 2단계 개별 모듈 분석을 통해서 언급되었던, 삼성역과 광화문역은 업무지역으로 특화된 지역이며,

수단간 환승에 있어서 광역버스 환승 비중의 차이가 크게 나타났다. 도시 구조적 분석에 의하면, 삼성역은 강남지역에 기반을 두고 간결하고 명확한 교차형 패턴을 보이는데 비해, 광화문역은 지역간 통행 패턴이 비교적 넓게 분포되어 있다는 특성이 나타난다. 이는 단순히 도시·교통 계획, 운영 측면에서 지역간 연계에 근거한 합리적 분석이 가능하다는 측면뿐만 아니라, 부동산 정책 등 경제·사회적 전반적인 분야에 활용이 가능한 설명력을 가진다. 또한, 대중교통중심개발(TOD: Transit- Oriented Development)에 대한 다양한 연구 [Park et al. (2017), Higgins et al. (2016)]를 위한 직관적인 설명 및 분석 결과를 제시할 수 있다는 점에서 그 활용성을 높이 평가할 만하다. 구체적으로, 삼성역 부근 강남권 광역환승센터, 사당역 주변 복합환승센터, 서울역 등 다양한 복합환승역사에 대한 개발 계획 및 설계, 운영을 위한 평가 지표로 활용이 가능하다.

3) 이동·환승 편의성 연계 요인 해석

본 단계에서는 1단계에서 구축된 Data Repository와 2단계 분석 결과를 활용하여, 이동·환승 편의성과 연관된 요인을 해석하고 Missing Data의 수집 및 해석에 대한 연구의 당위성에 대해 논하고자 한다. 특히, 본 연구결과는 제시된 철도 역사 유형별로 이동·환승 편의성 연계요인 항목과 그 가중치가 달리 나타날 수 있다는 점을 논증하고 있다.

철도 역사 그룹핑 결과, 1그룹: 강남역, 교대역, 잠실역; 2그룹: 사당역, 신도림역; 3그룹: 삼성역, 광화문역으로 제시되었다. 해당 그룹 유형별 이동·환승 측면의 차이점을 살펴보면, 1그룹 (강남역, 교대역, 잠실역)의 경우, 타 수단과의 환승·연계 통행 비중이 높으며, 이로 인한 이용자 편의성 측면의 고려 요소는 승강장에서부터 타 수단 연계에 따른 정보 제공 및 효율적인 보행동선 관리이다. 반면에, 2그룹 (사당역, 신도림역)의 경우, 철도노선간 환승비율이 높으며, 이로 인해 철도 역사 내부의 보행동선 관리가 중요하고, 많은 비중의 통행이 승강장간 이루어지기 때문에, 공간이용 측면에서 철도 역사 내 하부 층에 집중되는 경향성이 있다. 이는 비상상황 발생시 대응하기 위한 전략 및 대피 경로 확보 등의 항목이 고려되어야 한다. 이는 1, 3그룹의 철도 역사 이용자 다수가 경험적인 측면에서 출구방향 이동경로에 대한 인지가 높은 반면, 2그룹의 이용자는 그렇지 못한 이용자 비중이 높다는 점에서 논리적 추론을 뒷받침한다. 마지막으로 3그룹(삼성역, 광화문역)의 경우, 환승의 비중이 상대적으로 낮으며, 주변 업무지역을 기준으로 최초 출발, 최종 도착의 통행 형태가 주를 이루고 있기 때문에 토지이용 특성 및 출입구별 통행량 (공간 이용·점유 측면)에 근거한 시설의 제원 확보가 필요하다.

철도 역사 유형별 편의성 요인 해석에 따른 공통적인 부분은 철도 역사의 실측 자료 기반의 동선 분석과 시설별 공간 이용 및 점유 프로파일링 분석을 위한 실측 자료가 필요할 것으로 판단된다. 흔히 활용하고 있는 기존의 논리적 근거에 따른 규범적 모형과 분석은 이용자의 잠재의식으로부터 결정되는 행태 분석과는 다른 결과를 도출할 가능성이 높으며, 규범적 모형에서 이상치로 간주되는 행태들이 실제 시설물 이용 및 공간 활용에 있어, 사소한 시설 설계 및 배치로 인한 문제인지 여부가 판단되고 이로 인한 보다 간단한 해결책이 도출될 수 있는 가능성이 높다는 점에서 Missing Data의 수집 및 해석에 대한 연구가 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 통합 모빌리티 분석을 위한 기초 연구로, 통합 모빌리티 분석을 위한 시스템의 개념 및 평가 기법을 체계화하였다. 기존 통행자 분석 연구를 살펴보면, **복합환승역사**와 이를 이용하는 **이용자 관점에서 편의성**을 평가하는 연구는 미비하였으며, 이를 자료 기반의 과학적이고 객관화된 절차로 구성하였다는 점에서

본 연구의 의의를 가진다. 또한, 실제 수도권 7개 역사를 대상으로 하여 현황 및 Data Repository의 자료 기반으로 단계별 분석 모듈에 대한 결과분석 및 공간 정보를 연계한 결과해석을 제시하였다. 분석 결과, 철도(환승)역사는 토지이용 특성, 통과 서비스 노선으로 인한 연계·거점지역 등 공간 정보와 연계한 통행특성을 유형화할 수 있으며, 본 연구에서는 통계적으로 유의한 3개의 그룹으로 도출되었다. 이는 1) 타 수단간 환승 비중이 높은 역사, 2) 철도 수단간 환승 비중이 높은 역사, 3) 통행 발생·유입량 자체가 높은 지역에 위치한 역사로 구분된다. 이러한 결과는 철도 역사가 속한 그룹에 따라 통행패턴 우선순위를 고려하여 동선 체계 및 이동 시설물 설계·운영 유지관리 기준을 제시할 수 있다. 또한, 신규 역사 및 역사 확장시, 주변 철도 역사 유형을 고려하여, 기능적 측면에서 중복을 피하고, 이용자의 통합 모빌리티 측면에서 상호·보완적 역할을 통해 시스템 효율을 높일 수 있는 지표가 될 수 있다.

삼성역의 경우, 2023년 준공을 목표 계획된 강남권 광역복합센터와 지리적으로 맞닿아 있으며, 본 연구에서 제시된 現, 이동 단계 수치 3.86에서 사당역 등과 같은 수준으로 상승할 것으로 예상된다. 본 연구에서 제시된 철도 역사 기반의 분석기법을 활용하여, 강남역, 잠실역 등 주변 역사와 기능적 조화를 이룰 수 있는 고유 기능을 부여할 수 있으며, 노선 재조정 및 신설을 통한 거점지역과의 연계성을 보다 효율적인 방식으로 제안할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 주요거점 기반 분석을 통해 주요거점 내 부족한 토지이용특성과 복합환승역사 주변의 다양한 기능을 접목시킬 수 있으며, 이는 도시 지구 단위 통합운영을 위한 객관적인 자료 기반 평가 기법을 제공한다는데 큰 의의가 있다.

향후 연구에서는 본 연구에서 제시된 평가 기법을 활용하여 수도권 전체 철도 역사를 기반으로 한 통합 모빌리티 분석과 지표 개발 연구를 수행하고, 분석 결과의 신뢰성 향상 및 객관화된 해석을 위한 연구의 고도화를 진행할 예정이다. 또한, 센서 및 영상 기반의 철도 역사 내 보행동선 솔루션 분석 결과를 활용하여 Data Repository의 내용 및 기능적 구성을 추가하여 보다 정밀한 분석 결과를 도출하고자 한다. 철도 역사 유형을 분류하고, 공생관계, 경쟁관계 등으로 좀더 상세한 연계성에 대한 해석이 가능할 것으로 판단되며, 말단 통행 (First- and Last Trip)에 대한 정보와 철도 역사별 보행 환승 (역사내 이동시간, 이동 경로, 이동 시설, 동선 중첩으로 인한 혼잡구간 등)에 대한 상세한 관측 자료가 확보된다면, 분석체계는 보다 정교화 될 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국철도기술연구원 R&D 연구 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Caramuta C., Collodel G., Giacomini C., Gruden C., Longo G. and Piccolotto P.(2017), “Survey of detection techniques, mathematical models and simulation software in pedestrian dynamics,” *Transportation Research Prcedia*, no. 25C, pp.551-567.
- Djavadian S. and Chow J. Y. J.(2017), “An agent-based day-to-day adjustment process for modeling ‘Mobility as a Service’ with a two-sided flexible transport market,” *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 104, pp.36-57.

- Higgins C. and Kanaroglou P.(2016), “A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region,” *Journal of Transport Geography*, vol. 52, pp.61-72.
- <http://citiscopes.org/story/2016/why-helsinki-innovative-demand-bus-service-failed>, accessed by July 4, 2017.
- Jeong E., You S., Lee J. and Kim K.(2017), “A Comprehensive Framework for Estimating Pedestrian OD matrix using Spatial Information Ingerated Smart Card Data,” *Proceeding in Journal of Korea Transportation Research Society*.
- Kim M. and Lee Y.(2017), “Analysis of User Demand Characteristics of Currently-established Night Bus in Seoul by Using Smart Card Data: Case Sutdy on Gangnam Station,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 16 no. 1, pp.101-116.
- Korea Railroad Research Institute(2016a), “Seminar: The Change and Preparation of Transportation System facing with the era of the 4th Industrial Revolution,” Aug-17-2016.
- Korea Railroad Research Institute(2016b), “Technical Development of Public Transportation Planning & Operation Efficiency”.
- Lee M. and Sohn J.(2016), “Estimating Transfer Trips in Seoul Metropolitan Urban Railway using Transportation Card,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 15 no. 6, pp.36-46.
- Lee M., Sohn J. and Cho C.(2016), “Constructing Transfer Data in Seoul Metropolitan Urban Railway Using Transportation Card,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 15, no. 4, pp.33-43.
- Lim S., Lee H. and Choo S.(2016), “Exploring the Relationship between Transfer Trips and Land Use,” *the Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 15, no. 2, pp.1-12.
- Lim Y., Kim H., Limanond T. and An S.(2013), “Passenger Transfer Time in the Seoul Metropolitan Intermodal System: Can Smart-Card Data Assist in Evaluating and Improving the Transit System?,” *ITE Journal*, July 2013.
- Olszewki P. and Wibowo S. S.(2005), “Using Equivalent Walking Distance to Assess Pedestrian Accessibility to Transit Stations in Singapore,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 1927, pp.38-45.
- Park Y.(2017), “A Study on the Characteristics of the Spatial Composition in the Regional Intermodal Transit Center of the Railroad Station Oriented-Concentrated on the Osaka-Station-City in Japan,” *the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, vol. 19, no. 2, pp.73-80.
- Tipakornkiat C., Limanond T. and Kim H.(2012), “Determining an influencing area affecting walking speed on footpath: A case study of a footpath in Bangkok, Thailand,” *Physica A*, vol. 391, pp.5453-5464.
- UCL Energy Institute(2015), “Feasibility Study for ‘Mobility as a Service’ Concept in London,”<https://www.ucl.ac.uk/bartlett/energy/case-studies/2015/jun/feasibility-study-mobility-service-concept-london>, accessed by July 4, 2017.