



통신량 빅데이터 활용성에 관한 연구: 의정부시 내·외부 활동 및 이동패턴과 도시철도망 연계성을 중심으로*

Usability of Mobile Phone Big data: Focusing on the Activity and Mobility Patterns and Urban Railway Network in the Uijeongbu City

이광섭** · 엄진기*** · 성명연**** · 유소영***** · 민재홍***** · 이준*****

Lee, Kwang-Sub · Eom, Jin Ki · Seong, Myeong-Eon · You, So Young · Min, Jae Hong · Lee, Jun

Abstract

Bigdata is quickly becoming a valuable data, and people are interested in an analysis using bigdata. The objectives of this paper are to analyze activity and mobility patterns focusing on Uijeongbu using a mobile phone bigdata, to assess the connectivity to the urban railway system, and to examine the usability of the data. We investigated activity and mobility patterns coming into and out of the city, and analyzed hourly mobility pairs between activity locations and homes. We found that outflow population (about 67%) is greater than incoming population (about 33%) in Uijeongbu, and major outside activity locations are Yangju, Pocheon, Nowon, Dobong, and Namyangju. From the inter-city mobility patterns, we presented the beneficial service areas of urban railway network from Uijeongbu, and evaluated accessibility and connectivity of the public transportation system using two evaluation criteria. Although mobile phone data have a few limitations, they are found to be exceptionally useful in the analysis of inter-regional activity and mobility patterns.

키 워 드 ■ 빅데이터, 통신량, 활동 및 이동패턴, 도시철도망

Keywords ■ Bigdata, Mobile phone data, Activity and mobility pattern, Urban railway network

I. 서 론

1. 연구의 배경

정보통신 기술의 발달로 빅데이터는 인터넷처럼 경제사회 전반에서 혁신을 주도하는 사회적 이슈가 되었고 효과적으로 이용할 경우 정부, 민간, 개인 모두에게 막대한 효용이 수반될 수 있어 활용가치가 매우 높다. 빅데이터는 데이터 자체를 축적하고

* 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

** Korea Railroad Research Institute

*** Korea Railroad Research Institute (Corresponding author: jkom00@krii.re.kr)

**** Korea Railroad Research Institute

***** Korea Railroad Research Institute

***** Korea Railroad Research Institute

***** Korea Railroad Research Institute

공유하던 개념에서 벗어나 현재는 빅데이터의 분석 및 예측이 더 중요하게 되었다(이석주 외, 2013). 빅데이터는 그 목적에 따라 여러 형태가 활용될 수 있으며, 그 중 교통계획분야에서 직접적으로 활용가능한 대표적인 빅데이터는 통신량자료, 대중교통카드자료, 내비게이션자료, 택시자료 등이 있다. 교통분야에서 대표적인 빅데이터 활용사례는 올빼미버스라고 알려진 서울시 심야버스 노선 정책지원사업이다(서울시, 2013). 심야시간대 택시 승차거부로 인한 불편, 심야 근로자의 교통수단 부재 및 교통비 부담 등을 개선하고 심야시간대 대중교통의 편의를 마련하기 위해 이동통신 회사 KT의 심야시간 통신량 자료를 활용하여 공공서비스 개선을 위해 수행되었다.

1980년대부터 건설되어 운영되고 있는 도시철도는 “시민의 발”이라는 명칭과 함께 많은 이용자들이 이용하고 있다. 1980년~1990년대 서울지하철 1기 노선을 시작으로 건설 및 운영된 지하철은 2000년대에 들어 경전철이 도입되면서 새로운 도시철도의 역사가 시작되었다. 하지만, 경전철은 구상 단계에서부터 많은 논란이 이어졌고, 실제 운영단계에서는 철도수요가 예측수요에 크게 못 미치면서 운영사의 재정악화를 부추기고 있다. 교통수요의 정확한 예측과 그 결과의 신뢰성은 그 사업의 성공여부를 좌우할 만큼 매우 중요한 요소이다. 우리나라는 전국단위 및 광역권 단위의 교통수요분석용 국가교통DB(KTDB) 기준점 OD(Origin-Destination)를 배포하고, 이를 기반으로 교통수요를 예측하고 있다. 그동안 교통수요예측 모형의 정확성 개선 및 실적자료에 기반한 추정계수의 보정 등을 통해 신뢰성을 많이 향상시켜 왔다. 하지만, 윤서연 외(2015)가 지적하였듯이 현재의 통행실태조사와 교통수요 모형 방법론만으로는 교통수요의 변화요인을 신속하게 파악하기 어려우며, 조사자료의 전수화 과정의 문제, 시간적 범위의 한정으로 인한 방향별

불균형 문제, 인간의 행태를 설명하는 모형 적용의 한계 등의 문제가 꾸준히 제기되어 왔다. 특히, 이석주 외(2013)와 윤서연 외(2015)는 기초 데이터와 수요 추정방법의 문제를 보완하기 위해 다양한 빅데이터를 활용하여 교통분야에 적용하는 연구가 활성화 될 필요성이 있다고 강조하였다.

2. 연구의 목적, 분석방법론 및 구성

통신량 관련 자료들은 이동통신회사들에 의해 오래전부터 수집 및 저장되어 왔다. 초기에는 단순히 통신료 고지서, 고객 관리 등의 목적을 위해 저장 관리되었고, 데이터 활용의 가치를 제대로 이해하지 못하였다. 하지만 데이터의 양이 커지면서 사회적으로 빅데이터 활용에 대한 가치와 관심이 증가해 왔다. 특히, 이동통신자료는 사람의 활동시간, 활동지역 및 부분적으로나마 이동행태를 파악할 수 있다는 측면에서 교통계획수립에 있어 많은 시사점을 줄 수 있다.

교통분야 연구는 대부분 인간과 사물의 이동을 연구하는 분야이며, 통신량 자료에는 시간대별 존재 인구 및 휴대폰 소지자의 유입지를 알 수 있다는 측면에서, 통신량 자료를 활용한 연구가 도시 및 교통계획 분야에 매우 유용한 자료가 될 수 있다. 특히, KTDB에서 배포하는 OD는 시/군/구 또는 읍/면/동 단위의 통행만을 제시하고 있으나, 통신량 자료는 집계구(전국 1개 행정동당 평균 25개의 집계구가 존재) 또는 50m~100m의 공간적 단위로 세분화가 가능하다. 또한, KTDB OD는 가구통행실태 조사의 3~5%의 샘플에 기초한 데이터인 반면, 통신량 자료는 유소년을 제외한 전국 대부분의 사람들이 핸드폰을 소지하고 있다는 점에서 샘플이 아닌 거의 전수화된 자료라는 점에서 보다 더 신뢰성 있는 실적자료이다.

하지만, 통신량 데이터는 그 수집 및 이용의 주 목적이 교통분야에의 활용이 아니며 개인정보보호 법 등을 이유로 개인별 이동행태는 알 수 없는 등 정보에 한계가 있다. 따라서 통신량 빅데이터를 교통 및 도시 분야 연구에 다양하게 활용하기 위해서는 현재 이용가능한 통신량 데이터의 수집과정, 데이터의 내용 및 구조, 자료의 한계 등을 명확히 이해하고 다양한 사례분석을 제시할 필요가 있다.

본 연구는 통신량 빅데이터를 활용하여 유동인구의 시간대별 활동 및 이동행태를 분석하고, 분석된 이동행태를 도시철도망과 비교분석함으로써 도시철도 분야의 통신량 빅데이터 활용가능성을 진단하고자 한다. 이를 위해 의정부시 사례를 중심으로 SK 텔레콤(SKT) 통신량 빅데이터를 이용하여 의정부 시민과 의정부시 내부로 유입되는 인구를 대상으로 의정부시 내·외부 활동 및 이동행태를 분석하였다. 의정부시를 기준으로 크게 3개의 통행행태(의정부 시민이 의정부시 외부로 이동, 의정부시 외 거주자가 의정부시 내부로 이동, 의정부 시민이 의정부시 내에서 활동)로 나누어 분석하였다. 또한, 의정부시 내·외의 활동중심지와 거주중심지간의 시간대별 이동패턴을 바탕으로, 의정부 경전철을 비롯한 의정부시 내·외를 연결하는 도시철도망의 부합성을 검토하였다.

의정부시의 지리적 특성상 의정부시 외부 이동은 대부분 서울시 및 경기도에 집중되므로, 본 연구의 공간적 범위는 의정부시를 중심으로 서울시와 경기도로 설정하였다. 분석에 활용된 통신량은 2016년 3월 18일(금) 1일 데이터이며, 특히 통신량 데이터는 시간대별로 수집이 가능하므로, 본 연구에서는 하루 24시간, 시간대별 활동 및 이동행태를 분석하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존연구를 고찰하고, 3장에서 통신량 데이터의 수집 및 가공에 대해 서술하고 데이터 구조를 설명한다. 4장에

서는 의정부를 중심으로 내·외부 활동 및 이동패턴을 분석하고 도시철도망과의 관계를 검토한다. 마지막으로, 본 연구의 결과를 요약하며 통신량 빅데이터 활용 가능성을 진단하고 연구의 한계에 대해 논의한다.

II. 기존연구 고찰

교통부문에서의 빅데이터 활용은 서울시 율리피 버스노선으로 알려진 심야버스 노선 정책지원사업이 대표적인 사례이다. 서울시(2013)는 심야시간대 택시 승차거부로 인한 불편, 심야 근로자의 교통수단 부재, 교통비 부담 등을 개선하기 위해 KT의 통신 빅데이터를 활용하여 심야시간 유동인구, 교통량 등을 분석하여 심야시간 최적 버스노선을 도출한 바 있다. 윤서연 외(2015)는 기존 국가교통DB의 문제점을 개선하기 위해 요일별, 지역별로 나타나는 동적 통행특성 반영하는 등 공공빅데이터를 적극적으로 활용할 필요가 있음을 주장하고 이를 위한 정책활용 방안을 제시하였다. 대중교통카드 빅데이터를 활용한 분석도 최근 꾸준히 이루어져, 김순관·장지은(2012)은 대중교통카드 데이터의 활용성을 높이기 위해 교통카드 데이터와 함께 이용자의 개인정보를 추가로 조사하여 대중교통 공급자료를 구축하고 대중교통 이용자의 통행행태를 분석하였다. 엄진기 외(2012)는 대중교통카드 데이터를 활용하여 인천 1호선의 혼잡도(승객좌석 점유)와 정시성 지표를 통해 도시철도 서비스를 평가했고, 엄진기 외(2014)는 대중교통카드 데이터를 분석하여 서울 2호선 혼잡완화를 위한 OD수요 분리방안을 제안했다. Tao et al.(2014)는 대중교통카드 데이터로부터 통행패턴을 구축하고 대중교통 이용자들의 시공간적 통행행태를 분석하였다. Lee et al.(2016)은 Los Angeles 지역을 대상으로 지리정보가 담긴 트위터 자료를 활

용하여 기종점 OD를 구성하는 방법론을 제시하고 그 결과를 일반적인 교통수요방법론에 의해 추정된 기종점 OD와 비교하였고, 그 가능성을 확인하였다. Lenormand et al.(2014)는 인구집중의 공간적 분포, 인구밀도의 시간적 변화, 이동패턴에 대해 3종류(트위터, 인구총조사, 통신자료)의 데이터를 비교 분석하였으며, 모든 데이터에서 상관성 수준이 유사한 것으로 나타났다.

최근 이동통신 데이터에 대한 관심이 높아지면서 다양한 분야에서 관련된 연구들이 소개되고 있다. Lu et al.(2012)는 통신량 자료를 활용하여 Haiti 지진 발생 후 인구이동 패턴을 분석했으며, Wesolowski et al.(2012)는 이동통신 데이터의 유동인구 위치와 말라리아 유행지역간의 관계를 통해 인간이동이 말라리아 전염에 미치는 영향을 분석하였다. 경북대학교(2015)는 서비스인구를 추정하기 위한 대안으로써 이동통신 데이터를 활용하여 서비스인구 추정모형과 함께 서비스인구 통계를 작성하는 방안을 제시하였다. 김경태 외(2015)는 서울시 통신량 유동인구 자료가 통계청에서 집계하는 주간 인구 자료와 상관성이 매우 높음을 제시하고 인구 관련 통계자료를 위한 통신자료의 활용 가능성을 확인했다.

특히 교통부문에서 이동통신 빅데이터의 활용 가치에 주목하고 있는 바, 김경태 외(2015)는 통신량 자료를 활용하여 통행발생량 산정을 위한 방안을 제시하고 국가교통DB 통행발생량과의 상관성을 분석하여 무선통신 자료를 이용한 통행발생량 추정결과가 기존 국가교통DB 구축을 위한 직접 조사 방식의 결과와 높은 상관관계가 있음을 확인하였다. 또한, 김경태 외(2016)는 가정기반 이동통신자료를 활용하여 수도권 OD를 구축하고 국가교통DB OD와 비교하였고, 두 자료 간 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. Pei et al.(2014)은 이동통신 데이터로부터 토지이용을 구분하는 방안을 제안했고,

Huntsinger and Ward(2015)는 통신량 자료로부터 외부통행모형을 개발했다. Widhalm et al.(2015)는 통신량 데이터로부터 활동패턴(활동시간, 활동 지속 시간, 토지이용)을 분석할 수 있는 방법론을 제안하였다. CDR(Call Detail Records)은 통화의 착발신시 저장되는 기록으로써, 이를 활용한 연구들도 있다. Iqbal et al.(2014)과 Louail et al.(2015)는 CDR 데이터를 활용하여 기종점 OD 매트릭스를 구축하는 방법론을 제안하였다. Kung et al.(2014)는 CDR로부터 주거-직장 통행패턴을 분석하고 주거-직장 통행시간을 추정하는 함수를 개발하였다. Jarv et al.(2014)는 12개월간의 CDR 데이터로부터 월별 시계열적인 활동공간 변화를 분석하였다.

한편, 의정부시를 대상으로 한 통행행태 분석은 지금까지 이뤄진 바 없으며, 의정부 경전철 이용자의 서비스 만족도에 대한 영향요인을 분석한 유소영(2013)의 연구가 유일한 바, 이용자의 이동단계별(접근, 대기, 탑승, 환승) 서비스 평가지표에 기준으로 서비스 만족도 영향요인을 도출하였다. 의정부시는 아니지만, 빈미영 외(2012)는 경기도 가구통행실태조사 자료를 활용하여 경기도 통근자의 통행 및 활동특성을 분석하고 생애주기별 통행시간 모형을 개발하였다.

III. 통신량 빅데이터

1. 통신량 빅데이터 개요

본 연구의 분석을 이해하기 위해서는 우선 SKT 통신량 데이터가 어떻게 수집 및 가공되는지 이해할 필요가 있다. 그동안 SKT에서는 기지국 중계기 기반의 통신량 수집방법과 데이터의 범위와 형식을 여러 차례 업그레이드 했으며, 본 연구에서 활용된 데이터 형태가 가장 최신의 자료 형식이다.

휴대폰 이용자들이 휴대폰을 통해 통화, 문자, SNS, 앱 등을 이용하기 위해서는 휴대폰 단말기와 주변의 통신 기지국 중계기간에 통신을 서로 주고 받아야 가능하며, 모든 휴대폰은 주변의 기지국 중계기 1개와 통신이 이뤄진다. 즉, 휴대폰 이용자가 통화, 문자, SNS, 와이파이 연결 등 휴대폰을 이용할 때 마다 특정 1개의 중계기에 휴대폰 단말기 신호가 수신되며, 이 수신된 정보가 SKT 통신기록에 저장되게 된다.

초기의 SKT 통신량 데이터는 와이파이 또는 LTE망을 통한 접속을 기록 및 저장하지 못했으나, 통신수신망 업그레이드를 통해 현재는 와이파이 및 LTE망 통신도 저장된다. 또한, 본 연구에서 활용된 통신량 데이터는 통화, 문자, SNS, 와이파이 연결 등과 무관하게, 휴대폰이 꺼진 상태가 아닌 한 최소 매 시간 각 중계기에 수신된 SKT 고객의 휴대폰 통신신호가 기록되어, 통화, 문자 등 통신을 일으켜야만 위치가 파악되었던 과거의 통신량 데이터보다 통신량을 더 정확히 파악할 수 있는 장점이 있다. 휴대폰을 끈 상태로 두는 극소수의 이용자를 제외하고는 SKT 모든 고객의 위치가 중계기 정보로 기록된다. 이런 의미에서 통신(전화, 문자 등)을 일으켜야만 파악되는 순수한 의미의 통신량이 아닌 유동인구(유입지 분석이 가능하다는 의미) 데이터라고 불리기도 하며, 분석의 관점에서 특정 시간대, 특정 지역에 존재하는 인구를 알 수 있다는 의미에서 존재인구 또는 활동인구라고 정의할 수도 있다. 다만, 휴대폰의 위치는 GPS와 같이 정밀한 위치추적은 아니며, 각 중계기에 수집된 이용자수를 의미한다. SKT에서는 업무기밀을 이유로 각 기지국 중계기의 위치는 외부에 공개하지 않으며, 개인정보보호법에 따라 각 개인의 위치정보는 제공하지 않는다. SKT는 이를 대체하기 위해 각 중계기에 수신된 이용자 수를 공간적 토지이용자료를 바탕으로 일정한 지리적 범위(50m×50m의 격자형 픽셀 단위,

법정동 단위, 또는 시군구 단위)로 추정하여 공간적으로 집합화된 형태로 데이터를 제공하고 있다. 여기서 집합화의 의미는 각 개인 단위의 휴대폰 위치가 아니라, 동일한 유입지(거주지)에서 거주하고 있는 사람 중, 동일한 시간대에 동일한 공간(예, 50m×50m 격자형 픽셀)에 존재하고 있는 휴대폰 이용자 수를 집계한다는 의미이다. 예를 들어, 오전 10시부터 11시 사이에 중계기 A에 100명의 이용자가 기록되었고 기지국 A의 통신수신범위에 5개의 픽셀이 있다면, 5개 픽셀의 토지이용 형태에 따라 100명을 각 픽셀에 배분하는 형태로 데이터를 가공하여 제공한다. 이렇게 저장된 원시 데이터는 SKT 고객만을 대상으로 하고 있으므로, SKT에서는 지역별 SKT 고객 점유율(전국 평균 약 50%이며, 수집 시기 및 지역별로 상이)을 적용하여 최종적으로 전국의 모든 유동인구(휴대폰 이용자)로 전수화된 데이터로 생성 및 제공하고 있다.

기지국 중계기에 저장된 통신량 데이터는 고객의 성/연령별 구분과 함께 하루 단위 또는 시간대별 자료 형태로 저장된다. SKT에서는 휴대폰 이용자의 각 시간대별로 존재하고 있는 공간적 장소(예, 픽셀 단위) 뿐만 아니라 휴대폰 이용자의 거주지(법정동 단위)도 함께 추정하여 자료를 제공하고 있다. 여기서 거주지는 고객의 통신요금 청구지 주소가 아닌, 휴대폰 이용자의 야간시간에 파악된 위치를 기반으로 실제 거주지를 추정한다. 과거 한 달간 야간시간대(23시~04시) 사이에 15일 이상 동일한 장소에서 휴대폰이 수신된 경우 그 위치를 휴대폰 이용자의 거주지로 추정하여 실제 거주지로 파악한다.

본 연구에서 사용된 데이터는 시간대별(24시간) 통신량 자료로써, 휴대폰 사용자의 위치는 각 시간대별로는 중복 없이 유일한 1개의 장소(예, 픽셀 단위)로 표시되며, 24개 시간대간에는 중복이 가능하다. 예를 들어, 휴대폰 사용자 A가 B장소에서 24시간 동안 이동하지 않고 휴대폰을 끄지 않았다면,

B라는 장소에 사용자 A의 존재가 각 시간대별로 1회 기록되며, 사용자 A는 하루 24시간 동안 24번 기록되게 된다.

2. 통신량 데이터 구조

본 연구에서 사용된 통신량 데이터는 24시간 시간대별/성연령별 자료로써 데이터의 자료구조는 표 1과 같다. 1열과 2열은 각각 연월일과 시간대를 표시하고, 3열은 유입지 코드(10자리)로써 거주지(법정동)를 표시하며, 4열과 5열은 50m×50m 격자형 픽셀의 중심점 X, Y 좌표를 나타낸다. 6열부터 19열까지는 해당 픽셀에 존재하는 성·연령별 존재인구(휴대폰 이용자 수)를 나타내고, 20열부터 22열은 각각 외국인, 법인, 미확인 수를 나타낸다. 예를 들어, Date (20160318), Time (10), Inflow_CD (1111017300), X_Coord (955397), Y_Coord (1954533), Age30_Male (90) 이라는 의미는 2016년 3월 18일 오전 10시~11시 시간대에, 법정동 코드(1111017300)에 거주하는 사람으로서, 해당 시간대에 50m 크기의 격자형 공간(픽셀 좌표 955397, 1954533)에 30대 남성 90명(거주지는 1111017300)이 존재함을 나타낸다.

분석에 활용된 통신량은 서울시 및 경기도의 2016년 3월 14일(월)부터 3월 20일(일)까지의 SKT 1주일 데이터이다. 그 중 주중 통신량을 분석 대상으로 하되, 주중 요일별 통신량 패턴에 큰 편차가 나타나지 않아 3월 18일(금) 1일 통신량 데이터를 기준으로 분석하였다. 통신량은 빅데이터로서 분석 파일이 시간대별로 구분되어 있으며, 시간대별 통신량 자료수는 서울시 기준으로 최소 1,273만건(4시~5시)에서 최대 3,126만건(15시~16시)이며, 1일 총 5억 5,604만건이다. 경기도는 최소 1,520만건(4시~5시)에서 최대 3,701만건(14시~15시)로써, 1일 총 6억 4,217만건이다. 데이터 분석을 위해 SPSS(v.24)를 활용하였다.

IV. 의정부시 내·외부 활동 및 이동행태 분석

통신량 데이터로부터 각 시간대별로 각 공간(예, 픽셀)에 존재하고 있는 활동인구와 거주지의 위치를 파악할 수 있으므로, 본 연구의 공간적 분석대상인 의정부시를 기준으로 통행행태를 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫째 내부-외부 활동은 의정부

Table 1. Structure of mobile phone data

No.	Field Name	Description	No.	Field Name	Description
1	Date	Date of data	12	Age70_Male	Number of men in over 70s
2	Time	Time in hour	13	Age10_Female	Number of women in 10s
3	Inflow_CD	Inflow code	14	Age20_Female	Number of women in 20s
4	X_Coord	X-coordinate (UTM-K) of the center of a cell	15	Age30_Female	Number of women in 30s
5	Y_Coord	Y-coordinate (UTM-K) of the center of a cell	16	Age40_Female	Number of women in 40s
6	Age10_Male	Number of men in 10s	17	Age50_Female	Number of women in 50s
7	Age20_Male	Number of men in 20s	18	Age60_Female	Number of women in 60s
8	Age30_Male	Number of men in 30s	19	Age70_Female	Number of women in over 70s
9	Age40_Male	Number of men in 40s	20	Foreign_Stay	Number of foreigner
10	Age50_Male	Number of men in 50s	21	Corporation	Number of corporation
11	Age60_Male	Number of men in 60s	22	No_Info	No information

시 거주자가 의정부시 외부로 이동하여 활동하는 인구이며, 둘째 외부-내부 활동은 의정부시 외 지역의 거주자가 의정부시 내부로 이동하여 활동하는 인구이며, 셋째 내부-내부 활동은 의정부 시민이 의정부시 내에서 활동하는 인구이다.

1. 의정부시 내·외부 이동행태 분석

의정부시 내·외부 활동은 의정부 시민이 외부(서울시 및 의정부시를 제외한 경기도)에서 활동하는 경우(내부→외부)와 의정부시 외 지역의 거주자가 의정부시 내에서 활동하는 경우(외부→내부)이다. 시간대별 통신량 자료를 분석하여, 주간시간대(오전 9시부터 오후 6시까지) 의정부시 내·외부 이동 비율이 표 2와 같이 나타났다(여기서 T09은 오전 9시부터 오전 10시를 의미한다). 시간대별로 큰 차이는 볼 수 없으며, 의정부시 내·외부로 이동하는 인구의 약 67% 정도가 내부에서 외부로 이동하는 것으로 나타났다. 즉, 의정부시 외부 거주자가 의정부시로 이동하여 의정부시 내에서 활동하는 인구보다 의정부 시민이 의정부시 외부(서울시 또는 의정

부시의 경기도)로 이동하여 활동하는 인구가 더 많은 것을 알 수 있다. 이는 의정부시가 주간시간대의 활동중심지 역할보다는, 출근/업무 등을 위해 서울시와 주변 경기도로 이동하기 위한 위성도시로서의 기능이 더 큰 것을 알 수 있다.

인구가 밀집한 공간적 범위를 활동 중심지라고 말할 수 있으며, 의정부시 외부로 이동하여 활동하는 의정부시민이 어느 지역에 분포하는지 파악하기 위해 외부 활동 중심지를 분석하였다. 이를 위해 의정부 시민의 활동이 가장 많은 최상위 외부 활동 중심지 10곳을 선정하였다. 표 3은 의정부 시민의 각 지역별 활동인구와 비율을 오전 10시(표의 왼쪽)와 오후 3시(표의 오른쪽)를 각각 비교하여 나타내었다. 예를 들어, 15,071명의 의정부시 거주자가 오전 10시에 양주시에서 활동하고 있으며, 이는 서울시와 경기도(의정부시 제외)에서 활동하고 있는 총 의정부시민의 약 14%에 해당한다. 오전과 오후 모두 각 지역별 비율만 약간의 차이가 있을 뿐, 의정부 시민의 활동중심지는 대체로 일정하여, 양주시, 포천시, 노원구, 도봉구, 남양주시가 의정부 시민의 외부 활동중심지로 나타났다.

Table 2. The mobility ratio between in and out of Uijeongbu

Time	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
In → Out	68%	67%	67%	67%	67%	66%	66%	66%	66%
Out → In	32%	33%	33%	33%	33%	34%	34%	34%	34%

Table 3. Top 10 activity locations of resident of Uijeongbu (10 AM on the left, 3 PM on the right)

Rank	Region (To)	Activity Population (T10)	Ratio	Rank	Region (To)	Activity Population (T15)	Ratio
1	Yangju	15,071	14.0%	1	Yangju	16,077	13.2%
2	Pocheon	10,225	9.5%	2	Pocheon	11,078	9.1%
3	Nowon	9,265	8.6%	3	Nowon	10,451	8.6%
4	Dobong	6,923	6.4%	4	Dobong	7,887	6.5%
5	Nam-yangju	5,462	5.1%	5	Nam-yangju	6,063	5.0%
6	Gang-nam	5,114	4.8%	6	Gang-nam	5,939	4.9%
7	Jung	4,714	4.4%	7	Jung	5,625	4.6%
8	jongno	4,212	3.9%	8	jongno	5,332	4.4%
9	Dong-daemun	3,257	3.0%	9	Dong-daemun	3,808	3.1%
10	Gangbuk	3,149	2.9%	10	Gangbuk	3,607	3.0%

의정부시 내에서 활동하는 외부 거주자가 어느 지역으로부터 유입되었는지를 분석하기 위해, 오전 10시대와 오후 3시대의 외부-내부 이동행태를 표 4에 각각 나타내었다. 고양시와 강북구의 순위가 바뀐 것을 제외하면 최상위 10개 지역은 오전과 오후 모두 동일한 지역에서 유입된 것으로 나타났다. 표 3과 비교해 보면, 양주시, 노원구, 도봉구, 남양주시, 포천시 등은 양 방향 모두 활동인구가 상위권에 나타난 반면, 동두천시, 고양시, 성북구, 중랑구 등은 활동을 위한 이동방향이 다르게 나타났다. 예를 들어, 의정부시민이 포천시(오전 10시 기준 9.5%)에서 상대적으로 많은 활동을 하는 반면, 포천시민이 의정부(오전 10시 기준 7.2%)에서 활동하

는 경우는 상대적으로 적은 것을 알 수 있다. 한편, 6위~10위권 사이의 지역은 이동방향이 완전히 다르게 나타나, 의정부시 거주자는 강남구, 중구, 종로구, 동대문구 등에서 활동하는 비율이 높은 반면, 의정부 내에서 활동하고 있는 의정부시 외부 거주자는 동두천시, 고양시, 성북구, 중랑구 등으로부터 많이 유입되는 것으로 나타났다.

의정부시 내외부 활동인구가 시간대별로 활동패턴이 다른지 분석하였다. 우선, 각 시간대별로 의정부시 거주자가 외부지역(서울시 및 의정부시를 제외한 경기도)으로 이동한 활동인구의 상위 6개 지역은 서울시 노원구, 도봉구, 강남구 및 경기도 양주시, 포천시, 남양주시로 나타났다. 그림 1은 상위

Table 4. Top 10 regions where residents in the outside of Uijeongbu come to the inside of Uijeongbu (10 AM on the left, 3 PM on the right)

Rank	Region (From)	Activity Population (T10)	Ratio	Rank	Region (From)	Activity Population (T15)	Ratio
1	Yangju	11,468	21.9%	1	Yangju	13,099	21.3%
2	Nowon	5,807	11.1%	2	Nowon	6,638	10.8%
3	Dobong	4,529	8.6%	3	Dobong	5,401	8.8%
4	Nam-yangju	3,817	7.3%	4	Nam-yangju	4,450	7.2%
5	Pocheon	3,763	7.2%	5	Pocheon	4,400	7.1%
6	Dongdu-cheon	2,557	4.9%	6	Dongdu-cheon	3,069	5.0%
7	Gangbuk	1,704	3.2%	7	Goyang	2,106	3.4%
8	Goyang	1,635	3.1%	8	Gangbuk	2,041	3.3%
9	Seong-buk	1,561	3.0%	9	Sarong-buk	1,968	3.2%
10	Jungnang	1,291	2.5%	10	Jungnang	1,462	2.4%

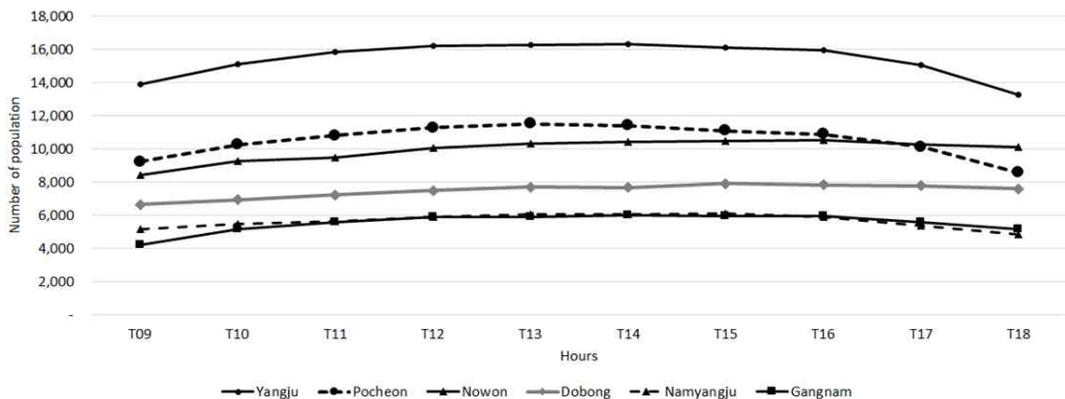


Fig. 1. Hourly mobility patterns of Uijeongbu citizen

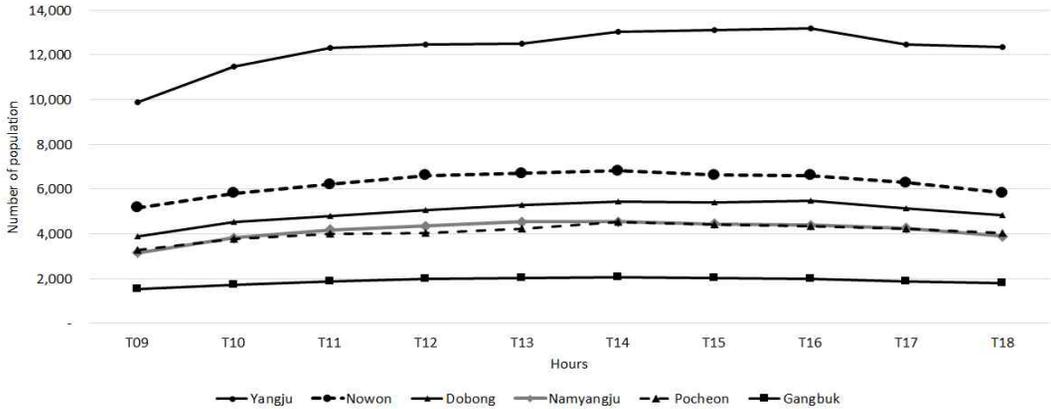


Fig. 2. Hourly mobility patterns of non-Uijeongbu citizen

6개 지역의 시간대별(오전 9시부터 오후 6시까지) 외부 활동인구수를 나타낸다. 그림에서 나타나듯이 모든 시간대에서 의정부시민은 양주시에서 활동이 가장 많았다. 한편, 모든 지역에서 시간대별 활동인구수에 큰 차이가 없었고, 주간시간대에 평행한 곡선 분포를 보인다는 것은 해당 지역에서 잠깐 머무르는 쇼핑, 친목 등의 기타 활동보다는 출근목적의 활동인구가 많은 것으로 판단할 수 있다.

의정부시 외부 거주자의 의정부시 내부로의 통행인구 또한 시간대별로 유사한 활동인구 수를 보여 주었다(그림 2). 의정부시에서 활동하고 있는 외부 거주자는 그림 1과 마찬가지로 양주시민이 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 노원구, 도봉구, 남양주시, 포천시, 강북구 순으로 나타났다.

앞에서 살펴본 활동인구는 의정부시를 기준으로 방향별 통행인구를 나타낸다. 방향별 통행인구 합계(의정부시 거주자의 외부활동인구와 의정부 외부 거주자의 의정부시내 활동인구의 합)는 의정부시 내·외부 총통행인구를 의미한다. 오전 10시는 업무 목적의 통행자들이 대부분 출근을 마친 시간으로써, 오전 10시를 기준으로 양주시(26,539명), 노원구(15,073명), 포천시(13,988명), 도봉구(11,452명) 순으로 출근 목적의 총통행인구가 많은 것으로 나타났다.

2. 의정부시 내부 활동행태 분석

통신량 자료를 활용하여 의정부시 내부의 활동패턴을 분석하였다. 의정부시 내에서 활동하고 있는 총 인구(의정부시 거주자뿐만 아니라 타 지역 거주자 포함)를 시간대별로 살펴본 결과, 새벽 4시대(355,249명)를 정점으로 총 인구가 서서히 감소하여 오후 1시대에 총 활동인구(300,276명)가 가장 적었으며, 이후 서서히 증가하는 것으로 나타나, 의정부시 내에서 활동하는 총 인구가 야간시간대에 비해 주간시간대에 약 15% 감소하였다. 이는 주간시간대에 의정부시 외부로의 유출인구가 의정부시 내부로의 유입인구보다 많음을 의미한다. 즉, 의정부시는 출근, 쇼핑 등을 위한 외부 유입인구를 끌어당기는 힘보다는 의정부시에서 거주하면서 출근 등 주간활동이 외부에서 주로 이뤄지는 베드타운의 성격이 더 큰 것을 알 수 있다.

의정부시 내에서 활동하는 시간대별 인구를 법정동별로 살펴보면(그림 3), 신곡동의 경우 야간시간대 인구(새벽 4시 기준 81,279명)보다 주간시간대 인구(오후 3시 기준 48,362명)가 급격히 감소하는 것으로 나타나, 신곡동은 주거지 위주의 토지이용임을 알 수 있다. 이에 반해 의정부동은 야간인구수

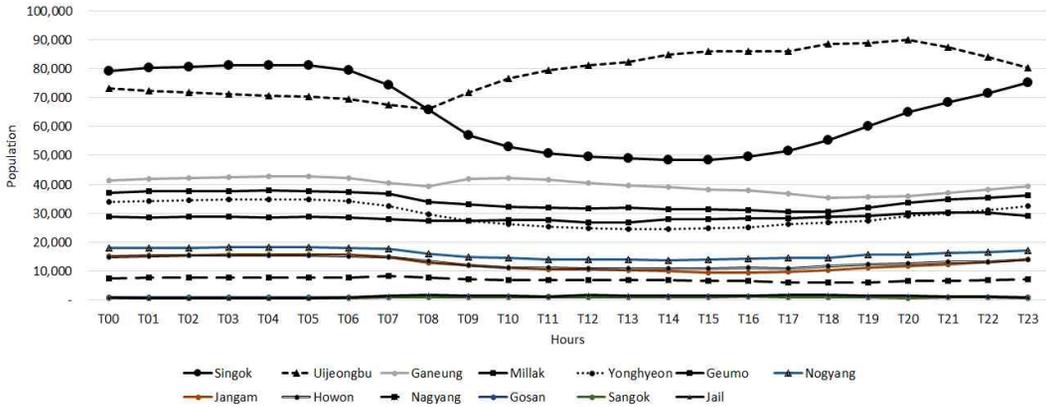


Fig. 3. Number of hourly population in Uijeongbu

(새벽 4시 기준 70,684명)보다 주간인구수(오후 8시 기준 89,832명)가 더 많아 의정부시의 활동중심지임을 나타낸다.

집계구는 통계청에서 제공하는 최소 단위의 공간적 범위로써 전국 평균 1개 행정동당 25개의 집계구가 있어, 행정동보다 공간적으로 세밀하다(집계구는 행정동 경계를 기준으로 평균 약 500명의 인구가 존재하는 공간임). 새벽 4시대와 오전 10시대의 의정부시 집계구별 활동인구를 비교해 봄으로써 야간과 주간 시간대의 활동중심지가 어디인지를 세부적으로 파악할 수 있다. 그림 4는 새벽 4시와 오전 10시의 중심활동지의 공간적 분포와 그 차이(집계구별 오전 10시 활동인구와 새벽 4시 활동인구의 차이)를 GIS 맵에 표현하였다. 의정부시의 총 699개 집계구 중 585개의 집계구(약 84%)에서 새벽 시간대 대비 오전 시간대 활동인구가 감소하였다. 해당 집계구는 의정부시 대부분의 중앙지역 및 외곽 일부에 위치하고 있으며, 새벽때 활동인구가 해당 지역을 제외한 의정부시 내·외로 업무 등의 목적으로 이동했음을 추정할 수 있다.

3. 의정부시 내·외부 활동행태와 도시철도망과의 관계

의정부시 내·외부 활동 및 이동패턴과 도시철도망을 함께 분석함으로써 도시 내 의정부 경전철과 의정부시 외부로 연결하는 수도권 도시철도망의 연계성을 분석할 수 있다. 통신량 데이터와 동일한 날짜(2016년 3월 18일)를 기준으로 의정부 경전철 노선 전체의 총 승하차 인원은 각각 41,793명과 41,626명이다. 수도권 도시철도 1호선과 환승이 가능한 회룡역의 승하차 인원이 가장 많았으며, 의정부 경전철 총 승하차인원의 약 25%가 회룡역(승차인원 10,285명, 하차인원 10,378명)을 이용하는 것으로 나타났다. 회룡역을 제외한 각 역별 승차인원은 경전철 총 이용객의 10% 미만으로 매우 저조한 것으로 나타났다. 회룡역 승차인원 약 10,000명 모두가 도시철도 1호선의 환승인원일 수는 없으나, 회룡역을 제외한 승차인원이 31,508명이고 회룡역 하차인원이 10,378명이므로 회룡역에서 최대한 환승비율은 경전철 전체 이용객의 33%를 차지하며, 나머지 최소 67%의 이용자는 내부통행을 목적으로 경전철을 이용하는 것으로 추론이 가능하다. 하지만, 경전철 전체 이용객 중 회룡역 이용수요가 월등히 많은 것을 볼 때, 의정부 경전철은 의정부시 외부로의 환승을 위해 중요한 역할을 담당하는

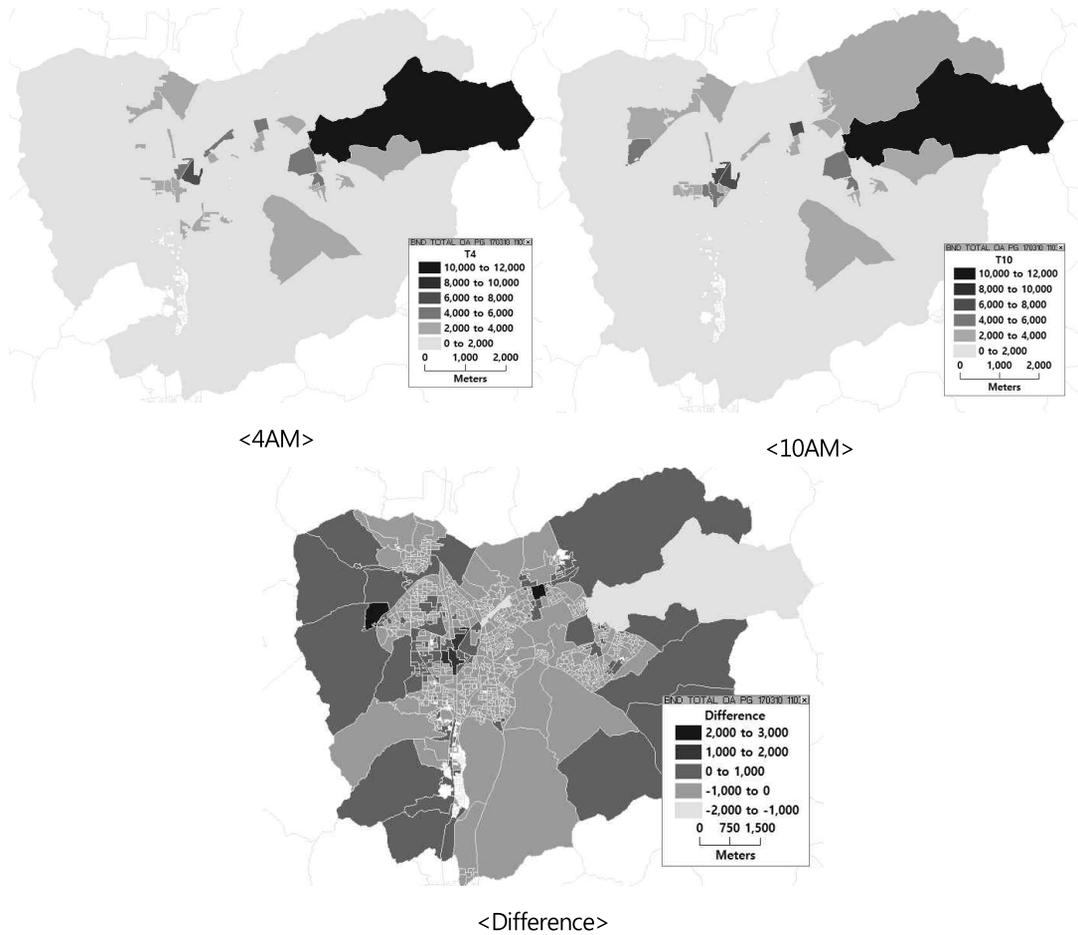


Fig. 4. Population and activity locations in Uijeongbu

것으로 볼 수 있다. 한편, 의정부 경전철 이용객의 구성은 일반인이 약 56%, 경로 및 장애인이 약 33%, 청소년 및 초등학생이 약 11%를 차지하는 것으로 나타났다.

통신량 데이터의 유입지 정보를 활용하여 의정부 시민의 의정부시 내부에서의 법정동간 이동행태를 분석할 수 있으며, 이를 의정부경전철 이용현황과의 관계를 검토하였다. 분석을 위해 거주지로 판단할 수 있는 새벽 4시대의 존재인구와 출근통행이 모두 이루어진 오전 10시대의 존재인구를 기준으로 분석하였다. 두 시간대의 존재인구 차이는 해당 지역의

1일 유입과 유출을 대표적으로 나타낸다. 분석 결과, 인구의 유입과 유출의 차이가 가장 크게 나타난 지역은 신곡동(약 40% 감소), 용현동(약 35% 감소), 민락동(약 27% 감소), 가능동(약 22% 감소), 의정부동(약 11% 감소)로 나타났다. 오전 10시를 기준으로 각 법정동에서 활동하고 있는 인구의 이동패턴을 파악하기 위해 유입지(거주지)를 법정동별로 구분한 결과, 신곡동 거주자들의 32%(6,469명)는 의정부동으로, 용현동 거주자들의 42%(3,312명)는 민락동으로, 민락동 거주자들의 39%(2,346명)는 용현동으로, 가능동 거주자들의 60%(5,558명)는 의정

도시철도를 포함한 대중교통 이용자 측면에서 의정부시와 타 지역간(의정부시를 제외한 총 55개의 시군구 지자체)의 도시철도망 연계성 및 접근성을 비교하기 위해, 의정부시 내·외부 총통행인구, 대중교통의 통행시간 경쟁력, 환승횟수를 지표로 선정하고(표 5), 예시로 10시대(오전 10시~11시)에 대한 기초자료를 수집한 후 지역간별로 상대 평가하였다.

첫 번째 지표는 의정부시 내외부를 통행하는 시간당 총통행인구이다. 도시철도망은 통행이 많은 곳을 연결하는 것이 효율적이므로, 도시철도망의 연계성을 평가하기 위해 의정부시를 기중점으로 통행이 많은 지역을 선별할 필요가 있다. 평가의 기준은 분석범위와 연구목적에 따라 상이할 수 있으나, 여기서는 지역별 상대적인 비교평가를 위해 통신량 자료를 바탕으로 의정부시와 타 지역 간 통행인구의 중앙값(1,231명/시, 의정부시-연천군)을 참고하여 1,000명/시를 기준값으로 설정하였다.

일반적으로 통행시간과 통행비용이 교통수단선택에 영향을 미치는 주요 요인으로 다루져 왔으며, 철도 수단선택의 경우 통행비용보다 통행시간이 더 중요한 요인으로 분석되었다(정철 외, 2007). 따라

서 두 번째 지표는 대중교통 통행시간 경쟁력으로 선정하고, 지역 간 비교를 위해 승용차 통행시간과 대중교통 통행시간의 비율을 검토하였다. 평가의 기준은 중앙값(1.9배)을 참조하여 의정부시를 중심으로 각 지역 간 대중교통 통행시간이 승용차 통행시간의 2배가 넘는 지역을 접근성이 미흡한 곳으로 선정하였다. 여기서 대중교통 통행시간은 도시철도 이용을 우선으로 하여 버스와의 환승을 고려했으며, 분석의 일관성을 유지하기 위해 각 지역의 시·중·경은 시·청/군·청/구·청으로 분석하였다.

또한, 대중교통의 경우 이용자들의 환승저항이 크게 작용하여 환승 횟수가 많을수록 대중교통 수단선택 비율이 현저히 저하된다. 따라서 세 번째 평가지표로 대중교통 환승횟수를 설정했으며, 의정부시를 중심으로 각 지역 간 환승횟수가 3회(중앙값 참조) 이상인 지역을 연계성 및 접근성이 미흡한 곳으로 선정하였다. 환승횟수 산정 시 의정부경전철을 포함하여 검토하였으므로 환승횟수의 평가 기준(3회)이 다소 높게 나타났다.

세 가지 기준을 바탕으로 평가결과를 검토한 후, 지역을 크게 4개의 그룹으로 분류하고 대중교통접

Table 5. Evaluation of public transportation accessibility and connectivity

Criteria 1 : NTT	Criteria 2 : CPTT	Criteria 3 : NT	Result & Group
≥1,000	> 2	≥3	Very bad (Group 1)
		< 3	Travel time problem (Group 2)
	≤2	≥3	Transfer problem (Group 3)
		< 3	Good (Group 4)
< 1,000	-	-	
Statistics between Uijeongbu and other regions			
Max: 26,539 (Yangju) Min: 128 (Osan) Median : 1,231 (Yeoncheon)	Max: 4.58 (Goyang) Min: 1.12 (Yeoncheon) Median : 1.90 (Pyeongtaek)	Max : 5.00 (Yeosu, Icheon) Min : 1.00 (5 Regions) Median : 3.00 (18 Regions)	-

※ NTT (Number of total traveler per hour)

※ CPTT (Competitiveness of public transportation travel time)

$$CPTT = \frac{\text{Public transit travel time}}{\text{Passenger car travel time}}$$

※ NT (Number of transfers)

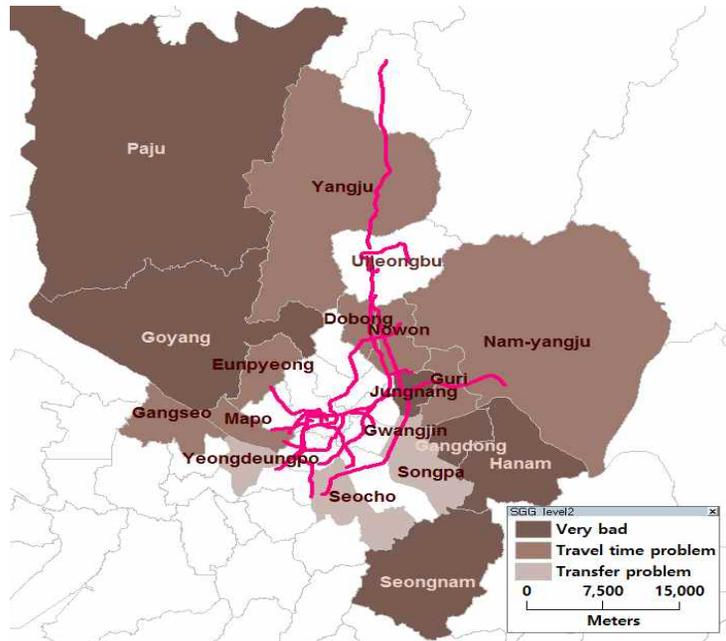


Fig. 6. Evaluation of accessibility and connectivity of public transportation

근성 및 연계성이 미흡한 지역을 대상으로 GIS맵에 공간적 분포를 나타내었다(그림 6). 첫 번째 그룹은 총통행인구가 시간당 1,000명 이상이면서 승용차 통행시간 대비 대중교통 통행시간의 경쟁력이 미흡한 곳(대중교통 통행시간이 승용차 통행시간의 2배 초과)이면서 대중교통 환승 횟수가 과다(3회 이상)인 지역으로 대중교통의 접근성 및 연계성이 매우 불량한 곳이다. 두 번째 그룹은 총통행인구가 시간당 1,000명 이상이면서 통행시간 경쟁력이 미흡한 곳, 세 번째 그룹은 총통행인구가 시간당 1,000명 이상이면서 환승저항이 심하여 접근성 및 연계성이 미흡한 곳이며, 그 외 지역은 도시철도를 비롯한 대중교통 연계성이 양호하거나 총통행인구가 시간당 1,000명 미만인 지역이다.

첫 번째 그룹에 속하는 지자체는 총 6개로, 고양시(3,941명/시), 중랑구(3,260명/시), 파주시(2,422명/시), 강동구(1,621명/시), 성남시(1,546명/시), 하남

시(1,028명/시)로 나타났다. 여섯 개 지역의 공간적 특성을 살펴보면, 의정부시를 중심으로 서부권인 고양시와 파주시는 도시철도의 직통 연계가 불가능한 지역(그림 5에서 도시철도망 비수혜권)이며, 나머지 지역(중랑구, 강동구, 성남시, 하남시)은 의정부시의 남부권과 남동권에 위치한다는 공통점이 있다. 하지만, 도시철도망 접근성이 불량한 이들 지역에서의 총통행인구(1,028명~3,941명)는 타 그룹에 속하는 양주시(26,539명/시, 2그룹), 노원구(15,073명/시, 2그룹), 포천시(13,988명/시, 4그룹) 등에 비해 상대적으로 작다. 이는 외부활동중심지와 의정부시간의 대중교통 접근성이 불량하여 이들 지역의 출근목적으로 이동하는 사람들이 의정부시에 거주하지 않는 이유에 기인했다고 볼 수 있다.

대중교통 접근성이 보통인 지역(두 번째 및 세 번째 그룹)은 총 12개 지역으로 총통행인구가 많은 곳은 양주시(26,539명/시), 노원구(15,073명/시), 도

봉구(11,452명/시), 남양주시(9,279명/시), 서초구(2,880명/시), 광진구(2,425명/시), 송파구(2,249명/시) 등의 순으로 나타났다. 양주시, 노원구, 도봉구, 남양주시는 의정부시와 매우 인접한 지역들로서 대중교통 환승의 문제는 크게 나타나지 않았으나, 대중교통 통행시간이 승용차 통행시간보다 2배 이상 큰 것으로 나타나 통행시간 경쟁력이 미흡한 곳이다. 특히, 이들 지역은 의정부시민의 외부지역활동 인구 수가 많은 상위 5개 지역(양주시 1위, 노원구 2위, 포천시 3위, 도봉구 4위, 남양주시 5위)에 포함되어 있다. 이들 지역과의 대중교통 연계성 및 편의성을 향상시켰을 때, 외부 지역에서 활동하는 의정부시민의 편익이 가장 크게 나타날 수 있으므로 대중교통 통행시간 경쟁력 향상에 따른 개선효과가 높을 수 있다. 특히, 양주시는 의정부시의 북쪽에 인접해 있으며 도시철도 1호선이 연결되어 있음에도 불구하고 통행시간 면에서 대중교통 경쟁력이 부족해 도시철도 이용률이 매우 저하되는 것으로 나타났다. 총통행인구가 많은 지역 가운데, 대중교통 통행시간 경쟁력은 가졌으나 환승횟수가 많아 환승저항이 심각한 대표적인 지역은 서울시 동부권(서초구, 광진구, 송파구)으로 나타났다. 한편, 향후 7호선 연장선(도봉구-의정부-양주시 통과 계획노선)이 의정부시로 연결된다면, 노원구, 도봉구 및 서울 강남권의 접근성을 향상시키는 효과가 발생하여 의정부시민들의 이동편의가 향상될 것으로 기대된다.

한편, 대중교통 접근성이 양호하거나 총통행인구가 1,000명이하인 지역(네번째 그룹)은 총 37개 지역으로 총통행인구가 많은 지역은 포천시(13,988명/시), 강남구(5,881명/시), 중구(5,225명/시), 동두천시(5,044명/시), 강북구(4,853명/시) 등의 순으로 나타났다.

V. 결론

빅데이터에 대한 사회적 관심과 활용가치가 높아지면서, 빅데이터 생성뿐만 아니라 분석 및 그 활용방안에 대한 연구가 지속적으로 이뤄지고 있다. SKT 통신량자료는 휴대폰이 꺼져 있지 않는 한, 이용자의 위치와 유입지가 매 시간 기록되며 특히 SKT는 고객 점유율이 약 50%로써 전수화의 신뢰성이 높은 장점이 있다.

본 연구에서는 서울시와 경기도의 시간대별 통신량 자료를 활용하여 의정부시를 대상으로 내·외부 시간대별 활동패턴, 공간적 이동행태, 도시철도망과의 연계성 등을 분석하였다. 의정부시 내·외부 주간 시간대 이동행태분석에서 약 67% 정도가 의정부시 내부에서 외부로 이동하는 것으로 나타나, 의정부시는 주간시간대 유입보다 유출이 많은 위성도시로서의 역할이 강한 것으로 나타났다. 양주시, 포천시, 노원구, 도봉구, 남양주시 등은 의정부 시민의 주요 외부 활동중심지이면서 이 지역으로부터 의정부시 내부에서 활동하는 인구 또한 많은 것으로 나타났다. 의정부시 내부에서 활동하는 인구는 야간시간대에 비해 주간시간대에 약 15% 감소하였다. 법정동별/시간대별 활동인구를 분석한 결과, 신곡동은 거주 위주, 의정부동은 주간 활동중심지임을 알 수 있었다. 이같이 주간 활동중심지의 공간적 위치 파악은 교통계획뿐만 아니라 도시계획, 시설계획, 상권분석 등을 위한 중요한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

의정부시민의 내부 활동 및 이동행태를 살펴보면, 신곡동 거주자들은 의정부동으로, 용현동 거주자들은 민락동으로, 민락동 거주자들은 용현동으로, 가능동 거주자는 의정부동으로, 의정부동 거주자들은 가능동으로의 이동이 많은 것으로 나타났다. 하지만, 법정동간 이동패턴만으로는 의정부경전철 이

용행태와의 관계를 파악하기엔 다소 무리가 있는 것으로 나타났다. 반면, 통신량 빅데이터는 내외부의 활동 및 통행패턴과 도시철도망 접근성 및 연계성을 판단하는 데 매우 유효한 것으로 나타났다. 의정부시를 중심으로 한 도시철도망 서비스 수혜권은 서울시 동부권과 의정부시 북부권이다. 도시철도망 연계성을 보다 세부적으로 분석하기 위해 대중교통 통행시간 경쟁력과 환승횟수 지표를 활용하여 분석하였다. 의정부시 내외부 총통행인구를 바탕으로 도시철도망 연계성이 매우 불량한 지역은 고양시, 중랑구, 파주시, 강동구, 성남시, 하남시 등으로 나타났으며, 대중교통 통행시간이 미흡한 곳(양주시, 노원구, 도봉구, 남양주시)과 환승저항이 높은 곳(서초구, 광진구, 송파구)을 분석하였다.

의정부시 사례를 중심으로 통신량 빅데이터의 교통부문 활용성을 다음과 같이 요약할 수 있다. 통신량 자료는 읍면동 단위의 지역 내 시간대별 활동패턴과 지역 간 시간대별 활동 및 이동패턴 분석을 위해서는 별다른 조사분석이 필요 없을 정도로 분석에 매우 유용한 것으로 나타났다. 이에 반해, 지역 내 미시적인 통행패턴에서는 한계를 지닌다. 이는 개인정보보호법에 따른 통신량 데이터 제공의 제약(예를 들어 거주지 위치는 법정동 단위가 최소 공간적 단위이며 개별 통행자의 경로 추적 불가)이 있기 때문이다. 이로 인해 미시적인 이동경로가 필요한 도시철도 노선 주변에서 출발/도착하는 통행인구의 패턴을 분석하는 데 한계가 있는 것으로 나타났다. 향후 도시철도를 비롯한 도시 내 통행패턴을 미시적으로 분석하기 위해서는 개인단위의 이동 정보를 확인할 수 있는 자료가 공익 목적으로 제공될 필요성이 있다. 통신량 데이터는 교통분야뿐 만 아니라 인간/물류의 이동이 포함되는 타 연구분야(도시계획, 재난/재해, 환경 등)에도 활용될 수 있는 매우 가치 있는 정보이므로 향후 연구개발의 기초 자료로써 자료의 구축 및 제공을 위한 지속적인 관

심이 필요하다. 또한 본 연구에서는 의정부시를 중심으로 활동 및 이동패턴을 분석하고 도시철도망과의 관계를 검토하기 위해 도시철도망 연계성 및 접근성을 상대적인 기준으로 평가하였다. 향후 통신량 데이터를 접목한 평가기준과 지표개발에 대한 연구가 추가적으로 요구된다.

인용문헌

References

1. 경북대학교, 2015. 「모바일 폰을 활용한 서비스인구 추정 연구(대구, 경북지역)」, 경북. KNU, 2015. *Estimation of Service Population Using Mobile Phone Data - Focused on Daegu and Gyeongbuk Areas*, Kyungpook.
2. 김경태·오동규·이인목·민재홍, 2016. “이동통신 자료를 활용한 가정기반 OD 구축 및 분석, 「한국철도학회논문집」, 19(5):656-662. Kim, K. T., Oh, D. K., Lee, I. M., Min, J. H., 2016. “Home-based OD Matrix Production and Analysis Using Mobile Phone Data”, *Journal of the Korean Society for Railway*, 19(5):656-662.
3. 김경태·이인목·곽호찬·민재홍, 2015. “유동인구 추정 시 통신 자료의 활용에 관한 연구”, 「서울도시연구」, 16(3):181-191. Kim, K. T., Lee, I. M., Kwak, H. C., Min, J. H., 2015. “Application Study of Telecommunication Record Data in Floating Population Estimation”, *Seoul City Study*, 16(3):181-191.
4. 김경태·이인목·민재홍·곽호찬, 2015. “무선통신 자료를 활용한 통행발생량 분석”, 「한국철도학회논문집」, 18(5):481-488. Kim, K. T., Lee, I. M., Min, J. H., Kwak, H. C., 2015. “Trip Generation Analysis Using Mobile Phone Data”, *Journal of the Korean Society for Railway*, 18(5):481-488.
5. 김순관·장지은, 2012. 「교통카드 이용자 통행행태 연계분석 방안」, 서울: 서울연구원. Kim, S. K., Jang, J. E., 2012. *Travel*

- Characteristics and Behavior of Transit Card Users*, Seoul: The Seoul Institute.
6. 빈미영·정의석·박형원, “2012. 생애주기별 통근통행 시간 영향요인 분석 : 경기도를 중심으로”, 『대한교통학회지』, 30(3):71-82.
 - Bin, M. Y., Chung, E. S., Park, H. W., 2012. “Study on Commuting Travel Time Divided by Life Cycle: In Gyeonggi-Do Case”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 30(3):71-82.
 7. 서울시, 2013. “올빼미 심야버스 9개 노선 운영”, 서울시 보도자료, Seoul, 2013. “Operation of Night Bus Owls 9 Routes, City of Seoul Press Release.
 8. 엄진기·송지영·이광섭, 2014. “2호선 혼잡구간 OD 수요 분리유도를 통한 혼잡도 개선 방안(교통카드 빅데이터 분석을 중심으로)”, 『한국철도학회 논문집』, 17(6): 457-465.
 - Eom, J. K., Song, J. Y., Lee, K. S., 2014. “Load Factor Decrease in the Seoul Metro Circle Line through Analyzing Passenger OD Demand”, *Journal of the Korean Society for Railway*, 17(6):1-9.
 9. 엄진기·최명훈·김대성·이준·송지영, 2012. “스마트 카드 데이터를 활용한 도시철도 서비스 평가(인천1호선의 차내혼잡과 정시성을 중심으로)”, 『한국철도학회 논문집』, 15(1):80-87.
 - Eom, J. K., Choi, M. H., Kim, D. W., Lee, J., Song, J. Y., 2012. “Evaluation of Metro Services based on Transit Smart Card Data (A Case Study of Incheon Line 1)”, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(1):80-87.
 10. 유소형, 2013. 「경전철 이용자 이동단계별 서비스 만족도 영향요인 분석 : 의정부경전철 중심으로」, 한양대학교 석사학위논문.
 - You, S. H., 2013. *An analysis of service influence factors for LRT (Light Rail Transit) users considering movement phases - Focused on Uijeongbu LRT*, Master’s Degree Dissertatiun, Hanyang University.
 11. 윤서연·이춘용·김호정·육동형·김상록, 2015. 「지역간 교통수요 예측의 신뢰성 제고를 위한 빅데이터 활용방안 연구」, 경기: 국토연구원.
 - Yoon, S. Y., Lee, C. Y., Kim, H. J., Yook, D. H., Kim, S. R., 2015. *A Study on Usability of Big Data to Enhance Reliability of Regional Travel Demand Forecasting*, Gyeonggi: KRIHS.
 12. 이석주·연지윤·천승훈, 2013. 「빅데이터를 이용한 교통정책 개발 및 활용성 증대방안」, 경기: 한국교통연구원.
 - Lee, S. J., Yeon, J. Y., Cheon, S. H., 2013. *Big Data for Transportation Policies and Their Applications*, Gyeonggi: The Korea Transport Institute.
 13. 정철·김시곤·김찬성, 2007. “지역간 철도수요분석에서 비용과 시간탄력성의 비교연구. KTX 수요에 대한 탄력성을 중심으로”, 『대한토목학회논문집』, 27(5D):547-553.
 - Chung, C., Kim, S. G., Kim, C. S., 2007. “A Comparison Study on Fare and Time Elasticities on Intercity Rail Travel Demand”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, 27(5D):547-553.
 14. Huntsinger, L.F., and Ward, K., 2015. “Using Mobile Phone Location Data to Develop External Trip Models”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2499: 25-32.
 15. Iqbal, M.S., Choudhury, C.F., Wang, P., Gonzalez, M.C., 2014. “Development of Origin-Destination Matrices Using Mobile Phone Call Data”, *Transportation Research Part C*, 40:63-74.
 16. Jarv, O., Ahas, R., Witlox, F., 2014. “Understanding Monthly Variability in Human Activity Spaces: A Twelve-Month Study Using Mobile Phone Call Detail Records”, *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 38:122-135.
 17. Kung, K.S., Greco, K., Sobolevsky, S., Ratti, C., 2014. “Exploring Universal Patterns in Human Home-Work Commuting from Mobile Phone Data”, *PLoS ONE*, 9(6): e96180.

18. Lee, J.H., Gao, S., Goulias K.G., 2016. "Can Twitter Data be Used to Validate Travel Demand Models?", *95th Annual Transportation Research Board Meeting*, Washington, D.C.
19. Lenormand M, Picornell M, Cantú-Ros OG, Tugores A, Louail T, Herranz R, et al., 2014. "Cross-Checking Different Sources of Mobility Information", *PLoS ONE*, 9(8):e105184.
20. Louail, T., Lenormand, M., Picornell, M., Cantu, O.G., Herranz, R., Frias-Martinez, E., Ramasco, J.J., Barthelemy, M., 2015. "Uncovering the Spatial Structure of Mobility Networks", *Nature Communications*, 6:6007.
21. Lu, X., Bengtsson, L., Holme, P., 2012. "Predictability of Population Displacement after the 2010 Haiti Earthquake", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(29): 11576-11581.
22. Pei, T., Sobolevsky, S., Ratti, C., Shaw, S., Li, T., Zhou, C., 2014. "A New Insight into Land Use Classification Based on Aggregated Mobile Phone Data", *International Journal of Geographical Information Science*, 28(9): 1988-2007.
23. Tao, S., Rohde, D., Corcoran, J., 2014. "Examining the Spatial-Temporal Dynamics of Bus Passenger Travel Behavior Using Smart Card Data and the Flow-Comap", *Journal of Transport Geography*, 41: 21-36.
24. Wesolowski, A., Eagle, N., Tatem, A., Smith, D., Noor, A., Snow, R., Buckee, C., 2012. "Quantifying the Impact of Human Mobility on Malaria", *Science*, 338(6104): 267-270.
25. Widhalm, P., Yang, Y., Ulm, M., Athavale, S., Gonzalez, M.C., 2015. "Discovering Urban Activity Patterns in Cell Phone Data", *Transportation*, 42(4): 597-623.

Date Received 2017-06-26
 Reviewed(1st) 2017-07-25
 Date Revised 2017-08-07
 Reviewed(2nd) 2017-08-20
 Date Accepted 2017-08-20
 Final Received 2017-09-19