

심박수를 활용한 교통수단별 신체활동 정보 분석 연구

A Study on Physical Activity by Transportation Mode Using Heart Rate

정은비* · 유소영** · 유승민***

* 주저자 : 한국철도기술연구원 미래교통정책본부 선임연구원

** 공저자 : 한국철도기술연구원 미래교통정책본부 선임연구원

*** 교신저자 : 한국철도기술연구원 미래교통정책본부 선임연구원

Enubi Jeong* · Soyoung Iris You* · Seung Min Yu*

* Innovative Transport Policy Division, Korea Railroad Research Institute

† Corresponding author : Seung Min Yu, smyu@krii.re.kr

Vol.19 No.4(2020)

August, 2020

pp.100~115

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.4.100>

2020.19.4.100

Received 7 July 2020

Revised 31 July 2020

Accepted 24 August 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

최근 각종 센서 및 통신 기술의 발전에 따라 다양한 자료수집이 용이해졌으며, 스마트폰과 연동하여 활동에 대한 기록이 가능한 웨어러블 디바이스 관련 시장이 확대되고 있다. 본 연구에서는 웨어러블 디바이스에서 수집이 가능한 개별 이용자 이동정보, 신체활동 정보 분석을 통해 대중교통 이용이 신체활동에 미치는 영향 정보제공을 위한 기초 분석을 수행하고, 개별 신체활동 정보를 제공하였다. 교통수단별 신체활동 분석은 자료수집, 기초 통계분석, 신체활동 정보 분석의 3단계로 구성하였다. 20-30대 성인남녀 4명을 피험자로 모집하여 상용 웨어러블 디바이스인 Fitbit을 통해 교통수단 이용에 따른 신체활동 정보 및 경로 정보를 수집하였다. 수집된 신체활동 정보 중 심박수를 이용한 예비심박률(%HRR: Percentage of Heart Rate Reserve)을 도출하여 분석에 활용하였다. 분석결과, 교통수단별로 예비심박률은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 도보를 이용하는 경우 신체활동 강도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, 추후 이용자에게 신체활동 정보제공 서비스를 제공하기 위한 기초 분석으로, 동일한 기종점에 대한 서로 다른 경로를 이용하는 경우에 대한 신체활동 분석결과를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 결과는 향후 대중교통 활성화 정책 마련, 이용자 맞춤형 서비스 제공을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : 심박수, 심박수 강도, 신체활동, 대중교통, 웨어러블 디바이스

ABSTRACT

Recently, with the development of various sensors and communication technologies, the market for wearable devices capable of recording physical activity in connection with a smartphone is expanding. The purpose of this study is to analyze physical activity for each transportation modes in order to utilize wearable devices in the field of transportation. This study consists of three steps: data collection, basic statistical analysis, and physical activity analysis. Four adult males and females were recruited as investigators, and physical activity and route information were collected through Fitbit, a commercial wearable device. From the collected physical activity information, a percentage of heart rate reserve (%HRR) using a heart rate was derived and used for analysis. As a results, it was found that there is a statistically significant difference in heart rate for each transportation mode, and physical activity intensity is the highest when walking. In addition, the results of physical activity analysis for the case of using different routes for the same OD were presented. The results presented in this study are expected to be used as basic data for preparing public transportation activation policies and providing customized services for the future.

Key words : Heart rate, Heart rate intensity, Physical activity, Public transportation, Wearable device

I. 서론

최근 각종 센서 및 통신 기술의 발전을 통해 다양한 자료수집이 용이해졌으며, 이를 기반으로 다양한 기능을 갖춘 스마트 기기가 도입되어 활용되고 있다. 스트래티지에널리틱스(SA)에 따르면 2019년 3분기 세계 스마트워치 시장의 출하량은 1,400만대로 집계되어, 2018년보다 42% 증가한 수치를 보였다(strategy analytics, 2019). 이처럼 바쁜 일상 속에서 활동을 기록하고 확인할 수 있는 웨어러블 디바이스에 대한 관심이 증가함에 따라 스마트폰과 연동하여 활용이 가능한 웨어러블 디바이스, 스마트워치 등 관련 시장이 확대되고 있으며, 이로 인해 현대인들이 다양한 서비스를 경험할 수 있는 폭이 넓어지고 있다. 웨어러블 디바이스란 PC 또는 스마트폰 앱과 연동하여 착용자의 운동량, 소모 열량, 건강상태 등을 확인할 수 있는 스마트 기기로서, 웨어러블 디바이스에 기록되는 심박수는 신체활동 정보, 수면 패턴 분석, 위급상황 감지 등 건강과 관련된 다양한 서비스를 제공하기 위한 중요한 정보로 활용되고 있다.

공공보건, 사회체육, 스포츠의학 등에서는 대중교통으로의 수단전환¹⁾에 따른 건강에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있으며, 자가용에서 대중교통으로의 수단전환 시 대사증후군 등의 건강 측면에서 긍정적인 효과를 미친다고 제시하였다. 교통 분야에서도 최근 건강에 대한 관심이 대두됨에 따라 대중교통 이용 활성화를 위한 다양한 방안 중 하나로, 대중교통 이용에 따른 신체활동 정보제공을 위한 다양한 연구를 수행하고 있다. 보건소, 지하철, 학교 등에서는 계단 사용 시 계단 한 칸마다 연장되는 수명의 시간과 소모되는 칼로리 정보를 제공하여 이용자의 건강관리를 위한 신체활동을 유도하고 있다. 그러나 이러한 신체활동 정보는 불특정 다수를 위한 정적 정보이며, 개인의 특성에 따른 정보를 제공하지는 못하고 있다. 스마트워치와 같은 개인 스마트 기기를 통해 각 개인의 이동 동선에 따른 개인별 신체활동 정보를 제공한다면, 개별 이용자들에게 맞춤형 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 정보는 이용자에게 맞춤형 신체활동 정보를 제공할 뿐만 아니라, 대중교통에 대한 이동성, 편의성을 평가하는 등 다양한 분야에 활용이 가능한 기술로 전망된다.

본 연구에서는 스마트워치 등과 같은 웨어러블 디바이스에서 수집이 가능한 개별 이용자 이동정보, 심박수와 같은 신체활동 정보를 이용하여 교통수단별 신체활동 변화를 분석하고, 기초분석 결과를 활용하여 이용자에게 신체활동 정보를 제공할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 웨어러블 디바이스를 착용하고 다양한 교통수단을 이용한 후, 수단별 신체활동을 나타내는 심박수를 비교·분석하였다. 교통수단별 신체활동 분석은 자료수집, 기초 통계분석, 신체활동 분석 및 정보제공 방안 제시 단계로 구성된다. 자료수집 단계는 20-30대 성인남녀 4명을 피험자로 모집하여 주어진 경로에 대한 경로 정보, 신체활동 정보를 수집하는 단계로, 상용화된 웨어러블 디바이스 제품인 Fitbit을 활용하여 자료를 수집하였다. 기초 통계분석 단계에서는 수집된 자료를 통행 수단별로 구분하고, 수단별로 심박수에 대한 상자그래프를 제시하였으며, 분산분석 및 사후분석을 통해 신체활동 정도의 차이를 분석하였다. 마지막 신체활동 분석 및 정보제공 방안 제시에서는 개인별로 차이가 있는 심박수를 예비심박률(%HRR: Percentage of Heart Rate Reserve)로 표준화하여 대중교통 수단별 심박수 강도의 분포를 분석하였다. 또한, 동일한 기중점²⁾을 서로 다른 두 개의 경로를 이용하는 시나리오에 대한 신체활동 분석을 통해 대중교통 이용자들에게 신체활동 정보를 제공할 수 있는 방안을 제안하고자 하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 웨어러블 디바이스 및 대중교통 이용에 따른 신체활동 관련 문헌을 검토하였다. 3장에서는 연구 흐름도를 제시하여 전체적인 연구 내용 및 방법론을 제시하였으며, 4장에서는 자료수집 방법 및 데이터 구축 현황을 서술하였다. 5장에서는 기초 통계분석 및 신체활동정보 분석 결과를 제시하였으며, 마지막으로 본 연구의 한계점, 향후 연구과제 등에 대한 논의와 결론을 제시하였다.

1) (ex.)
2)

II. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 심박수 기반의 대중교통 이용에 따른 신체활동 정보 분석을 위해 웨어러블 디바이스 현황, 심박수를 활용한 다양한 연구 및 대중교통 이용에 따른 신체활동, 스트레스 관련 연구를 검토하였으며, <Table 1>에 관련 연구에 대한 주요 내용을 요약하였다.

개개인의 건강관리를 중요시하는 현대 사회에서 웨어러블 디바이스의 전망은 높으며, 이와 관련된 연구 및 조사가 활발히 진행되고 있다. Kim and Kim(2018)은 웨어러블 디바이스와 헬스케어 산업의 동향을 제시하였다. 웨어러블 디바이스의 특성, 주요 기능 등을 서술하고 헬스케어 서비스에 대해 조사하여 웨어러블 디바이스를 활용한 헬스케어 산업 전망을 제시하였다. 과거 치료위주에서 미래 예방위주로 건강에 대한 인식이 변화하면서 웨어러블 디바이스를 활용한 건강관리의 중요성을 강조하며, 디지털 헬스케어 분야에서 주요한 역할을 할 것이라는 전망을 제시하였다. Doh et al.(2014)은 웨어러블 디바이스 사용자에게 대한 심층 인터뷰를 통해 사용성과 지속성 측면에서 서비스를 평가하고, 서비스 개선을 위한 접근 방향을 제시하였다. 조사 결과, 기술적 한계, 정보 인력, 피드백, 인터랙션 등의 7가지 문제점을 도출하였으며, 건강관리를 위한 웨어러블 디바이스 개선 방안을 도출하였다.

웨어러블 디바이스는 신체에 부착하여 신체 관련 정보를 수집할 수 있다. 특히, 칼로리 소비, 활동 및 이동, 수면 분석 등 심박수 기반의 다양한 서비스를 제공하고 있으며, 심박수는 이러한 분석에 주요한 변수로 작용한다. Lim and Lee(2009)는 사무직 회사원, 승용차 통근자를 대상으로 8주 동안 대중교통으로 통근수단을 전환하여 이에 따른 신체활동 증가가 체력 및 심혈관계에 미치는 영향을 분석하였다. Kim et al.(2016)은 12주간 대중교통으로의 통근수단 전환이 중년 남성의 심혈관 기능과 비만 지표에 미치는 영향을 분석하였다. Fitch et al.(2020)은 심박변이도(HRV: Heart Rate Variability)를 통해 자전거 이용자의 스트레스를 분석하였으며, Doorley et al.(2015)은 자전거 이용자가 다양한 위험 상황에 노출되었을 때 변화되는 심박수의 패턴을 분석하였다. 위험도가 높은 도로를 주행할 때 심박 변이도 및 심박수가 높아지는 것으로 나타났으며, 이러한 패턴 변화를 통해 도로 위험도, 주행 안정성 평가 등에 활용 할 수 있음을 제시하였다. Oh et al.(2018)은 개별 통행 및 신체활동 데이터 수집을 위한 모바일 애플리케이션을 개발하였다. 휴대폰과 웨어러블 디바이스

<Table 1> Summary of literatures

Related research	Author	Main contents
Wearable devices	Kim and Kim(2018)	• Presenting wearable device and healthcare industry trends
	Doh et al.(2014)	• Evaluating wearable device usability and persistency
Heart rate utilization	Lim and Lee(2009)	• Analysis of the effects of physical and cardiovascular by public transportation mode
	Kim et al.(2016)	• Analysis of the effects of cardiovascular and obesity by public transportation mode
	Fitch et al.(2020)	• Analysis of cycling user stress using heart rate variability (HRV)
	Dootley et al.(2015)	• Analysis of cyclists' heart rate patterns according to exposure to dangerous situation
	Oh et al.(2018)	• Development of mobile app. for collecting individual trip and physical activity data
Physical activity	Liao et al.(2016)	• Analysis of the association between transportation mode and obesity
	Wasfi et al.(2013)	• Analysis of physical activity index by walking distance
	Joo and Oh(2018)	• Proposal of integrated evaluation framework for transportation system considering mobility, safety, environmental and physical activity
Stress of public transportation	Park(2013)	• Analysis of stress factors according to transportation conditions using biometric indicator
	Lee and Park(2015)	• Analysis if the stress influence relationship according to the usage environment of bus

를 통합한 데이터 수집 방안을 제시하였으며, 일일활동, 교통수단, 수단별 이동시간, 신체활동 정보를 수집하였다. 이를 통해 서로 다른 교통수단별 신체활동 정보를 분석하고, 건강을 위한 다양한 정책에 반영할 수 있는 가능성을 제시하였다.

대중교통 이용에 따른 신체활동 관련 연구는 대부분 가구통행실태조사 기반으로 자료를 수집하여 통계적인 분석이 주로 수행되었다. Liao et al.(2016)은 대중교통, 도보 및 자전거 등 신체적 이동수단, 자가용 세 가지 수단에 대해 비만과의 연관성을 분석하였다. 설문조사를 통해 자료를 수집하였으며, 분석결과 대중교통 및 신체적 이동수단이 신체활동을 증가시켜 비만을 감소시키는 것으로 나타났다. Wasfi et al.(2013)은 대도시권에서 대중교통을 이용할 때 소요되는 도보 거리에 의한 신체활동 지수 특성을 분석하였다. 일일 통행조사를 통해 자료를 수집하였으며, 대중교통 이용시 일일 권장 도보량이 달성 가능하다는 결과를 제시하였다. Joo and Oh(2018)은 이동성, 안전성, 환경성, 신체활동에 대한 종합적인 평가지표를 도출하여 교통시스템에 대한 통합 평가 방안을 제시하고, 다양한 지표를 통해 교통시스템을 평가함으로써 교통시스템 개선 정책 등 다양한 전략 수립에 대한 활용 가능성을 제시하였다.

대중교통 이용에 따른 신체활동 외에도 신체적, 심리적 스트레스에 관한 연구도 진행되었으며, 관련 연구를 통해 대중교통 서비스 개선 정책 마련을 위한 기반을 제시하였다. Park(2013)은 생체지표를 활용하여 통근 시 교통수단별 이용 환경 조건에 따른 스트레스 요인을 분석하고, 요인별 스트레스의 특성을 분석하였다. 분석결과, 지하철, 승용차, 버스 순으로 스트레스가 적은 것으로 나타났으며, 대중교통 이용에 따른 세부 스트레스 분석결과를 제시하였다. Lee and Park(2015)은 대중교통 중 버스를 이용하는 이용자가 받는 이용 환경이 스트레스에 미치는 영향관계를 분석하였다. 분석결과, 탑승 혼잡, 환승, 운영, 계절, 정류장시설 순으로 이용자의 스트레스에 높은 영향을 미치는 것으로 나타나, 시설과 운영의 양적인 요인보다는 질적인 서비스 수준과 관련성이 더 높은 것으로 분석되어 이용자 중심의 대중교통 정책 필요성을 강조하였다.

기존 문헌고찰 결과에 따르면, 웨어러블 디바이스를 활용한 헬스케어, 신체활동 분석 시장이 점차 증가하고 있음을 확인하였다. 국내외 심박수 관련 연구에 따르면 신체활동을 정확하게 측정할 수 있는 별도의 장비를 활용한 경우가 많았으며, 이용자가 간편하게 접근하여 개인적으로 신체활동을 모니터링할 수 있는 방안이 미흡하였다. 또한, 설문조사, 통행실태조사 등을 통해 이용자의 신체활동을 분석하여 실시간으로 개별 활동을 모니터링할 수 있는 기반이 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 이용자가 쉽게 접근할 수 있는 웨어러블 디바이스 기기를 통해 수집할 수 있는 센서 데이터를 이용하여 대중교통 수단별 신체활동 정보를 분석하고, 이를 통해 이용자에게 실시간으로 신체활동에 대한 다양한 서비스를 제공할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

III. 연구 흐름도

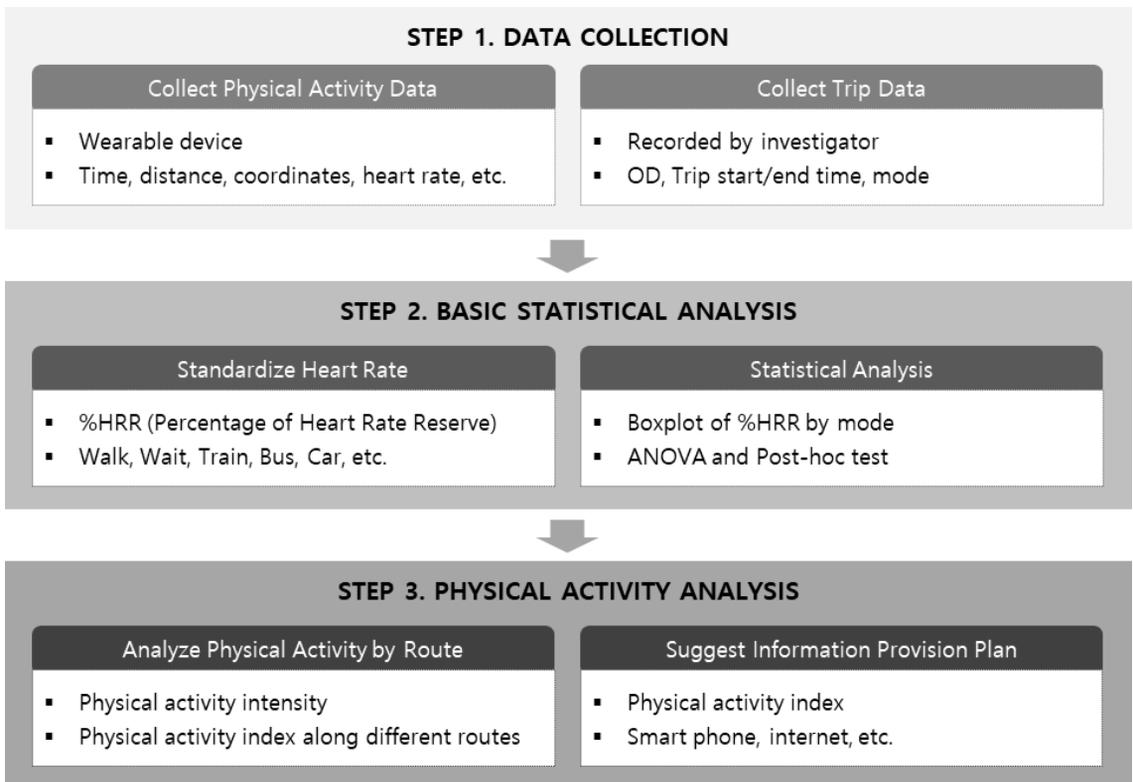
본 연구에서는 심박수를 활용하여 교통수단별 신체활동을 분석하고, 신체활동 분석 결과를 통해 이용자에게 경로별 신체활동 정보를 제공하기 위한 방안을 제안하고자 한다. 연구 흐름도는 <Fig. 1>과 같이 자료수집, 기초 통계분석, 신체활동 분석의 총 3단계로 구성되어 있다.

자료수집 단계에서는 본 연구에서 주요 지표로 활용되는 심박수를 수집하기 위하여 상용화된 웨어러블 디바이스를 활용하여 신체활동 자료를 수집하였다. 1초 단위로 신체활동 자료가 수집되며, 이는 엑셀 파일로 Export하여 연구에 활용할 수 있다. 또한, 신체활동 자료 외에 피험자가 실제 이동한 통행에 대한 자료를 수집하였다. 통행 자료는 통행 시작시간, 종료시간, 통행 수단, 목적지 등 웨어러블 디바이스를 통해 수집이 어려운 정보를 기재하도록 피험자에게 요청하여 수집하였다. 웨어러블 디바이스를 통해 수집한 신체활동 자료

와 피험자를 통해 수집한 통행 자료를 매칭하여 분석을 위한 데이터셋을 구축하였다.

기초 통계분석 단계에서는 각 피험자로부터 수집된 신체활동 자료를 분석하기 위한 기초 분석을 수행하였다. 심박수의 경우 피험자 특성에 따라 심박수의 범위, 패턴 등이 다르게 나타날 수 있기 때문에 예비심박률(%HRR: Percentage of Heart Rate Reserve)을 이용하여 표준화하였다. 표준화된 예비심박률 값을 이용하여 수단별 신체활동 변화에 대한 비교·분석을 수행하였으며, 수단별 예비심박률 변화를 상자그래프(Boxplot)를 통해 제시하였다. 마지막으로 수단별 신체활동의 차이가 존재하는지 통계적으로 검증하기 위하여 분산분석 및 사후분석을 수행하여 통계적 유의성을 검증하였다.

마지막 단계인 신체활동 분석 단계에서는 앞서 도출한 예비심박률을 이용하여 동일한 기준점을 서로 다른 경로로 이동하는 경우에 대하여 신체활동 정도를 분석하였다. 교통을 이용하는 이용자들에게 정보의 다양성을 통해 선택의 폭을 넓혀주기 위한 서비스로, 추후 이러한 정보를 제공할 수 있는 방안을 함께 제시하였다.



<Fig. 1> Framework of this study

IV. 자료수집 및 데이터셋 구축

본 연구에서는 교통수단별 신체활동 관련 자료를 수집하기 위하여 상용화된 웨어러블 디바이스 기기인 핏빗(Fitbit Charge2)을 이용하였다. 20대 남성 3인과 30대 여성 1인을 대상으로 자료를 수집하였으며, 조사자의 기본적인 정보는 <Table 2>와 같다. 피험자는 2018년 10~11월, 약 2개월간 이동 시 웨어러블 디바이스를

장착하고 이동하여 자료를 수집하였다. 상용 웨어러블 디바이스인 핏빗은 활동모드를 켜 상태에서 실시간 신체활동 정보를 수집할 수 있으며, 이를 통해 1초 단위로 데이터 수집시간, 이동 거리, 좌표(위도, 경도, 고도), 심박수 값을 수집하였다. 웨어러블 디바이스를 통해 수집되는 데이터로는 세부 이동경로, 이용 수단 등의 정보는 수집할 수 없기 때문에 <Fig. 2>와 같이 조사자에게 이동 경로 및 이용 수단 등의 통행 정보를 직접 기재하도록 요청하여 추가적인 자료를 수집하였다. 또한, 자료를 수집하는 피험자에게는 이용 교통수단을 최대한 자세히 기재할 수 있도록 <Table 3>과 같이 도보, 대기, 열차, 버스, 승용차, 기타로 구분하여 작성하도록 요청하였다.

<Table 2> Investigator information

Person	Gender	Age	Height (cm)	Weight (kg)	# of collected day-trip data	# of collected mode-trip data
A	Male	20	177	65	25	469
B	Male	20	183	112	11	40
C	Male	20	181	80	7	85
D	Female	31	165	53	9	157

<Table 3> List of transportation mode

Mode	1	2	3	4	5	6
	Walking	Waiting	Train	Bus	Car	Etc.
Detail	Plane Stair Escalator	-	Subway KTX, SRT Mugungwha	Normal bus Intercity bus Rapid bus	Car Taxi	Food Cafe etc.

Wearable Device Health Care & Check List

2018. 10. 18. Investigator: A

Origin	Stopover												Destination		
	Stopover		1		2		3		4		5			6	
	Lodation														
	Mode														
Start Time		End Time													
Home	Bus stop		Uiwang Station		Inside Uiwang Station		Inside Uiwang Station		Moving		Seoul Station				Seoul Station
	Walking		Bus		Walking (stair)		Walking (escalator)		Subway		Walking				12:54 / 13:03
11:20	11:20	11:25	11:28	11:35	11:35	11:37	11:37	11:38	11:41	12:53	12:53	12:54			
Seoul	Moving		Inside Sadang Station		Inside Sadang Station		Moving		Sadang Station						Sadang Station
	Subway		Walking		Inside Sadang Station		Subway		Walking						13:49 / 14:28
13:03	13:03	13:20	13:20	13:23	13:23	13:24	13:29	13:49	13:49	13:55	13:55	14:28			

<Fig. 2> Check list for collecting travel information

웨어러블 디바이스로부터 1초 단위로 수집되는 시간, 좌표, 신체활동 자료를 조사자가 직접 기재한 통행 자료인 출·도착지, 출·도착시간, 이동수단과 매칭하여 각 수단에 따른 신체활동 정보를 분석할 수 있도록 <Table 4>와 같이 자료를 구축하였다. 구축한 데이터셋은 피험자를 대상으로 총 52개의 일일 통행 파일을 수집하였으며, 각 일일 통행을 총 751개의 수단별 통행 자료로 세분화하여 교통수단에 따른 신체활동 분석결과를 도출하였다.

<Table 4> Collected and constructed dataset

Data type	Variable		Description	
Physical Activity Data (Wearable device)	T		Time	
	Dist.		Distance	
	Lat.		Latitude	
	Lon.		Longitude	
	Alt.		Altitude	
	HR		Heart Rate	
Trip Data (Recorded by investigator)	O		Origin for each trip	
	D		Destination for each trip	
	ST		Start time for each trip	
	ET		End time for each trip	
	Mode		Transportation mode for each trip	

Physical Activity Data						Trip Data					
T	Dist	Lat	Lon	Alt	HR	O	D	ST	ET	Mode	
2018-10-26T13:01:28.000+09:00	0.00	37.3209	126.9482	41.3184	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:33.000+09:00	6.22	37.3209	126.9482	40.2629	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:34.000+09:00	7.87	37.3209	126.9482	40.0535	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:35.000+09:00	9.58	37.3209	126.9482	39.7499	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:36.000+09:00	11.63	37.3209	126.9482	39.3632	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:37.000+09:00	14.00	37.3209	126.9482	38.9049	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:38.000+09:00	16.68	37.3209	126.9482	38.4502	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:39.000+09:00	19.76	37.3209	126.9482	38.0657	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:40.000+09:00	23.20	37.3208	126.9482	37.7454	91	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:41.000+09:00	26.55	37.3208	126.9482	37.4214	92	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:42.000+09:00	29.74	37.3208	126.9482	37.1551	93	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:43.000+09:00	32.59	37.3208	126.9482	36.9964	94	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:44.000+09:00	34.69	37.3208	126.9482	36.8150	94	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:45.000+09:00	36.17	37.3208	126.9482	36.7805	95	Uiwang Station	Byeonggeon Station	13:00	13:20	Subway(line 1)	
2018-10-26T13:01:46.000+09:00	36.54	37.3208	126.9482	36.8698	96	Uiwana Station	Bveonaaeon Station	13:00	13:20	Subwav(line 1)	

V. 교통수단별 신체활동 분석

1. 예비심박률 (Percentage of Heart Rate Reserve)

본 연구에서는 수집된 교통수단별 신체활동 자료를 기반으로 수단별 심박수의 차이를 분석하였다. 앞서 제시한 6개 수단인 도보, 대기, 열차, 버스, 승용차, 기타로 구분하여 기초 통계분석 및 분산분석을 통해 수단별 신체활동에 통계적 차이가 있는지에 대한 유의성 검증을 수행하였다. 심박수는 개인의 연령, 성별, 체중, 체력 등에 따라 서로 다른 변화 패턴을 보이기 때문에, 본 연구에서는 예비심박률인 Percentage of Heart Rate Reserve(%HRR)를 통해 심박수를 표준화하여 분석에 활용하였다.

예비심박률(%HRR)은 신체활동의 강도를 결정하는 지수로 사용되며, Heart Rate Reserve(HRR)에 대한 현재 심박 상태를 의미한다. HRR은 개인이 신체활동을 통해 심각한 문제 없이 달성 가능한 최대 심박수에서 휴식시 심박수를 뺀 값으로, 본인의 최적 체력 기준이 되는 값으로 정의할 수 있다(Karvonen et al., 1957; Gregory, 2002). 스포츠과학, 스포츠의학, 보건 분야에서는 %HRR, 최대 산소포화도(%VO2max)와의 관계 연구를 활발히 수행하고 있으며, %HRR과 산소포화도를 동일한 의미로 해석하여 사용하고 있다(Swain and Leutholtz, 1997; Solheim et al., 2014). 본 연구에서는 %HRR을 기준으로 신체활동 분석을 수행하였으며, %HRR은 식 (1)을 통해 도출할 수 있다. 예비심박률이 0인 경우는 현재 심박상태가 휴식시 심박수와 동일한 경우로, 안정적인 심박 상태를 의미하며, 예비심박률이 100인 경우는 최대 심박수에 도달한 상태로 신체활동 강도가 본인이 취할 수 있는 최대 상태라는 것을 의미한다. %HRR을 통해 심박수 강도를 결정하는 기준은 ACSM(American College of Sports Medicine, 2014)에서 제시한 신체활동 강도 분류 방법을 활용하였으며, <Table 5>의 기준을 따르도록 한다.

$$\%HRR = \frac{HR_T - HR_{resting}}{HRR} = \frac{HR_T - HR_{resting}}{HR_{max} - HR_{resting}} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

Where, %HRR: 예비심박률 (Percentage of Heart Rate Reserve)
 HR_T: 시간 T에서의 심박수
 HR_{resting}: 휴식 시 심박수 (from Fitbit)
 HR_{max}: 최대 심박수 (=220 - Age)

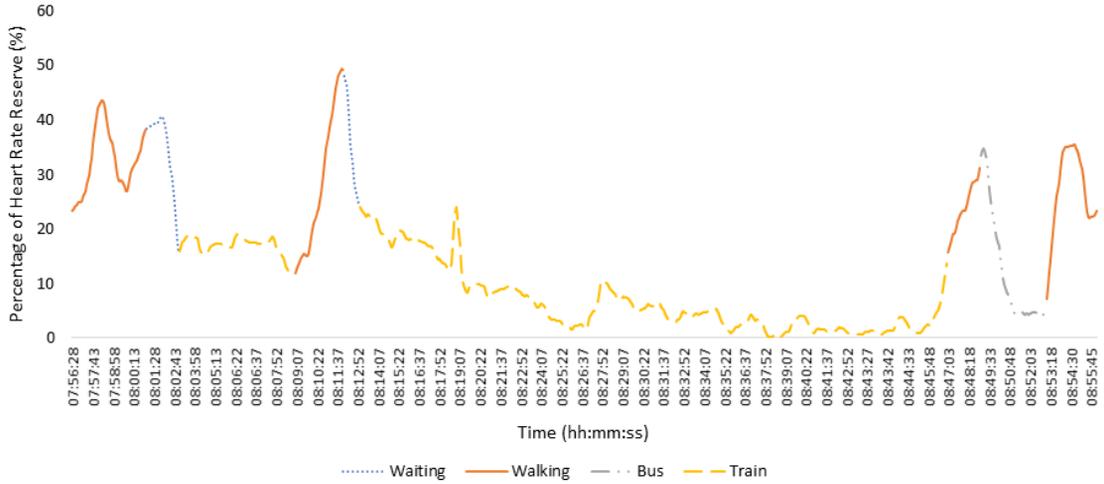
<Table 5> Classification of physical activity intensity

Intensity	Range of %HRR
Very Light	0 ≤ %HRR < 20
Light	20 ≤ %HRR < 40
Moderate	40 ≤ %HRR < 60
Hard	60 ≤ %HRR < 85
Very Hard	85 ≤ %HRR < 100
Maximal	%HRR = 100

2. 수단별 예비심박률 기초 통계분석

본 연구에서는 수단별 심박수 기초 통계분석을 위해 앞서 제시한 %HRR을 이용하였다. 수집된 자료를 기반으로 각 통행을 세분화하여 분류하고, 각 수단에 따른 %HRR의 변화를 비교하였다. <Fig. 3>은 통행에 따른 수단별 %HRR 변화에 대한 예시를 제시한 그림으로, 각 통행 특성에 따라 예비심박률의 변화가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 도보(walking)의 경우 도보 지속시간에 따라 예비심박률이 점점 증가하고, 대기에 따라 예비심박률이 감소하는 경향을 나타낸다. 또한, 버스 및 전철 등 대중교통 수단 이용 시에는 예비심박률이 감소하여 안정시 심박수와 유사한 심박수 패턴을 보이게 된다.

본 연구에서는 이러한 패턴을 보이는 예비심박률에 대하여 피험자의 자료를 통합하여 분석을 수행하였다. 피험자 4인으로부터 수집한 일일 통행자료를 수단 기반으로 세부 분류하였으며, 세부 분류한 통행에 대한 %HRR 중앙값을 비교·분석하였다. 개인별 심박수는 성별, 연령, 체력, 체격조건 등의 다양한 요인에 의해 서

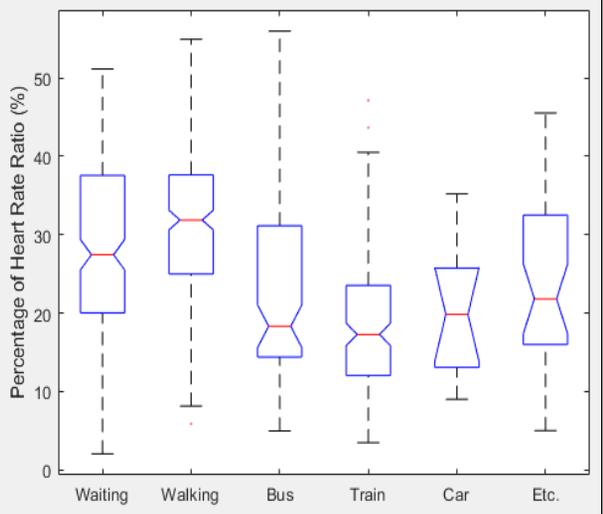


<Fig. 3> Example of %HRR profile for each transportation mode

로 다른 범위를 나타내기 때문에, 피험자로부터 수집된 심박수를 이용하여 대중교통 수단별 예비심박률을 도출하여 표준화한 값을 활용하였다. <Table 6>에 수단별 예비심박률에 대한 기술통계량과 이에 따른 상자 그래프를 제시하였다. 기술통계 및 상자그래프 분석결과에 따르면, 도보일 때 가장 높은 예비심박률 평균을 보이는 것으로 확인되었으며, 버스, 철도와 같은 대중교통 수단은 예비심박률의 평균이 유사한 것으로 나타났다. 또한, 대중교통 수단의 경우 도보 또는 대기에서 통행이 전환되기 때문에 최대값이 높은 것으로 나타났다. 기타의 경우 카페, 식사 등 음식을 섭취하는 중에 측정된 심박수로 통행과는 관련성이 낮고, 승용차의 경우도 샘플수가 부족한 관계로 이후 분석에서 제외하였다. 수단별 예비심박률의 차이를 통계적으로 검증하기 위해 분산분석 및 사후분석을 수행하였다.

<Table 6> Description and boxplot of %HRR by transportation mode

Mode	N	Avg.	Std.	Min.	Max.
Waiting	199	28.48	10.83	2.04	51.14
Walking	253	31.62	8.88	5.88	54.94
Bus	93	22.85	11.95	4.95	55.98
Train	161	18.82	8.98	3.46	47.14
Car	11	20.11	8.38	9.00	35.21
Etc.	34	23.57	10.16	4.99	45.54
Mode	5th%	25th%	50th%	75th%	95th%
Waiting	11.90	20.04	27.45	37.56	45.25
Walking	16.16	24.98	31.87	37.63	45.96
Bus	7.93	14.38	18.32	31.15	45.76
Train	6.50	12.02	17.28	23.54	37.63
Car	9.14	13.06	19.83	25.75	35.04
Etc.	10.16	15.98	21.82	32.51	40.43



분산분석은 두 개 이상 집단들의 평균 간 차이에 대한 통계적 유의성을 검증하는 방법으로, 본 연구에서는 도보, 대기, 버스, 전철 4개의 수단에 따른 예비심박률의 차이에 대한 검증을 위해 활용하였다. 분산분석 및 사후분석 결과를 <Table 7>에 제시하였다. 분석결과, 유의수준이 0.000으로 도출되어 네 개의 그룹 간 예비심박률의 평균 차이는 통계적으로 유의하며, 사후분석 결과, 네 개의 수단별 예비심박률의 차이가 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

<Table 7> Result of ANOVA for transportation mode

ANOVA					
%HRR	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value	Sig.
Between groups	18140.650	3	6046.883	61.404	0.000
Within groups	69130.359	702	98.476		
Total	87271.009	705			
Post-hoc test					
Mode	N	Group			
		1	2	3	4
Train	161	18.8172			
Bus	93		22.8508		
Waiting	199			28.4770	
Walking	253				31.6228
p-value		1.000	1.000	1.000	1.000

3. 신체활동 분석

1) 수단별 신체활동 분석

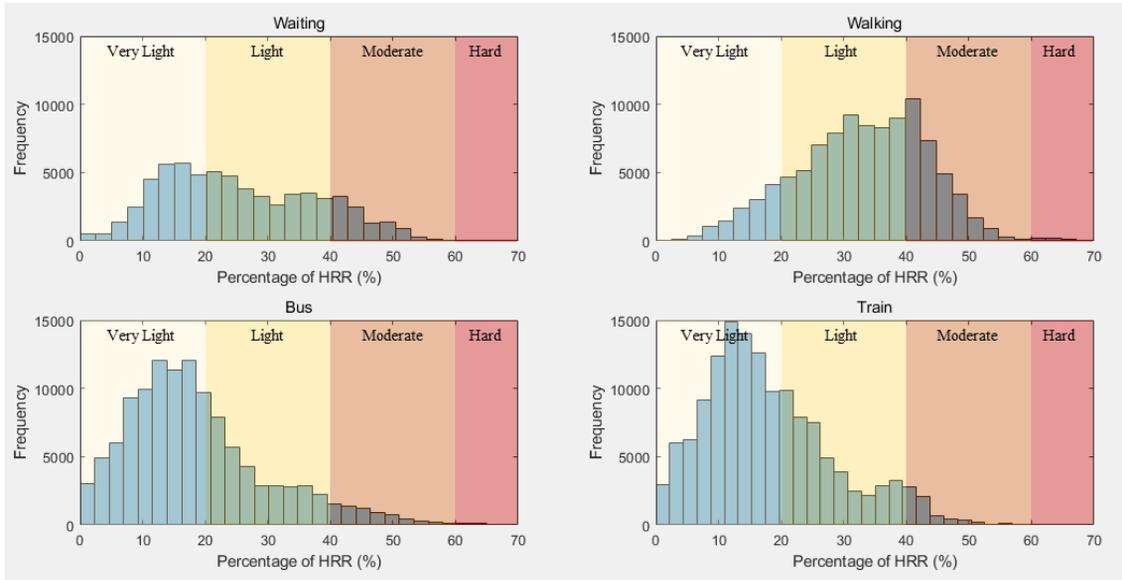
신체활동 분석에서는 앞서 <Table 5>에서 제시한 신체활동 강도 분류 기준을 이용하여 각 수단별 신체활동 분포 정도를 분석하였다. 대중교통 수단별 각 신체활동 강도가 차지하는 비율을 <Table 8>에 제시하였으며, <Fig. 4>에 신체활동 강도 분류 기준에 따른 신체활동 영역을 표시하였다.

대기의 경우 대중교통 이용을 위해 버스정류장, 지하철 승강장에서 대기하는 상황으로, 신체활동 강도가 높지 않은 것으로 나타났다. 약 85%가 신체활동 수준 낮음으로 도출되었으며, 신체활동 수준 보통 이상인 15%의 경우 도보를 통해 이동 후 대기하면서 회복하는 과정인 것으로 판단된다. 도보의 경우 대중교통을 이

<Table 8> Probabilities of each physical activity intensity by transportation mode

(%)		Very light	Light	Moderate	Hard	Very hard
%HRR	Lower Bound (LB)	0	20	40	60	85
	Upper Bound (UB)	20	40	60	85	100
P(LB<%HRR<UB Waiting)		38.90	45.77	15.22	0.11	0.00
P(LB<%HRR<UB Walking)		12.45	59.34	27.70	0.50	0.00
P(LB<%HRR<UB Bus)		64.50	29.66	5.58	0.24	0.00
P(LB<%HRR<UB Train)		64.42	31.12	4.39	0.06	0.00

용하기 위한 이동, 수단간 환승을 위한 이동 등 신체활동이 가장 많이 요구되는 수단으로, 약 28%가 보통 이상의 신체활동 비율을 보여 신체활동 강도가 높은 것으로 나타났다. 버스, 지하철의 경우 대중교통 수단을 이용하면서 앉아있거나 서있는 등 신체활동 요구 정도가 낮기 때문에 약 64%가 신체활동 강도 매우 낮음으로 도출되었다. 신체활동 분석결과에 따르면, 도보-대기-버스/전철 순으로 신체활동 강도가 낮아지며, 대중교통 이용에 따른 신체활동은 대부분 도보에서 발생하는 것을 확인하였다.



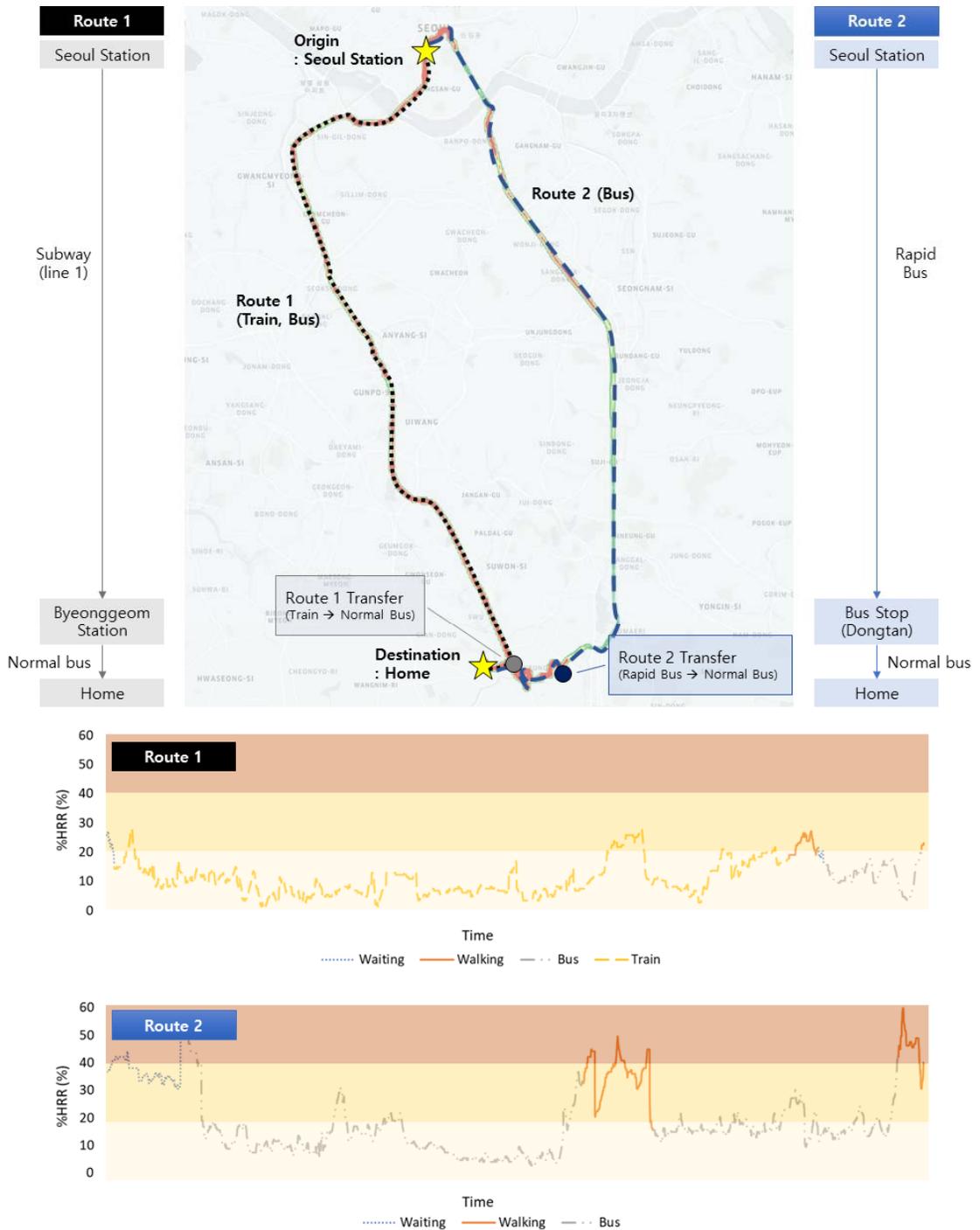
<Fig. 4> Physical activity intensity distribution by transportation mode

2) 경로별 신체활동 분석

앞서 제시한 수단별 신체활동 분석결과, 수단별 신체활동 강도가 차이가 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 경로별 신체활동 정보제공 방안을 도출하기 위하여 동일한 기중점을 서로 다른 경로로 이동한 자료를 이용하여 신체활동 분석을 수행하였다. 사례 분석 경로는 서울역에서 피험자의 집(경기도 화성시 병점동 소재)으로 이동하는 경로이며, 경로 1은 지하철과 버스를 이용한 경로, 경로 2는 버스를 이용한 경로로, <Fig. 5>에 각 경로에 대한 경로 정보 및 예비심박률 변화 그래프를 제시하였다. 두 개의 경로는 동일한 피험자로부터 수집된 정보이며, 본 연구에서는 각 경로에 대한 경로별 통행 소요시간, 신체활동 분포를 <Table 9>에 제시하였다.

분석결과, 총 통행시간의 경우 경로 1은 88분(1시간 28분), 경로 2는 122분(2시간 2분)이 소요된 것으로 나타났다. 신체활동 분석결과에 따르면 지하철+버스를 이동하는 경로 1의 경우, 신체활동 강도가 모두 낮음 이하로 나타나 대중교통 이용에 있어 신체적인 활동량이 낮은 것으로 나타났다. 이는 도보에 소요되는 시간이 3분으로 전체 통행시간에서 차지하는 비율이 낮아 신체적 활동정도가 낮은 것으로 판단된다. 버스로만 이동하는 경로 2의 경우, 경로 1에 비해 신체활동 강도가 높은 것으로 나타났으며, 도보에 소요되는 시간이 17분으로 경로 1에 비하여 신체적인 활동량을 더 많이 요구하는 것으로 나타났다. 이를 통해 교통수단 이용에 따른 신체활동은 수단으로의 접근, 환승을 위한 이동 등 도보를 통한 이동시간과 영향이 있는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 단순 수단별 통행시간 정보 외에, 신체활동 정보를 정량적으로 제공하여 이용자가 대중교통 수단선택

시 정보의 다양성을 고려하여 선택의 폭을 넓혀줄 수 있으며, 스마트폰의 경로 안내 애플리케이션과 연계하는 등 관련 기술개발을 통해 이용자에게 다양한 서비스를 제공하기 위한 기반 정보로 활용할 수 있다.



<Fig. 5> Example of physical activity analysis by differentiated route

<Table 9> Description and boxplot of %HRR by transportation mode

Route 1						
Mode	Travel Time (min)	Distribution of physical activity (%)				
		Very light	Light	Moderate	Hard	Very hard
Waiting	2	54.63	45.37	0.00	0.00	0.00
Walking	3	34.22	65.78	0.00	0.00	0.00
Bus	10	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Train	73	93.60	6.40	0.00	0.00	0.00
Total	88	91.37	8.63	0.00	0.00	0.00
Route 2						
Mode	Travel Time (min)	Distribution of physical activity (%)				
		Very light	Light	Moderate	Hard	Very hard
Waiting	11	0.00	82.42	17.58	0.00	0.00
Walking	17	4.15	59.15	36.71	0.00	0.00
Bus	94	89.20	9.00	1.81	0.00	0.00
Total	122	70.41	22.08	7.51	0.00	0.00

VI. 결 론

최근 바쁜 일상 속에서 활동을 기록하고 확인할 수 있는 웨어러블 디바이스에 대한 관심이 증가하고 있으며, 많은 사람이 스마트워치 등의 웨어러블 디바이스를 이용하며 칼로리 소모, 수면 패턴 분석 등 다양한 서비스를 접하고 있다. 본 연구에서는 현대인들의 건강에 관한 관심 증가에 대한 요구를 도출하기 위하여, 웨어러블 디바이스를 활용하여 대중교통 이용자의 신체활동을 분석하고, 다양한 이용자 맞춤형 서비스 제공 방안을 도출하기 위한 기초 분석을 수행하였다. 상용 웨어러블 디바이스인 Fitbit을 이용하여 이용자의 이동 데이터를 수집하였으며, 웨어러블 디바이스로부터 수집 가능한 신체활동 정보인 심박수를 활용하여 교통수단별 신체활동에 대한 비교, 신체활동 강도 등에 대한 기초 분석을 수행하였다.

심박수를 활용한 교통수단별 신체활동 정보 분석은 크게 3단계로, 자료수집, 기초 통계분석, 신체활동 정보 분석 단계로 구성하여 주요 사항을 <Table 10>에 제시하였다.

<Table 10> Summary of the results

Step	Main contents	Results
1. Data collection	<ul style="list-style-type: none"> Collect physical activity data from Fitbit Collect trip data recorded by investigator 	<ul style="list-style-type: none"> A total of 52 daily trip data 751 detailed mode trip data
2. Basic statistical analysis	<ul style="list-style-type: none"> Standardize heart rate Statistical analysis 	<ul style="list-style-type: none"> %HRR (percentage of heart rate reserve) There are statistical differences in %HRR among 4-modes of waiting, walking, bus and train
3. Physical activity analysis	<ul style="list-style-type: none"> Analyze physical activity by route Suggest information provision plan 	<ul style="list-style-type: none"> Walking is the highest physical activity intensity There is a difference in the physical activity intensity by route Confirmation of the possibility of providing differentiated information

20대 성인 남성 3명, 30대 성인 여성 1명을 피험자로 모집하여 일반적인 통행에 대한 통행 경로정보, 신체활동 정보를 수집하여 기반 자료로 활용하였다. 웨어러블 디바이스를 통해 수집된 신체활동 정보와 이용자 수기로 직접 조사한 경로정보를 매칭하였으며, 수집된 52개의 일일 통행 데이터를 총 751개의 수단별 통행 데이터로 세분화하여 분석을 위한 데이터셋을 구축하였다. 구축한 데이터셋을 이용하여 교통수단별 신체활동 정도에 대한 기초통계분석을 수행하였다. 심박수는 개인의 성별, 연령, 체력, 체격 등의 요인에 의해 차이가 존재하기 때문에 본 연구에서는 예비심박률(%HRR: Percentage of Heart Rate Reserve)을 통해 표준화하여 분석에 활용하였다. 기초 통계분석은 대기, 도보, 버스, 전철, 승용차, 기타의 6개 구분으로 분류하여 기술통계분석을 수행하여 상자그래프를 제시하였으며, 분산분석을 통해 그룹별 예비심박률의 차이를 분석하였다. 기타와 승용차를 제외한 수단별 예비심박률에 대한 통계분석결과, 대기, 도보, 버스, 전철의 4개 수단 이용에 따른 예비심박률은 통계적으로 유의한 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 또한, 4개 수단에 따른 신체활동 분석을 위하여 심박도 강도에 대한 분포를 분석한 결과, 도보의 경우 가장 높은 신체활동 강도를 보이는 것으로 나타났으며, 버스/전철 수단 이용의 경우 신체활동 강도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 대중교통으로 인한 신체활동은 수단으로의 접근, 환승 등에 의한 도보 활동 등을 통해 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 향후 대중교통 이용자에게 신체활동 정보를 제공하기 위한 기초 분석으로 동일한 기준점에 따른 2개의 경로에 대한 신체활동 정도를 비교·분석하였다. 분석결과, 각 경로에 따른 신체활동 정도는 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 이는 도보에 소요되는 시간이 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고, 보다 발전된 결과를 도출하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 20-30대 성인남녀 4명을 대상으로 자료를 수집하였으나, 보다 다양한 연령대, 성별을 대상으로 신체활동 자료를 수집하여 샘플수를 추가적으로 확보하여 분석결과를 확대할 필요가 있다. 이를 통해 기초 분석결과의 신뢰성을 높이고, 다양한 경로에 대한 분석을 추가적으로 수행할 필요가 있다. 둘째, 신체활동 강도 분석결과에 따르면 도보가 신체 활동량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 도보를 계단, 에스컬레이터 등 보다 세분화하여 분석할 필요가 있다. 또한, 대중교통 수단 이용에 있어서도 입석, 좌석 등을 구분하여 세분화된 수단별 분석이 필요하다. 셋째, 세분화된 교통수단별 신체활동 분석결과를 통해 신체활동에 영향을 미치는 요인 분석을 수행하여 대중교통 수단 평가, 이용자의 선택 모형 등에 활용할 수 있도록 추가적인 연구가 필요하다. 마지막으로 본 연구 결과를 실제 서비스로 확대하기 위해 신체활동에 대한 정보제공을 위한 통합 지표 개발 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

국토교통부(대도시권 광역교통위원회)에서는 “광역알뜰교통카드3)” 앱을 활용하여, 대중교통 편의성을 제고하고자 노력하고 있다. 이와 연계하여, 본 연구에서 제시한 결과는 이용자 맞춤형 대중교통 활성화 정책 및 국민체감형 서비스 개발을 위한 기초 자료로 활용이 가능하며, 추후 건강과 관련된 지표로 확장하여 교통 계획 및 정책 수립 시 활용이 가능할 것으로 기대된다. 특히, 이용자에게 경로 정보를 제공할 때, 신체활동량에 대한 추가적인 정보를 제공하여 경로 선택 시 통행시간 외에 신체적인 활동량도 고려하여 경로를 선택할 수 있도록 이용자의 선택의 폭을 넓혀 줄 수 있으며, 이와 관련된 다양한 서비스를 제공하기 위한 기반 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다. 또한, 수단간 또는 수단별 환승에 있어 신체활동 정도를 비교하여 환승 시스템에 대한 평가에도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by a grant from the R&D Program of the Korea Railroad Research Institute, Republic of Korea.

REFERENCES

- American College of Sports Medicine (ACSM)(2014), *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 7th Ed, Baltimore: Williams & Wilkins.
- Doh Y., Keum S., Lee S. and Lee J.(2014), "The exploratory study of factors which influence to the maintenance of using wearable device for healthcare Interdisciplinary approach to user experiences combined with technology, psychology and interaction perspectives," *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 32, no. 11, pp.37-45.
- Doorley R., Pakrashi V., Byrne E., Comerford S., Ghosh B. and Groeger J. A.(2015), "Analysis of heart rate variability amongst cyclists under perceived variations of risk exposure," *Transportation Research Part F*, vol. 28, no. 2015, pp.40-54.
- Fitch D. T., Sharpnack J. and Handy S. L.(2020), "Psychological stress of bicycling with traffic: examining hear rate variability of bicyclists in natural urban environments," *Transportation Research Part F*, vol. 70, no. 2020, pp.81-97.
- Gregory J. W.(2002), *Physical Activity Assessments for Health-Related Research*, Human Kinetics Publishers, Inc., ISBN: 0-7360-3748-9, p.152.
- Joo S. and Oh J. S.(2018), "Multifaceted Transportation Performance Integrating Mobility, Safety, Air Quality, Physical Activity and Public Health," *Journal of Transportation & Health*, vol. 9, Supplement, p.S33. available: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.05.093>.
- Karvonen M. J., Kentala E. and Mustala O.(1957), "The effects of training on heart rate: a longitudinal study," *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* vol. 35, pp.307-315.
- Kim Y. and Kim J.(2018), "A Trends of Wearable Device & Healthcare Industries," *The Korea Contents Association Review*, vol. 16, no. 4, pp.14-19.
- Kim Y. Y., Lee S. R. and Lee M. G.(2016), "Effects of 12 Weeks of Commuting Via Public Transportation on Cardiovascular Function and Obesity Indices in Middle Aged Men," *Journal of Transport Research*, vol. 23, no. 4, pp.85-100.
- Lee J. and Park J. H.(2015), "The Impact of the Bus Use Environments on Users Stress: The Case of Daejeon City," *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 33, no. 6, pp.543-553.
- Liao Y., Tsai H. H., Wang H. S., Lin C. P., Wu M. C. and Chen J. F.(2016), "Travel mode, transportation-related physical activity, and risk of overweight in Taiwanese adults," *Journal of Transport & Health*, vol. 3, no. 2016, pp.220-225.
- Lim K. B. and Lee H. J.(2009), "The Effect of the Change of Commuting Mode on Physical Fitness and Cardiovascular Risk Factors," *The Korean Journal of Sports Medicine*, vol. 27, no. 1, pp.19-27.
- Oh J. S., Hasan R., Irshaid H., Joo S., Lee S. and Al-Fuqaha A.(2018), "Monitoring Daily Activities

- and Linking Physical Activity Levels Attributed to Transportation Mobility Choices,” *Journal of Transportation & Health*, vol. 9, Supplement, pp.S33-S34, available: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.05.094>.
- Park J.(2013), “Measurement and Analysis of Stress from Commuting Modes and Conditions Use Bio-index,” *Journal of Transport Research*, vol. 20, no. 1, pp.79-95.
- Solheim T. J., Keller B. G. and Fountaine C. J.(2014), “VO2 Reserve vs. Heart Rate Reserve During Moderate Intensity Treadmill Exercise,” *International Journal of Exercise Science*, vol. 7, no. 4, pp.311-317.
- Strategy Analytics(2019), *Global Smartwatch Shipments Leap to 14 Million Units in Q3 2019*, Strategy Analytics Blogs, available: <https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/wearables/2019/11/06/global-smartwatch-shipments-leap-to-14-million-units-in-q3-2019>.
- Swain D. P. and Leutholtz B. C.(1997), “Heart rate reserve is equivalent to% VO2 Reserve, not to% VO2max,” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 29, no. 3, pp.410-414.
- Wasfi R. A., Ross H. A. and El-Geneidy A. M.(2013), “Achieving recommended daily physical activity levels through commuting by public transportation: Unpacking individual and contextual influences,” *Health & Place*, vol. 23, no. 2013, pp.18-25.