

# 통신 빅데이터를 활용한 통행시간예산 산출 연구

정연식\* · 남상기\*\* · 송태진\*\*\*

Chung, Younshik\*, Nam, Sanggi\*\*, Song, Tai-Jin\*\*\*

## A Travel Time Budget Estimation Using a Mobile Phone Signaling Data

### ABSTRACT

This study proposes a novel approach to explore a “travel time budget (TTB)” using a mobile phone signaling data (MPSD), which are passively generated between a mobile phone and a base station. The data analyzed in this study were provided from KT for 8 days (from May 19 to 26 in 2016). They were about 45 million signals passively generated from users whose stay area during night was classified as three areas in Mapo-gu, Seoul and in the city of Sejong. The estimation of TTB was implemented with various pre-processing techniques on the MPSD data in a data-driven analysis. As a result, the TTBs of Mapo-gu, Seoul and Sejong were 82.94 and 80.70 minutes, respectively. The results in this study were also compared with those based on the traditional methods. The authors expect that this result will help transport experts improve the use of MPSD.

**Key words :** Mobile phone signaling data, Travel time budget, Travel time expenditure, Mobile big data

### 초록

본 연구는 개인 휴대전화와 통신 기지국 간에 발생하는 신호 자료(mobile phone signaling data: MPSD) 기반 통행시간예산(travel time budget: TTB) 산출 방법을 소개한다. 연구를 위해 사용된 데이터는 (주)케이티(KT)에서 2016년 5월 19일부터 2016년 5월 26일까지 서울특별시 마포구 3개 동과 세종특별자치시가 상주지로 분류된 사용자들 대상으로 수집된 44,781,693건이다. TTB 산출은 Data-Driven 방식으로 진행되며 MPSD에 다양한 전처리 작업을 통해 진행되었다. 그 결과 마포구와 세종시의 TTB는 각각 82.94분과 80.70분으로 나타났으며, 도출한 결과를 평가하기 위해 기존 연구 결과와 비교 분석하였다. 결과적으로 본 연구는 향후 교통분야 MPSD 활용을 위한 초석이 될 것으로 기대된다.

**검색어 :** 개인 휴대전화 신호 자료, 통행시간예산, 통행시간지출, 통신 빅데이터

## 1. 서론

개인이 하루 통행에 지출하는 적정 혹은 한계 시간을 의미하는 통행시간예산(travel time budget: TTB)<sup>1)</sup>은 교통 정책과 계획에 중요한 지표로 활용되어 과거 60년간 꾸준히 연구되어왔다(Tanner, 1961; Zahavi and Ryan, 1980; Marchetti, 1994; Schafer and Victor, 2000; Mokhtarian and Chen, 2004; Kim et al., 2009; Stopher and Zhang, 2011; Choo and Na, 2011; Ahmed and Stopher, 2014; Stopher et al., 2017). 그러나 TTB 정의는 연구자에 따라 개인의 일 평균 통행시간(예, Zahavi and Ryan, 1980), 자동차, 오토바이와 같은 동력 장치를 이용하는 개인의 일 평균 통행시간(예, Chumak and Braaksma, 1981), 운전이 직업인 사람들의 통행과 환승에 필요한 보행(단거리 통행)을 제외한 개인의 일 평균 통행 시간(예, Downes and Morrell, 1981), 보행 및 비업무 통행

\* 종신회원 · 영남대학교 도시공학과 조교수 (member · Yeungnam University · [tpgist@yu.ac.kr](mailto:tpgist@yu.ac.kr))

\*\* 정회원 · 영남대학교 도시공학과 석사과정 (member · Yeungnam University · [cynicalnsk@ynu.ac.kr](mailto:cynicalnsk@ynu.ac.kr))

\*\*\* 교신저자 · 한국교통연구원 국가교통빅데이터사업단 부연구위원 (Corresponding Author · The Korea Transport Institute · [tjsong17@koti.re.kr](mailto:tjsong17@koti.re.kr))

Received February 7, 2018/ revised February 27, 2018/ accepted March 17, 2018

(non-motorized and non-work trips)을 제외한 일 평균 통행시간 (예, Levinson and Kumar, 1995) 등 많은 의미로 사용되었다. 즉 연구자에 따라 특정 통행수단과 통행목적에 대하여 TTB를 정의하여 연구를 수행해 왔다. 또한 대부분 연구는 TTB를 측정하거나, TTB에 영향을 미치는 인자를 분석하여 이를 줄이는데 목적을 두고 있고, 교통 계획 절차 수립하거나 교통 시설물 설치 등에 활용하고 있다. 그래서 본 연구에서는 TTB를 일 평균 개인의 출퇴근 통행시간으로 정의하였다.

TTB는 개인의 시공간적 통행 패턴 개념을 포함하기 때문에, 과거 TTB 산정은 주로 가구통행실태조사와 같은 설문조사 방식으로 연구가 진행되어왔다. 이 방식은 충분한 샘플 수 확보에 대한 한계, 응답자의 응답 성실도에 의한 편차 등 극복해야 할 다양한 이슈를 포함하고 있다. 그러나 최근 정보통신 기술이 비약적으로 발전함에 따라, 기존 설문조사 방식의 한계를 극복하기 위한 새로운 방식이 시도되고 있다. 특히 지구측위체계(global positioning system: GPS) 장비의 활용, 발신과 착신 통신 교환기 사이에 발생한 통화기록자료를 기록(call detail record: CDR)한 자료 등을 활용한 TTB 연구가 진행되었다. GPS 장비의 경우 비교적 정확한 개인의 이동 경로 파악이 가능한 장점이 있으나, 여전히 충분한 샘플 수 확보에 대한 한계가 존재한다. 또한 CDR자료의 경우 사용자가 문자나 음성통화를 시도할 경우에만 사용자가 속한 통신 기지국 위치 정보 파악이 가능하기 때문에, 사용자의 정확한 이동 경로 파악에는 한계가 존재한다.

한편, 개인 휴대전화는 통신 신호 강도가 가장 높은 기지국과 지속적으로 통신(mobile phone signaling data: MPSD)을 한다. 즉, 개인 휴대전화의 전원이 켜진 상태에서는 휴대전화와 기지국 간에는 지속적인 통신이 이루어진다. 따라서 개인이 공간적으로 이동하거나 특정 지역에 체류하는 경우 관련된 통신 기지국 변화과정을 파악할 수 있다. 본 연구의 목적은 이러한 통신 기지국의 변화 정보 혹은 MPSD 자료를 활용하여 새로운 TTB 산출 방법을 소개하는 것이다. 연구를 위해 (주)케이티(KT)에서 2016년 5월 19일부터 2016년 5월 26일까지 서울특별시 마포구의 3개 동과 세종특별자치시에 상주하는 것으로 분류된 사용자들을 대상으로 수집된 44,781,693건의 MPSD가 활용되었다. MPSD는 교통분야에서 새로운 자료이기 때문에, 자료의 속성에 대한 소개뿐 아니라, TTB 산정을 위한 자료의 처리 과정을 집중적으로 소개하며, 마지막으로 MPSD를 활용한 연구대상 지역의 TTB 산정 결과를 소개한다.

## 2. 문헌고찰

TTB에 관련된 연구는 1960년 Tanner에 의해 최초로 연구되었고, 1980년 Zahavi에 의해 TTB라는 용어가 최초로 사용되었다. 이후 TTB에 대한 연구는 지역별 TTB 자체를 도출하기 위한 연구와 도시 간 TTB를 비교하는 연구 등 연구의 범위가 점차 확대되고 있다. TTB연구에 대한 결과는 크게 2가지 유형으로 분류된다. 즉, TTB가 특정 값으로 일정하게 나타난다는 연구와 시공간적으로 변할 수 있다는 내용이다. 그럼에도 기존 문헌에 제시된 연구결과는 TTB가 시공간적으로 변할 수는 있지만, 그 편차는 특정 범위에서 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 편차는 도시의 구조와 사람들의 사회경제활동과 밀접한 관계가 있음을 짐작할 수 있다. 다음은 TTB에 대한 주요 연구 사례를 전술한 2가지 유형에 의해 분리 설명하고자 한다.

우선, TTB가 일정한 값을 연구한 사례로, Zahavi와 Talvitie는 전 세계 12개 도시를 대상으로 비교한 결과, TTB는 66분에서 78분으로 비교적 안정된 값으로 수렴함을 제시하였다(Zahavi and Talvitie, 1980). 또한 Zahavi와 Ryan은 미국 워싱턴 DC와 미네소타 트윈시티의 경우 도로의 통행속도가 높을 때 TTB는 1.1시간으로 일정하게 나타나지만, 속도가 10km/h 미만에서 TTB는 증가할 수 있다고 제시하였다(Zahavi and Ryan, 1980). Marchetti는 과거의 도시구조와 TTB 개념을 고려하여, TTB가 1시간으로 일정하며 이는 인류학적 본능에 기인하는 것으로 주장하였다(Marchetti, 1994). 전 세계 11개 지역으로부터 수집한 자료를 기반으로 Schafer와 Victor는 각 지역별로 TTB는 약 68분으로 일정함을 주장하였다(Schafer and Victor, 2000). Joly는 국제 대중교통 협회에서 수집한 100개 도시의 통행 자료를 기반으로 생존분석을 수행하였으며, 통행속도는 통행거리 증가와 관련이 있으나 통행속도가 증가한다고 TTB가 감소하지는 않는다고 주장하였다(Joly, 2004b). 김태호 외 연구진은 2002년 서울 가구통행실태조사 자료를 바탕으로 연구하였으며, 서울시의 TTB를 78.85분으로 제시하였다(Kim et al., 2009). 2002년과 2006년 가구통행실태조사 자료를 활용하여 추상호와 나승원은 2002년 서울의 TTB는 83.41분, 인천은 76.79분, 경기도는 76.29분으로 제시하였고, 2006년의 경우 서울은 83.48분, 인천은 75.65분, 경기도는 78.52분으로 각각 TTB를 제시하였다(Choo and Na, 2011).

TTB가 시공간적으로 변할 수 있다고 나타난 연구 사례 중 샌프란시스코 베이 에어리어 가구 통행 실태조사 자료로 연구를 진행한 Purvis는 TTB가 1961년에 52분, 1981년에 65분, 1990년에 62분으로 다르게 나타난다고 발표하였다(Purvis, 1994). Levinson과 Kumar는 워싱턴 DC의 1968년 가구통행실태조사자료와 1988년 가구통행실태조사자료를 비교한 결과 TTB는 직업이 있는 남성

1) 통행시간예산(travel time budget)의 용어는 개인의 일 평균 통행에 지출하는 한계 시간의 의미로, TTB보다는 TTE (travel time expenditure)라는 용어가 더욱 정확한 용어이지만, TTB와 TTE를 혼용하거나 TTB를 대표적으로 사용하는 것이 일반적임.

의 경우 1968년 85분, 1988년 101분으로 26분 증가, 직업이 있는 여성의 경우 1968년 79분, 1988년 93분으로 14분 증가했음을 제시하였다(Levinson and Kumar, 1995). 국제 대중교통 협회에서 수집한 100개 도시의 총 이동 자료를 바탕으로 다중회귀분석과 주성분분석을 진행한 Joly는 TTB가 유연하게 상승하려면 속도를 줄이는 정책은 비현실적이고 비효율적이라고 주장하였다(Joly, 2004a). van Wee와 연구진은 네덜란드 가구통행실태조사 결과를 기반으로 수행한 연구에서, 1979년에서 1998년 사이 TTB는 7% 증가한 것으로 제시하였다(van Wee et al., 2006). 영국의 가구통행 실태조사를 바탕으로 Susilo와 Avineri는 가구 구조에 따라 TTB는 67분에서 71분 사이로 형성됨을 제시하였다(Susilo and Avineri, 2014).

제시된 바와 같이 기존의 TTB 연구를 위해 사용된 자료는 극소수 통행자로부터 조사된 개인의 통행 행태 자료이다. 즉, 국내의 경우 전 국민의 약 2% 미만을 대상으로 가구통행실태조사가 진행되며, 이 자료를 기반으로 TTB가 산출된다. 따라서 수집된 자료에 대한 신뢰성의 한계가 존재할 수 있다. 또한 가구통행실태조사는 5년마다 시행되며, 가구 방문조사를 기반으로 진행되기 때문에 결과에 대한 신뢰성은 응답자의 성실한 응답에 의존한다. 또한 개인의 통행실태조사 결과는 응답자의 컨디션과 기억력, 통행 패턴

에 의해 편차가 발생할 가능성이 높다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구는 개인의 기억력에 의존한 자료가 아닌 개인 무선 통신기기에 의해 발생한 MPSD 자료를 활용하여 TTB를 산출하고자 하였다.

### 3. 통신 빅데이터의 개요 및 원시 자료의 가공

#### 3.1 통신 빅데이터의 개요

MPSD는 개인 휴대전화 기기와 기지국이 주고받는 신호 자료를 말한다. 이 자료는 개인 휴대전화의 전원이 켜져 있고 이 기기가 기지국의 범위(Cell)내에 있을 때, 언제나 자료를 얻을 수 있는 장점이 있다. MPSD에는 사용자의 ID, 통신한 기지국의 위치, 기지국과의 통신 시작시간 등이 포함되어있으며, 이 중 사용자 ID는 개인정보보호법에 따라 개인을 파악할 수 없는 제3의 ID로 수정하여 관리되는 것이 일반적이다. 여기에서 통신한 기지국의 위치는 개인 휴대전화 기기와 신호를 주고받는 기지국의 위치를 의미한다. Fig. 1은 MPSD의 개념을 나타낸 것이다. 그림에 제시된 바와 같이, 기지국이 담당(coverage)하는 공간적 영역은 지역별로 다르게 나타난다. 즉, 도시지역의 경우 매우 밀집되어 있으며, 지방이나 산악 지역은 이 범위가 도시지역 보다는 넓게 형성되는 것이

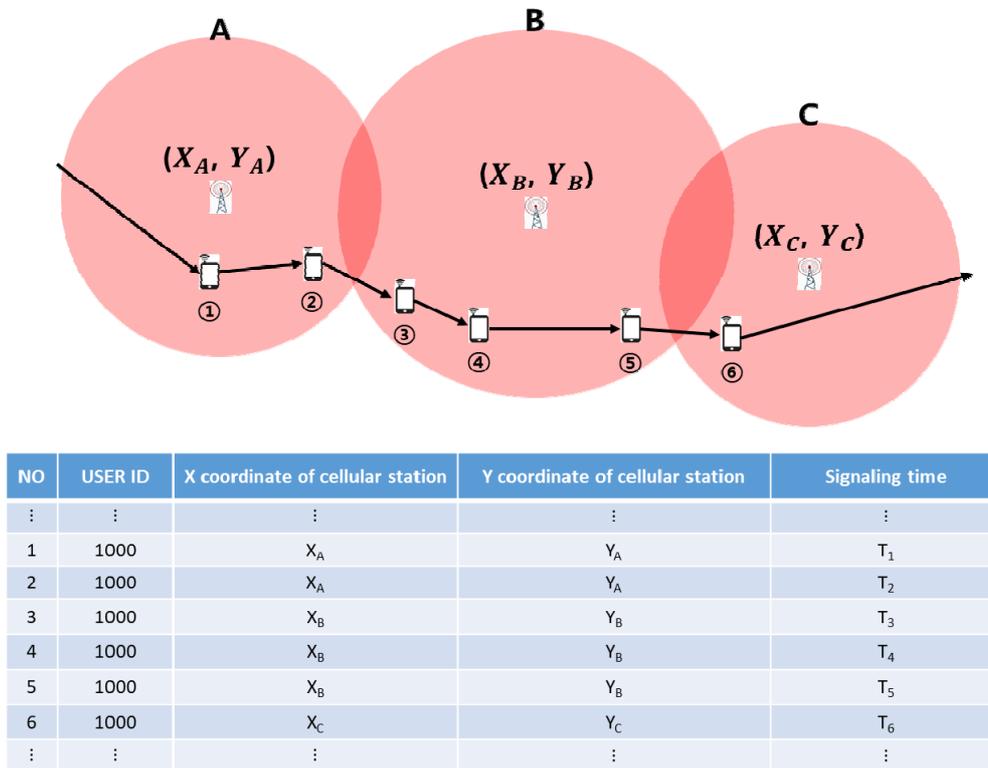


Fig. 1. Recording Concept of MPSD

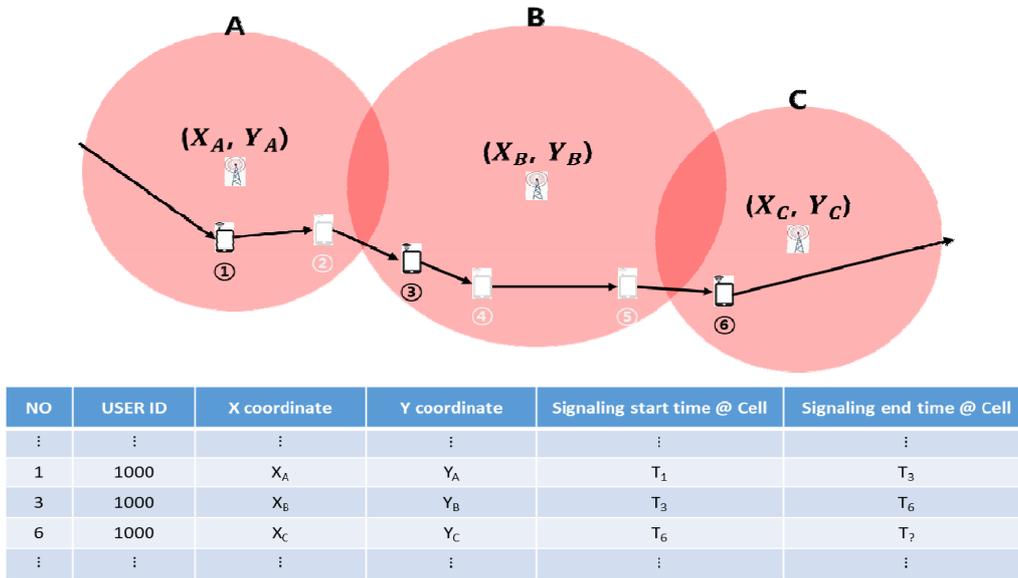


Fig. 2. Recording Concept of Reduced MPSPD

일반적이다. 이 그림에서 ID가 1000인 휴대전화 사용자가 지속적으로 이동할 경우 MPSPD 기록에 대한 개념을 소개한 것이다. 사용자가 기지국 A의 영역에 들어오게 되면 기지국 A와 휴대전화는 통신하며 현재 기지국의 위치, 통신 시간을 기록하게 된다. 즉, 기지국 A의 x좌표( $X_A$ )와 y좌표( $Y_A$ ), 현재 시간( $T_1$ )을 기록한다. 동일한 방식으로 통신사의 MPSPD 기록 주기에 의해 ID 1000 휴대전화와 기지국 간의 통신 내역은 기록된다. 이 시간 주기는 자료의 량에 관련되기 때문에, 기지국의 범위에 진입한 시점과 진출 시점만을 기록하게 되면 자료의 량 관리에 유리하다.

결과적으로 Fig. 1에 제시된 개념은 Fig. 2와 같이 재구성할 수 있다. 즉, 기지국 A에 진입한 시점과 기지국 B에 진입하여 통신한 시간만을 체크하여 관련 기지국 영역의 진출입 시간으로 기록하는 것이다. 그 결과 2, 4, 5번 레코드는 관련 기지국에 최초 진입하여 통신한 정보에 의해 대체되며, 수집되는 자료의 량은 크게 감소하게 된다.

### 3.2 KT 통신 빅데이터의 개요

본 연구에 사용된 자료는 (주)KT에서 구축한 MPSPD이다. 이 자료는 전송한 개념에 의해 구축된 자료이며, Cell-ID 방식으로 부른다. 여기서 Cell-ID 방식은 가장 단순한 네트워크 기반 위치 센싱 기술로 사용자가 속한 기지국의 Cell ID를 통해 개인 무선통신 기기의 위치를 파악하는 기술이다(Lee et al., 2005). 기지국의 위치를 3초 이내로 파악 할 수 있는 장점이 있지만 셀 반경이 곧 오차의 범위가 되는 단점도 있다(Lee et al., 2005). 또한 제공된 자료는 사용자의 연령대와 체류시간 정보를 포함하고 있다.

전술한 바와 같이 본 연구 범위에 포함된 자료는 총 44,781,693건이다. 이 자료에 대한 휴대전화 사용자 수는 총 88,638명으로 나타났다.2) 마포구 3개 동과 세종특별자치시가 휴대폰 등록지로 되어있는 사용자가 연구 대상이지만 이들의 활동 범위가 대한민국 전체이기 때문에 공간적 범위는 대한민국 전체가 된다. 제공된 MPSPD는 분 단위에서 표현되어 초 단위 정밀한 시간은 확인할 수 없다. 이러한 이유로 특정 레코드의 경우 체류 시작시간과 체류 종료시간이 동일하게 형성되기도 한다. 즉, 사용자가 차량에 탑승하여 고속으로 이동할 경우, 특정 기지국 cell에 매우 짧은 시간 동안 머물고 바로 다른 cell로 이동한 경우에 연속된 두 기지국 cell에서는 체류 시작시간과 종료시간이 동일하게 형성될 수 있다.

### 3.3 자료 전처리 가공

본 연구에서 활용한 Cell-ID 방식의 MPSPD는 3가지의 한계점이 발생할 수 있다. 첫째, 송신 설정 차이나 건물로 인한 통신 신호 간섭으로 Cell의 영역은 지속적으로 변형될 수 있다는 것이다. 둘째, 휴대폰의 위치가 아닌 기지국의 위치로 나타나기 때문에 Cell 반경의 크기에 따라 위치 정보의 정확도가 큰 편차를 보일 수 있다는 것이다(Lee et al., 2005). 마지막으로 핸드오버(handover)에 의해 발생하는 문제점이다. 한국정보통신기술협회에서는 핸드오버를 네트워크 간 이동 시 끊김 없는 서비스 이용이 가능하도록 하는 것으로 정의하고 있는데(한국정보통신기술협회

2) 통신 빅데이터의 가공 및 분석을 위해 본 연구에서는 세계에서 가장 많이 활용되는 오픈 소스 관계형 데이터베이스 관리 시스템인 MySQL을 적용하였다.

용어사전), 이는 신호가 중첩되는 위치에서 기지국의 신호 강도에 따라 수시로 기지국 포인트가 변경될 가능성이 있음을 나타낸다. 즉, 위 3가지의 문제점 때문에 휴대폰 사용자가 한 위치에 계속 체류하고 있었음에도 불구하고 이동하는 것으로 나타나는 경우가 발생할 수 있으며, 이는 본 연구를 진행하기 위해 극복해야 할 중요한 과정이 된다.

본 연구에서는 한 이용자의 체류시간이 특정 시간 이상으로 나타나는 지점을 중심으로 버퍼를 형성하여 그 버퍼를 벗어나기 직전 레코드까지 모두 형성한 버퍼에 있는 것으로 가정하였다. 이 방법은 체류시간이 길어지고 버퍼의 반경이 커질 때, 체류가 이동으로 나타나는 한계를 줄일 수 있으나 체류시간이 너무 길어지고 버퍼의 반경이 지나치게 커지면 이동이 체류로 잘 못 해석될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 체류시간을 1분, 3분, 5분, 10분으로 증가시키고 버퍼의 반경은 250m, 500m, 1km, 2km, 5km로 증가시키며 각각에 해당하는 자료를 30개씩 추출하여 조사하였다. 이때, 체류시간 3분과 버퍼 1km의 조합이 자료의 특성을 가장 적합하게 표현하는 것으로 나타나 체류시간의 기준 설정에 활용하였다. Fig. 3은 휴대전화 이용자의 시공간적 통행 행태를 개념적으로 나타낸 것이다. 그림에서 버퍼 형성의 기준은 체류가 가장 오래 지속된 cell (즉, cell 2)을 설정하게 된다. 이때 cell 2를 중심으로 반경 1km내에 속한 cell들(회색 원)을 공간적으로 엮어 버퍼(체크 무늬 원)를 형성하게 된다.

KT에서 제공된 MPSD의 경우 체류시작시간과 체류종료시간은 분 단위까지 표시된다. 그래서 체류시간은 체류종료시간에서 체류시작시간을 뺀 값에 1을 더한 값으로 표시한다. 1을 더해주는 이유는 이동 시에 체류시간이 계속 0으로 나타나서 이동을 했음에도 이동시간을 측정 할 수 없는 것을 방지하기 위함이다. 이를 참고로 Fig. 3을 볼 때, 우측 하단에 위치한 cell은 07:58에서 07:59까지 2분 체류한 이후 07:59부터 08:00까지 첫 번째 cell에서 두 번째 cell로 이동 한 것으로 나타났다. 그리고 이후 두 번째 cell에서 08:00에서 08:03까지 총 4분 동안 체류한 것으로 나타났으므로 2번째 cell을 중심으로 반경 1km의 버퍼를 구축한다. 이후 5번째 cell까지 2번째 cell에서 설정된 버퍼를 벗어나지 않으므로 2번째 cell에서 5번째 cell까지는 모두 2번째 cell에 체류한 것으로 가정하게 된다. 마지막으로 6번째 cell은 설정된 버퍼를 벗어났기 때문에 이동한 것으로 판단한다. Fig. 4는 이 과정을 수행한 결과를 나타낸다. 즉, 전처리 과정을 수행하기 전에는 이용자의 통행은 ②→③, ④→⑤, ⑥→⑦, ⑧→⑨, ⑩→⑪로 나타났지만, 전처리 과정 이후 통행 패턴은 ②→③, ⑩→⑪로 나타난다.

#### 4. TTB분석을 위한 자료처리 및 분석

##### 4.1 TTB 분석을 위한 자료처리

기존 연구의 고찰 부분에 제시되었듯, TTB는 다양한 연구자에

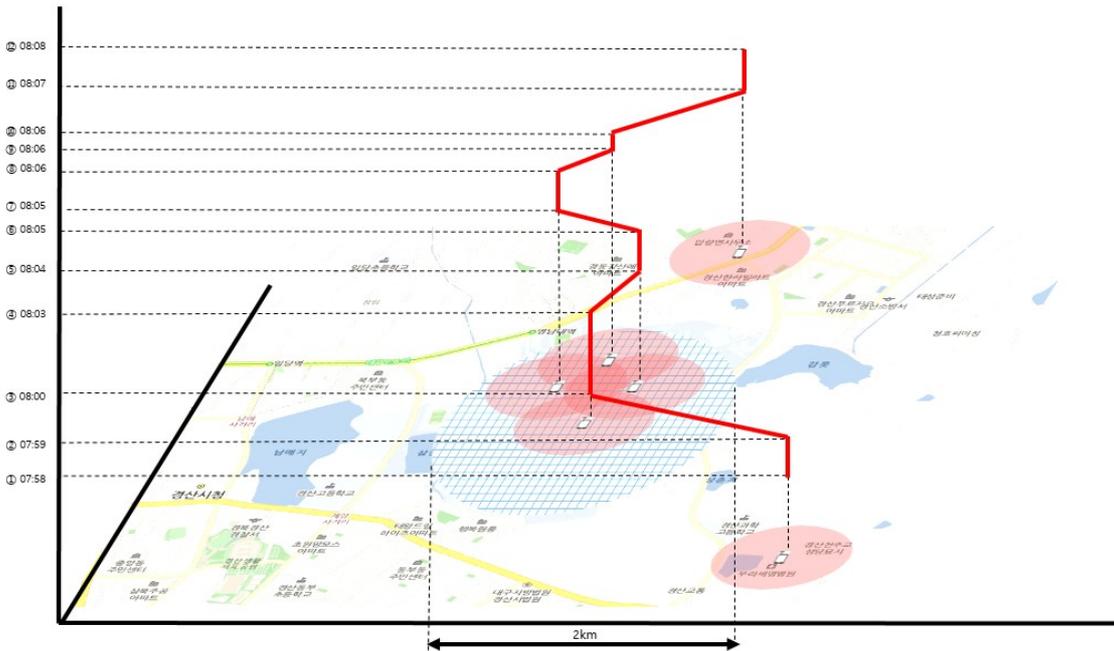


Fig. 3. Spatiotemporal Travel Activities of a Mobile Phone User<sup>3)</sup>

3) 회색 원: 기지국 범위, 체크무늬 원: 버퍼

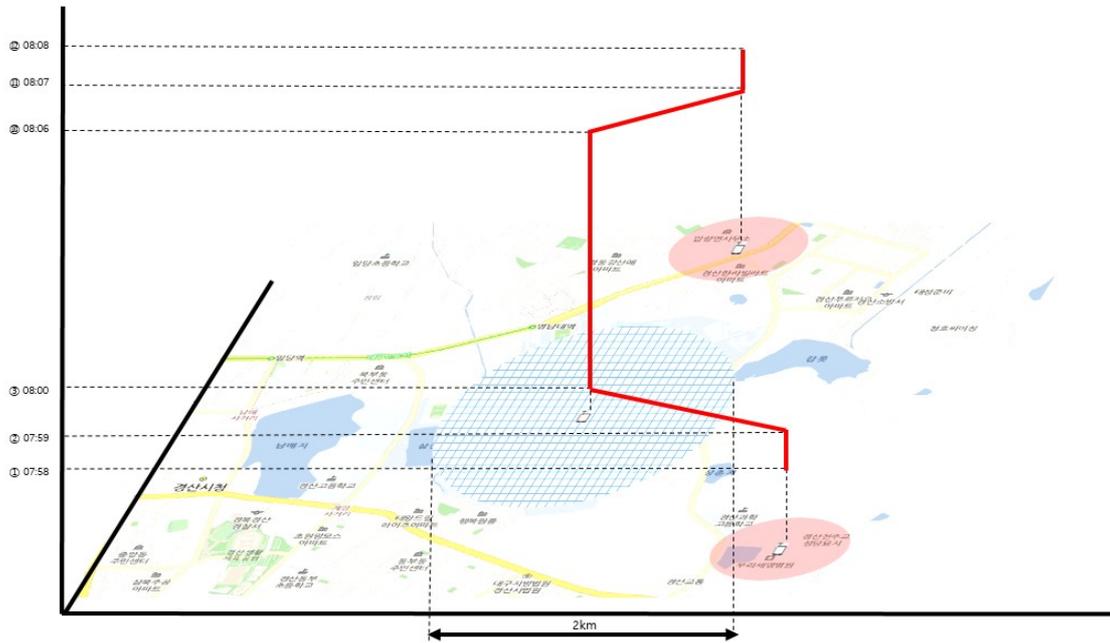


Fig. 4. Spatiotemporal Travel Activities of a Mobile Phone User After Preprocessing

Table 1. Assumptions for Travel Activity Screening

No	Time period	Assumption	Activity
1	00:01~05:00	if stay time is more than 3 hours	Home
2	05:01~09:00	Travel	Home to work
3	09:01~12:00	If stay time is more than 2 hours	Work
4	13:01~18:00	If stay time is more than 3 hours	Work
5	18:01~21:00	Travel	Work to home
6	21:01~24:00	If stay time is more than 2 hours	Home

의해 연구됐다. 그러나 TTB의 정의만큼 TTB를 도출하기 위한 개념 또한 모호하다. 즉, TTB 산출을 위해 어느 그룹의 통행자를 포함할 것인지, 어느 시간대의 통행을 고려할 것인가 등에 대한 정확한 정의가 제시되지 않았다. 이러한 원인으로는 대부분 기존 연구는 가구통행실태조사와 같은 거시적인 지표 구축을 위해 조사된 자료를 활용했기 때문으로 추정된다. 즉, 가구통행실태조사는 대부분 일상적인 통행(오전 출근, 오후 퇴근, 성인, 직장인 혹은 학생 등)을 대상으로 진행된다. 마찬가지로, 본 연구에서도 정상적인 통행을 고려하여 TTB도출에 활용하기로 하였다. 그러나 MPSD의 경우 가구통행실태조사만큼 많은 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 분석 그룹의 특징으로 분석을 위한 전처리 과정이 필요하다. 그리고 전처리 과정에서는 오차를 최소화하기 위해 다소 엄격한 기준을 적용하였다.

결과적으로 본 연구에서는 일반적인 직장인이라고 판단되는

그룹(오전 출근, 오후 퇴근)을 대상으로 하였다. 즉, 21세에서 60세 성인에 대한 자료만을 연구에 포함시켰으며, 총 8일간의 자료 중 휴일(토요일, 일요일)을 제외한 6일의 자료를 적용하였다. 출장이나 휴가 등 불규칙 적인 통행자료를 제외시키기 위해 총 6일 중 4일 이상 통행이 유사한 패턴을 보이는 개인의 MPSD 자료만을 연구에 활용하였다. 또한 일반적인 직장인들의 시간대별 개인의 활동을 기반으로 Table 1과 같은 선별과정을 적용하였다. Table 1에서 1번은 00:01부터 출근 전인 05:00까지 5시간 중 3시간 이상 특정 기지국 주변에서 MPSD가 형성될 경우 가정에 머문 것으로 구분하였다. 2번의 경우 장거리 출근 하는 사람을 포함하기 위해 05:01부터 기지국 정보가 변화된 자료를 사용하였으며, 유연근무제 등 다소 특별한 경우를 제외한 일반인의 출근 시간인 09:00까지 MPSD의 위치 정보가 지속적으로 변하는 경우를 출근통행으로 판단하였다. 3번의 경우 직장에서 업무를 수행할 경우 대부분 특정

Table 2. TTB by Age Group in Mapo-gu, Seoul (Unit: Minute)

Age group	Average travel time for home to work	Average travel time for work to home	TTB	Age group	Average travel time for home to work	Average travel time for work to home	TTB
21~25	37.84	42.69	80.52	46~50	39.27	43.47	82.74
26~30	38.46	43.78	82.24	51~55	38.04	47.19	85.23
31~35	40.08	44.41	84.49	56~60	41.68	44.81	86.49
36~40	38.9	44.48	83.38	21~60	38.88	44.06	82.94
41~45	39.95	45.38	85.33				

Table 3. TTB by Age Group in Sejong (Unit: Minute)

Age group	Average travel time for home to work	Average travel time for work to home	TTB	Age group	Average travel time for home to work	Average travel time for work to home	TTB
21~25	34.35	41.57	75.92	46~50	39.91	40.87	80.78
26~30	37.47	41.87	79.34	51~55	40.87	43.13	84.00
31~35	37.88	41.35	79.24	56~60	42.75	44.44	87.19
36~40	38.89	42.38	81.27	21~60	38.50	42.20	80.70
41~45	38.93	43.64	82.57				

기차국 주변에서 MPSD가 형성될 것으로 판단하여 점심시간 이전 시간인 12:00까지 머무른 시간이 2시간 이상일 경우 업무상태로 구분하였다. 유사한 기준으로 점심시간 이후 13:01부터 퇴근 시간인 18:00 사이에 3시간 이상 특정 기차국 주변에서 MPSD가 형성될 경우 업무상태로 구분하였다(4번). 퇴근 혹은 귀가 통행에 해당하는 5번은 18:01에서 21:00까지는 MPSD의 기차국 정보가 지속적으로 변할 경우로 구분하였으며, 마지막으로 21:01부터 24:00 사이 3시간 중 2시간 이상 특정 기차국 주변에서 MPSD가 형성될 경우 가정에 머문 것으로 구분하였다.<sup>4)</sup> 이러한 가정을 기반으로 총 87,935명의 이용자에 대한 966,200개의 MPSD 레코드가 TTB 산출에 활용되었다. 선별된 자료는 공간 정보와의 융합을 통해 이용자가 통행한 지역에 대한 법정동 정보, 이용자의 통행 거리(지점 간 직선거리), 통행 시간 등을 가진 데이터베이스 테이블에 추가하였다.

한편, 비록 직선거리에 대한 통행시간의 비율이지만, 이상치 자료를 제거하기 위해 통행속도의 개념을 연구에 적용하였다. 즉, 통행속도가 매우 낮게 형성되거나 매우 높게 형성된 경우는 이상치로 가정하여 연구에서 제외했다. 이를 위해 평균 보행 속도인 5km/h보다 낮게 통행속도가 형성되거나, 도시부 도로 최고속도인 80km/h의 속도보다 높게 통행속도가 형성된 경우 이상치로 판단하여 연구에서 제외했다. 마지막으로 통행시간이 비정상적으로 높거나 낮은 경우에도 이상치로 판단하여 연구에서 제외했다. 이러한 경우는 장거리 출장업무 위해 통행한 이용자의 가능성이 높다. 이를

4) 야간시간 귀가 여부를 판단하기 위해(home) 24:00 전후로 분할하여 기준을 적용한 것은 MPSD 자료의 기록 특성에 기인함.

제외하기 위해 본 연구에서는 이상치 제거 방법을 위해 주로 사용하는 IQR (inter-quartile range) 개념을 적용하였다. 즉, 전체 통행시간 자료 중 3사분위 수를  $Q3$ , 1사분위 수를  $Q1$ 이라 했을때, 통행시간이  $Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$  값 보다 크거나  $Q1 - 1.5(Q3 - Q1)$  값 보다 작은 경우 이상치로 간주하여 연구에서 제외했다. 마지막으로 TTB는 집에서 출발하여 직장으로 통행 후 다시 집으로 복귀하는 통행시간으로 정의하였기 때문에, 출근 시 출발지가 마포/세종, 퇴근 시 도착지가 마포/세종인 자료만을 대상으로 연구를 진행하였다. 결과적으로 서울시 마포구 관련된 자료 총 23,072개, 이용자 수 8,333명과 세종시 관련된 자료 총 38,684개, 이용자 수 14,824명을 대상으로 TTB를 산출하였다.

## 4.2 분석 결과

Table 2는 서울시 마포구에 대한 연령별 평균·출퇴근 통행시간과 TTB를 각각 나타낸 것이다. 마포구의 평균 출근 통행시간은 연령별로 큰 편차는 없으며, 56~60세에서 41.68분으로 가장 높게 나타났다. 평균 퇴근 통행시간의 경우 21~25세부터 41~45세까지는 대체적으로 나이 증가에 따라 증가추세를 보였고, 51~55세에서 47.19분으로 가장 높게 나타났다. 또한, 평균 출근 통행시간이 37.84분에서 41.68분 사이에서 형성된 것에 반해, 평균 퇴근 통행시간의 경우 42.69분에서 47.19분 사이로 형성되어 출근 통행시간보다는 퇴근 통행시간이 더 오래 소비됨을 알 수 있다. 출근통행시간과 퇴근통행시간을 합친 TTB는 21세에서 35세까지 증가하지만 이후 증가 감소를 반복하는 경향을 보였고, 56세에서 60세에 86.49분으로 가장 높게 나타났으며, 80.52분에서 86.49분 사이로 형성되는

것으로 나타났다.

Table 3은 세종시의 연령별 평균 출근 통행시간, 평균 퇴근 통행시간, TTB를 나타낸 것이다. 세종시 평균 출근 통행시간의 경우 21~25세에서 56~60세까지 나이 증가에 따라 증가추세를 보이는 것으로 나타났으며, 56~60세에서 42.75분으로 가장 결과가 나타났다. 평균 퇴근 통행시간의 경우는 21~25세에서 41~45세까지 나이가 증가함에 따라 증가추세를 보였지만, 평균 출근 통행시간 패턴과는 달리 특별한 추세가 나타나지는 않았다. 그리고 세종시의 평균 출근 통행시간은 34.35분에서 42.75분 사이에서 형성되고, 평균 퇴근 통행시간은 40.87분에서 44.44분으로 형성되는 것으로 나타났다. 또한, 모든 연령대에서 평균 출근 통행시간은 퇴근 통행시간보다 더 짧게 나타났다. 마지막으로 TTB는 나이가 많아질수록 더 높게 나타났으며, 그 범위는 75.92분에서 87.19분 사이에서 형성되었다.

Fig. 5는 세종시와 마포구의 TTB를 비교한 그래프이다. 그림에 나타난 바와 같이, 56~60세를 제외한 모든 연령대에서 TTB는 세종시보다 마포구에서 높게 형성되었다. 특히, 30세 중반 미만 세대에서 그 격차는 크게 나타났으며, 50대에서는 그 차이가 미미하게 형성되었다.

비록 동일한 시기와 공간적 범위는 아니지만, 본 연구의 결과를 기존 연구와 비교하였다. Fig. 6은 기존 연구의 TTB 결과와 비교한 그래프로 각 연령별 세종 및 마포 TTB와 2002년 가구통행실태조사에서 나타난 수도권 TTB (Choo and Na, 2011), 2006년 가구통행실태조사에서 나타난 수도권 TTB (Choo and Na, 2011)를 비교한 것이다. 본 연구에서 산출한 MPSD 기반 마포구 TTB와 수도권

가구통행실태 조사자료 기반 TTB를 비교했을 때, 대체적으로 MPSD를 활용하여 산정한 TTB가 작게 나타났다. 20대에서는 MPSD를 활용하여 산정한 TTB와 2002년, 2006년 가구통행실태 조사와 각각 25.66분, 27.85분으로 큰 차이를 보였는데, 이는 대학생들이 마포구에서 서울시 내에 있는 대학에 통행하는 학생보다 수도권에서 서울시 내에 있는 대학에 통행하는 학생으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 즉, 마포구는 인근 대학으로의 통행으로 짧은 TTB 형성이 가능했을 것으로 판단된다. 30대의 경우는 마포 TTB와 2002년 수도권 TTB는 약 4.4분, 2006년 수도권 TTB와는 4.5분정도 차이가 났고, 40대는 2002년 수도권 TTB와 5.74분, 2006년 수도권 TTB와는 3.87분의 차이가 났다. 50대의 경우도 비슷하게 차이가 났는데, 2002년 수도권 TTB와 3.5분, 2006년 수도권 TTB와 5.05분수준으로 차이가 났다. 한편, 세종시는 새롭게 형성된 도시로 기존 연구결과와 비교하는 것은 의미가 없을 것으로 판단되지만, 상대적으로 공간이 좁은 신규 도시로 수도권 대비 TTB가 모든 나이대 대비 낮게 형성됨을 보여주고 있다.

### 5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 기존 설문조사 기반으로 산출하던 TTB 연구와 다르게 MPSD 기반으로 TTB를 산출하는 과정을 소개하였다. 사용된 자료는 KT에서 2016년 5월 19일부터 5월 26까지 8일간 서울특별시 마포구 3개 동과 세종특별자치시에 상주하는 사용자를 대상으로 하였으며, 총 88,638명의 사용자에 대한 총 44,781,693개의 자료가

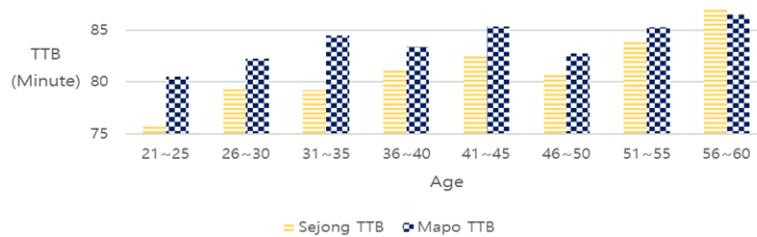


Fig. 5. Comparison of Mapo TTB and Sejong TTB by Age Groups

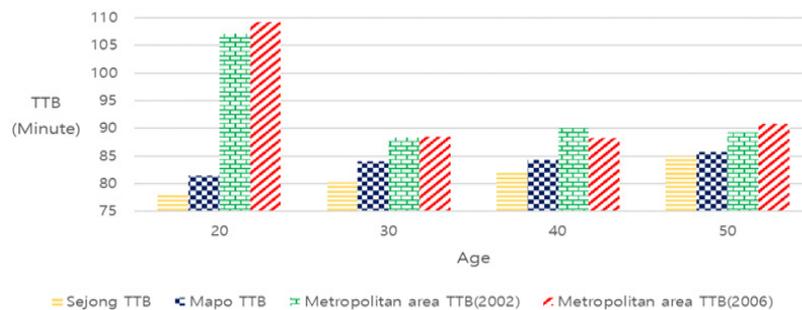


Fig. 6. Comparison of TTBs based on MPSD and TTBs based on Survey Data

활용되었다. 이 자료는 전처리 과정을 통해 총 23,157명의 사용자에게 대한 61,756개의 자료가 TTB 산출에 활용되었다. 연구 결과 마포구의 TTB는 82.94분, 세종시의 TTB는 80.70분으로 나타나 마포구가 2.24분 높게 나타났다. 평균 출근 통행시간의 경우에도 마포구는 38.88분, 세종시는 38.50분으로 마포구가 0.33분 높게 나타났고, 평균 퇴근 통행시간의 경우에도 마포구는 44.06분, 세종시가 42.20분으로 1.86분 높게 나타났다. 연령대 별로 비교했을 때, 세종시의 경우 나이가 많을수록 TTB가 증가한 반면 마포구는 나이가 많을수록 TTB가 작게 나타나, 지역별 TTB의 특성은 다름을 확인할 수 있었다.

본 연구는 공간적으로 서울시 마포구 3개 동과 세종시를 대상으로 진행하였으며, 아울러 시간적으로 8일간의 자료를 활용하였다. 그러나 동일한 특성의 자료를 전국에 대하여 그리고 보다 긴 시간의 자료를 활용한 연구가 요구된다. 이를 통해 지역별 TTB를 해석하고, 각 지역별 사회경제 지표, 교통지표를 융합한다면 TTB의 다양한 해석이 가능할 것으로 기대된다. 또한 MPSD와 도로 정보, 통행 속도 정보의 융합은 향후 통행 수단의 분류도 가능할 것으로 판단된다. 한편, 본 연구에서는 MPSD 자료의 한계 및 특성을 반영하기 위해 체류시간 3분과 반경 1km의 버퍼를 활용하였다. 비록 이 값은 본 연구에 적용한 자료에는 적합했지만, 전국단위 혹은 보다 긴 시간에 해당하는 자료를 적용했을 경우 다른 값이 적합할 가능성이 있다. 또한 이 값들은 경험적 방법에 의존하여 결정되었기 때문에, 보다 객관적이고 과학적인 접근 방법에 의한 버퍼 설정 연구가 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 2017년 한국교통연구원의 지원을 받아 수행된 연구이며, 자료를 제공해 주신 (주)KT 관계자분들께 감사드립니다.

## References

- Ahmed, A. and Stopher, P. (2014). "Seventy minutes plus or minus 10 - a review of travel time budget studies." *Transport Reviews*, Vol. 34, No. 5, pp. 607-625.
- Choo, S. H. and Na, S. W. (2011). "Exploring characteristics on travel time budget : a case study of Seoul metropolitan area." *Korean Urban Management Association*, Vol. 24, No. 2, pp. 3-22 (in Korean).
- Chumak, A., Braaksma, J., 1981. Implications of the travel-time budget for urban transportation modeling in Canada. *Transportation Research Record*, Vol. 794, pp. 19-27.
- Downes, J. and Morrell, D. (1981). "Variation of travel time budgets and trip rates in reading." *Transportation Research Part A: General*, Vol. 15, No. 1, pp. 47-53.
- Golob, T. F. (1990). "The dynamics of household travel time expenditures and car ownership decisions." *Transportation Research Part A: General*, Vol. 24, No. 6, pp. 443-463.
- Joly, I. (2004a). "The link between travel time budget and speed: A key relationship for urban space-time dynamics." AET. European Transport Conference 2004-ETC 2004. AET, Strasbourg.
- Joly, I. (2004b). "Travel time budget-decomposition of the worldwide mean." IATUR, ISTAT. Italian National Statistical Institute., Rome, Italy.
- Kim, T. H., Park, J. J., Lee, K. Y. and Park, Y. D. (2009). "Analysis and estimation of factors affecting travel time budget." *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 13-21 (in Korean).
- Lee, J. Y., Park, J. H. and Ahn, B. I. (2005). "Location-based alarm service and LBS platform technology trend." *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 23, No. 4, pp. 75-86 (in Korean).
- Levinson, D. and Kumar, A. (1995). "Activity, travel, and the allocation of time." *Journal of the American Planning Association*, Vol. 61, No. 4, pp. 458-470.
- Marchetti, C. (1994). "Anthropological invariants in travel behavior." *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 47, No. 1, pp. 75-88.
- Mokhtarian, P. L. and Chen, C. (2004). "TTB or not TTB, that is the question: A review and analysis of the empirical literature on travel time (and money) budgets." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 38, No. 9, pp. 643-675.
- Purvis, C. (1994). "Changes in regional travel characteristics and travel time budgets in the San Francisco Bay Area: 1960-1990." In: *Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, January.
- Schafer, A. and Victor, D. G. (2000). "The future mobility of the world population." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 34, No. 3, pp. 171-205.
- Stopher, P. R. and Zhang, Y. (2011). "Travel time expenditures and travel time budgets-preliminary findings." In: *Proceedings of the Transportation Research Board 90th Annual Meeting*.
- Stopher, P. R., Ahmed, A. and Liu, W. (2017). "Travel time budgets: New evidence from multi-year, multi-day data." *Transportation*, Vol. 44, No. 5, pp. 1069-1082.
- Susilo, Y. O. and Avineri, E. (2014). "The impacts of household structure on the individual stochastic travel and out-of-home activity time budgets." *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 48, No. 5, pp. 454-470.
- Tanner, J. C. (1961). Factors Affecting the Amount of Travel HM Stationery Office.
- Van Wee, B., Rietveld, P. and Meurs, H. (2006). "Is average daily travel time expenditure constant? In search of explanations for an increase in average travel time." *Journal of Transport Geography*, Vol. 14, No. 2, pp. 109-122.
- Zahavi, Y. and Ryan, J. M. (1980). "Stability of travel components over time." *Transportation Research Record*, Vol. 750, pp. 19-26.
- Zahavi, Y. and Talvitie, A. (1980). "Regularities in travel time and money expenditures." *Transportation Research Record*, Vol. 750, pp. 13-19.