

GPS를 활용한 첨단교통조사기법에 관한 연구

A Study of Advanced Travel Survey Methods Using Global Positioning System

추상호

(한국교통연구원 국가교통DB센터 책임연구원)

조완기

(한국교통연구원 국가교통DB센터 연구원)

이향숙

(한국교통연구원 국가교통DB센터 연구원)

송재훈

((주)CS 이사)

목 차

I. 서론

II. 첨단통행실태조사의 필요성

1. 기존 통행실태조사의 문제점
2. 첨단통행실태조사의 필요성

III. 기존문헌 검토

1. 국외사례
2. 국내사례

IV. GPS를 활용한 통행실태조사 방안

1. PDA형 조사단말기 및 시스템 개발
2. 조사단말기 현장테스트 결과

V. 결론

참고문헌

I. 서론

교통계획에 이용되는 통행자료는 일반적으로 가구방문면접조사(face-to-face interview)를 통해 수집된다. 이 같은 가구방문조사는 조사원을 직접 동원해야 하므로 조사비용이나 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 조사시에도 조사원 안전 및 관리를 비롯한 여러가지 문제점을 지니고 있는 것으로 나타났다. 또한, 가구통행실태조사가 주로 통행일지(travel diary)형태로 이루어지고 있어 상당수의 통행이 제대로 기록되지 않는 것으로 나타나 조사자료의 신뢰성 문제가 제기되고 있다. 예를 들면, 가구원수가 많은 가구나 통행이 많은 사람의 경우 응답률이 상대적으로 낮고 응답을 하더라도 통행을 누락하는 경우가 높다(NCHRP, 2006).

Wolf, 외(2003)의 연구에 의하면 전화면접(telephone interview) 조사의 경우 전체통행의 약 20-30%가 누락되는 것으로 조사되었고, Stopher, 외(2005)는 호주 시드니의 경우 가구방문조사의 경우 전체통행의 약 7-12%가 기록되지 않는 것으로 나타났다. 물론 이처럼 기록되지 않은 통행(under-reported trips)들은 주로 단거리 통행인 것으로 분석되었다(Stopher and Greaves, 2007). 우리나라의 경우, 각종 교통관련 계획 및 정책수립의 합리적 기반을 마련하기 위해 교통체계효율화법에 의거하여 정기적으로 대도시단위의 가구통행실태조사를 실시하고 있다.

이 가구통행실태조사는 조사원에 의해 통행일지를 배부하고 수집하는 방식으로 수행되고 있으며, 조사당일에 응답자가 통행일지에 직접

기입하도록 하고 있다. 우리나라도 외국의 경우와 유사하게 과소응답하는 사례가 많은 것으로 조사되었다(한국교통연구원, 2007).

따라서 기존 조사원 중심의 통행실태조사자료의 신뢰성을 높이기 위해서는 첨단정보통신매체인 GPS(Global Positioning System) 장치 등을 이용한 조사기법에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 가구방문조사에 의해 대부분 수행되는 통행실태조사의 문제점을 해결하고 조사자료의 질을 높일 수 있는 GPS를 활용한 첨단교통조사방법을 제안하고자 한다.

II. 첨단통행실태조사의 필요성

1. 기존 통행실태조사의 문제점

기존 통행실태조사의 문제점을 크게 인력동원의 조사방법과 통행일지 방식의 조사내용의 두가지 측면에서 제시하였다.

인력동원 방식의 교통조사의 문제점은 박정욱(2002)의 연구에 잘 나타나 있으며 이를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 대부분의 통행실태조사는 조사원에 의한 설문조사 방법으로 수행하고 있기 때문에 조사원의 선발, 교육, 관리에 있어서 시간과 비용이 많이 소요된다.

둘째, 기존 통행실태조사는 인적 요소로 인한 조사자료의 우연적, 필연적 오류가 발생할 확률이 크다. 이는 인력동원 방식의 조사결과에 대한 검증이 어려워 자료의 정확성 및 신뢰성에 대한 의문이 제기될 수 있다.

셋째, 조사자료의 입력 및 데이터베이스 구축을 위해 여러 단계를 거치게 되므로 오류 발생 확률도 커지고 많은 시간이 소요된다.

조사내용 측면에서는 응답자가 하루동안의 통행일지를 작성해야 하므로 조사자료의 정확성 문제가 발생할 수 있다. 다시 말하면 일반적으로 응답자는 하루통행이 끝나고 난 후에 통행일지를 작성하므로 통행에 관한 사항은 응답자의 기억에 의존하고 있다. 이로 인해 통행별 출도착시각, 출도착지 등의 정보가 상세하지 않거나 중요한 통행이 아닌 경우는 누락될

우려가 있다(Stopher and Greaves, 2007).

2. 첨단통행실태조사의 필요성

위에서 제시한 조사방법의 문제점은 대부분 인력에 의한 조사과정과 응답자의 기억에 의존하는 통행일지 방식에서 기인된 것으로 첨단통신기술을 통행실태조사에 활용한다면 많은 문제점들을 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

첫째, 조사대상자가 직접 조사장비를 소지하고 간편한 조작을 통해 조사를 수행함으로써 조사 교육 및 관리 등이 간소해 질수 있다.

둘째, 조사비용 측면에서 정보통신장비 및 시스템 구축을 위한 초기비용은 많이 소요되더라도 지속적으로 사용할 수 있으므로 장기적인 측면에서 예산상 효율적일 수 있다.

셋째, 조사결과가 실시간으로 집계되고 자동적으로 데이터베이스가 구축됨으로써 조사자료의 처리가 효율적이고 체계적으로 이루어진다.

넷째, 각각의 통행에 관한 정확한 정보를 얻을수 있으며, 통행경로 및 속도 등도 파악할 수 있어 다양한 교통정보 수집이 가능해 진다.

위에서 열거한 것처럼 첨단 정보통신기술을 통행조사에 이용할 경우 기존의 통행조사의 문제점을 상당부분 극복할 수 있으므로, 본 연구에서는 GPS를 활용한 통행실태조사의 구체적인 적용방안과 현장테스트 결과를 제시하고자 한다.

III. 기존문헌 검토

본 장에서는 GPS를 활용한 각종 교통조사의 국외 및 국내 연구사례를 검토하였다.

1. 국외 사례

<표 1>에 나타난 것과 같이 GPS를 처음 교통조사에 활용하기 시작한 것은 1990년대 중반이며, 현재까지 통행속도조사, 통행실태조사 등에 다양하게 활용되고 있다.

미국의 경우, 연방도로국 지원하에 1996년에 최초로 GPS를 이용한 통행실태조사가 켄터키주 Lexington시의 100가구(216명)을 대상으로

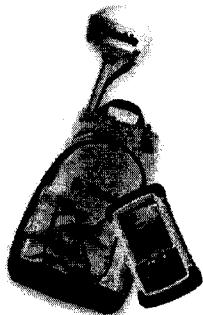
실시되었다. 이 조사는 자가용 운전자의 차량 통행만을 대상으로 개인당 6일간의 통행을 조사한 것이다. 또한 데이터의 수집 및 저장을 위해 GPS 수신기와 PDA(Personal Digital Assistant)를 이용하였으며 조사장비의 전원은 차량에서 공급받았다.

<표 1> GPS를 활용한 교통조사 해외연구

연도	연구자	GPS 활용
1995	Zito et al.	통행시간 조사에 활용
1999	D'Este et al.	교통시스템 분석에 활용
1999	Murakami & Wager	PDA를 결합하여 통행조사 수행
2000	Draijer et al.	교통수단별 통행조사 수행
2001	Doherty et al.	GIS를 결합하여 활동조사 시도
2001	Wolf et al.	GIS를 결합하여 통행목적 파악 연구
2004	Wolf	통행조사를 위한 다양한 위치수집기법 적용 및 향후 경향에 대한 연구
2005	Forrest & Pearson	GPS와 CATI 조사의 비교

주) GIS: Geographic Information System
 PDA: Personal Digital Assistant
 CATI: Computer Assisted Telephone Interview

GPS는 위치정보가 좌표로 수집되기 때문에 상세한 통행 경로의 파악이 가능하고 통행누락 비율이 낮다는 장점이 있지만, 위성수신이 불가능한 지역(건물 안, 지하철 등)에서는 위치추적이 불가능하고, 기계상의 문제로 인하여 데이터 전송에러가 발생할 수 있는 단점을 가지고 있다.



<그림 1> PDA가 결합된 GPS 장비 예시

또한 <그림 1>처럼 GPS 활용 초기에는 장비의 크기와 무게 등의 부담으로 개인의 휴대가 쉽지 않았기 때문에 특정 교통수단을 기반으로 하는 통행의 모니터링에는 적합하나, 개인통행행태에 대한 조사에는 적합하지 않았다. 따라서 이를 보완하기 위하여 휴대가 용이한 GPS 수신장치를 이용한 조사에 대한 연구가 1990년대 후반부터 최근까지 활발히 수행되어 왔다(<표 2> 참조).

1999년 일본에서 처음으로 이동전화를 활용한 개인통행행태조사가 수행되었으며, 이후 조사효율성을 높이기 위하여 GPS 장치와 접목한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

이동전화는 휴대가 용이하기 때문에 GPS와 접목시켜 위치정보를 파악하면 개인통행실태 자료의 수집이 가능하게 된다. 그러므로 이동통신장치들은 향후 통행데이터 수집 및 분석을 위하여 매우 중요하게 이용될 것이다.

<표 2> 휴대형 장비를 활용한 교통조사 해외연구

연도	연구자	이동통신 활용
1999	Asakura et al.	PHS를 이용하여 개인통행행태조사 수행
2003	Wermuth et al.	GMS로 자동위치 추적 및 자료수집체계 개발
2004	Kracht	휴대가능한 GPS/GMS 장치를 이용 조사
2006	Ohmori et al.	GPS 이동전화와 PDA를 이용하여 활동일지 조사
2006	Hato	GPS 이동전화에 의해 지원되는 MoALs를 활용하여 조사
2006	Itsubo & Hato	GPS 이동전화와 web 일지를 이용한 데이터 수집체계의 효과 검토
2006	Asakura & Iryo	GMS로 위치추적하여 수집된 자료로 여행자행태 분석

주) PHS: Personal Handy System
 GMS: Global System for Mobile Communication
 MoALs: Mobile Activity Loggers

위의 해외사례들을 살펴보면 과거 GPS 기반 조사를 수행하다가 최근 GPS에 이동전화를 접목한 조사와 이동전화의 위치추적방식을 이용한 조사에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.

2. 국내 사례

우리나라의 경우 GPS 장치가 장착된 네비게이션, PDA, 이동전화 등이 점차 대중화되어 가는 추세에도 불구하고 통행실태조사에 이를 이용한 사례는 소수 연구에 불과하다.

1990년대 후반에 지능형정보체계(ITS)하에서 프로브차량에 GPS를 장착하여 통행시간을 산정(예, 최기주·신치현, 1998)하거나 차량의 위치를 파악하는 연구(예, 박영주 외, 1999)들이 주를 이루었다.

본 연구와 유사하게 박정욱(2002)는 GPS가 내장된 개인휴대통신단말기를 이용한 개인통행실태조사방안을 제안하였으나, 시스템을 검증할 수 있는 충분한 현장테스트가 실시되지 않았으며, 적용프로그램도 초기단계로 실제 적용에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

이후 김시곤 외(2005)의 연구에서는 휴대폰 기지국과 GPS 위치정보에 기반한 O/D 추정을 제안하였으나, 택시에 정보통신장치(GPS 수신기 및 휴대폰 거치대)를 장착하여 택시 이용자의 O/D 정보를 취득한 것으로 실제 가구통행조사에 적용하는데는 한계가 있는 것으로 나타났다.

따라서 현재 상용화 되고 있는 GPS가 장착된 이동통신 장비 등을 통행실태조사에 적용하는 구체적인 방안에 관한 연구가 필요하다.

IV. GPS를 활용한 통행실태조사 방안

정보통신 기술의 발달과 함께 개인휴대통신 기기의 보급이 확대되고 있으며, 다양한 분야에서 이를 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 따라서 통행실태조사를 위하여 도입가능한 첨단정보통신 기술은 무엇이며, 그 효과는 어느 정도인지에 대한 심층적인 연구가 필요한

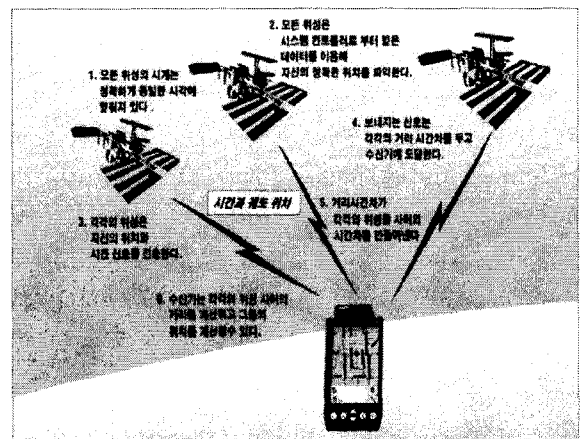
시점이다.

현재 수행되는 통행실태조사의 최종 목적은 기종점통행량을 추정하는 것이다. 따라서 교통조사의 가장 중요한 조사항목은 기종점에 대한 위치 정보이다. 이런 위치정보는 위에서 언급되었던 RFID(Radio Frequency Identification), GPS, 이동전화 등의 기기를 통해 다양한 분야에서 활용되고 있다.

이 중 GPS는 현재 상용화되어 있는 위치정보 제공 서비스 중에서 가장 정확한 자료이며 그 활용성도 높다. 또한 현재 GPS 수신장치는 계속 발전되어 수신률은 향상되고 크기는 소형화 되어 휴대 기기에 많이 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 첨단정보통신 기술 중 GPS 수신장치가 내장된 PDA를 활용하는 방안에 대해 검토하였다.

1. PDA형 조사단말기 및 시스템 개발

GPS 수신기가 장착된 PDA의 작동원리를 살펴보면, 지구대기권을 회전하고 있는 24개의 GPS 위성중에 4개 이상의 위성이 동일한 시간에 신호를 보내면 그 거리 차이에 의해 수신시간이 서로 다르게 되므로 이때 그 신호의 거리시간차에 의해 수신기는 현재의 위치 좌표를 계산하는 것이다. 최근 GPS 정보에 의해 오차를 보정하는 Differential 방식의 GPS가 위치 측정 정밀도를 향상시켜 5m의 높은 정밀도를 지닌 위치검출이 가능하다.



<그림 2> GPS 위치 추적 원리1)

1) 자료 : www.navicom.co.kr/gps/fundamental2.asp

또한 조사용 소프트웨어를 단말기에 설치하여 통행실태조사에서 필요한 항목에 관한 자료도 수집할 수 있다. <그림 3>은 현장테스트에 사용될 PDA에 입력된 통행조사항목을 보여주고 있다.

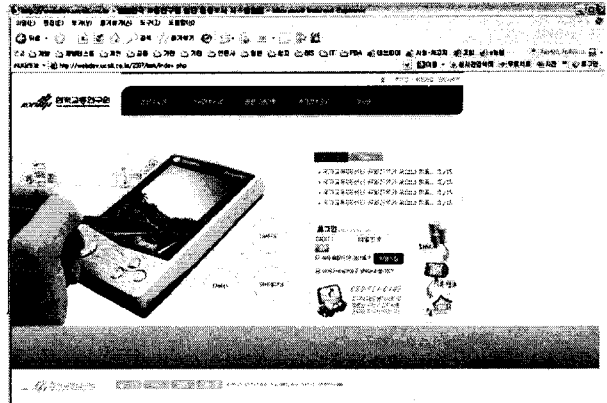


<그림 3> PDA에 설치된 소프트웨어

본 연구의 현장테스트에 사용될 GPS가 장착된 PDA 단말기의 특성은 다음과 같다.

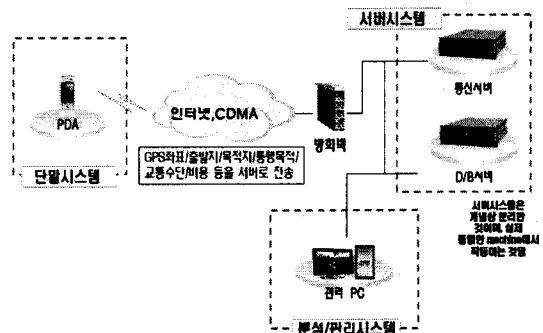
- 기기명 : POZ-X532 (싸이버뱅크)
- OS : PocketPC 2003
- Device : CDMA, GPS 수신기, 카메라 등
- HDD : 100 Mbyte

이 단말기를 통해 통행시작 및 종료시 GPS를 통한 좌표 및 통행시간, 피조사원의 입력에 의한 과 통행목적 및 비용 등이 저장된다. 이렇게 수집된 데이터는 피조사자에 의해 인터넷의 조사 전용 사이트를 통하여 중앙 시스템으로 능동적으로 전송되며, 수집된 데이터를 기반으로 통계 자료도 자동 추출할 수 있다.



<그림 4> 첨단교통조사 사이트 예시

<그림 5>와 같이 단말기 이외에 전체 시스템을 서버시스템과 분석/관리시스템으로 구분하여 데이터의 전송, 분석, 관리를 효율적으로 처리하도록 구축하였다.



<그림 5> 첨단 통행실태조사 시스템 구성도

2. 조사단말기 현장테스트 결과

2007년 4월 17일(화)~4월 19일(목), 4월 24일(화), 4월 26일(목)에 GPS 수신기가 장착된 PDA를 활용하여 현장테스트를 진행하였다. 현장테스트는 제주시를 대상으로 하였으며, 19개 행정동별로 각 2인씩 총 38명의 조사인원(직장인 33명, 학생 및 가정주부 5명)을 투입하여 실시하였다.

1) 현장테스트 방법

조사원 개개인에게 조사용 PDA와 가구통행실태조사표를 각각 배포한 후, PDA에는 각 통행을 실시간으로 입력하게 하고, 통행실태조사표는 하루 통행이 완료된 후에 작성토록 하였다.

PDA의 GPS 수신주기는 10초로 설정하였으며 위치 및 시간을 제외한 통행목적, 통행수단, 요금 등은 매통행시 피조사원이 직접 입력하도록 하였다.

2) 현장테스트 결과

조사원들이 가구통행실태조사 조사표와 PDA단말기를 이용하여 통행실태조사를 수행하였으며, 그 결과를 비교·검토 하였다. 피조사원들의 총통행수는 152통행으로 나타났으며, 이중 78%가 승용차 통행이며 나머지 수단통행들(버스, 택시, 도보)은 7%내외로 고르게 분포된 것으로 나타났다.

두 방법간의 통행수를 비교해보면, 통행자에 따라 설문조사를 통한 통행수가 많거나 PDA에 의한 통행수가 많은 것으로 조사되었다. 일반적으로 PDA 단말기에 의한 통행수가 조사표에 의한 통행수 보다 많으나, 반대인 경우는 피조사자가 PDA 단말기의 통행시작에 관한 정보를 누락했기 때문인 것으로 나타났다.

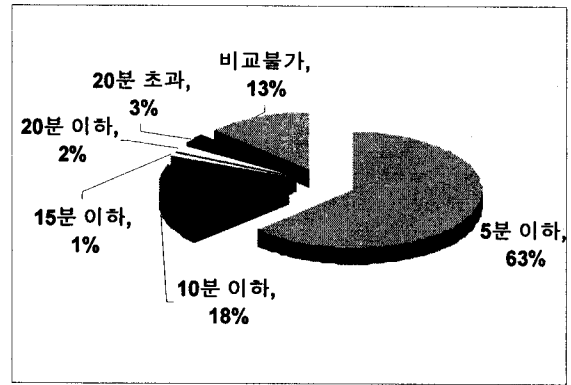
이밖에 두 조사 방법을 통한 결과의 가장 큰 차이는 통행시간(출발 및 도착시간)과 통행 경로에 있었다.

① 통행시간

먼저 피조사인이 조사표에 기입된 출/도착시간은 대부분 5분에서 10분 단위로 끊어져 있었다. 이는 조사표를 하루의 통행이 끝난 뒤에 작성하는 사람의 기억력에 의존하기 때문에 나타난 현상이다.

이에 반해 PDA 단말기에 의한 조사 자료에는 정확한 통행시간이 입력되어 있었다. PDA 단말기는 통행 시작 버튼을 누르면 자동으로 시각이 입력 되기 때문이다.

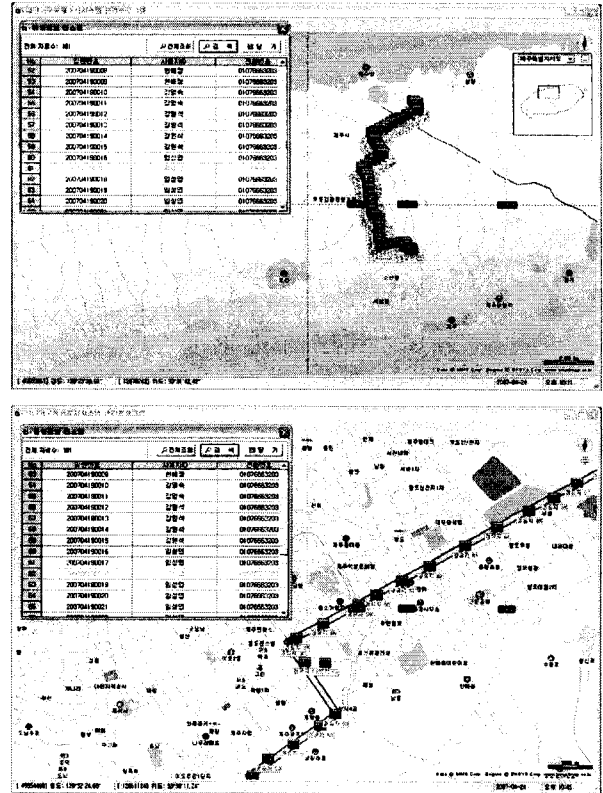
<그림 6>과 같이 현장테스트 결과 두 방법에 의한 통행시간의 차이를 보면 대체적으로 5분 이내인 것으로 나타났다. 전체 통행에 대한 통행시각의 차이가 5분 이내인 경우는 63%, 10분이내는 81%인 것으로 나타났다. 하지만 대규모 표본 조사시에는 통행시간의 오차범위가 더욱 커질 것으로 예상된다.



<그림 6> 통행시간 차이 분포2)

② 통행경로

기존의 가구통행실태조사표에 의한 조사는 각 통행의 출발지와 목적지에 대한 읍면동 단위까지의 위치만 알 수 있다. 하지만 PDA를 통한 첨단통행실태조사는 몇 초 단위로 통행자의 정확한 위치정보를 알 수 있기 때문에 일정 시간간격의 좌표를 이용하여 통행경로를 탐색할 수도 있다. <그림 7>은 통행경로 좌표를 이용하여 지도에 표시한 예이다.



<그림 7> GPS 수신 좌표에 의한 통행경로 예

2) 비교불가는 GPS 수신에러로 인해 통행시간 정보가 입력되지 않아 비교가 불가능 한 경우이다.

통행실태조사의 조사의 궁극적인 목적은 기종점통행량(O/D)를 구축하는 것으로 현재까지의 O/D 자료에는 통행의 개별행태 등은 반영되지 않았다. 그러나 첨단통행실태조사안의 통행경로 자료를 활용한다면 통행수요산정에 개별통행행태까지 반영할 수 있을 것이다.

또한 GPS 수신간격과 좌표상의 거리를 이용한다면 구간속도까지 추정할 수 있기 때문에 혼잡구간도 파악할 수 있다.

그리고 현재는 각 종의 발생량/도착량을 통해 여러 가지 모형에 의해 통행량을 배정시키지만 첨단조사에 의해 구축된 통행경로를 지도에 중첩시킨다면 가정에 의한 배정이 아닌 실제 사례를 이용한 배정으로 O/D 구축시 매우 유용한 자료가 될 것이다.

③ 현장 테스트시 문제점

현장테스트를 수행하는 과정에서 세가지 정도의 문제점이 발생하였다.

첫 번째는 PDA 단말기의 전원 공급 문제이다. 본 현장테스트에 적용한 단말기 전원의 수명은 최장 8시간이었고, 이 때문에 매 통행마다 on/off를 반복해야만 했다. 이로 인해 조사원이 실수로 단말기를 켜지 않고 통행하는 경우가 생겼으며 실제 단말기에 저장된 통행수와 조사표에 기록된 통행수의 차이가 크지 않았다. 또한 저장된 통행을 보면 식사와 같은 단거리 통행의 정보가 누락된 사례도 있었다. 따라서, 하루동안 재충전 없이 이용할 수 있는 대용량 배터리를 지닌 PDA 단말기를 실제 조사시 이용해야 할 것이다.

두 번째는 조사원들의 기기 사용 미숙이었다. 단말기를 사용하는 조사원들은 단말기 사용 및 조사 방법 등에 대한 교육을 개별적으로 실시했음에도 불구하고 기기사용 미숙 등에 의해 통행 누락이나 자료수집 오류 등이 발생하였다. 이 같은 문제점은 조사원의 철저한 교육을 통해 극복해 나갈 수 있을 것이다.

세 번째는 GPS의 수신율이다. 특히 첫 통행을 시작할 경우 GPS 좌표 정보를 얻는데 일정시간이 소요되므로 자칫 완전한 출발정보를 얻는데 어려움이 있을 수 있다. 또한 지형적인 영향으로 인해 GPS 좌표가 수신되지 않는 지역을 통행하는 경우 일부 정보가 누락될 수 있

다. 이같은 GPS의 수신불량으로 인한 문제는 해당 시간대의 이용가능한 통·행경로 정보를 활용하여 누락된 정보를 보정해야 할 것이다.

V. 결론

기존의 가구통행실태조사 방법은 조사 운용의 효율성, 예산, 조사자료의 신뢰성, 조사자료의 처리, 조사분석 자료의 활용 등 여러 가지 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점의 원인을 분석해보면 조사원을 활용한 직접 조사방법, 특정시기에 국한되어 있는 조사기간의 단순성, 아날로그식 집계 및 분석 방식의 한계성, 통행일지조사 방법의 한계성 등에 기인된다.

최근 급속도로 발전하는 정보통신기술을 통행실태조사에 활용한다면 조사 절차의 자동화 및 디지털화를 통해 인적요인에 의한 오류를 최소화함으로써 이 같은 문제들을 극복할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 GPS가 내장된 PDA 단말기를 이용한 통행실태조사 방안을 제안하였다. 현장 테스트 결과, PDA 단말기를 이용한 통행실태조사가 여러 가지 측면에서 기존 조사표에 의한 조사방법 보다 우수한 것으로 나타났다.

특히, 통행과 관련된 시간과 장소의 경우 PDA 단말기 조사는 출발/도착 버튼을 조작하게 되면 자동적으로 출/도착시간과 장소가 입력되므로 정확한 통행정보를 얻을 수 있었다. 또한 GPS 좌표 정보를 이용하여 일정시간 간격마다의 위치를 알 수 있기 때문에 통행경로 파악이 가능하였다. 이런 통행 경로는 평균통행시간 산정, 구간속도, 혼잡구간 설정 등의 자료로 활용할 수 있을 것이다.

반면에 현장테스트시에서 발생한 PDA 단말기의 전원 수명에 대한 문제는 장시간 충전지 등의 기술개발로 해결해 나갈 수 있을 것이다.

결론적으로 GPS를 활용한 첨단통행실태조사는 조사관리 인원의 최소화, 장비의 재활용으로 인한 예산 절감, 활용성 높은 자료 취득 및 실시간 자료 정리 등을 가능케하여 기존 조사표 위주의 통행실태조사 방식에 비해 효율성을 크게 향상시킬 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국교통연구원, 2006. 여객 O/D 자료의 신뢰성 제고를 위한 분석방법론 연구
2. 한국교통연구원, 2007. 광역권 여객통행실태 조사.
3. 박정욱, 2002. 신기술을 활용한 교통조사방법 개선에 관한 연구, 한국교통연구원.
4. 김시곤·유병석·강승필, 2005. 휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정기법 연구, 대한교통학회지 제23권 제1호, pp. 93-102.
5. 최기주·신치현, 1998, GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법, 대한교통학회지 제18권 제2호, pp. 197-207.
6. 박영주·김호중·장석철·안병하, 1999, 대한교통학회지 제17권 제3호, pp. 7-20.
7. Asakura, Y., Hato, E., Nishibe, Y., Daito, T., Tanabe, J., Koshima, H., 1999. Monitoring travel behaviour using PHS based location positioning service system. In: proceedings of the 6th ITS Conference in Toronto.
8. Asakura, Y., Hato, E., 2004. tracking survey for individual travel behaviour using mobile communication instruments. Kobe University, Graduate School of Science and Technology, Kobe, 657-8501
9. D'Este, G.M., Zito, R, Taylor, M.A.P., 1999. Using GPS to measure traffic system preformance. Journal of computer-Aided Covil and Infrastructure Engineering 14, 273-283.
10. Doherty, S.T., Noel, N., Gosselin, M-L., Sirois, C., Ueno, M 2001./ Moving beyond observed outcomes: intergrating global positioning systems and interactive computer-based travel behaviour surveys. Transportation Research Circular, 449-466.
11. Draijer, G., Kalfs, N., Perdok, J., 2000. Global positioning system as data collection method for travel research. Transportation Research Record 1791, 147-153.
12. Forrest, T.L., Pearson D.F., 2005. Comparison of trip determination methods in household travel surveys enhanced by a global positioning system. Transportation Research Record 1917, 63-71.
13. Hato, E., 2006. Development of MoALs (mobile activity loggers supported by GPS-phones) for travel behavior analysis. Paper Presented at Transportation Research Board 85th Annual Meeting.
14. Itsubo, S., Hato, E., 2006. Effectiveness of household travel survey using gps-equipped cell phones and web diary: comparative study with paper-based travel survey. Paper presented at Transportation Research Board 85th Annual Meeting.
15. Kracht, M., 2004. Tracking and interviewing individuals with GPS and GSM technology on mobil electronic devices. Paper Presented at the 7th International Conference on Travel Survey Methods, Costa Rica.
16. Murakami, E., Wagner, D.P, 1999. Can using global positioning system(GPS) improve trip reporting? Transportation Research C 7, 149-165.
17. NCHRP, 2006. Standardization of Personal Travel Surveys. Report to the National Cooperative Highway Research Program on Project 08-37, Transportation Research Board. Washington, DC.
18. Ohmori, N., Nakazato, M., Sasaki, K., Nishii, K., Harata, n., 2006. Activity diary surveys using GPS mobile ponos and PDA. Paper Presented at Transportation Research Board 85th Annual Meeting.
19. Stopher, P. R., Greaves, S. P., 2007, Household travel surveys: Where we going? Transportation Research Part A, Vol. 41, pp. 367-381.

20. Stopher, P. R., Xu, M., FitzGerald, C., 2005, Assessing the accuracy of the Sydney household travel survey with GPS, presented at the 28th Australasian Transport Research Forum, Sydney.
21. Wermuth, M., Sommer, C., Kreitz, M., 2003. Impact of new technologies in travel surveys. In: Stooher, P., Jones, P., (Eds.), *Transport Survey Quality and Innovation*. Pergamon Press, pp. 465-469.
22. Wolf, J., Guensler, P., Bachman, W., 2001. Elimination of the travel diary: experiment to derive trip purpose from global positioning system travel data. *Transportation Research Record* 1768, 125-134.
23. Wolf, J., Loechl, M., Thompson, M., Arce, C., 2003. Trip rate analysis in GPS-enhanced personal travel surveys. In Stopher, P., Johns, P. (Eds.), *Transport Survey Quality and Innovation*. Pergamon Press, pp. 483-498.
24. Wolf, J., 2004. Applications of new technologies in travel surveys. Paper Presented at 7th International Conference on Travel Survey Methods, Costa Rica.
25. Zito, R., D'Este, G.M., Taylor, M.A.P., 1995. Global positioning systems in the time domain: how useful a tool for intelligent vehicle-highway systems? *Transportation Research C*. 3 (4), 193-209.