

■ 論 文 ■

# 휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정기법 연구

Origin-Destination Estimation Based on Cellular Phone's Base Station

김 시 곤

(서울산업대학교 철도전문대학원 부교수)

유 병 석

(서울대학교 도시공학과 박사)

강 승 필

(서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수)

## 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구의 배경 및 목적
  - 2. 연구의 범위 및 방법론
- II. 기존 연구 고찰
- III. 휴대폰 기지국 기반 O/D 추정기법 및 적용
  - 1. 휴대폰 기지국 기반 O/D 추정 방법론
  - 2. 택시를 이용한 자료 수집 및 O/D 산출
- 3. 청주시 택시 O/D 특성 분석
- 4. 휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정
- 5. 추정된 O/D의 전수화
- IV. 결론 및 향후 연구과제
  - 1. 결론
  - 2. 향후 연구과제

참고문헌

Key Words : O/D, 휴대폰 기지국, GPS, 전수화, 커버리지 면적비, GPS 분포비

## 요 약

통행기중점(Origin-Destination)은 경로 선택 및 통행 배정 등 교통계획 측면에서 중요한 정보 중 하나이다. O/D 예측은 대부분 현장 조사나 가구 면접조사를 통하여 표본 O/D를 산출하고 이를 전수화하는 것이 전통적인 방법이고, 가로 교통량과 통행배정모형과의 상호관계 속에서 동적 O/D를 추정하고자 하는 연구도 있다. 그러나, 최근에는 휴대폰 보급의 괄목할만한 증대에 따라 휴대폰 정보를 이용하여 O/D를 추정하는 연구에 관심이 기울어지고 있다.

본 연구에서는 휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정 방법론을 제시하고, 휴대폰 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D로 변환하는 방법론을 제시한다. 연구를 위해 청주시에서 운행중인 택시에 GPS 장비 및 휴대폰 거치대를 설치하여 GPS 위치 좌표, 휴대폰 기지국 좌표를 수집하였고, 이중 3주간의 자료를 디지털 맵에 맵매칭시켜 기지국 위치 기반 O/D와 GPS 위치 기반 O/D를 산출하였다. GPS 위치 기반 O/D를 이용하여 주간 O/D 통행패턴, 주중 O/D와 주말 O/D 통행패턴, 일평균 O/D와 오전·오후 첨두시 O/D 통행패턴 사이의 관계를 산점도 및 상관계수로부터 유추한 결과, 주중 O/D와 주말 O/D간에는 통행패턴에 차이가 있으며, 오전 첨두시와 오후 첨두시의 통행패턴 역시 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

휴대폰 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화하는 방법으로 GPS 분포비를 이용한 방법과 기지국 커버리지 면적비를 이용한 방법을 제시하였으며, 두 방법 모두 참 O/D라 생각할 수 있는 GPS 위치 기반 O/D와 크게 다르지 않은 것을 상관계수, 평균절대오차(MAE), 제곱근 평균제곱오차(RMSE)를 통하여 확인하였다. 향후 휴대폰 정보만을 이용하는 경우에는 휴대폰 기지국 커버리지 면적비를 이용하는 방법을 이용하면 O/D를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 현재의 표본 택시 O/D를 전수화하는 방법도 제시하였다.

An Origin-Destination (O/D) is considered as one of the important information in route choices and trip assignments. A household interview survey is deemed to be the traditional and the most widely used method in making sample O/D and its conversion to the total O/D. Some researchers have studied to estimate dynamic O/D from the relationship between link volumes and trip assignment model. Nowadays, owing to the recent rapid spread of cellular phones, location information of the cellular phone through the Base Station(BS) is considered as an alternative to O/D estimation.

In this study, the methodology of generating BS-based O/D and the methodology of converting this O/D into an administrative district-based O/D are proposed. The information of GPS positions and cellular BS positions have acquired by establishing GPS equipment and cellular phone on taxis in Cheongju. Three weeks data are collected and used in estimating O/D by matching them on a digital map. Scatter diagram and sample correlation coefficients are used to investigate the similarity of the GPS-based O/D pattern among weeks, among days, and among times in day. The results show that there are few significant differences among weeks. But there is a difference in O/D pattern between weekday and weekend. Furthermore, there is a difference between morning peak and afternoon peak.

Two methodologies are proposed to convert BS-based O/D into an administrative district-based O/D. The first one is to use the distribution pattern of GPS coordinates, the other is to use the coverage area of the BSs. To validate such converted O/D, GPS O/D is used as a true value. The statistical analyses through scatter diagram, MAE and RMSE shows that there is few significant difference of pattern between the estimated BS-based O/D and GPS O/D. In the case of using only cellular information, the methodology using coverage area of the BSs is recommended for estimating O/D.

이 논문은 건설교통부의 ITS 연구개발사업 및 서울대학교 공학연구소의 지원에 의해 수행되었음

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

통행기종점(Origin-Destination, 이후 O/D) 정보는 통행의 출발지 및 목적지에 대한 정보이다. 이는 경로 선택 및 통행 배정에 있어서 필수적인 교통정보로서 교통계획 및 교통관리, 시뮬레이션 분야에서 가장 중요한 정보 중의 하나이다.

현재 O/D 추정은 가구 면접 조사나 학생 가족의 설문 조사 등의 방법을 통하여 표본 O/D를 산출하고 이를 전수화하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 이는 설문조사가 얼마나 정확하게 이루어졌느냐에 많은 영향을 받으며, 설문조사를 수행하기 위해 막대한 비용과 시간이 소요되는 단점이 있다.

최근 휴대폰의 광범위한 보급에 따라 휴대폰 정보를 이용하여 통행시간, O/D 등의 교통정보를 생성하는 방안이 관심이 기울어지고 있다. 휴대폰 정보는 wireless 정보로서 자료수집이 용이하고 충분히 많은 양의 자료를 수집할 수 있다는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 휴대폰 정보를 이용하여 O/D를 추정하는 방법론을 제시하고 이렇게 생성된 O/D를 통계적 검정을 통하여 그 정확성과 유용성을 확인하고자 한다.

## 2. 연구의 범위 및 방법론

본 연구에서는 휴대폰 기지국 정보를 이용하여 O/D를 추정하는 방법론을 제시하고 이를 통계적으로 검증하였다.

연구를 위해 기존의 O/D 예측 방법을 고찰하였다. 자료는 청주시에서 운행중인 택시를 시험차량으로 이용하여 휴대폰의 기지국 위치와 GPS 위치 좌표를 수집하였다. 이를 GIS 수치지도 상에 맵매칭하여 휴대폰 기지국 기반 기지국 O/D와 GPS 위치 기반 행정동 O/D를 산출하였다. 이렇게 산출된 O/D 중 GPS 위치 기반 행정동 O/D를 주별 비교, 주중과 주말 비교, 피크시와 일일 비교 등을 통해 O/D 통행 패턴상의 특성을 살펴보았다. 또한 휴대폰 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화하는 기법을 제시하고, 그 결과 변환된 O/D와 참값이라고 생각할 수 있는 GPS 위치 기반 행정동 O/D를 통계적 평가지표를 이용하여 비교하였다. 더불어 표본 O/D를 전수화하는 방안도 제시하였다.

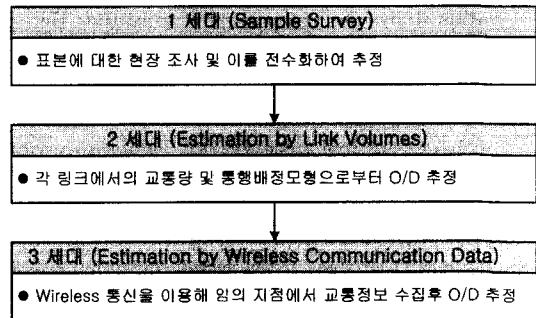
# II. 기존 연구 고찰

O/D 연구는 교통수요예측 및 교통계획, 교통운영, 시뮬레이션 등 다양한 분야에서 필요한 정보이나, 이의 정확한 예측은 매우 어렵기 때문에 현재까지도 다양한 방법이 연구되고 있다.

O/D는 일반적으로 행정동을 기반으로 예측되며, 이는 자료 수집의 용이성, 해당 지역의 동질성, 타 지역과의 차별성 등에 기인한다. O/D 예측에 관한 연구는 크게 3세대로 구분할 수 있으며, 그 특징은 <그림 1>과 같다.

1세대 방식은 O/D 예측의 초기부터 현재까지도 사용되는 방법으로, 해당 지역에서 추출된 표본에 대해 통행 기종점에 대한 설문조사나 가구 면접조사를 시행하여 표본 O/D를 생성하고 이를 전수화하여 O/D를 추정하는 방법이다. 그러나, 이 경우 표본추출율이 낮고 조사과정에서 실제 통행수와는 다른 통행이 응답될 수도 있으며, 전수화 과정에서도 오류가 발생할 여지가 있고, O/D 예측을 위해 막대한 예산 및 시간이 소요되는 등 다양한 문제점을 내포하고 있다.

2세대 방식은 검지 기술의 발전에 따라 검지기를 이용하기 시작한 단계로서, 각 링크에서의 교통량과 통행 배정보형을 연관시켜 O/D를 예측하고자 하는 연구단계로 현재까지도 활발히 연구가 진행되고 있다. 이처럼 링크에 배정된 교통량을 이용하여 O/D를 추정하고자 했던 연구는 Spiess(1987)를 필두로, Wu와 Chang(1996), Ashok(1996), Lo 등(1999), Hazelton(2000), Sherali 등(2003), Lo와 Chan(2003) 등 다양한 연구자들에 의해 연구가 진행되었으며 현재도 진행되고 있다. 그러나, 이러한 연구들은 고정된 지점에 설치되어 있는 검지기를 통과한 차량수에 근거해 O/D를 추론하는데, 초기 해를 어떻게 설정하는지와 추론 과정에서 오차를 어떻게 줄여 나가느냐가 연구의 관건이며, O/D 추정을 위해 도로상



<그림 1> O/D 추정 방법의 발전

에 검지기를 설치하고 이를 유지·보수하여야 하는 등 예산상의 문제도 따른다.

2000년대에 들어서 전세계적으로 휴대폰 보급률이 급속히 증가하고, GPS의 경우 2000년 5월부터 고의적 오차성분인 SA(Selective Availability)가 제거됨에 따라 휴대폰이나 GPS와 같은 이동정보에 근거해 O/D를 예측하는 연구에 관심이 집중되고 있다. 이 방식은 특정 지점에서 정보를 수집하는 것이 아니라 다양한 공간 상에서 wireless 통신을 이용하여 정보를 수집하는 단계로서 이를 3세대 O/D 예측 단계로 생각할 수 있다.

그러나 이러한 mobile 정보를 이용한 O/D 추정에 대해서는 아직 개념적 방법론 및 pilot 연구만이 진행되고 있을 뿐 실제 현장자료를 이용한 O/D 예측에 관한 주목할 만한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 휴대폰 기지국 위치 좌표에 근거해 O/D를 추정하는 방법론을 제시하며, 이를 실제 현장 자료를 이용하여 통계적으로 검증하도록 한다.

### III. 휴대폰 기지국 기반 O/D 추정기법 및 적용

#### 1. 휴대폰 기지국 기반 O/D 추정 방법론

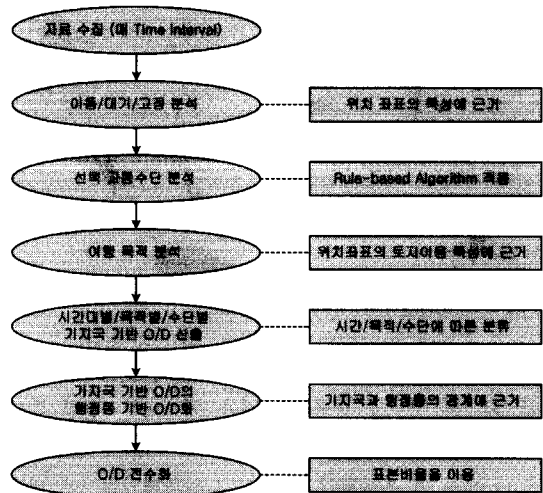
O/D는 목적별, 수단별, 시간대별로 다른 특징을 보이며, 어떤 방법을 통해 어떤 O/D를 추정하고자 하는지에 따라 적절한 방법론이 사용되어야 한다.

현재 우리나라의 휴대폰 위치추적기술은 GPS 폰의 경우에는 A-GPS 방식을 통해 50m 이내의 정확도로 휴대폰의 위치를 찾을 수 있으며, 일반 휴대폰의 경우에는 E-CGI 방식을 통해 휴대폰과 통신하고 있는 기지국을 찾을 수 있는 시스템이 운영되고 있다.

본 연구에서는 휴대폰과 통신하고 있는 기지국의 위치를 알 수 있는 경우에 O/D를 추정하는 방법론을 제시하며, 이는 <그림 2>와 같이 표현할 수 있다.

휴대폰 기지국 정보는 정해진 시간간격(예를 들어, 1초나 1분, 또는 수분)마다 표본으로 규정한 휴대폰의 위치를 추적하는 방식으로 수집된다.

이렇게 수집된 자료는 이전 시간의 자료와의 비교를 통해 이동하고 있는지, 한 자리에 머물고 있는지에 대한 이동 특성을 분석하여야 한다. 이 과정에서 일정 시간(임계값) 이상 정지해 있다면 이는 통행이 끝난 것으로 판단할 수 있으며, 이 자료들이 O/D를 구성하게 되는 것이다.



<그림 2> 휴대폰 정보를 이용한 O/D 추정 방법

인접 좌표들의 특성으로부터 이동하고 있는 것으로 분석되었을 경우에는 이동하고 있는 수단이 무엇인지에 대한 분석을 수행하여야 한다. 예를 들어, 보행의 경우에는 시간당 5km 이내로 이동할 것으로 예상할 수 있으며, 버스나 지하철의 경우에는 정차장에서의 정지 여부 등을 통해 구별될 것이다. 이러한 선택교통수단의 구별은 특정 수단의 운행 특성 및 이용자 행동 규칙(rule) 등에 기반한 알고리즘을 정립하는 방식을 통해 가능할 것이다.

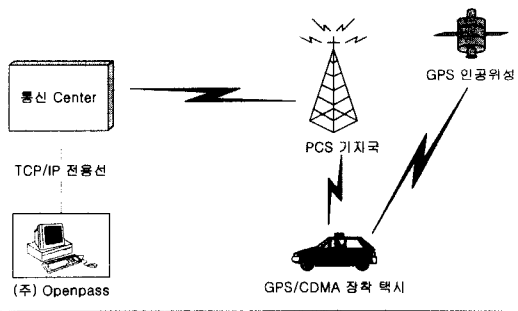
또한, 수치지도상의 출발지와 목적지의 토지이용 특성에 대한 layer를 이용하면, 기종점의 토지이용을 확인할 수 있고, 이를 통해 통근통행인지, 쇼핑통행인지 등의 통행 목적에 대한 구별이 가능할 것이다.

이상의 선택교통수단구분, 여행목적구분을 각 시간대별로 구별하면 시간대별, 목적별, 수단별 표본에 대한 휴대폰 기지국 기반 O/D를 산출할 수 있는 것이다. 이렇게 휴대폰 기지국에 기반한 O/D는 기지국과 행정동간의 위상관계 등을 고려하여 행정동 기반 O/D로 변환이 가능할 것이다.

이렇게 산출된 표본 O/D는 모집단에 대한 표본의 비율을 이용한 전수화 과정을 거쳐 모집단 O/D로 추정될 수 있다.

#### 2. 택시를 이용한 자료 수집 및 O/D 산출

앞 절에서 일반적인 방법론을 살펴보았으나, 이동통신회사에서는 시스템 특성 및 개인정보 유출 등을 고려



〈그림 3〉 (주) Openpass의 자료수집 과정

해 휴대폰 정보를 제공하는 것을 꺼렸으며, 설령 휴대폰 정보가 수집 가능하더라도 휴대폰 기지국 정보만으로는 실제 이 휴대폰이 어느 곳에 위치했었는지에 대한 참값이 없기 때문에 보완조사가 필요하게 된다.

이에 본 연구에서는 휴대폰 기지국과 GPS 위치 정보를 모두 수집할 수 있는 시스템을 갖추고 있는 (주) Openpass의 협조를 얻어 자료를 수집하였다. (주) Openpass는 청주시에서 운행 중인 일부 택시에 GPS 수신기 및 휴대폰 거치대를 설치하고 이를 택시 미터기와 연동되어 위치 정보를 통신센터로 전송되는 〈그림 3〉과 같은 시스템을 운영하고 있다.

자료의 형태는 크게 GPS 좌표와 휴대폰 기지국 좌표로 구분되며, GPS 좌표의 경우 차량ID, GPS 좌표, 시간, 승객 유무 등이 기록되며, 휴대폰의 경우 차량ID, 휴대폰 기지국 위치, 시간 등이 기록된다.

자료의 취득이 택시인 점에 기인해 승객이 타는 순간 위치좌표가 센터로 전송되며, 이후 매 5분 간격으로 하차시까지 위치 정보가 센터로 전송되도록 시스템이 설계되어 있다. 이로 인해 기점과 종점을 바로 찾을 수 있으며, 휴대폰 기지국 좌표와 GPS 좌표를 모두 수집하기 때문에 휴대폰 기지국 기반 O/D(39×39)와 GPS 위치 기반 행정동 O/D(28×28)를 산출할 수 있었다.

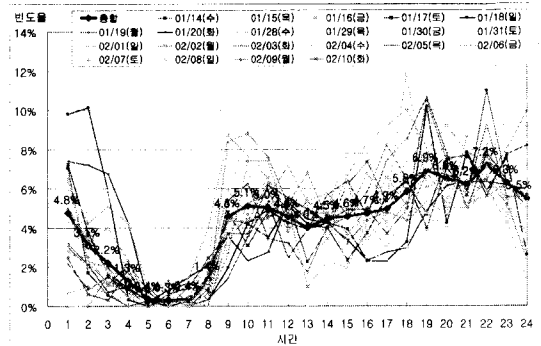
자료는 2004년 1월 13일부터 2월 12일까지 한달 동안 청주시 및 청원군 일대, 대전권 등 광범위한 지역의 위치 자료를 수집하였으며, 이 중 본 연구의 분석지역인 청주시에는 총 8,964개의 O/D가 존재하였다. 이 중 설연휴를 제외하고 3주간 6,398 O/D 통행 자료를 분석에 이용하였다.

### 3. 청주시 택시 O/D 특성 분석

#### 1) 수집된 표본 O/D 특성

〈표 1〉 날짜별 O/D 통행수

날짜	통행수	날짜	통행수	날짜	통행수
01/14	355	01/28	360	02/04	235
01/15	386	01/29	228	02/05	282
01/16	305	01/30	169	02/06	322
01/17	428	01/31	169	02/07	301
01/18	306	02/01	232	02/08	236
01/19	464	02/02	275	02/09	250
01/20	473	02/03	297	02/10	325
합계	2,717	합계	1,730	합계	1,951



〈그림 4〉 날짜별 시간대별 통행 빈도율

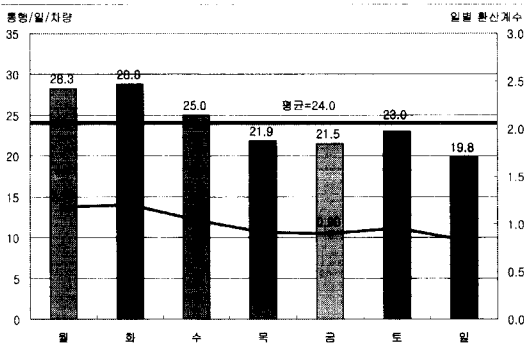
휴대폰 기지국 정보에 의한 O/D 추정 연구에 앞서, 참값이라고 생각할 수 있는 GPS 위치 기반 행정동 O/D로부터 택시 O/D의 특성을 살펴보고자 한다.

자료는 2004년 1월 14일(수)~1월 20일(화), 1월 28일(수)~2월 3일(화), 2월 4일(수)~2월 10일(화)의 3주간의 택시 표본을 이용한 O/D이며, 날짜별 O/D 통행수는 〈표 1〉과 같다.

일주일간 총통행에서는 1주차에 통행이 많고 2주차와 3주차는 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 이는 1주차는 설연휴 전이기 때문에 설준비를 위한 통행이 상당히 많았을 것으로 미루어 짐작할 수 있다.

택시 O/D를 시간대별 요일별로 구별하면 〈그림 4〉와 같다. 자료 수집시 시간대별 택시의 운행대수가 달랐으며, 오후 시간대에 운행된 차량수가 더 많았다. 이에 따라 수집된 O/D 역시 오전 첨두 이전에는 빈도수가 작았으며, 오후로 갈수록 빈도수가 높았다. 이는 택시 O/D의 특성이라기보다는 수집자료의 특성이라고 판단된다. 그러나, 택시의 운행이 장기간의 운전자들의 경험에 따른다고 가정할 때, 실제 택시 수요의 특성이 이러한 수도 있을 것으로 사료된다.

요일별로는 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 월요일과 화요일, 수요일에 통행이 많고, 목요일, 금요일, 토요일



〈그림 5〉 요일별 차량당 통행수 및 일별 환산계수

일, 일요일의 경우에는 평균 통행보다 적은 것으로 분석되었다. 특히 일요일 통행은 가장 낮은 값을 보였으며, 이는 일요일에는 통행 자체도 적고, 통행이 많다하더라도 택시보다는 승용차를 주로 이용한다는 의미로 해석된다.

2) 일주일 O/D간 비교

일주일씩 자료를 수집하였을 경우에 O/D 통행 패턴 상에 차이가 있는 지를 분석하였다.

〈표 2〉에서 1주차의 총 통행수가 매우 높게 관측되었으며, 이는 수집 차량의 수가 다른 주에 비해 더 많을 뿐만 아니라, 이 기간이 설연휴 전이라서 택시 수요가 많았기 때문일 것으로 추정된다. 그러나, 일평균 차량당 통행수에 있어서는 3주차와 차이가 크지 않았다.

총 O/D 통행수가 주일별로 다르기 때문에 이를 직접적으로 비교하는 것 보다는, 전체 O/D에 대한 개별 O/D pair의 비율인 O/D pair간 통행 빈도율을 상호 비교하였다.

$$O/D \text{ 통행 빈도율} = \frac{T_{ij}}{\sum T_{ij}} \times 100$$

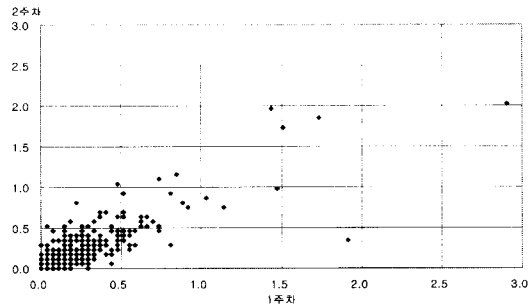
이 각각의 O/D 통행 빈도율에 대해서 산포도 분석 및 표본상관계수(Sample Correlation Coefficient)를 구하였으며 그 결과는 〈표 3〉 및 〈그림 6〉과 같다.

〈표 2〉 O/D 구분 및 주일별 특성

구분	기간	O/D 통행수	일평균 시험차량수	일평균 차량당 통행수
1주차	1.14~1.20	2,717	15.3	25.4
2주차	1.28~2.03	1,730	11.6	21.4
3주차	2.04~2.10	1,951	11.3	24.7

〈표 3〉 주별 표본상관계수

구분	표본상관계수(SCC)
1주차-2주차	0.8316
1주차-3주차	0.8311
2주차-3주차	0.8448



〈그림 6〉 O/D간 통행빈도를 산점도(1주차-2주차)

주별로는 O/D 통행빈도율 사이의 상관관계수가 0.83 이상으로 매우 높은 상관성을 보이고 있었다. 이는 O/D 통행패턴이 주별로 큰 차이가 없다는 의미로 해석할 수 있다.

3) 주중 O/D와 주말 O/D의 비교

주중 O/D와 주말 O/D는 그 패턴이 다를 수 있다. 주중의 경우 가정과 직장 사이의 통행이 주를 이루는 반면에 주말의 경우에는 가정과 놀이시설, 여가시설 및 교외로의 통행이 주를 이룰 것이다. 이는 교통수단이 승용차나 화물차나, 택시냐에 따라서도 다를 수 있다.

본 연구에서는 단지 택시 O/D에 대한 표본만이 조사되었으며, 청주시에서 조사된 택시 O/D에 대해서 주중과 주말로 나누어서 서로간의 비교를 수행하였다. 이때, 주중 O/D는 3주 총 15일간의 표본 O/D이며, 주말 O/D는 토요일, 일요일 3주 총 6일간의 표본 O/D이며, 그 특징은 〈표 4〉와 같다.

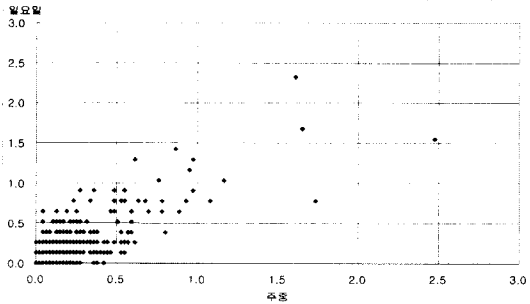
일평균 차량당 통행수를 산출한 결과 주중에 더 높은 통행수를 보이고 있으며, 일요일의 경우에는 낮은 통행을 보이고 있다. 이는 주중의 택시 이용률이 더 높고 일요일의 경우 택시 이용률이 낮다는 의미로서 일요

〈표 4〉 요일별 O/D 구분 및 특성

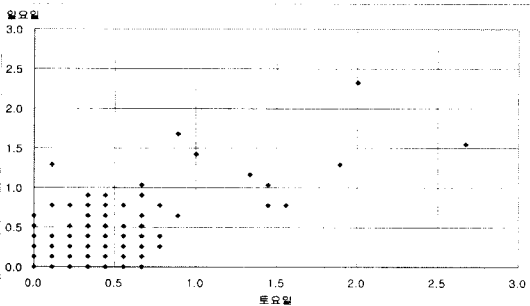
구분	기간	O/D통행수	일평균 시험차량수	일평균 차량당 통행수
주중	15일	4,726	12.6	25.0
토요일	3일	898	13.0	23.0
일요일	3일	774	13.0	19.8

〈표 5〉 요일별 표본상관계수

구분	표본상관계수(SCC)
주중-토요일	0.8186
주중-일요일	0.7743
토요일-일요일	0.6979



〈그림 7〉 O/D간 통행빈도를 산점도(주중-일요일)



〈그림 8〉 O/D간 통행빈도를 산점도(토요일-일요일)

일의 경우에 승용차의 이용이 많고 택시의 이용이 적을 것이라는 일반적인 논리에 부합하는 결과로 풀이된다.

산점도 및 표본상관계수로부터 볼때 주중과 토요일에는 상관성이 높았으나, 주중과 일요일, 토요일과 일요일 사이에는 상관성이 낮았다. 이는 주중과 주말 O/D 간에는 차이가 있는 것을 의미하며, 특히 토요일과 일요일 사이에도 O/D 간에는 차이가 있다는 것을 의미한다.

4) 일평균 O/D와 첨두시 O/D의 비교

교통계획 및 교통운영 측면에서 요구되는 O/D는 일평균 O/D와 첨두시 O/D로 대별된다. 첨두시 O/D의 경우 방향성을 가질 가능성이 높기 때문에 일평균 O/D와는 통행패턴이 다를 수 있다. 이에 본 연구에서는 일평균 O/D, 오전 첨두시 O/D, 오후 첨두시 O/D를 산출하고 이들 각각의 O/D 통행 빈도율에 대한 산점도 및 표본상관계수를 분석하였다.

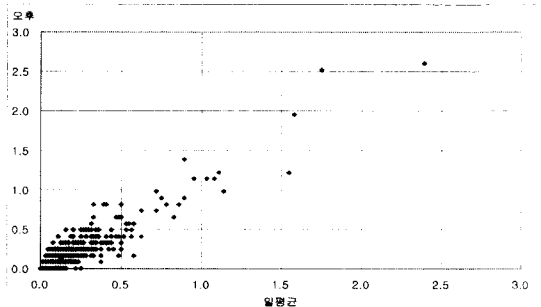
〈표 6〉 시간별 O/D 구분 및 특성

구분	기간	O/D 통행수	일평균 시간당 시험차량수	일평균 시간당 차량당 통행수
전체	21일-24시간	6,398	4.0	3.2
오전 첨두시	21일-2시간	380	3.1	2.9
오후 첨두시	21일-3시간	1,229	5.7	3.4

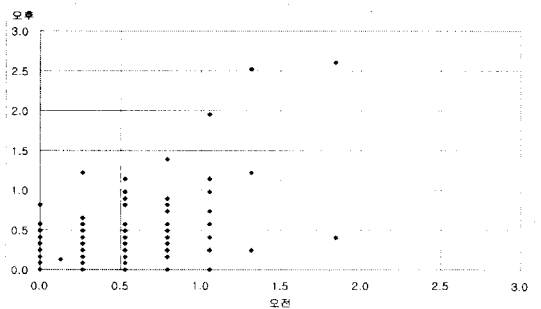
오전 첨두: 오전 7시~9시, 오후 첨두: 오후 5시~8시

〈표 7〉 시간대별 표본상관계수

구분	표본상관계수(SCC)
일평균-오전Peak	0.6772
일평균-오후Peak	0.9240
오전Peak-오후Peak	0.5893



〈그림 9〉 O/D간 통행빈도를 산점도(일평균-오후첨두)



〈그림 10〉 O/D간 통행빈도를 산점도(오전첨두-오후첨두)

분석결과, 일평균 O/D와 오전첨두시 O/D는 상관계수가 낮고, 일평균 O/D와 오후첨두시 O/D는 상관계수가 높은 것으로 분석되었다. 그러나 일평균 O/D가 오전 오후 첨두시 자료를 모두 포함하고 있어 서로간의 독립성을 보장할 수 없기 때문에 이 결과를 그대로 받아들일 수는 없다.

반면에, 오전첨두시 O/D와 오후 첨두시 O/D는 독립된 표본으로서 상관계수가 매우 낮고 산점도 또한 넓게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 이는, 오전 첨두시 O/D와 오후 첨두시 O/D 패턴이 유사하지 않다는 의미로 해석할 수 있다.

5) 소결

이상의 결과로부터 청주시의 택시 O/D는 주일별로는 통행패턴이 다르지 않더라도, 주중과 주말의 통행패턴이 다르며, 하루 중에서도 오전 침두시와 오후 침두시의 통행패턴이 다르다는 결론을 얻었다.

이는 O/D에 대해서 갖는 일반적인 개념과 부합되는 결과로 향후 O/D의 추정 및 예측에 있어 요일과 시간대를 고려하여야 한다는 의미로 해석할 수 있다.

이상의 결과는 본 연구의 분석 대상인 택시 O/D의 특성이며, 다른 수단에 대해서는 본 연구와 같은 분석 과정을 통해 그 특성을 확인할 수 있을 것이다.

4. 휴대폰 기지국 정보를 이용한 O/D 추정

1) 휴대폰 기지국 기반 O/D 추정

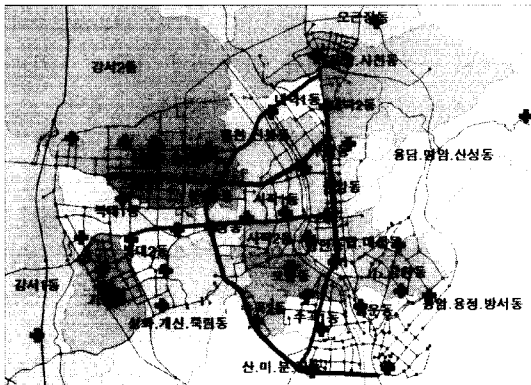
본 연구에서 수집된 자료로부터 총 39개의 기지국이 청주시에 존재하는 것으로 확인되었으며, 그 위치 및 행정구역은 <그림 11>과 <표 8>과 같다.

기지국은 각각의 행정동에 대부분 1개 이상이었으나 일부 행정동의 경우 기지국이 없는 것으로 확인되었는데, 이는 각 동이 매우 인접해 있어 기지국이 불필요한 지역이었기 때문인 것으로 사료된다.

청주시의 경우 행정동은 28개인데 기지국은 39개로서 GPS 좌표의 경우에는 28×28 행정동 O/D를 추정할 수 있으며, 휴대폰 기지국 정보로는 39×39 기지국 O/D가 기본적으로 산출될 수 있다.

2) 휴대폰 기지국 기반 O/D의 행정동 기반 O/D화

휴대폰 기지국 기반 O/D는 기존의 행정동 기반 O/D와는 체계가 다르다. 기지국은 지리적으로 가능한



<그림 11> 휴대폰 기지국 분포

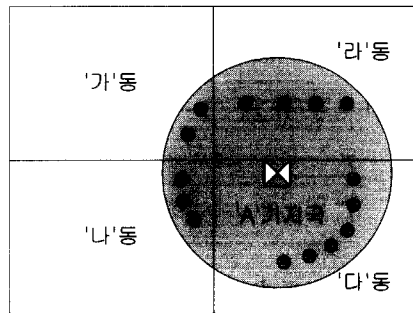
<표 8> 행정동별 기지국 수

행정구역	기지국	행정구역	기지국		
상당구	중앙동	1	홍덕구	사직1동	2
	성안동	3		사직2동	0
	우암동	2		사창동	1
	내덕1동	1		모충동	1
	내덕2동	1		운천·신봉동	0
	울량·사천동	1		산·미·분·장동	2
	탑·대성동	0		수곡1동	2
	영운동	1		수곡2동	0
	금천동	1		성화·개신·죽림동	1
	용담·명암·산성동	2		복대1동	2
	용암·용정·방서동	2		복대2동	3
	오근장동	1		가경동	2
				봉명1동	1
		봉명2·송정동	3		
		강서1동	2		
		강서2동	1		
소계	16	소계	23		

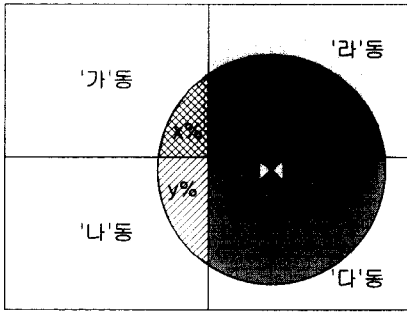
한 동질적으로 분포시키기 때문에 기지국 기반의 O/D는 그 나름대로 행정동 기반 O/D보다 지리적으로 균질적이라고 생각할 수 있다.

그러나, 기지국 기반 O/D는 사회경제지표와 O/D간의 자료 매치가 어렵다는 단점이 있기 때문에 O/D를 예측하는 과정에서는 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화할 필요가 있다.

본 연구에서는 GPS 위치 좌표와 휴대폰 기지국 위치 좌표를 모두 가지고 있기 때문에 이 정보를 이용하여 행정동 기반 O/D로의 변환이 가능할 것이다. <그림 12>에서 휴대폰 기지국은 'A'라는 기지국에 위치하였을 때 실제 GPS 위치는 '가'라는 행정동에 위치할 것이다. 이로부터 특정 기지국에 걸린 좌표점들이 주변 행정동에 몇 %가 위치하는지의 비율을 구할 수 있으며 이를 기준으로 기지국 기반 O/D를 행정동화할 수 있을 것이다.



<그림 12> 기지국과 GPS 위치



〈그림 13〉 기지국 커버리지와 행정동

그러나, 이 방법은 GPS 위치 좌표가 기지국 정보와 함께 존재할 경우에만 쓸 수 있는 방법으로 다른 지역의 연구에서 이 방법을 적용하려면 조사시 GPS 위치도 수집하여야 하는 단점이 있다.

특정 기지국은 모두 그 서비스 영향 범위를 가지고 있으며 이 영향 범위를 커버리지(Coverage)라고 부르게 되는데 이 기지국 커버리지는 〈그림 13〉에서 보는 바와 같이 특정 행정동의 몇 %씩을 점유하게 된다. 이 기지국 커버리지 면적비를 이용하여 특정 기지국의 값을 인접 행정동에 배분시킬 수 있을 것이다.

이 방법은 이동통신업체에서 기지국 커버리지에 대한 정보만 받으면 되기 때문에 다른 도시에도 범용적으로 적용할 수 있는 방법이라 하겠다.

이에 본 연구에서는 39×39 기지국 기반 O/D를 28×28 행정동 기반 O/D화하는 방법론으로써 이 두가지 방법을 이용하여 28×28화 한 후 기존의 GPS 위치로부터 구한 행정동 기반 28×28 참 O/D와 비교하도록 한다.

비교 분석을 위한 산점도, 표본상관계수, 평균절대오차율(MAPE)과 제공된 평균제곱오차(RMSE)를 통하여 통계적 유의성을 평가하도록 한다.

- MAPE (Mean Absolute Percent Error)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|T_{ij}^* - T_{ij}|}{T_{ij}} \times 100$$

- RMSE(Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (T_{ij}^* - T_{ij})^2}$$

여기서,  $T_{ij}$  : 기점  $i$ 에서 종점  $j$ 까지의 관측통행량

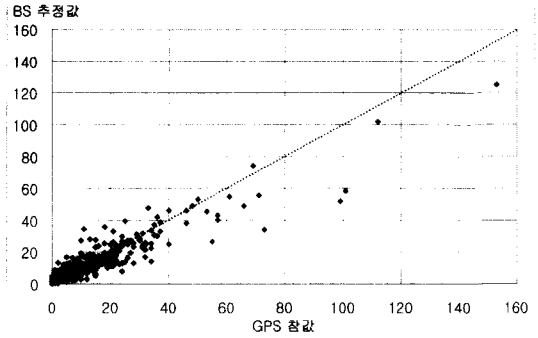
$T_{ij}^*$  : 기점  $i$ 에서 종점  $j$ 까지의 추정통행량

(1) GPS 분포비를 통해 나누는 방법

특정 기지국에 위치한 GPS 좌표들의 분포비를 이용

〈표 9〉 통계적 평가지표 결과(GPS 분포비)

구분	GPS 분포비에 의한 방법
표본상관계수	0.9320
MAPE	53.99
RMSE	4.88



〈그림 14〉 산점도(GPS 참값-기지국 추정값1)

하여 39×39 기지국 기반 O/D를 28×28 행정동 기반 O/D로 변환하고, 참값이라고 생각할 수 있는 GPS 위치 기준 28×28 행정동 기반 O/D와 각 O/D 통행간 통계적 검증 결과는 다음과 같다.

GPS 분포비에 의해 변환된 O/D와 참 O/D와는 상관계수가 0.9320으로 두 표본간 상관성이 높으며, 이는 산점도로도 확인이 가능하다. 또한 평균절대오차가 54% 정도였다.

(2) 기지국 커버리지 면적비를 통해 나누는 방법

기지국 위치 및 그 커버리지는 〈그림 15〉와 같다. 그림에서 기지국 커버리지가 행정동을 모두 커버하지 못하는 지역도 있는데, 이 지역은 산지이거나 도로가 위치하지 않는 지역이다.

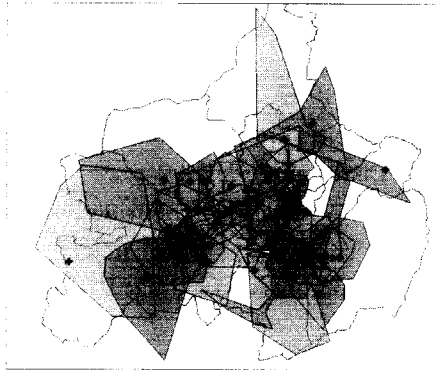
39×39 기지국 기반 O/D를 기지국 커버리지 면적비에 의해 28×28 행정동 기반 O/D로 변환하였으며, 앞 결과 마찬가지로 이를 GPS 위치 기준 참 O/D와 통계적으로 검증하였으며 그 결과는 다음과 같다.

기지국 커버리지에 의해 변환된 O/D와 참 O/D와는 상관계수가 0.8338로 두 표본간 상관성이 높으며, 이는 산점도로도 확인이 가능하다. 평균절대오차는 84% 정도였다.

이상의 결과로부터 이 방법을 적용하여 기지국 기반 O/D를 행정동 기반화하여 사용할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

향후, 최종적인 목표는 휴대폰 기지국을 통한 O/D 추정이기 때문에 기지국 기반 O/D를 산출한 후 기지

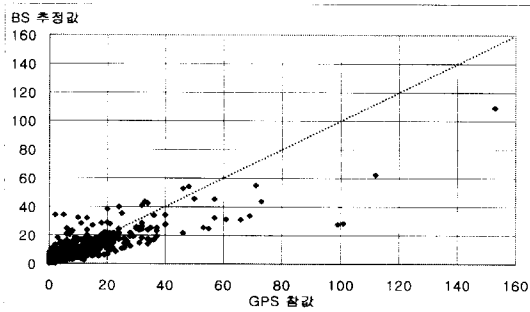




〈그림 15〉 기지국 커버리지

〈표 10〉 통계적 평가지표 결과(기지국 커버리지)

구분	기지국 커버리지에 의한 방법
표본상관계수	0.8338
MAPE	84.13
RMSE	7.38



〈그림 16〉 산점도(GPS 측정-기지국 추정값2)

국 커버리지 면적비를 이용하여 행정동 기반 O/D를 추정할 수 있을 것이다.

### 5. 추정된 O/D의 전수화

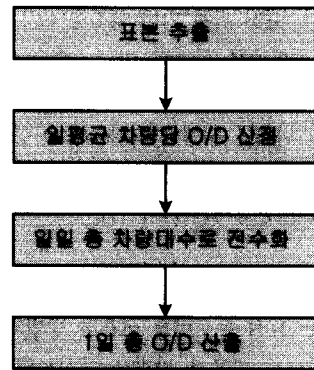
앞 절에서 표본 O/D를 추정하는 방법론을 살펴보았다. 일일 O/D를 구하는 것이 목적이라고 할 경우에 우선 표본의 일평균 차량당 O/D를 산출하고, 전체 1일 운행 택시 차량수를 이용하면 전체 택시 O/D를 전수화할 수 있을 것이다. 이 과정은 〈그림 17〉과 같으며, 수식으로는 다음과 같이 표현된다.

$$Pop_{ij} = Sam_{ij} \times Exp_{ij}$$

여기서,  $Pop_{ij}$  : 모집단 크기(전수화된 O/D)

$Sam_{ij}$  : 표본 크기(일평균 차량당 O/D)

$Exp_{ij}$  : 전수화계수(총 운행 차량수)



〈그림 17〉 전수화 과정

〈표 11〉 청주시 택시 운행 현황(2004년 1월~2004년 2월)

구분	등록대수	운휴율	1일 운행차량
법인택시	1,481	1/6	1,230
개인택시	2,220	1/3	1,480
합계	3,701		2,710

본 연구에서는 총 21일간 6,398통행을 관측하였으며, 이때 총 267대의 택시가 운행되었다. 관측 O/D와 택시 운행대수를 이용하여 일평균 차량당 O/D를 산정할 수 있게 된다.

전수화 계수는 1일 총 운행차량대수를 의미하며, 2004년 1월부터 2월 사이의 청주에서 운행중인 차량은 〈표 11〉과 같다.

이상의 자료로부터 휴대폰 기지국 기반 39×39 O/D를 기지국 커버리지 면적비를 이용하여 28×28 행정동 기반 O/D로 변환하고, 전수화 과정을 거치면 1일 청주시 택시 O/D를 추정할 수 있는 것이다.

## IV. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결론

본 연구에서는 휴대폰 기지국 정보에 의한 O/D 추정 방법론을 제시하고, 휴대폰 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D로 변환하고 전수화하는 방법론을 제시하였다.

연구를 위해 청주에서 운행중인 택시에 GPS 장비 및 휴대폰 거치대를 설치하여 GPS 위치 좌표 및 휴대폰 기지국 좌표를 수집하였고, 이중 3주간의 자료를 디지털 맵에 맵매치시켜 기지국 위치 기반 O/D와 GPS 위치 기반 O/D를 산출하였다.

참 O/D인 GPS 위치 기반 행정동 O/D를 이용하여 주간 O/D 통행패턴 사이의 비교, 주중 O/D와 주말 O/D 사이의 비교, 일평균 O/D과 오전·오후 침두시 O/D 사이의 비교를 수행한 결과, O/D 통행패턴은 주중과 주말의 통행패턴이 차이가 나며, 오전 침두시와 오후 침두시의 통행패턴이 차이가 나는 것으로 분석되었다.

휴대폰 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D화하는 방법으로 GPS 분포비를 이용한 방법과 기지국 커버리지 면적비를 이용한 방법을 제시하였으며, 두 방법 모두 참 O/D라고 생각할 수 있는 GPS 위치 기반 O/D와 통계적 검증을 통해 그 가능성을 확인하였다. 이는 GPS 시험차량법 등을 통하여 GPS 분포비가 조사된 경우에는 이를 휴대폰 기반 O/D에 적용하여 행정동 기반 O/D로 변환할 수 있다는 의미이며, 휴대폰 정보만을 이용하는 경우에는 휴대폰 기지국 커버리지 면적비를 이용하여 휴대폰 기지국 기반 O/D를 행정동 기반 O/D로 변환할 수 있다는 의미이다.

정보통신 분야의 발전으로 인하여 wireless 통신을 이용한 교통정보 수집 및 생성은 이미 그 가능성이 인식되고 있으며, 본 연구에서도 휴대폰 기지국 정보를 통해서 O/D를 생성하는 방법론 및 그 유용성을 검증하였는바 향후 이 분야의 연구가 보다 활성화되는데 본 연구가 초석이 될 수 있을 것으로 판단한다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구에서는 수집된 자료의 특성상 택시 O/D에 국한하여 연구를 수행하였으나, 향후 휴대폰 정보만을 이용하는 경우에 수단을 구분하는 알고리즘, 기지국을 이용하여 통행목적을 구분하는 알고리즘 등의 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 교통개발연구원(2002), "다기중점지기 기반의 실시간 교통정보를 활용한 교통시설체계 개선기술개발".
2. 교통개발연구원(2004), "LBS를 기반으로 한 정기 속도 측정 및 O/D 산출기법 개발".
3. 방수석(2001), "이동통신 단말기의 위치정보를 이용한 통행 O/D 표 작성기법 연구", 서울대학교 대학원 석사논문.
4. Ashok, K.(1996), "Estimation and Prediction of Time-Dependent Origin-Destination Flows", Ph.D Dissertation, MIT.
5. Hazelton, M.L.(2000), "Estimation of origin-destination matrices from link flows on uncongested networks", TR-B, Vol. 34, pp.549~566.
6. Lo, H.P. and Chan, C.P.(2003), "Simultaneous estimation of an origin-destination matrix and link choice proportions using traffic counts", TR-A, Vol 37, pp.771~788.
7. Lo, H.P., Zhang, N, and Lam, W.H.K. (1999), "Decomposition algorithm for statistical estimation of OD matrix with random link choice proportions from traffic counts", TR-B, Vol. 33, pp.369~385.
8. Ormsby, T., Napoleon, E., Burke, R., Groess, C., and Feaster, L.(2001), "Getting to know ArcGis Desktop", ESRI Press.
9. Sherali, H.D., Narayanan, A., and Sivanandan, R.(2003), "Estimation of origin-destination trip-tables based on a partial set of traffic line volumes", TR-B, Vol 37, pp.815~836.
10. Spiess, H.(1987), "A maximum likelihood model for estimating origin-destination matrices", TR-B, Vol. 21, pp.395~412.
11. Wu, J. and Chang, G.L.(1996), "Estimation of time-varying origin-destination distributions with dynamic screenline flows", TR-B, Vol.30, pp.277~290.

✉ 주 작 성 자 : 유병석

✉ 논문투고일 : 2004. 9. 6

논문심사일 : 2004. 11. 30 (1차)

2004. 12. 14 (2차)

심사판정일 : 2004. 12. 14

✉ 반론접수기한 : 2005. 6. 30