

GWR모델 이용한 수원시 일반버스노선 최적화에 관한 연구

A Study on the Optimization of Suwon City Bus Route using GWR Model

박철규* · 조성길**
Park, Cheol Gyu · Cho, Seong Kil

요 旨

버스노선은 수요에 대응하여 탄력적인 노선조정이 가능하다. 다만 버스의 노선 조정은 다음과 같은 문제점의 해결이 선행되어야 한다. 첫 번째, 현재 버스 노선 배정의 가장 큰 문제점은 버스의 이용현황을 적절히 고려하지 못한 점, 중복노선 문제 등 수요에 대비한 공급의 불균형을 들 수 있다. 두 번째, 버스의 이용은 지리적 공간 내에서 일어나는 상호작용 있어서 동단위로 교통 수요를 예측함으로써 교통 수요가 세분화 되지 못한 문제점이 있다. 이러한 문제점들의 해결방안으로 GIS-T Data 및 지리적 가중 회귀분석을 통한 버스 정류장, 버스 노선의 버스 잠재 수요를 파악하고 공급 현황을 분석하여 버스의 수요와 공급의 균형여부를 파악함으로써 효율적 버스 노선을 구축할 필요가 있다. GWR모델을 이용하여 공간적 수요관계를 도출하였다. 공간효과를 고려한 GWR모델을 통해 SCD와 BIS data 이용한 버스 수요를 예측하고 공급과 비교하여 공급 부족을 파악하였다. 전체노선의 노선 과잉지와 부족지역을 파악하였다. 이를 통해서 추가 노선배정이 필요한 곳을 분석하여 버스 최적화를 도모와 GIS의 장점인 시각화를 시도하였다.

핵심용어 : 수요와 공급, 지리적 가중회귀모형, 버스노선 최적화

Abstract

Bus service is easily adjusted to accommodate the changed demand. Despite the flexibility of that, its relocation should overcome the following problems: first, Bus line rearrangement should consider the balance between the demand and the supply to enhance the transit equity among the users scattered around the area that supply against demand imbalances. Second, the existing demand analysed is to crude since the demand was analysed based on TAZ, mainly based on the Dong unit. Utilization of the GWR and GIS-T data can resolve the problem. In this paper, the limitation of the conventional transit demand analysis model is overcome by deploying the GWR model which identifies the transit demand based on the geographic relation between the service location and those of the users. GWR model considers the spatial effect of the bus demand in accordance with the distance to the each bus stops using SCD(Smart Card Data) and BIS(Bus Information System). This demand map was then superimposes with the existing bus route which identified the areas where the balance between demand and supply is severely skewed. since the analysis was computed with SCD and BIS at every bus stops. the shortage and surplus of bus service of entire study area could computed. Further. based on this computational result and considering the entire bus service capacity data. Bus routes optimization from the oversupplied areas to the undersupplied area was illustrated thus this study clearly compared the benefits the GIS.

Keywords : The Demand and The Supply, GWR, Bus Routes Optimization.

1. 서 론

성화 방안이 다양하게 추구하고 있다.

1.1 연구배경

최근 철도 확장 또는 버스체계개편으로 대중교통 활

이중 철도는 천문학적인 건설비용과 장시간 건설시간이 소요되고 한번 건설된 노선을 변경 또는 폐지하는 것이 어렵다.

data received: 2014.01.03, data accepted: 2014.02.26

* 정희원 · 서울시립대 공간정보공학과 석사(Member Master's degree, Dept. of GeoInformatics, Seoul of University, carl86@uos.ac.kr)

** 교신저자 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Corresponding author, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, skcho@uos.ac.kr)

버스노선은 적은 비용으로 탄력적 조정이 가능하다. 하지만 다음과 같은 문제점이 있다.

첫 번째, 현재 버스 노선 배정의 가장 큰 문제점은 버스의 이용현황을 적절히 고려하지 못한 점에서 중복노선 문제 등 수요에 대비한 공급의 불균형을 들 수 있다.

두 번째, 대중교통 버스 이용은 지리적 공간 내에서 일어나는 상호작용이다. 그러나 동단위로 교통 수요를 예측함으로써 교통 수요가 과대, 과소평가된다.

이에 대한 해결방안으로 GIS-T¹⁾ 데이터를 기반으로 버스정류장, 버스노선단위의 버스 미래 수요 및 공급 현황을 분석하고 버스 수요공급의 균형여부를 파악함으로써 효율적 버스 노선을 구축할 필요가 있다.

1.2 선행연구 및 한계점

현재 GIS-T 관련 연구들은 도로정보나 시설물 정보의 단편적인 분석에 그치고 있다. 하지만 최근 첨단 교통 기술인 ITS(Intelligent Transportation System)의 등장으로 보다 정확하게 교통수요를 예측할 수 있게 되었다. 이에 따라 교통 카드 데이터, 자동 지불 결제 장치 등을 이용하는 등 연구 범위가 확대되고 있다.

GIS 정류장 단위 DB의 구축을 기반으로 해 신뢰성 높은 노선별 버스수요추정방법을 제시한 연구(Ju 2013)와 버스수요를 GIS 통해서 예측(Chung 2012), 권역권을 버퍼링으로 설정하여 신도시 교통수요예측을 위해 도시의 교통축별 혼잡한 구간을 적용한 연구(Kim 2010)가 있다. 보행자의 접근성을 연구한 연구(Hsiao et al., 1997) 사례가 있다.

사전에 수요를 활동기반으로 설정하여 수요를 예측한 사례(Um 2008) 이 외 GIS이용하여 파주시의 버스 정류장 단위 직접 수요 모형을 구축한 연구(Choi 2008)와 도보거리를 고려한 정류장 접근성을 분석한 연구와(Foda et al., 2010) 정류장 단위별로 구별 수요연구(Pulugurtha et al., 2012) 등이 있다. 또한 O/D data 구축하여 분석한 사례(No et al., 2005)가 있다. 이들 연구들은 행정동을 기반으로 수요를 예측한 사례로서 지나치게 분석 권역권이 넓거나, 동별로 분석한 사례라서 수요를 과소, 과대 평가되는 문제점을 가지고 있다.

또한 이들 연구들이 공간적 상관성을 갖지 않아 무작위적이고, 오차 항이 독립적이며 등분산성을 충족해야 한다는 전통적 회귀모형인 OLS(Ordinary Least Squares, 이하 OLS)모형을 사용하여 교통수요를 충분히 설명하지 못하는 문제점을 갖는다. 이런 점에서 본

논문과 같이 Geographically Weighted Regression(이하 GWR모형)을 이용할 필요가 있다.

공간효과를 고려한 GWR모형은 변수들이 공간적 상관성을 갖거나, 오차항의 정규성, 등분산성이 충족되지 못하는 경우에도 회귀모형을 추정할 수 있는 장점이 있다.

1.3 연구의 차별성

버스 이용은 지리적 공간 내에서 일어나는 상호작용 있어서 동단위로 교통수요를 예측함으로써 교통 수요가 세분화²⁾되지 못하고 과대, 과소평가가 되는 문제점이 있다. 이러한 점에서 본 논문은 문제점을 해결방안으로 GIS-T Data 구축 및 GIS의 지리적 가중 회귀분석(GWR)을 통한 버스정류장, 버스노선의 버스 잠재수요를 파악하고 공급현황을 분석하여 버스의 수요와 공급의 균형여부를 파악함으로써 효율적 버스 노선을 구축할 필요가 있다.

본 논문은 기존의 전통적 회귀모형인 OLS모형이 교통수요를 충분히 설명하지 못하는 문제점을 해결하기 위한 GWR모형을 이용하여 공간적 수요관계를 도출하였다. 공간효과를 고려한 GWR모형을 통해 버스수요를 예측하고 공급과 비교하여 공급 과부족을 파악하고 노선의 최적화를 계량적으로 제시하고자 하였다.

수원시 일반버스 814대의 BIS(Bus Information System, 이하 BIS)자료와 SCD(Smart Card Data, 이하 SCD) 자료를 활용하여, 기존 노선도의 수요를 파악하였다. 특히 SCD로 구축된 승차인원, 하차인원을 통해 수원시 일반버스 수송인원을 파악하였다. 이러한 수원시 정류장 500m 내 수송인원을 GWR모형의 버스수요 대리변수로 설정하고, 버스수요에 영향을 주는 독립변수는 총인구수, 총수용학생수, 총직장인수, 상업지역 면적으로 설정하였다. 교통공급을 나타내는 노선도를 구축하기위해서 수원시의 집계구 단위로 이루어진 행정구역 단위로 사용하였다.

분석결과 수요에 가장 큰 영향을 미치는 변수 총수용 학생수와 총직장인수로 나타났다. 이 두 변수를 사용하여 버스수요 밀도로 표현하고 일반버스와 공역버스, 좌석버스가 운행 중인 4차원차선이상도로와 2차선이상도로를 겹쳐보았다.

특히 가장 혼잡이 예상되는 지역 내 운행 중인 버스 노선을 증차시키고 가용부분이 발생하는 지역에서 버스를 감차시킬 필요가 있다. 이를 통해서 신규도로 건설이나 새로운 인프라 구축되는 동안 효율적인 버스 운

1) GIS-T란 지리정보체계와 교통관리체계를 통합한 체계로 정의할 수 있다. 교통의 목적에 적합하게 변형한 것으로 교통에 관련된 공간정보의 분석 및 관리이다.

2) 본 논문에서 동단위보다 1/30 크기인 집계구 단이용 및 100m² 단위 세대수 GIS Data 구축하여 사용하였다.

행과 버스노선 최적화를 도모 할 수 있을 것이다.

1.4 연구 범위 및 방법론

본 연구는 GWR모델로 버스수요예측 모형을 구축하여 버스수요를 추정하고, 버스노선도라는 교통공급을 비교함으로써 추가노선배정이 필요한 곳을 분석하여 버스노선 최적화를 추구하는 것을 목표로 하였다.

이러한 버스노선최적화를 위한 공간적 범위는 수원시로 설정하였다. 전국 최다 버스 승차인원, 하차인원을 보이기 때문에, 수원시가 광교 신도시, 호매실 택지개발지구, 공공기관 이전 등 폭넓은 도시 여건 변화로 급격한 버스수요 변동이 예상되기 때문이다.

또한 향후 경부선 개발 축과 영동 축을 기반으로 한 수원시의 외곽 환상 개발이 수도권 광역 교통연결에 중요한 지역이기 때문이다.

ArcMap10.1을 이용해 수원시의 버스수요 예측 GWR모델을 구축하는 과정에서 정류장별 500m 영향권을 설정하고 버스수요의 대리변수인 버스수송인원을 종속변수로, 총인구수, 총직장인수, 총수용학생수, 상업지 연면적을 독립변수로 설정하였다.

그리고 2013년 7월 18일 목요일 SCD³⁾(Smart Card Data)와 BIS(Bus Information System)이용하여 수원시 시내 일반 버스의 전 노선에 관하여 오전첨두시(8시부터 9시까지), 오후첨두시(18시부터 19시까지) 수원시 일반버스 노선별, 정류장별 수송인원⁴⁾ 및 운행횟수 자

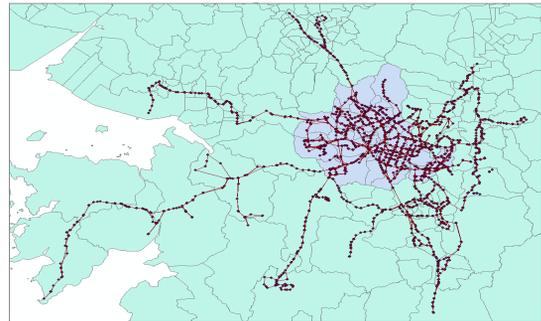


Figure 2. End-built route map

료를 구축하였다. Census Data는 [통계청과 수원시청] 자료의 2010년 총 인구수, 2013년 총 종사자수, 총수용학생수, 상업지 연면적을 이용하였다.

교통 공급측면을 분석하기 위한 Fig. 2의 버스노선도 구축을 위해서는 수원시의 집계구 단위로 이루어진 행정구역 GIS Layer, 「한국교통연구원」의 분석용 네트워크를 사용하였다.

2. 연구내용

2.1 수원시 버스수요 예측모델 구축

종속변수를 버스수요의 대리변수인 버스수송인원으로, 독립변수를 총인구수, 총 직장인수, 총 학생수, 상업지면적으로 설정하고 오차계급합을 최소화 하는 회귀모형인 OLS모형과 공간적 자기상관성을 가정하는 회귀모형인 GWR모형을 상호 비교하였다.

분석 대상으로는 오전첨두시(8시부터 9시까지) 수원시 107개 정류장과 오후첨두시(18시부터 19시까지) 99개 정류장의 버스수송인원을 대상으로 하였다.

Table 1과 같이 관측값들이 OLS모형의 전제조건인 오차의 정규성과 등분산성을 충족시키는지 99% 유의 수준으로 분석할 결과, 오차의 정규성을 판단하는 Jarque-Bera 통계량과 오차의 등분산성을 판단하는 Koenker 통계량이 매우 크게 나타나 관측값들의 오차가 정규성과 등분산성을 충족시키지 못한 것으로 분석되었다. 즉, 관측값을 분석하기 위해서 OLS모형 외에 다른 회귀모형을 이용할 필요가 있는 것으로 판단된다.

관측값의 공간적 자기상관성을 판단해주는 Moran's I 값은 오전첨두시(8시부터 9시까지) 0.1, 오후첨두시(18시부터 19시까지) 0.2로 유의하게 나타나 공간적 자기상관을 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 공간적 자기상관, 오차 정규성과 등분산성을 보이는 수원시의 버스수요를 예측하기 위한 모형으로 GWR모형을 고려할 필요가 있는 것이다.



Figure 1. The study of area, Suwon si in Korea

- 3) 대중교통을 이용하는 승객의 승차, 하차 및 환승정보로서 교통카드 정보, 대중교통 이용 거리, 이용요금, 환승 정보 등을 제공한다. 이 정보를 이용하여 정류장별 승차인원 및 하차인원, 시간대별 승차인원 및 하차인원, 노선별 이용 승객수, 이용 승객의 환승정보, 정류소의 위치정보를 파악할 수 있다.
- 4) 승차인원과 하차인원을 더한 인원 숫자이다. 수원시의 일반 버스 수요자가 많은 지역은 수송인원이 늘어난다.

Table 1. OLS and GWR AM, PM Peak hours results

Variables	A.M OLS MODEL	A.M GWR MODEL	P.M OLS MODEL	P.M GWR MODEL
	coefficient	coefficient	coefficient	coefficient
Constant	26.4738	12.5273	24.0105	4.5850
Population	0.0004	0.0002	0.0039	0.0003
Workers	0.0042	0.0077	0.0005	0.0104
Students	-0.0002	0.0025	0.0010	0.0044
Commercial area	0.0004	0.0002	0.0008	0.0003
R^2	0.118	0.740	0.125	0.704
Adjusted R^2	0.114	0.700	0.120	0.657
Koenker Statistics	89.3495	-	65.319	-
Jarque-Bera Statistics	200480.15	-	10009299.98	-
AIC	9432	8639	10711	9992

Akaike(1974)이 제시한 것과 같이 OLS모형과 GWR 모형의 부합도를 최종 판단하기 위해서 결정계수 R^2 값과 AIC(Akaike Information Criterion)를 사용하였다. R^2 값이 높고, AIC값이 낮으면 더 적합한 모형이라고 평가할 수 있다.

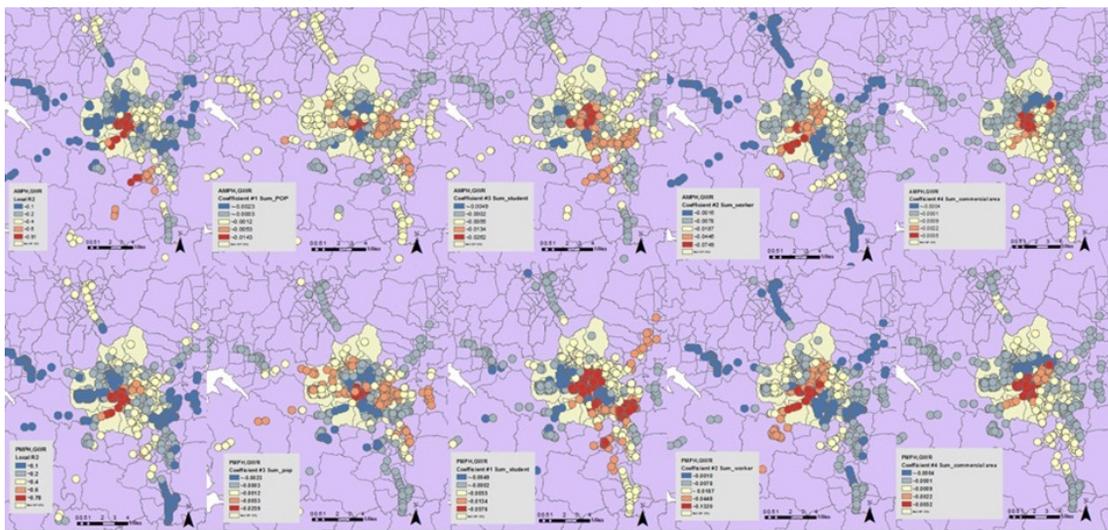
분석결과, AIC 값과 결정계수 모두 OLS 모형에 비해 GWR모형에서 개선된 결과값이 나타났다. R^2 값이 오전첨두시 0.118에서 0.740로 약 527% 개선되었으면, 오후첨두시 0.125에서 0.704로 약 463% 개선되었다. AIC값도 GWR모형에서 4이상 감소된 결과가 도출되었다. 이러한 분석결과에 따라 GWR 모델의 결과를 중

합하여 수원시 버스의 수요예측모형을 구축하였다.

2.2 버스수요, 공급 균형분석

Fig. 3와 같이 GWR모형의 R^2 값을 맵핑해 본 결과, 수원시 구 도심지와 택지개발지구, 영통지역에서 모형의 영향력이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 구축한 GWR모형이 수원시의 토지이용변화에 따른 버스수요를 효과적으로 예측할 수 있을 것이다.

총 인구수변수의 회귀계수는 오전첨두시 0.0004, 오후 첨두시 0.0003으로 수원시 버스의 수송인원 증가에 비교적 큰 영향을 미치지 못하였다.



(a) (b) (c) (d) (e)

Figure 3. Picture that explain R^2 of (a)local R^2 , (b) population, (c) student, (d) workers, (e) commercial areas

총 직장인수의 회귀계수는 오전첨두시 0.0077, 오후 첨두시 0.0104으로 비교적 높은 영향력을 보이는 것으로 분석되었다. 수원삼성본사가 있는 영통동, 공업지인 주변인 동탄신도시, 관공서가 집중된 인계동, 서둔동, 파장동에 버스 수요가 집중되어 있음을 나타낸다.

총 수용학생수의 회귀계수는 오전 첨두시 0.0025, 오후첨두시 0.0044 으로 분석되었다. 학교가 밀집한 지역인 영통동, 행궁동, 원천동 일대(동탄 신도시와 광교신도시), 정자동 일대에서 버스 수송인원이 늘어나는 것이다.

상업지 면적의 회귀계수는 오전 첨두시 0.0002, 오후 첨두시 0.0003으로 수원시 버스의 수송인원 증가에 비교적 큰 영향을 미치지 못하였다. 수원시 도심 일부에 상업지가 집중되는 특성 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서 수송인원을 증가시키는 요인분석 결과, 총 직장인수, 총 수용학생수가 총인구수, 상업지 면적에 비해 버스 수송인원을 증가시키는 영향이 큰 것으로 분석되었다. 특히, 수원시는 총 직장인 수와 총 학생수가 많은 지역(서둔동, 인계동, 파장동, 영통동, 행궁동 등) 이 유사한 것으로 분석되었다.

따라서 GWR모델을 이용한 수원시 버스수요 예측모형과 버스 공급현황을 파악할 수 있는 수원시 버스노선도를 비교함으로써 버스수요와 공급의 균형여부를 분석할 수 있다. 본 연구에서는 이를 통해 버스노선의 최적화방안을 제시하고자 한다.

분석을 위해서 GWR모델에서 가장 영향력있는 변수인 총수용학생수와 총직장인수를 밀도로 표현 하였다. Fig. 4에서 수원시 일반버스, 좌석버스, 광역버스와 4차선이상의 도로 레이어를 교통수요와 겹쳐놓은 그림이다. 수원시 서쪽 지역인 [5.입북동]. [1.호매실지구 택지]개발이 끝나 상태이다. 하지만 통학과 통근이 원활하지 못할 것으로 예상 된다. 택지 개발 지구인 관계로 현재 수원시의 일반버스가 절대적으로 부족하며, 광역버스가 주종을 이루면서 교통이 불편한 지역이다. 추후 노선 배정시 우선지역으로 고려되어야 하는 지역이다.

[2.수원시 산업단지지역]은 대중교통이 필요한 지역이지만, 영통지구의 삼성전자본사 일대처럼 대규모 공업지대이다. 하지만 대중교통이 불편하여, 대부분 출퇴근시 자가용 이용하는 지역이다. 이러한 수요를 대중교통 수요로 전환시 수원시의 도로여건의 향상을 도모할 수 있을 것이다. [3.영통1동]은 영통고가도로이다. 이 지역은 도로가 좁은 지역이면 수원삼성전자 위치한 직장인 밀집지구이지만, 많은 통행량이 있는 지역이다. 하지만 도시계획시 인구의 성장을 예상치 못한 지역이다. 따라서 향후 신규 노선 계획시 우선 고려해야 할지

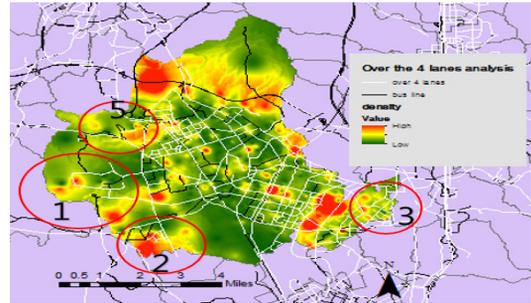


Figure 4. over the 4 lanes analysis

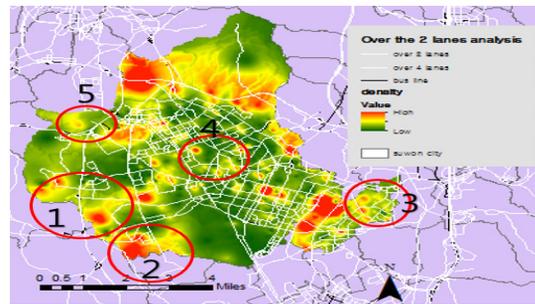


Figure 5. over the 2 lanes analysis

역이다.

2차선이상 도로를 대상으로 분석한 결과인 Fig. 5에서 [5.구도심지역] 학교와 주변 수원 행궁동 일대가 버스공급이 부족한 것으로 알 수 있다. 실제 이 지역에서 현재 마을버스가 운행 중이지만, 버스노선 정비가 필요한 것으로 본다. 특히 가장 혼잡이 예상되는 수원시 호매실 택지지구내 운행 중인 버스노선을 증차시키고 가용부분이 발생하는 권선동 지역에서 버스를 감차시킬 필요가 있다. 이를 통해서 신규도로 건설이나 새로운 인프라 구축되는 동안 효율적인 버스 운행과 버스노선 최적화를 도모할 수 있을 것이다.

3. 결론

수원시의 택지지구인 호매실 지구와 입북동 지구의 추후 버스 노선이 필요하다. 수원시는 추후 도시계획시 교통인프라망을 사전에 구축함으로써 나홀로 아파트가 되는 현상을 방지할 수 있으면, 수원일반산업단지도 자가용운행되는 출퇴근 수요를 버스 수요로 전환시 주변 혼잡을 피할 수 있을 것이다. 더불어 영통1동 지구의 아파트단지마다 버스노선과 신규개통되는 지하철역과 효율적으로 운행할 필요성이 있다.

본 논문은 교통 수요예측모형을 바탕으로 합리적인

교통계획 대안을 마련하였다. 이와같이 공간적 특성을 고려한 버스수요예측과 수요, 공급균형분석을 통해 보다 합리적인 교통정책 마련을 할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 공간정보 전문 인력 양성사업 지원을 받아 수행 하였습니다.

References

1. Ju, Nak-Gyun, 2013, A study on the demand forecast of intracity bus and the selection of transfer place in gwangju, Doctoral dissertation, University of Honam.
2. Chung, Chang-Young, 2012, Forecasting GIS based bus demand by route, 박사, University of seoul.
3. Kim, Man-Ung, 2010, The selection criteria of the optimal mass transport system based on influence area analysis using GIS, Doctoral dissertation, Seoul National University of Science and Technology.
4. Choi, Won-Seok, 2008, Using GIS urban growth and urban growth management study on prediction, Master's Degree Thesis, Anyang of University.
5. Kim, Man-Ung, 2010, A criterion on the selection of optimal mass transport system by transportation corridor based on GIS buffering analysis, Korea Society of Civil engineers Vol.30 No.5, pp.477-483.
6. Um Jin-Gi, 2008, Estimating travel demand by using a spatial-temporal activity presence-based approach, Korea Society of Transportation, Vol.26 No.5, pp.163-174.
7. No, Young-Sik, Byun, Young-Cheol, Oh Sang-Hyun, 2005, A study on the location selection of RFID - READER based on GIS and O/D Analysis, The Korea Contents Association, Vol.3 No.2, pp.533-538.
8. Pulugurtha, S. S., and Agurla, M., 2012, Assessment of models to estimate bus-stop level transit ridership using spatial modeling methods, Transportation, vol. 15, no. 1, pp.33-52.
9. Foda, M. A., and Osman, A. O., 2010, Using GIS for measuring Transit Stop accessibility considering actual Pedestrian Road Network, Transportation, vol. 13, no. 4, pp.23-40.
10. Hsiao, S., Lu, J., Sterling, J., and Weatherford, M., 1997, Use of geographic information system for analysis of transit pedestrian access, Transportation Reserach Record, Vol1. pp.50-59.
11. <http://www.suwon.go.kr>
12. <http://sgjis.kostat.go.kr>