

## 자동차주행거리 추정방안 연구

### A Study on Estimation of Vehicle Miles Traveled

안 원 철\* (Won-chul, Ahn) (BEGAS CO., Ltd)  
박 동 주\*\* (Dong-joo, Park) (University of Seoul)  
허 태 영\*\*\* (Tae-Young, Heo) (Chungbuk National University)

연 지 윤\*\*\*\* (Ji-Youn, Yeon) (The Korea Transport Institute)

김 찬 성\*\*\*\*\* (Chan-Sung, Kim) (The Korea Transport Institute)

· Corresponding author : Dong-joo Park(University of Seoul), E-mail djpark@uos.ac.kr

#### 요 약

본 연구는 자동차주행거리 추정과정에서 발생할 수 있는 오차발생 원인을 규명하였다. 그리고 각 원인이 자동차주행거리 추정 정확도에 미치는 영향을 오차율로 정량화하여 효율적인 자동차주행거리 추정방안을 제시하였다. 이를 위한 연구과정은 다음과 같다. 첫째, 시범조사 지역을 대상으로 자동차주행거리 추정 방법론의 정확도를 검증하기 위한 자동차주행거리 관측 자료를 구축하였다. 둘째, 자동차주행거리 추정 오차발생 원인은 표본크기, 표본추출방법, 단위구간 설정방법의 오류로 구분하였다. 그리고 각 원인에 따른 자동차주행거리 추정오차를 최소화하기 위한 다양한 방법론을 설정하였다. 셋째, 각 방법론에 의한 자동차주행거리 추정 오차율을 비교분석하였다. 마지막으로 Toy-Network를 구축하여 지역특성을 고려한 자동차주행거리 추정방안을 제시하였다.

본 연구는 실험 계획적 접근방법을 통하여 효율적인 자동차주행거리 추정방안을 제시하였으며, 추정 정확도 검증을 위하여 자동차주행거리 관측 자료를 활용했다는 점에서 의의를 갖는다. 또한 본 연구에서 제시한 자료수준과 지역특성을 고려한 자동차주행거리 추정방안은 향후 지역별 자동차주행거리 추정에 기여할 것으로 판단된다.

핵심어 : 자동차 주행거리, 표본크기, 표본추출방법, 단위구간, 크리깅

#### ABSTRACT

This study identified the causes of errors that could take place in the estimation process of vehicle miles traveled and quantified the effects of each of those causes on the estimation accuracy of vehicle miles traveled via error rate to propose an efficient way to estimate vehicle miles traveled. The study proceeded as follows: first, the study established survey data of vehicle miles traveled in the pilot test areas to test the accuracy of a method to estimate vehicle miles traveled. Second, the causes of errors with the estimation of vehicle miles traveled were categorized into errors with the sample size, sampling methods, and homogeneous link setting methods. In addition, many different methodologies were set to minimize errors with the estimation of vehicle miles traveled according to each of the causes. Third, error rates of estimation of vehicle miles traveled were compared and analyzed according to each of the methodologies. Finally, a toy network was established to propose a way of estimating vehicle miles traveled by taking the local characteristics into consideration.

The study finds its significance in that it proposed an efficient way to estimate vehicle miles traveled through an experiment and planning approach and made use of survey data of vehicle miles traveled to test estimation accuracy. The proposed way of estimating vehicle miles traveled by taking into account the local characteristics will make a contribution to the estimation of vehicle miles traveled by the areas in future along with the level of data offered in the study.

**Key words** : Vehicle Miles Traveled, Sample size, Sampling, Homogeneous Link, Kriging

† 본 논문은 한국ITS학회의 2013년 추계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

\* 주저자 : (주)베가스 컨설팅사업본부 사원

\*\* 공저자 및 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 정교수

\*\*\* 공저자 : 충북대학교 정보통계학과 부교수

\*\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 국가교통DB센터 센터장

\*\*\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 국가교통DB센터 부연구위원

† Received 24 September 2014; reviewed 7 November 2014; Accepted 22 November 2014

## I. 서 론

자동차주행거리(Vehicle Miles Traveled, VMT)는 해당지역의 도로를 이용하는 모든 자동차의 이동거리 합이다. 교통 분야에서는 자동차주행거리를 도로시스템 성능평가, 교통사고 통계, 교통영향평가 등을 위한 기초자료로 활용하고 있다. 환경·보건 분야에서는 해당지역의 대기질 분석을 위한 자료로 자동차주행거리를 활용하고 있다. 이와 같이 자동차주행거리는 다양한 분야에서 정책평가를 위해 광범위하게 활용되는 평가지표로서 정확한 자동차주행거리 자료구축이 요구된다.

자동차주행거리 추정방법은 교통량에 기초한 방법과 비 교통량 자료에 기초한 방법으로 구분된다. 교통량에 기초한 방법은 차량이동 실적자료를 활용하는 방법으로 자동차주행거리 추정방법 중 가장 선호된다. 이 방법은 표본 구역 내에서의 연평균 일일 교통량(AADT, Annual Average Daily Traffic)과 도로 중심선 길이를 이용하여 일일 자동차주행거리를 구하고, 확장계수를 곱하여 해당 지역내 자동차주행거리를 추정한다. 자동차주행거리 추정을 위한 교통량은 표본 구역 내에서 수집한다. 따라서 교통량에 기초한 자동차주행거리 추정치는 표본추출 과정에서 도로의 기능별 구분이 얼마나 잘 되어있는지에 따라 정확도에 영향을 미칠 수 있다. 비 교통량 자료에 기초한 방법은 자동차주행거리 추정을 위하여 연료판매, 가구크기, 가구수입, 인구, 운전면허자수, 고용자수, 통행발생행태 등의 사회경제적 자료를 활용한다. 이 방법은 기초자료의 정기적인 수집이 선행되어야 한다. 다만, 해당 지역에서 발생하는 통행량을 명확하게 나타내지 못할 수 있으며, 이로 인하여 자동차주행거리 추정결과의 정확도가 떨어질 수 있다.

대부분의 경우, 자동차주행거리 추정방법은 추정 정확도가 상대적으로 높고, 비용 효율적인 교통량에 기초한 방법을 활용하고 있다(Kumapley and Fricker 1996)[1]. 본 연구는 교통량 자료를 기초로 하는 자동차주행거리 추정방안을 제시하고자 한다. 교통량 자료에 기초한 방법은 모든 도로구간에 대

한 교통량 자료 확보가 가능할 경우, 현실적인 자동차주행거리를 추정할 수 있다. 그러나 현실적으로 모든 도로 구간에 대한 교통량 자료 확보가 불가능하며, 교통량 자료가 확보된 구간만을 활용하여 자동차주행거리 추정하기 때문에 오차가 발생한다. 기존연구에서는 자동차주행거리 추정 오차를 최소화하기 위한 다양한 방법론을 제시하고 있으나 자동차주행거리 관측자료 수집이 어렵기 때문에, 추정결과와 정확도를 제시하지 못한 한계가 있다.

본 연구의 목적은 자동차주행거리 추정오차를 정량화하여 효율적인 자동차주행거리 추정방안을 제시하는 것이다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 자동차주행거리 추정의 오차발생 원인을 규명하고 자동차주행거리 추정 오차를 최소화하기 위한 방법론을 검토한다. 3장에서는 본 연구의 시범조사 지역을 대상으로 기초자료를 구축한 후 자동차주행거리 추정 오차율을 분석하기 위한 방법론을 설정한다. 4장에서는 시범조사 지역의 자동차주행거리 관측 자료를 기준으로 자동차주행거리의 오차율을 분석하여 효율적인 자동차주행거리 추정방안을 제시한다. 5장에서는 지역특성을 고려한 자동차주행거리 추정방안을 제시한다. 마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론과 연구의 한계점 및 향후 연구 과제를 제시한다.

## II. 기존연구 검토

Kumapley & Fricker(1996)는 교통량에 기초한 방법과 비 교통량에 기초한 방법에 대한 방법론을 소개하고 한계점을 제시하고 있다. 자동차주행거리 추정 오차발생 원인으로는 도로의 기능별 분류 오류, 불충분한 교통량 자료, 교통량 조사 구간선택의 편중 등을 제시하였다[1]. Gadda et al.(2007)은 자동차주행거리 추정의 중요 요소인 AADT 산정단계에서 발생할 수 있는 오차발생 원인을 크게 계절별, 요일별 Factor 산정의 잘못된 그룹화에 따른 오류와 시·공간적 자료부족으로 인한 오류로 분류했다. AADT 추정단계에서 발생할 수 있는 대부분의 오차는 공간적 오류(단위구간 선정)에 의해서 발생하

는 것으로 나타났으며, 적절한 단위구간 선정기준 수립의 필요성을 제시하였다[2].

기존연구를 검토한 결과, 자동차주행거리 추정의 오차발생 원인은 단위구간 설정 오류, 표본추출 오류(표본크기 결정오류, 표본추출방법 오류), 차량검지기의 교통량 계측오류로 구분할 수 있다. 그중에서 차량검지기의 교통량 계측오류를 파악하기 위해서는 차량검지기가 설치된 전체 구간에 대한 교통량 조사가 수반되어야 한다. 따라서 본 연구는 차량검지기의 교통량 계측오류가 없는 것으로 가정하며, 자동차주행거리 추정 오차발생 원인을 단위구간 설정 오류, 표본크기 및 표본추출방법 오류로 구분하며, 각 오차발생 원인이 자동차주행거리 추정에 미치는 영향을 정량화하기 위한 방법론을 검토하였다.

## 1. 단위구간 설정방법

단위구간은 자동차주행거리를 추정하기 위해 사용되는 가장 기초적인 도로의 구간분류 단위이며, 동일 단위구간은 도로의 물리적인 측면과 운영측면에서 동질적인 구간으로 정의할 수 있다. FHWA(2012)는 자동차주행거리를 추정하기 위한 단위구간 설정방법을 제시하였다. 단위구간(동질한 특성을 갖는 구간)은 AADT, 도로등급, 도시화 구분, 직진 차로수, Facility Type을 기준으로, 해당 5가지 요소 중 한 가지라도 변화되는 구간이 발생하면 별도의 단위구간으로 설정하였다[3]. 도명식 외(2004)는 실시간 교통정보 제공을 목적으로 정성적·정량적인 방법을 활용한 단위구간 산정방법론을 제시하였으며, 도로를 구분하기 위해 Area(지역), Line(구간), Point(교차로)로 구분하여 단위구간을 선정하는 방법을 제시하였다[4].

단위구간 설정방법 관련 연구를 검토한 결과, 기존연구에서는 도로의 기하구조 특성 및 교통류 특성을 변수로 설정하여 단계적인 과정을 통해 단위구간을 설정하였다. 다만, 기존연구에서는 변수 간의 상관관계 분석 및 단위구간 설정결과의 적절성을 검증하지 못했다는 한계를 지닌다. 따라서 본 연

구는 교통량을 종속변수로 하는 상관관계 분석을 통하여 단위구간 설정기준을 선정하며, 추정된 자동차주행거리를 평가지표로 활용하여 단위구간 설정결과의 적절성을 검증하였다.

## 2. 표본크기 결정 및 표본추출방법

표본추출 오차는 모집단을 대표할 수 있는 전형적인 구성요소를 표본으로 선택하지 못했기 때문에 발생하는 오류이다. 표본추출상의 오류는 편의(bias)와 우연성(chance)에 의하여 발생하게 된다. 우연에 의한 오차는 표본 크기를 증가시킴으로써 감소시킬 수 있다. 편의에 의한 오차는 표본추출방법을 과학적으로 계획함으로써 줄일 수 있다. FHWA(2012)는 자동차주행거리를 추정하기 위한 표본크기 결정 및 표본추출방법을 제시하였다. 표본추출방법은 도로 기능별로 AADT 범위에 따라 12개의 Volume Group으로 구분하는 층화 표본추출방법을 적용하였다. 표본크기는 Volume Group내 AADT의 변동계수, Volume Group내 단위구간 수, 도로기능별 신뢰도 범위 및 정밀도를 고려하여 결정하였다[3]. Frawley(2007)는 지선도로(local road)의 자동차주행거리 산정의 정확도를 높이기 위하여 교통량 조사지점 선정에 관한 연구를 수행하였으며, 단순무작위 추출방법을 통해 도시규모별(인구기준) 교통량 조사 지점수를 제시하였다[5].

표본크기 결정 및 표본추출방법 관련 연구를 검토한 결과, VMT 추정을 위한 표본추출방법은 단순무작위 추출방법(Simple Random Sampling)과 층화 표본추출방법(Stratified Random Sampling)으로 구분할 수 있다. 표본크기는 실험적인 방법 또는 해당지역 교통량의 Coefficient of Variation과 단위구간수를 변수로 설정하여 결정하였다. 기존연구에서는 설정된 표본추출방법 및 표본크기에서의 자동차주행거리 추정 정확도를 분석하지 못한 한계점이 있다. 따라서 본 연구는 표본추출방법별·표본크기별 자동차주행거리 추정 정확도 비교분석을 통하여 가장 효율적인 자동차주행거리 추정방안을 제시한다.

### 3. 교통량 추정방법

표본크기·표본추출방법별 자동차주행거리를 추정하기 위해서는 표본으로 미 추출된 도로구간의 교통량을 추정할 필요가 있다. 기존연구에서는 회귀모형(Mohamad et al., 1998; Xia et al., 1999; Zhao & Chung, 2001), Neural Network Methods(Lam & Xu 2000; Sharma et al., 1996), empirical Bayesian method(Davis & Yang, 2001) 등의 방법론을 적용하여 교통량을 추정하였다[6-11]. 최근에는 공간적 상호관계를 고려한 교통량 추정방법이 선호되는 추세이다. Selby & Kockelman(2011)은 일반 회귀분석과 Universal Kriging기법의 AADT 추정 정확도를 비교 분석하였다. 일반 회귀분석과 Universal Kriging기법 적용을 위한 변수는 AADT, Speed Limit, Lanes 등을 적용하였다. AADT 분석결과, Universal Kriging 기법을 적용한 결과가 일반 회귀분석 방법론보다 상대적으로 정확도가 높은 것으로 나타났다. 또한 이 연구는 변수 간의 공간적 상호관계를 나타내는 Variogram 모델을 3가지(Gaussian 모델, Spherical 모델, Exponential 모델)로 구분함과 동시에 거리산정 기준을 Euclidean distance와 Network distance로 구분하여 AADT를 추정하였다. 분석결과, Variogram 모델 유형은 각 지역에 따라 다르게 나타났으며, Universal Kriging기법에 적용한 거리산정 기준(Euclidean distance, Network distance)간의 AADT 추정 오차율 차이는 거의 없는 것으로 나타났다[12]. Wang & Kockelman(2009)은 기초자료 수집의 한계로 교통량 단일변수를 활용하는 Simple Kriging기법을 적용하여 텍사스 지역의 AADT를 추정하였다. 분석결과, 다른 연구에 비해 AADT 추정의 오차율이 높은 것으로 나타났다[13]. Eom et al.(2006)은 일반 회귀분석과 공간회귀분석의 AADT 추정 정확도를 비교분석하였다. 공간분석을 위한 Variogram 모델로는 가우시안, 지수, 구형 모델을 이용하였으며, 각 추정방법 중 적합도가 높은 것으로 선정하였다. Kriging기법은 Universal Kriging기법을 적용하였으며, Variogram 파라미터 추정방법은 Restricted Maximum Likelihood(REML), Weighted Least-Squares

(WLS)로 구분하여 적용하였다. 분석결과, 일반 회귀분석보다 공간 회귀분석의 AADT 추정 정확도가 높은 것으로 나타났다[14].

교통량 추정방법 관련 연구 검토 결과, 교통량 추정방법은 크게 일반 회귀모형을 적용한 교통량 추정방법과 공간통계기법을 적용한 교통량 추정방법으로 구분할 수 있다. 추정결과는 연구의 공간적 범위 및 세부방법론에 따라 다소 차이가 있지만, 후자를 적용한 교통량 추정방법의 정확도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 교통량 추정 정확도가 상대적으로 높은 공간통계기법을 활용하여 표본크기·표본추출방법별로 교통량을 추정하며, 다양한 공간통계기법 중에서 활용 가능한 자료 및 자료의 공간적 분포 등을 고려하여 본 연구에 부합하는 방법론을 적용한다.

## III. 자료 수집

본 연구의 시간적 범위는 2012년으로 설정하였다. 공간적 범위는 과천시외의 주간선 및 보조간선도로로 설정하여 자동차주행거리 추정 오차율 분석에 필요한 자료를 구축하였다.

### 1. 도로구간 및 도로유형 구분

자동차주행거리 관측 자료를 구축하기 위해서는 도로구간이 우선 구분되어야 한다. 과천시의 도로구간 구분은 신호교차로를 기준으로 하며, 총 72개 구간으로 구분하였다. 도로유형은 도로기능과 도로등급에 따라 구분하였다. 도로기능은 도시기본계획에서 제시한 기준을 적용하여 주간선도로와 보조간선도로로 구분하였다. 도로등급은 국가교통조사 사업에서 사용하고 있는 도로지체함수 기준을 적용하되, 동일 지역에 있는 교통축 상의 도로구간임에도 불구하고 교차로 간격이 달라 도로등급이 달라지는 문제점을 해결하기 위해 다음과 같은 절차로 도로등급 구분을 조정하였다.

- step1. 해당지역을 통과하는 도로의 시점부터 종점까지의 평균 신호교차로 간격으로 도로의

등급을 구분함

- step2. 해당 지역이 시가화 구역을 포함하고 있는 경우, 도로의 시점 및 종점을 시가화 구역 시점부터 종점 기준으로 재계산함

## 2. 도로구간별 교통량

과천시는 지능형 교통시스템 구축사업의 일환으로 주요 도로구간에 총 60개의 차량검지기를 운영하고 있다. 본 연구는 차량검지기가 양방향으로 설치되어 있는 29개 구간을 대상으로 교통량 자료를 구축하였다. 6개 구간은 현장조사를 통하여 교통량 자료를 구축하였으며, 37개 구간은 교통수요모형을 활용하여 교통량 자료를 구축하였다.

- 차량검지기 설치구간: 2012년 1월부터 12월까지 과천시의 차량검지기 수집 자료를 AADT로 환산하여 교통량 자료를 구축함
- 현장조사 구간: 24시간동안 조사된 교통량에 요일별·월별 보정계수를 적용하여 교통량 자료를 구축함(FHWA(2001)의 방법론 적용)[15]
- 나머지 구간(교통수요모형 적용구간): 교통패키지 Emme/3를 활용하며, O/D 및 네트워크 구축, 교통존 세분화 및 통행배정모형 정산 등의 과정을 거쳐 교통량 자료를 구축함

## 3. 자동차주행거리 관측자료

자동차주행거리 관측 자료는 차량검지기 수집 자료, 현장조사 및 교통수요모형(Emme/3) 활용을 통해 추정된 교통량을 활용하여 구축하였다. 자동차주행거리 산정식은 (1)과 같으며, 과천시의 자동차주행거리는 1,578,991대-km/일로 나타났다.

$$VMT = \sum_{t=1}^n \sum_{k=1}^3 (V_{tk} \times AD_{tk}) \quad (1)$$

$V_{tk}$ : 구간별 · 차종별 교통량(대/일)  
 $AD_{tk}$ : 구간별 · 차종별 링크길이(km)  
 $t$ : 전체 구간수  
 $k$ : 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물자동차)

## IV. 분석 방법론

### 1. 단위구간 설정

본 연구는 자료구축 단계에서 신호교차로를 기준으로 과천시의 단위구간을 구분하였으며, 신호교차로를 기준으로 단위구간을 설정하면 도로의 교통류 특성(교통량, 속도 등)을 정확히 나타낼 수 있는 장점이 있다. 그러나 과천시와 같이 신호교차로에 대한 DB가 구축되어 있는 도시는 일부에 불과하기 때문에, 신호교차로를 기준으로 Network의 크기가 큰 대도시의 자동차주행거리를 추정할 경우, 자료구축을 하는데 많은 시간적 경제적 비용이 소모될 것으로 예상된다. 따라서 단위구간 설정방법은 신호교차로 기준과 기 구축된 자료(주제도, 도시기본계획 자료 등)를 활용한 단위구간 설정기준으로 구분하여 자동차주행거리 추정 오차율을 분석하였다. 기 구축된 자료를 활용한 단위구간 설정기준은 기존연구 검토, 자료수집 가능여부 및 상관관계 분석을 통하여 선정하였다. 기존연구에서 제시한 단위구간 설정기준은 크게 도로기하구조 특성과 교통류 특성으로 구분할 수 있다(FHWA, 2012). 본 연구는 기존연구에서 제시한 단위구간 설정을 기준으로 도로변 토지이용특성, 도로등급, 구간선도로 접촉여부, AADT(대/일) 및 속도(km/h)를 선정하였으며, 선정된 단위구간 설정기준을 토대로 과천시의 구간선도로와 보조간선도로의 단위구간을 설정하였다.

#### 1) 상관관계 분석

상관관계는 1차적으로 선별된 단위구간 설정기준을 대상으로 분석하였다. 본 연구는 단위구간 설정기준과 교통량 간의 상관관계 분석을 통하여 주요변수를 도출하며, 도출된 주요변수 간의 상관관계 분석을 통하여 최종적인 단위구간 설정기준을 선정하였다.

단위구간 설정기준(명목변수)과 교통량(등간변수) 간의 상관관계는 Fisher(1924)가 소개한 상관비(Correlation Ratio,  $\eta$ )를 활용하여 분석하였다[16]. 상관비는 독립변수가 명목변수이고, 종속변수가 등간

변수일 경우 활용되는 상관계수이다. 상관비를 활용한 단위구간 설정기준과 교통량 간의 상관관계 분석결과는 Table 1과 같으며, AADT 그룹별 및 구간선도로 접촉여부에 따른 단위구간 설정시, 교통량과 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 단위구간 설정기준과 교통량간 상관관계 분석결과  
 〈Table 1〉 Results of correlation analysis between Unit Link setting criteria and traffic

Criteria		Coef.(r)
Road Geometry Characteristics	Land use type	0.327
	Level of Roads	0.567
	Number of lanes	0.387
	Contact with the major arterials	0.852
	Speed limit(km/h)	0.260
Traffic Flow Characteristics	AADT Group(veh/day)	0.857
	Speed Group(km/h)	0.406

단위구간 설정기준(명목변수)간 상관관계는 단위구간 설정기준(명목변수)과 교통량(명목변수)간의 상관관계 분석결과를 토대로 상관계수가 0.4 이상인 변수를 대상으로 하였다. 상관계수는 Guttman (1941)이 소개한 예언계수(Guttman's Coefficient of Predictability, λ)를 활용하였으며[17], 분석한 결과는 Table 2와 같다. 대부분의 단위구간 설정기준 간에는 낮은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 최종적인 단위구간 설정기준은 도로변 토지이용특성, 도로등급, 구간선도로 접촉여부, AADT(대/일)

〈표 2〉 단위구간 설정기준간 상관관계 분석결과  
 〈Table 2〉 Results of correlation analysis between Unit Link setting criteria

Criteria	Level of Roads	Contact with the major arterials	AADT Group (veh/day)	Speed Group (km/h)
Level of Roads	1.000	0.567	0.227	0.274
Contact with the major arterials	0.567	1.000	0.434	0.392
AADT Group (veh/day)	0.227	0.434	1.000	0.243
Speed Group (km/h)	0.274	0.392	0.243	1.000

및 속도(km/h)로 선정하였다.

## 2) 단위구간 설정결과

본 연구는 과천시외의 구간선도로 및 보조간선도로를 대상으로 단위구간을 설정하였다. 단위구간은 크게 도로기하구조 특성기준, 도로기하구조 및 교통류 특성에 따라 구분하여 설정하였다. 과천시 구간선도로 및 보조간선도로의 단위구간은 신호 교차로 기준으로 72개, 도로기하구조 특성 기준으로 23개, 도로기하구조 및 교통류 특성 기준으로 55개로 설정하였다. 도로기하구조 특성을 기준으로 설정된 단위구간 수는 Co-Kriging 기법을 적용하여 교통량 추정을 위한 유효표본수를 충족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 과천시 구간선도로 및 보조간선도로의 단위구간을 도로기하구조 및 교통류 특성 기준과 신호교차로 기준으로 구분하여 교통량 및 자동차주행거리 추정 오차율을 분석하였다.

## 2. 표본크기 및 표본추출방법

표본크기는 전체 단위구간수의 10%, 20%, 30%, ..., 90%로 설정하였다. 표본추출방법은 단순무작위 추출방법과 층화표본 추출방법을 적용한다. 층화표본 추출방법(Stratified Random Sampling)의 층은 행정구역별, 도로등급별로 구분하며, 층의 크기는 비례배분법을 적용하여 결정하였다. 층별 표본크기 산정식(비례배분법)은 (2)와 같다.

$$n_h = n \frac{N_h}{N} = n W_h \quad (2)$$

$n_h$  : 층  $h$ 의 표본크기  
 $n$  : 전체 표본크기  
 $N_h$  : 층  $h$  내의 추출단위 총수  
 $N$  : 전체 추출단위 총수  
 $W_h$  : 가중치

## 3. 교통량 추정방법

교통량은 공간통계기법인 Kriging 기법을 활용하여 표본크기별·표본추출방법별로 추정하였다. 단, 표본크기가 전체 단위구간의 10%, 20%인 경우, 과

천시의 Network가 작은 관계로 Kriging 기법 적용을 위한 유효 표본크기를 충족하지 못하는 문제가 발생한다. 따라서 표본크기가 전체 단위구간의 10%, 20%인 경우, 추정대상 단위구간의 교통량은 도로등급이 동일하거나 유사한 인접 단위구간의 교통량과 동일하다고 가정하여 자동차주행거리를 추정하였다.

### 1) Kriging

Kriging은 공간상에 분포하는 자료의 분포특성과 상관관계를 분석하여 알려지지 않은 지점의 값을 추정하는 기법이다.

Kriging 기법을 적용하기 위해서는 관심 있는 변수에 대한 표본공간을 정의해야 하며, 자료들 간의 공간적 상호관계의 파악이 선행되어야 한다. 공간적 상호관계는 Variogram을 통해서 정량화 할 수 있다. Kriging 기법을 적용하는 과정은 다음과 같다.

- Step1. 변수의 표본공간 정의
- Step2. 표본공간의 자료를 이용하여 실험적 Variogram 도출
- Step3. 실험적 Variogram을 가장 잘 묘사하는 이론적 Variogram 도출
- Step4. 주어진 자료와 Variogram을 이용하여 Kriging 기법을 통해 미지의 값 추정

Kriging 기법은 가중치 산정방법 및 적용변수에 따라 Simple Kriging, Ordinary Kriging, Co-Kriging 등으로 구분된다. 본 연구는 Co-Kriging 기법을 적용하여 교통량을 추정하였다.

### 2) Variogram

Variogram은 일정한 거리에 있는 자료들의 유사성을 나타내는 척도이며, 일정거리 만큼 떨어진 두 자료의 차이를 제공한 값에 대한 기댓값이다. Variogram의 산정식은 (3)과 같다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

$\gamma(h)$ : Variogram (데이터간 공간적 유사성 척도)  
 $z(x_i)$ : 위치  $x_i$  에서의 관측값  
 $n$ : 거리  $h$  만큼 떨어져있는 표본 지점쌍들의 수  
 $h$ : 데이터 간의 공간적 거리

Kriging 기법을 적용하여 미지의 값을 추정하기 위해서는 모든 분리거리  $h$ 에 대한 Variogram이 필요하며, 이를 구하기 위해서는 주어진 자료로부터 계산된 실험적 Variogram을 가장 잘 대표하는 이론적 Variogram을 결정해야 한다. 이론적 Variogram 인자는 공분산과 Kriging 가중치를 계산하는데 이용되며, 문턱값(Sill), 상관거리(Range), 모델수식, 너깃(Nugget)으로 구성된다.

- 문턱값(Sill)은 분리거리가 증가하여 자료 값들이 아무런 상관관계를 나타내지 않는 한계지점임
- 상관거리(Range)는 표본지점들 간 공간적 의존성이 나타나는 거리로 분산을 의미함
- 너깃(Nugget)은 동일한 위치에 있는 표본지점 간에 존재하는 분산값임

본 연구의 이론적 Variogram 모델은 일반적으로 활용되는 지수모델(Exponential Model)을 활용한다.

### 3) Co-Kriging

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i + \sum_{j=1}^m k_j u_j \quad (4)$$

$Z$ : 크리깅 기법에 의한 예측값  
 $z_i$ : 위치  $x_i$  에서의 관측값 (주변수)  
 $\lambda_i$ : 관측값에 사용된 가중치  
 $n$ : 주변수의 자료 개수  
 $u_j$ : 위치  $x_i$  에서의 관측값 (이차변수)  
 $k_j$ : 관측값에 사용된 가중치 (이차변수)  
 $m$ : 이차변수의 자료 개수

Co-Kriging은 두 가지 이상 변수의 선형조합을 사용하여 자료가 알려지지 않은 지점에 대한 값을 추정하는 기법이다. 이 때 예측하고자 하는 변수는 주변수(Primary Variable)이며, 주변수가 아닌 변수를 이차변수(Secondary Variable)라고 한다. Co-Kriging은 주변수의 양이 적고, 이차변수의 양은 많을 때 활용되며, 대부분의 경우 이차변수는 정확도가 떨어진다. 단, 두 변수는 반드시 공간적 상호관계가 있어야 한다. Co-Kriging의 이차변수는 여러 개가 될 수 있으며, 특별한 경우를 제외하고는 하나의 주변수와 하나의 이차변수를 사용하는 경우가 대부분

이다. 주변수와 이차변수를 사용하는 Co-Kriging 산정식은 (4)와 같다.

본 연구는 Co-Kriging 적용을 위한 주변수를 2012년 교통량 자료로 설정하며, 이차변수는 2011년 교통량 자료로 설정하였다. 교통량 자료의 위치 데이터는 주제도(Katech 좌표체계)의 도로 중심선을 기준으로 설정하였다. 이론적 Variogram 도출 및 가중치 산정 등 복잡한 계산 과정은 통계패키지인 "R"을 활용하여 계산하였다.

### V. 오차발생 원인별 자동차주행거리 추정 오차율 분석

#### 1. 표본추출방법별 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과

표본추출방법은 단순무작위 추출방법과 층화표본 추출방법(행정구역별, 도로등급별)으로 구분하였다. 단위구간은 신호교차로를 기준으로 설정(72개 구간)하였으며, 표본크기는 전체 단위구간수의 10%, 20%, 30%, ..., 90%로 구분하여 오차율을 분석하였다. 표본추출방법에 따른 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과는 Table 3과 같으며, 도로등급별 층화표본 추출방법의 자동차주행거리 추정 오차율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

#### 2. 단위구간 설정방법별 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과

단위구간 설정방법은 신호교차로 기준과 도로기하구조 및 교통류 특성 기준으로 구분하였으며, 각 기준에 따라 설정된 단위구간을 기준으로 자동차주행거리 추정 오차율을 비교분석하였다. 도로기하구조 및 교통류 특성에 의하여 설정된 단위구간의 대표 교통량은 해당 단위구간 중 연장이 가장 긴 구간의 교통량으로 설정하였다. 표본크기는 전체 단위구간 수의 10%, 20%, 30%, ..., 90%로 설정하였으며, 표본추출방법은 도로등급별 층화표본 추출방법을 적용하였다. 단위구간 설정방법에 따른 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과는 Table 4와 같

〈표 3〉 표본추출방법별 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과

〈Table 3〉 Results of VMT estimated error rate analysis by sampling method (unit: veh-km/day, %)

Method	Sample Size (%)	Actual VMT Value (A)	Estimate VMT Value(B)	Diff. (B-A)	Error (%)
Simple Random Sampling	10	1,578,991	984,209	-594,782	-37.7
	20		1,032,852	-546,139	-34.6
	30		1,344,144	-234,847	-14.9
	40		1,360,804	-218,187	-13.8
	50		1,416,425	-162,566	-10.3
	60		1,425,818	-153,173	-9.7
	70		1,476,480	-102,511	-6.5
	80		1,525,871	-53,120	-3.4
	90		1,544,822	-34,169	-2.2
Stratified Sampling (district)	10	1,578,991	945,619	-633,372	-40.1
	20		1,052,125	-526,866	-33.4
	30		1,356,511	-222,480	-14.1
	40		1,395,533	-183,458	-11.6
	50		1,434,968	-144,023	-9.1
	60		1,456,876	-122,115	-7.7
	70		1,487,101	-91,890	-5.8
	80		1,526,379	-52,612	-3.3
	90		1,564,554	-14,437	-0.9
Stratified Sampling (road level)	10	1,578,991	1,141,263	-437,728	-27.7
	20		1,215,129	-363,862	-23.0
	30		1,362,823	-216,168	-13.7
	40		1,402,944	-176,047	-11.1
	50		1,452,972	-126,019	-8.0
	60		1,488,526	-90,465	-5.7
	70		1,490,810	-88,181	-5.6
	80		1,526,018	-52,973	-3.4
	90		1,568,600	-10,391	-0.7

〈표 4〉 단위구간 설정방법별 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과

〈Table 4〉 Results of VMT estimated error rate analysis by unit link setting method (unit: veh-km/day, %)

Sample Size	Signalized intersection (Unit Link: 72)		Road Geometry & Traffic Flow Characteristics (Unit Link: 55)	
	Estimate VMT Value	Error	Estimate VMT Value	Error
10%	1,141,263	-27.7	992,582	-37.1
20%	1,215,129	-23.0	1,156,874	-26.7
30%	1,362,823	-13.7	1,313,575	-16.8
40%	1,402,944	-11.1	1,346,087	-14.8
50%	1,452,972	-8.0	1,418,054	-10.2
60%	1,488,526	-5.7	1,452,298	-8.0
70%	1,490,810	-5.6	1,483,178	-6.1
80%	1,526,018	-3.4	1,526,488	-3.3
90%	1,568,600	-0.7	1,570,574	-0.5

으며, 두 방법론의 자동차주행거리 추정 오차율의 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 해당 도시의 신호교차로에 대한 DB 구축이 어려울 경우에는 기 구축된 자료(주제도, 도시기본계획 자료 등)를 활용하여 자동차주행거리를 추정하는 방법이 효과적일 것으로 판단된다.

## VI. 지역별 자동차주행거리 추정방안

### 1. 도로기능별 교통량 조사지점 배분방안

본 연구는 도로기능별 교통량 조사지점 배분기준을 제시하기 위하여 도로기능별로 표본배분비율(전체 표본크기 대비)을 다르게 적용하여 자동차주행거리 추정 오차율을 분석하였다. 도로기능은 과천시 도시기본계획을 기준으로 주간선도로와 보조간선도로 2가지로 구분하였다. 자동차주행거리 추정 오차율 분석을 위한 단위구간은 도로기하구조 및 교통류 특성을 기준으로 설정하며, 표본추출방법은 도로등급별 층화표본 추출방법을 적용한다. 도로기능별 교통량 조사지점 배분기준에 따른 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과는 Table 5와 같다.

분석결과, 대체적으로 자동차 주행비중이 높은 주간선도로에 차량검지기가 많이 배정될수록 오차

〈표 5〉 교통량 조사지점 배분비중에 따른 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과

〈Table 5〉 Results of VMT estimated error rate analysis by assigned portion of traffic volume survey site

(unit: %)

Road Functional Class		VMT Estimation Error by Sample Size				
Major Arterials	Minor Arterials	10%	20%	30%	40%	50%
10%	90%	-27.0	-33.2	-19.9	-16.0	-11.4
20%	80%	-28.1	-22.7	-15.8	-13.3	-11.0
30%	70%	-25.3	-25.0	-21.9	-7.9	-4.8
40%	60%	-27.4	-25.4	-15.7	-12.7	-5.0
50%	50%	-32.3	-22.7	-16.1	-12.1	-9.7
60%	40%	-24.3	-20.9	-12.1	-5.7	-6.0
70%	30%	-22.7	-18.4	-7.5	-6.8	-4.7
80%	20%	-22.6	-25.2	-6.7	-11.2	-6.0
90%	10%	-21.9	-27.1	-14.7	-10.2	-14.0

율이 낮은 것으로 나타났다. 이는 주간선도로의 도로구간별 연장 및 교통량이 보조간선도로와 대비하여 상대적으로 높기 때문이다. 따라서 해당도시의 자동차주행거리를 추정할 경우, 도로구간별 연장 및 교통량을 고려한 차량검지기 배정방안을 고려할 필요가 있다.

### 2. 교통량 분포유형별 자동차주행거리 추정방안

자동차주행거리 추정결과, 모든 경우에서 자동차주행거리가 과소 추정되는 경향을 보이고 있다. 이는 Co-Kriging 기법에 의해 추정된 교통량 자체가 과소 추정되기 때문이다.

- Co-Kriging기법은 공간상에 분포하는 자료의 분포특성과 상관관계를 분석하여 알려지지 않은 지점의 값을 추정함
- 따라서 Co-Kriging기법에 의해 추정된 값은 공간상에 자료분포 특성에 따라 큰 영향을 받을 수 있음

실제로 과천시의 구간별 교통량은 대부분의 구간이 상대적으로 교통량이 작은 지역에 밀집해 있다. 그 결과로 교통량이 작은 구간 자료를 활용하여 교통량이 큰 구간의 자료를 추정하는 경우가 발생하여, 교통량이 과소 추정되는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 각 도시의 교통량 분포유형에 따른 자동차주행거리 추정방안을 제시하기 위하여 Toy-Network를 구축하여 교통량 분포유형 및 변동계수에 따른 Co-Kriging 기법의 교통량 추정 오차율을 비교분석하였다.

Toy-Network는 지점 간 거리가 동일한 격자형태의 71개 도로구간으로 구축하였다. 교통량 분포는 정규분포, Chi-Square 분포, Chi-Square Inverse 총 3가지 형태로 구분하며, 해당 분포에 따라 난수를 생성하여 교통량 자료를 구축하였다. 변동계수(Coefficient of Variation)는 0.3, 0.6, 0.9로 구분하여 시나리오를 설정하였다. 교통량 분포유형 및 변동계수에 따른 교통량 추정 오차율 분석결과는 Table 6과 같다. 여기서, 교통량은 표본추출의 편의(bias)

를 최소화하기 위하여 100번 반복 시행한 결과값의 평균을 적용하였다.

〈표 6〉 교통량 분포유형별·시나리오별 교통량 추정 오차율 분석결과  
 〈Table 6〉 Results of traffic estimated error rate analysis by traffic distribution type, scenario  
 (unit: %)

Traffic Distribution	Scenario1 (CV: 0.3)			Scenario2 (CV: 0.6)			Scenario3 (CV: 0.9)		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%	40%	60%	80%
Gwacheon	-	-	-	-	-	-	-6.6	-3.8	-1.5
Normal	-2.6	-1.4	0.9	2.9	-1.8	0.9	2.6	-1.9	-1.1
Chi-Square	-2.4	-1.8	-1.3	-3.6	-2.5	-1.4	-5.9	-4.2	-2.2
Chi-Square Inverse	2.9	1.6	0.7	5.0	2.6	1.2	5.9	2.8	1.5

Co-Kriging 기법을 적용하여 교통량을 추정할 경우, 교통량 추정오차율은 교통량 분포유형 및 변동계수(Coefficient of Variation)의 크기에 따라 상이하게 나타났다. 따라서 Co-Kriging 기법을 적용하여 다른 도시의 교통량을 추정할 경우, 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

- 해당도시의 교통량 분포유형 진단 및 교통량 분포유형별 보정계수 적용방안 검토
- 교통량이 상이할 것으로 판단되는 단위구간을 그룹별(예. 도로등급별)로 구분하여 각각의 그룹에 대한 Co-Kriging 기법 적용방안 검토

### 3. 도시규모별 자동차주행거리 추정을 위한 적정 표본크기 선정방안

과천시는 Network 규모가 작기 때문에 자동차주행거리 추정을 위한 적정 표본크기가 높게 나타났으며, 과천시의 분석결과를 기준으로 대도시의 자동차주행거리를 추정하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 우리나라 각 도시의 Network 특성을 검토하여 도시규모별로 그룹을 설정한 후, Toy-Network를 구축하여 도시규모별 자동차주행거리 추정을 위한 적정 표본크기를 제시하였다.

본 연구는 도시규모별 자동차주행거리 추정을 위하여 우리나라의 163개 도시(광역시, 시, 군 기준)를 총 3개 그룹으로 설정하였다. 도시규모는 도시별 주민등록 인구(2011년 기준)를 기준으로 구분하였다. 대부분의 도시는 관리주체별(고속도로, 국도, 지방도 등)로 구분하여 도로연장을 제시하고 있으며, 단위구간 수에 대한 자료가 구축된 도시는 전무한 실정이다. 따라서 각 도시의 단위구간은 과천시의 평균 신호교차로 간격인 0.40km를 기준으로 설정하였다. Toy-Network는 도시규모별 평균 단위구간 수를 기준으로 지점 간 거리가 동일한 격자형태로 구축하였다. 교통량 분포 및 변동계수는 과천시와 동일하다고 가정하며, 해당 분포 및 변동계수에 따라 난수를 생성하여 단위구간별 교통량 자료를 구축하였다.

- 과천시의 교통량은 Chi-Square분포를 따르며, 변동계수는 0.90임
- 도시규모별로 구축한 단위구간별 교통량 통계치는 Table 7과 같음

〈표 7〉 도시규모별·단위구간별 교통량 통계치  
 〈Table 7〉 Traffic Statistics by urban size, unit link  
 (unit: veh/day)

Statistics	500,000 ~	200,000 ~ 500,000	0 ~ 200,000
Max	152,517	148,082	145,397
Min	2,692	2,772	2,028
Mean	34,145	35,983	35,465
Std.Dev.	30,605	32,463	31,805

마지막으로 표본크기는 전체 단위구간수의 5%, 10%, 15%, 20%로 구분하며, 표본추출방법은 단순무작위 추출방법을 적용하였다. 교통량은 Co-Kriging 기법을 활용하여 추정하였다. 여기서, 교통량은 표본추출의 편의(bias)를 최소화하기 위하여 100번 반복 시행한 결과값의 평균을 적용하였다. 도시규모별 자동차주행거리 추정 오차율 분석결과 Table 8과 같다. 분석결과, 동일 표본크기 기준으로 자동차주행거리 추정 오차율은 도시규모가 클수록 낮게 나타났다.

〈표 8〉 표본크기별·도시규모별 자동차주행거리 추정오차율 분석결과

〈Table 8〉 Results of VMT estimated error rate analysis by sample size, urban size (unit: %)

Population	Average of Unit Link	VMT Estimation Error			
		5%	10%	15%	20%
500,000 ~	2,128	-15.7 (106)	-11.3 (213)	-8.9 (319)	-7.1 (426)
200,000 ~ 500,000	829	-18.9 (41)	-15.6 (83)	-10.1 (124)	-9.4 (166)
0 ~ 200,000	496	-21.3 (25)	-16.1 (50)	-11.0 (74)	-9.2 (99)

## VII. 결 론

본 연구는 불충분한 교통량 자료를 활용하여 자동차주행거리를 추정할 경우에 발생할 수 있는 오차발생 원인을 규명하고, 각 원인이 자동차주행거리 추정 정확도에 미치는 영향 정도를 정량화하여 효율적인 자동차주행거리 추정방안을 제시하였다. 자동차주행거리 추정 오차발생 원인은 단위구간 설정, 표본크기 및 표본추출방법의 오류로 구분하였으며, 오차발생 원인별로 자동차주행거리 추정에 미치는 영향 정도를 파악하기 위한 분석을 수행하였다.

자동차주행거리 추정 오차율 분석을 위한 자동차주행거리 관측 자료는 시범조사지역인 과천시 구간 도로 및 보조간선도로를 대상으로 구축하였다. 과천시의 도로구간별 교통량은 차량검지기 수집자료, 현장조사 및 교통수요모형을 활용하여 구축하였다. 표본추출방법은 단순무작위 추출방법과 층화표본 추출방법(행정구역별, 도로등급별)로 구분하여 자동차주행거리 추정 오차율을 분석하였다. 분석결과, 도로등급별 층화표본 추출방법의 자동차주행거리 추정 정확도가 가장 높은 것으로 나타났다. 단위구간 설정방법은 신호교차로 기준과 도로기하구조 및 교통류 특성을 기준으로 구분하여 자동차주행거리 추정 오차율을 분석하였으며, 두 방법론의 자동차주행거리 추정 정확도는 큰 차이가

없는 것으로 나타났다.

마지막으로 본 연구는 앞서 도출된 분석결과와 Toy-Network를 활용하여 지역별 자동차주행거리 추정방안을 제시하였다. 분석결과, 자동차주행거리 추정 오차율은 자동차 주행비중이 높은 도로에 교통량 조사지점을 많이 배정될수록 낮게 나타났으며, 동일 표본크기를 기준으로 자동차주행거리 추정 오차율은 도시규모가 클수록 낮게 나타났다.

본 연구는 자동차주행거리 추정을 위한 기초 연구이며, 효율적인 지역별 자동차주행거리 추정을 위해서는 다음과 같은 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다.

첫째, 차량검지기의 교통량 계측 오류가 클 경우, 자동차주행거리 추정 정확도가 떨어질 수 있기 때문에 이를 고려한 자동차주행거리 추정방안이 필요하다. 본 연구는 차량검지기의 교통량 계측 오류가 없다는 가정 하에 자동차주행거리 관측 자료를 구축하였다. 향후 연구에서는 차량검지기의 설치시기, 설치위치 및 Coverage 등을 종합적으로 고려하여 차량검지기의 교통량 계측 오차발생 원인을 분석할 필요가 있다.

둘째, 지역별 자동차주행거리 추정을 위한 기초 자료 구축이 필요하다. 본 연구는 지역별 특성을 고려한 자동차주행거리 추정방안을 제시하였다. 그러나 각 지역에 대한 단위구간 수, 교통량 분포 및 구간별 교통량 등에 대한 자료가 미 구축되어 있기 때문에, 여러 가지 가정을 통한 제한적인 분석이 이루어진 한계가 있다. 정확한 지역별 자동차주행거리 추정을 위해서는 지역별 교통량 분포형태 및 변동계수, 도로등급 또는 기능별 구성 비중, 지역별 단위구간 연장 등과 같은 기초자료의 구축이 필요할 것이다.

마지막으로 자동차주행거리 추정 정확도와 자료 구축 비용 간의 상충관계(Trade-off) 규명이 필요하다. 이를 위해서는 자료구축 비용에 대한 정의 및 구성항목 분류작업이 필요하며, 비용 원단위 등과 관련한 자료수집이 필요할 것이다.

## REFERENCES

- [1] Kumapley, R.K. & J.D. Fricker, "Review of Methods for Estimating Vehicle Miles Traveled", *Transportation Research Record*, no. 1551, pp.59-66. 1996.
- [2] Gadda, S., K. Kockelman, A. Maggon, "Estimates of AADT: Quantifying the Uncertainty", *Presented at the June 2007 World Conference on Transportation Research*, Berkeley, California, May 20. 2007.
- [3] FHWA, *Federal Highway Administration: Highway Performance Monitoring System Field Manual*, Washington, D.C. 2012.
- [4] Do, M. S., Kim, S. H., Moon, H. Y., Kim, M. S., "Classification Method of Homogeneous Road Section for National Highway", *Korean Society of Civil Engineering*, vol. 24, no. 4, pp.523-533. 2004.
- [5] Frawley, W.E., "Random Count Site Selection Process for Statistically Valid Estimations of Local Street Vehicle Miles Traveled", *Transportation Research Record*, no. 1993, pp.43-50. 2007.
- [6] Mohamad, D., K.C. Sinha, T. Kuczek & C.F. Scholer., "Annual Average Daily Traffic Prediction Model for County Roads", *Transportation Research Record*, no. 1617, pp.69-77. 1998.
- [7] Xia, Q., F. Zhao, Z. Chen, L. D. Shen, & D. Ospina, "Estimation of Annual Average Daily Traffic for Nonstate Roads in a Florida County", *Transportation Research Record*, No.1660, pp.32-40. 1999.
- [8] Zhao, F. & S. Chung. "Contributing Factors of Annual Average Daily Traffic in a Florida County: Exploration with Geographic Information System and Regression Models", *Transportation Research Record*, no. 1769, pp.113-122. 2001.
- [9] Lam, W.H.K. & J. Xu, "Estimation of AADT from Short Period Counts in Hong Kong: A Comparison Between Neural Network Method and Regression Analysis", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 34, pp.249-268. 2000.
- [10] Sharma, S.C., B.M. Gulati & S. Rizak, "State-wide Traffic Volume Studies and Precision of AADT Estimates", *Journal of Transportation Engineering*, vol. 122, pp.430-439. 1996.
- [11] Davis, G. & S. Yang., "Accounting for Uncertainty in Estimates of Total Traffic Volume: An Empirical Bayes Approach", *Journal of Transportation and Statistics*, vol. 4, no. 1, pp.27-38. 2001.
- [12] Selby, B. & K., Kockelman, "Spatial Prediction Of AADT In Unmeasured Locations By Universal Kriging", *90th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., DVD-ROM, 2011.
- [13] Wang, X. & K. Kockelman, "Forecasting Network Data: Spatial Interpolation of Traffic Counts Using Texas Data", *Transportation Research Record*, no. 2105, pp.100-108. 2009.
- [14] Eom, J.K., M.S. Park, T.Y. Heo, L.F. Huntsinger, "Improving the Prediction of Annual Average Daily Traffic for Non-freeway Facilities by Applying a Spatial Statistical Method", *Transportation Research Record*, no. 1968, pp.20-29. 2006.
- [15] FHWA, *Federal Highway Administration: Traffic Monitoring Guide*, Washington, D.C. 2001.
- [16] Fisher, R. A., "On a distribution yielding the error functions of several well known statistics", *Proceedings of the International Mathematical Congress*, Toronto, Canada, August 11-16. 1924.
- [17] Guttman, L., *An Outline of the Statistical Theory of Prediction*, In: P. Horst (Ed.) *The Prediction of Personal Adjustment*, New York: Social Science Research Council, 1941.

저자소개



**안 원 철 (Ahn, Won-Chul)**

2013년 8월 : 서울시립대학교 교통공학과 교통물류전공 (공학석사)  
 2014년 2월 ~ 현재 : (주)베가스 건설팅사업본부 사원  
 e-mail : wcahn@begas.co.kr  
 연락처 : 02) 552-1586



**박 동 주 (Park, Dong-joo)**

1993년 8월 : 서울대학교 환경계획학과 교통전공 (공학석사)  
 1998년 12월 : 미국 Texas A&M University (공학박사)  
 2002년 4월 ~ 2002년 7월 : Asian Institute of Technology 토목공학과 조교수  
 2002년 8월 ~ 2005년 7월 : 공주대학교 건설환경공학부 조교수/부교수  
 2005년 8월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 부교수/정교수  
 2012년 1월 ~ 현재 : IJUS 편집위원장



**허 태 영 (Heo, Tae-Young)**

2001년 8월 : 미국 노스캐롤라이나 주립대학 통계학전공(통계학석사)  
 2005년 8월 : 미국 노스캐롤라이나 주립대학 통계학전공(통계학박사)  
 2005년 10월 ~ 2007년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2007년 9월 ~ 2011년 8월 : 한국해양대학교 전임강사/조교수  
 2011년 9월 ~ 현재: 충북대학교 자연과학대학 정보통계학과 조교수/부교수



**연 지 윤 (Yeon, Ji-Youn)**

2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 (공학석사)  
 2003년 1월 ~ 2006년 8월 : 미국 플로리다 대학교 교통공학 전공 (공학박사)  
 2006년 12월 ~ 2012년 1월 : 한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원  
 2012년 1월 ~ 현재 : 한국교통연구원 국가교통DB센터 부연구위원



**김 찬 성 (Kim, Chan-Sung)**

1992년 3월 ~ 1994년 2월 : 서울대학교 환경대학원 도시계획학 (공학석사)  
 1994년 3월 ~ 2000년 12월 : 한국교통연구원 연구원  
 2001년 1월 ~ 2004년 6월 : 미국 포틀랜드 주립대 교통계획학 (공학박사)  
 2004년 7월 ~ 2008년 10월 : 한국교통연구원 책임연구원  
 2008년 11월 ~ 현재 : 한국교통연구원 국가교통DB센터 연구위원/센터장