

연평균 일교통량 산정을 위한 다양한 크리깅 방법의 성능 평가에 대한 연구

하정아^{1*} · 오세창² · 허태영³

¹ 한국건설기술연구원 도로교통연구실, ² 아주대학교 교통시스템공학과, ³ 충북대학교 정보통계학과

A Study on Performance Evaluation of Various Kriging Models for Estimating AADT

HA, Jung Ah^{1*} · OH, Sei-Chang² · HEO, Tae-Young³

¹ Highway & Transportation Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

² Department of Transportation Systems Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

³ Department of Information Statistics, ChungBuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

Annual average daily traffic(AADT) serves as important basic data in the transportation sector. AADT is used as design traffic which is the basic traffic volume in transportation planning. Despite of its importance, at most locations, AADT is estimated using short term traffic counts. An accurate AADT is calculated through permanent traffic counts at limited locations. This study dealt with estimating AADT using various models considering both the spatial correlation and time series data. Kriging models which are commonly used spatial statistics methods were applied and compared with each model. Additionally the External Universal kriging model, which includes explanatory variables, was used to assure accuracy of AADT estimation. For evaluation of various kriging methods, AADT estimation error, proposed using national highway permanent traffic count data, was analyzed and their performances were compared. The result shows the accuracy enhancement of the AADT estimation.

연평균 일교통량(AADT)은 도로를 계획하고 설계하는데 있어 매우 중요한 기초자료로 활용된다. 상시 교통량 조사 자료는 연간 일교통량이 수집되어 AADT를 구할 수 있지만, 단기 교통량 조사(short-term traffic counts)의 경우 특정 기간에만 조사되므로 AADT를 추정하여야 한다. 본 연구에서는 교통량 자료가 시공간적 특성을 동시에 지닌다는 점에 착안하여 공간통계방법을 이용하여 AADT를 추정하였다. 공간통계모형 중 보편적으로 이용되는 크리깅 모형을 적용하였으며, 여러 가지 크리깅 모형을 비교분석하였다. 또한 사회경제지표를 반영하여 AADT 추정 정확도를 높이는 방법에 대하여 알아보았다. 모형의 비교평가를 위하여 일반국도 상시조사 자료를 이용하여 제안된 모형의 AADT 추정오차를 분석하고, 적용된 다양한 크리깅 모형의 성능을 비교하였다. 이러한 연구결과는 AADT 추정 정확도를 향상시킴으로써 적정 수준의 교통시설 공급과 서비스 수준 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Keywords

annual average daily traffic, co-kriging, kriging, permanent traffic counts, short-term traffic counts
연평균 일교통량, 공동크리깅, 크리깅, 상시조사, 단기 교통량 조사

* : Corresponding Author
yally36@kict.re.kr, Phone : +82-31-910-0202, Fax : +82-31-910-0338

Received 18 February 2014, Accepted 15 July 2014

서론

교통량(volume)이란 한 시간당 어느 지점을 통과하는 차량 대수를 말하며 조사된 교통량 자료는 도로의 계획, 설계, 운영 등에 폭넓게 이용되고 있다. 365일 일교통량의 평균으로 산출되는 연평균 일교통량(annual average daily traffic, AADT)은 도로 재정, 노선 계획, 포장설계, 사고분석 등에서 기초자료로 활용되고 있으며 AADT를 기준으로 투자개선계획 및 도로 구조물 설계가 이루어지고 있어 AADT의 추정이 잘못될 경우 예산낭비 등을 초래할 수 있다. AADT의 정확한 값을 산출하기 위해서는 365일 자료가 모두 수집되어야 하지만, 전체 조사지점의 일교통량 수집은 현실적으로 불가능하다. 현재 우리나라 교통량 조사는 상시조사(permanent traffic counts)와 단기 교통량 조사(short-term traffic counts)로 나누어 조사되고 있다. 상시조사는 고정식 조사장비를 이용하여 365일 자료를 모두 수집하는 조사인 반면, 단기 교통량 조사는 기본 교통량 자료가 필요하다고 판단되는 모든 구간에 대하여 광범위하게 실시하는 조사이다. 단기 교통량 조사는 1년에 1-5회 조사가 시행되고 있으며 정확한 AADT를 산출할 수 없어 AADT를 추정하여 활용되고 있다.

단기 교통량 조사 지점의 AADT를 추정하기 위하여 많은 연구가 있지만, 그 중 일반적인 방법은 미국 FHWA에서 발간된 TMG(Traffic Monitoring Guide)에서 권고하는 보정계수(adjustment factor)를 적용하는 방법이다. 이 방법은 단기 교통량 조사지점의 월 변동과 요일 변동을 고려하여 AADT를 추정하는 방법이다. 하지만 단기 교통량 조사지점은 대체적으로 고정식 조사장비가 설치되지 않은 지점이기 때문에 월 변동과 요일 변동을 일반적으로 구하기 어렵다. 이에 단기 교통량 조사지점의 월 변동과 요일변동이 유사한 상시조사 지점의 월 변동(monthly factor)과 요일 변동(daily factor)을 고려하여 AADT를 추정하는 방법이 주로 이용되고 있다. 하지만 이 방법은 단기 교통량 조사지점의 월 변동과 요일 변동이 유사한 상시조사 지점을 찾는 객관적인 방법이 없어 한계를 가지고 있다. 이러한 한계점은 교통량 자료의 공간적 특성을 임의로 판단하여 적용하기 때문으로 판단할 수 있다. 교통량 자료는 시계열적 특성과 공간적 특성을 동시에 가지고 있으나 기존 연구에서는 공간적 특성을 반영한 연구가 많지 않았으며 최근 연구가 진행되고 있었다. 이에 본 연구에서는 교통량 자료의

공간적 상관관계(spatial relation)를 분석하여 공간통계기법 중 가장 널리 이용되고 있는 크리깅(Kriging) 방법을 이용하여 단기 교통량 조사의 AADT를 추정하고 실제 AADT와 비교 분석하였다. 교통량 자료는 공간적 상관성과 시간적 연속성을 동시에 지니고 있으므로 본 연구에서는 크리깅 모형으로 공간적 상관성을 반영하고, 크리깅 모형 중 공동크리깅(cokriging)의 이차변수로 전년도 교통량을 적용하여 교통량 자료의 시간적 연속성을 반영하였다. 또한 설명력을 높이기 위하여 사회경제지표를 설명변수로 하여 AADT 추정오차를 줄이는 방안에 대하여 분석하고, 본 연구에서 적용된 다양한 크리깅 방법을 적용하여 각 방법의 특징을 살펴보았다.

공간통계의 개요

공간통계학은 공간적으로 분포하는 물리적 현상이나 자료의 분석에 적용할 수 있는 통계학의 한 분야이며, 주어진 문제에 대하여 합리적인 답을 줄 수 있도록 공간적으로 분포하는 자료를 수집하고 정리하며 이를 해석하여 신뢰성 있는 결론을 이끌어 내는 방법을 연구하는 과학의 한 분야이다. 공간분석에서 공간상관성을 알아보는 대표적인 방법은 베리오그램(variogram) 분석이며 이를 통해 공간자료의 공간적 특성을 파악할 수 있다. 베리오그램은 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$2\gamma(h) = E[(z(x) - z(x+h))^2]$$

베리오그램의 정의는 일정한 거리만큼 떨어진 자료들의 차이를 제곱한 값의 평균이며 자료의 공간적 상관관계를 나타내는 대표적인 척도이다. 거리가 가까우면 그 값들이 비슷하므로 베리오그램은 일반적으로 작게 나타나고 거리가 멀어질수록 그 값이 크게 나타난다. 여기서 h 를 분리거리(separation distance)라 하며 두 자료간에 떨어져 있는 거리를 말한다. 분리거리가 증가하면서 일정한 거리가 되면 자료값들은 아무런 관계를 나타내지 않게 되어 반베리오그램(semi-variogram)이 일정한 값을 나타내게 되는데 이를 문턱값(sill)이라 한다. 이와 같은 자료들이 상관관계를 보이는 최대분리거리를 상관거리(range)라 한다.

베리오그램이 동일한 변수에 대한 공간적 상호관계를 나타내는 반면 서로 다른 변수들간의 공간적 상호관계를 나타내는 인자 중 하나가 교차베리오그램(cross variogram)

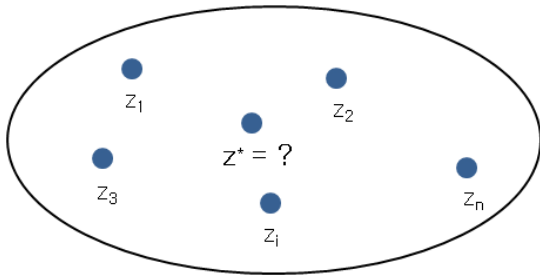


Figure 1. Estimated value and location $z^*(x)$ of given value

이다. 교차 베리오그램은 공동크리깅(cokriging)에 사용되며 공동크리깅을 위해서는 각각의 변수에 대한 베리오그램과 사용된 변수 상호 간의 교차 베리오그램이 필요하다.

크리깅(kriging)은 관심있는 지점에서 특성값을 이미 알고 있는 주위값들의 가중선형조합으로 예측하는 방법이다. 가중치는 일반적으로 예측오차를 최소로 하면서 추정식이 편향되지 않도록 결정한다. 이를 위해 공간적 상호관계를 나타내는 베리오그램이 사용되며 분리거리에 따라 공분산을 계산한다. 주어진 자료를 이용하여 크리깅 방법을 간단히 수식으로 정의하면 다음과 같다.

$$z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i$$

여기서, z^* 는 위치가 알려진 지점에서 크리깅을 이용한 추정치, z_i 는 이미 그 위치와 값을 알고 있는 주위의 자료값, λ_i 는 각 자료의 가중치, 그리고 n 은 크리깅 예측을 위해 사용한 자료의 총 개수이다.

크리깅 방법은 가중치를 구하는 방법에 따라 단순크리깅(Simple Kriging), 범용크리깅(Ordinary Kriging), 일반크리깅(Universal Kriging)으로 나누어지며 이차변수 사용여부에 따라 일변량크리깅과 공동크리깅(Co-kriging)으로 나누어진다. 또한 일반크리깅은 설명변수를 추가하여 예측력을 더욱 높일 수 있다.

교차검증(Cross Validation)은 크리깅을 통하여 예측된 자료만을 이용하여 본래의 자료값을 다시 예측하여 크리깅 방법의 타당성을 검증하는 기술이다. 교차검증은 크리깅 예측값 자체에 대한 평가가 아니라 예측값을 계산하기 위해 사용된 크리깅 방법, 즉 베리오그램, 상관거리(range) 그리고 사용된 자료수와 같은 인자의 사용 적절성에 대한 검증이다. 교차검증의 순서는 다음과 같다.

- ① 미지점에 크리깅 예측값 계산
- ② 주어진 본래 자료값 제거
- ③ 동일한 크리깅 조건으로 예측값을 이용하여 자료값 재예측
- ④ 자료값과 예측값을 비교하여 크리깅 방법의 타당성 평가

기존 AADT 추정방법

우리나라 일반국도 교통량조사는 상시조사와 단기 교통량조사로 나누어 시행되고 있다. 상시조사는 고정식 조사장비를 설치하여 1년 365일 교통량을 수집하여 AADT의 참값을 알 수 있지만 단기 교통량조사는 이동식 조사장비를 이용하여 1년에 1-5회 교통량이 수집되어 AADT의 참값을 알 수 없어 자료를 추정하여야 한다.

단기 교통량조사지점의 AADT를 추정하기 위하여 일반적으로 보정계수를 적용하는 방법이 이용되고 있다. 이 방법은 단기 교통량조사지점의 월별 요일별 변동을 반영하기 위하여 패턴이 유사한 상시조사 지점의 월보정계수와 요일보정계수를 적용하는 방법이다. 보정계수를 적용하기 위하여 Baek(2002)은 베이지안 샘플링과 신경망 판별함수를 이용한 교통량 패턴 그룹 기반으로 AADT 추정방법을 연구하였다. Lee et al.(2002)은 월별동요인으로 상시조사 지점을 그룹핑하고, 판별분석과 신경망분석으로 단기 교통량 조사 지점의 그룹을 할당하였다. Lim et al.(2004)은 AADT를 추정하기 위해 보정계수 그룹핑에 기초한 방법과 동일 대구간에 기초한 방법, 최단거리에 기초한 방법을 비교분석하였다. 분석결과 동일 대구간에 기초한 방법이 오차가 가장 적은 것으로 나타났다. 하지만 이 방법은 상시조사지점이 설치되어있지 않은 대구간에는 적용 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하여 Ha et al.(2012)은 기존의 보정계수 그룹핑에 기초한 방법을 변형하여 새로운 그룹핑 방법을 제시하였다. 어떤 지점의 보정계수를 적용할지에 대한 객관적인 기준을 제안하기 위하여 보정계수 그룹핑에 월보정계수와 요일보정계수, 시간대별 교통량 비율을 모두 고려하여 그룹핑하고 각 그룹의 평균 시간대별 교통량의 비율과 단기 교통량조사 지점의 시간대별 교통량의 비율을 적합도검정(goodness of fit test)을 이용하여 그룹을 배정하였다. 그 결과 동일 대구간의 상시조사 지점의 보정계수를 적용한 것보다 정확도가 높은 것으로 나타났다. 보정계수를 적용하는 방법

은 단기 교통량조사로 얻은 교통량 자료가 불량이거나 누락일 경우 AADT를 추정하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근 공간통계모형을 적용한 연구들이 있었다.

공간통계학은 시계열 분석(time series analysis)과 비슷한 개념으로 공간상관성을 모형에 추가하여 두 지점 사이의 거리가 매우 중요한 변수로 작용하며, 이 방법은 환경자료 및 기상자료, 교통자료 등 지리공간적으로 관측된 자료를 다루는 데 이용된다.

Eom et al.(2006)은 교통량 자료를 공간자료로 인식하고, 공간상관성을 고려하여 AADT를 추정하였다. Eom et al.의 연구에서는 일반 회귀분석(ordinary regression)과 공간회귀분석(geostatistical regression)을 이용하여 AADT를 추정하였고 추정값의 오차에 대하여 분석하였다. 공간모형을 적용하기 위한 변수로 도로특성과 인구통계적 특성, 지리특성, 교통량 조사 지점의 거리에 대한 공간정보를 활용하였다. 공간상관관계를 알아보기 위하여 베리오그램의 모수를 추정할 때 일반적으로 적용하는 유클리디안(Euclidean distance)거리를 이용하였으며, 분석결과 일반 회귀분석보다 공간 회귀분석이 AADT 추정값의 정확도가 더 높은 것으로 나타났다. Heo et al.(2007)은 Eom et al.(2006)의 연구에 이어 공간상관성을 알아보기 위해 조사지점간의 거리를 유클리디안 거리 대신 최단경로를 이용하여 공간회귀모형에 적용하여 기존 연구와 비교분석하였다. 공간예측방법으로 일반크리깅을 이용하였으며 교차검증(Cross validation)으로 최단경로 기반의 교통량 공간예측모형의 타당성을 제시하였다. Selby et al.(2011)은 Eom et al.(2006)이 이용한 유클리디안 거리 대신 도로망 기반 거리(network distance)를 적용하였으며 공간분석을 위하여 도로의 기능과 차로수, 제한속도, 인근 지점들의 속성 등을 적용하였다. 분석결과 유클리디안 거리를 이용하여 AADT를 추정한 것과 네트워크 기반 거리를 이용하여 AADT를 추정하는 방법에서 정확도가 유사하게 나타났으며 이는 텍사스의 교통량 조사 지점의 밀도가 높지 않아 한계가 있는 것으로 판단하였다.

Heo et al.(2008)은 단기 교통량 조사의 AADT 추정을 위하여 공간회귀분석(spatial regression)을 시도하였다. 일반회귀분석(ordinary regression)은 공간상관성이 포함되지 않아 공간상관성이 있는 자료를 일반회귀분석으로 분석할 경우 잔차(residual)가 독립이라는 가정이 위배된다. 공간회귀분석은 일반회귀분석 결과 잔

차를 다시 세미베리오그램(semi-variogram)으로 분석하여 공간상관성을 추가한 것이다. 분석을 위해 세미베리오그램의 변수로 쓰이는 거리는 유클리디안 거리를 적용하였고, 독립변수로 교통량 자료와 조사지점의 위치자료(도로등급, 노면상태, 제한속도, 차로수, 토지이용상태 등), 인구센서스 자료(인구, 사회경제지표, 운전자수, 직업분포 등)를 이용하였으며, 주성분분석으로 변수를 축약하였다.

대부분의 공간통계모형을 적용한 교통량자료 추정 연구에서 일반량 크리깅을 활용하였다. 일반량크리깅은 유출입로가 적어 공간적 변동이 적은 도로에서 적합한데, 우리나라 일반국도는 유출입로가 많고 지점간 거리가 평균 8km 수준이라 외국 교통량 자료 분석과 상이할 것으로 판단된다. 교통량 정확도를 높이기 위하여 Kim(2010)과 Ha et al.(2013)은 이차변수를 적용할 수 있는 공동크리깅 모형을 적용하여 교통량을 추정하는 방법을 분석하였다.

Kim(2010)은 도시 교통량 예측의 정확성을 높이기 위하여 이방성(anisotropic)을 적용한 일반크리깅 방법, 공간적 상관관계가 높은 주간고속도로를 이차변수로 설정한 공동크리깅 방법, 이방성을 적용한 공동크리깅 방법을 실시하여 분석결과와 실제 측정값과 비교하여 정확도를 검증하였고, 분석결과 이방성의 적용 하에 실시한 공동크리깅의 결과에서 가장 좋은 예측값이 나타났다. Ha et al.(2013)은 공동크리깅 방법을 적용하여 AADT를 추정하고 기존 보정계수를 적용하는 방법과 오차를 비교분석하였다. 분석을 위해 범용-공동크리깅과 일반-공동크리깅을 적용하였으며, 공간적 추세를 제거한 일반-공동크리깅의 추정오차가 가장 적은 것으로 분석하였다.

기존 연구를 살펴본 결과 교통량 자료는 공간상관성이 있어 공간통계모형을 적용하여 교통량 추정이 가능하다. 하지만 우리나라 교통량 자료를 이용하여 공간통계모형을 적용한 연구는 거의 없어 연구가 필요한 실정이었다. 교통량 자료는 도로의 특성에 따라 거리기반 민감도가 다르게 분석되어 도로의 특성을 반영하여 공간분석을 하는 것이 정확도가 높을 것으로 예상된다. 또한 공간적 추세를 제거한 일반-공동크리깅에 사회경제적 변수를 설명변수로 추가할 경우 AADT 추정의 정확도는 더욱 높아질 것으로 기대된다. 본 연구에서는 다양한 공간통계모형을 적용하여 그 결과를 비교분석하고, 그 특성을 살펴보았다.

AADT 추정모형

공간통계모형을 적용하여 AADT를 추정하기 위하여 본 연구에서는 다양한 크리깅 방법을 이용하였다. 일반 크리깅은 종속변수를 추정하기 위하여 위치정보 이외의 설명변수를 추가할 수 있다. 공동크리깅은 두 가지 이상의 변수의 선형조합을 사용하여 자료가 알려지지 않은 지점의 값을 예측하는 방법으로 일반량크리깅을 적용할 수 있다. 일반크리깅은 범용크리깅에서 가지는 단점을 보완한 크리깅 방법이므로 본 연구에서는 일반크리깅을 적용하였다. 일반크리깅은 설명변수를 추가할 수 있으며, 이차변수를 적용한 공동크리깅은 일반량크리깅보다 예측력이 높은 것으로 기존연구에서 분석되어 본 연구에서는 Table 1과 같은 크리깅 방법을 적용하였다.

다양한 크리깅 방법을 적용하여 AADT를 추정하고 방법의 비교평가를 위하여 본 연구에서는 일반국도 전체 지점의 교통량 자료를 활용하여야 한다. 크리깅 방법으로 예측값을 구할 경우 사용된 자료가 동일하다면 항상 동일한 계산결과를 얻으므로, 교차검증을 통해 주어진 본래의 값을 제거하여 자료값을 재예측하고 재예측한 값과 실제 참값을 비교하였다. 본 연구에서는 위 방법을 이용하여 크리깅 방법으로 AADT를 추정한 값과 실제 AADT를 비교하여 오차를 분석하고 신뢰구간을 구하여 신뢰도를 살펴보았다. 분석에 앞서 2010년 교통량과 2009년 교통량의 특성을 살펴본 결과 교통량분포가 모두 정규성을 따르지 않아 크리깅 방법 적용시 교통량을 자연로그로 변환하여 분석하였다.

Table 1. Various Kriging methods and Variables for each model

Kriging Model	Variables
Universal Kriging (UK)	traffic volume in 2010, coordinate of location
External Universal Kriging(EUK)	traffic volume in 2010, coordinate of location, explanatory variable*
CoKriging using Universal Kriging (CK_UK)	traffic volume in 2010, traffic volume in 2009, coordinate of location
CoKriging using External Universal Kriging(CK_EUK)	traffic volume in 2010, traffic volume in 2009, coordinate of location, explanatory variable*

* note : number of lanes, population, number of houses, enrollment of vehicle, employment and heavy vehicle are used for explanatory variable

비교평가

본 연구에서는 일반국도를 대상으로 다양한 크리깅 방법을 적용하여 AADT를 추정하고, 비교분석하였다. 2010년 일반국도 조사지점의 AADT를 추정하기 위하여 다양한 크리깅 방법을 적용하고 크리깅 방법을 통하여 교통량 자료에 대한 통계적 검증을 실시하였다. 또한 이차변수 적용이 가능한 공동크리깅 방법에서는 2010년 일반국도 조사지점의 AADT를 구하기 위하여 2009년 자료를 이차변수로 적용하였다. 2010년 일반국도 조사지점의 AADT를 구하기 위하여 2009년 AADT를 이차변수로 사용하기 위해서 2009년과 2010년에 모두 조사된 지점이어야 하므로 본 장에서는 2009년과 2010년의 교통량이 모두 조사된 1,583개 지점을 대상으로 분석하였다. 하지만 1,583개 지점 중 365일 자료가 모두 수집된 상시조사 지점만 AADT 참값을 가지고 있으므로 크리깅 방법의 오차분석에는 상시조사지점 312개 지점만 이용하였다. 또한 오차평가지표로 RMSE(Root Mean Squared Error), MAE(Mean Absolute Error), MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 활용하여 크리깅 방법 간 AADT와 AADT 추정값의 차이를 비교분석하였다.

1. 크리깅 방법 비교 분석

1) 일반크리깅(Universal Kriging, UK)

일반크리깅(Universal Kriging : UK)은 공간적 추세를 제거한 후 잔차를 통해 공간모형을 구축한 후 다시 재변환을 통해 원자료를 예측하는 방법이다. 이 방법을 일반국도 교통량 추정에 이용하기 위하여 우선 지점좌표와 교통량을 회귀분석을 이용하여 공간추세를 분석해야 한다. 독립변수를 위도와 경도로 하고 종속변수를 로그 변환한 교통량 자료로 하여 단순 선형회귀분석한 결과는 Table 2와 같다.

선형회귀분석결과 위도와 경도 모두 통계적으로 유의하게 나타나 남북, 동서 방향으로 공간적 추세가 있는 것

Table 2. Linear regression analysis in location and volume

parameters	nonstandard coefficient		t	p-value
	B	std.err		
constant	8.631	.156	55.3	<.0001
longitude	-1.55×10 ⁻⁶	.000	-4.4	<.0001
latitude	-1.96×10 ⁻⁶	.000	8.3	<.0001

을 알 수 있다. 그러므로 공간적 추세를 제거한 잔차를 이용하여 분석을 하여야 한다. 공간적 추세를 제거한 잔차를 이용한 UK로 AADT를 예측하고 교차검증을 통하여 AADT의 추정값을 산출한 후 상시조사 지점의 AADT 참값과 비교한 결과 MAPE는 51.6%로 오차가 상당한 것으로 나타났다.

2) 설명변수를 추가한 일반크리깅(External Universal Kriging, EUK)

설명변수를 추가한 일반크리깅(External Universal Kriging : EUK)은 UK를 적용할 때 교통량과 밀접한 연관이 있는 변수들을 추가하여 공간모형을 구축하여 공간적 추세를 제거한 후 잔차를 통해 공간모형을 구축하여 원자료를 예측하는 방법이다. 설명변수는 교통량 조사지점이 소속된 지역의 교통수요를 유발하는 인구수, 총주택수, 자동차 등록대수, 사회경제를 반영하는 고용율, 해당 지점의 교통특성을 설명할 수 있는 트럭비율, 교통시설 공급 수준을 반영하는 차로수를 기준으로 분석하였다. 설명변수 중 차로수와 트럭 비율은 조사지점마다 특정 값이 있으므로 사용 가능하지만 나머지 변수들은 해당 지역의 통계자료를 이용하여야 한다. 인구수와 총 주택수, 자동차등록대수, 고용율은 통계청 자료를 활용하였으며 이 중 인구수와 총주택수는 읍/면 단위, 자동차 등록대수와 고용율은 시/군 단위의 자료를 활용하였다.

설명변수가 교통량 자료를 설명하는지를 판단하기 위하여 분석에 앞서 다중회귀분석을 통하여 설명력을 판단하였다. 설명변수를 위도와 경도, 인구수, 총주택수, 차로수, 자동차등록대수, 고용율, 트럭비율로 하고 종속변수를

교통량으로 하여 다중회귀분석(multiple regression)한 결과는 Table 3과 같다.

분석결과 인구와 총주택수가 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타나 인구와 총주택수를 제외한 6개의 변수를 설명변수로 추가하여 분석하였다.¹⁾

EUK을 이용하여 AADT를 예측하고 교차검증을 통하여 AADT의 추정값을 산출한 후 상시조사 지점의 AADT 참값과 비교한 결과 MAPE는 42.7%로 나타났다. 일반크리깅(universal kriging)의 MAPE가 51.6% 수준으로 나타난 것과 비교하였을 때 설명변수를 추가하는 것이 AADT 추정오차를 줄이는 것으로 나타났지만, 42.7%의 오차는 상당한 수준으로 분석되어 AADT를 추정하는 방법으로 적용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

3) 일반-공동크리깅(Cokriging using Universal Kriging, CK_UK)

공동크리깅은 일변량 크리깅을 활용하는 방법으로 상관관계가 높은 자료를 2차변수로 적용할 경우 예측력이 좋아지는 것으로 알려져 있다. 공동크리깅을 이용한 방법을 적용하기 위하여 교통량 자료의 대표적인 특성인 공간적 상관성을 반영한 공간모형을 구축하고, 본 연구에서 적용하였던 일변량크리깅을 공동크리깅으로 적용하여 AADT를 추정하였다. 2010년 일반국도 조사지점의 AADT를 구하기 위하여 공동크리깅 방법 적용시 2010년의 교통량과 상관관계가 높은 2009년 교통량을 이차변수로 적용하였다.

CK_UK를 적용하여 AADT를 예측하고 교차검증을 통하여 AADT의 추정값을 산출한 후 상시조사 지점의 AADT 참값과 비교한 결과 MAPE는 6.578%로 나타났다. 이러한 결과는 UK와 비교하면 오차가 상당히 줄어든 것을 알 수 있다. CK_UK로 추정된 교통량의 신뢰구간(confidence interval)의 폭을 산출해본 결과 ln(AADT) 추정값의 3.3%로 나타났다(Figure 2 참조). Figure 2는 추정된 교통량과 실제 교통량의 산점도와 신뢰수준 95%에서 신뢰구간을 표시한 것이다. Figure 2를 보면 알 수 있듯이 $y=x$ 그래프에 인접해 있는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 추정의 정확도가 높은 것으로 판단할 수 있다.

Table 3. Linear regression analysis in volume and explanatory variable

parameters	nonstandard coefficient		t	p-value
	B	std.err		
constant	9.376	.314	29.9	<.0001
longitude	-7.6×10^{-7}	.000	-3.3	.001
latitude	3.1×10^{-7}	.000	1.9	.055
number of lanes	0.517	.016	31.5	<.0001
population	1.8×10^{-5}	.000	1.6	.121
number of houses	-5.2×10^{-5}	.000	-1.5	.127
enrollment of vehicles	1.96×10^{-6}	.000	8.0	<.0001
employment	-0.024	.004	-6.3	<.0001
heavy vehicle	-0.018	.002	-10.2	<.0001

1) 설명변수 중 위도도 유의수준 5%에서 유의하지 않게 나타났으나, 공간통계모형에서 위치 정보는 아주 중요한 변수이기 때문에 설명변수에 추가하였다.

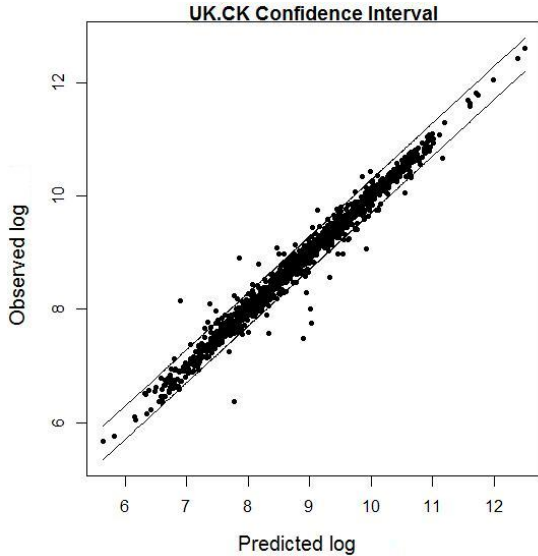


Figure 2. Confidential interval and Scatter plot in $\ln(\text{AADT})$ and estimated $\ln(\text{AADT})$ (CK_UK)

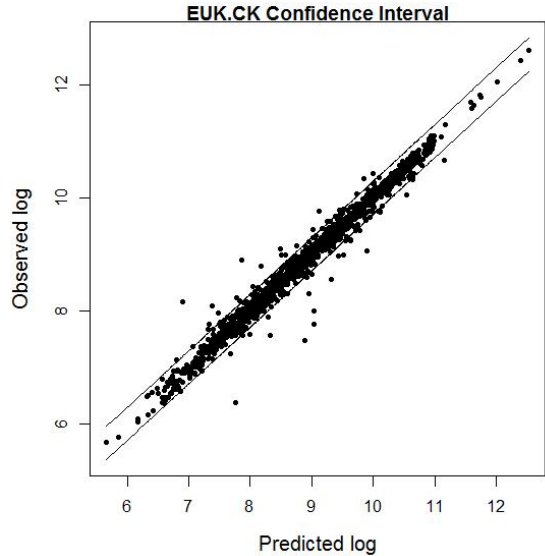


Figure 3. Confidential interval and Scatter plot in $\ln(\text{AADT})$ and estimated $\ln(\text{AADT})$ (CK_EUK)

4) 설명변수를 추가한 일반-공동크리깅(Cokriging using External Universal Kriging, CK_EUK)

EUK에서 적용한 설명변수를 적용하여 CK_EUK 방법으로 AADT를 예측하고 교차검증을 통하여 AADT 추정값을 산출한 후 상시조사 지점의 AADT 참값과 비교한 결과 MAPE는 6.575%인 것으로 나타났다(Figure 3 참조). 이러한 결과는 본 연구에서 적용한 크리깅 방법 중 MAPE가 가장 낮은 것으로 분석되었지만, 실제로 CK_UK와 오차가 크게 차이 나지 않는 것으로 분석되었다. 이는 설명변수와 별개로 공동크리깅에서 이차변수를 적용할 때 상관관계가 높은 이차변수를 적용하였기 때문에 AADT 추정값의 정확도가 유사하게 나타나는 것이라 판단된다.

2. 결과 비교분석

1절에서는 크리깅을 이용하여 AADT를 추정하기 위하여 다양한 크리깅 방법을 적용하였으며, 본 절에서는

각 모델별 AADT 추정오차를 비교 분석하였다. AADT 추정오차는 CK_EUK를 이용하였을 때 MAPE는 6.575%로 가장 적게 나타났으며, 이 모델에서 상관 거리는 25.9km인 것으로 분석되었다. Table 4는 312개 분석대상 지점을 각 방법으로 AADT를 추정하고 추정오차의 분포를 나타낸 것이다.

분석결과 일반크리깅 UK에서 설명변수를 추가할 경우 MAPE가 약 10% 정도 줄어드는 것으로 보아 설명변수를 추가할 경우 AADT 정확도가 향상되는 것으로 판단할 수 있다. 공동크리깅으로 AADT를 추정할 경우 일반 크리깅과 비교하였을 때 오차가 상당히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 설명변수를 추가할 경우 오차가 다소 줄어들긴 하지만 그 차이가 크지 않은 것을 알 수 있었다. 이는 이차변수로 적용된 전년도 교통량이 설명변수의 설명력을 내포하고 있기 때문이라 판단된다. Figure 4는 본 연구에서 적용한 네가지 크리깅 방법의 오차 누적분포를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 보면 알 수 있듯이 일반 크리깅보다 공동크리깅이 오차가 훨씬 적고, 설명변

Table 4. Error distribution for each kriging model

Error	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	20-30%	30% -	total	(unit: number of spots)		
								error average by spot		
								MAPE	RMSE	MAE
UK	18	19	36	40	75	197	312	51.6%	9,356	5,964
EUK	30	21	56	53	108	151	312	42.6%	8,920	4,961
CK_UK	173	86	204	98	208	6	312	6.578%	1,331	800
CK_EUK	176	78	214	87	219	6	312	6.575%	1,297	783

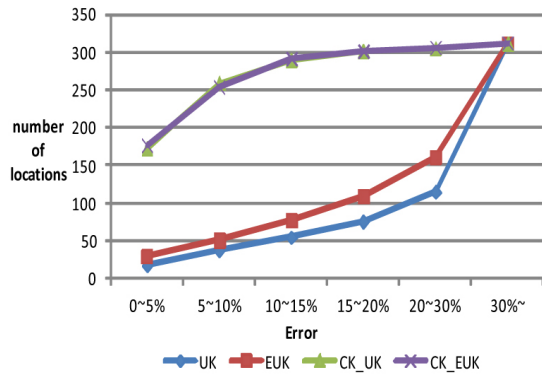


Figure 4. Accumulated distribution error for each method

수를 추가한 것이 그렇지 않은 것보다 오차가 낮아 AADT 추정시 설명변수를 추가한 공동크리깅이 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 AADT를 추정하기 위한 방법으로 다양한 크리깅 방법을 적용하고, 크리깅 방법의 결과를 비교분석하였다. 상시조사 지점은 AADT의 참값을 구할 수 있지만 단기 교통량조사에서는 AADT의 참값을 구할 수 없어 상시조사 지점의 보정계수를 적용하는 방법이 적용되고 있지만, 어떤 지점의 보정계수를 적용할 지에 대한 객관적 지표가 없을 뿐 아니라 자료가 불량이거나 조사되지 않았을 경우 AADT를 추정할 방법이 없다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 교통량 자료의 공간상관성을 이용하여 인근 조사자료를 기준으로 미조사 지점 또는 자료불량 지점의 교통량 자료를 추정할 수 있는 방법에 대하여 연구하였으며, 대표적인 공간통계방법인 크리깅 방법을 적용하였다.

공간통계모형을 적용한 기존 연구에서는 외국 교통조사 지점을 이용하여 일변량 크리깅 방법으로도 일정 수준의 정확도를 유지할 수 있었지만, 우리나라 일민국도 자료에 적용하기에 다소 무리가 있는 것으로 분석되었다. 크리깅 방법을 적용하기 위해서는 공간상관관계를 알아보는 베리오그램의 모수를 미리 추정하여야 한다. 베리오그램이 선택되면 관측되지 않은 미관측지점에 대한 공간적 예측을 수행하여야 한다. 크리깅 방법을 이용하여 AADT를 추정한 기존 연구들은 외국 교통자료를 이용하여 OK, UK 등 일변량 크리깅 방법을 적용한 것이 대부분이었으나, 우리나라 일민국도는 조사

지점이 평균 8km로 일변량 크리깅 방법을 적용할 경우 AADT의 신뢰도가 낮은 것으로 분석되어 새로운 방법이 필요하였다. 이에 범용-공동크리깅과 일반-공동크리깅을 적용한 연구가 국내에서 있었으며, 분석결과 일반-공동크리깅으로 추정할 경우 추정의 정확도가 향상되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 일반-공동크리깅으로 분석할 때 주변수를 설명할 수 있는 설명변수를 추가하여 기존 방법과 비교분석하였다. 분석결과 전년도 교통량을 이차변수로 하여 분석한 CK_EUK를 이용한 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다. 일변량 크리깅 중 설명변수를 추가하지 않은 UK와 설명변수를 추가한 EUK를 비교하였을 때 EUK의 AADT추정력이 높게 나타나 설명변수의 설명력이 영향력이 있는 것으로 나타났다. 하지만 공동크리깅에서 UK_CK와 EUK_CK를 비교하였을 때 EUK_CK의 설명력이 가장 좋은 것으로 분석되었으나, 일변량크리깅과 비교하였을 때 설명변수의 유무가 방법별로 크게 차이가 나지 않은 것으로 나타났다. 이는 공간적 상관관계가 높은 이차변수를 적용하였기 때문으로 판단되며, 지점의 특성을 잘 설명하는 설명변수를 적용할 경우 설명력은 높아질 것이라 예상된다. 본 연구에서는 위도와 경도, 인구수, 총주택수, 차로수, 자동차등록대수, 고용율, 트럭비율 등의 변수를 설명변수로 사용하였으나, 인구수와 총주택수 등과 같은 변수는 교통량 조사지점의 특성을 잘 반영하지 못하여 설명변수에서 제외되었다. 인구나 총주택수는 교통량 특성을 반영할 수 있는 지점의 자료가 아닌 행정구역 단위로 조사가 되어 설명력이 떨어지는 것으로 판단되며, 해당 지점의 특성을 설명할 수 있는 자료로 제시할 경우 교통량의 특성을 설명할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 교통량 자료의 시공간적 상관관계를 적용하여 현장 자료를 실증적으로 검증하였다는데 의미가 있다고 판단된다. 이러한 연구결과는 AADT 추정 정확도를 향상시킴으로써 적정 규모의 도로 설계, 서비스수준 향상 등 교통 관련 연구에 이바지할 것으로 기대된다. 하지만 일민국도가 각 지점별로 도로의 기능분류가 되어 있지 않고, 도로의 기능분류를 위한 설명변수로 차로수, 자동차등록대수, 고용율, 화물차비율 등 4가지 변수만 설명하여 한계를 지니고 있다. 추후 지역의 도로밀도 등과 같은 주변의 교통환경을 설명할 수 있는 변수를 활용하거나 도로 기능별 분류를 통하여 도로 특성을 고려한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Baek N. C. (2002), Traffic Pattern Groups-based Estimation of AADT using Bayesian Sampling and Neural Network Discriminant Functions, Seoul National University.
- Choi J. K. (2007), Geostatistics, Sigmappress.
- Doh T. W. (1997), Traffic Engineering Theory(1), ChungMunGak.
- Eom J. K., Park M. S., Heo T. Y., Huntsinger L. F. (2006), Improving the Prediction of Annual Average Daily Traffic for Nonfreeway Facilities by Applying a Spatial Statistical Method, Transportation Research Record, 1968, 20-29.
- FHWA (2001), Traffic Monitoring Guide.
- Ha J. A., Heo T. Y., Oh S. C., Lim S. H. (2013), Annual Average Daily Traffic Estimation Using Co-Kriging, Journal of Korea ITS society, 12(1), 1-14.
- Ha J. A., Oh S. C. (2012), Estimating Annual Average Daily Traffic Using Hourly Traffic Pattern and Grouping in National Highway, Journal of Korea ITS society, 11(2), 10-20.
- Ham H. B. (2009), Park T. R., An C. H., General Statistics, YeonHakSa.
- Heo T. Y., Eom J. K., Park H. M., Park C. K. (2008), Statistical Validation for Short Count Traffic Counts Using Spatial Regression Model, Journal of the Korean Data Analysis Society, 10(4), 1837-1848.
- Heo T. Y., Park M. S., Eom J. K., Oh J. S. (2007), A Study on the Prediction of Traffic Counts Based on Shortest Travel Path, Journal of Applied Statistics, 20(3), 459-473.
- Kim H. Y. (2010), A Geostatistical Approach for Improved Prediction of Traffic Volume in Urban Area, Journal of Korean Association of Geographic Information Studies, 13(4), 138-147.
- Lee S. J., Baek N. C., Kwon H. J. (2002), A Study on the Estimation of AADT by Short-term Traffic Volume Survey, J. Korean Soc. Transp., 20(6), Journal of Korean Society of Transportation, 59-68.
- Lim S. H., Oh J. S. (2004), A Study on Deriving of Adjustment Factor to Estimate AADT, Journal of Korea Society of Civil Engineers, 24(1D), 19-29.
- MOLIT (2001), Guidelines of Traffic volume survey.
- MOLIT (2009, 2010), Statistical Yearbook of Traffic Volume.
- Selby B., Kockelman K. (2011), Spatial Prediction of AADT in Unmeasured Locations by Universal Kriging, the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

- ☞ 주 작성자 : 하정아
- ☞ 교신저자 : 하정아
- ☞ 논문투고일 : 2014. 2. 18
- ☞ 논문심사일 : 2014. 5. 12 (1차)
2014. 6. 24 (2차)
2014. 7. 15 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2014. 7. 15
- ☞ 반론접수기한 : 2014. 12. 31
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필