

공동크리깅 모형을 활용한 일반국도 연평균 일교통량 추정

Annual Average Daily Traffic Estimation using Co-kriging

하 정 아*
(Jung-Ah Ha)

허 태 영**
(Tae-Young Heo)

오 세 창***
(Sei-Chang Oh)

임 성 한****
(Sung-Han Lim)

요 약

연평균 일교통량(AADT)은 교통 및 도로부문에 있어서 중요한 기초자료로 활용되지만 예산 제약 등의 한계로 인해 일부 지점에 대해서만 상시조사를 통해서 AADT를 산출하고 있으며, 대다수의 지점에서는 단기 교통량 조사에서 수집된 샘플 자료를 이용하여 AADT를 추정 활용하고 있다. 현재 단기 교통량 조사지점의 AADT 추정을 위하여 조사된 자료를 단순 평균하는 방법이 적용되고 있다. 기존 AADT 추정모형은 보정계수를 적용하는 방법이 대표적인 방법이나, 이 방법은 단기 교통량 조사 지점이 어떤 상시조사 지점의 보정계수를 적용할지에 대한 객관적인 방법이 없어 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 공간통계모형을 도입하여 교통량 자료의 공간상관관계를 분석하고, 크리깅 모형을 적용하여 AADT를 추정하는 방법에 대하여 알아보았다. 공간통계모형의 AADT 추정의 정확도를 기존 연구와 비교하기 위하여 동일 대구간의 상시조사 지점의 보정계수를 적용하는 방법(방법 1)과 보정계수 그룹핑을 이용하여 해당 그룹의 보정계수를 적용하는 방법(방법 2), 공동크리깅을 적용한 방법(방법 3)을 비교분석하였다. 분석결과 공동크리깅을 적용한 모형은 기존 모형에 비해 AADT 추정 정확도가 향상되는 것으로 나타났다.

핵심어 : 수시조사, 연평균일교통량, 보정계수, 크리깅, 공동크리깅

Abstract

Annual average daily traffic (AADT) serves the important basic data in transportation sector. Despite of its importance, AADT is estimated through permanent traffic counts (PTC) at limited locations because of constraints in budget and so on. At most of locations, AADT is estimated using short-term traffic counts (STC). Though many studies have been carried out at home and abroad in an effort to enhance the accuracy of AADT estimate, the method to simplify average STC data has been adopted because of application difficulty. A typical model for estimating AADT is an adjustment factor application model which applies the monthly or weekly adjustment factors at PTC points (or group) with similar traffic pattern. But this model has the limit in determining the PTC points (or group) with similar traffic pattern with STC. Because STC represents usually 24-hour or 48-hour data, it's difficult to forecast a 365-day traffic variation. In order to improve the accuracy of traffic volume prediction, this study used the geostatistical approach called co-kriging and according to their reports. To compare results, using 3 methods : using adjustment factor in same section(method 1), using grouping method to apply adjustment factor(method 2), cokriging model using previous year's traffic data which is in a high spatial correlation with traffic volume data as a secondary variable. This study deals with estimating AADT considering time and space so AADT estimation is more reliable comparing other research.

Key words : temporary traffic data, annual average daily traffic, adjustment factor, kriging, cokriging

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 전임연구원

** 공저자 : 충북대학교 정보통계학과 교수

*** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학부 교수

**** 공저자 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 수석연구원

† 논문접수일 : 2012년 12월 18일

† 논문심사일 : 2012년 12월 31일

† 게재확정일 : 2013년 1월 10일

I. 서 론

도로의 계획, 설계, 운영 등에 폭넓게 이용되고 있는 교통량 조사 자료는 사용목적에 따라 15분, 1시간, 일교통량으로 집계되어 사용되고 있다. 일교통량 단위로 집계된 교통량 자료는 도로 재정, 노선 계획, 포장설계, 통행료 징수, 사고 분석, 각종 평가 업무 등에서 기초자료로 활용되고 있다. 또한 연평균 일교통량(Annual Average Daily Traffic : AADT)을 기준으로 해당 도로의 장래 서비스수준을 예측하며 신설 및 확장될 도로의 기하구조가 결정되기 때문에 AADT를 정확히 산출하여야 도로예산 낭비를 줄일 수 있으므로 정확한 AADT 추정이 요구되고 있다.

현재 국토해양부에서 시행하고 있는 교통량조사는 상시조사(permanent traffic counts : PTC)와 단기교통량 조사(short-term traffic counts : STC)¹⁾로 나누어 조사되고 있다. PTC는 특정 지점에 고정식 조사장비를 설치하여, 1년 이상의 장기간에 걸쳐 그 특정지점을 통과하는 차량 수를 측정하고 기록하는 조사이다. STC는 기본 교통량 자료가 필요하다고 판단되는 모든 구간에 대하여 광범위하게 실시하는 조사로서 전체적인 도로 이용 상황을 파악하기 위한 조사이다.

정확한 AADT 산출을 위해서 모든 조사지점에 고정식 조사장비를 설치하는 것이 이상적이나 예산 등의 문제로 주요 지점에만 고정식 조사장비로 교통량을 조사하고, 나머지 지점에 대해서는 이동식 조사 장비를 이용하거나 인력식으로 STC 자료를 수집하고 있다. 이러한 STC로는 정확한 AADT 산출이 불가능하며 AADT를 추정하여 활용하여야 한다.

연 1~5회 조사된 자료를 이용하여 지점의 AADT를 추정하는 방법은 많은 연구가 있으며 대표적인 방법은 미국 FHWA에서 발간된 TMG(Traffic Monitoring Guide)에서 권고하는 보정계수(adjustment factor)를 적용하는 방법이다. 이 방법은 365일 자료를 수집할 수 없는 조사지점에 대해서 패턴이 유사한 PTC

의 보정계수를 적용하여 AADT를 추정하는 방법이며, 우리나라 국토해양부에서 발간된 도로교통량 조사지침에도 유사한 방법으로 수록되어 있다. 하지만 이 방법을 적용하여 AADT를 추정하려면 STC와 유사한 교통패턴을 갖는 PTC를 찾아내는 것이 매우 중요하지만 해당 PTC 지점을 찾는 객관적 방법이 없다는 한계를 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 교통량 자료의 공간적 상관관계를 분석하여 교통량 조사지점에서 교통량 자료의 공간상관성(Spatial Correlation)을 확인하고, 공간적으로 네트워킹된 교통량 조사지점에 대해 공간예측방법인 크리깅(Kriging) 모형을 이용하여 단기교통량 조사의 AADT를 추정하고 실제값과 비교·분석하였다. 교통량 자료는 공간적 또는 시간적으로 패턴을 가지는 경향이 있어 본 연구에서는 조사되지 않은 지점의 전년도 자료, 인근 지점의 전년도 자료와 해당 연도 자료를 이용하여 조사되지 않은 지점의 해당 연도 자료를 추정하는 방법에 대하여 알아보았다. 공간통계모형 분석을 위해 통계 컴퓨팅 전문언어인 'R'을 이용하였으며 전년도 자료와 해당 연도 자료의 관계를 반영할 수 있는 공간예측 모형인 공동크리깅(Co-kriging) 모형을 적용하였다. 기존 연구에서는 대부분 STC를 통해 얻은 자료가 양호할 경우 AADT 추정이 가능하지만 본 연구에서는 조사가 되지 않았거나 조사된 자료가 불량일 경우에도 AADT 추정이 가능하여 본 연구의 활용도가 높을 것으로 기대된다.

II. 선행연구 고찰

AADT의 정확한 값을 얻을 수 없는 STC에 대하여 AADT를 추정하기 위하여 많은 연구가 이루어져 왔으며 일반적으로 패턴이 유사한 PTC의 보정계수를 적용하는 방법을 적용해왔다. 이러한 보정계수를 이용한 AADT 추정방법은 Traffic Monitoring Guide에 근간을 두고 있으며, 월보정계수(MF_i) 및 요일보정계수(DF_{ij}), AADT 추정값은 다음 식에 의해 산출된다.

1) 본 논문에서는 상시조사를 PTC, 단기 교통량 조사를 STC라고 표현하였다.

$$MF_i = \frac{i\text{월의 월평균 일교통량}(ADT_i)}{\text{연평균 일교통량}(AADT)}$$

$$DF_j = \frac{j\text{요일의 평균 일교통량}(ADT_j)}{\text{연평균 일교통량}(AADT)}$$

$$\widehat{AADT} = Volume \times \frac{1}{MF_i} \times \frac{1}{DF_j}$$

임성한(2004) 등은 AADT를 추정하기 위해 보정계수 그룹핑에 기초한 방법과 동일 대구간(section)에 기초한 방법, 최단거리에 기초한 방법을 비교 분석하였다. 분석결과 동일 대구간에 기초한 방법이 오차가 가장 적은 것으로 나타났다. 하지만 현재 상시조사 지점이 설치된 대구간은 전체 대구간의 60%이며 STC의 40%가 적용할 수 있는 PTC가 없어 AADT를 추정하기에 어려움이 있다.

하정아(2012) 등은 STC의 AADT 추정을 위하여 기존의 보정계수 그룹핑에 기초한 방법을 변형하여 새로운 그룹핑 방법을 제시하였다. 보정계수를 적용하는 기존 연구들의 문제점은 STC를 어떤 그룹에 배정하는 것이 좋은지 객관적인 방법이 없다는 것이다. 그리하여 보정계수 그룹핑에 월보정계수와 요일보정계수, 시간대별 교통량 비율을 모두 고려하여 그룹핑을 하고, 각 그룹의 평균 시간대별 교통량의 비율과 STC의 시간대별 교통량의 비율을 적합도검정(Goodness of fit)을 이용하여 그룹을 배정하였다. 분석결과 동일대구간의 PTC의 보정계수를 적용한 것보다 정확도가 높은 것으로 나타났다.

미국 FHWA에서 발간한 TMG에서는 조사시기에 따라 교통량에 차이가 있으므로 이러한 편의(bias)를 없애기 위하여 계절 보정계수(seasonal adjustment factor)의 사용이 필수적이라고 하였다. 보정계수를 적용하기 위하여 보정계수 산출이 가능한 PTC를 그룹핑하고, 해당 그룹의 보정계수를 적용하여 AADT의 오차를 줄여야 한다고 주장하였다.

공간상의 고정된 위치에서 얻은 측정값들의 집합은 지리통계자료로 활용되고 있으며, 조사 지점으로부터 수집된 교통량 자료는 연속적인 공간상의 고정된 위치에서 얻은 측정값이므로 지리통계자료로 볼 수 있다. 이러한 지리통계자료는 공간통계모

형을 적용할 수 있으며 교통량 자료의 추정을 위하여 공간통계모형을 활용한 연구가 외국에서 활발하게 진행되고 있었다.

Eom J.K.(2006) 등은 일반 회귀분석과 공간회귀분석을 이용하여 AADT를 추정하였고 추정값의 오차에 대하여 분석하였다. 공간분석을 위하여 베리오그램 모델로는 가우시안과 지수모델, 구형모델을 이용하였으며 크리깅 방법은 일반크리깅을, 모수추정방법으로는 최소제곱법과 가중된 최소제곱법, 최대우도법, 제한된 최대우도법을 이용하여 비교분석하였다. 분석결과 일반 회귀분석보다 공간 회귀분석이 AADT 추정값의 정확도가 더 높은 것으로 나타났다. 특히 관심있는 구역 내에 교통량 조사지점이 많을수록 AADT 추정값의 정확도는 더 높아지고, 특히 AADT 값이 적은 지점은 공간회귀분석의 정확도가 훨씬 높게 나타났다.

허태영(2007) 등은 Eom(2006)의 연구에 이어 공간상관성을 알아보기 위해 조사지점간의 거리를 유클리디안 거리 대신 최단경로를 이용하여 공간회귀모형에 적용하여 기존 연구와 비교분석하였다. 공간예측방법으로 일반크리깅을 이용하였으며 교차검증으로 최단경로 기반의 교통량 공간예측모형의 타당성을 제시하였다.

김호용(2010)은 도시 교통량 예측의 정확성을 높이기 위하여 공간통계모형 중 다양한 크리깅 모형을 적용하여 비교분석하였다. 미국 미주리 주의 세인트루이스를 대상으로 하여 이방성(anisotropic)을 적용한 일반크리깅 모형, 공간적 상관관계가 높은 주간고속도로를 이차변수로 설정한 공동크리깅 모형, 이방성을 적용한 공동크리깅 모형을 실시하여 분석결과와 실제 측정값과 비교하여 정확도를 검증하였다. 분석결과 이방성의 적용 하에 실시한 공동크리깅의 결과에서 가장 좋은 예측값이 나타났다.

Brent Selby(2011) 등은 텍사스의 도로를 대상으로 공간적 상관성이 적용되지 않은 회귀분석과 일반크리깅을 비교분석하여 AADT를 추정하였다. Eom J.K.(2006) 등이 이용한 유클리디안 거리 대신 Brent는 도로망 기반 거리(network distance)를 적용하였으며 분석결과 교통량이 많거나 대상지점 인근

에 참고지점의 거리가 가까울수록 오차가 적게 나타났다. 하지만 유클리디안 거리를 이용하여 AADT를 추정한 것과 네트워크 기반 거리를 이용하여 AADT를 추정하는 방법에서 정확도가 유사하게 나타났다. 이는 텍사스의 교통량 조사 지점의 밀도가 높지 않아 한계가 있는 것으로 판단하였다.

기존 연구를 살펴본 결과 교통량 자료는 공간상 관성이 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. 각 나라별로 교통조사 시스템과 교통 특성이 다르기 때문에 우리나라 교통조사 시스템과 교통 특성으로 공간통계모형을 적용할 경우 AADT 예측력이 높은지에 대한 새로운 분석이 필요하다.

III. 공간통계모형 개요

자료 분석을 위해서는 먼저 자료의 특성을 살펴 보아야 한다. 교통량 자료는 시간대별 방향별로 매일 또는 매년 수집되는 자료로 시간적 특성을 가지고 있으며, 도로상의 움직임은 차량의 대수를 조사하기 때문에 공간적 특성도 동시에 지니고 있다. 그러므로 교통량 자료를 추정할 때에는 수집된 정보들 간의 시공간적 상호관계를 모두 살펴보아야 한다. 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[5].

1. 베리오그램

베리오그램(Variogram)은 일정한 거리에 있는 자료들의 유사성을 나타내는 척도로 다음과 같은 식

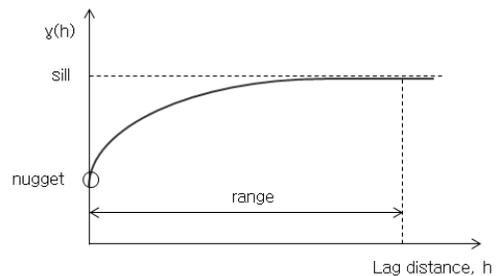
으로 정의된다.

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

베리오그램은 일정거리 h 만큼 떨어진 두 자료들 간의 차이를 제공한 것의 기댓값이다. 따라서 거리가 가까우면 그 값들이 비슷하므로 베리오그램은 일반적으로 작게 나타나고 거리가 멀어질수록 그 값이 크게 나타난다. 여기서 h 를 분리거리라 하며 두 자료간에 떨어져 있는 거리를 말한다. 분리거리 h 만큼 떨어진 자료수가 n 개일 때, 반베리오그램은 다음 식으로 계산된다.

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

분리거리가 증가하면서 일정한 거리가 되면 자료값들은 아무런 관계를 나타내지 않게 되어 반베리오그램이 일정한 값을 나타내게 되는데 이를 문턱값(sill)이라 한다. 이와 같은 자료들이 상관관계를 보이는 최대분리거리를 상관거리(range)라 한다. 상관거리에서 반베리오그램이 가지는 일정한 값을 문턱값이라 하고 문턱값은 자료의 분산을 의미한다.



〈그림 1〉 일정한 문턱값을 갖는 전형적인 반베리오그램 (Fig. 1) Semivariogram which has a constant sill

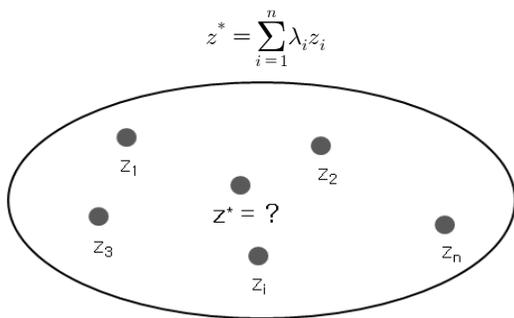
이론적으로 분리거리가 0이면 베리오그램의 정의에 의하여 그 값이 0이지만, 실제 계산된 실험적 베리오그램을 이용하여 이론적 베리오그램을 찾아내는 경우에는 분리거리 0에서도 베리오그램이 상수값을 나타내는데 이를 너깃(nugget)이라 한다. 베리오그램은 지수모델, 구형모델, 가우스모델 등이

있으며 본 연구에서는 2010년 교통량으로 분석한 결과 가장 적합한 것으로 분석된 지수모델을 적용하였다.

베리오그램이 동일한 변수에 대한 공간적 상호관계를 나타내는 반면 서로 다른 변수들간의 공간적 상호관계를 나타내는 인자 중 하나가 교차베리오그램(cross variogram)이다. 교차 베리오그램은 공동크리깅에 사용되며 공동크리깅을 위해서는 각각의 변수에 대한 베리오그램과 사용된 변수 상호간의 교차 베리오그램이 필요하다. 즉 하나의 주 변수와 두 개의 추가 변수가 공동크리깅에 사용되었다면 세 개의 베리오그램과 두 개의 교차 베리오그램이 필요하게 된다.

2. 크리깅

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 모델을 간단히 수식으로 정의하면 다음과 같다.



(그림 2) 주어진 자료값의 위치와 예측지점값 $z^*(x)$
(Fig. 2) Estimated value and location $z^*(x)$ of given value

여기서, z^* 는 위치가 알려진 지점에서 크리깅을 이용한 예측치, 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 모델은 가중치를 구하는 방법에 따라 단순크리깅(Simple Kriging), 범용크리깅(Ordinary Kriging), 일반크리깅(Universal Kriging)으로 나누어지며 이차변수 사용여부에 따라 일변량 크리깅(단순크리깅, 범용크리깅, 일반크리깅)과 공동크리깅(Co-kriging)으로 나누어진다. 단순크리깅은 단순히 예측오차를 최소로 하는 가중치를 구하여 미지값을 예측하는 방법이며 이 방법은 추정식이 편향되어 추정식의 평균이 모집단의 평균과 일치하지 않는다는 단점이 있다. 범용크리깅은 단순크리깅의 단점을 보완하여 가중치의 합이 1이라는 조건을 추가하여 크리깅 가중치를 산출하는 방법이다. 일반크리깅은 크리깅 모델 적용시 공간적으로 변화하거나 특정한 경향을 갖는 모형에서 공간적 추세를 제거한 후 잔차를 통해 공간모형을 재구축하는 방법이다.

공동크리깅은 두 가지 이상의 변수의 선형조합을 사용하여 자료가 알려지지 않은 지점의 값을 예측하는 크리깅을 공동크리깅이라 한다. 이 때 예측하고자 하는 변수를 주변수(primary variable)라 하며 이차변수는 여러 개가 될 수 있다. 공동크리깅의 일반식은 다음과 같다.

$$z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i + \sum_{j=1}^{n_s} \sum_{k=1}^{m_j} \lambda_{jk} u_j(x_{jk})$$

여기서, z 는 주변수, n 은 사용된 주변수의 총 자료수, n_s 는 사용된 이차변수의 총개수, u_j 는 j 번째 이차변수, m_j 는 j 번째 이차변수의 총 자료수, λ 는 가중치, 그리고 x 는 각 자료의 위치이다. 따라서 주변수 값을 예측하기 위하여 총 $(n_s + 1)$ 의 변수와 $(n + n_s * m_j)$ 개의 자료가 공동크리깅에 사용된다.

공동크리깅의 주변수와 이차변수는 반드시 공간적 상호관계가 있어야 하며 공동크리깅을 통해 이차변수들을 사용함으로써 불확실성을 줄일 수 있다. 공동크리깅을 사용하기 위해서는 반드시 각 변수들

에 대한 베리오그램이 있어야 하고 주변수와 각 이차변수들 사이의 교차 베리오그램이 필요하다.

3. 교차검증

교차검증은 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 모형, 즉 베리오그램, 상관거리, 유효반경, 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

교차검증을 위해서 참값과 참값에 대한 예측값을 바로 비교할 수 있다. 이를 위한 쉬운 방법은 두 값을 그래프로 그려서, 기울기가 1인 직선상에서 벗어나는 정도를 보고 평가할 수 있다. 교차검증이 잘 된 경우, 즉 사용된 크리깅 모형이 타당한 경우에는 산점도가 기울기 1인 직선 주위에 고르게 분포해야 한다.

IV. 분석방법

본 연구에서는 교통량 자료의 AADT 추정을 위하여 2010년 일반국도 지점의 교통량을 활용하였다. 공간통계모형을 적용하기 위해서는 공간상에 존재하는 많은 자료가 필요하므로 일반국도 PTC 자료와 STC 자료를 모두 활용하였다. 하지만 AADT의 참값은 PTC 자료로만 산출 가능하므로 PTC 일부 지점만을 대상으로 오차를 분석하고 타 모형과 비교분석하였다. 기존 연구에서 적용한 AADT 추정방법(방법 1, 방법 2)과 본 연구에서 AADT를 추정한 방법(방법 3)은 다음과 같다.

- [방법 1] 동일대구간 내 PTC의 보정계수를 적용하는 방법
- [방법 2] 보정계수 그룹핑을 이용하여 그룹을 할당하고, 해당 그룹의 보정계수를 적용하는 방법
- [방법 3] 공간통계모형을 이용하여 AADT를 추정하는 방법

동일대구간 내 PTC의 보정계수를 적용하는 방법으로 AADT 추정오차를 산출하기 위해서는 하나의 대구간에 PTC가 2개 이상 설치된 지점이여야 분석 가능하다. 만약 A라는 대구간에 a와 b의 상시조사 장비가 있다고 가정하면, a지점의 AADT를 모른다고 가정하고 b지점의 월보정계수와 요일보정계수를 a지점에 적용하여 a지점의 AADT를 추정한 뒤 실제 a지점의 AADT와 비교를 하여야 오차를 알 수 있다. 또한 PTC가 설치되어 있더라도 AADT의 참값을 모를 경우 예측값과 참값을 비교할 수 없으므로 365일 일교통량이 모두 수집된 지점을 대상으로 하여야 한다. [방법 1]과 본 연구에서 제시한 방법을 비교하기 위해서는 동일 대구간 내에 PTC가 2개 이상 설치된 지점을 대상으로 분석하여야 하므로 본 연구에서 기존연구와 비교분석은 2010년 일반국도 PTC 중 대구간 내에 PTC가 2개 이상 설치된 76개 지점을 대상으로 분석하였다.

1. 동일대구간의 보정계수를 적용하는 방법

동일대구간의 보정계수를 적용하는 방법은 도로교통량 조사지침에서 제안한 방법이며 대구간 설정 원칙은 다음과 같다.

- 대구간 설정원칙 : 일반국도 이상의 교차로 구간(단, 교통량이 매우 많은 지방도와의 교차구간 포함. 도시부를 통과할 경우 도시부 내의 구간은 제외함)
- 소구간 설정원칙 : 지방도 이상의 교차로 구간(단, 교통량이 많은 시군도 포함), 위탁시설 및 휴양지를 통과하는 일반국도로 교통 흐름의 변화가 매우 심한 지점의 구간

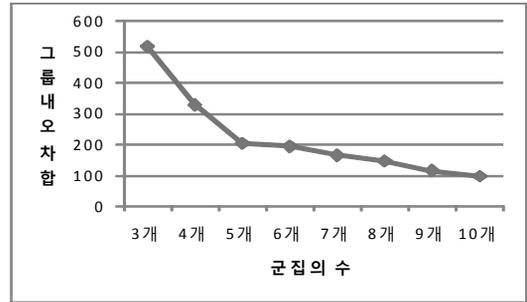
2010년 대구간 수는 총 620개이며, 그 중 상시조사 장비가 설치된 대구간은 273개 대구간에 불과하며 그 중 상시조사 장비가 2개 이상 설치된 대구간은 36개 대구간, 총 76개의 지점으로 나타났다. 76개의 지점 중 12개 지점이 동일 대구간 내 PTC가 3개가 있어 참고할 PTC는 2개인 것으로 나타나 해당 지점과 참고할 지점을 한 쌍으로 보았을 때 PTC는 총 88개 쌍으로 이루어졌다. 즉 12개 지점이 중복된 88개 지점의 AADT를 추정할 수 있으며, 추정된 AADT와 실제 AADT의 오차를 분석하였다.

2. 보정계수 그룹핑을 이용한 방법

보정계수 그룹핑을 이용한 방법은 상시조사 지점의 보정계수들을 기준으로 유사한 그룹끼리 할당하여 각 그룹별로 월보정계수, 요일보정계수, 시간대별 교통량의 비율을 산출하여 수시조사로부터 수집된 시간대별 교통량의 비율을 각 그룹의 시간대별 교통량 비율과 적합도 검정(Goodness of test)을 이용하여 그룹을 할당하는 방법이다.

이 방법은 먼저 기존 상시조사 지점의 월보정계수, 요일보정계수, 시간대별 교통량 비율을 기준으로 요인분석을 하여 변수를 축약하고, 축약한 변수

를 기준으로 군집분석을 하여 각 군집별 월보정계수와 요일보정계수, 시간대별 교통량 비율을 산출한다. 2010년 교통량 자료를 이용하여 군집분석한 결과 각 군집별 그룹내 오차는 다음 그림과 같으며 군집의 개수는 5개가 적당한 것으로 판단할 수 있다.



〈그림 3〉 군집의 개수에 따른 그룹 내 오차
(Fig. 3) Within group error between the number of group

각 군집별 보정계수는 <표 1-3>과 같다. 군집을 나누고 해당 군집의 월보정계수와 요일보정계수, 시간대별 교통량 비율을 산출한 다음 수시조사 지점의 시간대별 교통량 패턴이 어느 군집의 시간대

〈표 1〉 군집별 월보정계수
(Table 1) Monthly adjustment factor for each cluster

(단위 : %)													
Group	N	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
cluster1	114	80.9	91.1	88.1	100.2	107.1	99.2	105.8	120.5	110.2	108.5	103.3	84.6
cluster2	110	85.6	94.5	95.0	102.6	104.2	100.9	102.3	104.7	106.3	105.6	105.0	93.1
cluster3	71	80.4	91.5	91.6	104.3	107.6	103.7	104.0	109.7	109.0	106.4	105.2	86.5
cluster4	1	92.3	94.4	101.6	108.1	101.2	104.7	101.7	98.9	99.1	105.4	104.7	87.9
cluster5	4	65.0	71.2	70.6	87.6	111.6	98.7	142.5	202.4	102.1	89.2	86.8	69.0

〈표 2〉 군집별 요일보정계수
(Table 2) Daily adjustment factor for each cluster

(단위 : %)								
Group	N	SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
cluster1	114	113.76	94.25	91.86	91.80	91.38	100.58	116.35
cluster2	110	94.21	99.57	98.68	98.54	98.43	103.79	106.69
cluster3	71	90.44	101.50	100.09	99.70	99.63	104.78	103.75
cluster4	1	53.27	111.26	113.09	111.92	112.22	114.25	83.67
cluster5	4	178.15	77.30	74.47	74.82	74.20	85.85	135.54

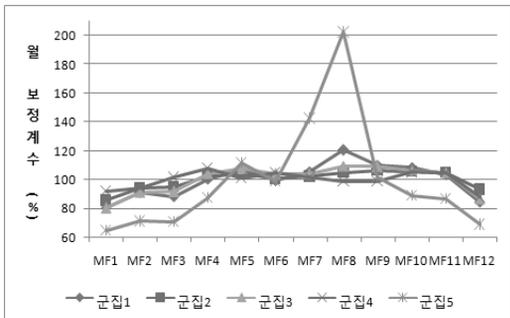
〈표 3〉 군집별 시간대별 교통량 비율
 〈Table 3〉 A percentage of hourly volume for each group

Group	N	hour0	hour1	hour2	hour3	hour4	hour5	hour6	hour7	hour8	hour9	hour10	hour11
		hour12	hour13	hour14	hour15	hour16	hour17	hour18	hour19	hour20	hour21	hour22	hour23
cluster1	114	0.80	0.54	0.42	0.41	0.58	1.17	2.77	4.89	6.31	5.82	6.46	6.59
		6.31	6.91	7.21	7.22	7.17	7.27	7.07	4.75	3.43	2.69	1.92	1.28
cluster2	110	1.03	0.66	0.49	0.45	0.57	1.17	3.20	6.66	7.43	5.61	5.63	5.51
		5.20	5.77	6.04	6.08	6.22	7.01	7.74	5.56	4.20	3.50	2.57	1.71
cluster3	71	0.69	0.46	0.36	0.36	0.50	1.07	2.84	5.65	7.18	6.21	6.54	6.50
		6.13	6.82	7.06	6.99	6.93	7.18	7.15	4.61	3.30	2.57	1.77	1.13
cluster4	1	0.56	0.40	0.36	0.50	0.86	1.44	3.75	8.56	10.56	5.58	6.24	6.21
		5.63	5.78	5.97	5.84	5.62	6.97	8.75	3.59	2.48	2.02	1.43	0.90
cluster5	4	0.55	0.34	0.24	0.21	0.38	0.68	1.81	3.25	4.00	5.35	6.59	7.59
		7.74	8.41	8.92	8.94	8.58	8.00	6.42	4.46	3.04	2.08	1.45	0.99

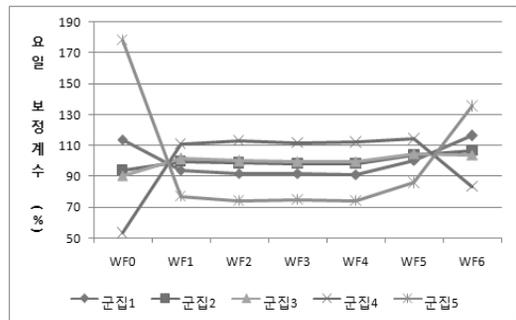
(단위 : %)

별 교통량 패턴과 가장 유사한지 적합도검정을 이용하여 분석하여 어느 군집과 가장 유사한지를 판단한다. 마지막으로 수시조사 자료의 일 교통량을 가장 유사하다고 판단된 군집의 월보정계수와 요일 보정계수를 적용하여 AADT를 추정하였다. 각 군집별 월보정계수와 요일보정계수, 시간대별 교통량 패턴은 다음과 같다.

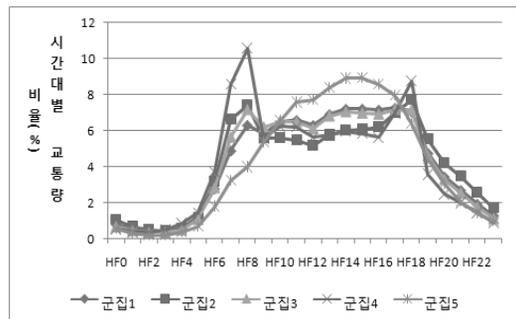
그래프를 살펴보면 군집 1과 군집 5에 해당되는 지점이 관광부 특성을 가지는 것으로 판단되며, 군집 2와 군집 4는 도시부 특성을 가지는 것으로 보인다. 또한 군집 3은 지방부 특성을 가지는 것으로 보인다. 그 중 군집 5는 관광부 특성이 특히 강한 지점이며, 군집 4는 도시부 특성이 강한 지점이라 따로 분류된 것으로 판단된다.



〈그림 4〉 군집별 월보정계수
 〈Fig. 4〉 Monthly adjustment factor for each group



〈그림 5〉 군집별 요일보정계수
 〈Fig. 5〉 Daily adjustment factor for each group



〈그림 6〉 군집별 시간대별 교통량 비율
 〈Fig. 6〉 A percentage of hourly volume for each group

3. 공동크리깅을 이용한 방법

일반국도 교통량 자료를 추정하기 위하여 본 연구에서는 공간통계모형 중 공동크리깅을 적용하였다. 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, 범용크리깅, 일반크리깅을 이용한 공동크리깅으로 AADT를 추정하였다. 2010년 일반국도 조사지점의 AADT를 구하기 위하여 공동크리깅 모형 적용시 2010년의 교통량과 상관관계가 높은 2009년 교통량을 이차변수로 적용하였다. 또한 2010년 교통량과 2009년 교통량의 정규성검정결과 모두 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타나 본 연구에서는 교통량 자료를 모두 로그변환하여 분석하였다. 본 절에서 공동크리깅을 적용하기 위하여 2009년과 2010년의 AADT 참값이 모두 있는 상시조사 지점 312개를 대상으로 분석하였다.

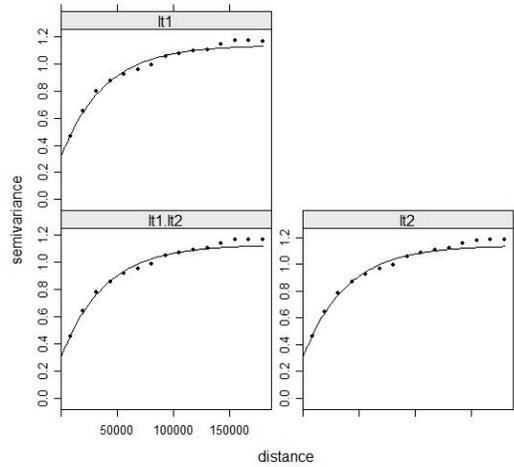
1) 범용-공동크리깅

범용-공동크리깅으로 분석하기 위하여 2010년과 2009년 자료의 베리오그램과 교차베리오그램을 그린 것은 다음과 같다.

<표 4> 범용-공동크리깅의 베리오그램 모수
<Table 4> Parameter of variogram in Ordinary-Cokriging

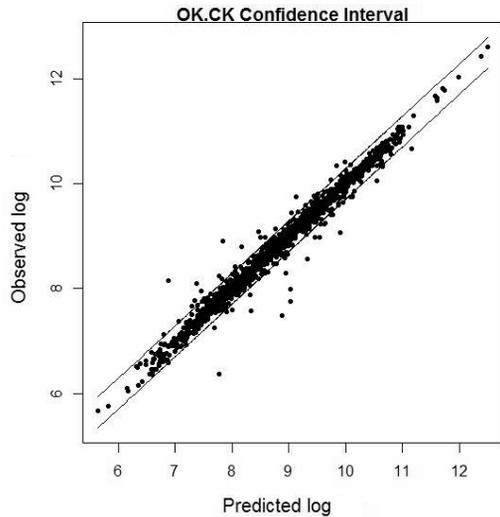
Parameter	Nugget	Sill	Range
2010	0.318	0.821	38,580.71
2009	0.308	0.832	38,580.71
Cross Variogram	0.303	0.825	38,580.71

범용-공동크리깅을 적용하여 AADT를 예측하고 교차검증을 통하여 AADT 추정값을 산출한 후 상시조사 지점의 AADT 참값과 비교한 결과 상시조사 전체 지점(312지점)을 기준으로 분석한 경우 MAPE는 6.60%인 것으로 나타났다. 로그변환한



<그림 7> 범용-공동크리깅의 베리오그램
<Fig. 7> Variogram in Ordinary-Cokriging

AADT값과 범용-공동크리깅으로 추정된 $\ln(\text{AADT})$ 의 산점도를 그린 것과 신뢰수준 95%에서 신뢰구간을 표시한 그림은 다음과 같다.



<그림 8> 추정된 $\ln(\text{AADT})$ 와 실제 $\ln(\text{AADT})$ 의 산점도와 신뢰구간
<Fig. 8> Confidential interval and Scatter plot in $\ln(\text{AADT})$ and estimated $\ln(\text{AADT})$

범용-공동크리깅으로 추정된 교통량의 신뢰상한과 신뢰하한을 산출한 결과 $\ln(\text{AADT})$ 추정값의

3.3%로 나타났다. 산점도를 보면 알 수 있듯이 신뢰구간의 폭이 좁고 $y=x$ 그래프에 인접해 있는 것을 알 수 있다. 이는 공동크리깅으로 자료를 추정할 때 상관관계가 높은 이차변수를 이용하여 분석하기 때문에 신뢰도가 높아진 것으로 분석된다.

2) 일반-공동크리깅

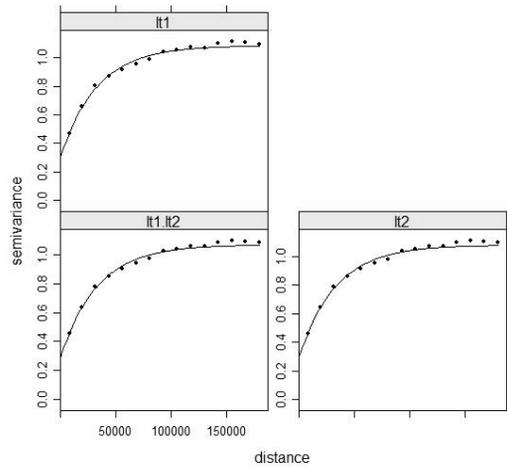
일반크리깅은 공간적 추세를 제거한 후 잔차를 통해 모형을 구축하고 다시 재변환을 통해 원자료를 예측하는 모형이다. 이 방법을 일반국도 교통량 추정에 이용하기 위하여 우선 지점좌표와 교통량을 회귀분석을 이용하여 공간추세를 분석해야 한다. 독립변수를 위도와 경도로 하고 종속변수를 로그변환한 교통량 자료로 하여 단순 선형회귀분석한 결과는 다음과 같다.

〈표 5〉 조사지점 좌표와 교통량 자료의 선형회귀분석결과
〈Table 5〉 Linear regression analysis in location and volume

parameter	B	standard deviation	t	P-Value
constant	8.631	.156	55.338	.000
latitude	-1.55E-06	.000	-4.392	.000
longitude	1.96E-06	.000	8.278	.000

선형회귀분석결과 조사지점 좌표와 교통량 자료는 위도와 경도 모두 통계적으로 유의하게 나타나 남북, 동서 방향으로 공간적 추세가 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 공간적 추세를 제거한 잔차를 이용하여 분석을 하여야 한다.

일반-공동크리깅으로 분석하기 위하여 2010년과 2009년 자료의 베리오그램과 교차베리오그램을 그린 것은 다음과 같다.



〈그림 9〉 일반-공동크리깅의 베리오그램
〈Fig. 9〉 Variogram in Universal-Cokriging

〈표 6〉 일반-공동크리깅의 베리오그램 모수
〈Table 6〉 Parameter of variogram in Universal-Cokriging

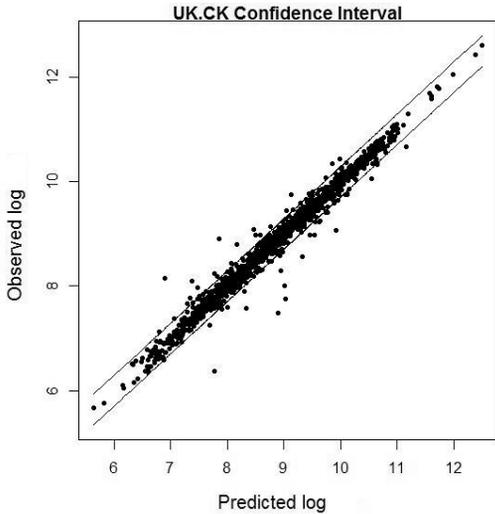
Parameter	Nugget	Sill	Range
2010	0.302	0.782	33104.63
2009	0.294	0.785	33104.63
Cross Variogram	0.288	0.782	33104.63

일반-공동크리깅을 적용하여 AADT를 예측하고 교차검증을 통하여 AADT 추정값을 산출한 후 상시조사 지점의 AADT 참값과 비교한 결과 상시조사 전체 지점(312지점)을 기준으로 분석한 경우 MAPE는 6.58%인 것으로 나타났다. 이는 범용-공동크리깅을 이용한 것보다 다소 오차가 줄어든 것으로 나타났다.

베리오그램 모수로 범용-공동크리깅과 일반-공동크리깅의 특성을 살펴보면, 너깃은 짧은거리의 불확실성을 나타내는 것으로 범용-일반크리깅과 비교하여 일반-공동크리깅의 너깃이 적게 나타나 일반-공동크리깅의 AADT 추정값의 정확도가 더 좋게 나타날 거라 기대할 수 있다. 또한 문턱값은 상관거리에서 반베리오그램이 가지는 일정한 값을 의미하며 이것은 자료의 분산을 나타낸다. 문턱값도 범용-공동크리깅보다 일반-공동크리깅이 적은 것으로 나

타나 AADT 추정값의 정확도가 일반-공동크리깅이 더 좋을 것이라 기대할 수 있다.

로그변환한 AADT값과 일반-공동크리깅으로 추정된 $\ln(\text{AADT})$ 의 산점도를 그린 것과 신뢰수준 95%에서 신뢰구간을 표시한 그림은 다음과 같다.



〈그림 10〉 추정된 $\ln(\text{AADT})$ 와 실제 $\ln(\text{AADT})$ 의 산점도와 신뢰구간

〈Fig. 10〉 Confidential interval and Scatter plot in $\ln(\text{AADT})$ and estimated $\ln(\text{AADT})$

일반-공동크리깅으로 추정된 교통량의 신뢰상한과 신뢰하한을 산출한 결과 범용-공동크리깅과 마찬가지로 $\ln(\text{AADT})$ 추정값의 3.3%로 나타났다. 이는 공동크리깅으로 자료를 추정할 때 상관관계가 높은 이차변수를 이용하여 분석하기 때문에 신뢰도가 높아진 것으로 분석된다.

〈표 8〉 조사방법별 MAPE 분포
〈Table 8〉 MAPE for each method

Error	(단위 : %)							total
	less than 5%	5~10%	10~15%	15~20%	20~25%	25~30%	more than30%	
Method 1	23	38	19	4	2	0	2	88
Method 2	27	49	9	2	1	0	0	88
Method 3 (Cokriging using universal Kriging)	52	26	4	2	1	1	2	88

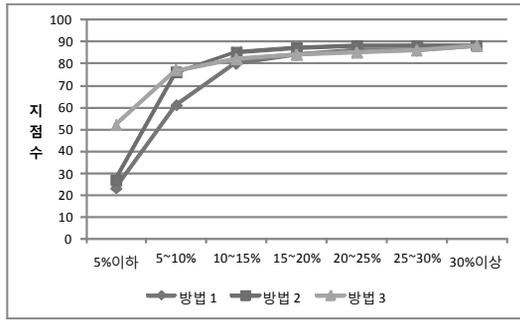
V. 분석결과

크리깅 모형으로 AADT를 추정된 값과 보정계수를 적용한 기존 방법으로 AADT를 추정된 값으로 모형의 정확도를 비교분석하였다. 크리깅 모형 분석시 사용된 범용-공동크리깅과 일반-공동크리깅 중 일반-공동크리깅의 오차가 다소 적은 것으로 나타났다으므로 본 장에서 크리깅 모형 분석시 일반-공동크리깅 모형을 적용하였다. 분석결과 [방법 1]과 [방법 2]의 분포와 비교하였을 때 공간통계모형을 이용한 방법에서 오차가 5% 이하인 지점이 상당히 많은 것으로 나타났다. [방법 1]과 [방법 2]는 전체 대상 지점 중 50% 지점의 오차가 5~10%인 반면 [방법 3]은 50% 이상 지점이 오차가 5% 이하인 것으로 나타났다. 분석대상지점 76개를 대상으로 분석한 결과 오차(MAPE)의 평균은 다음과 같다.

〈표 7〉 분석방법별 오차(MAPE)의 평균
〈Table 7〉 MAPE for each method

Method	Method 1	Method 2	Method 3
MAPE (%)	8.99	7.26	5.91

MAPE의 평균과 표준편차를 비교한 결과 [방법 3]이 평균적으로 오차가 가장 적은 것으로 분석되었다. 다음 표는 [방법 1]~[방법 3]의 지점별 AADT 추정오차의 분포를 나타낸 것이다. 조사방법별 MAPE 분포를 보면 알 수 있듯이 AADT 추정오차가 5% 이내인 지점 수가 가장 많은 추정방법은 [방법 3]인 것으로 나타났다.



〈그림 11〉 조사방법별 MAPE 누적 분포
 〈Fig. 11〉 Accumulated distribution MAPE for each method

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 도로를 계획하고 설계하는데 매우 중요한 기초자료로 활용되는 AADT의 신뢰도를 높이는 방법에 대하여 중점적으로 다루었다. PTC에서는 AADT의 참값을 구할 수 있지만 STC에서는 AADT의 참값을 구할 수 없어 PTC의 보정계수를 적용하는 방법이 적용되고 있었다. 하지만 STC 지점의 AADT 추정을 위하여 어떤 PTC의 보정계수를 적용할 지에 대한 객관적 지표가 없을 뿐 아니라 유사한 패턴을 가지는 PTC가 없을 경우 적용이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 또한 보정계수를 적용하는 방법의 큰 단점은 자료가 불량이거나 조사되지 않았을 경우 AADT를 추정할 방법이 없다는 것이다. 이에 본 연구에서는 교통량 자료의 공간 상관성을 이용하여 인근 조사자료를 기준으로 미조사 지점 또는 자료불량 지점의 교통량 자료를 추정할 수 있는 방법에 대하여 연구하였으며, 공간통계 모형을 적용하였다.

본 연구에서는 공간통계모형 적용시 공간적 특성 뿐만 아니라 시간적 특성을 고려하도록 전년도 교통량 자료를 이용하여 공간통계모형에 적용하는 방법에 대하여 알아보았다. 공간통계모형으로 자료를 분석하기 위해서는 일반적으로 크리깅 모형이 적용되고 있으며 크리깅 모형을 적용하기 위해서는 공간상관관계를 알아보는 베리오그램의 모수를 미리 추정하여야 한다. 베리오그램이 선택되면 관측

되지 않은 미관측지점에 대한 공간적 예측을 수행하여야 하며, 이러한 공간예측 방법을 크리깅이라 한다. 본 연구에서는 범용-공동크리깅과 일반-공동크리깅을 이용하여 분석하였다. 공동크리깅의 이차변수로는 시간적 특성을 고려할 수 있는 전년도 교통량을 적용하였고, 그 결과 보다 신뢰도 높은 AADT 추정값을 얻을 수 있었다.

본 연구의 우수성을 입증하기 위하여 기존 연구로 추정된 AADT값의 오차와 크리깅 모형을 적용하여 추정된 AADT 값의 오차를 비교분석하였다. 분석결과 전년도 교통량을 이차변수로 하여 분석한 일반-공동크리깅을 이용한 모형이 가장 우수한 것으로 나타났다.

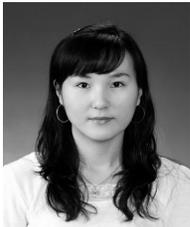
본 연구는 일변량크리깅으로 적용하여 AADT를 추정된 외국 교통량 조사 자료와 비교하였을 때 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 교통량 조사체계가 각 나라마다 상이하며, 조사지점 간격과 자료 특성이 다르기 때문이라 판단된다. 우리나라 일반국도의 교통량 조사 지점은 평균 8km마다 1개 지점씩 설치되어 있어 타 연구에 적용된 교통량 자료와 비교하여 조사간격이 넓은 것으로 나타났다. 조사간격이 넓기 때문에 상관거리도 매우 넓은 것으로 나타났다으며 이차변수를 사용하지 않을 경우 오차도 상당히 큰 것으로 나타났다. 그리하여 본 연구에서는 일변량크리깅 대신 공동크리깅을 적용하였으며 분석결과 AADT의 정확도가 기존 연구에 비해 향상된 것으로 나타났다.

본 연구는 교통량 자료가 시공간적으로 상관관계가 있음에도 불구하고, 공간적 상관관계 또는 시간적 상관관계만 다루었던 기존 연구의 한계점을 인식하여 이를 공간통계학적으로 해석하고, 현장 자료를 이용하여 실증적으로 검증하였다는데 본 연구의 의미가 있다고 판단된다. 이러한 연구결과는 AADT 추정 정확도를 향상시킴으로써 적정 수준의 교통시설 공급과 서비스 수준 향상에 기여할 것으로 기대된다. 향후 일반국도의 각 지점별로 도로 기능분류에 따라 분석하거나 설명변수를 추가하여 분석할 경우 AADT 추정값의 신뢰도가 더욱 향상될 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Doh Tcheol Woong, Traffic Engineering Theory(1), ChungMunGak, 1997
- [2] MLTM, Guidelines of Traffic volume survey, 2001
- [3] MLTM, Statistical Yearbook of Traffic Volume, 2009, 2010
- [4] FHWA, Traffic Monitoring Guide, 2001
- [5] Choi Jong Kenu, Geostatistics, SigmaPress, 2007
- [6] Lim Sung Han, Oh Ju Sam, "A Study on Deriving of Adjustment Factor to Estimate AADT", Journal of Korea Society of Civil Engineers, vol. 24. 1D, pp.19-29, 2004
- [7] Jung-Ah Ha, Sei-chang Oh, "Estimating Annual Average Daily Traffic Using Hourly Traffic Pattern and Grouping in National Highway", Journal of Korea ITS society, vol. 11, 2nd, pp.10~20, 2012
- [8] Eom J.K., M.S. Park, T.Y. Heo, L.F. unsinger, "Improving the prediction of annual average daily traffic for nonfreeway facilities by applying a spatial statistical method", *Transportation Research Record* vol. 1968, pp.20-29, 2006
- [9] Tae-Young Heo, Man Sik Park, Jinki Eom, Ju sam Oh, "A study on the Prediction of Traffic Counts Basedon Shortest Travel Path", Journal of Applied Statistics, vol. 20, 3rd, pp.459-473, 2007
- [10] Ho-Yong KIM, "A Geostatistical Approach for Improved Prediction of Traffic Volume in Urban Area", Journal of Korean Association of Geographic Information Studies, vol. 13, 4th, pp.138-147, 2010
- [11] Brent Selby, Kara M. Kockelman, "Spatial Prediction of AADT in Unmeasured Locations by Universal Kriging", *the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 2011

저자소개



하 정 아 (Ha, Jung-Ah)

2013년 : 아주대학교 건설교통공학과 졸업 (공학박사)

2001년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 전임연구원

e-mail : yally36@kict.re.kr



허 태 영 (Heo, Tae-Young)

2011년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 자연과학대학 정보통계학과 부교수



오 세 창 (Oh, Sei-Chang)

1996년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교통시스템공학전공 교수



임 성 한 (Lim, Sung-Han)

2011년 서울시립대학교 대학원 교통공학과 졸업(공학 박사)

2002년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 수석연구원