



# 시간자료의 공간화를 통한 일교통량 결측대체 방법론 연구

## Missing Imputation Methodologies for Daily Traffic Counts by Transforming Time Data into Spatial Data

허태영\*                      오주삼\*\*  
Heo, Tae Young              Oh, Ju Sam

### Abstract

We suggest a new spatial linear interpolation method to substitute linear interpolation method which widely used in transportation engineering to impute the missing daily traffic volume. We layout daily traffic volume which is time series data over the virtual lattice space to consider the spatial correlation. We used Moran Index to evaluate the spatial correlations among daily traffic volume in same week and same date traffic volume by week considering the circularity of daily traffic volume. For real application, we used daily traffic volume on November, 2004 provided by Korea Institute of Construction Technology(KICT) and transformed daily traffic volume to 4 times 7 virtual lattice space to reflect the spatial correlation. Finally we showed that the spatial linear interpolation method has good performance for missing data imputation based on MAPE, RMSE, and Theil's U criteria.

**Keywords :** *spatial correlation, moran index, neighborhood relation*

### 요 지

본 연구에서는 결측된 일교통량의 대체를 위하여 교통공학에서 많이 활용되고 있는 기존의 선형내삽법에 공간상관성 기법을 고려한 새로운 선형내삽법을 제안하였다. 일교통량과 같이 시간적 특성을 지닌 자료를 공간위에 배치하여 공간적 상관성을 고려할 수 있도록 하였다. 공간상관성을 측정하기 위하여 일교통량의 순환성을 감안하여 같은 주의 요일간 상관성과 주별 같은 요일의 상관성을 나타내는 지표로서 Moran Index를 사용하였다. 실제 분석을 위하여 한국건설기술연구원에서 제공한 2004년 11월의 28일간의 일교통량 자료를 4×7 격자 형태로 배치하여 일별 교통량자료를 공간화 시켜 공간 상관성을 살펴보았으며, 여러 가지 통계적 지표를 통하여 공간 선형내삽법의 우수성을 확인하였다.

**핵심용어 :** *공간상관성, Moran Index, 이웃 정보, 일교통량*

\* 비회원 · 한국해양대학교 나노데이터시스템학부 전임강사  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원

## 1. 서론

교통량이란 단위시간(일, 시간, 15분, 5분 등)에 어떤 지점을 통과하는 차량의 대수를 말하며, 일교통량이란 1일 단위의 교통량을 의미한다. 교통량은 국가의 도로 신설, 보수 등과 같은 중요한 정책적 판단을 위하여 활용되고 있으며, 이러한 일교통량의 수집은 기계식 교통량 조사장비를 사용하고 있다.

일반적으로 조사자료 결측은 현실적으로 교통분야 뿐만 아니라 인문사회분야, 기상학, 생물학, 지구과학 등 거의 모든 분야의 조사과정에서 발생하며, 인력적이든 기계적이든 조사방식에 상관없이 발생한다. 이러한 자료의 결측은 결과적으로 자료의 수집비용을 증가시키며, 수집정보의 신뢰성을 저하시키는 원인이 되고 있다. 그러나 기계식교통량 자료수집시 불가피하게 결측자료가 발생하고 있다.

기계식 조사장비를 통하여 수집된 교통자료의 경우, 수집장비에서의 자료 결측은 장비 자체적인 결함뿐 아니라, 도로조건의 변화에 의해서도 발생하며, 수집장비에 대한 유지관리 수준을 최대한 높인다고 해도 결측률 0%를 확보하는 것은 현실적으로 불가능함에 따라서 교통량의 결측치 대체에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다.

교통량조사 사업과 같이 지속적인 자료수집과 가공이 요구되는 경우에 여러 가지 이유로 발생하는 자료 결측 문제를 처리하는 것은 전체 운영알고리즘 중에서 가장 중요한 절차라고 할 수 있으며, 결측값이 많을수록 수집자료의 신뢰성은 저하되며 자료 결측이 완전히 임의적이지 않거나 어떠한 특정분포를 따르는 경우 다른 변수에 의한 영향을 받는 경우에는 전체 수집자료의 속성이나 본질이 왜곡될 수 있어 불가피하게 결측치의 대체기법이 필요하게 되었다. 그러나 교통자료 수집장비를 통한 교통량 자료수집과정에서 불가피하게 발생하는 결측값을 신뢰성 있게 추정하여 보정하였던 선행 연구중 선행내삽기법을 활용한 교통량 자료의 결측값 보정시 통계적인 검증 없이 시간적인 임의의 종속성만 고려하여 보정능력

이 떨어지는 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 자료 결측 문제를 교통공학에서 많이 활용되고 있는 기존의 간단한 선형내삽법을 개선하여 시간자료의 공간화를 통하여 공간상관성을 적용한 간편한 결측 대체방법을 제시하고 검증하는데 본 연구의 목적을 두고 있다.

## 2. 기존 연구사례

결측자료 관련 연구를 살펴보면 교통분야에서도 결측된 교통량 자료의 대체기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 Gold et al.(2001)과 Conklin et al.(2003), Sharma et al.(2003) 등 연구자들이 결측자료 보정에 관한 연구를 수행하면서 결측자료를 무시 또는 삭제하는 방법은 더 이상 비용적인 측면에서 효과적인 방법이 아니므로 신뢰성 있는 결측치 대체기법의 개발 및 사용을 주장하고 있다. Ni et al. (2005)는 단시간인 20시간 교통량 자료를 이용하여 다중대체방법(multiple imputation)과 같은 보정방법의 성능을 비교 평가하였으며, Chandra et al.(2004)와 Zhong et al. (2006)은 프로파일/보간법 등의 휴리스틱적 접근방법과 요인분석, 회귀분석등과 같은 기본적인 선형분석기법을 사용하여 결측자료를 대체하였으나 공간상관성의 개념을 도입한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 결측된 일교통량의 대체값을 추정하기 위하여 교통공학에서 많이 활용되고 있는 대체법의 하나인 선행내삽기법에 공간상관성을 적용한 간단하고 새로운 대체기법을 제시하였으며, 공간상관성의 지수로서 Moran Index를 이용하였다. Moran Index는 공간상관성을 나타내는 지수로서 임윤환(2002)은 공동주택 가격함수 추정을 위하여 공간회귀모형을 사용하였으며, 공동주택시장의 공간자기상관 정도를 Moran Index를 통하여 검증하였다. 또한, 박헌수(2003)는 Moran Index를 사용하여 수도권 고용밀도의 공간의존성 변화를 분석

하였다.

현재 다중대체방법, 시계열분석 등과 같은 여러 가지 개선된 결측자료 대체방법이 제시되고 있지만 너무 복잡하여 실제적 활용측면에서 적용이 어려워 본 연구에서는 교통량수집 시 발생하는 결측값 대체의 필요성에 부응하는 동시에 간단한 알고리즘을 통하여 실제 교통공학 측면에서 접근할 수 있도록 하였다.

### 3. 공간상관성을 이용한 선형보간 대체 방법

현재 교통공학에서 가장 많이 쓰이고 있는 결측자료 대체방법은 근접값 평균, 근접값의 중앙값, 그리고 선형보간법(linear interpolation) 등이 있다. 그 중 선형보간법이 가장 많이 활용되고 있으며, 간략히 설명하면 다음과 같다(장진환외 3인, 2004). 선형보간법은 결측치 이전의 교통량 중 가장 마지막 교통량과 결측치 이후의 교통량들 중 가장 처음의 교통량, 전주의 동일 요일의 교통량, 후주의 동일요일의 교통량을 구하여 이들의 평균을 계산한다. 예를 들어 주어진 교통량의 자료가 식 (1)과 같다면

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & \cdot & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \quad (1)$$

결측값( $\cdot$ )은 식 (2)와 같이 구해질 수 있다.

$$\frac{(b + d + f + h)}{4} \quad (2)$$

이러한 선형보간법은 공간분석의 관점에서 첫번째 이웃(First order neighborhood) 교통량들의 평균으로 계산되어 질 수 있다. 그러나 이러한 선형보간법은 직관적으로 아주 훌륭한 방법이지만 평균 계산시 교통량자료들의 상대적 가중치를 고려하지 않고 동일한 가중치를 사용한다면 결측치 대체시 과소대

체되거나, 과대대체될 수 있다는 단점을 가지고 있다. 위 예제에서는 전일 교통량과 후일교통량, 전주의 동일 요일교통량, 후주의 동일 요일교통량에 대하여 0.25의 동일한 가중치를 부여하여 대체값을 제공하고 있다. 그러나 기존의 방법은 일교통량 자료가 가지고 있는 가장 큰 특징인 순환성(circularity)을 반영하지 못하고 임의의 교통량 종속성을 반영한 방법으로 순환성이 제대로 반영되지 못함으로써 적용상 한계를 노출하고 있다. 특히 이러한 교통량의 순환성은 일교통량의 특성이 전일과 후일교통량들 간의 상관성과 전주의 요일과 후주의 요일교통량과의 상관성이 다르다는 교통흐름의 이론과 부합되는 특성이기도 하다.

본 연구에서는 교통공학에서 교통량 자료의 결측 대체 방법을 공간분석적 관점에서 새롭게 공간영향을 고려한 대체방법을 제안한다. 일교통량 자료는 공간상 격자자료(lattice data)처럼 가상으로 배치하여 공간분석을 수행할 수 있게 되어 있으며, 교통량의 특성상 월요일과 일요일의 교통량은 상관관계가 상대적으로 적기 때문에 일교통량의 배치를 월요일부터 일요일의 순서로 배치한다면 시간의 특성을 가지고 있는 일교통량을 공간위의 격자자료처럼 자연스럽게 배치할 수 있다. 교통량의 특성상 한 주안의 요일간의 상관관계가 존재하며, 전주 요일과 후주 요일간의 상관관계가 존재한다. 기존의 선형보간법은 이러한 두 상관관계를 동일한 가중치로 생각하여 결측자료 대체시 가중치를 동일하게 주었다. 본 연구에서는 통계적으로 요일간 공간상관과 전주 요일과 후주 요일의 공간상관을 공간자기상관계수인 Moran Index를 이용하여 가중평균을 활용한 대체법을 제시하였다. 따라서 공간상관을 고려한 가중평균은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho(b + h) + (1 - \rho)(d + f) \quad (3)$$

여기서,  $\rho = I_r / (I_r + I_c)$ 를 나타내며,  $I_r$ 는 전일과 후일들 간의 공간상관지수를,  $I_c$ 는 전주 요일들과



후주 요일들 간의 공간상관지수를 나타낸다. 공간상관이 존재한다는 것은 공간상의 자료들이 무작위로 분포하지 않고 서로가 영향을 주고받아 독립적이지 않으며 그 영향은 거리가 가까울수록 크다는 것을 의미한다.

일반적인 상관계수(correlation coefficient)는 두 변수 사이에 존재하는 상관성의 정도를 나타내지만 공간자기상관계수는 두 변수간의 상관성이 아닌 하나의 변수에 공간상의 여러 개의 관측값들 사이에 존재하는 상관관계를 나타낸다는 점에서 일반적인 상관계수와는 다른 특성을 가지고 있다.

본 연구에서 공간상관성을 나타내는 지수로서 적용될 공간자기상관지수(spatial autocorrelation index)에 대하여 간략히 소개하면 다음과 같다. 공간자기상관지수는 어떤 공간현상이 이웃 지역과 유사한 정도를 정량적으로 표현하는 지수를 의미한다.

공간상에 분포해 있는 자료들 간의 이웃 정보를 정의하는 방법은 주로 거리척도(distance measure)와 인접성 척도(adjacency measure)를 기준으로 하고 있으며, 본 연구에서는 교통량 관측시 요일들과 전주요일과 금주요일 간의 인접성 척도를 사용하였다. 특히 이러한 공간자기상관지수를 얻기 위해서는 단위 지역들 사이의 공간적 이웃관계(neighborhood relation)에 대해 정의하는 공간가중치행렬(spatial proximity weight matrix)의 구성이 선행되어야 하며, 공간가중치 행렬은 단위지역의 수를 차원으로 하는 정방행 행렬로서  $W$ 는 단위지역  $i$ 와  $j$  간의 이웃 정보를 나타내는 행렬이다. 대표적인 공간연관성 지수로는 공분산을 기반으로 하는 Moran Index (Cliff and Ord, 1981)가 있으며 식 (4)와 같이 정의된다.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right] \left[ \sum_i \sum_j W_{ij} \right]} \quad (4)$$

여기서,  $n$ 은 단위지역의 수,  $y_i$ 와  $y_j$ 는 각각  $i$ 지역과  $j$ 지역에서의 일교통량을 나타내며,  $\bar{y}$ 는 전체 지역에서의 일 교통량의 산술평균이다.  $W_{ij}$ 는 공간가중치행렬( $W$ )의  $i$ 지역과  $j$ 지역 사이의 공간가중치 원소를 의미한다.

Moran Index는 공간적 자기상관을 탐색하는데 유용한 측정지표로서 인접한 공간자료들을 비교하여 통계량을 계산한다. Moran Index는 일반적인 상관계수와 마찬가지로 -1에서 +1의 값을 가진다. Moran Index는 공간상관이 양(positive)의 상관이 강할수록 1에 가까우며, 음(negative)의 상관이 강할수록 -1에 가깝고, 0은 공간상관성이 존재하지 않음을 의미한다.

#### 4. 일교통량 자료

현재 혼잡한 도시교통의 이동성 및 안전성을 향상시키기 위해 첨단교통관리체계를 구축하여 운영중에 있으며, 한국건설기술연구원에서는 매년 도로교통량 통계연보 및 전국 일반국도의 교통정보를 제공하기 위해 일반국도상에 약 400여대의 상시교통량조사장비를 설치 및 운영하고 있다(건설교통부, 2001). 그러나 교통정보시스템은 교통상황에 대한 실시간 자료를 수집해 통행자들에게 유용한 정보를 제공하고 수집된 교통량 자료를 도로의 계획 및 설계시 기본자료로 사용하기 때문에 교통상황에 대한 모든 자료를 수집할 수 있어야 함에도 불구하고 조사장비 고장, 통신장애, 그리고 자연재해, 장비의 교통사고, 도로 공사 등으로 인해 교통량 자료가 결측된다(건설교통부, 2001). 국내 주요교통정보 수집장비의 운영현황과 현재도 진행중인 대규모 첨단교통관리체계 구축 사업 등을 감안할 때, 향후 교통량 자료의 결측문제가 심화될 것임을 예상할 수 있다.

본 연구에서는 상시교통량 조사지점의 자료를 이용하였다. 분석지점은 경기도 평택시 현덕면 인광리에 위치하며, 4차선의 국도상에 위치해 있다. 분석에



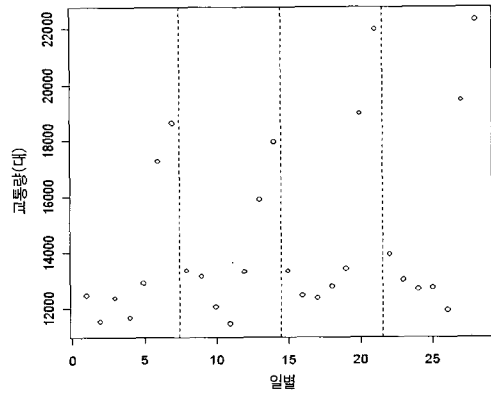
사용된 교통량 자료는 분석지점의 2005년 자료 중  
 결측된 자료가 없는 2004년 11월 1일부터 28일까  
 지의 자료를 이용하였으며, 관심있는 시간자료를 공  
 간영역으로 모형화하기 위하여 다음과 같이 격자형  
 태의 가상적 공간위에 시각적으로 표현하였다.

	월요일	화요일	수요일	목요일	금요일	토요일	일요일
1주	12447	11517	12372	11656	12899	17240	18614
2주	13348	13141	12069	11439	13289	15894	17931
3주	13325	12464	12363	12791	13413	18936	21993
4주	13905	13029	12672	12736	11915	19411	22325

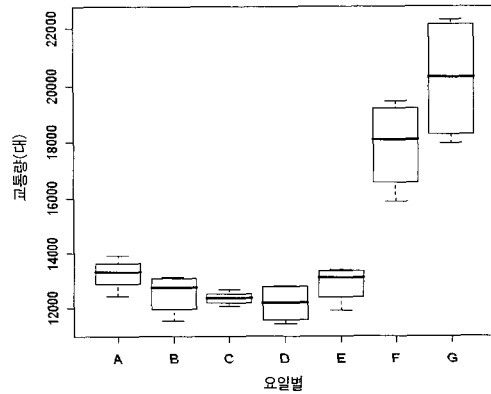
일교통량 자료를 공간화 시킴으로써 일교통량의  
 공간적 분포, 상관성과 이상치 등과 같은 특성을 파  
 악할 수 있으며, 일교통량이 가지는 순환성을 쉽게  
 파악할 수 있다. 2004년 11월의 1일부터 28일까지  
 의 일교통량을 1차 공간가중치 행렬로 표현하면  $4 \times 7$   
 차원을 따르는  $W$ 를 생성하며, 공간가중치 행렬의  
 대각선 원소( $W_{ij}$ )는 모두 0의 값을 가진다. 따라서,  
 이들 공간자료들 간의 인접성 여부로 공간정보를 구  
 축하였다.

그림 1은 28일간의 일교통량에 대한 산점도(a)를  
 보여주고 있으며, 요일들과 일교통량에 대한 상자  
 그림(b)과 주별과 일교통량에 대한 상자 그림(c)를 보  
 여주고 있다.

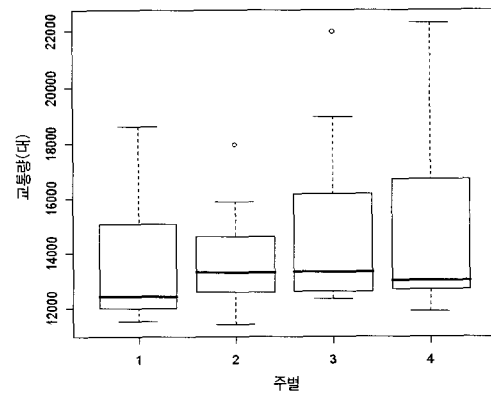
그림 1.(a)에서 볼 수 있듯이 일교통량은 일주일  
 단위로 뚜렷한 순환성이 존재함을 알 수 있다. 주  
 말인 토요일과 일요일은 일교통량이 상대적으로  
 높으며 주중에는 월요일이 상대적으로 높은 일교  
 통량을 보여주고 있고, 주별로는 큰 차이를 보이지  
 않아 요일 상관성이 주별 상관성보다 상대적으로  
 낮음을 알 수 있다. 이러한 일교통량에 대한 요일  
 별, 주별 공간상관성을 확인하기 위하여 일교통량  
 이 시간적으로 해당 주의 전일, 후일교통량과 전  
 주, 후주의 동일 요일의 일교통량과 상호영향에 대  
 한 여부는 Moran Index 통계량을 통하여 검증하  
 였다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 28일 동안의 일교통량 산점도(2005년 11월 자료)(\* )

- 주(\*): (a)에서 점선은 일주일 단위를 나타냄
- (b) A: 월, B: 화, C: 수, D: 목, E: 금, F: 토, G: 일의 일교통  
 량에 대한 상자그림
- (c) 1: 첫째 주, 2: 둘째 주, 3: 셋째 주, 4: 넷째 주의 일교통량  
 에 대한 상자그림

표 1. Moran Index 통계량과 유의확률

	Moran Index	유의확률
요일간 공간상관효과( $I_r$ )	0.531	<.0001
주간 공간상관효과( $I_c$ )	0.874	<.0001

표 1에서와 같이 요일간 공간상관성에 대한 Moran Index 값은 0.531이며, 주간 공간상관성에 대한 Moran Index 값은 0.874로 한 주내의 요일간 상관성보다 주들 간의 같은 요일교통량에 대한 상관성이 높음을 알 수 있다. 유의확률 역시 신뢰수준 0.05보다 현저히 작으므로 공간 상관성이 존재함을 알 수 있다. 또한 이 결과는 교통량 자료의 주기적 순환성이 강함을 보여준다. 행과 열간의 공간상관력을 Moran Index 지수를 통하여 계산한 후 3장에서 정의한  $\rho = I_r / (I_r + I_c)$  를 통하여 행간의 가중치와 열간의 가중치를 계산하였다. 따라서 교통공학에서 많이 사용되고 있는 기존의 보간법에서의 동일한 가중치는 결측치 대체에 부적합함을 알 수 있다. 따라서, 상기의 일교통량 자료를 대상으로 공간상관성을 고려한 새로운 공간보간법은 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$0.378 \times \text{전일, 후일의 일교통량의 합} + 0.622 \times \text{전주, 후주의 일교통량의 합} \quad (5)$$

식 (5)에서 좌측변은 결측이 발생된 시점에서 전일과 후일의 일교통량 합을 나타내며, 우측변은 전주와 후주의 같은 요일 일교통량의 합을 나타낸다. 0.378은 일교통량의 행들 간(전일과 후일간) 일교통량의 가중치이며, 0.622는 일교통량의 열들 간(전주와 후주의 동일 요일간)의 일교통량의 가중치이다.

본 연구에서는 간단하면서도 공간상관성을 고려한 새로운 선형보간법의 성능을 평가하기 위하여 2005년 11월의 일교통량 자료를 이용하여 1일째 자료부터 결측시켜 가면서 기존 선형보간방법과 공간선형보간방법으로 통해 결측시킨 자료를 보정하고 결측된 자료의 대체값과 실제자료와의 비교를 통하여 공

간선형보간방법의 성능을 평가하였다.

공간상관성을 고려하지 않은 기존보간법 모형과의 성능비교 평가를 위하여 추정치의 정확도 (precision)를 나타내는 평균절대백분률오차(mean Absolute Percent Error, MAPE)와 추정치의 오차를 나타내는 제곱근평균오차(Root Mean Square Error, RMSE), 교통공학에서 많이 활용되고 특히, 계량경제모형에서 구한 예측값의 정확성에 대한 척도로 사용되고 있는 불균등계수(Theil's U)(Theil, 1966)를 평가지표로 이용하였다.

표 2는 기존의 선형보간방법과 공간상관성을 고려한 선형보간방법간의 정량적인 비교를 위하여 3가지 지표에 대한 결과값을 도출하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 공간선형보간법이 결측된 일교통량 대체를 위하여 기존의 선형보간법보다 3가지 지표에서 모두 우수함을 확인할 수 있었다.

표 2. 기존 선형보간법과 공간선형보간법의 성능 비교

	기존 선형보간법	공간선형보간법
MAPE	5.81%	4.87%
RMSE	1176.73	911.70
Theil's U	0.040	0.031

## 5. 결론

교통자료 수집장비의 자료 결측은 현실적으로 불가피한 현상으로 볼 수 있다. 자료수집과정에서 발생하는 결측을 신뢰성 있게 추정하여 보정하였던 선형 연구는 대부분 실제 적용하기 어려운 복잡한 결측 대체방법이며, 간단한 결측 대체방법도 교통량 자료의 결측값 보정시 통계적인 검증없이 시간적인 임의적인 종속성만 고려함으로써 보정능력이 떨어지는 단점을 노출하고 있다.

본 연구에서는 현재 운영되고 있는 교통관리센터에서 수집되는 교통자료중 여러 요인으로 인해 부득이하게 결측되는 교통량 자료에 대해 교통공학에서 활

용되고 있는 선형보간법을 공간상관성을 고려한 방법을 이용해 결측된 일교통량 자료를 대체하여 실제 수집된 일교통량 자료와의 비교 평가를 통해 결측된 교통량 자료 대체시 발생하는 오차를 분석하였다. 분석결과, 공간상관성을 고려한 선형보간법이 최대오차가 4.87%를 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 이는 도로의 계획, 설계 및 여러 교통관련 연구에 사용될 수 있는 유용한 교통량 자료를 공간상관성을 활용하여 대체가 유효함을 입증한 것으로 판단된다.

본 연구는 현실적으로 거의 대부분 조사과정에서 발생하는 자료결측의 심각성을 인식하고 이 문제를 해결할 수 있는 대안으로 공간상관성을 고려한 간단한 대체방법을 개발 및 제안하였다.

본 연구방법의 활용으로 실제적인 교통공학 문제에서 직접적으로는 국가도로망계획 및 설계, 도로투자 우선순위결정과 유지관리 등 국가도로교통정책결정에 활용되는 연평균일교통량(Annual Average Daily Traffic, AADT)과 설계시간교통량(Design Hour Volume, DHV) 추정의 신뢰성 등을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 결측이 연속적으로 발생할 경우 공간상관성을 고려한 보간법의 연구와 일교통량 뿐만 아니라 시간교통량도 24시간을 주기로 순환성이 존재하므로 시간교통량의 가상적 공간화를 통하여 고려한 공간보정방법이 향후 필요한 연구로 판단되며, 다양한 교통특성을 보이는 여러 지점에 대한 분석이 뒤따라야 할 것으로 보인다.

#### 참고문헌

건설교통부 (2001a). 도로용량관람.  
 건설교통부 (2001b). 통행시간 추정과 통계자료 보정을 위한 결측 데이터 보정 모형 개발, 내부보고서.  
 김의준, 이성수 (2006). 서울 IT산업의 공간적 집적경제 효과 추정, 제21집, 1호, 149-165.  
 김현석 (2006). 순환확률분포를 이용한 교통량 결측자료 보정 모형에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 박사 논문.  
 박헌수 (2003). 수도권 고용밀도의 공간의존성 변화에

관한 연구, 지역개발학회지, 제28권, 27-40.  
 오주삼외 2인(2002). 연 평균 일교통량 추정 방법론에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제22권, 1호, 59-69.  
 이상은 (2006). 공간통계량을 활용한 베이지안 자기 포아송 모형을 이용한 소지역 통계, 제19권, 3호, 421-430.  
 임윤환 (2002). 공간자기회귀모형에 의한 공동주택 가격 함수 추정에 관한 연구, 서울시립대학교 대학원 석사 논문  
 장진환외 3인(2004). 실시간 누락 교통자료의 대체기법에 관한 연구, 한국ITS학회논문지, 3, 45-52.  
 Chandra, C. and Al-Deek, H.(2004), New Algorithms for Filtering and Imputation of Real Time and Archived Dual-Loop Detector Data in the I-4 Data Warehouse, Proc., 83rd TRB Annual Meeting, TRB National Research Council, Washington, D.C.  
 Cliff, A. D. and Ord, J. K. (1981). *Spatial Processes - Models and Applications*. London: Pion.  
 Conklin, J. H., Smith, B. L. (2002). The Use of Local Lane Distribution Patterns for the Estimation of Missing Data in Transportation Management Systems. TRR 1811, 50-56., TRB, Washington, D.C.  
 Gold, D.L., Turner, S.M., Gajewski, B.J., Spiegelman, C.(2001). Imputing Missing Values in ITS Data Archives for Intervals under 5 Minutes, Proceedings of the 80th Transportation Research Board(TRB) Annual Meeting, TRB National Research Council, Washington, D.C.  
 Ni, D., Leonard, J.D., Guin, A., Feng, C.(2005), Multiple Imputation Scheme for Overcoming the Missing Values and Variability Issues in ITS Data, *Journal of Transportation Engineering*, 131, 931-938.  
 Sharma, S. C., Kilburn, P., Wu, Y. Q.(1996). The Precision of AADT Volumes Estimates from Seasonal Traffic Counts : Alberta Example, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 23 (1).



- Sharma, S. C., Gulati, B. M. and Rizak, S. (1996). Statewide Traffic Volume Studies and Precision of AADT Estimates. *Journal of Transportation Engineering*, 122, 430-439.
- Sharma, S. C., Lingras, P., Zhong, M.(2003). Effect of Missing Value Imputations on Traffic Parameters Estimations from Permanent Traffic Counts, Proceedings of the 82nd Transportation Research Board(TRB) Annual Meeting, *TRB National Research Council*, Washington, D.C.
- Theil, H. (1966). Applied economic forecasting. *North-Holland Publication Co.*, Amsterdam.
- Zhong, M., Lingras, P., Sharma, S. C. (2002). Applying Short-term Traffic Prediction Models for Updating Missing Values of Traffic Counts, *submitted to the Journal of Transportation Engineering*, ASCE.
- Zhong, M., Sharma, S. C. and Liu, Z. B (2006). Assessing the Robustness of Imputation Models based on Data from Different Jurisdictions: Alberta and Saskatchewan Examples. *Transportation Research Records 1917, Transportation Research Board*, Washington DC, pp. 116-126.
- Zhong, M., Sharma, S. C. and Lingras, P. (2006) Matching Patterns for Updating Missing Values of Traffic Counts. *Accepted for publishing in Journal of Transportation Planning and Technology*, Vol. 29 (2)

접 수 일 : 2007. 2. 16  
심 사 일 : 2007. 4. 2  
심사완료일 : 2007. 8. 23