

UTIS 구간통행속도 결측치 보정모델

Imputation Model for Link Travel Speed Measurement Using UTIS

기 용 곽*
(Yong-Kul Ki)

안 계 형**
(Gye-Hyeong Ahn)

김 은 정***
(Eun-Jeong Kim)

배 광 수****
(Kwang-Soo Bae)

요 약

구간통행속도는 도로의 교통상황을 나타내는 중요한 지표이며, UTIS(Urban Traffic Information System)는 도로의 구간 통행속도를 측정하여 제공하는 대표적인 구간속도 측정시스템이다. 시험운영 결과, 프로브 차량의 미통과, 시스템 H/W 및 S/W 오작동 등의 이유로 UTIS 산출 구간통행속도가 도로의 일부 링크에서 결측되는 현상이 나타나고 있다. 본 논문에서는 이러한 결측구간에 신뢰성 높은 교통정보를 제공하기 위한 구간통행속도 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 적용하여 현장실험을 실시한 결과 새로운 알고리즘이 추정한 속도들의 정확도가 93.6%로 분석되었다. 이는 새로운 알고리즘이 결측구간의 속도를 비교적 정확하게 추정하여 구간통행속도 산출 정확도를 높여줌을 나타낸다.

Abstract

Travel speed is an important parameter for measuring road traffic. UTIS(Urban Traffic Information System) was developed as a mobile detector for measuring link travel speeds in South Korea. After investigation, we founded that UTIS includes some missing data caused by the lack of probe vehicles on road segments, system failures and etc. Imputation is the practice of filling in missing data with estimated values. In this paper, we suggests a new model for imputing missing data to provide accurate link travel speeds to the public. In the field test, new model showed the travel speed measuring accuracy of 93.6%. Therefore, it can be concluded that the proposed model significantly improves travel speed measuring accuracy.

Key words : UTIS, Missing data(결측정보), imputation(보정), ITS, probe-car(프로브 차량)

1. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

교통정보 수집장치로 많이 이용되고 있는 루프

검지기, 피에조검지기 등의 검지기는 도로의 일정 지점의 속도를 측정하는 지점검지기이다. 지점검지기는 도로 일정구간의 속도를 측정하기에는 많은 한계가 있으며, 이러한 한계를 극복하기 위해 도입된 구간 검지시스템[1-3] 중 첨단 IT기술을 이용한

† 본 연구는 도로교통공단 연구과제로 수행하였습니다.

* 주저자 및 교신저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원

** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구위원

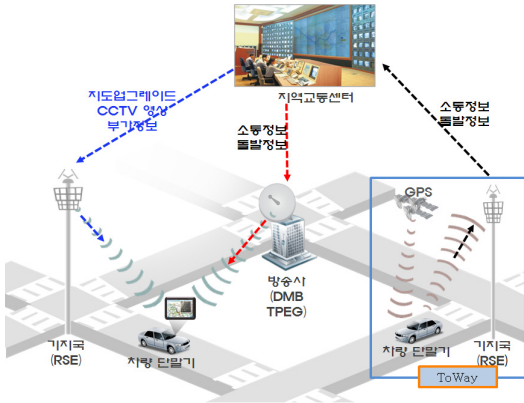
*** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원

**** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원

† 논문접수일 : 2011년 8월 30일

† 논문심사일 : 2011년 11월 2일

† 게재확정일 : 2011년 11월 7일



<그림 1> UTIS 구성도
(Fig. 1) Configuration of UTIS

UTIS(Urban Traffic Information System)가 개발되어 사용되고 있다.

UTIS는 <그림 1>과 같이 무선랜 기술(IEEE 802.11.a/e)을 기반으로 하여 차량에 설치된 장치(OBE: Onboard Equipment)와 노변기지국(RSE: Roadside Equipment)을 활용하여 실시간으로 광역 교통정보를 수집하여 제공하며, 다양한 부가서비스를 구현할 수 있는 시스템이다[4].

교통정보시스템 운영중에 수집시스템의 이상으로 연속적으로 정보를 수집할 수 없는 경우가 발생하며, 교통정보시스템에서 정보수집이 없는 도로구간(결측구간)에 대한 정보제공을 어떻게 할 것인가가 시스템 운영전략상 중요한 문제이다.

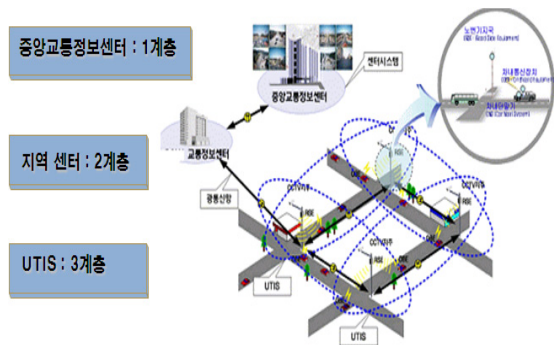
2011년 12월 현재 수도권 18개 도시에서 운영중인 UTIS의 경우 여러 가지 이유로 교통정보 결측구간이 발생하고 있으며, 이러한 결측구간에 신뢰성 높은 교통정보를 제공하기 위한 알고리즘을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 연구 범위 및 내용

교통정보 수집체계는 <그림 2>와 같이 3계층 구조로 구성되어 있으며, 1계층은 중앙교통정보센터로 전국의 교통정보를 통합하는 기능을 수행한다. 2계층인 지역교통정보센터는 3계층인 교통정보 수집장치들(UTIS 등)에서 수집된 교통정보를 통합하

여 1차로 교통정보를 생성하여 중앙교통정보센터에 전송하는 역할을 수행한다[4].

본 연구에서는 3계층 교통정보 수집장치인 UTIS의 교통정보 신뢰도 개선을 위하여, OBE, RSE와 연결하여 교통정보를 생성하는 운영소프트웨어의 교통정보생성 알고리즘에 새로운 결측치 보정기법을 개발 및 적용하여 교통정보의 신뢰도를 높이는 방안을 강구하고, 현장실험을 통해 개발된 알고리즘의 성능을 평가하였다.



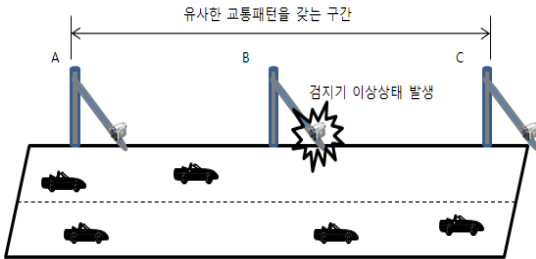
<그림 2> 교통정보 수집·제공시스템 계층도 [4]
(Fig. 2) Hierarchy for collecting and providing traffic information

II. 관련 이론 및 연구

Smith 등[5]은 교통정보센터의 교통소통정보 결측처리기법의 조사연구를 통하여 통계적 기법이 성능이 뛰어난 것을 확인하였으며, Wang 등[6]은 공간적 추세 및 패턴데이터 등을 이용한 교통소통정보 결측처리기법에 관한 경험적 분석결과를 제시하였다. 기존의 연구결과들을 분석하여 보면, 교통소통정보 결측처리방법은 일반적으로 공간적 추세 활용법과 시간적 추세 활용법으로 분류된다[7-9].

1. 공간추세 활용법

고속도로 우회도로 교통정보시스템에서는 해당 지점과 비슷한 교통특성을 보이는 지점의 데이터를 활용하여 결측자료를 보정하고, 매 지점마다 n



〈그림 3〉 공간적 추세 활용법
 (Fig. 3) Imputation technique using data from surrounding location

개 데이터 참고지점을 인위적으로 선정하여 시행하고 있으며, 참고지점은 우선순위가 부여되어 있다. <그림 3>과 같이 유사한 교통패턴을 갖는 A, B, C 구간 중에서 B 구간의 검지기 이상으로 자료가 누락되었고, A, C 구간의 검지기 자료는 누락되지 않았을 경우 공간적 추세 활용법을 사용한다[7-9].

공간적 추세를 활용한 결측자료 보정식은 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 공간추세 활용법 예(7)
 (Table 1) Imputation techniques using data from surrounding location

사례	CASE 1	CASE 2	CASE 3
데이터 상태	① 정상 ② 누락 ③ 정상	① 누락 ② 누락 ③ 정상	① 정상 ② 누락 ③ 누락
해당검지기 누락자료 보정식	② = $(①+③)/2$	② = ③	② = ①

2. 시간추세 활용법

수도권 및 지방 교통정보센터, 서울시 도시고속도로 교통관리시스템 등이 이러한 결측치 보정기법을 이용하여 교통정보를 생성하고 있으며, 서울시 도시고속도로 교통관리시스템의 경우 보정이 가능한 경우(이동평균법)와 시스템 장애시(운영자 통보 및 시스템 장애 대책에 의한 운영)를 구분하여 원

시자료의 보정 프로세스를 <표 2>와 같은 방법으로 수행한다[7-9].

〈표 2〉 시간적 추세 활용법 예
 (Table 2) Imputation technique using data from surrounding time periods

구분	처리방법
이동 평균법	<ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 누락/오류가 검지된 자료의 시점에서 이전 시점으로 5분 자료를 평균하여 누락된 시점의 자료를 추정한다. 이전시점의 교통특성이 그대로 현시점에 영향을 미치게 되며, 하류부의 영향은 적을 것이라는 전제하에 누락/오류자료를 추정, 연속된 3개 이상의 보정은 추정 곤란하다.
패턴 자료 이용	<ul style="list-style-type: none"> 패턴자료를 이용한 보정은 동일하지 않은 특성을 지닌 셀 사이에 있는 검지기가 작동하지 않는 경우 데이터베이스에 저장된 과거의 자료를 통해 보정하는 방법이다. 진출부 및 진입부별로 진출·입 접속부셀, 연결로 셀에서 수집된 자료를 이용하여 오류 및 누락된 셀의 자료를 추정할 수 있는 관계식은 이력자료를 근거로 산정한다.

3. 서울지방경찰청 결측치 보정기법 연구

김동효 등[10]은 서울지방경찰청 종합교통정보시스템의 결측정보 생성알고리즘을 개선하는 연구를 수행하였다. 동 연구에서 제안된 결측 링크에 대한 예측정보를 생성하는 방안은 수집되는 정보를 최대한 활용하고, 정보수집이 결손된 링크에 대해서는 이력정보(패턴 데이터)를 활용하는 즉, 정보수집 시간주기 확장과 패턴데이터를 활용하는 방법이다.

4. 기존 결측치 보정기법의 특징 분석

기존의 교통소통정보 결측치 보정기법들의 특징 및 장/단점을 분석한 결과 <표 3>과 같이 공간추세 및 시간추세 활용법들을 사용하고 있으며, 이들은 각각 장/단점이 있다.

〈표 3〉 기존 결측치 보정기법 분석
(Table 3) Analysis of imputation techniques

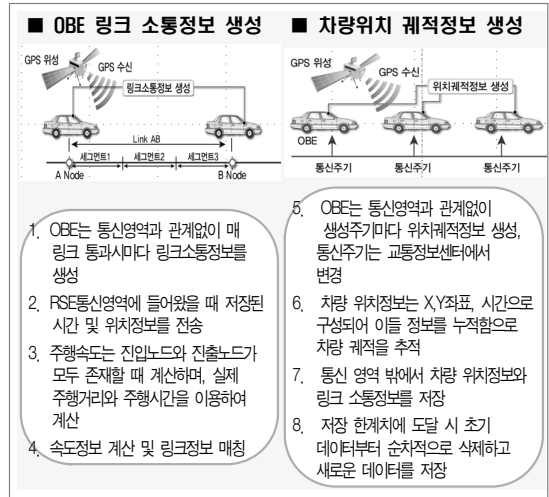
종류	주요 내용	사례 및 특징
공간적 추세 활용법	<ul style="list-style-type: none"> 해당지점과 비슷한 교통 특성을 보이는 지점(예: 인접링크)의 데이터를 활용하여 결측자료를 보정한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 고속도로 우회도로 교통정보시스템에 적용되었다. 인접구간의 교통류 특성이 비슷할 경우 효과적이다.
시간적 추세 활용법	<ul style="list-style-type: none"> 이동평균법 누락/오류가 검지된 자료의 시점에서 이전 시점으로 자료(예 이전 5분 자료)를 평균하여 누락된 시점의 자료를 추정한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 서울시 도시고속도로 교통관리시스템에 적용되었다. 연속된 3개 이상의 보정은 추정이 곤란하다.
패턴자료 이용법	<ul style="list-style-type: none"> 패턴자료를 이용한 보정은 동일하지 않은 특성을 지닌 셀 사이에 있는 검지기가 작동하지 않는 경우 데이터베이스에 저장된 과거의 자료를 통해 보정하는 방법이다. 	<ul style="list-style-type: none"> 서울지방경찰청 “교통정보 신뢰성 검증 연구”에 적용되었다. 돌발상황 발생시 속도정보의 신뢰도가 떨어진다.

Ⅲ. UTIS 결측치 보정 알고리즘

1. UTIS 교통정보 처리과정

UTIS는 <그림 1>, <그림 4>와 같이 교통정보를 분석·가공하는 지역교통정보센터와 RSE, OBE, CNS(Car Navigation System)로 구성된 현장시스템으로 이루어진다. OBE는 차량내에 설치되며 연결된 GPS의 위치 및 속도정보를 이용하여 차량의 이동 경로에 따른 운행정보를 축적한다. 그리고 RSE에 접속이 이루어질 때, 축적된 운행정보를 지역교통정보센터로 전송한다.

지역교통정보센터에 설치된 표준소프트웨어는 RSE를 통하여 수집된 프로브차량 데이터를 이용하여 <그림 1>, <그림 4>와 같이 교통소통정보 및 돌발정보 등을 생성하여 RSE를 통하여 운전자에게 제공한다[4].



〈그림 4〉 교통정보 생성과정(4)
(Fig. 4) Process for producing traffic information

2 지역교통정보센터 UTIS 결측치 보정방법

UTIS 지역교통정보센터 운영소프트웨어 교통정보 생성 알고리즘의 교통정보 생성은 5분단위로 이루어지며, 여러 가지 원인으로 교통정보 결측구간이 발생한다. 기존 알고리즘은 특정구간에 대한 교통소통정보 데이터가 누락될 경우 이에 대한 보정을 위해 3주기(5분전, 10분전, 15분전) 교통정보를 사용하고 있으나 개선이 필요하다.

예를 들어 <표 4>와 같이 특정구간에 수집정보 1, 수집정보 2와 같이 두 개의 정보가 올라왔을 경우 먼저 산술평균을 활용하여 두 정보의 평균치를 계산한다. 각 주기별 평균치가 계산되면 각 주기별로 가중치(5분전: 8, 10분전: 4, 15분전: 2)가 주어져 가중이동평균을 활용하여 최종 링크속도정보가 산출된다.

〈표 4〉 링크속도정보 산출시 가중평균 사용 예
(Table 4) Example of link travel speed measurement using weighted mean

구분	15분전	10분전	5분전
수집정보1	80km/h	70km/h	50km/h
수집정보2	83km/h	75km/h	45km/h
평균	81.5km/h	72.5km/h	47.5km/h
가중치	2	4	8

주) 가중치: 경험에 의한 값으로 조정 가능

3. 새로운 결측치 보정기법

1) 새로운 결측치 보정 알고리즘

도로에서 교통소통정보 결측이 발생하는 유형을 시간을 기준으로 분류하면 단기간 결측되는 경우와 장기간 결측되는 경우로 분류되며 장기간 결측되는 경우는 데이터베이스에 구축된 패턴데이터를 통한 결측치 추정이 가능하다. 프로브 차량의 미통과, 시스템 H/W 및 S/W 오작동 등의 이유로 일시적인 결측이 발생하는 경우에도 패턴데이터를 이용한 결측 속도 추정이 가능하나 돌발상황 발생시 교통정보의 신뢰도가 낮을 것으로 예상된다.

일시적인 결측 발생시 시간적 및 공간적 추세기법을 이용하여 결측구간의 속도추정이 가능하며, 돌발상황 발생시에도 상대적으로 속도추정 신뢰도가 높을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 시간적 및 공간적 추세기법을 이용하여 속도추정이 가능한 단기간의 결측 상황에서 1개 링크가 결측되는 경우에 적용 가능한 결측속도 추정 알고리즘을 제안하였다. 새로운 결측치 추정 알고리즘은 시간추세 활용법과 공간추세 활용법을 모두 적용하여 결측치를 보정하는 기법을 사용하였다.

2) 결측속도 추정을 위한 회귀식

통행속도 추정에 회귀분석을 이용하기 위한 연구들이 수행되었으며[11-13], 본 연구에서는 결측구간 속도를 추정하기 위해 회귀분석 기법을 이용하였다. 결측속도 추정을 위한 회귀식을 도출하기 위하여 시간추세모형에서 2개의 독립변수(5분전 속도, 10분전 속도값과 15분전 수집 속도값의 평균값), 공간추세모형에서 2개의 독립변수(상류부 인접링크의 속도값, 하류부 인접링크의 속도값)를 추출하여 총 4개의 독립변수를 가지고 회귀분석을 실시하여 회귀식을 도출하였다.

① 독립변수가 4개인 모형

회귀분석을 위하여 부천시 중앙로에서 6월18일 오전(8시~10시), 오후(12시~14시), 부천시 문예로에서 8월 6일 오전(8시~9시) 오후(12시~13시)에 현장

실험을 실시하여 수집된 자료를 Microsoft 엑셀을 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 분석에서 사용된 독립변수는 4가지이며 <표 6>에서 X_1 은 대상링크에서 5분전에 수집된 구간속도, X_2 는 대상링크에서 10분전, 15분전에 수집된 구간속도의 평균값, X_3 는 대상링크 상류부 인접링크의 구간속도, X_4 는 대상링크 하류부 인접링크의 구간속도이다.

4개 독립변수 모형의 회귀분석 결과 <표 5>와 같이 결정계수(R^2)가 0.818로 회귀모형이 결측링크의 속도 추정의 81.8%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다으며, 표준오차가 4.19로 결측링크 추정속도는 예측치를 중심으로 약±4.2의 변동량을 가지는 것으로 분석되었다.

<표 5> 독립변수가 4개인 모형의 회귀분석 통계량
(Table 5) Regression analysis involving 4 independent variables

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.904784
결정계수(R^2)	0.818635
조정된 결정계수(R_a^2)	0.804683
표준 오차	4.194793
관측수	57

<표 6> 추정된 회귀계수와 통계량
(Table 6) Regression coefficients and statistics

	계수	표준 오차	P-값
Y 절편	1.715474	3.051995	0.576475
X_1	0.334633	0.124526	0.009652
X_2	0.435839	0.118346	0.00055
X_3	0.157932	0.091764	0.091186
X_4	0.026717	0.064421	0.68005

주) X_1 : 5분전 수집된 구간속도,
 X_2 : 10분전, 15분전 수집된 구간속도의 평균값
 X_3 : 상류부 인접링크의 구간속도,
 X_4 : 하류부 인접링크의 구간속도

회귀분석 결과 <표 6>과 같이 독립변수 X_4 는 P값이 0.68로 0.05보다 상당히 크므로 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 결측속도 추정 대상 링크의 하류부 인접링크의 구간속도(X_4)는 결측구간 속도추정에 별 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

② 독립변수가 3개인 모형

독립변수가 4개인 모형의 회귀분석에서 속도추정에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 분석된 독립변수 X_4 (하류부 인접링크의 구간속도)를 제외한 3가지 독립변수를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 분석에서 사용된 독립변수 X_1 은 대상링크에서 5분전에 수집된 구간속도, X_2 는 대상링크에서 10분전, 15분전에 수집된 구간속도의 평균값, X_3 는 대상링크 상류부에 위치한 링크의 구간속도이다.

회귀분석을 위하여 부천시 중앙로에서 6월18일 오전(8시~10시), 오후(12시~14시), 부천시 문예로에서 8월 6일 오전(8시~9시) 오후(12시~13시)에 현장 실험을 실시하여 수집된 자료를 Microsoft 엑셀을 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 3개 독립변수 모형의 회귀분석 결과 결정계수(R^2)가 0.818로 회귀모형이 결측링크의 속도 추정의 81.8%를 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 표준오차가 4.16로 결측링크 추정속도는 예측치를 중심으로 약 ± 4.2 의 변동량을 가지는 것으로 분석되었다.

<표 7> 독립변수가 세 개인 모형의 회귀분석 결과
(Table 7) Regression analysis involving 3 independent variables

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.904453
결정계수(R^2)	0.818035
조정된 결정계수(R_a^2)	0.807735
표준 오차	4.161897
관측수	57

<표 8> 추정된 회귀계수와 통계량
(Table 8) Regression coefficients and statistics

	계수	표준 오차	P-값
Y 절편	2.527783	2.322214	0.281289
X_1	0.338146	0.123263	0.008281
X_2	0.429585	0.116461	0.000532
X_3	0.162568	0.090366	0.077715

주) X_1 : 5분전 수집된 구간속도,
 X_2 : 10분전, 15분전 수집된 구간속도의 평균값,
 X_3 : 상류부 인접링크의 구간속도

③ 회귀모형 비교분석 및 회귀식 도출

4변수 모형과 3변수 모형의 성능을 비교하기 위해 두 모형의 조정된 결정계수(R_a^2 : 독립변수의 수가 다를 경우 적용)를 비교분석한 결과 3변수 모형의 조정된 결정계수(R_a^2)가 0.808로 4변수 모형의 조정된 결정계수값 0.805보다 크며, 이는 3개 독립변수 모형이 4개 독립변수 모형보다 우수함을 나타낸다.

회귀분석 결과 교통소통정보 결측링크 속도추정에 3변수 모형이 우수한 것으로 분석되었으며, 3개 독립변수 모형의 회귀분석 결과 결측구간 통행속도 추정 회귀식은 (1)과 같다. 이 식을 이용하여 현장실험을 실시하여 새로운 모형의 성능을 평가하였다.

$$V_t = 2.53 + 0.34 * X_1 + 0.43 * X_2 + 0.16 * X_3 \quad (1)$$

여기서, V_t = 산출된 구간 평균속도,
 X_1 : 5분전 수집된 구간속도,
 X_2 : 10분전, 15분전 수집된 구간속도 값의 평균
 X_3 : 상류부 인접링크의 구간속도

IV. 성능평가를 위한 현장실험

1. 현장실험 및 결과분석 방법

결측치가 많이 발생할 것으로 예상되는 지점을 대상으로 현장실험 장소를 선정하여 현장실험을 실시하고, 현장실험에서 수집된 자료에 결측치 추정을 위

한 회귀식 (1)을 적용하여 실험대상 도로구간의 구간 평균속도를 5분 단위(UTIS 교통정보 제공주기)로 산출하였다. 현장실험 결과의 분석 및 평가를 위해 해당 도로의 링크구간 기·종점에서 유·출입하는 차량을 비디오 촬영하여 동일차량의 해당 도로구간 진입과 진출시간을 측정하고, 해당 도로구간의 실측 통행속도 값(기준속도)을 5분 단위로 측정하였다.

비디오 통행속도 분석을 통하여 수집된 통행속도를 기준으로 새로운 결측치 추정 알고리즘을 적용하여 산출한 통행속도의 오차를 비교/분석하여 새로 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 기준속도와 새로운 결측치 추정 알고리즘이 산출한 속도의 차이에 대한 정확도 평가는 식 (2), (3)과 같이 국토해양부 「ITS 성능평가 시행지침(안) : 차량검지기(VDS)」에서 제시된 ‘평균절대오차백분율(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)’ 방법을 적용하였다.

$$- \text{시스템 산출속도 정확도}(\%) = 100 - \text{MAPE} \quad (2)$$

$$-\text{MAPE}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100 \quad (3)$$

Y_i : i번째 분석단위시간의 기준값
 X_i : i번째 분석단위시간의 평가대상장비 측정값
 n : 분석단위시간 개수

국토해양부 차량검지기(VDS) 성능평가의 평가등급 기준은 <표 9>와 같다.

<표 9> 국토해양부 차량검지기(VDS) 성능평가 기준
 (Table 9) Standard for performance evaluation of the VDS

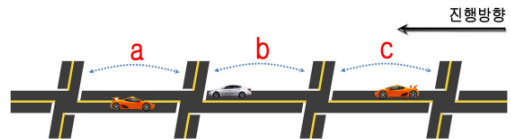
평가항목		교통량	속도
평가 등급	최상급	≥95 %	≥95 %
	상급	≥90 %	≥90 %
	중급	≥80 %	≥80 %
	중하급	< 80 %	< 80 %

주) 본 기준은 지점검지체계 평가기준이며, 본 연구에서 성능평가를 위해 준용하였다.

2. 회귀식을 이용한 결측치 추정방법

도로의 구간속도정보 결측이 발생하는 유형을 시간을 기준으로 분류하면 단기간 결측되는 경우와 장기간 결측되는 경우로 분류되며 장기간 결측되는 경우는 데이터베이스에 구축된 패턴데이터를 통한 분석이 가능하다. 본 연구에서는 단기간의 결측 상황에서 특정 링크가 결측되는 경우에 적용 가능한 결측속도 추정 알고리즘을 제안하여 현장실험을 실시하였다.

<그림 5>에서 차량이 c에서 a방향으로 진행할 때 링크b의 구간속도 정보가 결측된 경우 결측치 추정 회귀식 (1)을 적용하여 구간속도를 추정하였다. 구간속도 추정을 위한 회귀식의 독립변수 X_1 은 b링크의 5분전 수집된 구간속도, X_2 는 b링크의 10분전, 15분전 수집된 구간속도 값의 평균, X_3 는 c링크의 구간속도이다.



<그림 5> 링크(b링크) 결측치 추정
 (Fig. 5) Imputation of the link travel speed at roads

3. 현장실험 내용

UTIS 시범사업 도시인 인천시/부천시를 대상으로 도로구간 중 단위시간당 OBE 접속비율이 높은 순으로 대상 링크 30개를 선정하여 현장조사를 실시하였다. 교통정보 결측이 예상되는 구간, 교통흐름 방해요소 존재 여부, 비디오 조사의 용이성 등을 고려하여 최종적으로 3개 지점을 현장실험 장소로 선정하였다.

현장실험장소로 선정된 3개 지점에서 2010년 8월 4, 6, 11일 침두 및 비침두 각 1시간씩 <표 10>과 같이 현장실험을 실시하여 자료를 수집하였으며, 실험 구간의 진입부와 진출부에 비디오 촬영을 하여 실험대상 구간의 통행속도(기준속도)를 측정하였다. 개발된 결측치 추정 알고리즘을 현장실험

에서 수집된 자료에 적용하여 실험대상 구간의 통행속도를 산출하였으며, 비디오 분석을 통해 산출된 기준속도와 비교하여 새로 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다.

〈표 10〉 현장실험 내용
(Table 10) Field test in Incheon and Bucheon cities

날자	실험 시간	장소 및 방향	링크 길이
8월4일	8시~9시	인천시 중앙공원길: YMCA사거리 → 중앙도서관삼거리	187m
	12시~13시		
8월6일	8시~9시	부천시 문예로: 정말문예사거리 → 복사골아파트	335m
	12시~13시		
8월11일	8시~9시	부천시 국도39호선: 하우고개 입구 → 부천역 남부사거리	172m
	12시~13시		

V. 현장실험 결과 및 평가

1. 현장실험 결과

본 연구에서는 시간적 및 공간적 추세기법을 이용하여 속도추정이 가능한 단기간의 결측 상황에서 단일링크가 결측되는 경우에 적용 가능한 결측 속도 추정 알고리즘을 제안하여 현장실험을 실시하였다.

현장실험장소로 선정된 3개 지점에서 2010년 8월 4, 6, 11일 3일 동안 침두 및 비침두 각 1시간씩 <표 10>과 같이 현장실험을 실시하였다. 그중 8월 6일 부천시문예로에서 실시된 실험결과는 회귀식 추정에 사용하였으며, 이를 제외한 인천시 1개소, 부천시 1개소에서 실시된 현장실험 결과를 분석한 결과는 <표 11>과 같다.

실험 장소중 비교적 프로브 차량 데이터수가 많은 부천시 국도 39호선 하우고개입구에서 부천역 남부사거리 링크의 실험 결과, 오전 침두시간에 실시된 실험의 추정속도 정확도가 91.4%, 오후 비침

두시간에 실시된 실험의 추정속도 정확도는 96.8%, 오전/오후를 통합 추정속도 정확도가 94.1%로 나타나 국토해양부 검지기 성능평가 기준으로 볼때 상급(90% ≤ 신뢰도 < 95%)의 정확도를 나타내는 것으로 분석되었다.

인천시 중앙공원길에서도 오전 침두시간, 오후 비침두시간에 현장실험을 실시하였으며 실험결과 정확도는 93.1%였다. 인천시 및 부천시 시험결과를 평균한 정확도는 <표 11>과 같이 93.6%였으며, 이는 국토해양부 검지기 성능평가 기준으로 볼때 상급의 정확도를 나타내는 것으로 본 논문에서 제안한 결측치 추정알고리즘이 비교적 정확하다는 것을 나타낸다.

〈표 11〉 추정속도 정확도 분석
(Table 11) Analysis of imputation algorithm

구분	링크명	정확도
부천시	국도 39호선	94.1%
인천시	중앙공원길	93.1%
평균 정확도		93.6%

2. 평가

부천시 국도 39호선 현장실험에서 산출된 결측치 추정속도를 기존의 방법인 시간추세기법(이동평균법), 공간추세기법(<표 1>)과 비교 분석하였다.

분석결과 <그림 6>, <표 12>와 같이, 새로운 방식인 시/공간추세 및 회귀식을 이용하여 구간통행속도를 추정하는 방식의 추정속도 오차백분율의 분산(43.5) 및 표준편차(6.6)가 공간추세기법을 적용했을때의 분산(216.9), 표준편차(14.7)보다 2배이상 작았으며, 시간추세기법을 적용했을때의 분산(53.5), 표준편차(7.3)보다도 작은 것으로 분석되었다. 이는 새로운 알고리즘(시/공간추세기법)이 기존의 방식인 공간추세기법 및 시간추세기법 보다 구간속도를 정확하게 추정함을 나타낸다.

실험결과 새로운 결측치추정 알고리즘을 적용한 속도측정방식이 기존의 구간속도 측정방식보다 속

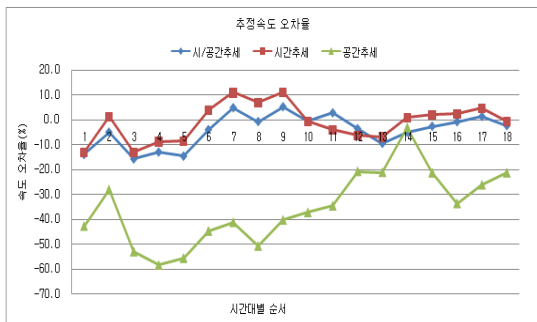
도측정 정확도가 높은 것으로 분석되었으며, 이 결과가 통계적으로 유의미한 것인지를 알아보기 위해 분산동일성 검증방법인 F검정을 이용하여 검증하였다[4].

F검정은 새로운 결측치 추정방법과 기존의 공간추세기법 및 시간추세기법의 속도측정 오차백분율 값들 분산의 동일성을 각각 비교 분석하였으며, 검증할 가설은 다음과 같다.

- 귀무가설 H_0 : 두 속도측정방식의 속도측정 오차값들의 분산은 동일하다.
- 대립가설 H_1 : 두 속도측정방식의 속도측정 오차값들의 분산은 동일하지 않다.

Microsoft 엑셀 프로그램을 이용하여 F검정을 실시한 결과 새로운 방법과 기존의 공간추세법을 비교할 경우, 유의확률 p-값은 0.0019로 유의수준 $\alpha = 0.01$ 보다 작으므로 분산이 같다는 가설을 1% 유의수준에서 기각할 수 있다. 따라서 새로 개발된 결측치 추정방식이 99%의 신뢰도수준에서 공간추세를 이용한 구간속도 추정방식보다 성능이 뛰어나다고 말할 수 있다.

한편, 새로운 방법과 시간추세법과의 비교에서 유의확률 p-값은 0.681이었으며, 이는 새로운 방법이 시간추세법보다 정확한 것으로 나타났지만, 통계학적 측면에서는 시간추세법보다 성능이 우수하다고 검증하기는 어렵다는 것을 의미한다.



<그림 6> 부천시 국도39호선 현장실험 결측치 추정속도 오차분포

<Fig. 6> Test result at National highway 39 in Bucheon City

<표 12> 부천시 국도39호선 현장실험 결측치 추정속도 오차

<Table 12> Test result at National highway 39 in Bucheon City

구분	순서	조사 시간	시-공간추세 산출속도 오차율(%)	공간추세 산출속도 오차율(%)	시간추세 산출속도 오차율(%)
오전	1	8:05~8:10	-14.1	-42.8	-12.9
	2	8:10~8:15	-4.9	-28.1	1.2
	3	8:15~8:20	-15.8	-53.0	-13.0
	4	8:20~8:25	-12.9	-58.4	-8.7
	5	8:25~8:30	-14.7	-55.6	-8.4
	6	8:30~8:35	-4.0	-44.7	4.0
	7	8:35~8:40	4.8	-41.3	10.9
	8	8:40~8:45	-0.7	-50.8	7.0
	9	8:45~8:50	5.2	-40.3	11.1
오후	10	12:00~12:05	-0.7	-37.3	-0.5
	11	12:05~12:10	2.8	-34.6	-3.9
	12	12:10~12:15	-3.6	-20.8	-6.3
	13	12:15~12:20	-9.4	-21.2	-6.8
	14	12:20~12:25	-5.0	-3.1	1.0
	15	12:25~12:30	-2.5	-21.3	2.0
	16	12:30~12:35	-0.7	-33.7	2.4
	17	12:35~12:40	1.2	-26.2	4.7
	18	12:40~12:45	-2.3	-21.3	-0.6
분산			43.5	216.9	53.5
표준편차			6.6	14.7	7.3

VI. 결 론

지역교통정보센터 UTIS 표준소프트웨어의 교통소통정보 산출알고리즘의 결측치 보정기법은 시간추세 활용법을 이용한 방법이며, 특정구간에 대한 교통소통정보 데이터가 누락될 경우 이에 대한 보정을 위해 3주기(5분전, 10분전, 15분전) 교통정보를 사용하고 있으나 교통정보 산출식의 근거가 미약하다.

본 연구에서는 시간적 및 공간적 추세기법을 이용하여 속도추정이 가능한 단기간의 결측 상황에서 단일링크가 결측된 경우에 적용 가능한 결측속도 추정 알고리즘을 제안하여 현장실험을 실시하였다.

현장실험장소로 선정된 3개 지점에서 2010년 8월 4, 6, 11일 3일 동안 침두 및 비침두 각 1시간씩 <표 10>과 같이 현장실험을 실시하였다. 그중 인천시 1개소, 부천시 1개소에서 실시된 현장실험 결과

를 분석한 결과 새로 개발된 교통소통정보 결측치 보정 알고리즘이 산출한 속도의 오차백분율 값을 활용한 속도정확도가 93.6%로 나타났으며, 이는 본 연구에서 제안한 결측치 추정 알고리즘이 산출한 속도값이 93.6%의 정확도를 가짐을 의미한다.

이는 국토해양부의 지점검지기 성능평가 기준의 상급 정도의 성능을 가지는 것이다. 또한, 제안된 알고리즘(시/공간추세기법)과 기존의 공간추세기법 및 시간추세기법을 이용한 방법들과의 구간속도 추정 정확도 비교/분석에서도 제안된 알고리즘이 기존의 방법보다 성능이 뛰어난 것으로 분석되었다. 제한된 자료를 가지고 이 정도의 정확도를 확보할 수 있다면 제안된 알고리즘의 성능이 상당히 좋은 것으로 판단할 수 있다.

본 논문에서는 1개 링크의 교통소통정보가 결측된 경우에 이를 추정하기 위한 방안에 관한 연구를 수행하였으며, 향후로 인접한 2개 이상 링크의 구간속도 데이터가 결측된 경우 이를 추정하기 위한 알고리즘 연구 등이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] H. Xu and M. Barth, "Travel Time Estimation Techniques for Traffic Information Systems Based on Inter vehicle Communications," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 1944, pp.72-81, 2006.

[2] W. Pu, J. Lin and L. Long, "Real-Time Estimation of Urban Street Segment Travel Time Using Buses as Speed Probes," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 2129, pp.81-89, 2009.

[3] A. Demers, G. F. List, W. A. Wallace, E. E. Lee and J. M. Wojtowicz, "Probes as Path Seekers : A New Paradigm," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 1944,

pp.107-114, 2006.

[4] 기용걸, 안계형, 김은정, 정준하, 배광수, 이철기, "UTIS 구간통행속도 이상치 제거 알고리즘," *한국ITS학회논문지*, 제9권, 6호, pp.33-42, December 2010.

[5] B. L. Smith, W. T. Scherer and J. H. Conklin, "Exploring Imputation Techniques for Missing Data in Transportation Management Systems," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 1836, pp.132-142, 2003.

[6] J. Wang, N. Zou and G-L. Chang, "Travel Time Prediction : Empirical Analysis of Missing Data Issues for Advanced Traveler Information System Applications," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 2049, pp.81-91, 2008.

[7] 강경표 외, "교통정보공학론," 청문각, 2008.

[8] 서울특별시, 도시고속도로 교통관리시스템(3단계) 설치공사 기본설계보고서, 2003.

[9] 변완희, 김주현, "교통시스템 설계론," 청문각, 2002.

[10] 김동효 외, "중앙교통정보센터 교통정보 수집 체계 신뢰성 검증용역 보고서," 서울지방경찰 청, 2004.

[11] L. A. Frechete and A. M. Khan, "Bayesian Regression-Based Urban Traffic Models," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 1644, pp.157-163, 1998.

[12] J. Kwon, B. Coifman and P. Bickel, "Day-to-Day Travel-Time Trends and Travel-Time Prediction from Loop-Detector Data," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 1717, pp.120-129, 2000.

[13] C. P. IJ. Hinsbergen and J.W.C. Lint, "Bayesian Combination of Travel Time Prediction Models," In *Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.*, no. 2064, pp.73-80, 2008.

저자소개



기 용 곁 (Ki, Yong-Kul)

1994년 12월 ~ 현 재 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
1991년 12월 ~ 1992년 12월 : 삼성전자(주) 연구원
2007년 : 고려대학교 컴퓨터학과 박사



안 계 형 (Ahn, Gye-Hyeong)

2002년 12월 ~ 현 재 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구위원
2009년 1월 ~ 현 재 : 서울시 교통신호포럼 위원
1997년 7월 ~ 2002년 12월: 교통개발연구원 ITS 연구센터 책임연구원
1997년 5월 : 미국 University of Texas at Austin 토목공학과 교통공학박사
1986년 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시계획학 석사(교통공학전공)



김 은 정 (Kim, Eun-Jeong)

1992년 5월 ~ 현 재 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원
2007년 : 서울시립대학교 박사과정 수료
1991년 7월 ~ 1992년 5월 : 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원
1991년 : 영남대학교 대학원 교통공학 석사



배 광 수 (Bae, Kwang-Soo)

1997년 3월 ~ 현 재 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
2008년 12월 : 교통기술사
2002년 7월 : 서울시립대학교 도시과학대학원 교통공학 석사