

# UTIS 구간통행속도 이상치 제거 알고리즘

## Error Filtering Algorithm for Accurate Travel Speed Measurement Using UTIS

기 용 곁\*      안 계 형\*\*      김 은 정\*\*\*      정 준 하\*\*\*\*      배 광 수\*\*\*\*\*      이 철 기\*\*\*\*\*  
 (Yong-Kul Ki)    (Gye-Hyeong Ahn)    (Eun-Jeong Kim)    (Jun-Ha Jeong)    (Kwang-Soo Bae)    (Choul-Ki Lee)

### 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 불규칙한 주행궤적, 무선통신 장치의 통신범위 등의 요인으로 UTIS 산출 속도의 신뢰도가 저하되는 현상이 일부 나타나고 있다. 본 논문에서는 이러한 오차를 줄이기 위해 UTIS에 포함된 이상치를 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 적용하여 현장실험을 실시한 결과 새로운 이상치 제거 알고리즘이 속도 측정값들 오차백분율의 분산을 기존 알고리즘보다 2배 이상 줄여주는 것으로 분석되었다. 이는 새로운 알고리즘이 이상치를 적절히 처리하여 구간통행속도 산출 정확도를 높여줌을 나타낸다.

### Abstract

Travel speed is an important parameter in measurement of road traffic. UTIS(Urban Traffic Information System) was developed as a type of section detector. However, UTIS incur errors caused by irregular vehicle trajectories, wireless communication range and so on. This paper suggests a new model that use an error-filtering algorithm to improve the accuracy of travel speed measurements. In the field test, the variance of the percent errors measured by the new model was reduced. Therefore, it can be concluded that the proposed model significantly improves travel speed measuring accuracy.

**Key words** : UTIS, probe-car, travel-speed, error filtering, ITS

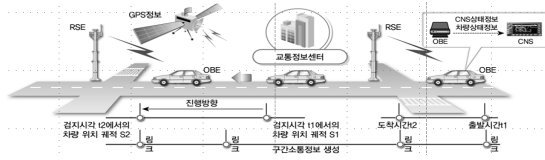
## I. 서 론

### 1. 연구 배경 및 목적

교통정보 수집장치로 많이 이용되고 있는 루프

검지기, 피에조검지기, 자기검지기 등의 검지기는 도로의 일정 지점의 속도를 측정하는 지점검지기이다. 지점검지기는 도로의 일정 구간의 속도를 측정하기에는 많은 한계가 있으며, 이러한 한계를 극복하기 위해 도입된 구간 검지시스템[1,2] 중 첨단

† 본 연구는 도로교통공단 연구과제로 수행하였습니다.  
 \* 주저자 및 교신저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원  
 \*\* 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구위원  
 \*\*\* 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원  
 \*\*\*\* 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 수석연구원  
 \*\*\*\*\* 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원  
 \*\*\*\*\* 공저자 : 아주대학교 ITS대학원 교수  
 † 논문접수일 : 2010년 11월 11일  
 † 논문심사일 : 2010년 12월 14일(1차), 2010년 12월 16일(2차)  
 † 게재확정일 : 2010년 12월 17일



<그림 1> UTIS 교통정보 생성과정

<Fig. 1> Process for producing traffic information using UTIS

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

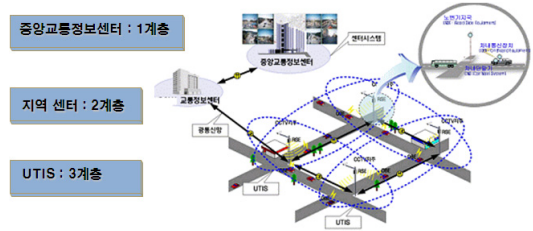
UTIS는 <그림 1>과 같이 무선랜 기술(IEEE 802.11.a/e) [3]을 기반으로하여 차량에 설치된 장치(OBE: Onboard Equipment)와 노변기지국(RSE: Roadside Equipment)을 활용하여 실시간으로 광역 교통정보를 수집하여 제공하며, 다양한 부가서비스를 구현할 수 있는 시스템이다.

2009년부터 수도권 4개 도시에서 UTIS를 설치하여 시범운영한 결과, 여러가지 요인(예: 장시간 노변에 주차하고 있는 프로브 차량 등)으로 인해 UTIS 교통정보의 신뢰도가 저하되는 현상이 발생하였다. 이러한 이상치들이 발생하는 원인을 분석하고 이를 적절히 제거할 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용함으로써, UTIS가 제공하는 교통정보의 신뢰도를 높이는 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 통합하여 1차로 교통정보를 생성하여 중앙교통정보센터에 전송하는 역할을 수행한다.

본 연구는 3계층 교통정보 수집장치인 UTIS의 교통정보 신뢰도 개선을 위하여, OBE, RSE와 연결하여 교통정보를 생성하는 운영소프트웨어의 교통정보생성 알고리즘에 새로운 이상치 제거기법을 개발 및 적용하여 교통정보의 신뢰도를 높이는 방안을 강구하고, 현장실험을 통해 개발된 알고리즘



<그림 2> 교통정보 수집·제공시스템 계층도

<Fig. 2> Hierarchy for collecting and providing traffic information

의 성능을 평가하였다.

## II. 관련 이론 및 연구

### 1. 중위절대편차를 이용한 이상치 제거방법 [4, 5]

한국도로공사(2000)는 고속도로 TCS(Toll Collection System) 자료를 이용하여 통행시간을 산출함에 있어 중위절대편차(MAD: Median Absolute Deviation)를 이용하였다.

$$MAD = 1.4826 \times median \| x_i - x_{med} \| \quad (1)$$

$$Z_i^{med} = \frac{X_i - X_{med}}{MAD} \quad (2)$$

여기서,  $x_i$  = 변수  $x$ 의 관측값

$x_{med}$  = 변수  $x$ 의 중위값(median)

1.4826 = MAD를 정규분포에 대한 표준편차와 같도록 만들어 주는 수정 계수 (correction factor)

$$\left| Z_i^{med} \right| > Z_{cut} \text{ 이면 이상치로 판단함}(Z_{cut} = 3)$$

### 2. 서울시 도시고속도로 교통관리시스템 [4, 5]

서울시 도시고속도로 교통관리시스템은 <표 1>과 같은 이상치 판단기준에 의거하여 아래와 같이 수집된 자료의 오류여부를 결정한다.

- ① 교통량-점유율-통행속도 관계식에 기초하여 3개의 교통자료가 서로 상관관계를 유지하지 못할

경우 이상치로 판정하여 처리한다.

- ② 4개 이상의 연속된 검지기의 교통량, 점유율, 지점속도가 모두 동일한 경우 이상치로 판정한다(단, 교통량이 적은 심야시간의 경우 전구간에 교통량, 지점속도, 점유율이 0인 경우가 발생할 수 있으므로, 이런 경우 지점속도를 대상 도로의 제한속도로 보정).
- ③ 통신장애나 하드웨어적 결함으로 인하여 수집된 자료를 이상치로 판정하여 처리한다.

〈표 1〉 이상치 범위 (4)  
 〈Table 1〉 Range of outlier data

구분	교통량	점유율	속도
오류 조건	0≤차로별 환산 교통량≤3,014	0≤점유율 (백분율)≤99	0≤속도≤140km/h

### 3. 신뢰구간 추출법에 의한 이상치 제거방법

장진기 외(2001)는 비매설식 AVI를 개발하면서 신뢰구간 추출법을 적용한 이상치 제거방법을 제시하였다. 이 방법은 우선 각 개별차량의 구간통행시간값이 극단적인 측정치들에 의하여 편중되지 않도록 상한값과 하한값들을 상수값으로 설정하여, 이 범위 이외의 구간통행시간 자료 측정치를 제거한다. 그리고 남은 값들 중에서 신뢰도 95% 혹은 68%의 범위를 초과하는 값들을 제거하는 방법이다[6-9].

#### 1) 상한값/하한값 설정

〈표 2〉 상/하한값 설정 (6)  
 〈Table 2〉 Upper and lower limits

순서	내용
상한값	· 해당도로 설계속도의 2배를 초과하는 구간통행시간값을 제외
하한값	· 해당구간을 10km/h 이하로 통행하는 구간통행시간값을 제외 · 단, 이러한 하한치를 보이는 구간통행시간값들의 개수가 전체 구간통행시간값들의 50% 이상을 초과할 경우 포함하여 산정

#### 2) 신뢰구간 68% 자료 추출방법

운전자에게 정확한 교통정보를 제공하기 위해서는 도로상의 교통상태를 정확히 표현할 수 있는 구간대표 통행시간값을 산출하여야 한다. 따라서 상한값과 하한값을 제거한 개별 구간통행시간 자료에 대하여 신뢰구간을 설정하여 이 범위 이외의 자료를 제거하였다. 이때 신뢰구간 설정방법은 정규분포에서 평균값과 표준편차와의 신뢰도 확률을 적용하여 산정하였다.

구간교통정보 수집장치로부터 수집된 개별차량의 구간통행시간값으로부터 평균값을 구한 후, 표준편차를 산출하고, 표준편차의 1배 범위(신뢰구간 68%)를 만족하지 못하는 개별 차량의 구간통행시간값들을 제거한 후, 나머지 구간통행시간값을 산술평균하여 구간대표 통행시간값으로 적용하였다.

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{n} \tag{3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum T_i^2 - n\bar{T}^2}{n-1}} \tag{4}$$

$$T_{is} = |T_i - \bar{T}| \leq \sigma \tag{5}$$

여기서,

$\bar{T}$ : 구간교통정보 수집장치로부터 수집된 개별 차량들의 구간통행시간값의 산술평균값

$T_i$ : 구간교통정보 수집장치로부터 수집된 개별 차량의 구간통행시간값

$\sigma$ : 구간교통정보 수집장치로부터 수집된 개별 차량들의 구간통행시간 표준편차

$T_{is}$ : 구간교통정보 수집장치로부터 수집된 개별 차량중 유효한 차량

$n$ : 구간교통정보 수집장치로부터 자료가 수집된 차량수중 상/하한값을 제외한 차량대수

$$T_s = \frac{\sum T_{is}}{n_s} \quad V_s = \frac{S_s}{T_s} \tag{6}$$

여기서,

$S_s$  : 구간  $s$ 의 거리

$n_s$  :  $T_{is}$ 의 차량 대수

$T_s$  : 구간  $s$ 의 평균통행시간

$V_s$  : 구간  $s$ 의 공간평균속도

#### 4. ARIMA 모형에 의한 GPS 데이터 이상치 제거

최기주와 장정아(2004)는 구간검지체계 GPS 프로브 원시데이터의 1차 가공을 위한 평균화과정에서 발생할 수 있는 문제점으로 이상치 문제에 대하여 검토하고 있다. 이상치 데이터를 제거하지 않을 경우 구간검지기의 수집 및 가공 신뢰도를 저하시킬 수 있으므로, 이상치 데이터를 수집 주기별로 판단하여 제거하여야 하는 방법을 제안하였다. 이때, 이상치 제거 알고리즘으로 ARIMA 모형을 적용시켜 실시간적 신뢰구간 추정과정들을 제시하였다[9, 10].

#### 5. 기존 이상치 제거 알고리즘의 특징 분석

기존의 이상치 제거 알고리즘들의 특성 및 장단점을 분석한 결과 <표 3>과 같이 대부분의 방법이 상한값 및 하한값을 추정하여 이상치를 제거하는 기법을 사용하고 있다.

<표 3> 기존 이상치 제거 알고리즘 분석  
<Table 3> Analysis of error filtering algorithms

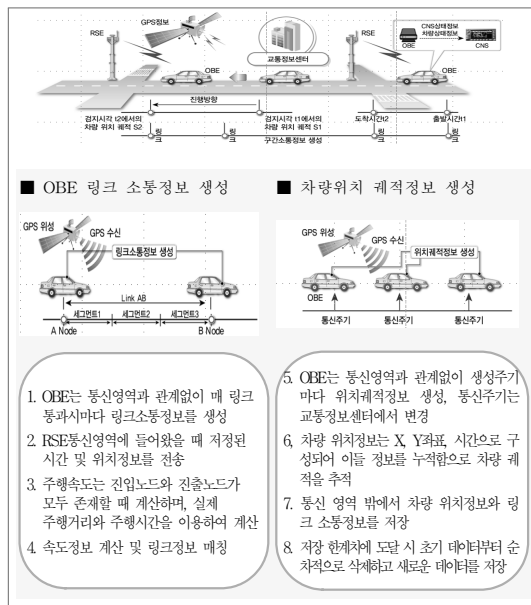
종류	특징
중위절대편차 (한국도로공사)	<ul style="list-style-type: none"> <li>상/하한값 추정방식</li> <li>연속 교통류에 적합한 방식</li> </ul>
서울시 도시고속도로 교통관리시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>교통량, 밀도, 속도의 연관관계를 이용하는 방식</li> </ul>
신뢰구간 추출법 (강진기 등)	<ul style="list-style-type: none"> <li>상/하한값 추정방식</li> <li>측정된 구간 통행시간 값들 중 하한값의 개수가 전체 구간 통행시간 값들의 50% 이상을 초과할 경우 하한값도 포함하여 속도를 산정</li> </ul>
ARIMA 모형 (최기주, 장정아)	<ul style="list-style-type: none"> <li>상/하한값 추정방식</li> <li>제안된 방법에 대한 검증이 미흡</li> </ul>

### III. UTIS 기반 이상치 제거 알고리즘

#### 1. UTIS 교통정보 처리과정

UTIS는 <그림 3>과 같이 교통정보를 분석·가공하는 교통정보센터와 RSE, OBE, CNS(단말기)로 구성된 현장시스템으로 이루어진다. OBE는 차량 내에 설치되며 연결된 GPS의 위치 및 속도정보를 이용하여 차량의 이동경로에 따른 운행정보를 축적한다. 그리고 RSE에 접속이 이루어질 때, 축적된 운행정보를 지역교통정보센터로 전송한다.

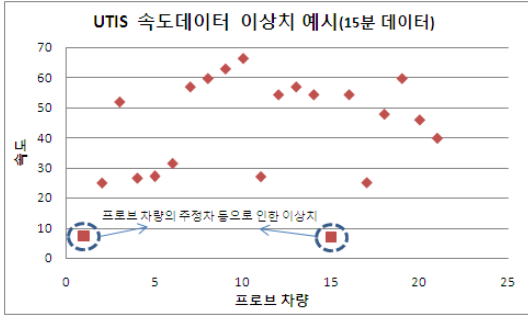
지역교통정보센터에 설치된 표준소프트웨어는 RSE를 통하여 수집된 프로브차량 데이터를 이용하여 <그림 3>과 같이 교통소통정보 및 돌발정보 등을 생성하여 RSE를 통하여 운전자에게 제공한다.



<그림 3> 교통정보 생성과정  
<Fig. 3> Process for producing traffic information

#### 2 UTIS 이상치 제거방법

UTIS 운영과정에서 여러 가지 요인으로 <그림 4>의 원속에 표시된 것과 같은 이상치가 발생하며, 지역교통정보센터 UTIS 운영소프트웨어의 교통소통정보 산출알고리즘은 OBE 및 RSE에서 수집된



〈그림 4〉 UTIS 프로브 차량 속도측정 이상치  
(Fig. 4) Outlier measured by UTIS prove-car

원시데이터 중 중복데이터 및 도로별 최고제한속도 정보를 이용하여 다음과 같이 2단계로 오류를 제거하는 초보적 수준의 이상치 제거 알고리즘을 사용하고 있다.

- ① 1단계 : OBE 원시 소통데이터 중 통신이상에 의해 데이터가 중복된 경우 이를 제거한다.
- ② 2단계 : 해당 링크의 “최고제한속도”를 참조하여 이를 초과하는 값은 이상치로 간주하여 제거한다.

### 3. UTIS 이상치 제거방법의 오류요인

현재 UTIS 운영소프트웨어의 교통소통정보 산출알고리즘이 오류를 발생하는 원인은 크게 두가

지(검지시스템 오류 및 운전자 주행행태에 의한 오류)로 분석되며, 특히, 프로브차량 운전자의 통행행태에 의한 오류 문제가 부각되고 있다.

<그림 5>의 원으로 표시된 부분은 프로브 차량 운전자의 정차로 인해 구간평균속도가 1Km/h로 저하되는 현상을 보여준다.

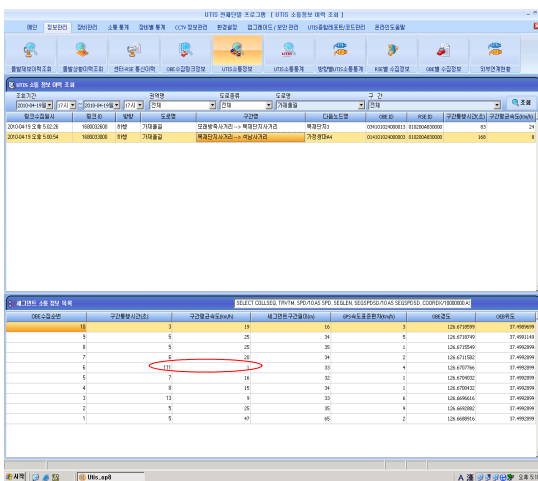
### 4. 새로운 UTIS 이상치 제거 알고리즘

#### 1) 시간추세를 이용한 UTIS 이상치 제거 알고리즘

본 연구에서는 중위절대편차를 이용한 방법, 신뢰구간추출법(강진기 등) 등의 연구결과 및 현장실험 자료 분석을 통해 <표 4>와 같이 통행속도의 시간적 변화추세를 이용하여 3단계로 이상치를 제거하는 알고리즘을 제안하였다.

오류 요인 분석결과 프로브 차량(택시) 운전자들의 주행행태(주행 중 장시간 정차 등)에 의하여 발생하는 오류가 속도측정 신뢰도 저하의 주요 요인으로 분석되었다. 이러한 차량은 링크의 특정 세그먼트에서 속도가 매우 낮은 경우가 많다. 이를 제거하기 위한 방법으로 시간추세에 따라 상/하한값을 적절히 조절하여 이상치를 제거하는 기법을 사용하였다.

즉, 시간흐름에 따른 교통상황 변화추이를 반영



〈그림 5〉 UTIS 속도측정 이상치  
(Fig. 5) Outlier measured by UTIS

〈표 4〉 새로운 이상치 제거 알고리즘  
(Table 4) New error filtering algorithm using UTIS

단계	내용
1단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상한값: 최고제한속도의 2배를 초과하는 구간 통행시간 값을 제외</li> <li>• 하한값: 구간을 5km/h 이하로 통행하는 구간통행시간 값을 제외</li> </ul>
2단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수집된 데이터의 평균값을 이용하여 비정상적으로 크거나 작은 값들을 제거</li> <li>• 수집된 데이터가 정규분포의 특성을 따른다면 Z값이 +3, -2 이외의 값들은 이상치로 간주하여 제거</li> <li>• 평균값, Z값은 해당 링크의 이전 15분 동안 자료를 사용하여 산출</li> </ul>
3단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정제시: 하한값보다 작은 구간통행시간 값들의 개수가 전체 구간 통행시간 값들의 50% 이상을 초과할 경우 포함하여 산정</li> </ul>

(최근 15분 자료를 이용)하여 이상치 제거를 위한 상/하한값을 추정하는 기법을 사용하였다. 상한값은 이상치 발생요인이 상대적으로 적은 점을 고려하여  $Z_{cut} = 3$ (1% 수준)을 적용하였고, 하한값의 경우 프로브차량인 택시의 주/정차 등에 의한 이상치 발생 빈도가 높아서  $Z_{cut} = -2$ (5% 수준)를 적용하였다.

2) 시간추세를 이용한 상/하한값 결정(2단계)

① 확률계산법을 이용한 이상치 제거방법

수집된 UTIS 데이터의 이상치를 제거하기 위해 정규분포의 확률계산법을 적용하였다.

- UTIS 속도 데이터에 대한 정규성 검정 결과, 95% 신뢰수준에서 정규분포에 대한 기본가정을 만족하는 것으로 분석되었다(Kolmogorov-Smirnov 검정: sig=0.178, Shapiro-Wilk 검정: sig = 0.162).
- 수집된 데이터의 상한값과 하한값을 결정하여 정상적인 데이터 범위를 결정하였다.
- 상한값과 하한값의 범위를 벗어나는 데이터를 이상치로 간주하여 제거하였다.

② 시간추세를 이용한 상/하한값 결정

15분 이전 데이터(Dt-15)를 활용하여 현재 시점부터 15분 이후 데이터(Dt~Dt+15)의 이상치를 제거하고, 다음 매 15분마다 이상치 결정을 위한 확률계산을 <표 5>와 같이 반복 시행하였다.

<표 5> 인천시 주안역길 현장실험 상/하한값  
<Table 5> Upper and lower limits in field test

시간	평균	표준 편차	경계값	
			상한값 (Z=3)	하한값 (Z=-2)
08:00~08:15	38.73	11.22	72.39	16.29
08:15~08:30	42.33	11.31	76.26	19.71
08:30~08:45	39.34	10.43	70.63	18.48
08:45~09:00	38.09	11.06	71.27	15.97

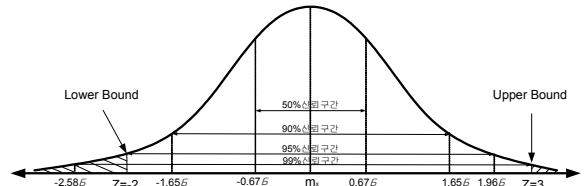
③ 상/하한값 결정방법

- 상한값(Upper Bound)은 이상치 발생요인이 상대적으로 적은 점을 고려하여  $Z=3$ 을 적용하였다.
- 하한값(Lower Bound)의 경우 프로브차량인 택시

의 주/정차에 의해 발생하는 이상치의 발생범위 및 빈도가 높기 때문에  $Z=-2$ 를 적용하였다.

- 상한값:  $Z(3) = (X-mx)/\sigma x \Rightarrow X = mx+(Z*\sigma x)$
- 하한값:  $Z(-2) = (X-mx)/\sigma x \Rightarrow X = mx-(Z*\sigma x)$

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$



<그림 6> 상한값, 하한값 결정방법  
<Fig. 6> Method for determination of upper and lower limits

IV. 성능평가를 위한 현장실험

1. 현장실험 내용

제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 현장 실험장소를 결정하기 위해 30개소를 대상으로 사전조사를 실시하였다. 사전조사에서 실험대상 링크의 길이, 이상치 발생자료, 교통상황 등을 고려하여 <표 6>과 같이 인천 2개소, 부천시 3개소를 현장실험장소로 선정하였다.

현장실험장소로 선정된 5개 지점에서 2010년 6월 14일부터 18일까지 5일 동안 첨두 및 비첨두 각 1시간씩 <표 6>과 같이 현장실험을 실시하여 자료를 수집하였으며, 실험 구간의 진입부와 진출부에 비디오 촬영을 하여 실험대상 구간의 통행속도(기준속도)를 측정하였다.

개발된 이상치 제거 알고리즘을 현장실험에서 수집된 자료에 적용하여 실험대상 구간의 통행속도를 산출하였으며, 비디오 분석을 통해 산출된 기준속도와 비교하여 새로 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다.

〈표 6〉 현장실험 내용  
(Table 6) Field test in Incheon and Bucheon cities

날자	실험 시간	장소 및 방향	링크 길이
6월 14일	8시 ~ 9시 13시 ~ 14시	인천시 주안역길: 주안역삼거리1 → 서울은행	221m
6월 15일	8시 ~ 9시 13시 ~ 14시	인천시 중앙공원길: 문예회관사거리 → YMCA사거리	358m
6월 16일	8시 ~ 9시 13시 ~ 14시	부천시 중동대로길: 중동대로 사거리 → 중동전화국사거리	332m
6월 17일	8시 ~ 9시 13시 ~ 14시	부천시 흥천길: 복개천사거리 → 연화마을입구	545m
6월 18일	8시 ~ 9시 13시 ~ 14시	부천시 중앙로: 북교사거리 → 최치과	179m

## 2. 현장실험 결과

지역교통정보센터 UTIS 운영소프트웨어가 산출한 교통소통정보의 신뢰도를 저하시키는 요인으로 운전자 주행행태에 의한 오류 및 검지시스템 오류 등이 알려져 있으며, 특히, 프로브차량 운전자의 통행행태에 의한 오류 문제가 부각되고 있다.

본 연구에서 UTIS의 속도측정 신뢰도를 저하시키는 주요 요인으로 알려진 이상치(프로브 차량 주/정차 등)를 제거하기 위한 이상치 제거 알고리즘을 <표 4>과 같이 개발하여 현장실험을 통해 개발된 알고리즘의 성능을 분석하였다.

현장실험 결과를 국토해양부의 차량검지기 정확도 평가기준(식 8)을 적용하여 분석한 결과는 <표 7>과 같이 새로운 알고리즘의 정확도가 85.7%로 기존방식의 정확도 79.9%보다 높은 것으로 나타났다.

〈표 7〉 현장실험 결과  
(Table 7) Test results of field test

조사대상 링크	기존 알고리즘 정확도	개선된 알고리즘 정확도
인천시 주안역길	86.7%	90.5%
인천시 중앙공원길	87.8%	87.5%
부천시 중동대로	70.7%	84.6%
부천시 흥천길	71.8%	72.7%
부천시 중앙로	82.4%	93.1%
평 균	79.9%	85.7%

$$\text{시스템 정확도}(\%) = 100 - \text{MAPE} \quad (8)$$

$$\text{MAPE}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100 \quad (9)$$

$Y_i$  :  $i$ 번째 분석단위시간의 기준값

$X_i$  :  $i$ 번째 분석단위시간의 평가대상장비 측정값

$n$  : 분석단위시간 개수

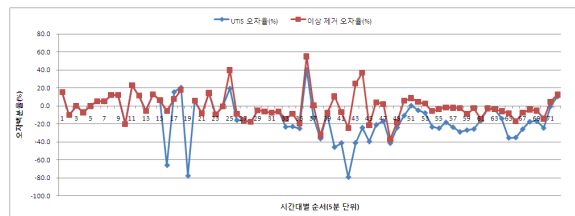
## V. 새로운 이상치 제거 알고리즘 평가

UTIS의 속도측정 신뢰도를 떨어트리는 주요 요인으로 알려진 이상치를 제거하기 위한 이상치 제거 알고리즘을 <표 4>와 같이 개발하여 인천시 2개소, 부천시 3개소에서 현장실험을 실시하여 개발된 알고리즘의 성능을 평가하였다.

또한, 현장실험장소로 선정된 5개 지점에서 2010년 6월 14일부터 18일까지 5일 동안 침두 및 비침두 각 1시간씩 <표 6>과 같이 현장실험을 실시하였으며, 실험기간중 프로브 차량의 주/정차와 같은 이상현상이 관측된 4개 지점(인천시 주안역길 및 중앙공원길, 부천시 중동대로길 및 중앙로)의 실험결과를 분석한 결과는 <그림 7>과 같다.

<그림 7>은 분석대상 4개 지점에서 실시된 현장실험 자료중에서 데이터가 결측된 구간을 제외한 6시간의 실험결과를 분석한 것이며, 이 시간동안 총 340대의 프로브차량이 실험구간을 진행하였으며, 그중 53대(15.6%)의 속도 데이터가 이상치로 판정되어 제거되었다.

새로 개발된 이상치 제거 알고리즘이 53개의 이상치 자료를 제거한 후에 산출한 속도의 오차 백분



〈그림 7〉 이상치 제거 알고리즘 현장실험 오차분포  
(Fig. 7) Percent errors measured by the error filtering algorithm

을 데이터들의 분산이 232.5, 표준편차가 15.2로 분석되었으며, 기존의 UTIS 알고리즘이 산출한 속도의 오차 백분율 데이터의 분산이 477.2, 표준편차가 21.8로 새로운 알고리즘보다 분산이 2배정도 높은 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에서 제안한 이상치 제거 알고리즘이 프로브차량의 이상치를 적절히 제거하여 속도측정 신뢰도를 높여줌을 의미한다.

실험결과 이상치 제거 알고리즘을 적용한 속도측정 방식이 기존의 UTIS 속도측정방식보다 속도측정 정확도가 높은 것으로 분석되었으며, 이 결과가 통계적으로 유의미한 것인지를 알아보기 위해 분산 동일성 검증방법인 F검정을 이용하여 검증하였다.

F검정은 새로운 이상치 제거 알고리즘 모형과 기존의 UTIS 속도측정 모형의 속도측정 오차백분율값들 분산의 동일성을 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.

마이크로소프트(주) 엑셀 프로그램을 이용하여 F검정을 실시한 결과 유의확률 p-값은 0.00295로 유의수준  $\alpha=0.01$ 보다 작으므로 분산이 같다는 가설을 1% 유의수준에서 기각할 수 있다. 따라서 새로 개발된 이상치 제거 알고리즘 모형이 99%의 신뢰도수준에서 기존의 UTIS 속도측정 모델보다 양호하다고 말할 수 있다.

## VI. 결 론

대표적인 구간속도 측정방식인 UTIS의 속도측정 신뢰도를 저하시키는 주요 요인으로 알려진 이상치를 제거하기 위한 이상치 제거 알고리즘을 개발하였다. 새로운 알고리즘은 시간추세를 이용하여 이상치 제거를 위한 상/하한값을 추정하며, 차량 정체시에도 효율적으로 구간속도를 추정할 수 있는 방법이다.

개발된 알고리즘의 성능평가를 위해 인천시 2개소, 부천시 3개소에서 현장실험을 실시하여 개발된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 현장실험 결과를 국토해양부의 차량검지기 정확도 평가기준으로 비교/분석한 결과 새로운 알고리즘의 정확도가 85.7%로 기존 방식의 정확도 79.9%보다 높았다.

현장실험 장소인 인천 및 부천시의 5개 지점에서 2010년 6월 14일부터 18일까지 5일 동안 침투 및 비침투 각 1시간씩 현장실험을 실시하였으며, 실험기간 중 프로브 차량의 주/정차와 같은 이상현상이 관측된 4개 지점의 실험결과를 분석한 결과 실험기간동안 진행한 프로브 차량의 15.6%가 이상치로 판정되어 제거되었다.

새로 개발된 이상치 제거알고리즘이 이상치를 제거한 후에 산출한 속도의 오차 백분율 데이터들의 분산이 232.5, 기존의 UTIS 모델이 산출한 속도의 오차 백분율 데이터의 분산이 477.2로 나타났다. 이는 본 연구에서 제안한 이상치 제거 알고리즘이 프로브차량의 이상치를 적절히 제거하여 속도측정 신뢰도를 높여줌을 의미한다.

실험결과와 통계적 검증을 위하여 F검증을 실시한 결과 새로운 이상치 제거 알고리즘이 99% 신뢰수준에서 기존의 방법보다 우수함을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] F. Dion and H. Rakha, "Estimating spacial travel time using aAutomatic vehicle identification data," *TRB 82<sup>nd</sup> Annual Meeting(CD-ROM)*, 2003.
- [2] D. Park, L. R. Rilett, B. J. Gajewski and W. L. Spiegelman, "Optimal aggregation interval size of probe-based travel time information for ATIS," *Transportation Research Board 80<sup>th</sup> Annual Meeting*, 2000.
- [3] IEEE 1609.1, "IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (WAVE)-resource manager," *IEEE Standard*, Oct. 2006.
- [4] 한국ITS학회, "교통정보공학론," 청문각, 2008. 3.
- [5] 서울특별시, "도시고속도로 교통관리시스템(3



- 단계) 설치공사 기본설계보고서,” 2003.
- [6] 강진기, 손영태, 윤여환, 변상철, “비매설식 자동차량인식장치를 이용한 구간교통정보 산출 방법 연구,” *한국ITS학회 논문집*, 제1권, 제1호, pp.22~32, 2002. 2.
- [7] 장진환, 변상철, 백남철, 김성현, “AVI 자료 필터링 알고리즘 개발,” *대한토목학회 논문집*, 제25권, 제2D호, pp.223~240, 2005. 3.
- [8] 장진환, 백남철, 김성현, 변상철, “AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 예측,” *대한교통학회지*, 제22권, 제7호, pp.169~175, 2004. 12.
- [9] 최기주, 장정아, “시계열기반의 GPS 프루브 자료의 이상치 제거 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제22권, 제5호, pp.7~17, 2004. 10.
- [10] 한원섭, 김동효, 현철승, 이호원, 오영태, 이철기, “사분위편차 및 관리도 모형에 의한 GPS 수집기반 구간통행속도 데이터 이상치 제거방안 연구,” *한국ITS학회 논문집*, 제7권, 제6호, pp.21~30, 2008. 12.

저자소개



기 용 결 (Ki, Yong-Kul)

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



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



정 준 하 (Jeong, Jun-Ha)

1995년 10월 ~ 현 재 : 도로교통공단 교통과학연구원 수석연구원  
 2007년 : 아주대학교 건설교통공학 박사 졸업  
 1995년 : 아주대학교 건설교통공학 석사



**배 광 수 (Bae, Kwang-Soo)**

1997년 3월 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원

2008년 12월 : 교통기술사

2002년 7월 : 서울시립대학교 도시과학대학원 교통공학 석사



**이 철 기 (Lee, Choul-Ki)**

현재 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장, 아주대학교 ITS 대학원 교수

2004년 : 서울지방경찰청 교통개선기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장

2000년 : 미국 Texas A&M University TTI visiting scholar 과정

1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학박사)

1991년 : 아주대학교 대학원(석사)