

■ 論 文 ■

AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 예측

Dynamic Travel Time Prediction Using AVI Data

장 진 환

(한국건설기술연구원 연구원)

백 남 철

(한국건설기술연구원 선임연구원)

김 성 현

(한국건설기술연구원 선임연구원)

변 상 철

(한국건설기술연구원 선임연구원)

목 차

- I. 서론
 - II. 기존연구 고찰
 - III. 자료 수집
 - 1. AVI 원시자료 및 기준자료 수집
 - 2. 이상치 제거
 - IV. 통행시간 예측모형
 - V. 통행시간 예측모형 평가
 - VI. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 통행시간, AVI, 추정, 예측, 칼만필터링, ATIS

요 약

본 논문은 일반국도 실시간 통행시간 정보제공을 위한 동적 통행시간 예측모형을 개발했다. 교통정보 제공을 위한 통행시간 예측에 관한 기존의 많은 연구가 있었지만, 우리나라에서 일반국도에 대한 통행시간 예측모형은 아직 없었다. 통행시간 예측을 위해 현재 일반국도 1호선에 약 10km 간격으로 연속하여 설치된 AVI자료를 이용했고, 예측모형 평가를 위한 통행시간 기준값 수집을 위해 프로브차량을 이용했다. 본 논문에 사용된 일반국도 1호선 구간은 잦은 유출·입 지점으로 인해 원시 AVI 자료에 많은 이상치가 관측되었다. 이러한 이상치를 제거하기 위해 저자가 제안한 알고리즘을 사용하여 이상치를 제거한 후, 칼만필터링 알고리즘을 이용하여 통행시간을 예측했다. 수집주기를 달리하여 예측모형을 평가한 결과 5분, 10분, 15분 수집주기에 대해서는 MARE가 0.061~0.066로 비슷하게 나왔고, 30분 수집주기는 0.078로 나와 다소 높은 오차율을 나타냈다.

I. 서론

최근 국내·외 많은 지역에서 첨단여행자교통정보시스템(ATIS)을 구축·운영하면서 교통관리센터에서는 통행시간 정보를 제공하거나 제공할 계획을 하고 있다.^{2,14,15,16,17,18)}

효과적인 실시간 통행시간정보는 운전자에게 자신의 효율을 극대화시키는 노선을 이용할 수 있게 해준다. 예를 들어, 본 분석구간의 국도 1호선 및 동일 구간의 정부고속도로 통행시간 정보가 인터넷, 휴대폰 및 도로전광표지(VMS, Variable Message Sign)를 통해 제공될 경우 도로이용자는 고속도로와 일반국도의 통행시간과 고속도로의 통행료를 감안해 자신의 효율을 극대화시키는 노선을 이용할 것이다.

ATIS에서 교통정보 제공을 위해 통행시간 자료를 수집할 수 있는 장비로는 AVI (Automatic Vehicle Identification), 차량검지기(vehicle detector), 비콘(beacon) 등이 있는데, 이중 AVI는 카메라에 의해 수집한 차량번호판 영상의 영상처리를 통해 통과차량에 대한 자료를 수집하는 장비로써, 동일 도로구간에 연속하여 설치할 경우 통행시간 자료를 수집할 수 있는 일종의 구간 검지기이다. 이러한 AVI는 현재 수도권 남부 일반국도와 고속국도 우회도로, 서울시의 남산 1호 터널, 제주도의 5·16도로 등에 설치·운영 중에 있다.

본 연구의 대상구간인 수도권 남부 일반국도에서 AVI를 이용해 교통정보를 제공하기 위해서는 다음과 같은 문제점이 존재한다. 첫째, 일반국도가 유출입 지점이 많은 단속류 유형의 도로이기 때문에 <그림 2>에서 보듯이 많은 이상치¹⁾가 발생한다. 둘째, 평균 10km의 설치간격과 2개 이상의 차로 중 1개 차로만 검지함으로 인해 자료수집주기를 짧게 할 경우 매칭율(표본수)이 적어지는 경우가 발생한다. 셋째, AVI 자료를 이용한 통행시간정보 제공시 시간차집 현상을 해결할 수 있는 적절한 예측 알고리즘이 없는 실정이다.

본 연구는 상기와 같은 문제점이 있는 일반국도 AVI의 문제점을 해결하여 보다 신뢰성 있는 통행시간 정보제공을 위해 일반국도에 적합한 이상치 제거 알고리즘을 이용하여 이상치를 제거한 후, 통행시간 예측을 위해 널리 쓰이는 기법인 칼만필터링 알고리즘을 이용해 다양한 수집주기별로 통행시간 예측을 수행한 후

MARE와 RRSE 등의 평가지표를 이용해 예측 알고리즘의 성능을 평가했다.

II. 기존연구 고찰

ITS(Intelligent Transportation Systems)는 전자, 컴퓨터, 통신기술이 교통이론과 결합된 첨단교통시스템으로써, 이는 효율적이고 안전한 교통관리를 위해 다양한 교통정보를 수집, 저장, 처리, 제공한다. ITS의 한 분야인 ATIS는 운전자에게 신뢰성 있는 교통정보의 예측과 제공을 위해 최첨단 기술(무선통신 등)을 이용한다. 대부분 교통관리시스템은 적절한 교통 제어와 우회도로 정보제공을 위해 과거 또는 실시간 교통자료를 이용한다. 그러나 이러한 시스템의 성능은 예측 알고리즘의 부재로 인해 약화될 수 있다. 경로선택을 위한 가장 유용한 정보는 정확한 예측 통행시간과 지체시간 정보이다. 이러한 예측정보의 부재는 운전자에게 자신의 경험에 따른 경로선택을 유도하여 교통관리의 비효율을 초래할 수 있다. 따라서 교통상황의 단기예측(예를 들어 5분)은 효율적인 교통관리와 정보제공시스템에 필요하다.

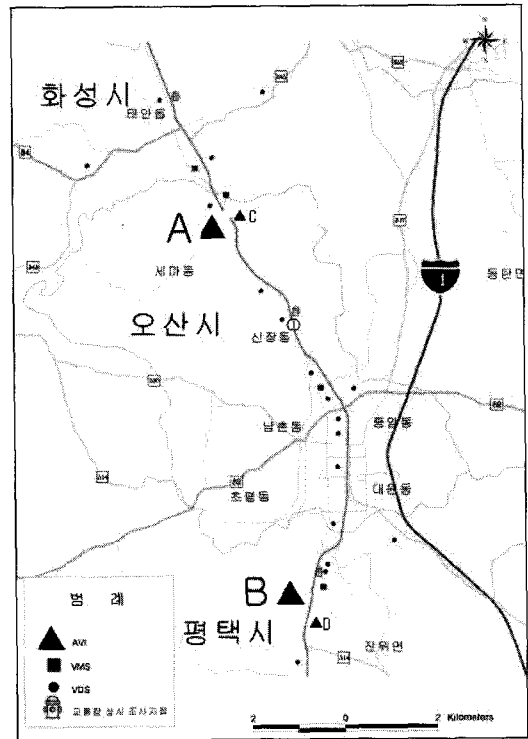
통행시간 추정과 예측은 과거 수십년 동안 중요한 연구과제였다. 추정이란 표본에 포함된 정보를 근거로 모집단에 대한 추론을 하는 것이고,³⁾ 예측이란 과거의 경험 및 자료를 바탕으로 미래상황에 대해 주장하는 것이다.⁴⁾ AVI자료를 이용한 통행시간 추정이라 함은 적절한 알고리즘을 이용하여 이상치를 제거하는 것을 말하고, 이렇게 해서 생성된 자료를 이용해 통행시간 예측을 수행한다.

통행시간 예측에 관한 기존연구는 다음과 같다. Mei Chen 외 1인⁶⁾은 고속도로에서 프로브 차량을 이용해 수집한 통행시간 자료를 칼만필터링 알고리즘을 적용하여 예측한 통행시간을 대표적인 교통류 모의실험 프로그램인 CORSIM을 통해 산출한 통행시간 자료를 기준값으로 하여 통행시간 추정값에 대한 정확도를 평가했고, Steven I. Chien 외 2인⁷⁾도 뉴저지의 실시간 검지기 자료와 칼만필터링 알고리즘을 이용해 예측한 통행시간을 CORSIM 모형을 이용하여 평가했으며, Chandra Mouly Kuchipudi 외 1인⁸⁾은 뉴욕의 고속도로(NYST)에서 E-Z 태그를 이용한 AVI를 통해 수

1) 이상치(outliers) : 해당 표본집단 내에서 다른 관측치에 비해 현저하게 이탈되었다고 보여지는 관측치, Standard Practice for Dealing With Outlying Observations, ASTM, E 178-02.

집한 통행시간 자료를 이용해 구간과 경로 기반을 혼합한 통행시간 예측 모형을 칼만필터링을 적용하여 개발했다. Giovanni Huisken 외 1인⁹⁾은 로테르담 내의 고속도로에서 수집한 검지기 자료를 신경망 알고리즘을 이용해 통행시간을 예측하여 기존 알고리즘에 비해 우수성을 입증했고, Steven I-Jy Chien 외 1인¹⁰⁾도 고속도로에서 수집한 과거자료와 실시간 자료를 이용한 통행시간 예측결과를 평가했다.

일반적으로 널리 알려진 통행시간 예측기법으로는 ARIMA를 이용한 시계열 모형, 회귀 모형, 퍼지 모형, 신경망 모형 등이 있다. 그러나 이들 모형은 모두 과거 자료를 이용하여 구축된 모형을 이용하여 통행시간을 예측함으로써 동적으로 변화하는 통행시간과 과거 패턴과 상이한 통행시간 패턴이 발생할 경우 예측 알고리즘의 성능은 크게 저하될 수 있다. 이에 반해 칼만필터링 알고리즘은 동적으로 변화하는 통행시간 상황에 맞게 파라미터를 갱신하여 통행시간을 예측하기 때문에 본 분석에 사용된 단속류 일반국도처럼 통행시간 패턴이 다소 불규칙한 교통상황에 가장 적합한 알고리즘이라고 할 수 있다.



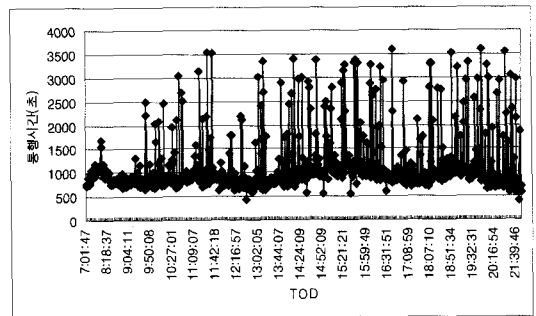
〈그림 1〉 분석구간 현황

III. 자료 수집

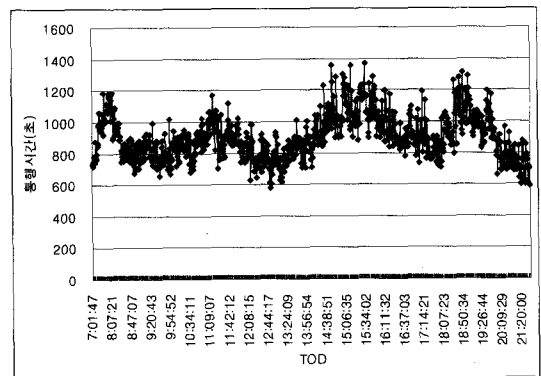
1. AVI 원시자료 및 기준자료 수집

본 연구에 사용된 자료는 수도권 남부 일반국도 교통관리체계를 위해 일반국도 1호선 상의 10km 간격을 두고 설치된 연속된 2개의 AVI에서 수집한 자료를 사용했다. 분석구간의 일반현황은 〈표 1〉, 〈그림 1〉과 같다.

〈표 1〉과 〈그림 1〉와 같이 본 분석에 사용된 일반국도 1호선 구간은 오산시내를 통과하고 다수의 신호등과 유출·입 지점으로 인해 전형적인 단속류 유형의 도로구간으로 판단된다. 자료수집에 사용된 AVI는 A와 B 두 지점에 위치하며 B 지점의 AVI가 하류부에 위치해 있다. 분석구간이 유출·입 지점이 많은 단속류 구간이고, 10km의 넓은 설치간격과 2개 차로 중 1개 차로에만 AVI가 설치되어 있기 때문에 통행시간이 1시



〈그림 2〉 AVI 원시 통행시간



〈그림 3〉 기준 통행시간

〈표 1〉 분석구간 일반현황

분석 장비	A~B
거리	10km
신호등 수	17개
차로 수	양방향 4차로

간(3600초) 이상인 자료는 제거했음에도 불구하고 <그림 2>에서와 같이 많은 이상치가 관측되었다. 그러나 <그림 3>에서 보듯이 프로브 차량 이용해 수집한 기준값은 600초(10분)~1,400초(23.3분)로 단속류 일반국도의 일반적인 통행패턴을 보이는 것으로 조사되었다

2. 이상치 제거

<그림 2>에서와 같이 본 분석구간에서는 많은 이상치가 발생함으로 인해 적절한 이상치 제거가 필요함을 알 수 있다. AVI자료의 이상치 제거를 위한 필터링 알고리즘에 대한 기준에 많은 연구가 있지만,^{1,12,13,14} 본 연구에서는 일반국도 AVI 자료의 이상치 제거 능력이 가장 우수한 알고리즘인 저자가 일반국도 AVI자료 필터링을 위해 제안한 알고리즘⁵⁾을 이용하여 이상치를 제거했다. 필터링 알고리즘은 식(1)~식(6)과 같고, 식(1)~식(6)의 필터링 알고리즘을 이용해 이상치를 제거한 AVI자료를 프로브 차량을 이용하여 수집한 기준 통행시간과 비교한 결과 MAPE가 0.24로 나와 만족할 만한 수준의 이상치가 제거되었다.

$$(tts_{AB})_k = (a) \cdot (tt_{AB})_{k-1} + (1-a) \cdot (tts_{AB})_{k-1} \quad (1)$$

여기서,

- $(tts_{AB})_k$: k번째 수집주기에서 AB구간 사이의 기대(평활) 평균통행시간
- $(tt_{AB})_k$: k번째 수집주기에서 AB구간에서 관측된 차량의 평균통행시간

$$a = 1 - (1 - \beta)^{n_{uk}} \quad (2)$$

여기서,

- a : 지수평활 계수, $\beta =$ 민감도 계수(0.2)
- n_{uk} : k번째 수집주기에서 유효통행시간 수

$$Stt_{ABk} = \{t_{Bi} - t_{Ai} \mid t_k - t_{k-1} < t_{Bi} \leq t_k \text{ and } (tt_{ABmin})_k \leq t_{Bi} - t_{Ai} \leq (tt_{ABmax})_k\} \quad (3)$$

$$(tt_{ABmin})_k = tts_{ABk-1} (1 - l_{th}) \quad (4)$$

$$(tt_{ABmax})_k = tts_{ABk-1} (1 + l_{th}) \quad (5)$$

여기서,

- Stt_{ABk} : k번째 수집주기에서 AB구간에서 관측된 유효 통행시간 수
- t_{Ai} : A지점에서 관측된 i차량 관측시간
- t_{Bi} : B지점에서 관측된 i차량 관측시간
- t_k : k번째 수집주기의 종료시간
- $(tt_{ABmin})_k$: k번째 수집주기에서 AB구간 최소 통행시간
- $(tt_{ABmax})_k$: k번째 수집주기에서 AB구간 최대 통행시간
- l_{th} : 링크 초기 통행시간 파라미터(0.3)

$$(tt_{AB})_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_{uk}} (t_{Bi} - t_{Ai})}{n_{uk}} \quad (6)$$

여기서,

- $(tt_{AB})_k$: k번째 수집주기에서 AB구간에서 관측된 차량의 평균통행시간
- t_{Ai} : A지점에서 관측된 i차량 관측시간
- t_{Bi} : B지점에서 관측된 i차량 관측시간
- n_{uk} : k번째 수집주기에서 유효통행시간 수

IV. 통행시간 예측모형

통행시간은 교통량, 기하구조, 제한속도, 유고, 차종 구성 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 현실적으로 특히 교통량이 용량에 근접했을 때에는 이러한 요소들간의 관계를 모형화 하기란 상당히 어렵다. 앞서 언급했듯이 통행시간 예측을 위해 다양한 기법들이 개발되었지만, 칼만필터링 알고리즘은 지속적으로 새로운 관측치(통행시간)가 수집됨에 따라 상태변수(통행시간)를 지속적으로 갱신할 수 있기 때문에¹⁹⁾ 본 연구에서는 칼만필터링 알고리즘을 이용하여 통행시간 예측을 수행했고, 이렇게 해서 예측한 통행시간을 프로브 차량을 이용해 수집한 통행시간 기준값을 이용하여 평가했다. 칼만필터링 알고리즘의 적용과정은 다음과 같다.

$x(t)$ 를 예측해야 할 t 수집주기의 통행시간, $\phi(t)$ 를 t 수집주기의 전이 파라미터, $w(t)$ 를 평균이 0이고, 분산이 Q(t)인 정규분포를 따르는 잡음항이라고 하면 식(7)과 같은 상태방정식이 만들어진다.

$$x(t) = \phi(t-1)x(t-1) + w(t-1) \quad (7)$$

$z(t)$ 를 t 수집주기의 관측 통행시간, $v(t)$ 를 평균이 0, 분산이 $R(t)$ 인 정규분포를 따르는 t 수집주기의 관측오차라고 하면, 통행시간 외에 어떤 변수도 포함되지 않기 때문에 상태변수 $x(t)$ 와 함께 관측 방정식은 식(8)와 같다.

$$z(t) = x(t) + v(t) \quad (8)$$

본 분석에서, $z(t)$ 는 t 주기의 이상치가 제거된 AVI 통행시간이고, t 주기와 $t-1$ 주기의 통행시간을 이용해 연속한 두 주기의 상태변수(본 분석에서는 통행시간)의 관계를 나타내는 전이 파라미터 $\phi(t)$ 를 산출했다.

선형 시스템에서 모든 i, j 에 대해 $E[w(i)v(j)] = 0$ 이라고 가정하고, $P(t)$ 를 t 주기의 추정오차 공분산이라고 하면, 칼만필터링 알고리즘은 아래와 같다. 일반적으로 선형 시스템의 예측을 위한 칼만필터링 알고리즘에서 I 값을 1로 설정함으로써 본 분석에서도 1로 정하여 알고리즘을 수행했다.

[0 단계] : 초기화

$t=0$ 로 설정하고,

$$E[x(0)] = \hat{x}(0), E[x(0) - \hat{x}(0)] = P(0) \text{라 한다.}$$

[1 단계] : 외삽법

상태 추정치 외삽법 :

$$\hat{x}(t)_- = \phi(t-1)\hat{x}(t-1)_+$$

오차 공분산 외삽법 :

$$P(t)_- = \phi(t-1)P(t-1)_+ \phi(t-1) + Q(t-1)$$

[2 단계] : 칼만 이득 계산

$$K(t) = P(t)_- [P(t)_- + R(t)]^{-1}$$

[3 단계] : 갱신

상태 추정치 갱신 :

$$\hat{x}(t)_+ = \hat{x}(t)_- + K(t)[z(t) - \hat{x}(t)_-]$$

오차 공분산 갱신 :

$$P(t)_+ = [I - K(t)]P(t)_-$$

[4 단계] : $t=t+1$ 로 하고, 단계 1로 돌아가는 과정을 마지막 수집주기까지 진행한다.

V. 통행시간 예측모형 평가

프로브 차량을 이용해 수집한 통행시간 기준값을 이용해 상이한 수집주기별(5분, 10분, 15분, 30분) 예측 알고리즘의 성능을 평가했다. 평가지표로는 MARE (Mean Absolute Relative Error)와 RRSE(Root Relative Square Error)를 사용했고, 식(9), 식(10)과 같다.

$$MARE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \frac{|x(t) - \hat{x}(t)|}{x(t)} \quad (9)$$

$$RRSE = \sqrt{\frac{1}{\sum_{t=1}^n x(t)} \sum_{t=1}^n \left[\frac{x(t) - \hat{x}(t)}{x(t)} \right]^2 x(t)} \quad (10)$$

여기서, $x(t)$: 기준 통행시간

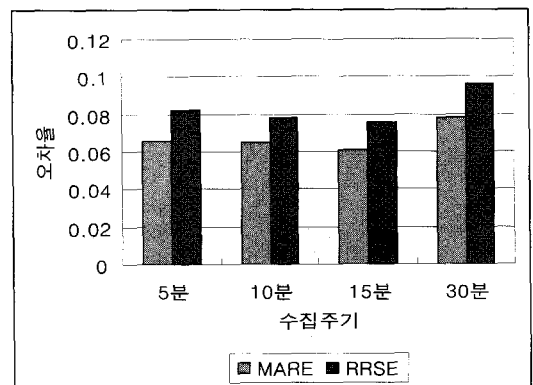
$\hat{x}(t)$: 예측 통행시간

평가결과는 <표 2>, <그림 4>와 같았고, 분석주기별 칼만필터링을 이용한 통행시간 예측치와 프로브 차량을 이용한 실측치를 비교한 결과, <그림 5>~<그림 8>와 같았다.

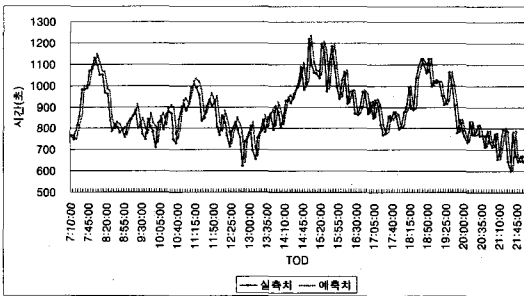
<표 2>, <그림 4>에서와 같이 수집주기별로 예측 알고리즘을 평가한 결과 5분, 10분, 15분 수집주기에 대한 평가결과는 비슷했지만, 30분 수집주기에 대한 평가지표는 상대적으로 큰 오차를 나타냈다. 이는 수집주기가 클 경우 <그림 3>에서 보듯이 단기간에도 변동이

<표 2> 예측오차 평가결과

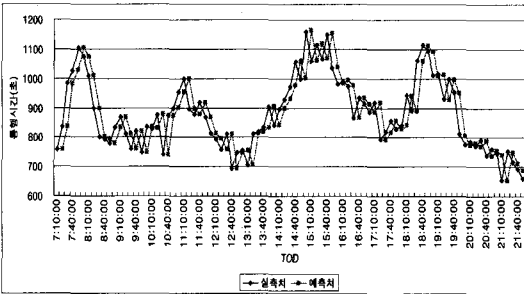
	5분	10분	15분	30분
MARE	0.066	0.065	0.061	0.078
RRSE	0.082	0.078	0.076	0.096



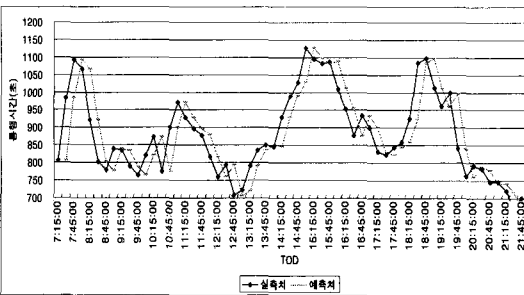
<그림 4> 평가지표별 예측오차



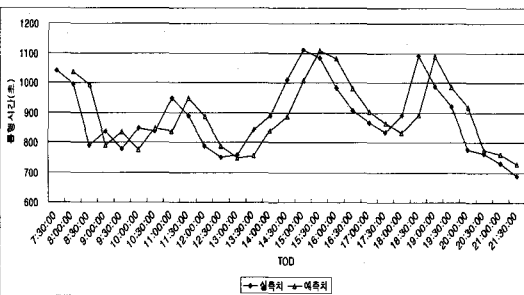
〈그림 5〉 5분 주기 예측치와 실측치 비교



〈그림 6〉 10분 주기 예측치와 실측치 비교



〈그림 7〉 15분 주기 예측치와 실측치 비교



〈그림 8〉 30분 주기 예측치와 실측치 비교

심한 단속류 교통상황에 대한 예측능력이 저하됨을 알 수 있었다. 또한 전체적으로 MARE보다 RRSE가 높은 오차를 나타내었는데, 이는 RRSE의 경우 오차를 제곱함으로써 오차가 큰 수집주기의 영향이 크게 작

용했기 때문에 판단된다.

예측오차의 정규성에 대한 χ^2 -검정결과, 유의수준 0.05에서 5분($\chi^2:1.87$, 임계치:14.07), 10분($\chi^2:4.25$, 임계치:14.07), 15분 수집주기($\chi^2:2.39$, 임계치:14.07)에서 모두 정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 현재 수도권 남부 일반국도에 구축하여 운영 중에 있는 국도교통관리체계(NHTMS)에서 AVI 자료를 이용하여 운전자에게 실시간으로 통행시간 정보를 제공하기 위한 통행시간 예측을 칼만필터링 알고리즘을 이용해 수행했고 이를 MARE, RRSE 등의 평가지표로 평가한 결과, MARE와 RRSE가 0.061~0.096으로 나왔다. 이는 연속류 도로구간의 예측결과(6,7,8)보다 다소 높지만, 단속류 교통특성으로 인해 통행시간 변동이 심하다는 점을 감안하면 예측 알고리즘이 만족할 만한 수준의 성능을 보였다. 본 연구의 결과로 신뢰성 있는 예측 통행시간 정보를 제공할 경우 운전자들은 보다 효율성 있는 경로선택이 가능할 것으로 보인다.

본 연구에서 사용한 예측 알고리즘의 예측능력을 향상시키기 위해서는 다음의 4가지 상황에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 현재 일반국도의 AVI는 넓은 설치간격과 방향별 2차로 중 1개 차로만 설치됨으로 인해 수집간격이 5분인 경우 표본수가 1개~15개로 적은 경우가 발생한다. 다행히 기존연구(20)와 다르게 유의수준 0.01에서 표본수별 통행시간 분산의 분산분석 결과 표본수별 분산의 평균은 다르지 않은 것으로(F값:2.00, 기각치:2.58) 분석되었다. 둘째, 본 분석구간처럼 단속류 유형의 도로의 경우 변동계수(CV)가 연속류에 비해 크게 나타날 것으로 판단됨으로 인해 변동계수별로 예측 알고리즘의 정확도를 평가할 필요가 있다. 셋째, 본 연구에서는 금요일 자료만 이용하여 분석했지만, 다양한 요일 및 교통상황에 대한 예측 알고리즘의 수행능력을 평가할 필요가 있다. 넷째, 본 칼만필터링 알고리즘에서는 전(前) 수집주기 자료를 이용해 파라미터를 산정 했지만, 향후 동(同)요일·시간대의 과거자료를 이용해 파라미터를 산정을 통한 알고리즘의 성능을 평가할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강진기 외 4인(2002), 비매설식 자동차량인식장치를 이용한 구간 교통정보 산출 방법 연구.
2. 건설교통부(2001), 수도권 남부 국도1호선 교통관리체계 구축 및 연구, 최종보고서.
3. 박우동·김명호(1996), 경영 및 경제를 위한 통계학, 세영사.
4. 이덕기(1998), 예측방법의 이해, SPSS 아카데미.
5. 장진환(2004), AVI자료 필터링 알고리즘 개발, 서울시립대.
6. Mei Chen and Steven I.J. Chien(2001), Dynamic Freeway Travel Time Prediction Using Probe Vehicle Data: Link-based vs. Path-based, TRB 82th Annual Meeting.
7. Steven I. Chien, Xiaobo Liu and Kaan Ozbay(2003), Predicting Travel Times for The South Jersey Real-Time Motorist Information System, TRB 82nd Annual Meeting(CD-ROM).
8. Chandra Mouly Kuchipudi and Steven I.J. Chien(2003), Development of a Hybrid Model for Dynamic Travel Time Prediction, TRB 82nd Annual Meeting(CD-ROM).
9. Giovanni Huisken and Eric C. van Berkum (2003), A Comparative Analysis of Short-Range Travel Time Prediction Methods, TRB 82nd Annual Meeting(CD-ROM).
10. Steven I-Jy Chien and Chandra Mouly Kuchipudi(2003), Dynamic Travel Time Prediction with Real-Time and Historic Data, Journal of Transportation Engineering.
11. ASTM(2002), "Standard practice for Dealing With Outlying Observations, E 178-02.
12. Francois Dion and Hesham Rakha(2003), "Estimating Spacial Travel Time using Automatic Vehicle Identification Data", TRB 82nd Annual Meeting(CD-ROM).
13. SwRI(1998), Automatic Vehicle Identification Model Deployment Initiative-System Design Document.
14. SwRI(1998), TransGuide Model Deployment Initiative Design Report.
15. SAIC, Automated Vehicle Identification Tags in San Antonio-Lessons Learned from the Metropolitan Model Deployment Initiative.
16. Brian G. Fariello, San Antonio Trans Guide Travel Time Program.
17. Houston TranStar(2003), Houston TranStar Fact Sheet.
18. FHWA(1998), ITS Field Operational Test Summary - TRANSCOM System for Monitoring Incidents and Traffic.
19. Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews (1993), Kalman Filtering-Theory and Practice, Prentice Hall.
20. Ashish Sen, Piyushimita Thakuriah, Xia Quon Zhu and Alan Karr(1997), Frequency of Probe Reports and Variance of Travel Time Estimates, Journal of Transportation Engineering.

✉ 주 작 성 자 : 장진환

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 13

논문심사일 : 2004. 10. 29 (1차)

심사판정일 : 2004. 10. 29

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30