

■ 論 文 ■

일반국도의 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발

A Link Travel Time Estimation Algorithm Based on Point and Interval Detection Data
over the National Highway Section

김 성 현
(한국건설기술연구원 선임연구원)

임 강 원
(서울대학교 환경대학원 교수)

이 영 인
(서울대학교 환경대학원 부교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 필요성 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 범위
- II. 기존연구고찰
- III. 모형의 정립
 - 1. 최적화 융합 모형(제안모형1)
 - 2. 비례화 융합 모형(제안모형2)
- IV. 모형의 적용 및 평가
 - 1. 대상구간 현황
 - 2. 수집 방법 및 내용
 - 3. 모형의 평가
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 실시간 통행시간 추정, 지점검지기, 구간검지기, 번호판 인식 AVI, 융합모형, 융합비

요 약

현재까지 다양한 검지기로부터 추정되는 통행시간의 융합에 관한 연구는 주로 GPS, Probe 자료 등 간헐적인 자료에 기반하여 이루어져 왔다. 이러한 간헐적 자료의 분산비에 기초한 융합모형은 번호판 인식 AVI와 같이 다량의 자료 구득이 용이한 시스템에는 적합하지 않다. 따라서, 본 연구는 지점검지기과 번호판 인식 AVI를 기반으로 각각 산출한 통행시간의 융합모형을 개발하고자 수행되었다. 본 연구에서는 지점검지기와 번호판인식 AVI 통행시간의 융합을 위해 최적화 융합모형과 비례화 융합모형을 각각 개발하였다. 검증 결과, 최적화 융합모형이 가장 우수한 추정력을 보여주었다. 최적화 융합모형은 실시간 이력자료를 기반으로 융합 가중치를 산정하여 현재 시간대에 적용하는 실시간 차원의 동적 융합비 예측 모형이다. 본 연구결과는 향후 국도교통관리 및 정보제공시스템에 유용하게 적용될 것으로 기대된다. 그러나, 향후 AVI의 적정 설치간격과 설치차로에 따른 매칭율을 고려한 보다 심도있는 연구를 필요로 한다.

Up to now studies on the fusion of travel time from various detectors have been conducted based on the variance ratio of the intermittent data mainly collected by GPS or probe vehicles. The fusion model based on the variance ratio of intermittent data is not suitable for the license plate recognition AVIs which can deal with vast amount of data. This study was carried out to develop the fusion model based on travel time acquired from the license plate recognition AVIs and the point detectors. In order to fuse travel time acquired from the point detectors and the license plate recognition AVIs, the optimized fusion model and the proportional fusion model were developed in this study. As a result of verification, the optimized fusion model showed the superior estimation performance. The optimized fusion model is the dynamic fusion ratio estimation model on real time base, which calculates fusion weights based on real time historic data and applies them to the current time period. The results of this study are expected to be used effectively for National Highway Traffic Management System to provide traffic information in the future. However, there should be further studies on the proper distance for the establishment of the AVIs and the license plate matching rate according to the lanes for AVIs to be established.

1. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

다양한 검지기체계에서 수집되는 통행시간의 융합은 실시간 정보의 신뢰도와 정확도 제고에 있어 중요한 관건이 되고 있다. 현재까지 실시간 교통정보를 제공하기 위해 개발된 검지기의 종류는 매우 다양하다. 그러나, 정보수집방식에 의해 크게 지점검지기와 구간검지기로 분류할 수 있다. 지점검지기의 경우 도로상의 특정 위치에 설치되어 교통량, 속도, 점유율 등의 지점정보를 수집한다. 반면, GPS, AVL, AVI 등의 구간검지기들은 특정 구간의 통행시간을 직접 산출한다.

그러나, 이러한 다양한 검지기로부터 자료를 수집할 때 특정 수집체계가 또 다른 수집체계보다 언제나 정확도가 높다고는 할 수 없다. 또한 한 수집체계가 다양한 응용분야에 필요한 모든 교통자료(유고, 신호제어, 차량유형 등)를 제공할 수 없다. 때문에 다양한 수집체계에 대한 자료의 통합을 통해 단일의 정보를 추출하는 자료 융합이 필요하게 된다.

각 검지기 체계의 자료 융합모형의 경우, 기존의 분산비 융합 모형은 간헐적 자료를 기반으로 하여 모형이 개발되었다. 분산비 모형은 한 검지기체계가 추정력이 낮더라도 검지기 특성상 수집되는 자료의 분산이 적다면, 높은 융합가중치를 부여하게 되어 오차가 발생하게 되며, 참값에 의한 실시간 필터링 기능이 부재함으로써 오차가 크게 발생하게 된다. 반면, 신경망 모형의 경우, 과거 자료에 의해 융합가중치를 결정하지만, 모형의 정산에 소요되는 비용이 크며, 실시간 매개변수 정산이 어렵다. 따라서, 간헐적 자료가 아닌 번호판 인식 AVI 자료에 기반한 통행시간 융합에는 기존의 분산비 혹은 신경망 모형이 적합하지 않다. 따라서, 검지기체계에 따른 수집자료의 특성에 따라 적합한 융합모형을 개발할 필요가 있다. 번호판 인식 AVI 자료는 Probe 차량 자료 혹은 GPS(Global Positioning Systems) 자료와 달리 실시간적으로 다량의 자료를 구득할 수 있으며, 이러한 AVI 자료의 실시간 구득 특성을 이용하여 실시간 필터링 내지 동적 융합비 추정모형을 개발하되, 단순하고, 쉽게 실시간 적용이 가능한 모형개발이 가능하다.

따라서, 본 연구는 지점검지기와 번호판 인식 AVI를 기반으로 각각 산출한 통행시간의 실시간 융합모형을 개발하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 일반국도 3호선 곤지암IC~장지IC 구간을 대상으로 하였다. 대상구간의 연장은 10.7km로서 도시 및 교외간선도로 특성 구간과 다차로도로 특성 구간으로 구성되어 있다. 자료의 시간적 범위는 '04년 7월 20일~22일 3일간의 자료를 대상으로 오전, 전이, 오후 시간대에 대하여 자료를 수집하였다.

본 연구의 내용은 융합모형에 관한 기존 연구들을 고찰하고, 연구의 한계를 제시하였으며, 본 연구에서 그 한계를 극복하는 방안 및 모형의 개발방향을 제시하였다. 통행시간 융합모형의 정립은 제안모형으로서 최적화 융합 모형과 비례화 융합 모형을 각각 제안하였다. 제안한 융합모형은 기존모형인 신치현, 김성호의 분산비 융합모형과 비교 평가하였다.

II. 기존 연구 고찰

자료의 융합은 다양한 수집체계로부터 수집한 자료들을 어떻게 통합할 것인가를 다루는 기술을 말한다. 기존의 자료융합에는 베이지안추론, Dempster-Shafer 규칙, 퍼지이론, 신경망 이론들이 적용되었으며, 통행시간 추정과 관련한 자료의 융합에는 다음의 연구들이 이루어졌다.

Rouphil, Tarko(1995)은 회귀분석과 베이지안 이론을 이용하여 링크 통행시간 자료를 융합하였다. 여기서 회귀분석은 검지기 자료를 통해 통행시간을 산출하는데 이용하였고, 베이지안 이론은 probe 차량 자료와 검지기 자료를 융합할 때, 실시간 자료와 과거자료를 융합할 때 각각 사용하였다. probe 차량과 지점검지기 데이터의 융합모형은 가상 표본추출기법과 유사한 형태로서, 각 검지기체계의 분산을 이용한 가중평균방식을 이용하였다. 신치현, 김성호(1998)는 Rouphil, Tarko(1995)의 모형과 유사한 초단파 AVI와 영상검지기 자료의 데이터 퓨전 모형을 제시하였다. 융합모형은 초단파 AVI 자료와 영상검지기 자료의 표준편차를 이용한 가중평균 형태이다. 최기주, 정연식(1999)은 루프검지기와 GPS probe 차량의 정보를 융합하는 방법으로서 퍼지선형회귀 모형과 신뢰도비를 이용하였다. 루프 검지기가 설치된 링크에 GPS probe 차량이 통행하여 2가지 수집체계로부터 통행시간 정보를 산출한 경우, 링크의 단일 정보 산출을 위한 정보의 통합과정에서 퍼지선형회귀 기법을 적용하여 각 수집체계별 퓨전을 위한 신뢰도(소속정도)를 산출하

였다. 각 검지체계별로 산출된 소속정도는 링크별 단일 통행시간 추정을 위해 베이지안 이론을 기반으로 하여 단일 통행시간으로 융합하였다. 앞에서 살펴 본 분산비 혹은 신뢰도에 의한 가중치 결정 모형들은 각 수집체계에 의해 산출된 통행시간의 분산 혹은 신뢰도를 요인으로 하여 두 수집체계간의 분산비 혹은 신뢰도비를 융합 가중치로 사용한다.

그러나, Ivan(1995)은 신경망모형에 기반하여 프로브 차량 통행시간과 지점검지기 통행시간융합모형을 간선도로 돌발상황 감지를 위해 개발하였다. Chi Xie(2004)는 다중신경망모형과 다항회귀모형을 제시하였다. 지점검지기 통행시간 추정모형은 순행시간과 지체시간으로 구성하였고, probe 차량 통행시간은 샘플 수가 10개 이상이거나, 최소 샘플 수를 계산하여 그 이상일 경우만 사용하였다. 다중신경망모형과 다항회귀모형을 구축하여 분석한 결과, 다중신경망모형이 우수하였다. 다중신경망모형은 고정식 검지기 통행시간과 probe 통행시간, probe 샘플 수를 입력패턴으로 구성하였다.

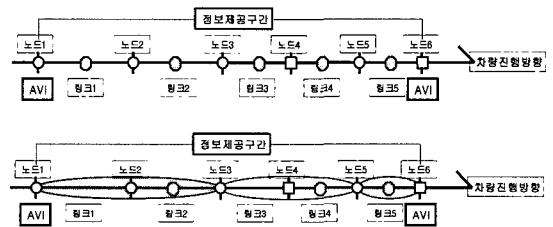
그 외, Klein 등은 Dempster-Shafer 규칙을 이용하여 첨단교통관리 지원을 위한 융합모형을 제시하였다. Dempster-Shafer 추론은 정상적인 교통상황에 영향을 미치는 교통상황을 감지하고, 확인하는 통계적 자료 분류 기법이다. 그러나, 교통매개변수 추정 또는 변수 추정에 있어서 이 기법은 많은 연구를 필요로 한다. Hellinga(2002)는 총화표본추출기법을 이용하여 프로브 기반 간선도로 통행시간 추정치, 특히 교차로상의 신호제어에 의해 야기되는 체계적 오차를 감소시키기 위해 루프검지기 자료를 융합하였다.

각 검지기 체계의 자료 융합모형의 경우, 기존의 분산비, 신경망 모형은 간헐적 자료를 기반으로 하였으며, 실시간 동적 필터링 기능이 결여되어 있다. 분산비 모형은 한 검지기 체계가 추정력이 낮더라도 검지기 특성상 수집되는 자료의 분산이 적다면, 높은 융합가중치를 부여하게 되어 오차가 발생하게 되며, 참값에 의한 실시간 필터링 기능이 부재함으로써 오차가 크게 발생하게 된다. 반면, 신경망 모형의 경우, 과거자료에 의해 융합가중치를 결정하지만, 모형의 정산에 소요되는 비용이 크며, 실시간 매개변수 정산이 어렵다. 따라서, 간헐적 자료가 아닌 빈호판인식 AVI 자료에 기반한 융합에는 기존의 모형이 적합하지 않다. AVI 자료의 실시간 구득 특성을 이용하여 실시간 필터링 내지 동적 융합비 추정모형을 개발하되, 단순하고, 쉽게 적용이

가능한 모형의 개발이 필요하다.

III. 모형의 정립

본 연구에서 대상으로 하는 정보제공구간과 검지기 위치에 대한 일반적인 개념도는 <그림 1>과 같다. 정보제공구간은 지명 인지도가 높으며, 정보제공의 기본 단위가 되는 구간이다. 지점검지기는 해당 검지기가 위치한 링크의 교통량과 속도, 점유율을 특정 시간주기로 수집하며, AVI는 노드 1에서 노드 6까지 즉, 정보제공구간을 통행하는 개별차량의 통행시간자료를 수집한다.

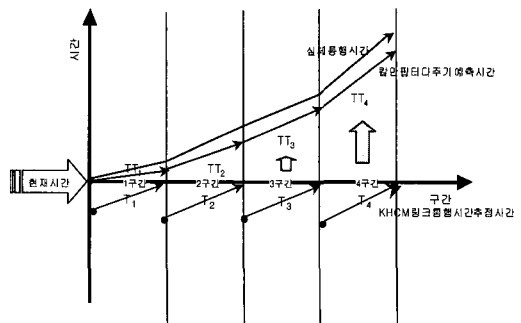


○ 신호교차로 □ 임계교차로 ○ 지점검지기 AVI AVI ○ 동질구간
 <그림 1> 정보제공구간, 동질구간 및 검지기 개념도

1. 최적화 융합 모형(제안모형1)

1) 지점검지기 모형

지점검지기 모형은 <그림 2>와 같이 KHCM(한국도로교통공단, 2001) 간선도로 링크 통행시간 추정모형을 이용하여 개별링크 통행시간을 추정하고, 칼만필터를 이용한 다주기 예측모형으로 구간통행시간을 산정하였다.



T_1, T_2, T_3, T_4 : KHCM 링크 통행시간추정시간
 TT_1, TT_2, TT_3, TT_4 : 칼만 필터 다주기 예측시간

<그림 2> 제안모형 1의 지점검지기 기반 통행시간 추정

KHCM 모형에서 링크 통행시간은 링크 순행시간과 교차로 지체시간의 합으로 산출된다. 여러 개의 링크로 이루어진 정보제공구간의 통행시간을 산출하기 위해서는 각 개별링크의 통행시간을 합산해야 한다. 이 때, KHCM 모형에 의한 정보제공구간 통행시간의 산정은 시간차집현상(Time-lag)의 문제점을 가지게 된다. 따라서, 이러한 시간차집현상을 극복하기 위해 칼만필터 기법에 기반한 다주기 예측 모형을 적용하였다.

KHCM에서 간선도로의 평균통행속도는 식(1)과 같다. 구간통행시간은 구간길이를 평균통행속도로 나누어 주면 된다. 즉, 구간통행시간과 구간 평균통행속도는 서로 역수의 관계이다.

$$\text{평균통행속도} = \frac{3600 \times \text{구간길이}}{\text{km당 순행시간} \times \text{구간길이} + \text{교차로총접근지체}} \quad (1)$$

다주기 예측모형의 원리는 현 주기에서 직전 링크까지의 차량 통행시간을 산정한 후, 해당 링크에서는 그 통행시간에 해당하는 미래 시간대의 통행시간을 예측한다. 이러한 방법으로 산정된 개별 링크 통행시간을 합산하면 전체 구간 통행시간이 산출된다. 다주기 예측모형은 과거의 통행시간이 일정한 패턴을 가진다는 것을 가정한다. 즉, 과거의 통행시간 패턴이 현재와 크게 다르지 않을 경우 다주기 예측은 효과적이다. 특히, 반복적인 정체상황에서 다주기 예측은 효과적인데, 이는 칼만필터 기법에 의한 다주기 예측시 예측치를 산출하는데에 사용되는 전이행렬(혹은 전이값)을 과거의 패턴에 기반하여 산정하기 때문이다.

다주기 통행시간 예측을 위한 상태방정식과 관측방정식은 단주기 통행시간 예측과 동일하며, 다주기 예측값은 식(2)와 같이 구축된 칼만필터 모형의 상태방정식에서 상태전이값 Φ_{nk} 에 의해 산정된다. Φ_{nk} 는 k 시간대와 $k+n$ 시간대의 과거 통행시간 패턴값이 각각 TP_k, TP_{k+n} 이라고 할 때, $\frac{(TP_{k+n})}{(TP_k)}$ 에 의해 계산된다.

$$x_{k+1} = \Phi_{nk} x_k + Q_k \quad (2)$$

x_{k+1} : $k+1$ 시간에서의 통행시간 상태벡터

x_k : k 시간에서의 통행시간 상태벡터

Φ_{nk} : k 시간에서 n 주기 후 통행시간 예측시, $k+1$ 시간으로의 상태전이행렬

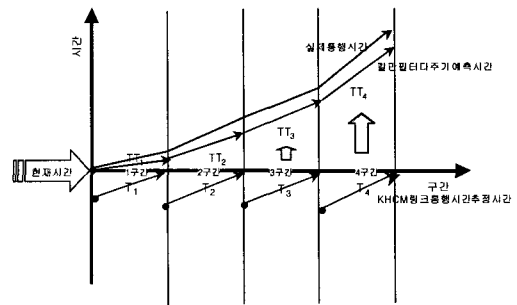
Q_k : k 시간에서 상태오차 공분산 행렬

n : 예측주기 수

2) 구간검지기 모형

구간검지기 모형은 AVI 통행시간 칼만필터 2주기 예측 모형을 적용하였다. <그림 3>에서 보는 바와 같이 통행시간 참값과 AVI 통행시간은 일정 시간간격(Time-lag)이 존재하게 된다. 따라서, 수집된 AVI 자료를 가공하지 않고 사용할 경우 이러한 시간차집에 의한 오차가 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 칼만필터를 이용하여 실제 통행시간에 대한 예측치를 산정하였다.

즉, 과거 m 주기 전의 AVI 통행시간에 기반하여 현재 시간대 k 의 통행시간을 예측하는 4단계의 칼만필터 m 주기 예측과정을 적용하였다. 다음 과정은 $m=2$ 인 경우이다.



T_1, T_2, T_3, T_4 : KHCM 링크 통행시간 추정시간
 TT_1, TT_2, TT_3, TT_4 : 칼만필터 다주기 예측시간

<그림 3> 제안모형 1의 구간검지기 기반 통행시간 추정

(1) 단계 0 (초기화)

$$\widehat{x}_{k-1}(-), \quad P_{k-1}(-)$$

(2) 단계 1 (칼만 이득 계산)

$$R_{k-1} = (Z_{k-2} - H \cdot \widehat{x}_{k-1}(-))^2$$

$$\overline{K}_{k-1} = \frac{(P_{k-1}(-) \cdot H_{k-1}^T)}{(H_{k-1} P_{k-1}(-) H_{k-1}^T + R_{k-1})}$$

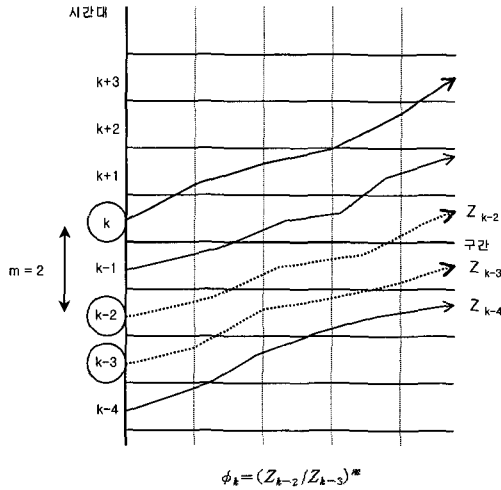
(3) 단계 2 (갱신)

- 상태추정치 갱신

$$\widehat{x}_{k-1}(+) = \widehat{x}_{k-1}(-) + \overline{K}_{k-1} [Z_{k-2} - H_{k-1} \widehat{x}_{k-1}(-)]$$

- 오차공분산 갱신

$$P_{k-1}(+) = [I_{k-1} - \overline{K}_{k-1} H_{k-1}] P_{k-1}(-)$$



(그림 4) 상태전이행렬 Φ_k 의 산정

(4) 단계 3 (현재 시간대 k의 통행시간 예측)

$$\phi_{k-1} = Z_{k-2} / Z_{k-3}$$

$$\phi_k = (Z_{k-2} / Z_{k-3})^m$$

$$\hat{x}_k(-) = \phi_{k-1} \hat{x}_{k-1}(+)$$

$$Q_{k-1} = [\hat{x}_k(-) - \phi_{k-1} \cdot \hat{x}_{k-1}(-)]^2$$

$$P_k(-) = \phi_{k-1} P_{k-1}(+) \phi_{k-1}^T + Q_{k-1}$$

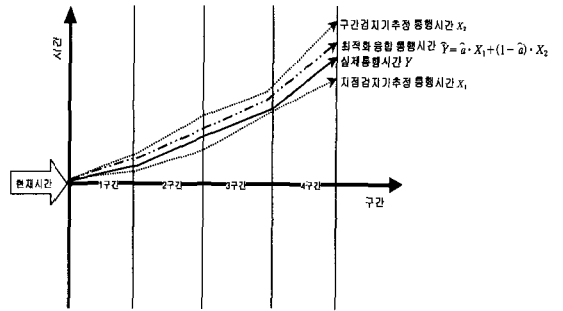
3) 융합모형

(1) 모형의 정립

두 가지 이상의 수집체계에서 수집된 통행시간 자료를 융합하는 문제는 결국, 각 수집체계 i의 융합가중치(α_i)를 결정하는 문제와 같다. 본 연구에서는 첫 번째 제안모형으로서 융합된 통행시간과 참값과의 오차를 최소화하도록 지점검지기와 구간검지기의 융합가중치를 결정하기 위해 최적화 융합 모형을 제안하였다.

기존의 분산비 혹은 신뢰도비에 기반한 융합모형은 추정 정확도에 기초하지 않고, 분산비에 의존함으로써 추정력이 낮고 분산이 적은 검지기체계에 높은 비율의 융합가중치를 할당하는 문제점을 안고 있다. 또한, 각 검지기체계의 추정력에 많은 차이가 날 경우 융합 추정치의 오차는 상대적으로 커지게 된다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하고 보다 정확한 추정력을 제고하기 위해 실시간 오차 패턴의 변동을 고려하여 융합비를 결정하도록 하는 것이 본 모형의 특징이다.

본 모형은 크게 2 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계



(그림 5) 제안모형 1 최적화 융합 개념도

는 AVI에 의해 실시간으로 수집되는 과거 시간대의 참값과 각 검지기의 추정 통행시간 자료와의 오차패턴에 따라 최적 융합비를 결정하는 것이다. 두 번째 단계는 앞서 결정된 융합비를 현재 시간대의 융합비로 적용하여 현재, 추정된 각 검지기의 통행시간을 융합하여 현재의 실제 통행시간에 대한 추정치를 산출하는 것이다.

본 모형은 AVI에 의해 실시간으로 수집되는 참값(시점출발기준)과 AVI 통행시간(중점도착기준) 및 지점검지기에 의해 수집되는 실시간 자료를 이용하는 동적인 실시간 융합비 결정 모형이다.

지점검지기 통행시간 자료를 X_1 , AVI 통행시간 자료를 X_2 라 할 때, 두 수집체계를 융합한 통행시간과 참값과의 오차를 최소화하는 α 를 결정하는 최적화 모형은 다음과 같다.

$$MIN. \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{N}} = MIN. \sum(Y - \hat{Y})^2 \quad (3)$$

여기서,

$$\hat{Y} = \alpha \cdot X_1 + (1 - \alpha) \cdot X_2, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

목적함수를 α 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$f(\alpha) = \sum(X_1 - X_2)^2 \cdot \alpha^2 + \sum[-2 \cdot \{Y \cdot (X_1 - X_2) - X_2(X_1 - X_2)\}] \cdot \alpha + \sum\{Y^2 + X_2^2 - 2 \cdot Y \cdot X_2\} \quad (4)$$

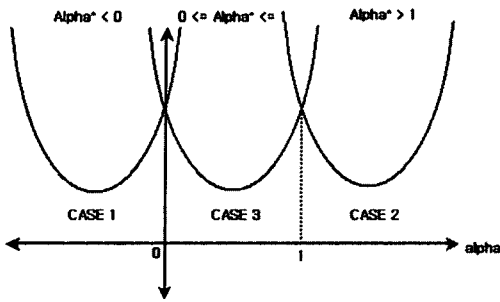
즉, $f(\alpha)$ 는 α 에 대한 1계 이차방정식으로 정리된다. 이 식을 다시 정리하면,

$$f(\alpha) = A \cdot \alpha^2 + B \cdot \alpha + C$$

$$A = \sum(X_1 - X_2)^2$$

$$B = \sum[-2 \cdot \{Y \cdot (X_1 - X_2) - X_2(X_1 - X_2)\}] \quad (5)$$

$$C = \sum\{Y^2 + X_2^2 - 2 \cdot Y \cdot X_2\}$$



〈그림 6〉 α 와 이차방정식의 형태

문제는 $f(\alpha)$ 를 최소화하는 α 를 찾는 것이므로, $f'(\alpha) = 0$ 를 만족하는 α^* 는 다음과 같다.

$$f'(\alpha) = 2 \cdot A \cdot \alpha + B = 0 \tag{6}$$

$$\alpha^* = -\frac{B}{2 \cdot A}$$

결과를 정리하면,

$$\alpha^* = \frac{\sum [-2 \cdot \{Y \cdot (X_1 - X_2) - X_2(X_1 - X_2)\}]}{2 \cdot \sum (X_1 - X_2)^2} \tag{7}$$

이 때, $A \geq 0$ 이므로 $f(\alpha)$ 는 볼록 2차방정식이 며, α^* 값에 따라 다음 3가지 형태를 가진다.

즉, 데이터 융합과 관련하여 해석해 보면 $\alpha^* < 0$ 인 경우는 $\alpha = 0$, $0 < \alpha^* < 1$ 인 경우는 $\alpha = \alpha^*$, $\alpha > 1$ 인 경우는 $\alpha = 1$ 로 결정된다. 즉, CASE에 따라 가장 좋은 추정치를 선택할 수 있게 된다. 데이터의 특성이 CASE 1, CASE2인 경우 기존의 가중평균 추정치는 X1과 X2사이에 결정된다. 그러나, 제안모형의 경우 $\alpha = 0$, $\alpha = 1$ 로 결정되며, 가장 좋은 추정치를 선택할 수 있게 된다. CASE 3인 경우에도 분산비가 오차비와 같을 경우에는 정확한 추정치를 산출할 것이다. 그러나, 분산비가 오차비와 같을 가능성은 매우 희박하기 때문에 정확한 추정치를 산출하기가 어렵다. 반면, 최적화 모형의 경우 가장 근사한 추정치를 선택할 수 있다.

(2) 제안모형의 일반화

제안모형을 일반 n 화 하면 다음과 같으며, 일반화된 형태는 α 에 대한 제 2차 방정식이다.

$$f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = (\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot X_i)^2 - 2 \cdot Y \cdot (\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot X_i) + Y^2$$

그러므로, $f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ 를 α_i 로 각각 편미분한 후 다음의 n 계 1차 연립방정식을 풀면 해집합 $A(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \dots, \alpha_n^*)$ 를 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha_i} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{8}$$

(3) 제안모형의 실시간 적용

최적화 융합모형의 실시간 적용을 위한 융합비를 추정치 $\hat{\alpha}$ 는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{k=m-n}^{i-m} [-2 \cdot \{Y_k \cdot (X_{1k} - X_{2k}) - X_{2k} \cdot (X_{1k} - X_{2k})\}]}{2 \cdot \sum_{k=m-n}^{i-m} (X_{1k} - X_{2k})^2}$$

- m : 참값의 시간차임 간격(time-lag)
- n : 융합비 결정에 사용하는 과거자료의 범위
- X_{1k} : 수집체계 1의 k 시간대 통행시간추정치
- X_{2k} : 수집체계 2의 k 시간대 통행시간추정치

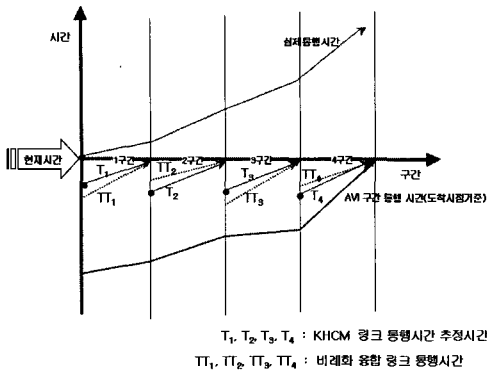
2. 비례화 융합 모형(제안모형2)

비례화 융합모형은 앞 절에서 제안한 최적화 융합 모형과는 달리 개별링크 차원에서 융합을 시행한 후 다 주기 예측을 통해 최종 통행시간을 추정한다. 비례화 융합 모형에서의 지점검지기 모형은 KHCM 모형을 선정하였으며, 구간검지기 모형은 AVI 통행시간(도착시점 기준)을 이용한다. 비례화 융합은 다음의 식에 의해 이루어진다.

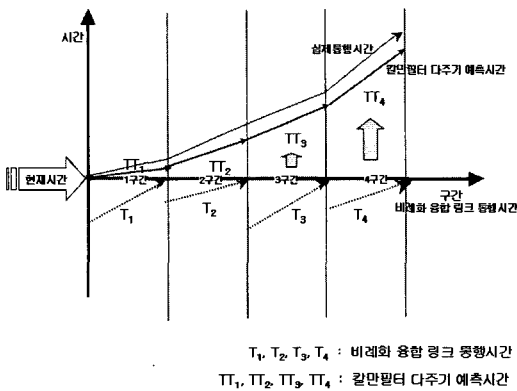
$$FTT_i^{VDS} = \frac{TT_i^{VDS}}{\sum_{i=1}^n TT_i^{VDS}} \times TT^{AVI}$$

TT^{AVI} : AVI 구간 통행시간
 TT^{VDS} : 지점검지기 링크 i 의 통행시간
 FTT_i^{VDS} : 비례화 융합 후의 개별링크 i 의 통행시간

〈그림 7〉은 AVI 구간 통행시간을 이용하여 지점검지에 의한 개별링크(1구간~4구간) 통행시간(T1, T2, T3, T4)을 비례화 융합을 통해 융합 후 통행시간(TT1, TT2, TT3, TT4)으로 갱신하는 과정을 보여준다. 〈그림 8〉은 비례화 융합



〈그림 7〉 비례화 융합 개념도



〈그림 8〉 비례화 융합 후 다주기 예측 개념도

을 통해 갱신된 개별링크의 통행시간을 다주기에 예측을 이용하여 구간통행시간을 산정하는 과정을 보여준다.

IV. 모형의 적용 및 평가

1. 대상구간 현황

대상구간은 일반국도 3호선 곤지암IC~장지IC(10.72km)를 대상으로 하였다. 대상구간은 12개의 개별링크로 구성된다. 대상구간은 곤지암IC에서 중부고속도로와 교차하며, 경안IC와 장지IC에서 43번국도와 입체 교차한다. 337번 지방도는 신이리와 초월파출소앞에서 교차한다.

대상구간은 크게 곤지암IC~초월파출소앞 구간과 초월파출소앞~장지IC 구간으로 구분하여 분석을 위한 2개의 정보제공구간으로 분할하였다. 정보제공구간 I(곤지암IC~초월파출소앞)은 전체적으로 단속류 특성이 강한 구간이다. 링크 7(롯데아파트앞~초월파출소앞)을 제외하면 모든 링크들이 0.55km 이하이며, 신호밀도는 약 1.36(개/km)이다. 반면, 정보제공구간 II(초월

〈표 1〉 대상구간 현황

구간	시점 → 종점	접속도로	구간 거리 (km)	정보 제공 구간
1	곤지암 IC → 삼리2리		0.50	I
2	삼리2리 → 신이리	지방도337교차	0.46	
3	신이리 → 벽산아파트		0.24	
4	벽산아파트 → 고려산업개발앞		0.40	
5	고려산업개발앞 → 쌍동1리		0.55	
6	쌍동1리 → 롯데아파트앞		0.40	
7	롯데아파트앞 → 초월파출소앞	지방도337교차	1.83	
8	초월파출소앞 → 소방파출소앞		0.51	II
9	소방파출소앞 → 남촌폴딩앞		0.40	
10	남촌폴딩앞 → 쌍령2리		1.49	
11	쌍령2리 → 경안 IC	구국도43교차	1.54	
12	경안 IC → 장지 IC		2.40	

파출소앞~장지IC)는 신호교차로의 밀도가 약 0.78(개/km)로서 연속류 특성이 상대적으로 강한 구간이다.

2. 수집 방법 및 내용

현장조사는 2004년 7월 20일~22일 3일 동안 시행하였으며, 수집자료는 지점점지기 1분 교통량과 속도, 번호판조사에 의한 5분주기 정보제공구간 통행시간이다. 조사시간대는 오전침두(07:00~09:00)와 오후비침두(12:00~14:00), 오후침두(17:00~19:00)로 구분하여 조사를 시행하였다. 오전침두시는 이천, 광주 등에서 성남, 서울로 출근하는 차량으로 인해 교통량이 증가하여 부분적으로 침두 현상이 발생한다. 오후 비침두시에는 교통량 집중이 발생하지 않으며, 오후 침두시에는 성남 및 서울로 귀경하는 교통량의 집중되어 상시적인 정체가 발생하는 시간대이다. 즉, 오전침두시는 부분정체, 오후 비침두시는 소통원활, 오후침두시는 정체의 특성을 가지고 있어 이 세 가지 시간대를 분석대상으로 하였다.

〈표 2〉 조사 일시 및 시간대

조사 일	조사 시간대	기상상태
7월 20일(화)	17:30~9:00(오후 침두)	흐림
7월 21일(수)	07:30~09:00(오전 침두)	비 약간
7월 21일(수)	12:00~4:00(오후 비침두)	맑음
7월 21일(수)	17:00~9:00(오후 침두)	"
7월 22일(목)	07:30~9:00(오전 침두)	"
7월 22일(목)	12:00~4:00(오후 비침두)	"
7월 22일(목)	17:00~9:00(오후 침두)	"

주: 7월 20일 오전침두, 오후 비침두에도 조사를 하였으나, 우천으로 인한 이상치 자료로 판단하여 본 연구에서 제외하였다.

3. 모형의 평가

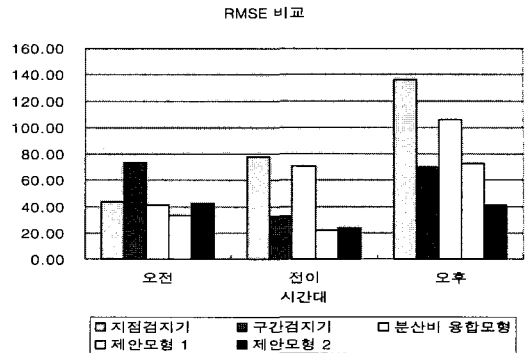
1) 평가척도에 의한 비교

융합모형의 검증은 지점검지기 모형(개별 링크 추정 후 다주기 예측), 구간검지기 모형(정보제공구간 칼만필터 다주기 예측), 기존 모형으로서 분산비 융합모형, 제안모형으로서 제안모형 1 최적화 융합모형, 제안모형 2 비례화 융합모형의 추정력을 각각 비교하였다. 비교를 위해 MARE, RMSE, EC 3가지의 평가척도를 사용하였다. 시간대는 오전(부분정체), 전이(소통원활), 오후(정체)로 구분하였으며, 구간은 도시 및 교외간선도로 특성 구간(정체구간, 신호교차로 7개)인 정보제공구간 I과 다차로도로 특성 구간(비정체구간, 신호교차로 3개)인 정보제공구간 II에 대하여 시행하였다.

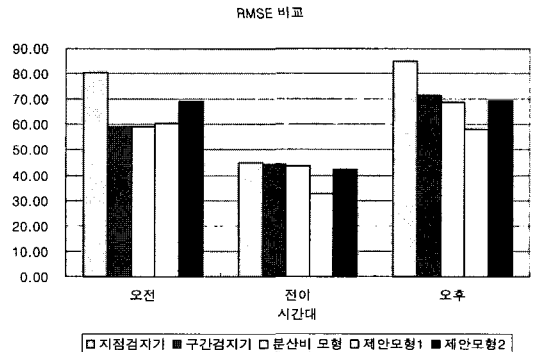
정보제공구간 I의 경우, <표 3>, <그림 9>와 같이 제안모형 1과 2가 기존모형인 신치현, 김성호의 분산비 모형보다 추정력이 우수하였다. 오전시간대는 제안모형 1이, 오후시간대에는 제안모형 2가 가장 우수하였다. 전이시간대에는 제안모형 1과 2가 서로 추정력이 비슷하였다.

우선, 지점검지기와 구간검지기 모형을 비교하면, 오전시간대에는 지점검지기의 추정력이 좋으나, 전이 및 오후시간대에는 구간검지기의 추정력이 월등히 좋게 나

타났다. 이는 어느 한 검지기의 추정력이 항상 좋은 것은 아니라는 것을 입증한다. 일반적으로, 지점검지기 모형의 오차는 추정오차와 시간처짐에 의한 오차의 합으



<그림 9> 정보제공구간 I -RMSE 비교



<그림 10> 정보제공구간 II-RMSE 비교

<표 3> 융합모형 검증 결과

구간	검지기 배치링크	시간대	평가척도	모든 링크에 지점검지기 설치				
				지점 검지기	구간 검지기	기존 모형	제안 모형1	제안 모형2
정보제공구간 I	1~7	오전	MARE	0.11	0.14	0.10	0.07	0.10
			RMSE	43.69	73.21	41.22	33.39	42.08
			EC	0.93	0.90	0.94	0.95	0.94
		전이	MARE	0.20	0.07	0.18	0.05	0.05
			RMSE	78.26	32.66	70.44	21.62	24.08
			EC	0.88	0.95	0.90	0.97	0.97
		오후	MARE	0.26	0.11	0.10	0.11	0.07
			RMSE	136.02	69.82	69.31	72.49	40.92
			EC	0.83	0.92	0.92	0.92	0.96
정보제공구간 II	8~12	오전	MARE	0.22	0.13	0.16	0.14	0.17
			RMSE	80.41	59.05	58.99	60.49	69.06
			EC	0.89	0.92	0.92	0.91	0.90
		전이	MARE	0.10	0.13	0.08	0.07	0.06
			RMSE	44.85	44.32	43.61	32.58	42.29
			EC	0.94	0.91	0.94	0.96	0.94
		오후	MARE	0.12	0.12	0.11	0.09	0.12
			RMSE	84.74	71.48	68.83	58.01	69.26
			EC	0.92	0.93	0.93	0.95	0.93

로 구성되며, 구간검지기 모형은 필터링 오차와 시간차짐에 의한 오차의 합으로 이루어진다. 그리고, 각 개별검지기의 추정력은 시간대 즉, 소통상태 수준과 검지기 배치 상태 등 다양한 조건에 의해 영향을 받는다. 따라서, 어떤 한 검지기가 항상 좋은 추정력을 나타내는 것은 아니다. 본 연구결과에 의해서도 이러한 현상이 나타났으며, 융합의 필요성이 제시된 것이라 할 수 있다.

이에 따라 신치현, 김성호의 분산비 모형은 예상한 바와 같이 상당히 상이한 결과를 나타내고 있다. 즉, 오전 시간대의 경우 지점검지기의 추정력이 좋고, 분산이 적은 반면, 구간검지기는 추정력이 낮고, 분산이 크므로 분산비 모형은 지점검지기에 대부분의 가중치를 부여하게 되어 지점검지기와 유사한 융합 결과를 나타내었다. 반면, 전이시간대와 오후시간대는 지점검지기의 추정력이 낮으므로 분산이 작은 지점검지기 추정치에 높은 융합가중치를 부여하여 결과적으로 추정력이 매우 낮아지는 결과를 낳았다. 제안모형들은 기본적으로 분산비에 의해 융합가중치를 결정하는 것이 아니라 필터링 과정을 포함하게 되므로 이러한 문제점을 극복할 수 있다.

제안모형 1은 모든 시간대에서 개별검지기와 신치현, 김성호의 분산비 모형보다 우수한 결과는 나타냈다. 이는 융합 가중치 결정에 있어서 분산비에 의해 결정하는 것이 아니라 참값을 기초로 하여 직전의 융합패턴을 기초로 융합가중치를 실시간 기반으로 계속 추정해 주기 때문이다.

제안모형 2는 필터링과정이 불완전하기 때문에 제안모형 1에 비하여 추정력이 낮을 것으로 예상되며, 오전과 전이시간대에서 예상결과대로 제안모형 1에 비하여 낮은 결과를 나타내었다. 반면, 오후시간대에서는 제안모형 1에 비해 좋은 결과를 나타내었는데 그 이유는 제안모형 1이 직전의 융합패턴을 기반으로 하기 때문에 상황이 급격하게 변하는 정체상태에서는 추정력이 떨어진다. 반면, 제안모형 2는 과거의 반복적 패턴에 기초하여 예측을 수행하기 때문에 반복적인 정체상황에서는 제안모형 1에 비해 추정력이 우수한 것으로 판단된다.

정보제공구간 II의 경우, <표 3>, <그림 10>과 같이 제안모형 1은 개별검지기의 추정치와 기존 모형에 비하여 우수한 결과를 나타냈다. 반면, 제안모형 2는 오전시간대에는 구간검지기보다 추정력이 오히려 낮게 나타났으며, 전이와 오후는 AVI와 신치현, 김성호의 분산비 모형과 유사하게 나타났다. 지점검지기보다는 우

수하게 나타났다. 제안모형 2는 지점검지기 모형으로서 KHCM으로 추정한 개별링크 통행시간의 합을 이용하며, 구간검지기 모형은 AVI 통행시간 자료(도착시점 기준)를 융합의 대상으로 한다. 그런데, 정보제공구간 II의 경우 지점검지기 모형이 구간검지기 모형보다 추정력이 우수하게 나타났다. 따라서, 모형 구조상 융합시 오히려 개별링크의 융합통행시간의 오차가 증가하게 되는 결과를 낳게 되어 예상결과와 같이 융합추정모형의 추정력이 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 융합시 지점검지기 모형의 대상 링크를 개별차량의 통과시점에 따른 링크로 선정해 주지 못함으로 인해 나타난 당연한 결과이다.

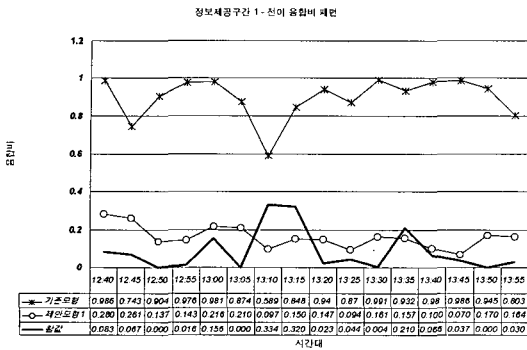
추가적으로 지점검지기 모형의 경우 정보제공구간 I (도시 및 교외간선도로)에서의 추정력이 다차로도로 구간보다 낮게 나타났다. 이는 도시 및 교외간선도로의 경우 신호교차로 밀도가 높고, 링크길이가 짧으며, 도로변 마찰도 다차로도로에 비하여 많은 편이기 때문에 나타난 당연한 결과로 생각된다. 반면, 구간검지기의 경우 정보제공구간 I과 II 모두 비슷한 수준으로 나타났다.

결론적으로, 분산비 모형은 지점검지기와 AVI 자료 융합에 적합하지 않은 것으로 평가되었다. 전체적으로 AVI 추정치가 우수한 반면 AVI 추정치의 분산이 크기 때문에 오히려 융합시 추정력이 AVI 추정치 보다 낮아지게 된다. 반면, 전체적으로 제안모형 1과 제안모형 2는 개별검지기보다 추정력이 좋게 나타났다. 특히, 제안모형 1은 추정력이 가장 좋게 나타났다. 실시간 동적 융합비 추정모형으로서 각 개별검지기의 추정력의 변화에 따라 가장 좋은 추정치를 선택하는 장점으로 인해 각 개별검지기 뿐만 아니라 신치현, 김성호의 분산비 모형보다 우수한 추정 결과를 보였다. 이는 필터링 과정을 거치는 융합모형의 우수성이 입증된 것이라 할 것이다. 제안모형 2의 경우 당초 예상대로 차량의 진행 시 통과하는 링크의 통행시간을 기초로 하여 다주기 예측을 시행하도록 모형의 보완이 필요한 것으로 나타났다.

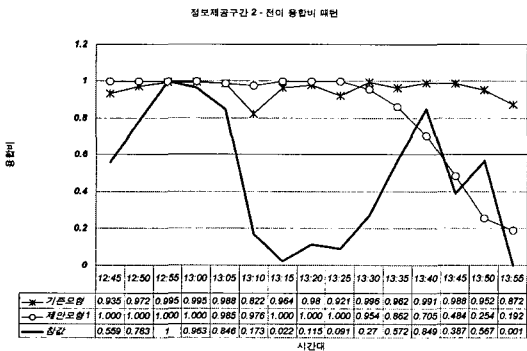
2) 신치현, 김성호의 분산비 모형과 제안모형1의 융합비 비교

본 절에서는 신치현, 김성호의 분산비 모형의 분산비와 제안모형 1의 실시간 융합비 변동패턴을 비교하고자 한다. 융합비는 모형의 추정력을 결정짓는 핵심 요인이다. 따라서, 실시간 융합비의 변동패턴을 살펴보면 추정력의 원인을 한 눈에 파악할 수 있다.

우선, 분산비 모형에 있어서 융합비는 분산비의 역



〈그림 11〉 정보제공구간 I-융합비 변화추이



〈그림 12〉 정보제공구간 II-융합비 변화추이

수 개념이다. 따라서, 어떤 검지기의 융합가중치가 크다는 것은 곧 분산이 작다는 것을 의미하며, 그 반대로 성립한다. 〈그림 11〉과 〈그림 12〉를 통해 살펴보면 분산비에 의한 융합비는(지점검지기의 융합가중치)가 일률적으로 높게 나타난다. 〈그림 11〉에서 시간대 12:40의 경우, 기존모형 즉, 분산비에 의한 융합비(지점검지기의 융합가중치, AVI의 융합가중치는 '1-지점검지기의 융합가중치'임.)는 0.986으로 매우 높다. 이는 지점검지기 기반 추정 통행시간에 0.986의 가중치를 부여하는 반면, AVI 기반 추정 통행시간에는 '1-0.986' 즉, 0.014를 부여한다는 것을 의미한다. 예를 들면, 지점검지기 구간 통행시간이 100초, AVI 구간통행시간이 50초라고 할 때, 융합통행시간은 $(100 \times 0.986) + (50 \times 0.014)$ 즉, $98.6 + 0.7 = 99.3$ (초)로 결정된다. 반면, 제안모형 1의 융합비는 직전 과거의 융합비 패턴을 실시간적으로 산정하고, 이를 현재 융합비의 추정치로 사용하는 동적 융합비 예측 모형이다. 따라서, 융합비 참값의 변동패턴을 유사하게 따라가는 것을 확인할 수 있다. 〈그림 1〉에서 시간대

12:40의 경우, 제안모형 1의 융합비가 0.280, 융합비 참값이 0.083으로서 기존 모형의 융합비 0.986에 비하여 매우 근사한 값을 추정하는 것을 알 수 있다.

그러나, 모형의 구조적 특성상 과거 패턴과 상이한 상태로 전환되는 경우 추정력이 낮아지게 되는 단점이 있다. 즉, 소통원할 상태에서 정체상태로 변화되거나, 정체상태에서 소통상태로 변화되는 등 상태의 변동이 심한 경우 직전 과거의 융합 패턴과 상이할 가능성이 높기 때문에 이러한 경우에는 상대적으로 추정력이 낮아지게 된다. 더 구체적으로 설명하면, AVI 기반 추정 통행시간의 정확도가 높은 패턴에서 지점검지기 기반 추정 통행시간의 정확도가 높은 패턴으로 전환되는 경계선 부근, 즉 패턴의 전이가 이루어지는 상태에서 제안모형 1은 추정오차가 발생하게 된다. 그러나, 이러한 문제는 개별검지기만을 사용하는 경우에도 공통적으로 발생하는 문제점이다. 그러나, 본 연구결과 일반적으로 지점검지기의 분산이 AVI의 분산보다 작게 나타나고 있기 때문에 AVI 정확도가 높은 패턴에서 지점검지기의 정확도가 높은 상태로 전이될 경우에는 신치현, 김성호의 분산비 융합모형의 추정력이 우수하게 나타난다. 기타 다른 상황에서는 제안모형 1이 우수한 추정력을 나타낸다.

V. 결론

본 연구는 지점검지기와 변호판 인식 AVI를 기반으로 각각 산출한 통행시간의 융합모형을 개발하고자 수행되었다. 본 연구의 주요 내용은 통행시간 융합모형 및 그룹핑에 관한 기존연구의 고찰 및 모형의 개발방향을 제시하였다. 이에 따라, 지점검지기와 변호판인식 AVI 통행시간의 융합모형으로 최적화 융합모형과 비례화 융합모형을 각각 개발하고, 제시하였다.

융합모형의 개발에 있어서 최적화 융합 모형은 현재, 수집된 각 개별검지기의 융합 가중치를 결정하기 위해 실시간 이력자료를 기반으로 융합 가중치를 산정하여 현재 시간대에 적용하는 실시간 차원의 동적 융합비 예측 모형이다. 즉, 선 다중기 예측, 후 필터링(융합) 모형이라고 할 수 있다. 검증결과, 예상대로 제안모형 1이 가장 우수한 추정력을 보여주었다.

본 연구의 한계 및 연구방향은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 AVI를 변호판조사로 대체하여 전체 차로에 대한 자료를 수집하였으며, 설치간격이 약 5km인

경우를 대상으로 하였다. 그러나, AVI의 적정 설치간격과 설치차로에 따른 매칭을 등에 관한 추가 연구가 필요하다.

둘째, 본 연구에서 제안한 최적화 융합 모형(제안모형 1)은 정체 시에 다소 추정력이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서, 과거자료에 의해 결정된 융합비를 현재에 적용할 때 예측 모형에 의해 보다 추정력을 높이는 연구가 필요하다. 또한, 제안모형 2 비례화 융합 모형의 경우도 실제 차량이 통과한 링크의 통행시간 비율에 따라 AVI 통행시간을 분할하도록 모형의 구조를 개선해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김영찬·최기주·김도경·오기도(1997), “단일루프검지기를 이용한 간선도로 실시간 통행속도 추정 방법론”, 대한교통학회지, 제15권 제4호, 대한교통학회, pp.53~71.
2. 김영찬·선요섭(1999), “Hybrid Neuro-Fuzzy System을 응용한 교통정보 자료합성 모형의 개발”, 제36회 학술발표회 논문발표집, 대한교통학회.
3. 정연식·최기주(1999), “GPS probe 및 루프 검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발”, 대한교통학회지, 제17권 제3호, 대한교통학회, pp.97~116.
4. 최기주·정연식(1998), “링크 통행시간 추정을 위한 데이터 퓨전 알고리즘의 개발”, 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.177~195.
5. Berka, S., Tarko, A., Rouphil, N. M., Sisiopiku, V. P. and Lee, D. H.(1995) Data Fusion Algorithm for ADVANCE Release 1.5, ADVANCE Working Paper Series #37.
6. Berka, S., Tian, X. and Tarko, A.(1995), Data Fusion Algorithm for ADVANCE Release 2.0 ADVANCE Working Paper Series #48.
7. Chi-hyun Shin, Seung-ho Kim(1998), Development of a Low-cost AVI System and a Travel Time Estimation Algorithm for the Olympic Expressway Traffic Management System in Seoul 5th World Congress on ITS.
8. Chi Xie, Reuy Long Cheu, Der-Horng Lee, Improving Arterial Link Travel Time Estimation by Data Fusion, TRB 2004 Annual

- Meeting, January 11-15, Washington, D.C.
9. Chi-Hyun Shin, Seong-Ho Kim, Development fo a Low-cost AVI System and a Travel Time Estimation Algorithm for the Olympic Expressway Traffic Management System in Seoul.
10. Francois Dion, Hesham Rakha, Estimating Spatial Travel Times using Automatic Vehicle Identification Data, 2003 TRB Annual Meeting.
11. John N. Ivan, Joseph L. Schofer, Frank S. Koppeleman, and Lina L. E. Massone, Real-Time Data Fusion for Arterial Street Incident Detection Using Neural Networks, TRR 1497.
12. Rouphil, N. M., Targo, A., Nelson, P. C. and Palacharla P.(1993), Travel Time Data Fusion in ADVANCE-a Preliminary Design Concept. ADVANCE Working Paper Series, No. 21, University of Illinois at Chicago, IL.
13. Stanislaw Berka, Helen Condie, Aaron Sheffey(1996), ADVANCE Evaluation Detector Travel Time Conversion and Fusion of Probe and Detector Data, University of Illinois at Chicago.
14. Stephen D. Clark, S. Grant-Muller, and Haibo Chen, Cleaning of Matched License Plate Data, TRR 1804.
15. Thomas, N. E.(1998), Multi-State and Multi-Sensor Incident Detection Systems for Arterial Streets. Transportation Research Part C, Vol. 6. No. 5/6, pp.337~357.
16. Klein, L. A., Yi, P. and Teng, H.(2002), Decision Support System for Advanced Traffic Management through Data Fusion. In Transportation Research Record 1804, TRB, National Research Council, Washington, D. C, pp.173~178.
17. Helinga, B. R. and Fu, L.(2002), Reducing Bias in Probe-Based Arterial Link Travel Time Estimates. Transportation Research Part C, Vol. 10. No. 4, pp.257~273.

18. Young-Ihn LEE, Seungjae LEE, Shinhae LEE, Juungyu Chon(2004), Development of A Dynamic Route Guidance Algorithm

Using Multi-Step Ahead Travel Time Prediction, Behavior in Networks(BiNs).

♣ 주 작 성 자 : 김성현

♣ 논문투고일 : 2005. 6. 18

논문심사일 : 2005. 7. 17 (1차)

2005. 8. 17 (2차)

심사판정일 : 2005. 8. 17

♣ 반론접수기한 : 2005. 12. 31