

칼만필터 알고리즘을 이용한 단속류 통행시간 예측 연구

A Study on Travel Time Prediction of the Interrupted Traffic Flow using Kalman Filter Algorithm

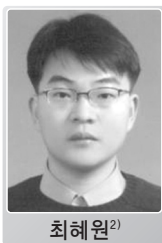
For the efficient application of ITS facilities and equipment widely used today, It is necessary to develop technologies such as real-time travel time forecast. By providing travel time information to users from the technology of real-time travel time forecast, users are able to choice their travels based on the information. This makes users maximize both travel utility and efficiency of road facilities. Drivers are not able to get road conditions which could be changed during driving because when people start their travel, information about road condition at that time is provided. This could lead to significant differences between provided travel time and real-time travel time.

This study develops travel time forecasting model for providing rea-time travel time information using data from AVI(Automated Vehicle Identification) which are used to analyze the information about travel time on signalized sections on rural arterial roads to improve those problems. While many literatures have considered the travel time forecast for providing transportation information, travel time forecast models for arterial roads have rarely been considered in South Korea. For the sake of forecasting travel time, we use the AVI data installed on the arterial road No.2(Jangchundong Intersection ~ Eungwon three-way intersection) at regular intervals (about 12km).

To evaluate the travel time forecast model based on collected data, stochastic variation to a variety of variables are considered. Errors of estimated travel time are more decreased when polling interval is about 5 minute than 15 minute to all variables. Also, the values of both MAPE and RMSE are about 2~13%. Though these results have some higher values than that of the results on non-signalized road sections, the forecasting algorithm is reasonable when we consider significant variations of travel time on signalized roads.



김항주¹⁾



최혜원²⁾



홍승표³⁾

1. 서론
2. 이론적 고찰
3. 자료수집
4. 통행시간 예측 모형 및 평가
5. 결론 및 향후 연구과제

1) 교통계획부 부장(hjkim@yooshin.co.kr)
2) 교통계획부 차장(hwchoi@yooshin.co.kr)

3) 교통계획부 대리(sphong@yooshin.co.krr)

I. 서론

최근 국내에서는 운전자들에게 실시간 교통정보를 제공하여 주행 중 경험하는 지체로 인한 비효율성을 최소화하며 교통이용편의와 교통안전을 제고하기위하여 국도를 대상으로 정보화를 추진하고 있으며 이를 관제하기 위한 국도ITS센터를 구축·운영중에 있다. 이러한 ATIS(Advanced Traveler Information System ; 여행자정보제공시스템) 사업을 통해 도로를 이용하는 운전자에게 다양한 형태의 정보를 실시간으로 제공할 수 있게 되었으며, 이러한 정보제공 서비스를 위하여 정밀한 검지체계와 신뢰성 있는 통행시간 추정 및 예측 알고리즘에 대한 관심이 증가하고 있다.

과거 운전자에게 제공되었던 통행시간 정보는 일정 간격으로 도로에 설치한 VDS(Vehicle Detection System)에서 주기적으로 검지되는 지점자료 또는 실제로 도로를 주행하면서 교통상황을 측정하는 프로브 차량(Probe Vehicle)들을 이용하여 통행시간을 추정(Estimate)해 왔으나, 최근에는 국도상에 구간검지기인 AVI (Automatic Vehicle Identification ; 자동차량인식장치)를 이용하여 통행시간을 산출하고 있으며 고속도로의 통행료 자동징수시스템(Automated Toll Collection Systems)의 등장으로 더욱 촉진되고 있다.

구간검지체계는 구간을 통과하는 차량의 구간통행시간을 직접 산출해 내기 때문에 차량의 지점속도를 환산하여 구간통행시간을 산출하는 지점검지체계와 비교할 때 훨씬 정확한 개별 차량의 통행시간을 수집할 수 있다.

이에 본 연구에서는 신뢰성 높은 통행시간 예측

을 위한 방법으로 널리 쓰이는 기법인 칼만필터링 알고리즘을 이용하여 실제 국도 교통량 자료(AVI 수집데이터)의 집계간격별(Polling Interval), 시간대별, 요일별 통행시간 예측을 수행한 후 MAPE와 RMSE 등의 평가지표를 이용하여 예측 알고리즘의 정확도를 분석하였다.

본 연구의 장별 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구에 필요한 개념을 정리한 이론적 고찰, 3장에서는 대상 구간의 자료수집, 4장에서는 통행시간 예측모형 및 평가를 수행하였다. 마지막으로 본 연구의 결과 및 향후 연구과제에 대한 토의로 논문을 마무리 한다.

II. 이론적 고찰

1. AVI data

AVI자료를 활용하여 통행시간을 추정하기 위해서는 통계적으로 유의한 수준의 최소표본수를 확보하여야 한다. 최소표본수가 확보된 후에는 정상적인 형태의 통행패턴을 형성하지 않는 차량들에 대해서 에러보정을 거치게 되며, AVI 구간단위로 차량 매칭자료를 이용하여 통과차량들의 구간통행시간을 산출하고 이를 바탕으로 특이 값들에 대한 필터링을 하게 된다. 통행시간 추정 측면에서만 살펴보면 AVI는 한 쌍(Pair)이 설치된 도로구간을 통과하는데 걸리는 시간을 직접적으로 계측하므로, AVI를 통해 관측된 차량의 통행시간을 단순명료하고 정확하게 측정할 수 있다. 하지만 차량이 종점부 AVI를 통과한 후에야 해당 차량의 구간 통행시간

이 측정되므로, 측정시점에서 시점부 AVI를 막 통과하는 차량이 해당 구간을 통과하는데 걸리는 시간과는 차이가 있으며, 이를 통행시간 추정의 시간차집(Time Lag)이라고 부른다. 이러한 AVI 자료는 차량이 종점에 도착한 후에야 정의되는 과거정보이므로 현재를 기준으로 시간차집(Time Lag)이 존재하는 자료이다. 따라서 현재시간 t^* 에서 실시간 통행시간 측정은 가능하지 않다. 또한 현재 설치된 AVI 수량으로는 VDS에 비해 상대적으로 통행시간 관측표본수가 매우 작기 때문에 통행시간 추정치의 통계적 신뢰도 확보가 쉽지 않은 것은 대표적인 단점이다.

2. 구간 통행시간의 정의

구간 통행시간은 대상차량이 주어진 도로구간을 통과하기 위해 소요되는 총시간을 말하며, 차량이 구간거리를 주행하는데 경과한 시간과 혼잡 및 신호에 의한 영향 등으로 인해 발생한 각종 지체를 더한 시간을 말한다. 특히, 교통정보제공시스템에서

구간통행시간은 이러한 개개의 차량통행시간을 일정 집락간격동안 집계하여 계산된 대푯값을 구간통행시간으로 제공한다.

3. 통행시간 예측의 개념

현재 통행시간 추정(Estimation)과 통행시간 예측(Forecasting)은 개념적으로 혼재되어 사용되고 있어 구체적 정의와 예측통행시간의 개념에 대해서 분명하게 설정할 필요성이 있다. 추정통행시간이라 함은 현재 검지기를 통해 검지되는 통행상태가 차량이 분석대상구간을 통과할 때 까지 변화하지 않는다고 가정하고 산출된 통행시간이다. 이에 반해 예측통행시간은 차량이 분석대상구간을 통과하는 동안에 변화하는 통행상태를 사전에 예측한 후 이를 동적으로 반영하여 산출된 시간이다.

4. 기존문헌 고찰

본 연구와 관련된 기존 연구는 다음과 같다.

[표 1] 칼만필터링 알고리즘을 이용한 통행시간 예측

연구분류	내 용	연구대상	이용자료
칼만 필터 모형	장진환 외 (2004) • AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 예측 → 칼만필터를 이용 수집주기를 달리하여 예측 모형을 평가함	단속류(일반국도 1호선오산시내)	AVI
	윤지현 외 (2005) • 데이터융합기술을 활용한 다주기 통행시간예측에 관한 연구 → VDS 자료를 이용 링크별 통행특성을 파악하여 AVI 자료에 반영하는 데이터 융합기법 개발. 칼만필터링을 활용하여 단기 및 다주기 통행시간예측 모형을 비교 검토함. 다주기 예측모형 우수함	단속류 (일반국도3호선 곤지암IC~장제IC)	VDS, AVI Data Fusion
	오세창 외 (2003) • 차량검지기 교통량 데이터를 이용한 고속도로 통행시간 추정 및 예측모형 개발에 관한 연구 → 차량검지기 데이터를 이용하여 칼만필터를 이용한 단기 통행시간 예측을 수행함. 고속도로 교통류에 대해 통계적 모형보다 예측력이 우수한 것으로 판단됨	연속류 경부(서울TG~기흥IC) 영동(동수원IC~ 북수원IC)	VDS

칼만 필터 모형	이승재 외 (2004)	<ul style="list-style-type: none"> 단기 통행시간예측 모형 개발에 관한 연구 ➔ 서울시 28개 주요 교통축에 대하여 확률과정 모형과 칼만 필터링 모형을 이용하여 통행시간을 예측함. 단기예측(5~15분)에는 칼만 필터링, 장기예측(30~60분)에는 확률과정 모형이 적합함 	연속류 강변북로, 내부순환로 단속류 강남대로, 신촌로	실측자료
----------------	-----------------	---	--	------

[표 2] 통행시간 예측 모형 비교

연구분류	내 용	연구대상	이용자료
모형 비교	박병규외 (1995)	단속류 (논현로 논현천주교회~ 안세병 원)	차량번호판조사를 통한 1시간 교 통량
	조범철외	연속류 (올림픽대로)	한강대교 위치 한 VDS3개 - 천호동방면
	이영인외	연속류 (올림픽대로)	영상검지기 및 시험차량 및 번 호판 조사
	남궁성외	연속류	TCS (경부선내의 5 개 영업소 및 TG)
	여태동외 (2009)	단속류 (일반국도14호선 부산시)	AVI, VDS

III. 자료 수집

1. 조사지점 선정

본 연구의 자료수집은 통행시간 예측모형의 보편성을 유지하기 위해 [표 3]과 같은 국도의 일반적 특성을 나타내는 지점을 대상지점으로 하였으며,

또한, AVI 매칭차량의 최소샘플수를 확보할 수 있는 구간을 조사지점으로 선정하였다.

본 연구에서는 이러한 특성을 나타내면서 연구목적에 적합한 AVI 장치가 설치된 구간으로 국도 2호 선상의 창원시 진해구(장천동 사거리~응원삼거리) 구간을 선정하였다.

[표 3] 국도의 일반적 특성 분류

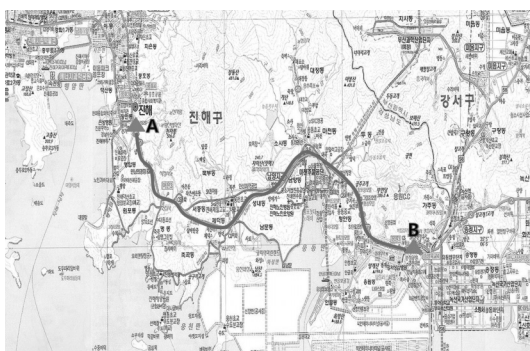
구간	특 성
중심 구간	해당 국도가 대도시를 통과하면서 시내 중심부를 관통하는 구간으로 지역 내 유출·입 차량이 혼재되고, 링크 길이가 짧아 신호에 의한 영향과 도로변 업무 밀집 지역에서 주정차로 인한 혼잡이 자주 발생하는 구간
인접 구간	해당 국도가 대도시를 통과하면서 시내 중심부에 진입하기 전과 중심부를 통과한 후의 인접한 경계 구간으로 링크길이는 중심구간보다 길지만 중심구간의 지체 영향이 파급되고 통과차량이 지역 내 유출입 차량과 연결 또는 분리되는 구간이기 때문에 지체가 종종 발생하는 국도구간

2. AVI 자료 수집

본 연구에 사용된 자료는 부산청 일반국도 교통관리체계를 위해 국도 2호선 진해 구간의 12km 간격으로 두고 설치된 연속된 2개의 AVI에서 수집한 6월 13일(월)~19일(일) 자료를 수집하였으며, 분석구간의 일반현황은 [표 4], [그림 1]과 같다.

[표 4] 분석구간의 일반현황

분석 장비	AVI구간 ID 38200030E3002
수집기간	2011년 6월 13일~19일 (일)
거리	12km
차로수	양방 4~6차로
교차로수	12개(신호교차로 6개)



[그림 1] 분석구간 현황

[표 4]와 [그림 1]과 같이 본 분석에 사용된 일반국도 2호선 구간은 창원시 진해구를 통과하고 다수의 교차로 및 유출·입 지점으로 인해 전형적인 단속류 유형의 도로구간으로 판단된다. 자료수집에 사용된 AVI는 A와 B 두 지점에 위치하며 B 지점의 AVI가 하류부에 위치해 있다.

IV. 통행시간 예측 모형 및 평가

통행시간은 교통량, 기하구조, 제한속도, 돌발상황, 차종구성 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 현실적으로 특히 교통량이 용량에 근접했을 때에는 이러한 요소들간의 관계를 모형화 하기란 상당히 어렵다. 본 연구에서는 지속적으로 새로운 관측치(통행시간)가 수집됨에 따라 상태변수(통행시간)를 지속적으로 갱신할 수 있는 칼만필터링 알고리즘을 이용하여 통행시간 예측을 수행하였다.

1. Kalman Filtering을 이용한 통행시간 예측 모형

1) 칼만필터

칼만필터는 Kalman(1960)에 의해 처음 소개되었으며, 상태공간모형이라고도 한다. 칼만필터는 시계열 데이터를 다루는 여러 분야에서 활용되어 온 기법으로, 시계열 자료를 상태공간 모형으로 표현한 후, 관측치를 통해 우리가 원하는 최상의 추정량을 얻는데 이용된다.

칼만필터를 이용한 예측방법은 시간에 따라 입력되는 관측값과 이전시간을 기준으로 예측된 예측값

을 비교하여 평균제곱오차의 최소화조건을 만족하도록 필터를 동적으로 적용시키는 것이다. 이 모형은 반복적으로 새로운 관측치를 즉시 수용할 수 있으므로 온라인 시스템에 적용시 유리하며, 대부분의 경우 초기치에 상관없이 참값으로 빠르게 수렴하는 경향을 보인다. 또한, 링크통행시간과 같이 정상적이지만 불규칙성을 가지는 자료를 토대로 한 장래통행시간 예측에 좋은 효과를 보이며, 교통상황 변동이 매우 심하고 다양한 도심부 네트워크의 특성이 아래 두 가지 칼만필터의 고유 특성과 잘 부합된다.

- 상태공간 방정식은 마코프 성질(Markov Property)을 가지고 있어, 교통패턴이 다양한 마찰로 인하여 불안정한 경우에 예측값의 오차가 실시간 데이터에 의해 수정됨으로써, 누적영향을 줄일 수 있는 기법이다.
- 칼만필터는 긴 과거의 데이터를 기억할 필요가 없이 축차계산에 의해 간편하게 최적해가 구해짐으로 단기에측이 주가 되는 온라인 시스템에 적합하다.

칼만필터기법의 모형화에 필요한 것으로는 초기 조건에 대한 정보와 시스템이나 센서로부터 들어가는 잡음을 정의하기 위한 시스템과 잡음 측정모형, 시스템의 동적상태에 대한 모형이 있으며, 필터는 신호의 초기추정치와 오차의 공분산을 시작으로 하여 실시간에 얻을 수 있는 각 측정치를 이용하여 필터의 이전 추정치를 새로운 추정치로 갱신한다.

즉 실시간으로 측정된 새로운 측정자료는 칼만필터의 추정치를 개선하는데 사용된다. 칼만필터링 모형은 무작위 오차(Random Error)를 지나는 관측치로부터 분석하려는 시스템의 상태를 예측하

는 것으로 상태방정식(State Equation)과 관측 방정식(Observation Equation)으로 구성된다.

$$\text{상태방정식 : } X_{t+1} = X_t + \omega_t \quad (1)$$

$$\text{관측방정식 : } Z_t = HX_t + \nu_t \quad (2)$$

여기서,

X_t = 시점 t 에서의 상태 벡터

Φ_t = 시점 t 에서 다음 시점 $t+1$ 로의 전이행렬

ω_t = 통행시간 자체의 오차벡터

Z_t = 시점 t 에서의 관측값을 표시하는 벡터

H_t = 시점 t 에서 관측벡터와 상태벡터와의 관계를 표시하는 행렬

ν_t = 통행시간을 측정할 때 생기는 측정오차벡터

위의 상태 방정식 식(1)에 의하면, $t+1$ 시점에서의 예측치 x_{t+1} 은 이전 시점의 상태 x_t 와 그 때의 오차항 w_t 를 관련시켜 예측할 수 있다. 또한 현재 시점에서 새로운 관측치 z_t 는 현재에 대한 예측치 x_t 와 현재의 오차항 ν_t 를 관련시켜 계산할 수 있다.

칼만 필터에서는 예측치 x_t 와 오차항 w_t 의 분산 P_t 에 대한 초기치, \hat{x}_t , \hat{P}_t 가 주어진 상태(a priori estimate)에서 상태방정식으로 x_t 의 예측치 \hat{x}_t 를 구하고, \hat{x}_t 와 새로운 관측치 z_t 를 이용해 더 나은 \hat{x}_t 를 다시 예측한다. 즉, 관측치를 포함시켜 새로운 예측치를 찾으므로 보다 현실에 가까워진 예측치를 구하게 된다. 새로운 예측치는 대개 \hat{x}_t 와 관측치 추정오차의 선형조합(linear combination)으로 이루어진다. 이때 칼만이득이라 불리는 K 상수를 매개 상수로 이용하며, 이 매개상수는 예측오차를 최소화시키는 방법으로 추정된다. 전술한 방식으로 시점 k 를 바뀌가면서 모든 시점에 대한 상태를 예측하면, 전체적인 시점에 대해 예측이 가능하다.

3) 알고리즘

통행시간 예측을 위해 사용하는 자료는 현재 시간대에 올라오는 측정치와 각 예측주기 전 자료를 이용하여 칼만필터링 알고리즘을 수행하였으며 다음과 같다.

① 칼만이득을 계산함

$$K = P(-) * H / (H * P(-) * H + R)$$

여기서,

$$P(-) = \text{통행속도 추정치 오차공분산}$$

$$R = \text{측정에러분산, 50}$$

$$H = 1$$

통행시간 주기 $t+1$ 에서,

$$K_{t+1} = P(-)_{t+1} / (P(-)_{t+1} + 50)$$

$$P(-)_{t+1} = \Phi_t * P(+) * \Phi_t + Q_t$$

여기서,

$$\Phi_t = \text{상태추이 행렬, 전이행렬}$$

$$P(+) = \text{오차공분산}$$

$$Q_t = \text{시스템 잡음, 상태에러분산}$$

$$\Phi_t = 1, \Phi_{t+1} = \frac{Historic_{t+1}}{Historic_t}$$

$$P(+) = 1, P(+)_{t+1} = (1 - K_{t+1})K * P(-)_{t+1}$$

② 측정값에 의해 업데이트 이후 통행속도 $x(+)$

: 계산된 이후 통행속도를 계산함

$$x(+) = x(-) + K * (z - H * x(-))$$

여기서,

$$x(-) = \text{예측 주기 이전 통행속도}$$

$$K = \text{칼만 이득}$$

$$z = \text{측정된 속도자료}$$

$$x(+) = True_t$$

$$x(+)_{t+1} = x(-)_{t+1} + K_{t+1} (z_{t+1} - x(-)_{t+1})$$

$$x(-)_t = -, x(-)_{t+1} = x(+) * \Phi_t$$

③ 통행속도 오차 공분산 $P(+)$ 을 계산함

$$P(+) = (I - K * H) * P(-)$$

여기서,

$$I = 1$$

$$P(-) = \text{예측주기 이전 통행속도 추정오차 공분산}$$

$$P(+) = 0, P(+)_{t+1} = (1 - K_{t+1}) * P(-)_{t+1}$$

④ 다음 예측 주기 통행속도 이전 상태 $x(-)$: 계산된 이전 통행속도를 계산함

$$x(-) = \Phi * x(+)$$

여기서,

$$x(+) = \text{예측주기이후 통행속도}$$

$$\Phi = \text{상태추이행렬, 전이행렬}$$

$$x(-)_t = -, x(-)_{t+1} = x(+) * \Phi_t$$

$$\Phi_t = 1, \Phi_{t+1} = \frac{Historic_{t+1}}{Historic_t}$$

⑤ 다음 예측 주기 통행속도 오차 공분산 $P(-)$

: 계산된 이전 공분산을 계산함

$$P(-) = \Phi * P(+) * \Phi + Q$$

여기서,

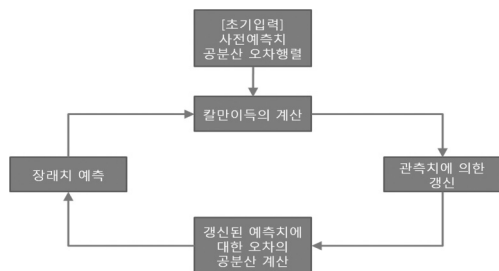
$$Q = \text{시스템 잡음, 상태에러분산}$$

$$P(-)_t = -, P(-)_{t+1} = \Phi_t * P(+) * \Phi_t + Q_t$$

전술한 ①~⑤를 요약하면 다음 [표 5]와 같으며, 칼만필터링 과정을 순서도로 표현하면 [그림 2]와 같다.

[표 5] 칼만필터링 알고리즘 수행 과정

1	칼만이득(K)계산	
	수식	$K = P(-) * H / (H * P(-) * H + R)$
	Input	$P(-)$ = 통행속도 추정치 오차공분산, = 측정예러분산(50), $H = 1$
	Output	칼만이득(K)
2	측정값에 의해 업데이트 이후 통행속도($x(+)$)를 계산함	
	수식	$x(+) = x(-) + K * (Z - H * x(-))$
	Input	$x(-)$ = 예측 주기 이전 통행속도, K = 칼만 이득, Z = 측정된 속도자료
	Output	계산된이후 통행속도($x(+)$)
3	통행속도 오차 공분산 ($P(+)$) 을 계산함	
	수식	$P(+) = (I - K * H) * P(-)$
	Input	$P(-)$ = 예측주기 이전 통행속도 추정오차 공분산 K = 칼만 이득
	Output	오차 공분산 $P(+)$
4	다음 예측 주기 통행속도 이전 상태 ($x(-)$)를 계산함	
	수식	$x(-) = \Phi * x(+)$
	Input	$x(+)$ = 예측주기이후 통행속도 Φ = 상태추이행렬(전이행렬)
	Output	계산된 이전 통행속도 ($x(-)$)
5	다음 예측 주기 통행속도 오차 공분산 ($P(-)$)을 계산함	
	수식	$P(-) = \Phi * P(+) * \Phi + Q$
	Input	Φ = 상태추이행렬(전이행렬), 오차 공분산 ($P(+)$) Q = 시스템 잡음(상태예러분산)
	Output	계산된 이전 공분산 ($P(-)$)



[그림 2] 칼만필터링 알고리즘 과정

2. 통행시간 예측모형 평가

1) 분석시나리오 구성

AVI를 이용해 수집한 자료를 이용하여 통행시간 예측에 영향을 줄 것으로 예상되는 변수들을 설정하였다. 우선 AVI 데이터 집계간격(Polling Interval)에 따라 제공되는 통행시간의 편차가 다르게 나타나므로 집계간격 변화에 따른 예측모형의 정확도를 측정하였고, 데이터의 수집시간대별, 요일별(본 연구에서는 6월 13일(월)~19일(일) AVI 자료를 수집하여 분석을 수행하였으나, 13일(월), 14일(화), 17일(금) 외의 자료는 최소샘플수 미달 및 결측치 발생으로 인하여 통행시간 예측 알고리즘 평가에서 제외하였음), AVI통행시간 자료 유의수준에 따른 예측모형의 정확도를 평가하였다. 이를 정리하면 [표 6]과 같다.

[표 6] 분석시나리오

구 분	집계간격	5분	15분
시간대		14시간 분석(AM 6:00~PM 8:00) 오전첨두(AM 07:00~09:00) 비첨두(PM 12:00~14:00) 오후첨두(PM 17:00~PM 19:00)	
요일		6월13일(월),14일(화),17일(금)	
AVI통행시간 자료 유의수준		5%, 10%	
평가지표		MAPE, RMSE	

평가지표로는 평균절대비율오차(MAPE : Mean Absolute Percentage Errors)와 평균제곱오차의 제곱근(RMSE : Root Mean Squared Errors)을 사용하였고, MAPE 및 RMSE가 0에 가까울수록 이 모형은 비교적 정확한 모형이라고

평가할 수 있으며 식(3), 식(4)와 같다.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \left| \frac{x(t) - \hat{x}(t)}{x(t)} \right| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{\sum_{t=1}^n x(t)} \sum_{t=1}^n \left[\frac{x(t) - \hat{x}(t)}{x(t)} \right]^2 x(t)} \quad (4)$$

여기서,

$x(t)$ = 기준 통행시간

$\hat{x}(t)$ = 예측 통행시간

N = 샘플 수

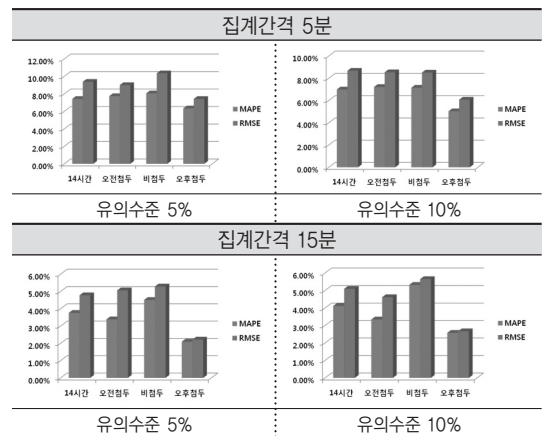
2) 분석 결과

통행시간 예측모형을 평가하기 위하여 다양한 변수에 대한 stochastic variation을 고려하였다. 분석 결과 데이터 수집시간대 및 요일별 등 모든 변수에 대하여 집계간격이 5분일 때보다 15분일 때 예측통행시간 오차가 줄어드는 것으로 분석되었다. 이는 집계간격의 증가로 인해 AVI 매칭차량 대수가 증가함에 따라 표준편차가 감소하여 분석 결과에 영향을 주는 것으로 사료된다. 전술한 결과는 본 대상구간의 AVI에서 수집된 매칭데이터의 구간통행시간 자료의 변화를 가장 잘 표현하는 집계간격이 15분이라는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 집계간격을 5분, 15분 단 두 개의 경우만을 분석하였기 때문에 다양한 집계간격에 따른 정확도 평가가 필요할 것으로 판단된다.

다양한 변수에 대한 칼만필터링 알고리즘 통행시간 예측의 정확도를 [표 7]~[표 9] 및 [그림 3]~[그림 5]에 정리하였다.

[표 7] 6월 13일(월)

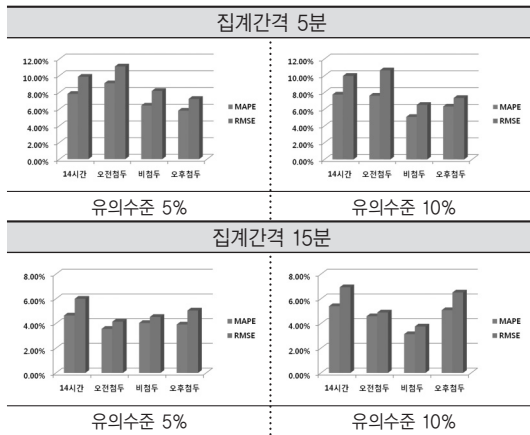
집계간격	14시간		오전첨두		비첨두		오후첨두	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
5분								
MAPE (%)	7.42	6.99	7.74	7.21	8.06	7.15	6.33	5.04
RMSE (%)	9.38	8.67	9.01	8.53	10.36	8.51	7.42	6.07
15분								
MAPE (%)	3.76	4.12	3.38	3.34	4.51	5.32	2.09	2.57
RMSE (%)	4.78	5.09	5.06	4.61	5.28	5.65	2.22	2.67



[그림 3] 6월 13일(월) 예측오차

[표 8] 6월 14일(화)

집계간격	14시간		오전첨두		비첨두		오후첨두	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
5분								
MAPE (%)	7.81	7.74	9.08	7.60	6.41	5.07	5.80	6.31
RMSE (%)	9.86	9.97	11.09	10.63	8.16	6.51	7.21	7.34
15분								
MAPE (%)	4.64	5.40	3.56	4.58	4.04	3.13	3.92	5.08
RMSE (%)	6.00	6.93	4.15	4.89	4.53	3.76	5.05	6.51

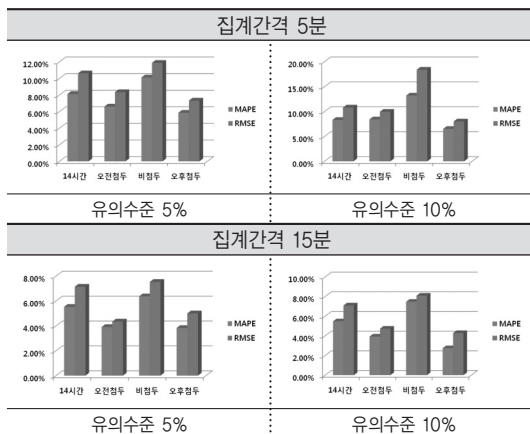


[그림 4] 6월 14일 (화) 예측오차

[표 9] 6월 17일(금)

집계간격 5분	14시간		오전첨두		비첨두		오후첨두	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
MAPE (%)	8.12	8.31	6.61	8.41	10.11	13.22	5.86	6.51
RMSE (%)	10.61	10.81	8.35	9.95	11.88	18.41	7.32	8.01

집계간격 15분	14시간		오전첨두		비첨두		오후첨두	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
MAPE (%)	5.53	5.47	3.90	3.92	6.37	7.46	3.83	2.74
RMSE (%)	7.15	7.09	4.35	4.73	7.53	8.08	5.00	4.28



[그림 5] 6월 17일(금) 예측오차

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 국도2호선 마산~진해 구간에 운영 중인 AVI 자료를 토대로 통행시간 예측에 있어서 널리 사용되고 있는 칼만필터링을 이용하여 통행시간예측 알고리즘을 평가하였다.

분석결과 첫 번째로 수집자료의 시간대별, 요일별 등 모든 변수에 대하여 집계간격이 15분일 때 통행시간 예측 오차가 집계간격 5분보다 낮은 것으로 분석되었다. 이는 집계간격의 증가로 인해 AVI 매칭차량 대수가 증가함에 따라 표준편차가 감소하여 분석 결과에 영향을 주는 것으로 사료된다.

두 번째로 통행시간 예측 결과 MAPE 및 RMSE 가 2%~13%로 나타났다. 이는 연속류 도로구간의 예측결과보다 다소 높지만, 통행시간 변동이 심한 단속류인 점을 고려한다면 만족할 만한 수준의 예측 알고리즘이라 할 수 있겠다.

본 연구에서 사용한 예측 알고리즘의 예측능력을 향상시키기 위해서는 다음의 4가지 상황에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

첫째, 본 연구의 분석 대상구간은 국도 2호선 상의 12km 구간으로 통행시간 예측 알고리즘을 수행하여 유효한 결과값을 도출하였지만 분석대상 구간이 모든 다른 도로를 대표한다고 할 수 없다. 또한수집간격이 5분일 경우 최소표본수를 확보하지 못하거나 결측치가 발생하여 알고리즘 평가를 수행하지 못하는 경우가 발생하였다. 따라서 다양한 대상구간에 대한 분석을 통하여 본 연구에서 제시한 통행시간 예측 알고리즘의 성능 평가를 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

둘째, 본 분석에서는 6월 13일(월), 14일(화), 17

일(금)의 한정된 자료만을 이용하여 칼만필터링 알고리즘을 수행하였으나, 연도별, 월별 과거 자료를 이용하여 파라미터 산정을 통한 알고리즘 성능을 평가할 필요가 있을 것으로 사료된다.

셋째, 통행시간 예측을 위하여 침두시, 비침두시로 구분하여 분석하였지만, 이는 정상적인 교통상황(Normal Traffic)만을 고려한 것으로 돌발상황(Incident) 발생과 같은 비정상적인 교통상황을 대표한다고 할 수 없으므로 이에 대한 연구의 필요성이 있다.

마지막으로, 본 연구의 분석 대상구간은 단속류 구간으로 통행시간 예측에 있어서 다양한 요소(교통량, 신호 및 비신호 교차로 수, 제한속도, 교통상황 등)의 영향을 받을 것으로 사료된다. 따라서 다양한 변수에 대한 예측 알고리즘의 정확도를 평가할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박병규, 노정현, 정하옥(1995), 신경망 이론에 의한 링크통행시간 예측모형의 개발, 대한교통학회지 제13권1호, pp.95-112
2. 조범철, 이승재(1998), 적응성 있는 단기간 속도 예측모형 개발에 관한 연구
3. 이영인, 최찬영(1998), 칼만필터링을 이용한 구간 속도 예측에 관한 연구
4. 남궁성, 윤일수, 조범철(1999), TCS 자료를 이용한 고속도로 통행시간 예측
5. 오세창, 김명하, 백용현(2003), 차량검지기 교통량 데이터를 이용한 고속도로 통행시간 추정 및 예측모형 개발에 관한 연구, 대한교통학회지 제21권 5호 pp.83-116
6. 문학룡, 류승기, 김성현, 박현석(2003), 주행 차량 자동인식시스템을 이용한 구간통행시간 산출, 한국ITS학회 논문지 제2권 제2호 pp.23-29
7. 이승재, 김범일, 권혁(2004), 단기 통행시간 예측 모형개발에 관한 연구, 한국ITS학회지 제3권1호 pp.31-44
8. 장진환, 백남철, 김성현, 변상철(2004), AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 예측, 대한교통학회지 제22권 7호 pp.169-175
9. 윤지현, 김성현, 이영인(2005), 데이터융합기술을 활용한 다주기 통행시간예측에 관한 연구
10. 임형석, 이승환, 이현재(2005), 단속류 통행시간 추정을 위한 적정 집락간격 결정에 관한 통계적 방법론 비교 연구, 대한교통학회지 제23권 3호 pp.109-123
11. 김성현, 임강원, 이영인(2005), 일반국도의 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제23권 5호 pp.135-146
12. 김재진, 노정현, 박동주(2006), 구간검지체계를 이용한 On-Line 출발시간기준 링크 통행시간 추정(연속류를 중심으로), 대한교통학회지 제24권 2호 pp.157-168
13. 최기주, 최윤희(2006), 링크통행시간 생성을 위한 이상치 제거 알고리즘 개발, 대한토목학회 논문집 Vol.26 No.5 pp.731-738
14. 김재진, 노정현, 박동주, 남궁성(2007), 출발

- 시간 기준 링크통행시간 정보의 공간적 설계
(연속류를 중심으로), 대한교통학회지 제25
권2호 pp.145-155
15. 여태동, 한경수, 배상훈(2009), 히스토리컬
프로파일 구축과 시·공간 자료합성에 의한
단속류 통행시간 예측, 대한교통학회지 제27
권2호 pp.133-144
16. Charles D.R. et al(2000), Evaluation
of Online Travel Time Estimators and
Predictors, In Transportation Research
Record 1719, TRB, National Research
Council, Washington, D.C pp.45-53
17. Steven I et al(2003), Predicting Travel
Time for the South Jersey Real-Time
Motorist Information System, TRB
82nd Annual Meeting(CD-ROM).