

■ 論 文 ■

# Kalman Filter를 활용한 대기행렬예측 알고리즘 개발

A Queue Length Prediction Algorithm using Kalman Filter

**심 소 정**

(서울시정개발연구원 연구원)

**이 청 원**

(서울시정개발연구원 연구위원)

**최 기 주**

(아주대학교 교통공학전공 부교수)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 기존연구
    - 1. 대기행렬과 실시간 교통정보
    - 2. 예측모형
    - 3. 칼만필터
  - III. 예측모형 제안 및 대상 네트워크
    - 1. 칼만필터의 활용
    - 2. 대상 네트워크
  - IV. 모형의 적용
    - 1. 대기행렬의 정의
    - 2. 예측주기 결정
    - 3. 분석 시나리오
    - 4. 데이터 및 파라미터 산출
    - 5. 적용결과
  - V. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : ATIS, Kalman filter, 예측모형, 대기행렬정보, 남산권교통정보시스템

## 요 약

실시간 교통정보는 운전자 입장에서는 항상 과거정보가 되는 특성이 있기에, 신뢰도 높은 예측교통정보 가공의 필요성은 오래전부터 제기되어 왔다. 교통류의 상태를 운전자에게 알리는 방안에는 속도, 통행시간도 있지만, 정체가 심하고 링크가 긴 구간에서는 대기행렬의 길이가 매우 효과적인 제공방안의 하나이다. 본 논문은 Kalman filter를 활용하여 대기행렬 길이를 예측하는 모델을 제안한 후, 실제 검지기 자료를 이용하여 서울 도심의 남산권 네트워크 상에 적용하였다. 5분후의 대기행렬 길이를 예측한 후, 통계적으로 검증해 본 결과, 상당한 예측력을 확보할 수 있었다. 본 연구는 국내외 최초로 도심부에서 대기행렬 길이 예측을 시도하였고 실제 활용 가능성을 타진했다는데 큰 의미가 있다.

## I. 서론

교통정보시스템(ATIS)에서 운전자들에게 제공하는 정보는 과거정보(historical information), 실시간 정보(real time information) 그리고, 예측 정보(predictive information)로 나눌 수 있다. 현재 국내의 교통정보시스템들은 대부분 과거정보 또는 실시간 정보이다. 그러나 이용자 입장에서 가장 유용하게 사용될 수 있는 정보의 형태는 자신이 직면하게 될 네트워크 상황에 대한 신뢰성 있는 예측 정보이다.

지체정보의 형태는 통행시간, 통행속도, 혹은 대기행렬 등으로 표현할 수 있다. 정보의 내용이 구체적인 수치나 권고로 나타날 때 운전자들의 반응은 더욱 민감해지는 것으로 조사된 바 있다(서울시정개발연구원, 2000). 특히 도심부의 경우, 지역에 익숙한 운전자들은 구체화 된 정보에 더욱 민감할 것으로 추론할 수 있다.

본 연구에서는 지체가 빈번히 발생하는 도심지역 네트워크를 대상으로, 지체정보 중 대기행렬 정보를 예측할 수 있는 모형으로서 칼만필터를 제안하고, 실제 네트워크 상에 적용해 봄으로써 그 활용가능성을 타진해 보았다.

## II. 기존연구

### 1. 대기행렬과 실시간 교통정보

대기행렬 길이를 실시간 교통정보로서 제공하는 사례는 문헌상 많지 않다. 프랑스 SIRIUS에서는 상습정체가 반복되는 지역에 도로전광표지를 설치하여 대기행렬 길이를 표출하고 있으며, 실제 이 정보에 운전자들이 반응하여 경로전환이 있음을 보고한 바가 있다(Young-Ihn Lee, Chan Young Choi,1998). 유사 사례연구로서 국내에서는 남산1호터널 교통정보시스템 모니터링(서울시정개발연구원, 2001)이 있다. <표 1>은 언급한 두 가지 연구사례의 결과를 비교해 본 것으로 대기행렬정보에 대한 운전자반응이 실제로 나타나고 있으며 상당한 유사점이 있음을 알 수 있다.

### 2. 예측모형

일반적인 통계적 예측기법 중에서 교통류부문에서 활용되는 기법으로는 지수평활법, ARIMA모형, 칼만필터 등 시계열 데이터를 이용한 시계열 모형과 신경망기법 등이 있다.

<표 2>는 이들의 장·단점을 비교한 것이다.

<표 1> 대기행렬 정보에 대한 운전자 반응

구분	SIRIUS	남산1호터널
평균 도착율 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기행렬 1km이상 → 도착교통량이 감소, 평균도착율보다 낮음</li> <li>3km 이상 → 평균도착율과의 차이 급격히 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기행렬1km → 터널 이용차량의 변화 시작</li> <li>2km이상 → 그 영향이 현저히 증가</li> </ul>
교통류 전환 정도 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기행렬길이가 0.5km미만→전환비율이 0.01% 미만</li> <li>대기행렬길이가 증가함에 따라 그 전환비율이 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기행렬길이 1km→ 우회도로로의 전환이 발생시작</li> <li>2km이상→ 그 영향이 현저히 증가</li> </ul>

<표 2> 예측기법의 장단점 비교

예측 모형	장점	단점
ARI-MA 모형	<ul style="list-style-type: none"> <li>시계열 자료가 시간의 흐름에 따라 빠르게 변동하는 경우 효과적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>불연속, 동등한 시간간격으로 변동하는 데이터에만 유용</li> <li>모형의 구현을 위해 50개 이상의 관찰치 필요</li> <li>정상적인(stationary) 시계열에서만 가능</li> </ul>
지수 평활예측	<ul style="list-style-type: none"> <li>시계열 자료가 시간의 흐름에 따라 느리게 변동하는 경우 효과적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>계속적인 경향에 뒤쳐짐</li> <li>적절한 가중치 설정이 곤란</li> </ul>
칼만필터	<ul style="list-style-type: none"> <li>필터링 방정식을 반복적으로 적용</li> <li>초기치에 상관없이 참값으로 빠르게 수렴하는 경향있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템에 대한 이해, 변수의 선택, 모델링, 필요한 데이터의 적절한 입력이 필수</li> </ul>
신경망 기술 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모 병렬처리 가능</li> <li>비선형 문제의 해결</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>데이터의 구조가 복잡할수록 연산시간 기하급수적 증가</li> </ul>

이러한 여러 가지 예측모형들 가운데 어떤 모형을 선택할 것인가는 모형이 적용될 네트워크의 교통류특성과 실시간 정보제공에 따르는 정보가공의 시간적 제약 등을 고려해 결정되어야 할 것이다.

### 3. 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 예측값을 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.

칼만필터는 두 단계로 구성되는데, 첫 번째는 예측 단계(Prediction Part)로, 다음에 관측되어지는 값을 예측하는 과정이고, 다음은 갱신단계(Updating Part)로, 새로운 관측값으로 기존에 예측한 값을 보정하는 단계이다.

칼만필터가 교통분야에서 활용된 예는 많지 않은데, Okutani and Stephanedes(1984)가 15분단위 교통량을 예측하는데 활용한 바가 있으며, 그 결과값이 UTCS-2의 값보다 우수한 결과를 보임을 보고한 바 있다. Lee and Choi(1998)는 ARIMA 모형, 신경망 모형, 그리고 칼만필터를 이용해 1분단위 링크통행시간을 예측해 보고, 칼만필터가 세 모형 중, 가장 나은 예측값을 산출해냄을 밝힌 바 있다.

## III. 예측모형 제안 및 대상 네트워크

### 1. 칼만필터의 활용

#### 1) 칼만필터 선정이유

본 연구는 도심의 교통정보시스템을 대상으로 대기

행렬길이를 예측하고자 하는 것이다. 도심부 네트워크는 통상 교통상황 변동이 매우 심하고 다양하다. 이러한 네트워크 특성은 아래의 두 가지 칼만필터의 고유특성과 잘 부합되고, 이것이 칼만필터 선정이유이다.

- 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 기법임.
- 칼만필터는 긴 과거의 데이터를 기억할 필요가 없이 축차계산에 의해 간편하게 최적해가 구해짐으로 단기예측이 주가 되는 온라인 시스템에 적합함.

### 2) 모형의 구조

제안한 대기행렬 예측모형은 대기행렬길이를 입력하여 대기행렬길이를 예측하는 구조로 이루어진다.

#### ○ 상태공간모형

$$\alpha_t = F \alpha_{t-1} + G \eta_t \text{ (상태방정식)}$$

$$y_t = H \alpha_t + \epsilon_t \text{ (관측방정식)}$$

여기서,

$\alpha_t$  : 상태벡터(state vector)

$y_t$  : 관측값 벡터(observation)

$F$  : 변환행렬(transition matrix)

$G$  : 입력행렬(input matrix)

$H$  : 출력행렬(output matrix)

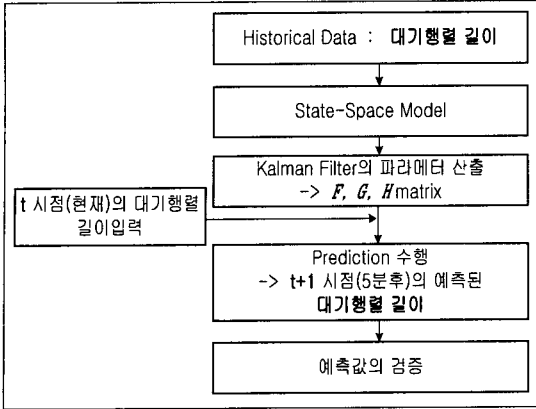
$\eta_t$  : 쇄신벡터(innovation vector), 평균벡터가 영벡터이고 공분산 행렬이  $H$ 인  $\{\epsilon_t^i\}$

$\epsilon_t$  : 평균 0, 분산  $\sigma_{\epsilon_t}^2$  인 시간에 따라 서로 독립인 확률변수

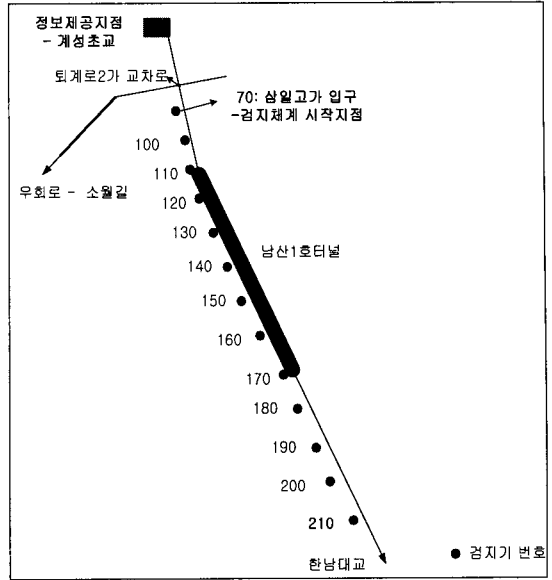
모형의 수행과정은 <그림 1>과 같고, 그림에서 보면 일단 대기행렬길이를 입력 데이터로 하여 상태공간모형의 파라미터  $F, G, H$  매트릭스를 구하고, 구해진 파라미터를 기초로 대기행렬 예측치를 산출하는 과정으로 이루어진다.

### 2. 대상 네트워크

제안된 대기행렬 예측모형을 실제 적용할 대상지 선정 및 그 대상지의 교통특성에 대해 간략히 살펴본다.



<그림 1> 모형 수행과정



<그림 2> 대상 네트워크

1) 대상 네트워크 선정

(1) 대상 네트워크

서울 도심의 교통정보시스템 중에서, 대기행렬정보를 제공하는 시스템인 남산권 교통정보시스템을 예측 모형 적용대상 네트워크로 선정하였다.

(2) 대상네트워크의 노드-링크

도심의 삼일로 계성초교 지점부터 한남2고가 전까지 루프검지기가 300~250m 간격으로 매설되어 있으며, 이 루프검지기가 남산터널 교통정보시스템의 정보수집원이다. 본 연구에서는 루프 검지기에서 얻어진 데이터(교통량, 점유율, 속도)를 기초 데이터로 활용하였으며, 본 연구의 구체적인 대상구간은 강남 방향으로, 100번 검지기 틀게이트 후방 구름다리 지점에서 210번 검지기 한남2고가까지이다. 대상 네트워크내의 검지기 위치 및 각 지점에 대한 설명은 <그림 2>, <표 3>과 같다.

<표 3> 검지기 설치지점 및 하류부 검지기와의 간격

검지기 번호	지점명	검지기 간격(m)
100	구름다리	300
110	터널북단	320
120	터널 1250m	250
130	터널 1000m	250
140	터널 750m	250
150	터널 500m	250
160	터널 250m	279
170	터널남단	334
180	북한남고가 중간	171
190	한남타워육교	228
200	외인아파트	212
210	한남2고가	-

2) 대상 네트워크의 교통특성

남산1호터널 교통정보시스템 대상 네트워크는 도심(퇴계로)과 강남(한남대교)을 연결하는 하나의 축으로 구성되어 있다. 도심의 삼일로 계성초교 지점을 시작으로, 터널남단에서 한남대교로 연결되는 한남2고가 전까지의 구간이 교통관리범위에 해당한다. 대상네트워크이 갖는 주요 교통특성은 다음과 같다.

- 연속류이지만 하류부의 고가와 교차로, 심각한 차선 변경 등으로 매우 불안정한 교통류 특성을 보임.
- 강남에서 도심으로 진행하는 방향은 거의 모든 시

간 소통이 원활하나, 도심에서 강남으로 진행하는 방향은 교통정체가 심각함.

- 운전자들이 터널진입 전에, 터널하류와 터널부의 교통상황을 알고자하는 욕구가 매우 높은 곳임.

IV. 모형의 적용

1. 대기행렬(Queue)의 정의

남산1호터널 센터에서는 차량들의 대기가 형성되

어 그 대기행렬의 끝단을 이루면서 현재 주행하고 있는(moving queue) 차량의 평균주행속도가 33km/h 이하일 경우, 이 차량들 전체를 대기행렬로 보고있다. 그리고 본 연구의 대상이 되는, 강남방향으로의 대기행렬의 시작점은 '한남2고가(210번 검지기)'지점부터로 규정하고 있다.

본 연구에서는 남산1호터널 센터에서 정의한 대기행렬 및 대기행렬의 시점을 그대로 적용한다.

## 2. 예측주기 결정

가장 바람직한 예측주기는 운전자가 정보를 제공하는 시점과 해당 정보대상지까지 도착하는 시점의 시간차이다. 이 경우 정확한 정보의 생성만이 관심의 대상이 된다. 문제는, 위 시간차이가 고정값이 아니고 교통류의 변화로 인하여 수시로 바뀔수 있다는 것이다. 따라서 위 시간차의 대표치를 예측주기로 사전에 설정해야 한다.

남산1호터널의 시간차(정보대상지 도착시각-정보제공받는 시각) 대표치를 알아보기 위해, 최종 정보제공지점인 계성초교부터 해당 정보대상지인 터널입구까지의 평균통행시간을 조사한 결과 약 5분<sup>1)</sup>정도인 것으로 밝혀졌다.

따라서, 본 연구에서는 예측주기를 5분으로 설정하였다.

## 3. 분석 시나리오

모형분석 시나리오는 상태공간모형의 구축을 위한 파라미터(F, G, H) 산정의 기초 데이터로 활용되는 이력 데이터 양에 따라, <표 4>와 같이 구분하였다.

<표 4> 분석 시나리오

구분	상태공간모형 구축을 위해 적용한 이력 데이터	예측치 생성
시나리오 1	8월20일~8월24일	8월29일(수)
시나리오 2	8월1일~8월24일	8월28일(화) 8월29일(수) 8월30일(목)

## 4. 데이터 및 파라미터 산출

### 1) 데이터 수집

대기행렬길이 데이터는 실측치를 활용하는 것이 가장 바람직하나, 예측정보를 생성하는데 충분한 실측치는 없으므로, 남산1호터널 센터에서 추정된 대기행렬길이<sup>2)</sup> 데이터를 활용하기로 한다. 단, 추정된 대기행렬길이를 실측치 대신으로 사용하기에 앞서, 이것이 실측치를 얼마나 잘 모사하고 있는지 통계적 분석이 선행되어야 할 것이다. 통계분석으로 현재 조사된 대기행렬 실측치 3월 22일 데이터와 동일한 날짜의 센터추정치에 대한 t 검정 쌍체비교(paired t-test)를 실시하였다(표본수 180개, 5분단위 15시간 자료). 그 결과 5% 유의수준내에서 실측치와 센터추정치가 동일하다는 귀무가설을 채택하는 t 통계량( $t=-1.31$ )을 얻을 수 있었고, 따라서 남산센터에서 추정된 대기행렬길이 실측치를 어느 수준까지 모사할 수 있다는 결론을 내릴 수 있었다. 이는 센터의 검지기간 간격이 250m로서 상당히 조밀하여 검지기의 calibration 상태가 양호한데 기인한 바 크다.

따라서, 본 연구에서는 모형의 적용에 필요한 대기행렬길이 데이터로, 센터추정 대기행렬길이를 활용하였다.

### 2) 데이터 가공

#### (1) 이력 데이터의 가공

상태공간모형 구축을 위한 파라미터 산정에 활용된 이력 데이터(8월 1일~24일, 대기행렬길이 데이터)는 5분단위로 가공하였다.

남산터널센터에서 얻은 1분단위 대기행렬 데이터를 5분단위로 가공하였다. 가공하는 방법은 1분단위의 데이터를 5분단위로 취합하고 이를 산술평균하여, 5분의 대표값으로 활용하였다.

#### (2) 예측치산출을 위한 입력데이터 가공

예측치 산출을 위한 입력데이터의 양식도 5분단위 데이터로서, 수집되는 데이터를 5분단위로 취합하여, 이를 5분마다 갱신하여 입력데이터로 활용하였다.

1) ROTIS의 자료를 기초로 계성초교지점에서 남산1호터널 입구까지의 평균통행시간을 구하면 약 5분정도임.

2) 남산1호터널의 대기행렬길이 산출알고리즘은 각 검지기사이의 정체도를 구하여 이를 바탕으로 대기행렬길이를 구하는 알고리즘임. 현재 신 신호 시스템에서 대기행렬을 구하는 알고리즘과 동일한 방식임.

3) 상태공간모형구축을 위한 파라미터산정

파라미터 산정을 위해 5분단위로 가공된 이력 데이터로, 파라미터 F, G, H를 구하였다. 시나리오별 구해진 파라미터 값은 다음과 같다.

- 시나리오 1의 파라미터

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.686 & 0.535 & 1.130 \end{bmatrix},$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.182 \\ 1.185 \end{bmatrix}, \quad H = [19415.75]$$

- 시나리오 2의 파라미터

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.438 & 0.343 & 1.080 \end{bmatrix},$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.256 \\ 1.340 \end{bmatrix}, \quad H = [11104.92]$$

5. 적용결과

1) 평가방법

(1) t 검정: 쌍체비교

각 시간대별 남산센터추정치 대기행렬과 모형예측치 대기행렬을 한 쌍으로 보고 각 쌍의 차이값을 비교하는 쌍체비교를 수행하였다.

귀무가설은 아래와 같다.

귀무가설(H<sub>0</sub>) :  $\mu_1 = \mu_2$   
 여기서,  $\mu_1$  : 남산센터추정치 모평균  
 $\mu_2$  : 모형예측치 모평균

본 연구에서는 상기 t 검정을 수행하여, 모형에 의해 예측된 대기행렬이 실제 현장에서 발생하는 대기행렬을 얼마나 잘 모사하고 있는지를 평가하였다.

(2) 상대적 평가지표

구축된 예측모형의 상대적 평가기준으로 활용되는 지표로는 다음과 같다.

- MARE(Mean Absolute Relation Error)  

$$MARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x(i) - \widehat{x(i)}|}{x(i)}$$
- MAE(Mean Absolute Error)  

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x(i) - \widehat{x(i)}|$$
- RMSE(Root Mean Square Error)  

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x(i) - \widehat{x(i)}|^2}$$

본 연구에서는 상기 지표들을 기준으로 이력 데이터의 양에 따른 모형의 예측력을 비교, 평가하였다.

2) 적용결과 평가

(1) t 검정 적용결과

분석 시나리오별로 t 검정을 수행한 결과는 <표 5>과 같다. 본 논문에서 제시한 모형에 의한 대기행렬 예측치는 5% 유의수준 내에서 센터추정치와 모평균이 동일하다는 결론을 내릴 수 있다.

<표 5> 분석 시나리오별 t 검정 결과

시나리오	예측치 생성	t 통계량	양측검정 기각치 (5% 유의수준)	판단
1	8.29(수)	-1.16	1.97	H <sub>0</sub> 채택
	8.28(화)	-0.98	1.97	H <sub>0</sub> 채택
2	8.29(수)	-0.87	1.97	H <sub>0</sub> 채택
	8.30(목)	-1.26	1.97	H <sub>0</sub> 채택

(2) 상대적 평가지표 적용결과

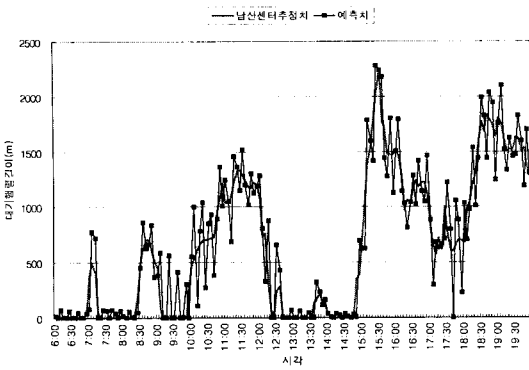
모형 분석시나리오 각각의 경우에 대해 8월29일 모형예측치를 센터추정치와 상대적 평가지표를 바탕으로 비교하면 <표 6>과 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 6> 8월 29일 시나리오별 센터추정치 대기행렬-모형 예측치 대기행렬 비교

	MARE	MAE	RMSE
시나리오 1	0.25	155.97	219.73
시나리오 2	0.22	123.09	175.98

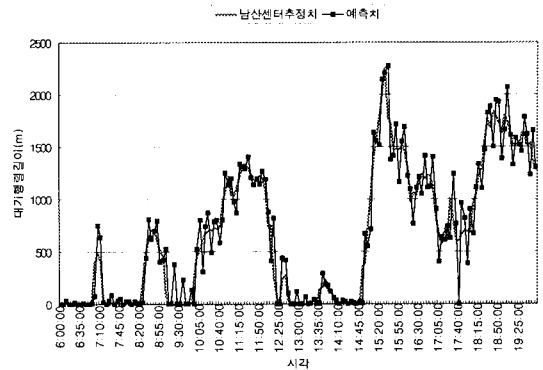
<표 6>에서 보면, 이력 데이터로 17일치를 활용한 시나리오 2가 시나리오 1에 비하여 안정된 결과값을 보이고 있음을 알 수 있다. 이로써, 모형구축에 필요한 이력 데이터를 많이 확보할수록 정확도가 높은 모형 파라미터를 산출할 수 있음을 유추할 수 있다.

8월29일 대기행렬길이 남산센터추정치-모형예측치 비교



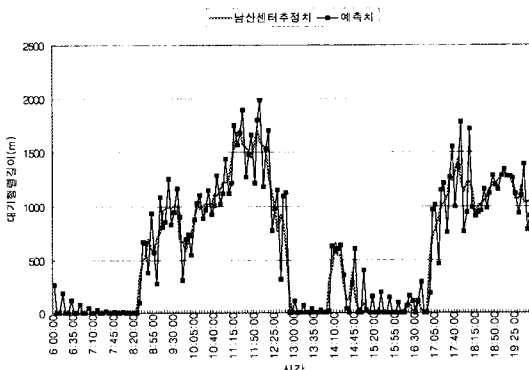
<그림 3> 시나리오 1, 8월29일 대기행렬 모형예측치

8월29일 대기행렬길이 남산센터추정치-모형예측치비교



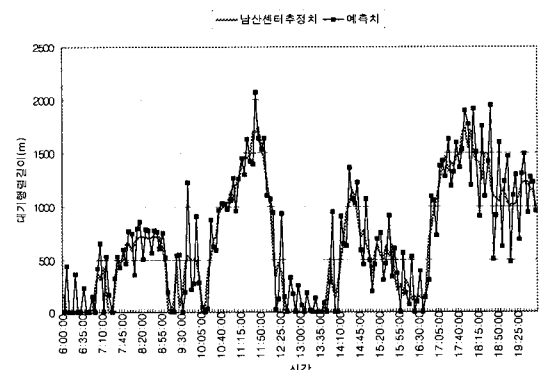
<그림 5> 시나리오 2, 8월29일 대기행렬 모형예측치

8월28일 대기행렬길이 남산센터추정치-모형예측치 비교



<그림 4> 시나리오 2, 8월28일 대기행렬 모형예측치

8월30일 대기행렬길이 남산센터추정치-모형예측치 비교



<그림 6> 시나리오 2, 8월 30일 대기행렬 모형예측치

3) 적용결과 정리 및 활용방안

본 연구에서 제시한 칼만필터를 이용한 5분단위 대기행렬 예측모형이 일정 수준 이상 만족하는 결과 값을 산출하고 있음을 알 수 있었다. 또한 이력 데이터가 많을수록 보다 안정된 예측이 가능하였다.

한편, 예측된 대기행렬 정보를 다양하게 활용할 수 있는 방안을 다음과 같이 제시한다.

- 대기행렬의 변화방향, 즉 증가 혹은 감소 상태를 알려줌으로써 운전자들의 경로선택에 보다 큰 도움을 줄 수 있도록 정보제공기능을 향상시키는데 활용함.
  - 대기행렬이 일정수준 이상 형성되어 지체상태를 이루고 있을 때, 대기행렬의 상태정보('지체증가 중', 혹은 '지체감소 중')를 함께 제공함.
  - 예를 들어, 동일한 '대기행렬 1700m'라 하더라도 '대기행렬 1700m, 지체증가 중'이라는 정보

와 '대기행렬 1700m 지체감소 중'이라는 정보는 운전자가 각각 다른 해석을 하도록 할 것이며, 이는 운전자의 경로선택에 보다 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨.

- 대기행렬 길이로 돌발상황을 판별할 수 있는 방법을 모색함.
  - 시간 t에서 예측된 t+1시점의 대기행렬길이와 실제 t+1시점에서 관측된 대기행렬길이의 차이, 즉 예측오차가 특정한 임계치를 넘는 경우에 돌발상황으로 판정함.
  - 여기서 임계치는 과거의 유고데이터를 기초로 유고가 발생했을 경우, 대기행렬길이의 변화정도를 조사하여 범위를 설정할 수 있겠음.

V. 결론 및 향후연구과제

IT기술에 힘입어 발전이 거듭될 것으로 보이는, ATIS 성공의 열쇠는 다양하게 논의될 수 있겠으나,

그중 하나가 신뢰성 높은 예측정보가 되겠다. 상습정체가 반복적으로 발생하는 병목구간에 대한 대기행렬 정보의 제공은 사례가 많지는 않지만, 매우 성공적인 것으로 보고된 바 있다. 그러나 운전자들에게, 정보제공지점에서 정보대상지점까지 오는 동안 변하게 될 교통상황을 사전에 예측하여, 정보의 질을 향상시킬 수 있다면 보다 나은 정보제공시스템이 될 수 있을 것이다.

본 논문은 교통류 정보 가운데에서도 대기행렬을 활용한 교통정보시스템에 대해서 칼만필터를 활용한 예측모형을 제안하였으며, 이를 남산권 네트워크에 적용하여 사례연구를 수행하였다.

5분후의 대기행렬을 예측하기 위하여 실제 대기행렬 자료를 이용하여 칼만필터 파라미터를 정산한 후, 이를 다른 날의 대기행렬 자료에 적용하여 예측 대기행렬길이를 산정하고 그 정확도를 통계적으로 검증하였다. 분석결과 제시된 칼만필터 모형은 상당한 예측력을 갖는 것으로 나타났다.

향후 과제로서는 다른 상습정체지역에 본 모형을 적용해 봄으로써 지역적 특성을 극복할 수 있는지 검토해 보는 것(transferability)과, 여타 예측방법을 적용하여 서로 비교하는 것을 들 수 있겠다. 또한, 교통지체의 증가 감소상태를 알려주는데 예측정보를 활용하거나, 대기행렬길이의 예측치와 실제치가 크게 다를 때 유고의 가능성을 타진해내는 유고알고리즘의 개발 등을 들 수 있겠다.

## 참고문헌

1. 김남선(1998), "신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발", 아주대학교 석사학위논문.
2. 김상욱(1996), "Kalman Filtering 모델을 이용한 고속도로상에서의 교통량 추정", 아주대학교 석사학위논문.
3. 서울시정개발연구원(2001), 남산1호터널 교통정보시스템 모니터링.
4. 서울시정개발연구원(2000), "서울시 첨단교통정보체계(ATIS) 구현을 위한 기본연구".
5. 이종협·최기현(1994), "시계열 분석과 그 응용", 자유아카데미.
6. 정철훈(1993), "Kalman Filter에 의한 신호교차로 단기교통변화예측", 아주대학교 석사학위논문.
7. SK C&C(2001), "남산1호터널 서버프로세스 검증자료".
8. Kalman, R. E.(1960), "A new approach to linear filtering and prediction problems", Trans. ASEM J. Basic Engineering, Ser. D, Vol. 82, pp.35~45.
9. Okutani, I. and Stephaneds, Y. J(1984), "Dynamic prediction of traffic volume through Kalman Filtering theory", Transportation Reaserch part B, Vol. 18B.
10. Welch and Bishop(2001), An Introduction to the Kalman Filter, UNC-Chapel Hill, TR 95-041.
11. Yim, Youngbin and Ygnace(1996), Jean-luc, Link Flow Evaluation Using Loop Detector Data: Traveler Responses to Variable Message Signs, TRR 1550, pp.58~64.
12. Young-Ihn Lee and Chan Young Choi(1998), "Development of link travel time prediction algorithm for urban expressway", Proceeding of 5th World Congress on ITS, Korea.

✉ 주 작 성 자 : 심소정

✉ 논문투고일 : 2002. 6. 12

논문심사일 : 2002. 7. 22 (1차)

2002. 9. 18 (2차)

심사판정일 : 2002. 9. 18

✉ 반론접수기간 : 2003. 2. 28