J. Korean Soc. Transp.
Vol.33, No.3, pp.256-267, June 2015
http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2015.33.3.256

Journal of Korean Society of Transportation
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Article

안개시 도시고속도로 통행속도 중장기 예측 알고리즘 개발

정은비[1] · 오철[1*] · 김영호[2]
[1]한양대학교 교통·물류공학과, [2]한국교통연구원 교통안전도로본부

Development of a Mid-/Long-term Prediction Algorithm for Traffic Speed Under Foggy Weather Conditions

JEONG, Eunbi[1] · OH, Cheol[1*] · KIM, Youngho[2]
[1]Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University at Ansan, Gyeonggi 425-791, Korea
[2]Department of Transportation Safety and Highway Research, The Korea Transport Institute, Sejong 339-007, Korea

Abstract

The intelligent transportation systems allow us to have valuable opportunities for collecting wide-area coverage traffic data. The significant efforts have been made in many countries to provide the reliable traffic conditions information such as travel time. This study analyzes the impacts of the fog weather conditions on the traffic stream. Also, a strategy for predicting the long-term traffic speeds is developed under foggy weather conditions. The results show that the average of speed reductions are 2.92kph and 5.36kph under the slight and heavy fog respectively. The best prediction performance is achieved when the previous 45 pattern cases data is used, and the 14.11% of mean absolute percentage error(MAPE) is obtained. The outcomes of this study support the development of more reliable traffic information for providing advanced traffic information service.

지능형 교통체계 시스템으로 인해 보다 신뢰성 있는 교통자료의 취득이 용이해졌으며, 실시간 통행시간 예측을 통한 경로정보 제공 및 중장기 통행시간 예측 등의 정보제공 서비스의 활용성이 높아짐에 따라 정확하고 신뢰성 있는 정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 안개 발생 시 정확한 교통정보를 제공하기 위하여 안개 발생에 따른 속도패턴 변화를 분석하였으며, 분석결과를 기반으로 하여 안개 시 통행속도 중장기 예측전략을 개발하였다. 서울시 교통정보센터에서 수집된 2009-2013년 올림픽대로 링크 속도자료와 83건의 안개 발생 정보를 이용하여 분석을 수행하였다. 분석결과, 옅은 안개가 발생한 경우 맑은 기상 시의 속도보다 평균 약 2.92kph 감소하는 것으로 나타났으며, 짙은 안개의 경우 평균 5.36kph의 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 통행속도 중장기 예측은 과거 패턴 개수를 다양한 범위로 적용하여 분석한 결과, 평균 절대적 백분율 오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)는 14.11-16.31%로 나타났으며, 중장기 예측 전략수립을 위한 적정 과거 패턴 개수는 30-45개로 도출되었다. 본 연구에서 제시한 연구 결과는 교통정보 제공 시 보다 정확한 정보를 제공하여 사전 혼잡관리를 위한 교통관리전략을 수립하는 등 도로교통 운영 및 관리 에 효율적으로 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords
fog, fog intensity, linear regression, long-term prediction, travel speed prediction
안개, 안개정도, 선형회귀분석, 중장기 예측, 통행속도 예측

* : Corresponding Author
cheolo@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5158, Fax: +82-31-436-8147

Received 11 November 2014, Accepted 31 March 2015

ⓒ Korean Society of Transportation
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport System)의 발전으로 과거에 비해 보다 신뢰성 있는 교통자료의 취득이 용이해졌다. 수집된 교통자료를 가공·분석하여 이용자에게 신속하고 정확한 정보제공이 가능해졌으며, 실시간 통행시간 예측을 통한 경로정보 제공 및 중장기 통행시간 예측 등의 정보제공 서비스의 활용성이 높아짐에 따라 정확하고 신뢰성 있는 정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 보다 정확하고 신뢰성 있는 정보를 제공하기 위한 연구가 다양한 분야에서 활발히 수행되고 있다.

기존 안개와 관련된 연구들은 안개 발생에 따른 교통영향분석에 초점이 맞추어져 있으며, 안개 발생 시 속도감소 및 용량감소 등에 대한 연구가 주로 수행되고 있다. 또한, 안개 발생과 교통안전과 관련된 연구도 활발히 수행되고 있지만, 안개 발생에 따른 교통상황 예측과 관련된 연구는 부족한 실정이다. 통행시간 등의 교통정보 제공에 있어, 기상 등의 요인으로 인해 교통 특성이 변화하게 되면 교통예측 정보 생성 시 기상조건을 고려하여 변화된 교통특성에 적합한 예측 정보를 생성해야 한다. 따라서 본 연구에서는 안개에 따른 교통 특성 변화를 분석하고, 그 결과를 이용하여 안개 발생 시 교통상황 중장기 예측을 수행하고, 중장기 예측 전략을 제시하고자 한다.

교통예측 기술에는 현재의 실시간 교통상황을 이용하여 30초, 1분 등의 단기간 통행시간을 예측하는 단기 교통상황 예측기술 및 과거 패턴자료 등을 이용하여 1시간, 하루 등의 중장기 통행시간을 예측하는 중장기 교통상황 예측기술이 있다. 본 연구에서는 1시간 이후의 교통상황 예측을 중장기 예측으로 정의하여 분석을 수행하였으며, 예측하고자 하는 시·공간적인 범위에 대하여 동일한 링크, 요일, 시간대 이력자료에서 도출된 대푯값을 과거 패턴자료로 정의하여 분석에 활용하였다.

본 연구에서는 안개에 따른 교통류 영향분석 및 중장기 예측전략 개발을 위해 서울시 교통정보에서 수집된 2009-2013년 올림픽대로 링크 속도자료와 안개정보를 이용하여 분석을 수행하였다. 5년 간 올림픽대로에서 관측된 83건의 안개자료와 링크 속도자료를 매칭 하였으며, 천호대교에서 방화대교 방향에서 발생한 41건의 안개자료를 이용하여 안개에 따른 교통류 영향분석에 활용하였으며, 방화대교에서 천호대교 방향에서 발생한 42건의 안개자료를 이용하여 중장기 예측전략에 활용하였다.

본 연구는 안개에 따른 교통류 특성분석과 중장기 예측 전략수립, 두 부분으로 구성된다. 안개에 따른 교통류 특성분석은 안개 발생 시 링크 통행속도와 맑은 기상 시 링크 통행속도를 비교하여 분석하였다. 맑은 기상 시 링크 통행속도는 안개가 발생한 날과 동일한 요일, 시간대, 공사 및 사고 등의 돌발상황이 발생하지 않은 경우로 정의하였다. 안개에 따른 속도감소량 산출 결과를 이용하여 속도감소량에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 상관분석을 수행하였으며, 선형 회귀분석을 통해 속도감소량 추정 식을 도출하였다.

도출한 속도감소량 추정식은 안개 발생 시 중장기 통행속도 예측에 활용하였다. 본 연구에서는 중장기 통행속도 예측을 위해 과거 패턴을 활용하였으며, 예측하고자 하는 날과 동일한 요일, 시간대, 공사 및 사고 등의 돌발상황이 발생하지 않은 과거 n개 패턴자료의 대푯값을 도출하였다. 과거 패턴자료의 대푯값과 속도감소량을 이용하여 안개에 따른 중장기 통행속도를 예측하였으며, 예측 정확도는 평균 절대적 백분율 오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)를 이용하였다. 마지막으로 안개 발생 시 보다 정확한 교통정보 제공을 위한 교통상황 중장기 예측 전략 알고리즘을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 안개와 교통조건의 관계 및 중장기 교통예측 관련 기존문헌을 고찰하였고, 3장에서는 연구방법론에 대하여 소개하였다. 4장에서는 안개에 따른 교통류 영향분석 과정 및 결과를 제시하였으며, 5장에서는 안개에 따른 교통류 중장기 예측 결과를 제시하고, 6장에서 결론을 제시하였다.

기존문헌고찰

본 연구에서는 안개에 따른 교통상황 분석 관련 연구와 통행시간 및 속도 등의 교통상황 예측 관련 기존문헌을 고찰하였다.

1. 안개에 따른 교통상황 분석 관련

Oh et al.(2002)는 유사한 교통조건 하에서 안개 발생 유무에 따른 교통량과 개별 차량의 속도 분포를 조사하여 거시 교통류 모형인 교통량-점유율 모형의 추정을 통해 속도감소 영향을 도출하였다. Switzer et al.(2007)은 시인성을 기준으로 맑음, 보통안개, 짙은안개 3종류로 안개 정도를 구분하여 Driving Simulator를 이용한 차량추종 선택에 대하여 분석하였으며, 안개의

농도가 짙어질수록 차두거리가 증가한다는 결과를 제시하였다. Kim et al.(2007)은 안개 발생 시의 연쇄추돌 사고의 원인은 주행차량들의 속도편차가 크기 때문이며, 주행차량들이 안개 발생 시 적절한 주행속도를 유지하는 것이 중요하다고 제시하였다. Yang et al.(2009)는 교통시스템의 내부요소인 도로기하구조와 외부요소인 강우, 강설, 안개 등의 기상조건에 의한 운전자 행태를 분석하기 위하여 도로기하구조 조건과 기상 상황이 운전자 행태에 미치는 영향에 대한 문헌 고찰을 수행하였다. Brooks et al.(2010)은 안개가 발생한 상황에서 운전자의 운전행태를 분석하였으며, 분석결과 안개에 의해 시정거리가 짧아질수록 운전자가 차로를 유지하는 시간이 짧아진다고 제시하였다. Son and Jeon(2013)은 시정거리 변화에 따른 고속도로 교통류 특성변화에 관한 연구를 수행하였다. 시정거리를 5단계로 구분하여 시정거리 수준별 교통류 특성 변화 분석 결과, 각 시정거리 수준별로 교통량 및 속도의 차이가 존재한다고 제시하였다.

2. 교통상황 예측 관련

국내·외에서는 다양한 기법의 통행시간 예측을 통해 이용자에게 최적경로제공 등의 통행정보를 제공하고 있다. 한국도로공사는 교통이력정보로부터 추출한 패턴자료를 이용하여 6개 도시(서울, 강릉, 목포, 광주, 대전, 부산)간 매시 출발기준 예상소요시간정보와 주간, 월간예보 정보를 인터넷을 통하여 제공하고 있다(Korea Express corporation). 또한 미국, 영국에서는 교통패턴 데이터베이스를 구축하여 운영하고 있다(INRIX and Highway Agency). 미국 INRIX 교통패턴 데이터베이스에서는 교통 흐름에 영향을 주는 기상, 대규모 행사, 공사 등 다양한 이벤트 정보를 수집하여 교통패턴의 변화를 예보하고 있다. 또한 영국 Highway Agency의 교통패턴 데이터베이스에서는 과거에 서비스 된 실시간 교통정보를 패턴화하여 교통예보를 서비스하고 있으며, 예정된 도로의 공사, 다양한 이벤트 등에 대한 정보를 라디오, 스마트폰, 인터넷 등을 통해 서비스를 제공하고 있다.

교통특성의 예측에 관한 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다. Hoffman and Janko(1990)은 과거 통행시간 패턴자료에서의 평균 통행시간에 대한 현재 통행시간의 비율은 미래 시간대에 변하지 않는 다고 가정하고, 과거 통행시간 패턴자료에 대한 현재 링크 통행시간의 비율에 의해 장래 링크통행시간을 예측하였다. Wu(2003)은 통행시간 정보의 신뢰성을 평가하기 위해 과거 통행시간 패턴자료의 표준편차를 이용하였으며, 표준편차가 높으면 통행시간 정보의 신뢰성이 낮다는 결과를 제시하였다. Lee et al.(2004)은 최적경로 제공 및 통행시간 예측에 있어 기존보다 효율적인 통행시간 예측 모형을 개발하고자 연구를 수행하였다. 단기 통행예측과 장기 통행예측에 대하여 확률과정 모형과 칼만 필터링 예측모형을 통해 모형을 개발하였다. Stathopoulos and Karlaftis (2004)는 와이블 분포를 이용하여 통행시간 분포 패턴을 분석하였으며, 분석 결과, 년간, 월별, 요일별 통행시간 분포는 유사하게 나타났으며, 평일과 주말은 다른 통행시간 분포를 나타낸다고 제시하였다. Vanajakshi and Rilett (2007)은 SVM (Support Vector Machine)을 이용한 예측 통행시간과 실시간 데이터와 과거 통행시간 패턴자료를 이용한 예측 통행시간을 비교하였다. 또한, Hyundai Motor Company et al.(2010)은 패턴데이터를 이용한 양방향 경로탐색 장치 및 방법에 대한 특허를 출원하는 등 내비게이션과 관련된 기업 및 연구기관에서 교통상황 예측과 관련된 다양한 요소기술에 대한 특허도 활발히 출원·등록 되고 있다.

3. 기존연구와의 차별성

기존 연구에서는 안개에 의한 교통류 영향분석에 대한 연구 및 안개 발생에 따른 교통안전성과 관련된 연구가 주로 이루어져 있으나, 기상조건에 따른 교통특성을 이용하여 교통정보를 제공하고 있는 연구는 미흡한 실정이다. 또한 통행시간 예측 관련하여 대부분 단기 통행시간 예측과 관련된 내용이 주를 이루고 있다. 특히, 방법론 비교·분석 등에 대한 연구에 초점이 맞추어져 있으며, 안개 등의 기상상황을 고려한 통행속도 예측에 대한 내용은 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 링크 통행속도 자료와 안개정보를 이용하여 안개가 통행 속도에 미치는 영향을 분석하고, 분석결과를 활용하여 안개에 따른 중장기 교통상황을 예측하기 위한 방법론을 제시한다는데 기존 연구와 차별성을 가진다.

자료수집 및 분석방법론

1. 분석범위 및 자료수집

본 연구에서는 안개에 따른 교통류 영향분석 및 교통

Table 1. Link information

Link	W(m)	L(m)	L#
Haengju(Br)↔Banghwa(Br)	14	1,811	4
Banghwa(Br)↔Gayang(Br)	14	3,979	4
Gayang(Br)↔Seongsan(Br)	14	3,662	4
Seongsan(Br)↔Yanghwa(Br)	14	1,451	4
Yanghwa(Br)↔Yeoui Estuary	14	1,299	4
Yeoui Estuary↔Upper Yeoui	14	3,861	4
Upper Yeoui↔Hangang(Br)	14	1,191	5
Hangang(Br)↔Dongjak(Br)	14	2,027	4
Dongjak(Br)↔Banpo(Br)	14	1,962	5
Banpo(Br)↔Hannam(Br)	14	2,195	5
Hannam(Br)↔Dongho(Br)	14	1,019	5
Dongho(Br)↔Seongsu(Br)	14	1,218	4
Seongsu(Br)↔Yeongdong(Br)	14	2,280	5
Yeongdong(Br)↔Cheongdam(Br)	14	667	5
Cheongdam(Br)↔Jamsil(Br)	14	3,156	4
Jamsil(Br)↔Jamsil(Railroad Br)	14	545	4
Jamsil(Railroad Br)↔Olymp(Br)	14	744	4
Olymp(Br)↔Cheonho(Br)	14	1,896	4
Cheonho(Br)↔Amsa(Br)	14	3,087	4

W: Width, L: Length, L#: Number of lanes

상황 중장기 예측전략 개발을 위해 서울시 교통정보센터에서 수집된 링크 통행속도 정보와 안개정보를 이용하였다. 2009년부터 2013년까지 수집된 5년간 자료를 이용하였으며, 공간적 분석범위는 올림픽대로로 설정하였다. Figure 1에 분석구간의 링크정보를 제시하였으며, Table 1에 차로폭, 링크길이, 차로수 등의 분석구간에 대한 기본정보를 제시하였다.

본 연구에서 사용한 통행속도 자료는 양방향 총 38개의 링크로 구성되어 있으며, 5분 단위의 자료수집 날짜, 시간, 요일 등의 기본정보, 교통량, 속도, 점유율, 링크 통행시간 등의 교통정보, 돌발상황 유무, 공휴일 유무 등의 기타정보가 포함되어 있다.

안개정보는 서울시 교통정보센터에서 수집한 정보로 시정거리가 0-100m인 경우 짙은 안개, 100-1000m인 경우 옅은 안개로 정의하였다. 링크별 안개 시작시간, 종료시간, 옅은 안개, 짙은 안개 유무 등의 정보가 포함되어 있다.

본 연구에서는 분석을 위해 링크자료에 안개정보를 매칭 하였으며, 2009-2013년 5년간 발생한 옅은 안개 54건, 짙은 안개 29건, 총 83건의 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 천호대교에서 방화대교 방향으로 발생한 41건의 안개자료를 Training dataset으로 설정하여 안개에 따른 교통류 영향분석에 활용하였으며, 방화대교에서 천호대교 방향의 42건의 안개자료를 Test dataset으로 설정하여 안개에 따른 중장기 통행속도 예측에 활용하였다.

1. 예측방법론

본 연구는 안개 발생에 따른 속도감소량 분석을 통한 안개에 따른 교통류 영향분석 부분과 교통류 영향분석 결과를 기반으로 한 안개 발생 시 중장기 통행시간 예측 부분으로 구성된다. Figure 2에 연구 흐름도를 제시하였다.

안개에 따른 교통류 영향분석은 천호대교에서 방화대교 방향의 링크에서 2009-2013년 간 기록된 41건의

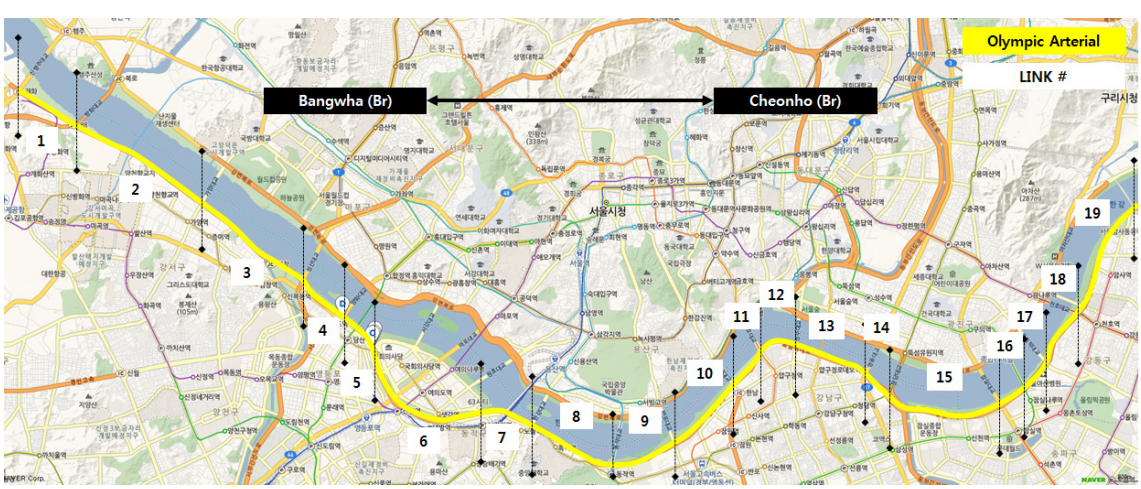

Figure 1. Study area

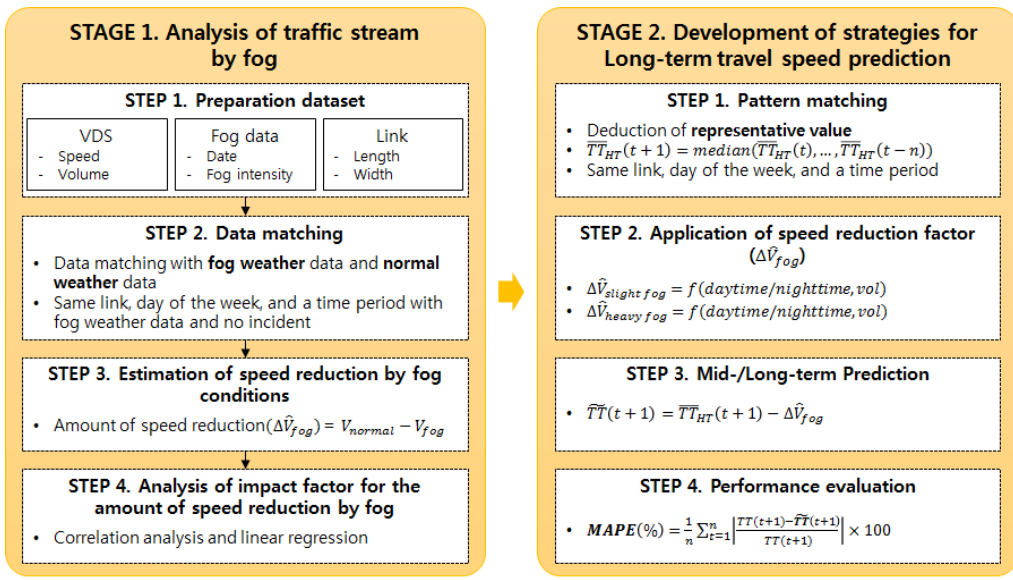

Figure 2. Analysis framework

안개 발생 자료를 이용하여 분석하였다. 안개에 따른 교통류 영향분석을 위해 안개 발생 시 링크 통행속도 자료와 동일한 링크, 요일, 시간대의 맑은 기상 시 링크 통행속도 자료를 매칭 하였다. 맑은 기상, 옅은 안개, 짙은 안개 시의 속도 패턴을 분석하였으며, 맑은 기상 시의 속도와 안개 발생 시의 속도를 비교하여 안개 발생에 따른 속도감소량을 도출하여 안개가 교통상황에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 안개 발생 시 속도감소량에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 속도감소량을 종속변수로 설정하고 속도기반 정체수준과 교통량 등의 교통정보, 주야, 시간대 등의 시간정보, 링크길이, 도로종류 등의 링크정보 등을 독립변수로 설정하여 선형 회귀분석을 수행하였다. 선형 회귀분석을 통해 다양한 조건에서의 안개 발생 시 속도감소량을 도출하였다.

앞서 도출한 속도감소량은 안개 발생 시 중장기 교통상황 예측 시 활용할 수 있다. 본 연구에서는 중장기 교통상황 예측을 위해 링크 통행속도를 예측하고자 하였다. 먼저 예측하고자 하는 기간과 동일한 요일의 과거 n개의 속도자료의 대푯값을 도출하고, 예측하고자 하는 요일 및 시간대에 안개 발생 시 앞서 도출한 속도감소량을 적용하게 된다. 이때, 안개는 기상상황과 함께 예측이 된다고 가정하였으며, 대푯값은 과거 n개 속도자료의 중앙값으로 설정하여 이상치의 영향력을 최소화 하고자 하였다. 과거 n개의 속도자료를 다양하게 적용하여 예측 정확도를 비교하였다. 중장기 링크 통행속도 예측은 식 (1)을 통해 도출할 수 있다.

$$\widetilde{TT}(t+1) = \overline{TT}_{HT}(t+1) + \Delta\hat{V}_{fog} \quad (1)$$

where,

$\widetilde{TT}(t+1)$: predicted traffic speed at time step t+1

$\Delta\hat{V}_{fog}$: average speed reduction by fog conditions

$\overline{TT}_{HT}(t+1)$: representative median traffic speed obtained from historical data under normal weather conditions

$\overline{TT}_{HT}(t+1) = median(\overline{TT}_{HT}(t), \ldots, \overline{TT}_{HT}(t-n))$

본 연구에서는 평균 절대적 백분율 오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)를 이용하여 예측 정확도를 도출하였다. 평균 절대적 백분율 오차는 식(2)를 통해 도출 할 수 있다. 마지막으로 실제 관측된 통행속도와 과거 패턴의 중앙값만을 적용한 예측치, 안개 발생 시 속도감소량을 적용한 예측치를 비교하여 결과를 제시하였다.

$$MAPE(\%) = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{TT(t+1) - \overline{TT}(t+1)}{TT(t+1)}\right| \times 100 \quad (2)$$

where,

$TT(t+1)$: Actual value

$\overline{TT}(t+1)$: Predicted value

안개에 따른 교통류 영향분석

1. 안개발생에 따른 속도패턴 분석

안개에 따른 교통류 영향분석을 위한 사전분석으로, 안개 발생 시 속도자료와 맑은 기상의 속도자료 비교를 통해 안개 유무에 따른 교통류 특성을 분석하였다. Figure 3과 같이 안개가 발생하면 링크 통행속도가 동일 요일, 동일 링크의 맑은 기상 시 링크 통행속도에 비해 감소된 패턴을 보이는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 앞서 정의한 옅은 안개, 짙은 안개와 맑은 기상 시의 링크 속도자료 패턴을 분석하였다. 기술통계량 분석 결과, 맑은 기상, 옅은 안개, 짙은 안개 순으로 속도의 평균값이 감소하는 것으로 나타났으며, 기술통계량 분석 결과를 Table 2에 제시하였다.

앞서 산출한 안개 유무 및 안개 정도에 따른 속도의 차이를 비교하기 위해 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 분산분석 결과, 속도에 대한 유의확률이 0.000으로 나타나 안개 유무에 따른 속도의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하여, 안개 유무에 따른 속도의 평균은 95% 신뢰수준으로 다르게 나타났다. 분산분석을 통한 F-통계량의 유의확률을 통해 분석 집단들이 차이가 있다는 결과가 도출되면 각 집단 간 평균차이를 검증할 수 있는데, 이를 사후검정(post-hoc test)또는 다중비교(multiple comparisons)라고 정의한다(Hayes, 2011). 본 연구에서 수행한 사후분석 결과, 속도가 맑은 기상, 옅은 안개, 짙은 안개, 세 개의 그룹으로 속도의 값이 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. Table 3에 분산분석 및 사후분석 결과를 제시하였다.

Table 2. Description of speed by fog

	N	Min.	Max.	Mean	Std.
Normal	3,788	10.6	108.0	80.2	13.8
Slight Fog	2,719	10.3	117.1	76.8	14.9
Heavy Fog	1,069	13.7	103.1	74.8	15.6

Table 3. ANOVA results for speed by fog

ANOVA				
Sum of squares	D.F.	Mean square	F-value	Sig.
32,821	2	16,410	78.6	0.000
Post-hoc test				
	N	1	2	3
Normal	3,788	80.19	-	-
Slight Fog	2,719	-	76.82	-
Heavy Fog	1,069	-	-	74.76
Sig.	-	1.000	1.000	1.000

2. 안개발생에 의한 속도감소량 분석

본 연구에서는 안개 발생 시 중장기 교통상황 예측을 위해 안개 발생에 따른 속도감소량을 분석하였다. 안개에 따른 속도변화의 특성을 분석하기 위해 안개 발생일과 동일한 월, 요일, 시간대의 맑은 기상 시의 속도자료를 비교·분석 하였다. 안개 발생에 의한 속도감소량 분석은 천호대교에서 방화대교 방향의 링크자료를 이용하였으며, 안개가 발생한 41일 간의 자료를 이용하였다. 안개와 정상기상 시의 속도 매칭은 샘플 수 확보를 위해 안개 발생 한건에 정상기상 두건의 속도자료를 매칭 하여

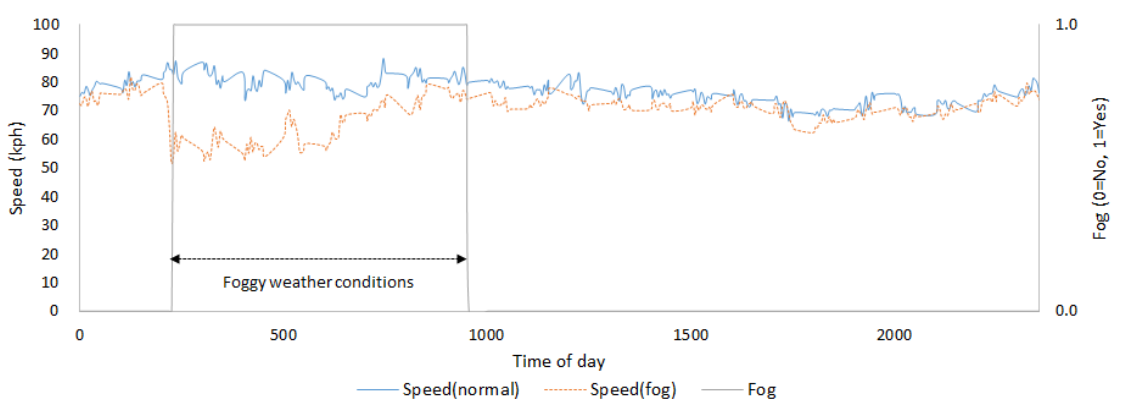

Figure 3. Example of comparing speed profile

Table 4. T-test results of speed by fog

T	Degree of Freedom	P-value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
-4.996	1856.472	0.000	-2.4408	0.4885	-3.3989	-1.4827

비교·분석하였다.

속도감소량은 맑은 기상 시의 링크 통행속도와 안개 발생 시(옅은 안개, 짙은 안개)의 링크 통행속도의 차이로 정의하여 산출하였다. 속도감소량 도출 결과, 안개가 발생하면 맑은 기상 시 보다 속도가 감소하는 것으로 나타났으며, 짙은 안개의 경우 옅은 안개 보다 속도 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 안개 정도에 따른 속도감소량의 차이를 비교하기 위해 T검정을 수행하였으며, T검정 결과를 Table 4에 제시하였다. T검정 결과, 옅은 안개와 짙은 안개의 속도에 대한 유의확률이 0.000으로 나타나 속도의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하여, 안개 정도에 따른 속도감소량의 평균은 95% 신뢰수준으로 다르게 나타났다.

3. 안개발생에 의한 속도감소량 추정식 도출

본 연구에서는 안개 발생에 의한 속도감소량 추정식 도출을 위해 속도감소량에 영향을 미치는 요인을 상관분석을 이용하여 추출하였다. 상관분석을 통해 도출된 속도감소량과 영향이 있는 변수를 이용하여, 선형 회귀분석을 통해 속도감소량 추정식을 도출하였다.

1) 속도감소량 영향요인 도출

속도감소량에 영향을 미치는 영향요인 도출을 위해 시간관련 변수, 교통관련 변수, 도로 기하구조 관련 변수와의 상관분석을 수행하였다. 상관분석 결과를 Table 5에 제시하였으며, 안개유무, 교통량, 시간(TOD: Time of day)이 속도감소량과 관련이 있는 변수로 나타났다.

2) 속도감소량 추정식 도출

본 연구에서는 앞서 속도감소량에 영향을 미치는 요인으로 채택된 교통량, 시간변수를 이용하여 속도감소량 추정식을 도출하였다. 속도감소량을 종속변수로 설정하여 분석을 수행하였으며, Table 6에 제시한 것과 같이 교통량은 연속형 변수로 적용하였고, 시간 변수는 주야로 코딩하여 선형 회귀분석을 수행하였다.

Table 5. Results of correlation analysis

	Traffic Volume	TOD	Length	Fog
Pearson correlation	-0.298	-0.359	0.029	0.122
Sig.	0.000	0.000	0.202	0.000
N	1,972	1,972	1,972	1,972

TOD: Time of Day

Table 6. Definition of variables

Variables		Coding	Definition
D.V.	Speed Reduction	Continuous	-
I.V.	Day/Night (X_1)	0: day 1: night	Day: 6:00-18:00 Night: others
	Volume(X_2)	Continuous	-

D.V.: Dependent variable
I.V.: Independent variable
S_i: link speed

앞서 설정한 변수를 이용한 안개 강도 별 선형 회귀분석 결과를 Table 7과 Table 8에 제시하였다. 분석 결과에 따르면, 옅은 안개와 짙은안개 모두 주야, 교통량 변수가 채택되었으며, 주간보다 야간에 안개 발생 시 속도가 10.943kph, 12.135kph만큼 더 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 교통량의 경우 옅은안개 발생 시 동일한 조건 하에서 교통량이 1대씩 증가 할수록 속도감소량이 0.017배 증가하며, 짙은안개 발생 시 0.027배 증가하는 것으로 나타났다.

안개에 따른 교통상황 중장기 예측전략

1. 중장기 예측 정의

교통예측 기술에는 현재의 실시간 교통상황을 반영하여 30초, 1분 단위의 단기간 통행시간을 예측하는 단기 교통상황 예측기술 및 이력자료 등을 이용하여 1시간, 하루 이후의 통행시간을 예측하는 중장기 교통상황 예측기술이 있다. 본 연구에서는 1시간 이후의 교통상황 예측을 중장기 예측으로 정의하여 분석을 수행하였다.

본 연구에서 정의하고 있는 중장기 예측 정보는 과거

Table 7. Results of linear regression by slight fog

n=1202	Unstandardized Coefficients		Standarlized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
X_1	10.943	0.334	0.616	32.77	0.000
X_2	0.017	0.001	0.388	20.64	0.000

$Adj.\ R^2 = 0.581$

$$\triangle \widehat{V_{slight}} = 10.943X_1 + 0.017X_2 \quad (3)$$

where,
X_1: daytime/nighttime (day=0, night=1)
X_2: volume

Table 8. Results of linear regression by heavy fog

n=770	Unstandardized Coefficients		Standarlized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
X_1	12.135	0.545	0.523	22.28	0.000
X_2	0.027	0.001	0.487	20.76	0.000

$Adj.\ R^2 = 0.576$

$$\triangle \widehat{V_{heavy}} = 12.135X_1 + 0.027X_2 \quad (4)$$

where,
X_1: daytime/nighttime(day=0, night=1)
X_2: volume

Date	Time	Created Information	Provided Information
2015-02-16	10:00	86.89	-
2015-02-16	10:05	88.36	-
2015-02-16	10:10	88.14	-
2015-02-16	10:15	87.16	-
⋮	⋮	⋮	⋮
2015-02-16	10:40	86.89	-
2015-02-16	10:45	85.66	-
2015-02-16	10:50	85.99	-
2015-02-16	10:55	86.14	-
2015-02-16	11:00	89.37	89.37
2015-02-16	11:05	88.59	88.59
2015-02-16	11:10	86.01	86.01
2015-02-16	11:15	87.49	87.49
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
2015-02-16	23:50	92.19	92.19
2015-02-16	23:55	93.19	93.19
2015-02-17	00:00	87.43	87.43
2015-02-17	00:05	88.49	88.49
2015-02-17	00:10	87.71	87.71
2015-02-17	00:15	88.02	88.02
2015-02-17	00:20	88.86	88.86

← Present time

Short-term Prediction : Provide speed information on real-time

Mid-/Long-term Prediction : Provide speed information by on-line/off-line

Figure 4. Definition of Mid-/Long-term Prediction

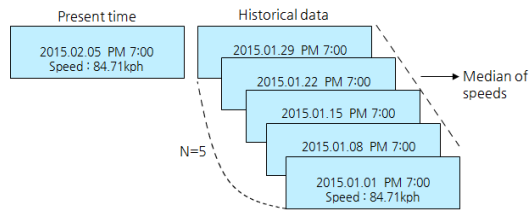

Figure 5. Definition of pattern data

이력자료를 통해 과거 패턴에 따른 통행속도가 반영된 예측 값을 도출하여 도로 이용자가 조회하고자 하는 노선의 통행정보를 제공해주기 위한 목적을 가지고 있다. 즉, 현재 시간을 기준으로 본 연구에서 제시한 중장기 통행속도 예측 방법론을 통해 5분 단위의 예측정보를 생성하지만 1시간 이내의 예측 정보는 단기 통행속도 예측 방법론을 통해 생성된 정보를 운전자에게 실시간으로 제공하고, 1시간 이후의 중장기 예측정보를 온라인/오프라인으로 도로 이용자에게 제공하게 된다. 중장기 예측에 대한 정의를 Figure 4에 제시하였다.

중장기 예측을 위해 예측하고자 하는 시·공간적인 범위에 대하여 동일한 링크, 요일, 시간대 이력자료에서 도출된 대푯값을 과거 패턴자료로 정의하여 분석에 활용하였다. 본 연구에서는 과거 패턴자료를 Figure 5와 같이 기준이 되는 현재의 교통상황에 대한 n주 이전의 자료들의 중앙값으로 정의하였다. 즉, 과거 패턴 수가 5개라고 하면, 1-5주 전의 동일한 링크, 요일, 시간대 이력자료의 중앙값으로 도출할 수 있다.

2. 안개에 따른 교통상황 중장기 예측 분석

안개에 따른 교통상황 중장기 예측 분석은 과거 패턴자료와 앞서 추정한 속도감소량 값을 이용하여 분석할 수 있다. 본 연구에서는 안개에 따른 교통상황 중장기 예측 분석을 위해 방화대교에서 천호대교 방향 링크 통행속도 자료를 이용하였으며, 안개가 발생한 42일 간의 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 중장기 예측 시 강우 및 강설과 같은 기상상황과 함께 안개도 예측이 가능하다고 가정하여 분석을 수행하였다.

예측하고자 하는 시간·공간적 범위에 대하여 동일한 링크, 요일, 시간대의 맑은 기상 시의 속도자료 과거 패턴의 대푯값을 도출하였으며, 맑은 기상 시의 패턴은 사고 및 공사 등의 돌발상황이 발생하지 않은 경우에 한하여 도출하였다. 과거 패턴 수는 5개부터 45개까지 5개

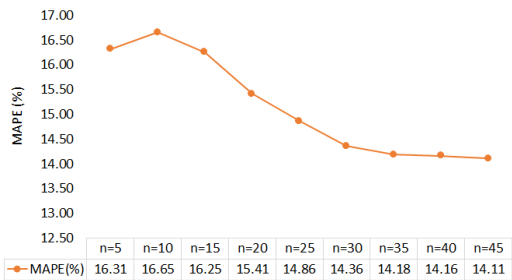

Figure 6. Results of long-term travel speed prediction

Table 9. ANOVA results for MAPE

ANOVA					
Sum of squares	D.F.	Mean square	F-value		Sig.
109,709	8	13,714	13.47		0.000
Post-hoc test					
	N	1	2	3	4
n=45	12,096	14.03			
n=40	12,096	14.13	14.13		
n=35	12,096	14.22	14.22		
n=30	12,096	14.44	14.44		
n=25	12,096		14.94	14.94	
n=20	12,096			15.49	
n=15	12,096				16.29
n=10	12,096				16.41
n=5	12,096				16.69
Sig.	-	0.368	0.070	0.182	0.367

단위로 다양하게 설정하여 분석하였으며, 과거 패턴 대푯값에서 안개 발생이 예측된 경우 앞서 도출한 속도감소량 예측 식을 이용하여 최종 중장기 통행속도 예측 값을 산출하였다. 통행속도 예측 정확도는 평균 절대적 백분율 오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)를 이용하였다. Figure 6에 본 연구에서 제시한 안개에 따른 중장기 예측 방법론을 이용한 통행속도 예측 결과를 제시하였다. 분석결과, 과거 패턴 개수가 증가할수록 예측 정확도가 높아지는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 안개 발생에 따른 속도감속 패턴을 분석하여 안개 발생 시 교통상황 중장기 예측을 위한 전략을 수립하고자 하였다. 중장기 예측전략 수립을 위한 적정 과거 패턴 수를 정의하기 위해 분산분석 및 사후분석을 수행하였으며, 분산분석 및 사후분석 결과를 Table 9에 제시하였다. 분산분석 결과, 과거 패턴 개수에 따라 예측 정확도가 95% 신뢰수준으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 사후분석 결과에 따르면 과거 패턴 30개 이상인 경우 그룹의 유의수준이 0.368로 나타나, 동일한 그룹으로 구분되었다. 그룹 2의 경우는 유의수준이 0.070으로 나타나 그룹 1보다는 동질성을 가지지 않는 것으로 나타나, 본 연구에서는 적정 과거 패턴 개수를 30-45개의 범위로 설정하였으며, 안개에 따른 교통상황 예측정보 제공 알고리즘에는 과거 패턴 개수 30개를 사용하여 제시하였다.

3. 안개에 따른 교통상황 예측정보제공 알고리즘

안개 발생 시 보다 정확한 교통정보를 이용자에게 제공하기 위해서는 안개에 따른 교통상황 예측정보 생성 전략이 필요하다. 본 연구에서 제시한 안개에 따른 교통상황 예측정보 제공 알고리즘을 Figure 7에 제시하였다. 제시한 알고리즘에서는 앞서 도출한 속도감소량 추정식과 최적 과거 패턴 개수를 적용하여 안개에 따른 교통상황 예측정보를 생성할 수 있다.

본 연구에서는 1시간 이후의 교통상황을 예측하는 경우를 중장기 예측으로 정의하였기 때문에, 예측하고자 하는 Time step이 1시간 미만인 경우에는 단기 교통상황 예측 알고리즘을 통한 교통예측이 이루어진다. Time step이 1시간 이상인 경우, 본 연구에서 제시한 중장기 교통상황 예측 모듈을 통해 통행속도가 예측된다. 중장기 교통상황 예측 모듈에서는 가장 먼저 정상기상, 돌발상황이 없는 상황에 대한(normal traffic conditions) 대푯값을 산출하게 된다. 정상기상 상태의 대푯값은 예측하고자 하는 링크와 동일한 요일, 시간대의 이력자료 데이터베이스에서 추출한 과거 패턴자료 30개의 중앙값으로 산출하게 된다. 정상기상 시의 중장기 통행속도 예측 값을 도출하면, 안개 예측정보에 따라 최종적인 중장기 통행속도 예측 값을 도출하게 된다.

안개 발생 예정이 없는 경우, 정상기상 시의 중장기 통행속도 예측 값을 그대로 적용한다. 안개 예측정보에 따라 안개가 발생할 예정인 시간대의 경우, 앞서 도출한 속도감소량 값을 적용한다. 속도감소량은 안개정보(옅은 안개, 짙은 안개), 예측하고자 하는 시간대의 주야정보, 예측된 정상기상 시의 링크 교통량 정보에 따라 결정되며, 식(3)-식(4)에 의해 도출할 수 있다. 속도감소량을 도출하게 되면 앞서 도출한 정상기상 시의 중장기 통행속도 예측 값에서 속도감소량을 적용하여 최종적으로 안개에 다른 중장기 통행속도 예측 값을 도출할 수 있다.

본 연구에서 제시한 교통상황 중장기 예측 방법론을 통해 분석한 분석 결과 사례를 Figure 8에 제시하였으

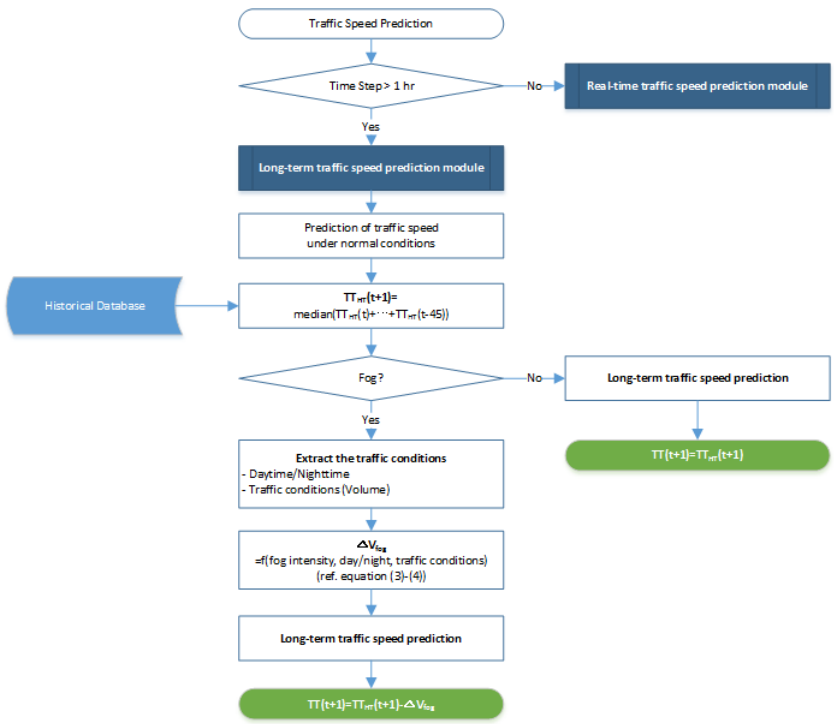

Figure 7. Algorithm for long-term traffic speed prediction under fog weather conditions

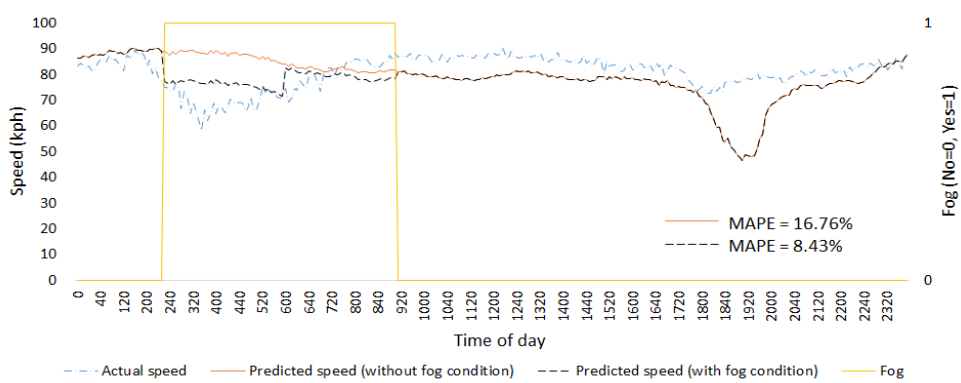

Figure 8. Results of long-term traffic speed prediction

Table 10. T-test results of percentage error

T	Degree of Freedom	P-value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
5.214	117.542	0.000	8.3237	1.5964	5.1621	11.4852

며, 안개를 고려하지 않은 경우 MAPE가 16.76%, 안개를 고려한 경우 MAPE가 8.43%로 도출되었다. 또한, 안개를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 예측정확도를 비교하기 위해 PE(Percentage Error)를 이용한 T-test를 수행하여 Table 10에 제시하였다. T검정 결과, 안개를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 PE 평균에 대한 유의확률이 0.000으로 나타나 PE의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하여, 안개 적용 여부에 따른 예측정확도가 95%신뢰수준으로 다르게 나타났다.

결론

본 연구에서는 서울시 교통정보센터에서 수집된 링크 교통정보와 안개정보를 이용하여 안개 발생에 따른 교통류 영향분석 및 중장기 예측 전략을 개발하는 연구를 수행하였다. 분석을 위해 2009-2013년 올림픽대로의 5분 단위 링크 통행속도 자료와, 83일 간의 안개 발생 정보를 이용하였다.

분석결과, 맑은 기상 시의 속도와 비교했을 때 안개가 발생한 경우 속도가 감소하는 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 안개를 옅은 안개와 짙은 안개로 구분하여 안개에 따른 속도감속 패턴을 분석한 결과, 옅은 안개가 발생한 경우 맑은 기상 시의 속도보다 평균 약 2.92kph 감소하는 것으로 나타났으며, 짙은 안개의 경우 평균 5.36kph의 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 시간관련 변수, 교통관련 변수, 도로 기하구조 관련 변수와 속도감소량 간의 상관관계를 분석하여 속도감소량에 영향을 미치는 요인을 도출하였으며, 선형 회귀분석을 통해 속도감소량 추정식을 도출하였다. 속도감소량 추정식으로부터 산출된 상황 별 속도감소량은 안개 발생 시 중장기 통행속도 예측 시 활용하였다.

안개에 따른 상황 별 속도감소량 값을 적용하여 안개에 따른 통행속도 중장기 예측 결과를 제시하였으며, 과거 패턴 개수를 다양하게 적용하여 통행속도를 예측한 결과, 평균 절대적 백분율 오차가 14.11-16.31%로 나타났다. 분산분석과 사후분석을 통한 적정 과거 패턴 개수를 도출한 결과 적정 과거 패턴 개수는 30-45개로 나타났으며, 분석 결과를 토대로 안개 발생에 따른 통행속도 중장기 예측 전략 알고리즘을 제시하였다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고, 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 안개 정보가 강우 및 강설과 같이 예측이 가능하다는 가정을 가지고 분석을 수행하였다. 그러나 현재 기상예보의 경우 안개에 대한 정확한 예측이 어려운 실정이기 때문에 이러한 한계점을 극복할 수 있는 대안이 필요할 것이다. 둘째, 자료를 수집하는데 있어 안개가 발생한 날이 83건으로, 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 추가적인 자료수집에 의한 결과의 보완이 필요하다. 또한 적정 과거패턴 수 산정에 있어서도 자료의 한계로 인해 45개까지만 분석을 수행했지만, 추가적인 자료수집에 의한 분석이 필요하다. 셋째, 본 연구에서는 안개 발생에 따른 속도감소량 추정 시 회귀분석을 이용하여 추정식을 도출하였으나, 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 회귀분석 외에 인공신경망 등의 다양한 방법론 및 관련 변수를 통한 속도감소량 추정식 도출 연구가 필요하다. 마지막으로, 통행속도 중장기 예측 시 현재는 과거 맑은 기상 시의 패턴에 대한 대푯값을 도출하고 속도감소량을 적용하여 속도를 예측하는 방법론을 사용했지만, 다양한 중장기 통행속도 예측 방법론을 적용한 비교·분석 연구가 필요하다.

본 연구에서 제시한 연구결과는 통행시간 정보 등의 교통정보 제공 시 교통정보 예측을 위한 기초자료로써 활용할 수 있을 것이다. 또한, 중장기 통행시간 정보 제공 시 보다 정확한 정보를 제공하여 사전 혼잡관리를 위한 교통관리전략을 수립하는 등 도로교통 운영 및 관리에 효율적으로 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant (12 transportation system-intelligence 01) from Transportation & Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport Affairs of Korean government.

REFERENCES

Brooks J. O., Crisler M. C., Klein N., Goodenough R., Beeco R. W., Guirl C., Tyler P. J., Hilpert A., Miller Y., Grygier J., Burroughs B., Martin A., Ray R., Palmer C., Beck C. (2010), Speed Choice and Driving Performance in Simulated Foggy Conditions, Accid. Anal. Prev. 43(3), 698-705.

Broughton K. L. M., Switzer F., Scott D. (2007), Car Following Decisions Under Three Visibility Conditions and Two Speeds Tested With a Driving Simulator, Accident Analysis and Prevention 39, 106-116.

Hoffmann G. J., Janko J. (1990), Travel Time As A Basic Of The LISB Guidance Strategy, In Proceedings Of IEEE Road Traffic Control Conference, IEEE, New York, 6-10.

Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation,

Hyundai MNSOFT (2010), Apparatus and Method for Searching Bidirectional Route With Pattern Data, IPC code. G01C 21/34, The Application Number. 1020100117744.

Kim J., Lee S. (2007), The Study of Guide System about Vehicle Speed and Gap in Fog, Presented at 56th Korean Soc. Transp. Annual Meeting, 451-455.

Lee S. J., Kim B., Kwon H. (2004), The Study of Estimation Model for the Short-term Travel Time Prediction, J. of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems, 3(1), 31-44.

Oh J. S., Choi D. S., Cho Y. H., Chung J. H. (2002), A Study on the Variability of Driver's Speed in the Foggy Weather, J. Korean Soc. of Civil Eng., 22(4), 677-685.

Son Y. T., Jeon J. S. (2013), A Study on Traffic-Flow Characteristic Changes on Expressway by Visibility, J. of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems, 12(6), 116-126.

Stathopoulos A., Karlaftis M. (2004), Temporal and Spatial Variations of Real-time Traffic Data in Urban Areas, TRR: Journal of the TRB, 1768(01-2407), 135-140.

Vanajaskshi L., Rilett L. (2007), Support Vector Machine Technique for the Short Term Prediction of Travel Time, Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, 600-605.

Wu P. (2003), Automated Data Collection, Analysis, and Archival, University of Utah, MPC Report No. 03-153.

Yang C., Son Y., Kim Y., Kim Y. (2009), Analysis of Changes in Traffic Flow Patterns by Geometric and Weather Conditions (기하구조 및 기상조건에 따른 교통류 행태 변화에 대한 연구), Transportation Technology and Policy, 6(3), Korean Society of Transportation, 125-140.

Highway agency, U.K., http://www.highways.gov.uk/traffic/traffic.aspx

INRIX, U.S., http://www.inrix.com

Korea Express Corporation, ROAD PLUS, http://www.roadplus.co.kr

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제72회 학술발표회 (2015.2.14)에서 발표된 내용을 수정.보완하여 작성된 것입니다.

♧ 주 작 성 자 : 정은비
♧ 교 신 저 자 : 오 철
♧ 논문투고일 : 2014. 11. 11
♧ 논문심사일 : 2015. 1. 19 (1차)
2015. 3. 31 (2차)
♧ 심사판정일 : 2015. 3. 31
♧ 반론접수기한 : 2015. 10. 31
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필