

안개 발생에 따른 교통 특성 변화 분석

An Analysis of Change in Traffic Characteristics with Fog

김솔람* · 임성한**

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 신진연구원

** 공저자 : 한국건설기술연구원 연구위원

Soullam Kim* · Sung Han Lim**

* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

** Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Corresponding author : Soullam Kim, soulkim@kict.re.kr

Vol.16 No.4(2017)

August, 2017
pp.92~106

ISSN 1738-0774(Print)
ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.4.92>

Received 9 June 2017
Revised 11 July 2017
Accepted 23 August 2017

© 2017. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

기상 악화 시 운전자의 시인성이 저하되어 교통 흐름에 영향을 미치며 이는 교통 정체나 교통사고를 유발시킨다. 특히, 안개가 발생할 경우 다른 기상 요인과는 달리 교통사고가 대형 교통사고로 이어지며 치사율도 높은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 교통류에 영향을 미치는 가시거리 수준을 도출하기 위해 악천후 중 안개 발생 시 교통특성을 분석하였다. 연속류 도로를 대상으로 안개 발생 시와 미 발생 시의 교통량 및 속도 변화를 비교 분석하였으며, 가시거리 수준별 교통량-속도-밀도 관계를 분석하였다. 분석 결과, 동일시간대의 교통량 변화는 거의 없는 것으로 나타났으며 속도는 가시거리가 짧을수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한, Q-U-K 관계에서 가시거리 200m 이하의 안개 발생 시 미 발생 시와 뚜렷한 차이를 보여 교통류에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과를 기반으로 교통류에 영향을 미치는 가시거리 수준 판단이 가능하여 향후 안개 발생 시 제한 속도 제어, 교통량 제어 등 교통 운영 전략의 공학적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 안개, 가시거리, 연속류, 교통류, 교통량-속도-밀도 관계

ABSTRACT

The adverse weather is known as a factor that interrupts traffic flow and causes traffic accidents and traffic congestion by lowering visibility of drivers. Especially, in case of fog unlike any other weather conditions, traffic accidents lead to serious accidents and the fatality of the accidents is known to be high. This paper aims to analyze uninterrupted traffic flow characteristics under foggy conditions among adverse weathers. The traffic volumes and speeds under foggy and normal conditions were analyzed. Results indicated that fog with low visibility causes the most insignificant reduction in traffic volumes. On the other hand, the reduction in the speeds due to low visibility was evident. In addition, the relationship between flow, speed, and density in fog were analyzed. Analysis results showed that the fog with less than 200m visibility had clear impact on traffic flow.

Key words : fog, visibility, uninterrupted flow, traffic flow, Speed-Flow-Density Relationship

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

악천후는 운전자의 주행 환경에 영향을 미쳐 교통흐름을 방해하고 교통사고 위험도를 증가시키는 요인으로 알려져 있다. 강수, 강설, 안개 등 다양한 기상 요인들이 있지만 특히 안개가 발생할 경우, 운전자의 시인성과 직접적인 연관이 있어 다른 기상 요인에 비해 위험도가 더 높다. 도로교통공단의 교통사고 통계분석(2015)에 따르면 안개 발생 시 교통사고 발생 건수 구성비는 0.5%으로 맑은 날 80.3%, 강수 시 9.6%, 강설 시 1.1% 등에 비해 적었지만 사망사고 점유율은 안개 발생 시 6.9%로 맑은 날 1.9%, 강수 시 2.5%, 강설 시 2.5%에 비해 가장 높은 것으로 나타났다. 실제로 2006년 10월 3일 서해대교 29중, 2011년 12월 24일 천안-논산 고속도로 104중, 2015년 1월 16일 중앙고속도로 43중, 2015년 2월 11일 영종대교 106중 추돌 사고 등 안개 발생 시의 교통사고는 대형사고로 이어졌다.

따라서, 안개 발생으로 인한 교통 흐름을 효율적으로 관리하여 교통사고 방지 및 정체 유발을 최소화하는 것이 필요하다. 교통 흐름을 이해하기 위해서는 교통류 행태를 파악해야 하며 교통류를 설명하는 변수는 교통량, 속도, 밀도이다. 하지만 대부분의 선행 연구는 안개에 따른 속도 변화 분석에 국한되어있고, 교통량-속도-밀도 관계를 분석하더라도 기상관측소 데이터를 활용하여 실제 도로 상의 환경을 분석하지 못하는 한계가 있다. 또한, 5분 이상 단위의 자료를 활용하는 등 교통류 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다.

이에 본 연구는 안개 발생 시와 미 발생 시의 교통량, 속도, 밀도 변화를 비교하여 교통 특성 변화를 분석하고, 교통류 모형을 통해 영향을 미치는 가시거리를 도출하고자 하였다. 이를 통해 안개 발생 시 교통 흐름을 파악하여 교통 안전성 향상 및 교통관리 효율성을 향상시키는 데 연구의 목적을 두고 있다.

II. 선행 연구 고찰

Kyte et al.(2000)은 자유속도에 영향을 미치는 환경 요인에 대해 연구하였다. 가시거리 370m 이상, 160~370m, 160m 미만으로 구분하였으며 370m 이상은 맑음으로 간주하였다. 평균 속도는 각각 106.8km/h, 101km/h, 92.4km/h로, 약 14km/h 감소하는 것으로 분석되었다. Chin et al.(2002)은 비와 눈의 영향 지수를 이용하여 안개 발생 시의 용량 변화에 대해 추정하였다. 미국 고속도로 및 간선도로를 대상으로 분석한 결과, 짙은 안개 발생 시 도로 용량은 최대 20%까지 감소하는 것으로 나타났다. Oh(2002)는 안개 유무에 따른 속도 변화를 연구하였다. 국도 48호선의 자료를 대상으로 분석한 결과, 분당 평균 속도가 7~11% 감소하는 것으로 나타났다. Cho and Yoon(2002)는 가시거리 감소에 따른 교통량 및 속도 변화를 분석하였다. 제주도 국도 구간의 가시거리 500m 이하인 자료만을 필터링하여 분석한 결과, 가시거리와 교통량 및 속도의 상관관계는 대부분 0.3 이하로 나타났다. 편차들 간의 상관관계는 가시거리가 200m 이하일 경우 속도 편차가 나타나는 것으로 분석되었다. Oh(2005)는 안개 발생 시 속도 변화를 비교하였다. 국도 3호선 일대의 두 지점의 자료를 분석한 결과, 가시거리 200m 이하의 안개가 발생할 경우 평균 속도가 약 10km/h, 7~23km/h 감소하는 것으로 나타났다. Broughton et al.(2007)은 맑음, 안개, 짙은 안개로 구분하여 car-following 이론을 적용한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 차두거리는 맑음일 경우 493m 이하, 안개일 경우 190.8~517.5m, 짙은 안개일 경우 290.6~620.6m로 나타나 짙은 농도의 안개가 발생할 경우 최소 차두거리가 증가하는 것으로 나타났다. Transportation Research Board(2010)에서는 가시거리가 약 1,600m~800m 이상인 경우 9.67%, 약 800~400m인

경우 11.67%, 약 80m 이하인 경우 10.49%의 용량이 감소한다고 제시하고 있다. Camacho et al.(2010)은 약천 후 발생 시 자유속도를 분석하였다. 연속류 도로를 대상으로 15분 단위의 자료를 활용하였다. 약천후 상황을 네 가지로 구분하여 첫 번째는 맑은 날, 두 번째는 맑은 날과 유사하지만 기온은 영하인 날, 세 번째는 강수, 네 번째는 강설 시로 설정하였다. 각 상황의 가시거리 변화에 따른 속도를 분석한 결과, 가시거리가 300m일 때 속도 변화는 각각 4.8km/h, 1.5km/h, 4.3km/h, 8.7km/h 감소하는 것으로 나타났다. Son and Jeon(2013)은 가시거리 변화에 따른 교통량 수준별 속도 변화를 분석하였다. 수도권 내 고속도로 일부 구간과 분석 대상 구간 도로 10km 이내 기상관측소 3개 기상 자료를 1시간 단위로 통합하여 분석하였다. 분석 결과, 가시거리가 짧을수록 속도가 감소하고 속도 감소율의 증가폭도 커지는 것으로 나타났다. 하지만 교통량 수준에 따른 속도 변화는 크게 없는 것으로 분석되었다. Abdel-Aty et al.(2014)는 미국 플로리다 주 I-4 State road 559와 557 구간에 환경 센서 및 교통 센서를 설치하고, 가시거리에 따른 교통류 특성에 대해 분석하였다. 교통량이 비슷한 안개 발생일과 미 발생일의 실제 데이터 기반으로 분석한 결과, 가시거리가 짧아지면 평균속도가 감소하고 속도편차는 안개 발생 초기에 변화가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 승용차가 트럭보다 가시거리에 따른 속도편차, 속도 및 차두시간 평균 등의 영향을 더 받는 것으로 분석되었다. 가시거리 수준을 2,000m, 2,000m~300m, 300m 이하 세 가지로 나누어 분석하였으며, 가시거리가 짧을수록 평균 속도 감소 및 차두시간이 증가하는 것으로 나타났다. Samsung traffic safety research institute(2015)에서는 가시거리에 따른 속도 변화를 분석하였다. 연속류를 대상으로 가시거리 수준은 8가지로 구분하여 분석한 결과, 운전자가 위험을 인식하고 반응하는 가시거리는 100m 이하의 안개인 것으로 나타났다.

대부분의 선행 연구는 안개 발생 시 속도와의 관계를 분석하였으며, 일부 교통량-속도-밀도 관계를 분석한 연구에서도 세분화된 가시거리 수준에 따른 교통류 분석을 통해 뚜렷한 영향을 미치는 가시거리를 도출한 연구는 미미한 실정이다. 또한, 실시간으로 변하는 교통 특성과 안개의 관계를 분석하기 위해서는 5분 이하 단위의 자료를 사용하는 것이 필요하지만 교통 자료와 안개 자료 모두 5분 이하 단위의 자료를 활용한 연구는 부족하다. 특히, 안개 자료는 대부분 기상 관측소의 자료를 활용하고 실제 도로 상의 가시거리를 반영하는 연구는 드물다. 따라서 본 연구에서는 실시간 교통관리 측면에서 혼잡 교통류 및 교통상태 전이 시간대를 최대한 반영하기 위해 실제 도로 상의 5분미만 단위의 교통 및 안개 자료를 활용하여 교통량과 속도 변화 및 교통량-속도-밀도 관계를 분석하였다. 이를 통해 가시거리 수준별 교통류 변화를 파악하고, 교통류에 영향을 미치는 가시거리 수준을 도출하여 안개 발생 시 교통관리 효율성 향상에 기여하고자 하였다.

III. 대상구간 선정 및 자료 수집

1. 대상구간 선정

본 연구는 안개 이외의 교통 신호, 보행자 등 다른 요인에 의한 영향을 최대한 배제하기 위해 연속류 구간을 대상으로 하였다. 또한, 안개가 자주 발생하는 구간을 대상으로 하여 현재 운영되고 있는 국도 77호선 자유로 구간(IC~이산포IC 구간)을 분석 대상지로 선정하였다. 분석 대상 구간 위치도는 <Fig. 1>과 같다.



(Fig. 1) Study area

대상 구간에는 교통 검지기(Vehicle Detection System, VDS) 2대와 가시거리 센서 1대가 설치되어 있다. VDS는 대상 구간의 중간 지점 근처에 위치하며, VDS와 가시거리 센서의 위치는 약 100m 이내에 위치하고 있다. <Table 1>은 대상 구간의 기본 정보를 나타낸다.

<Table 1> Overview of the study area

	Content	
study area	National Highway 77, Jayuro Gusan IC~Isanpo IC, approximately 4.9km	
number of lane (one way)	4	
traffic volume of day (veh/day)	up stream	50,342
	down stream	40,627
speed limit	90km/h	
IC	Gusan IC, Isanpo IC	

2. 자료 수집

자료 수집 기간은 2015년 1월 1일~2015년 5월 31일로, 교통 자료는 VDS 상행과 하행 검지기의 자료를 사용하였으며 30초 단위의 교통량, 속도 정보가 수집된다. 안개 자료는 가시거리 센서의 자료를 사용하였으며 1분 단위의 가시거리 정보가 수집된다. 또한, 해당 구간은 연속류이며 진출입구가 없기 때문에 교통류가 일정할 것이라 가정하였으며 교통량과 속도 자료를 이용하여 $Q=UK$ 공식에 의해 밀도를 산출하여 활용하였다.

본 연구는 안개 발생에 따른 교통 특성 변화를 분석하기 위해, 수집 자료 중 안개가 발생한 일(日)을 우선적으로 선정하였다. 기상청 기준에 따르면 안개는 수평 가시거리 1,000m 이하인 것을 말한다. 안개 발생일 중 안개 빈도와 안개 지속시간을 고려하였다. 안개 빈도수는 대상 구간의 제한속도를 이용하여 최소정지시거와 선행 연구에서 결과로 제시한 가시거리를 고려하였다. 안개 지속시간은 동일한 가시거리 수준이라도 지속시간에 의해 교통 특성이 변화할 것이라 가정하여 1시간 이상 존재하는 일(日)을 고려하였다.

대상 구간의 제한 속도는 90km/h로, 경기도 교통정보센터 교통분석 보고서(Gyeonggi-Do Transportation Information Center, 2015)에 의하면 해당 도로의 평균 주행속도는 80~85km/h로 나타난다. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에서는 주행속도 85km/h일 경우, 최소정지시거는 155m로 제시하고 있다. Jo and Yoon(2002), Oh(2005), Lim(2007) 등의 선행 연구에서는 가시거

리 200m 이하일 경우 교통 특성에 차이가 발생한다고 언급하였다.

따라서, 대상 구간의 최소정지시거와 선행 연구의 가시거리를 모두 만족하는 200m를 기준으로, 그 이하의 안개 빈도가 많이 발생하고 지속시간이 1시간 이상인 일(日)을 분석 기간으로 선정하였다. <Table 2>는 안개 빈도를 나타낸다.

<Table 2> Analysis of fog frequency by visibility

frequency of fog (min)	Visibility(m)						total
	1,000~500	500~400	400~300	300~200	200~100	below100	
Jan	348	21	6	0	0	0	375
Feb	436	99	71	45	68	207	926
Mar	154	26	26	63	363	28	660
Apr	27	0	0	0	0	0	27
May	52	17	22	84	156	0	331

2월과 3월에 안개가 가장 많이 발생하였으며, 특히 가시거리 200m 이하의 안개 발생 빈도가 높게 나타난다. 따라서 2월과 3월 중 가시거리 수준이 200m 이하이고, 안개 지속시간이 1시간 이상 존재하는 일(日)을 분석 대상 기간으로 선정하였다. 최종적으로 분석에 사용한 기간은 2015년 2월 11일, 3월 27일, 3월 30일이며 안개 미 발생 시의 교통 특성을 비교하기 위해 전 주 또는 후 주의 동일 요일의 안개 미 발생일 자료를 사용하였다. <Table 3>은 최종적으로 선정된 분석 기간을 나타낸다.

<Table 3> A periods of the analysis

with fog	without fog
Feb. 11, 2015(Wed)	Feb. 4, 2015(Wed)
Mar. 27, 2015(Fri)	Apr. 3, 2015(Fri)
Mar. 30, 2015(Mon)	Apr. 6, 2015(Mon)

IV. 교통 특성 분석

안개로 인한 교통 특성 변화를 분석하기 위해 먼저 안개 발생일과 미 발생일의 일별, 시간대별 교통량, 속도 패턴을 비교하였다. 또한, 가시거리 수준별 교통량-속도-밀도 관계를 분석하여 교통류에 영향을 미치는 가시거리 수준을 파악하고자 하였다.

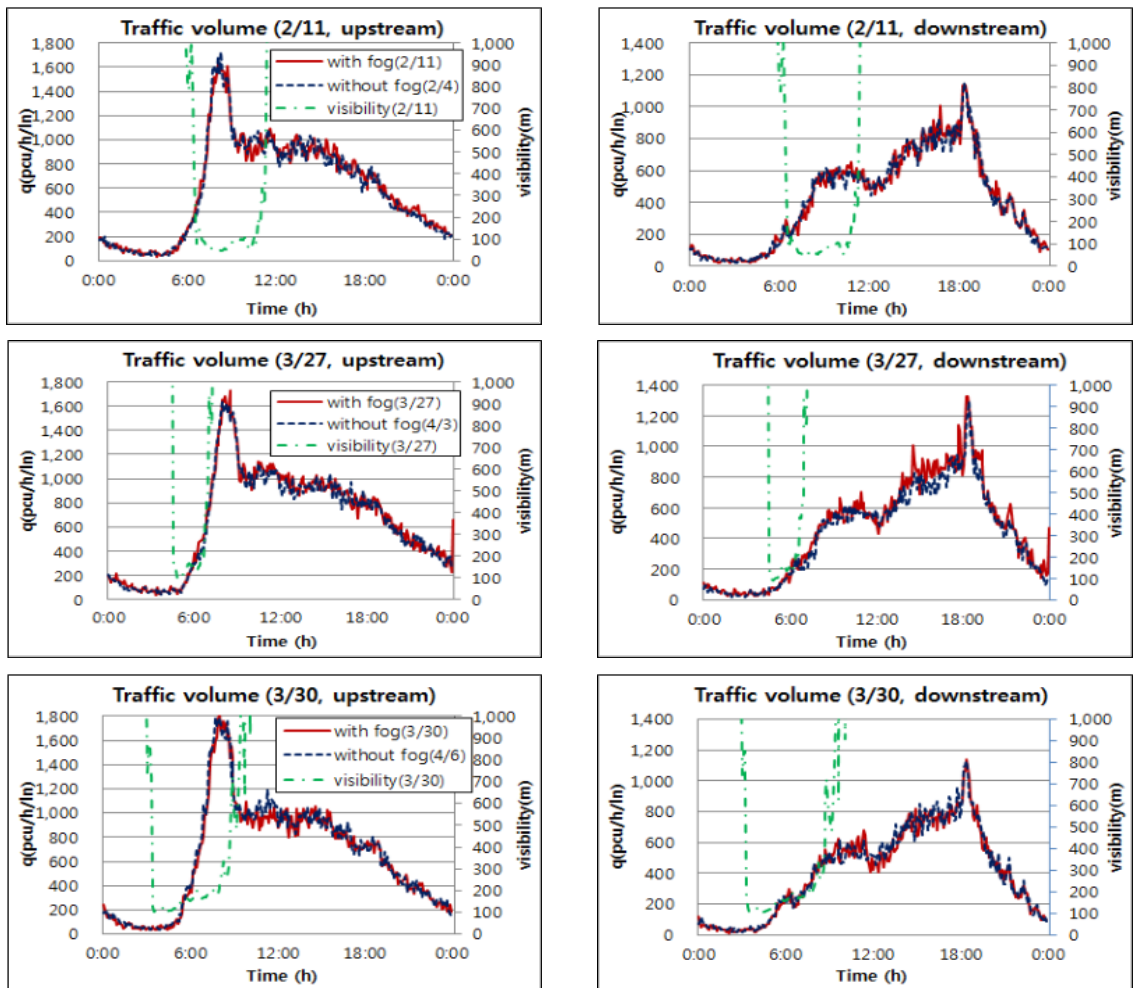
1. 교통량 및 속도 변화 분석

교통량은 한 시간 단위의 교통류율로 환산하여 사용하였으며, 도로교통량통계연보(2014)의 대상 구간의 일 교통량과 승용차 환산계수를 이용하여 차종별 교통량을 승용차환산대수(passenger car unit, PCU)로 환산한 값을 사용하였다. 또한, 대상 구간의 상행은 오전 침두시에 최대교통량이 발생하고 하행은 오후 침두시에 최대교통량이 발생하는 상이한 특성이 나타나 상행과 하행을 구분하여 분석하였다.

<Fig. 2>는 안개 발생일 및 미 발생일의 일 교통량 패턴을 나타낸다. 안개가 발생한 시각은 대부분 새벽에서 오전 시간대에 발생하는 것으로 나타났다. 2월 11일의 경우, 안개는 6시에서 11시 30분 사이에 발생하였으며, 안개 발생일의 시간대별 평균 가시거리 수준은 크게 500~1,000m와 100m 이하로 구분되었다. 3월 27일

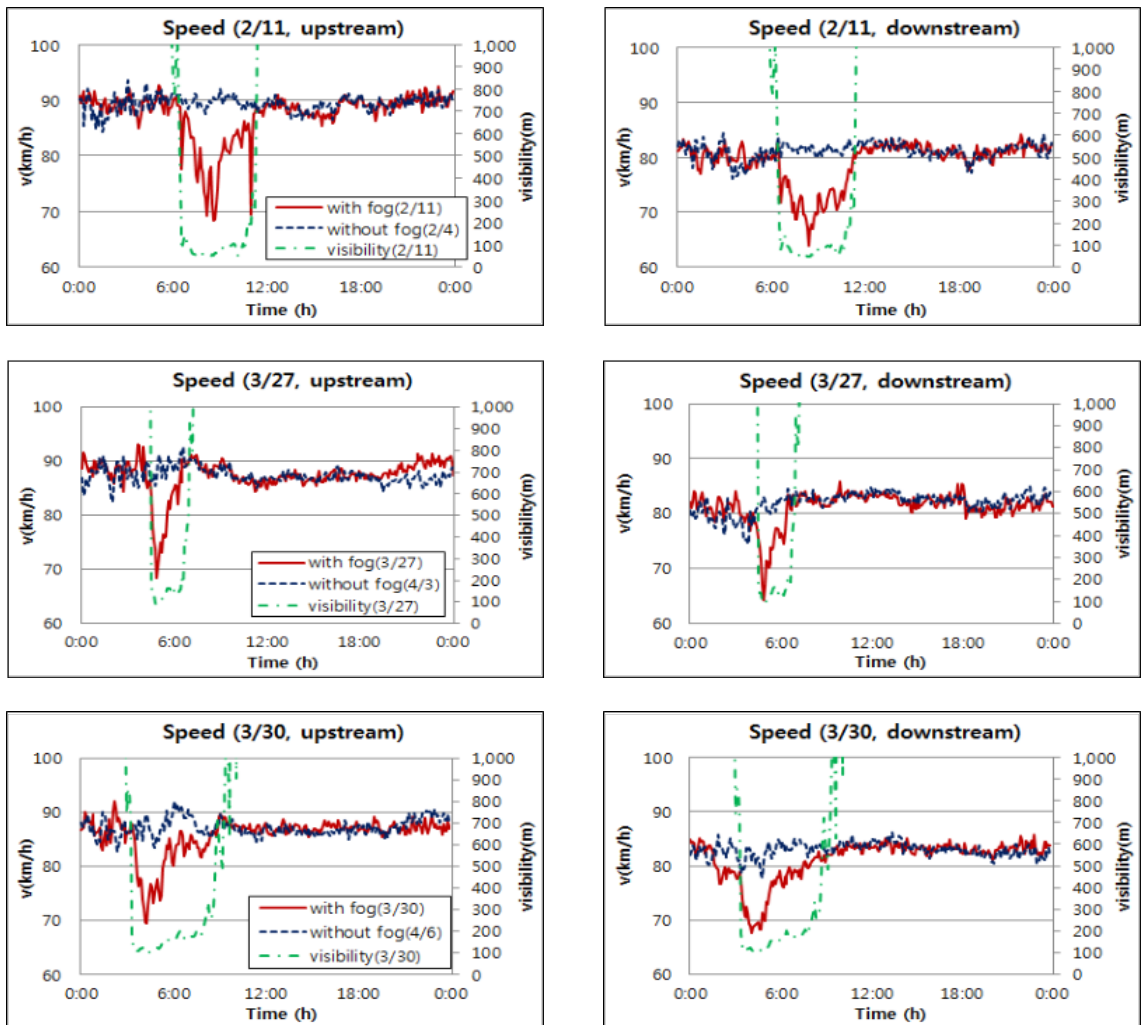
의 경우, 4시 30분에서 7시 사이에 안개가 발생하였으며, 시간대별 가시거리 수준은 200~300m와 100~200m로 구분되었다. 마지막으로 3월 30일의 경우, 3시에서 10시 사이에 안개가 발생하였으며 시간대별 가시거리 수준은 300~400m와 100~200m로 구분되었다. 따라서, 본 연구의 분석 기간 안개 수준과 안개 발생 시간대가 새벽의 교통량이 적은 시간대부터 오전 침두시의 최대교통량이 발생하는 시간대로 나타나 안개 발생 시 다양한 가시거리 수준 및 교통량 수준에 따른 특성에 대해 분석하였다.

안개 발생일과 안개 미 발생일의 일 교통량의 변화를 살펴본 결과, 모두 일 교통량 패턴이 유사하게 나타났으며 안개가 발생한 시간대에도 교통량은 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 안개 발생 시간대별 평균 가시거리 및 교통량 변화를 비교한 결과, 가시거리 수준이 100m 이하의 짙은 안개가 발생할 경우라도 교통량은 거의 변화하지 않는 것으로 나타났다. 또한, 안개가 발생하지 않은 시간대에도 큰 변화가 없어 안개에 따른 교통량 변화는 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 파악되었다. 안개 발생 유·무에 따른 뚜렷한 교통량 변화가 없을 뿐만 아니라, 전체적으로 일 교통량이 유사한 패턴으로 나타났다. 평균적인 상행 최대 교통량은 약 1,700 ~ 1,800pcu/h/ln였으며, 하행은 약 1,100pcu/h/ln ~ 1,200pcu/h/ln으로 분석되었다.



(Fig. 2) Result of analysis on daily traffic pattern by foggy conditions

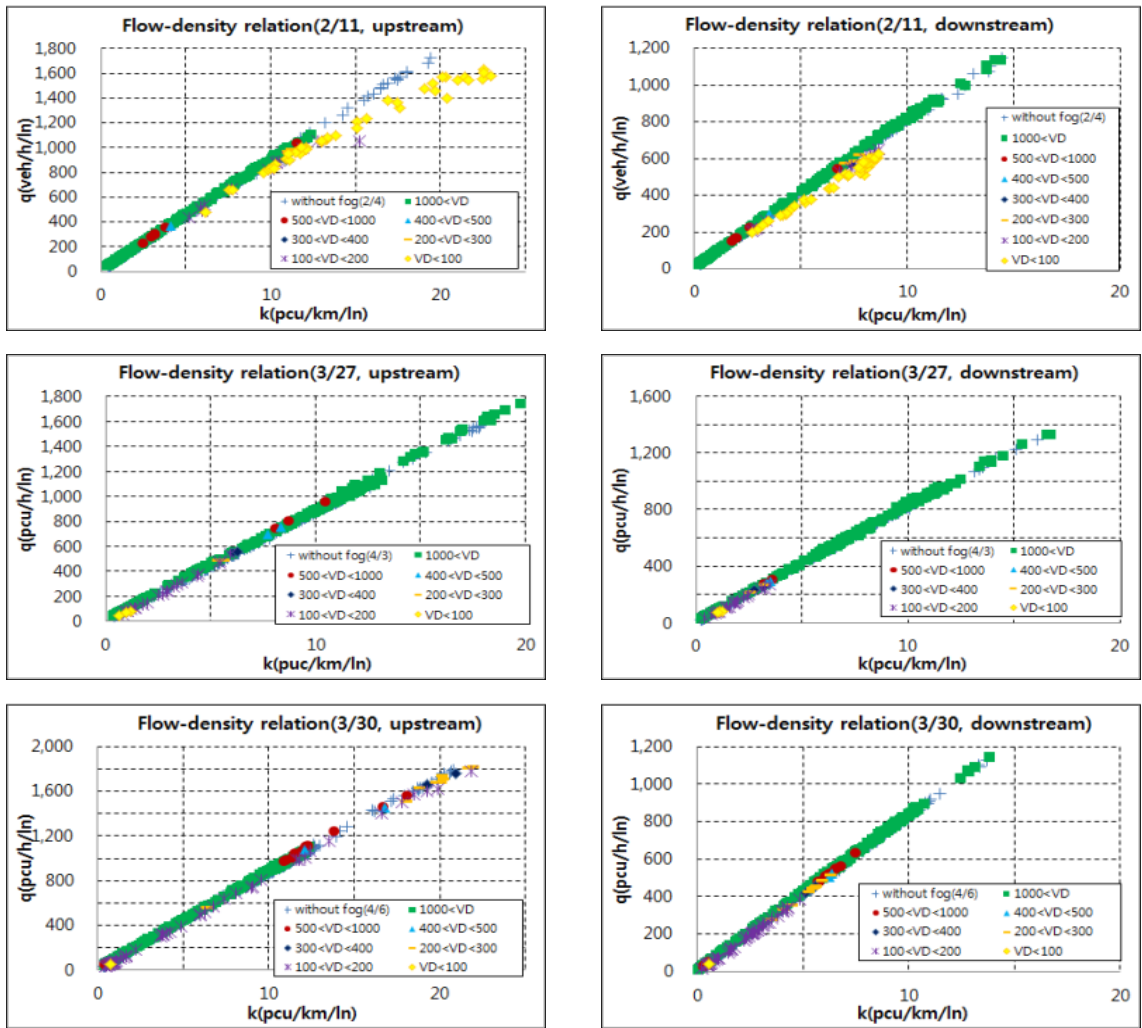
하지만, 속도의 경우 안개 발생 유·무에 따른 변화가 뚜렷하게 나타났다. 안개가 발생한 시간대에 속도 변화가 있으며, 안개가 발생하지 않은 시간대에는 크게 변화가 없는 것으로 분석되었다. <Fig. 3>은 안개 발생 일 및 미 발생일의 일 속도 패턴을 나타낸다. 2월 11일은 안개 미 발생일인 2월 4일 대비 최대 약 20%의 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 평균 속도는 가시거리 수준이 500~1,000m일 경우 안개 미 발생일 대비 4% 감소, 100m 이하일 경우 6~18% 감소하는 것으로 분석되었다. 3월 27일은 2월 11일과 유사한 수준으로, 안개 미 발생일인 4월 3일 대비 최대 약 20%의 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 평균 속도는 가시거리 수준이 200~300m일 경우 안개 미 발생일 대비 3% 감소, 100~200m일 경우 7~11% 감소하는 것으로 분석되었다. 3월 30일은 속도가 안개 미 발생일인 4월 6일 대비 최대 약 15~20% 감소하는 것으로 분석되었다. 평균 속도는 가시거리 수준이 300~400m일 경우 1~9%, 100~200m일 경우 5~15% 감소하였다. 이를 통해, 안개로 인한 가시거리 수준이 낮아질수록 평균 속도 감소율이 증가하는 정비례 현상이 나타나는 것을 파악할 수 있다. 이는 Son and Jeon(2013), Abdel-Aty et al.(2014) 등의 기존 선행연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다.



<Fig. 3> Result of analysis on speed pattern by foggy conditions

2. 교통량-밀도 관계 분석

교통류 모형은 운전자, 기상, 도로 기하구조 등 다양한 조건이 변화함에 따라 많은 변화를 보인다. 본 연구에서는 안개가 교통류에 미치는 영향만 고려하였으며 그 외의 조건은 고려하지 않았다. 가시거리 수준별 교통량-밀도-수준 관계를 분석하여 교통류에 영향을 미치는 가시거리 수준을 파악하고자 하였다. 가시거리 수준은 분석 기간 선정 시 사용했던 기준을 기반으로 하였다. 교통량과 속도 변화 분석에서 안개 발생 시 교통량은 변화가 없는 것으로 나타났고, 속도는 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 교통류 모형식인 $Q=UK$ 에 의해 밀도가 증가할 것으로 추정할 수 있다. <Fig. 4>는 안개 발생일 기준의 가시거리 수준별 교통량-밀도 관계를 나타낸다. 밀도 수준을 기반으로 가시거리별 교통변화를 분석하였다. 안개가 발생한 2월 11일의 경우, 상행은 밀도 기준 0~25pcu/km/ln 수준, 하행은 0~10pcu/km/ln 수준에서 안개가 발생한 것으로 파악된다. 특히, 안개 발생일과 미발생일의 교통량-밀도 관계가 뚜렷한 차이를 보이는 구간은 상행 밀도 10~25pcu/km/ln 수준, 하행 밀도 3~8pcu/km/ln 수준으로 가시거리가 200m 이하였으며, 대부분 100m 이하의 안개가 발생한 것으로 분석된다.



<Fig. 4> Relation of traffic volume and density

2월 11일, 가시거리 200m 이하의 안개가 발생한 시간대는 오전 침두시인 7~9시로 상행의 최대 교통량은 약 6% 감소, 최대 밀도는 약 4pcu/km/ln 증가하는 것으로 파악된다. 반면 하행의 경우에는 최대교통량 및 밀도에 영향을 미치지 않았는데 이것은 대상 구간의 특성상 하행은 오전 침두시에는 교통량이 증가하지 않기 때문인 것으로 유추된다. 따라서, 침두시에 가시거리 200m 이하의 안개가 발생할 경우 최대 교통량과 최대 밀도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

안개가 발생한 3월 27일의 경우, 상행은 밀도 기준 0~10pcu/km/ln 수준, 하행은 0~5pcu/km/ln 수준에서 안개가 발생한 것으로 파악된다. 안개 발생일과 미 발생일의 교통량-밀도 관계 차이를 보이는 구간은 상행과 하행 모두 0~5pcu/km/ln 수준으로 가시거리 200m 이하의 안개가 발생한 것으로 나타났다. 3월 27일, 가시거리 200m 이하의 안개가 발생한 시간대는 오전 침두시 이전인 4시 35분~6시 40분으로 최대 교통량 및 최대 밀도에 영향을 미치지 않는 것으로 파악되며 상행과 하행의 밀도 수준이 유사한 구간에서 교통량이 감소하는 것으로 분석된다.

마지막으로 안개가 발생한 3월 30일의 경우, 상행은 밀도 수준 0~25pcu/km/ln, 하행은 0~8pcu/km/ln 수준에서 안개가 발생한 것으로 파악된다. 안개 발생일과 미 발생일의 교통량-밀도 관계가 뚜렷한 차이를 보이는 구간은 3월 27일과 마찬가지로 밀도 0~5pcu/km/ln 수준으로 가시거리 200m 이하의 안개가 발생한 것으로 파악된다. 3월 30일, 가시거리 200m 이하의 안개가 발생한 시간대는 3시 30분~8시이다. 상행의 최대교통량은 변화가 없으며 최대 밀도는 약 1pcu/km/ln 증가한다. 오전 침두시간대에 안개가 발생하여 최대 밀도는 증가하였지만, 대부분 가시거리 200m 이상의 안개가 발생하여 최대교통량은 변화가 없는 것으로 유추된다. 반면 하행은 영향을 받지 않는 것으로 분석된다. 또한, 분석일 모두 분석 구간의 특성상 도로 용량에 비해 교통량이 많지 않아 용량에 도달하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 선행 연구에서 밝혀진 바와 같은 포물선 형태의 그래프가 나타나지 않지만 상행의 오전침두시간대에 안개가 발생한 2월 11일의 최대교통량이 감소하고 최대 밀도가 증가하여 약간의 포물선 형태가 나타나는 것으로 분석되었다.

<Table 4> Traffic volume change by density

contents		Density(pcu/km/ln)				
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
Upstream traffic volume (pcu/h/ln)	Without fog (2/4)	201	729	996	1,538	-
	With fog (2/11)	193	690	960	1,318	1,557
	Rate of change(%)	-4	-5	-4	-14	-
	Without fog (4/3)	182	681	985	1,514	-
	With fog (3/27)	194	674	1,001	1,541	-
	Rate of change(%)	6	-1	2	2	-
	Without fog (4/6)	193	684	995	1,584	1,768
	With fog (3/30)	178	687	979	1,553	1,756
Rate of change(%)	-8	0	-2	-2	-1	
Downstream traffic volume (pcu/h/ln)	Without fog (2/4)	148	600	908	-	-
	With fog (2/11)	141	584	897	-	-
	Rate of change(%)	-5	-3	-1	-	-
	Without fog (4/6)	140	606	921	1,258	-
	With fog (3/30)	150	595	927	1,304	-
	Rate of change(%)	7	-2	1	4	-

contents		Density(pcu/km/ln)				
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
	Without fog (4/6)	155	607	927	-	-
	With fog (3/30)	150	602	914	-	-
	Rate of change(%)	-3	-1	-1	-	-

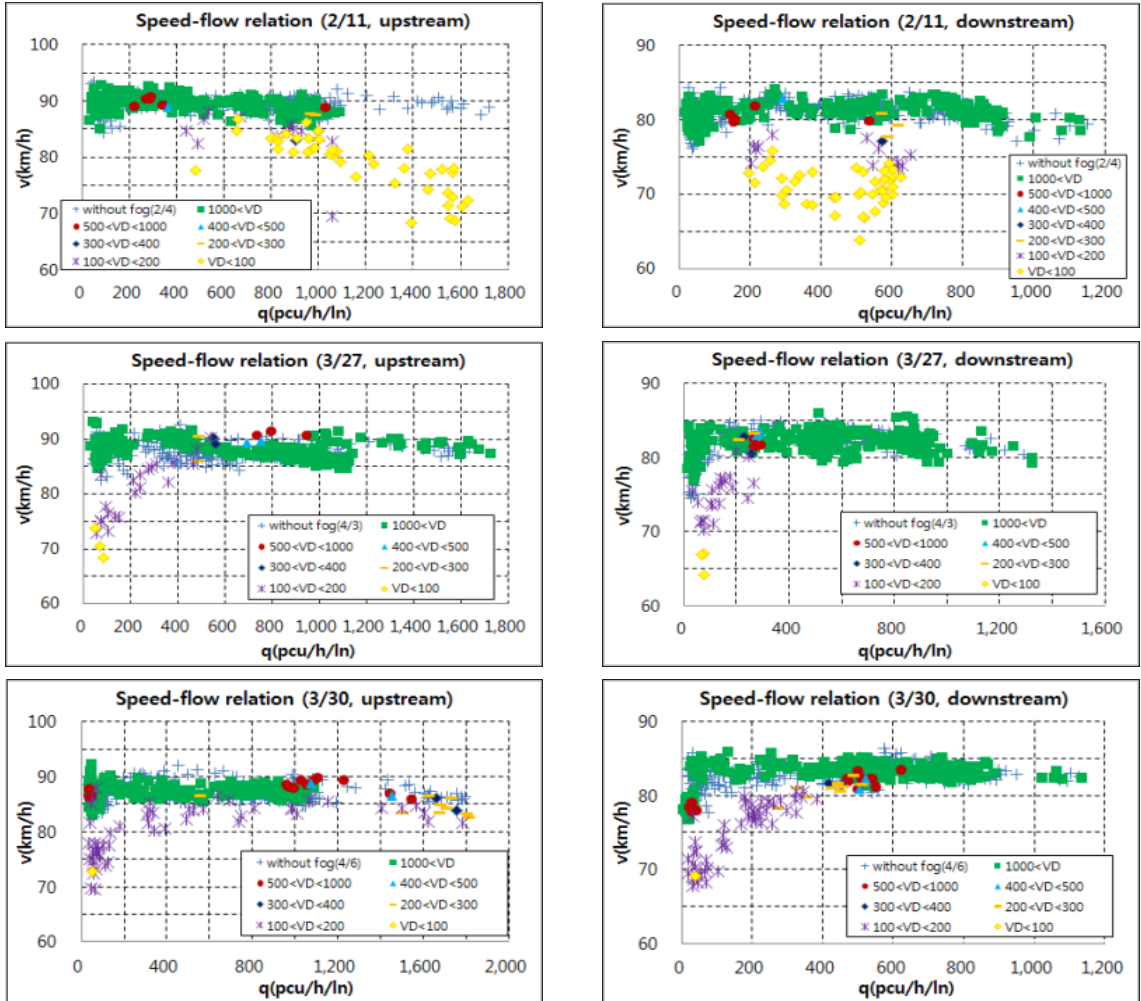
<Table 4>은 안개 발생일과 미 발생일의 교통량 변화를 밀도 수준별로 분석한 것이다. 먼저 안개 발생일 2월 11일의 분석 결과, 안개 발생 시 밀도 수준별 교통량 변화는 상행 4~14%, 하행 3~5% 감소로 나타난다. 특히, 가지거리 200m 이하인 경우에는 상행 14%, 하행 6% 감소하여 안개 미 발생일과 뚜렷한 차이를 보인다. 2월 11일에는 최대 교통량이 발생하는 오전 첨두시간대에 가지거리 200m 이하의 안개가 발생하여 속도 감소로 인해 밀도가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 일 교통량 패턴은 안개 미 발생일과 유사하지만 밀도 수준으로 교통량 변화를 분석하였을 때 안개 발생 시 교통량이 감소하였으며, 최대 밀도가 20~25pcu/km/ln 수준으로 증가하고 최대 교통량이 1,557pcu/h/ln로 감소하는 것으로 분석되었다. 3월 27일의 경우, 그래프 상에서는 안개 발생 시 밀도 수준별 교통량이 약간 감소하지만 <Table 4>에서는 교통량이 증가하는 것으로 나타난다. 이는 가지거리 200m 이하의 표본수가 가지거리 1,000m 이상의 표본수보다 상대적으로 적어 평균값이 왜곡되는 것으로 유추된다. 마지막으로 3월 30일의 경우, 안개 발생 시 밀도 수준별 교통량 변화는 상행 0~8% 감소, 하행 1~3% 감소로 나타난다. 2월 11일과 마찬가지로 가지거리 200m 이하인 경우에는 상행 8%, 하행 3% 감소하여 안개 미 발생일과 뚜렷한 차이를 보인다.

결과를 종합해보면, 상행을 기준으로 2월 11일의 경우, 오전 첨두시에 가지거리 200m 이하의 안개가 발생하여 밀도 20~25pcu/km/ln 수준에서 교통량이 감소하였다. 3월 27일의 경우, 새벽시간대에 가지거리 200m 이하의 안개가 발생하여 밀도 0~5pcu/km/ln 수준에서 교통량이 감소하였다. 3월 30일의 경우, 오전 첨두시가 아닌 새벽시간대에 주로 가지거리 200m 이하의 안개가 발생하였으며 오전 첨두시에는 대부분 가지거리 200m 이상의 안개가 발생하여 밀도 20~25pcu/km/ln 수준에서 교통량이 크게 변화가 없는 것으로 유추된다.

따라서 최대교통량 및 밀도가 차이 나는 것은 안개가 발생한 시간대와 가지거리 수준에 따른 차이인 것으로 분석된다. 즉, 교통량이 많은 시간대인 첨두시에 가지거리 200m 이하의 안개가 발생할 경우 최대 밀도는 증가하고 최대 교통량은 감소하였지만 가지거리 200m 이상의 안개가 발생할 경우 최대 밀도 및 최대교통량에 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한, 교통량이 적은 새벽시간대에 200m 안개가 발생하면 밀도 수준 교통량이 감소하였지만 교통량이 많은 시간대보다 상대적으로 차이가 적은 것으로 나타났다.

3. 속도-교통량 관계 분석

속도-교통량 관계를 가지거리 수준별로 속도 변화를 분석하고자 하였다. <Fig. 5>는 안개 발생일의 가지거리 수준별 속도-교통량 관계를 나타낸다. 2월 11일의 경우, 상행 교통량 수준 200~1,800pcu/h/ln, 하행 100~700pcu/h/ln일 때 안개가 발생한 것으로 파악된다. 안개 발생일과 미 발생일의 속도-교통량 관계가 뚜렷한 차이를 보이는 구간은 상행 교통량 수준 800~1,800pcu/h/ln, 하행 200~600pcu/h/ln 수준으로 가지거리 200m 이하의 안개가 발생한 것으로 파악된다. 가지거리 200m 이하의 안개 발생 시에 속도가 급격히 감소하는 것으로 나타난다. 3월 27일의 경우, 상행 교통량 수준 0~1,000pcu/h/ln, 하행 0~350pcu/h/ln일 때 안개가 발생한 것으로 파악된다. 안개 발생일과 미 발생일의 속도-교통량 관계가 뚜렷한 차이를 보이는 구간은 교통량 수준 약 0~400pcu/h/ln으로, 가지거리 200m 이하의 안개가 발생한 것으로 나타난다.



(Fig. 5) Relation of speed and traffic volume

3월 27일의 경우 새벽에 안개가 발생한 점을 고려할 때 교통량 수준이 낮을 때 안개 미 발생일과 차이가 나는 것으로 판단된다. 3월 30일의 경우, 상행 교통량 수준 0~1,800pcu/h/ln, 하행 0~600pcu/h/ln에서 안개가 발생한 것으로 파악된다. 안개 발생일과 미 발생일의 속도-교통량 관계에 명확한 차이가 있는 교통량 수준은 0~400pcu/h/ln 수준으로 가시거리 200m 이하의 안개가 발생한 것으로 나타난다.

<Table 5>는 안개가 발생한 2월 11일과 안개 미 발생일의 속도 변화를 교통량 수준별로 분석한 것이다. 안개 발생 시 교통량 수준별 속도 변화는 상행은 0~19%, 하행은 0~5% 감소하는 것으로 분석된다. 특히, 가시거리 200m 이하인 경우에는 상행은 2~19%, 하행은 2~5% 감소하여 안개 미 발생일과 뚜렷한 차이를 보인다. 이를 통해 가시거리 200m 이하인 경우, 교통량이 일정 수준 이상일 때 교통량이 증가할수록 속도가 감소하는 것으로 판단된다. 3월 27일의 경우, 안개 발생 시 교통량 수준별 속도 변화는 상행, 하행 모두 0~2% 감소하는 것으로 분석된다. 3월 30일의 경우, 안개 발생 시 교통량 수준별 속도 변화는 3월 27일과 마찬가지로 상행, 하행이 0~5% 감소하는 것으로 분석된다. 안개 발생 시 대부분 교통량 수준별로 속도가 감소하며, 특히 가시거리 200m 이하인 경우 속도가 약 3~4%로 크게 감소하는 것으로 나타난다. 안개가 대부분 새벽~오전

시간대에 발생하여 하행은 밀도나 교통량 수준이 낮을 경우에만 속도-교통량 관계가 차이나는 것으로 판단된다.

상행의 경우, 짙은 안개가 발생하더라도 안개 발생 시 교통량이 약 600pcu/h/ln 수준보다 적을 경우 교통량 수준이 증가할수록 속도가 감소하다 교통량이 약 600pcu/h/ln 수준에 도달하면 속도가 다시 증가하는 것으로 나타난다. 또한, 교통량이 약 800pcu/h/ln 수준 이상이 되면 속도가 다시 감소하는 것으로 나타난다. 가시거리가 짧아지고, 교통량이 증가할수록 속도가 감소하는 패턴이 나타나지 않은 Son and Jeon(2013)의 연구 결과와 유사한 것으로 나타난다. Abdel-Aty et al.(2014) 등 기존 선행연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

<Table 5> Speed change by traffic volume

(pcu/h/ln)		Traffic volume(pcu/h/ln)								
		0~200	200~400	400~600	600~800	800~1,000	1,000~1,200	1,200~1,400	1,400~1,600	1,600~1,800
Upstream speed (km/h)	Without fog (2/4)	89	90	89	89	89	89	90	90	89
	With fog (2/11)	89	90	89	89	87	84	77	74	72
	Rate of change(%)	0	0	-1	-1	-2	-5	-14	-17	-19
	Without fog (4/3)	88	88	87	87	87	87	89	88	88
	With fog (3/27)	86	88	89	88	87	87	89	89	88
	Rate of change(%)	-1	0	2	1	0	0	0	1	0
	Without fog (4/6)	87	89	87	87	87	87	88	88	86
	With fog (3/30)	83	86	86	87	87	87	89	85	84
	Rate of change(%)	-4	-3	-1	-1	0	0	1	-4	-2
Downstream speed (km/h)	Without fog (2/4)	81	82	82	81	81	79	-	-	-
	With fog (2/11)	80	78	78	80	80	79	-	-	-
	Rate of change(%)	0	-4	-5	-2	0	0	-	-	-
	Without fog (4/3)	80	83	83	83	82	82	81	-	-
	With fog (3/27)	79	82	82	82	82	81	80	-	-
	Rate of change(%)	-1	-2	-1	-1	0	0	-1	-	-
	Without fog (4/6)	82	83	83	83	83	82	-	-	-
	With fog (3/30)	78	81	83	83	83	82	-	-	-
	Rate of change(%)	-5	-3	-1	0	0	0	-	-	-

4. 통계적 검증

교통량-속도-밀도 관계 분석을 통해 가시거리 수준이 200m 이하인 경우 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 가시거리 수준을 안개 미 발생($VD > 1,000m$), 옅은 안개($200m < VD \leq 1,000m$), 짙은 안개($VD \leq 200m$)의 세 가지로 구분하여 통계적 검증을 시행하였다. 분산분석의 경우 가시거리 수준에 따른 교통 특성 변화를 검증할 수 있지만 안개 발생일과 미 발생일의 동일 시간대의 변화를 볼 수 없기 때문에 신뢰 수준 95%의 t-test를 사용하였다. 안개 발생일의 가시거리 수준을 기준으로 안개 발생일과 안개 미 발생일의 동일 시간대 교통량, 속도를 분석하였다. 종속변수(검정변수)는 교통량, 속도로 설정하였으며 독립변수(집단 변수)는 안개 발생, 미 발생으로 구분하였다. 각 종속변수를 가시거리 수준별(1, 2, 3)로 구분하여 분석하였다. t-test 분석 방법은 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Method of the T-test

Contents	Verification variable(traffic volume, speed)
Group 1 (without, $VD > 1,000m$)	With fog
	Without fog
Group 2 (light fog, $200m < VD \leq 1,000m$)	With fog
	Without fog
Group 3 (dense fog, $VD \leq 200m$)	With fog
	Without fog

귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

H_0 (귀무가설) : 안개 발생에 따른 교통량, 속도 변화가 없다.

H_1 (대립가설) : 안개 발생에 따른 교통량, 속도 변화가 없다고 할 수 없다.

교통량에 대한 통계적 검증 결과, 대부분의 유의수준이 0.05 이상으로 나타나 안개유무에 관계없이 교통량 변화가 없는 것으로 나타난다. 3월 27일 하행의 옅은 안개 발생 시 유의수준이 0.004로 도출되었는데, 이는 교통량 변화가 있다는 결과가 나온 것은 해당일의 옅은 안개 수준의 표본수가 적기 때문인 것으로 판단된다. 속도에 대한 통계적 검증 결과, 짙은 안개가 발생하면 유의수준이 모두 0.05 이하로 나타나 귀무가설을 기각하여 안개 미 발생일과 특성이 달라지는 것으로 나타났다. 옅은 안개가 발생한 경우에도 하행은 모두 유의수준이 0.05 이하로 나타나 속도 변화가 있는 것으로 나타났다. 안개 미 발생일에는 상행, 하행 모두 유의수준이 0.05 이상으로 나타나 속도 변화가 없는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 안개가 발생하면 운전자 스스로 위험성을 인지하여 속도를 감속시킨다는 Oh(2005)의 설문조사 결과와 일치한다. 또한, 가시거리가 200m 이하일 경우 운전자가 민감하게 반응하여 속도 감소율이 크게 증가하는 것으로 판단된다.

안개 발생일과 미 발생일의 교통량과 속도 차이를 통계적으로 검증한 결과, 교통량은 변화가 거의 없는 것으로 나타나고 속도는 안개 발생 시 변화가 나타나며, 특히 가시거리가 200m 이하일 경우 뚜렷한 변화가 있는 것으로 나타난다.

V. 결론 및 향후 연구과제

안개는 운전자의 시인성을 저하시키는 요인으로 교통 흐름에 영향을 미쳐 교통 정체를 유발시키고 대형 교통사고로 이어질 가능성이 높은 기상요인이다. 본 연구는 안개 발생 시 교통 특성을 분석하여 교통 운영 효율화에 기여하고자 하였다. 교통량은 안개로 인한 변화는 미미한 것으로 분석되었으나 속도는 안개 발생 시 감소하였으며, 특히 가시거리 200m 이하에서 속도 감소 특성이 뚜렷하여 가시거리가 짧을수록 속도가 더 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 속도는 가시거리 100~200m인 경우 약 5~15% 감소, 가시거리 100m 이하인 경우 약 10~18% 감소하는 것으로 분석되었다. 가시거리 수준별 교통량-속도-밀도 관계를 통해 교통류에 영향을 미치는 가시거리 수준을 도출하였다. 안개 발생 시 대부분의 밀도 수준별 교통량이 감소하고, 대부분의 교통량 수준별 속도가 감소하였다. 특히, 가시거리 200m 이하의 안개 발생 시에는 미 발생 시와 뚜렷한 차이를 보여 교통류 변화에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, 이는 t-test 분석을 통해 통계적으로 검증하였다.

본 연구는 우리나라의 실제 도로 상의 안개데이터 기반 가시거리 수준에 따른 교통류 변화를 분석하였다. 특히, 다양한 교통량 및 가시거리 수준이 분포된 분석 기간을 선정하여 교통량 수준 및 가시거리 수준에 따른 교통류 변화를 분석한 데 의의가 있다. 본 연구 결과는 안개가 발생할 경우 가시거리 수준에 따라 교통관리자가 안개소산시스템 및 안개경고등 작동 시점 등의 안개 관련 교통전략을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 가변속도제한 운영 시 가시거리 수준에 따른 적합한 제한속도를 제공하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 교통정체를 최소화하고, 더 나아가 안개로 인한 대형교통사고를 예방하는 등 교통관리 효율화를 기대해 볼 수 있다.

하지만 본 연구에서는 도로 기하구조, 운전자 특성 등의 다른 요인의 영향을 고려하지 않았다. 강우, 강설 등의 다른 기상요인과 함께 안개가 발생할 경우 운전자의 시인성이 더 감소할 것으로 판단되며 노면상태의 영향도 받을 것으로 판단된다. 추후에는 다른 기상요인의 영향을 함께 고려하여 교통류 변화를 분석해 볼 필요가 있다. 또한, 본 연구 대상구간의 특성 상 용량에 도달하지 못한 한계가 있다. 추후 다른 구간의 연속류 교통류도 함께 분석한다면 안개로 인한 용량 변화도 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술사업화지원사업의 “음향신호 처리 기반의 터널 교통사고 자동검지시스템 개발(16TBIP-C111209-01)” 과제 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Abdel-Aty. M. A., Oloufa A., Peng Y., Shen T. S., Yang X. and Lee J.(2014), “Real Time Monitoring and Prediction of Reduced Visibility Events on Florida’s Highways,” University of Central Florida Report.
- Broughton K. L. M., Switzer F. and Scott D.(2007), “Car following decisions under three visibility conditions and two speeds tested with a driving simulator,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, pp.106-116.

- Camacho F. J., Garcia A. and Belda E.(2010), "Analysis of Impact of Adverse Weather on Freeway Free-Flow Speed in Spain," *Transportation Research Record*, vol. 2169, pp.150-159.
- Chin S. M., Franzese O., Greene D. L. and Hwang H. L.(2002), *Temporary Losses of Highway Capacity and Impacts on Performance. Report*, Oak Ridge National Laboratory.
- Cho H. J. and Yoon S.(2002), "Effects of reduced visibility due to fog on traffic flow," *Conference of Korean Society of Civil Engineers*, vol. 11, pp.81-84.
- Gyeonggi-Do Transportation Information Center, <http://gits.gg.go.kr/board.do?command=listPage&boardId=1001&menuId=050100>, 2015.09.03.
- Kim S.(2016), "An analysis of uninterrupted traffic flow characteristics and development of a risk index under foggy conditions," Master's thesis, University of science and technology.
- Korea Meteorological Administration, http://web.kma.go.kr/communication/encyclopedia/list.jsp?encyc_id=558&page=1&schLang=&schGroup=&schType=&schText=%BE%C8%B0%B3, 2015.07.21.
- Korea Road Traffic Authority(2015), *2014 Road Traffic Accidents Statistical Analysis in Korea*.
- Kyte M., Khatib Z., Shannon P. and Kitchener F.(2000), "Effects of Environmental factors on Free-Flow Speed," *Transportation Research Circular E-C018 : the Fourth National Symposium on Highway Capacity*, pp.108-119.
- Lim C. H.(2007), "A Study on the safe speed estimation on fog-bound roads," Master's thesis, Graduate school, University of Seoul.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), *Explanation of rules about the structure and facility standards of roads*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2015), *2014 Annual report on road traffic statistics*.
- Oh J. S., Cho D. S., Cho Y. and Chung J. H.(2002), "A Study on the Variability of Driver's Speed in the Foggy Weather," *Korean Society of Civil Engineers*, vol. 22, no. 4, pp.677-685.
- Oh S. O.(2005), "A study on safety enhancement for roads with high frequency of fog," Master's thesis, Graduate school, University of Seoul.
- Samsung traffic safety research institute(2015), *Travel Speed and Traffic Accident Analysis in fog road*.
- Son Y. and Jeon J. S.(2013), "A Study on Traffic-Flow Characteristic Changes on Expressway by Visibility," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 6, pp.116-126.
- Transportation Research Board(2010), *Highway Capacity Manual*, National Research Council.