

고속도로 안개발생 빈도추정 모형 개발

박준태 · 이수범[†] · 이수일^{*}

서울시립대학교 교통공학과 · *현대해상 교통기후환경연구소
(2011. 4. 14. 접수 / 2011. 8. 12. 채택)

Development of a fog Frequency Estimation Model at Expressway

Jun-Tae Park · Soo-Beom Lee[†] · Soo-IL Lee

Department of Transportation Engineering, University of Seoul · *Hyundai Insurance Research Center
(Received April 14, 2011 / Accepted August 12, 2011)

Abstract : A traffic accident which happens in Expressway during dense fog is more likely to cause the sequential accidents and high death rate. So, the preventive measures shall be taken at dangerous areas to enhance the efficiency of roads and minimize the accidents and the resultant damages. So, it is necessary to find out the characteristics of freeway zone which has high risk of fog occurrence and to establish the comprehensive safety strategy on installation and operation of the safety equipment. In this study, I developed a fog forecasting model by using the freeway fog data. This model can be used as the fog forecasting model in dealing with fog problems when new road is planned. The model was developed by using a statistical analysis technique or the regression analysis, focusing on the variables such as geographical features and regional conditions, distances to water sources and the area of water source. I have segmented the models by classifying the area into inland area and coastal area. The distance to water source and area of the water source located around the freeway were found to be main factors causing fog.

Key Words : expressway, fog, linear regression, weather conditions

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 좁은 국토에 비해 지형이 복잡하여 안개와 같은 국지적 기상현상이 지역별로 다양하게 나타나고 있으며, 해안이나 하천을 따라서 도로가 발달된 경우 안개나 기타 악천후로 인한 교통사고가 발생할 위험이 높다¹⁾. 도로에 안개가 발생할 경우 차량들의 주행속도가 다양해지며 차간간격이 짧아지는 등 교통류의 불안정성(Reckwell, 1977)이 교통사고 위험성을 야기시키는 특성이 있다. 과거 서해대교(2006) 안개시 대형교통사고는 29중 추돌사고로 11명이 사망하고 50여명의 부상자가 발생한 사례를 볼 때, 안개 속에서의 교통사고는 연쇄사고를 일으키며 피해규모가 크고 치사율이 높은 대형사고로 이어질 가능성이 매우 높음이 잘 알려져 있다. 본 연구에서는 고속도로 주변 지형특성을 바탕으로 안개가 발생하여 고속도로에 영향을 미

치는 관계를 분석하고자 한다.

이를 위해 안개빈도추정모형을 개발하여 고속도로 신설노선의 안개대책 수립 시 사전 안개발생 영향을 검토하는데 활용할 수 있는데 연구의 의의를 둔다. 연구의 주요 내용은 아래와 같다.

첫째, 국내 고속도로에서 발생하는 안개 빈도자료 구축을 통해 안개빈도 특성을 검토한다.

둘째, 안개발생에 영향을 미치는 요인을 검토, 독립변수로 활용하여 최대한 현실을 반영(안개발생 구간의 주변특성) 한다.

셋째, 개별노선당 안개빈도 예측모형의 개발 한계(샘플수 부족 및 발생시간 미고려 등)를 최대한 극복하기 위해 지역구분에 따른 세부 빈도추정모형을 개발한다.

1.2. 연구의 범위

본 연구에서는 고속도로 안개발생현황자료를 이용하여 실제 고속도로에 안개가 발생한 도로구간을 도출하였다. 2007~2008년 안개발생현황자료의 안개발생횟수 및 안개가 발생한 해당노선 주변 지

[†] To whom correspondence should be addressed.
mendota@uos.ac.kr

형특성 자료를 구축하여 안개발생 빈도추정 모형을 개발하였다.

안개발생 빈도추정 모형은 고속도로 주변 강, 하천 등의 수원이 위치 할 경우 수원에서 발생한 안개가 고속도로로 유입하여 도로에 안개가 발생하는 빈도를 추정하는 모형식이다. 안개의 지속시간 및 발생안개의 종류 특성은 기존 데이터의 한계로 모형에 반영하지 않으며, 일년 동안 고속도로에 발생하는 횟수를 예측하고자 한다.

2. 선행 연구 검토

2.1. 안개발생 원인 및 특성 검토

안개는 수증기가 응결핵을 중심으로 응결하면 구름이나 생성되는 것으로 정의하며, 구름과 안개의 차이는 그것이 지표면에 접하고 있는가 또는 떨어져 있는가에 따라 결정되며 본질적인 차이는 없다. 기상학사전(김광식, 1994)에 의하면, 안개는 통상 상대습도가 100%에 달하며, 안개가 낮고 연직 방향으로 엷어서 하늘이 들여다보이는 것을 낮은 안개라 하고, 사람이 서 있을 때는 눈높이에서 1 km 이상의 먼 곳까지 확실히 보이지만 지표면 가까이 낮게 깔려 있는 안개를 얇은 안개 또는 땅 안개라고 한다. 안개의 농도나 두께는 습도, 온도, 바람 및 응결핵의 종류나 양 등에 의하여 결정되며 일반적으로 97% 이상의 높은 습도에서 발생하지만, 공장지대에서는 응결핵이 많으므로 습도가 80% 정도인 경우에 발생되기도 한다²⁾.

2.1.1. 안개발생의 지역환경요소

수증기의 주요 공급원이 되는 강·하천이나 호수, 바다와 같은 장소에서 안개가 발생하기 쉽고, 비가 내린 뒤에는 수증기량이 많아지므로 안개의 발

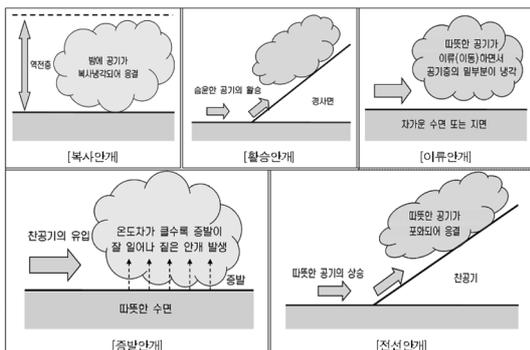


Fig. 1. Types of fog.

생도 비교적 많음. 시정이 1 km 정도의 가장 엷은 안개가 포함하는 안개 물량(liquid water content of fog)은 0.01~0.02 g/m³이며, 시정이 50 m 정도의 짙은 안개의 경우는 1 g/m³에 이른다³⁾. 안개는 지역 환경 요소가 중요한데, 밤에 하강기류로부터 기인하는 가장 차고 농밀한 공기가 깔고이는 골짜기, 분지 그리고 경사진 곳에서 빈번하게 생성되거나, 일정한 양의 수분을 일정영역에 함유하고 있는 호수, 저수지, 강변, 강둑 그리고 하천 등 습기로 수증기 공급이 많아서 안개가 되며, 산간 구릉 지대는 기류가 골송하여 기온의 하강으로 안개가 되고, 야간의 지면이 복사냉각되어 지표 부근 대기층의 수증기가 응결하여 복사안개가 발생한다⁴⁾. 최근 도시의 공기는 공장이나 난방 등에서 발생하는 연륙과 자동차의 배기가스 등으로 오염되고, 그것으로 인해 교외와 비교하면 시정이 낮아지며, 안개의 발생도 빈번함. 이것에 대해서 일찍이 L. Howard(1833)는 런던의 안개를 관찰하고, 그것이 런던 시내에만 한정된 것을 확인하여 도시무(City fog)라는 용어으로써 소개하였다. 따라서 건물이 많은 도시지역이라던가 산업지구, 공장지대로부터 발생하는 수증기로 인한 도시무가 발생하게 되며 안개의 농도나 두께는 습도, 기온, 바람, 응결핵의 종류, 양 등에 의해 결정된다.

2.1.2. 안개시 교통사고 위험성

1999년부터 2007년까지의 교통사고 통계분석⁵⁾에 따르면 안개 낀 날은 치사율이 다른 기상상태에 비해 월등하게 높은 것으로 나타나고 있다.

Fig. 2를 살펴보면 국내 전체사고의 구성비는 맑은 날이 84.4%로 가장 많았으나 안개 낀 날의 치사율은 10.77명으로 모든 기상상태 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 치사율은 다른 기상상태에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타났는데 이러한 결과는 안개 낀 날의 경우 전방시계가 불량한 상태에서 안전거리 미확보로 인한 추돌사고가 많이 발생하기 때문인 것으로 알려져 있다.

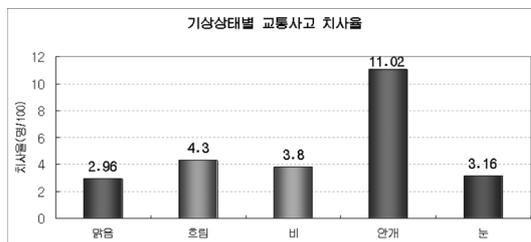


Fig. 2. Death rate caused by traffic accident according to the type of weather (1999~2007 Sum.).

2.1.3. 안개발생시 운전자 행태

Job Kijnhout(1991)에 따르면, 운전자가 환경에 의해 잘못 인도되기 때문에 안전속도로 속도를 낮추지 않는다고 하며 안개가 발생했을 때, 운전자의 두뇌는 “far away”로 희미함을 해석할 것이고, 운전자는 실제 주행속도보다 더 느리게 운전한다고 느끼게 되며, 서행하라는 경고가 주어져도 여전히 속도를 더 높이는 것으로 분석되었다⁶⁾. NTSB(The National Transportation Safety Board¹¹)에서 연구한 결과를 보면 일부 운전자들은 감소된 제한속도를 기준으로 서행해야 하는 반면, 그 외의 운전자들은 서행을 하지 않기 때문에 차량간 속도편차가 증가하는 것으로 분석되었다. 오세욱(2005)의 연구에 따르면 안개발생시 운전자들의 불안감을 해소하기 위해서 전방을 확인할 수 있는 대안과 앞뒤차량과의 거리 조절을 가능케 할 뿐만 아니라, 주변 상황에 대한 대처 능력을 높여 줄 수 있는 대안 등이 마련이 필요하다고 주장하였다. 오주삼(2004)은 도로조건이 동일하고 교통량이 유사한 경우에 대해서 안개의 유·무에 따른 교통속도의 변화를 분석하였다. 개별차량의 속도분포변화를 분석한 결과 안개로 인해 7~11%의 속도 감소비율이 있는 것으로 분석되었다.

임채홍(2007)은 위험안개가 발생하였을 경우 안전성을 높이기 위하여 최소정지시거에 따른 안전속도를 확보해주는 방안으로 시정거리가 0~100 m 일 때의 안전속도는 40 km/h, 시정거리가 100~200 m일 때의 안전속도는 60 km/h로 결정하였다.

미국 유타주의 ADVISE프로젝트에서는 시정거리별 적정속도 정보를 제공하는 연구를 수행하였으며 프로젝트의 궁극적인 목표는 감소된 시정에 따른 운전자의 행태와 경고시스템에 대한 운전자의 반응을 연구하는 것이며, 또한 ADVISE 시스템의 목적은 차량간 속도를 감소시키고, 낮은 시정이 발생했을 때 총 평균 차량속도를 감소시키는 것이다.

2.1.4. 안개발생 관리 연구

조해진(2003)은 안개에 대한 안전관리 대상지역을 선정함에 있어서 안개 발생일수, 지속시간, 시정을 복합적으로 고려하여야 하며 위험 안개 발생지표(Index F)를 개발하여 우선적으로 안전관리를 해야 할 대상지역의 순서를 정할 수 있다고 보고하였다.

$$\text{위험안개발생지표} = \left(\frac{2 + O_N}{2} \right) \times W_T W_S$$

여기서, D : 안개발생일수

W_T : 안개지속시간 가중치

W_S : 시정가중치

O_N : 정규화된 안개발생일수

FORETELL(미국) 프로그램은 주 고속도로 운영자와 대중이 필요로 하는 기상관련 정보를 인터넷으로 적시에, 상세하고, 적절하게 제공함. 이 프로그램은 첨단화된 기상예측시스템을 ITS와 결합하여, FHWA에서 부분적으로 재정을 지원하는 다주적(multis-states)인 프로그램이다. 이 프로그램은 지방 ITS 프로그램(Rural ITS Program)의 일환으로 FHWA에 의해 설계되었다⁷⁾. 프로그램에는 Iowa, Wisconsin, Missouri 주의 교통부가 참여함. 개별 섹터 파트너인 Castle Rock Service가 개발하였으며, 현재 Mississippi Valley 지역의 상류부에서 시스템을 운영하고 있다.

일본의 경우 AHS(Advanced Cruise-Assist Highway Systems, 주행지원도로 시스템)을 이용하여 도로와 차량의 상호관계에 중점을 두고 주행지원을 하고 있다. 또한, 북해도에서는 1999년부터 한지토목연구소의 한지도로연구그룹이 웹사이트 (北の道ナビ)를 운영해, 2003년부터 삿뽀로권 눈보라의 광역정보제공실험을 실시하였다.

Table 1. Index Description

구 분	Radiation fog (복사안개)	Advection fog (이류안개)
Average droplet diameter(μm)	10	20
Typical droplet range(μm)	5~35	7~65
Liquid water content(mg/m ³)	110	170
Droplet concentration(/cm ³)	200	40
Vertical fog depth(m)		
typical	100	200
severe	300	600
Horizontal visibility(m)	100	300
Spatial extent	Localized, patchy	Widespread

$$I_p = f(d_w, t_p, s_p, e_p)$$

- I_p : 주어진 지역 p에 대한 수치지수
- d_w : 위치 p의 수원에서부터의 거리와 공간적 범위
- t_p : 언덕, 골짜기 등의 형태, 현장 저수지의 크기와 현장 한대기류의 수용지역 여부 등과 같은 변수들을 통합한 지점 p의 지역 지형함수
- s_p : 도로형태(절단, 교량, 제방)와 도로의 방위를 표현하는 지점 p의 도로 현장지형의 함수
- e_p : 인공습기 근원과 같은 어떤 환경적 특성의 일반적인 표현을 통합한 것

영국의 경우 안개지수 이론(복사안개에 영향을 미치는 중요한 변수들에 대한 연구)은 짙은 복사안개의 공간 변이를 예측하여 정의하였다. 안개지수 I_p 는 0~100사이의 값을 갖는 수치적 지수로서, 주어진 위치 P에서의 짙은 복사안개에 대한 발생가능성을 의미한다⁸⁾.

2.2. 기존 연구와의 차별성

기존 도로를 상대로 안개 발생 예측에 관한 연구가 교통안전측면에서 미흡한 상태이다. 본 연구에서는 과거 고속도로 안개발생 데이터를 활용하여 도로구간 지역특성에 따른 안개 발생 예측모형을 개발하며 이는 안개 잦은 구간 선정 및 향후 신설노선 안개관리 대책 수립시 안개위험도를 판단할 수 있다. 도로상의 안개 발생시 위험시정으로 나타나고 있는 시정거리 250 m 이하의 안개 발생을 예측하며 지역 특성을 반영하였다.

3. 자료의 구축 및 분석방법론 정립

3.1. 모형 개발을 위한 자료 수집 방법

모형 개발을 위한 절차로 기존 고속도로에 발생한 안개발생현황자료와 자료에 나타난 안개발생구간의 지역특성 자료를 수집하였다. 이를 통해 Fig. 3과 같이 수원에서 발생한 안개가 도로에 미치는

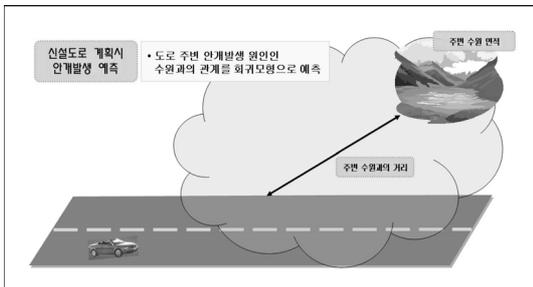


Fig. 3. Diagram of fog occurrence at Expressway.

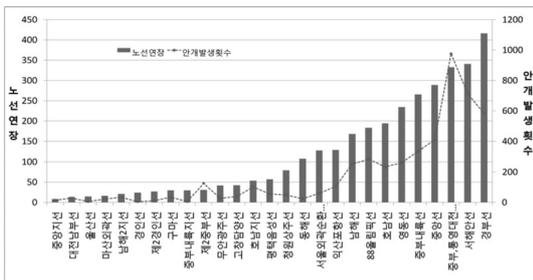


Fig. 4. Highway Route fog occurrence(2006~2008).

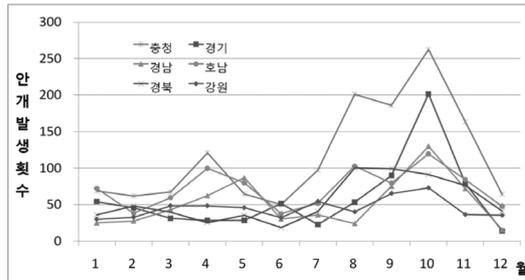


Fig. 5. Regional monthly fog occurrence(2006~2008).

관계를 규명하며 회귀분석을 통해 안개빈도 추정모형을 구축하였다.

지역별 월별 안개발생횟수를 분석한 결과 3~5월과 9~11월 사이에 안개가 집중적으로 발생하는 것을 볼 수 있으며, 충청지역이 타 지역보다 안개발생횟수가 많은 것으로 나타났다.

예측모형개발을 위해 종속변수로 안개발생횟수를 이용하였으며 독립변수로 도로주변의 수원관련 변수, 지역 및 지형관련 변수를 수집하였다. 모형은 내륙지역 모형과 해안지역모형, 통합모형으로 세분화하여 개발하며 내륙지역은 임실, 진주, 원주 등이며 해안지역은 인천, 부산, 군산 등으로 구분할 수 있다.



Fig. 6. Classification into coastal and inland regions.

Table 2. Characteristics of regional fog

구분	지역	특징
제 I지역 (내륙지역) (북사부)	임실, 진주, 순천, 양평, 중주, 춘천, 추풍령, 대구, 광주, 청주, 원주, 거창, 의성, 홍천, 합천, 부여	<ul style="list-style-type: none"> 연간 안개 현상일수는 평균 45.2일 가을철에 약 45%정도의 안개가 집중되어 발생함 연간 평균 지속시간은 4.3시간 안개발생시간은 새벽 1~6시 반 사이에 집중적으로 발생 안개소산시간은 7~10시 반 사이에 집중적으로 소산
제 II지역 (대관령) (활승부)	대관령	<ul style="list-style-type: none"> 연간 안개일수가 120.7일 여름철에 약 41%정도의 안개가 집중되어 발생함 연간 평균지속시간은 9.1시간 안개발생시간은 새벽 5~5시 반 사이에 가장 빈도가 높음 소산시간은 7~8시 반 사이에 집중되어 소산
제 III지역 (서해안 지역) (북사부, 이류부)	인천, 전주, 서울, 수원, 군산, 목포, 서산, 대전	<ul style="list-style-type: none"> 연간 안개일수가 26.2일 여름철에 약 29%, 봄과 가을철에는 약 27%의 안개가 발생함 연간 평균지속시간은 4시간 안개발생시간은 새벽 4~8시 반 사이에 가장 빈도가 높음 소산시간은 7~9시 반 사이에 집중되어 발생함
제 IV지역 (남·동해안 지역) (이류부)	제주, 울릉도, 여수, 부산, 울산, 서귀포, 통영, 완도, 포항, 울진, 강릉, 속초	<ul style="list-style-type: none"> 연간 안개일수가 18.5일 여름철에 약 64%정도의 안개가 집중발생 연간 평균지속시간은 4.3시간 안개발생시간은 전 시간대에 걸쳐 고루 나타남 소산시간은 일출후 3시간 사이에 다소 집중되지만 대체로 전 시간대에 골고루 분포되어 발생함

안개발생 지역 구분은 지역별 안개 특성을 분석하여 정립하였다. 주변 지형과 수원등의 영향으로 지역에 따라 안개의 지속시간, 시정거리, 안개의 종류가 다름을 확인할 수 있었다.

3.2. 기초 데이터 분석

모형개발을 위한 데이터 수집방법 및 표시방법은 Table 3과 같으며 지역 및 지형변수는 더미변수로 활용하였다. 총 78개의 데이터를 구축하였으며

Table 3. Variable Description

Variables		수집방법 및 분석을 위한 표시방법
종속 변수	안개 발생횟수	고속도로 안개발생횟수 (표시방법 : 회/년)
독립 변수	수원과의 거리	고속도로와 주변 수원과의 평균거리(표시방법 : km)
	수원 면적	고속도로 주변 수원의 면적 (표시방법 : km ²)
	지역	고속도로가 위치한 지역 (표시방법 : 해안(1), 내륙(0))
	지형	고속도로가 위치한 지형 (표시방법 : 산악·분지(1), 평지(0))

Table 4. Basic statistical analysis

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
안개발생일수	1.00	67.00	14.2436	11.47916
수원거리	0.10	2.80	0.7696	0.74009
수원면적	0.00	3.43	0.8168	0.89823
지형	0.00	1.00	0.7179	0.45291
지역	0.00	1.00	0.4103	0.49506

해안지역 데이터는 32개, 내륙지역 데이터는 46개로 구분하였다. 기초통계량 분석은 Table 3과 같다. 주변 수원으로 인해 고속도로에 발생한 안개발생 회수는 평균 14.2회/년으로 최대 67회가 발생한 것으로 나타났으며 표준편차 11.47로 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 수원과의 거리 및 면적은 인터넷 항공사진을 활용하여 측정이 가능하였다. 서해대교와 같은 바다를 관통하거나 바다와 바로 인접한 도로의 경우 바다면적 계산이 불가능 하여 분석 데이터에서 제외하였다. 개발한 모형은 바다를 관통하는 도로에는 적용할 수 없다.

안개발생횟수와 영향요인과의 상관관계분석결과 수원과의 거리는 음(-)의 관계로 수원과 도로와의 거리가 짧을수록 발생발생회수를 증가시키는 요인으로 작용함을 알 수 있다. 또한 수원면적은 양(+)의 관계로 수원의 면적이 넓을수록 도로에 안개발생을 증가시키는 요인으로 판단할 수 있다. 이는 안개의 생성 및 영향을 미치는 범위에 대해 모형 개발 전 파악할 수 있는 중요 요인이다.

Table 5. Correlation analysis

Correlations Pearson		안개발생횟수
안개발생 횟수	Pearson Correlation	1
	Sig. (2-tailed)	-
	N	78
수원과의 거리	Pearson Correlation	-.503(**)
	Sig. (2-tailed)	0.000
	N	78
수원면적	Pearson Correlation	.449(**)
	Sig. (2-tailed)	0.000
	N	78
지형	Pearson Correlation	.248(*)
	Sig. (2-tailed)	0.028
	N	78
지역	Correlation	-0.153
	Sig. (2-tailed)	0.182
	N	78

4. 안개 예측 모형 개발

4.1. 지역 통합 모형 개발

전체 78개 자료를 이용하여 해안지역과 내륙지역 전체의 안개발생예측모형을 개발하였다 모형 유의성 검증에서 결정계수는 0.487로 나타났으며 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 유의한 것으로 나타났다.

모형개발결과 고속도로에 영향을 미치는 안개발생횟수는 수원면적과 수원과의 거리 변수가 채택되었으며 지형 및 지역변수는 채택되지 않았다.

Table 6. Model adequacy

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.822(a)	0.687	0.681	9.10304

Table 7. Variance analysis result

ANOVA(b)						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,931.478	2	1,965.739	23.722	.000(a)
	Residual	6,214.893	75	82.865		
	Total	10,146.372	77			

Table 8. Development of a fog forecasting model

Coefficients(a)								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			B	Std. Error
1	(Constant)	15.584	1.883		8.275	0.000		
	수원거리	-6.794	1.423	-0.438	-4.772	0.000	0.970	1.031
	수원면적	4.760	1.173	0.373	4.059	0.000	0.970	1.031

4.2. 해안지역 모형 개발

고속도로가 해안지역에 위치한 경우 해무 및 이류무의 영향으로 해안 주변 고속도로에 안개가 발생할 가능성이 높으며 내륙지역으로 이동하여 농도가 강한 활승안개로 변하는 특성이 있다. 해안지역 안개발생 예측 모형은 결정계수 0.542로 나타났으며 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 유의한 것으로 나타났다.

Table 9. Model adequacy(coastal regions)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.748(a)	0.713	0.711	6.95510

Table 10. Variance analysis result(coastal regions)

ANOVA(b)						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1,719.765	3	573.255	11.851	.000(a)
	Residual	1,354.454	28	48.373		
	Total	3,074.219	31			

Table 11. Development of a fog forecasting model(coastal regions)

Coefficients(a)								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			B	Std. Error
1	(Constant)	14.582	2.902		5.024	0.000		
	수원거리	-5.309	1.570	-0.448	-3.382	0.002	0.895	1.117
	수원면적	4.627	1.303	0.485	3.551	0.001	0.844	1.185
	지형	-2.593	2.587	-0.130	-1.002	0.325	0.936	1.068

4.3. 내륙지역 모형 개발

내륙지역에 위치한 고속도로의 경우 주변 하천 및 강, 저수지 등의 수원으로부터 직접적인 안개영향을 받으며 서해안 및 포항지역을 제외하고 대부분의 지역이 해안지역보다 안개의 강도가 높은 것으로 나타나고 있다. 내륙지역에는 주로 복사무 형태의 안개가 발생하며 지형특성으로 산지(산악지, 분지)에 위치한 경우 안개발생의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다

모형 개발 결과 수원거리 및 면적, 지형요인이 안개발생과 관련되어 있는 것으로 나타났으며 해안지역과 다르게 산지, 분지의 경우가 안개발생에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 이는 안개가 산지에서 발생할 경우 산능선을 타고 올라가면서 입자가 커지고, 짙은 안개로 변하는 특성이 반영된 것으로 볼 수 있다.

내륙지역 안개발생 예측 모형은 결정계수 0.542로 나타났으며 분산분석결과 신뢰수준 95%에서 유의한 것으로 나타났다.

Table 10. Model adequacy(inland regions)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.818(a)	0.759	0.703	10.03084

Table 12. Variance analysis result(inland regions)

ANOVA(b)						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,609.797	3	869.932	8.646	.000(a)
	Residual	4,225.942	42	100.618		
	Total	6,835.739	45			

Table 13. Development of a fog forecasting model(inland regions)

Coefficients(a)								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			B	Std. Error
1	(Constant)	9.579	4.091		2.341	0.024		
	수원거리	-6.544	2.623	-0.313	-2.495	0.017	0.934	1.071
	수원면적	5.429	2.038	0.335	2.664	0.011	0.933	1.072
	지형	7.686	3.890	0.250	1.976	0.050	0.919	1.089

해안지역 고속도로의 안개발생 예측모형에서는 지역통합모형과 달리 수원거리 및 수원면적 외 지형요인이 안개발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

예측모형의 검증을 위해 활용한 데이터로 MPB (Mean Prediction Bias), MAD(Mean Absolute Deviation) 분석을 수행하였다. 분석결과 약 20% 수준의 과소 추정이 나타남을 확인하였다.

Table 14. Development of a fog forecasting model(3-Types)

구분	안개예측모형식
지역통합 안개발생 예측모형	$Y = 15.584 - 6.794(X_1) + 4.760(X_2), R^2 = 0.687$ 여기서 Y: 안개발생횟수(회/년) X_1 : 수원거리(km) X_2 : 수원면적(km ²)
해안지역 안개발생 예측모형	$Y = 14.582 - 5.309(X_1) + 4.627(X_2) - 2.593(X_3), R^2 = 0.713$ 여기서 Y: 안개발생횟수(회/년) X_1 : 수원거리(km) X_2 : 수원면적(km ²) X_3 : 지형(0:평지, 1:산지)
내륙지역 안개발생 예측모형	$Y = 9.579 - 6.544(X_1) + 5.429(X_2) - 7.686(X_3), R^2 = 0.759$ 여기서 Y: 안개발생횟수(회/년) X_1 : 수원거리(km) X_2 : 수원면적(km ²) X_3 : 지형(0:평지, 1:산지)

Table 15. MPB, MAD output

구분	통합지역	해안지역	내륙지역
MPB	3.321	-3.145	-2.361
MAD	4.853	4.859	4.990

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n}$$

Y_i : 모델을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모델에 의한 결과값

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

Y_i : 모델을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모델에 의한 결과값

지형을 평지와 산지, 분지로 구분시 평지에 위치한 도로에서 안개발생횟수가 더 높게 나타나는 것으로 예측되며 이는 도로 주변 해안에서 발생한 안개(해무)가 이동해오면서 직접 도로에 영향을 주는 경우로 알려져 있는 것과 같은 의미로 판단할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 과거 고속도로 안개발생 데이터를 활용하여 도로구간 지역특성에 따른 안개 발생 예측모형을 개발하며 이는 안개 잦은 구간 선정 및 향후 신설노선 안개관리 대책 수립시 안개위험도를 판단하는데 목적이 있다.

고속도로 안개발생에 따른 교통사고 위험은 타 기상상태에 비해 매우 심각한 것으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 고속도로 안개발생에 대한 종합 대책 차원에서 사전 안개발생을 예측할 수 있도록 안개발생 예측모형을 개발하였다. 지역통합모형, 해안지역모형, 내륙지역모형으로 세분화하였으며 이를 활용하여 신설노선 및 안개대책 수립시 안개위험을 평가할 수 있다. 즉, 지역적 특성에 따라 안개발생의 차이가 나타남을 착안하였다.

모형 개발 결과 결정계수는 0.6~0.7 수준으로 높게 나타나지는 않았으나 안개빈도를 예측할 수 있

는 연구로 의의를 둘 수 있다. 기존 안개 발생현황 자료를 활용하였으나 안개는 습도 및 기온차 등의 영향을 직접적으로 받는 것으로 기상변수를 보완하여 지속적으로 모형을 보완할 필요성이 있다.

또한 본 모형은 고속도로 주변 수원이 위치한 경우를 대상으로 분석하여 도로를 통과하는 수원 등 다양한 공간 형태에 적용할 수 없는 한계점이 있다. 이와 함께 안개발생구간의 발생시간대 및 안개의 농도, 시정거리 등의 자료를 구축하여 모형에 반영해야 한다. 따라서 향후 고속도로가 위치한 다양한 공간 형태와 기상자료를 보완한 연구가 이루어 져야 한다. 향후 연구과제로 안개의 유형구분에 따른 다양한 분석 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1) 민경덕, “경부고속도로상의 안개 구역에서의 안개 발생에 관한 연구”, 한국기상학회지, 제12권, 제1호, pp. 13~24. 1976.
- 2) 성학중, “김포공항의 안개예보에 관한 연구”, 기상연구소, 1988.
- 3) 허인혜, “한국의 지역별 안개 특성”, 건국대학교 석사학위 논문, 1997.
- 4) 안중배 외 3인, “한반도 안개 특성 연구”, 기상청, 2002.
- 5) 교통사고 통계분석, 도로교통공단, 2008.
- 6) Highway Meteorology, ‘The Fog Hazard’, E & FN Spon, London, England, 1991.
- 7) I-526 Cooper River Bridge Surveillance and Response Plan, South Carolina Department of Highways and Public Transportation, June, 1992.
- 8) A Highway Accident Report on Multiple-Vehicle Collisions During Limited Visibility (FOG) on Interstate 75 Near Calhoun, Tennessee, December 11, 1990, National Transportation Safety Board, Washington, D.C., 1992.