

도로기상정보시스템(RWIS)과 차량검지기(VDS) 자료를 이용한 강우수준별 통행속도에측

Prediction of Speed by Rain Intensity using Road Weather Information System and Vehicle Detection System data

정은비* 오철** 홍성민***
(Eunbi Jeong) (Cheol Oh) (Sungmin Hong)

요약

지능형교통체계(ITS: Intelligent Transportation System)의 발전은 과거에 비해 보다 신뢰성 있고 폭넓은 교통자료 및 기상자료 등의 취득을 가능하도록 하였다. 이러한 첨단 시스템의 발전에 따라 수집된 자료를 이용하여 교통상황과 기상상황에 대한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 도로 기상정보 시스템(RWIS: Road Weather Information System)자료와 검지기 자료를 이용하여 강우량에 따른 속도 감소 패턴을 분석하고, 강우량에 따른 속도감소량 산출 결과를 통해 강우수준을 분류하는 기준을 제시하였다. 인공신경망을 이용하여 강우수준별 통행속도를 예측하였으며, 예측 결과를 비교하여 강우수준별 통행속도 예측 특성을 분석하였다. 분석결과, 강우수준 분류 기준은 0.4mm/5min, 0.8mm/5min으로 나타났으며, 강우수준별 속도와 교통량에 대한 분산분석 결과 강우수준별로 차이를 보이는 것으로 나타났다. 인공신경망을 통한 5분 단위의 통행속도 예측결과, 비강우인 경우에는 과거 5개 자료, 즉, 25분 동안의 속도자료를 사용하여 분석하는 것이 예측력이 높게 나타났으며, 강우가 발생하는 경우에는 과거 2~3개 자료, 즉, 10~15분 동안의 속도자료를 사용하는 것이 예측력이 높게 나타났다. 본 연구에서는 기상조건에 관계없이 신뢰성 있는 교통정보를 제공하기 위한 통행시간 예측 방법론을 제시함으로써 통행시간 정보 등의 교통정보 제공 시 보다 정확한 정보를 제공하여 교통상황 예측정보의 신뢰도 향상 및 교통상황 예측정보의 활용도를 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 도로 기상정보 수집시스템, 검지기, 강우수준, 교통예측, 인공신경망

Abstract

Intelligent transportation systems allow us to have valuable opportunities for collecting reliable wide-area coverage traffic and weather data. Significant efforts have been made in many countries to apply these data. This study identifies the critical points for classifying rain intensity by analyzing the relationship between rainfall and the amount of speed reduction. Then, traffic prediction performance by rain intensity level is evaluated using relative errors. The results show that critical points are 0.4mm/5min and 0.8mm/5min for classifying rain intensity (slight, moderate, and heavy rain). The best prediction performance is observable when previous five-block speed data is used as inputs under normal weather conditions. On the other hand, previous two or three-block speed data is used as inputs under rainy weather conditions. The outcomes of this study support the development of more reliable traffic information for providing advanced traffic information service.

Key words : road weather information system (RWIS), vehicle detection system (VDS), rain intensity, traffic prediction, artificial neural network (ANN)

† 본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다(12교통체계-지능01).

* 주저자 : 한양대학교 교통공학과 박사과정

** 공저자 및 교신저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 교수

*** 공저자 : 한양대학교 교통공학과 석사졸업

† 논문접수일 : 2013년 04월 22일

† 논문심사일 : 2013년 06월 11일

† 게재확정일 : 2013년 06월 20일

I. 서론

지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport System)의 발전은 과거에 비해 보다 신뢰성 있고 폭넓은 교통자료의 취득 및 수집된 교통자료를 가공·분석하여 이용자에게 신속하고 정확한 정보제공을 가능하도록 하였다. 또한 교통자료뿐만 아니라, 도로 기상정보 시스템(RWIS: Road Weather Information System)을 통해 강우유무, 강수량 등의 기상정보와 도로상의 대기 및 도로면 상태에 대한 실시간 정보를 수집할 수 있는 환경이 제공되고 있다. 이러한 첨단 시스템의 발전에 따라 수집된 자료를 이용하여 교통상황과 기상상황에 대한 다양한 연구가 수행 중이다.

기존 기상청에서 수집된 기상자료를 이용한 분석이 아닌, 도로변에서 수집된 RWIS 자료를 이용하여 교통상황과 기상상황의 관계 분석 및 검지기로부터 수집된 교통자료를 이용한 교통상황 예측 연구는 이미 활발히 진행되고 있다. 그러나 기상상황에 따른 교통상황 예측에 관련된 연구는 부족한 실정이다. 강우수준에 따라 교통특성이 변화하게 되면 교통예측 정보 생성시 교통특성에 적합한 교통예측 정보를 생성해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 RWIS자료와 검지기 자료를 이용하여 강우시 강수량에 따른 교통특성 분석을 통해 강우수준을 분류하고, 강우수준별 교통예측 특성을 분석하고자 한다.

본 연구에서는 강우수준별 교통예측 특성 분석을 위해 2012년 서울-춘천고속도로 검지기자료와 RWIS자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 강우에 대한 분석을 위해 분석기간은 2012년 4월부터 10월로 설정하였으며, 분석범위는 RWIS가 설치되어 있는 서울-춘천고속도로의 서중대교 부근으로 설정하였다. 본 연구는 강수량에 따른 교통특성분석과 강우수준별 교통예측 특성분석, 두 부분으로 구성된다. 분석기간에 강우가 발생한 경우 강우일로, 맑은 날은 비강우일로 분류하여 강우시 속도와 비강우시 속도를 비교하여 강수량에 따른 속도 감소량을 산출하고, 교통특성을 분석한다. 또한 강우량에 따른

속도감소량 산출 결과를 통해 강우수준을 분류하는 임계값을 설정하여 강우수준별 교통예측 특성분석의 기준으로 활용한다. 강우수준별 교통예측 특성분석 부분에서는 인공신경망(ANN: Artificial Neural Network)기법을 이용하여 속도를 예측함으로써 강우수준에 따른 교통예측 특성을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기상조건과 교통조건의 관계 및 교통예측 관련 기존문헌을 고찰하였고, 3장에서는 연구방법론에 대하여 소개하였다. 4장에서는 강우수준에 따른 교통특성 분석 과정 및 결과를 제시하였으며, 5장에서는 강우수준별 교통특성 분석을 수행하고, 6장에서 결론을 제시하였다.

II. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 기상조건과 교통조건의 관계 관련 연구와 통행시간 및 속도 등의 교통예측 관련 기존문헌을 고찰하였다.

1. 기상과 교통상황 관련

Hassan and Barker(1999)는 이상기온이나 폭우시 교통량이 평일에는 3%, 주말에는 4% 감소하며, 강설시에는 평일에는 10%, 주말에는 15% 감소한다고 제시하였다[1]. Agarwal et al.(2005)은 Twin cities 주변의 도시고속도로를 대상으로 비, 눈, 도로 노면 등의 변화에 따른 도로용량과 속도감소 정도를 추정하였다[2]. Detla et al.(2007)은 기상조건과 교통량의 관계를 분석하기 위해 캐나다의 Alberta에 있는 고속도로를 중심으로 약 350개 지점에서 교통자료와 기상자료를 수집하였다. 분석결과, 여가 목적 도로에서 강설량이 많고 기온이 낮을수록 교통량이 감소하는 것으로 나타났다[3]. Shim and Choi(2009)는 서해대교의 RWIS (Road Weather Information System)와 검지기 자료를 활용하여 다양한 기상요인의 영향 정도에 따른 속도변화를 분석하였으며, 분석결과, 교통상황에 영향을 주는 기상요인은 날씨, 온도, 시정거리로 나타났다[4]. Yang et al.(2009)은 교통시스템

의 내부요소인 도로기하구조와 외부요소인 눈, 비, 안개 등의 기상조건에 의한 운전자의 행태를 분석하기 위해 도로기하구조 조건과 기상상황이 운전자 행태에 미치는 영향에 대한 문헌을 고찰하였다[5]. Baek et al.(2010)은 강설조건이 기종점간 통행특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 10년간 기상자료와 TCS 통행량 자료를 이용하여 강설일과 비강설일의 차종별 일 통행량, 평균통행거리를 비교·분석하였으며, 강설수준별 통행량 관계를 제시하였다[6]. Shi et al.(2011)은 회귀분석을 통하여 강우량과 도로환경요소에 대한 도시부 고속도로 자유속도의 변화에 대하여 분석하였다. 분석결과, 자유속도는 강우량 0.01in/hr미만, 0.01~0.03in/hr, 0.03in/hr 이상에서 각각 3.7%, 4.2%, 4.8% 감소하는 것으로 나타났다[7].

2. 교통예측 및 예보 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[8]. 또한 미국, 영국에서는 교통패턴 데이터베이스를 구축하여 운영하고 있다[9-10]. 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. Huisken et al.(2003)은 로테르담 내의 고속도로에서 수집한 검지기자료를 신경망 알고리즘을 적용하여 통행시간을 예측하고, 기존 알고리즘과 비교하여 신경망 알고리즘의 우수성을 입증하

였다[11]. Chein et al.(2003)은 뉴저지의 실시간 검지기자료를 통하여 수집한 통행시간 자료에 칼만필터링을 적용하여 예측한 통행시간을 CORSIM을 통하여 산출한 통행시간 자료와 비교하여 정확도를 평가하였다[12]. Oh et al.(2003)은 차량검지기 데이터를 이용하여 통행시간 추정 및 예측에 관한 수집기법 및 추정 예측기법의 고찰을 통해 고속도로 환경에 적합한 통행시간 추정 및 예측 모형을 개발하였다. 연구결과, 차량의 속도가 70kph 이상에서는 속도자료를 통한 통행시간 산출방식을 적용하고, 혼잡시에는 교통량을 이용한 추정모형에 의한 통행시간 산출 방식을 병용하는 것이 타당하다고 주장하였다[13]. Lee et al.(2004)은 칼만필터링 예측모형을 통해 최적경로 제공 및 통행시간 예측 모형을 개발하였다[14]. Vanajakshi(2004)는 SVM (Support Vector Machine)을 이용한 예측 통행시간과 실시간 데이터와 과거 통행시간 패턴자료를 이용한 예측 통행시간을 비교하였다[15]. Jang et al.(2011)은 경로기반 확률론적 변동부등식을 이용하여 돌발상황 발생시 예측통행시간을 생성하였으며, 운전자 경로전환의사 반영을 위해 경로전환함수를 적용하였다[16].

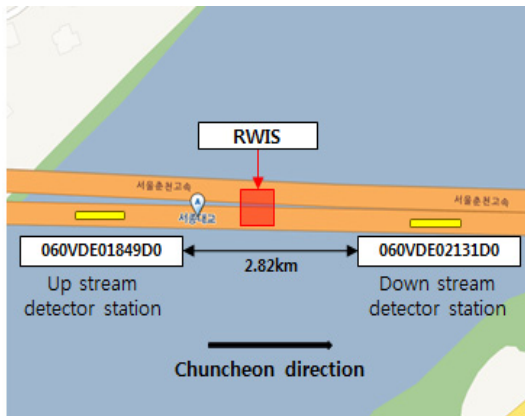
3. 기존 연구와의 차별성

기존 연구에서 기상조건과 교통조건과의 관계 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 기상조건에 따른 교통특성을 이용하여 교통정보를 제공하고 있는 사례는 부족하다. 또한 통행시간과 같은 교통정보 예측에 관한 연구도 활발히 진행 중이지만, 대부분 다양한 예측기법의 성능평가 연구에만 초점이 맞추어져 있으며, 강우수준에 따른 통행속도 예측에 대한 내용은 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 RWIS 자료와 검지기자료를 이용하여 기상조건에 따른 교통특성을 분석하여 강우수준을 분류하는 객관적인 기준을 제시하고, 그 결과를 통해 강우수준별 통행속도를 예측하고, 통행속도 예측 특성을 분석함으로써 다양한 기상조건에 따른 신뢰성 있는 교통상황 예측정보를 제공하기 위한 기반을 마련한다는데 기존 연구와 차별성을 가진다.

Ⅲ. 자료수집 및 분석방법론

1. 분석범위

본 연구에서는 강우수준에 따른 교통특성 및 교통예측 특성 분석을 위해 2012년 서울-춘천 고속도로의 검지기자료와 RWIS자료를 이용하였다. 강우에 대한 분석을 위해 분석기간은 4~10월로 설정하였으며, 분석구간은 RWIS가 설치되어 있는 서중대교로 설정하였다. <그림 1>에 분석구간의 검지기와 RWIS정보를 제시하였으며, <표 1>에 분석구간에 대한 기본정보를 제시하였다.



<그림 1> 분석구간
<Fig. 1> Study area

<표 1> 분석구간정보
<Table 1> Information of study area

		Contents
Characteristics of study	Station	sta. 18.49~21.31
	# of lane	2 (one-way)
	volume	35,212 veh/day
	Level of service	B
Characteristics of data	Weather (RWIS)	Rainfall, rain intensity, temperature, humidity, visibility etc. (10-minute)
	Traffic (VDS)	Volume, speed, occupancy (30-second)
	Aggregate interval	5-minute

2. 자료수집 및 가공

본 연구에서 사용한 RWIS 자료는 10분 단위로 기온, 습도, 풍속, 풍향 등의 기본 기상정보, 강우상태, 강우강도 등의 강우정보, 노면온도, 노면상태 등의 도로정보, 시거 등이 포함되어 있다. 검지기는 RWIS와 가장 가까운 상·하류부 검지기를 이용하였으며, 30초 단위의 차로별 속도, 교통량 등의 교통정보가 수집된다.

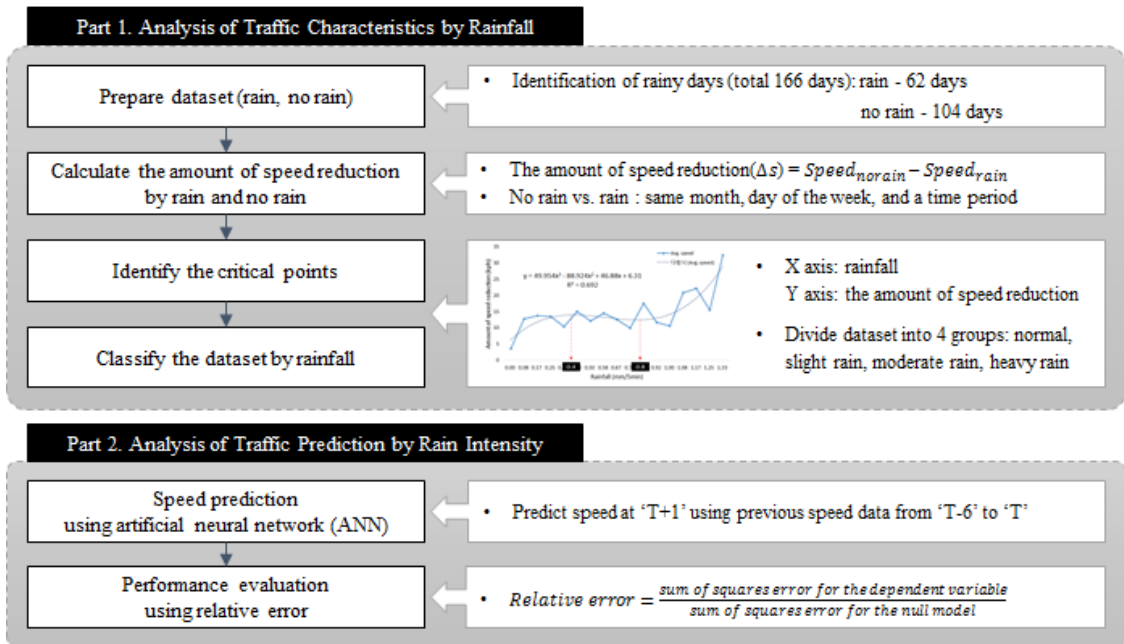
강우수준에 따른 교통특성 분석을 위해서는 동일시간 동일위치 자료에 대한 자료의 매칭이 필요하다. 기상자료와 교통자료의 집계간격이 각각 10분, 30초로 다르기 때문에 동일한 집계간격으로 두 개의 자료를 매칭해야 한다. 본 연구에서는 5분단위로 자료를 매칭하였으며, 30초 단위의 검지기 자료는 5분 단위의 자료로 집계하고, 10분 단위의 기상자료는 기상상황이 5분 단위로 같다는 가정 하에 5분 단위로 나누어 분석을 위한 자료를 구축하였다.

3. 분석방법론

본 연구는 강우량에 따른 속도 및 교통량 변화 분석을 통한 강우량에 따른 교통특성분석 부분과 인공지능망을 통해 강우수준별 속도를 예측하여 교통특성을 분석하는 강우수준별 교통예측 특성분석 부분으로 구성된다.

강우량에 따른 교통특성 변화를 분석하기 위해 결측치, 사고 및 공사발생 데이터를 제외한 166일의 기상자료를 이용하여 강우일과 비강우일을 분류하였다. 분류결과, 강우일은 62일, 비강우일은 104일로 나타났다. 강우량에 따른 속도변화량을 산출하기 위해 강우일과 비강우일의 속도차이를 계산하였다. 강우일과 동일한 월, 요일, 시간대의 비강우일 속도자료를 비교하여 속도변화량을 산출하였다. 산출된 강우량에 따른 속도변화량의 변곡점을 찾아 강우수준 분류 기준으로 설정하였으며, 강우수준은 맑음(normal), 약한비(slight rain), 중간비(moderate rain), 강한비(heavy rain)로 분류하였다.

앞서 설정한 강우수준으로 자료를 분류하여 강



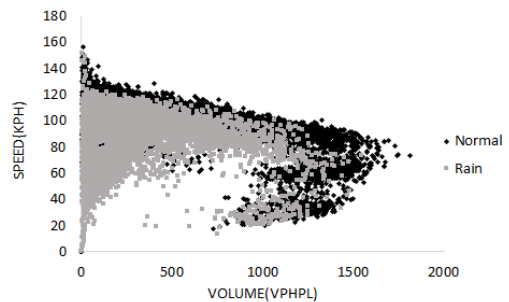
〈그림 2〉 연구흐름도
 〈Fig. 2〉 Framework of study

우수준에 따른 교통예측 특성분석을 수행하였다. 본 연구에서는 시계열자료 예측시 사용되는 인공신경망 방법론을 이용하여 5분 단위 통행속도를 예측하였으며, 상대오차(relative error)를 통해 예측 정확도를 계량화하여 통행속도 예측 특성을 분석하였다. 상대오차란 통행속도 예측시 예측을 위한 독립변수를 적용하지 않은 초기모델(null model)과, 예측을 위한 독립변수, 즉, 이전 time step의 통행속도를 적용한 모형에 대한 오차제곱합의 비율을 의미한다. 상대오차는 값이 작을수록 예측력이 높은 것을 의미한다. <그림 2>에 연구의 흐름도를 제시하였다.

IV. 강우수준에 따른 교통특성분석

1. 강우유무에 따른 교통류 특성분석

강우일 속도자료와 비강우일의 속도자료 비교를 통해 강우유무에 따른 교통류 특성을 거시적으로 분석하였다. 분석결과, 강우가 발생하면 전체적으로 자유속도 및 최대 통과교통량이 감소하는 것으로



〈그림 3〉 강우 유무에 따른 속도-교통량 곡선
 〈Fig. 3〉 Speed-volume curve

나타났으며, <그림 3>에 강우 유무에 따른 속도-교통량 곡선을 제시하였다.

강우 유무에 따른 속도와 교통량의 차이를 비교하기 위해 T검정을 수행하였다. <표 2>에 강우 유무에 따른 속도 및 교통량의 기술통계량과 T검정 결과를 제시하였다. T검정 결과, 속도와 교통량의 유의확률이 모두 0.000으로 나타나 기상유무에 따른 속도와 교통량의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하여, 기상에 따른 속도 및 교통량의 평균은 95% 신뢰수준으로 다르게 나타났다.

〈표 2〉 기술통계량 및 T검정 결과
 〈Table 2〉 Description and the results of T-test

Description						
		N	Mean	Std.	S.E.	
Speed	Normal	23652	100.5	13.4	0.087	
	Rain	23652	87.6	19.0	0.123	
Volume	Normal	23652	422.5	341.0	2.218	
	Rain	23652	329.2	269.1	1.750	
T-test						
		t	D.F.	P-value	D.M.	S.E.
Speed		84.9	42569	0.000	12.8	0.151
Volume		33.0	44875	0.000	93.3	2.825

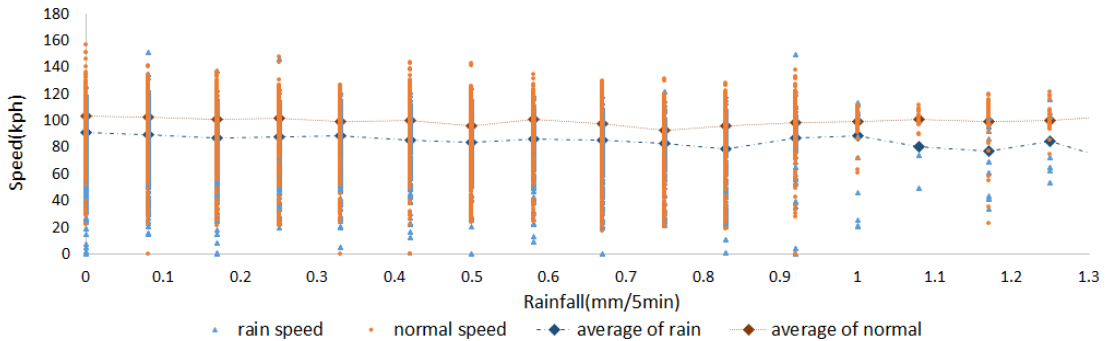
*S.E.: Standard error
 D.F.: Degree of freedom
 D.M.: Difference in mean

2. 강우량에 따른 속도변화 특성분석

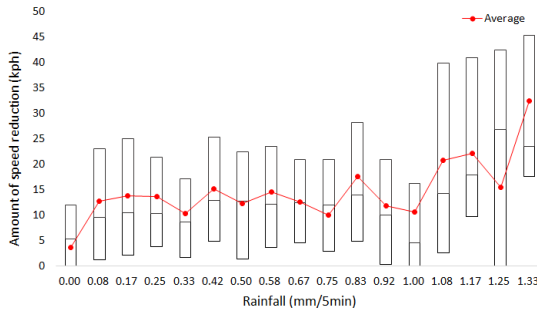
본 연구에서는 강우수준에 따른 교통예측 특성 분석을 목표로 하고 있기 때문에, 통행시간 예측에 필요한 속도자료를 이용하여 강우량에 따른 속도의

변화를 분석하였다. 강우량에 따른 속도변화의 특성을 분석하기 위해 강우일과 동일한 월, 요일, 시간대의 비강우일 속도자료를 비교·분석 하였으며, <그림 4>에 강우량에 따른 강우와 비강우 속도패턴을 제시하였다. <그림 4>에 따르면, 강우가 발생한 경우 그렇지 않은 경우보다 전체적으로 속도가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

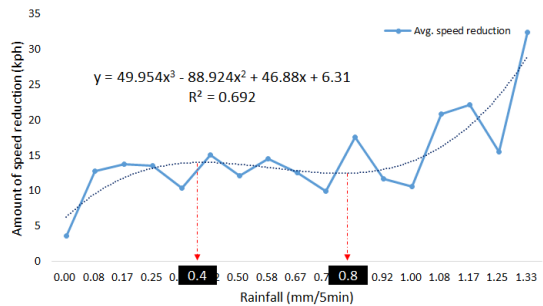
이때, 강우량이 증가할수록 속도 감소량이 증가하는 것으로 나타났으며, 강우량에 따른 속도감소량 산출 결과를 <그림 5>에 제시하였다. 강우량이 증가하면 로그함수의 형태로 일정 수준까지 속도감소량이 증가하다가 일정 수준이 되면 속도감소량의 변화가 일정해진다. 그 후 강우량이 어느 수준 이상이 되면 거듭제곱의 형태로 속도감소량이 증가하는 형태를 보인다. 본 연구에서는 이러한 강우량에 따른 속도감소량의 변화 특성을 이용하여 강우수준을 분류하였으며, 강우수준을 분류하기 위해 강우량에



〈그림 4〉 강우량에 따른 속도패턴
 〈Fig. 4〉 Speed pattern by rainfall



(a) 강우량에 따른 속도감소량
 〈그림 5〉 강우량에 따른 속도감소량 특성



(b) 강우량에 따른 속도감소량 곡선추정

〈Fig. 5〉 Characteristics of the amount of speed reduction by rainfall

따른 속도감소량을 3차 다항식으로 추정하였다. 강우량에 따른 속도감소량 추정식은 식 (1)과 같다.

$$\Delta S = 49.95R^3 - 88.92R^2 + 46.88R + 6.31 \quad \text{식 (1)}$$

* ΔS : 속도감소량, R : 강우량

식 (1)의 다항식에서 변곡점을 기준으로 강우수준을 분류하였으며, 변곡점은 약 0.4mm/5min, 0.8mm/5min으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 강우량 0-0.4mm/5min을 약한비(slight rain), 0.4-0.8mm/5min을 중간비(moderate rain), 0.8mm/5min 이상을 강한비(heavy rain)로 설정하여 강우수준에 따른 교통예측 특성 분석을 수행하였다. 본 연구에서 도출된 강우수준 분류 기준과 기존 연구에서 제시하고 있는 강우수준 분류 기준을 비교하여 <표 3>에 제시하였다. <표 3>에 제시되어 있는 강우수준 분류기준에 따르면, 본 연구에서 도출된 강우수준 분류 기준은 기존 연구와 유사한 값을

가지는 것으로 나타났다.

앞서 산출한 강우수준에 따라 강우수준별 속도 및 교통량의 차이를 비교하기 위해 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 분산분석 결과, 속도 및 교통량 모두 유의확률이 0.000으로 나타나 기상수준에 따른 속도와 교통량의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하여, 기상수준에 따른 속도 및 교통량의 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[17]. 본 연구에서 수행한 사후분석 결과, 교통량은 맑음, 약한비, 중간비/강한비가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 속도는 맑음, 약한비, 중간비, 강한비, 네 개의 그룹으로 속도의 값이 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 설정한 강우수준은 각 수준별 차이를 보이며, 각기 다른 교통류 특성을 보이는 것으로 판단할 수 있다. <그림 6>과 <표 4>에 강우수준에 따른 교통류 특성분석 결과를 제시하였다.

<표 3> 강우수준 분류기준

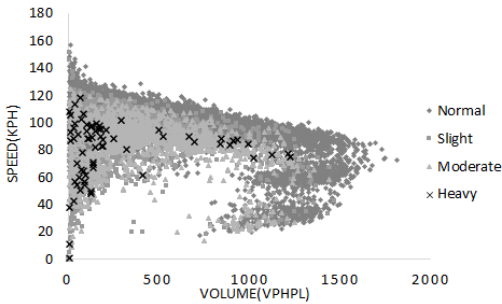
<Table 3> Criteria of classifying rain intensity

mm/hr	This study	KHCM	FHWA
Slight	≤ 4.8	≤ 5.0	≤ 0.25
Moderate	4.8 ~ 9.6	5.0 ~ 10.0	0.25 ~ 6.4
Heavy	> 9.6	> 10.0	> 6.4

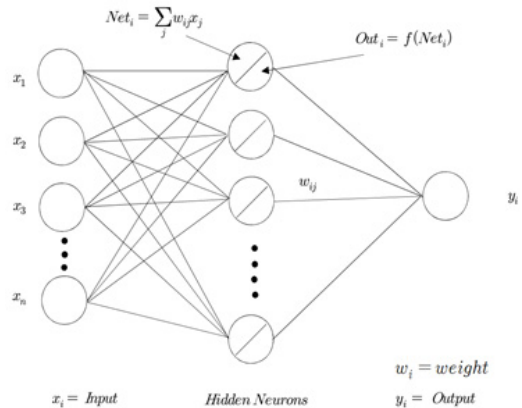
<표 4> 강우수준에 따른 속도 및 교통량 분산분석 결과

<Table 4> ANOVA results for speed and volume by rain intensity

Description										
		N	Mean	Standard deviation	Standard error					
Speed	Normal	23652	100.45	13.42	0.0873					
	Slight rain	15480	89.53	18.87	0.1517					
	Moderate	6704	84.68	16.91	0.2066					
	Heavy rain	1468	80.99	24.96	0.6514					
Volume	Normal	23652	422.45	341.04	2.2175					
	Slight rain	15480	309.09	242.76	1.9511					
	Moderate rain	6704	370.11	296.20	3.6176					
	Heavy rain	1468	354.48	363.75	9.4939					
ANOVA										
	Sum of squares	D.F.	Mean square	F-value	Sig.					
Speed	2124194.552	3	708064.851	2657.579	0.000					
Volume	121353359.501	3	40418885.05	430.093	0.000					
Post-hoc test										
Speed	N	1	2	3	4	Volume	N	1	2	3
Normal	23652	100.45				Normal	23652	422.45		
Slight	10156		89.53			Slight	10156		309.09	
Moderate	6704			84.68		Moderate	6704			370.11
Heavy	1468				80.99	Heavy	1468			354.48
Sig.	-	1.000	1.000	1.000	1.000	Sig.	-	1.000	1.000	0.136



〈그림 6〉 강우수준에 따른 속도-교통량 곡선
 〈Fig. 6〉 Speed-volume curve by rain intensity



〈그림 7〉 인공신경망의 구조
 〈Fig. 7〉 Structure of artificial neural network

V. 강우수준별 교통예측 특성분석

본 연구에서는 앞서 정의한 강우수준에 대해서 강우수준별 교통예측 특성을 분석하기 위해 인공신경망을 이용하여 속도를 예측하였다. 예측은 예측하고자 하는 시점의 이전 time step 자료를 이용하였으며, 본 연구결과를 통해 교통예측시 강우수준에 따라 고려해야 할 예측 특성에 대해 살펴보고, 향후 연구방향에 대해 논의하고자 한다.

1. 인공신경망 (ANN: Artificial Neural Network)

인공신경망은 인간의 두뇌를 수많은 신경세포들로 이루어진 일종의 컴퓨터로 정의하여 인간의 뇌로부터 얻은 아이디어를 공학적으로 적용한 것을 시초로, McCulloch와 Pitts(1943)에 의해 제시되었다. 그 후에 심리학자 Hebb에 의해 제시된 학습규칙은 두 뉴런사이의 연결강도(Weight)를 조정할 수 있는 최초의 규칙이 정립되었다. 인공신경망은 학습능력을 갖추고 있어 일반화 능력이 뛰어나고 구현이 쉽다는 장점이 있어 분류, 예측, 제어 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다.

인공신경망은 구조에 따라 전방향(feedforward) 신경망과 회귀(feedback or recurrent)신경망으로 구분되며, 학습방법에 따라서는 분류형과 예측형으로 구분할 수 있다. 인공신경망의 분석 절차는 다음과 같다. 입력층(input layer)의 각 유닛(unit)에 입력패턴(pattern)을 전달하면 이 신호는 각 유닛에서 변환함

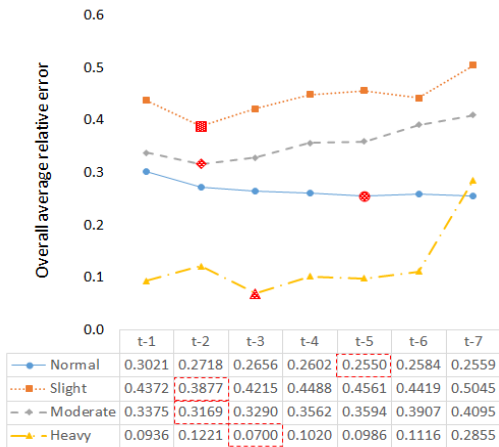
수를 통해 변환되어 은닉층(hidden layer)의 유닛에 전달되고, 은닉층의 변환함수에 의해 변환되어 출력층(output layer)으로 전달된다. 이 출력값과 기댓값(target value)을 비교하여 차이를 줄여나가는 방식으로 연결강도를 조절하며 최적 해를 찾아내는 방식이다. 신경망의 대표적인 역전파 모형의 네트워크 구조를 <그림 7>에 제시하였다[18-20].

2. 분석결과

본 연구에서는 강우수준별 속도예측의 특성을 분석하기 위해 IBM SPSS Statistics 19 툴을 이용하여 인공신경망을 구현하였다. 예측 간격은 자료 집계간격인 5분으로 설정하였으며, 예측하고자 하는 시간의 이전 time step 자료를 이용하여 속도를 예측하였다. 이전 time step은 최대 7(35분전)로 설정하였으며, 강우수준별 time step 1~7(5~35분전)에 따른 예측력을 비교·분석하였다.

앞서 설정한 강우수준을 기준으로 속도자료를 분류하고, 훈련데이터(train data)와 검증데이터(test data)의 비율을 7:3으로 설정하여 예측 성능을 평가하였으며, 평가지표(MOE: Measure of Effectiveness)는 상대오차(relative error)를 이용하였다.

분석결과, 맑음의 경우에는 25분 전의 자료까지 이용하여 예측을 하는 경우 예측력이 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 약한비, 중간비에서는 10분 전의 자료, 강한비에서는 15분 전의



〈그림 8〉 강우수준별 속도예측 결과
 〈Fig. 8〉 Prediction results by rain intensity

자료까지 이용하는 것이 예측력이 가장 높게 나타나, 강우가 발생하는 경우 맑음에 비하여 짧은 time step으로 예측시 예측력이 높아지는 것으로 나타났다.

강한비의 경우 샘플수가 27개로, 강한비가 발생하는 날과 시간대가 적어, 맑음(10,825개), 약한비(205개), 중간비(224개)에 비하여 샘플수가 부족하기 때문에 결과의 신뢰도가 떨어지므로 결과분석에서는 제외하였다. 분석결과, 강우시에 비강우시보다 전체적으로 오차가 높게 나타났으며, 비강우시에는 오차가 이전 time step을 많이 이용할수록 감소하다

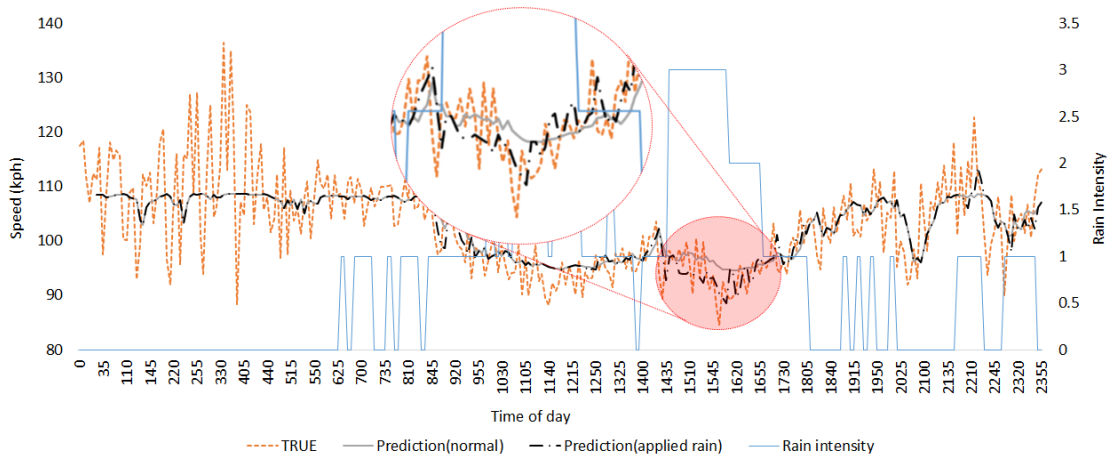
가 어느 순간 일정해지는 패턴을 보였다. 반면 강우 시에는 이전 time step을 이용하면 오히려 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 강우의 경우 속도 및 교통량의 패턴이 변화하기 때문에 교통예측시 최근의 교통자료를 이용하는 것이 예측성능을 높일 수 있는 방법으로 작용한다.

〈그림 9〉에 기상조건을 고려하지 않은 예측결과와 연구결과로부터 도출된 기상조건 별 속도예측 방법을 적용한 예측 결과를 비교하였다. 〈그림 9〉의 확대된 부분에서 점선은 실제 속도 값(TRUE)이며, 실선은 기상조건을 고려하지 않은 예측 결과(Prediction(norma)), 파선-점선은 기상조건을 고려한 예측 결과(Prediction(applied rain))이다.

VI. 결 론

본 연구에서는 RWIS자료와 검지기 자료를 이용하여 강우시 강수량에 따른 교통특성 분석을 통해 강우수준을 분류하는 객관적인 기준을 제시하였으며, 강우수준별 교통예측 특성을 분석하였다. 분석을 위해 2012년 서울-춘천 고속도로의 30초 단위 검지기자료와 10분 단위 RWIS자료를 이용하였다.

분석결과, 강우 발생시 비강우시 보다 속도 및 교통량이 감소하는 것으로 나타났으며, 강우량이



〈그림 9〉 속도예측 결과 비교
 〈Fig. 9〉 Comparison of prediction results

증가할수록 속도감소량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 강우량에 따른 속도감소량을 이용하여 강우수준을 분류한 결과, 약한비와 중간비의 기준은 0.4mm/5min, 중간비와 강한비의 기준은 0.8mm/5min으로 나타났다. 강우수준별 속도와 교통량에 대한 분산분석 결과 강우수준별로 차이를 보이는 것으로 나타나, 강우수준에 따라 교통류 특성이 차이를 보임을 제시하였다.

강우수준별 통행속도예측 특성 분석에서는 인공신경망을 이용하여 속도를 예측하였다. 예측결과, 비강우인 경우에는 25분 이전 속도자료를 사용하여 분석하는 것이 예측력이 높게 나타났으며, 강우가 발생하는 경우에는 10~15분 이전의 속도자료를 사용하는 것이 예측력이 높게 나타났다. 통행속도 예측 시에는 강우수준 별로 다른 특성을 보이기 때문에, 강우수준별 특성을 반영하여 적용을 해야 한다. 따라서 기상 상황에 따른 통행속도를 보다 정확하게 예측하고 분석하기 위해서는 다양한 기상정보를 수집할 수 있는 도로 기상정보 시스템의 확대설치가 필요하다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고, 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 4~10월(7개월) 자료를 이용하여 분석하였는데, 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 추가적인 자료를 이용한 분석이 필요하다. 또한, 서울-춘천 고속도로는 전체적으로 교통량이 적으며, 다양한 주변 조건을 반영하고 있지 않기 때문에 향후 장기간 데이터 수집을 통해 다양한 분석구간에 대한 일반화 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구에서는 강우 유무만을 고려하여 분석을 수행하였으나, 동일한 강우량일 경우에 강우 지속시간에 따라 운전자의 행태(속도선택)가 차이가 존재할 수 있으므로, 향후에 강우 지속시간을 고려한 추가분석이 필요하다. 셋째, RWIS에서 수집할 수 있는 강우 자료 이외의 강설, 시거 등의 정보를 이용한 추가적인 분석이 필요하며, 본 연구에서는 속도만을 이용한 교통예측을 수행하였지만, 향후에 속도 외의 집계간격, 도로 상황 등의 다양한 조건을 적용한 특성분석이 수행되어야 할 것이다. 넷째, 강우량에 따른 속도변화량

을 통한 강우수준 변곡점 도출 시 3차방정식 외의 CHAID, 부분회귀 방법 등의 적용을 통한 검토가 필요하며, 강우수준에 따른 교통예측 특성을 다각적으로 분석하기 위해서는 인공신경망 이외의 다양한 방법론을 적용한 예측 분석이 필요하다. 마지막으로, 강우에 따른 교통예측을 보다 정확히 하기 위해 기상예측정보를 함께 고려한 교통예측 분석이 필요하다.

본 연구에서 제시한 연구결과는 통행시간 정보 등의 교통정보 제공 시 교통정보 예측을 위한 기초 자료로써 활용할 수 있을 것이다. 또한, 기상조건에 관계없이 신뢰성 있는 교통정보를 제공하기 위한 통행시간 예측 방법론을 제공함으로써 통행시간 정보 제공 시 보다 정확한 정보를 제공하여 교통상황 예측정보의 신뢰도 향상 및 교통상황 예측정보의 활용도를 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Y. Al. Hassan, and D. J. Barker, "The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region", Scotland, *Journal of Transport Geography*, vol. 7, Issue 3, pp.209-213, 1999.
- [2] M. Agarwal, T. H. Maze, and R. Souleyrette, "Impact of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity", Iowa state university, 2005.
- [3] S. Datla, and S. Sharma, "Highway Traffic Volume Variations with Cold and Snow Interactions", 2007 *Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada: Transportation - An Economic Enabler (Les Transports: Un Levier Economize)*, pp.21, 2007.
- [4] S. Shim, and K. Choi, "Classification of Freeway Traffic Condition by the Impacts of Road Weather Factors", Korean Society of Civil Engineers, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, vol. 29, no. 6, pp.685-691, 2009.
- [5] C. Yang, Y. Son, Y. Kim, and Y. Kim, "Analysis of

- Changes in Traffic Flow Patterns by Geometric and Weather Conditions (기하구조 및 기상조건에 따른 교통류 행태 변화에 대한 연구)”, Korean Society of Transportation, *Transportation Technology and Policy*, vol. 6, no. 3, pp.125-140, 2009.
- [6] S. Baek, S. Jeong, T. Lee, and J. Won, “Analysis of Snowing Impacts on Freeway Trip Characteristics Using TCS Data”, The Korean Institute of Intelligent Transport Systems, *The Journal of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, no. 4, pp.68-79, 2010.
- [7] L. Shi, Y. Cheng, J. Jin, B. Ran, and X. Chen, “Effects of Rainfall and Environmental Factors on Traffic Flow Characteristics on Urban Freeway”, *Transportation Research Board Annual Meeting 2011*, Washington D.C., U.S., Paper #11-3345, 2011.
- [8] Korea Express Corporation, ROAD PLUS, available: www.roadplus.co.kr.
- [9] INRIX, U.S., available: www.inrix.com.
- [10] Highway agency, U.K., available: <http://www.highways.gov.uk/traffic/traffic.aspx>.
- [11] G. Huisken, and E. C. van Berkum, “A Comparative Analysis of Short-Range Travel Time Prediction Methods”, *Transportation Research Board 82nd Annual Meeting*, Washington D.C., U.S., 2003.
- [12] S. I. Chien, X. Liu, and K. Ozbay, “Predicting Travel Times for The South Jersey Real-Time Motorist Information System”, *Transportation Research Board 82nd Annual Meeting*, Washington D.C., U.S., 2003.
- [13] S. Oh, M. Kim, and Y. Baek, “Development of a Freeway Travel Time Estimating and Forecasting Model using Traffic Volume”, Korean Society of Transportation, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 21, no. 5, pp.83-95, 2003.
- [14] S. Lee, B. Kim, and H. Kwon, “The Study of Estimation Model for the Short-term Travel Time Prediction”, The Korean Institute of Intelligent Transport Systems, *The Journal of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 1, pp.31-44, 2004.
- [15] L. Vanajaskshi, “Travel Time Prediction Using Support Vector Machine Technique”, Texas A&M University College Station, 2004.
- [16] W. Jang, “A Travel Time Prediction Model under Incidents”, Korean Society of Transportation, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 29, no. 1, pp.71-79, 2011.
- [17] A. F. Hayes, *Statistical methods for communication science*, Communication books, pp.504, 2011.
- [18] Y. Jang, “Origin-Destination Matrix Estimation Method from Partially-Observed Link Counts using Artificial Neural Networks”, Chonnam National University, pp.46-50, 2010.
- [19] I. Oh, *Pattern Recognition*, Kyobobook, pp.95-132, 2008.
- [20] H. Han, *Introduction of pattern recognition*, HANBIT media, pp.339-342, 2009.
- [21] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Korea Highway Capacity Manual 2013*, pp.39, 2013.
- [22] R. Hranac, E. Sterzin, D. Krechmer, H. Rakha and M. Farzaneh, “Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather”, Federal Highway Administration, FHWA-HOP-07-073, 2006.

저자소개



정 은 비 (Jeong, Eunbi)

2007년 3월 ~ 2010년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사
2010년 8월 ~ 현 재 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석·박사통합과정
E-mail : jeb0120@hanyang.ac.kr
연락처 : 010-7392-5141



오 철 (Oh, Cheol)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사
1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사
1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과
공학박사(교통시스템전공)
1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원
2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies,
University of California, Irvine, CA, USA
2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원
2006년 3월 ~ 현 재 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수
E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr
연락처 : 010-6319-1288



홍 성 민 (Hong, Sungmin)

2004년 3월 ~ 2011년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사
2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학석사
E-mail : hsm507@hanyang.ac.kr
연락처 : 010-9737-2567